



Staatlich befugter und beeideter Ingenieurkonsulent für Maschinenbau
Lehrbeauftragter an der Technischen Universität Wien
Dipl.-Ing. Dr. techn. Wilhelm P. FREY
AAB - Abwassertechnische Ausbildung und Beratung
A - 2100 Korneuburg/Leobendorf, Hofgartenstraße 4/2
Telefon/Fax:02262/68173 mobil:0664/1420181 mail: aab.frey@aon.at Internet: www.aabfrey.com

ENDBERICHT

Forschungsprojekt 2010

„GARANTIENACHWEISE FÜR DIE MASCHINELLE
AUSRÜSTUNG VON KLÄRANLAGEN –
BLOCKHEIZKRAFTWERKE“

Gefördert durch Mittel der Kläranlagennachbarschaften,
Marc-Aurel-Strasse 5, 1010 Wien

DATUM: 28. Februar 2011

GZ: 9-11/001

Inhaltsverzeichnis

Seite

1. AUFGABENSTELLUNG UND ZIELSETZUNG.....	2
2. TECHNISCHE GRUNDLAGEN	2
2.1 GASANFALL UND GAZUSAMMENSETZUNG.....	2
2.2 BLOCKHEIZKRAFTWERK.....	3
3. AUSSCHREIBUNGSPRAXIS.....	4
4. GARANTIEWERTE	4
4.1 ELEKTRISCHER WIRKUNGSGRAD	4
4.2 THERMISCHER WIRKUNGSGRAD.....	5
4.3 BETRIEBSMITTELVERBRAUCH	5
5. EMISSIONSWERTE.....	5
5.1 ABGASGRENZWERTE	5
5.2 SCHALLEMISSIONEN	7
6. DURCHFÜHRUNG VON ABNAHMEMESSUNGEN.....	8
6.1 VERSUCHSAUFBAU ZUR DURCHFÜHRUNG VON ABNAHMEMESSUNGEN	8
6.2 ELEKTRISCHER WIRKUNGSGRAD	9
6.3 THERMISCHER WIRKUNGSGRAD.....	12
6.4 BEISPIELRECHNUNG ZUR ERMITTLUNG DES ELEKTRISCHEN UND THERMISCHEN WIRKUNGSGRADES	13
7. STÄRKEN UND SCHWÄCHEN VON BLOCKHEIZKRAFTWERKEN.....	14
8. LITERATUR.....	15
9. ANHANG	16
9.1 SÄTTIGUNGSDAMPFDROCK VON WASSER.....	16
9.2 BMWA 2001: TABELLE 6.1	16
9.3 BMWA 2003: PUNKT 8.7.1 LUFTSCHADSTOFFE	17
9.4 BMWJF 2010: VEREINBARUNG NACH ART. 15A B-VG.....	17
9.5 BMWJF 2010: TA LUFT 2002	17
9.6 TA-LUFT 2002: ABSCHNITT 5.4.1.4	18
9.7 CHECKLISTE ZUR VORBEREITUNG UND DURCHFÜHRUNG VON ABNAHMEMESSUNGEN AN BLOCKHEIZKRAFTWERKEN	20

1. AUFGABENSTELLUNG UND ZIELSETZUNG

Die Energiegewinnung aus Reststoffen der Abwasserbehandlung ist seit vielen Jahren etabliert. Das bei der anaeroben Schlammstabilisierung gewonnene Faulgas und die daraus produzierte elektrische Energie liefert auf vielen Kläranlagen einen wesentlichen Beitrag zur Senkung der Energiekosten.

In den Ausschreibungen wird die Leistungsfähigkeit von Gasnutzungseinrichtungen häufig durch vom Anbieter anzugebende Garantiewerte abgesichert. Zur Überprüfung der zugesicherten Werte werden immer öfter Abnahmemessungen durchgeführt.

Der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit war die Überprüfung der Leistungsfähigkeit von Blockheizkraftwerken (Ermittlung des elektrischen- und des thermischen Wirkungsgrades).

Die Bearbeitung der Aufgabenstellung umfasst folgende Bereiche:

- Feststellung des Ist-Zustandes. Dazu wurden Ausschreibungen einschlägiger Projekte durchgesehen.
- Aufzeigen unzureichender Festlegungen und missverständliche Formulierungen.
- Erstellung eines Vorschlages zur Vorgangsweise bei der Durchführung von Garantieabnahmemessungen anhand praktischer Beispiele.
- Erarbeitung von Ergänzungsempfehlungen anhand durchgeführter Abnahmemessungen an Blockheizkraftwerken.
- Abfassung einer Checkliste für die Durchführung von Abnahmemessungen an Blockheizkraftwerken.

2. TECHNISCHE GRUNDLAGEN

Es ist wichtig bereits bei der Planung zu berücksichtigen, dass die zu installierenden Komponenten zusammen passen, korrekt ausgelegt sind und richtig eingestellt werden. So kann sichergestellt werden, dass die konventionelle Technik und das Gesamtsystem keine Störungen des BHKW-Betriebes verursachen und einen wirtschaftlichen Betrieb sicherstellen. Deshalb ist es von besonderer Bedeutung, bereits in der Planungsphase die technische Kompatibilität von Heizungssystem und BHKW systematisch zu sichern. Das gilt vor allem für die hydraulischen Verhältnisse im Wärmeverteilungssystem, das Mess- und Regelsystem sowie die Einbindung in das elektrische Versorgungsnetz der Anlage. Details sind in der VDI 3985 Richtlinie: Grundsätze für Planung, Ausführung und Abnahme von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen mit Verbrennungskraftmaschinen, zu finden.

2.1 GASANFALL UND GASZUSAMMENSETZUNG

Je Kilogramm abgebauter organischer Trockenmasse entstehen ca. 500 Liter reines Methan. Faulgas besteht im Wesentlichen aus Methan (65%) und Kohlendioxid (35%). Ein typischer Wert der Faulgasproduktion auf kommunalen Kläranlagen liegt bei 18 Liter pro EW120 und Tag.

Der Gasanfall ist u.a. von den Betriebsparametern der Faulanlage, der Menge an Primärschlamm, dem Schlammalter der Belebungsanlage und der Zugabe von Co-Substraten abhängig.

Reines Methan hat einen Energieinhalt von 36.000 kJ/m^3 ($=10 \text{ kWh/m}^3$). Faulgas mit einer Zusammensetzung von 65% Methan und 35% Kohlendioxid hat demnach einen Energieinhalt von ca. 24.000 kJ/m^3 ($6,5 \text{ kWh/m}^3$). Wird dieses Gas in einem BHKW verstromt kann im Mittel mit einer Energieausbeute von ca. 2 kWh/m^3 Faulgas gerechnet werden. In der folgenden Abbildung 1 ist die Energieausbeute in Abhängigkeit vom Methangehalt und dem elektrischen Wirkungsgrad des BHKW dargestellt.

Detailinformationen zur Herkunft, Beschaffenheit und Aufbereitung von Biogas sind in den DWA Merkblättern 361 und 363 zu finden.

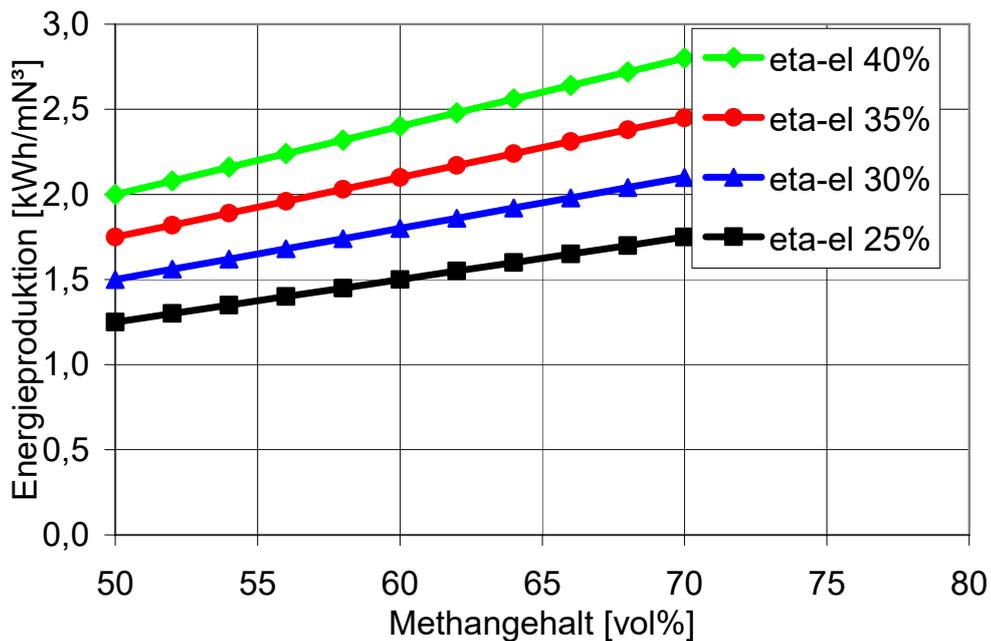


Abbildung 1: Energieausbeute in Abhängigkeit vom Methangehalt und dem elektrischen Wirkungsgrad

Zur Abschätzung der Größe des BHKW in Abhängigkeit des Gasanfalls und der Anlagengröße kann die Abbildung 2 eine Hilfestellung bieten. Aus dem Diagramm ist ableitbar, dass z.B. bei einem Gasanfall von 18 L/(EW₁₂₀•d) erst ab einer Anlagengröße von 30.000 EW₁₂₀ ein Aggregat mit 50 kW_{el} im Dauerbetrieb betrieben werden kann.

