

# **EFFIZIENZ UND RENTABILITÄT VON BIOGASANLAGEN EFFICIENCY AND PROFITABILITY OF BIOGAS PLANTS**

**Martin Odening and Günther Filler**

**Department of Agricultural Economics and Social Sciences  
Humboldt-Universität zu Berlin, Germany**



*Paper prepared for presentation at the 47<sup>th</sup> annual conference of the GEWISOLA  
(German Association of Agricultural Economists) and the 17<sup>th</sup> annual conference of the ÖGA (Austrian Association of Agricultural  
Economists),*

*'Changing Agricultural and Food Sector',*

*Freising/Weihenstephan, Germany, September 26-28, 2007*

*Copyright 2007 by authors. All rights reserved. Readers may make verbatim copies of this document for non-commercial purposes by any means, provided that this copyright notice appears on all such copies.*

# EFFIZIENZ UND RENTABILITÄT VON BIOGASANLAGEN

## Zusammenfassung

Die Verbreitung von Technologien zur Biogaserzeugung hängt maßgeblich von deren einzelbetrieblicher Wirtschaftlichkeit ab. Der vorliegende Beitrag bestimmt die technische und die ökonomische Effizienz sowie die Rentabilität von Biogasanlagen auf der Basis empirischer Daten, die aus einer Befragung des KTBL hervorgehen. Die Effizienzmessung erfolgt mittels Data Envelopment Analyse (DEA). Es zeigt sich, dass die Effizienz der untersuchten Anlagen eine große Variabilität aufweist. Dies deutet darauf hin, dass die Produktionstechnik nicht in allen Betrieben voll beherrscht wird. Entscheidend für die Effizienz von Biogasanlagen ist weniger deren Größe als vielmehr eine gute Auslastung. Mit Blick auf die Rentabilität stellen die Kosten für die Bereitstellung der Gärsubstrate eine Schlüsselgröße dar. Darüber hinaus wird deutlich, dass die Novellierung des EEG in 2004 und die damit verbundene Erhöhung der Stromvergütung die Rentabilität von Biogasanlagen deutlich erhöht hat. Während zuvor Biogas nur unter günstigen Bedingungen wirtschaftlich zu erzeugen war, lassen sich nunmehr unter Ausnutzung sämtlicher Preiszuschläge sehr hohe Renditen erzielen.

## Keywords

Agrarökonomie, Biogasanlagen, Effizienz, DEA, Rentabilität

## 1 Einleitung

In den vergangenen Jahren hat die Anzahl von Biogasanlagen (BGA) in Deutschland deutlich zugenommen. Ausgehend von 850 Anlagen Ende 1999 hat sich der Bestand bis Ende 2005 auf ca. 2.700 erhöht. Die hochgesteckten Erwartungen an die Biogaserzeugung hinsichtlich des Klima- und Umweltschutzes gehen einher mit der Hoffnung auf die Stärkung der Wirtschaftskraft ländlicher Räume. Tatsächlich sehen immer mehr Landwirte in der Biogaserzeugung ein zusätzliches oder alternatives Standbein ihrer Einkommenssicherung. Vom Landwirt als „Energiewirt“ ist die Rede, und Begriffe wie „regionale Wertschöpfung“, „Investitionen im ländlichen Raum“ und „Schaffung von Arbeitsplätzen“ bestimmen die gesellschaftliche Diskussion zu diesem Thema. Auch die agrartechnische und agrarwissenschaftliche Forschung schenkt der Erzeugung erneuerbarer Energien im Allgemeinen und der Biogasproduktion im Besonderen verstärkte Aufmerksamkeit<sup>1</sup>.

Die weitere und dauerhafte Verbreitung von Technologien zur Biogaserzeugung steht und fällt mit deren einzelbetrieblicher Wirtschaftlichkeit. Unstrittig ist, dass die seit 2004 infolge der Novellierung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) erheblich verstärkte Subventionierung (Einspeisevergütung und Boni, Investitionshilfen und Förderprogramme) einen erheblichen Einfluss auf den wirtschaftlichen Betrieb von BGAs hat. Es existiert eine Vielzahl von Arbeiten, die die Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen ex ante auf der Basis von Modellrechnungen ausweisen<sup>2</sup>. Dabei muss zwangsläufig auf Annahmen und Richtwerte bezüglich der Kosten und der Erträge zurückgegriffen werden, die mehr oder weniger stark von den tatsächlichen individuellen Parametern abweichen. Eine systematische, empirische Untersuchung zur Wirtschaftlichkeit existierender BGAs liegt dagegen nach Wissen der Autoren für Deutschland bislang nicht vor. Ziel dieses Beitrages ist es, eine solche ex post Analyse der Wirtschaftlichkeit von BGAs durchzuführen. Der Fokus liegt auf der Berechnung der Effizienz von Biogasanlagen und der Identifizierung von Ursachen für Effizienzunterschiede. Es

---

<sup>1</sup> Siehe zum Beispiel Dachverband Agrarforschung (2006).

<sup>2</sup> Das Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR), der Fachverband Biogas, Landwirtschaftskammern, Forschungsanstalten, landwirtschaftlichen Berater, die Anlagenbauer selbst und zahlreiche weitere Institutionen bieten Beratungsleistungen zur Wirtschaftlichkeitsprüfung und anlagenspezifischen Umsetzung von Biogasanlagen an.

sollen Faktoren bestimmt werden, die die Produktivität von BGAs maßgeblich beeinflussen. Damit können Entscheidungsträgern Ansatzpunkte zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit ihrer Anlagen gegeben werden. Wie bei einer einzelbetrieblichen Betrachtung üblich, werden förderpolitische Rahmenbedingungen als gegeben angenommen. Die volkswirtschaftliche Bewertung dieser Fördermaßnahmen ist nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung.

