

DLG-Prüfbericht 6898

BAYERN BHKW GmbH

# Biogas-BHKW MNW 75 BG Y

Elektrischer Wirkungsgrad



BAYERN BHKW  
MNW 75 BG Y  
✓ Elektrischer  
Wirkungsgrad  
DLG-Prüfbericht 6898



## Überblick

Ein Prüfzeichen „DLG-ANERKANNT in Einzelkriterien“ wird für landtechnische Produkte verliehen, die eine umfangsreduzierte Gebrauchswertprüfung der DLG nach unabhängigen und anerkannten Bewertungskriterien erfolgreich absolviert haben. Die Prüfung dient zur Herausstellung besonderer Innovationen und Schlüsselkriterien des Prüfgegenstands. Der Test kann Kriterien aus dem DLG-Prüfrahmen für Gesamtprüfungen enthalten oder sich auf andere wertbestimmende Merkmale und Eigenschaften des Prüfgegenstandes fokussieren. Die Mindestanforderungen, die Prüfbedingungen und -verfahren sowie die Bewertungsgrundlagen der Prüfungsergebnisse werden in Abstimmung mit einer DLG-Expertengruppe festgelegt. Sie entsprechen den anerkannten Regeln der Technik sowie den wissenschaftlichen und landwirtschaftlichen Erkenntnissen und Erfordernissen. Die erfolgreiche Prüfung schließt mit der Veröffentlichung eines Prüfberichtes sowie der Vergabe des Prüfzeichens ab, das fünf Jahre ab dem Vergabedatum gültig ist.



Die Prüfung „Elektrischer Wirkungsgrad“ wurde als Feldversuch nach DLG-Prüfrahmen durchgeführt. Mit diesem Test soll die elektrische Effizienz von Blockheizkraftwerken festgestellt und bewertet werden. Desweiteren wurde eine Abschätzung des thermischen Wirkungsgrades vorgenommen.

Andere Kriterien wurden nicht überprüft.

## Beurteilung – kurz gefasst

Das BHKW „MNW 75 BG Y“ hat die DLG Prüfung „Elektrischer Wirkungsgrad“ für eine emissionsoptimierte Betriebsweise bestanden.

Aufgrund dieses Ergebnisses kann davon ausgegangen werden, dass dieses BHKW im Praxiseinsatz 34,2 % seines Gesamtenergieumsatzes in elektrische Energie umwandelt.

In Tabelle 1 ist das Bewertungsschema für einen 75 kW-Gas-Otto-Motor dargestellt.

Die aktuellen Grenzwerte der TA Luft hinsichtlich  $\text{NO}_x$ , CO und  $\text{SO}_x$  werden mit diesem BHKW und dieser Betriebsweise eingehalten. Die Grenzwerte für Formaldehyd werden teilweise überschritten, sofern kein geeigneter Abgaskatalysator eingesetzt wird.

Tabelle 1:  
Zusammenfassung der Ergebnisse

Testergebnis	Bewertung*
<b>Elektrischer Wirkungsgrad</b>	
34,2 %	+

### Bewertungsschemata

Testergebnis	Bewertung*
<b>Elektrischer Wirkungsgrad (Gas-Otto-Motor)</b>	
> 35 %	++
> 33 % bis ≤ 35 %	+
> 31 % bis ≤ 33 %	○
≤ 31 %	-

\* Bewertungsbereich: ++ / + / ○ / - (○ = Standard, k.B. = keine Bewertung)

## Das Produkt

### Hersteller und Anmelder

BAYERN BHKW, Wasentegernbach 19,  
84405 Dorfen, Deutschland

Produkt:

Biogas-BHKW MNW 75 BG Y mit Gas-Otto-Motor

Kontakt:

Telefon +49 (0)8082 9484040

Telefax +49 (0)8082 9484041

info@bayernbhw.de, www.bayernbhw.de

### Beschreibung und Technische Daten

Bei dem geprüften Blockheizkraftwerk (BHKW) handelt es sich um ein Gas-Otto-BHKW zur energetischen Umwandlung von Biogas in thermische und elektrische Energie.

