



Das Lebensministerium



Gerüche aus Abgasen bei Biogas-BHKW

Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Heft 35/2008

Freistaat  Sachsen

Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Messprogramm
„Geruchsemissionen aus Abgasen von mit Biogas betriebenen Blockheizkraftwerken
(BHKW)“

Torsten Moczigemba

Unter Mitwirkung von:

Dr. Johannes Jacob, Peter Gamer, Wolfgang Poppitz (LfULG)
Horst-Günter Kath, Roland Kretschmann, Frank Rothe (BfUL)

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Zielstellung des Messprogramms	2
3	Vorbereitung der Messungen/Anlagenauswahl	3
3.1	Auswahlkriterien	3
3.2	Auswahl der Anlagen/Betreiberabstimmung.....	4
4	Beschreibung der untersuchten Anlagen.....	5
5	Messdurchführung/Kalibrierung der Messgeräte	10
5.1	Ablauf der Messungen.....	10
5.2	Probleme bei der Durchführung/Abweichungen vom geplanten Ablauf	13
6	Zusammenstellung und Auswertung der Messergebnisse.....	14
6.1	Zusammenstellung	14
6.2	Auswertung der Messdaten hinsichtlich Geruchs- und Formaldehydemissionen.....	17
6.2.1	Grundsätzliches zur Auswertung.....	17
6.2.2	Auswertung für Gas-Otto-Motoren hinsichtlich Geruchsemissionen.....	18
6.2.2.1	Einsatz von Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten	18
6.2.2.2	Einsatz von Biogas aus organischen Reststoffen von Kommunen und Haushalten als Substrate	23
6.2.3	Auswertung für Zündstrahlmotoren hinsichtlich Geruchsemissionen	25
6.2.3.1	Einsatz von Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten	25
6.2.3.2	Einsatz von Biogas aus organischen Reststoffen von Kommunen und Haushalten als Substrate	28
6.3	Auswertung der Gas-Otto-Motoren hinsichtlich Formaldehyd	30
6.4	Clusteranalyse /7/.....	34
6.5	Fehlerbertrachtung	37
7	Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen	38
8	Literaturverzeichnis.....	41
9	Anlagen.....	42

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Untersuchte Anlagen
Tabelle 2:	Auszug aus dem Messbericht 2 für das BHKW 3/1
Tabelle 3:	Auszug aus dem Messbericht 1 für das BHKW 3/1
Tabelle 4:	Zusammenstellung der Messergebnisse (Mittelwerte gerundet)
Tabelle 5:	Geruchsklassen
Tabelle 6:	Formaldehydklassen
Tabelle 7:	Ergebnis deskriptive Statistik
Tabelle 8:	Vorschlag für Geruchsemissionsfaktoren

Abbildungsverzeichnis:

- Abbildung 1: Entwicklung Biogasanlagen in Sachsen
- Abbildung 2: Auszug aus Gutachten der Fachhochschulen Wolfenbüttel und Höxter
- Abbildung 3: Messstelle am BHKW 1/1
- Abbildung 4: Aktivkohlefilter am BHKW 15/1
- Abbildung 5 + Abbildung 6: Messstellen am Motor des BHKW 3/1 und BHKW 15/1
- Abbildung 7: Messstelle am BHKW 9/3
- Abbildung 8: Dendrogramm Einzelkomponenten
- Abbildung 9: Dendrogramm Variabilität
- Abbildung 10: Dendrogramm Einzelkomponenten und Variabilität gesamt
- Abbildung 11 + Abbildung 12: Messwagen der Umweltbetriebsgesellschaft

Diagrammverzeichnis

- Diagramm 1: Gerundete Mittelwerte der gemessenen Geruchsemissionen aus allen BHKW
- Diagramm 2: Mittelwerte NO_x-Emissionen bei Gas-Otto-Motoren mit Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten
- Diagramm 3: Klassenverteilung beim Einsatz von Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten
- Diagramm 4: NO_x-Emissionen beim Einsatz von Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten
- Diagramm 5: CO und Gesamt-C-, Formaldehydemissionen sowie Lambda (λ) beim Einsatz von Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten
- Diagramm 6: SO₂-Emissionen und P_{el} beim Einsatz von Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten
- Diagramm 7: Staubemissionen beim Einsatz von Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten
- Diagramm 8: Gerüche, NO_x, CO- Emissionen beim Einsatz von Biogas aus organischen Reststoffen von Kommunen und Haushalten
- Diagramm 9: Gesamt-C, SO₂ und Formaldehyd-Emissionen beim Einsatz von Biogas aus organischen Reststoffen von Kommunen und Haushalten
- Diagramm 10: Klassenverteilung Zündstrahlmotor beim Einsatz von Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten
- Diagramm 11: NO_x-Emissionen beim Einsatz von Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten
- Diagramm 12: CO-, Gesamt-C-, Formaldehydemissionen und Lambda (λ) beim Einsatz von Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten
- Diagramm 13: SO₂-Emissionen und P_{el} beim Einsatz von Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten
- Diagramm 14: Zündstrahlmotor mit Biogas aus organischen Reststoffen von Kommunen und Haushalten als Substraten - Geruch, NO_x, CO
- Diagramm 15: Zündstrahlmotor mit Biogas aus organischen Reststoffen von Kommunen und Haushalten als Substraten - Gesamt-C, Formaldehyd, SO₂
- Diagramm 16: Formaldehydemissionen der einzelnen BHKW-Motoren (Mittelwerte)
- Diagramm 17: Klassenverteilung für Gas-Otto-Motoren mit Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten hinsichtlich Formaldehydemissionen
- Diagramm 18: Emissionen von NO_x, CO, Gesamt-C in Abhängigkeit von der Formaldehydklasse bei Gas-Otto-Motoren mit Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten
- Diagramm 19: Lambda (λ) in Abhängigkeit von der Formaldehydklasse bei Gas-Otto-Motoren mit Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten
- Diagramm 20: SO₂-Emissionen und elektrische Leistung (P_{el}.) in Abhängigkeit vom Formaldehyd

Abkürzungsverzeichnis

BHKW	Blockheizkraftwerk
BW	Baden-Württemberg
BY	Freistaat Bayern
NI	Niedersachsen
SN	Freistaat Sachsen
TH	Freistaat Thüringen
Bj	Baujahr
Herst.	Hersteller
BfUL	Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft
BImSchG	Bundes-Immissionsschutz-Gesetz
k.A.	keine Angaben

1 Einleitung

Biogasanlagen gewinnen insbesondere in der Landwirtschaft für die Versorgung mit elektrischer und thermischer Energie immer mehr an Bedeutung. Wie in Abbildung 1 zu sehen ist, hat sich die durch diese Anlagen bereitgestellte elektrische Leistung in den letzten fünf Jahren um mehr als den Faktor 8 auf 48,5 MW und die bereitgestellte thermische Leistung um mehr als den Faktor 4 auf 60,6 MW erhöht. Diese Entwicklung geht weiter, denn neben den bereits bestehenden 124 Anlagen sind weitere 47 Biogasanlagen in Planung oder bereits in Realisierung.

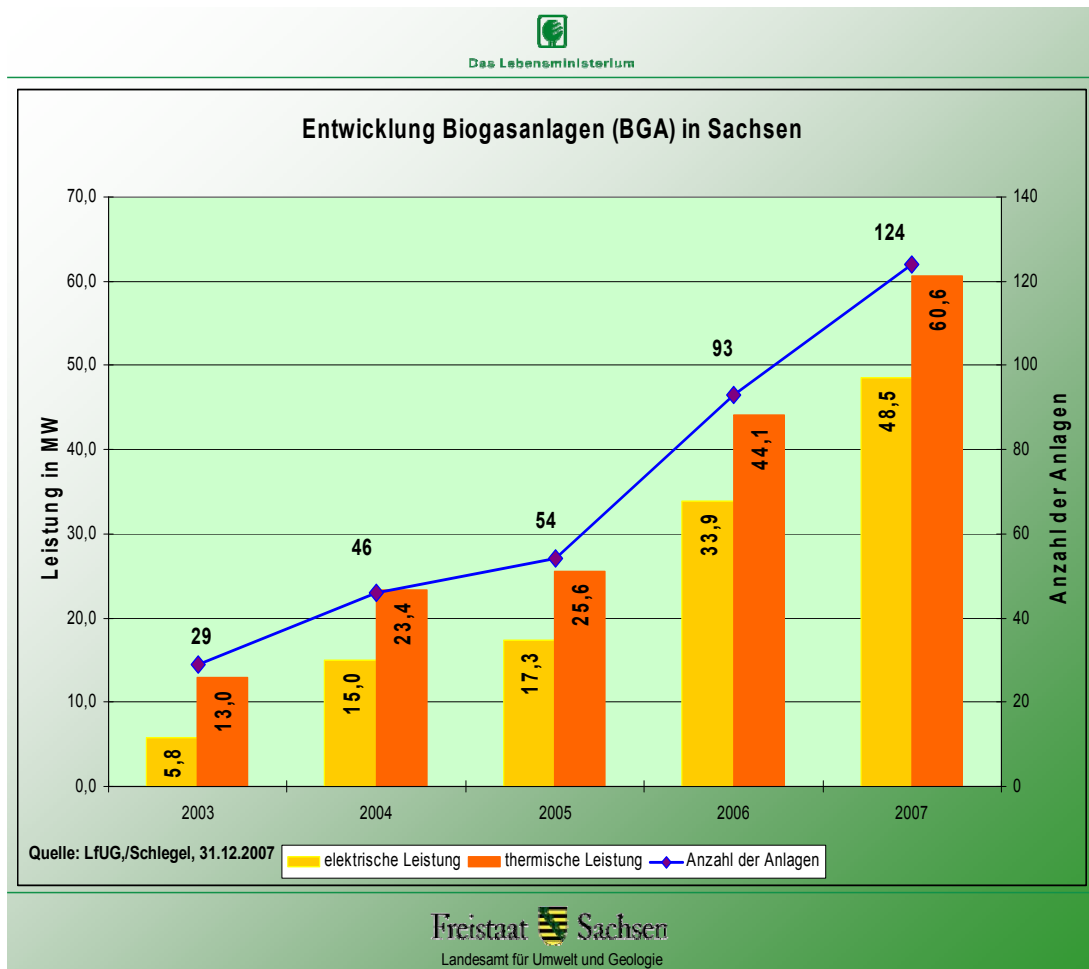


Abbildung 1: Entwicklung Biogasanlagen in Sachsen

Mit der zunehmenden Anzahl von Biogasanlagen wird es aber schwieriger, geeignete Standorte für neue Anlagen zu finden. Biogasanlagen einschließlich BHKW bedürfen in den meisten Fällen einer Genehmigung nach Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG), entweder als Anlage nach Ziffer 1.4. des Anhangs der 4. Bundes-Immissionsschutzverordnung (4. BImSchV) oder als Nebenanlage zu einer nach BImSchG genehmigungsbedürftigen Anlage. Auch wenn Biogasanlagen nach Baurecht genehmigt werden, müssen sie den § 22 BImSchG erfüllen. Von diesen

Anlagen gehen verschiedene Emissionen aus, die u. a. zu erheblichen Belästigungen für die Nachbarschaft führen können, sofern nicht im Rahmen des jeweiligen Genehmigungsverfahrens sichergestellt wird, dass diese durch entsprechende technische Maßnahmen oder ausreichende Abstände zur nächsten Nachbarschaft ausgeschlossen werden. Hierfür ist es wiederum entscheidend, dass die Quantität und Qualität der zu erwartenden Emissionen bekannt ist.

2 Zielstellung des Messprogramms

Seit längerem ist bekannt, dass die Abgase aus den mit Biogas betriebenen Motoren von BHKW-Anlagen ein nicht zu vernachlässigendes Geruchsemissionspotenzial besitzen. So kam es beispielsweise in Niedersachsen bereits den Jahren 2001/2002 zu verstärkten Geruchsbeschwerden in der Nachbarschaft zu diesen Anlagen. Durch das niedersächsische Umweltministerium wurden daraufhin die Fachhochschulen Wolfenbüttel und Höxter beauftragt, Biogasanlagen hinsichtlich ihres Geruchsemissionspotenzials zu untersuchen. Als eine wesentliche Quelle für die Geruchsemissionen wurden dabei die Abgase aus den untersuchten BHKW festgestellt. Die in Abbildung 2 dargestellten Werte zwischen $35 \dots 140 \cdot 10^3 \text{ GE/m}^3$ wurden dabei ermittelt /1/.

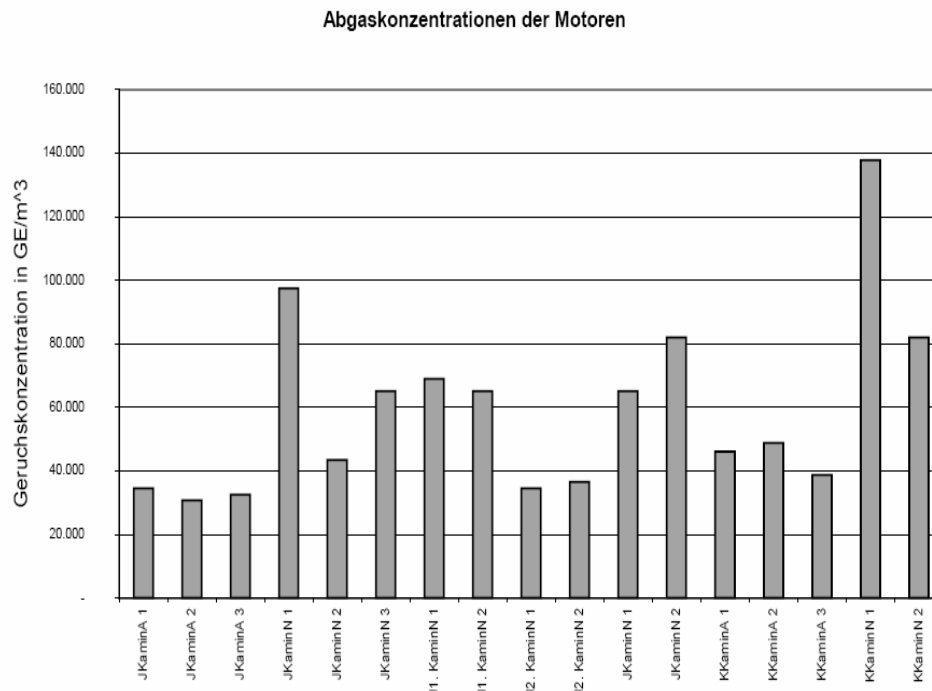


Abbildung 2: Auszug aus Gutachten der Fachhochschulen Wolfenbüttel und Höxter

Weitere Untersuchungen fanden durch den TÜV Nord (Liebich) und das Ingenieurbüro Mannebeck statt /2/. Dort wurden Geruchsemissionen zwischen $1\,000 - 10\,000 \text{ GE/m}^3$ ermittelt. Durch die IMA Richter und Röckle werden auf Basis eigener Untersuchungen an drei BHKW $2\,000 \text{ GE/m}^3$ bei Prognosen angesetzt /3/. Zwischenzeitlich führten auch Motorenhersteller wie die Fa. Schnell

Zündstrahlmotoren AG & Co. KG Geruchsemissionsmessungen durch, die nach eigenen Aussagen im Bereich von 2 000 GE/m³ lagen /4/.

Zu Beginn der Untersuchungen waren somit nur wenige und darüber hinaus sehr unterschiedliche Kenntnisse über Geruchsemissionen aus Abgasen von mit Biogas betriebenen BHKW vorhanden. Würde man die im niedersächsischen Gutachten ermittelten Werte in Geruchsimmissionsprognosen bei Genehmigungsverfahren zugrunde legen, wäre für eine Vielzahl von Standorten keine Genehmigungsfähigkeit mehr gegeben. Dieser Zustand hat dazu geführt, dass je nach Bundesland unterschiedliche Geruchsemissionsfaktoren für die Gerüche aus Abgasen von BHKW angesetzt werden (BW 2 000 GE/m³, SN und TH 3 000 GE/m³, ...).

Ziel des Messprogramms war es deshalb, belastbare Geruchsemissionsfaktoren für die Gerüche aus Abgasen von BHKW-Motoren zu ermitteln. Das galt insbesondere für Motoren, die Biogas einsetzen, das aus landwirtschaftlichen Substraten gewonnen wurde.

3 Vorbereitung der Messungen/Anlagenauswahl

3.1 Auswahlkriterien

Zur Vorbereitung der Messungen wurden Kriterien festgelegt, nach denen die jeweiligen BHKW differenziert werden konnten. Die nachfolgenden Auswahlkriterien wurden auf Grund des vorhandenen Anlagenbestandes festgelegt:

Art des Motors:

- **Gas-Ottomotoren:** sind speziell für den Gasbetrieb entwickelte Motoren, die nach dem Ottoprinzip arbeiten. Die Motoren werden zur Minimierung der Stickoxidemissionen als Magermotoren mit hohem Luftüberschuss betrieben. Bei Magerbetrieb wird weniger Brennstoff im Motor umgesetzt, was zu einer Leistungsminderung der Motoren führt. Diese wird durch die Aufladung der Motoren mittels Abgasturboladern ausgeglichen.
- **Zündstrahlmotoren:** arbeiten nach dem Dieselprinzip. Verwendet werden häufig Motoren aus dem Schlepper- und Lastkraftwagenbau. Weil nicht alle Motoren speziell für den Gasbetrieb entwickelt wurden, werden sie z. T. durch Modifizierungen an den Gasbetrieb angepasst.

Art der Substrate:

- **Substrate aus der Landwirtschaft:** Wirtschaftsdünger (Gülle, Festmist, ...) und nachwachsende Rohstoffe (Mais, Getreide, Silage)
- **Organische Reststoffe aus Kommunen und Haushalten:** Biotonne, Fettabscheider, ...
- **Grün- und Rasenschnitt**

Art der Entschwefelung:

- **Biologische Entschwefelung:** wird häufig im Fermenter durchgeführt. Sauerstoff und das Bakterium *Sulfobacter oxydans* müssen vorhanden sein. Das Bakterium wandelt Schwefelwasserstoff in der Gegenwart von Sauerstoff in elementaren Schwefel um. Dazu benötigt es Nährstoffe, die in ausreichendem Umfang im Fermenter vorhanden sind. Die Bakterien sind omnipräsent, weshalb sie nicht zusätzlich zugeführt werden müssen. Der benötigte Sauerstoff wird über Einblasung von Luft, beispielsweise mittels eines Kleinstkompressors, in den Fermenter eingetragen.
- **Chemische Entschwefelung im Fermenter:** Hier wird dem Gärsubstrat eine chemische Substanz zugeführt, die Schwefel chemisch bindet und damit die Freisetzung von Schwefelwasserstoff unterbindet. Die Substanz geht nicht verloren, sondern findet sich im vergorenen Substrat wieder.
- **Chemische Entschwefelung außerhalb des Fermenters:** Gaswäsche außerhalb des Fermenters mit einer Lauge (meist Natriumhydroxid)
- **Entschwefelung mit Aktivkohle:** Bei diesem Verfahren wird das Biogas über einen Aktivkohlefilter geleitet.

3.2 Auswahl der Anlagen/Betreiberabstimmung

Durch die Umweltfachbereiche der Regierungspräsidien wurden dem LfULG auf Grund der oben genannten Kriterien 25 Betreiber benannt. Die dort vorhandenen Anlagen entsprachen zum Zeitpunkt der Erhebung im Jahre 2005 etwa 50 % des Anlagebestandes in Sachsen. Beim größten Teil der dort vorhandenen BHKW handelte es sich um Anlagen mit Gas-Otto-Motoren, welche mit Biogas betrieben werden, das durch Nassvergärung aus landwirtschaftlichen Substraten gewonnen wird. Die Entschwefelung findet in den meistens biologisch sowie häufig noch zusätzlich chemisch im Fermenter statt.“

Bei zwei der benannten Anlagen werden organische Reststoffe aus Kommunen und Haushalten als Substrate eingesetzt. In zwei Anlagen wird das Biogas außerhalb des Fermenters biologisch bzw. mit Aktivkohle entschwefelt.

Zur Vorbereitung der Messungen wurden 19 Betreiber schriftlich über das Vorhaben informiert und um ihre Teilnahme am Messprogramm gebeten. Nach erfolgter Zusage durch die Betreiber wurden im Rahmen eines Vor-Ort-Termins die vorhandenen Messbedingungen überprüft (s. Abbildung 3). Dies hatte bei einigen Anlagen auf Grund nicht geeigneter Messöffnungen oder schwieriger sonstiger Messbedingungen zur Folge, dass sie nicht in das Messprogramm einbezogen werden konnten. Am BHKW 3/1 wurde eine Mehrfachmessung durchgeführt, da am Motor unmittelbar nach der ersten Messung eine Reparatur erfolgte.



Abbildung 3: Messstelle am BHKW 1/1

4 Beschreibung der untersuchten Anlagen

Insgesamt wurden von 17 Anlagen die Motoren von 25 BHKW untersucht. Tabelle 1 beschreibt kurz die einzelnen BHKW, die in den Biogasanlagen eingesetzten Substrate und die Art der Entschwefelung (s. a. Abbildung 4). Bei allen untersuchten Anlagen wird das Biogas über Nassfermentation gewonnen. Die angegebenen elektrischen und thermischen Leistungen sind jeweils Herstellerdaten. Die im Betrieb bei Volllast festgestellten elektrischen Leistungen weichen teilweise davon ab. Weil sich an einigen Standorten mehrere Motoren befinden, setzt sich die Bezeichnung der untersuchten Anlagen aus dem Standort (1. Ziffer) und der laufenden Nummer des BHKW am jeweiligen Standort zusammen. Liegen keine Angaben zum Baujahr oder der thermischen Leistung vor, erscheint „keine Angaben“ (k. A.). Die Daten hinsichtlich der Substrate und der Entschwefelung basieren auf Aussagen der Betreiber.



Abbildung 4: Aktivkohlefilter am BHKW 15/1

Tabelle 1: Untersuchte Anlagen

Gas-Otto-Motor				
Nr.	Art des Motors/Generator	P _{el./therm} in kW	Substrate	Entschwefelung/ Bemerkungen
(1/1)	<u>Motor:</u> Deutz V6-Zylinder TCG 2015, Herst: Deutz, Bj: 2005, <u>Generator:</u> SEV-E172BG, Bj: 2005	171 / 222	Rindergülle: 7,1 m³/d Getreide: 0,2 m³/d Maissilage: 1,2 m³/d	biologisch- chemisch im Fermenter
(2/1)	<u>Motor:</u> BSN360CAIG 3412 12-Zylinder Herst: Caterpillar, Bj: 06/2003 <u>Generator:</u> HC I. 534 E2, Bj: 06/2003	370 / 386	Schweinegülle: 60 t/d Getreideschrot: 3,5 t/d Maissilage: 0,4 t/d Grünschnitt: 0,4 t/d	biologisch- chemisch im Fer- menter
(3/1)	<u>Motor:</u> J 312 GS Herst: Jenbacher, Bj: 2005 <u>Generator:</u> Newage, Bj: 2005	526 / 558	Rindergülle: 90 m³/d Maissilage: 4 t/d Weizenschrot: 2 t/d	biologisch- chemisch im Fer- menter

Nr.	Art des Motors/Generator	P _{el./therm} in kW	Substrate	Entschwefelung/ Bemerkungen
(4/1)	<u>Motor:</u> AB 3042 L V12 Herst: MDE-Dezentrale, Bj: 2005 <u>Generator:</u> LS- LeroySomer, Bj: 2005	324 / 250	Rindergülle: 20-30 m³/d Silo-Mais: 5,1 t/d Getreide: 2,4 t/d	biologisch- chemisch im Fer- menter
(5/1)	<u>Motor:</u> J212GSC2 V12 Herst: Jenbacher, Bj: 2003 <u>Generator:</u> HCL634H-C6, Bj: 2003	511 / 578	Rindergülle: 80 m³/d Silo-Mais: 6 t/d Roggenschrot: 2 t/d Grassilage: 9 t/d	chemisch im Fermenter
(6/1)	<u>Motor:</u> TB 158 GV TW 86 Herst: Tedom Motory s. r. o., Bj: 2006 <u>Generator:</u> 462005 C G/4, Bj: 2006	150 / 199	Schweinegülle 25 m³/d Maissilage: 2 m³/d Getreideschrot: 1 t/d	biologisch im Fermenter
(6/2)	<u>Motor:</u> TB 158 GV TW 86 Herst: Tedom Motory s. r. o., Bj: 2006 <u>Generator:</u> 462005 C G/4, Bj: 2006	150 / 199	Schweinegülle 25 m³/d Maissilage: 2 m³/d Getreideschrot: 1 t/d	biologisch im Fermenter
(7/1)	<u>Motor:</u> TCG 2016 V12 Herst: Deutz Power- Systems, Bj: 2005 <u>Generator:</u> M8B 400 LA4, Bj: 2005	537 / 650	Rindergülle: 140 m³/d Mais: 5 t/d Getreideschrot: 1 t/d Grassilage: 1 t/d	biologisch im Fermenter
(8/1)	<u>Motor:</u> 3412 TA Herst: Caterpillar, Bj: 2003 Leistung: 360 kW <u>Generator:</u> HCL 534C, Bj: 2003	360 / 386	Rindergülle: 80-120 m³/d Gemisch aus Mais-, Grassilage, Getreideschrot und Restfutter: 10 t/d	biologisch außer- halb vom Fermen- ter im Gaswä- scher
(9/3)	<u>Motor:</u> MAN E2842 LfV 12 Herst: MAN, Bj: 2001 <u>Generator:</u> C471L9C6/4, Bj: 2001	330 / 415	Bullengülle: 15 t/d Maissilage : 5-7 t/d Geflügeltrockenkot: 5-7 t/d Grünschnitt: 1-1,5 t/d Gerste, Ganzpflanzensilage: 4 t/d	biologisch im Fermenter

Nr.	Art des Motors/Generator	P _{el./therm} in kW	Substrate	Entschwefelung/ Bemerkungen
(9/4)	<u>Motor:</u> MDE B3042LS V12 Herst: MDE, Bj: 2007 <u>Generator:</u> C47.2M7C6/4, Bj: 2007	370 / 238	Bullengülle: 15 t/d Maissilage : 5-7 t/d Geflügeltrockenkot: 5-7 t/d Grünschnitt: 1-1,5 t/d Gerste/Ganzpflanzensilage: 4 t/d	biologisch im Fermenter
(10/1)	<u>Motor:</u> E2842 V 12 Herst: MAN, Bj: 2004 <u>Generator:</u> HC 4340 Bj: 2004	270 / 253	Rindergülle: 18 t/d Maissilage : 2,0 t/d Grünmais: 2,0 t/d Grünschnittsilage: 0,3 t/d Getreideschrot: 0,3 t/d	chemisch im Fermenter
(11/1)	<u>Motor:</u> B 3042L Hersteller: MDE, Bj: 2006 <u>Generator:</u> LSA C67.2M7 C6/4, Bj:2006	400 / 472	Rindergülle: 30 m³/d Maissilage: 13 t/d	chemisch im Fermenter
(11/2)	<u>Motor:</u> B 3042L Hersteller: MDE, Bj: 2006 <u>Generator:</u> LSA C67.2M7 C6/4, Bj:2006	400 / 472	Rindergülle: 30 m³/d Maissilage: 13 t/d	chemisch im Fermenter
(12/1)	<u>Motor:</u> E2876 LE701 V6 Herst: MAN, Bj: k. A. <u>Generator:</u> HC.444 C, Bj: k. A.	220 / 252	Speiseabfälle, Fettabschei- derinhalte, Industrieabfälle, Abwässer, Glycerin aus Biodiesel Gemisch, gesamt : 10 t/d	biologisch im Fermenter / keine landwirtschaftliche Anlage
(13/2)	<u>Motor:</u> MAN 2842 LE 302 Herst: MAN, Bj: 2002 <u>Generator:</u> UC.274H, A06B523926 Bj: 2000	290 / 488	Fettabscheider, Rindermist und Hühnerkot, alte Back- waren: 22,5 m³/d	keine Entschwefe- lung/keine land- wirtschaftliche Anlage

Zündstrahlmotor				
Nr.	Art des Motors/Generator	P_{el./therm} in kW	Substrate	Entschwefelung/ Bemerkungen
(13/1)	<u>Motor:</u> TWD 1211 G, 6 Zylinder Herst: Volvo, Bj: 2000 <u>Generator:</u> UC.274H, A06B523926 Bj: 2000	160 / 254	Fettabscheider, Rindermist und Hühnerkot, alte Backwaren: 22,5 m³/d	keine Entschwefelung/keine landwirtschaftliche Anlage
(14/1)	<u>Motor:</u> BF 6M 1013 EC Herst: Deutz, Bj: 2004 <u>Generator:</u> UCI 274 F, Bj: 2004	80 / k.A	Schweinegülle 20 m³/d Getreideschrot 2 t/d	biologisch-chemisch im Fermenter
(15/1)	<u>Motor:</u> TLPS0802I R6 Herst: Perkins, Bj: 2005 <u>Generator:</u> UIC274023, Bj: 2005	80 / k.A	Rindergülle: 5 m³/d Maissilage: 3 t/d Stalldung: 0,5 t/d Grassilage: 0,5 t/d	biologisch im Fermenter und Aktivkohlefilter
(15/2)	<u>Motor:</u> TLPS0802I R6 Herst: Perkins, Bj: 2005 <u>Generator:</u> UIC274023, Bj: 2005	80 / k.A	Rindergülle: 5 m³/d Maissilage: 3 t/d Stalldung: 0,5 t/d Grassilage: 0,5 t/d	biologisch im Fermenter und Aktivkohlefilter
(15/3)	<u>Motor:</u> TLPS0802I R6 Herst: Perkins, Bj: 2005 <u>Generator:</u> UIC274023, Bj: 2005	80 / k.A	Rindergülle: 5 m³/d Maissilage: 3 t/d Stalldung: 0,5 t/d Grassilage: 0,5 t/d	biologisch im Fermenter und Aktivkohlefilter
(16/1)	<u>Motor:</u> SEV-DE-180GZ/TCG2015 V6, Herst: Deutz, Bj: 2003 <u>Generator:</u> HCL 434 D1, Bj: 2003	170 / 164	Rindergülle: 15 m³/d Mais: 1 t/d Getreideschrot: 1 t/d Grassilage: 4 t/d	biologisch-chemisch im Fermenter
(16/2)	<u>Motor:</u> SEV-DE-180GZ/TCG2015 V6, Herst: Deutz, Bj: 2003 <u>Generator:</u> HCL 434 D1, Bj: 2003	170 / 164	Rindergülle: 15 m³/d Mais: 1 t/d Getreideschrot: 1 t/d Grassilage: 4 t/d	biologisch-chemisch im Fermenter

Nr.	Art des Motors/Generator	P _{el./therm} in kW	Substrate	Entschwefelung/ Bemerkungen
(17/1)	<u>Motor:</u> Perkins Herst: Perkins, Bj: k. A. <u>Generator:</u> UC 274E2, Bj: k. A.	100 / k.A.	Rindergülle: 17,5 m³/d Maissilage: 3,5 t/d	chemisch im Fermenter
(17/2)	<u>Motor:</u> Perkins Herst: Perkins, Bj: k. A. <u>Generator:</u> UC 274E2, Bj: k. A.	100 / k.A.	Rindergülle: 17,5 m³/d Maissilage: 3,5 t/d	chemisch im Fermenter

5 Messdurchführung/Kalibrierung der Messgeräte

5.1 Ablauf der Messungen

Die Messungen wurden im Zeitraum 12/2006 bis 12/2007 durchgeführt. Vorgesehen war, pro Motor sechs Geruchsproben (je drei Proben bei Vollastbetrieb und Teillastbetrieb) über 30 min zu nehmen. Dies wurde bei einem Großteil der Anlagen auch realisiert. Bei einigen Anlagen war dies aber nicht möglich, da diese nicht im Teillastbereich gefahren wurden oder auf Grund des für die Geruchsmessung zur Verfügung stehenden Zeitfensters nur eine geringere Anzahl von Probenahmen vorgenommen werden konnte. Insgesamt wurden 108 Geruchsproben genommen. Zusätzlich wurden die Emissionen von NO_x, SO₂, H₂S, CO, Formaldehyd und Gesamt-C über den Messzeitraum erfasst. Die Erfassung dieser Emissionen diente insbesondere der Kontrolle des ordnungsgemäßen Betriebes der Anlagen.

Gesamtstaub konnte nur an den Anlagen gemessen werden, bei denen die Messbedingungen vor Ort dies zuließen. Die Messung von PM₁₀/PM_{2,5} war nur am Motor des BHKW 1/1 möglich. Wie unterschiedlich die Messbedingungen sein konnten, ist an den Abbildungen 5 und 6 gut zu erkennen.

In Anlage 1 werden am Beispiel des BHKW 2/1 die gemessenen Größen, die Messverfahren sowie die Kalibrierung der Messgeräte dargestellt.

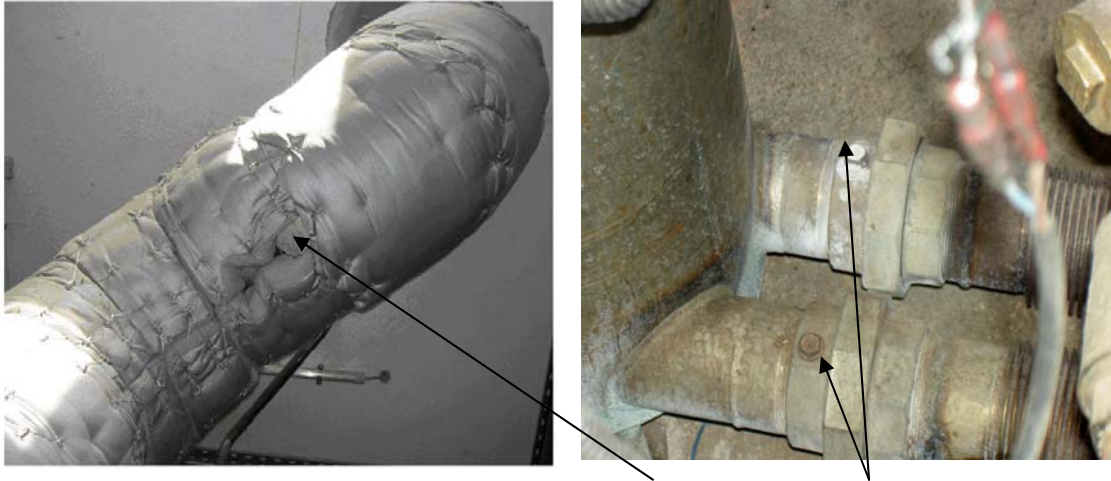


Abbildung 5 + Abbildung 6: Messstellen am Motor des BHKW 3/1 und BHKW 15/1

Bei jeder Messung wurden außerdem weitere Daten wie Gasverbräuche, Einsatzstoffe, die technischen Daten der Motoren und Generatoren u. a. erfasst. Die Messungen und Probenahmen vor Ort wurden durch die Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL), Geschäftsbereich Messnetzbetrieb Luft, durchgeführt.

Die Analyse der Proben für Geruch, H_2S und Formaldehyd wurde durch die nach § 26 BImSchG zugelassenen Messstellen IfU GmbH (Geruch), ERGO-Umweltinstitut GmbH (Formaldehyd - HCHO) und TÜV Sachsen (H_2S) durchgeführt.

Für jeden vermessenen Standort wurde durch die BfUL in der Regel ein Messbericht erarbeitet und dem LfULG übergeben. Ausnahmen bildeten nur der Standort 3, an dem der BHKW-Motor 2 x (vor und nach der Wartung) vermessen wurde und der Standort 13, da dort an einem Standort sowohl ein Gas-Ottomotor als auch ein Zündstrahlmotor vorhanden sind. (s. Tabelle 2 und 3).

Im Rahmen des Messprogramms wurden insgesamt 19 Messberichte erstellt, davon 14 für Gas-Ottomotoren und fünf für Zündstrahlmotoren.

