



# Stand der Emissionsminderungstechnik bei kleinen Motoranlagen

Ergebnisse von Langzeitmessungen von Formaldehyd,  
CO, NOx und Gesamt-C an einer genehmigungs-  
bedürftigen Biogasmotoranlage

UBA, 19.10.21

Gerald Ebertsch  
Referat 21 Luftreinhaltung bei Anlagen



### Themen

- Motordaten, Abgasprobenahme und Messverfahren, Wartung
- Biogaskonditionierung, Abgasreinigung
- Ergebnisse Langzeitmessungen (Formaldehyd, CO, NO<sub>x</sub>, Gesamt-C)
- Untersuchung zum Lastwechsel- und Teillastverhalten
- Erkenntnisse und Fazit

## Motordaten

<b>Hersteller</b>	<b>Biogasmotor</b>
<b>Bauart</b>	Gas-Otto-Motor
<b>Zylinder</b>	12 Zylinder-V-Motor
<b>Drehzahl</b>	1.500 U/min
<b>Baujahr</b>	2015
<b>Brennstoffart</b>	<b>Biogas</b>
<b>Feuerungswärmeleistung</b>	ca. 2MW
<b>Abgaswärmetauscher</b>	ja
<b>Abgasreinigung</b>	Oxidationskatalysator (Metallträger)

**Turnus der LfU Messungen: ca. monatlich**

## Messdurchführung und Messverfahren

- **Messdurchführung: LfU**

- **Kontinuierliche Messverfahren**

Einsatz eignungsgeprüfter Messgeräte für O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>

CO : NDIR-Photometrie; DIN EN 15058:2017 (CO), URAS 26, Fa. ABB

NO, NO<sub>2</sub> : NDUV-Photometrie; LIMAS 11, Fa. ABB

- **Diskontinuierliche Messverfahren**

**Formaldehyd**

Probenahme : VDI 3862 Blatt 4:2001 (AHMT-Verfahren)

Analyse : VDI 3862 Bl. 4:2001, VIS-Spektralphotometrie

**Schwefeloxide**

Probenahme : DIN EN 14971:2017 (Impinger-Waschflaschen mit H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Absorptionslösung)

Analyse : Ermittlung der Sulfatgehalte mit DIN EN ISO 10304-1:2009,  
Ionenchromatographie mit Suppressortechnik (IC)

## Wartung der Motoranlage während der Messungen

**Die Wartung erfolgte regelmäßig ca. alle 4 Monate**

Datum	Betriebsstunden	Art der Wartung
04.12.2015	2143	Ölwechsel
30.03.2016	4950	Ölwechsel
18.08.2016	8248	Ölwechsel ohne Filter
05.01.2017	11454	Ölwechsel ohne Filter
29.05.2017	14722	Ölwechsel ohne Filter mit Luftfilter, Raumfilter, Zündkerzen