Der Motor ist ein 4-Zylinder-Reihenmotor der Firma BAYERN BHKW und mit einer Motor-Generator- und Netzüberwachung ausgestattet.

Zudem ist ein Abgaswärmetauscher zur Nutzung der Abwärme mit integriert. Weitere technische Daten sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2:

Technische Daten (Herstellerangaben)

BHKW-Typ	MNW 75 BG Y
Elektrische Nennleistung	75 kW <sub>el</sub>
Thermische Nennleistung*	108 kW <sub>el</sub>
Bauart	4-Zylinder-Reihenmotor
Hubraum	5,2 Liter
Drehzahl	1.500 rpm
Verbrauch bei 60 % Methan	ca. 37 m <sup>3</sup> /h
Abgasmassenstrom im Betrieb feucht	459 kg/h @ 100 % Last
Schmierölverbrauch	0,125 kg/h
Generatortyp	ECP 34 2L-4

\* bei einer Abgastemperatur von 220 °C

## Die Methode

Das Gas-Otto-BHKW MNW 75 BG Y der Firma BAYERN BHKW wurde im Feldversuch unter möglichst praxisnahen Bedingungen an einem Referenzprüfmuster nach DLG-Prüfrahmen für den landwirtschaftlichen Einsatz untersucht.

Generell unterscheidet man in der Nutzung von Blockheizkraftwerken zwischen zwei nutzbaren Energieformen:

- a) elektrisch
- b) thermisch

### Elektrischer Wirkungsgrad

Bei der Bestimmung des elektrischen Wirkungsgrades werden die Eingangsgrößen (Input) in das BHKW messtechnisch erfasst. Zudem wird die Generatorleistung gemessen (Output). Anschließend werden beide Energieformen ins Verhältnis gesetzt. Als Ergebnis erhält man den elektrischen Wirkungsgrad.

Den elektrischen Wirkungsgrad kann man unter drei unterschiedlichen Vorgaben messen:

- 1) emissionsoptimiert
- 2) wirkungsgradoptimiert
- 3) wartungsoptimiert

Bei der emissionsoptimierten Fahrweise wird das BHKW so eingestellt, dass ein möglichst hoher elektrischer Wirkungsgrad erreicht wird und gleichzeitig die Anforderungen an die derzeitige TA Luft eingehalten werden. Hierzu werden zusätzlich Abgasmessungen im Kamin des BHKW durchgeführt.

In der wirkungsgradoptimierten Fahrweise wird das BHKW so eingestellt, dass der maximal mögliche Wirkungsgrad erreicht wird.

In der wartungsoptimierten Fahrweise wird das BHKW so gefahren, dass möglichst wenig Wartungsaufwand für den Betreiber anfallen.

Die Messung des elektrischen Wirkungsgrades wurde unter Praxisbedingungen an einer Biogasanlage im oberbayrischen Dorfen im April 2018 durchgeführt. Es wurde vereinbart, dass eine emissionsoptimierte Einstellung gefahren wird. In Tabelle 3 sind die Prüfbedingungen am Aufstellort festgehalten (siehe Seite 4).

Die Messung des elektrischen Wirkungsgrades wurde mit einem kalibrierten DLG-eigenen Messsystem durchgeführt. Zusätzlich zur eigenen Messung wurden parallel die Emissionen nach DIN 15259 bzw.

Tabelle 3:  
Testbedingungen am Aufstellort

Testbedingungen	
<b>Einsatzbetrieb</b>	Biogasanlage Bio-Energie Greimel GmbH & Co. KG, 84405 Dorfen, ca. 500 m über NN
<b>Biogasanlage</b>	NAWARO-Anlage
<b>Verfahrenstechnik</b>	Fermenter, Nachgärer und Gärrestlager aus Beton, jeweils mit Folienspeicher, querliegendem Rührwerk und Feststoffdosierung
	Wärmeabgabe an die Ortschaft Wasentegernbach
<b>Substrate</b>	Rindergülle, Mais-, GP- und Grassilage
<b>BHKW</b>	
– Motortyp	BB4G135TL (80 kW mechanisch)
– Inbetriebnahme	01/2018
– Gasaufbereitung	Gastrocknung auf 30 % Restfeuchte bei 20 °C, Aktivkohleeinheit zur Nachentschwefelung
– Generatortyp/Baujahr	ECP 34 2L-4 (150 VA) / 2017
Umgebungsbedingungen im Maschinenraum	
<b>Lufttemperatur</b>	28 bis 38 °C
<b>Luftfeuchte</b>	17 bis 28 %rF
<b>Luftdruck</b>	982 bis 984 mbar

