

Toolbasierte Wirtschaftlichkeitsanalyse von Biogas Nutzungsszenarien

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades „Master of Science (M. Sc.)“
im Studiengang Wirtschaftsingenieur der Fakultät für Elektrotechnik und Informatik,
Fakultät für Maschinenbau und der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät
der Leibniz Universität Hannover

vorgelegt von

Name: Meyer



Vorname: Lynn



Prüfer: Prof. Dr. Michael H. Breitner

Hannover, den 01.04.2019

Inhaltsverzeichnis

Abstract	I
Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	IX
Abkürzungsverzeichnis	XI
1. Einleitung.....	1
1.1..... Relevanz der Thematik und Forschungshintergrund.....	1
1.2..... Methodik und Vorgehen der Ausarbeitung	2
1.3..... Historie der Biogasbranche sowie Grundlagen der Biogasanlagentechnik und des Betriebs.....	2
2. Rechtliche Rahmenbedingungen für die Erzeugung von Biogas und den Betrieb von Biogasanlagen	14
2.1..... Gesetzliche Grundlagen zur Biogaserzeugung – Rahmenbedingungen und Voraussetzungen	14
2.2..... Das Erneuerbare - Energien – Gesetz (EEG): Vergütungs- und Bonisystem für die Stromerzeugung aus Biogas	15
2.3..... Das Erneuerbare-Energien-Wärme Gesetz (EEWärmeG) und das Kraft-Wärme-Kopplung - Gesetz(KWKKG): Förderung und Richtlinien für die Wärmerzeugung aus Biogas.....	18
2.4..... Die Neuauflage der europäischen Erneuerbaren-Energien-Richtlinie: Renewable-Energy- Directive II (RED II)	19
2.5..... Alternative zur EEG- Vergütung in der EE-Stromvermarktung: die Direktvermarktung....	20
2.6..... Flexibilität und Regelenergie – Bedarfsgerechte Energieerzeugung aus Biogas	23
2.7..... Ausschreibungsverfahren für Neu –und Bestandsanlagen im EEG 2017 – aktueller Rahmen und Zukunft für Biogaserzeuger	26
2.8..... Gesetzgebung und Richtlinien zur Biogasaufbereitung und die Einspeisung in das Erdgasnetz	28
3. Chancen, Herausforderungen und der Einfluss der Gesellschaft auf die Biogas - Branche.....	30
3.1..... Problematik oder Herausforderung – Das Auslaufen des EEG.....	30
3.2..... Erneuerbare Energien - Kritikpunkte, Anregungen und Sorgen der Gesellschaft.....	31
4. Die Technologie- und die Betriebsoptionen von Biogasanlagen in der Biogaserzeugung und energetischen Wertschöpfung	35
4.1..... Biogas im Strom-und Wärmemarkt der Erneuerbaren Energien.....	35
4.1.1.... Energetische Ausrichtung des BHKW	38

4.1.2....	Stromvermarktung: Netzzugang und Markt.....	38
4.1.3....	Sektorenkopplung – Verbindung von Strom, Wärme und Mobilität als Zukunftskonzept.....	39
4.2.....	Biogasaufbereitung zu Biomethan – Vermarktung als klimaneutraler Erdgasersatz.....	41
4.2.1....	Elementare Zusammensetzung von Biogas im Grundzustand und Anforderungen zur Einspeisbarkeit.....	44
4.2.2....	Verfahren zur Biogasaufbereitung auf Erdgasqualität.....	46
4.2.2.1.	Druckwechseladsorption (DWA/PSA).....	48
4.2.2.2.	Druckwasserwäsche (DWW).....	49
4.2.2.3.	Aminwäsche.....	51
4.2.2.4.	Membrantrennverfahren.....	52
4.2.2.5.	Kryogene Gastrennung.....	54
4.2.3....	Vergleich der Aufbereitungsverfahren und Erläuterung Auswahlkriterien.....	54
4.2.4....	Einspeisung und Vermarktung.....	56
4.2.4.1.	Biomethan in der Kraft-Wärme-Kopplung.....	58
4.2.4.2.	Einspeisung als Beimischprodukt zur thermischen Nutzung als Erdgasäquivalent.....	59
4.2.4.3.	Nutzung von Biomethan als Treibstoff im Verkehrssektor.....	59
4.2.4.4.	Stofflicher Einsatz in der Chemieindustrie zur Produktion von synthetischen Gasen.....	60
4.2.5....	Integration der Aufbereitungsanlage in eine bestehende Biogasproduktion.....	60
4.3.....	Teilnahme an der bedarfsgerechten Stromproduktion aus Biogas durch flexibilisierte Biogasanlagen.....	61
4.3.1....	Technische Umsetzung der Flexibilisierung.....	62
4.3.2....	Rechtlicher Rahmen für flexibilisierte Einspeisung von Strom aus Biogasanlagen.....	64
4.3.3....	Vermarktung flexibler Energie durch Fahrplanmanagement.....	65
4.4.....	Verflüssigtes Biomethan: Bio-Liquid Natural Gas (Bio-LNG) – ein zukunftsweisender EE - Antrieb für den Verkehrssektor.....	67
4.4.1....	Biomethan als Kraftstoff in Form von Bio-Liquified-Natural-Gas(Bio-LNG) oder Bio- Compressed-Natural-Gas (Bio-CNG).....	69
5.	Betriebswirtschaftliche Betrachtung der Nutzungsmöglichkeiten von Biogas und dessen Vermarktung.....	71
5.1.....	Kostenparameter in Bau und Betrieb der Biogaserzeugung.....	71
5.2.....	Finanzielle Aspekte der Strom und Wärmeerzeugung.....	74
5.2.1....	Wärmesenken.....	76
5.3.....	Biomethanaufbereitung – Faktoren der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	77
5.3.1....	Investitionsbedarf in die Aufbereitungsanlage.....	78
5.3.2....	Betriebskosten der Aufbereitung und Einspeisung.....	79
5.3.3....	Netzausspeisung und Vermarktung.....	81
5.4.....	Flexibilisierung – Investition und kostenseitige Veränderungen im Betrieb.....	82
5.4.1....	Regelenergieangebot.....	84

6. Wirtschaftlichkeitsanalyse mit Excel	84
6.1..... Methodisches Vorgehen	85
6.2..... Elemente und Funktionsweise des Tools	87
6.3..... Datenerhebung	88
6.4..... Erläuterung des Tools.....	88
6.4.1. Energiemengen und Leistungsberechnung	89
6.4.2. Kostenberechnung.....	92
6.4.3. Erlösberechnung	95
6.4.4. Investitionsrechnung, Ergebnisdarstellung und Auswertung.....	96
7. Einzelfallstudie: Agro Energie Bierde GmbH & Co. KG	97
7.1..... Betrieb und Technologie	98
7.2..... Kosten- und Erlösstruktur der Bestandsanlage.....	100
7.3..... Substrateinsatz – Abfallvergärung	101
7.4..... Ausbaupläne und Investitionsmaßnahmen	102
7.5..... Wirtschaftlichkeitsanalyse.....	103
7.6..... Ergebnisse und Erkenntnisse.....	105
8. Diskussion, Implikationen und Handlungsempfehlungen	110
9. Limitationen	112
10. Fazit und Ausblick	113
Literaturverzeichnis	115
Anhang.....	VIII
A : Eingabemaske I Wirtschaftlichkeitsanalyse Tool Bestandsanlage.....	VIII
B : Eingabemaske Neuanlage Wirtschaftlichkeitsanalyse Tool	IX
C: Ergebnisse: Ausbau Wärmenutzung und Flexibilisierung Bestandsanlage.....	X
D : Flexibilisierung Bestandsanlage und Installation Druckwasserwäsche	XIII
E: Flexibilisierung Bestandsanlage und Installation Druckwechseladsorption.....	XVI
F: Flexibilisierung Bestandsanlage und Installation Aminwäsche.....	XIX
G : Installation Druckwasserwäsche ohne KWK – außerhalb des EEG	XXII
H : Installation Druckwechseladsorption ohne KWK(EEG).....	XXV
I : Installation Aminwäsche ohne KWK (EEG).....	XXVIII
J : Motorenkennzahlen und Lagerräume Agro Energie Bierde GmbH & Co. KG	XXXI
K: Entwicklung Reparaturkosten, Arbeitskreis Biogas, Landwirtschaftskammer Niedersachsen 2017.....	XXXII

L: Schematische Darstellung Betriebsübersicht Agro Energie Bierde GmbH & Co KG	XXXIII
M: Schematische Darstellung des Potentials von Biogas	XXXIV
Ehrenwörtliche Erklärung.....	XXXV

1. Einleitung

1.1. Relevanz der Thematik und Forschungshintergrund

Die Natur und das Klima fordern eine Änderung unseres Energienutzungsverhaltens, die Konsequenzen unseres jahrhundertelangen Handelns sind nicht mehr zu leugnen. Es ist allgegenwärtig und wird in heutigen Tagen bereits von der Generation propagiert, die davon ausgeht bereits in fünfzig Jahren die Konsequenzen des heutigen Fehlverhaltens tragen zu müssen. Damit wird deutlich wie kurz die zeitlichen Abstände geworden sind, in denen Auswirkungen des Klimawandels und der Ressourcenverschwendung spürbar werden.

