

Schlussbericht

zum Vorhaben

Thema:

Biogas-Messprogramm III - TEILVORHABEN 1: „Faktoren für einen effizienten Betrieb von Biogasanlagen“

Teil 1: Energiebilanzierung, Flexibilisierung, Ökonomie

Teil 2: Repowering

Teil 3: Effizienz des biologischen Prozesses

Teil 4: Neue Methoden der Prozessbewertung Forschungs- und Entwicklungszentrum Fachhochschule Kiel GmbH

Zuwendungsempfänger:

DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH (DBFZ)

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)

Universität Hohenheim - Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie (UHH)

Forschungs- und Entwicklungszentrum Fachhochschule Kiel GmbH (EEK.SH)

Förderkennzeichen:

22403515 (DBFZ), 22403615 (LfL),

22403715 (UHH), 2403815 (EEK.SH)

Laufzeit:

01.12.2015 bis 31.05.2019 (LfL, EEK.SH)

01.12.2015 bis 30.11.2019 (DBFZ, UHH)

Monat der Erstellung:

03/2020

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) als Projektträger des BMEL für das Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe unterstützt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Schlussbericht

I. Ziele

Übergeordnetes Ziel des 1. Teilvorhaben des Biogas-Messprogramms III, nachfolgend BMP III genannt, war es, anhand ausgewählter, über die Bundesrepublik Deutschland verteilter Anlagen die Effizienz der Biogaserzeugung und -verwertung messtechnisch zu erfassen und mit wissenschaftlich abgesicherten Methoden zu bewerten. Nach Möglichkeit sollten hierbei insbesondere der Erfolg von Repowering-Maßnahmen an Biogasanlagen untersucht werden. Wie schon die beiden vorausgegangenen „Bundes-Messprogramme Biogas“ sollte auch das BMP III auf diese Weise den Stand der Technik der Biogastechnologie im Lichte aktueller und zukünftiger Entwicklungen abbilden. Die Ergebnisse sollen dazu beitragen, dass nicht untersuchte Biogasanlagen mit den gleichen Methoden untersucht und eingeordnet werden können und somit Optimierungspotentiale in der Praxis erkannt und genutzt werden.

Die verwendeten Methoden und gewonnenen Ergebnisse sollten prinzipiell auf den deutschen Anlagenbestand übertragbar sein und einer breiten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden. Um für das Biogas-Messprogramm eine möglichst aussagekräftige Vorauswahl von Biogasanlagen aus dem sehr großen Anlagenpark in Deutschland treffen zu können, wurde im ersten Schritt eine umfangreiche bundesweite Betreiberbefragung durchgeführt.

1. Aufgabenstellung

Die Inhalte der insgesamt fünf Arbeitspakete des BMP III sowie die jeweils dafür verantwortlichen Projektpartner sind nachfolgend in Tabelle 1 dargestellt. Das erste Arbeitspaket - allgemeine Koordination und Datenbank - wurde maßgeblich vom Konsortialführer DBFZ verantwortet. Die Verantwortlichkeiten innerhalb der Arbeitspakete 2 bis 4 wurden ausgewogen auf alle Partner verteilt.

Tabelle 1: Arbeitspakete und verantwortliche Partner

Arbeitspaket	verantwortlicher Partner
AP 1 Projektkoordination	
UAP 1.1: Administrative und fachliche Koordination	DBFZ
UAP 1.2: Datenbank	DBFZ
UAP 1.3: Projekttreffen	Alle
AP 2 Anlagenauswahl, Methodenentwicklung, Festlegung des Vorgehens bei der Messdatenerfassung	
UAP 2.1: Analyse des Anlagenbestandes	DBFZ
UAP 2.2: Entwicklung methodischer und messtechnischer Grundlagen	Alle
Querschnitt „Repowering“	LfL
Querschnitt „Energiebilanzierung, Flexibilisierung des Betriebes“	DBFZ
Querschnitt „Effizienz des biologischen Prozesses“	UHH
Querschnitt „Neue Methoden zur Prozessbewertung“	EEK.SH
Querschnitt „Ökonomie“	DBFZ
UAP 2.3: Validierung	Alle
UAP 2.4: Anlagenauswahl und Erstkontakt	Alle
UAP 2.5: Vorbereitung Durchführung Messprogramm Phase 2	Alle
AP 3 / AP 4: Durchführung Messprogramm Phase 1 und Phase 2	
UAP 3.1: Messfahrten	Alle
UAP 3.2: Probenahme	Alle
UAP 3.3: Messdatenaufnahme	Alle
AP 5: Datenanalyse, Dokumentation, Ergebnisdarstellung, Verwertung der Projektergebnisse	
UAP 5.1: Analyse	Alle
UAP 5.2: Auswertung der Messdaten	Alle
UAP 5.3: Veröffentlichung	Alle

2. Stand der Technik

Neben der Klärung und Herausarbeitung des Effizienzbegriffes waren auch die methodischen Grundlagen für die Messung und Berechnung der Effizienz von Biogasanlagen zu beschreiben. Hierbei sollten in Ergänzung zu bewährten Methoden insbesondere neuartige Ansätze zur Effizienz- und Prozessbewertung aufgegriffen und weiterentwickelt werden. So haben Effenberger et al. (2014) und Djatkov et al. (2012) einen Ansatz zur übergreifenden Effizienzbewertung und Schwachstellenanalyse an Biogasanlagen vorgestellt. Weißbach (2008) und Weinrich (2014) beschreiben eine Methode zur Beurteilung der biologisch möglichen anaeroben Abbaubarkeit. Born & Casaretto (2012) hingegen nehmen eine rohstoffbezogene Beurteilung auf Basis des Brennwertes vor, ohne Berücksichtigung von organischen, biologisch nicht abbaubaren Bestandteilen. Übergreifende Betrachtungen zur Bilanzierung von Stoff- und Energieflüssen wurden von Fischer et al. (2009) vorgenommen; diese können neben den bereits erwähnten Methoden auch mit Hilfe von Restgaspotential- und Biogasertragsanalysen zur Effizienzbestimmung verwendet werden. Weiterhin hat das DBFZ im Rahmen des Projektes „Potenziale zur Steigerung der Leistungsfähigkeit von Biogasanlagen - Energetische Effizienz von Repoweringmaßnahmen“ eine Methode zur Darstellung des mittleren Brennstoffausnutzungsgrades entwickelt. All diese Vorarbeiten wurden als Grundlagen für das BMP III herangezogen und für die Anwendung im Messprogramm optimiert.