## **2 Datengrundlage und Methodik**

Die empirische Untersuchung basiert auf einzelbetrieblichen Daten, die vom KTBL zur Verfügung gestellt wurden. Der Datensatz umfasst Biogasanlagen von 39 Betrieben und enthält Angaben über technische Parameter wie elektrische Anlagenleistung, Volllaststunden des Blockheizkraftwerkes, Anzahl und Faulraumbelastung der Fermenter, verwendete Substrate und deren Einsatzmenge, Anzahl der täglichen Substratzugaben, Aufwand für Betreuung und Beschickung, die erzeugte Energie und deren Verwendung. Neben diesen technischen Parametern wurden ökonomische Variablen wie Investitions- und Substratkosten erfasst. Die Angaben beziehen sich ausschließlich auf das Jahr 2004, d.h. zufällige, in diesem Jahr auftretende Besonderheiten können nicht als solche erkannt oder geglättet werden. Da aus dem Datenmaterial das Alter der Anlagen nicht hervorgeht, können sich in der Stichprobe BGA mit unterschiedlicher Laufzeit befinden. Somit werden möglicherweise BGA miteinander verglichen, für die unterschiedliches Erfahrungswissen seitens der Betreiber vorliegt. Das unterschiedliche Know-how schlägt sich in Effizienzunterschieden nieder, die wahrscheinlich im Zeitablauf durch Lerneffekte beseitigt werden. Im Rahmen dieser rein statischen Betrachtung lassen sich derartige Effekte aber nicht isolieren.

Zur Berechnung der (In)Effizienz wird in der vorliegenden Untersuchung die Data-Envelopment-Analyse (DEA) verwendet. Eine ausführliche Beschreibung dieser Methode findet sich z.B. bei Coelli et al. (1996). Zunächst wird die technische Effizienz mit Hilfe eines inputorientierten Ansatzes bestimmt und in einem zweiten Schritt mit Hilfe eines Tobit-Regressionsmodells erklärt. Anschließend wird die Betrachtung um die Kosten der Inputfaktoren erweitert und die ökonomische Effizienz der Biogasanlagen berechnet. Da weder technische noch ökonomische Effizienz als relative Größen etwas über die absolute Rentabilität der BGAs aussagen, werden abschließend im Rahmen einer klassischen Investitionsrechnung Kapitalwert und Rendite der effizientesten Anlage ermittelt.

Als Inputvariablen für die DEA-Analyse werden die Menge an Gärsubstrat, der Strombedarf der Anlage, der Arbeitsaufwand für den Betrieb der Anlage und die Investitionskosten gewählt. Die erzeugte Strommenge und die genutzte Wärme dienen als Maß für den Output. Nachfolgend wird die Messung dieser Variablen erläutert.

In den BGA wird ein weites Spektrum von Gärsubstraten eingesetzt, die aufgrund unterschiedlicher Energiegehalte und Gasausbeuten nicht direkt vergleichbar sind. Eine Aggregation der verschiedenen Substrate erfolgt unter Rückgriff auf Richtwerte des KTBL und der FNR bezüglich der potentiellen Gasausbeute (vgl. KTBL, 2005; FNR, 2004). Ein Nachteil dieses Vorgehens besteht darin, dass betriebsspezifische Unterschiede im Energiegehalt eines Substrattyps nicht erfasst werden können. Die Investitionsausgaben wurden von den Anlagenbetreibern direkt angegeben. Ob sich diese Angaben nur auf die Biogasanlage (Fermenter, BHKW, Fördertechnik, Mess- und Kontrolltechnik) beziehen oder auch zusätzliche Aufwendungen, wie Errichtung des Silos, Ausbringungstechnik etc. umfassen, ist aus den Daten allerdings nicht ersichtlich. Dies zwingt zu einer vorsichtigen Interpretation der Analyseergebnisse, da die betriebliche Ausgangssituation beim Bau der BGA, und somit die Grenzkosten für deren Errichtung, unterschiedlich sein können. Weiterhin ist zu bedenken, dass mit der Verwendung der einmaligen Investitionsausgaben als Inputvariable eine identische Nutzungsdauer der verschiedenen Anlagen unterstellt wird. Der angegebene Eigenstrombedarf (in kWh/Jahr) und der Arbeitsaufwand für den Betrieb der BGA gehen ohne Modifikationen in

die DEA-Analyse ein<sup>3</sup>. Die erzeugte Strom- sowie die genutzte Wärmemenge wurden in der Umfrage separat in kWh/Jahr erfasst, in der DEA-Analyse aber zu einem Output zusammengefasst. Man könnte argumentieren, dass die Wärmenutzung für Anlagenbetreiber, die ihre Biogasanlage vor der Novellierung des Erneuerbaren Energien Gesetzes (EEG) im August 2004 in Betrieb nahmen, finanziell uninteressant war und erst durch die Einführung des so genannten Kraft-Wärme-Kopplung-Bonus (KWK) Bedeutung erlangte. In dieser Untersuchung wird jedoch davon ausgegangen werden, dass die Landwirte auch vor der Novelle des EEG versucht haben, die anfallende Abwärme zur Deckung ihres Energiebedarfs zu nutzen, beispielsweise zum Heizen eines Stalles.

Im Rahmen der DEA kommt der Plausibilitätsanalyse der Daten besondere Bedeutung zu, da im Gegensatz zu stochastischen Verfahren nicht zwischen Messfehlern und Ineffizienz unterschieden werden kann. In die Plausibilitätskontrolle wurden folgende Aspekte einbezogen: Laut Angaben von Motorenherstellern sind elektrische Wirkungsgrade von bis zu 40,4 % technisch möglich (vgl. WETTER und BRÜGGING, 2006). Neun der 39 untersuchten Anlagen überschreiten diese Angabe teilweise erheblich. Vermutlich kommt dieser Fehler durch eine nicht exakte Mengenangabe der eingesetzten Substrate zustande. Diese 9 Anlagen wurden von der Kalkulation ausgeschlossen. Investitionen für den Bau der Biogasanlagen wurden im Bereich von 517 €/kW bis 11.111 €/kW getätigt, was einem mittleren Investitionsaufwand von 3.050 €/kW entspricht. Zwei Anlagen weisen einen Investitionsbedarf von nur 517 €/kW bzw. 824 €/kW auf. Das bedeutet, diese Anlagen haben nur 17 % bzw. 27 % des mittleren Investitionsbedarfs getätigt. Vermutlich handelt es sich dabei um Erweiterungsinvestitionen. Um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten, werden auch diese Anlagen aus der Analyse ausgeschlossen.