## Biogasentschwefelung und Abgasreinigung Biogasmotor

### Einrichtungen zur Verminderung der Emissionen / Biogaskonditionierung

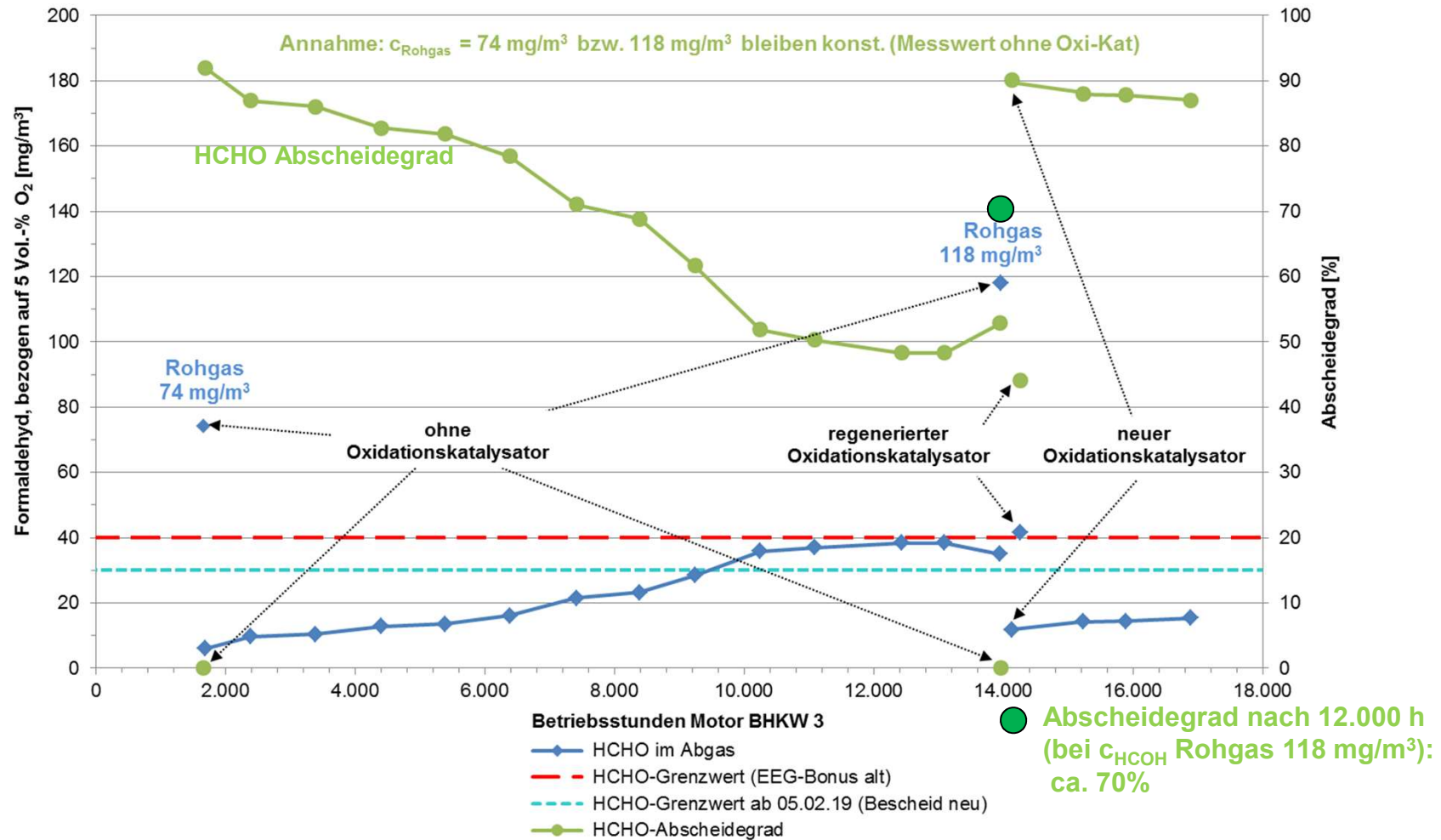
#### 1. Biogasentschwefelung vor Eintritt in den Verbrennungsmotor

Bauart:	Gaskühler mit nachgeschalteter Adsorptionseinrichtung (2-stufig in Reihe)
Baujahr:	2015
Adsorptionsmittel:	Aktivkohle, zylindrisch geformt, imprägniert
Korndurchmesser:	4 mm
Rütteldichte:	570 ± 30 kg/m <sup>3</sup>
Menge:	2 × 2,5 m <sup>3</sup>

#### 2. Oxidationskatalysator im Motorenabgas

Bauart:	Metallwabenkatalysator
Baujahr:	11.11.2015, Katalysator austausch 28.04.2017
Einbau Datum / Motor Betriebsstunden:	27.04.2017 / 13.972 h
Betriebstemperatur:	550 ° C
Grenztemperatur:	700 ° C