Eine weitere Basis für die Bewertung der Effizienz von Biogasanlagen und damit auch für die Identifizierung von Schwachstellen sind objektive Gütekriterien. Hierzu existiert mit der VDI 4631 „Gütekriterien für Biogasanlagen“ bereits eine einschlägige Richtlinie (Verein Deutscher Ingenieure, 2008). Die Gütekriterien werden anhand von Kenngrößen (oder: Kennzahlen) festgelegt, die einheitlich und eindeutig definiert sein müssen. Unterschieden werden verfahrenstechnische, ökonomische und ökologische Kenngrößen, wobei in diesem Vorhaben der Schwerpunkt auf den verfahrenstechnischen Kenngrößen liegt. Um solche Kenngrößen mit einer vertretbaren Genauigkeit und Richtigkeit zu ermitteln, sind eine Ausstattung der Anlagen mit Messtechnik und eine Regelmäßigkeit und Sorgfalt der Datenerhebung auf einem hohen Niveau erforderlich, wie sie in der Praxis in der Regel nicht erreicht werden.

Bisherige Erfahrungen, welche in den vorangegangenen Messprogrammen BMP I (FAL, 2005) und BMP II (VTI, 2009) gesammelt werden konnten, wurden in dem Verbundvorhaben BMP III berücksichtigt und erweitert. Anhand der Broschüre des Biogas-Messprogramm II erfolgte zudem maßgeblich der strukturelle Grob-Aufbau des BMP III, wobei, wie bereits in den Zielen formuliert, deutliche inhaltliche Erweiterungen und Anpassungen gegenüber dem BMP II vorgenommen wurden.

3. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

3.1 Betreiberbefragung

Zu Beginn des Projekts wurde eine bundesweite Datenerhebung vorgenommen, um eine möglichst große Stichprobe von Biogasanlagen mit repräsentativen Daten u. a. zum Anlagenbetrieb, zur Vergütung, zur Anlagentechnik und -erweiterungen sowie zum Substrateinsatz zu bestimmen. Diese Stichprobe diente wiederum als Grundlage für die Auswahl von für das Messprogramm geeigneten Biogasanlagen. Dazu wurde eine deutschlandweite schriftliche Betreiberbefragung mittels teilstandardisierter Fragebögen durchgeführt. Die Fragebögen wurden im Februar 2016 an insgesamt 6.662 Betreibenden von BGA mit Vor-Ort-Verstromungsanlagen versandt. Die Rückmeldungen wurden per Post, Fax und über einen Online-Fragebogen entgegengenommen. An der Befragung beteiligten sich 618 Betreibende mit einer Rückantwort, wobei 345 Betreibende sich grundsätzlich zur Teilnahme am BMP III bereit erklärten. Basierend auf den in der Betreiberbefragung erhobenen Daten wurden für die detaillierte Untersuchung im Messprogramm 61 Biogasanlagen ausgewählt.

3.2 Betreibende von Biogasanlagen

Für die Bewertung der Biogasanlagen hinsichtlich Effizienz, Prozessstabilität und Produktivität war es notwendig, Daten über die Anlagentechnik, den Prozessablauf und die zu- und abgeführten Massen- und Energieströme vor Ort bei den jeweiligen Betreibenden bzw. deren Anlagen zu erfassen. Dafür war die enge Zusammenarbeit mit den Betreibenden notwendig. Die Betreibenden wurden bei der Planung der Messphasen auf deren Anlage, der Dokumentation der Daten und der Übermittlung von Anlagenplänen, Prozessdaten und wirtschaftlicher Daten beteiligt.

3.3 Zusammenarbeit mit den Partnern des Teilvorhabens 2 des Biogas-Messprogramms III

Die Zusammenarbeit mit dem Teilvorhaben 2: „Systembiologie“ (BMP III-Bio / FKZ: 22012513) des ATB Potsdam erstreckte sich auf die Bereiche:

- Anlagenauswahl
- Aufstellung Beprobungsplan und Beprobung der Anlagen
- Verfügbarkeit von Ergebnissen
- Zugriff Dritter auf die Daten nach Projektabschluss
- mehrere gemeinsame Projekttreffen.

3.4 Institut für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur der LfL

Die zu erstellende Datenbank beruhte auf der Anwendung Betriebszweigabrechnung (BZA)-Biogas der LfL. Diese wurde für das BMP III vom Institut für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur der LfL umfassend modifiziert. Zudem erfolgte die Bereitstellung individueller Schlüsseldateien für den BZA-Zugriff. Von Seiten der Ökonomie waren ergänzende Arbeiten insbesondere hinsichtlich der Anpassung der Eingabemasken durch geänderte rechtliche Rahmenbedingungen des Erneuerbare-Energien-Gesetz notwendig.

II. Ergebnisse

Die Ergebnisse beider Teilvorhaben werden in der Broschüre „Biogas-Messprogramm III – 61 Biogasanlagen im Vergleich“ detailliert dargestellt.

1. Erzielte Ergebnisse

Im Folgenden werden die wesentlichen Erkenntnisse, insbesondere der fünf Querschnittsthemen des Vorhabens, zusammenfassend kurz dargestellt.

- Querschnittsthema - Repowering:

Die LfL widmete sich im Rahmen des BMP III besonders der Frage, wie Schwachstellen an Biogasanlagen im laufenden Betrieb systematisch erkannt und zielführende Verbesserungsmaßnahmen abgeleitet werden können. Damit ist im Grunde auch das Vorgehen für die Planung und spätere Evaluierung von Repowering-Maßnahmen beschrieben. Zur Anwendung kam das an der LfL entwickelte „Benchmarksystem für Biogasanlagen“, welches gängige Kennzahlen verwendet und auf Basis des Standes der Technik bewertet. Dieses bildete die Basismethode für die Anlagenbewertung im BMP III. Die Biogasanlage wird hierfür in die beiden Bereiche „Biogasproduktion“ und „Biogasverwertung“ unterteilt, welche zunächst getrennt bewertet und anschließend aggregiert werden. Die Biogasproduktion wird unter den Fragestellungen „Zu welchem Anteil wird die eingesetzte Biomasse in Biogas umgewandelt?“ (Kennzahl: Relative Biogasausbeute) und „Wie produktiv ist das umbaute Fermentationsvolumen?“ (Kennzahl: Methanproduktivität) beurteilt. Die Biogasverwertung wird hinsichtlich der Fragestellungen „Zu welchem Anteil wird die genehmigte Höchstbemessungsleistung des BHKW zur Stromerzeugung genutzt?“ (Kennzahl: BHKW-Leistungsausnutzung) und „Welcher Anteil am Heizwert des verwerteten Biogases wird als Nutzenergie bereitgestellt?“ (Kennzahl: Methan-Nutzungsgrad).

