

Volker Aschmann und Mathias Effenberger

# Elektrische Wirkungsgrade von biogasbetriebenen BHKW

In der vorliegenden Untersuchung wurden bis zu sechs Jahren lang insgesamt neun biogasbetriebene BHKW mit einer elektrischen Anschlussleistung von 30 bis 526 kW<sub>el</sub> messtechnisch betreut. Dabei wurde der Verlauf des elektrischen Wirkungsgrades beobachtet. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen einen deutlichen Rückgang des elektrischen Wirkungsgrades von der ersten bis zur letzten Messung, der bei den am längsten beobachteten BHKW bis annähernd 5 %-Punkte betrug. Es zeigte sich, dass durch ein gutes Wartungskonzept der alterungsbedingte Wirkungsgradverlust gemindert werden kann.

## Schlüsselwörter

Biogas, BHKW, Standzeit, Wartung, elektrischer Wirkungsgrad

## Keywords

Biogas, CHPU, lifetime, maintenance, electrical efficiency

## Abstract

Aschmann, Volker and Effenberger, Mathias

The electrical efficiency of biogas-driven combined heat and power plants

Landtechnik 67 (2012), no. 2, pp. 118–121, 3 figures, 2 tables, 2 references

Over a period of up to six years, nine combined heat-and-power units (CHPU) running on biogas were measured for electrical efficiency. The electrical capacity of these units ranged from 30 to 526 kW. From the first to the last measurement, the electrical efficiency of the systems decreased significantly. In the case of the oldest CHPUs the decrease reached almost 5 percentage points. This effect of ageing could be counteracted by systematic and consistent maintenance.

■ Für die Kalkulation der Wirtschaftlichkeit einer Biogasanlage spielt der elektrische Wirkungsgrad des Blockheizkraftwerkes (BHKW) eine zentrale Rolle. In der Regel wird hier mangels Datengrundlage auf Angaben des Herstellers zurückgegriffen. Diese Angaben, die unter optimalen Bedingungen im Prüfstand ermittelt wurden, werden in der Praxis i. A. jedoch nicht erreicht. Je nach Planer werden deshalb von diesem

Wert mehr oder weniger große Abschläge gemacht. Ob diese Abschläge der Realität entsprechen, ist fraglich, da der tatsächliche Wert und die Entwicklung des elektrischen Wirkungsgrades über die Motorstandzeit von zahlreichen Faktoren beeinflusst werden. Am Institut für Landtechnik und Tierhaltung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) wurden zu diesem Thema Langzeituntersuchungen von bis zu sechs Jahren über die Entwicklung des elektrischen Wirkungsgrades an BHKW unterschiedlicher Leistung durchgeführt.

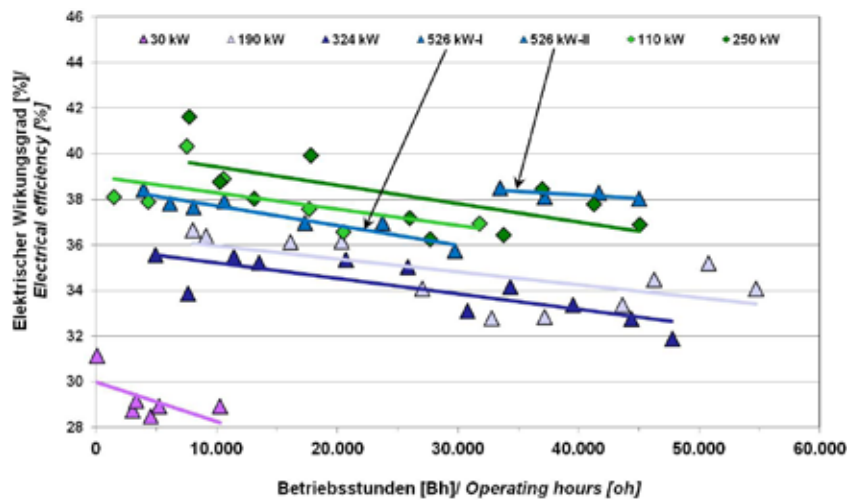
## Material und Methoden

Zur Erfassung der Stoff- und Energieströme der BHKW wurden folgende Messungen vorgenommen: Gasvolumen, -temperatur, -druck, -feuchte und -zusammensetzung in der Gasstrecke, das Volumen der Verbrennungsluftzufuhr, die Zündölmenge und die abgegebene elektrische Leistung. Die dem Motor zugeführte Energiemenge wurde als Summe des Brennwertes des Normgasvolumens und ggf. der zugeführten Zündölmenge berechnet. Aus diesen Werten und der vom Generator abgegebenen Strommenge wurde gemäß der Vorgaben der DIN 3046-1 [1] der elektrische Wirkungsgrad des BHKW bestimmt.