VDI 4220, Kapitel 5.5.3 online mithilfe eines FTIR-Gasanalysators aufgezeichnet bzw. nasschemisch erfasst. Die Wirkungsgradmessung erfolgte emissionsoptimiert, d.h. die TA-Luft-Anforderungen für Stickoxide, Kohlenmonoxid und Schwefeloxide wurden während der gesamten Prüfung eingehalten. Die Werte für Formaldehyd wurden hingegen leicht überschritten. Zur Einhaltung des Formaldehydgrenzwertes ist eine Einrichtung zur Verminderung der

Emissionen (Abgaskatalysator) erforderlich. In Bild 2 ist der Verlauf der gemessenen Emissionen dargestellt. Zur Gegenüberstellung der Messwerte mit dem Grenzwert wurden die gemessenen Online-Messdaten zu Halbstundenmesswerten zusammengefasst und hierzu die Messunsicherheit hinzuaddiert. Die in Bild 2 dargestellten Messdaten zu NO<sub>x</sub>, CO und SO<sub>x</sub> sind jeweils auf einen Sauerstoffgehalt im Abgas von 5 % bezogen. Die Messdauer der Emissionen

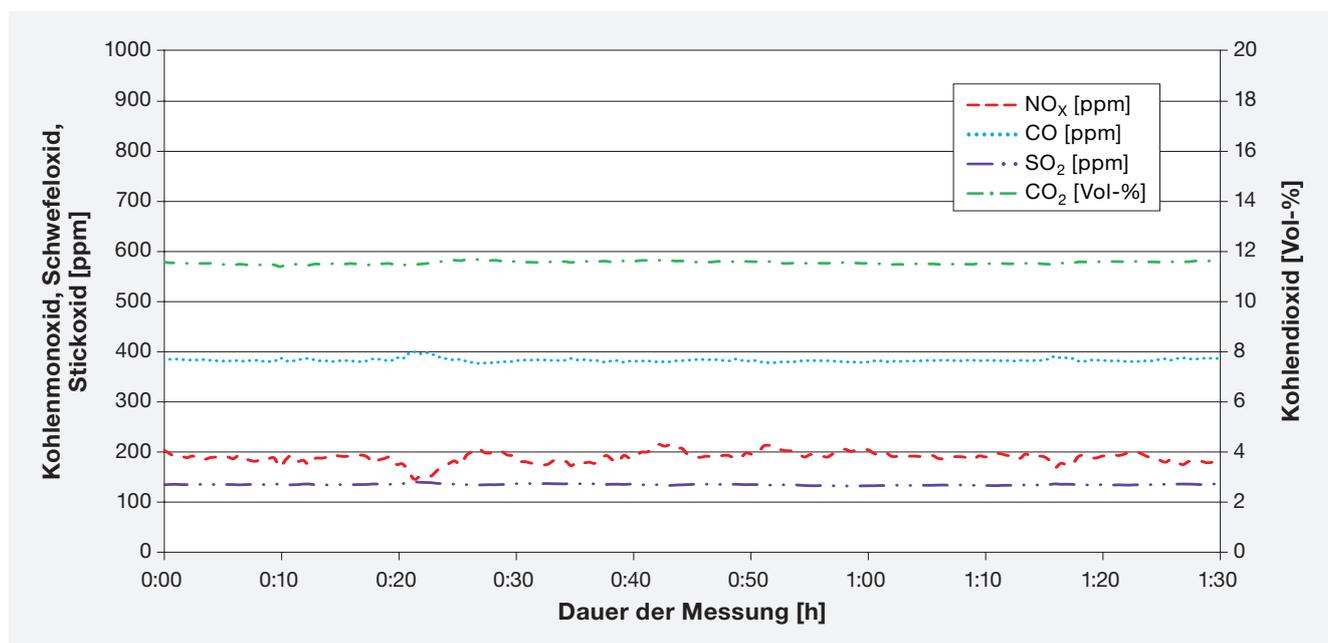


Bild 2:  
Messverlauf der Emissionen

betrug 3 x 30 Minuten und lag in der Messphase der Wirkungsgradmessung.