Nach der Ausreißerselektion stehen noch 28 der ursprünglich 39 BGA für die Analyse von Effizienz und Rentabilität zur Verfügung. Tabelle 2 enthält statistische Kennzahlen der Inputs und Outputs dieser Anlagen.

**Tabelle 2: Kennzahlen der Input- und Outputvariablen der untersuchten Anlagen**

		Einheit	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Inputs	Energiepotential der Substrate	kWh/a	512.358	74.093.052	8.174.186	13.926.136
	Strombedarf zum Betrieb der Anlage	kWh/a	10.500	960.000	148.805	187.441
	Arbeitsaufwand Investitionen	Akh/a €	166 135.470	5.024 4.300.000	1.180 846.836	1.196 955.657
Output	Summe aus erzeugter Strom- und genutzte Wärmemenge	kWh/a	140.000	8.000.000	1.937.061	1.914.911

Quelle: eigene Berechnungen

### 3 Ergebnisse

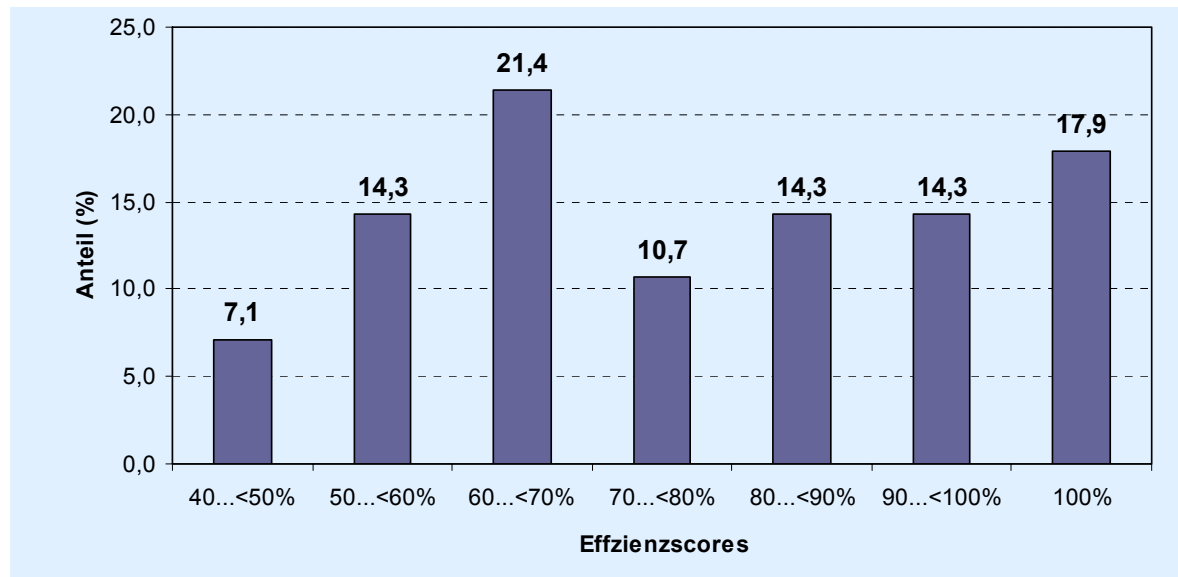
#### 3.1 Analyse der technischen Effizienz

Abbildung 1 zeigt die Verteilung der technischen Effizienz der untersuchten Anlagen. Es wird deutlich, dass die Effizienzwerte eine hohe Varianz aufweisen. Mehr als 40 % der untersuchten Anlagen erreicht einen Effizienzgrad von weniger als 70 %. Die schlechteste BGA weist einen Efficiency Score von 40 % auf, d.h. sie benötigt mehr als doppelt so viel Inputs um dieselbe Menge an Biogas (und Wärme) zu erzeugen wie die effizientesten Anlagen. Fünf der 28 untersuchten BGA sind technisch effizient und bilden die „Best-Practice-Anlagen“. Um die Unterschiede zu verdeutlichen, soll diese Best-Practice-Gruppe mit den ineffizientesten Anlagen (Effizienz < 50 %) verglichen werden. Die effizienten Anlagen konnten bei einer installierten Leistung von 287 kW den Output einer kWh Strom und Wärme mit einem spezifischen

<sup>3</sup> Vier BGA-Betreiber machen keine Angaben zum Eigenstrombedarf ihrer Anlagen. Möglicherweise fehlt eine Erfassung über einen separaten Stromzähler. Um diese BGAs dennoch für die Analyse nutzen zu können, wurde ein mittlerer Strombedarf von 8 % der erzeugten Strommenge angenommen.

Input an 2,71 kWh Substrat, 0,036 kWh Prozessenergie, 0,0005 Akh und 0,329 Euro Kapital produzieren. Die beiden ineffizientesten BGA brauchten für 1 kWh Output bei einer installierten Leistung von 766 kW das dreifache an Substrat, 3,5 Mal mehr Eigenstrom, 1,5 Mal mehr Arbeitszeit und investierten 1,7-mal mehr Kapital. Während das Verhältnis zwischen dem Energiegehalt der Ausgangssubstrate und dem Output an Energie bei den 5 effizienten Anlagen 37 % betrug, konnten bei den schlechtesten beiden Anlagen nur 12 % der Ausgangsenergie in nutzbare Form umgewandelt werden. Jede Verbesserung dieses Verhältnisses ist ein direkter Beitrag zur Effizienzsteigerung.