Von den 61 untersuchten Anlagen (über beide Messphasen begleitete Anlagen mitgezählt) konnten 48 mit der Basismethode bewertet werden. Von den übrigen Anlagen fehlten einzelne, für die Auswertung unverzichtbare Parameter. Meist waren dies im Übrigen Daten zum Eigenbedarf an elektrischem Strom und Wärme. Hieraus lässt sich sofort ableiten, dass in der Praxis eine erhebliche Anzahl von Anlagen die Voraussetzungen für die Anwendung des Benchmarksystems nicht ohne weiteres erfüllen werden. Das Ergebnis der Bewertung für 48 Anlagen fasst Tabelle 2 zusammen.

Tabelle 2: Zusammenfassung des Ergebnisses der Bewertung von 48 Anlagen im BMP III mit dem Benchmarksystem für Biogasanlagen; Interpretationshilfe: „sehr gut“ = praktisch keine Verbesserung möglich; „gut“ = keine signifikante Schwachstelle, aber Verbesserung möglich; „ausreichend“ = erhebliche Schwachstelle, Verbesserung empfohlen; „ungenügend“ = schwer wiegender Mangel, Verbesserung erforderlich.

	sehr gut	gut	ausreichend	ungenügend
Relative Biogasausbeute	13	28	4	3
Methanproduktivität	7	9	17	15
Biogasproduktion	3	26	14	5
Leistungsausnutzung	26	5	13	4
Methan-Nutzungsgrad	17	14	8	9
Biogasverwertung	10	14	15	9
Zusammengefasst	0	20	17	11

Im Bewertungsergebnis wurde ein deutlicher Verbesserungsbedarf häufiger bei der Biogasverwertung (24 Anlagen) als bei der Biogasproduktion (19) erkennbar. Anlagen mit einer inakzeptabel niedrigen Ausnutzung des Methanertragspotentials der Einsatzstoffe bildeten die Ausnahme (7). Die Methanproduktivität des Fermentationsvolumens wurde insgesamt am schlechtesten bewertet, allerdings auch geringer gewichtet, da ein überdimensioniertes Arbeitsvolumen prinzipiell kein verfahrenstechnisches Risiko darstellt, sondern allenfalls kostenseitig von Nachteil ist. Gleichwohl zeigten 14 Anlagen, dass es durchaus möglich ist, einen tragfähigen Kompromiss zwischen effizienter Substratausnutzung und guter Produktivität des Fermentationsvolumens darzustellen. Die Ausnutzung der festgelegten Höchstbemessungsleistung für die Stromerzeugung war insgesamt das am besten bewertete Kriterium. Gleichzeitig stieß das Benchmarksystem bei diesem Kriterium an seine Grenzen, da im Zuge der zunehmenden Flexibilisierung und Marktorientierung der Stromerzeugung aus Biogas eine Vielzahl von Konfigurationen möglich ist, welche mit einer einzigen Kennzahl nicht verlässlich abgebildet werden kann. Der energetische Nutzungsgrad des erzeugten Biogases erhöhte sich zwar im Gesamtbild gegenüber vorausgegangenen Messprogrammen deutlich, gleichwohl ging auf einem Drittel der Anlagen ein großer Anteil der Methanenergie als Fortwärme verloren.

Im Rahmen des Messprogramms konnten lediglich zwei eindeutige Fälle von Repowering-Maßnahmen evaluiert werden. Im einen Fall hätte die Anwendung des Benchmarksystems eine unnötige Erweiterung des Fermentationsvolumens verhindern können. Im anderen Fall bildete das Benchmarksystem die Steigerung der Effizienz der Biogasverwertung durch Erneuerung des BHKW korrekt ab und zeigte ein erkennbares Potenzial für eine Steigerung der Kosteneffizienz bei der Biogasproduktion. Anlagenbetreibenden wird ausdrücklich geraten, die Wirksamkeit eines Repowerings vorab kritisch zu prüfen und nach erfolgter Maßnahme auszuwerten. Die Projektergebnisse zeigen, dass das „Benchmarksystem Biogas“ hierfür ein geeignetes Hilfsmittel darstellt.

- Querschnittsthema - Energiebilanzierung, Flexibilisierung des Betriebes:

Das Thema der Energiebilanzierung stellte einen der Schwerpunkte im BMP III dar. In Vorbereitung der Durchführung des Themas moderierte das DBFZ die Erarbeitung der Grundlagen, welche für eine geeignete Datenerfassung auf den untersuchten Biogasanlagen unabdingbar ist.

Insbesondere die in der beigefügten Broschüre dargelegten und diskutierten Schwierigkeiten bei der Erhebung genauer und konsistenter Messdaten auf Praxisbiogasanlagen haben einige Anpassungen gängiger Bilanzierungsansätze notwendig gemacht. Hier sei beispielhaft genannt, dass aufgrund der seltenen Verfügbarkeit von verlässlichen (Bio-)Gasproduktionsraten die Rückrechnung über die eingespeiste Strommenge als Konsens im Konsortium eingeführt wurde.

Darüber hinaus wurde beschlossen, dass von der allgemein verbreiteten Charakterisierung von Biomassen über den Bezug auf organische Trockensubstanz abgewichen wird. In der Erwartung aussagekräftigerer Ergebnisse in Biomasseumsätzen und natürlich auch der energetischen Bilanzierung wurden die Biomassen weiter auseinandendifferenziert und der fermentierbare Anteil der organischen Trockensubstanz (FoTS) wurde als Bewertungsbasis eingeführt.

Die Beurteilung der untersuchten energetischen Bilanzierungsmethoden ist in der Broschüre dargelegt. Hierbei wurden die Betreibenden von Biogasanlagen als Zielgruppe berücksichtigt.

Da alle untersuchten Ansätze zur energetischen Bilanzierung von Bioenergieanlagen statischer Natur sind, war die Berücksichtigung flexibler Betriebsweisen im Laufe des Vorhabens nicht möglich.

- Querschnittsthema - Effizienz des biologischen Prozesses:

Es wurden im BMP III zwei Ringversuche durchgeführt. Anhand dieser konnten Fehler, wie z. B. unterschiedliche Bezugsgrößen oder Verstöße gegen die erforderliche Messgenauigkeit, bereits vor Beginn der Messphase entdeckt und abgestellt werden, die ansonsten nur mit erheblichen Aufwand hätten korrigiert werden können. Nach der ersten Messphase konnten mit dem zweiten Ringversuch der Erfolg des ersten Ringversuchs bestätigt bzw. noch vorhandene Fehler korrigiert werden.

Die Effizienzmethoden wurden klar definiert und somit ist ein Vergleich der Methoden möglich. Es sind nicht plausible Werte festgestellt worden. Mittels detaillierter Fehleranalyse konnte dargelegt werden, welche Verbesserungsmöglichkeiten für eine zuverlässige Effizienzanalyse notwendig sind. Dies sind neben weiterer Forschung an den Methoden vor allem eine verbesserte und umfangreichere Messtechnik und Datenerfassung auf den Betrieben.