Die Messwerte der Umgebungsbedingungen sind in Tabelle 3 beschrieben und in Bild 3 grafisch dargestellt. In Bild 4 ist die Gasqualität des Biogases dargestellt. In Tabelle 4 sind die Hauptkomponenten der verwendeten Messtechnik ersichtlich.

Die elektrische Leistung wurde in fünf Perioden zu je 60 Minuten gemessen. Hierüber und über den Biogasverbrauch wurde der Wirkungsgrad berechnet. In der Versuchsauswertung ist der Gasverbrauch auf Normbedingungen (Druck: 1013,25 mbar, Tempera-

tur: 273,15 K = 0°C) bezogen. Zudem wurde der unterschiedliche Wasserdampfanteil des Biogases zwischen Gasmengen- und Gaskonzentrationsmessung, bedingt durch eine messgeräteseitige Gaskühlung auf 5 °C, korrigiert.

Der elektrische Wirkungsgrad wurde nach der in Bild 5 dargestellten Beziehung berechnet. Bei der Berechnung des elektrischen Wirkungsgrades wurden als elektrische Verbraucher die Heizpumpe (0,36 kW) und das Gasgebläse (0,5 kW) berücksichtigt. Der Wert der Heizpumpe wurde am Messtag mittels DkD-kalibrierter Stromzähler überprüft.