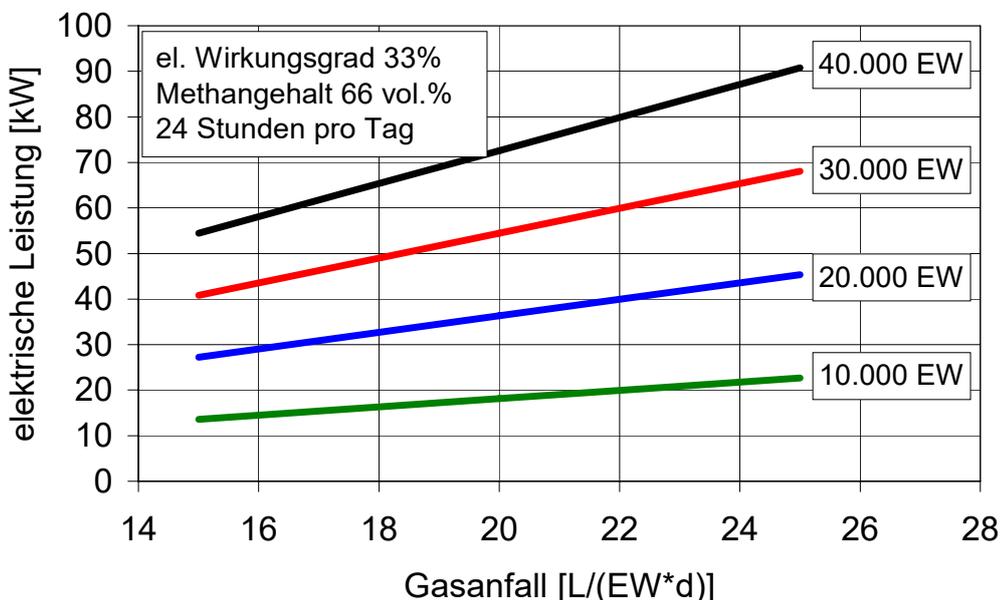


Abbildung 2: Elektrische Leistung in Abhängigkeit des Gasanfalls und der Anlagengröße

2.2 BLOCKHEIZKRAFTWERK

In einem Blockheizkraftwerke wird das gewonnene Faulgas zur Produktion elektrischer Energie und Wärme verbrannt. Ein Blockheizkraftwerk besteht im Wesentlichen aus:

- Verbrennungsmotor (in der Regel Viertakt-Ottomotoren mit Fremdzündung)
- Generator (Drehstrom-Synchrongenerator)
- Kühlwasserkreislauf inklusive Wärmetauscher und Pumpen
- Abgaswärmetauscher

Der Verbrennungsmotor ist mit dem Generator direkt gekuppelt. Die Gesamtanlage erfordert in der Regel noch weitere Einrichtungen:

- Gasaufbereitung (Aktivkohlefilter, Siloxanfilter, etc.), Gasverdichtung, Gasdruckregelung
- Maßnahmen zur Minimierung der Emissionen: Stickoxyd, Kohlenmonoxid, unverbrannte Kohlenwasserstoffverbindungen, Formaldehyd, etc.
- die thermische und elektrotechnische Einbindung in das Gesamtsystem, inklusive Regelung bzw. Steuerung

Die Wärmetauscher sind am Motor bzw. am Rahmen in kompakter Bauweise angebracht und vollständig verrohrt.

- Wärmetauscher Gemisch/Motorkühlwasser
- Wärmetauscher Öl/Motorkühlwasser
- Wärmetauscher Abgas/Motorkühlwasser
- Wärmetauscher Motorkühlwasser/Warmwasser

Der Übergabewärmetauscher ist in der Regel als Plattenwärmetauscher ausgeführt und dient zur Übergabe der gesamten Nutzwärme an den Warmwasserkreislauf.

3. AUSSCHREIBUNGSPRAXIS

Zur Sicherstellung der Funktionstüchtigkeit und Wirtschaftlichkeit von Blockheizkraftwerken werden Garantiewerte gefordert. In der Praxis findet man häufig Angaben zum elektrischen und/oder thermischen Wirkungsgrad bei Vollast- und Teillastbetrieb. Über einen angegebenen Schlüssel werden die hier benannten Werte zur Bestbieterermittlung herangezogen.

In den Ausschreibungen sind in der Regel maximale Emissionswerte angegeben. In den Bundesländern gibt es unterschiedliche Anforderungen.

4. GARANTIEWERTE

4.1 ELEKTRISCHER WIRKUNGSGRAD

Der elektrische Wirkungsgrad eines Blockheizkraftwerkes wird aus der abgegebenen elektrischen Leistung, der Leistungsaufnahme der Nebenaggregate und der zugeführten chemischen Energie (pro Zeiteinheit) des Faulgases berechnet. Bei der Berechnung der abgegebenen elektrischen Leistung ist es notwendig zu vereinbaren, ob und wie der Leistungsbedarf von Nebenaggregaten berücksichtigt werden soll. Die wesentlichsten Nebenaggregate sind:

- Einrichtungen zur Gasaufbereitung
- Gasverdichtung
- Kühlwasserpumpen
- Abgasgebläse
- Ggf. Raumlüftungen

4.2 THERMISCHER WIRKUNGSGRAD

Der thermische Wirkungsgrad eines Blockheizkraftwerkes wird aus der abgegebenen thermischen Leistung und der zugeführten chemischen Leistung des Faulgases berechnet. Die abgegebene thermische Leistung besteht aus mehreren Teilen

- Wärmeleistung aus dem Kühlwasser
- Wärmeleistung aus dem Abgas

4.3 BETRIEBSMITTELVVERBRAUCH

Zur Feststellung der Wirtschaftlichkeit eines Blockheizkraftwerkes sind jedenfalls erforderliche Betriebsmittelverbräuche zu erfassen und festzulegen. Insbesondere die Art und Häufigkeit der Ölwechsel ist anzugeben.

Der Wartungsaufwand für Servicemaßnahmen ist ein wesentlicher Bestandteil der Betriebskosten. Im Rahmen einer Abnahmemessung sind diese Aufwendungen schwer zu prüfen. Es sollte aber nach einem festzulegenden Beobachtungszeitraum eine Auswertung der angefallenen Aufwendungen erfolgen.

5. EMISSIONSWERTE

Bei Nutzung von Biogas in einem Verbrennungsmotor entstehen Stickstoffoxide (NO_x), Kohlenstoffmonoxid (CO), Schwefeldioxid (SO₂) und es werden unverbrannte Kohlenwasserstoffe emittiert. Bei den unverbrannten Kohlenwasserstoffen handelt es sich in erster Linie um Methan (CH₄) bzw. um die Produkte unvollständiger Verbrennung mit der Leitkomponente Formaldehyd (CH₂O). Bei Einsatz von Zündstrahlmotoren ist auch mit relevanten Staubemissionen (Ruß) zu rechnen.

Grundsätzlich werden die einzuhaltenden Grenzwerte nach folgenden Kriterien unterschieden

- Leistung der Anlage (z.B. Brennstoffwärmeleistung oder mechanische Leistung)
- Art des Motors (z.B. Ottomotor, Dieselmotor, Zündstrahlmotor)
- Art des eingesetzten Brennstoffes

In den folgenden Kapiteln werden nur die Werte für Fremdzündungs-Ottomotoren mit Faulgas als Brennstoff behandelt.

5.1 ABGASGRENZWERTE

Die einzuhaltenden Emissionsgrenzwerte werden im Bewilligungsverfahren festgelegt. Die einzuhaltenden Grenzwerte sind länderspezifisch geregelt. Die Vorgangsweise der Länder und die Bescheidwerte sind nicht einheitlich!

Folgende Regelwerke werden in der Praxis zur Beurteilung der maximal zulässigen Emissionswerte herangezogen. Problematisch sind die nicht durchgängig definierten Anwendungsbereiche sowie die Unterscheidung von Biogas, Klärgas, Faulgas, Deponiegas, Flüssiggas, etc..