Die Ergebnisse aus der Bestimmung des relativen Restgaspotentials auf den Anlagen als bereits etablierte Methode zeigt eine Verbesserung im Vergleich mit dem BMP II. Daraus lässt sich ableiten, dass die ausgewählten Anlagen zum größten Teil hohe Abbaugrade erreichen, welche das Niveau derjenigen im BMP II übersteigen. Als wahrscheinliche Ursachen konnten die längeren Verweilzeiten und die typischerweise mehrstufige Ausführung der Anlagen im BMP III identifiziert werden. Ein deutliches Verbesserungspotential wurde allerdings bei Güllekleinanlagen festgestellt.

- Querschnittsthema - Neue Methoden zur Prozessbewertung:

Zur Bewertung des Gärprozesses der Biogasanlagen sollte im Projekt neben den stofflichen Kennzahlen FoTS-Ausbeute und relative Methanausbeute auch eine energetische Bewertung vorgenommen werden. Aufbauend auf Erkenntnissen der Fachliteratur wurde untersucht, in wie fern mit der Messung von Brennwerten von Substraten und Gärresten eine Diskriminierung in anaerob abbaubare und nicht abbaubare Anteile vorgenommen werden kann. Die Untersuchung ergab, dass aus gemessenen Brennwerten der Gärreste der Anteil von nicht abbaubaren Lignin mit einer Unsicherheit von 9% (absoluter Ligninanteil in oTS) abgeschätzt werden kann. Die Anwendung dieses Zusammenhangs erfolgte in der neu definierten Effizienzkennzahl „anaerob energetische Ausbeute (AEA)“. Die Effizienzkennzahl zeigte im Anlagenvergleich relativ wenig Sensitivität im Vergleich zu den stofflichen Kennzahlen, allerdings war AEA die einzige Kennzahl, die das Methanpotential/Energiepotential der zugeführten Substrate nicht unterschätzt. Die Kennzahl AEA erlaubt damit grundsätzlich eine Aussage zur Ausschöpfung des Energiepotentials der anaerob abbaubaren Stoffe, kann allerdings die Zugänglichkeit der Stoffe für den mikrobiellen Abbau nicht erfassen.

Als weitere Neuerung wurde untersucht, ob sich die für die Berechnung von Prozess- und Effizienzkennzahlen notwendigen Labormesswerte mithilfe von spektroskopischen Untersuchungen ermitteln lassen. Dafür wurden 406 Messungen von getrockneten Proben von Substraten und Gärresten von BMP-III-Anlagen im nahen (NIR) und mittleren Infrarotspektrum (MIR) untersucht. Mit Hilfe der Referenzdaten (Labormesswerte der Proben), welche im Rahmen des BMP-III für die Anlagenbewertung erhoben wurden, wurden sowohl MLR- als auch PLS-Modelle für die Kalibrierung ausprobiert. MLR-Modelle zeigten keine brauchbaren Ergebnisse. Bei den PLS-Modellen zeigte sich, dass die Nahinfrarotspektroskopie genauere Schätzungen der Laborwerte zulässt, als die Mittelinfrarotspektroskopie. Am genauesten ließen sich die Messgrößen oTS, Brennwert und Rohfasergehalt schätzen (siehe Tabelle).

Tabelle 3: Ergebnisse der PLS-Schätzmodelle der spektroskopischen Untersuchung von Substraten und Gärresten

	Brennwert (MJ/kg TS)		oTS (%/TS)		Rohfaser (g/kg TS)	
	MIR	NIR	MIR	NIR	MIR	NIR
R ² _{Kalibrierung}	0,84	0,73	0,87	0,90	0,77	0,89
R ² _{Kreuzvalidierung}	0,50	0,56	0,80	0,86	0,60	0,86
rRMSEcv* [%]	5,8	5,5	5,5	4,5	25	15

* relativer mittlerer quadratischer Fehler

Die Ergebnisse beider spektroskopischer Verfahren waren jedoch zu ungenau, um damit brauchbare Ergebnisse für die Berechnung der Kennzahlen zu erreichen. Es besteht daher kein Vorteil gegenüber den direkt im Labor ermittelten Messwerten.

Als dritter Schwerpunkt wurde untersucht, ob sich aus Titrationskurven von Fermenterproben, welche zur Ermittlung der FOS/TAC-Werte im BMP III aufgenommen wurden, weitere Erkenntnisse über die Inhaltsstoffe dieser Proben ziehen lassen. Dafür wurden wiederum MLR- und PLS-Modelle für die Korrelation zwischen 869 Titrationskurven und Referenzdaten errechnet. Als Referenzdaten wurden die Inhaltsstoffe der Proben, insbesondere organische Säuren und Ammonium-Stickstoff verwendet. Die Modelle waren nicht geeignet um hinreichend genau die Laborparameter aus den Titrationskurven zu schätzen. Ein großes Problem für die Modellbildung war, dass die Konzentrationen der Referenzanalysen (insbesondere organischer Säuren) meist so gering waren, dass diese im Bereich der Bestimmungsgrenze der als Referenzanalysemethode lag. Der Schätzfehler in diesen niedrigen Konzentrationsbereichen ist daher sehr groß. Es wurde aber auch untersucht, ob Zusammenhänge der Titrationskurven mit den Effizienzkennzahlen der Anlagen sichtbar werden. Das war allerdings nicht der Fall. Aus den Ergebnissen lässt sich schlussfolgern, dass unbekannte Fremdeinflüsse die Titrationskurve für eine hinreichend genaue Abschätzung von organischen Säuren zu stark beeinflussen.

- Querschnittsthema - Ökonomie:

Die Auswertung der BZA-Biogas erfolgte im BMP III mit der Anwendung BZA Biogas, welche vom Institut für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) entwickelt wurde mit dem Ziel, anlagenübergreifende vertikale und horizontale Vergleiche von BGA bundesweit zu ermöglichen. Zum genauen Aufbau der Anwendung BZA Biogas und der Methodik der BZA wird auf das Handbuch Betriebszweigabrechnung für Biogasanlagen von Strobl (2011) verwiesen.

Durch die gewonnenen Ergebnisse im Verbundvorhaben Biogas-Messprogramm III wird es Betreibenden von landwirtschaftlichen Biogasanlagen in Deutschland ermöglicht, den aktuellen wirtschaftlichen Status ihrer Biogasanlage ins Verhältnis zu den untersuchten/evaluierten 61 Biogasanlagen zu setzen und zu bewerten (Verweis Broschüre Kap. 6.4). Daraus können z. B. mögliche Kostentreiber der eigenen Anlage identifiziert und Maßnahmen zur Reduzierung der Stromgestehungskosten abgeleitet werden.