Tabelle 2: Auszug aus dem Messbericht 2 für das BHKW 3/1

Halbstundenmittelwerte							
Von	bis	O ₂ Vol. %	CO ₂	NO _x mg/m ³	CO mg/m ³	SO ₂ mg/m ³	Ges-C
				mg/m ³ i.N.tr bez. 5 %	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 %	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 %	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂
		Vol. %	Vol. %	O ₂	O ₂	O ₂	
526 kW Volllast							
9:00	9:30	7,62	12,39	665	802	146	1066
9:30	10:00	7,63	12,36	673	805	159	1030
10:00	10:30	7,66	12,34	681	809	160	1022
10:30	11:00	7,67	12,33	686	808	149	1035
263 kW Teillast							
11:10	11:40	7,22	12,84	580	748	146	1470
11:40	12:10	7,19	12,84	579	762	154	1452
12:10	12:40	7,18	12,84	582	767	143	1444
12:40	13:10	7,18	12,84	593	769	130	1450
13:10	13:40	7,19	12,81	584	769	126	1486
13:40	14:10	7,19	12,81	584	769	126	1486
526 kW Volllast							
14:30	15:00	7,65	12,28	704	827	108	1045
15:00	15:30	7,68	12,26	709	823	105	1047

Tabelle 3: Auszug aus dem Messbericht 1 für das BHKW 3/1

Komponente: Geruch							
Datum: 10.01.2007			O ₂ - Gehalt Abgas	O ₂ - Gehalt Probe	Faktor	Konzentration	Geruchsstoffstrom ⁺
Lagerzeit	Probenahmezeit		Vol%	Vol%		GE/m ³	MGE/h
Minuten	von	bis					
271	09:09	09:39	7,63	3,4	2,24	1681	3,91
245	09:42	10:12	7,64	2,3	3,32	1568	3,65
220	10:14	10:44	7,67	2,6	2,95	1171	2,73
198	11:07	11:37	7,23	2,6	2,78	876	1,19
175	11:40	12:10	7,19	2,5	2,88	763	1,04
150	12:12	12:32	7,18	2,5	2,87	761	1,03
Bemerkung	Nachweisgrenze: 10 GE/m ³						
	Zeitpunkt der olfaktorischen Auswertung siehe IFU-Protokoll						

5.2 Probleme bei der Durchführung/Abweichungen vom geplanten Ablauf

Während des Messprogramms mussten auf Grund der örtlichen Gegebenheiten Änderungen am geplanten Ablauf vorgenommen werden. So ließ beispielsweise die Qualität (siehe Abbildung 7), die Anzahl und Anordnung der Messstellen nicht in jedem Fall eine zeitgleiche Messung aller Komponenten oder eine Staubmessung zu.

Bei einigen Anlagen führte Gasmangel dazu, dass diese Anlagen von den Betreibern entweder im Volllastbetrieb gefahren oder abgeschaltet wurden, so dass eine Messung im Teillastbetrieb dort nicht möglich war. Teilweise kam es auch zu unregelmäßigem Volllastbetrieb.

Es zeigte sich auch, dass bei ordnungsgemäßigem Betrieb der Anlagen keine messbare H_2S -Emission auftrat. Sofern die Betriebsbedingungen keine signifikanten Umregelmäßigkeiten aufwiesen, wurde ab Mitte 2007 daher auf die Probenahme von H_2S verzichtet.

An einer Anlage wurde Formaldehyd zusätzlich nach dem AHMT-Verfahren und nach dem DNPH-Verfahren bestimmt, um einen Vergleich zwischen beiden Messverfahren vornehmen zu können.



Abbildung 7: Messstelle am BHKW 9/3

6 Zusammenstellung und Auswertung der Messergebnisse

6.1 Zusammenstellung

Die nachfolgende Abbildung zeigt die gerundeten Emissionsmittelwerte bei Voll- und Teillast, für Geruch, NO_x, CO, SO₂, H₂S, Formaldehyd, Gesamt-C sowie die elektrische Leistung. Alle gemessenen Einzelwerte (Emissionen, Massenströme, Volumenströme, Abgastemperaturen, ...) sind in den Anlagen 3 und 4 getrennt für Gas-Otto- und Zündstrahlmotoren aufgeführt. Die Aufstellung enthält die Messwerte für alle Motoren. Die gemessenen Emissionswerte für Gerüche bei den Motoren der BHKW 1/1 (Defekt an der Messeinrichtung) 11/1, (kurz vor der Wartung, starker Verschleiß) und 14/1 (Unregelmäßigkeiten beim Betrieb der Anlage) sind mit erheblichen Unsicherheiten behaftet und wurden daher bei den Auswertungen unter Punkt 6.2 nicht berücksichtigt.

Tabelle 4: Zusammenstellung der Messergebnisse (Mittelwerte gerundet)

BHKW Nr.	Elektr. Leistung bei der Messung	Geruch				Staub		CO		NO _x		SO ₂		H ₂ S		Formaldehyd		Gesamt-C	
		Emissionswerte nach TA Luft																	
		-		20		1000 Gas-O. 2000 Zündst.		500 Gas-O. 1000 Zündst.		310		3		60		-			
	(kW)		(GE/m³)		(mg/m³)		(mg/m³)		(mg/m³)		(mg/m³)		(mg/m³)		(mg/m³)		(mg/m³)		
	VL	TL	VL	TL	VL	TL	VL	TL	VL	TL	VL	TL	VL	TL	VL	TL	VL	TL	
1/1	172	104	3000	10200 ¹⁾	12 ²⁾	13 ³⁾	331	322	424	498	268	281	<0,3	<0,3	62	60	716	518	
2/1	358	³⁾	5500	³⁾	³⁾	³⁾	564	³⁾	1019	³⁾	301	³⁾	<0,3	³⁾	52	³⁾	945		
3/1 ²⁾	485	266	1300	1500	0,17	0,33	844	822	802	822	106	95	<0,3	<0,3	73	74	1481	1737	
1.Mes.	526	268	1500	800	0,33	0,23	812	764	686	584	138	138	<0,3	<0,3	85	88	1041	1465	
3/1 ²⁾																			
2.Mes.																			
4/1	346	171	5800	2200	³⁾	³⁾	438	461	884	350	8	12	<0,3	<0,3	36	56	264	457	
5/1	510	400	1700	1600	³⁾	³⁾	909	864	343	327	114	112	<0,3 ⁴⁾	<0,3 ⁴⁾	121	124	774	800	
6/1	151	80	3000	3800	0,2	0,23	568	500	514	187	384	508	<0,3 ⁴⁾	<0,3 ⁴⁾	61	59	664	744	
6/2	158	80	2700	2200	0,3	1,8	585	609	512	141	336	407	<0,3 ⁴⁾	<0,3 ⁴⁾	59	84	642	865	
7/1	537	435	4500	4800	³⁾	³⁾	847	883	496	494	130	144	<0,3 ⁴⁾	<0,3 ⁴⁾	112	118	925	926	
8/1	360	260	3000	2800	1,5	³⁾	704	668	591	355	454	471	<0,3 ⁴⁾	<0,3 ⁴⁾	95	109	1173	1342	
9/3	320	³⁾	6400	³⁾	³⁾	³⁾	584	³⁾	3123	³⁾	14	³⁾	<0,3 ⁴⁾	³⁾	50	³⁾	306	³⁾	
9/4	366	³⁾	7000	³⁾	³⁾	³⁾	573	³⁾	742	³⁾	13	³⁾	<0,3 ⁴⁾	³⁾	64	³⁾	374	³⁾	
10/1	150	75	4700	5000	³⁾	³⁾	458	532	399	236	8,5	4,5	<0,3 ⁴⁾	<0,3 ⁴⁾	54,2	50,95	356	400	
11/1	³⁾	300	³⁾	9500	³⁾	³⁾	³⁾	440	³⁾	960	³⁾	54	³⁾	<0,3	³⁾	51,5	³⁾	512	
11/2	350	³⁾	6300	³⁾	³⁾	³⁾	369	³⁾	610	³⁾	58	³⁾	<0,3	³⁾	40,8	³⁾	331	³⁾	
12/1	140	80	4500	1300	³⁾	³⁾	342	382	1083	674	135	135	<0,3 ⁴⁾	<0,3 ⁴⁾	34	48	109	176	
13/2	290	230	5400	1200	³⁾	³⁾	316	422	2099	869	7	10	<0,3	<0,3	25	31	98	151	
13/1	161	131	8200	9900	³⁾	³⁾	1497	1789	>2200	2152	18	20	<0,3	<0,3	44	128	1269	2127	
14/1	100	³⁾	7200	³⁾	14	13	1616	3997	1441	968	243	288	2,4	10,1	102	258	1280	2822	
15/1	80	³⁾	6400	³⁾	³⁾	³⁾	1324	³⁾	588	³⁾	21	³⁾	<0,3 ⁴⁾	³⁾	159	³⁾	2301	³⁾	
15/2	80	³⁾	4200	³⁾	³⁾	³⁾	1635	³⁾	471	³⁾	27	³⁾	<0,3 ⁴⁾	³⁾	184	³⁾	2872	³⁾	
15/3	80	³⁾	5400	³⁾	³⁾	³⁾	1533	³⁾	580	³⁾	33	³⁾	<0,3 ⁴⁾	³⁾	169	³⁾	1555	³⁾	
16/1	170	³⁾	4300	³⁾	³⁾	³⁾	1181	³⁾	599	³⁾	54	³⁾	<0,3 ⁴⁾	³⁾	149	³⁾	1543	³⁾	
16/2	170	³⁾	3600	³⁾	³⁾	³⁾	1089	³⁾	543	³⁾	52	³⁾	<0,3 ⁴⁾	³⁾	133	³⁾	1513	³⁾	
17/1	100	³⁾	2200	³⁾	³⁾	³⁾	1218	³⁾	364	³⁾	12	³⁾	<0,3 ⁴⁾	³⁾	162	³⁾	1167	³⁾	
17/2	97	³⁾	2200	³⁾	³⁾	³⁾	1615	³⁾	362,5	³⁾	15,5	³⁾	<0,3 ⁴⁾	³⁾	187	³⁾	1693	³⁾	

VL = Vollast/TL = Teillast

¹⁾ Messwert kritisch zu beurteilen, da Defekt an der Probenahmeinrichtung.

²⁾ Doppelmessung vor und nach der Wartung.

³⁾ Messung war auf Grund der örtlichen Gegebenheiten (Größe der Messöffnung, Gasmangel, ...) nicht möglich.

⁴⁾ abgeschätzt

⁵⁾ davon PM₁₀/PM_{2,5}: Vollast: 8,3/5,9 mg/m³ - Teillast: 8,7/4,7 mg/m³

Im Diagramm 1 sind die Mittelwerte für die Geruchsemissionsmessungen dargestellt. Es zeigt deutlich, dass die ermittelten Geruchsemissionswerte sehr stark schwanken. Betrachtet man nur die BHKW mit Gas-Otto-Motoren, die mit Biogas aus Substraten der Landwirtschaft betrieben werden (ohne BHKW 1/1 und BHKW 11/1), so liegen die Mittelwerte der Anlagen zwischen 800 und 7 500 GE/m³. Dies macht die Festlegung eines Emissionsfaktors schwierig.

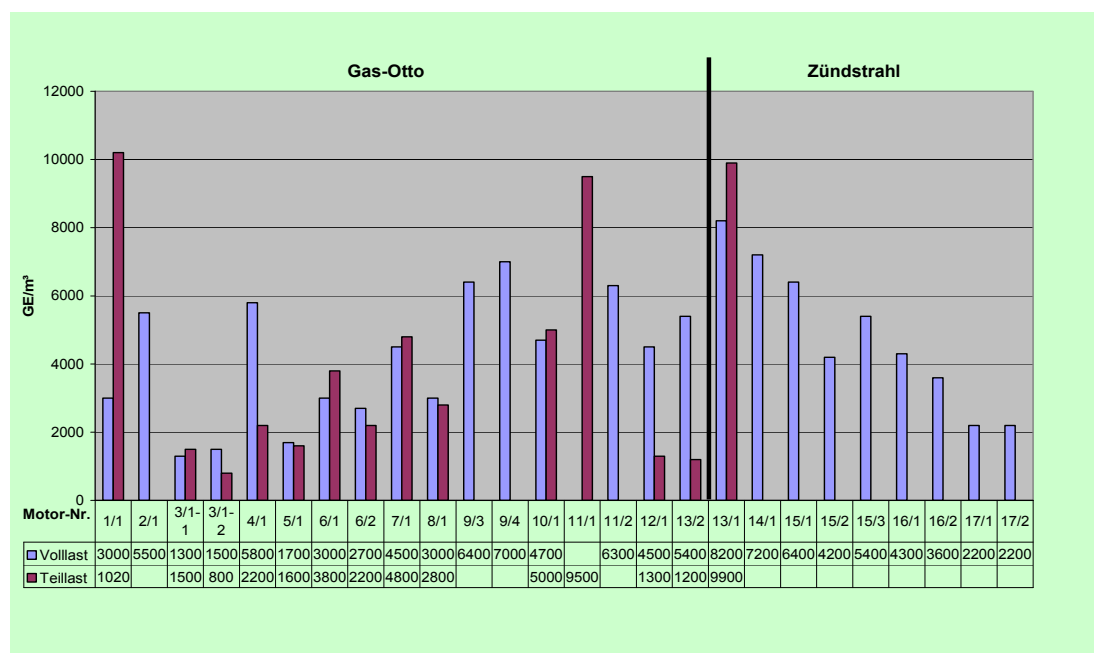


Diagramm 1: Gerundete Mittelwerte der gemessenen Geruchsemissionen aus allen BHKW

Auch die Emissionswerte anderer Komponenten weisen mehr oder weniger starke Schwankungen auf, wie aus Diagramm 2 für ermittelte NO_x-Emissionen bei Gas-Otto-Motoren mit Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten erkennbar ist. Besonders auffällig ist hierbei der Motor des BHKW 9/3, der die höchsten NO_x-Emissionen bei den betrachteten Motoren aufweist.

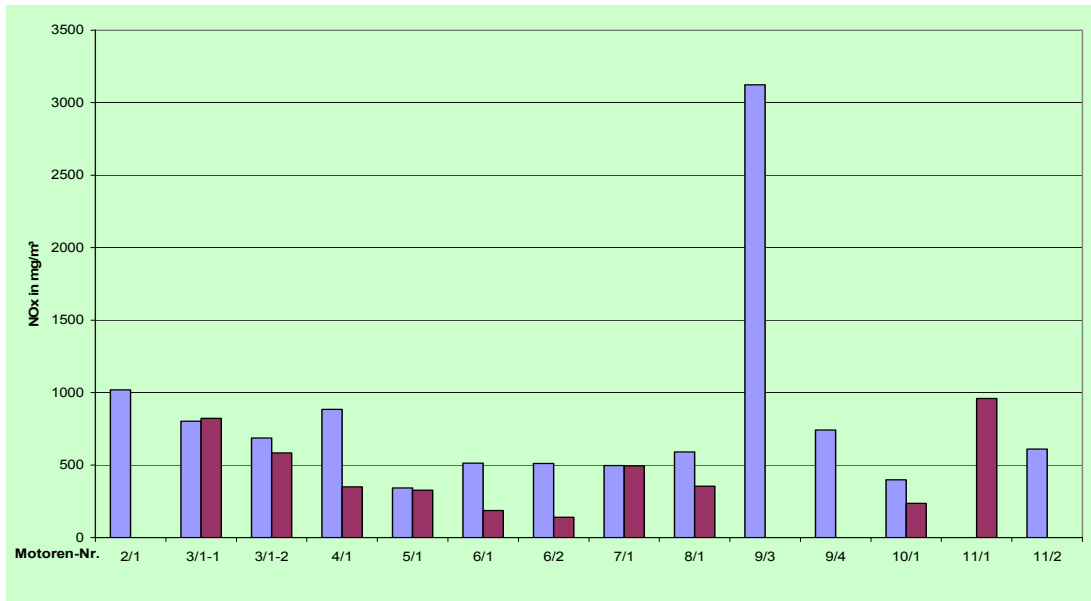


Diagramm 2: Mittelwerte NO_x-Emissionen bei Gas-Otto-Motoren mit Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten

6.2 Auswertung der Messdaten hinsichtlich Geruchs- und Formaldehydemissionen

6.2.1 Grundsätzliches zur Auswertung

Die Auswertung der Messdaten wurde getrennt nach Art der Motoren (Gas-Otto-Motor, Zündstrahlmotor) sowie innerhalb dieser Gruppen nach Art der eingesetzten Substrate vorgenommen. Die Art der Entschwefelung blieb unberücksichtigt, weil sich zeigte, dass sie keinen nennenswerten Einfluss auf die Quantität und Qualität der Geruchsemissionen hatte.

Die Emissionsdaten für NO_x, CO, SO₂, Formaldehyd, Gesamt-C sowie die elektrische Leistung wurden in der Regel nur bei annähernd gleicher Probenahmezeit als ein Datensatz dem Zeitpunkt der Geruchsprouahme zugeordnet. Die Daten, deren zeitlicher Bezug nicht gegeben war, wurden im Einzelfall einer entsprechenden Geruchsproube zugeordnet, wenn es keine bedeutende Änderung im Emissionsverlauf über den Messzeitraum gab. Es wurde dann ein Mittelwert über den Messzeitraum gebildet (siehe Anlage 5). In die Datentabelle wurde zusätzlich noch der für den Messzeitraum relevante Lambda-Wert aufgenommen. Dieser errechnete sich aus dem jeweiligen Sauerstoffgehalt.

Eine getrennte Auswertung nach Voll- und Teillastfahrweise wurde nicht vorgenommen, da zum einen nicht an allen Anlagen Voll- und Teillastmessungen möglich waren. Zum anderen entspricht bei vielen Anlagen der sogenannte Vollastbetrieb nicht immer der maximal möglichen Leistung (z. B. BHKW 11/2 und 12/1). Viele Betreiber fahren die Motoren nur mit 80 - 90 % der Maximalleistung, um die Lebensdauer der Motoren zu verlängern. Die von den Betreibern als Teillastbetrieb

definierte Fahrweise betrug auch nicht immer 50 % der Maximalleistung, sondern lag häufig wesentlich darüber.

Die Auswertung der Daten wurde über eine Geruchsklassenbildung wie in Tabelle 5 dargestellt vorgenommen. Dabei wurden Geruchsklassen mit einer Klassenbreite von 1 000 GE/m³ definiert. Grundlage für die Klassenbreite bildete die Messunsicherheit, die in der Regel im Bereich von ± 500 GE/m³ liegt. Als Klassenmitte wurden jeweils volle 1 000 GE/m³ festgelegt. So beinhaltet z. B. die Klasse 1 alle Geruchsproben im Bereich von 500 - <1 500 GE/m³. Klassen die nicht belegt waren wie bei den Zündstrahlmotoren die Klassen 1 und 7 wurden nicht mit dargestellt.

Tabelle 5: Geruchsklassen

Geruchsklasse	1	2	3	4	5	6	7	8
Klassenbreite (GE)	500 - <1500	1500 - <2500	2500 - <3500	3500 - <4500	4500 - <5500	5500 - <6500	6500 - <7500	7500 - <8500

Aus aktuellem Anlass wurden die Daten auch hinsichtlich der Formaldehydemissionen ausgewertet. Bei Formaldehyd wurde in analoger Weise zu den Geruchsklassen vorgegangen (wie in Tabelle 6 dargestellt), wobei die Klassenbreite mit 10 mg/m³ und die Klassenmitte mit jeweils vollen 10 mg/m³ gewählt wurde (Klasse 3 von 25 - <35 mg/m³).

Tabelle 6: Formaldehydklassen

Formaldehydklasse	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Klassenbreite (mg/m ³)	25 - <35	35 - <45	45 - <55	55 - <65	65 - <75	75 - <85	85 - <95	95 - <105	105 - <115	115 - <125	125 - <135

Eine Auswertung bezüglich H₂S, PM₁₀ und PM_{2,5} wurde auf Grund der ungenügenden Datenlage nicht vorgenommen.

6.2.2 Auswertung für Gas-Otto-Motoren hinsichtlich Geruchsemissionen

Aus BHKW-Anlagen mit Gas-Otto-Motoren standen insgesamt 70 Datensätze, 61 davon für Motoren mit Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten, zur Verfügung. Diese stellten somit den größten Datenpool dar und einige Auswertungen wurden nur für diese Gruppe vorgenommen.

6.2.2.1 Einsatz von Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten

Verteilung der Proben auf die einzelnen Geruchsklassen

Das Diagramm 3 zeigt die Verteilung der Geruchsproben für die einzelnen Geruchsklassen. Dabei ist festzustellen, dass mehr als 90 % der Proben in den Klassen 1 - 6 (1 000 -6 000 GE/m³) und mehr als 50 % in den Klassen 1 - 3 (1 000 – 3 000 GE/m³) liegen.

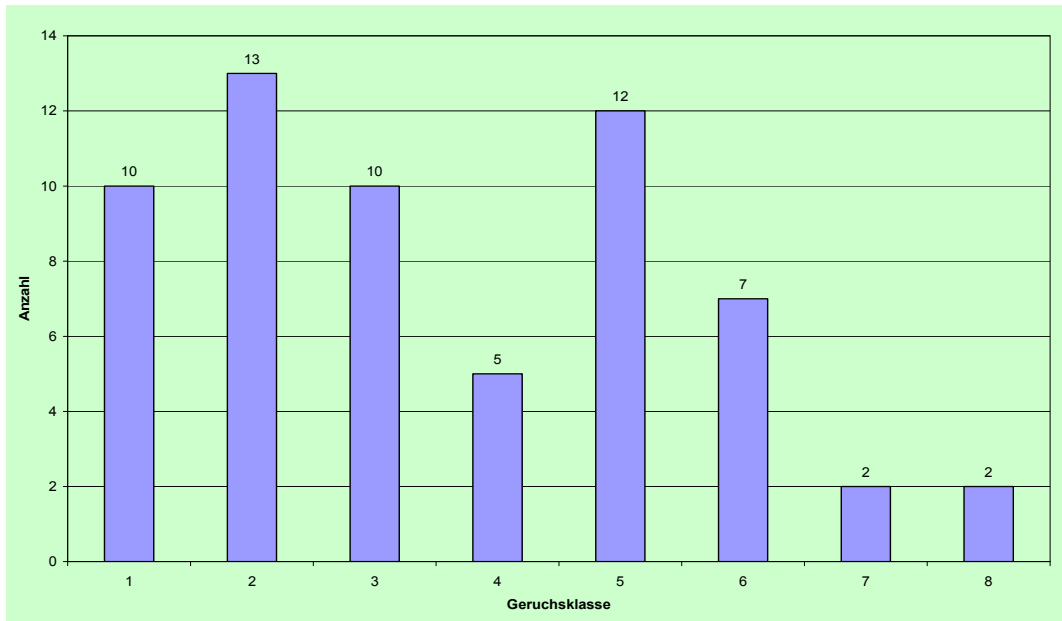


Diagramm 3: Klassenverteilung beim Einsatz von Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten

NO_x-Emissionen beim Einsatz von Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten

Diagramm 4 zeigt, dass ab der Geruchsklasse 5 die NO_x-Emissionen ansteigen. Das deckt sich mit den Aussagen der Probanden, die am Olfaktometer die Auswertung vorgenommen haben. Danach war hedonisch ein typischer Autoabgasgeruch die entscheidende Geruchskomponente. Bei ca. 60 % der Messungen wurde der TA-Luft-Emissionswert von 500 mg/m³ für NO_x überschritten. Dies deckt sich auch mit Untersuchungen des LfU in Bayern, das bei BHKW mit Gas-Ottomotoren ebenfalls Überschreitungen des TA-Luft-Emissionswertes feststellte /5/.

Im Diagramm 4 ist auch erkennbar, dass bei Einhaltung des NO_x-Emissionswertes nach TA-Luft Geruchsemissionen bis maximal Klasse 4 zu erwarten sind. Der Mittelwert für die Geruchsemissionswerte, bei denen der NO_x-Emissionswert nach TA-Luft eingehalten wird, beträgt 3 000 GE/m³.

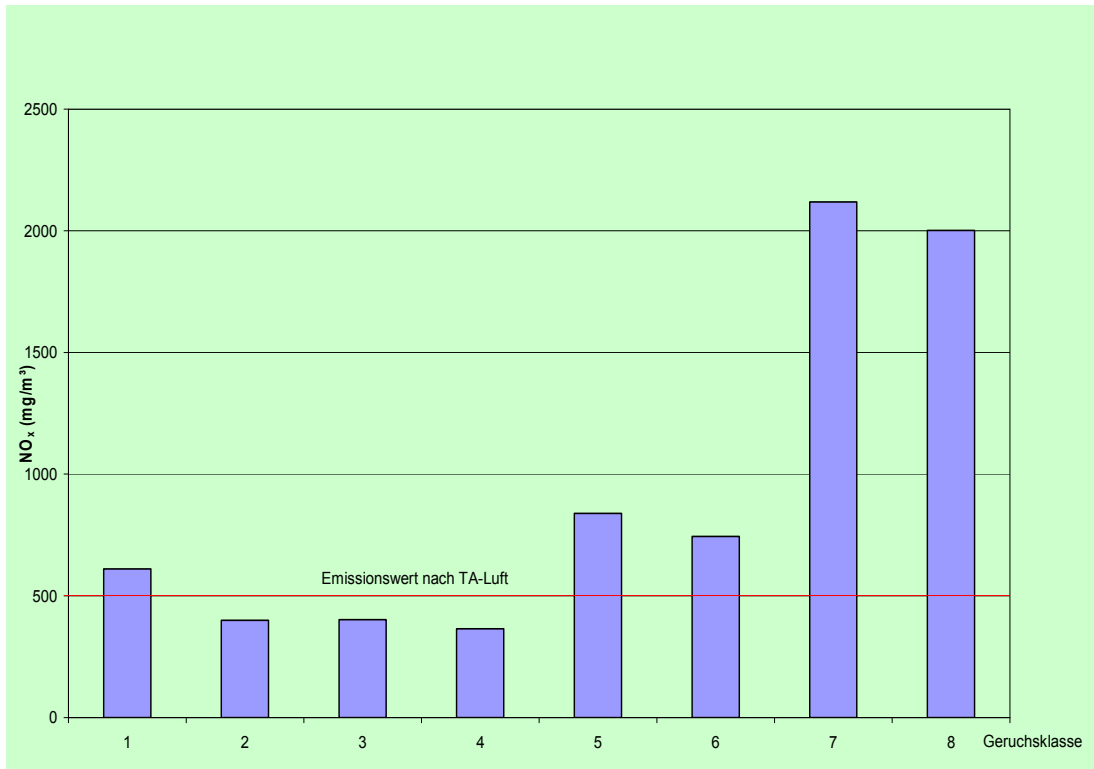


Diagramm 4: NO_x-Emissionen beim Einsatz von Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten

CO-, Gesamt-C-, Formaldehydemissionen und Lambda (λ) beim Einsatz von Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten

Im Diagramm 5 sind die Verläufe der CO-, der Gesamt-C- und der Formaldehydemissionen sowie des errechneten Lambda (λ) in Abhängigkeit von der Geruchsemission dargestellt.

Es zeigte sich deutlich der Trend, dass mit abnehmender Höhe der Emissionen bzw. des Wertes von λ und der Gesamt-C-Emissionen die Geruchsemissionen steigen. Dies verhält sich gegenläufig zu den NO_x-Emissionen, bei denen mit zunehmendem Emissionsniveau auch die Geruchsemissionen steigen. Es deutet darauf hin, dass - wie schon zuvor dargestellt - die Geruchsemissionen wesentlich durch den NO_x-Ausstoß beeinflusst werden. Je besser die Verbrennung bei entsprechend hohen Temperaturen abläuft, umso höher sind auch die zu erwartenden Geruchsemissionen.

Bei den CO-Emissionen wurden keine Überschreitungen des TA-Luft-Emissionswertes von 1 000 mg/m³ festgestellt, Bei den Formaldehydemissionen lagen dagegen ca. 2/3 der Messwerte über dem TA-Luft-Emissionswert von 60 mg/m³.

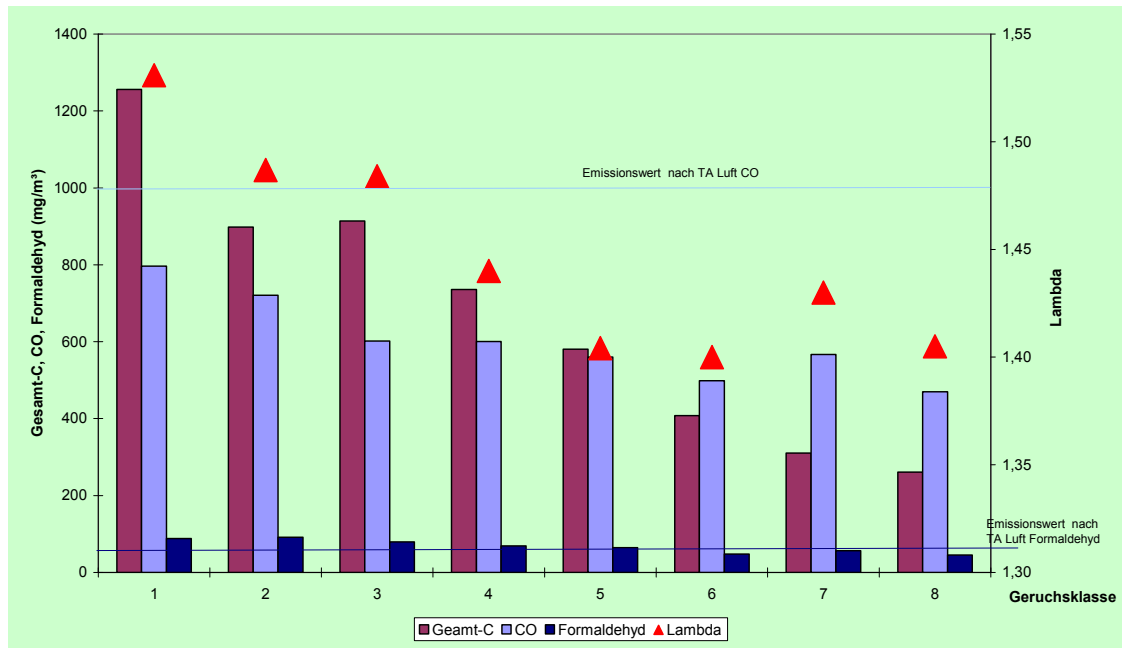


Diagramm 5: CO und Gesamt-C-, Formaldehydemissionen sowie Lambda (λ) beim Einsatz von Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten

SO₂-Emissionen, P_{el} und Baujahr beim Einsatz von Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten

Das nachfolgende Diagramm stellt den Verlauf der SO₂-Emissionen und der elektrischen Leistung in Abhängigkeit von den Geruchsklassen dar. Für diese Größen ergab sich, bezogen auf die Geruchsklassen, kein eindeutiger Trend. Zwar ist, wie die Werte des BHKW 4/1 zeigen, bei einer starken Absenkung der Motorleistung gegenüber der maximal möglichen mit einer erheblichen Verringerung der Geruchsemissionen zu rechnen, dies wird aber ursächlich an der schlechteren Verbrennung liegen, wie die ebenfalls sinkenden NO_x-Emissionen zeigen.

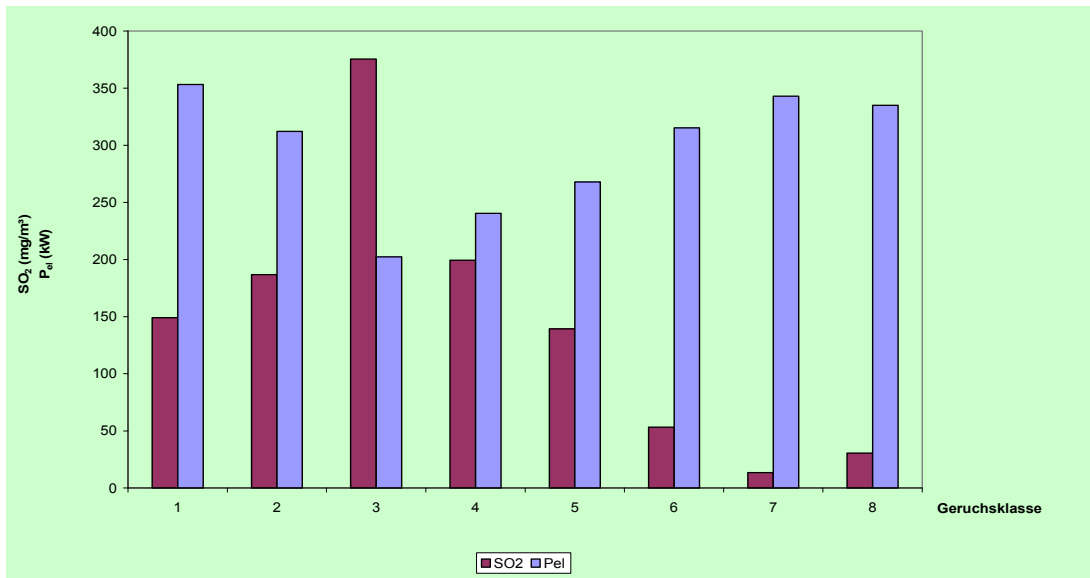


Diagramm 6: SO₂-Emissionen und P_{el} beim Einsatz von Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten

Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Baujahr des BHKW und Geruchsemissionen konnte nicht gefunden werden. Zwar steigen die Geruchsemissionen bei älteren Baujahren leicht an, aber auch bei neueren Anlagen kann es zu höheren Geruchsemissionen kommen, wie das BHKW 9/4 zeigt. Nach unserer Einschätzung dürfte vielmehr die Wartung der einzelnen BHKW einen größeren Einfluss haben. Da dieser Aspekt im Projekt nicht untersucht wurde, sollte bei späteren Untersuchungen mehr Augenmerk darauf gerichtet werden.

Staubemissionen aus Gas-Ottomotoren und Geruchsemissionen

Im Rahmen der Untersuchungen konnten nur an drei BHKW-Motoren Staubemissionsmessungen durchgeführt werden. Eine Auswertung nach Geruchsklassen war deshalb nicht möglich. Das Diagramm 7 zeigt daher nur die gemessenen Mittelwerte der Staubemissionen.

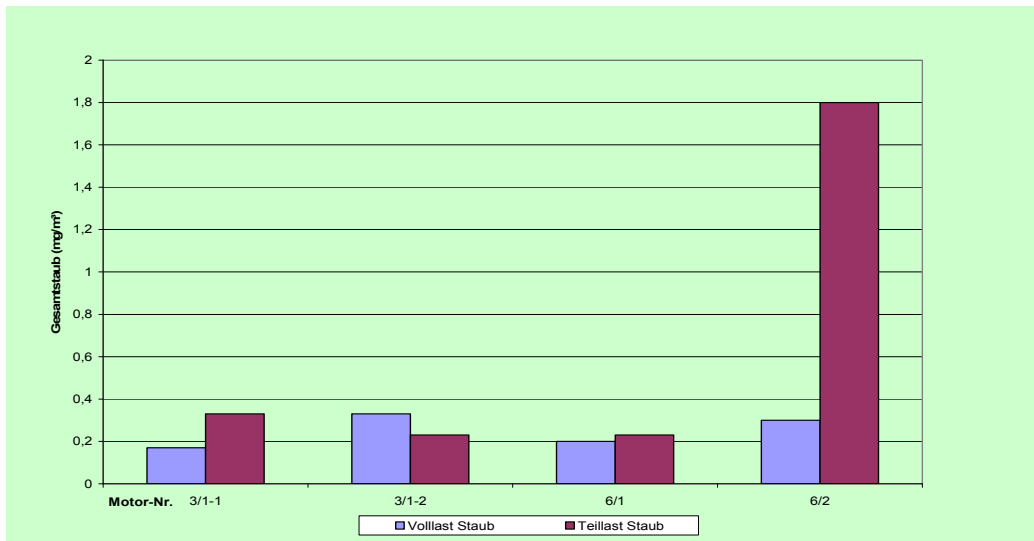


Diagramm 7: Staubemissionen beim Einsatz von Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten

Ursachen für die großen Unterschiede in den Geruchsemissionen

Die Geruchskonzentrationen beim Einsatz von Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten liegen zwischen im Bereich der Geruchsklassen 1- 8. Auch die Ergebnisse an einzelner Motoren schwanken trotz gleicher Motorleistung im Bereich um die 3 000 GE/m³. Aus diesem Grund wurde am Beispiel der Gas-Otto-Motoren zusätzlich geprüft, ob die Unterschiede vorrangig zwischen den Motoren und ihrer Betriebsweise oder innerhalb der Messergebnisse zu suchen sind. Dazu wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse mit den Geruchsemissionskonzentrationen aus Anlage 5 durchgeführt (siehe Anlage 6).

Im Ergebnis beträgt der P-Wert $\approx 6,4 \times 10^{-13}$. Das bedeutet, dass entscheidend für die Schwankungen in den Ergebnissen der Geruchsmessungen die Unterschiede zwischen den Motoren und ihrer Betriebsweise sind.

6.2.2.2 Einsatz von Biogas aus organischen Reststoffen von Kommunen und Haushalten als Substrate

Für diese Anlagengruppe wurden auf Grund der relativ geringen Datenlage keine weitergehenden Auswertungen vorgenommen. So lagen nur sechs Datensätze für den Motor 13/2 und drei Datensätze für den Motor 12/1 vor. Die Einzelwerte sind im Diagramm 8 und Diagramm 9 dargestellt. Auffallend war, dass die Formaldehydemissionen bei den zwei vermessenen Anlagen den Emissionswert nach TA Luft von 60 mg/m³ vergleichsweise deutlich unterschritten.

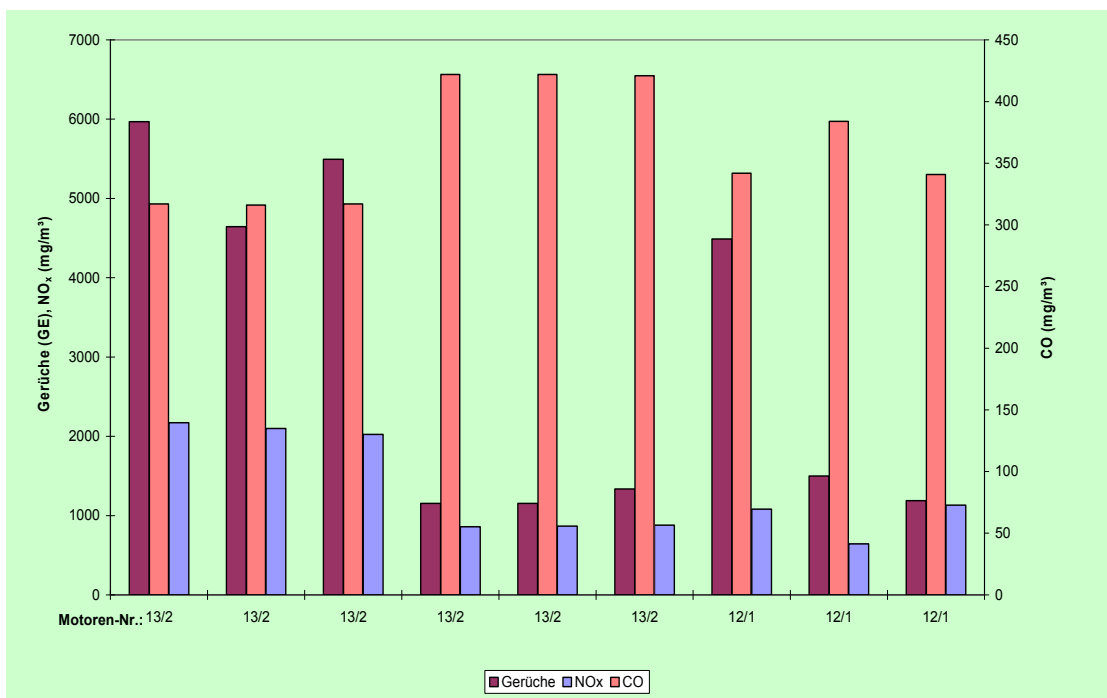


Diagramm 8: Gerüche, NO_x, CO- Emissionen beim Einsatz von Biogas aus organischen Reststoffen von Kommunen und Haushalten

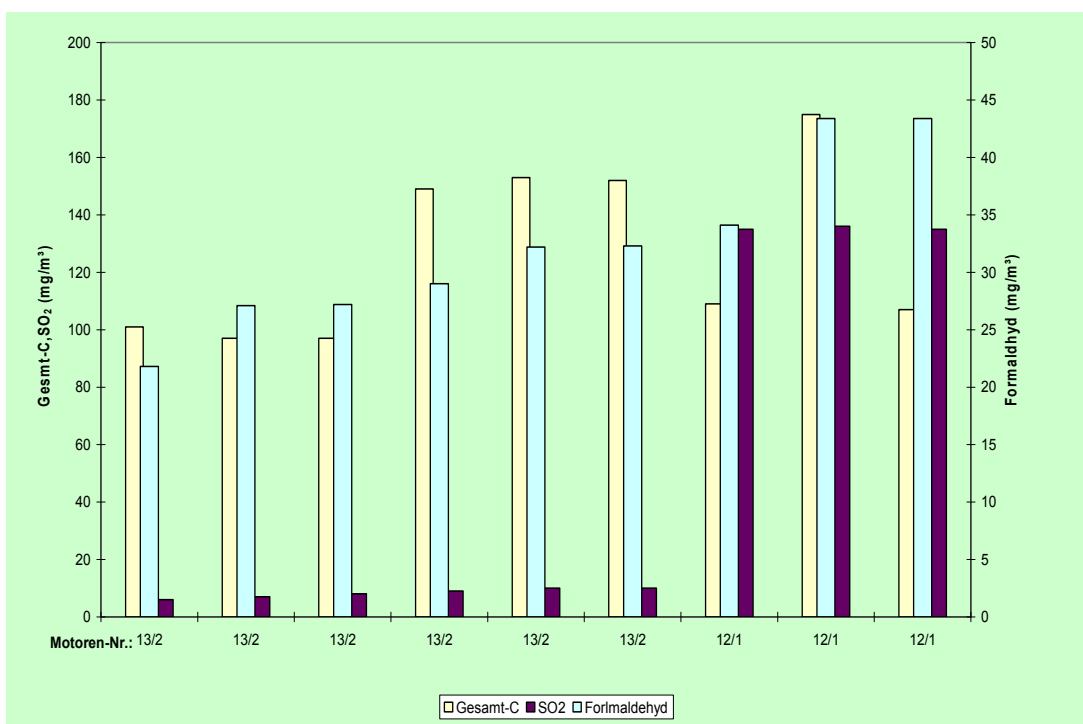


Diagramm 9: Gesamt-C, SO₂ und Formaldehyd-Emissionen beim Einsatz von Biogas aus organischen Reststoffen von Kommunen und Haushalten

6.2.3 Auswertung für Zündstrahlmotoren hinsichtlich Geruchsemissionen

Aus BHKW-Anlagen mit Zündstrahlmotoren standen insgesamt 24 Datensätze, 18 davon für Motoren mit Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten, zur Verfügung. Für diese Anlagengruppe wurde zwar eine Auswertung nach Geruchsklassen vorgenommen, der geringe Datenbestand und insbesondere die Messwerte der BHKW 15/1-15/3 (siehe Tabelle 4), die sich in den Geruchsklassen 5, 6 und 8 wiederfinden, lassen nur bedingt belastbare Aussagen zu. Aus diesen Gründen wurde auch keine Auswertung hinsichtlich des Baujahres vorgenommen und keine Varianzanalyse durchgeführt.

6.2.3.1 Einsatz von Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten

Verteilung der Proben auf die einzelnen Geruchsklassen

Das Diagramm 10 zeigt die Verteilung der Geruchsproben für die einzelnen Geruchsklassen. Die meisten Proben liegen mit ca. 90 % in den Klassen 2 - 5.

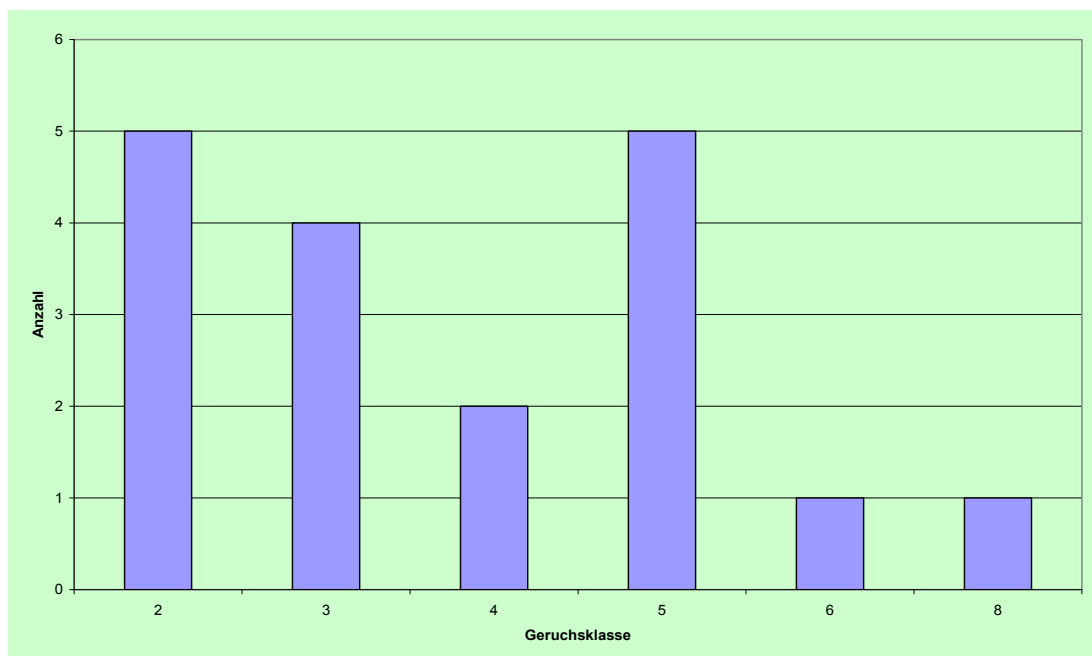


Diagramm 10: Klassenverteilung Zündstrahlmotor beim Einsatz von Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten

NO_x-Emissionen beim Einsatz von Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten

Auch bei dieser Motorengruppe steigen die NO_x-Emissionen mit den Geruchsemissionen tendenziell an, wie aus Diagramm 11 ersichtlich ist. Der TA-Luft-Emissionswert von 1 000 mg/m³ wurde deutlich unterschritten und die Werte lagen insgesamt unterhalb der Gas-Otto-Motoren. Dies deckt sich nur z. T. mit den Untersuchungen des LfU in Bayern, das auch an BHKW mit Zündstrahlmotoren Überschreitungen des TA-Luft-Emissionswertes für NO_x feststellte /5/.

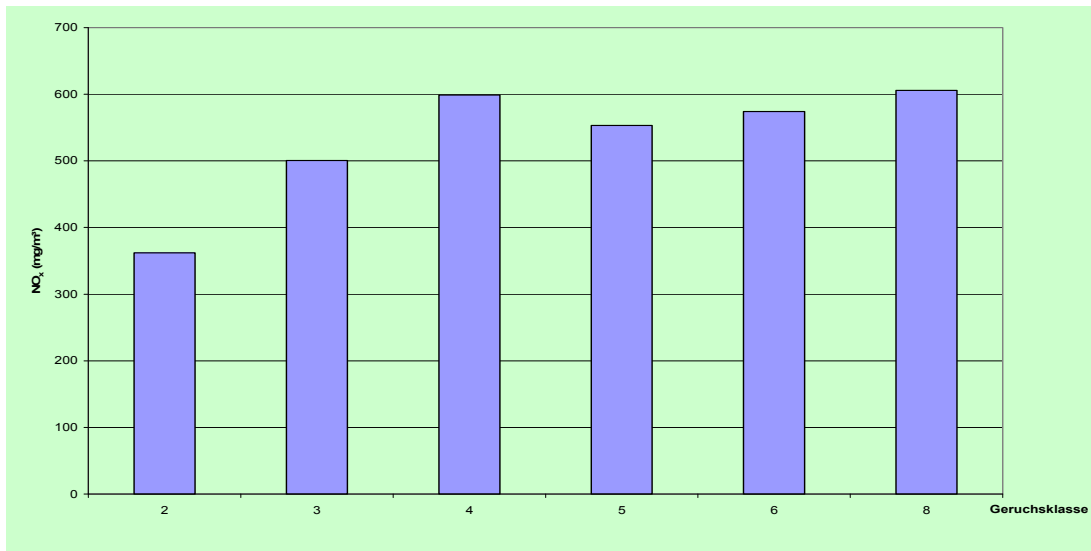


Diagramm 11: NO_x-Emissionen beim Einsatz von Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten

CO-, Gesamt-C-, Formaldehydemissionen und Lambda (λ) beim Einsatz von Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten

Wie im Diagramm 12 ersichtlich, ist bei den CO-, Gesamt-C-, Formaldehydemissionen bei Zündstrahlmotoren keine Abhängigkeit von den Geruchsemissionen erkennbar. Die Werte von Lambda (λ) beispielsweise unterliegen großen Schwankungen.

Bei den CO-Emissionen wurden keine Überschreitungen des TA-Luft-Emissionswerts von 2 000 mg/m³ festgestellt. Bei den Formaldehydemissionen lagen dagegen alle Messwerte über dem TA-Luft-Emissionswert von 60 mg/m³, teilweise um mehr als 200 %.

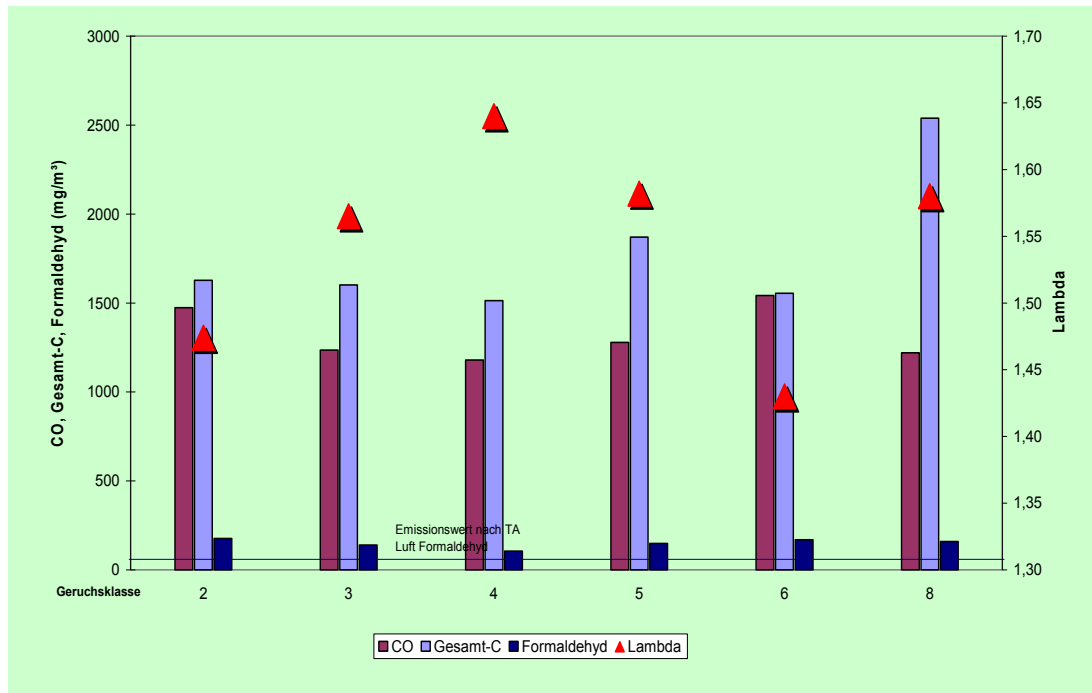


Diagramm 12: CO-, Gesamt-C-, Formaldehydemissionen und Lambda (λ) beim Einsatz von Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten

SO₂-Emissionen und P_{el} beim Einsatz von Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten

Bei den SO₂-Emissionen ergab sich, bezogen auf die Geruchsklassen, kein erkennbarer Einfluss (Diagramm 13). Niedrige SO₂-Emissionen traten sowohl bei höheren Geruchsemissionen (BHKW-Motor 15/1 - 15/3) als auch bei geringeren Geruchsemissionen (BHKW-Motor 17/1 und 17/2) auf. Bei den Anlagen mit den höchsten SO₂-Emissionen (BHKW 16/1 und 16/2) schwankten die Geruchsemissionen im Bereich von 2 000 – 5 200 GE/m³ (siehe Geruchsklasse 2 - 5, Schwerpunkt Klasse 4). Auch hinsichtlich der elektrischen Leistung und der daraus resultierenden Motorleistung war kein Einfluss auf die Geruchsemissionen festzustellen. So liegen die Geruchsemissionswerte der BHKW-Motoren 15/1 und 15/3 bei einer elektrischen Leistung von 80 kW in der Klasse 6 und 8, beim baugleichen BHKW-Motor 15/2 aber nur in der Klasse 3 und 4. Ob die Absenkung der Motorleistung gegenüber der maximal möglichen Motorleistung zu einer signifikanten Verringerung der Geruchsemissionen führt, konnte bei den Zündstrahlmotoren nicht festgestellt werden, da auf Grund der Messbedingungen keine Teillastmessungen durchgeführt wurden.

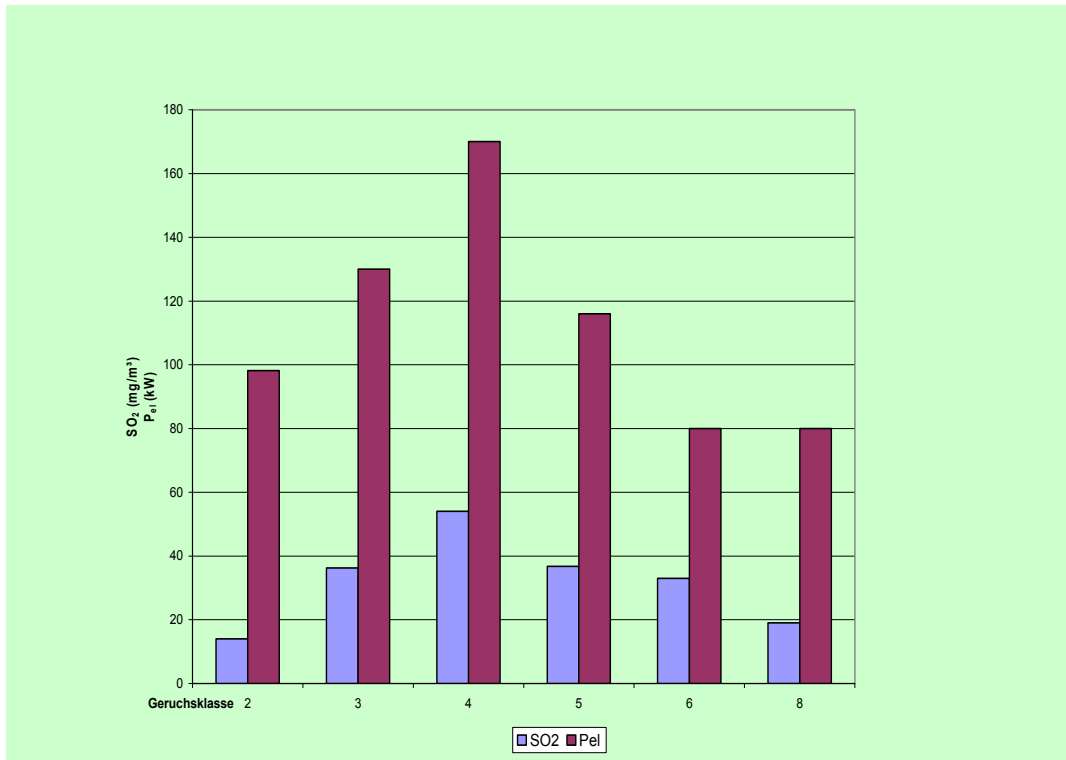


Diagramm 13: SO₂-Emissionen und P_{el} beim Einsatz von Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten

6.2.3.2 Einsatz von Biogas aus organischen Reststoffen von Kommunen und Haushalten als Substrate

Da in dieser Gruppe nur ein BHKW (13/1) vermessen wurde, war keine Auswertung möglich. Die Einzelwerte für Gerüche, NO_x, CO, Gesamt-C, SO₂ und Formaldehyd sind in Diagramm 14 und Diagramm 15 dargestellt. Auffallend war, dass die Absenkung der Motorleistung und der NO_x-Emissionen nicht zu einer Verringerung, sondern sogar zu einer Erhöhung der Geruchsemissionen führte.

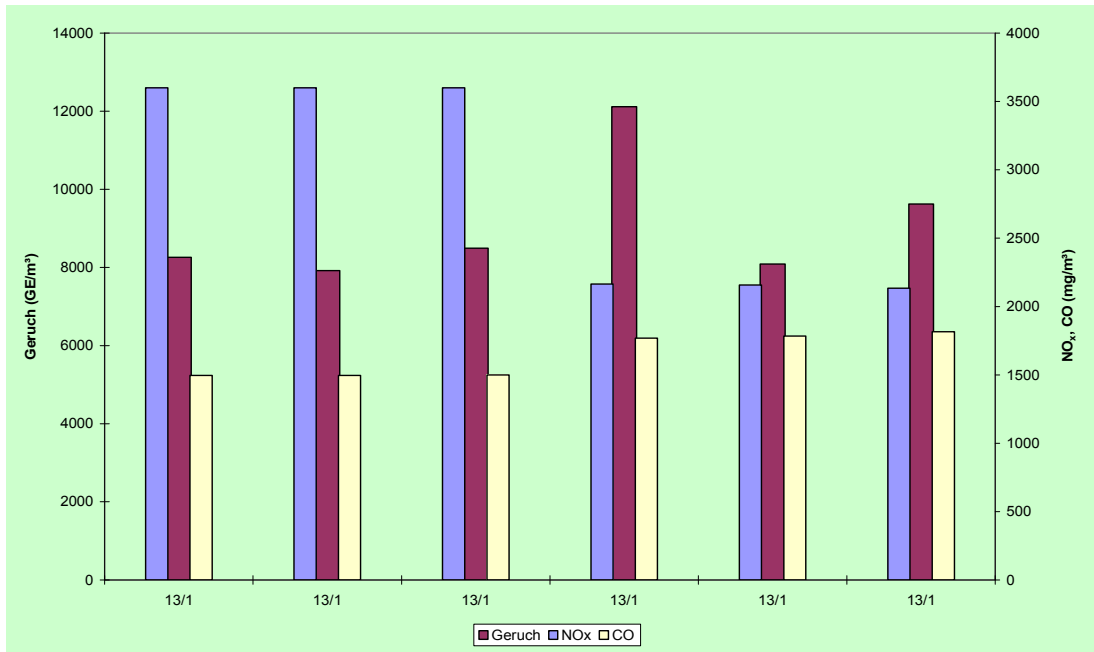


Diagramm 14: Zündstrahlmotor mit Biogas aus organischen Reststoffen von Kommunen und Haushalten als Substraten - Geruch, NO_x, CO

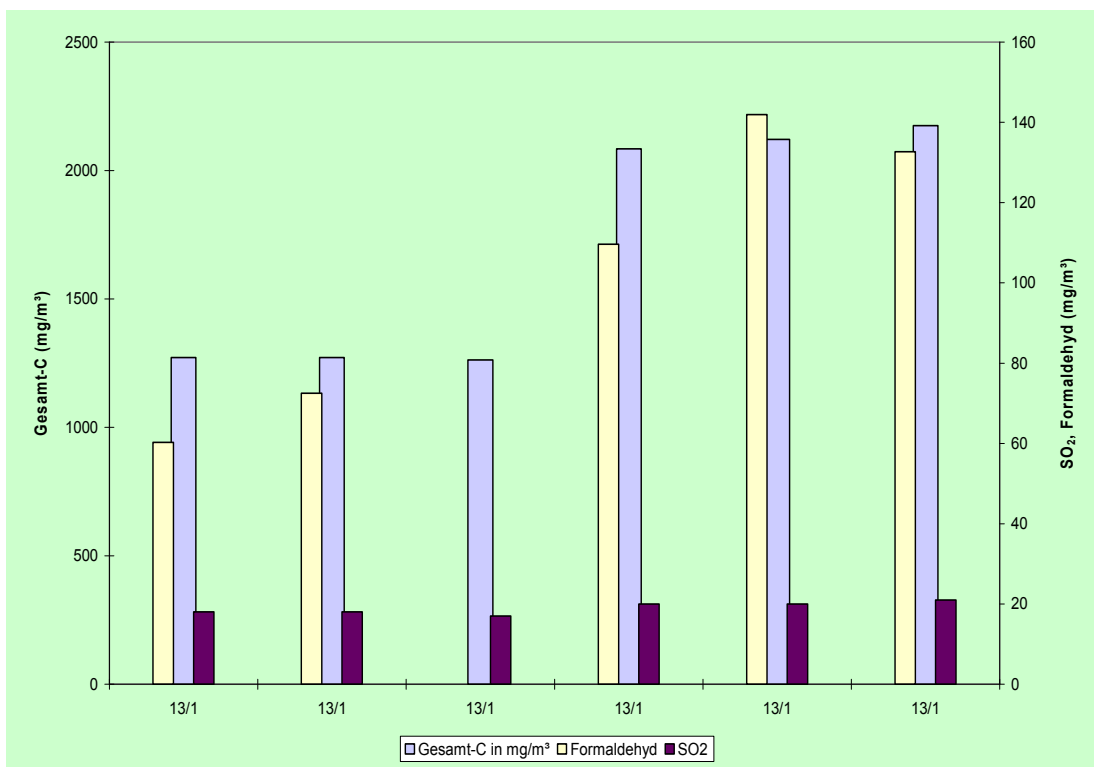


Diagramm 15: Zündstrahlmotor mit Biogas aus organischen Reststoffen von Kommunen und Haushalten als Substraten - Gesamt-C, Formaldehyd, SO₂

6.3 Auswertung der Gas-Otto-Motoren hinsichtlich Formaldehyd

Bei den Messungen wurden an mehreren BHKW Überschreitungen des zulässigen Emissionswertes für Formaldehyd gemäß TA Luft von 60 mg/m³ festgestellt (siehe Diagramm 16). Die für die Auswertung verwendeten Daten (siehe Anlage 5) für die Gas-Otto-Motoren wurden deshalb zusätzlich hinsichtlich Formaldehyd beurteilt. Eine Auswertung der Ergebnisse für BHKW mit Zündstrahlmotoren oder Motoren mit Biogas aus organischen Reststoffen von Kommunen und Haushalten wurde aufgrund der geringen Datenlage nicht vorgenommen.

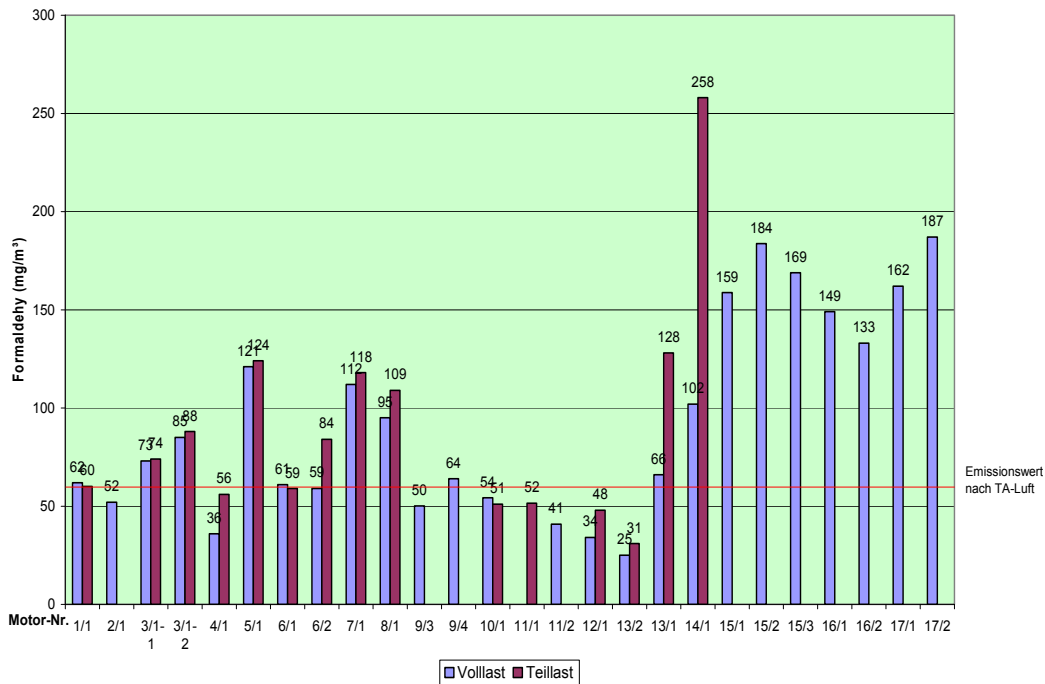


Diagramm 16: Formaldehydemissionen der einzelnen BHKW-Motoren (Mittelwerte)

Verteilung der Proben auf die einzelnen Geruchsklassen

Das Diagramm 17 zeigt die Verteilung der Geruchspuren für die einzelnen Formaldehydklassen. Dabei ist festzustellen, dass 50 % der Proben in den Klassen 7 - 13, das ist ein Konzentrationsbereich von 65 -<135 mg/m³, liegen.

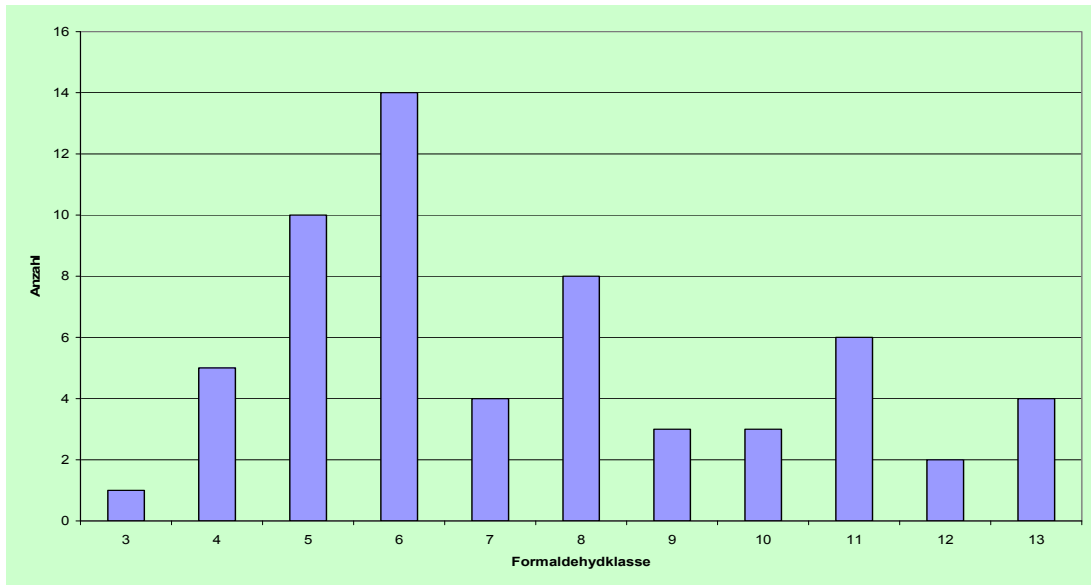


Diagramm 17: Klassenverteilung für Gas-Otto-Motoren mit Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten hinsichtlich Formaldehydemissionen

NO_x-, CO-, und Gesamt-C-Emissionen sowie Lambda (λ), bezogen auf Formaldehydklassen

Diagramm 18 zeigt die Ergebnisse aus unserem Messprogramm für NO_x, CO und Gesamt-C. Sieht man von den Abweichungen in den Klassen 4 - 6 ab, wurden die Erkenntnisse eines Forschungsprogramms der TU München bestätigt /6/, dass sich offenbar mit niedrigeren NO_x-Werten die Formaldehydemissionen erhöhen. Das heißt, es gibt einen eindeutigen Zusammenhang zwischen den Verbrennungsbedingungen und der Formaldehydbildung.

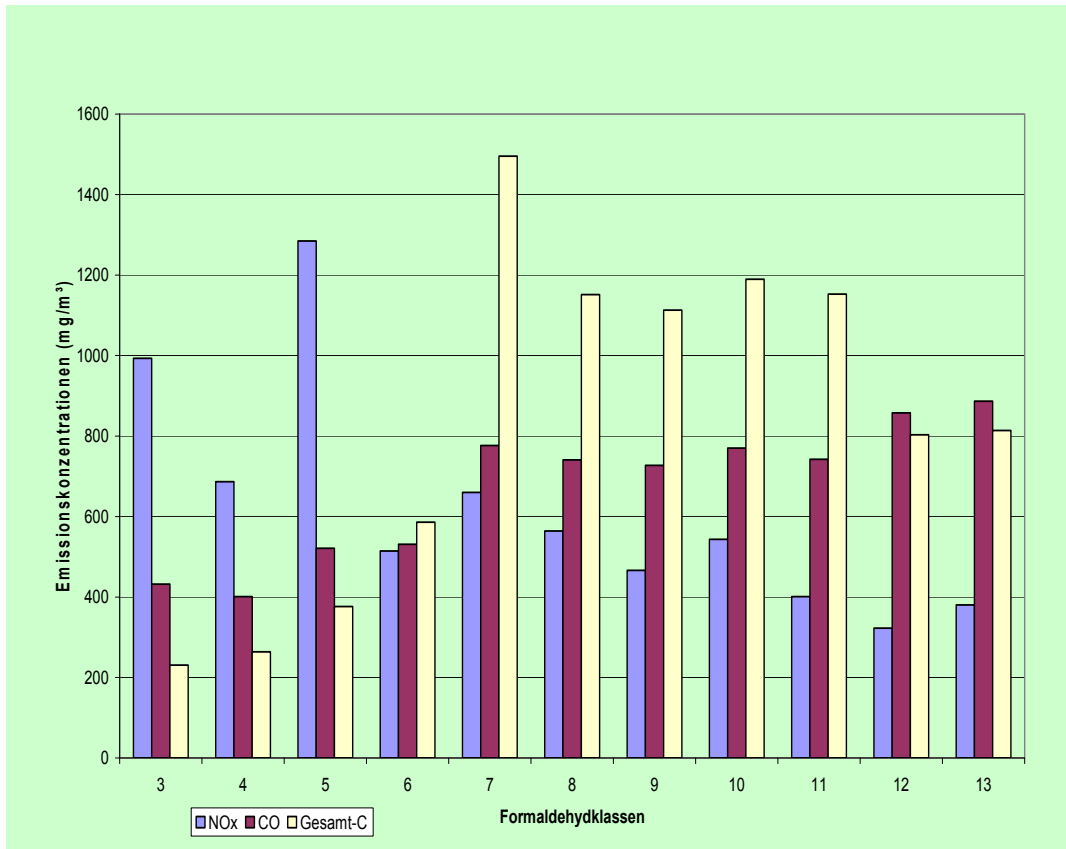


Diagramm 18: Emissionen von NO_x, CO, Gesamt-C in Abhängigkeit von der Formaldehydklasse bei Gas-Otto-Motoren mit Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten

Das Diagramm 19 weist ebenfalls auf die Zusammenhänge zwischen einer optimalen Verbrennung und den Formaldehydemissionen hin. Ist Lambda (λ) geringer, d.h. es liegt ein fetteres Gemisch vor, verringern sich auch die Formaldehydemissionen. Wird das Gemisch mit zunehmendem λ dagegen magerer und ist die Verbrennung im Motor nicht mehr optimal, kommt es zu einem Anstieg der Formaldehydemissionen.

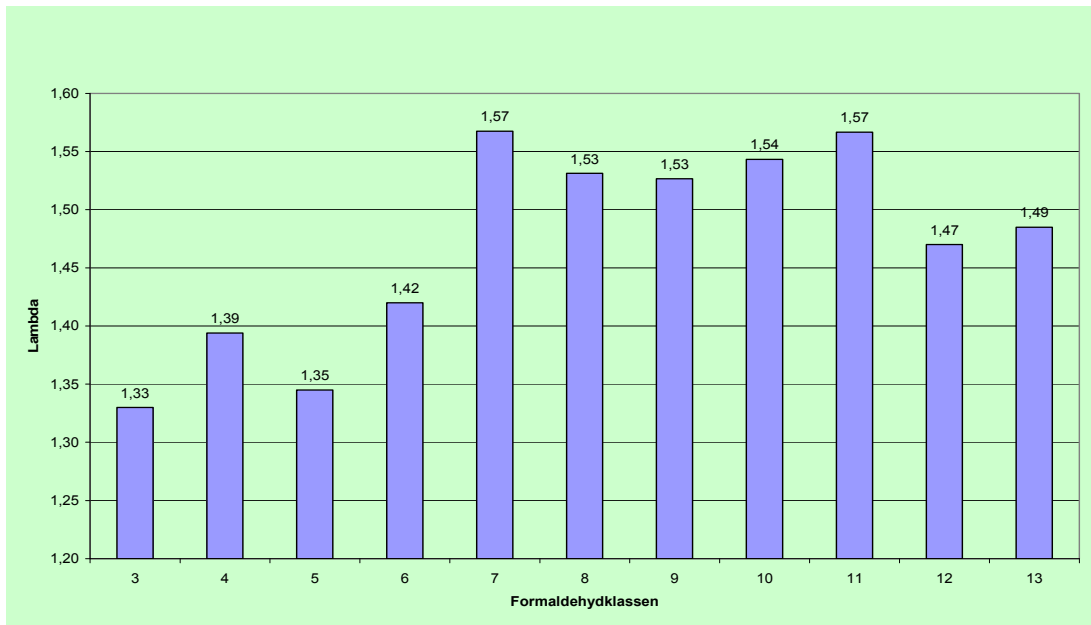


Diagramm 19: Lambda (λ) in Abhängigkeit von der Formaldehydklasse bei Gas-Otto-Motoren mit Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten

SO₂-Emissionen und P_{el} bezogen auf Formaldehyd

Betrachtet man das Diagramm 20, so hat es den Anschein, dass sowohl ein höherer SO₂-Gehalt im Abgas als auch eine höhere Motorleistung höhere Formaldehydemissionen zur Folge haben. Wissenschaftlich fundierte Untersuchungen hierzu liegen allerdings nicht vor. Bei künftigen Untersuchungen sollte daher geprüft werden, ob bzw. inwieweit sich insbesondere ein niedriger SO₂-Gehalt im Abgas positiv auf die Minderung von Formaldehydemissionen auswirkt.

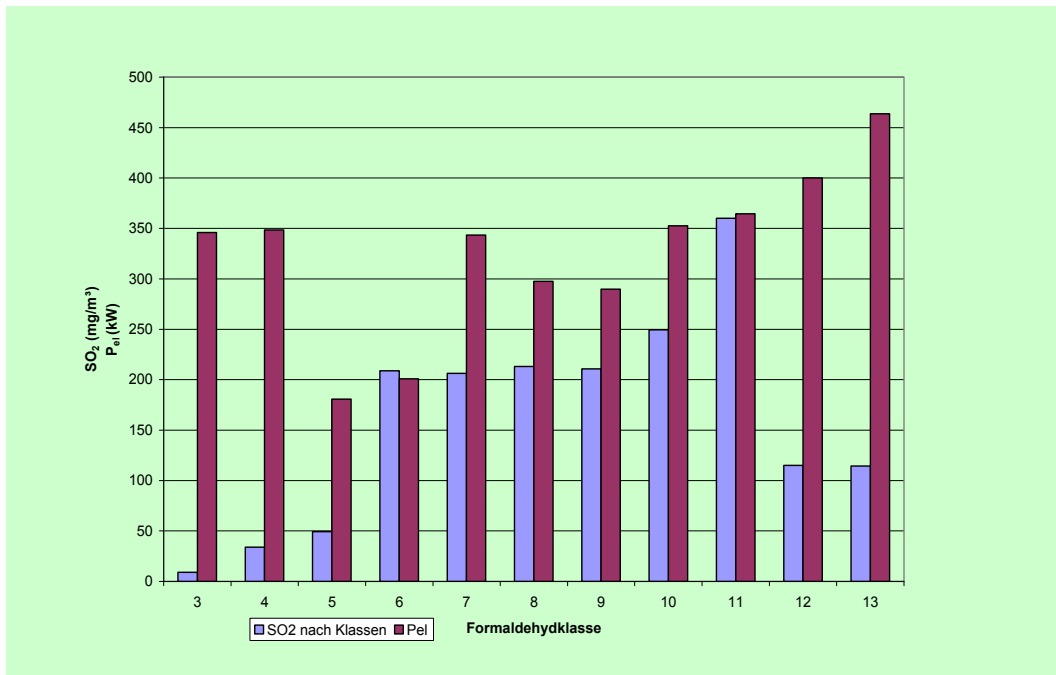


Diagramm 20: SO₂-Emissionen und elektrische Leistung (P_{el}) in Abhängigkeit vom Formaldehyd

6.4 Clusteranalyse /7/

Zusätzlich zu den Auswertungen der Geruchs- und Formaldehydemissionen wurden die Motoren der untersuchten BHKW anhand der gemessenen Werte für Schwefeldioxid, Stickoxide, Kohlenmonoxid, Gesamtkohlenstoff, Formaldehyd sowie der Variabilität als Gesamtheit mittels Clusteranalyse untersucht.

Die Clusteranalyse dient dem Vergleich von Objekten anhand der Ausprägung der sie charakterisierenden Merkmale. Die statistische Rechenoperation führt zu einer Distanzmatrix (Dendrogramm), die dazu benutzt wird, die Ähnlichkeit oder Nichtähnlichkeit der Objekte in Bezug auf die Merkmale zu quantifizieren. Die Ergebnisse der Distanzmatrix werden zur grafischen Darstellung benutzt, indem Objekte zu Gruppen ähnlicher Eigenschaften zusammengeführt werden. Auf der untersten Ebene dieser Zusammenführung ist die Ähnlichkeit benachbarter Objekte sehr hoch. Die gebildeten Gruppen werden wieder hinsichtlich ihrer Merkmalsausprägung geprüft und weiter zusammengeführt.

Die Analyse ist besonders geeignet, Objekte zu vergleichen und wichtige Unterschiede herauszuarbeiten. Dazu können beliebig viele Objekteigenschaften eingesetzt werden.

Die nachfolgend dargestellten Dendrogramme zeigen die Ergebnisse der durchgeführten Clusteranalyse.

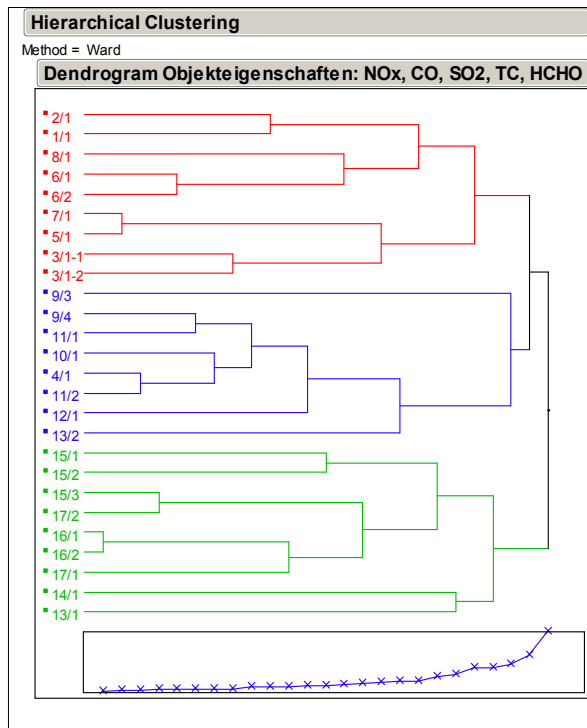


Abbildung 8: Dendrogramm Einzelkomponenten

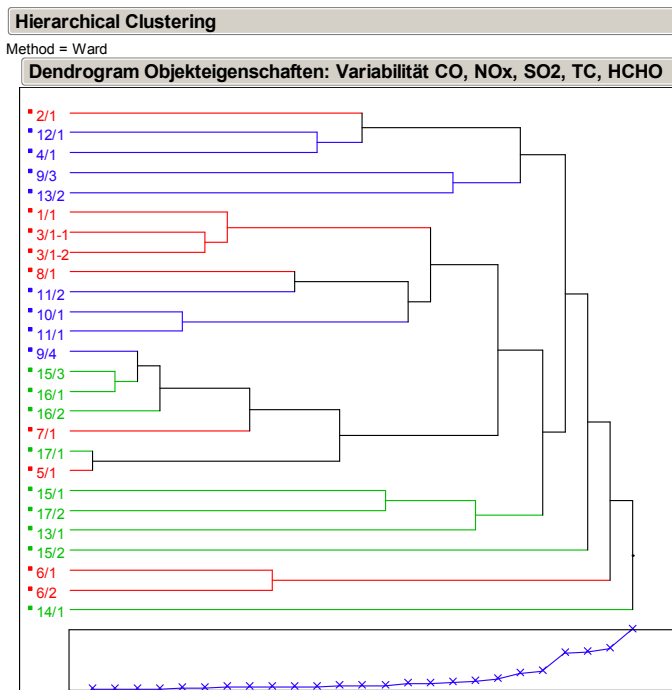


Abbildung 9: Dendrogramm Variabilität

Hierarchical Clustering

Method = Ward

Dendrogramm Objekteigenschaften u. Variabilität CO, NOx, SO2, TC, HCHO

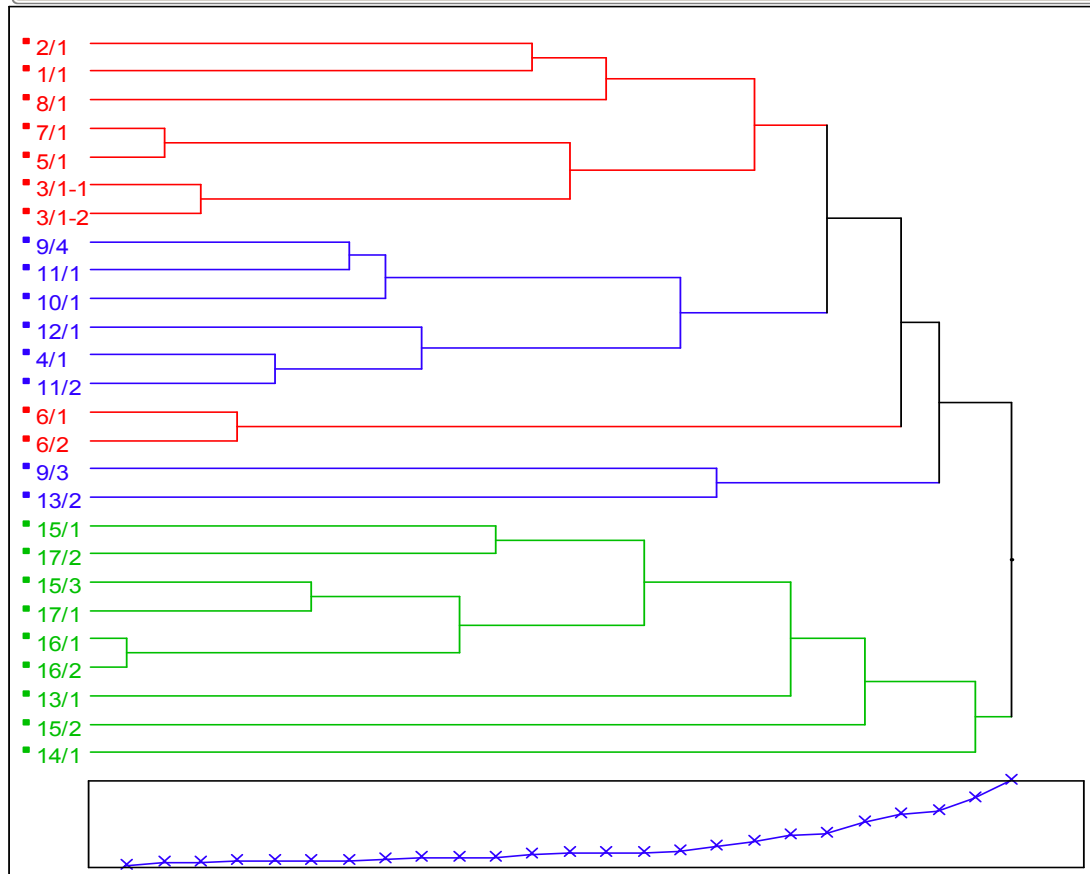


Abbildung 10: Dendrogramm Einzelkomponenten und Variabilität gesamt

Ergebnisse der Clusteranalyse

Die deskriptive Statistik bringt für den Vergleich Zündstrahl-/Otto-Motoren folgendes Ergebnis:

Tabelle 7: Ergebnis deskriptive Statistik

Komponente	Parameter	Zündstrahl	Otto	Verhältnis	Bewertung
				Otto / Zündstrahl	
NOx	Std Dev	626	558	89	besser
NOx	Mean	928	653	70	besser
CO	Std Dev	825	181	22	viel besser
CO	Mean	1730	590	34	viel besser
SO ₂	Std Dev	114	177	154	schlechter
SO ₂	Mean	102	187	184	schlechter
TC	Std Dev	723	442	61	besser
TC	Mean	1791	765	43	viel besser
HCHO	Std Dev	50	28	57	viel besser
HCHO	Mean	155	68	44	viel besser

Aus den Dendrogrammen ist zu ersehen, dass je nach den konkreten Bedingungen vor Ort Zündstrahlmotoren ähnliche Abgasparameter und Variabilitäten wie Gas-Otto-Motoren aufweisen können. Somit sind Gas-Otto-Motoren nicht, wie die deskriptive Statistik aus Tabelle 6 erwarten lässt, bezüglich der Abgaswerte grundsätzlich besser.

Die Clusteranalyse weist ferner aus, dass unter Berücksichtigung aller Prozesseigenschaften (Konformität, Variabilität) der BHKW-Motor 2/1 hinsichtlich der Schadstoffemissionen die besten und der BHKW-Motor 14/1 die schlechtesten Merkmalsausprägungen hat. Auf diese Weise ist es möglich, mittels Dendrogramm eine Art Rankingliste zu erstellen.

6.5 Fehlerberachtung

In den Messberichten sind für alle Messkomponenten jeweils der maximale Messwert ($y_{\max}$), die erweiterte Messunsicherheit (U_p mit $p = 95\%$), die Differenz $y_{\max} - U_p$ und die Summe $y_{\max} + U_p$ sowie die dazugehörigen Bestimmungsmethoden angegeben (Beispiel siehe Anlage). Die festgestellten Messunsicherheiten befanden sich alle im Bereich der erweiterten Messunsicherheit.

Für das Prüfergebnis in der Olfaktometrie ist die Qualität der Prüfer entscheidend. Es wird deshalb eine nachträgliche Prüferklassierung entsprechend Pkt. 9.2.3 der DIN 13725 vorgenommen. Dabei wurden für die Prüfer das Δz ermittelt, welches das Verhältnis zwischen dem geometrischen Mittel aller Geruchsschwellenabschätzungen und den einzelnen Geruchsschwellenabschätzungen der Prüfer bezüglich der genommenen Geruchsproben darstellt. Das Δz muss dabei entsprechend Pkt. 9.2.3 der DIN 13725 im Bereich von -5 bis +5 liegen. Für die genommenen Geruchsproben lag das Δz in diesem Bereich.

Beim Transport der Proben wurde darauf geachtet, dass der Zeitraum zwischen Probenahme und Auswertung sechs Stunden nicht überschreitet, um mögliche Veränderungen innerhalb der Probe (z.B. Umwandlung von NO zu NO₂) und somit eine Verfälschung des Messwertes zu vermeiden.

7 Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Durch die BfUL wurden unter Einsatz des in Abbildung 11 + 12 dargestellten Messwagens im Auftrag des LfULG im Zeitraum 2006 - 2007 insgesamt 25 BHKW-Motoren hinsichtlich der Geruchsemissionen aus den Abgasen vermessen. Ziel des Messprogramms war es, belastbare Emissionsfaktoren für Gerüche aus Abgasen von BHKW-Motoren, in denen vorzugsweise Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten eingesetzt wird, zu ermitteln. Zusätzlich wurden die Emissionen von NO_x, SO₂, H₂S, CO, Formaldehyd und Gesamt-C und, soweit dies möglich war, Staub (Gesamtstaub/PM₁₀/PM_{2,5}) erfasst. Bei den untersuchten BHKW handelte es sich um 16 Gas-Otto-Motoren und neun Zündstrahlmotoren unterschiedlicher Hersteller. Bei den Gas-Otto-Motoren werden 14 Anlagen und bei den Zündstrahlmotoren acht Anlagen mit Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten betrieben. Bei den anderen Anlagen wird das Biogas aus organischen Reststoffen von Kommunen und Haushalten gewonnen.

Im Ergebnis der Untersuchungen wurde Folgendes festgestellt:

Geruchs- und NO_x-Emissionen

- Zwischen den einzelnen BHKW bestehen große Unterschiede hinsichtlich der Höhe der Geruchsemissionen. Die Gründe liegen an der unterschiedlichen Art der Motoren, der Art des verwendeten Biogases (unterschiedliche Substrate) und den jeweiligen Motoreinstellungen. Hinsichtlich der Motorleistung, des Baujahres (nur für Gas-Otto-Motoren mit Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten) und der Art der Entschwefelung wurde kein signifikanter Einfluss auf den Geruch festgestellt. Bei Ausfall der Entschwefelung veränderte sich die Höhe der Geruchsemissionen nicht signifikant.
- Hinsichtlich der Hedonik wurden keine Unterschiede zwischen den einzelnen BHKW festgestellt. Es handelt sich bei den Gerüchen um typische, so genannte „Auto-Abgasgerüche“.
- Für Geruchimmissionsprognosen werden im Ergebnis der Auswertung der Messung folgende Geruchsemissionsfaktoren vorgeschlagen:

Tabelle 8: Vorschlag für Geruchsemissionsfaktoren

Art des BHKW	vorgeschlagener Emissionsfaktor	Bemerkung
Gas-Otto-Motor	3 000 GE/m ³	Die Einzelwerte lagen gerundet zwischen 1 000 – 8 500 GE/m ³ . Da der vorgeschlagene Emissionsfaktor der Mittelwert aller Einzelmessungen ist, bei denen der TA-Luft Emissionswertes für NO _x eingehalten wurde, kann er insofern nur unter dieser Voraussetzung angewandt werden.
Zündstrahlmotor	5 000 GE/m ³	Die Werte für die untersuchten Motoren (ohne BHKW 13/1) lagen gerundet zwischen 2000 - 8000 GE/m ³ . Der empfohlene Emissionsfaktor ist der Wert, der von 90 % der vermessenen Anlage eingehalten wurde.

- Bei der Mehrzahl der Anlagen (ca. 60 %) mit Gas-Otto-Motoren war eine Überschreitung des TA-Luft Emissionswertes für NO_x von 500 mg/m³ festzustellen. Die Ursachen dafür wurden im Rahmen der Auswertung nicht weiter untersucht, da zu dieser Thematik bereits umfangreiche Arbeiten z.B. im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen vorliegen /5/.

Dort wird u. a. als mögliche Ursache ein nicht optimaler Pflege- und Wartungszustand gesehen. Ein weiteres Problem ist, dass die Biogasmotoren in der Regel nicht über einen Abgaskatalysator verfügen. Die Einhaltung des TA-Luft Emissionswertes für NO_x ist danach nur über eine entsprechende Motoreinstellung, z.B. die Erhöhung von Lambda, möglich. Damit sinkt aber der Methangehalt im Kraftstoff-Luftgemisch und die Motorleistung. Die Minderung der NO_x-Emissionen hat somit eine Minderung der Wirtschaftlichkeit der Anlagen zur Folge.



Abbildung 11 + Abbildung 12: Messwagen der Umweltbetriebsgesellschaft

Formaldehydemissionen

- Durch das Ingenieurbüro Umweltanalytik RUK GmbH Longuich wurden im Rahmen einer bundesweiten Untersuchung 500 Formaldehydmessungen ausgewertet. Dabei wurde festgestellt, dass bei ca. 25 % der Messungen der TA Luftwert von 60 mg/m^3 nicht eingehalten wurde /8/. Die Auswertung der Messergebnisse aus dem durchgeführten Messprogramm bestätigen nicht nur diesen Trend, die festgestellte Überschreitungshäufigkeit liegt mit etwa 60 % aller BHKW sogar noch höher.
- Bezüglich der Entstehungsmechanismen sowie der Reduzierungsmöglichkeiten bei Formaldehyd, wird derzeit noch Grundlagenforschung betrieben. So wurden beispielsweise im Auftrag des VDMA an der TU München Untersuchungen an einem einzylindrigen Gas-Otto-Motor durchgeführt /6/. Erste Erkenntnisse aus den Forschungsvorhaben deuten darauf hin, dass das Formaldehyd durch eine unvollständige Verbrennung, verbunden mit niedrigeren NO_x -Werten, entsteht. Bei einer optimalen Verbrennung im Motor (hoher Mo-

torwirkungsgrad, hohe Verbrennungstemperaturen) mit entsprechend hohen NO_x-Werten ist demzufolge weniger Formaldehyd im Abgas vorhanden. Unsere Messergebnisse bei mit Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten betriebenen Gas-Otto-Motoren bestätigen ebenfalls diesen Zusammenhang zwischen NO_x-Werten und Formaldehydemissionen. Somit wäre es also nicht nur aus Sicht der Motorleistung, sondern auch zur Minderung der Formaldehydemissionen günstig, die Verbrennungsprozesse im Motor zu optimieren und die dann entstehenden höheren NO_x-Emissionen beispielsweise über einen nachgeschalteten Katalysator zu mindern. Dies setzt aber eine Reinigung des Biogases vor dem Motor voraus, um ausreichende Standzeiten bei dem Katalysatoren zu erreichen.

- Auch bei anderen Stoffen wie SO₂ oder der Motorleistung wurden Hinweise auf mögliche Korrelationen mit der Formaldehydemission gefunden. Diese Hinweise sollten in weiteren Projekten ebenfalls noch genauer untersucht werden.
- Anhand der durchgeführten Clusteranalyse wird deutlich, dass je nach den konkreten Bedingungen vor Ort Zündstrahlmotoren ähnliche Abgasparameter und Variabilitäten wie Gas-Otto-Motoren haben können.

8 Literaturverzeichnis

- /1/ Gutachten der Fachhochschule Lippe und Höxter „Ermittlung der technischen Anforderungen an bestehende und neu zu errichtende landwirtschaftliche CO-Fermentationsanlage am Beispiel der Biogasanlagen in Illhorn – Februar 2003
- /2/ Artikel Thomas Liebich, Zeitschrift erneuerbare Energien 5/2004
- /3/ Ingenieurbüro „Richter und Röckle“ Fachtagung im Haus der Technik Essen “Thema: Geruchsstoffmessung und Abscheidung, Umsetzung der 31. BImSchV und der Geruchsimmissionsrichtlinie“
- /4/ Gespräch Biogasworkshop im Umweltbundesamt am 24.01.2008 in Berlin mit Wolfgang Rauch von der Fa. Schnell Zündstrahlmotoren AG & Co. KG
- /5/ Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen: „Biogasanlagen Monitoring“ Abschlussbericht 2003
- /6/ Fachgespräch an der TU München mit Prof. Wachtmeister am 12.02.2008
- /7/ Untersuchungen der BfUL Sachsen Herr Dr. Kath
- /8/ Schreier, W., Umweltanalytik RUK GmbH Longuich- „Formaldehydproblematik bei Gasmotoren - messtechnisches oder motorisches Problem“ UMTK Nürnberg 24./25.2006

9 Anlagen

Anlage 1 Auszug aus dem Messbericht der BHKW-2/1 - Abschnitt Mess- und Analyseverfahren, Geräte

4 Mess- und Analyseverfahren, Geräte

4.1 Abgasrandbedingungen

4.1.1 Strömungsgeschwindigkeit

<u>Messgerät:</u>	ALMEMO Druckmessmodul FD A602 – M1K mit Prandl'schen Staurohrsonde Testo 06352042
eingestellter Messbereich:	Messbereich: 0 – 1250 Pa/ 0 – 30 m/s
Unsicherheitsbereich:	Genauigkeit: ± 5 Pa/ ± 1 m/s
Bestimmungsgrenze:	± 5 Pa/ ± 1 m/s
kontinuierliche Erfassung:	ja, mit dem MES ALMEMO, Fa. Ahlborn

4.1.2 Statischer Druck im Abgaskamin

<u>Messgerät:</u>	ALMEMO Druckmessmodul FD A602 – M1K mit Prandl'schen Staurohr durch Abziehen Druckmessschlauch für Gesamtdruck am Druckmessmodul (offen gegen Luftdruck) während der Messung
eingestellter Messbereich:	Messbereich: 0 – 1250 Pa
Bestimmungsgrenze:	± 5 Pa
Unsicherheitsbereich:	± 5 Pa

4.1.3 Luftdruck in Höhe der Probenahmestelle

Barometer:	Dosenbarometer Thies
letzte Überprüfung / Kalibrierung:	12.06.06

4.1.4 Abgastemperatur

<u>Messgerät:</u>	Zylindersonde Testo 06352042 mit Thermoelement Typ K
eingestellter Messbereich:	0 - + 1000 °C
Unsicherheitsbereich:	$\pm 0,3$ °C
kontinuierliche Erfassung:	ja, mit dem MES ALMEMO, Fa. Ahlborn

4.1.5 Wasserdampfanteil im Abgas (Abgasfeuchte)

Berechnung aus der Zusammensetzung des Brenngases mit Hilfe der Verbrennungsrechnung.

4.1.6 Abgasdichte

Berechnet unter Berücksichtigung der Abgasanteile an O₂, CO₂, N₂, CO und Wasserdampfanteil sowie der Abgastemperatur und Druckverhältnisse im Kanal.

4.1.7 Abgasverdünnung

Bei Geruchsprobenahme statische Vorverdünnung mit N₂.

4.2 Kontinuierliche Messverfahren

4.2.1 Messobjekt: Gesamtkohlenstoff

- 4.2.1.1 Messverfahren:** Messen von flüchtigen organischen Verbindungen, insbesondere von Lösungsmitteln mit dem FID nach DIN EN 12619 (09/99) und VDI 3481/3 (10/95)
Umrechnungsfaktor ppm Propan $\rightarrow$ mg/m³ C_{ges} =: 1,61
- 4.2.1.2 Analysator:** Flammenionisationsdetektor FID – BA 3006,
Fa. Sick/Maihak (Bernath Atomic)
Ger.-Nr.: 4259
Unsicherheitsbereich: 0,5 ppm
Bestimmungsgrenze: 0,1 ppm
Brennkammertemperatur: 180°C
- 4.2.1.3 Eingestellter Messbereich:** 0 – 1 000 ppm Propan

- 4.2.1.4 Gerätetyp eignungsgeprüft:** Das eingesetzte Gerät ist eignungsgeprüft.

4.2.1.5 Messplatzaufbau

Entnahmesonde:	8 mm Edelstahlrohr
beheizt auf: / unbeheizt	durch den Abgasstrom
Staubfilter	beheizter Vorfilter, Quarzwolle/M&C Probenahmesonde PSS-5, Fa. M&C
beheizt auf: / unbeheizt	180 °C
Probengasleitung vor Gasaufbereitung	M&C
beheizt auf: / unbeheizt	180 °C
Länge:	2,5 m
Probengasleitung nach Gasaufbereitung:	
Länge:	m
Werkstoffe der gasführenden Teile:	Edelstahl/ PTFE
Messgasaufbereitung:	entfällt
Messgaskühler:	entfällt
Temperatur, geregelt auf:	°C
Trockenmittel:	entfällt

4.2.1.6 Überprüfen der Gerätekenlinie mit folgenden Prüfgasen

Justierung Null- und Prüfgaswert vor Ort	
Gesamt C entsprechend DIN EN 12619 und DIN EN 13526).	
Nullgas:	synth. Luft, Stickstoff
Prüfgas: C ₃ H ₈ in N ₂	794 ppm
Hersteller:	Linde
Herstelldatum:	13.02.06
Stabilitätsgarantie:	12 Monate
rückführbar zertifiziert:	ja, durch Hersteller
Überprüfung des Zertifikates durch:	BFUL, Vergleich der Prüfgase alt/ neu als Eingangskontrolle
am:	28.04.2006
Aufgabe durch das gesamte Probenahmesystem:	ja, über Prüfgas- und Nullgaseingänge des FID, entsprechend Bedienanleitung für das FID

4.2.1.7 90 %-Einstellzeit des gesamten Messaufbaus

Ermittlung der Einstellzeit durch Aufzeichnung der Kalibrierphasen vom Ende der Prüfgasaufgabe bis zum Erreichen 5 ppm Messwertanzeige.

Einstellzeit: 20 Sekunden

4.2.1.8 Erfassung und Auswertung der Messwerte

Messwerterfassungssystem:

Messdatenerfassung ALMEMO 3290
und ALMEMO 2290, Ahlborn

Auswertesoftware:

WIN-Control 4.0.2.0, Ahlborn

4.2.1.9 Maßnahmen zur Qualitätssicherung

Im Rahmen des QS-Systems:

- jährliche Linearitätskontrolle
- jährliche Überprüfung der Querempfindlichkeit gegenüber Wasserdampf und Sauerstoff
- Qualitätssicherung vor Ort:
- Überprüfung von Null und Prüfgaswert vor und nach der Messung. Bei Driftwerten größer 2 % vom Messbereich erfolgt die Korrektur der Messwerte mit den ermittelten Driftwerten.
- Dichtheitsprüfung der Probenahmeeinrichtung durch drucklose Aufgabe von Prüfgas über die Probenahmesonde. Bei Erreichen der Prüfgaswerte ist die Dichtheit gegeben.

4.2.2 Messobjekt: anorganische Gase: NO, NO₂, CO, SO₂, CO₂, O₂

4.2.2.1 Messverfahren:	NO	NO ₂	CO	SO ₂	O ₂	CO ₂
	NDIR	NDUV	NDIR	NDUV	magnetische Suszeptibilität	NDIR
NDUV DIN EN 14212	Luftqualität - Messverfahren zur Bestimmung der Konzentration von Schwefeldioxid mit Ultraviolett-Fluoreszenz; Deutsche Fassung prEN 14212:2003 (Entwurf Mai 2003)					
NDIR DIN EN 15058	Emission aus stationären Quellen - Referenzverfahren von Kohlenmonoxid (NDIR-Verfahren) (Entwurf Februar 2005)					
magnetische Suszeptibilität DIN EN 14789	Bestimmung der Volumenkonzentration von Sauerstoff (O ₂); Referenzverfahren – Paramagnetismus (April 2006)					
4.2.2.2 Analysator:	NGA 2000 MLT 4					Ultramat 23
Hersteller:	Fisher-Rosemount, Emerson					Siemens
Baujahr:	2000					2004

4.2.2.3 Eingestellter Messbereich: automatische Messbereichsumschaltung, gewählt wird immer der kleinste mögliche Messbereich

-	NO	NO ₂	CO	SO ₂	O ₂	CO ₂
Messbereiche	0 - 150 bis 0 - 1000 ppm	0 - 25 bis 0-250 ppm	0 - 50 bis 0-3500 ppm	0 - 100 bis 0-2000 ppm	0 - 10 bis 0 - 100 Vol%	0 – 25 Vol%
Bestimmungsgrenze	• 2 ppm	2 ppm	2 ppm	5 ppm	0,01 Vol%	0,01 Vol%

4.2.2.4 Gerätetyp Die eingesetzten Geräte sind eignungsgeprüft.
eignungsgeprüft:

4.2.2.5 Messplatzaufbau

Entnahmesonde:	8 mm Edelstahlrohr Länge: 0,4 m
beheizt auf: / unbeheizt	durch den Abgasstrom
Staubfilter	M&C Probenahmesonde PSS-5, Fa. M&C
beheizt auf: / unbeheizt	180 °C
Probengasleitung vor Gasaufbereitung	M&C
beheizt auf: / unbeheizt	180 °C
Länge:	2,5 m
Probengasleitung nach Gasaufbereitung:	PTFE
Länge:	8 m
Werkstoffe der gasführenden Teile:	Edelstahl/ PTFE
Messgasaufbereitung:	PSS-5, Fa. M&C
Messgaskühler:	PSS-5, Fa. M&C
Temperatur, geregelt auf:	4 °C
Trockenmittel:	entfällt

4.2.2.6 Überprüfen der Gerätekenlinie mit folgenden Prüfgasen

Prüfgas	Nennkonzentration	Hersteller-firma	Flaschen-Nr.	Her-stelldatum	Stabilitäts-garantie
CO ₂ in N ₂	15,0 %	Linde	2365495	10.01.06	12 Monate
Mischgas	81,6 ppm	Linde	2746159	24.01.06	12 Monate
SO ₂	78,9 ppm				
NO	76,8 ppm				
in N ₂					
NO ₂ in synth. Luft	78,1 ppm	Linde	2515640	22.02.06	12 Monate
N ₂	99,999 Vol% N ₂	Linde	ohne		
synt. Luft	20 Vol% O ₂ 80 Vol% N ₂	Linde	ohne		
rückführbar zertifiziert:			ja, durch Linde AG		
Überprüfung des Zertifikates durch:			BfUL, Vergleich der Prüfgase alt/neu als Eingangskontrolle		
am:			02.02.06		
Aufgabe durch das gesamte Probenahme-system:			ja, über Prüfgaseingang der Probenahmeson-de		

4.2.2.7 90 %-Einstellzeit des gesamten Messaufbaus

Ermittlung der Einstellzeit durch Aufzeichnung der Kalibrierphasen vom Ende der Nullgasaufgabe bis zum Erreichen 19 Vol% Sauerstoff Messwertanzeige.

Einstellzeit: 30 Sekunden

4.2.2.8 Erfassung und Auswertung der Messwerte

Messwerterfassungssystem:	Messdatenerfassung ALMEMO 3290 und ALMEMO 2290, Ahlborn
Auswertesoftware:	WIN-Control, Ahlborn

4.2.2.9 Maßnahmen zur Qualitätssicherung

Im Rahmen des QS-Systems:

- jährliche Linearitätskontrolle an fünf Punkten einschließlich Null (siehe Verfahrenshandbuch und SOP 42/18/01)
- jährliche Überprüfung der Querempfindlichkeit gegenüber Wasserdampf.
- Qualitätssicherung vor Ort:
- Überprüfung von Null und Prüfgaswert vor und nach der Messung. Bei Driftwerten größer 2 % vom Messbereich erfolgt die Korrektur der Messwerte mit den ermittelten Driftwerten.
- Dichtheitsprüfung der Probenahmeeinrichtung durch drucklose Aufgabe von Prüfgas über die Probenahmesonde. Bei Erreichen der Prüfgaswerte ist die Dichtheit gegeben.

4.3 Diskontinuierliche Messverfahren

4.3.1 Gas- und dampfförmige Emissionen

4.3.1.1 Messobjekt:

Schwefelwasserstoff (H₂S)

4.3.1.1.1 Messverfahren:

Nasschemisches Verfahren nach VDI 3486 Blatt 2

4.3.1.1.2 Messplatzaufbau:

Entnahmesonde:	8 mm Edelstahlrohr Länge: 0,4 m
Material:	Edelstahl
beheizt auf:	180 °C
Partikelfilter:	außenliegender, beheizter Filter
Typ:	Bestandteil der Probenahmesonde M&C
Material:	Quarzwolffilter
beheizt auf:	180 °C
Ab-/Adsorptionseinrichtungen:	2 x Standard-Waschflasche, mit einfachem Einleitrohr
Sorptionsmittel:	Cadmiumacetat-Lösung
Sorptionsmittelmenge:	30 ml
Abstand zwischen Ansaugöffnung der Entnahmesonde und Abscheideelement:	ca. 250 cm
Absaugeinrichtung:	DESAGA- GS 312 Messmittelnr.: 5003
Probenahmenvolumen:	ca. 30 NI, ständige Versorgung mit frischem Messgas über eine Bypassschaltung
Probentransfer:	1 Tag (Analyse: 13.12.06)
Beteiligung eines Fremdlabors:	TÜV Sachsen, Dresden

4.3.1.1.3 Analytische Bestimmung

Analysenverfahren:	Jodometrisches Titrationsverfahren nach VDI 3486 Blatt 2
--------------------	--

Aufarbeitung des Probenmaterials:	quantitative Überführung auf Filter
Analysengeräte:	Glasbyrette 20 ml
spez. Kenndaten/Angaben:	Ablesegenauigkeit 0,1 ml
Standards:	0,01 n Natriumthiosulfat
Beteiligung eines Fremdlabors:	TÜV Sachsen, Dresden

4.3.1.1.4 Verfahrenskenngrößen

Bestimmungsgrenze:	10 µg/Probe, 0,3 mg/m ³ H ₂ S bei 30 l Probevolumen
Unsicherheitsbereich:	1,4 mg/m ³
spezielle Maßnahmen zur Qualitätssicherung:	Blindwertermittlung, Mehrfachbestimmung einer Probe

4.3.1.2 Messobjekt:

Formaldehyd

4.3.1.2.1 Messverfahren:

Nasschemisches Verfahren nach DIN EN 1911-1-3

4.3.1.2.2 Messplatzaufbau:

Entnahmesonde:	8 mm Edelstahlrohr Länge: 0,4 m
Material:	Edelstahl
beheizt auf:	180 °C
Partikelfilter:	außenliegender, beheizter Filter
Typ:	Bestandteil der Probenahmesonde, M&C,
Material:	Quarzwollefilter
beheizt auf:	180 °C
Ab-/Adsorptionseinrichtungen:	2 x Waschflasche, 1 Tropfenabscheider
Sorptionsmittel:	bidestilliertes Wasser
Sorptionsmittelmenge:	50 ml
Abstand zwischen Ansaugöffnung der Entnahmesonde und dem Sorptionsmittel bzw. Abscheideelement:	ca. 50 cm
Absaugeinrichtung:	DESAGA- GS 312 Messmittelnr.: 5002
Probenahmenvolumen:	ca. 30 l, ständige Versorgung mit frischem Messgas über eine Bypassschaltung
Probentransfer:	1 Tag, Lagerung im Kühlschrank
Beteiligung eines Fremdlabors:	ERGO Umweltinstitut, Dresden

4.3.1.2.3 Analytische Bestimmung

Analysenverfahren:	AHMT VDI 3862
Analysengeräte:	Spekol 1200, Analytik Jena AG
Standards:	Formaldehydlösungen (jodometrisch bestimmt)
Beteiligung eines Fremdlabors:	ERGO Umweltinstitut, Dresden

4.3.1.2.4 Verfahrenskenngrößen

Bestimmungsgrenze:	20 µg/ Probe
Blindwert:	< 20 µg/ Probe

Messunsicherheit:

0,06 mg/m³ bei 30 NL Probevolumen

4.3.1.2.5 Maßnahmen zur Qualitätssicherung

- Blindwertermittlung, Mehrfachbestimmung einer Probe. Dichtheitsprüfung der Probenahmeeinrichtung erfolgt vor jeder Probenahme
- Gesamtleerwert: 20 µg/Probe
- Messunsicherheit des Gasvolumens < 2 %
- Messunsicherheit Druck und Temperatur < 1 %
- regelmäßige Wartung
- regelmäßiger Vergleich mit Standards

4.3.2 Partikelförmige Emissionen

entfällt, Messung nicht möglich

4.3.3 Besondere hochtoxische Abgasinhaltsstoffe (PCDD/PCDF u. ä.)

4.3.4 Geruchsemissionen

4.3.4.1 Grundlagen:

DIN EN 13725

Unterdruckprobennehmer für kontinuierliche Probenahme über 30 Minuten mit statischer Vorverdünnung.

4.3.4.2 Probenahme

Probenahmeverfahren:

kontinuierliche Probenahme nach dem Lungenprinzip

Messplatzaufbau:

Probenahmeeinrichtung:

Probenahmesystem, BFUL, 10 l Volumen
Probenbeutel aus Nalophan mit Korkverschluss

Pumpe:

Probenahmesystem SG 4000, Fa. GSM

Probenleitungen:

PTFE, 0,6 m

Vorverdünnungsmethode:

Statische Vorverdünnung ca. 1:2, 1:4, Absaugen eines definierten Volumens aus dem Unterdruckbehälter

Art der Verdünnungsluft:

N₂

Lagerung und Transport der Proben:

konditionierte Lagerung in isoliertem Transportbehälter, sofortiger Transport nach Ende der Probenahme zum Labor der Fa. IfU, Zeit zwischen Probenahme und Auswertung max. 4,5 h.

4.3.4.3 Probenauswertung

Olfaktometer:

Typ TO7, ECOMA GmbH Honigsee

Verdünnungsprinzip:

mit Gasstrahlpumpe, einstellbares Mischverhältnis

verwendete Materialien:

Glas, Edelstahl

Verdünnungsbereich:

siehe Protokoll

kleinste einstellbare Verdünnungszahl:

2,5/62,5 mit Vorverdünnung

größte einstellbare Verdünnungszahl ohne/mit Vorverdünnung:

ohne Vorverdünnung 640
mit Vorverdünnung 64 000

Art und Material des Olfaktometerausgangs:	Glas
Art der Verdünnungsluft:	Raumluft über zweistufiges Aktivkohlefilter
Vorverdünnung während der Olfaktometrie:	siehe Protokoll
Vorverdünnungsfaktor:	siehe Protokoll

Ort der Probenauswertung

Lage und Beschreibung des Riechraums:	Geruchslabor IfU GmbH, Gottfried- Schenker- Str. 18, 09244 Lichtenau
Klimatisierung gegeben?	nein
Lüftung:	
Zuluftreinigung gegeben?	nein
Maximale Temperaturschwankung im Riechraum:	2°C

Auswerteverfahren

Versuchsleiter:	Dr. Schmidt, IfU
Darbietung der Geruchsproben:	Limitverfahren, atemzyklusabhängig
Methode:	nach DIN EN 13725
Dauer des einzelnen Reizes:	1 Atemtakt
Dauer der Pause zwischen den einzelnen Reizen:	siehe Protokoll
Zahl der Darbietungen in einer Verdünnungsreihe:	3
Stufung der Verdünnungsreihe:	siehe Protokoll
Zahl der Nullproben in einer Verdünnungsreihe:	siehe Protokoll
Dauer der Pause zwischen zwei Verdünnungsreihen:	siehe Protokoll
Zahl der Durchgänge pro Probe:	siehe Protokoll
Dauer der Pause zwischen zwei Proben:	Als Probanden werden Mitarbeiter des Unternehmens eingesetzt, die sich in den Pausen anderen Aufgaben widmen, bei denen keine auffälligen Gerüche auftreten. Die Pausenzeiten zwischen einzelnen Proben können damit hinreichend lang gestaltet werden. Die Pause entspricht damit immer mindestens der Messdauer.

4.3.4.4 Verfahrenskenngrößen und Qualitätssicherung

Kalibrierung der Verdünnungseinrichtung einschließlich Vorverdünnung mit Referenzmaterial

Datum der letzten Kalibrierung:	19.09.06
Referenzmaterial:	n-Butanol, H ₂ S
Instabilität I _d :	s. Einzelprotokolle der Probenahmen
Genauigkeit A _d :	s. Einzelprotokolle der Probenahmen

sensorische Gesamtqualität Nachweis mindestens 1 x /a

Datum des letzten Nachweises:	19.09.2006
-------------------------------	------------

Wiederholpräzision r:	0,397
-----------------------	-------

Genauigkeit A _{od} :	0,105
-------------------------------	-------

Nachweisgrenze:	10 GE
-----------------	-------

verwendete Standardgeruchsstoffe n-Butanol und H ₂ S:	n-Butanol, H ₂ S
---	-----------------------------

Probandenkollektiv inklusive Probandenhistorie

Anzahl der Probanden:	4
-----------------------	---

siehe Protokoll der Firma IfU

Anlage 2 Beispiel für die Gliederung eines Messberichtes

- 1 Formulierung der Messaufgabe
 - 1.1 Auftraggeber
 - 1.2 Betreiber
 - 1.3 Standort
 - 1.4 Anlage
 - 1.5 Datum der Messung
 - 1.6 Anlass der Messung
 - 1.7 Aufgabenstellung
 - 1.8 Messobjekte
 - 1.9 Messplanabstimmung
 - 1.10 An der Probenahme beteiligte Personen
 - 1.11 Beteiligung weiterer Institute
 - 1.12 Fachlich Verantwortlicher

- 2 Beschreibung der Anlage und der gehandhabten Stoffe
 - 2.1 Art der Anlage
 - 2.2 Beschreibung der Anlage
 - 2.3 Beschreibung der Emissionsquellen
 - 2.4 Angabe der lt. Genehmigungsbescheid möglichen Einsatzstoffe
 - 2.5 Betriebszeiten
 - 2.6 Einrichtung zur Erfassung und Minderung der Emissionen

- 3 Beschreibung der Probenahmestelle
 - 3.1 Lage des Messquerschnittes
 - 3.2 Abmessungen des Messquerschnittes
 - 3.3 Anzahl der Messachsen und Lage der Messpunkte im Messquerschnitt
 - 3.4 Anzahl und Größe der Messöffnungen

- 4 Mess- und Analysenverfahren, Geräte
 - 4.1 Abgasrandbedingungen
 - 4.2 Kontinuierliche Messverfahren
 - 4.3 Diskontinuierliche Messverfahren

- 5 Betriebszustand der Anlage während der Messungen
 - 5.1 Produktionsanlage
 - 5.2 Abgasreinigungsanlagen

6	Zusammenstellung der Messergebnisse und Diskussion
6.1	Bewertung der Betriebsbedingungen während der Messungen
6.2	Messergebnisse
6.3	Messunsicherheiten
6.4	Plausibilitätsprüfung
7	Anhang - Anlagenübersicht

Anlage 3 Einzelmessergebnisse von BHKW mit Gas-Otto-Motoren

BHKW 1/1

Kontinuierliche Verfahren: Anorganische Gase und Gesamtkohlenstoff

Halbstundenmittelwerte vom 06.12.2006

BHKW-1/1

Fahrweise	von	bis	O ₂ Vol. %	NO _x mg/m ³	CO mg/m ³	SO ₂ mg/m ³	Ges-C mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂
			Vol. %	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	
Teillast	9:25	9:51	5,7	498	315	248	513
Vollast	11:44	12:14	6,4	420,4	332	280	682
Vollast	12:14	12:44	6,3	421,2	331	288	698
Vollast	12:44	13:14	6,3	421,6	329	264	733
Vollast	13:14	13:44	6,4	425,6	331	249	744
Vollast	13:44	14:14	6,5	428,7	332	259	723
Teillast	14:30	15:00	5,7	498,2	323	290	518
Teillast	15:00	15:30	5,7	497,9	329	301	524

Volumenangaben beziehen sich auf den Normzustand, trocken

Volumenströme

BHKW 1/1		Abgaskamin					
Datum		06.12.2006					
Zeit	von-bis	09:37- 10:08	12:34- 13:05	13:11- 13:42	13:48- 14:19	14:28- 14:59	15:03- 15:34
Phase		Teillast	Vollast	Vollast	Vollast	Teillast	Teillast
Feuchte	g/m ³	128	128	128	128	128	128
Luftdruck	mbar	949	950	951	951	951	951
Sauerstoffgehalt	Vol. %	5,7	6,4	6,3	6,3	5,7	5,7
Kanaldurchmesser	m	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
Fläche	m ²	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
mittlere Geschwind.	m/s	26,0	42,6	42,7	43,0	23,1	26,1
t-Kanal	°C	395	408	409	410	348	399
p-Kanal	mbar	3	8	8	8	2	3
Volumenstrom	m ³ /h i.B.f.	1404	2300	2306	2322	1247	1409
Volumenstrom	m ³ /h i.N.f.	540	867	869	875	518	542
Volumenstrom	m ³ /h i.N.tr.	466	748	750	755	447	468
Volumenstrom	m ³ /h i.N.tr bez. 5 % O ₂	446	683	689	694	427	448

Massenströme

	von - bis	09:25- 09:51	11:44- 12:14	12:14- 12:44	12:44- 13:14	13:14- 13:44	13:44- 14:14	14:30- 15:00	15:00- 15:30
Konzentration NO _x	mg/m ³	476	384	386	386	387	389	477	477
Massenstrom	kg/h	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Konzentration CO	mg/m ³	301	303	303	310	301	302	309	315
Massenstrom	kg/h	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Konzentration Ges-C	mg/m ³	491	623	640	668	676	657	497	502
Massenstrom	kg/h	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2
Konzentration SO ₂	mg/m ³	238	255	402	404	226	237	278	289
Massenstrom SO ₂	kg/h	0,1	0,1	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1

Diskontinuierliche Verfahren: Partikelförmige Emissionen

BHKW 1/1		Abgaskamin					
Datum		06.12.2006					
Zeit	von-bis	09:37- 10:08	12:34- 13:05	13:11- 13:42	13:48- 14:19	14:28- 14:59	15:03- 15:34
Phase		Teillast	Volllast	Volllast	Volllast	Teillast	Teillast
Feuchte	g/m ³	128	128	128	128	128	128
Luftdruck	mbar	949	950	951	951	951	951
abgesaugtes Volumen	m ³ i.N.tr.	0,330	0,503	0,347	0,348	0,317	0,330
Partikelkonzentration	mg/m ³ i.N.tr.	13,6	9,6	13,0	12,9	12,6	12,1
Partikelkonzentration (bez. 5 Vol.% O ₂)	mg/m ³ i.N.tr.	14,1	10,5	14,2	14,2	13,1	12,6
Kanaldurchmesser	m	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
Fläche	m ²	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
mittlere Geschwindigkeit	m/s	26,0	42,6	42,7	43,0	23,1	26,1
t-Kanal	°C	395	408	409	410	348	399
p-Kanal	mbar	3	8	8	8	2	3
Volumenstrom	m ³ /h i.B.f.	1404	2300	2306	2322	1247	1409
Volumenstrom	m ³ /h i.N.f.	540	867	869	875	518	542
Volumenstrom	m ³ /h i.N.tr.	466	748	750	755	447	468
Massenstrom	kg/h	6,4	7,2	9,7	9,8	5,6	5,7

Partikelförmige Emissionen Staub PM10, PM2,5

Anlage	BHKW 1/1				
Auftragsnummer	42/11/01/06				
Datum		07.12.2006			Blindwert
Zeit von-bis		09:20-10:20	10:58-12:00	12:28-13:30	
Filter-Stufe 1		1,1	2,1	3,1	613
Filter-Stufe 2		1,2	2,2	3,2	614
Filter-Stufe 3		1,3	2,3	3,3	615
Zählerstand Anfang	m³	14,2660	16,0000	17,7870	17,7870
Zählerstand Ende	m³	15,9434	17,7806	19,4090	19,4090
Feuchtegrad	g/m³	132	132	132	132
t-Zähler	°C	7	7,5	8	7,5
Luftdruck	mbar	955	955	955	955
abgesaugtes Volumen	m³	1,6774	1,7806	1,622	1,622
abgesaugtes Volumen	m³ i.N.tr.	1,542	1,634	1,486	1,488
Trocknung		1h bei 160°C			
Staubmasse Stufe 1	mg	2,9	3,20	3,3	0,10
Staubmasse Stufe 2	mg	5,80	7,1	3,6	-0,1
Staubmasse Stufe 3	mg	7,8	7,0	8,7	0,1
Partikelkonzentration Σ S1, S2, S3	mg/m³ i.N.tr.	10,7	10,6	10,5	0,1
PM ₁₀ ΣS2, S3	mg/m³ i.N.tr.	8,8	8,6	8,3	0,0
PM _{2,5} S3	mg/m³ i.N.tr.	5,1	4,3	5,9	0,1
Sauerstoff	Vol. %	6,47	6,47	6,64	6,5
Kanaldurchmesser	m	0,14	0,14	0,14	0,14
Fläche	m²	0,015	0,015	0,015	0,015
mittlere Geschwindigkeit	m/s	42,4	43,0	43,0	43,0
t-Kanal	°C	409,0	409,0	409,0	409,0
p-Kanal	mbar	8,0	8,0	8,0	8,0
Volumenstrom	m³/h i.B.f.	2350	2383	2383	2383
Volumenstrom	m³/h i.N.f.	894	907	907	907
Volumenstrom	m³/h i.N.tr.	768	779	779	779
Massestrom PM ₁₀	g/h	6,8	6,7	6,4	0,0
Massestrom PM _{2,5}	g/h	3,9	3,3	4,6	0,1

Komponente:	Formaldehyd					
			Analy- sener- gebnis	Konzen- tration	Konzentration	Mas- senstro- m
Datum	Probenahmezeit		µg/Probe	mg/m³ i.N.tr.	mg/m³ i.N.tr. bez. 5 % O ₂	kg/h
06.12.2006	von					
Teillast	09:25	09:55	1740	58,0	60,7	0,03
	10:15	10:45	2020	67,3	70,4	0,03
	10:52	11:22	1630	54,3	56,8	0,03
Volllast	11:43	12:13	1750	58,3	63,9	0,04
	12:20	12:50	2010	67,0	73,4	0,05
	13:00	13:30	1820	60,7	66,5	0,04
	Blindwert	BW				
Bemerkung	Nachweisgrenze: 20 µg/Probe					

Die Massenströme wurden aus den Mittelwerten der Volumenströme (i.N.tr.) berechnet.

Komponente:	H ₂ S					
			Probevo- lumen	Analysener- gebnis	Konzentration	Massen- strom
Datum	Probenahmezeit		NI	µg/Probe	mg/m³ i.N.tr.	g/h
06.12.2006	von	bis				
Teillast	09:25	09:55	30,0	<10,0	<0,3	<0,1
	10:15	10:45	30,0	<10,0	<0,3	<0,1
	10:52	11:22	30,0	<10,0	<0,3	<0,1
Volllast	11:43	12:13	30,0	<10,0	<0,3	<0,2
	12:20	12:50	30,0	<10,0	<0,3	<0,2
	13:00	13:30	30,0	<10,0	<0,3	<0,2
		BW	30,0			
Bemerkung	alle Proben lagen unterhalb der Nachweisgrenze des Verfahrens Nachweisgrenze: 10 µg/Probe					

Komponente:	Geruch						
Datum: 06.12.2006			O ₂ - Gehalt Abgas	O ₂ - Gehalt Probe	Faktor	Konzentration	Geruchsstoffstrom ⁺
Lagerzeit	Probenahmezeit		Vol. %	Vol. %		GE/m ³	MGE/h
Minuten	von	bis					
217	10:11	10:41	5,58	3,8	1,5	13186 [*]	7,10
189	10:48	11:18	5,58	3,3	1,7	12056 [*]	6,51
184	11:20	11:30	5,61	6,2	0,9	5420 [*]	2,87
194	11:50	12:00	6,40	6,3	1,0	3617	3,15
192	12:02	12:12	6,38	5,7	1,1	3761	3,27
189	12:15	12:25	6,35	5,4	1,2	1764	1,53
Bemerkung	Nachweisgrenze: 10 GE/m ³						
	Zeitpunkt der olfaktorischen Auswertung siehe IFU-Protokoll						

⁺Die Massenströme wurden aus den Mittelwerten der Volumenströme (i.N.feu.) berechnet.

^{*}Diese Geruchsstoffkonzentrationen sind nicht realistisch. Durch die hohen Abgastemperaturen ist eine Dichtung im Probenahmesystem verbrannt, wodurch die Messung der Geruchskonzentration beeinträchtigt wurde.

BHKW 2/1

Kontinuierliche Verfahren: Anorganische Gase und Gesamtkohlenstoff

Halbstundenmittelwerte vom 12.12.2006

BHKW 2/1

Volllast

Von	bis	O ₂	CO ₂	NO _x	CO	SO ₂	Ges-C
		Vol. %	Vol. %	mg/m ³ bez. 5 % O ₂	mg/m ³ bez. 5 % O ₂	mg/m ³ bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂
09:40:00	10:10:00	6,49	12,37	1023	562	296	943
10:10:00	10:40:00	6,48	12,26	1025	564	340	943
10:40:00	11:10:00	6,50	12,20	996	565	304	956
11:10:00	11:40:00	6,49	12,19	1020	563	278	947
11:40:00	12:10:00	6,44	12,16	1024	564	292	942
12:10:00	12:40:00	6,44	12,16	1045	564	322	936
12:40:00	13:10:00	6,46	12,13	1000	564	278	945

Volumenstrom, Volllast

Querschnitt der Messebene	[m ²]	0,038
Luftdruck	[hPa]	954
Abgastemperatur	[°C]	205
Feuchtegehalt	[kg/m ³]	0,130
Dichte des Abgases im Normzustand	[kg/m ³]	1,358
Dichte des Abgases im Betriebszustand	[kg/m ³]	0,689
Mittelwert des Dynamischen Druckes	[Pa]	184,0
Statischer Druck	[hPa]	0,60
Mittlere Abgasgeschwindigkeit	[m/s]	23,1
Volumenstrom		
im Betriebszustand	[m ³ /h]	3160
im Normzustand (feucht)	[m ³ /h]	1700
im Normzustand (trocken)	[m ³ /h]	1460
im Normzustand (trocken, bez. 5 % O ₂)	[m ³ /h]	1330
Abgaszusammensetzung		
Sauerstoff	[Vol. %]	6,5
Kohlendioxid	[Vol. %]	12,2
Kohlenmonoxid	[Vol. %]	<0,02
Rest als Stickstoff	[Vol. %]	81,28

Massenströme								
	von-bis	09:40-10:10	10:10-10:40	10:40-11:10	11:10-11:40	11:40-12:10	12:10-12:40	12:40-13:10
Konzentration NO _x	mg/m ³ i.N.tr	928	930	903	925	932	951	908
Massenstrom	kg/h	1,4	1,4	1,3	1,4	1,4	1,4	1,3
Konzentration CO	mg/m ³ i.N.tr	510	512	512	512	513	513	513
Massenstrom	kg/h	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Konzentration SO ₂	mg/m ³ i.N.tr	269	308	276	253	266	293	253
Massenstrom	kg/h	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Konzentration Ges-C	mg/m ³ i.N.tr	855	855	866	859	857	852	859
Massenstrom	kg/h	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2

Komponente:	Formaldehyd					
			Analysenergebnis	Konzentration	Konzentration	Massenstrom ¹
Datum	Probenahmezeit		µg/Probe	mg/m ³ i.N.tr.	mg/m ³ i.N.tr. bez. 5 % O ₂	kg/h
12.12.2006	von	bis				
Volllast	09:40	10:10	1220	40,7	44,9	0,06
	10:17	10:47	1330	44,3	48,9	0,06
	10:58	11:28	1710	57,0	62,9	0,08
	Blindwert	BW	<20	<0,7	<0,8	<0,01
Bemerkung	Nachweisgrenze: 20 µg/Probe					

¹ Die Massenströme wurden aus den Mittelwerten der Volumenströme (i.N.tr) berechnet.

Komponente:	H₂S					
			Probenvolumen	Analysenergebnis	Konzentration	Massenstrom
Datum	Probenahmezeit		NI	µg/Probe	mg/m ³ i.N.tr.	g/h
12.12.2006	von	bis				
Volllast	09:40	10:10	30,0	<10,0	<0,3	<0,4
	12:22	12:52	30,0	<10,0	<0,3	<0,4
	11:38	12:08	30,0	<10,0	<0,3	<0,4
		BW	30,0	<10,0		
Bemerkung	alle Proben lagen unterhalb der Nachweisgrenze des Verfahrens Nachweisgrenze: 10 µg/Probe					

Komponente:	Geruch						
Datum: 12.12.2006			O ₂ - Gehalt Abgas	O ₂ - Gehalt Probe	Faktor	Konzentration	Geruchsstoffstrom
Lagerzeit	Probenahmezeit		Vol. %	Vol. %		GE/m ³	MGE/h
Minuten	von	bis					
206	10:34	10:58	6,5	3,7	1,8	5400	9,18
158	11:25	11:55	6,5	3,1	2,1	6300	10,71
115	12:14	12:45	6,5	4,8	1,4	4704	8,00
Bemerkung	Nachweisgrenze: 10 GE/m ³						
	Zeitpunkt der olfaktorischen Auswertung siehe IFU – Protokoll						

*Die Massenströme wurden aus den Mittelwerten der Volumenströme (i.N.feu) berechnet.

BHKW 3/1-1

Kontinuierliche Verfahren: Anorganische Gase und Gesamtkohlenstoff

Halbstundenmittelwerte vom 10.01.2007 BHKW-3/1-1

Von	bis	O ₂ Vol. %	CO ₂	NO _x	CO ₃	SO ₂	Ges-C
		Vol. %	Vol. %	mg/m ³ bez. 5 % O ₂			i.N.tr
485 kW ca. 90 % Vollast							
9:20	9:50	7,90	11,78	790	835	109	1540
9:50	10:20	7,95	11,74	818	843	126	1242
10:20	10:50	7,99	11,69	846	845	117	1488
10:50	11:40	7,97	11,69	817	835	107	1503
266 kW-Teillast (ca. 48 %)							
11:45	12:15	7,56	12,09	816	835	107	1505
12:15	12:45	7,51	12,13	730	819	105	1763
12:45	13:15	7,52	12,14	738	825	96	1790
13:15	13:45	7,46	12,18	729	822	93	1784
13:45	14:15	7,47	12,18	717	821	98	1728
14:15	14:45	7,46	12,18	709	814	84	1842
14:45	15:15	7,50	12,16	702	820	81	1748
maximal mögliche Last 410 kW ca. 75 % Vollast							
15:15	15:45	7,78	11,91	798	858	85	1563
15:45	16:15	7,78	11,91	744	847	94	1549

Volumenangaben beziehen sich auf den Normzustand, trocken

Volumenströme

10.01.2007		Volllast	Teillast
Querschnitt der Messebene	[m²]	0,053	0,053
Luftdruck	[hPa]	994	994
Abgastemperatur	[°C]	185	152
Feuchtegehalt	[kg/m³]	0,084	0,084
Dichte des Abgases im Normzustand	[kg/m³]	1,36	1,36
Dichte des Abgases im Betriebszustand	[kg/m³]	0,8256	0,844
Mittelwert des Dynamischen Druckes*	[Pa]	245	101
Statischer Druck	[hPa]	0,4	1,8
Mittlere Abgasgeschwindigkeit	[m/s]	16,3	10,4
Volumenstrom			
im Betriebszustand	[m³/h]	3121	1980
im Normzustand (feucht)	[m³/h]	1896	1229
im Normzustand (trocken)	[m³/h]	1725	1120
im Normzustand (trocken, bez. 5 % O ₂)	[m³/h]	1407	943
Abgaszusammensetzung			
Sauerstoff	[Vol. %]	7,95	7,50
Kohlendioxid	[Vol. %]	11,74	12,16
Kohlenmonoxid	[Vol. %]	0,08	0,08
Rest als Stickstoff	[Vol. %]	80,23	80,26

*Staudruckbeiwert des Staurohres 0,67

Massenströme

Halbstundenmittelwerte vom 10.01.2007 BHKW-3/1-1

Von	bis	CO ₂	NO _x	CO	SO ₂	Ges-C
		kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h
485 kW ca. 90 % Volllast						
9:20	9:50	376	1,29	1,36	0,18	2,30
9:50	10:20	375	1,35	1,38	0,20	2,03
10:20	10:50	374	1,37	1,38	0,19	2,19
10:50	11:40	374	1,32	1,36	0,17	1,84
266 kW-Teillast (ca. 48 %)						
11:45	12:15	247	0,84	0,87	0,11	1,44
12:15	12:45	247	0,76	0,85	0,11	1,67
12:45	13:15	247	0,76	0,86	0,10	1,70
13:15	13:45	248	0,76	0,86	0,10	1,68
13:45	14:15	248	0,74	0,85	0,10	1,63
14:15	14:45	248	0,74	0,85	0,09	1,65
14:45	15:15	248	0,73	0,85	0,08	1,65
maximal mögliche Last 410 kW ca. 75 % Volllast						
15:15	15:45	381	1,31	1,40	0,14	2,29
15:45	16:15	381	1,22	1,38	0,15	2,30

Diskontinuierliche Verfahren: Partikelförmige Emissionen

Anlage: BHKW-3/1-1 / Auftragsnummer: 42/11/03/06 / Datum: 10.01.2007							
Zeit von-bis		09:33-10:03	13:34-14:04	14:08-14:38	14:42-15:12	15:17-15:47	15:49-16:19
		Volllast	Teillast	Teillast	Teillast	Volllast	Volllast
Filter-Nr.		631	632	633	634	635	636
Feuchtegrad	g/m ³	84	84	84	84	84	84
Luftdruck	mbar	994	994	994	994	994	99
t-Zähler	°C	35	30	30	32	32	32
Abges. Volumen	m ³	1,9026	1,1518	0,8872	1,0252	1,2670	1,5166
abgesaugtes Volumen	m ³ i.N.tr.	1,4316	0,8810	0,6786	0,7790	0,9627	1,1524
Trocknung 24 h klimatisierter Wäerraum							
Filtergewicht Netto	mg	0,0	0,4	0,2	0,1	0,3	0,1
Partikelkonzentration	mg/m ³ i.N.tr.	0,0	0,4	0,4	0,2	0,4	0,1
Kanaldurchmes.	m	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
Fläche	m ²	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053
mittlere Gesch.	m/s	16,3	10,0	10,0	10,0	16,3	16,3
t-Kanal	°C	185	176	176	176	185	185
p-Kanal	mbar	0,38	0,40	0,40	0,40	0,38	0,38
Volumenstrom	m ³ /h i.B.f.	3120	1911	1911	1911	3120	3120
Volumenstrom	m ³ /h i.N.f.	1836	1147	1147	1147	1836	1836
Volumenstrom	m ³ /h .N.tr.	1581	987	987	987	1581	1581
Massestrom	g/h	0,0	0,4	0,3	0,2	0,6	0,2

Komponente:	Formaldehyd						
			Probe- volumen	Analysen- ergebnis	Konzen- tration	Konzen-tration	Massen-strom
Datum	Probenahmezeit		NI	µg/Probe	mg/m³ i.N.tr.	mg/m³ i.N.tr. bez. auf 5 % O ₂	kg/h
10.01.2007	von	bis					
Volllast	09:20	09:50	30	1510	50,3	61,4	0,086
Volllast	10:11	10:41	30	2000	66,7	81,8	0,115
Volllast	10:50	11:20	30	1830	61,0	74,9	0,105
Teillast	11:54	12:25	30	1920	64,0	76,2	0,072
Teillast	12:32	13:05	30	1930	64,3	76,3	0,072
Teillast	13:26	13:58	30	1795	59,8	70,7	0,067
	Blindwert	BW	30	<20			
Bemerkung	Nachweisgrenze: 20 µg/Probe						
Komponente:	Schwefelwasserstoff H₂S						
			Probe- volumen	Analysen- ergebnis	Konzentration		Massen-strom
Datum	Probenahmezeit		NI	µg/Probe	mg/m³ i.N.tr.		g/h
10.01.2007	von	bis					
Volllast	09:20	09:50	30	<10	<0,3		<0,3
Volllast	10:11	10:41	30	<10	<0,3		<0,2
Volllast	10:50	11:20	30	<10	<0,3		<0,2
Teillast	11:54	12:25	30	<10	<0,3		<0,2
Teillast	12:32	13:05	30	<10	<0,3		<0,3
Teillast	13:26	13:58	30	<10	<0,3		<0,3
		BW	30,0	<10			
Bemerkung	alle Proben lagen unterhalb der Nachweisgrenze des Verfahrens Nachweisgrenze: 10 µg/Probe						
Komponente:	Geruch						
Datum: 10.01.2007			O ₂ - Gehalt Abgas	O ₂ - Gehalt Probe	Faktor	Konzentration	Geruchsstoffstrom ⁺
Lagerzeit	Probenahmezeit		Vol. %	Vol. %		GE/m³	MGE/h
Minuten	von	bis					
271	10:05	10:35	7,98	2,7	2,95	1120	2,12
245	10:40	11:10	7,98	2,4	3,32	1336	2,53
220	11:15	11:45	7,92	2,2	3,60	1296	2,45
198	11:48	12:18	7,55	2,3	3,28	1484	1,82
175	12:22	12:52	7,51	1,9	3,95	1422	1,75
150	12:56	13:26	7,51	1,8	4,17	1678	2,06
Bemerkung	Nachweisgrenze: 10 GE/m³						

BHKW 3/1-2

Kontinuierliche Verfahren: Anorganische Gase und Gesamtkohlenstoff

Halbstundenmittelwerte vom 31.01.2007

BHKW-3/1-2

Von	bis	O ₂ Vol. %	CO ₂	NO _x mg/m³	CO mg/m³	SO ₂ mg/m³	Ges-C
		Vol. %	Vol. %	mg/m³ i.N.tr. bez. 5 % O ₂			
526 kW Volllast							
9:00	9:30	7,62	12,39	665	802	146	1066
9:30	10:00	7,63	12,36	673	805	159	1030
10:00	10:30	7,66	12,34	681	809	160	1022
10:30	11:00	7,67	12,33	686	808	149	1035
263 kW-Teillast							
11:10	11:40	7,22	12,84	580	748	146	1470
11:40	12:10	7,19	12,84	579	762	154	1452
12:10	12:40	7,18	12,84	582	767	143	1444
12:40	13:10	7,18	12,84	593	769	130	1450
13:10	13:40	7,19	12,81	584	769	126	1486
13:40	14:10	7,19	12,81	584	769	126	1486
526 kW Volllast							
14:30	15:00	7,65	12,28	704	827	108	1045
15:00	15:30	7,68	12,26	709	823	105	1047

Volumenangaben beziehen sich auf den Normzustand, trocken

Volumenströme: * Staudruckbeiwert des Staurohres 0,67

31.01.2007		Volllast	Teillast
Querschnitt der Messebene	[m ²]	0,053	0,053
Luftdruck	[hPa]	996	996
Abgastemperatur	[°C]	258	208
Feuchtegehalt	[kg/m ³]	0,084	0,084
Dichte des Abgases im Normzustand	[kg/m ³]	1,36	1,36
Dichte des Abgases im Betriebszustand	[kg/m ³]	0,69	0,731
Mittelwert des Dynamischen Druckes*	[Pa]	465	138
Statischer Druck	[hPa]	6,8	1,8
Mittlere Abgasgeschwindigkeit	[m/s]	24,0	12,7
Volumenstrom			
im Betriebszustand	[m ³ /h]	4590	2430
im Normzustand (feucht)	[m ³ /h]	2330	1360
im Normzustand (trocken)	[m ³ /h]	2110	1230
im Normzustand (trocken, bez. 5 % O ₂)	[m ³ /h]	1760	1060
Abgaszusammensetzung			
Sauerstoff	[Vol. %]	7,66	7,19
Kohlendioxid	[Vol. %]	12,33	12,83
Kohlenmonoxid	[Vol. %]	0,064	0,061
Rest als Stickstoff	[Vol. %]	79,95	79,92

Massenströme

Halbstundenmittelwerte vom 31.01.2007

BHKW-3/1-2

Von	bis	CO ₂	NO _x	CO	SO ₂	Ges-C
		kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h
526 kW Vollast						
9:00	9:30	428	1,17	1,41	0,26	1,88
9:30	10:00	426	1,19	1,42	0,28	1,81
10:00	10:30	426	1,20	1,42	0,28	1,80
10:30	11:00	426	1,21	1,42	0,26	1,82
263 kW-Teillast						
11:10	11:40	267	0,62	0,79	0,15	1,56
11:40	12:10	267	0,62	0,81	0,16	1,54
12:10	12:40	267	0,62	0,81	0,15	1,53
12:40	13:10	267	0,63	0,82	0,14	1,54
13:10	13:40	267	0,62	0,82	0,13	1,58
13:40	14:10	267	0,62	0,82	0,13	1,58
526 kW Vollast						
14:30	15:00	424	1,24	1,46	0,19	1,84
15:00	15:30	423	1,25	1,45	0,18	1,84

Diskontinuierliche Verfahren: Partikelförmige Emissionen

Anlage	BHKW-3/1-2						
Auftragsnummer	42/11/07/06						
Datum	31.01.2007						
Zeit von-bis		08:33-09:03	12:45-13:15	13:20-13:50	13:54-14:24	14:33-15:03	15:05-15:35
		Volllast	Teillast	Teillast	Teillast	Volllast	Volllast
Filter-Nr.		637	638	640	641	642	643
Feuchtegrad	g/m³	84	84	84	84	84	84
Luftdruck	mbar	996	996	996	996	996	996
t-Zähler	°C	27,2	27	27	27	27	27,5
abgesaugtes Volumen	m³	1,1140	1,1311	1,2128	1,1661	1,1546	1,1134
abgesaugtes Volumen	m³ i.N.tr.	0,9961	1,0120	1,0851	1,0433	1,0331	0,9945
Trocknung	24 h klimatisierter Wägeraum						
Filtergewicht Netto	mg	0,2	0,1	0,3	0,3	0,5	0,3
Partikelkonzentration	mg/m³ i.N.tr.	0,2	0,1	0,3	0,3	0,5	0,3
Kanaldurchmesser	m	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
Fläche	m²	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053
mittlere Geschwindigkeit	m/s	24,1	12,7	12,7	12,7	24,1	24,1
t-Kanal	°C	258	208	208	208	258	258
p-Kanal	mbar	0,68	0,18	0,18	0,18	0,68	0,68
Volumenstrom	m³/h i.B.f.	4606	2427	2427	2427	4606	4606
Volumenstrom	m³/h i.N.f.	2330	1355	1355	1355	2330	2330
Volumenstrom	m³/h i.N.tr.	2110	1230	1230	1230	2110	2110
Massestrom	g/h	0,4	0,1	0,4	0,4	1,0	0,7
Komponente:	Formaldehyd						
			Probevolumen	Analysenergebnis	Konzentration	Massenstrom	
Datum	Probenahmezeit		NI	µg/Probe	mg/m³ i.N.tr.	kg/h	
31.01.2007	von	bis					
Volllast	09:12	09:50	30	2520	84	0,18	
Volllast	09:54	10:27	30	2670	89	0,19	
Volllast	10:30	11:04	30	2460	82	0,17	
Teillast	11:15	11:50	30	2200	73	0,09	
Teillast	11:55	12:27	30	3100	103	0,13	
Teillast	12:30	13:03	30	2670	89	0,11	
	Blindwert	BW	30	<20			
Bemerkung	Nachweisgrenze: 20 µg/Probe						

Komponente:	H ₂ S						
			Probe- volumen	Analysener- gebnis	Konzentration	Massen- strom	
Datum	Probenahmezeit		NI	µg/Probe	mg/m³ i.N.tr.	g/h	
31.01.2007	von	bis					
Volllast	09:12	09:50	30	<10	<0,3	<0,3	
Volllast	09:54	10:27	30	<10	<0,3	<0,2	
Volllast	10:30	11:04	30	<10	<0,3	<0,2	
Teillast	11:15	11:50	30	<10	<0,3	<0,2	
Teillast	11:55	12:27	30	<10	<0,3	<0,3	
Teillast	12:30	13:03	30	<10	<0,3	<0,3	
		BW	30,0	<10			
Bemerkung	alle Proben lagen unterhalb der Nachweisgrenze des Verfahrens Nachweisgrenze: 10 µg/Probe						
Komponente:	Geruch						
Datum: 31.01.2007			O ₂ -Gehalt Abgas	O ₂ -Gehalt Probe	Fak- tor	Konzent- ration	Geruchs- stoffstrom ⁺
Lagerzeit	Probenahmezeit		Vol. %	Vol. %		GE/m³	MGE/h
Minuten	von	bis					
271	09:09	09:39	7,63	3,4	2,24	1681	3,91
245	09:42	10:12	7,64	2,3	3,32	1568	3,65
220	10:14	10:44	7,67	2,6	2,95	1171	2,73
198	11:07	11:37	7,23	2,6	2,78	876	1,19
175	11:40	12:10	7,19	2,5	2,88	763	1,04
150	12:12	12:32	7,18	2,5	2,87	761	1,03
Bemerkung	Nachweisgrenze: 10 GE/m³						
	Zeitpunkt der olfaktorischen Auswertung siehe IFU-Protokoll. Die Massenströme wurden aus den Mittelwerten der Volumenströme (i.N.feu) berechnet.						

BHKW 4/1

Kontinuierliche Verfahren: Anorganische Gase und Gesamtkohlenstoff

Halbstundenmittelwerte vom 17.04.2007

BHKW 4/1

Von	bis	O ₂ Vol. %	CO ₂	NO _x mg/m ³	CO mg/m ³	SO ₂ mg/m ³	Ges-C
		Vol. %	Vol. %	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂
9:00	9:30	5,53	14,12	882	438	5	254
9:30	10:00	5,29	14,27	978	431	7	236
10:00	10:30	5,26	14,25	993	432	9	232
10:30	11:00	5,35	14,15	918	433	10	239
11:00	11:30	5,17	14,43	649	456	10	359
11:30	12:00	5,63	14,05	331	459	12	465
12:00	12:30	5,60	14,08	339	459	12	462
12:30	13:00	5,62	14,03	339	460	12	468
13:00	13:30	5,81	13,94	389	467	12	434

Volumenangaben beziehen sich auf den Normzustand, trocken

Diskontinuierliche Verfahren: Volumenströme:

17.04.2007		Volllast	Teillast
Querschnitt der Messebene	[m ²]	0,053	0,053
Luftdruck	[hPa]	982	982
Abgastemperatur	[°C]	492	505
Feuchtegehalt	[kg/m ³]	0,055	0,055
Dichte des Abgases im Normzustand	[kg/m ³]	1,371	1,370
Dichte des Abgases im Betriebszustand	[kg/m ³]	0,467	0,457
Mittelwert des Dynamischen Druckes*	[Pa]	97,3	30,6
Statischer Druck	[hPa]	10,33	6,40
Mittlere Abgasgeschwindigkeit	[m/s]	20,3	11,5
Volumenstrom			
im Betriebszustand	[m ³ /h]	3890	2210
im Normzustand (feucht)	[m ³ /h]	1350	751
im Normzustand (trocken)	[m ³ /h]	1260	703
im Normzustand (trocken, bez. 5 % O ₂)	[m ³ /h]	1232	674
Abgaszusammensetzung			
Sauerstoff	[Vol. %]	5,5	5,7
Kohlendioxid	[Vol. %]	14,2	14,1
Kohlenmonoxid	[Vol. %]	<0,02	<0,02
Rest als Stickstoff	[Vol. %]	80,28	80,27

Massenströme

Halbstundenmittelwerte vom 17.04.2007

BHKW 4/1

Von	bis	CO ₂	NO _x	CO	SO ₂	Ges-C
		kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h
9:00	9:30	341	1,09	0,54	0,01	0,31
9:30	10:00	345	1,21	0,53	0,01	0,29
10:00	10:30	344	1,22	0,53	0,01	0,29
10:30	11:00	342	1,13	0,53	0,01	0,29
11:00	11:30	191	0,44	0,31	0,01	0,24
11:30	12:00	186	0,22	0,31	0,01	0,31
12:00	12:30	186	0,23	0,31	0,01	0,31
12:30	13:00	185	0,23	0,31	0,01	0,32
13:00	13:30	184	0,26	0,31	0,01	0,29

Formaldehyd

Datum: 17.04.2007			Probe- volumen	Analysen- ergebnis	Konzent- ration	Konzent- ration bez. 5 % O ₂	Mas- sen- strom
Sorbens	bidestilliertes Wasser		NI	µg/Probe	mg/m³	mg/m³	kg/h
	Zeit	Probe					
	09:00-09:30	G1/G2	30,0	1060	35,3	36,1	0,04
	09:40-10:10	H1/H2	30,0	949	31,6	32,3	0,04
	10:15-10:45	I1/I2	30,0	1200	40,0	40,9	0,05
	11:22-11:52	L1/L2	30,0	1490	49,7	51,8	0,03
	12:05-12:35	M1/M2	30,0	1660	55,3	57,7	0,04
	12:45-13:15	N1/N2	30,0	1670	55,7	58,1	0,04

Bemerkung: Nachweisgrenze: 20 µg/Probe

Der Leerwert entspricht der Formaldehydkonzentration in der Umgebungsluft.

Schwefelwasserstoff

Datum: 17.04.2007			Probe- volumen	Analysen- ergebnis	Konzen- tration	Konzen- tration bez. 5 % O ₂	Massen- strom
Sorbens	Cd-Acetat		NI	µg/Probe	mg/m³	mg/m³	g/h
	Zeit	Probe					
	09:00-09:35	A1/B1	30	<10	<0,3	<0,3	<0,42
	09:40-10:12	B1/B2	30	<10	<0,3	<0,3	<0,42
	10:15-10:45	C1/C2	30	<10	<0,3	<0,3	<0,42
	11:22-11:52	D1/D2	30	<10	<0,3	<0,3	<0,23
	12:05-12:35	E1/E2	30	<10	<0,3	<0,3	<0,23
	12:45-13:18	F1/F2	30	<10	<0,3	<0,3	<0,23

Bemerkung: Nachweisgrenze: 10 µg/Probe

Geruch

Datum:	17.04.2007		O ₂ -Gehalt Abgas	O ₂ -Gehalt Probe	eingest. Faktor*	rechn. Faktor**	Konzentration	Geruchsstoffstrom +
Lagerzeit	Probenahmezeit		Vol. %	Vol. %			GE/m ³	MGE/h
hh:mm	von	bis						
04:38	09:28	09:58	5,29	6,4	1,0	0,8	6350	8,6
04:12	10:02	10:32	5,26	9,4	1,0	0,6	5990	8,1
03:47	10:36	11:06	5,35	6,8	1,0	0,8	5040	6,8
03:39	11:22	11:52	5,63	9	1,0	0,6	3000	2,3
03:10	11:59	12:29	5,60	10,1	1,0	0,6	1890	1,4
02:47	12:33	13:03	5,62	11,1	1,0	0,5	1590	1,2

Bemerkung: Nachweisgrenze: 10 GE/m³

BHKW 5/1

Kontinuierliche Verfahren: Anorganische Gase und Gesamtkohlenstoff

Halbstundenmittelwerte vom 24.04.2007

BHKW 5/1

von	bis	O ₂ Vol. %	CO ₂	NO _x mg/m ³	CO mg/m ³	SO ₂ mg/m ³	Ges-C
		Vol. %	Vol. %	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂
9:00	9:30	6,77	12,71	331	907	113	786
9:30	10:00	6,72	12,74	343	908	120	779
10:00	10:30	6,71	12,75	347	909	113	772
10:30	11:00	6,68	12,77	351	911	112	759
11:00	11:30	6,63	12,81	342	885	107	800
11:30	12:00	6,68	12,76	324	857	112	810
12:00	12:30	6,68	12,77	320	855	112	795
12:30	13:00	6,66	12,80	321	858	118	796

Volumenangaben beziehen sich auf den Normzustand, trocken

Diskontinuierliche Verfahren: Volumenströme

Volumenstromangaben wurden dem Datenblatt des Herstellers entnommen. Die Messung war aus örtlichen Gegebenheiten nicht möglich.

24.04.2007		Volllast	Teillast
Querschnitt der Messebene	[m ²]		
Luftdruck	[hPa]	995	995
Abgastemperatur	[°C]	530	540
Feuchtegehalt	[kg/m ³]	0,137	0,137
Dichte des Abgases im Normzustand	[kg/m ³]	1,37	1,37
Dichte des Abgases im Betriebszustand	[kg/m ³]	0,467	0,457
Mittelwert des Dynamischen Druckes*	[Pa]		
Statischer Druck	[hPa]		
Mittlere Abgasgeschwindigkeit	[m/s]		
Volumenstrom			
im Betriebszustand	[m ³ /h]		
im Normzustand (feucht)	[m ³ /h]	2100	2000
im Normzustand (trocken)	[m ³ /h]	1794	1709
im Normzustand (trocken, bez. 5 % O ₂)	[m ³ /h]	1605	1528
Abgaszusammensetzung			
Sauerstoff	[Vol. %]	6,69	6,69
Kohlendioxid	[Vol. %]	12,7	12,8
Kohlenmonoxid	[Vol. %]	<0,02	<0,02
Rest als Stickstoff	[Vol. %]	80,57	80,53

Massenströme

Halbstundenmittelwerte vom 24.04.2007
BHKW 5/1

Von	bis	CO ₂	NO _x	CO	SO ₂	Ges-C
		kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h
9:00	9:30	400	0,53	1,46	0,18	1,26
9:30	10:00	401	0,55	1,46	0,19	1,25
10:00	10:30	401	0,56	1,46	0,18	1,24
10:30	11:00	402	0,56	1,46	0,18	1,22
11:00	11:30	384	0,52	1,35	0,16	1,22
11:30	12:00	382	0,49	1,31	0,17	1,24
12:00	12:30	382	0,49	1,31	0,17	1,21
12:30	13:00	383	0,49	1,31	0,18	1,22

Formaldehyd

Datum: 24.04.2007			Probe- volumen	Analysen- ergebnis	Konzen- tration	Konzen- tration bez. 5 % O ₂	Massen- strom
Sorbens	bidestilliertes Wasser		NI	µg/Probe	mg/m³	mg/m³	kg/h
	Zeit	Probe					
	09:00-09:30	G1/G2	30,0	2880	96,0	107,4	0,15
	09:35-10:08	H1/H2	30,0	3430	114,3	127,9	0,18
	10:15-10:50	I1/I2	30,0	3460	115,3	129,0	0,19
	11:13-11:45	K1/K2	30,0	3450	115,0	128,6	0,18
	11:50-12:25	L1/L2	30,0	3300	110,0	123,0	0,17
	12:30-13:00	M1/M2	30,0	3240	108,0	120,8	0,17

Bemerkung: Nachweisgrenze: 20 µg/Probe
Der Leerwert entspricht der Formaldehydkonzentration in der Umgebungsluft.

Schwefelwasserstoff (H₂S)

Da bei der ersten Probe keine Gelbfärbung der Sorptionslösung erkennbar war, wurden keine weiteren Proben entnommen und die Sorptionslösung nicht analysiert. Die Schwefelwasserstoffkonzentration im Abgas ist kleiner als die Nachweisgrenze von 0,3 mg/m³.

Geruch:			O ₂ -Gehalt Abgas	O ₂ -Gehalt Probe	Einst.-Faktor*	rechn. Faktor**	Konzentration	Geruchsstoffstrom+
Datum	24.04.2007							
Lagerzeit	Probenahmezeit		Vol. %	Vol. %			GE/m ³	MGE/h
hh:mm	von	bis						
04:53	9:10	9:42	6,77	8,1	1,0	0,8	1888	4,0
04:24	9:47	10:19	6,72	8,2	1,0	0,8	1414	3,0
03:56	10:24	10:56	6,71	8,4	1,0	0,8	1888	4,0
03:45	11:13	11:45	6,68	8,1	1,0	0,8	1587	3,2
03:18	11:48	12:20	6,63	8,0	1,0	0,8	1414	2,8
02:55	12:22	12:54	6,68	8,0	1,0	0,8	1888	3,8
Bemerkung			Nachweisgrenze: 10 GE/m ³					

BHKW 6/1 und 6/2

Kontinuierliche Verfahren: Anorganische Gase und Gesamtkohlenstoff

Halbstundenmittelwerte vom 08.05.2007

BHKW 6/2

Von	bis	O ₂ Vol. %	CO ₂	NO _x mg/m ³	CO mg/m ³	SO ₂ mg/m ³	Ges-C
		Vol. %	Vol. %	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂
8:47	9:17	5,68	13,07	909	580	381	544
9:17	9:47	6,28	12,59	461	567	409	628
9:47	10:17	6,32	12,57	441	580	368	632
10:17	10:47	6,31	12,58	451	593	279	634
10:47	11:17	6,61	12,38	297	604	241	770
11:17	11:47	6,91	12,24	134	611	318	884
11:47	12:17	6,86	12,34	143	609	330	865
12:17	12:47	6,84	12,40	148	612	353	864
12:47	13:17	6,86	12,47	143	607	395	863
13:17	13:47	6,83	12,57	141	609	469	855
13:47	14:17	6,85	12,66	139	605	578	857

Volumenangaben beziehen sich auf den Normzustand, trocken

Halbstundenmittelwerte vom 09.05.2007

BHKW 6/1

Von	bis	O ₂ Vol. %	CO ₂	NO _x mg/m ³	CO mg/m ³	SO ₂ mg/m ³	Ges-C
		Vol. %	Vol. %	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂
8:32	9:02	6,08	12,95	508	551	377	673
9:02	9:32	6,08	12,94	510	569	410	647
9:32	10:02	6,11	12,93	518	591	390	667
10:02	10:32	6,10	12,97	520	559	357	668
10:32	11:02	6,35	12,83	209	501	307	786
11:02	11:32	6,27	12,99	209	502	325	786
11:32	12:02	6,36	13,01	162	492	383	790
12:02	12:32	6,42	13,11	163	499	493	775
12:32	13:02	6,40	13,26	145	495	505	779
13:02	13:32	6,38	13,40	134	491	531	782
13:32	14:02	6,44	13,49	117	495	596	798
14:02	14:32	6,21	13,78	254	514	661	659
14:32	15:02	6,21	13,88	254	510	652	641
15:02	15:32	6,22	14,01	222	499	631	642

Volumenangaben beziehen sich auf den Normzustand, trocken

Massenströme

Halbstundenmittelwerte vom 08.05.2007

BHKW 6/ 2

Von	bis	CO ₂	NO _x	CO	SO ₂	Ges-C
		kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h
8:47	9:17	119	0,42	0,27	0,18	0,25
9:17	9:47	114	0,21	0,26	0,19	0,29
9:47	10:17	114	0,20	0,27	0,17	0,29
10:17	10:47	114	0,21	0,27	0,13	0,29
10:47	11:17	70	0,09	0,17	0,07	0,22
11:17	11:47	69	0,04	0,18	0,09	0,26
11:47	12:17	70	0,04	0,18	0,10	0,25
12:17	12:47	70	0,04	0,18	0,10	0,25
12:47	13:17	71	0,04	0,18	0,11	0,25
13:17	13:47	71	0,04	0,18	0,14	0,25
13:47	14:17	72	0,04	0,17	0,17	0,25

Volumenströme: siehe Tabelle Staubbemessung

Halbstundenmittelwerte vom 09.05.2007
BHKW 6/1

von	bis	CO ₂	NO _x	CO	SO ₂	Ges-C
		kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h
8:32	9:02	100	0,20	0,22	0,15	0,27
9:02	9:32	100	0,20	0,22	0,16	0,26
9:32	10:02	100	0,21	0,23	0,15	0,26
10:02	10:32	101	0,21	0,22	0,14	0,26
10:32	11:02	54	0,04	0,11	0,07	0,17
11:02	11:32	55	0,04	0,11	0,07	0,17
11:32	12:02	55	0,03	0,11	0,08	0,17
12:02	12:32	55	0,04	0,11	0,11	0,17
12:32	13:02	56	0,03	0,11	0,11	0,17
13:02	13:32	56	0,03	0,11	0,11	0,17
13:32	14:02	57	0,03	0,11	0,13	0,17
14:02	14:32	58	0,05	0,11	0,14	0,14
14:32	15:02	58	0,05	0,11	0,14	0,14
15:02	15:32	59	0,05	0,11	0,14	0,14

Volumenströme: siehe Tabelle Staubbmessung

Diskontinuierliche Verfahren: Gesamtstaub

Anlage	BHKW 6/2			
Auftragsnummer	42/11/11/06			
Datum	08.09.2007			
Zeit von-bis	13:05-13:35 13:44-14:14 14:20-14:50			
	Teillast Teillast Teillast			
abgesaugtes Volumen	m ³	1,3106	1,3090	1,2768
abgesaugtes Volumen	m ³ i.N.tr.	1,1573	1,1559	1,1275
Trocknung	>24 h Wägeraum			
Partikelkonzentration	mg/m ³ i.N.tr.	1,7	1,4	2,3
Volumenstrom	m ³ /h i.B.f.	570	570	570
Volumenstrom	m ³ /h i.N.f.	327	327	327
Volumenstrom	m ³ /h i.N.tr.	289	289	289
Massestrom	g/h	0,5	0,4	0,7

Anlage	BHKW 6/2			
Auftragsnummer	42/11/11/06			
Datum	09.05.2007			
Zeit von-bis	07:31-08:01 08:10-08:35 09:49-10:19			
	Volllast Volllast Volllast			
abgesaugtes Volumen	m ³	1,9466	1,6920	2,0096
abgesaugtes Volumen	m ³ i.N.tr.	1,7305	1,5041	1,7805
Trocknung	>24 h Wägeraum			
Partikelkonzentration	mg/m ³ i.N.tr.	0,3	0,6	<0,1
Volumenstrom	m ³ /h i.B.f.	945	945	945
Volumenstrom	m ³ /h i.N.f.	500	500	500
Volumenstrom	m ³ /h i.N.tr.	447	447	447
Massestrom	g/h	0,1	0,3	<0,1

Anlage	BHKW 6/1			
Auftragsnummer	42/11/12/06			
Datum	09.05.2007			
Zeit von-bis	12:31-13:01 13:04-13:34 13:37-14:07			
	Teillast Teillast Teillast			
Filter-Nr.	674 675 680			
abgesaugtes Volumen	m³	0,8198	0,9190	0,9428
abgesaugtes Volumen	m³ i.N.tr.	0,7271	0,8123	0,8306
Trocknung	>24 h Wägeraum			
Partikelkonzentration	mg/m³ i.N.tr.	0,1	<0,1	0,6
Volumenstrom	m³/h i.B.f.	489	489	489
Volumenstrom	m³/h i.N.f.	279	279	279
Volumenstrom	m³/h i.N.tr.	243	243	243
Massestrom	g/h	<0,1	<0,1	0,1

Anlage		BHKW 6/1						
Auftragsnummer		42/11/12/06						
Datum		09.05.2007						
Zeit von-bis		14:12-14:42	14:45--15:15	15:18-15:48				
		Volllast	Volllast	Volllast				
abgesaugtes Volumen	m³	2,0358	1,9860	2,0300				
abgesaugtes Volumen	m³ i.N.tr.	1,7835	1,7117	1,7383				
Trocknung		>24 h Wägeraum						
Partikelkonzentration	mg/m³ i.N.tr.	0,3	0,2	0,1				
Volumenstrom	m³/h i.B.f.	875	875	875				
Volumenstrom	m³/h i.N.f.	471	471	471				
Volumenstrom	m³/h i.N.tr.	424	424	424				
Massestrom	g/h	0,1	0,1	<0,1				
Formaldehyd BHKW 6/2		Probe-	Analysen-	Konzen-	Konzentra-			
		volumen	ergebnis	tration	tion			
	Sorbens	bidestilliertes Wasser	NI	µg/Probe	mg/m³	bez. 5 %	Massen-	
	Datum	Zeit	Probe			O₂	strom	
	08.05.2007	08:47-09:17	G1/G2	30,0	1540	51,3	55,3	0,03
		09:25-09:55	H1/H2	30,0	1640	54,7	58,9	0,03
		10:00-10:30	I1/I2	30,0	1780	59,3	63,9	0,03
		11:04-11:34	K1/K2	30,0	2080	69,3	78,5	0,02
		11:38-12:08	L1/L2	30,0	2340	78,0	88,3	0,03
		12:13-12:43	M1/M2	30,0	2230	74,3	84,1	0,02

Bemerkung: Nachweisgrenze: 20 µg/Probe
Der Leerwert entspricht der Formaldehydkonzentration in der Umgebungsluft.

Formaldehyd BHKW 6/1			Probe- volumen	Analysen- ergebnis	Konzen- tration	Konzen- tration bez. 5 % O ₂	Massen- strom
Sorbens	bidestilliertes Wasser		NI	µg/Probe	mg/m ³	mg/m ³	kg/h
Datum	Zeit	Probe					
09.05.2007	08:38-09:08	G1/G2	30,0	1610	53,7	57,6	0,02
	09:12-09:42	H1/H2	30,0	1420	47,3	50,8	0,02
	09:47-10:17	I1/I2	30,0	2110	70,3	75,5	0,03
	10:40-11:10	K1/K2	30,0	1680	56,0	63,4	0,01
	11:14-11:44	L1/L2	30,0	1560	52,0	58,8	0,01
	11:48-12:18	M1/M2	30,0	1460	48,7	55,1	0,01

Bemerkung: Nachweisgrenze: 20 µg/Probe

Schwefelwasserstoff (H₂S)

Da bei beiden Motoren bei der ersten Probe keine Gelbfärbung der Sorptionslösung erkennbar war, wurden keine weiteren Proben entnommen und die Sorptionslösung nicht analysiert. Die Schwefelwasserstoffkonzentration im Abgas ist kleiner der Nachweisgrenze von 0,3 mg/m³.

Geruch BHKW 6/2

Datum:	08.05.2007		O ₂ -Gehalt Abgas	O ₂ -Gehalt Probe	eingest. Faktor	rechn. Faktor	Konzen- tration	Geruchs- stoffstrom+
Lagerzeit	Probenahmezeit		Vol. %	Vol. %			GE/m ³	MGE/h
hh:mm	von	bis						
06:38	08:48	09:19	6,77	7,7	1,0	0,9	4760	4,5
06:12	09:21	09:53	6,72	7,8	1,0	0,9	2000	1,9
05:48	09:54	10:27	6,71	8,6	1,0	0,8	1410	1,3
05:07	11:04	11:35	6,68	9,5	1,0	0,7	2520	1,4
04:43	11:37	12:07	6,63	9,5	1,0	0,7	2120	1,2
04:17	12:09	12:40	6,68	9,2	1,0	0,7	1890	1,1
Bemerkung	Nachweisgrenze: 10 GE/m ³							
	Zeitpunkt der olfaktorischen Auswertung siehe IFU-Protokoll							

Geruch BHKW 6/1

Datum:	09.05.2007		O ₂ -Gehalt Abgas	O ₂ - Gehalt Probe	eingest. Faktor	rechn. Faktor	Konzen- tration	Geruchs- stoffstrom+
Lagerzeit	Probenahmezeit		Vol. %	Vol. %			GE/m ³	MGE/h
hh:mm	von	bis						
05:22	08:30	09:02	5,68	7,3	1,0	0,8	3000	1,4
04:55	09:06	09:38	6,28	8,2	1,0	0,8	3000	1,4
04:29	09:40	10:12	6,32	7,6	1,0	0,8	2830	1,3
03:58	10:37	11:09	6,61	7,9	1,0	0,8	5040	1,4
03:32	11:12	11:44	6,91	8,0	1,0	0,9	2670	0,7
03:06	11:46	12:18	6,86	7,8	1,0	0,9	3560	1,0
Bemerk.	Nachweisgrenze: 10 GE/m ³							

BHKW 7/1

Kontinuierliche Verfahren: Anorganische Gase und Gesamtkohlenstoff

Halbstundenmittelwerte vom 03.07.2007

BHKW 7/1

Von	bis	O ₂ Vol. %	CO ₂ Vol. %	NO _x mg/m ³ mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	CO mg/m ³ mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	SO ₂ mg/m ³ mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	Ges-C mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	
10:50	11:20	7,34	11,70	486	843	135	939	t
11:20	11:50	7,34	11,73	482	840	126	923	t
11:50	12:20	7,50	11,53	480	845	122	928	v
12:20	12:50	7,38	11,69	490	847	151	940	t
12:50	13:20	7,50	11,60	501	848	132	920	v
13:20	13:50	7,65	11,36	506	848	135	927	v
13:50	14:06	7,39	11,60	516	840	162	916	t

t -Teillast; v-Vollast

Volumenangaben beziehen sich auf den Normzustand, trocken

Massenströme

Halbstundenmittelwerte vom 03.07.2007

BHKW 7/1

Von	bis	CO ₂ kg/h	NO _x kg/h	CO kg/h	SO ₂ kg/h	Ges-C kg/h	
10:50	11:20	333	0,71	1,22	0,20	1,36	t
10:50	11:20	334	0,70	1,22	0,18	1,34	t
10:50	11:20	367	0,78	1,37	0,20	1,51	v
10:50	11:20	333	0,71	1,23	0,22	1,36	t
10:50	11:20	369	0,81	1,38	0,21	1,50	v
10:50	11:20	362	0,82	1,38	0,22	1,51	v
10:50	11:06	330	0,75	1,22	0,24	1,33	t

Volumenströme

Von	bis	Abgas-Geschw m/s	Volumenstrom m ³ /h i. B. Di=270 mm A=0,057 m ²	t-Abgas °C	P _{Luft} mbar	p _{stat.} Pa	Volumenstrom m ³ /h i.N.f
10:50	11:20	15,4	3162	177,7	978,4	1250	1873
11:20	11:50	16,3	3352	179,4	978,4	1250	1979
11:50	12:20	17,3	3549	181,3	978,3	1800	2098
12:20	12:50	15,4	3154	177,8	978,0	1250	1867
12:50	13:20	17,7	3627	181,6	977,6	1800	2140
13:20	13:50	18,2	3730	182,8	977,3	1800	2195
13:50	14:06	16,2	3319	147,8	977,2	1250	2104

Diskontinuierliche Verfahren

BHKW 7/1

Formaldehyd

			Probe- volumen	Analysen- ergebnis	Konzen- tration	Konzen- tration bez. 5 % O ₂	Massen- strom
Sorbens	bidestilliertes Wasser		NI	µg/Probe	mg/m³	mg/m³	kg/h
Datum	Zeit	Probe					
03.07.2007	10:50-11:22	G1/G2	30,0	2620	87	104	0,17
	11:24-11:56	H1/H2	30,0	3340	111	132	0,22
	12:00-12:24	I1/I2	30,0	2820	94	112	0,18

Bemerkung: Nachweisgrenze: 20 µg/Probe

Schwefelwasserstoff (H₂S)

Da bei der ersten Probe keine Gelbfärbung der Sorptionslösung erkennbar war, wurden keine weiteren Proben entnommen und die Sorptionslösung nicht analysiert.

Die Schwefelwasserstoffkonzentration im Abgas ist kleiner der Nachweisgrenze von 0,3 mg/m³.

Geruch

BHKW 7/1

Datum:	03.05.2007		O ₂ - Gehalt Abgas	O ₂ -Gehalt Probe	eingest. Faktor	rechn. Faktor	Konzen- tration	Geruchs- stoffstrom+
Lagerzeit	Probenahmezeit		Vol. %	Vol. %			GE/m³	MGE/h
hh:mm	von	bis		12:35				
04:00	10:52	11:23	7,34	7,9	1,0	0,93	4760	9,4
03:35	11:25	11:56	7,34	8,0	1,0	0,92	4760	9,4
03:07	12:00	12:32	7,45	8,0	1,0	0,93	4490	8,9
Bemerkung	Nachweisgrenze: 10 GE/m³							
	Zeitpunkt der olfaktorischen Auswertung siehe IFU-Protokoll							

BHKW 8/1

Kontinuierliche Verfahren: Anorganische Gase und Gesamtkohlenstoff

Halbstundenmittelwerte vom 17.07.2007							
BHKW 8/1							
Von	bis	O ₂ Vol. %	CO ₂	NO _x mg/m ³	CO mg/m ³	SO ₂ mg/m ³	Ges-C
				mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂
		Vol. %	Vol. %				
Teillast							
10:19	10:49	7,67	11,63	384	668	493	1301
10:49	11:19	7,78	11,50	369	668	496	1319
11:19	11:49	7,92	11,36	344	667	462	1360
11:49	12:14	8,04	11,24	324	674	432	1386
Volllast							
12:19	12:49	7,73	11,48	503	696	476	1217
12:49	13:19	7,75	11,46	499	698	475	1221
13:19	13:49	7,66	11,51	564	705	459	1178
13:49	14:19	7,68	11,52	583	707	412	1170
14:19	14:36	7,39	11,74	807	715	447	1078

Volumenangaben beziehen sich auf den Normzustand, trocken

Massenströme

Halbstundenmittelwerte vom 17.07.2007						
BHKW 8/1						
Von	bis	CO ₂	NO _x	CO	SO ₂	Ges-C
		kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h
Teillast						
10:19	10:49	198	0,33	0,58	0,43	1,13
10:19	10:49	196	0,32	0,58	0,43	1,15
10:19	10:49	194	0,30	0,58	0,40	1,18
10:19	10:49	192	0,28	0,59	0,38	1,21
Volllast						
12:19	12:49	231	0,52	0,71	0,49	1,25
12:19	12:49	231	0,51	0,72	0,49	1,25
12:19	12:49	232	0,58	0,72	0,47	1,21
12:19	12:49	232	0,60	0,73	0,42	1,20
12:19	12:49	236	0,83	0,73	0,46	1,11

Diskontinuierliche Verfahren: Volumenströme

Volumenstrom					Teillast	Volllast
17.07.2007						
Feuchtegrad	120	g/m ³ i.N.tr	O ₂	Vol. %	7,74	7,64
im Normzustand (feucht)				[m ³ /h]	1210	1410
im Normzustand (trocken)				[m ³ /h]	1050	1230
			O ₂ -bezogen	[m ³ /h]	870	1027

Partikelförmige Emissionen als Gesamtstaub

Anlage	BHKW 8/1					
Auftragsnummer	42/11/16/06					
Datum	22.08.2007					
Zeit von-bis		08:57-09:37	09:44-10:15	10:22-10:54	10:57-11:28	Blindwert
		Volllast	Volllast	Volllast	Volllast	
Filter-Nr.		4,2-828	5,2-334	5,2-1138	5,2-1132	4,2-924
Feuchtegrad	g/m³	117	117	117	117	117
Luftdruck	mbar	997	997	998	998	998
abgesaugtes Volumen	m³	0,731	0,882	0,9	0,903	0,854
abgesaugtes Volumen	m³ i.N.tr.	0,359	0,427	0,436	0,447	0,363
Trocknung	1h bei 160 °C					
Filtergewicht Tara	mg	17669,2	16863,8	17346,2	17834,7	17231,0
Filtergewicht Brutto	mg	17670,0	16864,6	17346,5	17835,1	17231,0
Filtergewicht Netto	mg	0,8	0,8	0,3	0,4	0,0
Partikelkonzentration	mg/m³ i.N.tr.	2,2	1,9	0,7	0,9	0,0
Sauerstoffgehalt	Vol. %	7,35	7,35	7,32	7,42	7,36
Partikelkonzentration (bez. 5 % O ₂)	mg/m³ i.N.tr.	2,4	2,0	0,7	0,9	0,0
Kanaldurchmesser	m	0,20	0,20	0,20	0,20	0,14
Fläche	m²	0,031	0,031	0,031	0,031	0,015
mittlere Geschwindigkeit	m/s	22,7	23,1	23,0	23,7	23,1
t-Kanal	°C	208	213	214	208	211
p-Kanal	mbar	3	3	2	3	3
Volumenstrom	m³/h i.B.f.	2566	2611	2600	2679	
Volumenstrom	m³/h i.N.f.	1441	1446	1440	1504	
Volumenstrom	m³/h i.N.tr.	1259	1264	1259	1315	
Staubmassenstrom	g/h	2,8	2,4	0,9	1,2	0,0

Formaldehyd

		Probe- volumen	Analysen- ergebnis	Konzen- tration	Konzen- tration bez. 5 % O ₂	Massen- strom
Sorbens	bidestilliertes Wasser	NI	µg/Probe	mg/m³	mg/m³	kg/h
Datum	Zeit	Probe				
17.07.2007		Teillast				
	10:22-10:52	G1/G2	30,0	2710	90,3	109,0
	10:55-11:28	H1/H2	30,0	2630	87,7	105,7
	11:13-12:05	I1/I2	30,0	2770	92,3	111,4
		Volllast				
	12:22-12:56	K1/K2	30,0	1850	61,7	73,9
	13:05-13:42	L1/L2	30,0	2760	92,0	110,2
	14:00-14:33	M1/M2	30,0	2540	84,7	101,4

Bemerkung: Nachweisgrenze: 20 µg/Probe

Schwefelwasserstoff (H₂S)

Da bei der ersten Probe keine Gelbfärbung der Sorptionslösung erkennbar war, wurden keine weiteren Proben entnommen und die Sorptionslösung nicht analysiert. Die Schwefelwasserstoffkonzentration im Abgas ist kleiner der Nachweisgrenze von 0,3 mg/m³.

Geruch

BHKW 8/1

Datum:	17.07.2007		O ₂ -Gehalt Abgas	O ₂ -Gehalt Probe	eingest. Faktor	rechn. Faktor	Konzentration	Geruchsstoffstrom
Lagerzeit	Probenahmezeit		Vol. %	Vol. %			GE/m ³	MGE/h
hh:mm	von	bis						
	Teillast							
04:25	10:18	10:48	7,67	7,8	1	1,02	3000	3,63
04:01	10:52	11:22	7,78	7,8	1	1,00	3000	3,63
03:37	11:25	11:55	7,92	8,1	1	1,02	2380	2,88
	Vollast							
03:20	12:18	12:48	7,73	8,1	1	1,05	3560	5,0
02:55	12:52	13:22	7,75	7,9	1	1,02	2520	3,6
02:29	13:28	13:58	7,67	7,8	1	1,02	2830	4,0

BHKW 9/3 und 9/4

Kontinuierliche Verfahren: Anorganische Gase und Gesamtkohlenstoff

Halbstundenmittelwerte vom 28.08.2007

Von	bis	O ₂ Vol. %	CO ₂	NO _x mg/m ³	CO mg/m ³	SO ₂ mg/m ³	Ges-C
		Vol. %	Vol. %	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂
BHKW 9/3							
9:12	9:42	5,89	13,11	2002	654	12	487
9:42	10:12	5,73	13,24	3550	559	14	243
10:12	10:42	5,75	13,27	3475	560	14	247
10:42	11:12	5,75	13,31	3463	562	14	247
BHKW 9/4							
12:12	12:42	6,85	12,37	714	579	13	378
12:42	13:12	6,82	12,42	743	574	13	374
13:12	13:42	6,81	12,43	752	572	13	381
13:42	14:05	6,88	12,45	760	565	13	361

Volumenangaben beziehen sich auf den Normzustand, trocken

Massenströme

Halbstundenmittelwerte vom 28.08.2007

Von	bis	CO ₂	NO _x	CO	SO ₂	Ges-C
BHKW 9/3		kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h
9:12	9:42	272	2,12	0,69	0,01	0,52
9:42	10:12	275	3,76	0,59	0,01	0,26
10:12	10:42	276	3,68	0,59	0,01	0,26
10:42	11:12	276	3,67	0,60	0,01	0,26
BHKW 9/4						
12:12	12:42	255	0,75	0,61	0,01	0,40
12:42	13:12	256	0,78	0,60	0,01	0,39
13:12	13:42	256	0,79	0,60	0,01	0,40
13:42	14:05	257	0,80	0,59	0,01	0,38

Volumenströme

Die Messung der Volumenströme war nicht möglich, die örtlichen Strömungsverhältnisse ließen eine Geschwindigkeitsmessung nicht zu. Die Volumenstromberechnung erfolgte nach der Verbrennungsrechnung nach Boie, aus dem Gasverbrauch des BHKW 4, für das BHKW 3 wird der Gasverbrauch messtechnisch nicht erfasst. Der Gasverbrauch für das BHKW 3 wurde leistungsproportional aus dem Gasverbrauch des BHKW 4 abgeleitet.

		Deponiegas	BHKW 9/3	BHKW 9/4
Sauerstoff			5,78	6,84
Lambda	1	1,55	1,41	1,52
L	Nm³ Luft /Nm³ BG	5,1703	4,9719	5,3598
Vf'	Nm³ RG i.f. / Nm³ BG	6,0846	5,8972	6,2872
Vt'	Nm³ RG i.t. /Nm³ BG	5,5107	5,2644	5,6522
Gasverbrauch	m³/h		180	198
Gastemperatur	°C		24	24
Gasdruck	mBar		0,8	0,4
Gasverbrauch	Nm³/h		160,4	176,3
Volumenstrom	m³/h i.N.f		946	1109
Volumenstrom	m³/h i.N.tr		844	997

		BHKW 9/3	BHKW 9/4
Feuchtegrad	g/m³ i.N.tr	180	210
O ₂	Vol. %	5,78	6,84
Volumenstrom	m³/h i.N.feu	946	1109
	m³/h i.N.tr.	773	879
O ₂ -bezogen	m³/h i.N.tr.	735	778

Diskontinuierliche Verfahren

Formaldehyd

	AHMT-Verfahren		Probe- volumen	Analysen- ergebnis	Konzen- tration	Konzen- tration bez. 5 % O ₂	Massen- strom
Sorbens	bidestilliertes Wasser		Nl	µg/Probe	mg/m³	mg/m³	kg/h
Datum	Zeit	Probe					
BHKW 3							
28.08.2007	09:38-10:10	G1/G2	30,0	2220	74,0	77,8	0,06
	10:13-10:46	H1/H2	30,0	940	31,3	32,9	0,02
	10:48-11:20	I1/I2	30,0	1130	37,7	39,6	0,03
BHKW 4							
28.08.2007	12:15-12:47	K1/K2	30,0	2070	69,0	78,0	0,06
	12:50-13:25	L1/L2	30,0	1350	45,0	50,8	0,04
	13:37-14:09	M1/M2	30,0	1650	55,0	62,1	0,05

Bemerkung: Nachweisgrenze: 20 µg/Probe

Schwefelwasserstoff (H₂S)

Da bei der ersten Probe keine Gelbfärbung der Sorptionslösung erkennbar war, wurden keine weiteren Proben entnommen und die Sorptionslösung nicht analysiert. Die Schwefelwasserstoffkonzentration im Abgas ist kleiner der Nachweisgrenze von 0,3 mg/m³.

Geruch

Datum:	28.08.2007		O ₂ -Gehalt Abgas	O ₂ -Gehalt Probe	eingest. Faktor	Konzentration	Geruchsstoffstrom
Lagerzeit	Probenahmezeit		Vol. %	Vol. %		GE/m ³	MGE/h
hh:mm	von	bis					
BHKW 9/4							
04:55	09:29	09:59	6,84	-	1	7127	6,7
04:28	10:03	10:33	6,84	-	1	6350	6,0
04:02	10:36	11:06	6,84	-	1	5657	5,3
BHKW 9/3							
03:24	11:40	12:10	5,78	-	1	7127	7,9
02:55	12:18	12:48	5,78	-	1	8476	9,4
02:29	12:52	13:22	5,78	-	1	5339	5,9
Bemerkung	Nachweisgrenze: 10 GE/m ³						

BHKW 10/1

Kontinuierliche Verfahren: Anorganische Gase und Gesamtkohlenstoff

Halbstundenmittelwerte vom 28.08.2007

BHKW 10/1

Von	bis	O ₂ Vol. %	CO ₂	NO _x mg/m ³	CO mg/m ³	SO ₂ mg/m ³	Ges-C
		Vol. %	Vol. %	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂
Teillast 75 kW							
9:06	9:36	4,78	14,77	226	538	3	414
9:36	10:06	4,76	14,78	224	538	4	399
10:06	10:36	4,79	14,74	222	540	5	397
10:36	11:06	4,95	14,59	273	513	6	391
Vollast 150 kW							
11:06	11:36	5,11	14,44	391	457	6	356
11:36	12:06	5,11	14,43	397	457	8	354
12:06	12:36	5,11	14,43	404	457	10	353
12:36	13:00	5,13	14,41	402	460	10	361

Volumenangaben beziehen sich auf den Normzustand, trocken

Massenströme

Halbstundenmittelwerte vom 28.08.2007

BHKW 10/1

von	bis	CO ₂	NO _x	CO	SO ₂	Ges-C
Teillast 75 kW		kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h
9:06	9:36	56	0,04	0,11	0,00	0,08
9:36	10:06	57	0,04	0,10	0,00	0,08
10:06	10:36	56	0,04	0,11	0,00	0,08
10:36	11:06	56	0,05	0,10	0,00	0,08
Volllast 150 kW						
11:06	11:36	85	0,12	0,14	0,00	0,11
11:36	12:06	85	0,12	0,14	0,00	0,11
12:06	12:36	85	0,12	0,14	0,00	0,11
12:36	13:00	85	0,12	0,14	0,00	0,11

Volumenströme

		Teillast	Volllast
Feuchtegrad	g/m ³ i.N.tr	330	330
O ₂	Vol. %	4,82	5,12
Volumenstrom	m ³ /h i.N.feu	273	429
	m ³ /h i.N.tr.	193	304
O ₂ -bezogen	m ³ /h i.N.tr.	195	302

Diskontinuierliche Verfahren

Formaldehyd

BHKW 10/1	AHMT-Verfahren		Probe- volumen	Analysen- ergebnis	Konzen- tration	Konzen- tration bez. 5 % O ₂	Massen- strom
Sorbens	bidestilliertes Wasser		NI	µg/Probe	mg/m ³	mg/m ³	kg/h
Datum	Zeit	Probe					
	Teillast						
05.09.2007		G1/G2	30,0		0,0	0,0	0,00
	09:10-09:35	H1/H2	30,0	1540,0	51,3	50,8	0,01
	09:50-10:25	I1/I2	30,0	1550,0	51,7	51,1	0,01
	Vollast						
	11:00-11:35	K1/K2	30,0	1580	52,7	53,1	0,02
	11:37-12:10	L1/L2	30,0	1660	55,3	55,8	0,02
	12:15-12:50	M1/M2	30,0	1600	53,3	53,7	0,02
Bemerkung: Nachweisgrenze: 20 µg/Probe							

Schwefelwasserstoff (H₂S)

Da bei der ersten Probe keine Gelbfärbung der Sorptionslösung erkennbar war, wurden keine weiteren Proben entnommen und die Sorptionslösung nicht analysiert. Die Schwefelwasserstoffkonzentration im Abgas ist kleiner der Nachweisgrenze von 0,3 mg/m³.

Geruch

BHKW 10/1							
Datum:	05.09.2007		O ₂ -Gehalt Abgas	O ₂ -Gehalt Probe	eingest. Faktor	Konzentration	Geruchsstoffstrom
Lagerzeit	Probenahmezeit		Vol. %	Vol. %		GE/m³	MGE/h
hh:mm	von	bis					
BHKW 4							
05:11	09:14	09:44	4,82	-	1	5340	1,5
04:45	09:48	10:18	4,82	-	1	5990	1,6
04:19	10:23	10:53	4,82	-	1	3560	1,0
BHKW 3							
04:05	11:00	11:30	5,12	-	1	5040	2,2
03:36	11:40	12:10	5,12	-	1	5040	2,2
03:10	12:14	12:44	5,12	-	1	4000	1,7
Bemerkung	Nachweisgrenze: 10 GE/m³						

BHKW 11/1 und 11/2

Kontinuierliche Verfahren: Anorganische Gase und Gesamtkohlenstoff

Halbstundenmittelwerte vom 27.11.2007

von	bis	O ₂ Vol. %	CO ₂	NO _x mg/m ³	CO mg/m ³	SO ₂ mg/m ³	Ges-C
				mg/m ³ i.N.tr. bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr. bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr. bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr. bez. 5 % O ₂
Volllast 350 kW BHKW11/2							
09:30	10:00	5,78	14,48	672	364	71	359
10:00	10:30	5,78	14,48	667	363	78	362
10:30	11:00	5,79	14,46	658	363	71	363
11:00	11:30	5,80	14,43	659	362	64	364
11:30	12:00	5,80	14,39	682	362	58	362
12:00	12:30	5,84	14,30	675	362	51	365
12:30	13:00	5,92	14,17	648	364	48	366

Halbstundenmittelwerte vom 12.12.2007

von	bis	O ₂ Vol. %	CO ₂	NO _x mg/m ³	CO mg/m ³	SO ₂ mg/m ³	Ges-C
				mg/m ³ i.N.tr. bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr. bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr. bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr. bez. 5 % O ₂
Volllast 350 kW BHKW 11/2							
08:45	09:15	6,29	13,67	516	380	57	273
09:15	09:45	6,30	13,63	507	380	47	275
09:45	10:15	6,29	13,62	514	380	49	277
10:15	10:45	6,30	13,60	510	380	47	278
Teillast 300 kW BHKW11/1							
11:15	11:45	6,22	13,67	924	439	51	508
11:45	12:15	6,24	13,66	923	442	57	518
12:15	12:45	6,16	13,74	1008	440	52	509
12:45	13:15	6,18	13,72	985	440	55	514

Volumenangaben beziehen sich auf den Normzustand, trocken.

Massenströme

Halbstundenmittelwerte vom 27.11.2007

von	bis	CO ₂	NO _x	CO	SO ₂	Ges-C
		kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h
Volllast 350 kW BHKW 11/2						
09:30	10:00	382	0,91	0,49	0,10	0,48
10:00	10:30	382	0,90	0,49	0,10	0,49
10:30	11:00	382	0,89	0,49	0,10	0,49
11:00	11:30	381	0,89	0,49	0,09	0,49
11:30	12:00	380	0,92	0,49	0,08	0,49
12:00	12:30	378	0,91	0,49	0,07	0,49
12:30	13:00	374	0,87	0,49	0,06	0,49

Halbstundenmittelwerte vom 12.12.2007

von	bis	CO ₂	NO _x	CO	SO ₂	Ges-C
		kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h
Vollast 350 kW BHKW 11/2						
08:45	09:15	362	0,71	0,52	0,08	0,37
09:15	09:45	361	0,69	0,52	0,06	0,38
09:45	10:15	361	0,70	0,52	0,07	0,38
10:15	10:45	360	0,70	0,52	0,06	0,38
Teillast 300 kW BHKW 11/1						
11:15	11:45	362	1,22	0,58	0,07	0,67
11:45	12:15	362	1,21	0,58	0,07	0,68
12:15	12:45	364	1,33	0,58	0,07	0,67
12:45	13:15	364	1,30	0,58	0,07	0,68

Volumenströme

Die Messung der Volumenströme war nicht möglich, die örtlichen Strömungsverhältnisse ließen eine Geschwindigkeitsmessung nicht zu. Die Volumenstromberechnung erfolgte nach der Verbrennungsrechnung nach Boie, aus dem Gasverbrauch der BHKW.

27.11.2007		Deponiegas	BHKW11/2
Sauerstoff			5,80
Lambda	1	1,55	1,36
L	Nm ³ Luft /Nm ³ BG	5,1703	8,1989
Vf'	Nm ³ RG i.f. / Nm ³ BG	6,0846	8,983
Vt'	Nm ³ RG i.t. /Nm ³ BG	5,5107	7,877
Gasverbrauch	m ³ /h		200
Gastemperatur	°C		20
Gasdruck	mBar		0,8
Gasverbrauch	Nm ³ /h		180,6
Volumenstrom	m ³ /h i.N.f		1622
Volumenstrom	m ³ /h i.N.tr		1423

27.11.2007		BHKW11/2
Feuchtegrad	g/m ³ i.N.tr	330
O ₂	Vol. %	5,79
Volumenstrom	m ³ /h i.N.feu	1622
	m ³ /h i.N.tr.	1423
O ₂ -bezogen	m ³ /h i.N.tr.	1352

12.12.2007		Deponiegas	BHKW11/1	BHKW11/2
Sauerstoff			6,20	6,3
Lambda	1	1,55	1,36	1,41
L	Nm ³ Luft /Nm ³ BG	5,1703	8,1989	8,5667
Vf'	Nm ³ RG i.f. / Nm ³ BG	6,0846	8,983	9,3637
Vt'	Nm ³ RG i.t. /Nm ³ BG	5,5107	7,877	8,2558
Gasverbrauch	m ³ /h		200	200
Gastemperatur	°C		20	20
Gasdruck	mBar		0,8	0,8
Gasverbrauch	Nm ³ /h		180,6	180,6
Volumenstrom	m ³ /h i.N.f		1622	1691
Volumenstrom	m ³ /h i.N.tr		1423	1491

12.12.2007		BHKW 11/2	BHKW 11/1
Feuchtegrad	g/m ³ i.N.tr	140	135
O ₂	Vol. %	6,30	6,20
Volumenstrom	m ³ /h i.N.feu	1691	1622
	m ³ /h i.N.tr.	1491	1423
O ₂ -bezogen	m ³ /h i.N.tr.	1370	1316

Diskontinuierliche Verfahren

Formaldehyd

		AHMT-Verfahren	Probe-volumen	Analysen-ergebnis	Konzen-tration	Konzen-tration bez. 5 % O ₂	Massen-strom
Sorbens	bidestilliertes Wasser		NI	µg/Probe	mg/m ³	mg/m ³	kg/h
Datum	Zeit	Probe					
12.12.2007		BHKW 11/2					
	08:45-09:18	K1/K2	30,0	1140	38,0	41,4	0,06
	09:25-09:59	L1/L2	30,0	1130	37,7	41,0	0,06
	10:05-10:39	M1/M2	30,0	1100	36,7	39,9	0,05
12.12.2007		BHKW 11/1					
	11:10-11:44	G1/G2	30,0	1450	48,3	52,3	0,07
	11:48-12:22	H1/H2	30,0	1410	47,0	50,8	0,07
	12:24-12:58	I1/I2	30,0	1430	47,7	51,5	0,07

Bemerkung: Nachweisgrenze: 20 µg/Probe

Formaldehyd

		DNPH-Verfahren	Probe-volumen	Analysen-ergebnis	Konzen-tration	Konzen-tration bez. 5 % O ₂	Massen-strom
Sorbens	DNPH-Lösung		NI	µg/Probe	mg/m³	mg/m³	kg/h
Datum	Zeit	Probe					
12.12.2007		BHKW 11/2					
	08:45-09:18	Fo1.1 + 1.2	30,0	1340	44,7	48,6	0,07
	09:25-09:59	Fo2.1 + 2.2	30,0	1141	38,0	41,4	0,06
	10:05-10:39	Fo3.1 + 3.2	30,0	1136	37,9	41,2	0,06

Bemerkung: Nachweisgrenze: 20 µg/Probe

Schwefelwasserstoff (H₂S)

Da bei der ersten Probe keine Gelbfärbung der Sorptionslösung erkennbar war, wurden keine weiteren Proben entnommen und die Sorptionslösung nicht analysiert. Die Schwefelwasserstoffkonzentration im Abgas ist kleiner der Nachweisgrenze von 0,3 mg/m³.

Geruch

Geruch:

Datum:			O ₂ -Gehalt Abgas	Verdünnungs- Faktor	Konzen- tration	Geruchs- stoffstrom
27.11.2007						
Lagerzeit	Probenahmezeit		Vol. %		GE/m ³	MGE/h
hh:mm	von	bis				
	BHKW 11/2					
03:35	10:05	10:35	5,78	1	5660	9,2
03:10	10:39	11:09	5,79	1	5340	8,7
02:47	11:12	11:42	5,80	1	8000	13,0
12.12.2007						
	BHKW 11/2					
04:57	08:45	09:15	6,29	1	5340	9,0
04:30	09:20	09:50	6,30	1	7550	12,8
04:05	09:55	10:25	6,29	1	6000	10,1
	BHKW 11/1					
03:36	10:57	11:27	6,22	1	11300	18,3
03:09	11:32	12:02	6,24	1	7550	12,2
02:42	12:07	12:37	6,16	1	9510	15,4

Bemerkung: Nachweisgrenze: 10 GE/m³

BHKW 12/1

Kontinuierliche Verfahren: Anorganische Gase und Gesamtkohlenstoff

Halbstundenmittelwerte vom 24.07.2007

BHKW 12/1

Von	bis	O ₂ Vol. %	CO ₂	NO _x mg/m ³	CO mg/m ³	SO ₂ mg/m ³	Ges-C	
		Vol. %	Vol. %	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	
9:50	10:20	5,95	11,69	247	420	133	247	t
10:45	11:15	5,19	12,27	1083	342	135	109	v
11:15	11:45	5,61	11,98	644	384	136	175	t
11:45	12:05	5,13	12,30	1130	341	135	107	t

t -Teillast; v-Vollast

Volumenangaben beziehen sich auf den Normzustand, trocken

Massenströme

Halbstundenmittelwerte vom 24.07.2007

BHKW 12/1

Von	bis	CO ₂	NO _x	CO	SO ₂	Ges-C
		kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h
9:50	10:20	75	0,08	0,14	0,04	0,08
10:45	11:15	78	0,35	0,11	0,04	0,04
11:15	11:45	78	0,21	0,13	0,05	0,06
11:45	12:05	78	0,37	0,11	0,04	0,03

Volumenströme

Von	bis	Abgas-Geschw	Volumenstrom	t-Abgas	PI	p stat.	Volumenstrom
		m/s	m ³ /h	°C	mbar	Pa	m ³ /h i.N.
			Di=90 mm				A=0,0064 m ²
9:50	10:20	25,8	594	99,0	972,0	197	419
10:45	11:15	25,8	594	99,0	972,0	197	419
11:15	11:45	25,8	594	99,0	972,0	197	419
11:45	12:05	25,8	594	99,0	972,0	197	419

Diskontinuierliche Verfahren

Formaldehyd BHKW 12/1

			Probe- volumen	Analysen- ergebnis	Konzen- tration	Konzen- tration bez. 5 % O ₂	Massen- strom
Sorbens	bidestilliertes Wasser		NI	µg/Probe	mg/m ³	mg/m ³	kg/h
Datum	Zeit	Probe					
24.07.2007	09:50-10:25	G1/G2	30,0	1510	50,3	52,0	0,02
	10:45-11:15	H1/H2	30,0	1010	33,7	34,1	0,01
	11:20-11:55	I1/I2	30,0	1260	42,0	43,4	0,01

Bemerkung: Nachweisgrenze: 20 µg/Probe

Schwefelwasserstoff (H₂S)

Da bei der ersten Probe keine Gelbfärbung der Sorptionslösung erkennbar war, wurden keine weiteren Proben entnommen und die Sorptionslösung nicht analysiert. Die Schwefelwasserstoffkonzentration im Abgas ist kleiner der Nachweisgrenze von 0,3 mg/m³.

Geruch BHKW 12/1

Datum:	24.07.2007		O ₂ -Gehalt Abgas	O ₂ - Gehalt Probe	eingest. Faktor	rechn. Faktor	Konzen- tration	Geruchs- stoffstrom
Lagerzeit	Probenahmezeit		Vol. %	Vol. %			GE/m ³	MGE/h
hh:mm	von	bis						
04:26	10:45	11:15	5,19	5,8	1	1,12	4490	1,88
04:05	11:20	11:50	5,5	6,3	1	1,15	1500	0,63
03:58	11:53	12:05	5,5	6,3	1	1,15	1190	0,50
Bemerkung	Nachweisgrenze: 10 GE/m ³							

BHKW 13/2

Kontinuierliche Verfahren: Anorganische Gase und Gesamtkohlenstoff

BHKW 13/2

	O ₂ Vol. %	CO ₂ Vol. %	SO ₂ mg/m ³ bez. auf 5 % O ₂	CO mg/m ³ bez. auf 5 % O ₂	NO _x mg/m ³ bez. auf 5 % O ₂	Ges-C mg/m ³ bez. auf 5 % O ₂
24.01.2007						
Volllast	290 kW					
09:15-09:45	5,64	10,99	6	314	2173	101
09:45-10:15	5,57	11,35	7	316	2100	97
10:15-10:45	5,54	11,46	8	317	2023	97
Teillast	230 kW					
10:50-11:20	6,21	10,95	9	422	861	149
11:20-11:50	6,24	10,88	10	422	866	153
11:50-12:20	6,23	10,91	10	421	881	152

Volumenangaben beziehen sich auf den Normzustand, trocken

Diskontinuierliche Verfahren: Volumenströme

24.01.2007		Volllast	Teillast
Querschnitt der Messebene	[m ²]	0,025	0,025
Luftdruck	[hPa]	988	988
Abgastemperatur	[°C]	488	478
Feuchtegehalt	[kg/m ³]	0,082	0,082
Dichte des Abgases im Normzustand	[kg/m ³]	1,36	1,36
Dichte des Abgases im Betriebszustand	[kg/m ³]	0,4903	0,4922
Mittelwert des Dynamischen Druckes [*]	[Pa]	565	445
Statischer Druck	[Pa]	3000	2000
Mittlere Abgasgeschwindigkeit	[m/s]	32,2	28,5
Volumenstrom			
im Betriebszustand	[m ³ /h]	2895	2564
im Normzustand (feucht)	[m ³ /h]	1044	928
im Normzustand (trocken)	[m ³ /h]	945	840
im Normzustand (trocken, bez. 5 % O ₂)	[m ³ /h]	911	776
Abgaszusammensetzung			
Sauerstoff	[Vol. %]	5,58	6,23
Kohlendioxid	[Vol. %]	11,27	10,91
Kohlenmonoxid	[Vol. %]	0,04	0,04
Rest als Stickstoff	[Vol. %]	83,11	82,82

^{*} Staudruckbeiwert des Staurohres 0,67

Massenströme

BHKW 13/2- Modul MAN V12						
24.01.2007		Volumenstrom m³/h i.N.tr. bez 5 % O ₂	SO ₂ kg/h	CO kg/h	NO _x kg/h	Ges-C kg/h
Volllast	290 kW					
09:15-09:45		910	0,006	0,3	1,98	0,09
09:45-10:15		910	0,006	0,3	1,91	0,09
10:15-10:45		910	0,006	0,3	1,84	0,09
Teillast	230 kW					
10:50-11:20		780	0,008	0,3	0,7	0,12
11:20-11:50		780	0,008	0,3	0,7	0,12
11:50-12:20		780	0,008	0,3	0,7	0,12

Komponente: Formaldehyd							
			Probe- volumen	Analysenergebnis	Konzen- tration	Konzen- tration bez. 5 % O ₂	Massen- strom
Datum	Probenahmezeit		NI	µg/Probe	mg/m³ i.N.tr.	mg/m³ i.N.tr. bez. 5 % O ₂	kg/h
24.01.2007	von						
Volllast	09:30	10:00	20	520	26,0	27,1	0,025
	09:00	09:30	30	626	21,0	21,8	0,020
	09:43	10:15	30	789	26,3	27,2	0,025
Teillast	10:50	11:20	30	803	26,8	29,0	0,023
	11:25	11:55	30	890	29,7	32,2	0,025
	12:05	12:35	30	893	29,8	32,3	0,025
	Blindwert	BW	30				
Bemerkung	Nachweisgrenze: 20 µg/Probe						

Komponente:	H₂S					
			Probenvolumen	Analysenergebnis	Konzentration	Massenstrom
Datum	Probenahmezeit		NI	µg/Probe	mg/m ³ i.N.tr.	g/h
24.01.2007	von	bis				
Volllast	09:30	10:00	30	<10	<0,3	<0,1
	09:00	09:30	30	<10	<0,3	<0,1
	09:43	10:15	30	<10	<0,3	<0,1
Teillast	10:50	11:20	30	<10	<0,3	<0,1
	11:25	11:55	30	<10	<0,3	<0,1
	12:05	12:35	30	<10	<0,3	<0,1
Bemerkung	alle Proben lagen unterhalb der Nachweisgrenze des Verfahrens Nachweisgrenze: 10 µg/Probe					

Komponente:	Geruch						
Datum: 24.01.2007			O ₂ - Gehalt Abgas	O ₂ - Gehalt Probe	Faktor	Konzentration	Geruchsstoffstrom ⁺
Lagerzeit	Probenahmezeit		Vol. %	Vol. %		GE/m ³	MGE/h
Minuten	von	bis					
318	09:05	09:35	5,64	3,0	1,88	5969	6,23
293	09:40	10:20	5,57	3,6	1,55	4645	4,85
267	10:14	10:44	5,54	2,4	2,31	5493	5,73
263	10:50	11:20	6,21	3,2	1,94	1155	1,07
238	11:24	11:54	6,24	3,1	2,01	1196	1,11
213	11:57	12:27	6,23	2,2	2,83	1336	1,24
Bemerkung	Nachweisgrenze: 10 GE/m ³						

Anlage 4 Einzelmessergebnisse von BHKW mit Zündstrahl-Motoren

BHKW 13/1

Kontinuierliche Verfahren: Anorganische Gase und Gesamtkohlenstoff

BHKW 13/1-Modul Volvo V6						
16.01.07	O ₂ Vol. %	CO ₂ Vol. %	SO ₂ mg/m ³ bez. auf 5 % O ₂	CO mg/m ³ bez. auf 5 % O ₂	NO _x mg/m ³ bez. auf 5 % O ₂	Ges-C mg/m ³ bez. auf 5 % O ₂
Volllast 161 kW						
09:40-10:10	8,08	9,70	18	1496	>2200	1272
10:15-10:45	8,03	9,73	18	1496	>2200	1272
10:45-11:15	7,94	9,78	17	1499	>2200	1262
Teillast 130 kW						
11:30-12:00	9,76	8,36	20	1769	2165	2084
12:05-12:35	9,86	8,28	20	1784	2157	2121
12:38-13:08	9,87	8,27	21	1815	2134	2175

Volumenangaben beziehen sich auf den Normzustand, trocken

06.12.06		Volumenstrom m ³ /h i.N.tr. bez. 5 % O ₂	SO ₂ g/h	CO g/h	NO _x g/h	Ges-C g/h
Volllast 161 kW						
09:40-10:10		464	8	694	>1020	590
10:15-10:45		464	8	694	>1020	590
10:45-11:15		464	8	695	>1020	585
Teillast 130 kW						
11:30-12:00		389	8	688	842	810
12:05-12:35		389	8	694	839	825
12:38-13:08		389	8	706	830	846

Diskontinuierliche Verfahren

16.01.2007		Volllast	Teillast
Querschnitt der Messebene	[m²]	0,02	0,02
Luftdruck	[hPa]	1008	1008
Abgastemperatur	[°C]	500	490
Feuchtegehalt	[kg/m³]	0,082	0,082
Dichte des Abgases im Normzustand	[kg/m³]	1,36	1,36
Dichte des Abgases im Betriebszustand	[kg/m³]	0,4903	0,4922
Mittelwert des Dynamischen Druckes*	[Pa]	350	310
Statischer Druck	[Pa]	2000	1700
Mittlere Abgasgeschwindigkeit	[m/s]	24,7	23,4
Volumenstrom			
im Betriebszustand	[m³/h]	1779	1687
im Normzustand (feucht)	[m³/h]	635	608
im Normzustand (trocken)	[m³/h]	575	551
im Normzustand (trocken, bez. 5 % O ₂)	[m³/h]	464	389
Abgaszusammensetzung			
Sauerstoff	[Vol. %]	8,1	9,7
Kohlendioxid	[Vol. %]	9,7	8,3
Kohlenmonoxid	[Vol. %]	0,015	0,018
Rest als Stickstoff	[Vol. %]	82,18	82,0

Komponente:	Formaldehyd						
			Probenvolumen	Analysenergebnis	Konzentration	Konzentration bez. auf 5 % O ₂	Massenstrom
Datum	Probenahmezeit		NI	µg/Probe	mg/m³ i.N.tr.	mg/m³ i.N.tr.	kg/h
16.01.2007	von						
Volllast	09:40	10:10	30	1460	48,7	60,3	0,028
	10:20	10:51	30	1765	58,8	72,5	0,034
	10:55	11:15	30	11,3	0,4	-	*Fehler
Teillast	11:30	12:00	30	2310	77,0	109,6	0,043
	12:05	12:35	30	2965	98,8	142,0	0,055
	12:45	13:15	30	2770	92,3	132,7	0,052
	Blindwert	BW	30				
Bemerkung	Nachweisgrenze: 20 µg/Probe						

Fehlmessung durch undichtiges Absaugsystem

Komponente:	H₂S					
			Probenvolumen	Analysenergebnis	Konzentration	Massenstrom
Datum	Probenahmezeit		NI	µg/Probe	mg/m³ i.N.tr.	g/h
16.01.2007	von	bis				
Volllast	09:40	10:10	30	<10	<0,3	<0,17
	10:20	10:51	30	<10	<0,3	<0,17
	10:55	11:15	30	<10	<0,3	<0,17
Teillast	11:30	12:00	30	<10	<0,3	<0,16
	12:05	12:35	30	<10	<0,3	<0,16
	12:45	13:15	30	<10	<0,3	<0,16
		BW	30,0			
Bemerkung	alle Proben lagen unterhalb der Nachweisgrenze des Verfahrens Nachweisgrenze: 10 µg/Probe					

Komponente:	Geruch		O ₂ - Gehalt Abgas	O ₂ - Gehalt Probe	Faktor	Konzentration	Geruchsstoffstrom ⁺
Datum:							
16.01.2007							
Lagerzeit	Probenahmezeit		Vol. %	Vol. %		GE/m³	MGE/h
Minuten	von	bis					
317	09:40	10:10	8,08	6,6	1,3	8260	5,24
290	10:15	10:45	8,03	5,8	1,4	7920	5,03
266	10:48	11:18	7,94	5,4	1,5	8490	5,39
256	11:30	12:00	9,76	5,8	1,7	12115	7,36
229	12:05	12:35	9,86	5,8	1,7	8090	4,92
204	12:38	13:08	9,87	5,9	1,7	9620	5,85
Bemerkung	Nachweisgrenze: 10 GE/m³						

BHKW 14/1

Kontinuierliche Verfahren: Anorganische Gase und Gesamtkohlenstoff

Halbstundenmittelwerte vom 21.03.2007

BHKW 14/1

von	bis	O ₂ Vol. %	CO ₂	NO _x mg/m ³ mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	CO mg/m ³ mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	SO ₂ mg/m ³ mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	Ges-C mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂
21.03.2007 100 kW Volllast							
10:00	10:17	7,58	14,83	2753	938	297	1071
10:38	11:08	7,45	14,85	1203	1760	316	880
11:30	11:53	7,43	14,97	1213	1730	125	2098
12:16	12:46	7,44	14,99	1169	1756	229	1210
12:46	13:16	7,53	15,05	1145	1779	243	1228
13:16	13:25	7,48	15,06	1164	1734	248	1195
21.03.2007 70 kW-Teillast							
13:36	14:06	8,95	14,85	1016	3468	274	2435
14:06	14:36	9,27	14,71	964	3856	283	2747
14:36	15:06	9,44	14,74	946	4181	291	2920
15:06	15:19	9,50	14,71	932	4292	298	3040
15:39	16:04	9,45	14,67	984	4189	294	2968

Halbstundenmittelwerte vom 22.03.2007

Von	bis	O ₂ Vol. %	CO ₂	NO _x mg/m ³ mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	CO mg/m ³ mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	SO ₂ mg/m ³ mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	Ges-C mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂
22.03.2007 100 kW Volllast							
9:05	9:35	7,51	13,47	1120	1597	274	1268
9:35	10:05	7,51	13,46	1125	1564	278	1253
10:05	10:35	7,47	13,45	1131	1546	275	1242
10:35	10:59	7,45	13,48	1154	1515	242	1193

Volumenangaben beziehen sich auf den Normzustand, trocken. Die verkürzten Probenahmezeiten sind durch die Motorabschaltungen begründet.

Diskontinuierliche Verfahren: Volumenströme

		Vollast	Teillast	Vollast
		21.03.2007		22.03.2007
Querschnitt der Messebene	[m²]	0,01	0,01	0,01
Luftdruck	[hPa]	945	945	945
Abgastemperatur	[°C]	220	200	220
Feuchtegehalt	[kg/m³]	0,086	0,067	0,086
Dichte des Abgases im Normzustand	[kg/m³]	1,361	1,361	1,36
Dichte des Abgases im Betriebszustand	[kg/m³]	0,683	0,705	0,677
Mittelwert des Dynamischen Druckes*	[Pa]	78,0	65,8	77,0
Statischer Druck	[hPa]	3,00	2,00	3
Mittlere Abgasgeschwindigkeit	[m/s]	15,2	13,6	15,1
Volumenstrom im Betriebszustand	[m³/h]	618	554	614
-im Normzustand (feucht)	[m³/h]	319	298	317
-im Normzustand (trocken)	[m³/h]	288	275	287
-im Normzustand (trocken, bez. 5 % O ₂)	[m³/h]	243	232	242
Abgaszusammensetzung				
Sauerstoff	[Vol. %]	7,49	9,32	7,48
Kohlendioxid	[Vol. %]	14,96	14,74	13,47
Kohlenmonoxid	[Vol. %]	0,14	0,34	0,13
Rest als Stickstoff	[Vol. %]	77,42	75,60	78,92

Massenströme

Halbstundenmittelwerte

BHKW 14/1

von	bis	CO ₂	NO _x	CO	SO ₂	Ges-C
		kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h
21.03.2007 100 kW Vollast						
10:00	10:17	68	0,64	0,22	0,07	0,25
10:38	11:08	68	0,28	0,41	0,07	0,20
11:30	11:53	68	0,28	0,40	0,03	0,49
12:16	12:46	68	0,27	0,41	0,05	0,28
12:46	13:16	68	0,27	0,41	0,06	0,29
13:16	13:25	69	0,27	0,40	0,06	0,28
21.03.2007 70 kW-Teillast						
13:36	14:06	57	0,20	0,68	0,05	0,48
14:06	14:36	57	0,19	0,76	0,06	0,54
14:36	15:06	57	0,19	0,82	0,06	0,58
15:06	15:19	57	0,18	0,85	0,06	0,60
15:39	16:04	57	0,19	0,83	0,06	0,58

Halbstundenmittelwerte

BHKW 14/1

22.03.2007 100 kW Vollast						
von	bis	CO ₂	NO _x	CO	SO ₂	Ges-C
		kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h
9:05	9:35	64	0,27	0,39	0,07	0,31
9:35	10:05	64	0,27	0,38	0,07	0,30
10:05	10:35	64	0,27	0,37	0,07	0,30
10:35	10:59	64	0,28	0,37	0,06	0,29

Komponente:		Formaldehyd					
			Probe- volumen	Analysen- ergebnis	Konzen- tration	Konzen- tration bez. 5 % O ₂	Massen- strom
Sorbens	bidestilliertes Wasser		NI	µg/Probe	mg/m³	mg/m³	kg/h
Datum	Zeit	Probe					
21.03.2007							
Vollast	10:48-11:20	G1/G2	23,2	1710	73,7	87,3	0,02
Vollast	11:25-11:58	H1/H2	30,0	2510	83,7	99,1	0,02
Vollast	12:16-12:48	I1/I2	30,0	3060	102,0	120,8	0,03
Teillast	13:46-14:18	L1/L2	30,0	6630	221,0	302,7	0,06
Teillast	14:25-14:56	M1/M2	30,0	4980	166,0	227,4	0,05
Teillast	15:15-15:47	N1/N2	30,0	5380	179,3	245,7	0,05
Bemerkung	Nachweisgrenze: 20 µg/Probe						

Der Leerwert entspricht der Formaldehydkonzentration in der Umgebungsluft.

Komponente:	Schwefelwasserstoff						
			Probe- volumen	Analysen- ergebnis	Konzen- tration	Konzen- tration bez. 5 % O ₂	Massen- strom
Sorbens	Cd-Acetat		NI	µg/Probe	mg/m ³	mg/m ³	g/h
Datum	Zeit	Probe					
21.03.2007							
Volllast	10:48-11:20	A1/B1	22,4	34	1,5	1,8	0,42
Volllast	11:25-11:58	B1/B2	30	51	1,7	2,0	0,47
Volllast	12:16-12:48	C1/C2	30	85	2,8	3,4	0,78
Teillast	13:46-14:18	D1/D2	30	239	8,0	10,9	2,15
Teillast	14:25-14:56	E1/E2	30	256	8,5	11,7	2,30
Teillast	15:15-15:47	F1/F2	30	170	5,7	7,8	1,53
Bemerkung	Nachweisgrenze: 10 µg/Probe						

Komponente:	Geruch						
Datum: 21.03.2007			O ₂ -Gehalt Abgas	O ₂ -Gehalt Probe	Faktor	Konzen- tration	Geruchsstoff- strom+
Lagerzeit	Probenahmezeit		Vol. %	Vol. %		GE/m ³	MGE/h
hh:mm	von	bis					
04:20	10:45	11:15	9,5	11,2	1,0*	12700	4,1
03:46	11:26	11:56	8,4	4,7	1,8	7149	2,3
03:03	12:16	12:46	7,4	4,6	1,6	5116	1,6
02:36	12:50	13:20	7,5	4,7	1,6	4021	1,3
Bemerkung	Nachweisgrenze: 10 GE/m ³						

Anlage	BHKW 14/1								
Auftragsnummer	42/11/08/06								
Datum		21.03.2007			22.03.2007				
Zeit von - bis		13:54-14:24	14:39-15:09	15:15-15:59	09:10-09:40	09:45-10:15	10:20-10:50	Blindwert	Blindwert
		Teillast	Teillast	Teillast	Volllast	Volllast	Volllast		
Filter-Nr.		656	659	660	661	662	663	664	665
Feuchtegrad	g/m³	67	67	67	86	86	86	67	86
Luftdruck	mbar	945	945	945	945	945	945	945	945
t-Zähler	°C	17	18	17	24	18	19	17	20
Zählerstand Anfang		61,5145	62,2632	63,3134	64,0178	64,9684	65,9382		
Zählerstand Ende		62,2632	63,3134	64,0154	64,9684	65,9382	66,9710		
abgesaugtes Volumen	m³	0,7487	1,0502	0,7020	0,9506	0,9698	1,0328	0,8336	0,9844
abgesaugtes Volumen	m³ i.N.tr.	0,6575	0,9191	0,6165	0,8151	0,8487	0,9008	0,7312	0,8547
Trocknung		>24h Wägeraum							
Filtergewicht Tara	g	0,16428	0,16612	0,16843	0,16867	0,16360	0,16590	0,16856	0,16452
Filtergewicht Brutto	g	0,17231	0,17922	0,17650	0,18088	0,17534	0,17708	0,16855	0,16447
Filtergewicht Netto	mg	8,0	13,1	8,1	12,2	11,7	11,2	0,0	0,0
Partikelkonzentration	mg/m³ i.N.tr.	12,2	14,3	13,1	15,0	13,8	12,4	0,0	-0,1
Kanaldurchmesser	m	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Fläche	m²	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
mittlere Geschwindigkeit	m/s	13,7	13,7	13,7	15,1	15,1	15,1	13,7	15,1
t-Kanal	°C	200	200	200	220	220	220	200	220
p-Kanal	mbar	2,00	2,00	2,00	3,00	3,00	3,00	2,50	2,50
Volumenstrom	m³/h i.B.f.	556	556	556	615	615	615	556	615
Volumenstrom	m³/h i.N.f.	300	300	300	319	319	319	300	319
Volumenstrom	m³/h i.N.tr.	277	277	277	288	288	288	277	288
Massestrom	g/h	3,4	3,9	3,6	4,3	4,0	3,6	0,0	0,0

BHKW 15/1-15/3

Kontinuierliche Verfahren: Anorganische Gase und Gesamtkohlenstoff

Halbstundenmittelwerte vom 15.08.2007							
Von	bis	O ₂ Vol. %	CO ₂	NO _x mg/m ³	CO mg/m ³	SO ₂ mg/m ³	Ges-C
		Vol. %	Vol. %	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂
BHKW 15/1							
8:45	9:15	7,61	11,50	606	1219	19	2538
9:15	9:45	7,37	11,67	643	1345	21	2179
9:45	10:15	7,36	11,90	586	1370	22	2255
10:15	10:45	7,22	12,49	516	1362	22	2231
BHKW15/2							
11:00	11:30	8,33	11,46	383	2185	28	4976
12:00	12:30	6,92	12,57	486	1451	25	2308
12:30	13:00	6,86	12,64	500	1451	26	2162
13:00	13:20	6,76	12,70	514	1451	27	2043
BHKW 15/3							
13:21	13:51	6,61	12,44	574	1542	33	1522
13:51	14:21	6,25	13,04	574	1542	33	1635
14:21	14:51	6,11	13,18	585	1541	33	1553
14:51	15:15	6,36	13,09	585	1506	33	1511

Die Anlage wurde mit Volllast betrieben. Volumenangaben beziehen sich auf den Normzustand, trocken

Massenströme

Halbstundenmittelwerte vom 15.08.2007						
Von	bis	CO ₂	NO _x	CO	SO ₂	Ges-C
		kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h
BHKW 15/1						
8:45	9:15	39	0,11	0,21	0,00	0,39
9:15	9:45	40	0,11	0,23	0,00	0,33
9:45	10:15	41	0,10	0,24	0,00	0,34
10:15	10:45	43	0,09	0,24	0,00	0,34
BHKW15/2						
11:00	11:30	38	0,06	0,37	0,00	0,69
12:00	12:30	41	0,08	0,24	0,00	0,31
12:30	13:00	42	0,08	0,24	0,00	0,30
13:00	13:20	42	0,09	0,24	0,00	0,28
BHKW 15/3						
13:21	13:51	47	0,11	0,30	0,01	0,24
13:51	14:21	49	0,11	0,30	0,01	0,26
14:21	14:51	50	0,11	0,30	0,01	0,24
14:51	15:15	49	0,11	0,29	0,01	0,24

Volumenströme

Die Messung der Volumenströme war nicht möglich, die örtlichen Strömungsverhältnisse ließen eine Geschwindigkeitsmessung nicht zu. Die Volumenstromberechnung erfolgte nach der Verbrennungsrechnung nach Boie aus Gasverbräuchen der Motoren.

		Deponiegas	BHKW15/1	BHKW15/2	BHKW15/3
Sauerstoff			7,41	7,22	6,33
Lambda		1,55	1,6	1,57	1,47
L	Nm³Luft /Nm³ BG	5,1703	5,3371	5,237	4,9035
Vf'	Nm³ RG i.f. / Nm³ BG	6,0846	6,2523	6,1517	5,8162
Vt'	Nm³ RG i.t. /Nm³ BG	5,5107	5,6774	5,5774	5,2437
Biogas					
Gasverbrauch	m³/h		37,7	36,5	42,8
Gastemperatur	°C		32	34	36
Gasdruck	mBar		0,8	0,4	0,4
Gasverbrauch	Nm³/h		32,7	31,4	36,6
Volumenstrom	m³/h i.N.f		241	230	262
Volumenstrom	m³/h i.N.tr		214	204	232
Heizöl HEL		HEL	3 l/h	860 g/l	2,58 kg/h
L	Nm³ Luft /kg BrSt	20,062	20,513	20,062	18,597
Vf	Nm³ RG i.f. / kg BrSt	21,009	21,464	21,009	19,531
Vt	Nm³ RG i.t. / kg BrSt	19,387	19,838	19,387	17,921
Volumenstrom	m³/h i.N.f		230	210	230
Volumenstrom	m³/h i.N.tr		200	200	210

Diskontinuierliche Verfahren

Formaldehyd			Probe- volumen	Analysen- ergebnis	Konzen- tration	Konzen- tration bez. 5 % O ₂	Massen- strom
Sorbens	bidestilliertes Wasser		NI	µg/Probe	mg/m ³	mg/m ³	kg/h
Datum	Zeit	Probe					
15.08.2007	BHKW 15/1						
	09:10-09:44	BW1/1	30,0	3600,0	120,0	141,3	0,02
	09:48-10:20	BW1/2	30,0	4050,0	135,0	158,9	0,03
	10:22-10:55	BW1/3	30,0	4490,0	149,7	176,2	0,03
	BHKW 15/2						
	11:10-11:42	K1/K2	30,0	4370	145,7	169,1	0,03
	11:45-12:20	L1/L2	30,0	4830	161,0	186,9	0,03
	12:40-13:13	M1/M2	30,0	5040	168,0	195,1	0,03
	BHKW 15/3						
	13:25-13:57	G1/G2	30,0	5030	167,7	182,9	0,04
	14:00-14:36	H1/H2	30,0	4520	150,7	164,3	0,03
	14:38-15:15	I1/I2	30,0	4380	146,0	159,2	0,03

Bemerkung Nachweisgrenze: 20 µg/Probe

Schwefelwasserstoff (H₂S)

Da jeweils bei den ersten Proben keine Gelbfärbung der Sorptionslösung erkennbar war, wurden keine weiteren Proben entnommen und die Sorptionslösung nicht analysiert. Die Schwefelwasserstoffkonzentration im Abgas ist kleiner der Nachweisgrenze von 0,3 mg/m³.

Geruch

Datum:	15.08.2007		O ₂ -Gehalt Abgas	eingest. Faktor	rechn. Faktor	Konzentration	Geruchsstoffstrom
Lagerzeit	Probenahmezeit		Vol. %			GE/m ³	MGE/h
hh:mm	von	bis					
BHKW 15/1							
06:20	08:00	08:30	7,67	1	0,00	7550	1,7
05:56	08:35	09:05	7,78	1	0,00	5340	1,2
BHKW 15/2							
05:29	09:10	09:40	7,92	1	0,00	5340	1,1
05:03	09:45	10:15	7,73	1	0,00	3000	0,7
BHKW 15/3							
04:50	10:20	10:50	7,75	1	0,00	5990	1,4
04:32	10:55	11:25	7,67	1	0,00	4760	1,1
Bemerkung	Nachweisgrenze: 10 GE/m ³						

BHKW 16/1 und 16/2

Kontinuierliche Verfahren: Anorganische Gase und Gesamtkohlenstoff

Halbstundenmittelwerte vom 10.07.2007							
Von	bis	O ₂ Vol. %	CO ₂	NO _x mg/m ³	CO mg/m ³	SO ₂ mg/m ³	Ges-C
				mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂
		Vol. %	Vol. %				
BHKW 16/2							
8:51	9:21	8,24	11,87	589	1196	51	1548
9:21	9:51	8,21	11,87	598	1176	54	1507
9:51	10:21	8,22	11,87	598	1177	55	1510
10:21	10:51	8,21	11,87	611	1173	56	1487
BHKW 16/1							
10:59	11:29	8,71	11,45	543	1122	54	1603
13:29	13:59	8,68	11,50	532	1084	52	1540
13:59	14:29	8,83	11,42	554	1060	51	1485

Volumenangaben beziehen sich auf den Normzustand, trocken

Massenströme

Halbstundenmittelwerte vom 10.07.2007						
Von	bis	CO ₂	NO _x	CO	SO ₂	Ges-C
		kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h
BHKW 16/2						
8:51	9:21	136	0,34	0,70	0,03	0,91
9:21	9:51	136	0,35	0,69	0,03	0,88
9:51	10:21	136	0,35	0,69	0,03	0,88
10:21	10:51	136	0,36	0,69	0,03	0,87
BHKW 16/1						
10:59	11:29	135	0,33	0,67	0,03	0,96
13:29	13:59	135	0,32	0,65	0,03	0,92
13:59	14:29	134	0,33	0,64	0,03	0,89

Volumenströme

			BHKW 16/2	BHKW 16/1
			Volllast	Volllast
Feuchtegrad		g/m ³ i.N.tr	120	120
O ₂		Vol. %	8,31	8,74
Volumenstrom				
Normzustand, feucht		[m ³ /h]	848	900
Normzustand, trocken		[m ³ /h]	738	783
O ₂ -bezogen		[m ³ /h]	585	600

Diskontinuierliche Verfahren

Formaldehyd	AHMT-Verfahren		Probe- volumen	Analysen- ergebnis	Konzen- tration	Konzen- tration bez. 5 % O ₂	Massen- strom
Sorbens	bidestilliertes Wasser		NI	µg/Probe	mg/m³	mg/m³	kg/h
Datum	Zeit	Probe					
BHKW 16/1							
10.07.2007	11:50-12:25	K1/K2	30,0	3240	108,0	140,9	0,08
	12:30-12:50	L1/L2	19,6	2250	114,8	149,8	0,09
	12:54-13:27	M1/M2	20,0	2400	120,0	156,6	0,09
BHKW 16/2							
10.07.2007	09:00-09:30	G1/G2	30,0	2710	90,3	113,9	0,07
	09:34-10:05	H1/H2	30,0	3290	109,7	138,3	0,08
	10:10-10:45	I1/I2	30,0	3500	116,7	147,1	0,09

Bemerkung: Nachweisgrenze: 20 µg/Probe

Formaldehyd	DNPH-Verfahren		Probe- volumen	Analysen- ergebnis	Konzen- tration	Konzen- tration bez. 5 % O ₂	Massen- strom
Sorbens	DNPH-Lösung		NI	µg/Probe	mg/m³	mg/m³	kg/h
Datum	Zeit	Probe					
BHKW 16/1							
10.07.2007	11:50-12:25	Fo1.1+ 1.2	30,0	3020	100,7	131,4	0,08
	12:30-12:50	Fo2.1+ 2.2	20,0	2070	103,5	135,1	0,08
	12:54-13:27	Fo3.1+ 3.2	20,0	2200	110,0	143,6	0,09

Für die Formaldehydbestimmung nach dem DNPH-Verfahren erfolgt eine gesonderte Auswertung; siehe Bericht 42/07/01/07.

Schwefelwasserstoff (H₂S)

Da bei der ersten Probe keine Gelbfärbung der Sorptionslösung erkennbar war, wurden keine weiteren Proben entnommen und die Sorptionslösung nicht analysiert. Die Schwefelwasserstoffkonzentration im Abgas ist kleiner der Nachweisgrenze von 0,3 mg/m³.

Geruch								
Datum:	10.07.2007		O ₂ - Gehalt Abgas	O ₂ - Gehalt Probe	eingest. Faktor	rechn. Faktor	Konzen- tration	Geruchs- stoffstrom
Lagerzeit	Probenahmezeit		Vol. %	Vol. %			GE/m³	MGE/h
hh:mm	von	bis						
	BHKW 16/1							
05:29	09:05	09:35	8,74	11,7	1	1,34	4500	4,1
05:04	09:39	10:09	8,74	11,7	1	1,34	5360	4,8
04:39	10:15	10:45	8,74	12,7	1	1,45	3080	2,8
	BHKW 16/2							
04:21	11:02	11:32	8,31	11,1	1	1,34	3570	3,0
03:54	11:37	12:07	8,21	8,2	1	1,00	3360	2,8
03:27	12:11	12:41	8,21	8,4	1	1,02	3870	3,3

BHKW 17/1 und 17/2

Kontinuierliche Verfahren: Anorganische Gase und Gesamtkohlenstoff

Halbstundenmittelwerte vom 18.09.2007

Von	bis	O ₂ Vol. %	CO ₂	NO _x mg/m ³	CO mg/m ³	SO ₂ mg/m ³	Ges-C
				mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂	mg/m ³ i.N.tr bez. 5 % O ₂
BHKW 17/1							
9:10	9:40	6,33	13,49	360	1217	10	1188
9:40	10:10	6,34	13,47	363	1223	12	1177
10:10	10:40	6,34	13,44	361	1225	12	1171
10:40	11:10	6,29	13,47	370	1207	13	1132
BHKW 17/2							
11:16	11:46	7,14	12,66	360	1801	15	1977
11:46	12:16	7,01	12,78	363	1573	15	1703
12:16	12:46	6,96	12,82	361	1538	16	1579
12:46	13:10	6,91	12,84	366	1548	16	1513

Volumenangaben beziehen sich auf den Normzustand, trocken

Massenströme

Halbstundenmittelwerte vom 18.09.2007

Von	bis	CO ₂	NO _x	CO	SO ₂	Ges-C
BHKW 17/1		kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h
9:06	9:36	105	0,14	0,48	0,00	0,47
9:36	10:06	105	0,14	0,49	0,00	0,47
10:06	10:36	105	0,14	0,49	0,00	0,47
10:36	11:06	105	0,15	0,48	0,01	0,45
BHKW 17/2						
11:06	11:36	95	0,14	0,69	0,01	0,76
11:36	12:06	96	0,14	0,60	0,01	0,65
12:06	12:36	96	0,14	0,59	0,01	0,60
12:36	13:00	96	0,14	0,59	0,01	0,58

Volumenströme

Die Messung der Volumenströme war nicht möglich, die örtlichen Strömungsverhältnisse ließen eine Geschwindigkeitsmessung nicht zu. Die Volumenstromberechnung erfolgte nach der Verbrennungsrechnung nach Boie aus dem Gasverbrauch der BHKW.

		Deponiegas	BHKW 17/1	BHKW 17/1
Sauerstoff			6,33	7,00
Lambda	1	1,55	1,41	1,47
L	Nm ³ Luft /Nm ³ BG	5,1703	8,695	9,2478
Vf'	Nm ³ RG i.f. / Nm ³ BG	6,0846	9,575	10,0733
Vt'	Nm ³ RG i.t. /Nm ³ BG	5,5107	8,4613	8,9214
Gasverbrauch	m ³ /h		62	63
Gastemperatur	°C		32	34
Gasdruck	mBar		0,8	0,4
Gasverbrauch	Nm ³ /h		53,8	54,3
Volumenstrom	m ³ /h i.N.f		515	547
Volumenstrom	m ³ /h i.N.tr		455	484
Volumenstrom	m ³ /h i.N.f		536	568
Volumenstrom	m ³ /h i.N.tr		475	504

		BHKW 17/1	BHKW 17/1
Feuchtegrad	g/m ³ i.N.tr	190	240
O ₂	Vol. %	6,33	7,00
Volumenstrom	m ³ /h i.N.feu	536	568
	m ³ /h i.N.tr.	434	437
O ₂ -bezogen	m ³ /h i.N.tr.	398	383

Diskontinuierliche Verfahren

Formaldehyd							
	AHMT-Verfahren		Probe- volumen	Analysen- ergebnis	Konzen- tration	Konzen- tration bez. 5 % O ₂	Massen- strom
Sorbens	bidestilliertes Wasser		NI	µg/Probe	mg/m ³	mg/m ³	kg/h
Datum	Zeit	Probe					
18.09.2007							
BHKW 17/1	09:10-09:45	G1/G2	30,0	4240	141,3	154,1	0,06
	09:50-10:20	H1/H2	30,0	4450	148,3	161,8	0,06
	10:27-11:02	I1/I2	30,0	4650	155,0	169,1	0,07
BHKW 17/2	11:19-11:50	K1/K2	30,0	5320	177,3	202,7	0,08
	11:55-12:27	L1/L2	30,0	5010	167,0	190,9	0,07
	12:30-13:05	M1/M2	30,0	4400	146,7	167,6	0,06
Bemerkung	Nachweisgrenze: 20 µg/Probe						

Schwefelwasserstoff (H₂S)

Da bei der ersten Probe keine Gelbfärbung der Sorptionslösung erkennbar war, wurden keine weiteren Proben entnommen und die Sorptionslösung nicht analysiert. Die Schwefelwasserstoffkonzentration im Abgas ist kleiner der Nachweisgrenze von 0,3 mg/m³.

Geruch							
Datum:	18.09.2007		O ₂ -Gehalt Abgas	O ₂ - Gehalt Probe	eingest. Faktor	Konzen- tration	Geruchs- stoffstrom
Lagerzeit	Probenahmezeit		Vol. %	Vol. %		GE/m ³	MGE/h
hh:mm	von	bis					
BHKW 17/1							
06:20	08:04	08:35	6,33	-	1	3000	1,6
05:48	08:40	09:15	6,34	-	1	1780	1,0
05:17	09:20	09:55	6,34	-	1	1890	1,0
BHKW 17/2							
03:43	11:20	11:52	7,14	-	1	2120	1,2
03:19	11:55	12:27	7,01	-	1	2120	1,2
02:50	12:30	13:04	6,96	-	1	2380	1,4
Bemerkung	Nachweisgrenze: 10 GE/m ³						

Anlage 5 Zusammenstellung der für die Auswertung verwendeten Einzelwerte

Gas-Otto-Motoren

Anlage	Zeit	Proben-lag.z min.	NO _x mg/m ³	CO mg/m ³	SO ₂ mg/m ³	Formaldehyd mg/m ³ (5% O ₂)	Gesamt-C mg/m ³	Λ	P _{elektr.} kW	Geruch GE/m ³
(2/1)	10:34 - 10:58	206	996	565	304	62,9	956	1,45	358	5400
	11:25 - 11:55	158	1020	563	278		947	1,45	358	6300
	12:14 - 12:45	115	1045	564	322		936	1,44	358	4704
(3/1)	10:05 - 10:35	271	818	843	126	81,8	1442	1,61	485	1120
	10:40 - 11:10	245	817	835	107	74,9	1503	1,61	485	1336
	11:48 - 12:18	198	816	835	107	76,2	1505	1,56	266	1484
	12:22 - 12:52	175	730	819	105	76,3	1763	1,56	266	1422
	12:56 - 13:26	150	738	825	96	70,7	1790	1,56	266	1678
	09:09 - 09:39	271	665	802	146	84	1066	1,57	526	1681
	09:42 - 10:12	245	673	805	159	89	1030	1,57	526	1568
(3/1)	10:14 - 10:44	220	681	809	160	82	1022	1,57	526	1171
	11:07 - 11:37	198	580	748	146	73	1470	1,52	263	876
	11:40 - 12:10	175	579	762	154	103	1452	1,52	263	763
	12:12 - 12:32	150	582	767	143	89	1444	1,52	263	761
(4/1)	09:28 - 09:58	278	978	431	7	36,1	254	1,34	346	6350
	10:02 - 10:32	252	993	432	9	32,3	231	1,33	346	5990
	10:36 - 11:06	227	918	433	10	40,9	239	1,34	346	5040
	11:22 - 11:52	219	331	459	12	51,8	465	1,37	171	3000
	11:59 - 12:29	190	339	459	12	57,7	462	1,37	171	1890
	12:33 - 13:03	167	339	460	12	58,1	468	1,37	171	1590

Anlage	Zeit	Proben-lag.z min.	NO _x mg/m ³	CO mg/m ³	SO ₂ mg/m ³	Formaldehyd mg/m ³ (5% O ₂)	Gesamt-C mg/m ³	Λ	P _{elektr.} kW	Geruch GE/m ³
(5/1)	09:10 - 09:42	293	331	907	113	107,4	786	1,48	510	1888
	09:47 - 10:19	264	347	909	113	127,9	772	1,47	510	1414
	10:24 - 10:56	234	351	911	112	129	759	1,46	510	1888
	11:13 - 11:45	225	342	885	107	128,6	800	1,47	400	1587
	11:48 - 12:20	198	324	857	112	123	810	1,47	400	1414
	12:22 - 12:54	175	321	858	118	120,8	796	1,47	400	1888
(6/1)	08:30 - 09:02	322	508	551	377	55,3	673	1,41	151	3000
	09:06 - 09:38	295	510	569	410	50,8	647	1,41	151	3000
	09:40 - 10:12	269	518	591	390	75,5	667	1,41	151	2830
	10:37 - 11:09	238	209	501	307	63,4	786	1,43	80	5040
	11:12 - 11:44	212	209	502	325	58,8	786	1,43	80	2670
	11:46 - 12:18	186	162	492	383	55,1	790	1,43	80	3560
(6/2)	08:48 - 09:19	398	909	580	381	55,3	544	1,37	158	4760
	09:21 - 09:53	372	461	567	409	58,9	628	1,43	158	2000
	09:54 - 10:27	348	441	580	368	63,9	632	1,43	158	1410
	11:04 - 11:35	307	134	611	318	78,5	884	1,49	80	2520
	11:37 - 12:07	283	143	609	330	88,3	865	1,49	80	2120
	12:09 - 12:40	257	148	612	353	84,1	864	1,48	80	1890
(7/1)	10:52 - 11:23	240	486	843	135	104	939	1,54	435	4760
	11:25 - 11:56	215	482	840	126	132	923	1,54	435	4760
	12:00 - 12:32	187	480	845	122	112	928	1,56	537	4490
(8/1)	10:18 - 10:48	265	384	668	493	109	1301	1,58	260	3000
	10:52 - 11:22	241	369	668	496	105,7	1319	1,59	260	3000
	11:25 - 11:55	217	344	667	462	111,4	1360	1,61	260	2380
	12:18 - 12:48	200	503	696	476	73,9	1217	1,58	360	3560
	12:52 - 13:22	175	499	698	475	110,2	1221	1,58	360	2520

Anlage	Zeit	Pro- ben- lag.z min.	NO _x mg/m ³	CO mg/m ³	SO ₂ mg/m ³	For- malde- hyd mg/m ³ (5% O ₂)	Ge- samt- C mg/m ³	Λ	P _{elektr.} kW	Geruch GE/m ³
	13:28 - 13:58	149	564	705	459	101,4	1178	1,57	360	2830
(9/3)		204	3496	560	14	50,1	247	1,38	320	7127
(9/4)		175	3496	560	14	50,1	247	1,38	320	8476
		149	3496	560	14	50,1	247	1,38	320	5339
		295	742	573	13	63,7	374	1,48	366	7127
		268	742	573	13	63,7	374	1,48	366	6350
		242	742	573	13	63,7	374	1,48	366	5657
(10/1)	09:14 - 09:44	311	226	538	3	50,8	414	1,29	75	5340
	09:48 - 10:18	285	224	538	4	51,1	399	1,29	75	5990
	10:23 - 10:53	259	273	513	6	51,1	391	1,31	75	3560
	11:00 - 11:30	245	391	457	6	53,1	356	1,32	150	5040
	11:40 - 12:10	216	397	457	8	55,8	354	1,32	150	5040
	12:14 - 12:44	190	404	457	10	53,3	353	1,32	150	4000
(11/2)	08:45 - 09:15	297	516	380	57	41,4	273	1,43	350	5340
	09:20 - 09:50	270	507	380	47	41	275	1,43	350	7550
	09:55 - 10:25	245	514	380	49	39,9	277	1,43	350	6000
(12/1)	10:45 - 11:15	266	1083	342	135	34,1	109	1,33	140	4490
	11:20 - 11:50	245	644	384	136	43,4	175	1,36	80	1500
	11:53 - 12:05	238	1130	341	135	43,4	107	1,32	80	1190
(13/2)	09:05 - 09:35	318	2173	317	6	21,8	101	1,38	290	5969
	09:40 - 10:10	293	2100	316	7	27,1	97	1,36	290	4645
	10:14 - 10:44	267	2023	317	8	27,2	97	1,36	290	5493
	10:50 - 11:20	263	861	422	9	29	149	1,42	230	1155
	11:24 - 11:54	238	866	422	10	32,2	153	1,42	230	1155
	11:57 - 12:27	213	881	421	10	32,3	152	1,42	230	1336

Zündstrahlmotoren

Anlage	Zeit	Pro- ben- lag.z min.	NO _x mg/m ³	CO mg/m ³	SO ₂ mg/m ³	Formal- dehyd mg/m ³ (5% O ₂)	Gesamt- C mg/m ³	Λ	P _e - lektr.- kW	Ge- ruch GE/m ³
(13/1)	09:40 - 10:10	317	3600	1496	18	60,3	1272	1,6 3	161	8260
	10:15 - 10:45	290	3600	1496	18	72,5	1272	1,6 2	161	7920
	10:48 - 11:18	266	3600	1499	17		1262	1,6 1	161	8490
	11:30 - 12:00	256	2165	1769	20	109,6	2084	1,8 7	130	12115
	12:05 - 12:35	229	2157	1784	20	141,9	2121	1,8 8	130	8090
	12:38 - 13:08	204	2134	1815	21	132,7	2175	1,8 9	130	9620
(15/1)	08:00 - 08:39	380	606	1219	19	158,8	2538	1,5 8	80	7550
	08:35 - 09:05	356	606	1219	19	158,8	2538	1,5 8	80	5340
(15/2)		329	500	1451	26	183,7	2171	1,4 8	80	5340
		303	500	1451	26	183,7	2171	1,4 8	80	3000
(15/3)		290	574	1542	33	168,8	1555	1,4 3	80	5990
		272	574	1542	33	168,8	1555	1,4 3	80	4760
(16/1)		339	543	1088	53	114,3	1543	1,7 1	170	4500
		304	543	1088	53	114,3	1543	1,7 1	170	5360
		279	543	1088	53	114,3	1543	1,7 1	170	3080
(16/2)		261	599	1180	54	105,4	1513	1,6 4	170	3570
		234	599	1180	54	105,4	1513	1,6 4	170	3360
		217	599	1180	54	105,4	1513	1,6 4	170	3870
(17/1)	08:04 - 08:35	380	360	1223	12	154,1	1177	1,4 3	100	3000
	08:40 - 09:15	348	360	1223	12	154,1	1177	1,4 3	100	1780
	09:20 - 09:55	317	363	1225	12	161,8	1771	1,4 3	100	1890
(17/2)	11:20 - 11:52	223	360	1801	15	202,7	1977	1,5 2	97	2120
	11:55 - 12:27	199	361	1573	15	190,9	1703	1,5	97	2120
	12:30 - 13:04	170	366	1548	16	167,6	1513	1,4 9	97	2380

Anlage 6 Anova - einvaktorielle Varianzanalyse

Gruppen	Anzahl	Summe	Mittelwert	Varianz
7/1	3	14010	4670	24300
3/1-1	6	8721	1455	45822
3/1-2	4	3571	893	37299
5/1	6	10079	1680	55991
11/2	3	18890	6297	1287033
8/1	6	17290	2882	174657
4/1	6	23860	3977	4364227
10/1	6	28970	4828	799137
6/1	6	20100	3350	775600
6/2	6	14700	2450	1409520
9/3	3	20942	6981	2476252
9/4	3	19134	6378	540813
2/1	3	16404	5468	640272

Streuungs- ursache	Quadrat- summen (SS)	Freiheits- grade (df)	Mittlere Quadrat- summe (MS)	Prüfgröße (F)	P-Wert	kritischer F- Wert
Unterschiede zwischen den Gruppen	193410863	12	16117571,9	16,0593572	6,4189E-13	2,57931917
Innerhalb der Gruppen	48173998,4	48	1003624,97			
Gesamt	241584861	60				

Anlage 7
Beispiel Angabe der Messunsicherheiten BHKW-Anlage 2/1

Messkomponente	maximaler Messwert $y_{\max}$	erweiterte Mess- unsicherheit mit $p = 95\%$	$y_{\max} - U_p$	$y_{\max} + U_p$	Bestimmungsmetho- de
Abgasgeschwin- digkeit in m/s	23,1	2,2	20,9	25,3	indirekter Ansatz (sie- he Verfahrenshand- buch)
Statischer Druck im Abgaskanal in Pa	600	33	567	633	indirekter Ansatz (sie- he Verfahrenshand- buch)
Barometrischer Luftdruck in kPa	95,4	0,2	95,2	95,6	indirekter Ansatz (sie- he Verfahrenshand- buch)
Abgasfeuchte in g/m ³	130,0	4,1	125,9	134,1	indirekter Ansatz (sie- he Verfahrenshand- buch)
Abgastemperatur in °C	205	8	197	213	indirekter Ansatz (sie- he Verfahrenshand- buch)
O ₂ in Vol. %	6,5	0,3	6,2	6,8	indirekter Ansatz (sie- he Verfahrenshand- buch)
Ges-C in mg/m ³	916	55,3	860,7	971,3	indirekter Ansatz (sie- he Verfahrenshand- buch)
NO in mg/m ³	902	48,5	853,5	950,5	indirekter Ansatz (sie- he Verfahrenshand- buch)
NO ₂ in mg/m ³	137	10,1	126,9	147,1	indirekter Ansatz (sie- he Verfahrenshand- buch)
NO _x in mg/m ³	1519	139,0	1380,0	1658,0	indirekter Ansatz (sie- he Verfahrenshand- buch)
CO in mg/m ³	518	27,9	490,1	545,9	indirekter Ansatz (sie- he Verfahrenshand- buch)
SO ₂ in mg/m ³	201	14,9	186,1	215,9	indirekter Ansatz (sie- he Verfahrenshand- buch)
H ₂ S in mg/m ³	<0,3	2,8	0,0	2,8	direkter (Doppelbe- stimmung) und indirek- ter Ansatz (siehe Ver- fahrenshandbuch)
Formaldehyd in mg/m ³	57	5,4	51,6	62,4	direkter (Doppelbe- stimmung) und indirek- ter Ansatz (siehe Ver- fahrenshandbuch)
Geruch in GE/m ³	6300	150	6150	6450	direkter Ansatz (Dop- pelbestimmung)

Impressum

Herausgeber:	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden Internet: http://www.smul.sachsen.de/lfulg
Autoren:	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Abteilung Klima, Luft, Lärm, Strahlen Torsten Moczigemba Zur Wetterwarte 11 01109 Dresden Telefon: 0351 8928-220 Telefax: 0351 8928-225 E-Mail: torsten.moczigemba@smul.sachsen.de
Redaktion:	siehe Autor
Endredaktion:	Öffentlichkeitsarbeit Präsidialabteilung
ISSN:	1867-2868
Redaktionsschluss:	Dezember 2008

Für alle angegebenen E-Mail-Adressen gilt:

Kein Zugang für elektronisch signierte sowie für verschlüsselte elektronische Dokumente

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlhelfern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.