- BMWA Richtlinie 2001: Technische Grundlage für die Beurteilung von Emissionen aus Stationärmotoren
- BMWA Richtlinie 2003: Technische Grundlage für die Beurteilung von Biogasanlagen
- BMWA Richtlinie 2007: Technische Grundlage für die Beurteilung von Biogasanlagen
- BMWFJ 2010: Ergänzungspapier zur Technischen Grundlage für die Beurteilung von Stationärmotoren

- TA Luft: Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz; Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft; vom 24. Juli 2002

In BMWFJ 2010 wird ausgeführt: „... Es obliegt daher dem Technischen Amtssachverständigen im gewerbebehördlichen Genehmigungsverfahren, den jeweils konkret vorliegenden Sachverhalt nach den Erfordernissen des Einzelfalles zu beurteilen. Der Technischen Grundlage kommt kein verbindlicher Charakter zu.“

BMWA 2001:

Tabelle 1: Empfohlene Emissionsgrenzwerte nach BMWA 2001; Brennstoff Klärgas; Werte bezogen auf 0 °C, 1013 hPa und 5 % O₂

	< 250 kW BWL* < 100 kW mech	> 250 kW BWL > 100 kW mech
Stickstoffoxide (NO _x)	-	500 mg/m ³
Kohlenmonoxid (CO)	650 mg/m ³	400 mg/m ³
NMHC (Nicht-Methan-KW)	k.A.	150 mg/m ³
Schwefeldioxid (SO ₂)	k.A.	k.A.
Staub	k.A.	k.A.,

* Brennstoffwärmeleistung

Grundsätzlich sind die übrigen Luftschadstoffe wie bei der Müllverbrennung zu begrenzen; in der Regel wird eine Rohgasreinigung erforderlich sein.

BMWA 2003:

Tabelle 2: Empfohlene Emissionsgrenzwerte nach BMWA 2003; Brennstoff Klärgas; Werte bezogen auf 0 °C, 1013 hPa und 5 % O₂

	< 250 kW BWL < 100 kW mech	> 250 kW BWL > 100 kW mech
Stickstoffoxide (NO _x)	-	400 mg/m ³
Kohlenmonoxid (CO)	650 mg/m ³	650 mg/m ³
Kohlenmonoxid (CO) Magermotor	650 mg/m ³	400 mg/m ³
NMHC (Nicht-Methan-KW)	k.A.	150 mg/m ³
Schwefeldioxid (SO ₂)	k.A.	5 mg/m ³
Staub	k.A.	k.A.,

BMWA 2007:

Anwendungsbereich: Für Faulgas explizit nicht gültig!

BMWfJ 2010:

Auch in diesem Dokument werden BHKW's explizit im „Nicht-Anwendungsbereich“ genannt. Für Emissionsgrenzwerte von BHKW's wird auf die „Vereinbarung gemäß Art. 15a B-VG über das Inverkehrbringen von Kleinfeuerungen und die Überprüfung von Feuerungsanlagen und Blockheizkraftwerken, Art. 15 „Blockheizkraftwerke“ verwiesen.

Tabelle 3: Empfohlene Emissionsgrenzwerte nach Art. 15a Vereinbarung; Brennstoff Klärgas; Werte bezogen auf 0 °C, 1013 hPa und 5 % O₂

	< 250 kW BWL	> 250 kW BWL
Stickstoffoxide (NO _x)	1000 mg/m ³	500 mg/m ³
Kohlenmonoxid (CO)	1000 mg/m ³	400 mg/m ³
NMHC (Nicht-Methan-KW)	-	150 mg/m ³
Schwefeldioxid (SO ₂)	k.A.	k.A.
Staub	k.A.	k.A.

TA-Luft 2002:

Im Abschnitte 5.4.1.4 „Anlagen der Nummer 1.4: Verbrennungsmotoranlagen (einschließlich Verbrennungsmotoranlagen der Nummern 1.1 und 1.2)“ sind für Ottomotoren folgende Werte angegeben.

Tabelle 4: Empfohlene Emissionsgrenzwerte nach TA-Luft; Brennstoff Klärgas; Werte bezogen auf 0 °C, 1013 hPa und 5 % O₂

	< 3000 kW BWL	> 3000 kW BWL
Stickstoffoxide (NO _x)	500 mg/m ³	500 mg/m ³
Kohlenmonoxid (CO)	1000 mg/m ³	650 mg/m ³
NMHC (Nicht-Methan-KW)	k.A.	k.A.
Schwefeldioxid (SO ₂)	310 mg/m ³	310 mg/m ³
Staub	20 mg/m ³	20 mg/m ³
Formaldehyd (CH ₂ O)	60 mg/m ³	60 mg/m ³

Die empfohlenen Emissionsgrenzwerte stellen in der Regel Halbstundenmittelwerte dar.

Derzeit werden hauptsächlich Ottomotoren mit Magermotoreinstellung eingesetzt. Dadurch wird der Gehalt an Stickoxyden reduziert, aber es treten höhere Formaldehydkonzentrationen auf (derzeitiger Grenzwert 60 Milligramm pro Kubikmeter, Reduktion auf 40 Milligramm pro Kubikmeter im Gespräch).

5.2 SCHALLEMISSIONEN

Blockheizkraftwerke werden in der Regel in Gebäuden untergebracht. Die Aufstellungsräume sind schalldämmend ausgeführt. Die Zu- und Abluftöffnungen sind ebenfalls mit Schallschutzeinrichtungen auszuführen.

Auf der Abgasseite des Motors ist ein Vorschalldämpfer eingebaut, dieser gehört zum Lieferumfang Aggregates. Im externen Abgassystem ist ein Endschalldämpfer angeordnet.

In der TA Lärm, Nummer 7.3 und DIN 45680 wird festgelegt, wann eine Beurteilung der Geräuschmissionen zusätzlich zum A-Pegel erforderlich ist, weil mit „schädlichen Umwelteinwirkungen“ durch tieffrequenten Schall (Frequenz unter 100 Hz) zu rechnen ist.

6. DURCHFÜHRUNG VON ABNAHMEMESSUNGEN

Eine Vorbesprechung zur Festlegung der Vorgangsweise ist in jedem Fall notwendig und sinnvoll. Dabei sollten unter anderen folgende Punkte geklärt werden. Details sind auf der im Anhang beigegebenen Checkliste enthalten.

- Die Anzahl und Einstellungen (Volllast, Teillast, etc.)
- Die Dauer der jeweiligen Testläufe
- Bei einem Lokalaugenschein auf der Anlage sind die Messstellen und Probennamestellen festzulegen. Häufig sind hier temporäre Maßnahmen zu setzen um den Faulgasstrom und die Zustandsgrößen des Faulgases sowie die Zustandsgrößen der Ansaugluft erfassen zu können.
- Festlegung der Verantwortlichkeiten: Wer stellt welche Messgeräte zur Verfügung, baut diese ein und betreibt sie während der Messung (inklusive Datenregistrierung).

6.1 VERSUCHSAUFBAU ZUR DURCHFÜHRUNG VON ABNAHMEMESSUNGEN

In der folgenden Abbildung 3 ist der Versuchsaufbau an einem Blockheizkraftwerk schematisch dargestellt.