Zudem könnten Betreibende motiviert werden, für den Betriebszweig Biogas künftig die Methode der Kosten- und Leistungsrechnung in Form der Betriebszweigabrechnung Biogas für die Bilanzierung des ökonomischen Erfolgs der eigenen Biogasanlage anzuwenden (Verweis Broschüre Kap. 3.5). Dies erlaubt den entsprechenden Betreibenden einen dauerhaften Soll-Ist-Abgleich im Rahmen des innerbetrieblichen Controllings. Dadurch können alle wirtschaftlichen Kennzahlen kontinuierlich erfasst werden, um den wirtschaftlichen Betrieb des Betriebszweigs Biogas zu sichern.

- Zusammenführende Effizienzbewertung

Um das oben genannte übergeordnete Ziel des BMP III erreichen zu können, war zunächst festzulegen, wie der Begriff der Effizienz für das Vorhaben definiert werden sollte. Hierbei galt es zu entscheiden, unter welchen Aspekten (ökonomisch / ökologisch / technisch / biologisch) und auf welcher Basis die „Effizienz“ betrachtet werden soll – denn die entsprechenden Definitionen von Effizienz unterscheiden sich hinsichtlich des Bezugssystems. Während bei der häufig verwendeten ökonomischen Effizienz kostenseitige Aspekte des gesamten Betriebszweiges Biogas betrachtet werden, konzentriert sich beispielsweise die biologische Effizienz auf den Gärprozess im Fermenter. In der öffentlichen Debatte wird die Forderung nach einer höheren Effizienz oft synonym mit einer Kostensenkung verwendet. Die Detailbetrachtung zeigt allerdings, dass die Optimierung von z. B. der biologischen Effizienz nicht zwangsläufig mit einer Verbesserung der Profitabilität einhergeht. – Im Gegenteil kann z. B. eine Verbesserung der energetischen Effizienz durch teurere Komponenten durchaus auch eine Verschlechterung der wirtschaftlichen Effizienz mit sich bringen. Daher sollte stets eine ganzheitliche systemische Betrachtung mit klar definierter Terminologie vorgenommen werden, in welche die verschiedenen Ansätze und die Resultate eingeordnet werden können. Mit dem Gesamtsystem im Blick sollten so möglichst alle relevanten Effizienzbegriffe in die Untersuchungen einbezogen und zueinander in Bezug gesetzt sowie durch einen einheitlichen Bezugsrahmen die Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleistet werden.

2. Verwertung

Das Hauptprodukt des Vorhabens ist die beigelegte Broschüre. Diese richtet sich vordergründig an Praktiker (Biogasanlagenbetreibende, Anlagenplanende, Beratende) und erlaubt Ihnen eine Biogasanlage hinsichtlich der Technik, der Betriebsparameter und der Ökonomie einzuordnen, Optimierungspotentiale zu erkennen und Optimierungen umzusetzen. Dadurch wird eine Weiterentwicklung des deutschen Anlagenbestands hinsichtlich verbesserter Effizienz, verringerter Umweltwirkung und verbesserter Wirtschaftlichkeit erwartet.

Für wissenschaftliche Zwecke sollen die erhobenen Messdaten/Labordaten aller untersuchten Anlagen in einem Datenrepositorium veröffentlicht werden, sodass Dritte den großen Datenbestand für eigene Untersuchungen/Auswertungen nutzen können.

- Veröffentlichung der Labordaten in Datenrepositorium in Vorbereitung

Nächstliegende Schritte zur Weiterentwicklung und Etablierung des Benchmarksystems Biogas im Rahmen von Förderprojekten für die angewandte Forschung und experimentelle Entwicklung sind die folgenden:

- Überarbeitung der Bewertungskriterien (Berechnungsgrundlage und Effizienzklassen) im Benchmarksystem Biogas auf Basis der systematischen Analyse der Ergebnisse aus dem Vergleich der im BMP III angewandten Methoden zur Effizienzbewertung an Biogasanlagen
- Programmierung einer benutzerfreundlichen Beta-Version der Webanwendung „Biogas Doc“ für das Benchmarksystem
- Erprobung der Beta-Version in der Praxis mit einer Gruppe ausgewählter Fachberater.

Bisher ist die Verwertung nur bei einigen Vorträgen erfolgt. Eine wissenschaftliche Veröffentlichung zum Thema Ringversuche der Biogasertragstest ist allerdings eingereicht, ein weiteres ist noch in Bearbeitung. Des Weiteren soll ein Artikel zur Effizienzanalyse verfasst werden. Die Daten werden des Weiteren für Untersuchungen zur Bewertung von Biogasanlagen in China herangezogen. Weitere wissenschaftliche Veröffentlichungen und Vorträge sind möglich und sehr wahrscheinlich (siehe Punkt. 4. Veröffentlichungen).

3. Erkenntnisse von Dritten

Das Vorhaben den deutschen Biogasanlagenbestand abzubilden und die Effizienz und Ökonomie der Anlagen zu ermitteln und zu bewerten ist im Projektzeitraum alleinstehend. Es sind den Zuwendungsempfängern im Zeitraum keine Erkenntnisse Dritter bekannt geworden.

Es gibt/gab ein ähnliches Vorhaben in Dänemark, zu welchem aber bisher kein Bericht vorliegt.

4. Veröffentlichungen

Der größte Teil der Ergebnisse wird in der Broschüre zum BMP III als Print- und Online-Version veröffentlicht. Der Fokus liegt dabei auf der verständlichen Darstellung der Methoden und Ergebnisse für Praktiker. Darüber hinaus wurden und werden von beteiligten Projektpartnern Ergebnisse in wissenschaftlichen Zeitschriften und auf Konferenzen veröffentlicht.

EEK.SH:

Es wurden Ergebnisse der Methodenentwicklung für die energetische Bewertung des Gärprozesses von Biogasanlagen, insbesondere zur Schätzung des Anteils von nicht abbaubaren Lignin, veröffentlicht. Ein Fachartikel zur Korrelation von säurelöslichem Lignin (ADL) und gemessenen Brennwerten wurde im Oktober 2019 im internationalen Fachjournal Biomass and Bioenergy unter dem Titel „Monitoring the efficiency of biogas plants – Correlation between gross calorific value and anaerobically non-degradable organic matter of digestates“ veröffentlicht. Diese Ergebnisse wurden zudem auf der Konferenz „Large Scale Bioenergy Lab 2“ im Rahmen der Messe NutriFair 2019 im Januar 2019 im dänischen Fredericia vorgestellt.