**Abb. 1: Technische Effizienz der Biogasanlagen**



In dem DEA-Modell wird die Biogasanlage weitgehend als Black Box betrachtet. Die technische Effizienz der untersuchten Anlagen hängt aber wesentlich von der Prozessgestaltung ab. Ursachen für schlechte Energiekoeffizienten oder hohen Eigenstromverbrauch können aus den DEA Ergebnissen nicht unmittelbar abgeleitet werden. Erklärungsansätze für technische Effizienzunterschiede sollen daher in einer separaten Regressionsanalyse abgeleitet werden. Von den in Abschnitt 2 angesprochenen Prozessparametern können mit den zur Verfügung stehenden Daten die Variablen „Substratzusammensetzung“, „Faulraumlast“, „Anzahl der täglichen Substratzugaben“ sowie die Fermenteranzahl gemessen und als potentielle Erklärungsgrößen untersucht werden. Hinzu kommen Einflussfaktoren wie die Volllaststunden des BHKW sowie die Anlagenleistung (installierte elektrische Leistung). Der Auswahl dieser Variablen liegen folgende Hypothesen zugrunde:

- Substratzusammensetzung: Diese Variable ist ein Quotient, der sich aus dem Verhältnis von eingesetzten Kofermenten (typisch sind Fette, Marktäbfälle, Ernterückstände oder Rückstände der Nahrungsmittelindustrie) und verwendetem Wirtschaftsdünger berechnet. Dahinter steht die Frage, ob sich der verstärkte Einsatz einer bestimmten Art von Substrat auf die technische Effizienz auswirkt.
- Faulraumlastabweichung: Technischen Untersuchungen zufolge hat die Faulraumlast Einfluss auf die Höhe der Biogasausbeute je Mengeneinheit Substrat. Empfohlen wird eine Faulraumlast zwischen 2-3 kg/m<sup>3</sup> und Tag (vgl. LINKE, 2004, LINKE und MÄHNERT, 2005). Mit steigender Reaktorbelastung steigt die Methanerzeugung in m<sup>3</sup> pro Tag, aber gleichzeitig fällt die Methanausbeute in m<sup>3</sup> je kg organischer Trockensubstanz. Insofern gibt es einen optimalen Bereich zwischen der Ausnutzung des Substrates und der Ausnutzung der Investition. Da die Biogasanlagen zum Teil erheblich von dieser Spannweite abweichen, müsste sich dies auf die Biogasausbeute und damit negativ auf die technische Effizienz auswirken. Um dies zu prüfen, wird die Abweichung der angegebenen Faulraumlasten von 3 kg oTS/m<sup>3</sup> und Tag als Erklärungsgröße herangezogen.

- Anzahl Substratzugaben: Diese Variable beschreibt die Häufigkeit der Befüllung des Fermenters mit frischem Substrat pro Tag. Um eine optimale Biogasproduktion in Nassfermentationsanlagen zu gewährleisten, ist es wichtig, dass die Bedingungen im Fermenter für die Gas produzierenden Mikroorganismen weitgehend homogen sind.
- Fermenteranzahl: Das breite Spektrum der Anlagentechnik zur Biogasbereitstellung spiegelt u.a. sich in der Anzahl der verwendeten Fermenter wieder. Die Fermenterzahl wird als Dummyvariable modelliert, wobei Anlagen mit einem Fermenter die Referenzkategorie bilden. Anlagen mit zwei oder mehr als einem Fermenter bilden die Kontrastgruppe.
- Anlagenleistung: Diese Variable steht stellvertretend für die Größe einer BGA, gemessen anhand ihrer installierten elektrischen Leistung. Damit soll das Vorhandensein positiver oder negativer Skaleneffekte geprüft werden.
- BHKW-Stunden: Die Volllaststunden des Blockheizkraftwerkes pro Jahr haben wesentlichen Einfluss auf den Wirkungsgrad einer Biogasanlage. Das bedeutet, mit jeder zusätzlichen Volllaststunde/a produziert die BGA mehr Energie. Es wird daher ein positiver Einfluss auf die technische Effizienz erwartet.

In Tabelle 3 sind die Ausprägungen der einzelnen Variablen dargestellt.

**Tabelle 3: Erklärende Variablen für Effizienzunterschiede von Biogasanlagen**

Einflussgrößen	Einheit	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Substratzusammensetzung		0	21	5	5
Faulraumlastabweichung	kg/m <sup>3</sup> und Tag	0,48	4,82	1,52	0,94
Substratzugabenzahl	Anzahl/Tag	1	100	20	22
Fermenteranzahl	Dummyvariable	1= 1 Fermenter, 2 = mehrere Fermenter			
Anlagenleistung	kW	55	1.202	282	251
BHKW-Stunden	Volllaststunden/Jahr	2.657	8.700	7.061	1.538

Quelle: eigene Berechnungen

Die Substratzusammensetzung zeigt Anlagen mit ausschließlichem Wirtschaftsdüngereinsatz bis hin zu solchen mit starker Dominanz von Kofermenten. Im Durchschnitt kommt fünfmal mehr Energie aus den eingesetzten Ko-Substraten als aus den verwendeten Wirtschaftsdüngern. Die Abweichung der Faulraumlast von 3 kg/m<sup>2</sup> und Tag ist nach unten größer als nach oben. Die Anzahl der täglichen Substratzugaben schwankt zwischen einer und 100 Beschickungen, während durchschnittlich 20 Befüllungen je Tag vorgenommen werden. 64 % der Anlagen werden mit mehr als einem Fermenter betrieben. Bei einer mittleren installierten elektrischen Leistung von 282 kW leisten die Blockheizkraftwerke im Schnitt 7.061 Volllaststunden pro Jahr. Die Ergebnisse der Regressionsanalyse sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

**Tabelle 4: Einflussfaktoren der technischen Effizienz**

Variable	Koeffizient	t-Wert	Irrtumswahrscheinlichkeit	Mittelwert
Verhältnis Kofermente zu Wirtschaftsdünger	-.3727E-02	-.352	.7251	5,23
Anlagenleistung	-.2023E-04	-.105	.9167	282
Volllaststunden des Blockheizkraftwerkes	.5209E-04	2.667	.0077	7.061
Abweichung von der empfohlenen Faulraumlast	.7269E-01	1.258	.2082	1,50
Anzahl täglicher Frischmassezugaben	-.2929E-03	-.134	.8935	20
Anzahl der Fermenter	.1789	3.049	.0023	1,8

Quelle: eigene Berechnungen

Von den sechs untersuchten Einflussvariablen haben die Volllaststunden des Blockheizkraftwerkes sowie die Anzahl der eingesetzten Fermenter einen positiv signifikanten Einfluss auf die technische Effizienz der Biogasanlagen. Für die jährliche Laufleistung war das zu erwarten. Ein Großteil der vorhandenen Ineffizienz wird durch eine ungenügende Auslastung der BHKW verursacht. Dies kann mehrere Ursachen haben. Zum einen kann das BHKW im Vergleich zur Biogasanlage überdimensioniert sein. Das heißt, es ist gar nicht möglich, im Fermenter genügend Gas zu erzeugen, um das BHKW voll auszulasten. Zum anderen könnte nicht die im Vorfeld kalkulierte Gasmenge produziert worden sein, was wiederum verschiedene Ursachen haben kann. Beispielweise könnten Substrate mit geringerem Energiegehalt

zum Einsatz gekommen sein, als bei der Anlagenkonzipierung geplant, was sich negativ auf die Gasbildungsrate auswirkt. Eine weitere Ursache könnten Fehler in der Prozessführung sein. Schließlich könnte auch der Betreuungsaufwand der Anlagen unterschätzt worden sein. Ungeplante Störungen im Betriebsablauf führen nicht selten zu Ausfallzeiten und beeinträchtigen die geplante Gasproduktion.