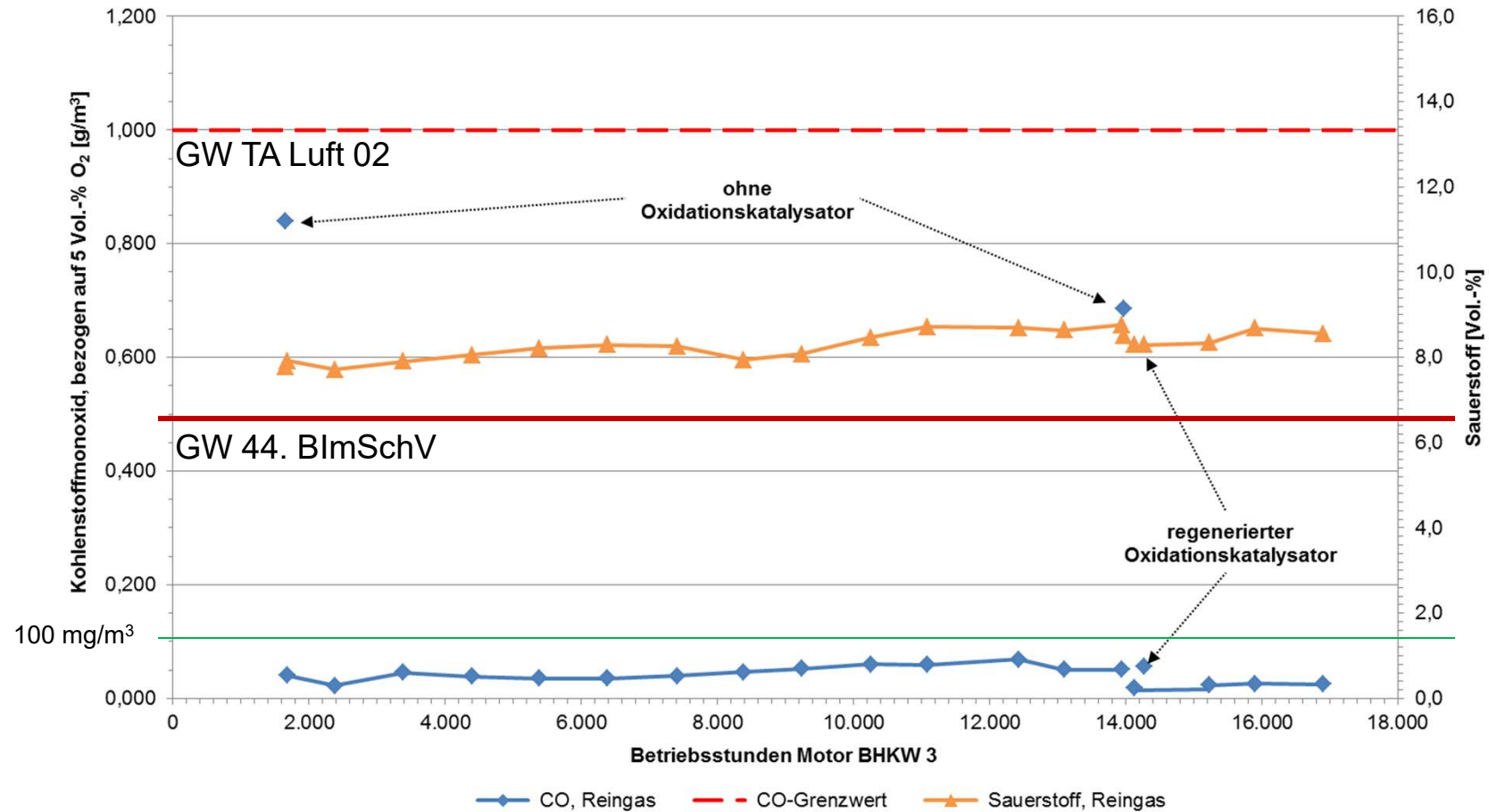
## Ergebnisse Langzeitmessungen: Formaldehyd



Die Messergebnisse sind angegeben als Mittelwert von jeweils vier Einzelmessungen (als Halbstundenmittelwert)