Ein weiterer Fachartikel behandelt die Korrelation von Klason-Lignin und gemessenen Brennwerten in Gärresten und wurde unter dem Titel „Anaerobic Biodegradability of Digestates – Influence of and Correlations for Klason lignin“ im Fachjournal Chemical Engineering Technology im Januar 2020 veröffentlicht (open Access). Über diese Ergebnisse wurde zusätzlich bei der „IV. CMP International conference on Monitoring & Process Control of Anaerobic Digestion Plants“ im März 2019 in Leipzig präsentiert.

Zu den Erkenntnissen des Vergleichs verschiedener Methoden zur Bewertung des Gärprozesses von Biogasanlagen, welche alle im BMP III angewandt wurden, wird mit den Projektpartnern DBFZ und UHH ein weiterer wissenschaftlicher Artikel erarbeitet (noch zu erstellen).

DBFZ:

Am DBFZ wurde im April 2019 ein wissenschaftlicher Artikel zur Thematik „Weiterbetrieb flexibilisierter Praxis-Biogasanlagen – Realisierbare Gebotspreise im EEG 2017“ bzgl. den ökonomischen Aspekten des Vorhabens unter exemplarischer Betrachtung von fünf begleiteten Biogasanlagen in Mitteldeutschland bei dem Journal „Landtechnik –

Agricultural Engineering“ zur Veröffentlichung (Open Access-Veröffentlichung) eingereicht. Der Begutachtungsprozess ist erfolgreich abgeschlossen. Im Frühjahr 2020 wird der Artikel in deutscher und englischer Fassung veröffentlicht.

Ergebnisse aus dem BMP III wurden für Vorträge bei der „28th European Biomass Conference and Exhibition (EUBCE)“ (April 2020, Marseille, Frankreich) und der „International Conference on Sustainable Biowaste Management (SBM 2020)“ (November 2020, Hongkong, China) eingereicht. Die Präsentation auf der EUBCE ist bereits bestätigt, ein SCOPUS-gelisteter Tagungsbandbeitrag (Open Access) ist noch zu erstellen.

LfL:

Bisher keine Veröffentlichung.

UHH:

Es wurden ausgewählte Ergebnisse von den Anlagen aus Baden-Württemberg im Rahmen zweier Vorträge und Poster bei den Biogasinfortagen in Ulm 2018 und 2019 vorgestellt (jeweils Ende Januar).

Auf der III. CMP - International Conference on Monitoring & Process Control of Anaerobic Digestion Plants 2019 wurde zudem ein Poster mit Ergebnissen zu den Restgaspotentialen aus Baden-Württemberg ausgestellt (26 - 27.03.2019).

Weitere Ergebnisse von den Baden-Württembergischen Anlagen bzgl. des Methanpotentials von verschiedenen Arten von Festmist wurden auf der KTBL Tagung „Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven“ 2019 vorgestellt (9.-10.09.2019).

International wurden bereits in einem Poster Teilergebnisse des Ringversuchs auf der “7th International Conference on Sustainable Solid Waste Management“ in Heraklion am 26 - 29.06.2019 vorgestellt.

ANHANG

Teil 1: Energiebilanzierung, Flexibilisierung, Ökonomie (DBFZ)

Ziel und Gegenstand des Teil 1

Die Ziele können den oberen Text unter Punkt I - Ziele entnommen werden.

Bearbeitete Arbeitspakete

Alle Arbeitspakete sind erfolgreich abgeschlossen worden (siehe Tabelle 4).

Wesentliche Ergebnisse des Teil 1

Alle wesentlichen Ergebnisse sind kurz unter den beiden Querschnittsthemen „Energiebilanzierung, Flexibilisierung des Betriebes“ sowie „Ökonomie“ unter Punkt II – Ergebnisse erläutert und können der beigefügten Broschüre detailliert entnommen werden.

1.2 Arbeitspakete und Meilensteine lt. Arbeitsplan DBFZ

Tabelle 4: Arbeitspakete – Teil DBFZ

Arbeitspakete (AP)	Bearbeitungsstand
AP 1 Projektkoordination	Erreicht.
AP 2 Anlagenauswahl, Methodenentwicklung, Festlegung des Vorgehens bei der Messdatenerfassung	Erreicht.
AP 3 Durchführung Messprogramm Phase 1	Erreicht.
AP 4 Durchführung Messprogramm Phase 2	Erreicht.
AP 5 Datenanalyse, Dokumentation, Ergebnisdarstellung, Verwertung der Projektergebnisse	Erreicht.

Tabelle 5: Meilensteine – Teil DBFZ

Meilenstein (M)	Erreichungsstand
M 1: Erfolgreicher Funktionstest der Datenbank	Erreicht: siehe 3. Zwischenbericht
M 2 60 Biogasanlagen akquiriert; Kooperationsverträge (Betreibende) abgeschlossen	Erreicht: siehe 3. Zwischenbericht
M 3: Abschluss der Vorbereitungsarbeiten zur Datenerhebung und Validierung	Erreicht: siehe 3. Zwischenbericht
M 4: Abschluss Datenaufnahme 1. Messphase	Erreicht.
M 5: Abschluss Datenaufnahme 2. Messphase	Erreicht.
M 6: Ergebnispräsentation/Abgabe Abschlussbericht	Erreicht (siehe Broschüre). Korrigierte Datenbank soll zeitnah nach Abschluss des Projektes der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden. Daten dazu liegen vor. Es sind nach Abschluss des Projekts noch Veröffentlichungen vorgesehen.

Teil 2: Repowering (LfL)

Ziel und Gegenstand des Teil 2

Es sollten die im Projekt angewandten, teilweise neu entwickelten Methoden für die Bewertung der Effizienz von Biogasanlagen erprobt und im Hinblick darauf validiert werden, ob diese als Hilfsmittel für die systematische Schwachstellenanalyse an Biogasanlagen und die Beurteilung von Repowering-Maßnahmen geeignet sind.

Bearbeitete Arbeitspakete

Aufbereitung der Prozessdaten von den Biogasanlagen in der Projekt-Datenbank, um diese mit dem „Benchmarksystem Biogas“ im Hinblick auf Schwachstellen in den Verfahrensbereichen Biogasproduktion und Biogasverwertung bewerten zu können.

Anpassung der Web-Anwendung „Biogas Doc“ an die Erfordernisse zur Durchführung des Benchmarkings im BMP III.

Vergleichende Bewertung von 48 der 61 Biogasanlagen mit Diskussion der Ergebnisse.

Anlagen interne Bewertung in zwei Fällen zur Beurteilung der Effektivität von Repowering-Maßnahmen.