Aus den Werten eines Messtermins, der sich über eine vierstündige Dauermessung erstreckte, wurden Stundenmittelwerte berechnet, aus denen sich der Mittelwert des Messtermins ergab. Um den Durchschnittswert des elektrischen Wirkungsgrades über den gesamten Beobachtungszeitraum zu ermitteln, wurden alle Messungen auf einer Zeitachse im Abstand von 1 000 Betriebsstunden (Bh) aufgetragen und die fehlenden Messwerte interpoliert.

Abgasseitig wurden die Komponenten: Stickoxide (NO<sub>x</sub>), Kohlenmonoxid (CO) sowie unverbrannte Kohlenwasserstoffe (C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>) erfasst. Anhand der gemessenen Werte konnten Aussagen über den Einfluss der Wartung auf die Einhaltung der Grenzwerte der TA-Luft [2] (Technische Anleitung Luft) getroffen werden.

Abb. 1



Entwicklung des elektrischen Wirkungsgrades unterschiedlicher BHKW über die Betriebsdauer

Fig. 1: Course of the electrical efficiency of different CHPU

## Ergebnisse

### Einfluss der Standzeit

Der Verlauf der ermittelten elektrischen Wirkungsgrade ist in **Abbildung 1** dargestellt. Es ist ein Trend zur Abnahme des elektrischen Wirkungsgrades mit zunehmendem Betriebsalter zu erkennen. Alle BHKW, die über einen längeren Zeitraum untersucht wurden, zeigen diese Tendenz. Im Falle des 526 kW<sub>el.</sub> Gas-BHKW (526 kW-I und 526 kW-II in **Abbildung 1**) konnte durch eine Generalüberholung der elektrische Wirkungsgrad wieder auf den Ausgangswert zurückgeführt werden (siehe auch „Einfluss der Wartung“).

Für eine Betrachtung des tatsächlichen Wirkungsgradverlustes während des Beobachtungszeitraums wurde die Differenz der ersten und der letzten Messung gebildet (**Tabelle 1**). Um eindeutige Aussagen über die Abnahme des Wirkungsgrades treffen zu können, wurden nur diejenigen BHKW mit einbezogen, bei welchen über einen längeren Zeitraum Messungen gemacht wurden. **Tabelle 1** zeigt die Abnahme des Wirkungsgrades und den dazugehörigen Beobachtungszeitraum für

sechs BHKW. Bei allen anderen BHKW war der Beobachtungszeitraum zu kurz, um verlässliche Aussagen treffen zu können.

Das 30 kW<sub>el.</sub> Gas-BHKW wurde aufgrund der generell kurzen Standzeit in diese Auswertung mit aufgenommen. So ergibt sich für die gemessenen BHKW während des Beobachtungszeitraums von 10 200 Bh (30 kW<sub>el.</sub> GO) bis 46 700 Bh (190 kW<sub>el.</sub> GO) eine Abnahme des elektrischen Wirkungsgrades von 0,4 (526 kW<sub>el.</sub> GO) bis 4,7 %-Punkten (250 kW<sub>el.</sub> ZS). Die geringe Abnahme beim 526 kW<sub>el.</sub> GO beruht auf dem Effekt der Generalüberholung. Ohne diese Generalüberholung hätte der elektrische Wirkungsgrad um mehr als 2,7 %-Punkte abgenommen (**Abbildung 1**).