Es handelt sich um ein globales Problem und gleichzeitig eine Herausforderung, der sich die Technik, Wirtschaft, Politik und die Menschen selbst stellen, um unsere Ressourcennutzung zu optimieren und Substitute zu erschaffen, um die Endlichkeit von Rohstoffen zu umgehen. Diese globale Herausforderung erfordert ein Handeln auf lokaler Ebene. Daher bildet die Branche der Erneuerbaren Energien in Deutschland ein Beispiel dafür, was technischer Fortschritt erwirken kann, um fossile Rohstoffe zu ersetzen und neue Energiequellen zu schaffen, um Treibhausgasemissionen stark zu vermindern. Die Politik hat über Jahrzehnte Förderungen der Erneuerbaren Energien durch staatliche Subventionen gesteigert und ist jetzt dabei Förderungen zu mindern, um marktfähige erneuerbare Energien zu erzeugen.

Die auslaufenden staatlichen Förderprogramme für Investitionen in die Biogasbranche neigen sich für einige Biogasanlagenbetreiber dem Ende der zwanzigjährigen Festvergütungsdauer. Daher besteht aus betriebswirtschaftlicher Sicht die Notwendigkeit einer Analyse weiterer Nutzungsmöglichkeiten von Biogas. Die Produktion von Biogas, als erneuerbare Ressource, findet ausschließlich in Biogasanlagen statt. Aus diesem Grund betrachtet diese Ausarbeitung die betriebswirtschaftlichen Vermarktungs- und Veredelungsstrategien, die in Biogasanlagen umgesetzt werden können. Die Umsetzung einer Nutzungsänderung einer bestehenden ebenso einer neuen Biogasanlage bedarf einer ausführlichen Berechnung aller einflussnehmenden wirtschaftlichen Analyse auf Kosten- und Erlösseite, um ein solches Projekt sinnvoll umsetzen zu können. In der vorliegenden Ausarbeitung wird dazu in definiertem Rahmen ein Excel-basiertes Tool zur Wirtschaftlichkeitsanalyse der unterschiedlichen Nutzungsmöglichkeiten entwickelt und vorgestellt. Dieses Tool dient der Bewertung von Biogasnutzungsszenarien für zukünftige Unternehmensausrichtungen im Bereich Biogas.

Der Schwerpunkt dieser Thesis liegt in einer vergleichenden Analyse von betriebswirtschaftlichen Parametern der Biogasnutzungsszenarien. Als realer Untersuchungsgegenstand dient eine ausführliche Einzelfallstudie zu der Biogasanlage, Agro Energie Bierde GmbH & Co. KG. Es stellt sich die Frage, ob eine Nutzungsumstellung der Biogasanlage vom jetzigen Stand der Einspeisung von Strom auf andere, ergänzende oder eine erweiterte Nutzungsmöglichkeit des Einsatzstoffs Biogas als wirtschaftlich sinnvoll einzuschätzen ist.

1.2. Methodik und Vorgehen der Ausarbeitung

Die Einleitung dieser Ausarbeitung führt mit dem folgenden Unterkapitel in das Thema Biogas und dessen Erzeugung ein. Beginnend mit einem Einblick in die Historie und Entwicklung der Biogas Branche im vergangenen Jahrhundert, schließt sich der heutige Stand der Technik und der Ablauf der Biogaserzeugung in der Erläuterung an. Weiterführend werden die rechtlichen Rahmenbedingungen sowie die Haltung der Gesellschaft in Bezug auf Biogas dargestellt. Aus politischen Entscheidungen und gesetzlichen Rahmenbedingungen zeichnen sich Chancen und Risiken für die Betreiber von Biogasanlagen in der Zukunft ab, diese werden innerhalb der Ausarbeitung fortlaufend akzentuiert.

Das unternehmerische Denken für nachhaltige und von Rentabilität gezeichnete Projekte sowie die stetige Weiterentwicklung forcieren das Eruiere neuer Betriebsmöglichkeiten und ermöglichen eine Datengrundlage für zukunftsweisende Techniken. Im Hauptteil der Arbeit wird sich daher mit der Erläuterung von alternativen Nutzungsmöglichkeiten und deren Ausführungsformen sowie entsprechenden technischen und betriebswirtschaftlichen Kennzahlen auseinandergesetzt. Nach der funktionalen und technischen Erläuterung der betrachteten Nutzungsszenarien werden diese in Kapitel fünf auf ihre betriebswirtschaftlichen Parameter und die Vermarktung hin beleuchtet.

In Kapitel sechs folgt der Kern dieser Ausarbeitung, die Wirtschaftlichkeitsanalyse – Tool auf der Grundlage von Excel VBA. In diesem Kapitel werden die Grundlagen, die verwendete Methode der Wirtschaftlichkeitsberechnung, der Aufbau und Ablauf sowie die Interpretation der Ergebnisse dargestellt.

Die Beantwortung der Forschungsfrage wird unter Anwendung des Tools an der Einzelfallstudie der Agro Energie Bierde GmbH & Co. KG. dargestellt. Diese Bestandsanlage wird in Kapitel sieben bezüglich seines Betriebs, seiner Technologie und seiner Kennzahlen vorgestellt. Nach der Anwendung des Tools werden die Ergebnisse der Investitionsrechnungen zu verschiedenen Biogasnutzungsszenarien erläutert und analysiert. Abschließend werden aus der Analyse Handlungsempfehlungen für Betreiber und Schlussfolgerungen für die zukünftige Nutzung von Biogas im Gesamtkontext abgeleitet.

Die anschließenden Limitationen weisen auf die Ausbaumöglichkeiten des Tools und potentielle tiefergehende und weitreichendere Forschungsansätze zum betrachteten Thema hin. Abschließend wird im letzten Kapitel ein Fazit der Ausarbeitung gezogen und ein Ausblick gegeben, wie sich die zukünftige Nutzung von Biogas auf Grundlage der hier erarbeiteten wissenschaftlichen Ergebnisse entwickeln könnte.

1.3. Historie der Biogasbranche sowie Grundlagen der Biogasanlagentechnik und des Betriebs

Die ersten Untersuchungen an natürlich entstandenem Biogas wurden bereits vor mehr als 200 Jahren von dem italienischen Physiker Alessandro Volta durchgeführt. Er untersuchte 1776 erstmals ein brennbares Gas, das im Sediment des Lago di Como¹, einem See in der

¹ Vgl. Lago di Como.