Wesentliche Ergebnisse des Teil 2

Insgesamt zeigte sich das Benchmarksystem Biogas als geeignet, Schwachstellen an den Biogasanlagen im BMP III in systematischer Weise zu analysieren. Konkrete Repowering-Maßnahmen konnten im Laufe des Projekts nur in zwei Fällen bewertet werden. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass das Benchmarksystem auch geeignet ist, Repowering-Maßnahmen zielführend zu planen oder bereits erfolgte Maßnahmen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit zu überprüfen.

Es kann damit in der Praxis zum Einsatz kommen, um den Bedarf für Verbesserungsmaßnahmen an Biogasanlagen im Bestand fortlaufend zu evaluieren – vorausgesetzt, die Anlagen verfügen über die notwendige messtechnische Ausstattung zur Ermittlung der zu Grunde liegenden Kennwerte.

Auf dem jetzigen Entwicklungsstand erscheinen folgende Stärken bzw. Schwächen des „Benchmarksystems Biogas“ besonders erwähnenswert.

Stärken:

- Verwendung weniger, gängiger verfahrenstechnischer Kennwerte für Biogasanlagen
- Ungenauigkeiten bei der Bestimmung der Kennwerte wird durch Anwendung von Fuzzy-Mathematik Rechnung getragen
- Stand der Technik ist im System abgebildet und kann entsprechend aktualisiert werden
- Ausprägung von Kennwerten kann bei Bedarf für den Vergleich von Anlagen innerhalb einer Stichprobe spezifisch normiert werden

Schwächen:

- Im Verfahrensbereich Biogasverwertung kann die Flexibilisierung der Stromerzeugung nicht differenziert genug abgebildet werden
- Anspruch an notwendige messtechnische Ausstattung wird in der Praxis nicht von allen Anlagen erfüllt
- Softwaretechnische Umsetzung genügt nicht den Anforderungen an die Benutzerfreundlichkeit für eine generelle Anwendbarkeit in der Praxis

1.3 Arbeitspakete und Meilensteine lt. Arbeitsplan LfL

Tabelle 6: Arbeitspakete – Teil LfL

Arbeitspakete (AP)	Bearbeitungsstand
AP 1 Projektkoordination	Zuständigkeitsbereich des DBFZ (siehe Abschnitt 1.2).
AP 2 Anlagenauswahl, Methodenentwicklung, Festlegung des Vorgehens bei der Messdatenerfassung	Methodenentwicklung mit den im 3. Zwischenbericht dargelegten Einschränkungen abgeschlossen.
AP 5 Datenanalyse, Dokumentation, Ergebnisdarstellung, Verwertung der Projektergebnisse	Erreicht.

Tabelle 7: Meilensteine – Teil LfL

Meilenstein (M)	Erreichungsstand
M 1: Erfolgreicher Funktionstest der Datenbank	Zuständigkeitsbereich des DBFZ (siehe Abschnitt 1.2)
M 2 60 Biogasanlagen akquiriert; Kooperationsverträge (Betreibende) abgeschlossen	Erreicht.
M 3: Abschluss der Vorbereitungsarbeiten zur Datenerhebung und Validierung	Erreicht.
M 4: Abschluss Datenaufnahme 1. Messphase	Erreicht.
M 5: Abschluss Datenaufnahme 2. Messphase	Erreicht.
M 6: Ergebnispräsentation/ Abgabe Abschlussbericht	Erreicht. Korrigierte Datenbank soll zeitnah nach Abschluss des Projektes der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden.

Teil 3: Effizienz des biologischen Prozesses (UHH)

Ziel und Gegenstand des Teil 3

Das Ziel des Querschnittsthemas war einen exakten Vergleich der Biogasanlagen in der Bewertung des Biogasprozesses zu ermöglichen und diesen Vergleich anschließend durchzuführen.

Bearbeitete Arbeitspakete

Es wurden vor der ersten und zweiten Messphase jeweils Ringversuche durchgeführt, die den Vergleich der Ergebnisse ermöglichen sollten.

Die Bilanzgrenzen wurden bei einem Projekttreffen am Unteren Lindenhof der Universität Hohenheim besprochen und festgelegt. Alle Berechnungen und die Probenahme ist dementsprechend erfolgt. Im Projektkonsortium wurde zudem eine Probenahmeverordnung, als auch die Methode einer jeden Bestimmung klar festgelegt.

Die Effizienzanalysen wurden für jede Methode durchgeführt und anschließend detailliert in der Broschüre dargestellt.

Wesentliche Ergebnisse des Teil 3

Die Ergebnisse sind bereits unter Ergebnisse und in der Broschüre dargelegt. Die Ergebnisse der Ringversuche haben deren Wichtigkeit vor Start der Messphase gezeigt.

Die klar definierte Probenahme, klar definierten Methodenvorschriften als auch die klar definierten Bilanzgrenzen sind in der Broschüre dargestellt und können für zukünftige Projekte verwendet werden. Ein Vergleich auf Basis der Daten ist möglich.

Die Effizienzanalysen offenbaren klare Schwächen. Ursache dafür sind in der Broschüre und unter Ergebnisse dargelegt.

1.4 Arbeitspakete und Meilensteine lt. Arbeitsplan UHH

Tabelle 8: Arbeitspakete – Teil UHH

Arbeitspakete (AP)	Bearbeitungsstand
AP 1 Projektkoordination	Verantwortung DBFZ
AP 2 Anlagenauswahl, Methodenentwicklung, Festlegung des Vorgehens bei der Messdatenerfassung	Anlagenauswahl, Festlegung des Vorgehens bei der Messdatenerfassung ist abgeschlossen (siehe letzten Zwischenberichte). Methode zur Effizienzberechnung HBT muss noch erstellt werden. Wird für die Erstellung der Broschüre/Endbericht, sowie für ein geplantes Paper in den kommenden Monaten geschrieben.
AP 3 Durchführung Messprogramm Phase 1	Ist vollständig abgeschlossen. Kompletter Datensatz in Datenbank vorhanden
AP 4 Durchführung Messprogramm Phase 2	Ist vollständig abgeschlossen. Kompletter Datensatz in Datenbank vorhanden
AP 5 Datenanalyse, Dokumentation, Ergebnisdarstellung, Verwertung der Projektergebnisse	Erreicht (siehe Broschüre). Datenbank soll zeitnah nach Abschluss des Projektes der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden. Daten dazu liegen vor. Es sind nach Abschluss des Projekts noch Veröffentlichungen vorgesehen.