Die von den BHKW-Herstellern angegebenen elektrischen Wirkungsgrade beziehen sich nicht auf einen bestimmten Zeitraum, sondern entsprechen dem Wert, der auf einem Motorprüfstand an einem neuen BHKW nach den Vorgaben der DIN 3046 1 ermittelt wurde. Hierbei wird oft die in der DIN erlaubte Grenzabweichung von 5 % beim Kraftstoffverbrauch in die Berechnung mit einbezogen, was den elektrischen Wir-

Tab. 1

Abnahme des elektrischen Wirkungsgrades über den Messzeitraum  
Table 1: Decrease of electrical efficiency during the measuring period

BHKW CHPU	El. Wirkungsgrad 1. Messung [%] El. efficiency 1 <sup>st</sup> measurement [%]	El. Wirkungsgrad letzte Messung [%] El. efficiency last measurement [%]	Beobachtungszeitraum [Bh] Observation period [oh]	Abnahme des el. Wirkungsgrades [%-Punkte] Decrease of el. efficiency [%-points]	Durchschnittliche Abnahme des el. Wirkungsgrades [% / 10 000 Bh] Average decrease of el. efficiency [% / 10 000 oh]
30 kW GO	31,2	28,9	10 200	-2,3	-2,2
190 kW GO	36,7	34,1	46 715	-2,6	-0,4
324 kW GO	35,6	31,9	42 840	-3,7	-0,7
526 kW GO	38,4	38,0	41 105	-0,4	-0,1
110 kW ZS	38,1	36,9	30 340	-1,2	-0,3
250 kW ZS	41,6	36,9	37 365	-4,7	-0,9

Tab. 2

Differenz der gemessenen Wirkungsgrade zu den Herstellerangaben

Table 2: Difference between the measured electrical efficiency and manufacturer's specifications

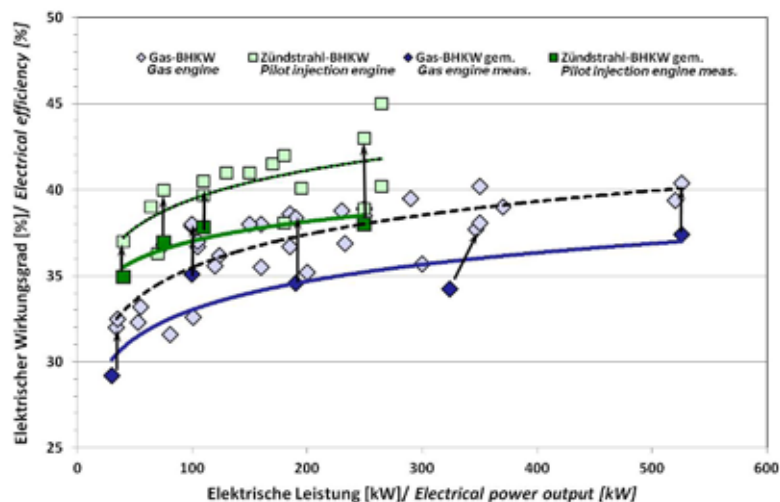
BHKW CHPU	Betriebsstundenzahl [Bh] Operation hours [oh]	Durchschnittlicher el. Wirkungsgrad [%] Average of el. efficiency [%]	Herstellerangaben [%] Manufacturer's specification [%]	Differenz [%] Difference [%]
30 kW GO	10 250	29,2	k. A	k. A
100 kW GO	57 350	35,1	38,0	2,9
190 kW GO	54 700	34,6	38,4	3,8
324 kW GO	47 750	34,2	37,7	3,5
526 kW GO	45 050	37,4	40,4	3,0
40 kW ZS	30 500	34,9	37,0	2,1
75 kW ZS	12 700	37,0	40,0	3,0
110 kW ZS	33 000	37,8	39,7	1,9
250 kW ZS	45 050	38,0	43,0	5,0