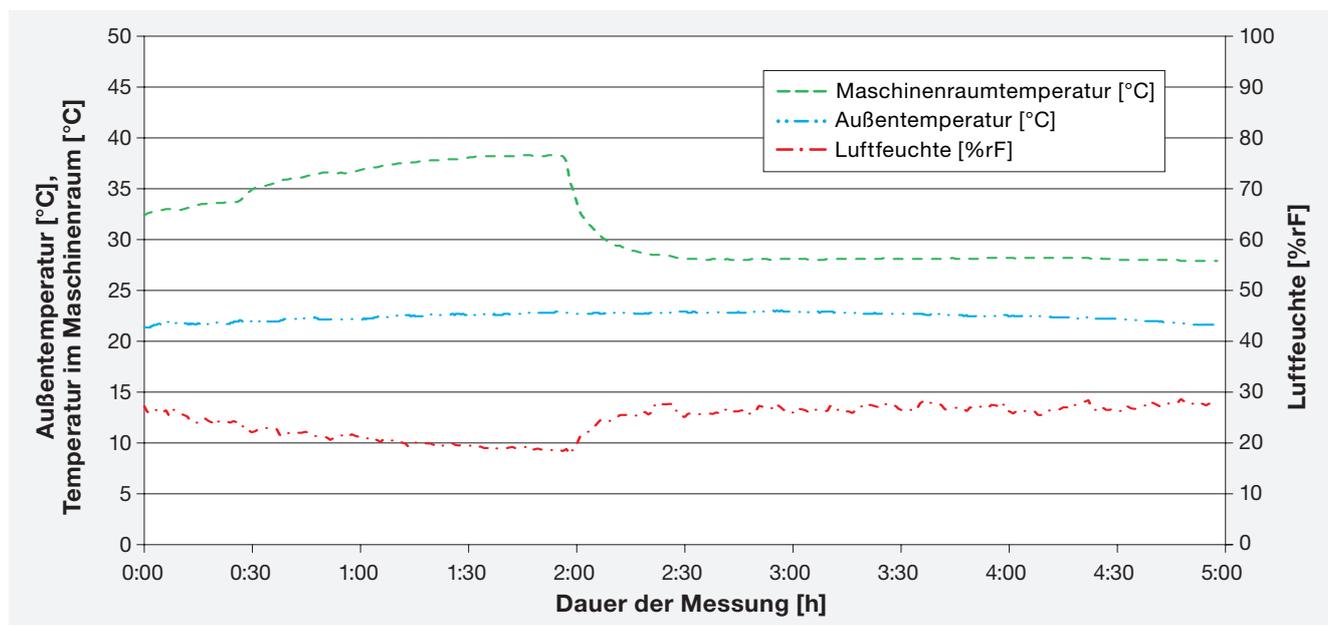


Bild 3: Messverlauf der Umgebungsbedingungen

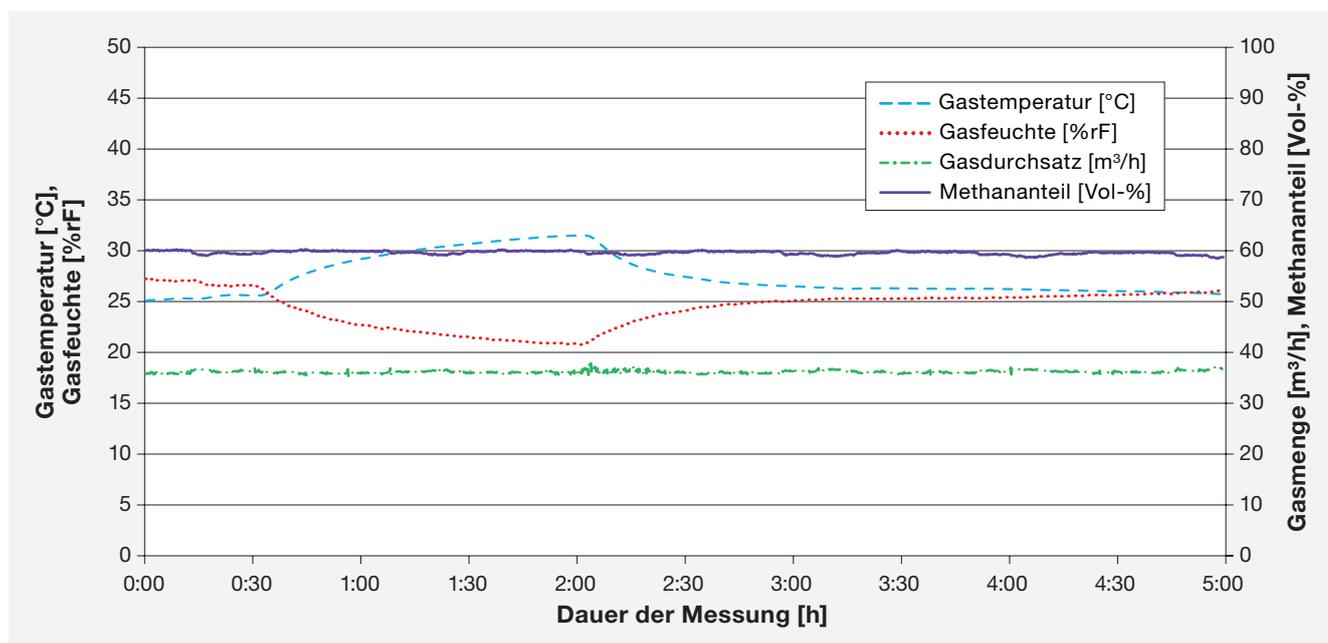


Bild 4: Biogasqualität

Tabelle 4:  
Auszug der verwendeten Messmittel

Messgröße	Messmittel
Gasmenge	Drehkolbengaszähler (RMG)
Gasbedingungen	Sensoren für Temperatur, Feuchtigkeit und Druck (absolut)
Methan/Kohlendioxidkonzentration	Gasanalysegerät, NDIR-Messprinzip
Umgebungsbedingungen (Umwelt)	Sensoren für Temperatur, Feuchtigkeit und Druck (absolut)
Umgebungsbedingungen (Maschinenraum)	Datenlogger für Temperatur und Feuchte (Testo)
Elektrische Energie	Leistungsmessgerät, Messung der ins Netz eingespeisten Energie, MF > ± 0,2 %
Emissionen (NO <sub>x</sub> als NO <sub>2</sub> , CO, CH <sub>2</sub> O, SO <sub>x</sub> als SO <sub>2</sub> )	FTIR-Gasanalysator der Firma ansyco, Formaldehyd zusätzlich nasschemisch
Wassermenge des Heizkreislaufs	magnetisch-induktiver Durchflusszähler (Krohne)
Temperaturen im Vorlauf des Heizkreises	Widerstandsthermometer Pt100
Temperaturen im Rücklauf des Heizkreises	Widerstandsthermometer Pt100