Lombardei, aufstieg. Seine Forschung wurde von vielen bekannten Wissenschaftlern wie Davy und Dalton nachvollzogen, doch erst durch die im Jahr 1821 von Avogadro entdeckte chemische Formel für Methan (CH_4) kam ein entscheidender Beitrag für den Fortschritt der Biogasforschung.² Bereits 1859 entstand in Bombay die erste Biogasanlage im großtechnischen Maßstab, auch heute ist Indien noch sehr stark in der Biogasgewinnung. Auf der Grundlage von Alessandro Volta erkannten die Wissenschaftler Bechamp, Popoff, Tappeneiner, Hoppe-Seyler, Sohngen und Omelianski, dass die Methanbildung einen mikrobiellen Ursprung besitzt.³ Erst deutlich später, Ende des 19. Jahrhunderts, kam ein weiterer bedeutender Schritt, denn dort wurde der Vorgang der anaeroben Vergärung eingesetzt, um Abwasser zu klären. Dadurch entstanden ab 1906 im Ruhrgebiet Abwasserreinigungsanlagen mit erstmalig erbauten beheizten Fermentern und stellten damit erstmalig eine heutige Biogasanlage im Grundbau da. Diese fokussierten sich vorerst nicht auf die Biogasgewinnung, sondern sorgten im ersten Schritt für Abfallverringerung, doch auch dieser Entwicklungsschritt brachte einen weiteren Meilenstein. Erst ab dem Jahr 1922 wurde das Biogas, das bei der Vergärung entstand, abgefangen und als erste Nutzungsstufe in das städtische Gasnetz eingespeist. Daraus resultierte, dass Biogas bereits zu diesem Zeitpunkt, neben der Erzeugung von Licht, ebenfalls als Kraftstoff für den Mobilitätssektor eingesetzt wurde und einige deutsche Städte bis 1937 ihren Fuhrpark auf Biogas umgestellt hatten. Die Müllabfuhr der Stadt Zürich betrieb ihre Fahrzeuge sogar bis zur Erdölkrise 1973 mit Biogas.

Die Pionierversuche der reinen Biogaserzeugung wurden somit im Bereich der Abwasserentsorgung begonnen, erst in den späten 30iger Jahren wurden erste Tests mit Festmist und Gülle gemacht.⁴ Dies gilt als die erste richtige Entwicklungsphase der industriellen Biogasgewinnung, in der damals circa 50 Anlagen entstanden. Dessen Förderung wurde aufgrund des günstigen Erdöls ab 1955, bedingt durch die Erdölschwemme bis zum Jahr 1973, langsam wieder eingestellt. Außerdem kam es zu einem gesteigerten Einsatz von Mineraldünger, beide Aspekte führten zur Stilllegung eines Großteils der Biogasanlagen. Die zweite Phase der Biogastechnikentwicklung beginnt mit der Energiekrise 1973, die für einen kurzfristigen Aufschwung und erneute Aktualität der Biogastechnik sorgte, doch die abermals fallenden Mineralölpreise bremsten diesen Trend wieder. Die verbesserten Bedingungen für Biogasanlagen im Jahr 1990 und das neue Stromeinspeisegesetz 1994 lösten die dritte und derzeit noch aktuelle Biogas-Bewegung aus. Die Verbesserungen zeigten sich in der Zunahme der Fachkompetenz, der verbesserten Motorentechnik, den Kosteneinsparungen beim Anlagenbau, dem Anstieg an Kofermentation (Verarbeitung von industriellen Reststoffen) und durch die größere Aufmerksamkeit für umweltrelevante Themen und Gesichtspunkte in der Landwirtschaft.⁵

Aus internationaler Sicht ist die Entwicklung der Biogastechnik in Europa erst sehr spät, genauer in den letzten 15 Jahren, in das Bewusstsein der Unternehmer und Bevölkerung gerückt. Dagegen hat Indien bereits seit Ende des 19. Jahrhunderts auf Biogas zur

² Vgl. methaniseur.com 2015a.

³ Vgl. W. E. Balch, G. E. Fox, L. J. Magrum, C. R. Woese, R. S. Wolfe 1979.

⁴ Vgl. methaniseur.com 2015a.

⁵ Vgl. Dipl.-Ing. agr. Kerstin Jäkel 2017.

Energieversorgung gesetzt und in anderen Ländern wie Südkorea, Taiwan, Malaysia und dem anteilsstärksten Land China werden und wurden stets kleine Anlagen zur privaten Energieversorgung gebaut. China bildet mit seinen mehr als 40 Millionen Haushaltsanlagen derzeit den quantitativ stärksten Anbieter von Biogasanlagen. Ein zusätzlicher Effekt ist, dass die Nutzung von Biogas für Koch- und Heizzwecke in diesen Regionen der Abholzung entgegenwirkt und damit Ressourcen schont.⁶

Die Schonung endlicher Ressourcen zur Energieerzeugung ist ein großer Triebfaktor für die Förderung von Biogastechnik, da Biogas im Vergleich mit fossilen Energieträgern deutlich weniger Emissionen verursacht. Allerdings spielt der Faktor Transport und Flächenverfügbarkeit in der Betrachtung von klimaschonender Energieerzeugung eine bedeutende Rolle.⁷ Die Ökobilanz vereint wichtige Parameter zur Beurteilung eines Energieträgers im Kontext der nachhaltigen Energieerzeugung.

Die Entstehung von Biogas geschieht durch die Vergärung von Biomasse, einem Substrat in feuchter Umgebung und in Behältern unter Luftabschluss, den Fermentern. Der biochemische Vorgang in einer Biogasanlage beinhaltet demnach den anaeroben Abbau von Biomasse. Das entstehende Biogas besteht im Hauptanteil aus Methan (50-75 %), aus Kohlendioxid (25-45 %) sowie geringen Anteilen von Wasser (2-7%), Schwefelwasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Ammoniak, Wasserstoff und weiteren Spurengasen. Im Vergärungsprozess ist ein gewisser Anteil an Wasser notwendig, damit das anteilmäßig stärkste Gas, Methan, überhaupt entstehen kann.⁸ Dieser Prozess verläuft mithilfe vieler verschiedener Arten von Mikroorganismen, deren Vorkommen und Mengenanteile von der Art des Substrats, dem pH-Wert, der Temperatur und dem Ablauf der Vergärung abhängig sind. Die Unterschiedlichkeit der Mikroorganismen impliziert auch verschiedene Stoffwechseleigenschaften, was es ermöglicht, dass fast alle organischen Stoffe von ihnen abgebaut werden können. Faserartige Anteile aus Cellulose und verholzte Anteile aus Lignocellulose sind schwierig abbaubar.

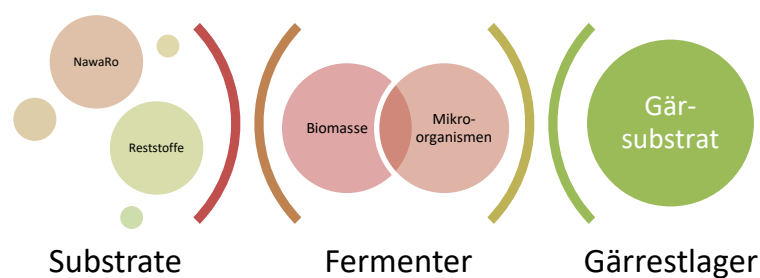


Abbildung 1 : Prozess der Biogasentstehung (eigene Darstellung)

Biogas ist ein Faulgas, welches bei anaerober Vergärung von organischem Material in vier Schritten entsteht. Dieser Abbauprozess wird schematisch in aufeinanderfolgenden biochemischen Einzelprozessen dargestellt: der Hydrolyse, der Acidogenese, der Acetogenese und der Methanogenese. Es wird davon ausgegangen, dass polymere Substrate und Lipide

⁶ Vgl. methaniseur.com 2015a.

⁷ Vgl. Prof. Dr. Rolf Kreibich, David Hofmann, Volker Handke, Dr. Michael Scharp 2013.

⁸ Vgl. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe.

dem Vergärungsprozess als Ausgangsmaterial dienen. Im ersten Schritt, der Hydrolyse, scheiden die Mikroorganismen verschiedene Arten von Exoenzymen aus, da sie Kohlenhydrate, Proteine und Fette nicht direkt in die Zelle aufnehmen können. Sie hydrolysieren die Makromoleküle in ihre löslichen Oligomere und Monomere. Im Detail bedeutet es, dass beispielsweise Kohlenhydrate wie Stärke in Oligo- und Monosaccharide (Einfach- und Mehrfachzucker), Proteine zu Peptiden oder Aminosäuren und Fette in ihre Bestandteile, Fettsäuren und Glycerin, zerlegt werden.⁹ Langkettige Stoffe, polymere Substrate, werden in kürzere Bruchstücke zerlegt.¹⁰

Der zweite Prozessschritt wird als Versäuerung bezeichnet. An dieser Stelle nehmen fermentative Mikroorganismen die Zwischenprodukte aus der ersten Phase auf, binden sie in ihren Stoffwechsel ein und als Endprodukt werden hauptsächlich kurzkettige Fettsäuren gebildet, außerdem entsteht in Teilen noch Milchsäure, Alkohole, Wasserstoff und Kohlendioxid.