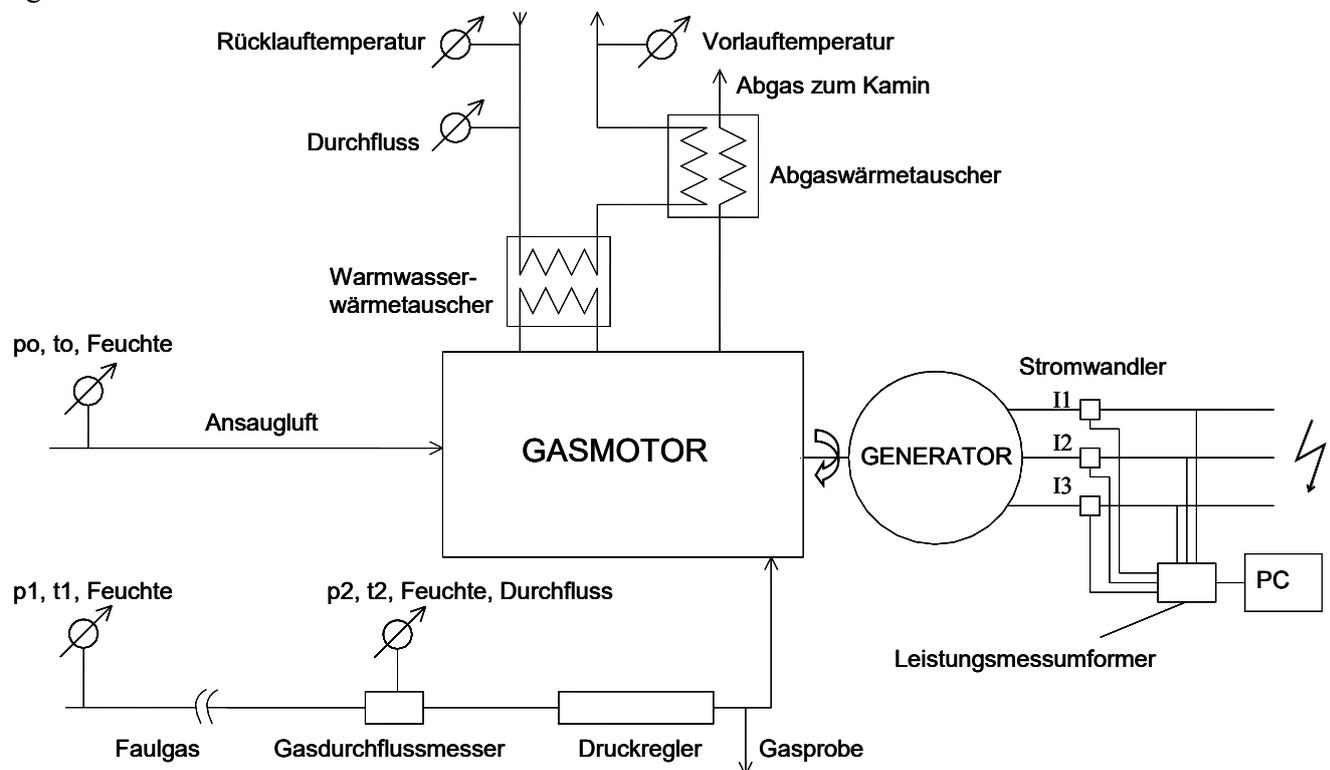


Abbildung 3: Versuchsaufbau an einem Blockheizkraftwerk

Wie aus der Abbildung 3 ersichtlich ist, wird die Blockheizkraftwerksanlage in der Gaszuleitung um eine Messstrecke ergänzt. In dieser Messstrecke wird die Gastemperatur und der Gasdruck sowie der Gasvolumenstrom (in der Regel Betriebskubikmeter) erfasst. Auf der Abgabeseite wird die elektrische Energie mit einem Leistungsmessumformer gemessen und alle Daten in kurzen Zeitabständen registriert. Während der Messung sind alle Parameter kontinuierlich zu erfassen. Zur Bestimmung der im Faulgas enthaltenen Energie ist neben den Zustandsgrößen des Gases auch die Zusammensetzung zu ermitteln. Zu diesem Zweck werden Gasproben aus der Gasleitung gezogen und in einem Labor auf die Zusammensetzung (im wesentlichen Methan) analysiert.

Für die Messung der abgegebenen elektrischen Leistung wird empfohlen Messgeräte mit möglichst hoher Genauigkeit zu verwenden. Die Eignung der installierten Messgeräte (häufig Bestandteil der elektrotechnischen Ausrüstung des Blockheizkraftwerkes) für Abnahmemessungen ist gegebenenfalls getrennt zu bestimmen.

6.2 ELEKTRISCHER WIRKUNGSGRAD

Der elektrische Wirkungsgrad wird nach Gleichung 1 berechnet:

$$\eta_{el} [\%] = \frac{\text{elektrische Leistung [kW]} - \text{Leistung Nebenaggregate [kW]}}{\text{Leistung Faulgas [kW]}} \cdot 100 \quad (\text{Glg. 1})$$

6.2.1 Bestimmung der Energie im Faulgas

Bei Berechnung des Wirkungsgrades ist es notwendig die mit dem Faulgas zugeführte Energiemenge zu berechnen. Dazu ist einerseits der Massestrom an Faulgas und die Faulgaszusammensetzung zu ermitteln. Der Massestrom des Faulgases muss messtechnisch erfasst werden. In der Praxis hat es sich bewährt Turbinenradzähler temporär in das Gasleitungssystem einzubauen. Turbinenradzähler erfassen den Volumenstrom unter den herrschenden Betriebsbedingungen in der Rohrleitung am Aufstellungsort. Zur Umrechnung auf den Massestrom sind die Zustandsgrößen des Faulgases (Druck, Feuchte und Temperatur) ebenfalls kontinuierlich zu erfassen.

6.2.1.1 Ermittlung der Gaszusammensetzung

Die Gasanalyse wird an der getrockneten Gasprobe durchgeführt. In der Rohrleitung auf der Anlage ist das Gas jedoch feucht. Zur Berechnung des Heizwertes des Gases muss die Feuchtigkeit gemessen oder rechnerisch berücksichtigt werden. Zu diesem Zweck hat es sich in der Praxis bewährt eine Stelle in der Anlage zu suchen an der der Druck, die Temperatur und die Feuchte des Gases bekannt sind (z.B. relative Feuchte 100 %). Ausgehend von diesen Daten wird nun mit dem Druck und der Temperatur an der Messstelle die Feuchtigkeit des Faulgases berechnet. Voraussetzung für die Anwendbarkeit dieser Vorgangsweise ist, dass kein Kondensat zwischen den beiden betrachteten Stellen abgeschieden wird.

Der Faulgasvolumenstrom wird in der Regel mit Turbinenradzählern, Messblenden oder Drehkolbengaszählern bestimmt. In der Praxis haben sich Turbinenradzähler für temporäre Messungen bewährt. Für kontinuierliche Messungen im Betrieb können Turbinenradzähler dann eingesetzt werden, wenn sichergestellt ist, dass es keine Kondensate gibt. Der Einsatz von Hitzdrahtanemometern (Massendurchflussmesser gängiger Hersteller) ist nur dann möglich, wenn

- ausgeschlossen werden kann, dass Kondensate auftreten
- keine großen Schwankungen der Faulgaszusammensetzung auftreten
- die Gaszusammensetzung gemessen wird und der Auswertalgorithmus entsprechend angepasst wird.

6.2.1.2 Umrechnung der relativen Feuchte

Kann die relative Feuchte an der Messstelle der Durchflussmessung nicht gemessen werden, ist es möglich aus einer bekannten Feuchte an anderer Stelle eine Berechnung vorzunehmen. Voraussetzung dafür ist, dass zwischen den beiden Stellen keine Kondensatabscheidung auftritt. Zur Umrechnung der relativen Feuchte von der Position 1 an die Position 2 kann (Gleichung 2) verwendet werden.

$$\varphi_2 = \varphi_1 \cdot \frac{p_2}{p_1} \cdot \frac{p_{s,1}}{p_{s,2}} \quad (\text{Glg. 2})$$

darin bedeutet:

φ relative Feuchte [-]

p Gesamtdruck in der Rohrleitung [hPa]

p_s Sättigungsdampfdruck in Abhängigkeit der Temperatur an der jeweiligen Position [hPa]

1,2 Index zur Kennzeichnung der Position

Für die Berechnung des Sättigungsdampfdruckes (nach Gleichung 5) muss die Temperatur des Gases in der Leitung gemessen werden.

6.2.1.3 Umrechnung des Gasvolumenstromes

Mit den üblicherweise verwendeten Gasvolumenstrommessgeräten wird der Volumenstrom unter Betriebsbedingungen inklusive der Gasfeuchte gemessen. Zur Bestimmung des Energieinhaltes ist der Gasvolumenstrom auf Normzustandsgrößen (0°C=273Kelvin, 1013 hPa), trocken umzurechnen. Basis der Umrechnung ist das allgemeine Gasgesetz (Gleichung 3):

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{konstant} \quad (\text{Glg. 3})$$

darin bedeutet:

V Gasvolumen [m³]

p Gesamtdruck des Gases [hPa]

T Temperatur des Gases [K]

Zur Umrechnung kann folgende Gebrauchsformel (Gleichung 4) angewendet werden:

$$Q_{N,t} = Q_{B,f} \cdot \frac{(p_B - \varphi \cdot p_{s,B}) \cdot T_N}{p_N \cdot T_B} \quad (\text{Glg. 4})$$

darin bedeutet:

Q_B gemessener Gasvolumenstrom in der Rohrleitung unter Betriebsbedingungen [m³/h]

p_B Druck in der Gasleitung [hPa]

$p_{s,B}$ Sättigungsdampfdruck bei der Temperatur T_B in der Gasleitung [hPa]

p_N Normdruck = 1013 hPa

T_B Temperatur des Gases in der Leitung [K]

Q_N Gasvolumenstrom unter Normbedingungen [m³/h]

T_N Normtemperatur = 273 K (entspricht 0°C)

φ relative Feuchte in der Gasleitung [-]

t Index – trocken

f Index – feucht

Die Gasfeuchte kann gemessen, oder aus bekannten Zustandsgrößen (z.B. Sättigung im Gasbehälter) und Veränderungen des Druckes und der Temperatur berechnet werden. Der Sättigungsdampfdruck wird aus einer Tabelle entnommen (siehe Anhang). Näherungsweise kann zur Berechnung des Wasserdampfsättigungsdruckes im Temperaturbereich 0 bis 40°C folgendes Polynom (Gleichung 5) verwendet werden.

$$p_s = 6,111 + 4,402 \cdot 10^{-1} \cdot t_B + 1,511 \cdot 10^{-2} \cdot t_B^2 + 1,963 \cdot 10^{-4} \cdot t_B^3 + 5,202 \cdot 10^{-6} \cdot t_B^4 \quad (\text{Glg. 5})$$

darin bedeutet:

p_s Sättigungsdampfdruck bei der Temperatur t_B [hPa]

t_B Temperatur des Gases in der Leitung [°C]

6.2.1.4 Berechnung der Leistung des Faulgases

Trockenes Faulgas das einem Verbrennungsmotor zugeführt wird, besteht im wesentlichen aus Methan und Kohlendioxid. 100% Methan hat einen Energieinhalt von $H_i = 9,97 \text{ kWh/m}_N^3$. Der Energieinhalt eines Gemisches von Methan und Kohlendioxid berechnet sich nach Gleichung 6.

$$\text{spez. } E_{FG} = H_i \cdot \text{vol.\% CH}_4 \quad (\text{Glg. 6})$$

darin bedeutet:

spez. E_{FG} spez. Energie Faulgas [kWh/m_N^3]
 H_i Heizwert Methan (früher unterer Heizwert = $9,97 \text{ kWh/m}_N^3$)
vol% CH_4 ... Volumenanteil Methan [%]