Weiterhin ist der positive Zusammenhang zwischen der Fermenterzahl und der technischen Effizienz der Anlagen signifikant. Das heißt, mit zunehmender Zahl der Fermenter steigt die Effizienz der Anlage. Grund dafür könnte die bessere Substratausnutzung und damit höhere Gasausbeute sein, die durch mehrere Fermenter möglich wird. Zu betonen ist, dass es nicht um einen Vergleich von ein- und mehrstufiger Verfahren handelt. Alle weiteren Variablen des Regressionsmodells sind nicht signifikant. Für das Merkmal der installierten Leistung als Proxy für die Anlagengröße ist dieser Befund überraschend, denn in der Praxis ist - unter Verweis auf Kostendegressionen - eine Tendenz zur Installation größerer Anlagen zu beobachten. Zu diesem scheinbaren Widerspruch ist Folgendes anzumerken. Zum einen wurde bereits auf die Probleme bei der Messung der Investitionskosten hingewiesen. Gerade diese Ausgabenposition soll ja durch größere Anlagen in die Degression gebracht werden. Zum anderen kann aus den Ergebnissen der Effizienzanalyse nicht abgeleitet werden, dass größere BGAs nicht kostengünstiger produzieren *könnten* als kleinere Anlagen. Offensichtlich gelingt es den Betreibern größerer Anlagen aber nicht immer, dieses Potential auszuschöpfen. Die Größe der BGA ist damit bestenfalls eine notwendige, keinesfalls aber eine hinreichende Bedingung für technische Effizienz.

Auch die Variable „Faulraumbelastung“ liefert keinen signifikanten Erklärungsbeitrag für die technische Effizienz. Anscheinend reagiert die Leistungsfähigkeit der BGAs nicht ganz so empfindlich auf Abweichungen von dem empfohlenen Richtwert von 3 kg/m<sup>2</sup> und Tag. Dass die Substratzusammensetzung keinen signifikanten Einfluss auf die technische Effizienz hat, kann in der Weise interpretiert werden, dass die für die Aggregation der verschiedenen Substrate verwendeten Koeffizienten deren Energiegehalt in zutreffender Weise erfassen.

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass mit dem hier vorgestellten Modell nur ein Teil der beobachteten Varianz der Effizienzwerte erklärt werden. Der unbefriedigende Erklärungsgehalt drückt sich in einem Bestimmtheitsmaß von 59 % aus.

### **3.2 Analyse von Kosteneffizienz und Rentabilität**

Im Folgenden soll die Analyse der Effizienz in der Weise erweitert werden, dass nun zusätzlich die Kosten der Inputfaktoren der Biogasproduktion berücksichtigt werden. Dies kann die Ergebnisse der technischen Effizienz unter Umständen in ganz anderem Licht erscheinen lassen. Wenn ein Produktionsfaktor, zum Beispiel das Substrat, wenig oder im Extremfall gar nichts kostet, würde es aus ökonomischer Sicht wenig Sinn machen, an ihm zu sparen. Diese Überlegung geht in die Bestimmung der Kosteneffizienz ein.

In die Berechnung der Kosteneffizienz werden dieselben Inputfaktoren einbezogen, die bereits bei der Messung der technischen Effizienz verwendet wurden. Problematisch ist die Quantifizierung der Faktorkosten, die im Allgemeinen betriebspezifisch sind. Dabei wird wie folgt vorgegangen.

Bekanntermaßen stellen die Substratkosten mit mehr als 50 % der Gesamtkosten den wesentlichsten Kostenfaktor in der Produktion von Biogas dar. Es handelt sich typischerweise um Stoffe, für die kein Marktpreis existiert und deren monetäre Bewertung von einer Reihe betriebsindividueller Faktoren abhängt. Dem Fehlen dieser Informationen zur Art und Weise der Substratbereitstellung (reine Güllevergärung, Einsatz von Kofermenten und/oder Getreideinsatz usw.) soll durch Parametrisierung der Substratkosten begegnet werden. Während im günstigsten Fall das Substrat quasi kostenlos zur Verfügung steht, können bei Zukauf bzw. durch Opportunitätskosten für die Substraterzeugung sowie durch Transport und Lagerung erhebliche Kosten entstehen. Um diesen möglichen Schwankungsbereich abzudecken, wurden drei Szenarien gerechnet und zwar für Substratkosten von null, drei und sechs Cent/kWh. Der

gewählte Parametrisierungsbereich ergibt sich aus Betreiberbefragungen (vgl. INSTITUT FÜR ENERGETIK UND UMWELT, 2006). Zur Veranschaulichung dieser Werte dient die folgende Überschlagsrechnung: Substratkosten in Höhe von 3 ct/kWh entsprechen für das Substrat „Maissilage“ bei Annahme einer Gasausbeute von 18,7 m<sup>3</sup>/dt und einem Energieertrag von 5,2 kWh/m<sup>3</sup> Produktionskosten in Höhe von 2,92 €/dt. Dies ist ein durchaus realistischer Wert.