In der Acetogenese oder auch Essig bildenden Phase werden niedere Fett- und Carbonsäuren sowie niedere Alkohole durch acetogene Mikroorganismen zu Acetat (Essigsäure), Wasserstoff und Kohlendioxid umgesetzt.

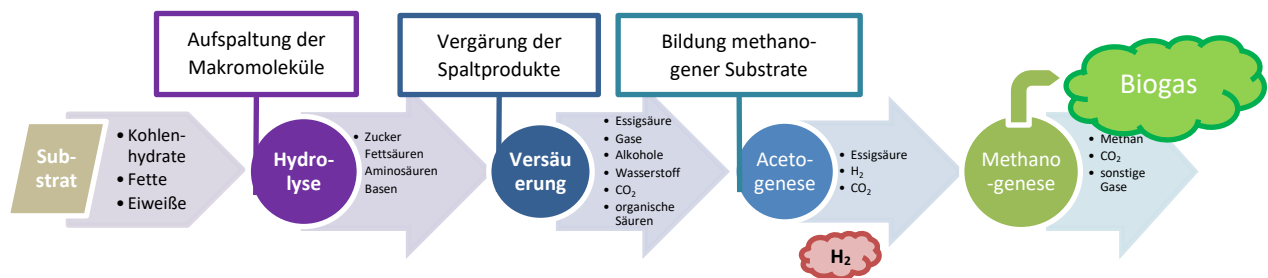


Abbildung 2: Die vier Phasen der Substratvergärung und Biogasentstehung (in Anlehnung an (Roman Lugmayr 2010); (Nahwärme Rauschenberg))

Der letzte Prozessschritt ist die Methanogenese, die Phase der Methanbildung. Es bestehen zwei Möglichkeiten, wie in dieser Phase rein durch die Arbeit anaerober Bakterien, Methan entsteht. Die nun vorhandene Essigsäure wird durch acetoklastische Methanbildner in Methan (CH₄) und Kohlenstoffdioxid (CO₂) gespalten. Alternativ dazu wird vorwiegend in landwirtschaftlichen Biogasanlagen, in denen Gülle und Festmist als Substrat verwendet wird, etwa 30 Prozent des Methans aus Wasserstoff (H₂) und Kohlenstoffdioxid gewonnen. Beide Edukte sind Zwischenprodukte der vorherig abgelaufenen Acetogenese. Beide Vorgänge laufen nicht zwingend parallel zueinander ab, sondern oftmals findet die Spaltung der Essigsäure, acetoklastische Methanogenese, als Vorstufe der hydrogenotrophen Methanogenese statt. Die beiden Alternativen sind jeweils an unterschiedliche Ausprägungen der Umgebungsparameter Raumbelastung, Verweilzeit und Temperatur gebunden. Liegt eine geringe Raumbelastung beziehungsweise längere Verweilzeit und geringere Temperatur vor, so findet die Methanbildung in nennenswertem Maß über die Essigsäurespaltung statt,

⁹ Vgl. methaniseur.com 2015b.

¹⁰ Vgl. Nahwärme Rauschenberg.

ansonsten anders herum.¹¹ Eine optimale Arbeitstemperatur für die Bakterienstämme liegt zwischen 37 °C und 55 °C.

Das entstandene Methan bildet den Hauptenergieträger im Biogas, der energetische Nutzen eines Kubikmeters Biogas liegt bei circa sechs Kilowattstunden (kWh), vorausgesetzt der Methananteil liegt bei 60 Prozent. Damit liegt der durchschnittliche Heizwert eines Kubikmeters Biogas bei 0,6 Liter Heizöl. Dies zeigt auf, dass der Methangehalt im Biogas ausschlaggebend für die Strom- und Wärmeerzeugung mit Biogas ist.¹²

Biogasanlagen werden in Abhängigkeit vieler äußerer Einflussfaktoren geplant und gebaut, daher unterscheiden sich real erbaute Anlagen oftmals stark im Detail. Generell ist Biogasanlagen jedoch ein funktionelles Basisschema zugrunde zu legen, beginnend damit, dass es eine Zufuhr von Substraten geben muss. Diese können Abfälle der Viehzucht sein, organische Reststoffe aus der Industrie oder Energiepflanzen aus dem Ackerbau. Diese Futtermittel für die Bakterien der Biogasanlage müssen nicht nur entsprechend Ihres Aggregatzustands, sondern auch herrschender Hygienestandards geliefert und bei Bedarf gelagert werden. Im Fall des Betriebs mit nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo) aus dem Ackerbau dient der Lagerung meist ein Fahrsilo, im Falle von Viehzucht Reststoffen ergänzen Güllegruben die Lagermöglichkeiten von Biogasanlagen und bei industriellen Reststoffen gelten gesonderte Lagervorschriften in Bezug auf die Freiluft- und Hallenlagerung. Gegebenenfalls kommt an dieser Stelle vorweg eine Aufbereitungsanlage für die Substrate, falls diese durch Verpackungen oder sonstige nicht abbaubare Reststoffe verunreinigt sind oder einen zu hohen Flüssigkeitsanteil besitzen. Der hohe Flüssigkeitsanteil schadet den Bakterien nicht, bedeutet aber einen höheren Beförderungsaufwand der Substrate durch den gesamten Vergärungsprozess.¹³ Eine entsprechende Substrataufbereitung ist dabei von den Ausgangsstoffen sowie der individuellen Anlagentechnik abhängig und hat zum Ziel, die Gasausbeute aus den Substraten und damit die Effizienz zu erhöhen. Handelt es sich um eine Kofermente fütternde Biogasanlage werden meist seuchenhygienisch bedenkliche Substrate wie zum Beispiel Speise- und Schlachthofabfälle vergoren und eine Hygienisierung stellt eine zwingende Vorstufe der Vergärung dar.

In diesem Typ Aufbereitungsanlage werden die Reststoffe eine Stunde lang auf über 70 °C erhitzt, um Keime abzutöten.¹⁴ Fördertechnik wie Pumpen und Schneckenförderbänder ermöglichen den Transport im Betrieb einer Biogasanlage. Dieses Bindeglied besteht an mehreren Stellen in einer Anlage und ermöglicht die Bewegung von Biomasse im Kreislauf der Vergärung.

Im ersten Schritt gelangt die Biomasse mithilfe dieser Einbringtechnik in die Vorgrube. Diese fungiert als Sammelbecken und hier kommt es mithilfe von Rührwerken zu einer Vermischung der frischen Biomasse. Wenn überhaupt, entstehen hier nur sehr geringe Mengen Rohbiogas. Von der Vorgrube aus wird die frische gemischte Biomasse in die Fermenter gepumpt und an dieser Stelle beginnt die Vergärung. Fest montierte Rührwerke

¹¹ Vgl. methaniseur.com 2015b.

¹² Vgl. BauNetz Media GmbH 2018.

¹³ Vgl. Christian Melang.

¹⁴ Vgl. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.

sorgen hier für eine Vermischung der frischen Biomasse mit den vorhandenen Mikroorganismen. Unter Sauerstoff- und Lichtabschluss sowie unter Einfluss von Wärme beginnen diese nun mit der anaeroben Vergärung der organischen Masse.