Mit dem Volumenstrom trockenen Faulgases, das dem Motor zugeführt wird, berechnet sich die mit dem Faulgas zugeführte Leistung nach Gleichung 7.

$$P_{FG} = \text{spez. } E_{FG} \cdot Q_{N,t} \quad (\text{Glg. 7})$$

darin bedeutet:

P_{FG} Leistung im Faulgas [kW]
spez. E_{FG} spez. Energie Faulgas [kWh/m_N^3]
 $Q_{N,t}$ Volumenstrom trockenen Faulgases [m_N^3/h]

6.2.2 Messung der elektrischen Leistung

Im Drehstromnetz gibt es drei Stränge, von denen jeder einen Anteil an der Gesamtleistung liefert. Die von einem Drehstromgenerator abgegebene elektrische Leistung kann nach folgender Gleichung 8 berechnet werden:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi \quad \text{Glg. (8)}$$

Wenn die tatsächlichen elektrischen Größen (Spannung und Strom) größer als der Messbereich der Messgeräte sind werden Wandler benötigt. In der Praxis trifft man häufig auf Stromwandler. Diese dienen zur Umformung eines hohen Wechselstromes in einen galvanisch getrennten Wechselstrom von 5 A oder 1 A. Stromwandler arbeiten wie Transformatoren. Standardmäßig werden die Stromwandler in der Klasse 1 bzw. 0,5 gefertigt. Für gesteigerte Güteanforderungen sind auch Wandler der Güteklasse 0,2 verfügbar.

Für Abnahmemessungen wird empfohlen die elektrischen Größen (mindestens die Strangströme, die Spannungen, den $\cos \varphi$ und die Leistung) in kurzen Abständen zu registrieren.

6.2.2.1 Leistungsermittlung der Nebenaggregate

Zum Betrieb eines Blockheizkraftwerkes sind häufig eine Reihe von Nebenaggregaten erforderlich. Dazu zählen unter anderem:

- Kühlwasserpumpen
- Ventilatoren
- Gasverdichtung
- Gasaufbereitung

Zur Ermittlung der tatsächlich erzeugten elektrischen Leistung ist es notwendig die Leistungsaufnahme aller Aggregate zu messen.

Es ist im Einzelfall zu entscheiden ob auf die Typenschildangaben zurückgegriffen wird oder tatsächlich jedes Aggregat eine entsprechende Leistungsmessung durchgeführt wird. Es ist darauf hinzuweisen, dass die Leistungsaufnahme der Nebenaggregate in der Regel von den betrieblichen Rahmenbedingungen, wie z.B. Wetter, Raumtemperatur, Luftfeuchtigkeit etc. abhängig ist.

6.2.3 Umrechnung auf Normbezugsbedingungen

Die erzeugte elektrische Leistung und der Faulgasverbrauch sind u.a. abhängig von den Zustandsgrößen der Ansaugluft am Aufstellungsort. Zur Bewertung von Messergebnissen ist daher, bereits in der Ausschreibung, fest zu legen, bei welchen Zustandsgrößen die genannten Garantiewerte gelten. Sinnvoller weise wird man verlangen, dass der Bieter, die üblicherweise am Aufstellungsort herrschenden Bedingungen, berücksichtigt.

Zur Sicherstellung der Vergleichbarkeit der Messergebnisse unter unterschiedlichen Bedingungen kann die Umrechnung nach DIN ISO 3046-1 erfolgen. Darin werden folgende Normbezugsbedingungen genannt:

- Luftdruck: 1.000 hPa
- Lufttemperatur: 25 °C
- relative Luftfeuchtigkeit: 30 %

Die Motorleistungsabminderung für aufgeladene Gasmotoren kann mit folgen Werten abgeschätzt werden:

- Höhe: 0,7% für je 100 m über 500 m
- Temperatur: 0,5 % für jedes weitere 1 °C über 25 °C

6.3 THERMISCHER WIRKUNGSGRAD

Den thermische Wirkungsgrad eines Blockheizkraftwerkes berechnet man nach Gleichung 9.

$$\eta_{el}[\%] = \frac{\text{thermische Leistung [kW]}}{\text{Leistung Faulgas [kW]}} \cdot 100 \quad (\text{Glg. 9})$$

6.3.1 Berechnung der abgegebenen thermischen Leistung

Die vom BHKW abgegebene thermische Leistung wird über einen Wärmetauscher und einen Warmwasserkreislauf transportiert. Die übertragene thermische Leistung berechnet sich mit Gleichung 10 zu

$$P_{th} = Q_W \cdot \rho_W \cdot c_p \cdot (t_V - t_R) \quad \text{Glg. 10}$$

darin bedeutet:

- P_{th} thermische Leistung [kW]
 Q_W Volumenstrom des Wassers [m³/s]
 ρ_W Dichte von Wasser [kg/m³]; $\rho_W = 1000 \text{ kg/m}^3$
 c_p spezifische Wärme von Wasser [kJ/(kg·K)]; $c_p = 4,19 \text{ kJ/(kg·K)}$
 t_V Temperatur des abströmenden Wassers, Vorlauf [°C]
 t_R Temperatur des zuströmenden Wassers, Rücklauf [°C]

Hinweis: Bei Temperaturdifferenzen kann mit Grad Celsius gerechnet werden.

Für die Messung des Volumenstromes des Wassers und der Temperaturen gibt es mobile Messgeräte. In der folgenden Abbildung 4 ist ein mobiles Wärmemengengerät zu sehen.

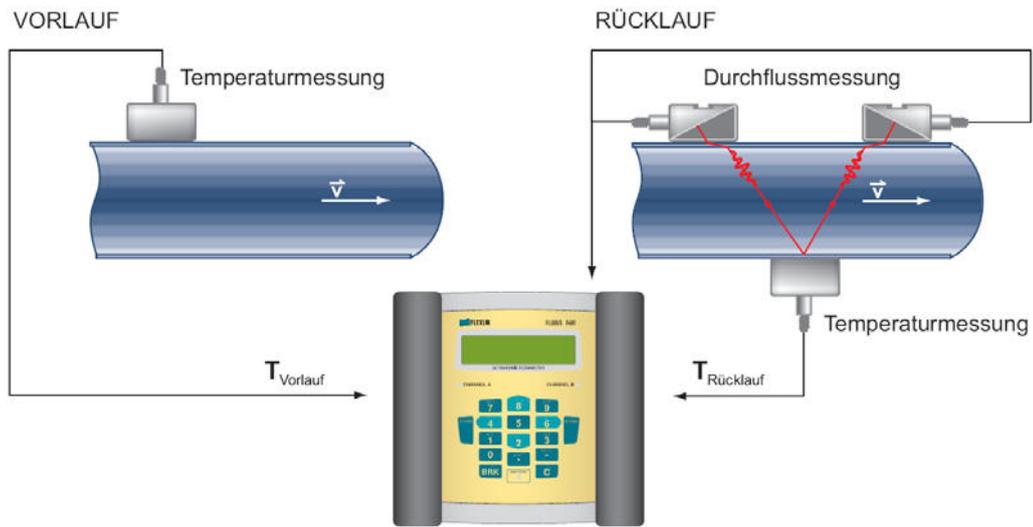


Abbildung 4: Mobile Wärmemengenmessung (Quelle: www.flexim.com)

Die Volumenstrommessung erfolgt nach dem Laufzeitverfahren. Details dazu findet man z.B. in FREY (2001).

Die thermische und hydraulische Einbindung des Warmwasserkreislaufes des BHKW in das Wärmeversorgungssystem der Gesamtanlage beeinflusst die Möglichkeiten der Ermittlung des thermischen Wirkungsgrades.

6.4 BEISPIELRECHNUNG ZUR ERMITTLUNG DES ELEKTRISCHEN UND THERMISCHEN WIRKUNGSGRADES

In der folgenden Tabelle 5 ist ein Musterbeispiel zur Berechnung des elektrischen und des thermischen Wirkungsgrades angegeben. Die Herkunft der Zahlenwerte ist in der letzten Spalte beschrieben. Es handelt sich entweder um Messwerte, Rechenwerte oder Daten aus Tabellenbüchern. Bei den Rechenwerten ist die Nummer der Gleichung aus den vorangegangenen Kapiteln angegeben oder direkt der Zusammenhang dargestellt.