## Ergebnisse Langzeitmessungen: Kohlenmonoxid

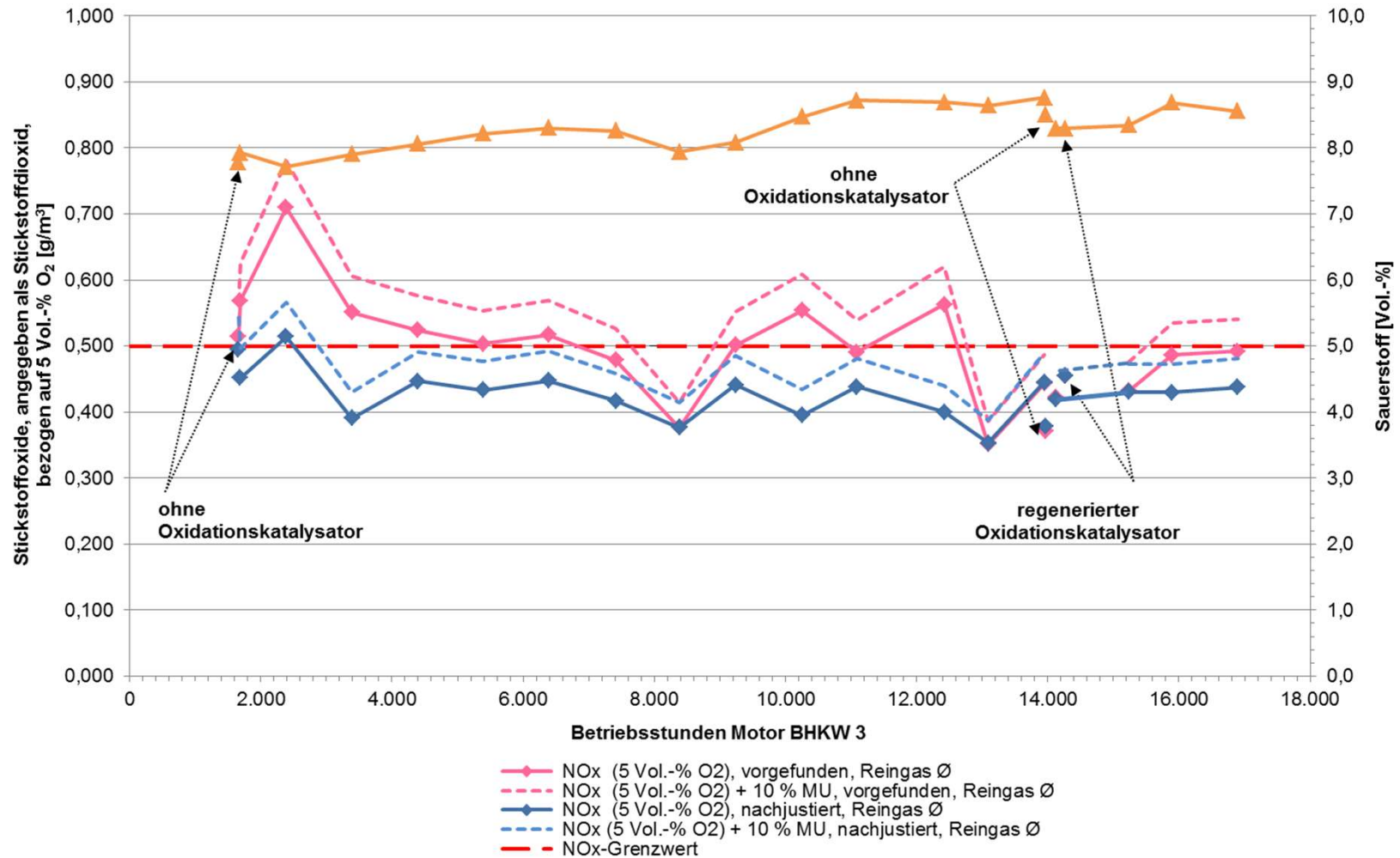


Die Messergebnisse sind angegeben als Mittelwert von jeweils vier Einzelmessungen (als Halbstundenmittelwert)