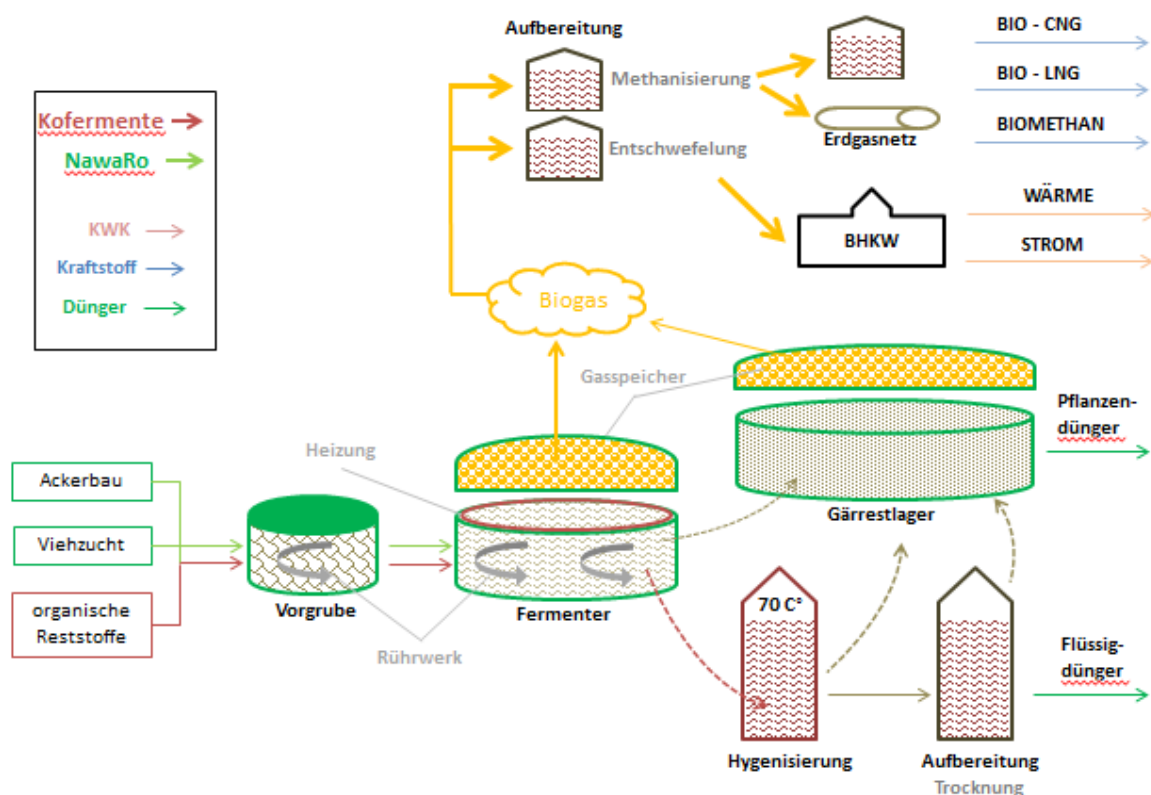


Abbildung 3 Schematische Darstellung einer Biogasanlage, im NawaRo und Kofermente-Betrieb (in Anlehnung an Holger Watter 2009; BauNetz Media GmbH 2018)

Die übliche Gärtemperatur liegt bei 40 °C. Die Fermenter sind dadurch gekennzeichnet, dass sie dehnbare Deckenkonstruktionen aus Plastik oder ähnlichem Material besitzen, um eine kurz- bis mittelfristige Speicherung des Rohbiogas oberhalb der arbeitenden Biomasse zu ermöglichen. Sie bildet eine Art Blase oberhalb des Fermenter Randes, alternativ dazu werden Biogasspeicher auch in Speicherformen separat vom Fermenter Gärrestlager zur Lagerung genutzt.

Im Anschluss an die Rohbiogaserzeugung in den Fermentern wird ein Teil der vergorenen Masse in ein Gärrestlager geleitet. Wichtig dabei ist, dass immer ein Teil der vergorenen Masse mit den enthaltenen Mikroorganismen im Fermenter bestehen bleiben muss, um die Vergärung der frischen Biomasse zu ermöglichen.¹⁵ Das Gärrestlager besitzt ebenfalls einen Gasspeicher und misst als Lagerraum ein deutlich höheres Volumen im Vergleich zu Fermentern und Vorgruben. Dies bedingt sich in den rechtlichen Rahmenbedingungen, da die Verweilzeit der Gärmasse von mindestens 150 Tagen im geschlossenen Raum gewährleistet sein muss. Mit der vergangenen Neuauflage des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) von 2012 besteht zudem die Pflicht zur technisch gasdichten Abdeckung des Lagers (§6), um die

¹⁵ Vgl. Fachverband Biogas e.V. 2018.

Emission des klimaschädlichen Methans aus dem Biogas an dem Entweichen in die Atmosphäre zu hindern.¹⁶

Aus der fermentierten organischen Masse entweichen immer noch vergleichsweise geringe Mengen Rohbiogas. Das insgesamt entstehende Rohbiogas wird zur weiteren Nutzung und Veredelung über Gasleitungen aus allen Entstehungsphasen in die entsprechende Weiterverarbeitung gefördert. Die weitverbreitetste Nutzungsform von Biogas ist die Strom- und Wärmenutzung durch ein Blockheizkraftwerk (BHKW). Die betiteltte Kraft-Wärme-Kopplung mittels eines BHKW bedeutet den Antrieb eines Gasmotors mit Generator (Aggregat) zur Stromerzeugung und die parallele Nutzung der dabei entstehenden Abwärme des betriebenen Aggregats.¹⁷ Um das gewonnene Rohbiogas im BHKW nutzen zu können, ist eine erste Aufbereitung notwendig. Diese Brücke zwischen dem Fermenter und dem angeschlossenen Aggregat schlägt eine erste Aufbereitungsanlage. Das entstandene Faulgas enthält nicht nur Methan und Kohlenstoffdioxid, sondern ebenfalls restliche Anteile von Schwefelwasserstoff. Zudem besitzt das Gas eine hohe Feuchtigkeit und Wärme, alle genannten Parameter müssen zur guten Nutzbarkeit im Aggregat bearbeitet werden. Eine solche Biogasaufbereitung beinhaltet eine Gaskühltrocknung, einen Verdichter und ein Aktivkohlesilo. Darüber wird das aus dem Fermenter kommende grob entschwefelte Rohbiogas heruntergekühlt und getrocknet, um dann mithilfe des Aktivkohlefilters ein feinentschwefeltes Gas zu erhalten. Die Aktivkohle bindet dabei den für den Katalysator und Abgaswärmetauscher schädlichen Schwefel und entzieht ihn damit dem Biogas.¹⁸ Das Rohbiogas weist in der Regel Schwefelwasserstoffkonzentrationen zwischen 2000 ppm und 5000 ppm auf, bei einer Konzentration von maximal 200 ppm gilt das aufbereitete Rohbiogas als Reingas.¹⁹

Für den Einsatz im BHKW werden unterschiedliche Verbrennungsmotoren-Typen eingesetzt, maßgeblich ausgewählt nach der Leistungsbemessung in Kilowatt elektrische Leistung (kW_{el}). Es existieren Zündstrahlmotoren, die den unteren Leistungsbereich bis circa $340 kW_{el}$ bedienen, und Gas-Otto-Motoren für den oberen Leistungsbereich ab $340 kW_{el}$, welche vergleichbar mit Viertaktmotoren in Kraftfahrzeugen sind. Ein Zündstrahlmotor funktioniert nach dem Prinzip eines Dieselmotors, dabei wird zu dem Gas ein kleiner Anteil (2% bis 10% abhängig vom Motorenbaujahr) Diesel in den Brennraum eingespritzt, welcher sich durch den erzeugten Druck im Zylinder selbst entzündet. Das Biogas entzündet sich im Brennraum nicht durch Druck, daher ist der Zündstrahl Diesel notwendig. Durch die rechtliche Einschränkung in 2007, veröffentlicht über eine Novelle des EEG, ist der Einsatz von Zündöl auf fossiler Basis in Neuanlagen nicht mehr erlaubt. Aus diesem Grund werden die Gas-Otto-Motoren seit einiger Zeit ebenso im Kleinanlagenbereich ab $30 kW_{el}$ angeboten. Dieser Motorentyp ist in der Lage, Biogas ab einem Methangehalt von 45% durch Entzündung mittels Zündfunken direkt zu verbrennen.²⁰

¹⁶ Vgl. Top Agrar 2012.

¹⁷ Vgl. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. 2018.

¹⁸ Vgl. MWM Caterpillar Energy Solutions GmbH 2018.

¹⁹ Vgl. Ralf L. Schneider 2007.

²⁰ Vgl. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. 2018.

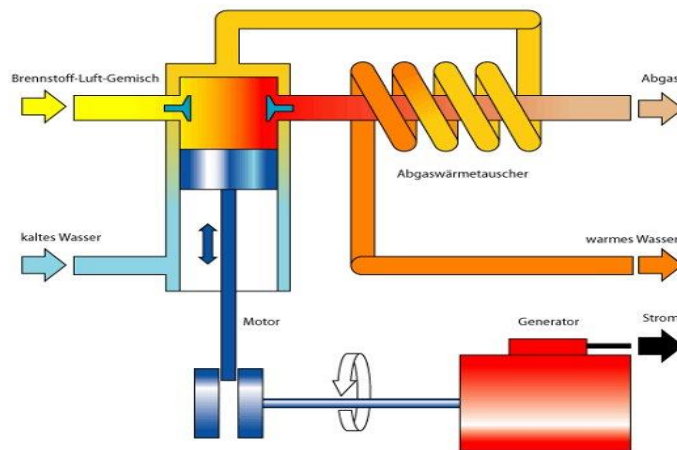


Abbildung 4: Funktionsweise eines Blockheizkraftwerks (die Heizsparer 2018)

Zum Antrieb des Aggregats wird das Biogas dem Brennraum zugeführt, gleichzeitig wird die Motorkühlung durch kaltes Wasser sichergestellt. Das Gas wird im Brennraum entzündet und durch den Kolbendruck wird der angeschlossene Generator angetrieben, welcher darüber Strom erzeugt. Die dabei entstehende Wärme wird an das umgebende Wasser abgegeben. Ebenso wird die Wärme des Abgases durch einen Abgaswärmetauscher an das bereits erwärmte Wasser abgegeben. So kann diese Energiequelle in Form von warmem Wasser genutzt und gespeichert werden. Die entstandene Wärme ist ein Nebenprodukt bei der Stromerzeugung. Sie wird in den Kreislauf der Biogaserzeugung zurückgegeben, in dem ein Teil davon zur Beheizung der Fermenter genutzt wird.²¹

Eine Biogasanlage bildet einen Kreislauf der Energieerzeugung ohne den Einsatz fossiler Kraftstoffe im direkten Vergärungsprozess, dem Prozess der Energiegewinnung. Der entstandene Gärrest bildet wiederum mit dem Ausbringen auf den Feldern einen weiteren Kreislauf, den des Nährstoffs. Bei der Fermentation werden die für das Pflanzenwachstum wichtigen schwer löslichen Kohlenstoffverbindungen nicht abgebaut. Sie bleiben somit in der vergorenen Biomasse enthalten und sorgen mit der Ausbringung dafür, dass die Humusbildung im Boden stattfindet und die Böden nährstoffreich bleiben. Dies spart den Einsatz von künstlich hergestelltem Dünger und die zur Produktion nötige Energie.²² Das bei der Vergärung entstehende Methan bildet den größten Anteil am Biogas und dessen mengenmäßige Entstehung ist damit maßgeblich für die Biogasproduktion

²¹ Vgl. Fachverband Biogas e.V. 2018.

²² Vgl. Biogas Forum 2018.

Substrat	Biogas in m ³ / Tonne(t) Substrat	Trockenmasse (TM in %)	Methangehalt (CH ₄)
Backabfälle	650,6	87,7	52,8 %
Speisereste			
fettarm/nass	75,4	14,4	59,8 %
fettreich	126,5	18	62 %
mittelfett	92	15,6	60,2 %
Käseabfälle	673,8	79,3	67,5 %
Schlachtabfälle	60,5	15	55 %
Alt-/Misch-/Futterfett	874/1140	95/99,9	68 %
Raps-/Soja-/Sonnenblumenöl	1.200	99,9	68 %
Maissilage (körnerarm/mittel/reich)	175 / 185/ 201	32 / 33 / 35	52,2 %
CCM (Corn-Cob-Mix)	451,3	65	52,6 %
Zuckerrübenschnitzel	685,8	91,6	50,6 %
Schweinegülle	20,4	6	60 %
Pferdemist	63	28	55 %
Schweinemist	74,3	22,5	60 %
Rindermist	90	25	55 %
Hühner trockenkot (HTK)	55,4	15	58,1 %
Milchvieh-/Mastrindergülle	20,2 / 34	8,5 / 10	55 %

Tabelle 1: Energetische Kennzahlen zu Biogassubstraten (in Anlehnung an Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft 20018)

Der Methangehalt im Biogas ist stark abhängig vom zugeführten Substrat. Daher ist die Betriebsart der Biogasanlage und Substratwahl entscheidend für die Effizienz der Biogasproduktion. Im Kofermente Betrieb mit dem Einsatz industrieller organischer Reststoffe kommen deutlich mehr Substrate zum Einsatz, die einen hohen Methangehalt im Biogas erzeugen. In einem groben Rahmen zwischen 52 % und 68 % Methangehalt bewegen sich alle aufgeführten Substrate, abhängig von ihrer individuellen Trockenmasse zeigt sich jedoch die Effizienz des Einsatzstoffes im Biogasbereich.

Der Betrieb mit nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo) bedient sich mit Substraten rein aus Energiepflanzen des Ackerbaus und zusätzlich kommen Reststoffe aus der Viehzucht (Wirtschaftsdünger) zum Einsatz.

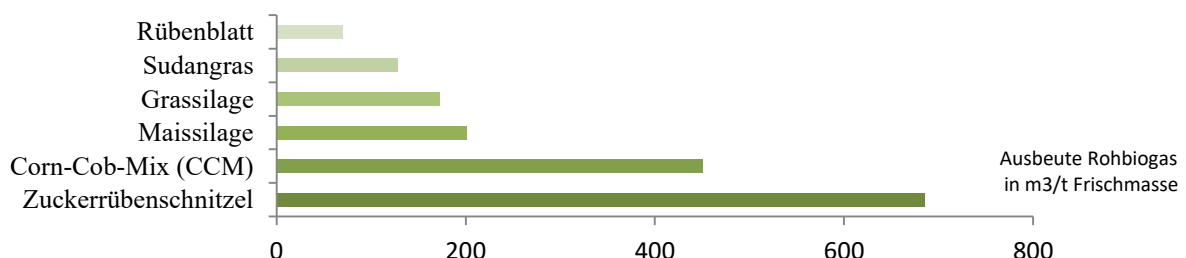


Abbildung 5 Biogas Ausbeute von NawaRo Substraten (in Anlehnung an Liebing 2018)

Die Branche hat in den letzten Jahren einige Schwankungen durchlaufen, dessen Ursprung zumeist politische und gesetzliche Veränderungen waren. Wie bereits im historischen Rückblick erwähnt begann die Biogasentwicklung maßgeblich erst im Jahr 2000, in dem

erstmalig die Marke der eintausend bestehenden Anlagen durchbrochen wurde. Von dort an wuchs die Anzahl der Anlagen stetig. Mit Einführung des EEG 2002 und der damit verbundenen Subventionierung von Biogasstrom mit garantierter Einspeisevergütung für die folgenden 20 Jahre nach Fertigstellung der Anlage, kam ein erneuter Aufschwung zustande. Der Wachstumstrend des Marktes blieb einige Zeit lang ununterbrochen. Es kam zu einem Wechsel von der Biogaserzeugung als Nebenwirtschaft ergänzend zu einem Viehzuchtbetrieb, zum Vollbetrieb und Industriereststoffnutzung.