Tabelle 5: Beispielrechnung zur Ermittlung des elektrischen und des thermischen Wirkungsgrades

Bezeichnung	Variable	Wert	Einheit	Herkunft
Zustandsgrößen im Gasbehälter				
Temperatur	t_0	8,1	°C	Messwert
Druck	p_0	995,9	hPa	Messwert
Feuchte	φ_0	100	%	Messwert
Sättigungsdampfdruck	$p_{s,0}$	10,9		Gleichung 5
Zustandsgrößen am Durchflussmessgerät				
Temperatur	t_B	18,2	°C	Messwert
Gesamtdruck	p_B	990,4	hPa	Messwert
Feuchte	φ_B	51,6	%	Gleichung 2
Sättigungsdampfdruck	$p_{s,B}$	20,9	hPa	Gleichung 5
Gasvolumenstrom				
Gasvolumenstrom im Betriebszustand	$Q_{B,f}$	49,2	m ³ /h	Messwert
Gasvolumenstrom im Normzustand, trocken	$Q_{N,t}$	44,6	m _N ³ /h	Gleichung 4
Volumenanteil CH ₄ - trocken	c_{CH_4}	61,9	vol%	Messwert
Energieinhalt Methan	H_i	9,97	kWh/m _N ³	Tabellenbuch
spezifischer Energieinhalt Faulgas	spez. E_{FG}	6,17	kWh/m _N ³	Gleichung 6

Leistung Faulgas ZU	P_{FG}	275,2	kW	Gleichung 7
Elektrischer Wirkungsgrad				
Elektrische Leistung AB	$P_{el,AB}$	100,8	kW	Messwert
elektrischer Wirkungsgrad	η_{el}	36,6%	-	Gleichung 2
Thermische Energie				
Temperatur Vorlauf	t_v	88,9	°C	Messwert
Temperatur Rücklauf	t_R	71,2	°C	Messwert
spezifische Wärmekapazität	c_p	4,19	kJ/(kg·K)	Tabellenbuch
Volumenstrom Heizwasserkreislauf	Q_w	2,03	kg/s (=L/s)	Messwert
thermische Leistung AB	P_{th}	150,6	kW	Gleichung 10
Thermischer Wirkungsgrad	η_{th}	54,7%	-	Gleichung 9
Gesamtwirkungsgrad	η_{ges}	91,3%		$\eta_{el} + \eta_{th}$

Das Blockheizkraftwerk in diesem Beispiel erreicht bei Volllast einen elektrischen Wirkungsgrad von 36,6 % und einen thermischen Wirkungsgrad von 54,7 %, der Gesamtwirkungsgrad beträgt somit 91,3 %.

7. STÄRKEN UND SCHWÄCHEN VON BLOCKHEIZKRAFTWERKEN

Der elektrische Wirkungsgrad von Blockheizkraftwerken beträgt bei großen Aggregaten bei Volllast bis zu 40 %. Es treten relativ geringe Leistungsverluste durch erforderliche Nebenaggregate (2 – 5% bei Notkühlbetrieb) auf. Die Maschinen sind energieautark und daher bei Einsatz von Starterbatterien notstromtauglich. Der Gasvordruck ist mit ca. 50 hPa als gering zu bewerten. Die Maschinenteknik ist ausgereift. Es liegen ausreichend Erfahrungen mit mehr als 100 000 Betriebsstunden vor. Im Vergleich zu anderen Aggregaten sind die Investitionskosten als tendenziell gering zu bewerten.

Für den Betrieb ist ein möglichst konstanter Methangehalt größer als 50 % erforderlich. Für den Fall, dass die Abwärmenutzung nicht entsprechend funktioniert, ist ein Notkühlsystem (Energieverbrauch für die Kühlwasserpumpe) erforderlich. Blockheizkraftwerke sind empfindlich auf Schwefelwasserstoff im Faulgas. Dieser greift das Schmiermittel an und führt im Abgasstrom zu Korrosionserscheinungen. Durch die erforderlichen Servicearbeiten (z.B. Ölwechsel, Zündkerzenwechsel) sind die Betriebskosten tendenziell hoch. Ein Problem stellt die Einhaltung aller Abgaswerte dar.

8. LITERATUR

- BMW 2001: Technische Grundlage für die Beurteilung von Emissionen aus Stationärmotoren; <http://www.bmwfj.gv.at/Unternehmen/gewerbetechnik/Documents/Emissionen%20aus%20Stationaermotoren.pdf>; (Zugriff 2011-02-23, 15:50)
- BMW 2003: Technische Grundlage für die Beurteilung von Biogasanlagen; <http://www.biogas-netzeinspeisung.at/downloads/ beurteilung-biogasanlagen.pdf> (Zugriff 2011-02-23, 15:52)
- BMW 2007: Technische Grundlage für die Beurteilung von Biogasanlagen; <http://www.bmwfj.gv.at/Unternehmen/gewerbetechnik/Documents/Biogasanlagen.pdf> (Zugriff 2011-02-23, 15:55)
- BMW FJ 2010: Ergänzungspapier zur Technischen Grundlage für die Beurteilung von Stationärmotoren; <http://www.bmwfj.gv.at/Unternehmen/gewerbetechnik/Documents/Emissionen%20von%20Stationaermotoren%20Ergaenzung.pdf> (Zugriff 2011-02-23, 15:58)
- DIN ISO 3046-1 (1998): Hubkolben-Verbrennungsmotoren-Anforderungen; Teil 1: Normbezugsbedingungen, Angaben über Leistung, Kraftstoff- und Schmierölverbrauch und Prüfungen
- DIN 45680 (1997): Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschemissionen in der Nachbarschaft
- DWA-M 361 (2010): Aufbereitung von Biogas
- DWA-M 363 (2010): Herkunft, Aufbereitung und Verwertung von Biogasen
- FREY, W. (2004): Qualitätskontrolle von Durchflussmessungen; Wiener Mitteilungen Band 187
- TA Luft (2002): Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz; Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft; vom 24. Juli 2002; <http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/taluft.pdf> (Zugriff 2011-02-23, 16:02)
- TA Lärm (1998): Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz; (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm); 26. August 1998 (GMBI Nr. 26/1998 S. 503); <http://www.umweltbundesamt.de/laermprobleme/publikationen/talaerm.pdf> (Zugriff 2011-02-24, 08:40)
- VDI-Richtlinie 3985 (2004): Grundsätze für Planung, Ausführung und Abnahme von Kraftkopplungsanlagen mit Verbrennungskraftmaschinen

9. ANHANG

9.1 SÄTTIGUNGSDAMPFDROCK VON WASSER

t [°C]	ps [hPa]						
-10	2,594	9	11,472	23	28,080	37	62,820
-8	3,094	10	12,270	24	29,820	38	66,240
-6	3,681	11	13,116	25	31,660	39	69,995
-4	4,368	12	14,014	26	33,600	40	73,750
-2	5,172	13	14,965	27	35,640	41	77,865
0	6,108	14	15,973	28	37,780	42	81,980
1	6,566	15	17,039	29	40,040	43	86,490
2	7,055	16	18,168	30	42,410	44	91,000
3	7,575	17	19,362	31	44,970	45	95,930
4	8,129	18	20,620	32	47,530	46	100,860
5	8,718	19	21,960	33	50,355	47	106,240
6	9,345	20	23,370	34	53,180	48	111,620
7	10,012	21	24,850	35	56,290	49	117,485
8	10,720	22	26,420	36	59,400	50	123,350

Quelle: Dampftafel, VDI Wärmeatlas 2006, Springer Verlag

9.2 BMWA 2001: TABELLE 6.1

Tabelle 6.1: Grenzwertempfehlungen für Stationärmotoren

Tabelle 6.1: Grenzwertempfehlungen für Stationärmotoren																						
Grenzwertempfehlungen, bezogen auf 0 °C, 1013 mbar, 5 % O ₂ , in der Regel bei Nennleistung ¹⁾ :																						
BWL	Heizöl extraleicht/Dieselmotorkraftstoff						Erdgas/Flüssiggas Ottomotor						Biogas		Klärgas Deponiegas ⁵⁾							
	< 125 kW	≥ 125 < 1000 kW	≥ 1000 < 2500 kW	≥ 2500 kW	< 2500 kW	≥ 2500 kW	< 250 kW	≥ 250 kW	< 250 kW	≥ 250 kW	< 250 kW	≥ 250 kW	< 250 kW	≥ 250 kW								
mechanische Leistung	< 50 kW	≥ 50 < 400 kW	≥ 400 < 1000 kW	≥ 1000 kW	< 1000 kW	≥ 1000 kW	< 100 kW	≥ 100 kW	< 100 kW	≥ 100 kW	< 100 kW	≥ 100 kW	< 100 kW	≥ 100 kW								
		Oxi-Kat ²⁾	SCR-Kat ³⁾	SCR-Kat ³⁾										Magermotor								
mg/Nm ³	NO _x	CO	Staub	NO _x	CO	Staub	NO _x	CO	Staub	NO _x	CO	Staub	NO _x	CO	NO _x	CO	NO _x	CO	NMHC			
	4000 ⁴⁾	650	Bosch 3	2500	650	50	400	250	50	250	250	30	250	200	150	150	200	50	650	500	400	150
<p>Die Brennstoffwärmeleistung BWL ist maßgebend für die Klassifizierung innerhalb dieser Tabelle. Die mechanische Leistung wurde unter Annahme eines Wirkungsgrades von 40 % aus der BWL errechnet und ist als Richtwert anzusehen. Für Notstromaggregate gelten die entsprechend ihrer Leistung in der Tabelle angeführten Grenzwerte für CO und Staub; für NO_x ist der Grenzwert in der Höhe von 4000 mg/Nm³⁴⁾ einzuhalten. Die angegebenen mechanischen Leistungen sind gemäß Richtlinie 80/1269/EWG, Anhang I, zuletzt geändert durch Richtlinie 1999/99/EG, ermittelte mechanische Motorleistungen von Selbstzündungs- und Fremdzündungsmotoren. ¹⁾ Abnahme bei Nennlast; in begründeten Einzelfällen auch bei anderer Last nach Vorgabe der Abnahmemesswerte für diesen Lastpunkt. ²⁾ Vorteilhaft zur Reduzierung der unverbrannten Kohlenwasserstoffe und der Geruchsbelastung. ³⁾ Zur Einhaltung der angeführten Grenzwerte ist nach derzeitigem Stand der Technik ein SCR-Kat erforderlich. Ein Ammoniakslupf von 5 mg/Nm³ darf nicht überschritten werden. ⁴⁾ Es gibt bereits Anbieter, die in diesem Leistungsbereich die Einhaltung eines NO_x-Grenzwertes von 2.500 mg/m³ garantieren. Es sind hier Fortschritte in der technischen Weiterentwicklung abzusehen. ⁵⁾ Grundsätzlich sind die übrigen Luftschadstoffe wie bei der Müllverbrennung zu begrenzen; in der Regel wird eine Rohgasreinigung erforderlich sein. Siehe hierzu LRV-K 1989, BGBl.Nr. 19/1989, i.d.F. BGBl. II Nr. 324/1997.</p>																						

9.3 BMWA 2003: PUNKT 8.7.1 LUFTSCHADSTOFFE

Tabelle aus Punkt 8.7.1 Luftschadstoffe

Empfohlene Grenzwerte gemäß Technischer Grundlage für die Beurteilung von Emissionen aus Stationärmotoren		
Luftschadstoff	Emissionsgrenzwerte	
	< 250 kW BWL (entspr. < 100 kW _{mech.})	≥ 250 kW BWL (entspr. ≥ 100 kW _{mech.})
Stickstoffoxide (NO _x)	-	400 mg/m ³
Stickstoffoxide (NO _x) bei Einsatz von Deponiegas	-	500 mg/m ³ Magermotor
Kohlenmonoxid (CO)	650 mg/m ³	650 mg/m ³
Kohlenmonoxid (CO) bei Einsatz von Deponiegas	650 mg/m ³	400 mg/m ³ Magermotor
NMHC (Nicht-Methan-KW)	-	150 mg/m ³
Schwefelwasserstoff (H ₂ S)	-	5 mg/m ³

9.4 BMWJF 2010: VEREINBARUNG NACH ART. 15A B-VG

Anhang, Punkt 5.1 - Vereinbarung gemäß Art. 15a B-VG über das Inverkehrbringen von Kleinfeuerungen und die Überprüfung von Feuerungsanlagen und Blockheizkraftwerken, Art. 15 „Blockheizkraftwerke“; Artikel 1 – Tabelle 3: Biogas, Klärgas, Holzgas, Deponiegas

Parameter	Brennstoffwärmeleistung (MW)	
	bis 0,25	> 0,25
Kohlenmonoxid (mg/m _N ³)	1.000*	400*
Stickstoffoxide (mg/m _N ³)	1.000	500
NMHC (mg/m _N ³)	—	150

* Für mit Holzgas betriebene BHKW gilt ein Wert von 1.500 mg/m_N³.

9.5 BMWJF 2010: TA LUFT 2002

TA-Luft 2002 (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft vom 24.07.2002)
Abschnitte 5.4.1.4 „Anlagen der Nummer 1.4: Verbrennungsmotoranlagen...“, Tabelle 9

Tabelle 9: Grenzwerte für gasförmige Kraftstoffe [mg/m ³]						
Kraftstoff →		Bio-/ Klärgas		Gru- bengas	Depo- niegas	Erdgas; Flüs- siggas*
Brennstoffwärmeleistung →		< 3 MW	≥ 3 MW			
Schadstoff- parameter	Motorkonzept					
CO	Fremdzündung	1.000**	650**	650**	650**	300
	Zündstrahl	2.000**		—**		
NO _x	Zündstrahl	1.000**	500	500	500	500
	Magergas		500			
	sonstige 4-Takt-Otto			250		250
	2-Takt		800	800		800
SO ₂ ***	alle		310**	31	—	9; 4*
Formaldehyd	alle		60	60	60	60

* Grenzwerte allgemein für „sonstige gasförmige Brennstoffe“, bei SO₂ konkret für Erdgas bzw. Flüssiggas.

** generelles Minimierungsgebot, bei NO₂ durch motorinterne Maßnahmen, bei SO₂ durch Rohgasreinigung.

*** nach Umrechnung von 3 % auf 5 % Sauerstoffbezug.

9.6 TA-LUFT 2002: ABSCHNITT 5.4.1.4

Abschnitte 5.4.1.4 „Anlagen der Nummer 1.4: Verbrennungsmotoranlagen...“

5.4.1.4 Anlagen der Nummer 1.4: Verbrennungsmotoranlagen (einschließlich Verbrennungsmotoranlagen der Nummern 1.1 und 1.2)

BEZUGSGRÖßE

Die Emissionswerte beziehen sich auf einen Volumengehalt an Sauerstoff im Abgas von 5 vom Hundert.

MASSENSTRÖME

Die in Nummer 5.2 festgelegten Massenströme finden keine Anwendung.

GESAMTSTAUB, EINSCHLIEßLICH DER ANTEILE AN KREBSERZEUGENDEN, ERBGUTVERÄNDERNDEN ODER REPRODUKTIONSTOXISCHEN STOFFEN

Die staubförmigen Emissionen im Abgas von Selbstzündungsmotoren, die mit flüssigen Brennstoffen betrieben werden, dürfen als Mindestanforderung die Massenkonzentration 20 mg/m^3 nicht überschreiten.

Die staubförmigen Emissionen im Abgas dürfen bei Verbrennungsmotoranlagen, die ausschließlich dem Notantrieb dienen oder bis zu 300 Stunden je Jahr zur Abdeckung der Spitzenlast (z.B. bei der Stromerzeugung, der Gas- oder Wasserversorgung) betrieben werden, als Mindestanforderung die Massenkonzentration 80 mg/m^3 nicht überschreiten.

Die Möglichkeiten, die Emissionen durch motorische und andere dem Stand der Technik entsprechende Maßnahmen weiter zu vermindern, sind auszuschöpfen.

KOHLENMONOXID

Die Emissionen an Kohlenmonoxid im Abgas dürfen folgende Massenkonzentrationen nicht überschreiten:

- a) bei Selbstzündungsmotoren und Fremdzündungsmotoren, die mit flüssigen Brennstoffen betrieben werden, sowie bei Selbstzündungsmotoren (Zündstrahlmotoren) und Fremdzündungsmotoren, die mit gasförmigen Brennstoffen, ausgenommen Biogas, Klärgas oder Grubengas, betrieben werden, $0,30 \text{ g/m}^3$,
- b) bei Fremdzündungsmotoren, die mit Biogas oder Klärgas betrieben werden, mit einer Feuerungswärmeleistung von
 - aa) 3 MW oder mehr $0,65 \text{ g/m}^3$,
 - bb) weniger als 3 MW $1,0 \text{ g/m}^3$,
- c) bei Fremdzündungsmotoren, die mit Grubengas betrieben werden, $0,65 \text{ g/m}^3$,
- d) bei Zündstrahlmotoren, die mit Biogas oder Klärgas betrieben werden, mit einer Feuerungswärmeleistung von
 - aa) 3 MW oder mehr $0,65 \text{ g/m}^3$,
 - bb) weniger als 3 MW $2,0 \text{ g/m}^3$,

bei Einsatz von Biogas, Klärgas oder Grubengas sind die Möglichkeiten, die Emissionen an Kohlenmonoxid durch motorische und andere dem Stand der Technik entsprechende Maßnahmen weiter zu vermindern, auszuschöpfen.

Die Emissionswerte für Kohlenmonoxid finden keine Anwendung bei Verbrennungsmotoranlagen, die ausschließlich dem Notantrieb dienen oder bis zu 300 Stunden je Jahr zur Abdeckung der Spitzenlast (z.B. bei der Stromerzeugung, der Gas- oder Wasserversorgung) betrieben werden; die Möglichkeiten der Emissionsminderung durch motorische Maßnahmen sind auszuschöpfen.

STICKSTOFFOXIDE

Die Emissionen an Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid im Abgas dürfen folgende Massenkonzentrationen, angegeben als Stickstoffdioxid, nicht überschreiten:

- a) bei Selbstzündungsmotoren, die mit flüssigen Brennstoffen betrieben werden, mit einer Feuerungswärmeleistung von
 - aa) 3 MW oder mehr $0,50 \text{ g/m}^3$,
 - bb) weniger als 3 MW $1,0 \text{ g/m}^3$,

- b) bei gasbetriebenen Selbstzündungsmotoren (Zündstrahlmotoren) und Fremdzündungsmotoren
- aa) bei Zündstrahlmotoren, die mit Biogas oder Klärgas betrieben werden, mit einer Feuerungswärmeleistung von
- | | |
|--------------------|-------------------------|
| — 3 MW oder mehr | 0,50 g/m ³ , |
| — weniger als 3 MW | 1,0 g/m ³ , |
- bb) bei Magergasmotoren und anderen Viertakt–Otto–Motoren, die mit Biogas oder Klärgas betrieben werden,
- | | |
|--|-------------------------|
| | 0,50 g/m ³ , |
|--|-------------------------|
- cc) bei Zündstrahlmotoren und Magergasmotoren, die mit sonstigen gasförmigen Brennstoffen betrieben werden,
- | | |
|--|-------------------------|
| | 0,50 g/m ³ , |
|--|-------------------------|
- c) bei sonstigen Viertakt–Otto–Motoren
- | | |
|--|-------------------------|
| | 0,25 g/m ³ , |
|--|-------------------------|
- d) bei Zweitaktmotoren
- | | |
|--|-------------------------|
| | 0,80 g/m ³ ; |
|--|-------------------------|

bei Einsatz von Biogas oder Klärgas in Zündstrahlmotoren mit einer Feuerungswärmeleistung von weniger als 3 MW sind die Möglichkeiten, die Emissionen an Stickstoffoxiden durch motorische Maßnahmen weiter zu vermindern, auszuschöpfen.

Die Emissionswerte für Stickstoffoxide finden keine Anwendung bei Verbrennungsmotoranlagen, die ausschließlich dem Notantrieb dienen oder bis zu 300 Stunden

je Jahr zur Abdeckung der Spitzenlast (z.B. bei der Stromerzeugung, der Gas- oder Wasserversorgung) betrieben werden.

SCHWEFELOXIDE

Bei Einsatz flüssiger mineralischer Brennstoffe dürfen nur Heizöle nach DIN 51603 Teil 1 (Ausgabe März 1998) mit einem Massengehalt an Schwefel für leichtes Heizöl nach der 3. BImSchV, in der jeweils gültigen Fassung, oder Dieselkraftstoffe mit einem Massengehalt an Schwefel nach der 3. BImSchV, in der jeweils gültigen Fassung, verwendet werden oder es sind gleichwertige Maßnahmen zur Emissionsminderung anzuwenden.

Bei Einsatz gasförmiger Brennstoffe gelten die Anforderungen der Nummer 5.4.1.2.3 mit der Maßgabe, dass auf einen Bezugssauerstoffgehalt im Abgas von 5 vom Hundert umzurechnen ist.

Bei Einsatz von Biogas oder Klärgas sind die Möglichkeiten, die Emissionen an Schwefeloxiden durch primärseitige Maßnahmen nach dem Stand der Technik (Gasreinigung) weiter zu vermindern, auszuschöpfen.

ORGANISCHE STOFFE

Die Emissionen an Formaldehyd im Abgas dürfen die Massenkonzentration 60 mg/m³ nicht überschreiten. Für die Emissionen an sonstigen organischen Stoffen finden die Anforderungen der Nummer 5.2.5 keine Anwendung.

Die Möglichkeiten, die Emissionen an organischen Stoffen durch motorische und andere dem Stand der Technik entsprechende Maßnahmen, weiter zu vermindern, sind auszuschöpfen.

9.7 CHECKLISTE ZUR VORBEREITUNG UND DURCHFÜHRUNG VON
ABNAHMEMESSUNGEN AN BLOCKHEIZKRAFTWERKEN

Checkliste Zur Vorbereitung und Durchführung von Abnahmemessungen an Blockheizkraftwerken	Ausgabe März 2011 erstellt: W. Frey Seite 1 von 3
--	---

Prüfer:	Prüfdatum:
---------	------------

Nr.	Bezeichnung	Bemerkung
-----	-------------	-----------

1	Allgemeines	
1.1	Wer ist Auftraggeber der Prüfung?	
1.2	Welches Prüfinstitut führt die Messung durch? Wer ist Ansprechpartner für Rückfragen?	
1.3	Ist die Messung an einer Maschine oder mehreren Maschinen durchzuführen?	
1.4	Entspricht das Aggregat (Fabrikat, Type, usw.) dem angebotenen System?	
1.5	Wie lange soll jeder Testlauf dauern?	
1.6	Termin für die Messungen?	
1.7	Wer sorgt für die Abstimmung des Termins mit anderen Auftragnehmern (z.B. Schlosser, Elektriker,...)?	

2	Garantiewerte	
2.1	Wie viele Einstellungen des Blockheizkraftwerkes werden gemessen?	
2.2	Garantiewert für den elektrischen Wirkungsgrad im Vollastbetrieb?	
2.3	Garantiewert für den elektrischen Wirkungsgrad im Teillastbetrieb?	
2.4	Garantiewert für den thermischen Wirkungsgrad im Vollastbetrieb?	
2.5	Garantiewert für den thermischen Wirkungsgrad im Teillastbetrieb?	
2.6	Berücksichtigung der Leistungsaufnahme von Nebenaggregaten? Welche Aggregate?	
2.7	Wie wird die Leistungsaufnahme der Nebenaggregate gemessen?	
2.8	Wie ist mit Messabweichungen umzugehen? Sind Minusabweichungen zulässig?	
2.9	Entsprechen die Umgebungsbedingungen am Aufstellungsort den Normbezugsbedingungen?	
2.10	Ist eine vereinfachte Leistungsabminderung bei einer Aufstellungshöhe über 500 m und einer Ansaugtemperatur über 25°C zulässig?	
2.11	Ist eine Umrechnung nach DIN ISO 3046-1 erforderlich?	
2.12	Welche Abgasgrenzwerte wurden im Bescheid genannt?	
2.13	Liegen Prüfbescheinigungen des Motorlieferanten zu den Abgasgrenzwerten vor?	

Checkliste Zur Vorbereitung und Durchführung von Abnahmemessungen an Blockheizkraftwerken		Ausgabe März 2011 erstellt: W. Frey Seite 2 von 3
Prüfer:		Prüfdatum:
Nr.	Bezeichnung	Bemerkung
3	Vorbereitung der Messung	
3.1	Gibt es eine Gasvolumenstrommessung mit entsprechender Genauigkeit? Falls nicht, wer baut eine ein?	
3.2	Wie kann die Feuchte des Faulgases bestimmt werden?	
3.3	Ist sichergestellt, dass die Gasqualität nicht stark schwankt? Kann eine gleichmäßige Beschickung der Faulbehälter gewährleistet werden?	
3.4	Wo erfolgt die Faulgasprobenahme?	
3.5	Wer führt die Faulgasprobenahme durch (inklusive Beistellung aller erforderlichen Anschlüsse und Gasbeutel)?	
3.6	Welches Labor führt die Gasanalyse durch? Wer beauftragt das Labor und trägt die Kosten?	
3.7	Wie erfolgt die Messung und Registrierung des Gasvolumenstromes (inklusive Druck, Temperatur, Feuchte)? Wer ist zuständig?	
3.8	Wie erfolgt die Messung und Registrierung der Ansaugluftzustände (Druck, Temperatur, Feuchte)? Wer ist zuständig?	
3.9	Wie erfolgt die Messung und Registrierung der abgegebenen elektrischen Leistung? Wer ist zuständig?	
3.10	Können die eingebauten Messgeräte zur Ermittlung der elektrischen Leistung verwendet werden? Falls nicht, wer stellt die Messgeräte bei und wer baut sie ein?	
3.11	Wie erfolgt die Messung und Registrierung der abgegebenen thermischen Leistung (Kühlwasservolumenstrom, Vorlauftemperatur, Rücklauftemperatur)? Wer ist zuständig?	
3.12	Ist die Abnahme der elektrischen Leistung sichergestellt?	
3.13	Ist die Abnahme der thermischen Leistung sichergestellt?	
3.14	Gesicherter Aufstellungsort der Messeinrichtungen (Datenlogger, Notebook) vorhanden (Ex-Schutz)?	
3.15	Wer sorgt für die unterbrechungsfreie Energieversorgung (230V) für die Datenerfassungseinrichtungen?	
3.16	Wer stellt das Blockheizkraftwerk ein (Leistung, $\cos\phi$)?	
3.17	Information anderer Auftragnehmer über die Messaktivitäten und erforderliche Einschränkungen des Baustellenbetriebes?	

Checkliste Zur Vorbereitung und Durchführung von Abnahmemessungen an Blockheizkraftwerken		Ausgabe März 2011 erstellt: W. Frey Seite 3 von 3
Prüfer:		Prüfdatum:
Nr.	Bezeichnung	Bemerkung

4	Durchführung der Messung	
4.1	Sicherheitsunterweisung aller Arbeitnehmer auf der Baustelle (Explosionsgefahr!, etc.)	
4.2	Ist eine gefahrlose Probenahme des Faulgases möglich?	
4.3	Ausreichend Faulgas für die Dauer des Probelaufs?	
4.4	Ist die Gasvolumenmessstrecke aufgebaut und funktionieren alle Sensoren und funktioniert die Registrierung?	
4.5	Funktionieren die Sensoren für den Ansaugluftvolumenstrom und die Registrierung?	
4.6	Funktioniert die Messeinrichtung für die elektrische Leistung und die Registrierung?	
4.7	Funktioniert die Messeinrichtung für die thermische Leistung und die Registrierung?	
4.8	Sind alle Registriereinrichtungen und das Prozessleitsystem auf die gleiche Uhrzeit eingestellt?	