In der Umfrage wurden die Kosten des Eigenstrombedarfs nicht erfasst. Dies ist für die vorliegende Fragestellung auch nicht notwendig. Strom kann hier als innerbetrieblich verwendbares, marktfähiges Produkt angesehen werden, für das der Verkaufspreis den relevanten Wertmaßstab darstellt. Dieser liegt gemäß EEG für Altanlagen bei 9,9 ct/ kWh und dient hier als Wert für den Eigenstrombedarf. Kosten für Arbeitsaufwand wurden ebenfalls nicht ermittelt, weshalb ein für alle Betriebe einheitlicher Richtwert von 15 €/Akh verwendet wurde. Für den Investitionsaufwand wurden die in der Umfrage ermittelten Werte verwendet. Tabelle 5 fasst die Annahmen bezüglich der Faktorpreise zusammen.

**Tabelle 5: Kosten der Produktionsfaktoren**

Inputs	Szenario 1	€/kWh	0,00
	Substratkosten Szenario 2	€/kWh	0,03
	Szenario 3	€/kWh	0,06
	Stromkosten (konstant in allen Szenarien)	€/kWh	0,099
	Arbeitskraftkosten (konstant in allen Szenarien)	€/Akh	15
	Investitionen (konstant in allen Szenarien)	€/kW <sub>el</sub>	betriebs-individuell

Quelle: eigene Berechnungen

Die berechneten Werte der Kosteneffizienz und der allokativen Effizienz sind in Tabelle 6 dargestellt. Unter Berücksichtigung der Faktorkosten sinkt die durchschnittliche Effizienz, während die Schwankungsbreite der Efficiency Scores zunimmt. So hat die ineffizienteste Anlage einen Score von nur 20 %. Die Verteilung der Kosteneffizienz als Ganzes ändert sich bei Variation der Substratkosten nur wenig, allerdings verändern sich die Ränge der einzelnen Anlagen teilweise erheblich. Sensitiv reagieren Anlagen, die relativ viel Substrat für ihre Biogasproduktion aufwenden. Da die tatsächlichen Substratkosten entgegen der hier getroffenen Annahme betriebsspezifische Unterschiede aufweisen, ist es denkbar, dass die tatsächlichen Effizienzunterschiede weniger stark ausgeprägt sind, als in Tabelle 6 ausgewiesen.

Eine Kosteneffizienz von eins weist nunmehr allein die BGA 41 auf und zwar in allen drei Varianten der Substratkosten. Interessant ist, dass die ebenfalls technisch effizienten Anlagen 2, 24, 29 und 31 in Bezug auf ihre ökonomische Effizienz teilweise schlecht abschneiden. Beispielsweise erzielt BGA 2 im Szenario [GE (0)] einen Effizienzwert von nur 34 %, der im Szenario [GE (0,03)] auf 41 % und im Szenario [GE (0,06)] auf 46 % ansteigt.



**Tabelle 6: Kosteneffizienz, technische Effizienz, allokative Effizienz in Abhängigkeit von den Substratkosten**

Anlage	TE <sup>a)</sup>	KE <sup>b)</sup> (0)	KE (0,03)	KE (0,06)	AE <sup>c)</sup> (0)	AE (0,03)	AE (0,06)
1	0,625	0,504	0,492	0,484	0,807	0,787	0,775
2	1,000	0,339	0,408	0,463	0,339	0,408	0,463
4	0,929	0,911	0,913	0,915	0,980	0,983	0,984
6	0,868	0,457	0,517	0,561	0,527	0,596	0,646
7	0,403	0,392	0,351	0,331	0,974	0,872	0,821
8	0,570	0,202	0,246	0,283	0,355	0,432	0,496
9	0,478	0,284	0,322	0,350	0,594	0,674	0,732
10	0,641	0,436	0,464	0,483	0,680	0,724	0,753
11	0,664	0,477	0,520	0,549	0,719	0,783	0,827
13	0,795	0,674	0,705	0,725	0,849	0,887	0,912
15	0,818	0,426	0,495	0,548	0,521	0,605	0,670
21	0,741	0,643	0,668	0,684	0,867	0,901	0,922
22	0,723	0,478	0,525	0,559	0,661	0,727	0,773
23	0,610	0,506	0,533	0,549	0,830	0,873	0,900
24	1,000	0,939	0,773	0,699	0,939	0,773	0,699
25	0,944	0,451	0,496	0,527	0,478	0,525	0,558
27	0,933	0,504	0,571	0,621	0,540	0,612	0,665
28	0,854	0,822	0,764	0,734	0,961	0,895	0,859
29	1,000	0,480	0,566	0,633	0,480	0,566	0,633
30	0,562	0,359	0,400	0,428	0,653	0,727	0,779
31	1,000	0,817	0,846	0,864	0,817	0,846	0,864
33	0,803	0,277	0,335	0,383	0,345	0,417	0,476
34	0,927	0,427	0,501	0,559	0,460	0,541	0,603
35	0,639	0,584	0,597	0,605	0,914	0,934	0,947
36	0,617	0,359	0,408	0,444	0,582	0,661	0,720
38	0,562	0,526	0,535	0,540	0,936	0,952	0,962
40	0,567	0,281	0,330	0,367	0,496	0,581	0,648
41	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Min	0,403	0,202	0,246	0,283	0,339	0,408	0,463
Mittelwert	0,760	0,520	0,546	0,567	0,689	0,724	0,753
Standardabweichung	0,182	0,210	0,185	0,173	0,215	0,177	0,155

<sup>a)</sup> TE = Technische Effizienz; <sup>b)</sup> KE = Kosteneffizienz; <sup>c)</sup> AE = Allokative Effizienz

Quelle: eigene Berechnungen

Um die Unterschiede zwischen der kosteneffizientesten und der ineffizientesten BGA aufzuzeigen, sind einige Parameter dieser beiden Anlagen in Tabelle 7 dargestellt und werden mit denen einer durchschnittlichen BGA verglichen.