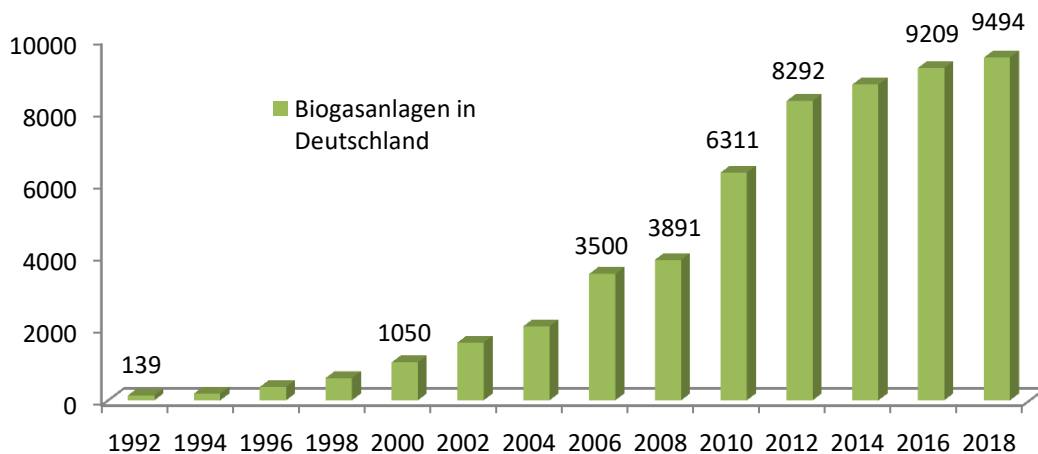


Tabelle 2: Biogasanlagen - quantitative Entwicklung 1992 bis 2018 (in Anlehnung an KWH-Preis 2016; Statista.de 2018)

Die Novelle des EEG in 2008 führte zu einer erneuten Wachstumswelle, was einen Zubau um mehr als 60 Prozent Neuanlagen innerhalb der zwei Folgejahre hervorbrachte. Im Jahr 2010 waren es bereits 6.311 bestehenden Anlagen in ganz Deutschland, deren Anzahl sich zum Jahr 2010 um weitere 31 Prozent steigerte. Der Trend ist beständig geblieben, wenn auch in unterschiedlicher Intensität. Besonders hervorzuheben ist bei diesem Markt, dass es trotz plausibel annehmbarer Schließungen von Anlagen zu keinem Zeitpunkt im Jahresüberblick zu einer Abnahme der Anzahl an Bestandsanlagen gekommen ist. Stetiger Zuwachs prägt diesen Markt bis zum Jahr 2018.

Die Entwicklung der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien hat in Deutschland einen stetigen Anstieg zu verzeichnen. Im Jahr 1990 betrug der prozentuale Anteil am Bruttostromverbrauch nur 3,4 Prozent, was 18,9 Millionen kWh aus Erneuerbaren Energien bedeutete. Eine deutliche und stetig positive Veränderung ist der Entwicklung ab 2002 zu entnehmen. In 2017 errang sie ihren Höchstwert in der Geschichte der Erneuerbaren Energien (EE) von 217,9 Millionen kWh und damit einem Anteil von 36,2 % am Bruttostromverbrauch Deutschlands.²³ Der wichtigste Träger Erneuerbarer Energien ist Sektor übergreifend die Biomasse, mit einem Anteil von 54 Prozent an der Energiebereitstellung. Besonders im Bereich der Wärme- und der Kraftstoffversorgung liefert die Energie aus Biomasse etwas mehr als 87 Prozent des Endenergieverbrauchs. Im Bereich der Stromerzeugung werden sie

²³ Vgl. Bundesministerium für Energie und Wirtschaft 2018.

noch von Wind- und Wasserkraft sowie Sonnenenergie dominiert. Der Anteil von Biogas an den EE aus Biomasse betrug in 2017 57,6 Prozent. An der Gesamtstromerzeugung betrug der Anteil an Biogas 13,6 Prozent²⁴, obwohl Biogas als einzige Erneuerbare Energie regelbar ist und damit einen entscheidenden Vorteil für das Stromnetz bietet. Dieser Vorteil gegenüber regenerativen Energien aus Sonne, Wind und Wasser sorgte immer wieder für politisch gesteuerte neue Anreizsysteme zum Ausbau des Biogasmarkts.²⁵

Der bayrische Rundfunk strahlte in 2015 einen 30-Jahre-Rückblick der Biogasbranche Deutschlands aus, worin einer der ersten Biogas-Pioniere, Johann Sedlmeier, über die Vergangenheit berichtet. In der Anfangsphase waren deutsche Biogasanlagen eher Versuchsanlagen, in denen teilweise eher experimentell Biogas erzeugt wurde. Es war keine Industrie und eine Biogasanlage galt nicht wie heute einem eigenständigen Produktionsunternehmen, sondern einer Nutzungsmöglichkeit von Rindergülle. Die Betreiber waren ihrer Zeit voraus und versuchten eine wirtschaftlich ertragreiche Nische in der Landwirtschaft zu finden, um überleben zu können.²⁶ Von diesem Standpunkt aus entwickelte sich die Branche anfänglich langsam und etwas schleppend, doch bis heute ist diese quantitativ rasant gewachsen und die Anzahl der Biogasanlagen ist nicht nur in Bayern, sondern national betrachtet, stetig gewachsen.

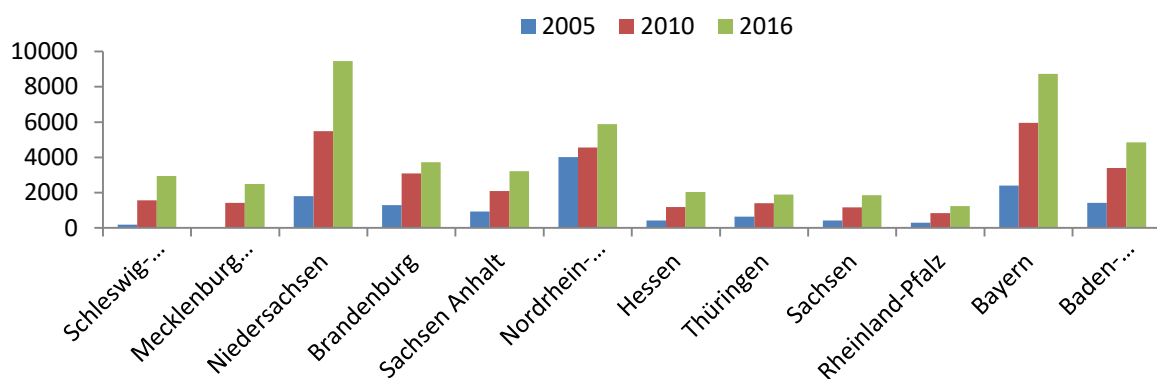


Tabelle 3: Entwicklung der Stromerzeugung durch Biomasse in den flächenstärksten Bundesländern (in Anlehnung an (Agentur für Erneuerbare Energien 2018))

Die ablesbaren geographischen Schwerpunkte der Biogasbranche liegen im Nordwesten und Süden Deutschlands. Die eingebrachte Grafik stellt die Entwicklung der Stromerzeugung durch Biogas der vergangenen zehn Jahre in den flächenstärksten Bundesländern Deutschlands dar. Es wurden bewusst nur Stichpunktwerte der Jahre 2005, 2010 und 2016 gewählt, um auf die rasanten Entwicklungssprünge aufmerksam zu machen. Aus diesen Werten ist auch die geographisch sinnvolle Errichtung von verschiedenen Arten der erneuerbaren Energieerzeugung ersichtlich. In Gebieten mit starker Windkraft- und Photovoltaiknutzung ist die Versorgung über Biogas geringer. In Gebirgslagen und küstenabgewandten Gebieten

²⁴ Vgl. Bundesministerium für Energie und Wirtschaft 2018.

²⁵ Vgl. Umweltbundesamt 2018a.

²⁶ Vgl. Detsch und Rundfunk 2015.

sowie Regionen mit intensiver ackerbaulicher Landwirtschaft ist eine hohe Nutzung der Biomasse zur Erzeugung von Strom, Wärme und Kraftstoff genutzt worden.

