

Djordje Djatkov, Mathias Effenberger und Andreas Gronauer

Vergleich der Prozesseffizienz in Biogasanlagen: Anwendung der Data Envelopment Analysis (DEA)

Angesichts der großen und ständig zunehmenden Zahl von Biogasanlagen in Deutschland besteht ein erheblicher Bedarf zur Bewertung dieser Anlagen. Der Betrieb einer Biogasanlage ist ein sehr komplexer Prozess und wird durch zahlreiche Faktoren beeinflusst. Den Prozess Erfolg zu bewerten und verschiedene Biogasanlagen hinsichtlich ihrer Prozesseffizienz einzuordnen, stellt daher eine große Herausforderung dar. In dieser Arbeit wird der Versuch unternommen, diesem Ziel durch Anwendung der „Data Envelopment Analysis (DEA)“ näher zu kommen. Mit Hilfe dieser Methode wurden zehn landwirtschaftliche Biogasanlagen in Bayern hinsichtlich der Effizienz der Umwandlung der Einsatzstoffe in Elektrizität und Wärme bewertet und in eine Rangfolge gebracht.

Schlüsselwörter

Biogasanlage, DEA, elektrischer Strom, Prozesseffizienz, Wärmenutzung

Keywords

Biogas plant, DEA, electrical energy, process efficiency, heat utilization

Abstract

Djatkov, Djordje; Effenberger, Mathias and Gronauer, Andreas

Comparison of process efficiency of biogas plants: Application of Data Envelopment Analysis (DEA)

Landtechnik 65 (2010), no. 2, pp. 132-135, 2 figures, 3 tables, 2 references

In view of the large and continuously increasing number of biogas plants in Germany, procedures for evaluating the efficiency of these plants are needed. The operation of a biogas plant is complex and influenced by many parameters. Therefore, it is quite demanding to evaluate biogas plant performance and rank different plants with respect to process efficiency. In this study, it was tried to accomplish this by

applying Data Envelopment Analysis (DEA). By means of this method, ten agricultural biogas plants in Bavaria were ranked in terms of their efficiency of converting input materials into electricity and heat.

Seit dem Inkrafttreten des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) im Jahre 2001 hat sich die installierte elektrische Leistung der Biogasanlagen in Deutschland vervierfacht. Die zweifache Novellierung des Gesetzes in den Jahren 2004 und 2009 hat das rasante Wachstum der Biogastechnologie in Deutschland weiter stimuliert. Die Biogasproduktion stellt mittlerweile einen bedeutenden landwirtschaftlichen Produktionszweig dar, weshalb es immer wichtiger wird, die Effizienz der einzelnen Biogasanlagen zu bewerten.

Die Verfahrenskette der Produktion und Verwertung von Biogas ist sehr komplex und wird durch zahlreiche Faktoren beeinflusst. Um die Prozesseffizienz unterschiedlicher Biogasanlagen zu vergleichen und daraus eine Rangfolge der Anlagen zu erstellen, sollte daher in der vorliegenden Arbeit ein einzelnes Effizienzmaß abgeleitet werden.

Material und Methode

Grundlage für diese Untersuchung war ein umfangreicher Datensatz von Kennzahlen für zehn landwirtschaftliche Biogasanlagen über einen Zeitraum von einem Jahr. Die zehn untersuchten Objekte spiegeln einen guten Teil der Diversität der technischen Konzepte und der Standortbedingungen von Biogasanlagen in

Tab. 1

Grundlegende technische Daten der zehn untersuchten Biogasanlagen

Table 1: Technical characteristics of the ten biogas plants assessed in this study

Anlagen-ID Plant ID	Einheit Unit	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Jahr der Inbetriebnahme Year of start-up	-	2005	2005	2004	2004	2005	2002	2005	2004	2005	2001
Gesamt-Gärraum ¹⁾ Total digester volume ¹⁾	m ³	3,015	2,605	3,676	2,290	2,487	3,740	1,540	1,778	1,095	3,413
BHKW-Motortyp CHPU engine type	-	G	G	G	G	G	G	ZS/PI	ZS/PI	G	G
Installierte elektrische Leistung Rated electrical capacity	kW	329	333	630	420	347	526	280	250	324	380
Installierte thermische Leistung Rated thermal capacity	kW	447	232	757	472	432	566	300	262	250	486

BHKW = Blockheizkraftwerk /CHPU = Combined heat-and-power unit; G = Gas-Otto-Motor /Gas engine; ZS = Zündstrahlmotor /PI = Pilot injection engine

¹⁾ Summe der Nutzvolumina aller Gärbehälter der Biogasanlage ohne Gärrestlager.