Der Wert für das Gasgebläse konnte nicht ermittelt werden, da mehrere BHKWs an das Gebläse angeschlossen waren. Wenn in der Praxis nur ein BHKW am Gasgebläse angeschlossen ist, werden laut Produktdatenblatt 0,5 kW verbraucht. Ähnlich verhält es sich mit dem Raumluftheizgebläse. Während der Versuchsphase waren im Gebäude vier gleichartige BHKWs platziert. In der Praxis, wenn dauerhaft nur ein BHKW im Raum steht, werden etwa 0,7 kW für die Raumlüftung verbraucht. Nicht berücksichtigt wurden die Notlüfter während der Messphase.

Zur Bewertung der Wirkungsgrad-Messwerte wurde ein DLG-Bewertungsstandard in Abhängigkeit von Motorbauart und Verbrennungsverfahren für die zutreffende Leistungsart entwickelt. Dieser Masstab basiert auf Angaben der Fachliteratur. Zudem haben Vertreter vom LfL Bayern, Bioenergieberatung Bornim und Ingenieurbüro Bigatec, Alpen bei der Erstellung mitgewirkt.

Bild 5:  
Berechnung des elektrischen Wirkungsgrades

$$\eta_{el} = \frac{(P_{Generator} - P_{Eigenbedarf})}{V_{Biogas} \cdot c_{CH4} \cdot H_{i, CH4}} \cdot 100$$

$P_{Generator}$  = gemessene, abgegebene elektrische Energie des Generators (kW<sub>el</sub>)

$P_{Eigenbedarf}$  = Summe der elektrischen Verbraucher zum Betrieb des BHKW (kW<sub>el</sub>)

$V_{Biogas}$  = gemessener, auf Norm trocken bezogener Gasvolumenstrom (m<sup>3</sup>/h)

$c_{CH4}$  = gemessener, auf Norm trocken bezogener Methananteil im Biogas

$H_{i, CH4}$  = unterer Heizwert von Methan  
Hi CH4 = 9,968 kWh/m<sup>3</sup>

### Thermischer Wirkungsgrad

Der thermische Wirkungsgrad ist das Verhältnis von nutzbarer thermischer Energie zu Energie des Biogases. Die Energie des Biogases wurde wie unter „elektrischer Wirkungsgrad“ beschrieben bestimmt. Die nutzbare thermische Energie wurde im Heizkreislauf (Vorlauf/Rücklauf) des Abgaswärmetauschers des BHKWs gemessen. Hierbei wurden Temperatur und Volumenstrom des Heizmediums über den Messzeitraum gemessen und über die Dichte bei der gemessenen Mediumtemperatur in Energie umgerechnet. Die Temperaturen wurden an repräsentativen Stellen direkt vor unter hinter dem BHKW-Wärmetauscher mit jeweils zwei Pt100-Widerstandsthermometern im Vor- und Rücklauf gemessen. Der Volumenstrom wurde mit einem magnetisch-induktiven Durchflussmessgerät (MID) in der Steigleitung des Rücklaufs gemessen und gespeichert.

Der Notkreislauf war während der gesamten Messperiode außer Betrieb genommen wurden.

Der thermische Wirkungsgrad des MNW 75 BG Y lag im Messzeitraum bei 48,5 % und somit durchaus im Erwartungsbereich. Eine Bewertung des thermischen Wirkungsgrades fand nicht statt.