Den Antrieb und Ursprung der EE bildet immer eine nachhaltige bis hin zur klimaneutralen Erzeugung von Energien als Verbrauchsgüter. Dieser Einsatz führt zur Verdrängung fossiler Energieträger und somit zunehmend zur Verdrängung klimaschädlicher Treibhausgase. Für 2017 kann dazu eine Treibhausgasvermeidung von circa 177 Millionen (Mio.) Tonnen CO₂ Äquivalenten errechnet werden, woran die regenerative Stromerzeugung mit 135 Mio. Tonnen den größten Anteil besitzt. Die Nutzung von EE im Wärmesektor wurden Treibhausgase in Höhe von rund 35 Mio. Tonnen eingespart, hier handelt es sich um den energieintensivsten Sektor Deutschlands.²⁷ Biogasanlagen sind in der Lage, große Mengen Wärme zu produzieren, ein Potential, das bei den heutigen Bestandsanlagen nur in den wenigsten Fällen voll ausgeschöpft wird. In diesem Bereich sowie dem Kraftstoffsektor besteht großes Ausbaupotential, um vermehrt auf den Einsatz von Biogasanlagen als Energielieferanten zu setzen. Ein flächendeckender Ausbau sowie infrastrukturelle Maßnahmen bieten an dieser Stelle viele neue Chancen für die Anlagenbetreiber.²⁸

„In allen ehrgeizigen Klimaschutzszenarien spielen die erneuerbaren Gase eine Schlüsselrolle für die zukünftige Energieversorgung“, betont Philipp Vohrer, Geschäftsführer der AEE. Diese Gedanken und Weiterentwicklungsoptionen sind Ergebnisse der Klimaschutzkonferenz in Paris. Die in diesem Rahmen erstellten Beschlüsse fordern von Deutschland, bis zum Jahr 2050 nahezu klimaneutral zu werden. In den Jahren 2020 bis 2022 sollen die verbliebenen acht Kernkraftwerksblöcke mit einer Leistung von etwa 10,8 GW abgeschaltet werden. Im gleichen Zug sollen Erneuerbare Energien bis 2030 einen Anteil von 65 Prozent an der Stromversorgung einnehmen, um die Stromnachfrage decken zu können. Diese neue Herausforderung initiiert einen Forschungsansub und damit Kreativität bei Unternehmern, Planern und der Politik zur Erreichung dieser Ziele. Biogas nimmt in dieser Entwicklung eine elementare neue Rolle ein, denn im Gegensatz zu Energie aus Windkraft und Photovoltaik ist die Gas-Energie konstant produzierbar (nicht volatil) und außerdem regelbar. Diese Nische der Energieerzeugung im Bereich der Erneuerbaren Energien beschafft der Biogas Branche einen Aufschwung und zugleich eine Bewährungsprobe. Von den insgesamt knapp 9.200 derzeitigen Bestandsanlagen in Deutschland ist ein Handeln zu erwarten, denn nicht nur die verabschiedeten Klimaziele für 2050 erhöhen den Druck des Fortschritts und Ausbaus, auch das Auslaufen der ersten EEG-Welle aus dem Jahr 2000 konfrontiert die Betreiber mit herausfordernden Veränderungen. Die garantierte Einspeisevergütung ihres Biogas-Stroms läuft aus und damit ist ein Umdenken erforderlich.

Somit besteht aus Betreibersicht die Notwendigkeit zum Handeln, um die eigene Wirtschaftlichkeit erhalten zu können und auf Seiten der Bundesregierung aufgrund von verabschiedeten Klimazielen für die Zukunft. Es muss also fortan die Frage der Branche sein, welche möglichen weiteren Betriebsszenarien zukünftig bestehen werden, um eine Vielzahl fossiler Energieträger zu ersetzen und ob damit eine fortlaufende Wirtschaftlichkeit ihrer Biogasanlage gewährleistet werden kann.

²⁷ Vgl. Umweltbundesamt 2018a.

²⁸ Vgl. Meyer 13.11.2019.

Die Ermittlung der Kostengrundlagen für Neuanlagen muss zur detaillierteren Ermittlung der Kosten und deren Sensibilität auf äußere Gegebenheiten weiter untergliedert werden. Zudem kann die Abfrage detaillierter auf Zeiträume hin vollzogen werden, um weniger Prognosewerte anzunehmen. Es existieren weitere innovative Nutzungs- und Umwandlungsmöglichkeiten von Biogas und Strom, die zur erweiterten Speicherbarkeit, Kontinuität in der Produktion und Transportfähigkeit von Biogas führen. Zu diesen Verfahren zählen Power-to-Heat und Power-to-Gas Anlagen, die mit Gasbestandteilen des Biogases eine weitere Wertschöpfung erschließen und somit auch andere Nutzungsfelder und Absatzmärkte bedienen. Aufgrund der geringen Anwendung in der Praxis und lediglich einigen Pilotprojekten ist die Datengrundlage zu diesen Techniken noch zu gering, um sie auf eine Wirtschaftlichkeitsanalyse wie in dieser Ausarbeitung anzuwenden. Gleiches gilt für Mikroaufbereitungsanlage, die wie im Verlauf erwähnt keine Leistungsgrößen zwischen 1,2 und 2 MW_{el} benötigen, um eine Rentabilität herzustellen.

Umgebungsparameter wie infrastrukturelle Anbindung, geographische Lage und Urbanisierung der Umgebung einer BGA nehmen ebenfalls großen Einfluss auf zukünftige Absatzmöglichkeiten. An dieser Stelle besteht Bedarf der Ermittlung von Korrelationen, um diese Zusammenhänge wirtschaftlich sinnvoll zu nutzen und ihr Planung von Erzeugung und Vermarktung von Biogas miteinzubeziehen.

10. Fazit und Ausblick

„Probleme kann man niemals mit derselben Denkweise lösen,
durch die sie entstanden sind.“¹⁶⁸
- Albert Einstein-

Zur Erreichung der gesetzten Klimaziele sind politische Maßnahmen und Rechtsnormen notwendig, doch zur Änderung und Verbesserung unseres Umgangs mit natürlichen Ressourcen ist ein grundsätzliches Umdenken erforderlich.

Die durchgeführte Wirtschaftlichkeitsanalyse und die dazugehörige Literaturrecherche haben gezeigt, dass dem Biogasmarkt und seinen Akteure eine Zeit der Neuausrichtung und Perspektivenfindung bevorsteht. Es existieren viele Wege, um die Energie aus Biogas effizienter und auf andere Arten zu nutzen. Diese Vielseitigkeit in einem Energieprodukt sollte genutzt werden. Es werden zukünftig werden standortangepasste Konzepte erforderlich sein, wobei Anlagenbetreiber für die „Vermarktung“ der an der Anlage anfallenden Produkte (Biogas, Strom, Wärme, Kraftstoff, Gärprodukt) stärker selbst verantwortlich sein werden. Diese Verantwortung bringt ebenfalls eine Handlungsfreiheit mit sich und löst die Starre des Bezugs von Fördermitteln im Vermarktungsprozess auf. Eine freiere Vermarktung bedeutet ein aktiverer und dynamischer Markt

Eine angemessene Subventionierung von Blühpflanzen, würde für eine Förderung im landwirtschaftlichen Bereich hinter dem Komplex der traditionellen Biogasanlage zur Biodiversität beitragen. Der Ausgleich des Minderertrags des Anbaus dieser Pflanzenarten

¹⁶⁸ Poeteus 2019.

müsste ausgeglichen werden, um einen Anreiz für die landwirtschaftliche Nutzung zu schaffen.

Die Entlastung des Stromnetzes durch Umschichtung des Energiepotentials in den Gasmarkt würde zusätzlich für eine Substitution fossiler Energieträger führen. Zudem ist der Anteil erneuerbarer Kraftstoffe nach wie vor vergleichsweise gering, so dass Biomethan im Kraftstoffbereich sinnvoll eingesetzt werden könnte, um auch in diesem Sektor THG-Einsparungen zu erzielen und einen Schritt weiter in Richtung Klimazielerreichung zu treten. Biomethan ist im Vergleich zu Anlagen mit Vor-Ort Verstromungskonzepten flexibel hinsichtlich Ort, Zeit und Art der Verwertung des Gases. Der anstehende Transformationsprozess des Anlagenbestandes wird vermutlich neben der Erhaltung von effizienten Vor-Ort-Verstromungsanlagen mit hohem THG-Minderungspotenzial auch die Umrüstung von geeigneten Anlagen zu Biomethananlagen beinhalten.