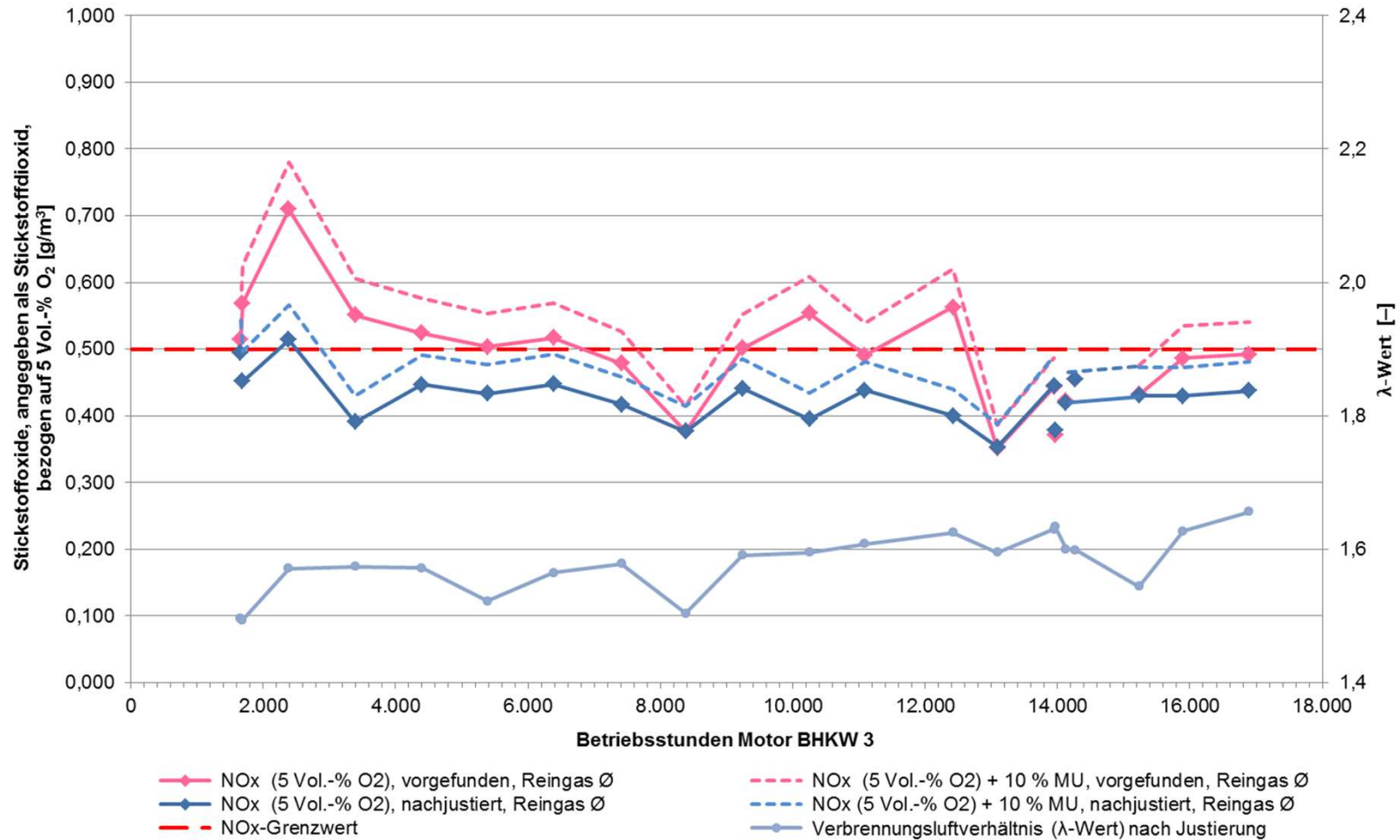


## Ergebnisse Langzeitmessungen: Stickstoffoxide



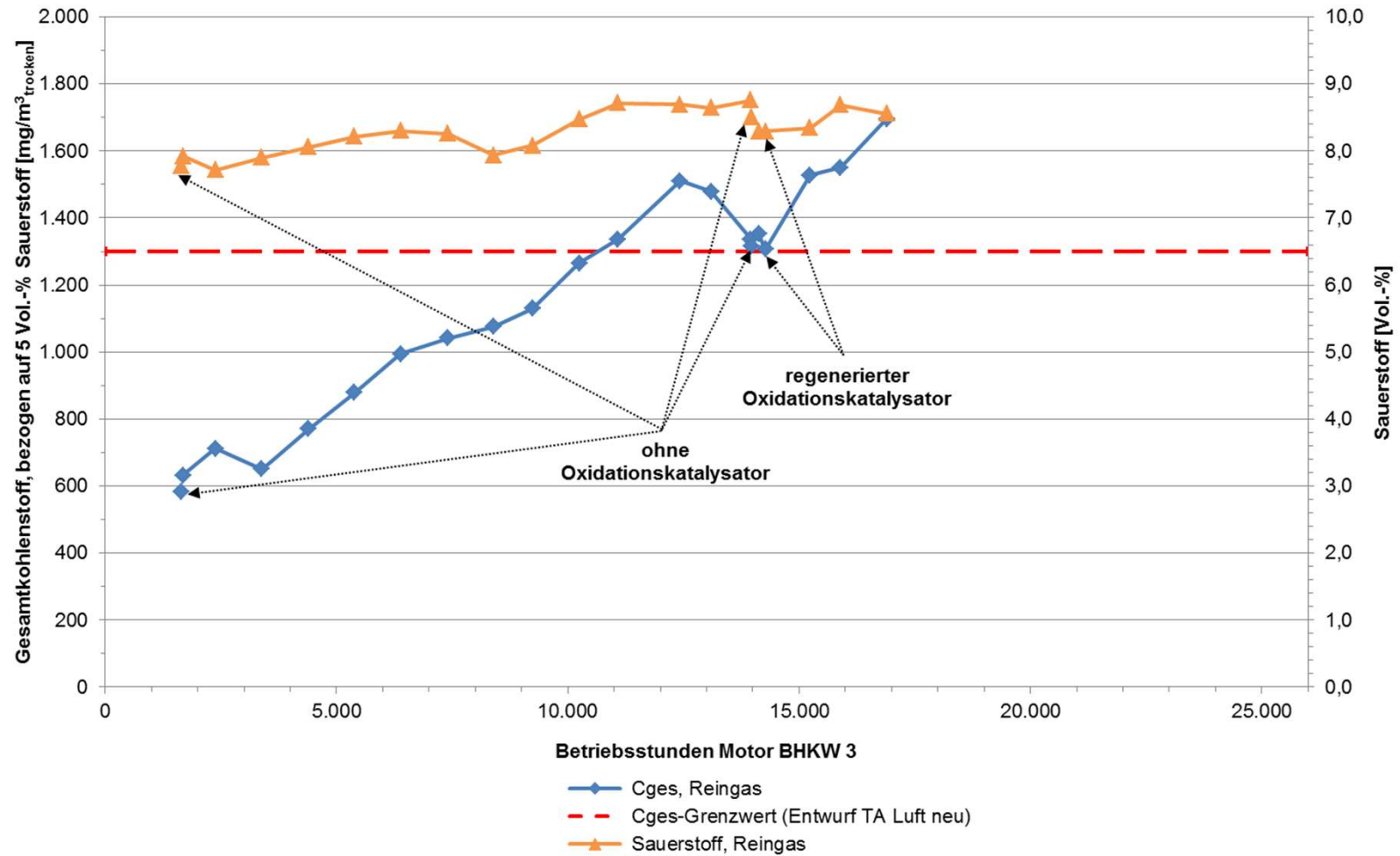
Die Messergebnisse sind angegeben als Mittelwert von jeweils vier Einzelmessungen (als Halbstundenmittelwert)