## Die Testergebnisse im Detail

In Tabelle 5 sind die Mittelwerte für jede der ausgewerteten Messperioden zusammengefasst. Aufgrund der installierten Gasaufbereitung (Gastrocknung und Feinentschwefelung) sind die Gaswerte relativ konstant (siehe auch Bild 4). Aus den konstanten Biogasdaten hinsichtlich unterem Heizwert und Gasmenge ergibt sich nahezu ein konstanter Gasverbrauch und somit ein gleichbleibender Wirkungsgrad. Lediglich Gastemperatur (und gegenläufig die Gasfeuchte) ist zwischenzeitlich aufgrund des immer wärmer werdenden Maschinenraums angestiegen und wurde später durch eine zusätzliche Frischluftzufuhr im Maschinenraum wieder abgesenkt. Bei Blockheizkraftwerken ohne zusätzliche Gastrocknung sind die Schwankungen der Gasqualität wesentlich ausgeprägter. Daraus resultieren auch schwankende Wirkungsgrade. Bei einem Ganzjahresbetrieb macht sich das durch einen höheren Gasverbrauch bemerkbar.

Unter Berücksichtigung aller relevanten Nebenverbraucher konnte die DLG vor Ort einen effektiven Wirkungsgrad von 34,2 % ermitteln. Eine Korrektur der Aufstellbedingungen nach ISO 3046-1 fand nicht statt. Die Messunsicherheit lag bei  $\pm 0,7$  %.

Gemäß dem DLG-Bewertungsmaßstab ergibt sich für die Messung des elektrischen Wirkungsgrades bei Nennlastbetrieb die Bewertung „+“. Während der fünf Messperioden sind die Grenzwerte der TA Luft für Verbrennungsmotoren ohne Stützfeuerung hinsichtlich Stickoxid, Kohlenmonoxid und Schwefeloxid unterschritten und somit erfüllt. Die Messung der Formaldehydkonzentration ergab während der Prüfung Werte zwischen 54 und 61 mg/m<sup>3</sup> (normiert, trocken, bezogen auf 5 Vol-% Sauerstoff im Abgas). Der maximal höchste Messwert zuzüglich Messunsicherheit lag somit bei 63 mg/m<sup>3</sup>. Einschließlich Messunsicherheit sind gemäß TA Luft 60 mg/m<sup>3</sup> (normiert, trocken, bezogen auf 5 Vol-% Sauerstoff im Abgas) zulässig. Ab Januar 2020 wird der Grenzwert für Formaldehyd in der TA Luft bei 20 mg/m<sup>3</sup> liegen.

Während der Prüfung kam es im Maschinenraum immer wieder zu merkwürdigen Pfeiffgeräuschen. Diese rühren von einer nicht einwandfrei funktionierenden Venturidüse im Lufteinlass des BHKWs her. Grund für die Fehlfunktionen war eine zu warme Umgebung im Maschinenraum. Durch die doch recht hohen Außentemperaturen und die arbeitenden Motoren im Maschinenraum hat sich die Umgebung des zu prüfenden BHKWs auf bis zu 38 °C aufgeheizt. Durch eine zusätzliche Frischluftzufuhr konnte die Raumtemperatur wieder auf unter 30 °C gebracht werden. Dadurch konnte die Venturidüse ihre Funktion wieder dauerhaft ausführen. Eine nicht einwandfrei funktionierende Steuerung des Zuluftstroms beeinflusst das Luft/Gas-Mischungsverhältnis und führt zu leicht schwankenden Motor- bzw. Generatorleistungen und somit zwangsläufig auch zu schwankenden Wirkungsgraden. In Tabelle 5 sind auch die gemessenen Werte für die Ermittlung des thermischen Wirkungsgrades angegeben. Hierbei erhält man einen gemittelten thermischen Wirkungsgrad von 48,5 %.

Tabelle 5:  
Messergebnisse (gemittelt)

Messperiode	Gasverbrauch (normiert) m <sup>3</sup> /h	Methangehalt %	elektrische Leistung kW <sub>el</sub>	elektrische Leistung abzüglich Verbraucher kW <sub>el</sub>	elektrischer Wirkungsgrad, effektiv %	Temperaturdifferenz im Heizkreislauf °C	Durchfluss im Heizkreislauf m <sup>3</sup> /h
01.00 Uhr	36,1	59,8	74,7	73,1	34,2	12,35	7,2
02.00 Uhr	36,1	59,8	74,8	73,2	34,2	13,10	7,7
03.00 Uhr	36,2	59,7	74,8	73,2	34,2	13,23	7,2
04.00 Uhr	36,2	59,5	74,8	73,2	34,2	13,02	7,2
05.00 Uhr	36,3	59,3	74,9	73,3	34,3	12,96	7,2
<b>Gesamt</b>	<b>36,2</b>	<b>59,6</b>	<b>74,8</b>	<b>73,2</b>	<b>34,2</b>	<b>12,93</b>	<b>7,2</b>