**Tabelle 7: Kennzahlen einer kosteneffizienten und einer ineffiziente Anlage**

	Kosteneffiziente Anlage (BGA 41)	Durchschnittliche Anlage	Kostenineffiziente Anlage (BGA 8)
Eigenstrombedarf (% der erzeugten Strommenge)	5	8	19
Arbeitszeitaufwand (Akh/kW und Jahr)	1,8	4,9	10,1
Substratinput (kWh)	3.901.318	7.325.788	512.358
Investitionen (€/kW)	1.650	3.050	2.090
Elektrische Leistung (kW)	200	282	67
Energieoutput (kWh)	1.568.000	2.265.099	140.000

Quelle: eigene Berechnungen

Die Anlage 41 benötigt im Vergleich zum Durchschnitt weniger Eigenstrom und Arbeitszeitaufwand sowie geringere Investitionen pro Kilowattstunde. Bezüglich des geringen ausgewiesenen Investitionsaufwandes von 1.650 (€/kW) ist allerdings zu fragen, ob wirklich alle relevanten Kostenpositionen einschließlich Rohstofflager, Gärrestlagerkapazitäten und Planungskosten mit erfasst sind. Die kostenineffiziente BGA setzt erheblich mehr Eigenstrom und Arbeitszeit ein als eine durchschnittliche Anlage. Bemerkenswert ist, dass die kosteneffiziente BGA eine geringere installierte Leistung hat als der Durchschnitt. Damit zeigt sich die Bedeutung einer optimalen Auslastungsgrad auch für die Kosteneffizienz. Darüber hinaus ist bei der Wahl der betriebswirtschaftlich sinnvollen Größe einer BGA zu berücksichtigen, dass mit zunehmender Größe der BGA in der Regel die Anforderungen an die Logistik der Substratbereitstellung und die damit verbundenen Kosten steigen.

Abschließend wird für die kosteneffizienteste Anlage (BGA 41) eine Rentabilitätsanalyse durchgeführt. Um die Auswirkungen der Novellierung des EEG zu untersuchen, wurden zwei Szenarien betrachtet. Zunächst wird die tatsächliche Rentabilität der Anlage berechnet, die vor 2004 errichtet wurde. Darüber hinaus wird die hypothetische Rentabilität ausgewiesen, die sich ergeben würde, wenn die Anlage unter sonst gleichen Bedingungen nach 2004 errichtet worden wäre und somit an der verbesserten Mindesteinspeisevergütung partizipiert hätte. Die Höhe der Reparatur- und Wartungskosten wurde in Anlehnung an FNR (2004) festgesetzt. In Tabelle 8 sind die Ausgangsdaten und die Ergebnisse der Rentabilitätsrechnung dargestellt.

**Tabelle 8: Rentabilität der kosteneffizientesten Anlage vor und nach Novellierung des EEG**

<b>Biogasanlage</b>	<b>Nr</b>	<b>41</b>				
Zins	<b>%</b>	<b>6</b>				
Nutzungsdauer	<b>Jahre</b>	<b>20</b>				
Anlagenleistung	KW	200				
Investitionssumme	€	330.000				
Stromerzeugung	kWh/a	1.568.000				
Substrateinsatz	kWh/a	3.901.318				
Eigenstrombedarf	kWh/a	82.000				
Arbeitsaufwand	Akh/a	362				
Reparaturen/Unterhaltung <sup>1)</sup>	ct/kWh	1,5				
<b>Zeitpunkt</b>	<b>EEG-Gesetz 2000</b>			<b>EEG-Gesetz Novelle 2004</b>		
Leistungen	ct/kWh	kWh	€	ct/kWh	kWh	€
Stromverkauf	9,9	1.568.000	155.232	11,5	1.314.000	151.110
			0	9,9	254.000	25.146
Nawaro-Bonus			0	6	1.568.000	94.080
<b>Summe Leistungen</b>			<b>155.232</b>			<b>270.336</b>
Kosten	ct/kWh	kWh	€	ct/kWh	kWh	€
Investitionskosten p. a.			28.771			28.771
Substratkosten	a 0		0	0		0
	b 3	3.901.318	117.040	3	3.901.318	117.040
	c 6		234.079	6		234.079
Prozessenergie	9,9	82.000	8.118	9,9	82.000	8.118
Reparaturen/Wartung	1,5	1.568.000	23.520	1,5	1.568.000	23.520
Löhne	15 €/Akh	362	5.430	15 €/Akh	362	5.430
<b>Summe Kosten</b>	a		65.839			65.839
	b		<b>182.878</b>			<b>182.878</b>
	c		299.918			299.918
<b>Leistungs-Kosten-Differenz</b>	a		89.393			204.497
	b		<b>-27.646</b>			<b>87.458</b>
	c		-144.686			-29.582
<b>Interne Verzinsung</b>	a		36 %			71 %
	b		<b>-18 %</b>			<b>35 %</b>
	c		-			-
<b>Kritische Substratkosten</b>	<b>ct/kWh</b>		<b>2,29</b>			<b>5,24</b>

Quelle: eigene Berechnungen

Es ist ersichtlich, dass vor Novellierung des EEG selbst die kosteneffizienteste Anlage schon bei Substratkosten von 3 ct/kWh nicht mehr rentabel ist. Der kritische Substratpreis liegt bei 2,29 ct/kWh. Unter den Bedingungen des neuen EEG erhöht sich die Rentabilität der Anlage stark. Durch die verbesserten Vergütungsbedingungen für den erzeugten Strom sowie die Nutzung des KWK- Bonus erreicht die BGA bei Substratkosten von 3 ct/kWh eine interne Verzinsung von 35 %. Der Break-Even-Point für die Substratkosten liegt nun bei 5,24 ct/kWh. Die Rechnungen zeigen somit zweierlei: Erstens, die Substratkosten stellen einen wesentlichen Kostenfaktor dar, und die Rentabilität von BGA reagiert empfindlich auf Ver-

änderungen dieser Größe. Zweitens, die Novellierung des EEG hat deutlich zur Erhöhung der Rentabilität beigetragen. Vor der Novellierung war ein rentabler Betrieb selbst von effizienten Anlagen nur unter sehr günstigen Bedingungen möglich. Dies erklärt die Investitionszurückhaltung vor der Novellierung sowie den markanten Anstieg der nach 2004 errichteten BGA.