¹⁾ Sum of usable volume of digesters not including storage tank.

Bayern wider. Die Daten stammten aus automatischen Aufzeichnungen, Betriebstagebüchern und Analyseergebnissen für Proben der Einsatzstoffe, Gärgemische und Gärrückstände. Einige grundlegende technische Daten der Anlagen sind in **Tabelle 1** zusammengefasst.

Um die Prozesseffizienz der zehn oben beschriebenen Biogasanlagen zu vergleichen, wurde die Methode der „Data Envelopment Analysis (DEA)“ angewandt. DEA wird häufig eingesetzt, um die relative Effizienz einer vergleichbaren und homogenen Gruppe von „Einheiten“ (hier: Biogasanlagen) zu ermitteln. Hierbei wird angenommen, dass diese Einheiten dieselbe Funktion erfüllen, indem sie mehrere „Inputs“ in mehrere „Outputs“ umwandeln.

Das Ergebnis einer DEA ist ein Maß dafür, wie effizient die untersuchten Einheiten die „Inputs“ in „Outputs“ umwandeln. Dieses Effizienzmaß liegt im Intervall (0; 1). Die „beste“ (effizienteste) Einheit erhält den Wert 1, während die „schlechteste“ (ineffizienteste) Einheit den geringsten Wert erhält, der stets größer als 0 ist.

In dieser Arbeit wurden zwei DEA-Modelle verwendet: das CCR-Modell (nach Charnes, Cooper und Rodes) und das BCC-Modell (nach Banker, Charnes und Cooper) [1]. Hierbei wurde eine Output-orientierte Analyse durchgeführt, d. h. eine höhere Effizienz wird angestrebt, indem die Outputs bei konstantem Input gesteigert werden. Zusätzlich wurden zwei Varianten der vorgenannten Modelle benutzt, sogenannte „Super-Effizienz-Modelle“, mit denen die effizienten Einheiten durch Effizienzwerte größer 1 weiter differenziert werden können. Eine ausführliche Beschreibung der Methode und der für diese Arbeit verwendeten Modelle der DEA findet sich in [2].

Für die vorliegende Untersuchung wurde angenommen, dass die zehn Anlagen eine homogene Gruppe bilden, da es sich ausnahmslos um landwirtschaftliche Biogasanlagen für den Zweck der Erzeugung von Elektrizität und Wärme innerhalb eines relativ begrenzten Leistungsbereichs aus der

Vergärung landwirtschaftlicher Roh- und Reststoffe handelt. Die Eingangs- und Ausgangsgrößen für die Analyse sind in **Tabelle 2** beschrieben. Die Biogasanlagen wurden als Systeme für die Energieumwandlung betrachtet: Aus der Vergärung der organischen Trockensubstanz der Einsatzstoffe (I_1) wird Biogas erzeugt, welches in Elektrizität (O_1) und Wärme (O_2) umgewandelt wird. Die Biogasanlage selbst weist einen gewissen Eigenbedarf an elektrischer Betriebsenergie auf (I_2). **Tabelle 3** zeigt die Matrix der normierten Parameterwerte für die zehn Biogasanlagen.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der DEA für die relativen Effizienzwerte und die Rangfolge der Biogasanlagen nach CCR- bzw. BCC-Modell zeigt **Abbildung 1**. In beiden Modellen waren die Anlagen C und J die effizientesten. Die Gründe hierfür liegen im vergleichsweise geringen Strombedarf der Anlagen, in der hohen Stromproduktion und in der guten Wärmenutzung (Anlage C). Im BCC-Modell wurden vier weitere Anlagen als effizient bewertet (Anlagen G,

Tab. 2

Parameterauswahl für die DEA der untersuchten Biogasanlagen

Table 2: Parameters used for evaluation of biogas plants with DEA

Parameter Parameter	Einheit Unit	DEA-Kriterium DEA-criterion
Masse an oTS Amount of oDM	kg	I_1
Strombedarf der Biogasanlage Electricity for own demand	kWh	I_2
Brutto-Stromproduktion Electricity production	kWh	O_1
Externe Wärmeverwertung External heat use	kWh	O_2

oTS = organische Trockensubstanz /oDM = organic dry matter; I = Input (Eingangsgröße); O = Output (Ausgangsgröße)

Tab. 3

Normierte Parameterwerte für die zehn untersuchten Biogasanlagen
 Table 3: Standardized criteria values for the ten biogas plants

Anlagen-ID Plant ID	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
I ₁	0,3004	0,2744	0,3858	0,2839	0,3294	0,5300	0,2187	0,1785	0,1678	0,3278
I ₂	0,2541	0,5247	0,3390	0,2358	0,3059	0,4242	0,1784	0,2805	0,2252	0,2338
O ₁	0,3061	0,2515	0,4512	0,3034	0,3183	0,4699	0,2357	0,1986	0,1788	0,3132
O ₂	0,0000	0,0000	0,7090	0,1714	0,3492	0,5377	0,0744	0,1456	0,1214	0,1230

F, I und H). Dies liegt daran, dass die Effizienz-Grenzlinie im BCC-Modell eine flexiblere Form aufweist [2].

Im CCR-Modell wurden die Anlagen G und H als weniger effizient bewertet, weil sie einen geringeren Wärmenutzungsgrad (ca. 16 % bezogen auf die verfügbare Wärmemenge) und einen höheren Stromverbrauch aufwiesen. Der Strombedarf von Anlage G war hierbei mit 6 % Anteil an der Stromproduktion geringer als für Anlage H.

Die Ränge der Anlagen A und B wurden sehr stark durch die fehlende externe Wärmeverwertung beeinflusst. Bei den Anlagen E und F war die Stromproduktion im Vergleich zur Menge

der eingesetzten organischen Trockenmasse relativ gering, da in beiden Anlagen nennenswerte Anteile an Geflügeltrockenkot eingesetzt wurden. In der DEA spiegelte sich dieser Aspekt in niedrigeren Rängen für diese Anlagen wider.

Die Ergebnisse der Super-Effizienz-Modelle zeigt **Abbildung 2**. Mit Hilfe dieser Modelle konnten die effizientesten Biogasanlagen weiter differenziert werden. Die außerordentlich hohe relative Effizienz der Anlage C ist hierbei auf die hervorragende Wärmeverwertung zurückzuführen.

Die mit DEA ermittelten Effizienzwerte bilden keine Kardinalskala. Beispielsweise bedeutet ein Effizienzwert aus dem

Abb. 1

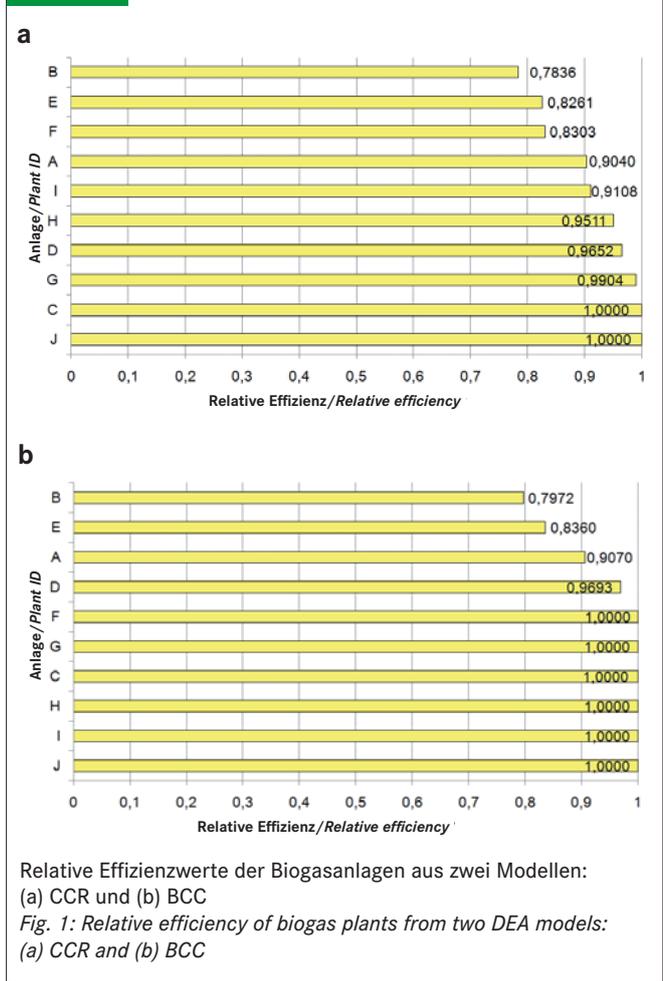
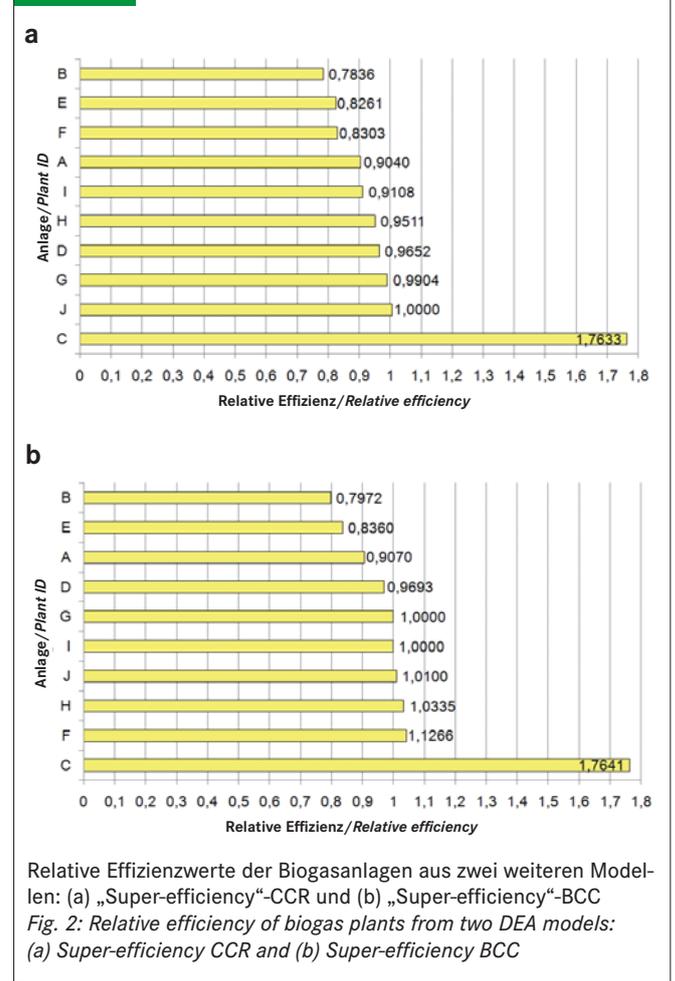


Abb. 2



Super-Effizienz-CCR-Modell von 1,7633 für Anlage C im Vergleich zu einem Wert von 1,0000 für Anlage J nicht, dass Anlage C ca. 1,8 Mal effizienter ist als Anlage J.

Schlussfolgerungen

Für die vorliegende Analyse wurden Biogasanlagen als Systeme für die Energieumwandlung beschrieben. Hierfür wurden absolute Werte zweier Eingangsgrößen (oTS und elektrische Energie) und zweier Ausgangsgrößen (elektrische und thermische Energie) betrachtet. Mit Hilfe der DEA konnten die Biogasanlagen anhand eines einzelnen Effizienzmaßes in eine Rangfolge gebracht werden. Während diese Rangfolge aus Expertensicht grundsätzlich plausibel erscheint, können die Anlagen hinsichtlich des ermittelten Effizienzmaßes nicht direkt miteinander verglichen werden.

Im Sinne der DEA-Methode ist die für diese Studie verwendete Anzahl an Parametern bei Weitem nicht ausreichend, um die Gesamteffizienz des Prozesses der Biogasproduktion und -verwertung zu beschreiben. Hinzu kommt, dass es für den Fall, dass zwischen zu vergleichenden Anlagen fundamentale Unterschiede bestehen, diese also keine homogene Gruppe bilden, zweckmäßiger ist, spezifische an Stelle absoluter Kennzahlen zu verwenden. Zur Anwendung solcher spezifischen Kennzahlen in DEA oder alternativen Methoden besteht weiterer Forschungsbedarf.

Literatur

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] Saitech: DEA-Solver-Pro Professional Version 6.0. Saitech Inc., Holmdel, New Jersey, USA, 2006
- [2] ● Cooper, W.; Seiford, M. and Tone, T.: Introduction to Data Envelopment Analysis and Its Uses - With DEA-Solver Software and References. Springer, New York, USA, 2006

Autoren

MSc Djordje Djatkov ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Novi Sad, Fakultät für Technische Wissenschaften, Lehrstuhl für Biosystemtechnik, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbien, E-Mail: djordjedjatkov@uns.ac.rs

Dr.-Ing. Mathias Effenberger ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe Biogastechnologie und Reststoffmanagement am Institut für Landtechnik und Tierhaltung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Vöttinger Str. 36, 85354 Freising, E-Mail: mathias.effenberger@LfL.bayern.de

Dr. agr. Andreas Gronauer ist Leiter der Arbeitsgruppe Biogastechnologie und Reststoffmanagement der LfL, E-Mail: andreas.gronauer@LfL.bayern.de

Danksagung

Die Arbeiten wurden vom Bayerischen Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten sowie vom Deutschen Akademischen Austauschdienst finanziell gefördert.