## Fazit

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse erfüllt das biogasbetriebene Gas-Otto-BHKW MNW 75 BG Y der Firma BAYERN BHKW bezüglich der Prüfkriterien „Elektrischer Wirkungsgrad“ die Anforderungen (Bewertung „O“ oder besser) für die Vergabe des Prüfzeichens DLG-Anerkannt. Der elektrische Wirkungsgrad wurde mit 34,2 % geprüft und nach DLG-Bewertungsschema mit gut (+) ausgezeichnet. Andere Kriterien wurden nicht geprüft.

## Weitere Informationen

### Prüfungsdurchführung

DLG TestService GmbH, Standort Groß-Umstadt  
Die Prüfungen werden im Auftrag des  
DLG e.V. durchgeführt.

### DLG-Prüfrahmen

„Elektrischer Wirkungsgrad von  
Blockheizkraftwerken“, Stand 09/2018

### Emissionsmessung

Dekra Automobil GmbH, 80939 München

### Fachgebiet

Landwirtschaft

### Projektleiter

Dr. Ulrich Rubenschuh

### Prüfingenieur(e)

Dipl.-Ing. (FH) Tommy Pfeifer\*

\* Berichtersteller

## DLG. Offenes Netzwerk und fachliche Stimme.

Die DLG e.V. (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft), 1885 von Max Eyth gegründet, ist eine Fachorganisation der Agrar- und Ernährungswirtschaft. Leitbild ist der Wissens-, Qualitäts- und Technologietransfer zur Förderung des Fortschritts. Dabei fungiert die DLG als offenes Netzwerk und fachliche Stimme in der Agrar- und Ernährungswirtschaft.

Als eine der führenden Organisationen ihrer Branche organisiert die DLG internationale Messen und Veranstaltungen in den Kompetenzfeldern Pflanzenbau, Tierhaltung, Land- und Forsttechnik, Energieversorgung und Lebensmitteltechnologie. Ihre Qualitätsprüfungen für Lebensmittel sowie Landtechnik und Betriebsmittel erfahren weltweit hohe Anerkennung.

Ein weiteres wichtiges Leitmotiv der DLG ist es seit über 130 Jahren den Dialog zwischen Wissenschaft, Praxis und Gesellschaft über Fach- und Ländergren-

zen hinweg zu fördern. Als offene und unabhängige Organisation erarbeitet ihr Expertennetzwerk mit Praktikern, Wissenschaftlern, Beratern, Fachleuten aus Verwaltung und Politik aus aller Welt zukunftsorientierte Lösungen für die Herausforderungen der Agrar- und Ernährungswirtschaft.

### Test-Kompetenz in Agrartechnik und Betriebsmitteln

Das DLG-Testzentrum Technik und Betriebsmittel ist mit seinen Methoden, Prüfrahmen und Auszeichnungen führend in der Prüfung und Zertifizierung von Agrartechnik und Betriebsmitteln. Die Methoden und Testprofile sind praxisbezogen, herstellerunabhängig und von neutralen Prüfungskommissionen erarbeitet. Sie beruhen auf modernsten Mess- und Prüfverfahren, auch internationale Standards und Normen werden berücksichtigt.

Interne Prüfnummer DLG: 2018-00170

Copyright DLG: © 2018 DLG



**DLG TestService GmbH**

**Standort Groß-Umstadt**

Max-Eyth-Weg 1 • 64823 Groß-Umstadt

Telefon +49 69 24788-600 • Fax: +49 69 24788-690

Tech@DLG.org • www.DLG.org

Download aller  
DLG-Prüfberichte kostenlos  
unter: [www.DLG-Test.de](http://www.DLG-Test.de)