## Ergebnisse Langzeitmessungen: Stickstoffoxide – Lambda-Werte



Die Messergebnisse sind angegeben als Mittelwert von jeweils vier Einzelmessungen (als Halbstundenmittelwert)

## Ergebnisse Langzeitmessungen: Gesamt - C



Die Messergebnisse sind angegeben als Mittelwert von jeweils vier Einzelmessungen (als Halbstundenmittelwert)

## Untersuchung Volllast – Lastwechsel, Teillastverhalten

Die Messungen wurden ca. 3 Monate nach Einbau eines neuen Katalysators durchgeführt

- Volllast

Zeitraum	Elektr. Leistung	O <sub>2</sub>	HCHO <sub>5 Vol.-% O<sub>2</sub></sub>	HCHO
hh:mm	kW	Vol. -%	mg/m <sup>3</sup>	kg/h
09:30 – 10:00	889	8,7	14,1	0,039
10:15 – 10:45	889	8,7	14,3	0,039
11:00 – 11:30	889	8,7	14,4	0,039
11:45 – 12:15	889	8,7	15,0	0,041
Minimum	889	8,7	14,1	0,039
Mittelwert	889	8,7	14,4	0,040
Maximum	889	8,7	15,0	0,041

- Lastwechsel, Teillast

Zeitraum	Elektr. Leistung	O <sub>2</sub>	HCHO <sub>5 Vol.-% O<sub>2</sub></sub>	HCHO
hh:mm	kW	Vol. -%	mg/m <sup>3</sup>	kg/h
13:30 – 14:00	889 → 450	8,4	11,1	0,024
14:45 – 15:15	450	8,3	9,2	0,014
15:30 – 16:00	450 → 889	8,4	11,5	0,025
Minimum	450	8,3	9,2	0,014
Mittelwert	–	8,4	10,6	0,021
Maximum	889	8,4	11,5	0,025

## Untersuchung Volllast – Lastwechsel, Teillast

### ▪ Volllast, CO

Zeitraum	Elektr. Leistung	O <sub>2</sub>	CO <sub>5 Vol.-% O2</sub>	CO
hh:mm	kW	Vol. -%	g/m <sup>3</sup>	kg/h
09:30 – 10:00	889	8,7	0,03	<b>0,043</b>
10:15 – 10:45	889	8,7	0,03	<b>0,043</b>
11:00 – 11:30	889	8,7	0,03	<b>0,043</b>
11:45 – 12:15	889	8,7	0,03	<b>0,043</b>
Minimum	889	8,7	0,03	<b>0,043</b>
Mittelwert	889	8,7	0,03	<b>0,043</b>
Maximum	<b>889</b>	<b>8,7</b>	<b>0,03</b>	<b>0,043</b>

### ▪ Volllast, NO<sub>2</sub>

Zeitraum	Elektr. Leistung	O <sub>2</sub>	NO <sub>X, 5 Vol.-% O2</sub>	NO <sub>X</sub>
hh:mm	kW	Vol. -%	g/m <sup>3</sup>	kg/h
09:30 – 10:00	889	8,7	0,41	<b>1,115</b>
10:15 – 10:45	889	8,7	0,44	<b>1,202</b>
11:00 – 11:30	889	8,7	0,42	<b>1,151</b>
11:45 – 12:15	889	8,7	0,46	<b>1,252</b>
Minimum	889	8,7	0,41	<b>1,115</b>
Mittelwert	889	8,7	0,43	<b>1,188</b>
Maximum	<b>889</b>	<b>8,7</b>	<b>0,46</b>	<b>1,252</b>

### ▪ Lastwechsel, Teillast, CO

Zeitraum	Elektr. Leistung	O <sub>2</sub>	CO <sub>5 Vol.-% O2</sub>	CO
hh:mm	kW	Vol. -%	g/m <sup>3</sup>	kg/h
13:30 – 14:00	889 → 450	8,4	0,03	<b>0,034</b>
14:45 – 15:15	450	8,3	0,02	<b>0,024</b>
15:30 – 16:00	450 → 889	8,4	0,03	<b>0,033</b>
Minimum	450	8,3	0,02	<b>0,024</b>
Mittelwert	–	8,4	0,02	<b>0,030</b>
Maximum	<b>889</b>	<b>8,4</b>	<b>0,03</b>	<b>0,034</b>

### ▪ Lastwechsel, Teillast, NO<sub>2</sub>

Zeitraum	Elektr. Leistung	O <sub>2</sub>	NO <sub>X, 5 Vol.-% O2</sub>	NO <sub>X</sub>
hh:mm	kW	Vol. -%	g/m <sup>3</sup>	kg/h
13:30 – 14:00	889 → 450	8,4	0,45	<b>0,979</b>
14:45 – 15:15	450	8,3	0,46	<b>0,727</b>
15:30 – 16:00	450 → 889	8,4	0,47	<b>1,033</b>
Minimum	450	8,3	0,45	<b>0,490</b>
Mittelwert	–	8,4	0,46	<b>0,540</b>
Maximum	<b>889</b>	<b>8,4</b>	<b>0,47</b>	<b>0,620</b>

## Untersuchung Volllast – Lastwechsel, Teillast

- **Volllast, SO<sub>2</sub>**

Zeitraum	Elektr. Leistung	O <sub>2</sub>	SO <sub>x</sub> , 5 Vol.-% O <sub>2</sub>	SO <sub>x</sub>
hh:mm	kW	Vol. -%	g/m <sup>3</sup>	kg/h
<b>09:30 – 10:00</b>	889	8,7	< 0,001	<b>0,001</b>
<b>10:15 – 10:45</b>	889	8,7	< 0,001	<b>0,001</b>
<b>11:00 – 11:30</b>	889	8,7	< 0,001	<b>0,001</b>
<b>11:45 – 12:15</b>	889	8,7	< 0,001	<b>0,001</b>
<b>Minimum</b>	889	8,7	< 0,001	<b>0,001</b>
<b>Mittelwert</b>	889	8,7	< 0,001	<b>0,001</b>
<b>Maximum</b>	889	8,7	< 0,001	<b>0,001</b>
<b>Grenzwert )</b>	–	–	<b>0,31</b>	–

- **Lastwechsel, Teillast**

unverändert



### Vorläufige Erkenntnisse und Fazit

- Allein aufgrund der gemessenen CO-Konzentrationen war das Durchbruchverhalten des Oxidationskatalysators nicht erkennbar. Auch bei CO – Emissionswerten unter  $100 \text{ mg/m}^3$  wurde der damalige Formaldehydgrenzwert von  $40 \text{ mg/m}^3$  nach ca. 10.000 Betriebsstunden erreicht
- Die Regeneration des Oxidationskatalysators durch eine Fachfirma war nicht erfolgreich. Der damalige HCHO-Grenzwert von  $40 \text{ mg/m}^3$  wurde mit dem regenerierten Oxikat nicht eingehalten.
- Die Gesamt-C-Emissionen nehmen mit der Betriebsdauer offensichtlich laufend zu. Ab einem gewissen Zeitpunkt kann ggf. ohne Überholung des Motors die Emissionsbegrenzung für Gesamt-C der 44. BImSchV evtl. nicht mehr eingehalten werden.
- An der Anlage schwankten die NOx-Emissionswerte und blieben nicht dauerhaft auf gleichem und Niveau. Teilweise musste der Motor nachjustiert werden um den damaligen NOx-Grenzwert der TA Luft 02 sicher einzuhalten.
- Bei Biogasanlagen ist der Einbau einer Biogasentschwefelung notwendig. Damit können bei bestimmungsgemäßer Betriebsweise grundsätzlich sehr niedrige SO<sub>2</sub>-Emissionen erzielt werden, die auch die Spezifikationen der Katalysatorhersteller einhalten.