kungsgrad positiv beeinflusst. Stellt man die im Projekt über den Beobachtungszeitraum ermittelten durchschnittlichen Wirkungsgrade den Herstellerangaben gegenüber, so lässt sich ein mehr oder weniger deutlicher Unterschied erkennen (**Tabelle 2**). Die absolute Differenz zwischen den gemessenen Werten und den Herstellerangaben beträgt je nach BHKW zwischen 1,9 (110 kW<sub>el.</sub> ZS) und 5,0 %-Punkten (250 kW<sub>el.</sub> ZS). Diese beiden Werte stellen jedoch die Extreme dar. Die anderen Differenzen bewegen sich im Bereich zwischen 2,9 und 3,8 %-Punkten. Da die meisten der dargestellten BHKW noch im Betrieb sind, kann eine Aussage über die Lebensdauer nur für das 324 kW<sub>el.</sub> Gas-BHKW (3,5 %) und das 110 kW<sub>el.</sub> Zündstrahl-BHKW (1,9 %) getroffen werden. Diese BHKW wurden nach einem längeren Beobachtungszeitraum durch ein neues Aggregat ausgetauscht (**Tabelle 2**).

Tendenziell steigt der elektrische Wirkungsgrad mit Zunahme der BHKW-Leistung an. Dies lässt sich anhand der von

den Herstellern angegebenen Wirkungsgrade in **Abbildung 2** erkennen. Trägt man die ermittelten durchschnittlichen elektrischen Wirkungsgrade auf, so zeigt sich dieselbe Tendenz einer Erhöhung des Wirkungsgrades mit Zunahme der elektrischen Leistung. Das Niveau ist bei diesen Werten jedoch niedriger (**Abbildung 2**). Bei den Gas-BHKW, die durchschnittlich 3,3 %-Punkte unterhalb der Herstellerangaben liegen, ist dies sehr gut zu beobachten. Bei den Zündstrahl-BHKW ist die Kurve nicht ganz parallel zu jener der Angaben der Hersteller. Hier liegt der durchschnittliche Wirkungsgrad 3,0 %-Punkte unterhalb der Herstellerangaben. Dies ist zum einen dadurch begründet, dass im unteren Leistungsbereich nur eine Messung (40 kW<sub>el.</sub>) vorgenommen wurde und zum anderen bei diesen Messungen (40 kW<sub>el.</sub> und 75 kW<sub>el.</sub>) der Hersteller zugegen war, um eine BHKW-Einstellung vorzunehmen. Zusätzlich verzerrt der hohe Wirkungsgradverlust des 250 kW<sub>el.</sub> Zündstrahl-BHKW den Trend der Kurve (**Abbildung 2**).

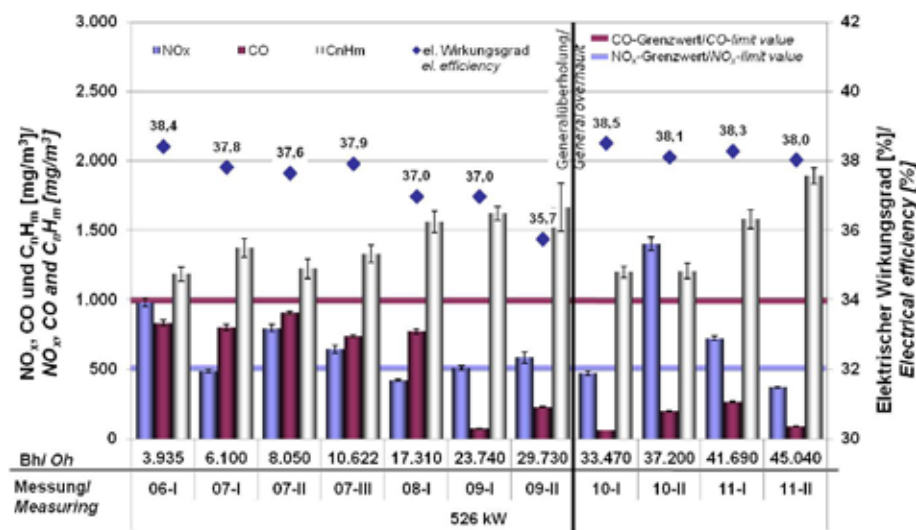
Abb. 2



Vergleich der mittleren gemessenen Wirkungsgrade mit Herstellerangaben

Fig. 2: Comparison of the measured electrical efficiency (average) and the manufacturer's specifications

Abb. 3



Einfluss einer Generalüberholung auf die Abgasemissionen und den elektrischen Wirkungsgrad

Fig. 3: Influence of a general overhaul on exhaust emission and electrical efficiency

### Einfluss der Wartung

Seit 2006 wurden an dem 526 kW<sub>el</sub> Gas-BHKW Messungen durchgeführt (Abbildung 3; 06-I). Bei diesem BHKW besteht ein Vollwartungsvertrag mit dem Hersteller, sodass mit Ausnahme des Ölwechsels und kleinerer Reparaturen alle Wartungs- und Reparaturmaßnahmen sowie die BHKW-Einstellung vom Serviceteam des Herstellers vorgenommen wurden. Im Zuge dieses Wartungskonzeptes wurde nach 33 000 Bh eine Generalüberholung durchgeführt (Abbildung 3).