Tabelle 9: Meilensteine – Teil UHH

Meilenstein (M)	Erreichungsstand
M 1: Erfolgreicher Funktionstest der Datenbank	Ist erfolgt. Siehe DBFZ
M 2 60 Biogasanlagen akquiriert; Kooperationsverträge (Betreibende) abgeschlossen	Dieser Meilenstein wurde erreicht. Siehe alte Zwischenberichte
M 3: Abschluss der Vorbereitungsarbeiten zur Datenerhebung und Validierung	Dieser Meilenstein wurde erreicht. Siehe alte Zwischenberichte
M 4: Abschluss Datenaufnahme 1. Messphase	Dieser Meilenstein wurde erreicht. Siehe alte Zwischenberichte
M 5: Abschluss Datenaufnahme 2. Messphase	Dieser Meilenstein wurde erreicht. Siehe alte Zwischenberichte
M 6: Ergebnispräsentation/Abgabe Abschlussbericht	Ist erreicht (siehe Bericht hier und „Broschüre“)

Teil 4: Neue Methoden der Prozessbewertung (EEK.SH)

Ziel und Gegenstand des Teil 4

Die Ziele dieses Teilvorhabens decken sich fast vollständig mit den unter *Punkt 1 - Ziele* genannten Zielen des Gesamtvorhabens, wobei zur Zielerreichung 15 der 61 untersuchten Biogasanlagen von EEK.SH untersucht wurden. Darüber hinaus gab es individuelle Ziel als Querschnittsthema im Unterarbeitspaket 2.3 „Entwicklung methodischer und messtechnischer Grundlagen“

Ziel des Querschnittsthemas „Neue Methoden zur Prozessbewertung“ war es neue Analysemethoden zu testen, zu validieren und anzuwenden, um eine präzise Beschreibung des Gärprozesses von Biogasanlagen zu ermöglichen. Konkret sollte der Gärprozess von Biogasanlagen auf Basis von kalorimetrischen Analysen von Substraten und Gärresten bewertet werden. Zusätzlich sollte geprüft werden, ob der Gärprozess mittels hochaufgelöster Titrationskurven und mit Hilfe von Infrarotspektroskopie charakterisiert werden kann und Rückschlüsse auf mikrobielle Stoffwechselprodukte in Fermenterproben möglich sind.

Bearbeitete Arbeitspakete

Es wurden alle, in der Vorhabenbeschreibung genannten, Arbeitspakete abschließend bearbeitet (siehe Auflistung unten).

Wesentliche Ergebnisse des Teil 4

Die Ergebnisse des Vorhabens sind in der Broschüre des Projekts ausführlich dargestellt.

Für die Bewertung des Gärprozesses von Biogasanlagen wurden auf Basis kalorimetrischer Messungen von Substraten und Gärresten und mit Hilfe von Energiebilanzen neue Kennzahlen entwickelt. Die Kennzahl anaerob energetische Ausbeute (AEA) erlaubt die stofflich/energetische Bewertung der Effizienz der Substratausbeutung, wobei die stoffliche Zugänglichkeit, d. h. die physikalische Struktur der Komponenten nicht abgebildet werden kann. In Abgrenzung zu bestehenden Methoden lässt sich aber das noch erschließbare Potential bestimmen – der mögliche Grad der Verbesserung ist also bestimmbar. Mit Hilfe der Energiebilanzierung des Gärprozesses war es außerdem möglich die Plausibilität von Messdaten zu prüfen und somit Fehler zu identifizieren.

Die chemometrische Analyse von 869 Titrationskurven, welche für die FOS/TAC- Bestimmung aufgenommen wurden, brachte keine Modelle hervor, welche eine präzise Berechnung der chromatografisch bestimmten Referenzanalysewerte ermöglichte. Ähnliches zeigte sich auch für die infrarotspektroskopische Untersuchung von Fermenterproben. Ein wesentliches Problem bei der Kalibrierung der Modelle war, dass die Konzentrationen der interessanten Analyten meist sehr gering war (im Bereich der Bestimmungsgrenze der Referenzanalysemethode). Die wenigen Proben mit höheren Konzentrationen stabilisieren mathematisch die Kalibrierung der Modelle – die Vorhersagegenauigkeit im häufig vorkommenden unteren Konzentrationsbereich war aber unzureichend.

Die infrarotspektroskopische Untersuchung von Substraten und Gärrest brachte etwas besser Ergebnisse, als die Untersuchung der Fermenterproben. Insgesamt reichte die Vorhersagegenauigkeit aber auch hier nicht aus, um diese Untersuchungsverfahren für den praktischen Einsatz zu empfehlen. Etablierte Labormethoden liefern hier immer noch deutlich genauere Ergebnisse.

1.1 Arbeitspakete und Meilensteine lt. Arbeitsplan EEK.SH (ehemals Cebio)

Tabelle 10: Arbeitspakete – Teil EEK.SH

Arbeitspakete (AP)	Bearbeitungsstand
AP 1 Projektkoordination	Liegt im Aufgabenbereich des DBFZ; Teilnahme an Projekttreffen und Telefonkonferenzen zur Abstimmung mit den Partnern
AP 2 Anlagenauswahl, Methodenentwicklung, Festlegung des Vorgehens bei der Messdatenerfassung	Abgeschlossen. Es wurden 15 Biogasanlagen und hiervon eine Biomethananlage zur Untersuchung ausgewählt. Das Vorgehen für die Messdatenaufnahme ist abschließend geklärt.
AP 3 Durchführung Messprogramm Phase 1	Abgeschlossen. Kompletter Datensatz in Datenbank vorhanden
AP 4 Durchführung Messprogramm Phase 2	Abgeschlossen. Kompletter Datensatz in Datenbank vorhanden
AP 5 Datenanalyse, Dokumentation, Ergebnisdarstellung, Verwertung der Projektergebnisse	Abgeschlossen. Die aufgenommenen Daten und Ergebnisse der Datenanalyse sind in der Broschüre dokumentiert und erklärt. Die Broschüre stellt das Hauptprodukt des Projekts dar. Die Verwertung der Erkenntnisse daraus erfolgt durch den Leser.

Tabelle 11: Meilensteine – Teil EEK.SH

Meilenstein (M)	Erreichungsstand
M 1: Erfolgreicher Funktionstest der Datenbank	Erreicht. Liegt im Aufgabenbereich der DBFZ.
M 2 60 Biogasanlagen akquiriert; Kooperationsverträge (Betreibende) abgeschlossen	Erreicht.
M 3: Abschluss der Vorbereitungsarbeiten zur Datenerhebung und Validierung	Erreicht.
M 4: Abschluss Datenaufnahme 1. Messphase	Erreicht.
M 5: Abschluss Datenaufnahme 2. Messphase	Erreicht.
M 6: Ergebnispräsentation/Abgabe Abschlussbericht	Erreicht (siehe Broschüre). Korrigierte Datenbank soll zeitnah nach Abschluss des Projektes der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden. Daten dazu liegen vor. Es sind nach Abschluss des Projekts noch Veröffentlichungen vorgesehen.