#### **4 Schlussfolgerungen**

Die vorliegende Untersuchung zeichnet ein differenziertes Bild der Effizienz und Rentabilität von Biogasanlagen in Deutschland. Trotz des relativ kleinen Stichprobenumfangs und des nur begrenzt belastbaren Datenmaterials lassen sich einige interessante Ergebnisse ableiten. Zunächst ist die hohe Streuung der physischen Produktivität der Biogaserzeugung hervorzuheben. Während sich einige Anlagen der Grenze des technologisch Machbaren nähern, weisen andere BGA Wirkungsgrade der Energieausbeute von kaum mehr als 10 % aus. Offensichtlich wird in diesen Anlagen der biologische Prozess der Gaserzeugung nur unzureichend beherrscht. Möglicherweise wurden die Komplexität dieses Prozesses und der Managementaufwand, der für einen störungsfreien Betrieb einer BGA erforderlich ist, von den Anlagebetreibern unterschätzt. Zweifellos handelt es sich bei der Biogasproduktion um ein Produktionsverfahren, das Aufmerksamkeit und Know-how vom Landwirt verlangt und nicht einfach „nebenbei“ betrieben kann, wie beispielsweise die Erzeugung von Strom aus Windenergie. Welche der vielfältigen technologischen Varianten hinsichtlich ihrer Effizienz überlegen ist, konnte mit den zur Verfügung stehenden Daten nicht eindeutig geklärt werden. Die Notwendigkeit, den Produktionsprozess reibungslos zu managen, wächst mit der Größe der Biogasanlage. Da die Investitionskosten mit zunehmender Größe der Anlage absolut steigen, wirken sich Unterbrechungen oder eine unzureichende Auslastung infolge mangelnder Substratzufuhr besonders ungünstig aus und stehen potenziellen Degressionseffekten entgegen. Während in anderen landwirtschaftlichen Produktionsbereichen die optimale Auslastung von Maschinen und Gebäuden zu Recht besondere Aufmerksamkeit erfährt, scheint im Bereich der Biogasproduktion teilweise noch das „Gefühl“ für die harmonischen Proportionen zwischen Anlagengröße einerseits sowie notwendiger Substratbereitstellung und Arbeitszeit andererseits zu fehlen. Sofern es den Anlagebetreibern gelingt, vorhandene Defizite im Produktionsprozess – ggf. durch kompetente Beratung - zu beseitigen, ist eine Angleichung der technischen Effizienz zu erwarten. Darüber hinaus ist zu bedenken, dass die Einführung neuer Technologien in die Praxis in gewisser Weise experimentellen Charakter hat und mit Risiken verbunden ist. Insofern überrascht die beobachtete Heterogenität der Produktivität nicht sonderlich.

Die bestehenden Unterschiede in der technischen Effizienz schlagen sich auch in der Rentabilität der BGA nieder. Mit Blick auf die Wirtschaftlichkeit von Altanlagen, das heißt bei solchen, die vor 2004 errichtet wurden, tritt eine gewisse Ernüchterung ein. Diese BGA lassen sich nur unter bestimmten Umständen rentabel betreiben. Zum einen müssen sie einen hohen technologischen Wirkungsgrad aufweisen und zum anderen muss die Bereitstellung des Substrats kostengünstig erfolgen. Der kritische Substratpreis für eine effiziente Anlage liegt unter den hier getroffenen Angaben bei ca. 2,3 Cent/kWh inklusive aller Nebenkosten für Transport etc. Vielen Betrieben fällt es schwer, diese beiden Voraussetzungen zu erfüllen. Sofern die Anlage fremdfinanziert ist und die eingesetzte Arbeit tatsächlich mit dem angenommenen Satz von 15 Euro pro Stunde zu entlohnen ist, wird in diesen Betrieben auch die Liquidität belastet. Die Situation stellt sich anders dar für Anlagen, die nach der Novellierung des EEG errichtet wurden und die sämtliche Preiszuschläge für die Stromerzeugung abschöpfen können. Technisch effizient betriebene Anlagen mittlerer Größe (200 KW) können bei moderaten Substratkosten von 3 Cent/kWh Renditen des investierten Kapitals in der Größenordnung von 35 % erzielen – freilich auf Kosten des Steuerzahlers. Da die Strompreise für die Dauer der angenommenen Laufzeit der Anlage garantiert werden, ist diese Rendite sogar vergleichsweise risikolos. Eingedenk des eingangs angesprochenen Beitrags, den die Erzeugung regenerativer Energien zum Klimaschutz leistet, ist eine solche Subvention aber vermutlich einfacher zu vermitteln, als eine Preisstützung für im Überschuss erzeugte Nahrungsmittel.

## Literatur

- COELLI, T., RAO, P. und BATTESE, G. (1998): An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis, Kluwer Academic Publishers, Boston, Dordrecht, London.
- DACHVERBAND AGRARFORSCHUNG (2006): Energie aus Biomasse - weltwirtschaftliche, ressourcenökonomische und produktionstechnische Perspektiven. <http://daf.zadi.de>.
- FNR (2004): Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow.
- FACHVERBAND BIOGAS (2005): Tagungsband zur 14. Jahrestagung des Fachverband Biogas e.V., Nürnberg, 2005. <http://www.biogas.org/>.
- INSTITUT FÜR ENERGETIK UND UMWELT (2006): Monitoring zur Wirkung des novellierten Erneuerbaren Energien Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse. – 2. Zwischenbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt und Reaktorsicherheit. <http://www.bmu.de/>.
- GRUBER, W. (2006): Trends bei der Biogastechnik. Landtechnik 61 (6): 356-357.
- KTBL (2005): Faustzahlen für die Landwirtschaft, 13. Auflage.
- LINKE, B. und P. MÄHNERT (2005): Einfluss der Raumbelastung auf die Gasausbeute von Gülle und Nachwachsenden Rohstoffen. 14. Jahrestagung des Fachverbandes Biogas e.V., Nürnberg: 2005: 33-43.
- WEILAND, P. (2000): Stand und Perspektiven der Biogasnutzung und -erzeugung in Deutschland. FNR Gülzower Fachgespräche: Energetische Nutzung von Biogas- Stand der Technik und Optimierungspotenzial: 8- 27.
- WETTER, C. und E. BRÜGGING (2006): Leitfaden zum Bau einer Biogasanlage – Band IV, Fachhochschule Münster. [http://www2.fh-muenster.de/FB4/biogas/biogasleitfaden\\_band\\_4.pdf](http://www2.fh-muenster.de/FB4/biogas/biogasleitfaden_band_4.pdf).