Der elektrische Wirkungsgrad des BHKW sank im Verlauf der Standzeit von über 38 auf unter 36 % bei der Messung 09-II. Danach erfolgte eine Generalüberholung, die eine Erhöhung des elektrischen Wirkungsgrades bis auf den Ausgangswert bewirkte. Eine gute Wartungsstrategie kann dementsprechend einen positiven Effekt auf den Verlauf des elektrischen Wirkungsgrades ausüben. Im Vergleich zu den anderen BHKW, die schon seit längerer Zeit im Messprogramm waren, wies dieses BHKW mit Vollwartungsvertrag den geringsten Verlust des Wirkungsgrades über die Standzeit auf. Ein anderes BHKW, das nur durch den Anlagenbetreiber gewartet wurde, zeigte nach einer Generalüberholung keine Steigerung des elektrischen Wirkungsgrades. Die Emissionswerte verbesserten sich durch die Wartung hingegen erheblich.

Bei den Emissionswerten fällt die hohe Konzentration von Kohlenwasserstoffen (1 000 mg/m<sup>3</sup>) im Abgas des 526 kW<sub>el</sub> BHKW auf (Abbildung 3). Dies ist dadurch bedingt, dass dieses BHKW mit einem höheren Kompressionsdruck gefahren wird, ähnlich wie bei Zündstrahlmotoren. Dies bewirkt neben einem höheren elektrischen Wirkungsgrad auch höhere Kohlenwasserstoffemissionen. Ebenfalls erkennbar ist, dass sich die C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>-Konzentration im Abgas im Verlauf der Standzeit durch den Motorverschleiß erhöht. Auch hier erzielte die Generalüberholung einen positiven Effekt. Ab der Messung 09-I wurde das BHKW mit einem Oxi-Kat ausgestattet, was an den geringeren CO-Konzentrationen im Abgas erkennbar ist (Abbildung 3).

### Schlussfolgerungen

Der elektrische Wirkungsgrad sinkt im Verlauf der Betriebsdauer eines BHKW mehr oder weniger stark. Die Höhe des Abfalls des Wirkungsgrades hängt dabei von verschiedenen Faktoren ab. Eine gute Wartungsstrategie einschließlich einer Generalüberholung kann den Verlauf des elektrischen Wirkungsgrades positiv beeinflussen. Dabei erzielte eine Wartung und Generalüberholung durch den Hersteller den besten Effekt. Im Vergleich zu den Angaben des BHKW-Herstellers sind für eine sichere Kalkulation der monetären Einnahmen bei der Anlagenplanung beim elektrischen Wirkungsgrad Abstriche von mindestens 3 %-Punkten über die gesamte Laufzeit des BHKW zu machen.

### Literatur

- [1] Deutsche Norm DIN ISO 3046-1 (1995): Hubkolben-Verbrennungsmotoren-Anforderungen, Teil 1; Deutsches Institut für Normung e.V., 4. Ausgabe, Beuth-Verlag, Berlin
- [2] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz: (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA-Luft) (GMBL Nr. 25-29/2002 – 29 S. 511) in der Fassung vom 24. Juli 2002

### Autoren

**Dipl.-Ing. (FH) Volker Aschmann** ist technischer Angestellter am Institut für Landtechnik und Tierhaltung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft. **Dr.-Ing. Mathias Effenberger** ist Leiter der Arbeitsgruppe „Technikfolgenabschätzung“ am selben Institut, Vöttinger Str. 36, 85354 Freising, E-Mail: volker.aschmann@lfl.bayern.de.

### Förderung

Die Arbeiten wurden finanziert durch das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF).