

# Überwachung von Katalysatoren bei BHKW

Schriftenreihe, Heft 34/2014



# Möglichkeiten der kontinuierlichen Überwachung von Abgaskatalysatoren bei BHKW mit ergänzenden Messungen

Dr. Joachim Clemens

<b>1</b>	<b>Einführung</b> .....	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Material und Methoden</b> .....	<b>9</b>
2.1	Datengrundlage .....	9
2.2	Datenauswertung .....	9
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>10</b>
3.1	Beschreibende Statistik .....	10
3.2	Korrelationen von Formaldehydkonzentration mit anderen Abgaskonzentrationen.....	11
3.2.1	CO und CH <sub>2</sub> O.....	11
3.2.2	NO <sub>x</sub> und CH <sub>2</sub> O.....	12
3.2.3	SO <sub>2</sub> und CH <sub>2</sub> O.....	13
3.2.4	O <sub>2</sub> und CH <sub>2</sub> O .....	15
<b>4</b>	<b>Multiple Regression</b> .....	<b>16</b>
<b>5</b>	<b>Informationen von BHKW-Herstellern</b> .....	<b>18</b>
<b>6</b>	<b>Entwicklung von Katalysatoren zur Reduzierung von Formaldehyd- und Methanemissionen.....</b>	<b>20</b>
<b>7</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>21</b>
7.1	Nachteile einer ausschließlichen Reingasmessung .....	22
7.2	Mögliches Messprogramm .....	22
<b>8</b>	<b>Ergänzendes Messprogramm auf Grundlage der Vorschläge im Kapitel 7.2</b> .....	<b>23</b>
8.1	Durchgeführte Messungen .....	23
8.2	Verwendete Messtechnik .....	24
8.3	Messergebnisse .....	24
8.4	Auswertung der Messergebnisse .....	25
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>26</b>
9.1	Erkenntnisse aus der Studie.....	26
9.2	Erkenntnisse aus den Messungen .....	27
<b>10</b>	<b>Literatur</b> .....	<b>28</b>
<b>11</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>29</b>
11.1	Exemplarischer Auszug aus einem Messbericht .....	29
11.1.1	Beschreibung der Anlage .....	29
11.1.2	Art der Anlage .....	29
11.1.3	Einrichtung zur Erfassung und Minderung der Emissionen.....	30
11.1.4	Messergebnisse .....	30
11.1.5	Messunsicherheiten.....	31
11.2	Verwendeter Datensatz .....	32
11.3	Beispiel eines Messberichtes für das ergänzende Messprogramm.....	36
11.4	Messergebnisse .....	53

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Zusammenhang zwischen Konzentration von CO, NO <sub>x</sub> und Kohlenwasserstoffen im Abgas bei ansteigendem Lambda (aus: ASCHMANN et al. 2011).....	7
Abbildung 2:	Formaldehydkonzentrationen vor und nach zwei verschiedenen Abgasreinigungsaggregaten: Katalysator (Kat.) und regenerativer thermischer Oxidation (RTO) (aus: BAUER & WACHTMEISTER 2010) ..	8
Abbildung 3:	Verlauf der CO- und CH <sub>2</sub> O-Konzentration im Abgas einer Anlage mit Aktivkohle und Oxidationskatalysator (KRETSCHMANN et al. 2012).....	8
Abbildung 4:	X-Y-Diagramm der CO- und CH <sub>2</sub> O-Konzentrationen (Daten aus den Messberichten).....	11
Abbildung 5:	X-Y-Diagramm der CO- und CH <sub>2</sub> O-Konzentrationen (alle verfügbaren Daten).....	12
Abbildung 6:	X-Y-Diagramm der NO <sub>x</sub> - und CH <sub>2</sub> O-Konzentrationen (Daten aus den Messberichten) .....	12
Abbildung 7:	X-Y-Diagramm der NO <sub>x</sub> - und CH <sub>2</sub> O-Konzentrationen (alle verfügbaren Daten).....	13
Abbildung 8:	X-Y-Diagramm der SO <sub>2</sub> - und CH <sub>2</sub> O-Konzentrationen (alle verfügbaren Daten).....	13
Abbildung 9:	X-Y-Diagramm der Abgastemperatur und CH <sub>2</sub> O-Konzentrationen (alle verfügbaren Daten) .....	14
Abbildung 10:	X-Y-Diagramm der Abgasfeuchte und CH <sub>2</sub> O-Konzentrationen (alle verfügbaren Daten).....	14
Abbildung 11:	X-Y-Diagramm der CO <sub>2</sub> - und CH <sub>2</sub> O-Konzentrationen (alle verfügbaren Daten).....	15
Abbildung 12:	X-Y-Diagramm der O <sub>2</sub> - und CH <sub>2</sub> O-Konzentrationen (alle verfügbaren Daten) inkl. Angaben zur Geradengleichung (inkl. 95% Konfidenzintervall), Korrelationskoeffizient und p.....	15
Abbildung 13:	Beobachtete und durch die Regression berechnete Werte (Daten aus den Messberichten) .....	16
Abbildung 14:	Beobachtete und durch die Regression berechnete Werte (alle Daten).....	17
Abbildung 15:	Vorhergesagte Messwerte unter Anwendung der multiplen Regression mit den Messwerten aus den Messberichten auf die Messwerte des BHKW-Herstellers .....	18
Abbildung 16:	CH <sub>2</sub> O-Oxidationsleistung in Abhängigkeit von den Betriebsstunden und den jeweiligen Optimierungsstufen (KUHNKE 2010).....	19
Abbildung 17:	CO-Oxidationsleistung in Abhängigkeit von den Betriebsstunden und den jeweiligen Optimierungsstufen (KUHNKE 2010).....	19
Abbildung 18:	CH <sub>2</sub> O- und CO-Oxidationsleistung in Abhängigkeit von der jeweiligen Optimierungsstufe (KUHNKE 2010).....	20
Abbildung 19:	Beispiel für ein mögliches Ergebnis als Kennlinie aus der vorgeschlagenen Studie .....	23
Abbildung 20:	Messzeitraum und Abbaugrade .....	25

## Tabellenverzeichnis

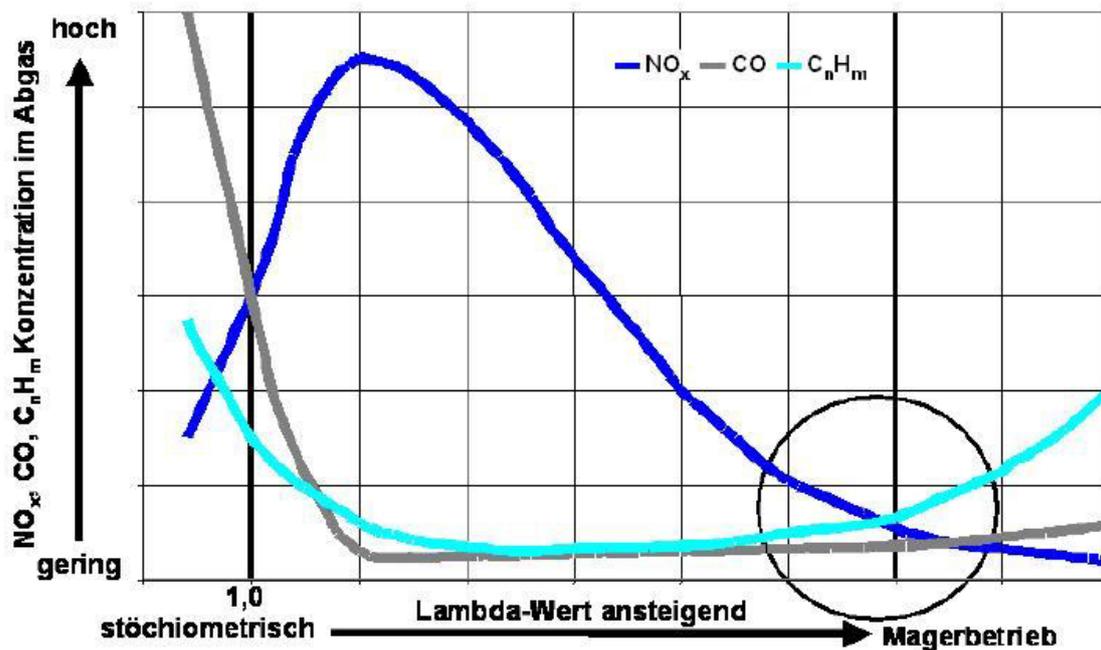
Tabelle 1:	Anzahl der vorhandenen Messungen .....	9
Tabelle 2:	Beschreibende Statistik der Messwerte aus den Messberichten .....	10
Tabelle 3:	Beschreibende Statistik aller zur Verfügung stehenden Messwerte .....	11
Tabelle 4:	Ergebnisse der multiplen Regression (Messberichtsdaten); abhängige Variable: Formaldehyd ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) $r=0,66$ $R^2=0,44$ , $F(2,72)=27,89146$ ; $p<0,0000$ .....	16
Tabelle 5:	Ergebnisse der multiplen Regression mit allen Daten; abhängige Variable: Formaldehyd ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) $r=0,63$ $R^2=0,40$ , $F(2,98)=32,496$ $p<0,00000$ .....	16
Tabelle 6:	Zusammenfassung der Kenndaten der multiplen Regressionen der Daten aus den Messberichten und aller zur Verfügung stehenden Daten .....	17
Tabelle 7:	Mittelwerte der Messergebnisse und Abbauraten .....	24

## Abkürzungsverzeichnis

BfUL	Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft
BHKW	Blockheizkraftwerk
BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung
DBFZ	Deutsches Biomasseforschungszentrum
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
F	Prüfgröße im Rahmen der Varianzanalyse
Kat	Katalysator
LAI	Länderarbeitsgemeinschaft Immissionsschutz
p	Der p-Wert ist eine Kennzahl zur Auswertung statistischer Tests
r	Der Korrelationskoeffizient ist ein dimensionsloses Maß für den Grad des linearen Zusammenhangs zwischen zwei mindestens intervallskalierten Merkmalen. Der Wert liegt zwischen 1 und -1.
R <sup>2</sup>	Das Bestimmtheitsmaß ist ein Maß der Statistik für den erklärten Anteil der Variabilität (Varianz) einer abhängigen Variablen durch ein statistisches Modell. Indirekt wird damit auch der Zusammenhang zwischen der abhängigen und der/den unabhängigen Variablen gemessen. Je größer R <sup>2</sup> (maximal 1) umso stärker ist der Zusammenhang zwischen der abhängigen und unabhängigen Variable(n).
RTO	regenerative thermische Oxidation
TA Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft

# 1 Einführung

In den vergangenen Jahren wurden verstärkt Abgaskatalysatoren zur Reduzierung der Formaldehydemissionen bei Blockheizkraftwerken (BHKW) eingesetzt. Hintergrund ist der in der TA Luft (2002) geforderte Abgasgrenzwert für Formaldehyd, der seit Januar 2009 aufgrund eines LAI-Beschlusses für immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige Bestands- und Neuanlagen bei  $40 \text{ mg Formaldehyd/m}^3$  (Bezugssauerstoffgehalt: 5 %) liegt. Wird dieser Grenzwert eingehalten, erhält der Anlagenbetreiber eine zusätzliche Vergütung (EEG 2009). Dieser scheint nach derzeitigem Technikstand jedoch nicht sicher einhaltbar zu sein (NEUMANN et al. 2009, 2010), ohne dass die Stickoxid-Emissionen so weit ansteigen (ASCHMANN et al. 2011, Abbildung 1), dass sie die Grenzwerte der TA Luft überschreiten oder ohne dass es zu einem signifikanten Mehrverbrauch an Brennstoff kommt (BAUER & WACHTMEISTER 2008).



verändert nach JENBACHER 2002

Abbildung 1: Zusammenhang zwischen Konzentration von  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$  und Kohlenwasserstoffen im Abgas bei ansteigendem Lambda (aus: ASCHMANN et al. 2011)

Deshalb müssen Abgase nachbehandelt werden. Hierfür stehen derzeit Oxidationskatalysatoren und Thermoreaktoren (RTO) zur Verfügung, wobei bei Biogas-BHKW fast ausschließlich Oxidationskatalysatoren eingesetzt werden.

Allerdings scheinen die Katalysatoren nur eine relativ geringe Standzeit aufzuweisen (BAUER & WACHTMEISTER 2010, Abbildung 2; KRETSCHMANN et al. 2012, Abbildung 3). Darüber hinaus können Betreiber die Funktion des Katalysators vor Ort nicht überprüfen (KRETSCHMANN et al. 2012), weil derzeit dazu noch keine kontinuierliche Überwachungs- bzw. Funktionskontrollleinrichtung existiert.

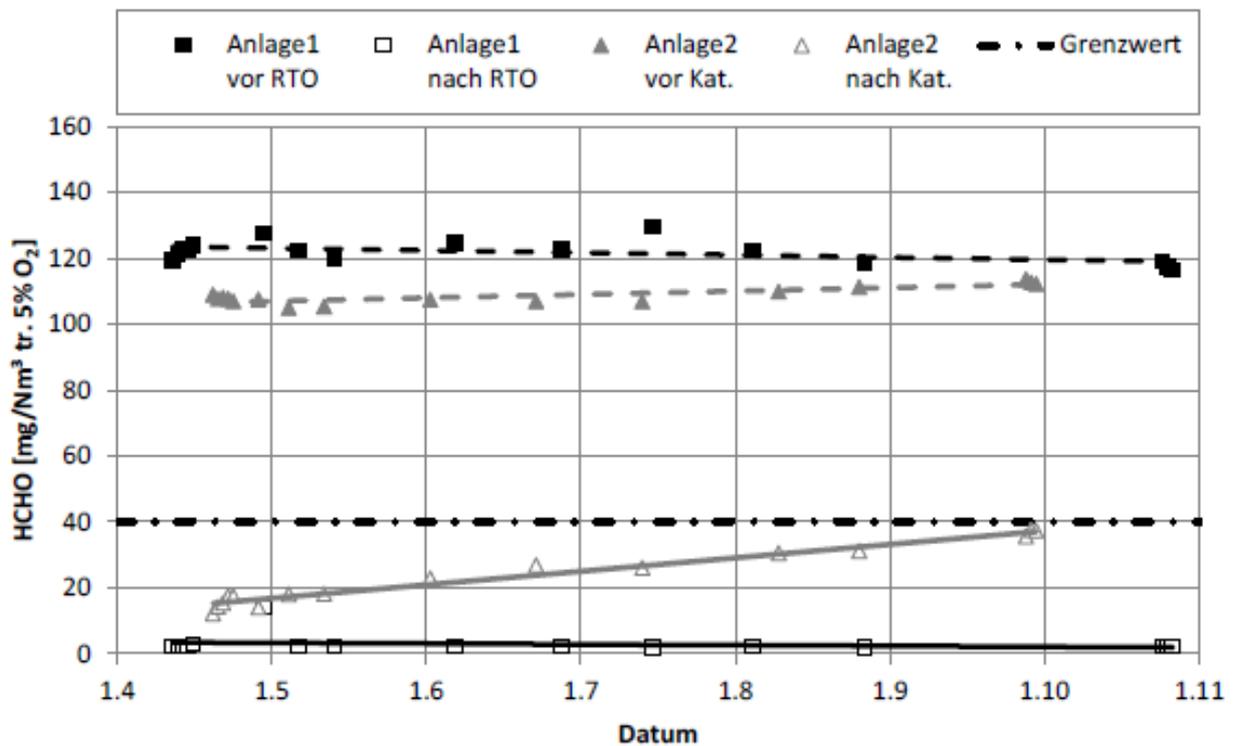


Abbildung 2: Formaldehydkonzentrationen vor und nach zwei verschiedenen Abgasreinigungsaggregaten: Katalysator (Kat.) und regenerativer thermischer Oxidation (RTO) (aus: BAUER & WACHTMEISTER 2010)

Ziel dieser Studie ist es deshalb, anhand von Messberichten, die die Emissionen an immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftigen BHKW erfassten, eine statistische Auswertung durchzuführen, ob es eine Korrelation mit anderen Parametern gibt, die ebenfalls gemessen werden, und für die ein relativ einfaches und kostengünstiges Messverfahren existiert. Diese Messungen wurden hinter Abgasreinigungsmaßnahmen durchgeführt, d. h. in diesem Fall nach dem Oxidationskatalysator. Eine Bestimmung der Oxidationsleistung (Messung der Formaldehydkonzentration vor und nach dem Oxidationskatalysator) fand bei den Messungen nicht statt.

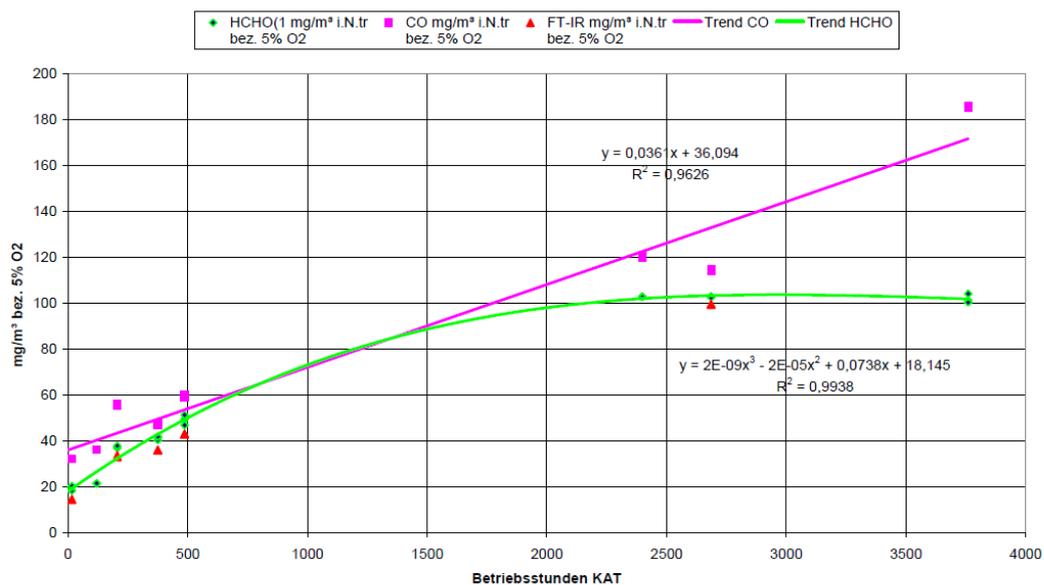


Abbildung 3: Verlauf der CO- und CH<sub>2</sub>O-Konzentration im Abgas einer Anlage mit Aktivkohle und Oxidationskatalysator (KRETSCHMANN et al. 2012)

Im Rahmen der Studie sollten folgende Fragen beantwortet werden:

- Wie korrelieren die typischerweise gemessenen Abgaskomponenten mit den Formaldehydemissionen bzw. welchen Einfluss haben die Randbedingungen, wie z. B. Abgastemperatur, Abgasfeuchte, Abgaszusammensetzung, auf die Korrelation der einzelnen Abgasparameter mit den Formaldehydemissionen?
- Welche der gemessenen Abgaskomponenten weist die beste Korrelation zu den Formaldehydemissionen auf?
- Was könnten für Ursachen vorliegen, wenn die gefundenen bzw. einzelnen Messergebnisse signifikant von den Ergebnissen der Literaturstudie abweichen?
- Kann aus den Messergebnissen ein Faktor bestimmt werden, mit welchem die Höhe der Formaldehydemissionen abgeschätzt werden kann?

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Datengrundlage

Es standen insgesamt 75 Messberichte zur Verfügung. Dabei handelte es sich um Berichte von neun verschiedenen Messstellen, die Emissionsmessungen an BHKW mit Oxidationskatalysatoren von Biogasanlagen durchgeführt haben. In 61 Messberichten standen zur Auswertung die Gase Formaldehyd (CH<sub>2</sub>O), Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>), Kohlenmonoxid (CO), Sauerstoff (O<sub>2</sub>) zur Verfügung. In 29 Messberichten war Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) angegeben. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die Datengrundlage. Darüber hinaus stellte der BHKW-Hersteller MWM GmbH weitere Daten zur Verfügung (26 Datensätze).

**Tabelle 1: Anzahl der vorhandenen Messungen**

Parameter	Anzahl Messwerte aus Messberichten	Zusätzliche Messwerte, die zur Verfügung gestellt wurden	Summe
CH <sub>2</sub> O	75	26	101
NO <sub>x</sub>	75	26	101
CO	75	26	101
SO <sub>2</sub>	29	23	52
O <sub>2</sub>	61	24	85
CO <sub>2</sub>	51		51

### 2.2 Datenauswertung

In einem ersten Schritt wurden die Messwerte aus den Messberichten in eine Excel-Tabelle übertragen. Werte, wie z. B. < 0,01 mg/m<sup>3</sup> (z. T. bei CO und SO<sub>2</sub>), wurden entsprechend in die Datenmatrix aufgenommen (in diesem Fall also mit 0,01 mg/m<sup>3</sup>).

Im Anschluss erfolgte eine statistische Analyse unter Berücksichtigung aller Parameter. Diese wurden dann in einem zweiten Schritt eingegrenzt. Die Auswertung erfolgte mit der Statistiksoftware statistica 7.0 und Excel 2010. Ein Test auf Ausreißer wurde bewusst nicht durchgeführt, weil sehr stark variierende Abgaskonzentrationen aufgrund der Gaszusammensetzung, den eingestellten Motorenparametern und aufgrund der momentanen Katalysatorleistung möglich sind. Jede Auswertung wurde zweifach durchgeführt: einmal erfolgte die Auswertung mit den offiziellen Messberichtsdaten. Im Anschluss wurden die weiteren Datensätze des BHKW-Herstellers mit berücksichtigt. Für die Validierung der multiplen Re-

gressionsrechnung wurde eine Gleichung mit Hilfe der Messberichtsdaten erstellt. Die Datensätze des BHKW-Herstellers wurden dann dazu genutzt, die Formaldehyd-Konzentrationen dieser Datensätze vorherzusagen (Validierung).

Die Untersuchung umfasste die lineare Korrelations- und Regressionsanalyse, mit der lineare Zusammenhänge zwischen zwei Parametern untersucht werden können. Dadurch ist es möglich, einen abhängigen Wert von einer unabhängigen Variablen zu berechnen: Geradengleichung:  $y = ax + b$

y: abhängige Variable, hier Formaldehyd

x: unabhängige Variable, z. B. CO

a: Steigung der Geradengleichung

b: Achsenabschnitt

Obwohl sich bei der Regressionsanalyse z. T. signifikante Ergebnisse der Geradengleichung ( $p < 0,05$ ) ergaben, wurden die Korrelationskoeffizienten nicht dargestellt, weil diese zu gering waren ( $r < 0,5$ ) bzw. wenn offensichtlich war, dass die Geradengleichung hauptsächlich durch Extremwerte beeinflusst war. Diese Extremwerte wurden, wie oben beschrieben, nicht darauf untersucht, ob diese als Ausreißer zu eliminieren waren. Darüber hinaus erfolgte eine multiple lineare Regressionsanalyse, mit der man die lineare Abhängigkeit einer Variablen von mehreren unabhängigen Variablen untersuchen kann. Die Geradengleichung lautet dann:  $y = ax + bz + c$

y: abhängige Variable, hier Formaldehyd

x :erste unabhängige Variable, z. B. CO

z: zweite unabhängige Variable, z. B. NO<sub>x</sub>

a: Steigung für die Variable x

b: Steigung für die Variable z

c: Achsenabschnitt

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Beschreibende Statistik

Die Formaldehydkonzentrationen betragen im Mittel 23,6 mg/m<sup>3</sup> mit einem Minimum von 1,4 mg/m<sup>3</sup> und einem Maximum von 151,9 mg/m<sup>3</sup> (Tabelle 2, s. auch Anhang 11.2)

**Tabelle 2: Beschreibende Statistik der Messwerte aus den Messberichten**

	Anzahl Messwerte	Mittelwert	Minimum	Maximum	Standardabweichung
NO <sub>x</sub> (g/m <sup>3</sup> )	75	0,546	0,303	1,353	0,202
CO (g/m <sup>3</sup> )	75	0,094	0,002	1,382	0,202
SO <sub>2</sub> (g/m <sup>3</sup> )	29	0,0170	0,0000	0,0940	0,0212
CH <sub>2</sub> O (mg/m <sup>3</sup> )	75	23,6	1,4	151,9	24,459
O <sub>2</sub> (%)	61	7,3	5,0	9,6	1,1
CO <sub>2</sub> (%)	51	13,4	10,6	18,0	1,8
Abgastemp. (°C)	59	260,0	130,0	534,0	111,2
Abgasfeuchte (Vol%)	54	10,3	2,5	16,6	2,25

Berücksichtigt man alle zur Verfügung stehenden Daten, so erhöht sich der Mittelwert leicht auf 27,9 mg CH<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup> bei einer gleichbleibenden Spannweite (Tabelle 3, s. auch Anhang 11.2).

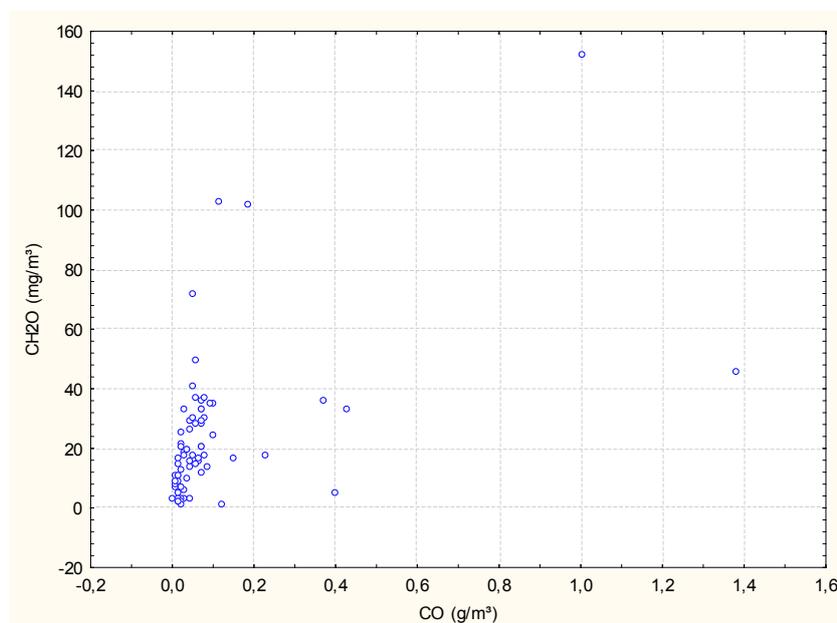
**Tabelle 3: Beschreibende Statistik aller zur Verfügung stehenden Messwerte**

	Anzahl Messwerte	Mittelwert	Minimum	Maximum	Standardabweichung
NO <sub>x</sub> (g/m <sup>3</sup> )	101	0,530	0,303	1,353	0,180
CO (g/m <sup>3</sup> )	101	0,085	0,002	1,382	0,177
SO <sub>2</sub> (g/m <sup>3</sup> )	53	15,25	0,0000	60,00	19,34
CH <sub>2</sub> O (mg/m <sup>3</sup> )	101	27,9	1,4	151,9	23,7
O <sub>2</sub> (%)	85	7,5	5,0	10,8	1,4
CO <sub>2</sub> (%)	51	13,4	10,6	18,0	1,8
Abgastemp. (°C)	59	260,0	130,0	534,0	111,2
Abgasfeuchte (Vol.%)	54	10,3	2,5	16,6	2,25

## 3.2 Korrelationen von Formaldehydkonzentration mit anderen Abgaskonzentrationen

### 3.2.1 CO und CH<sub>2</sub>O

Die einfache Korrelation zwischen CO- und CH<sub>2</sub>O-Konzentrationen ergab zwar einen signifikanten Zusammenhang, der aber gering war ( $r=0,49$ ,  $p<0,01$ ). Die Geradengleichung wurde von wenigen Messpunkten stark beeinflusst (Abbildung 4). Das Berücksichtigen aller zur Verfügung stehenden Daten ergab keine wesentliche Verbesserung des Zusammenhanges (Abbildung 5).



**Abbildung 4: X-Y-Diagramm der CO- und CH<sub>2</sub>O-Konzentrationen (Daten aus den Messberichten)**

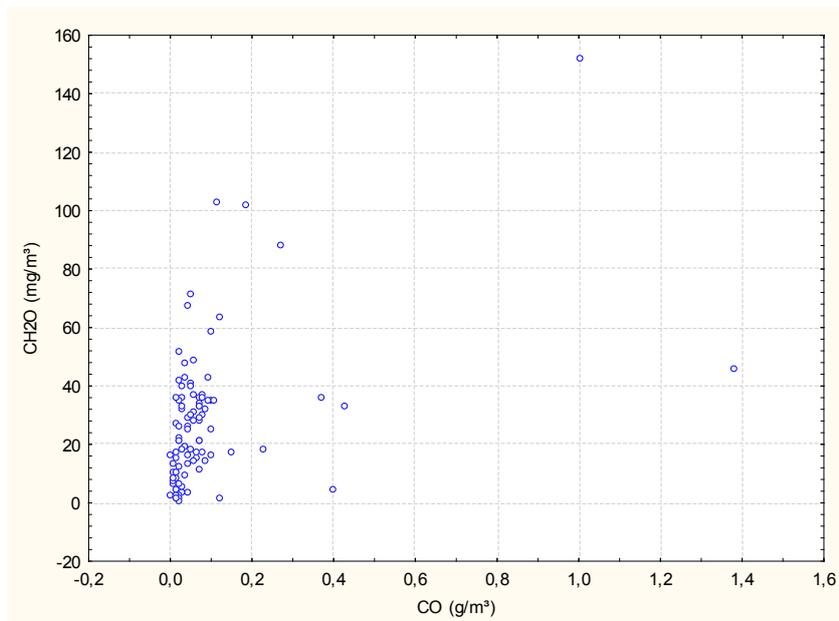


Abbildung 5: X-Y-Diagramm der CO- und CH<sub>2</sub>O-Konzentrationen (alle verfügbaren Daten)

### 3.2.2 NO<sub>x</sub> und CH<sub>2</sub>O

Die einfache Korrelation zwischen NO<sub>x</sub>- und CH<sub>2</sub>O-Konzentrationen ergab ebenfalls einen nur schwachen signifikanten Zusammenhang (Abbildung 6;  $r=-0,28$ ,  $p<0,05$ ), der durch drei Datenpaare mit einer Formaldehydkonzentration  $>100$  mg/m<sup>3</sup> stark beeinflusst war. Das Berücksichtigen der Daten der zusätzlichen Messwerte ergab keine wesentliche Verbesserung hinsichtlich eines möglichen linearen Zusammenhangs (Abbildung 7).

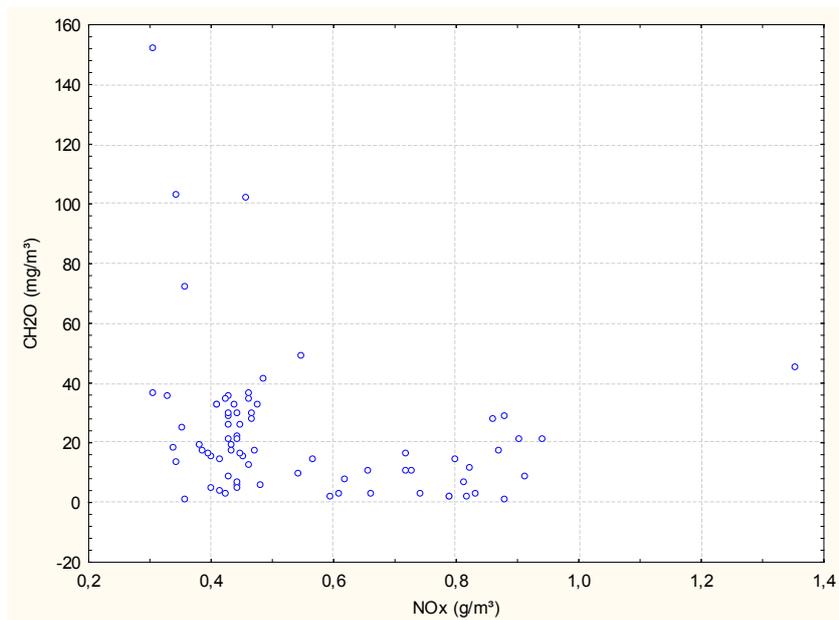


Abbildung 6: X-Y-Diagramm der NO<sub>x</sub>- und CH<sub>2</sub>O-Konzentrationen (Daten aus den Messberichten)

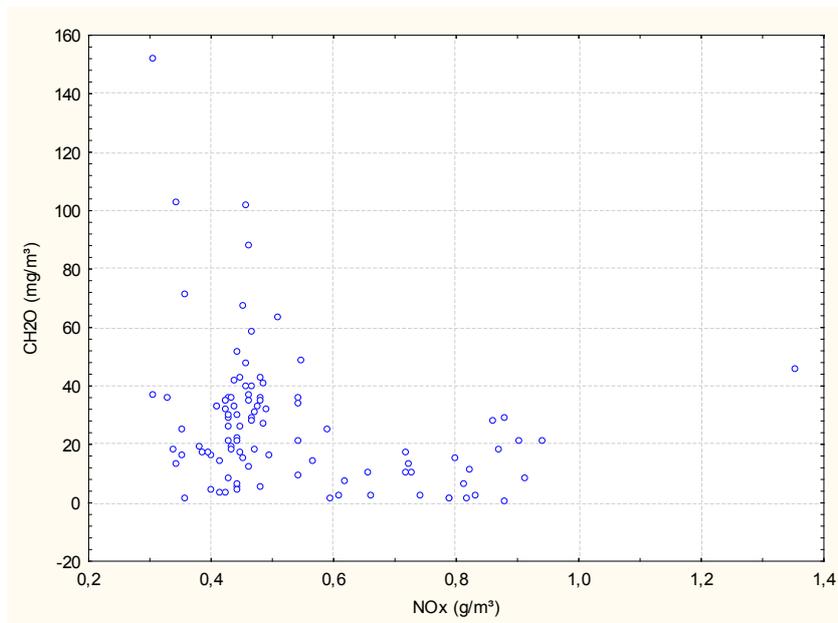


Abbildung 7: X-Y-Diagramm der NO<sub>x</sub>- und CH<sub>2</sub>O-Konzentrationen (alle verfügbaren Daten)

### 3.2.3 SO<sub>2</sub> und CH<sub>2</sub>O

Die Korrelation zwischen SO<sub>2</sub>- und CH<sub>2</sub>O-Konzentrationen zeigte ebenfalls keinen signifikanten Zusammenhang (Abbildung 8). Gleiches gilt für die Korrelationen zwischen Abgasfeuchte, Abgastemperatur und CO<sub>2</sub>- gegen Formaldehyd-Konzentrationen (Abbildung 9 bis Abbildung 11).

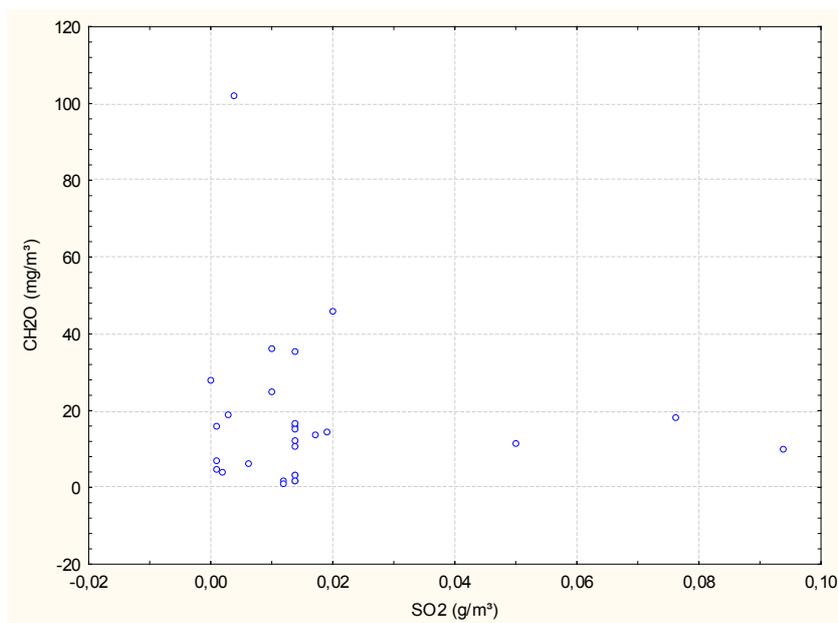


Abbildung 8: X-Y-Diagramm der SO<sub>2</sub>- und CH<sub>2</sub>O-Konzentrationen (alle verfügbaren Daten)

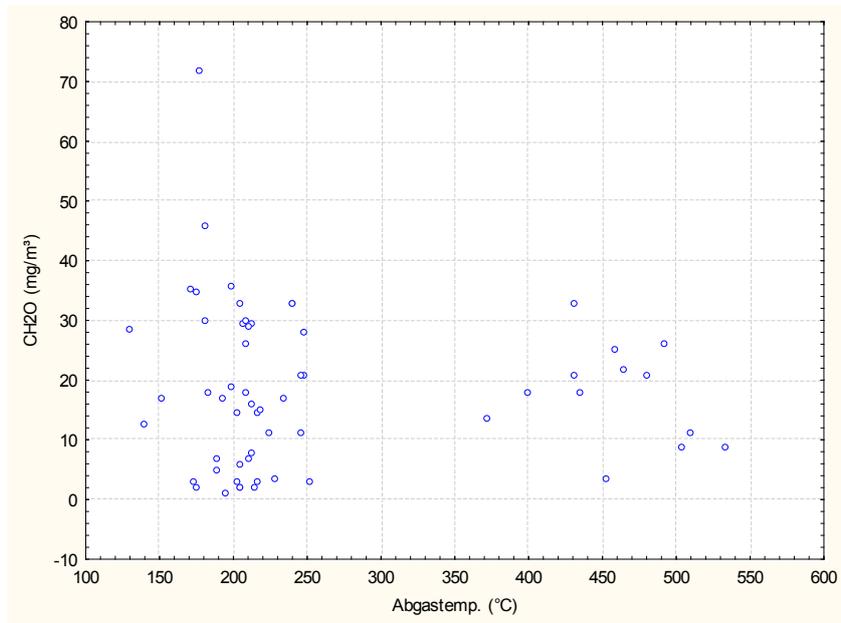


Abbildung 9: X-Y-Diagramm der Abgastemperatur und CH<sub>2</sub>O-Konzentrationen (alle verfügbaren Daten)

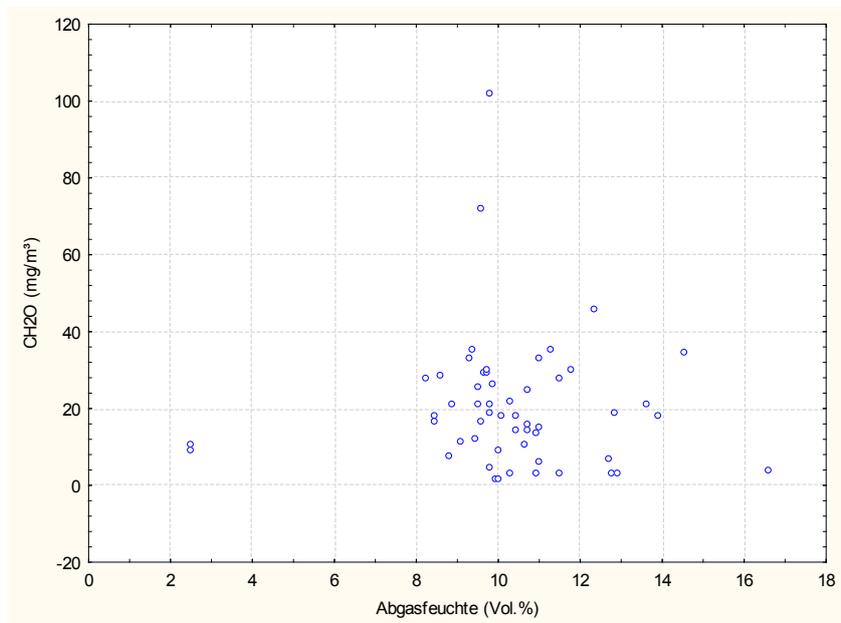


Abbildung 10: X-Y-Diagramm der Abgasfeuchte und CH<sub>2</sub>O-Konzentrationen (alle verfügbaren Daten)

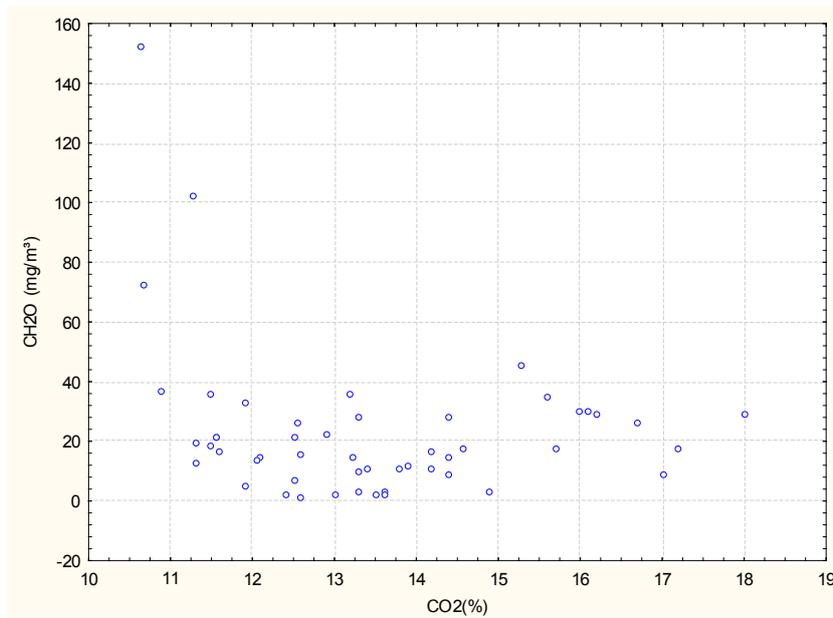


Abbildung 11: X-Y-Diagramm der CO<sub>2</sub>- und CH<sub>2</sub>O-Konzentrationen (alle verfügbaren Daten)

### 3.2.4 O<sub>2</sub> und CH<sub>2</sub>O

Die CH<sub>2</sub>O-Konzentration korrelierte signifikant, aber schwach mit der O<sub>2</sub>-Konzentration (Abbildung 12). Für die Korrelation wurden die im Messbericht angegebenen CH<sub>2</sub>O-Konzentrationen unter Normbedingungen entsprechend der O<sub>2</sub>-Konzentration umgerechnet.

$$C(\text{CH}_2\text{O}, T = 273 \text{ K}, 1013 \text{ hPa}) = C(\text{CH}_2\text{O}, \text{O}_2 = 5 \%) * (21\% - \text{O}_2[\text{gemessen}]) / (21\% - 5 \%)$$

Ein positiver Zusammenhang zwischen Sauerstoffgehalten und Formaldehydkonzentration erscheint plausibel, weil bekannt ist, dass bei höheren Sauerstoffgehalten in der Verbrennungsluft der Anteil des nicht verbrannten bzw. teiloxidierten Kohlenstoffes ansteigt (BAUER & WACHTMEISTER 2008). Allerdings ist diese Korrelation nicht im Zusammenhang mit der Funktionstüchtigkeit des Katalysators zu sehen. Deshalb wird dieser Zusammenhang nicht weiter untersucht.

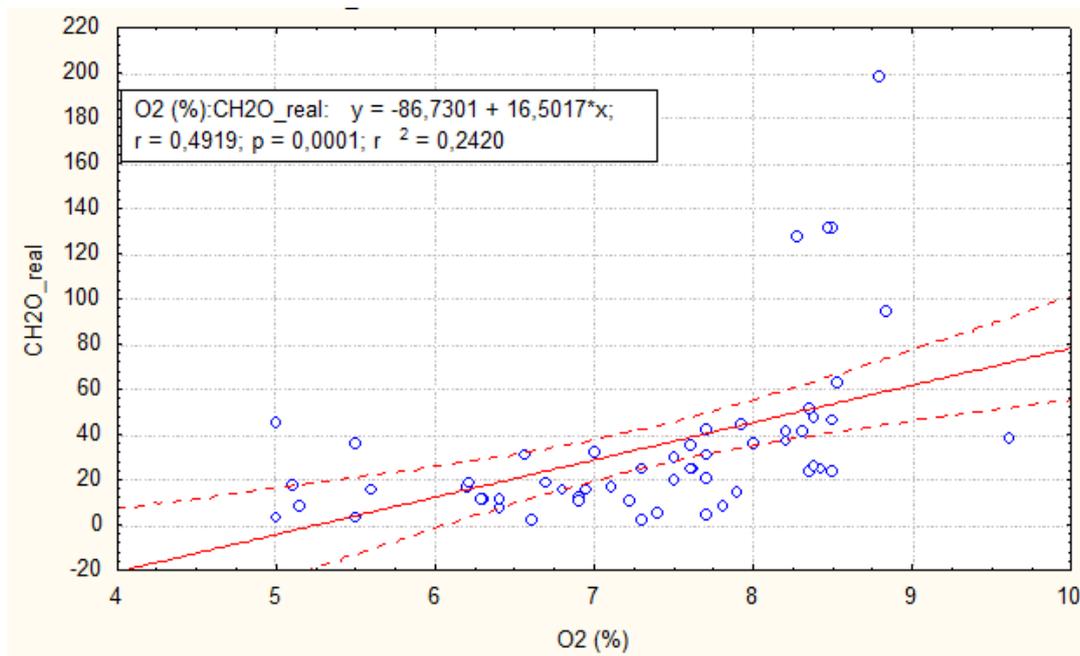


Abbildung 12: X-Y-Diagramm der O<sub>2</sub>- und CH<sub>2</sub>O-Konzentrationen (alle verfügbaren Daten) inkl. Angaben zur Geradengleichung (inkl. 95% Konfidenzintervall), Korrelationskoeffizient und p

# 4 Multiple Regression

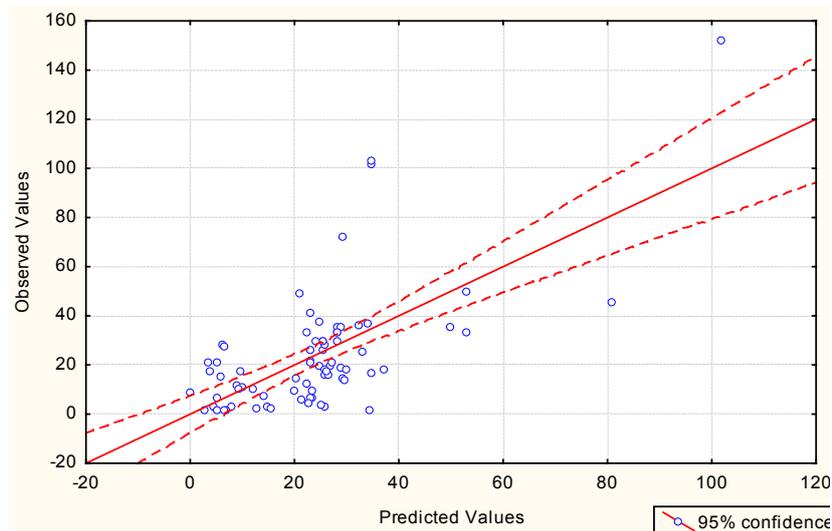
Eine multiple Regression wurde mit den Datensätzen der Messberichte und den Gasen CO, NO<sub>x</sub>, und CH<sub>2</sub>O durchgeführt (n=75). In diesem Fall waren in der multiplen Regression sowohl der Achsenabschnitt als auch die beiden Gase NO<sub>x</sub> und CO hoch signifikant (Tabelle 4). Der Korrelationskoeffizient betrug r=0,66.

**Tabelle 4: Ergebnisse der multiplen Regression (Messberichtsdaten); abhängige Variable: Formaldehyd (mg/m<sup>3</sup>)**  
**r=0,66 R<sup>2</sup>=0,44 , F(2,72)=27,89146; p<0,0000**

	Beta	Std. Err. Beta	B	Std.Err. B	t-Wert(71)	p-level
Achsenabschnitt			42,3009	6,22190	6,79871	0,000000
NO <sub>x</sub> [g/m3]	-0,387710	0,089884	-46,8508	10,86162	-4,31343	0,000050
CO [g/m3]	0,608059	0,089884	73,6778	10,89121	6,76489	0,000000

Beta: standardisierte Steigung; Std. Err.: Standardfehler von Beta; B: Steigung, Std. Err. B: Standardfehler von B; t-Wert: kalkulierter t-Wert, p-level: Signifikanzniveau

Der Regressionskoeffizient zwischen beobachteten und vorhergesagten Werten betrug r<sup>2</sup> = 0,44 (Abbildung 13).



**Abbildung 13: Beobachtete und durch die Regression berechnete Werte (Daten aus den Messberichten)**

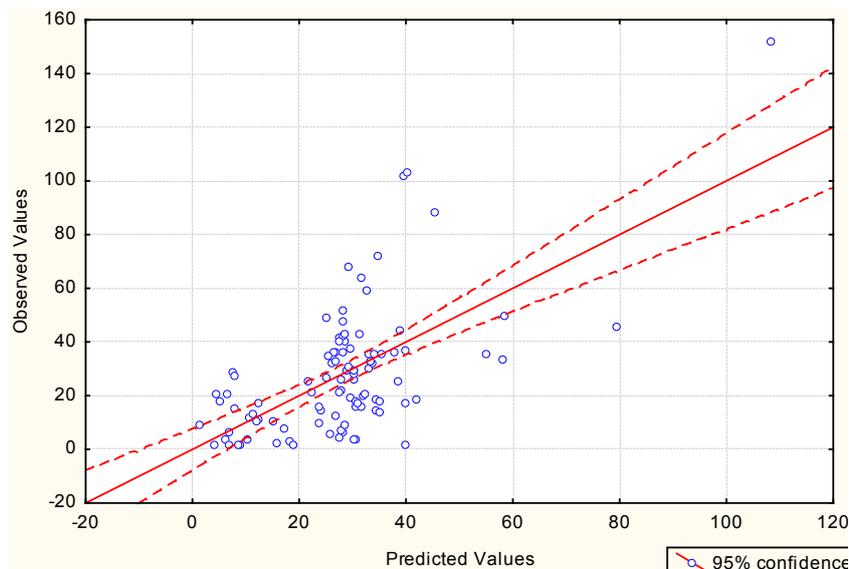
Bei der Berücksichtigung sämtlicher Datensätze (n=101) ergab die multiple Regression ebenfalls hoch signifikante Ergebnisse für den Achsenabschnitt, CO und NO<sub>x</sub> (Tabelle 5). Der Korrelationskoeffizient betrug r=0,63 (Tabelle 6).

**Tabelle 5: Ergebnisse der multiplen Regression mit allen Daten; abhängige Variable: Formaldehyd (mg/m<sup>3</sup>)**  
**r=0,63 R<sup>2</sup>=0,40, F(2,98)=32,496 p<0,00000**

	Beta	Std. Err. Beta	B	Std. Err. B	t(95)	p-level
Achsenabschnitt			50,5776	5,77688	8,75516	0,000000
NO <sub>x</sub> g/m	-0,415134	0,079581	-54,7700	10,49937	-5,21651	0,000001
CO g/m3	0,554816	0,079581	74,4608	10,68038	6,97174	0,000000

Beta: standardisierte Steigung; Std. Err.: Standardfehler von Beta; B: Steigung, Std. Err. B: Standardfehler von B; t-Wert: kalkulierter t-Wert, p-level: Signifikanzniveau

Der Regressionskoeffizient zwischen beobachteten und vorhergesagten Werten betrug  $r^2 = 0,40$  (Abbildung 14).



**Abbildung 14: Beobachtete und durch die Regression berechnete Werte (alle Daten)**

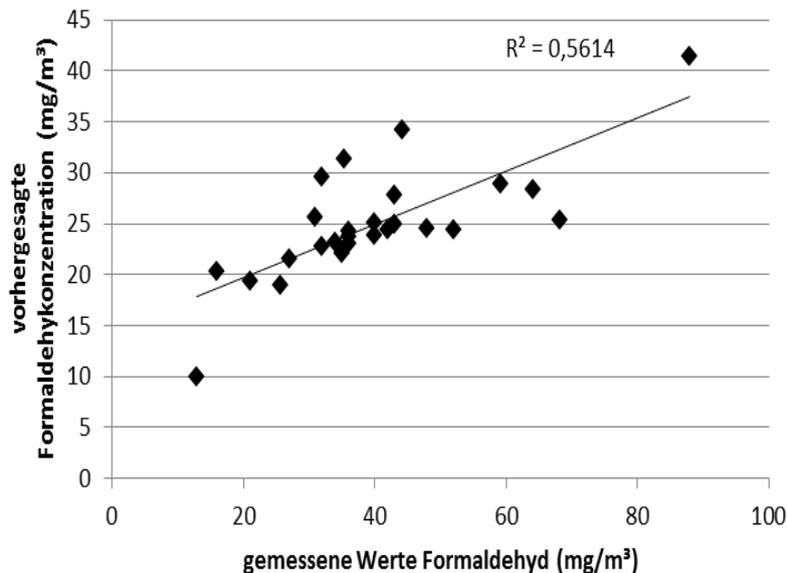
**Tabelle 6: Zusammenfassung der Kenndaten der multiplen Regressionen der Daten aus den Messberichten und aller zur Verfügung stehenden Daten**

Parameter	Daten aus Messberichten	Alle Daten
r	0,66	0,63
R <sup>2</sup>	0,44	0,40
Achsenabschnitt	42,3009	50,5777
B (NO <sub>x</sub> )	-46,8508	-54,7700
B (CO)	73,6778	74,4608

Die Güte der Vorhersage wurde überprüft. Die Formaldehydkonzentration der Datensätze des BHKW-Herstellers wurde über die Geradengleichung berechnet, die unter Berücksichtigung der Messberichtsdaten der Messstellen erhoben wurden:

$$\text{CH}_2\text{O} \text{ (mg/m}^3\text{)} = 42,3009 - 46,8508 \cdot \text{NO}_x \text{ (g/m}^3\text{)} + 73,6778 \cdot \text{CO} \text{ (g/m}^3\text{)}$$

Der Korrelationskoeffizient betrug  $r=0,7493$  (Abbildung 15). Es wurden Konzentrationen im Bereich von 10–42 mg CH<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup> berechnet, während die beobachteten Werte zwischen 17 und 90 mg CH<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup> lagen. Somit verringerte die Geradengleichung die Spannweite der Daten erheblich.

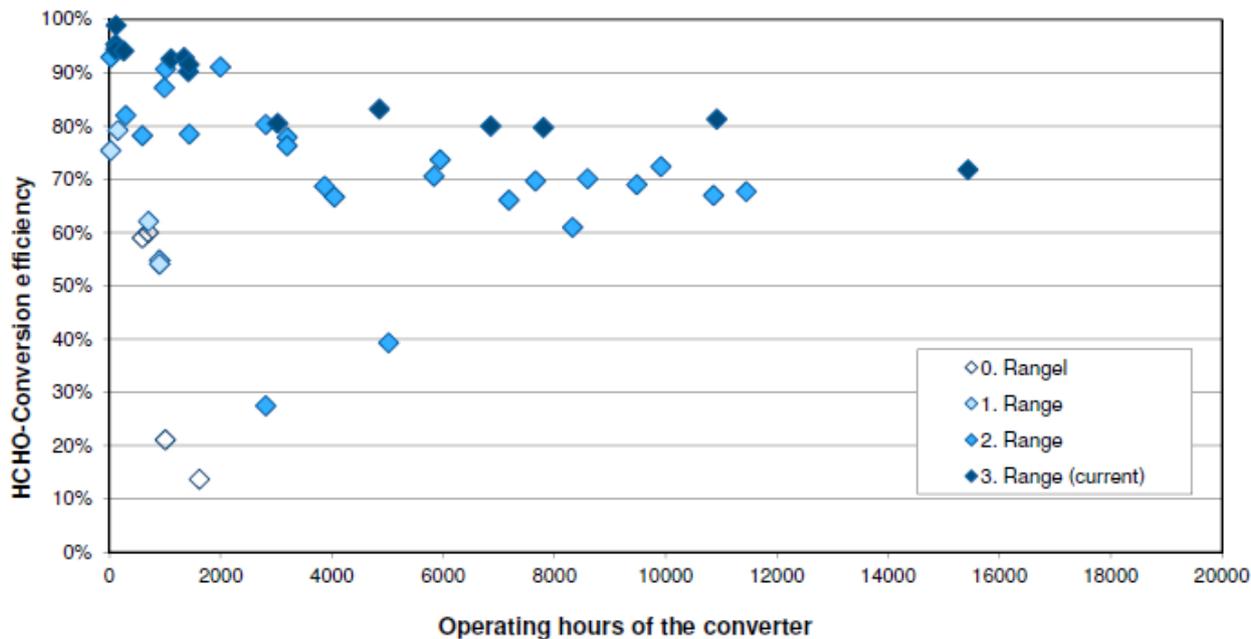


**Abbildung 15: Vorhergesagte Messwerte unter Anwendung der multiplen Regression mit den Messwerten aus den Messberichten auf die Messwerte des BHKW-Herstellers**

## 5 Informationen von BHKW-Herstellern

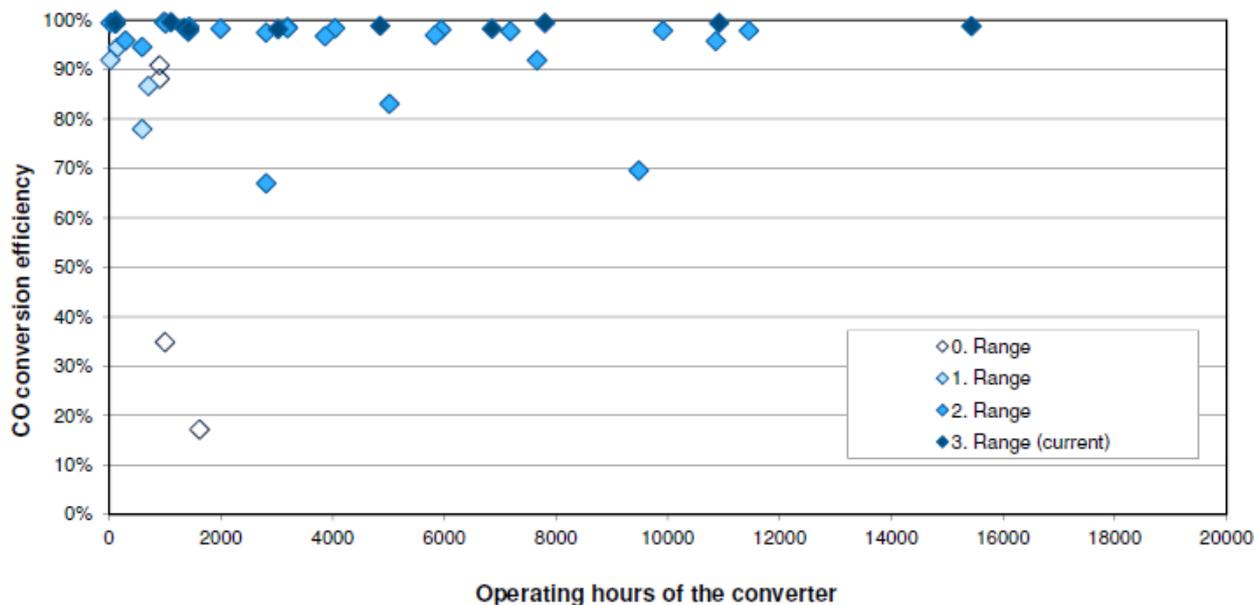
Die Firma MWM GmbH stellte neben dem bereits oben erwähnten Datensatz weitere Unterlagen zur Verfügung. Dabei handelt es sich um Messungen mittels FTIR zur Oxidationsleistung von Katalysatoren in Abhängigkeit von den Betriebsstunden und der jeweiligen „Katalysatorgeneration“. Bei jeder Messung wurde vor und nach dem Katalysator die  $\text{CH}_2\text{O}$ -Konzentration und die CO-Konzentration bestimmt und so die Oxidationsleistung ermittelt.

Die Oxidationskatalysatoren wurden seit deren Ersteinsatz in drei Optimierungsstufen verbessert. Die ersten Oxidationskatalysatoren verloren innerhalb der ersten 2.000 Betriebsstunden mehr als 50 % ihrer Leistung, Formaldehyd zu reduzieren. Die derzeit eingesetzten Katalysatoren (3. Range, current) haben eine wesentlich verbesserte Standzeit: Laut Information von MWM GmbH nimmt die Formaldehydoxidationsleistung nur um 20 % innerhalb von etwa 10.000 Betriebsstunden ab (Abbildung 16).



**Abbildung 16: CH<sub>2</sub>O-Oxidationsleistung in Abhängigkeit von den Betriebsstunden und den jeweiligen Optimierungsstufen (KUHNE 2010)**

Im Rahmen der Funktionsüberprüfung des Katalysators wurde auch die CO-Oxidationsleistung überprüft (Abbildung 17). Diese verbesserte sich durch die neuen Katalysatorgenerationen ebenfalls stark, sodass diese auch nach 10.000 Betriebsstunden noch immer deutlich über 95 % liegt.



**Abbildung 17: CO-Oxidationsleistung in Abhängigkeit von den Betriebsstunden und den jeweiligen Optimierungsstufen (KUHNE 2010)**

Bei den Untersuchungen der MWM GmbH war ein guter Zusammenhang zwischen der Verringerung der CH<sub>2</sub>O-Oxidationsleistung und der CO-Oxidationsleistung erkennbar (Abbildung 18).

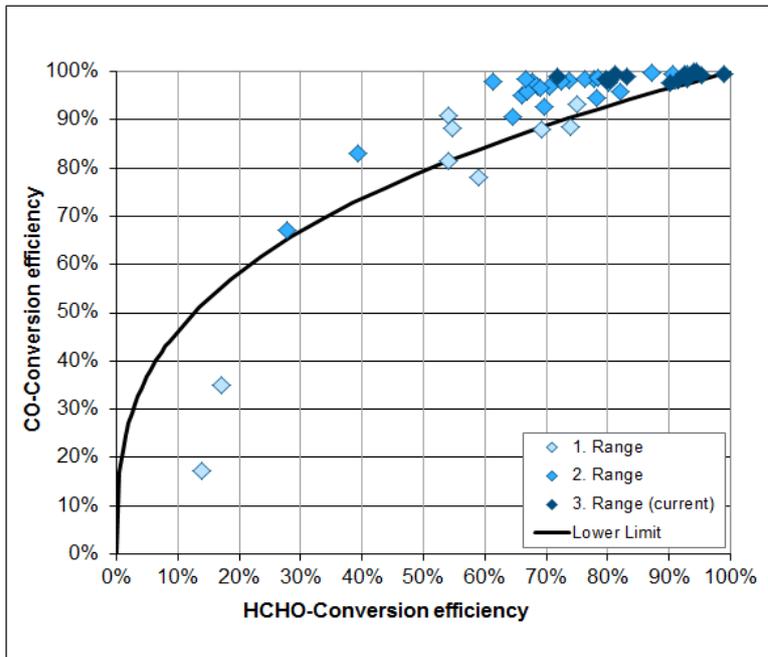


Abbildung 18: CH<sub>2</sub>O- und CO-Oxidationsleistung in Abhängigkeit von der jeweiligen Optimierungsstufe (KUHNE 2010)

Sinkt die CO-Oxidationsleistung um 10 %, sinkt die CH<sub>2</sub>O-Oxidationsleistung um bis zu 60 % bei Betrachtung der eingebauten Katalysatoren der letzten und vorletzten Optimierungsstufe. Ein geringer Abfall der CO-Oxidationsleistung kann gleichbedeutend mit einer relativ starken Reduktion der CH<sub>2</sub>O-Oxidationsleistung sein.

## 6 Entwicklung von Katalysatoren zur Reduzierung von Formaldehyd- und Methanemissionen

Ziel war es, neue Forschungsansätze zur Thematik „Abreinigung von Formaldehyd in Abgasen von BHKW“ zu dokumentieren. Es erfolgte eine Internetrecherche zum Thema der Formaldehydoxidation im Abgas von Biogas betriebenen BHKW. Dabei erfolgte die Suche über Google und das „easy web of Science“. Damit wurden einerseits frei verfügbare Informationen – u. a. auch Pressemitteilungen – überprüft. Andererseits erfolgt über das „easy web of Science“ eine Recherche in Fachzeitschriften.

Die Stichworte waren „Formaldehyd“ – „Abgas“ – „Verbrennung“ – „Katalysator“ – „BHKW“ – „CH<sub>2</sub>O“ und „formaldehyde“ – „stack gas“ – „combustion“ – „CHP“.

Dabei konnte ein interessantes F&E-Vorhaben identifiziert werden:

### REMISBIO: Maßnahmen zur Reduzierung von Emissionen von Biogasanlagen – Katalysatorrest

Verbundvorhaben (FKZ03KB052) mit den Partnern DBFZ und MWM GmbH (DBFZ 2012)

Laufzeit: 01.11.2011 – 31.12.2014

Ziel des Vorhabens ist es, ein marktfähiges Verfahren zur Reduktion von Methanemissionen aus biogasbetriebenen Blockheizkraftwerken zu entwickeln und den Effekt der Anwendung in der Praxis zu dokumentieren. Dabei stehen die Entwicklung und der Einsatz eines Katalysators zur Reduzierung von Formaldehyd- und Methanemissionen im Vordergrund. Der Einbau und der Betrieb dieses Katalysators an einer großtechnischen Anlage soll ermöglicht werden.

### Maßnahmen

Katalysatoren werden im Labormaßstab unter idealisierten und an die Realität angelehnten Bedingungen sowie an realen Anlagen (reales Abgas) getestet.

Schwerpunkte:

- Demonstration ausgewählter Maßnahmen zur Reduktion von Klimagasemissionen in der Praxis mit der Fokussierung auf Reduzierung von Emissionen aus Blockheizkraftwerken
- Wissenschaftliche und messtechnische Begleitung dieser Maßnahmen
- Qualitativer und quantitativer Nachweis der Wirksamkeit der Maßnahmen
- Ökonomische Beurteilung der CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten, die mit der Anwendung der Maßnahmen in der Praxis verbunden sind

Nach Auskunft des DBFZ sind derzeit noch keine Ergebnisse publiziert. Ansprechpartner im DBFZ sind Dr. rer. nat. Ingo Hartmann und Dr.-Ing. Jan Liebetrau (<https://www.dbfz.de/web/forschung/referenzprojekte/massnahmen-zur-reduzierung-von-emissionen-von-biogasanlagen-remisbio.html>).

## 7 Diskussion

Der vorhandene Datensatz zeigt nur sehr schwache statistische Abhängigkeiten der Formaldehydkonzentrationen von CO- und auch NO<sub>x</sub>-Konzentrationen. Insbesondere der Zusammenhang zwischen der Formaldehyd- und der CO-Konzentration ist plausibel, weil beide Gase von dem Katalysator aufoxidiert werden. Die Ableitung eines Faktors (bzw. einer aussagekräftigen Geradengleichung) ist aufgrund der schwachen Korrelationen ( $r < 0,5$ ) nicht möglich.

Die ebenfalls schwache Korrelation zwischen NO<sub>x</sub>- und CH<sub>2</sub>O-Konzentrationen ist aus der Literatur bekannt (ASCHMANN et al. 2011, s. auch Abbildung 1) und ermöglicht insoweit auch keine Ableitung eines Faktors.

Die gefundene Korrelation zwischen O<sub>2</sub>- und Formaldehyd-Konzentrationen ist ebenfalls aus der Literatur bekannt, weil bei einem höheren Lambda (bzw. magerem Betrieb) die Kohlenwasserstoffkonzentrationen ansteigen (ASCHMANN et al. 2011). Allerdings überrascht es, dass diese schwache Korrelation auch noch besteht, nachdem das Abgas im Oxidationskatalysator behandelt wird.

Die etwas bessere multiple Regression unter Berücksichtigung von CO- und NO<sub>x</sub>-Konzentrationen sagte CH<sub>2</sub>O-Konzentrationen im Bereich von 10–42 mgm<sup>3</sup> voraus, während die beobachteten Werte zwischen 17 und 90 mg CH<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup> lagen. Für eine tatsächliche quantitative Aussage ist diese Korrelation jedoch ebenfalls nicht ausreichend.

Die von MWM zur Verfügung gestellten Daten zur Abnahme der CH<sub>2</sub>O- und der CO-Oxidationsleistung zeigen, dass die CO-Konzentrationen mit den CH<sub>2</sub>O-Konzentrationen korrelieren. Diese Messungen beruhen – im Gegensatz zu den ausschließlichen Reingasmessungen aus den Messberichten – auf dem Vergleich von Roh- und Reingasmessungen und dürften insoweit belastbarer bzw. aussagekräftiger hinsichtlich einer möglichen Korrelation sein.

Darüber hinaus machen die zur Verfügung gestellten Daten deutlich, dass es wahrscheinlich sinnvoller ist, die Effizienz der Katalysatoren über eine vergleichende Messung von CO und Formaldehyd vor und nach dem Katalysator zu überwachen.

## 7.1 Nachteile einer ausschließlichen Reingasmessung

In dieser Studie wurden auftragsgemäß nur Daten von Messberichten verwendet. Daraus ergeben sich einige Schwachpunkte:

- Die Messungen erfolgen immer nach der Abgasbehandlung, d. h. reingasseitig. Eine Überprüfung der Leistungsfähigkeit der Katalysatoren ist bei solchen Messungen nicht vorgesehen. Zeitreihen mit Abgaswerten über einen längeren Zeitraum, die ein mögliches Altern eines Katalysators belegen, sind ebenfalls nur sehr wenige verfügbar (BAUER & WACHTMEISTER 2010 sowie Daten der BfUL, die zur Auswertung zur Verfügung gestellt wurden).
- Nicht alle Messberichte geben an, welche Katalysatoren verbaut wurden. Zudem fehlen in den meisten Messberichten Angaben zu Standzeiten und Wartungen.
- Inwieweit die Messungen der MWM GmbH zur Katalysatoreffizienz auch für andere Katalysatoren gültig bzw. verallgemeinerbar sind, ist unklar. Weil unterschiedliche Katalysatoren verbaut werden, wären die gezeigten Oxidationskennlinien für andere Katalysatoren ebenfalls zu bestimmen.

Dass dennoch eine schwache signifikante Korrelation zwischen  $\text{CH}_2\text{O}$  und CO ermittelt wurde, könnte ein Indiz dafür sein, dass man mit vergleichenden CO-Messungen vor und nach dem Oxydationskatalysator dessen Oxidationsleistung für Formaldehyd ermitteln kann.

## 7.2 Mögliches Messprogramm

Die gefundenen signifikanten Korrelationen zwischen CO- und Formaldehyd-Konzentrationen sind nur sehr schwach ausgeprägt. Allerdings könnte ein zielgerichtetes Messprogramm die Zusammenhänge verdeutlichen. Das Programm könnte folgenden Umfang aufweisen:

- Wöchentliches Messen der CO- und  $\text{NO}_x$ -Konzentration vor und nach dem Oxidationskatalysator. Dies kann mit geeigneten (und nicht unbedingt eignungsgeprüften) Messgeräten durchgeführt werden.
- Ermittlung des relativen Abbaus von CO und ggfs.  $\text{NO}_x$
- Paralleles Messen der Konzentrationen an Formaldehyd, CO und  $\text{NO}_x$  vor und nach dem Katalysator mittels FTIR oder anderen eignungsgeprüften Geräten
- Vergleich der CO- und  $\text{NO}_x$ -Messungen mit den geeigneten und eignungsgeprüften Messgeräten
- Ermittlung des relativen Abbaus von  $\text{CH}_2\text{O}$
- Erstellen von Kennlinien, aus denen ersichtlich wird, ab welchem relativen CO-Abbaugrad der Formaldehydabbau ebenfalls reduziert ist (Abbildung 19: nach acht Monaten beträgt der CO-Abbau noch 89 %, während der  $\text{CH}_2\text{O}$ -Abbau nur noch 67 % beträgt)
- Darüber hinaus wäre zu klären, ob die Kennlinien für verschiedene Katalysatoren ebenfalls verschieden sind.

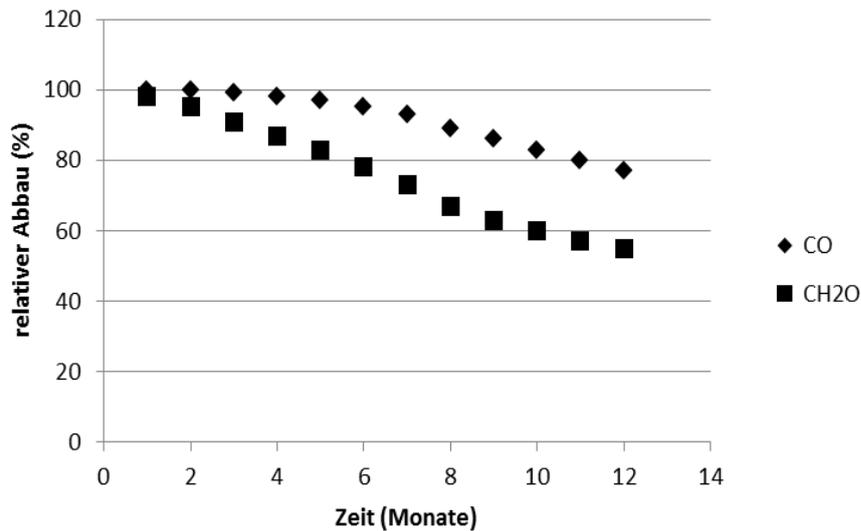


Abbildung 19: Beispiel für ein mögliches Ergebnis als Kennlinie aus der vorgeschlagenen Studie

## 8 Ergänzendes Messprogramm auf Grundlage der Vorschläge im Kapitel 7.2

### 8.1 Durchgeführte Messungen

Im Kapitel 7.2 wurde vorgeschlagen, ein zusätzliches Messprogramm durchzuführen, das die Gaszusammensetzung vor und nach einem Katalysator erfasst und somit evtl. über die Veränderung des CO-Abbaugrades das Nachlassen des Formaldehydabbaus (HCHO) abschätzen zu können und einen Punkt zu finden, bei dem der CO-Abbaugrad sich soweit vermindert hat, dass auch der Formaldehydabbau nicht mehr ausreichend ist. Es sollten also Abbaukennlinien für Katalysatoren, bezogen auf CO und CH<sub>2</sub>O, ermittelt und diese dann miteinander verglichen werden.

Weil das ganze vorgeschlagene Messprogramm aus Kapazitätsgründen nicht in vollem Umfang umsetzbar war, wurden in einem ersten Schritt durch die BfUL Teile davon umgesetzt.

Folgende Untersuchungen wurden durchgeführt:

- sieben Messungen der CO- und NO<sub>x</sub>-Konzentration vor und nach einem Oxidationskatalysator über ein Jahr (Angaben zum vermessenen BHKW und Katalysator siehe Anhang 11.3)
- Ermittlung des relativen Abbaus von CO und NO<sub>x</sub>
- paralleles Messen der Konzentrationen an Formaldehyd, CO und NO<sub>x</sub> vor und nach dem Katalysator

Die Messungen fanden im Zeitraum vom 03.01.2013 bis zum 21.01.2014 statt. Besonderheiten ergaben sich dadurch, dass auf Grund des Verschleißes am Katalysator sowohl am 09.01.2013 als auch am 21.01.2014 ein Austausch des Katalysators erforderlich war. Dies wurde bei der Festlegung des Auswertzeitraums berücksichtigt.

Außerdem fand im Juli 2013 ein Wechsel des Motors statt (Katalysator wurde nicht gewechselt).

Die vermessene Anlage wird nachfolgend kurz beschrieben.

Motor	Generator	el. Leistung/kW Wirkungsgrad/%	Entschwefelung/Abluftreinigung
TCG 2016 V12 Gasotto	HJB 400 LA4	537	Aktivkohlefilter zur Gasaufbereitung mit Oxidationskatalysator der Firma PRO 2
Hersteller: Deutz	Hersteller: Marelli	40	
Baujahr: 2005	Baujahr: 2005		

## 8.2 Verwendete Messtechnik

Bei den Messungen kam in allen Fällen die gleiche Messtechnik zum Einsatz. Im Anhang 11.3 ist ein Messbericht beigelegt, dort können die Angaben für die verwendete Messtechnik, die Kalibrierungen und die Einsatzbedingungen beispielhaft nachgelesen werden. Im Wesentlichen handelt es sich um dieselbe Messtechnik, welche auch schon bei den Messungen der BfUL in den Jahren 2010 bis 2012 zum Einsatz gekommen ist.

## 8.3 Messergebnisse

Die gewonnenen und verwendeten Messergebnisse sind im Anhang 11.4 dargestellt. Die dazugehörigen Messunsicherheiten sind beispielhaft dem Anhang 11.3 zu entnehmen.

Insgesamt wurden sechs Messberichte (Beispiel siehe Anhang 11.3) erstellt. Aus den Messberichten wurden alle die Messergebnisse für die Messtage verwendet, für die Werte vor und nach Katalysator für NO<sub>x</sub>, CO und HCHO vorlagen. Deshalb kamen die Messergebnisse für den 03.01.2013 und den 09.01.2013 nicht mit in die Auswertung.

Für die eigentliche Auswertung im Kapitel 8.4 wurde der Zeitraum 10.01.2013 bis 10.12.2013 verwendet, weil in diesem Zeitraum ein Katalysator kontinuierlich betrieben wurde. Die Ergebnisse vom 21.01.2014 haben nur zusätzlichen informativen Charakter.

Nachfolgend sind die Mittelwerte für die einzelnen Messtage für NO<sub>x</sub>, CO und HCHO dargestellt. Außerdem wurden die Ergebnisse nach Juli 2013 besonders hervorgehoben, da im Juli ein Motorwechsel stattfand und die Rohgaswerte für Formaldehyd dadurch erheblich geringer waren.

Für NO<sub>x</sub> ergab sich bei den Messungen eine Erhöhung der Werte nach dem Katalysator. Die Werte wurden in der Tabelle rot dargestellt.

**Tabelle 7: Mittelwerte der Messergebnisse und Abbauraten**

Messtag	NO <sub>x</sub> Roh	CO Roh	HCHO Roh	NO <sub>x</sub> Rein	CO Rein	HCHO rein	Abbaugrad NO <sub>x</sub>	Abbaugrad CO	Abbaugrad HCHO
10.01.13	159	631	173	175	54	40	-10	91	77
12.02.13	209	572	153	192	41	37	8	93	76
04.04.13	197	581	177	220	26	38	-12	96	79

Messtag	NOx Roh	CO Roh	HCHO Roh	NOx Rein	CO Rein	HCHO rein	Abbaugrad NOx	Abbaugrad CO	Abbaugrad HCHO
03.09.13	349	467	118	378	31	47	-8	93	60
10.12.13	278	440	111	319	44	57	-15	90	49
21.01.14	252	532	123	300	50	26	-19	91	79

## 8.4 Auswertung der Messergebnisse

Die Auswertung der Messergebnisse wurde bewusst nur für den Abbaugrad des Katalysators vorgenommen. Die Zusammenhänge zwischen den Einzelkomponenten (NO<sub>x</sub>, CO, HCHO ...) wurde bereits in Kapitel 1 bis 8 ausführlich untersucht. Außerdem fand während des Messzeitraums ein Motorwechsel statt, sodass die Auswertung für einen Motor anhand der Messwerte nicht möglich war.

### Verhältnis CO-Abbaugrad zum Formaldehydabbau (HCHO)

Hauptziel der zusätzlichen Messungen war es, zu prüfen, ob sich aus der Änderung des Abbaugrades für CO Rückschlüsse auf den Abbaugrad für HCHO ziehen lassen. Wäre dies der Fall, so könnte die Ermittlung des Abbaugrades für CO der Abschätzung des Abbaus von HCHO und somit des Restnutzungsgrades des Katalysators hinsichtlich der HCHO-Minderung dienen.

In Abbildung 20 sind der Messzeitraum und die ermittelten Abbaugrade an den Messtagen dargestellt.

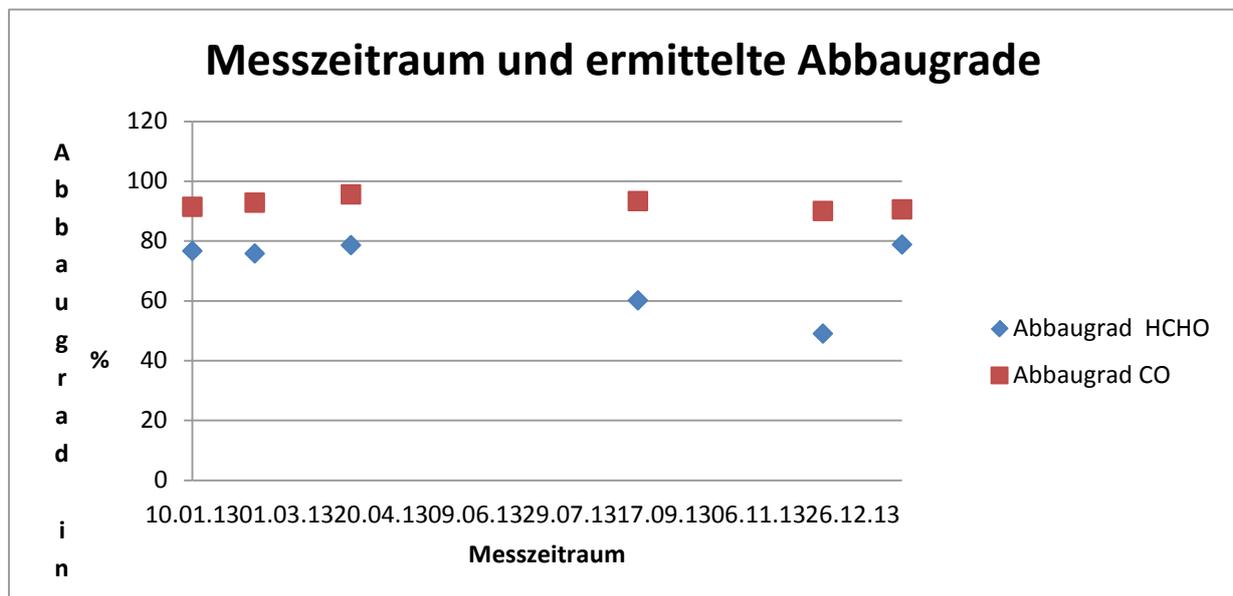


Abbildung 20: Messzeitraum und Abbaugrade

Es zeigt sich, dass sowohl der Abbaugrad für CO als auch für HCHO Schwankungen unterliegt. Mit dem Wechsel des Katalysators nach dem 09.01.2013 steigen die Abbaugrade sowohl für CO als auch HCHO leicht an, mit laufender Betriebsdauer sinken beide Abbaugrade wieder. Der Unterschied zwischen den Abbaugraden von CO und HCHO ist aber erheblich. So verringert sich der Abbaugrad für CO im September 2013 nur um 3 % gegenüber dem Höchstwert im April 2013, der Wert für HCHO liegt in hingegen bereits um 19 % niedriger. Von September bis Dezember 2013 sinkt dann der Abbaugrad für CO nochmals um 3 % und für HCHO um 11 %. Erst mit Einbau eines neuen Katalysators im Januar 2014 werden wieder ähnliche Abbaugrade wie im Januar 2013 erreicht.

Es ist deshalb im Ergebnis der durchgeführten Untersuchungen auf Grund der großen Unterschiede in den Abbauraten nicht davon auszugehen, dass sich aus der Änderung des Abbaugrades für CO qualifizierte Rückschlüsse auf den Abbaugrad für HCHO ziehen lassen. Schon bei relativ geringen Änderungen hinsichtlich der Abbaurate für CO kann der Katalysator u. U. nicht mehr für die ausreichende Minderung der HCHO-Emissionen geeignet sein.

Positiv ist zu bewerten, dass sich gegenüber früheren Untersuchungen die Standzeit der Katalysatoren hinsichtlich der HCHO-Minderung erhöht hat. Nicht geklärt ist dabei allerdings im vorliegenden Fall, welchen Einfluss die mit dem Motorwechsel im Juli 2013 verbesserten Rohgaswerte haben.

### **NO<sub>x</sub>-Abbaugrad**

Im Rahmen der Messungen wurde auch der Abbaugrad von NO<sub>x</sub> im Katalysator ermittelt. Hierbei war festzustellen, dass außer bei der Messung im Februar (Reduzierung um 8 %) eine Erhöhung des NO<sub>x</sub> um bis zu 19 % nach dem Katalysator festgestellt wurde. Wenn auch in keinem Fall eine Überschreitung des Emissionswertes nach TA Luft (500 mg/m<sup>3</sup>) festgestellt wurde, so hat dies doch überrascht, weil die für Reduzierung von Formaldehyd eingesetzten Oxidationskatalysatoren normalerweise NO<sub>x</sub> nicht reduzieren und die Neubildung von NO<sub>x</sub> in der Regel erst ab Temperaturen um etwa 800 °C zu erwarten ist. Im Katalysator wird bei Temperaturen von 150 bis 400 °C NO zu NO<sub>2</sub> oxidiert, was aber die Menge an NO<sub>x</sub> nicht verändert. Die Ursachen für die gemessenen Erhöhungen sind deshalb derzeit nicht bekannt. Teilweise kann dabei die Messunsicherheit eine Rolle spielen, ob dies aber die alleinige Ursache ist, kann nicht festgestellt werden. Sinnvoll ist es u. U., diesbezüglich zukünftig weitere Untersuchungen durchzuführen.

## **9 Zusammenfassung**

### **9.1 Erkenntnisse aus der Studie**

BHKW von Biogasanlagen benötigen in der Regel eine Abgasnachbehandlung, um den Grenzwert für Formaldehydemissionen einzuhalten. In der Regel kommen Oxidationskatalysatoren zum Einsatz. Für den Betreiber eines BHKWs mit Katalysator ist es jedoch praktisch nicht möglich, die ordnungsgemäße Funktion des Katalysators zu überwachen. Ziel dieser Studie war es daher, aus vorhandenen Messberichten von immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftigen Biogas-BHKW mögliche Korrelationen zwischen Formaldehyd- und anderen Abgaskonzentrationen aufzudecken.

Zu diesem Zweck standen 75 Datensätze aus Messberichten zur Verfügung. Darüber hinaus stellte der BHKW-Hersteller MWM GmbH 26 weitere Datensätze sowie Messdaten vor und nach dem Oxidationskatalysator zur Verfügung. Die Datensätze wurden mit einfacher und multipler Regressionsanalyse ausgewertet.

Signifikante ( $p < 0,05$ ), aber sehr schwache Zusammenhänge ( $r < 0,5$ ) zwischen Formaldehyd gab es jeweils mit den Parametern CO, NO<sub>x</sub> und O<sub>2</sub>. Diese Zusammenhänge sind in der Literatur bekannt.

Aufgrund der sehr schwachen Korrelationen konnten daraus keine Faktoren zur Berechnung der Formaldehydkonzentrationen aus anderen Gaskonzentrationen abgeleitet werden.

Insbesondere die Messungen der MWM GmbH vor und nach dem Oxidationskatalysator zeigen, dass diese wesentlich rascher ihre Oxidationsleistung für Formaldehyd als für CO verlieren. Eine mögliche Variante zur Überprüfung der Katalysatoren auf deren Formaldehydoxidationsleistung könnte darin bestehen, in regelmäßigen Abständen vor und nach dem Katalysator CO zu messen (ggf. auch NO<sub>x</sub>). Verringert sich die CO-Oxidationsleistung um einen bestimmten Prozentsatz (Schwellenwert), so ist davon auszugehen, dass die Formaldehydoxidationsleistung evtl. nicht mehr ausreicht, um bestehende Grenzwerte einzuhalten. Es ist jedoch stark zu vermuten, dass dieser Schwellenwert katalysatorspezifisch ist. Hierzu sind weitere Untersuchungen notwendig.

## 9.2 Erkenntnisse aus den Messungen

Die aus den zusätzlichen Messungen gewonnenen Erkenntnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Veränderungen der Abbaurate des untersuchten Oxydationskatalysators für CO sind als Indiz für die Veränderungen der Abbaurate von HCHO nicht geeignet. Schon bei relativ kleinen Verringerungen der Abbaurate für CO wurden große Verringerungen bei der Abbaurate für HCHO festgestellt.
- Die Standzeit des untersuchten Oxydationskatalysators hat sich gegenüber den Standzeiten früher verwendeter Katalysatoren des gleichen Anbieters erhöht und lag bei ca. einem Jahr.
- Bezüglich der NO<sub>x</sub>-Emissionen wurde eine Erhöhung der Emissionen nach dem Katalysator um bis zu 19 % festgestellt. Die Ursachen dafür sind derzeit nicht bekannt. Es sollten diesbezüglich zukünftig weitere Untersuchungen stattfinden.

# 10 Literatur

- ASCHMANN, V.; EFFENBERGER, M.; EBERTSCH, G. (2011): Voraussetzungen für einen emissionsarmen Betrieb biogasbetriebener BHKW, Bayern Biogas Forum, Nr. IV-8/2011
- BAUER, M. & WACHTMEISTER, G. (2008): Formaldehyd – Wirkmechanismen, Bericht zum Forschungsvorhaben, FVV-Vorhaben 918; Frankfurt a. Main
- BAUER, M. & WACHTMEISTER, G. (2010): Formaldehyd-Emissionen in Biogas-Verbrennungsmotoranlagen, Teil II: Eingehende Darstellung, Förderkennzeichen: 03MAP200
- Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) i. d. F. v. 2009
- KUHNKE, F. (2010): Improving combustion and optimizing exhaust gas after treatment systems. Graz, 12-05-10
- KRETSCHMANN, R.; ROTHE, F.; POPPITZ, W.; MOCZIGEMBA, T. (2012): Abluftreinigung bei BHKW – Erfahrungsbericht, Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Heft 21/2012
- DBFZ (2012):  
<http://www.energetische-biomassenutzung.de/de/vorhaben/liste-aller-vorhaben/details/projects/263/264.html>; Stand September 2012
- NEUMANN, T.; HOFMANN, U.; ZIKORIDSE, G. (2009): Formaldehydemissionen aus Biogas-BHKW, Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Heft 8/2009
- NEUMANN, T.; BEER, V.; WEDWITSCHKA, H. (2010): Biogas-BHKW: Einflussparameter auf die Formaldehydemissionen, Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Heft 16/2010
- Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft i. d. F. v. 24.07.2002, Ziff. 5.4.1.4

# 11 Anhang

## 11.1 Exemplarischer Auszug aus einem Messbericht

### 11.1.1 Beschreibung der Anlage

In den luftdicht verschlossenen Fermenter werden über Beschickungseinrichtungen Getreideschrot (ca. 3,5 t/d), Schweinegülle (ca. 10 m<sup>3</sup>/d) und Maissilage (ca. 4 m<sup>3</sup>/d) eingebracht. Durch anaerobe Abbauprozesse entsteht dort Biogas. Nach der Anaerobstufe wird das Gas getrocknet und gereinigt und dient dann als Treibstoff für den Gasmotor, der über einen Generator Strom erzeugt und mittels des Motorkühlers Heizenergie abgibt. Der erzeugte Strom wird ins Stromnetz eingespeist. Ein Teil der Heizenergie wird benötigt, um den Fermenter zu beheizen. Die restliche Heizenergie wird dem Stallgebäuden und Sozialgebäude (Warmwasser für Heizung, Reinigung) zugeleitet.

#### **Motor:**

Typ:	TCG 2016 V12 Gas/Otto
Hersteller:	Deutz Power Systems
Baujahr:	2005
Leistung:	537 kW
Thermische Leistung:	
Kühlwasserwärme:	210 kW
Gemischwärme:	98 kW
Abgaswärmetauscher:	342 kW

#### **Generator:**

Typ:	M8B 400 LA4
Hersteller:	Marelli Generators
Baujahr:	2005
Elektrische Leistung:	537 kW

#### **Beschreibung der Emissionsquellen:**

Emissionsquelle:	Abgasschlot
Höhe über Grund:	10 m
Austrittsfläche:	0,06 m <sup>2</sup>
Rechtswert/Hochwert:	
Bauausführung:	Edelstahl

### 11.1.2 Art der Anlage

Anlage zur Erzeugung von Strom und Warmwasser in einer Verbrennungsmotoranlage durch den Einsatz von gasförmigem Brennstoff (Biogas) mit einer Feuerungswärmeleistung von weniger als 50 MW.

Angabe der lt. Genehmigungsbescheid möglichen Einsatzstoffe:

Getreideschrot, Rindergülle, Maissilage

Zum Einfluss der Einsatzstoffe auf das Emissionsverhalten liegen keine Kenntnisse in Bezug auf besonders relevante Mischungsverhältnisse vor. Die zum Zeitpunkt der Messung eingesetzte Zusammensetzung der Eingangsstoffe entspricht dem Normalbetrieb.

Betriebszeiten:

- (a) Gesamtbetriebszeit: Betriebsstundenzähler: 47.382 h
- (b) Emissionszeit nach Betreiberangaben: Die Anlage kann 24 h/d und an 365 d/a betrieben werden.

### 11.1.3 Einrichtung zur Erfassung und Minderung der Emissionen

- (a) Einrichtung zur Erfassung der Emissionen  
 Anlage zur Emissionserfassung: Abgase aus dem Gasmotor werden über Katalysator und Abgaswärmetauscher dem Abgaskamin zugeführt.  
 Gasprobenahme und Geruchsprobenahme: nach Katalysator  
 Ventilatorckenndaten:  
 Ansaugfläche: nicht bekannt
- (b) Einrichtung zur Verminderung der Emissionen  
 Entschwefelung: Einblasen von Luft in die Behälter, Zugabe von Eisen-3-Chlorid, Katalysator
- (c) Einrichtung zur Kühlung des Abgases  
 Abgaswärmetauscher

### 11.1.4 Messergebnisse

#### Halbstundenmittelwerte vom 16.05.2011

BHKW

von	bis	O2 Vol%	CO2 Vol%	NOx mg/m <sup>3</sup> i.N.tr bez. 5% O2	CO mg/m <sup>3</sup> i.N.tr bez. 5% O2	SO2 mg/m <sup>3</sup> i.N.tr bez. 5% O2	Ges-C mg/m <sup>3</sup> i.N.tr bez. 5% O2	Methan FT-IR mg/m <sup>3</sup> i.N.tr	HCHO FT-IR mg/m <sup>3</sup> i.N.tr bez. 5% O2
BHKW Deutz TCG 2016									
10:45	11:15	8,83	10,68	328	49	8	2191	2251	63,8
11:15	11:45	8,87	10,62	331	49	8	2196	2239	63,4
11:45	12:15	8,80	10,72	334	46	8	2177	2247	63,0
12:15	12:45	8,81	10,73	338	48	8	2157	2240	64,3
Max BHKW		8,87	10,73	338	49	8	2196	2251	64,3
MW BHKW		8,83	10,69	333	48	8	2180	2244	63,6
λ	1,73								

Volumenströme

		BHKW 16.05.2011
Feuchtegrad	g/m <sup>3</sup> i.N.tr	96
O2	Vol%	8,83
Volumenstrom	m <sup>3</sup> /h i.N.feu	2705
	m <sup>3</sup> /h i.N.tr.	2418
O2-bezogen	m <sup>3</sup> /h i.N.tr.	1839

### 11.1.5 Messunsicherheiten

Messkomponente y	maximaler Messwert $y_{max}$	erweiterte Messunsicherheit $U_p$ mit $p = 95\%$	$y_{max} - U_p$	$y_{max} + U_p$	Bestimmungsmethode
Barometrischer Luftdruck in kPa	99,0	0,2	98,8	99,2	indirekter Ansatz (siehe Verfahrenshandbuch) Typ-A-Auswertung, Typ-B-Auswertung
Abgasfeuchte in $g/m^3$	100	3	97	103	indirekter Ansatz (siehe Verfahrenshandbuch) Typ-A-Auswertung, Typ-B-Auswertung
Abgastemperatur in $^{\circ}C$	177	7	170	184	indirekter Ansatz (siehe Verfahrenshandbuch) Typ-A-Auswertung, Typ-B-Auswertung
O <sub>2</sub> in Vol%	8,9	0,2	8,7	9,1	indirekter Ansatz (siehe Verfahrenshandbuch) Typ-A-Auswertung, Typ-B-Auswertung
NO <sub>x</sub> in $mg/m^3$	338	18	320	356	indirekter Ansatz (siehe Verfahrenshandbuch) Typ-A-Auswertung, Typ-B-Auswertung
CO in $mg/m^3$	49	1	48	50	indirekter Ansatz (siehe Verfahrenshandbuch) Typ-A-Auswertung, Typ-B-Auswertung
SO <sub>2</sub> in $mg/m^3$	8	2	6	10	indirekter Ansatz (siehe Verfahrenshandbuch) Typ-A-Auswertung, Typ-B-Auswertung
Formaldehyd (AHMT) in $mg/m^3$	68	4,0	64	72	direkter (Doppelbestimmung) und indirekter Ansatz (siehe Verfahrenshandbuch) Typ-A-Auswertung, Typ-B-Auswertung
Formaldehyd (FT-IR) in $mg/m^3$	64	2	62	66	direkter (Doppelbestimmung) und indirekter Ansatz (siehe Verfahrenshandbuch) Typ-A-Auswertung, Typ-B-Auswertung

## 11.2 Verwendeter Datensatz

### Herkunft der Daten, Messwerte bei 5 % Bezugssauerstoffgehalten

Quelle	NOx (g/m <sup>3</sup> )	CO (g/m <sup>3</sup> )	SO2 (g/m <sup>3</sup> )	Formaldehyd (mg/m <sup>3</sup> )	O2 (%)	CO2 (%)	Abgas- temp. (°C)	Abgas- feuchte (Vol.%)
Sachsen/gewitra	0,326	0,07	0,01	36,2	7,92	11,5		
Sachsen/gewitra	0,426	0,372	0,014	35,8	5,5	13,2	198	11,3
Sachsen/gewitra	0,45	0,064	0,014	15,9	6,2	12,6	212	10,7
Sachsen/gewitra	0,414	0,085	k.A.	14,4	6,8	12,1	202	10,4
Sachsen/gewitra	0,423	0,044	k.A.	3,4	5	13,6	229	11,5
Sachsen/gewitra	0,461	0,02	0,014	12,5	7,9	11,3	139	9,4
Sachsen/gewitra	0,415	0,03	0,002	3,7	7,7	k.A.	452	16,6
Sachsen/gewitra	0,466	0,05	k.A.	29,7	8,2	16	206	9,63
Sachsen/gewitra	0,426	0,04	k.A.	29,4	7,6	16,2	212	9,73
Sachsen/gewitra	0,426	0,04	k.A.	26,3	7,7	16,7	209	9,83
Sachsen/gewitra	0,43	0,08	k.A.	29,9	8	16,1	209	9,73
Sachsen/gewitra	0,46	0,1	k.A.	35,2	7,7	15,6	171	9,33
Sachsen/gewitra	0,336	0,03	k.A.	18,9	8,5	11,5	198	12,8
Sachsen/gewitra	0,356	0,05	k.A.	72	8,83	10,69	177	9,6
Sachsen/gewitra	0,479	0,019	k.A.	5,9				
Sachsen/gewitra	0,303	1		151,9	8,78	10,63		
Sachsen/gewitra	0,306	0,08		36,7	8,49	10,89		
Sachsen/gewitra	0,344	0,044	0,017	13,7	6,94	12,04	372	10,9
Sachsen/gewitra	0,565	0,058	0,019	14,7	7,1	13,23	216	10,7
Sachsen/gewitra	0,822	0,068	0,05	11,7	6,9	13,9		9,1
Sachsen/gewitra	0,387	0,078	0,076	17,9	6,21	14,57	435	10,4
Sachsen/gewitra	0,455	0,185	0,004	101,9	8,28	11,29		9,8
Sachsen/gewitra	0,435	0,036	0,003	19,3	8,34	11,32		9,8
Sachsen/gewitra	0,466	0,071	0	28,3	6,56	13,29	130	11,5
Sachsen/gewitra	1,353	1,382	0,02	45,8	5	15,28	180	12,3
Sachsen/gewitra	0,54	0,038	0,094	9,7	7,22	13,3		
Sachsen/gewitra	0,546	0,059		49,3	8,52			
Sachsen/gewitra	0,486	0,047		41,3	8,34			

Quelle	NOx (g/m³)	CO (g/m³)	SO2 (g/m³)	Formaldehyd (mg/m³)	O2 (%)	CO2 (%)	Abgas- temp. (°C)	Abgas- feuchte (Vol.%)
Sachsen/gewitra	0,46	0,056		37,3	8,37			
Sachsen/gewitra	0,381	0,032		19,7	8,42			
Sachsen/gewitra	0,343	0,115		102,9	8,49			
Sachsen/gewitra	0,358	0,12		103	8,46			
BHKW-Hersteller	0,421	0,105	0,004	35,3	8,3			
BHKW-Hersteller	0,464	0,1	0,060	59,2	8,39			
BHKW-Hersteller	0,589	0,044	0,023	25,6	8,63			
BHKW-Hersteller	0,543	0,02	0,037	21	10,84			
BHKW-Hersteller	0,54	0,077	0,039	36	8,3			
BHKW-Hersteller	0,478	0,094	0,057	43	8,9			
BHKW-Hersteller	0,54	0,07	0,035	34	8,54			
BHKW-Hersteller	0,424	0,084	0,003	32	8,2			
BHKW-Hersteller	0,51	0,122	0,051	64,1	8,13			
BHKW-Hersteller	0,469	0,059	0,024	31	8,81			
BHKW-Hersteller	0,462	0,269	0,042	88	8,71			
BHKW-Hersteller	0,479	0,029	0,035	36	8,39			
BHKW-Hersteller	0,465	0,048	0,050	40	8,76			
BHKW-Hersteller	0,488	0,031	0,030	32	8,56			
BHKW-Hersteller	0,494	0,002	0,023	16	7,93			
BHKW-Hersteller	0,484	0,012	0,034	27	7,87			
BHKW-Hersteller	0,482	0,018	0,029	35	7,67			
BHKW-Hersteller	0,438	0,022	0,027	42	8,62			
BHKW-Hersteller	0,44	0,023	0,041	52	8,21			
BHKW-Hersteller	0,354	0,101		44,3	7,95			
BHKW-Hersteller	0,721	0,005	0,016	13	8,17			
BHKW-Hersteller	0,432	0,017	0,040	36	7,6			
BHKW-Hersteller	0,454	0,033	0,035	48	0			
BHKW-Hersteller	0,453	0,045		68,2	7,65			
BHKW-Hersteller	0,456	0,025	0,034	40				
BHKW-Hersteller	0,446	0,034	0,039	43				

Quelle	NOx (g/m³)	CO (g/m³)	SO2 (g/m³)	Formaldehyd (mg/m³)	O2 (%)	CO2 (%)	Abgas- temp. (°C)	Abgas- feuchte (Vol.%)
Niedersachsen	0,354	0,098	<0,01	25,3			459	10,71
Niedersachsen	0,81	<0,01		6,6	6,4		189,6	12,7
Niedersachsen	0,474	0,029		33,1			205	10,96
Niedersachsen	0,618	0,008		7,7			213	8,79
Niedersachsen	0,444	0,025	0,006	6,4			204	11,03
Niedersachsen	0,44	0,02	0,001	6,9	7,8	12,5	211	
Niedersachsen	0,66	0,02		2,7			251	12,92
Niedersachsen	0,74	0,002		3,4			172	12,76
Niedersachsen	0,61	<0,014	<0,014	2,8	6,6	13,3	217	10,3
Niedersachsen	0,596	<0,014	<0,014	2	7,3	12,4	214	9,9
Niedersachsen	0,798	<0,014	<0,014	15,1	5,6	14,4	219	11,0
Niedersachsen	0,832	<0,014	<0,014	3,4	5,5	14,9	203	10,9
Niedersachsen	0,716	<0,014	<0,014	11,1	6,3	13,8	224	10,6
Niedersachsen	0,788	<0,020	<0,012	<1,5	6,6	13	175	
Niedersachsen	0,877	<0,020	<0,012	<1,4	6,1	12,6	195	
Niedersachsen	0,4	0,04	<0,001	16				
Niedersachsen	0,4	0,4	<0,001	50				
Niedersachsen	0,427	0,016		9,3	6,9	17	534	10,0
Niedersachsen	0,9	0,07		20,9	8,38	11,55	248,5	9,8
Niedersachsen	0,94	0,07		20,9	7,61	11,56	246,5	9,5
Niedersachsen	0,816	<0,014	<0,014	<1,5	6,9	13,6	205	10,1
Niedersachsen	0,789	<0,014	<0,014	<1,5	7,2	13,5	205	10,0
Niedersachsen	0,395	0,148		17,1			192	8,42
Niedersachsen	0,444	0,019		21,9	7,3	12,92	465	10,3
Niedersachsen	0,443	0,018		21,3	7,6	12,52	480	13,6
Niedersachsen	0,445	0,023		26	7,5	12,56	492	9,5
Niedersachsen	0,655	0,007		10,6	6,28	13,4	509	2,5
Niedersachsen	0,911	0,007		8,9	5,14	14,4	503	2,5
Niedersachsen	0,443	0,051		29,5			181	11,7
Niedersachsen	0,43	0,069		20,8			430	8,85

Quelle	NOx (g/m³)	CO (g/m³)	SO2 (g/m³)	Formaldehyd (mg/m³)	O2 (%)	CO2 (%)	Abgas- temp. (°C)	Abgas- feuchte (Vol.%)
Niedersachsen	0,434	0,051		18,1			400	13,86
Niedersachsen	0,424	0,089		35,3			175	14,55
Niedersachsen	0,88	0,07		28,6	7	18	210	8,59
Niedersachsen	0,87	0,03		17,7	7,7	17,2	208	8,41
Niedersachsen	0,436	0,423		33,3	8,3	11,9	430	9,3
Niedersachsen	0,44	<0,014		4,5	7,4	11,9	189	9,8
Niedersachsen	0,717	<0,014		17,2	6,7	14,2	234	10,1
Niedersachsen	0,725	<0,014		10,6	6,4	14,2	245	10,1
Niedersachsen	0,86	0,06		27,7	9,6	14,4	247	8,24
Niedersachsen	0,471	0,23		18,3	5,1	15,7	182	10,04
Niedersachsen	0,449	0,066	<0,014	17,3	7,5	11,6	151	9,6
Niedersachsen	0,41	0,07		33	8,2		239	10,1

## 11.3 Beispiel eines Messberichtes für das ergänzende Messprogramm



**Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft**  
**Messnetzbetrieb Luft, FB 42 Emissionsmessungen**  
**01445 Radebeul**  
**Altwahnsdorf 12**

Aktz. / Berichts-Nr.: 42/05/05/12

Datum: 05.09.2013

**Messbericht über die**  
**Durchführung von Emissionsmessungen am Blockheizkraftwerk XXXX**

Betreiber:

Standort:

Datum der Messung: 03. September 2013

Art der Messung: Emissionsmessung im besonderen behördlichen Interesse

Auftragsnummer: 42/05/01/12

Auftragsdatum: 18.10.2012

Berichtsumfang: 5 Seiten  
9

Anlagen mit 4 Blatt

Aufgabenstellung: Es sind Emissionsmessungen im Abgas des Blockheizkraftwerkes durchzuführen (CO, NO<sub>x</sub>, CH<sub>4</sub>, Formaldehyd, Abgasrandparameter)

## Bericht über die Durchführung von Emissionsmessungen

Name der Stelle: BfUL, Geschäftsbereich 4 – Luftmessnetz,  
Fachbereich 42 Emissionsmessungen

Berichtsnummer: 42/05/05/12

Datum: 20.02.2013

Betreiber: XXXX

Standort:

Art der Messung: Emissionsmessung im besonderen behördlichen Interesse

Auftragsnummer: 42/05/01/12

Auftragsdatum: 18.10.2012

Messtermin: 03.09.2013

Berichtsumfang: 59 Seiten

3 Anlagen

Aufgabenstellung: Emissionsmessungen an der genehmigungsbedürftigen Anlage zur Feststellung des Emissionsverhaltens der Anlage. Untersuchung, ob die Reduzierung der CO-Emissionen durch den Oxydationskatalysator Rückschlüsse auf die Minderung von Formaldehyd geben kann.

### Zusammenfassung

Anlage: BHKW mit Abgaswärmetauscher und Katalysator

Betriebszeiten: 24 h pro Tag, 365 d im Jahr

Emissionsquelle: Abgaskamin

Messkomponente	Einheit	Maximaler Messwert abzüglich Messunsicherheit	Maximaler Messwert zuzüglich Messunsicherheit	Emissionsbegrenzung	Auslastung der Anlage
CO	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr.bez.5% O <sub>2</sub>	57	59	1000	78%
NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr.bez.5% O <sub>2</sub>	445	483	500	78%
SO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr.bez.5% O <sub>2</sub>	1	1	350	78%
CO <sub>2</sub>	Vol%	11	12		78%
CH <sub>4</sub>	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr.bez.5% O <sub>2</sub>	1516	1852		78%
HCOH	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr.bez.5% O <sub>2</sub>	37	45	60	78%

### Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>1. Formulierung der Messaufgabe</b>	<b>38</b>
1.1 Auftraggeber:	38
1.2 Betreiber:	38
1.3 Standort:	38
1.4 Anlage:	38
1.5 Datum der Messung:	39
1.6 Anlass der Messung:	39
1.7 Aufgabenstellung:	39
1.8 Messobjekte:	39
1.9 Durchgeführte Ortsbesichtigung vor Messdurchführung:	39
1.10 Messplanabstimmung:	40
1.11 An der Probenahme beteiligte Personen:	40

1.12	Beteiligung weiterer Institute:	40
1.13	Fachlich Verantwortlicher:	40
<b>2.</b>	<b>Beschreibung der Anlage und der gehandhabten Stoffe</b>	<b>40</b>
2.1	Art der Anlage:	40
2.2	Beschreibung der Anlage:	40
2.3	Beschreibung der Emissionsquellen:	40
2.4	Angabe der lt. Genehmigungsbescheid möglichen Einsatzstoffe:	40
2.5	Betriebszeiten:	41
2.6	Einrichtung zur Erfassung und Minderung der Emissionen:	41
<b>3.</b>	<b>Beschreibung der Probenahmestelle</b>	<b>41</b>
3.1	Lage des Messquerschnittes:	41
3.2	Abmessungen des Messquerschnittes:	41
3.3	Anzahl der Messachsen und Lage der Messpunkte im Messquerschnitt:	41
3.4	Anzahl und Größe der Messöffnungen (Messstutzen):	42
<b>4</b>	<b>Mess- und Analysenverfahren, Geräte</b>	<b>42</b>
4.1	Abgasrandbedingungen	42
4.2	Kontinuierliche Messverfahren	43
4.3	Diskontinuierliche Messverfahren	46
<b>5.</b>	<b>Betriebszustand der Anlage während der Messungen</b>	<b>47</b>
5.1	Produktionsanlage	47
5.2	Abgasreinigungsanlagen	47
<b>6.</b>	<b>Zusammenstellung der Messergebnisse und Diskussion</b>	<b>47</b>
6.1	Bewertung der Betriebsbedingungen während der Messungen	47
6.2	Messergebnisse	48
6.3	Messunsicherheiten:	51
6.4	Plausibilitätsprüfung	51
<b>7.</b>	<b>Anhang – Anlagenübersicht</b>	<b>52</b>
7.1	Anlage 1: Grafische Darstellung der Messwerte	52
7.2	Anlage 2: Mess- und Rechenwerte	52
7.3	Anlage 3: Betriebsprotokolle	52

**1 Formulierung der Messaufgabe**

1.1	Auftraggeber	LfULG, Ref. 51 Ansprechpartner: Torsten Moczigemba Tel.: 0351 2612-5208  Wolfgang Poppitz Tel.: 0351 2612-5107
1.2	Betreiber	XXXX Ansprechpartner:
	Betreiber-/Arbeitsstätten-Nr.:	nicht bekannt
1.3	Standort	
1.4	Anlage	4. BImSchV: Nr. 1.4 Sp. 2 Anlage zur Erzeugung von Strom und Warmwasser in einer Verbrennungsmotoranlage für den Einsatz von gasförmigen Brennstoffen (Biogas) mit einer Feuerungswärmeleistung von weniger als 50 MW
	Anlagen-Nr.:	nicht bekannt

1.5 Datum der Messung 03.09.2013  
 Datum der letzten Messung: 04.04.2013  
 Datum der nächsten Messung: nicht bekannt

1.6 Anlass der Messung  
 Messung im besonderen behördlichen Interesse

1.7 Aufgabenstellung  
 Emissionsmessungen an der genehmigungsbedürftigen Anlage zur Feststellung des Emissionsverhaltens der Anlage. Untersuchung, ob die Reduzierung der CO-Emissionen durch den Oxydationskatalysator Rückschlüsse auf die Minderung von Formaldehyd geben kann.

1.8 Messobjekte  
 CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, HCOH, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, Abgasparameter

Folgender Messumfang wird realisiert:

Quelle: Rohgas vor Oxydationskatalysator	
NO, NO <sub>2</sub> , CO, SO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> (NGA 2000)	kont. Messung
HCOH (VDI 3862/4, AHMT-Verfahren)	diskont. Messung, 3 HMW
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (Probenahme auf Aktivkohle mit vorgeschaltetem Kondensatabscheider)	diskont. Messung
Abgastemperatur	diskont. Messung
Quelle: Reingas nach Oxydationskatalysator	
NO, NO <sub>2</sub> , CO, SO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> (NGA 2000)	kont. Messung
CO <sub>2</sub> (Ultramat 23)	kont. Messung
CO, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , HCOH, C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> , Abgasfeuchte (FTIR)	kont. Messung
HCOH (VDI 3862/4, AHMT-Verfahren parallele Probenahme direkt an PN-Stelle)	diskont. Messung, 3 HMW Rohgas
HCOH (VDI 3862/4, AHMT-Verfahren, parallele Probenahme direkt an PN-Stelle)	diskont. Messung, 3 HMW Reingas
Abgasparameter (Temperatur, Volumenstrom, statischer Druck)	diskont. Messung

1.9 Durchgeführte Ortsbesichtigung vor Messdurchführung

- Ortsbesichtigung durchgeführt
- Messbedingungen entsprechend DIN EN 15259
- vorgefunden
- nicht vorgefunden
- festgelegt und realisiert
- nicht festgelegt und realisiert
- keine Ortsbesichtigung durchgeführt
- weil mit den vorherigen Messungen an dieser Anlage befasst
- Messbedingungen entsprechend DIN EN 15259
- vorgefunden
- nicht vorgefunden

- 1.10 Messplanabstimmung  mit dem Betreiber  
 mit der zuständigen Aufsichtsbehörde  
 keine Messplanabstimmung durchgeführt
- 1.11 An der Probenahme beteiligte Personen Roland Kretschmann (BfUL)  
Frank Rothe (BfUL)
- 1.12 Beteiligung weiterer Institute ERGO Umweltinstitut GmbH Dresden
- 1.13 Fachlich Verantwortlicher Dr. Horst-Günter Kath  
Tel.-Nr.: 0351 8312715  
E-Mail: Horst-Guenter.Kath@smul.sachsen.de

## 2 Beschreibung der Anlage und der gehandhabten Stoffe

2.1 Art der Anlage 4. BImSchV: 10.23, Spalte 2

Anlage zur Erzeugung von Strom und Warmwasser in einer Verbrennungsmotoranlage durch den Einsatz von gasförmigem Brennstoff (Biogas) mit einer Feuerungswärmeleistung von weniger als 50 MW.

### 2.2 Beschreibung der Anlage

In den luftdicht verschlossenen Fermenter werden über Beschickungseinrichtungen Gerstenschrot, Gülle und Silage eingebracht. Durch anaerobe Abbauprozesse entsteht dort Biogas. Nach der Anaerobstufe wird das Gas getrocknet, gereinigt, über einen Aktivkohlefilter geleitet und dient dann als Treibstoff für den Gasmotor, der über einen Generator Strom erzeugt und mittels Abgaswärmetauscher Heizenergie abgibt. Der erzeugte Strom wird ins Stromnetz eingespeist. Ein Teil der Heizenergie wird benötigt, um den Fermenter zu beheizen. Die restliche Heizenergie wird verschiedenen Abnehmern zugeleitet.

Motor:

Typ: TCG 2016 V12 Gasotto

Hersteller: Deutz

Baujahr: 2005

Leistung: 555 kW

Thermische Leistung: keine Angabe

Generator:

Typ: HJB 400 LA4

Hersteller: Marelli

Baujahr: 2005

Elektrische Leistung: 537 kW

### 2.3 Beschreibung der Emissionsquellen

<b>Emissionsquelle:</b>	Abgaskamin
Höhe über Grund:	ca. 10 m
Austrittsfläche:	0,05 m <sup>2</sup>
Rechtswert/Hochwert:	14°32'21'' Ost, 51°12'55'' Nord
Bauausführung:	Edelstahlrohrkamin, freistehend

### 2.4 Angabe der lt. Genehmigungsbescheid möglichen Einsatzstoffe

Rindergülle, Roggenschrot, Silage

Zum Einfluss der Einsatzstoffe auf das Emissionsverhalten liegen keine Kenntnisse in Bezug auf besonders relevante Mischungsverhältnisse vor. Die zum Zeitpunkt der Messung eingesetzten Eingangsstoffe entsprechen dem Normalbetrieb.

## 2.5 Betriebszeiten

- 2.5.1 Gesamtbetriebszeit: Betriebsstundenzähler: 1.470 h  
2.5.2 Emissionszeit nach Betreiberangaben: Die Anlage kann 24 h/d und an 365 d/a betrieben werden.

## 2.6 Einrichtung zur Erfassung und Minderung der Emissionen

### 2.6.1 Einrichtung zur Erfassung der Emissionen:

- 2.6.1.1 Anlage zur Emissionserfassung: Abgase aus dem Gasmotor werden über Katalysator und Abgaswärmetauscher dem Abgaskamin zugeführt.  
2.6.1.2 Erfassungselemente: Krümmer am Zylinderkopf  
2.6.1.3 Ansaugfläche: Nicht bekannt

### 2.6.2 Einrichtung zur Verminderung der Emissionen:

Entschwefelung: Einblasen von Luft in die Behälter, Zugabe von Eisen-3-Chlorid, biologische Entschwefelung  
Aktivkohlefilter, Oxydationskatalysator

### 2.6.3 Einrichtung zur Kühlung des Abgases:

Abgaswärmetauscher

## 3 Beschreibung der Probenahmestelle

### 3.1 Lage des Messquerschnittes

- Lage vor Katalysator: Rohgas  
Probenahmestelle befindet sich in einem Krümmer vor dem Katalysator in einer Höhe von ca. 4 m über Grund auf dem Dach des Motorcontainers, ist über eine Leiter zugänglich.  
Einlaufstrecke: entspricht nicht DIN EN 13284-1, VDI 4200  
Auslaufstrecke: entspricht nicht DIN EN 13284-1, VDI 4200  
Lage nach Katalysator: Reingas  
Probenahmestelle befindet sich im senkrecht verlaufenden Abgaskamin nach Schalldämpfer und Abgaskatalysator in einer Höhe von ca. 5 m über Grund auf dem Dach des Motorcontainers, ist über eine Leiter zugänglich.  
Einlaufstrecke: 500 mm, entspricht nicht DIN EN 13284-1, VDI 4200  
Auslaufstrecke: 5000 mm, entspricht DIN EN 13284-1, VDI 4200

### 3.2 Abmessungen des Messquerschnittes

- Rohgas Reingas  
nicht ermittelbar  $D_h$ : 0,250 m  
A: 0,05 m<sup>2</sup>

### 3.3 Anzahl der Messachsen und Lage der Messpunkte im Messquerschnitt

Die Probenahme der gasförmigen Komponenten erfolgte in der Mitte des Messquerschnittes. Auf eine Homogenitätsprüfung wurde aufgrund der Dynamik des Prozesses und der damit verbundenen Emissionsschwankungen verzichtet. Die Schwankungsbreite der Geschwindigkeit im Messquerschnitt bezogen auf die mittlere Geschwindigkeit betrug  $\pm 20\%$ .

Gültige Homogenitätsprüfung

liegt nicht vor

liegt vor

Datum der Homogenitätsprüfung:

Berichts-Nr.:

Prüfinstitut:

Ergebnis der vorliegenden Homogenitätsprüfung:

- Messung an einem beliebigen Punkt
- Messung an einem repräsentativen Punkt
- Netzmessung erforderlich
- Fläche Messquerschnitt < 0,1 m<sup>2</sup>

### 3.4 Anzahl und Größe der Messöffnungen (Messstutzen)

Messöffnung vor Katalysator:

Verschraubung 1/2" zur Aufnahme Druckmessung Gegendruck vor Katalysator (war zum Zeitpunkt der Messung defekt, überbrückt)

Messöffnung nach Katalysator:

Je 1 Messöffnung 3" um 90 ° versetzt

## 4 Mess- und Analysenverfahren, Geräte

### 4.1 Abgasrandbedingungen

#### 4.1.1 Strömungsgeschwindigkeit:

Messgerät:

FCO332 Differenzdrucktransmitter mit Zylindersonde Testo mit integrierter Temperaturmessung

eingestellter Messbereich:

±2.500 Pa / 0 - 60 m/s

Unsicherheitsbereich:

± 0,25 % der Anzeige

Bestimmungsgrenze:

± 1 Pa

kontinuierliche Erfassung:

nein, diskontinuierlich von Hand

#### 4.1.2 Statischer Druck im Abgaskamin

Messgerät:

FCO332 Differenzdrucktransmitter mit Zylindersonde Testo mit integrierter Temperaturmessung

Messbereich:

Messbereich: ±2.500 Pa / 0 - 60 m/s

Unsicherheitsbereich:

Genauigkeit: ± 0,25 % der Anzeige

Bestimmungsgrenze:

± 1 Pa

#### 4.1.3 Luftdruck in Höhe der Probenahmestelle:

Barometer:

Dosenbarometer Thies

letzte Überprüfung/Kalibrierung:

08.10.12

#### 4.1.4 Abgastemperatur

Messgerät:

Zylindersonde mit Temperaturmessung (TE Typ K)

eingestellter Messbereich:

- 40 – 1200 °C

Unsicherheitsbereich:

± 0,2 %/ ± 2,0 K

kontinuierliche Erfassung:

nein

#### 4.1.5 Wasserdampfanteil im Abgas (Abgasfeuchte)

Messeinrichtung/ Ermittlungsmethode:

Wasserdampf mit FTIR-Analysator

Unsicherheitsbereich:

± 0,1 Vol%

kontinuierliche Erfassung:

ja

#### 4.1.6 Abgasdichte

Ermittlungsmethode:

Berechnet unter Berücksichtigung der Abgasanteile an O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO, Wasserdampfanteil und sonstiger Abgaskomponenten sowie der Abgastemperatur und Druckverhältnisse im Kanal.

#### 4.1.7 Abgasverdünnung:

Keine

#### 4.2 Kontinuierliche Messverfahren

##### 4.2.1 Messobjekt: anorganische und organische Gase:

4.2.1.1 Messverfahren: Fourier Transform Infrarot, FT-IR

4.2.1.1.1 Analysator: FTIR – Analysator

Hersteller: GASMET Dx-4000N

Baujahr: 2009

<b>Komponente</b>	<b>Kalibrierter Bereich</b>
Wasserdampf	0 – 0,1; 0 – 1; 0 - 22 Vol%
Stickstoffmonoxid	0 – 1000 ppm
Stickstoffdioxid	0 – 200 ppm
Kohlenmonoxid	0 – 2000 ppm
Schwefeldioxid	0 – 500 ppm
Kohlendioxid	0 – 10, 0 – 25 Vol%
Methan	0 – 4000 ppm
Formaldehyd	0 – 33 ppm
Acetaldehyd	0 – 100 ppm
Benzol	0 – 50 ppm

##### 4.2.1.1.2 Eingestellte Messbereiche:

automatische Messbereichsumschaltung, gewählt wird immer der kleinste mögliche Messbereich

4.2.1.1.3 Gerätetyp eignungsgeprüft: Das eingesetzte Gerät ist für die Komponenten NO, O<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub> eignungsgeprüft.

##### 4.2.1.1.4 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

beheizt auf: / unbeheizt 180 °C

Länge: 10 m

Probengasleitung nach Gasaufbereitung: Beheiztes Probenahmesystem SYCOS P-HOT (Leitungen, Messgaspumpe, Partikelfilter auf 180 °C beheizt)

Länge: 1 m

Werkstoffe der gasführenden Teile: Edelstahl/ PTFE

Messgasaufbereitung: Ohne

Messgaskühler: Ohne

Temperatur, geregelt auf: 180 °C

Trockenmittel: entfällt

#### 4.2.1.1.5 Überprüfen der Gerätekenlinie mit folgenden Prüfgasen

Prüfgas	Nennkonzentration	Hersteller	Flaschen-Nr.:	Herstelldatum	Stabilitätsgarantie
CO <sub>2</sub> in N <sub>2</sub>	15,0 %	Linde	1703667	08.10.2012	12 Monate
Mischgas CO	401 ppm	Linde	2521426	25.10.2012	12 Monate
SO <sub>2</sub>	407 ppm				
NO	393 ppm				
In N <sub>2</sub>					
NO <sub>2</sub> in Synth. Luft	83,8 ppm	Linde	2003005	26.11.2012	12 Monate
N <sub>2</sub>	99.999 Vol% N <sub>2</sub>	Linde	ohne		
Synth. Luft	20 Vol% O <sub>2</sub> 80 Vol% N <sub>2</sub>	Linde	ohne		
Rückführbar zertifiziert:		Ja, durch Linde AG			
Überprüfung des Zertifikates durch:		BfUL, Vergleich der Prüfgase alt/neu als Eingangskontrolle			
Am:		07.11.2012 (CO,SO <sub>2</sub> , NO); 05.12.2012 (NO <sub>2</sub> ); 25.10.2012 (CO <sub>2</sub> )			
Aufgabe durch das gesamte Probenahmesystem:		Ja, über Prüfgaseingang der Probenahmesonde			

#### 4.2.1.1.6 90 %-Einstellzeit des gesamten Messaufbaus

Ermittlung der Einstellzeit durch Aufzeichnung der Kalibrierphasen vom Ende der Prüfgasgabe bis zum Erreichen des Nullwertes.

Einstellzeit: 60 Sekunden

#### 4.2.1.1.7 Erfassung und Auswertung der Messwerte

Messwerterfassungssystem:

Notebook Windows 7 prof.

Auswertesoftware:

Gasmet – Software

#### 4.2.1.1.8 Maßnahmen zur Qualitätssicherung

Im Rahmen des QS-Systems:

jährliche Linearitätskontrolle an 5 Punkten einschließlich Null (siehe Verfahrenshandbuch und SOP 42/18/01)

jährliche Überprüfung der Wasserdampfkennlinie.

Qualitätssicherung vor Ort:

tägliche Aktualisierung des Null-Spektrums.

Dichtheitsprüfung der Probenahmeeinrichtung durch drucklose Aufgabe von Stickstoff über die Probenahmesonde, Vergleich des aufgenommenen Spektrums mit dem Null-Spektrum.

#### 4.2.1.2 Messverfahren:

Nichtdispersive UV und IR-Spektroskopie, magnetische Suzeptibilität

Artikel NDIR

O

Artikel NDUV

O<sub>2</sub>

Artikel NDIR

DIN EN 15058

O

Artikel NDUV

DIN EN 14212

O<sub>2</sub>

Artikel magnetische Suzeptibilität

DIN EN 14789

2

Artikel NDIR

O<sub>2</sub>

#### 4.2.1.2.1 Analysator: NGA 2000 MLT 5, Ultramat 23 (CO<sub>2</sub>)

Artikel VII.

Hersteller: Fischer Rosemount, Siemens

steller:

Artikel VIII. Ba 2000 und 2007, 2004 (Ultramat)  
 ujahr:

4.2.1.2.2 Eingestellte Messbereiche:

automatische Messbereichsumschaltung, gewählt wird immer der kleinste mögliche Messbereich

Komponente	Messbereich	Bestimmungsgrenze
Artikel IX.	NO 0 – 150 bis 0 – 1000 ppm	2 ppm
Artikel X.	NO 0 – 25 bis 0 – 250 ppm	2 ppm
2		
Artikel XI.	CO 0 – 50 bis 0 – 3500 ppm	2 ppm
Artikel XII.	SO 0 – 100 bis 0 – 2000 ppm	5 ppm
2		
Artikel XIII.	O2 0 – 10 bis 0 – 100 Vol%	0,01 Vol%
Artikel XIV.	CO 0 – 25 Vol%	0,1 Vol%
2		

4.2.1.2.3 Gerätetyp eignungsgeprüft: Die eingesetzten Geräte sind für die Komponenten NO, O<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub> .CO<sub>2</sub> eignungsgeprüft.

4.2.1.2.4 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	
beheizt auf: / unbeheizt	180 °C
Länge:	10 m
Probengasleitung nach Gasaufbereitung:	
Länge:	1 m
Werkstoffe der gasführenden Teile:	Edelstahl/ PTFE
Messgasaufbereitung:	PSS-5, Fa. M&C, GOT 100, Fa. Gröger&Obst
Messgaskühler:	Temperatur auf 4 °C geregelt
Temperatur, geregelt auf:	180 °C
Trockenmittel:	entfällt

4.2.2.5 Überprüfen der Gerätekenlinie mit folgenden Prüfgasen

Prüfgas	Nennkonzentration	Hersteller	Flaschen-Nr.:	Herstell-datum	Stabilitäts-garantie
CO <sub>2</sub> in N <sub>2</sub>	15,0 %	Linde	1703667	08.10.2012	12 Monate
Mischgas CO	401 ppm	Linde	2521426	25.10.2012	12 Monate
SO <sub>2</sub>	407 ppm				
NO	393 ppm				
In N <sub>2</sub>					
NO <sub>2</sub> in Synth. Luft	83,8 ppm	Linde	2003005	26.11.2012	12 Monate
N <sub>2</sub>	99,999 Vol% N <sub>2</sub>	Linde	ohne		
Synth. Luft	20 Vol% O <sub>2</sub> 80 Vol% N <sub>2</sub>	Linde	ohne		
Rückführbar zertifiziert:		Ja, durch Linde AG			
Überprüfung des Zertifikates durch:		BfUL, Vergleich der Prüfgase alt/neu als Eingangskontrolle			
Am:		07.11.2012 (CO,SO <sub>2</sub> , NO); 05.12.2012 (NO <sub>2</sub> ); 25.10.2012 (CO <sub>2</sub> )			
Aufgabe durch das gesamte Probenahmesystem:		Ja, über Prüfgaseingang der Probenahmesonde			

#### 4.2.2.6 90 %-Einstellzeit des gesamten Messaufbaus

Ermittlung der Einstellzeit durch Aufzeichnung der Kalibrierphasen vom Ende der Prüfgasgasaufgabe bis zum Erreichen des Nullwertes.

Einstellzeit: 60 Sekunden

#### 4.2.2.7 Erfassung und Auswertung der Messwerte

Messwernerfassungssystem:

Notebook Windows 7 prof.

Auswertesoftware:

AMR WinControl Messwernerfassung Version, Fa. akrobit software GmbH

#### 4.2.2.8 Maßnahmen zur Qualitätssicherung

Im Rahmen des QS-Systems:

jährliche Linearitätskontrolle an 5 Punkten einschließlich Null (siehe Verfahrenshandbuch und SOP 42/18/01)

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 Stickstoff über die Probenahmesonde.

### 4.3 Diskontinuierliche Messverfahren

#### 4.3.1 Gas- und dampfförmige Emissionen

##### 4.3.1.1 Messobjekt:

Formaldehyd HCHO

##### 4.3.1.1.1 Messverfahren:

Artikel XV.

Nasschemisches Verfahren nach

VDI 3862 Blatt 4

##### 4.3.1.1.2 Messplatzaufbau:

Entnahmesonde:

Messgasentnahme mittels durch den Abgasstrom beheizter Sonde, M&C PSP 4000 H/C/T

Material:

Edelstahl

beheizt auf: / unbeheizt / gekühlt auf:

°C

maximale Eintauchtiefe

0,1 m

Partikelfilter:

außenliegender Glasfaserfilter

Typ:

M&C PSP 4000 H/C/T

Material:

Glasfaser

beheizt auf: / unbeheizt

180 °C

Ab- / Adsorptionseinrichtungen:

2 x Waschflaschen mit Münkeeinsatz, 1 Tropfenabscheider

Sorptionsmittel:

Bidestilliertes Wasser

Sorptionsmittelmenge:

30 ml je Flasche

Absaugeinrichtung:

DESEGA-GS 312 Messmittelnr.: 5003

Abstand zwischen Ansaugöffnung der

ca. 50 cm

Entnahmesonde und dem Sorptionsmittel

bzw. Abscheideelement:

Probentransfer:

Transport in Kühlbox, Übergabe an Labor am Messtag, Lagerung im Kühlschrank und Analyse am Folgetag

Beteiligung eines Fremdlabors:

nein

##### 4.3.1.1.3 Analytische Bestimmung

Analysenverfahren:

AHMT VDI 3862, Blatt 4

Analysengeräte:

Büchi 9000, Fa. BÜCHI Labortechnik AG

Standards:

Stammlösungen (jodometrisch bestimmt)

Beteiligung eines Fremdlabors:

nein, Bestimmung durch Labor BfUL

#### 4.3.1.1.4 Verfahrenskenngrößen

Bestimmungsgrenze: 2 µg/ Probe

#### 4.3.1.1.5 Maßnahmen zur Qualitätssicherung

- Dichtheitsprüfung der Probenahmeeinrichtung erfolgt vor jeder Probenahme
- Gesamtleerwert: 2 µg/Probe
- Messunsicherheit des Gasvolumens: < 2 %
- Messunsicherheit Druck und Temperatur: < 1 %

#### 4.3.2 Partikelförmige Emissionen

entfällt

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

entfällt

#### 4.3.4 Geruchsemissionen

entfällt

### 5 Betriebszustand der Anlage während der Messungen

#### 5.1 Produktionsanlage

Betriebsweise:

03.09.2013 78 % Nennleistung (425 – 325 kW)

Durchsatz / Leistung: 267 m<sup>3</sup>/h - 6411 m<sup>3</sup> Biogas/Tag

Abweichungen von genehmigter bzw. Keine

bestimmungsgemäßer Betriebsweise:

besondere Vorkommnisse: neuer Motor ab 03.07.2013

Einsatzstoffe / Brennstoffe: Vergärung von Rindergülle, Silage und Getreideschrot

Produkte: Elektrische Energie und Heizenergie

charakteristische Betriebsgrößen: Nennleistung 530 kW

#### 5.2 Abgasreinigungsanlagen

Oxydationskatalysator Typ IV, Fa. INTERKAT Katalysatoren GmbH

charakteristische Betriebsgrößen: Abmessungen: 385 x 90 mm

aktive Oberfläche: 200 cpsi

cpsi – cells per square inch

Betriebstemperaturen: keine Messwerte

emissionsbeeinflussende Parameter: Motorleistung

Besonderheiten der Abgasreinigung: Zur Reinigung des Brenngases sind eine Gaskühlung und ein Aktivkohlefilter vor dem Motor installiert.

Abweichungen von bestimmungsgemäßer keine

Betriebsweise:

besondere Vorkommnisse: Wechsel des Katalysators am 09.01.2013

Betriebsstunden des KAT ca. 4835 h

### 6 Zusammenstellung der Messergebnisse und Diskussion

#### 6.1 Bewertung der Betriebsbedingungen während der Messungen

Die Anlage wurde im Messzeitraum bestimmungsgemäß und kontinuierlich betrieben. Die Forderung der TA-Luft nach höchster Emission war im bewerteten Messzeitraum mit 78 % Anlagenleistung nicht erfüllt.

Hinsichtlich des Katalysatorwirkungsgrades können die Ermittlungen als repräsentativ angesehen werden, da im Vergleich mit vorhergehenden Messungen für Formaldehyd ähnliche Rohgaskonzentrationen gemessen wurden.

6.2 Messergebnisse

Kontinuierliche Verfahren:

Konzentration ausgewählter anorganischer und organischer Gase

**Halbstundenmittelwerte NGA und Ultramat Reingas vom 03.09.2013**

von	bis	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	SO <sub>2</sub>
		Vol%	Vol%	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr bez. 5% O <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr bez. 5% O <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr bez. 5% O <sub>2</sub>
10:30	11:00	7,87	11,05	460	46	1
11:00	11:30	7,82	11,11	460	42	1
11:30	12:00	7,92	11,06	463	49	2
12:00	12:30	7,83	11,16	464	43	2
12:30	13:00	8,00	10,97	457	58	3
Max BHKW		8,00	11,16	464	58	3
MW BHKW		7,89	11,07	461	48	2
λ		1,60				

**Halbstundenmittelwerte FTIR Reingas vom 03.09.2013**

von	bis	H <sub>2</sub> O	Methan	HCHO	HCHO
		Vol%	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr bez. 5 %O <sub>2</sub>
10:30	10:59	12,3	1587	31,1	38,0
10:59	11:29	12,4	1625	30,5	37,1
11:29	11:59	13,0	1678	34,0	41,8
11:58	12:29	13,0	1681	32,7	39,9
12:28	12:59	12,9	1684	33,6	41,5
Max BHKW		12,97	1684	34,0	41,8
MW BHKW		12,72	1651	32,4	39,6
λ		1,60			

## Volumenströme

		BHKW
		03.09.2013
Feuchtegrad	g/m <sup>3</sup> i.N.tr	102
O <sub>2</sub>	Vol%	7,89
Volumenstrom	m <sup>3</sup> /h i.B.feu	2934
T <sub>Abgas</sub>	°C	175,00
P <sub>Abgas</sub>	Pa(abs)	130,00
	m <sup>3</sup> /h i.N.feu	2294
	m <sup>3</sup> /h i.N.tr.	2036
O <sub>2</sub> -bezogen	m <sup>3</sup> /h i.N.tr.	1668

## Massenströme Reingas vom 03.09.2013

von	bis	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	Methan	HCHO
		kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h
10:30	11:00	361	0,77	0,08	0,00	2,65	0,06
11:00	11:30	363	0,77	0,07	0,00	2,71	0,06
11:30	12:00	362	0,77	0,08	0,00	2,80	0,07
12:00	12:30	365	0,77	0,07	0,00	2,80	0,07
12:30	13:00	359	0,76	0,10	0,00	2,81	0,07

## Diskontinuierliche Verfahren

### Formaldehyd (AHMT-Verfahren) Rohgas vom 03.09.2013

Sorbens: bidestilliertes Wasser		Probenvolumen	Analysen- ergebnis	Konzentration	Konzentration bez. 5 % O <sub>2</sub>	Massen- strom
		NI	µg/Probe	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr.	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr.	g/h
Zeit	Probe					
10:59 -11:28	G1/G2	30,0	2955	98,5	119,1	198,7
11:37-12:07	H1/H2	30,0	2852	95,1	115,4	192,5
12:15-12:45	I1/I2	30,0	2966	98,9	118,9	198,4

### Formaldehyd (AHMT-Verfahren) Reingas vom 03.09.2013

Sorbens: bidestilliertes Wasser		Probenvolumen	Analysen- ergebnis	Konzentration	Konzentration bez. 5% O <sub>2</sub>	Massen- strom
		NI	µg/Probe	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr.	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr.	g/h
Zeit	Probe					
10:59 -11:33	K1/K2	30,0	1032	34,4	41,9	69,9
11:37 -12:11	L1/L2	30,0	1195	39,8	48,4	80,7
12:15 -12:48	M1/M2	30,0	1240	41,3	50,6	84,3

**Messwerte Roh- und Reingas am 03.09.2013**

von	bis	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
		Vol%	Vol%	ppm	ppm	ppm, tr	ppm,tr	mg/m <sup>3</sup> tr
<b>Rohgas</b>								
10:30	11:00	7,82		471	1	133	335	335
11:00	11:30	7,76		466	2	142	350	350
11:30	12:00	7,82		469	2	139	352	352
12:00	12:30	7,70		462	2	142	358	358
12:30	13:00	7,90		468	43	138	348	348
Max BHKW		7,90		471	43	142	33	358
MW BHKW		7,80		467	10	139	31	349
<b>Reingas</b>								
10:30	11:00	7,87	11,05	30	0	159	25	378
11:00	11:30	7,82	11,11	28	0	158	27	379
11:30	12:00	7,92	11,06	32	1	158	27	379
12:00	12:30	7,83	11,16	28	1	158	28	382
12:30	13:00	8,00	10,97	38	1	168	13	371
Max BHKW		8,00	11,16	38	1	168	28	382
MW BHKW		7,89	11,07	31	1	160	24	378

Abscheidegrad	
CO	85%
NO <sub>x</sub>	-12%
HCHO	60,5%

### 6.3 Messunsicherheiten

Messkomponente y	Einheit	maximaler Messwert $y_{\max}$	erw. Messunsicherheit $U_p$ mit $p = 95\%$	$y_{\max} - U_p$	$y_{\max} + U_p$	Bestimmungsmethode
Barometrischer Luftdruck	kPa	100,3	0,2	100,1	100,5	1
Statischer Druck	Pa	130	7	123	137	1
Abgasgeschwindigkeit	m/s	17	2	15	19	1
Abgasfeuchte	g/m <sup>3</sup>	92	8	142	100	1
Abgastemperatur	°C	175	7	168	182	1
O <sub>2</sub> in Vol%	Vol%	7,9	0,2	7,7	8	1
NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup>	464	19	445	483	1
CO	mg/m <sup>3</sup>	509	10	499	519	1
SO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup>	1,0	0,1	0,9	1,1	1
CO <sub>2</sub>	Vol%	11,2	0,4	10,8	11,6	3
CH <sub>4</sub> (FTIR)	mg/m <sup>3</sup>	1684	168	1516	1852	3
HCOH (AHMT)	mg/m <sup>3</sup>	99	9	90	108	1, 2

- 1 indirekter Ansatz (siehe Verfahrenshandbuch) Typ-A-Auswertung, Typ-B-Auswertung
- 2 direkter Ansatz (Doppelbestimmung)
- 3 geschätzt

### 6.4 Plausibilitätsprüfung

Die Anlage wurde im Messzeitraum bestimmungsgemäß und kontinuierlich betrieben. Die Forderung der TA Luft nach höchster Emission war im bewerteten Messzeitraum mit 60–80 % Anlagenleistung nicht erfüllt. Die Ermittlungen können dennoch für den Katalysatorwirkungsgrad als repräsentativ angesehen werden. Die Stickoxidkonzentrationen sind bei Teillastbetrieb niedriger als bei Vollast. Bezüglich des Ziels der Untersuchung, ob die Reduzierung der CO-Emissionen durch den Oxydationskatalysator Rückschlüsse auf die Minderung von Formaldehyd geben kann, konnte aufgrund des geringen Umfangs vorliegender Daten und der Konstanz der CO- und HCOH-Konzentrationen im Roh- und Reingas bei bisher drei Messreihen kein eindeutiger korrelativer Zusammenhang hergestellt werden. Eine Verringerung des Katalysatorwirkungsgrades, wie bei früheren Untersuchungen an älteren Katalysatorarten festgestellt, konnte bisher nicht nachgewiesen werden.

Unterschrift des Bearbeiters  
(Projektleiter)

Unterschrift des fachlich  
Verantwortlichen

## 7 Anhang – Anlagenübersicht

7.1	<b>Anlage 1:</b>	<b>Grafische Darstellung der Messwerte</b>	2 Blatt
7.2	<b>Anlage 2:</b>	<b>Mess- und Rechenwerte</b>	
		1 Blatt	
7.3	<b>Anlage 3:</b>	<b>Betriebsprotokolle</b>	
		1 Blatt	

# 11.4 Messergebnisse

10.01.2013

## Formaldehyd (AHMT-Verfahren) Rohgas vom 10.01.2013

Sorbens: bidestilliertes Wasser		Probenvolumen	Analysen- ergebnis	Konzentration	Konzentration bez. 5 % O <sub>2</sub>	Massen- strom
		NI	µg/Probe	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr.	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr.	g/h
Zeit	Probe					
10:55-11:26	G1/G2	30,0	3733	124,4	167,1	209,7
11:31-12:02	H1/H2	30,0	3886	129,5	173,8	218,0
12:04-12:36	I1/I2	30,0	3957	131,9	177,1	222,2

## Formaldehyd (AHMT-Verfahren) Reingas vom 10.01.2013

Sorbens: bidestilliertes Wasser		Probenvolumen	Analysen- ergebnis	Konzentration	Konzentration bez. 5 % O <sub>2</sub>	Massen- strom
		NI	µg/Probe	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr.	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr.	g/h
Zeit	Probe					
10:55-11:26	K1/K2	30,0	900	30,0	40,1	50,3
11:31-12:02	L1/L2	30,0	893	29,8	39,8	49,9
12:04-12:36	M1/M2	30,0	921	30,7	41,0	51,5

## Messwerte Roh- und Reingas am 10.01.2013

von	bis	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
		Vol%	Vol%	ppm	ppm	ppm, tr	ppm, tr	mg/m <sup>3</sup> tr
<b>Rohgas</b>								
10:55	11:25	9,08		630	1	67	11	159,3
11:25	11:55	9,07		630	1	66	12	158,8
11:55	12:25	9,08		630	1	64	12	157,5
12:25	12:55	9,08		630	1	67	11	160,1
12:55	13:25	9,09		633	1	68	10	160,1
<b>Reingas</b>								
10:55	11:25	9,03	10,60	54	1	67	18	174,7
11:25	11:55	9,02	10,60	54	1	68	18	176,5
11:55	12:25	9,02	10,59	54	1	67	18	174,1
12:25	12:55	9,02	10,60	54	1	67	18	175,2
12:55	13:25	9,04	10,62	54	1	67	18	174,6

12.02.2013

**Formaldehyd (AHMT-Verfahren) Rohgas vom 12.02.2013**

Sorbens: bidestilliertes Wasser		Probenvolumen	Analysen- ergebnis	Konzentration	Konzentration bez. 5 % O <sub>2</sub>	Massen- strom
		NI	µg/Probe	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr.	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr.	g/h
Zeit	Probe					
11:50 -12:18	K1/K2*	30,0	2960	98,7	127,6	167,2
12:53 -13:22	L1/L2	30,0	3740	124,7	161,0	210,9
13:30-13:59	M1/M2	30,0	3979	132,6	170,9	223,9

**Formaldehyd (AHMT-Verfahren) Reingas vom 12.02.2013**

Sorbens: bidestilliertes Wasser		Probenvolumen	Analysen- ergebnis	Konzentration	Konzentration bez. 5% O <sub>2</sub>	Massen- strom
		NI	µg/Probe	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr.	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr.	g/h
Zeit	Probe					
11:50 -12:18	G1/G2	30,0	880	29,3	37,7	49,4
12:53 -13:22	H1/H2	30,0	831	27,7	35,7	46,8
13:30-13:59	I1/I2	30,0	928	30,9	39,7	52,0

**Messwerte Roh- und Reingas am 12.02.2013**

von	Bis	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
		Vol%	Vol%	ppm	ppm	ppm, tr	ppm,tr	mg/m <sup>3</sup> tr
<b>Rohgas</b>								
11:50	12:20	8,63		573	1	82	20	209,9
12:20	12:50	8,61		574	1	80	21	206,2
12:50	13:20	8,58		571	1	81	21	210,3
13:20	13:50	8,61		570	1	80	21	207,5
13:50	14:16	8,70		570	1	82	21	212,2
<b>Reingas</b>								
11:50	12:20	8,55	11,65	41	1	83	14	198,4
12:20	12:50	8,58	11,63	43	1	69	21	184,3
12:50	13:20	8,53	11,67	40	1	79	17	198,2
13:20	13:50	8,55	11,64	43	1	77	18	194,9
13:50	14:16	8,51	11,28	39	1	70	19	183,0

04.04.2013

**Formaldehyd (AHMT-Verfahren) Rohgas vom 04.04.2013**

Sorbens: bidestilliertes Wasser		Probenvolumen	Analysen- ergebnis	Konzentration	Konzentration bez. 5 % O <sub>2</sub>	Massen- strom
		NI	µg/Probe	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr.	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr.	g/h
Zeit	Probe					
11:04 -11:33	G1/G2	30,0	3933	131,1	170,0	159,1
11:39 -12:08	H1/H2	30,0	4337	144,6	185,6	173,7
12:16-12:45	I1/I2	30,0	4120	137,3	174,8	163,6

**Formaldehyd (AHMT-Verfahren) Reingas vom 04.04.2013**

Sorbens: bidestilliertes Wasser		Probenvolumen	Analysen- ergebnis	Konzentration	Konzentration bez. 5 % O <sub>2</sub>	Massen- strom
		NI	µg/Probe	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr.	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr.	g/h
Zeit	Probe					
11:03 -11:35	K1/K2	30,0	960	32,0	41,3	38,7
11:39 -12:10	L1/L2	30,0	908	30,3	38,7	36,2
12:16 -12:45	M1/M2	30,0	796	26,5	33,7	31,5

**Messwerte Roh- und Reingas am 04.04.2013**

von	bis	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
		Vol%	Vol%	ppm	ppm	ppm, tr	ppm,tr	mg/m <sup>3</sup> tr
<b>Rohgas</b>								
11:00	11:30	8,66		670	1	85	19	212,8
11:30	12:00	8,54		662	1	88	21	224,2
12:00	12:30	8,43		642	1	89	22	226,7
12:30	13:00	13,96		351	1	49	12	124,2
<b>Reingas</b>								
11:00	11:30	8,61	10,82	38	1	90	22	230,6
11:30	12:00	8,49	10,96	31	1	95	24	243,7
12:00	12:30	8,39	11,08	23	1	94	26	246,0
12:30	13:00	13,01	6,98	11	1	61	17	161,0

03.09.2013

**Formaldehyd (AHMT-Verfahren) Rohgas vom 03.09.2013**

Sorbens: bidestilliertes Wasser		Probenvolumen	Analysen- ergebnis	Konzentration	Konzentration bez. 5 % O <sub>2</sub>	Massen- strom
		NI	µg/Probe	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr.	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr.	g/h
Zeit	Probe					
10:59 -11:28	G1/G2	30,0	2955	98,5	119,1	198,7
11:37-12:07	H1/H2	30,0	2852	95,1	115,4	192,5
12:15-12:45	I1/I2	30,0	2966	98,9	118,9	198,4

**Formaldehyd (AHMT-Verfahren) Reingas vom 03.09.2013**

Sorbens: bidestilliertes Wasser		Probenvolumen	Analysen- ergebnis	Konzentration	Konzentration bez. 5 % O <sub>2</sub>	Massen- strom
		NI	µg/Probe	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr.	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr.	g/h
Zeit	Probe					
10:59 -11:33	K1/K2	30,0	1032	34,4	41,9	69,9
11:37 -12:11	L1/L2	30,0	1195	39,8	48,4	80,7
12:15 -12:48	M1/M2	30,0	1240	41,3	50,6	84,3

**Messwerte Roh- und Reingas am 03.09.2013**

von	bis	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
		Vol%	Vol%	ppm	ppm	ppm, tr	ppm,tr	mg/m <sup>3</sup> tr
<b>Rohgas</b>								
10:30	11:00	7,82		471	1	133	335	335
11:00	11:30	7,76		466	2	142	350	350
11:30	12:00	7,82		469	2	139	352	352
12:00	12:30	7,70		462	2	142	358	358
12:30	13:00	7,90		468	43	138	348	348
<b>Reingas</b>								
10:30	11:00	7,87	11,05	30	0	159	25	378
11:00	11:30	7,82	11,11	28	0	158	27	379
11:30	12:00	7,92	11,06	32	1	158	27	379
12:00	12:30	7,83	11,16	28	1	158	28	382
12:30	13:00	8,00	10,97	38	1	168	13	371

10.12.2013

**Formaldehyd (AHMT-Verfahren) Rohgas vom 10.12.2013**

Sorbens: bidestilliertes Wasser		Probenvolumen	Analysen- ergebnis	Konzentration	Konzentration bez. 5 % O <sub>2</sub>	Massen- strom
		NI	µg/Probe	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr.	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr.	g/h
Zeit	Probe					
10:30-11:01	G1/G2	30,0	2625	87,5	107,1	156,9
11:07-11:40	H1/H2	30,0	2798	93,3	113,7	166,5
11:43-12:16	I1/I2	30,0	2746	91,5	111,7	163,7

**Formaldehyd (AHMT-Verfahren) Reingas vom 10.12.2013**

Sorbens: bidestilliertes Wasser		Probenvolumen	Analysen- ergebnis	Konzentration	Konzentration bez. 5 % O <sub>2</sub>	Massen- strom
		NI	µg/Probe	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr.	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr.	g/h
Zeit	Probe					
10:30-11:05	K1/K2	30,0	1209	40,3	49,6	72,6
11:07-11:41	L1/L2	30,0	1397	46,6	57,2	83,7
11:42-12:17	M1/M2	30,0	1530	51,0	62,8	92,0

**Messwerte Roh- und Reingas am 10.12.2013**

von	bis	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
		Vol%	Vol%	ppm	ppm	ppm, tr	ppm, tr	mg/m <sup>3</sup> tr
<b>Rohgas</b>								
10:30	11:00	7,93		441	0	101	29	265
11:00	11:30	7,87		440	0	102	35	280
11:30	12:00	7,89		441	0	100	37	281
12:00	12:30	7,88		439	0	100	38	284
<b>Reingas</b>								
10:30	11:00	7,99	11,70	44	1	131	23	315
11:00	11:30	7,96	11,76	43	1	133	24	321
11:30	12:00	8,01	11,76	45	1	132	24	319
12:00	12:30	8,01	11,80	44	1	132	24	320

21.01.2014

**Formaldehyd (AHMT-Verfahren) Rohgas vom 21.01.2014**

Sorbens: bidestilliertes Wasser		Probenvolumen	Analysen- ergebnis	Konzentration	Konzentration bez. 5 % O <sub>2</sub>	Massen- strom
		NI	µg/Probe	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr.	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr.	g/h
Zeit	Probe					
12:30-13:03	G1/G2	30,0	3001	100,0	124,0	179,5
13:07-13:40	H1/H2	30,0	3027	100,9	124,7	180,5
13:44-14:17	I1/I2	30,0	2887	96,2	118,9	172,1

**Formaldehyd (AHMT-Verfahren) Reingas vom 21.01.2014**

Sorbens: bidestilliertes Wasser		Probenvolumen	Analysen- ergebnis	Konzentration	Konzentration bez. 5 % O <sub>2</sub>	Massen- strom
		NI	µg/Probe	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr.	mg/m <sup>3</sup> i.N.tr.	g/h
Zeit	Probe					
12:30-13:01	K1/K2	30,0	587	19,6	24,4	35,3
13:07-13:39	L1/L2	30,0	651	21,7	27,0	39,0
13:44-14:16	M1/M2	30,0	637	21,2	26,4	38,2

**Messwerte Roh- und Reingas am 21.01.2014**

von	bis	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
		Vol%	Vol%	ppm	ppm	ppm, tr	ppm, tr	mg/m <sup>3</sup> tr
<b>Rohgas</b>								
12:00	12:30	8,20		533	0	83	33	237
12:30	13:00	8,10		533	0	84	38	250
13:00	13:30	8,09		533	1	85	39	254
13:30	14:00	8,05		530	1	87	39	259
14:00	14:30	8,05		529	1	87	39	259
<b>Reingas</b>								
12:00	12:30	8,22	11,34	51	1	116	23	285
12:30	13:00	8,16	11,42	49	1	121	24	297
13:00	13:30	8,16	11,43	51	1	121	26	302
13:30	14:00	8,13	11,51	49	1	124	26	308
14:00	14:30	8,13	11,53	50	1	124	27	309

**Herausgeber:**

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)  
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden  
Telefon: +49 351 2612-0  
Telefax: +49 351 2612-1099  
E-Mail: [lfulg@smul.sachsen.de](mailto:lfulg@smul.sachsen.de)  
[www.smul.sachsen.de/lfulg](http://www.smul.sachsen.de/lfulg)

**Autor:**

Dr. Joachim Clemens  
Mülheimer Str. 26, 53840 Troisdorf  
Telefon: +49 2241 971503501  
Telefax: +49 2241 971503599  
E-Mail: [joachim.clemens@gewita.de](mailto:joachim.clemens@gewita.de)

**Redaktion:**

Torsten Moczigemba  
LfULG, Abteilung Klima, Luft, Lärm, Strahlen/  
Referat Anlagenbezogener Immissionsschutz, Lärm  
Söbrigener Straße 3a, 01326 Dresden-Pillnitz  
Telefon: +49 351 2612-5208  
Telefax: +49 351 2612-5099  
E-Mail: [torsten.moczigemba@smul.sachsen.de](mailto:torsten.moczigemba@smul.sachsen.de)

**Fotos:**

Dr. Joachim Clemens

**Redaktionsschluss:**

20.10.2014

**ISSN:**

1867-2868

**Hinweis:**

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <https://publikationen.sachsen.de/bdb/> heruntergeladen werden.

**Verteilerhinweis**

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.