



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_x, Gesamt-C)
- Untersuchung zum Lastwechsel- und Teillastverhalten
- Erkenntnisse und Fazit

Motordaten

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

Turnus der LfU Messungen: ca. monatlich

Messdurchführung und Messverfahren

- **Messdurchführung: LfU**

- **Kontinuierliche Messverfahren**

Einsatz eignungsgeprüfter Messgeräte für O₂, CO, CO₂, NO, NO₂

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

NO, NO₂ : 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 H₂O₂ 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

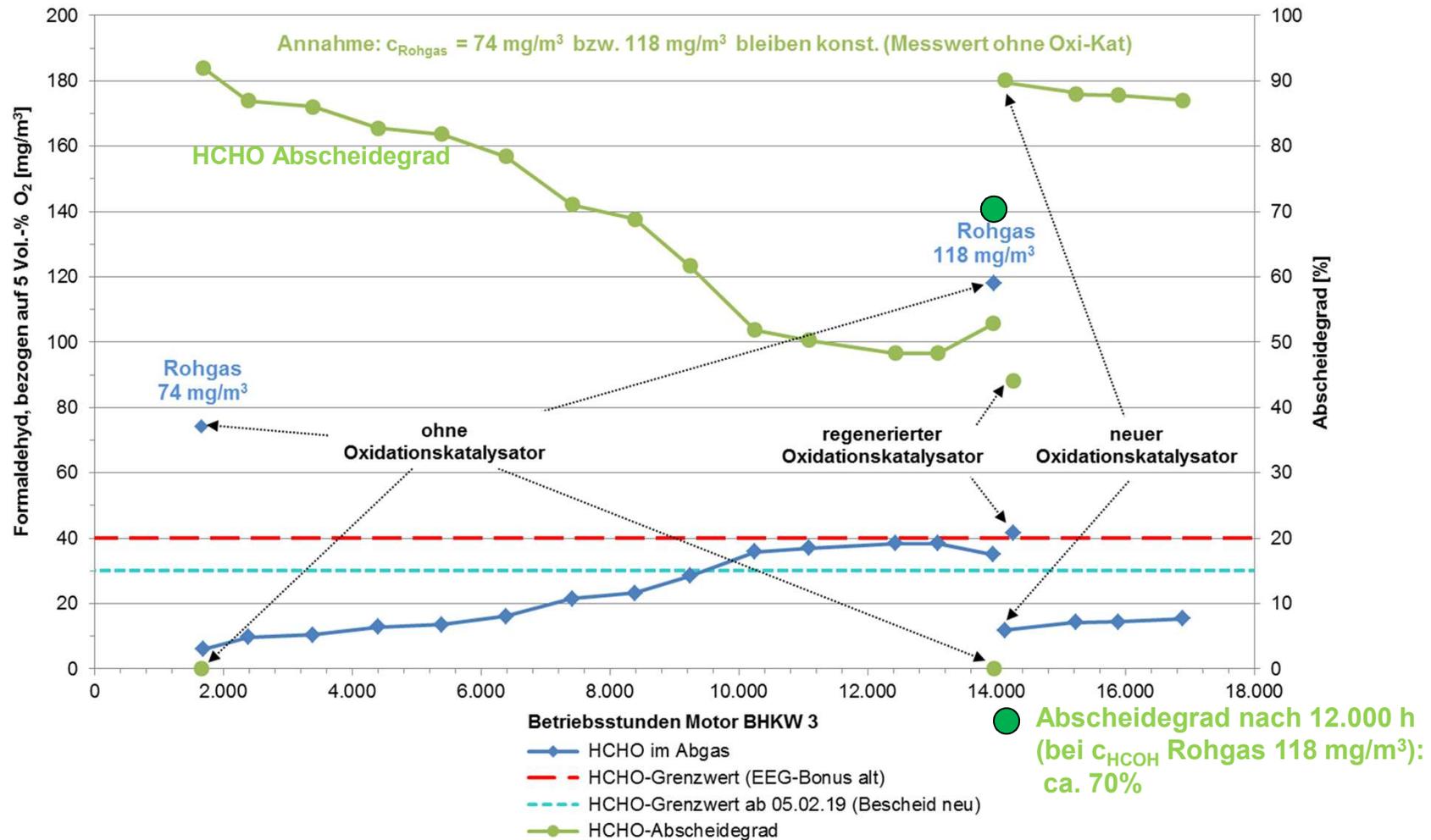


Biogasentschwefelung und Abgasreinigung Biogasmotor

Einrichtungen zur Verminderung der Emissionen / Biogaskonditionierung

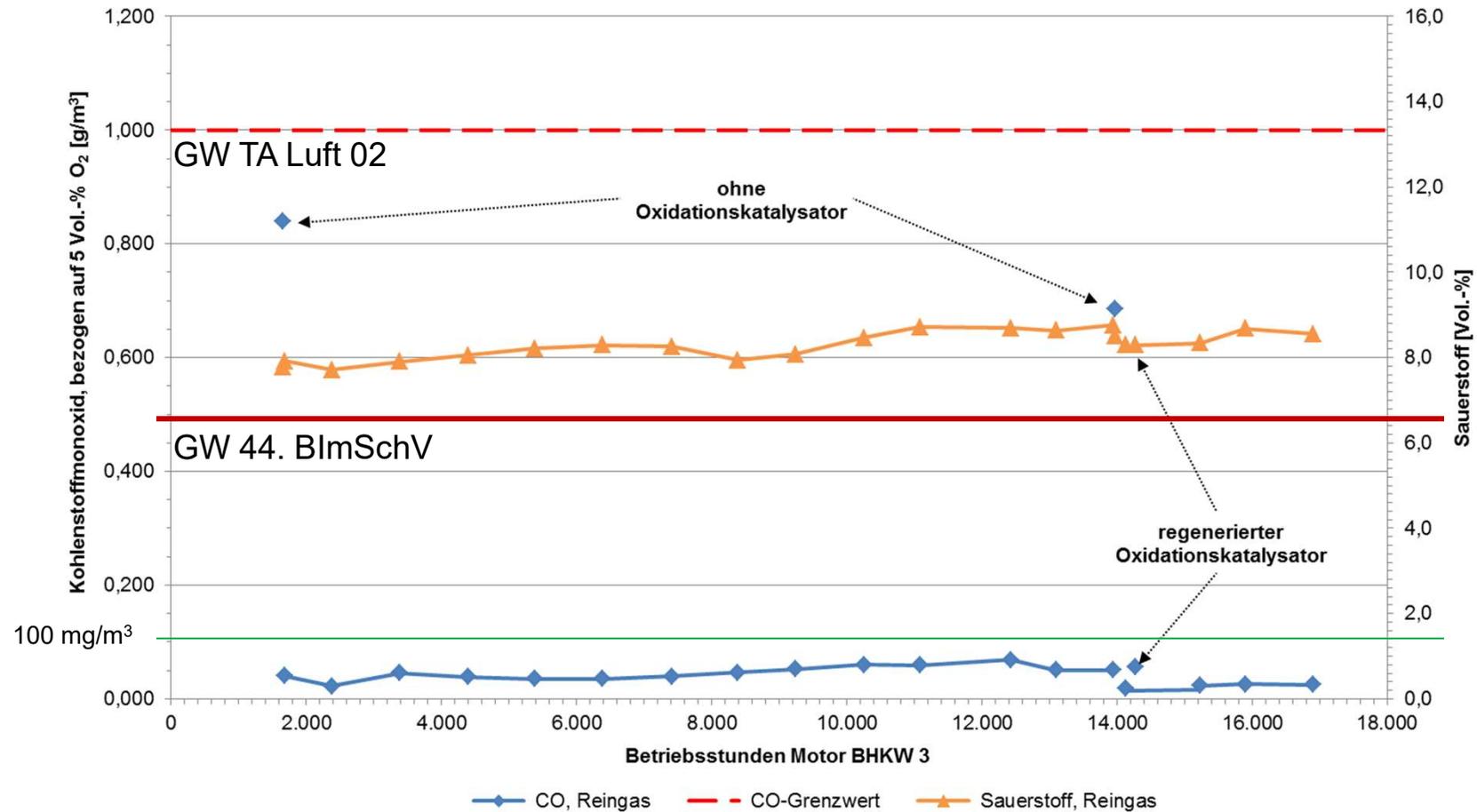
1. Biogasentschwefelung vor Eintritt in den Verbrennungsmotor	
Bauart:	Gaskühler mit nachgeschalteter Adsorptionseinrichtung (2-stufig in Reihe)
Baujahr:	2015
Adsorptionsmittel:	Aktivkohle, zylindrisch geformt, imprägniert
Korndurchmesser:	4 mm
Rütteldichte:	570 ± 30 kg/m ³
Menge:	2 × 2,5 m ³
2. Oxidationskatalysator 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



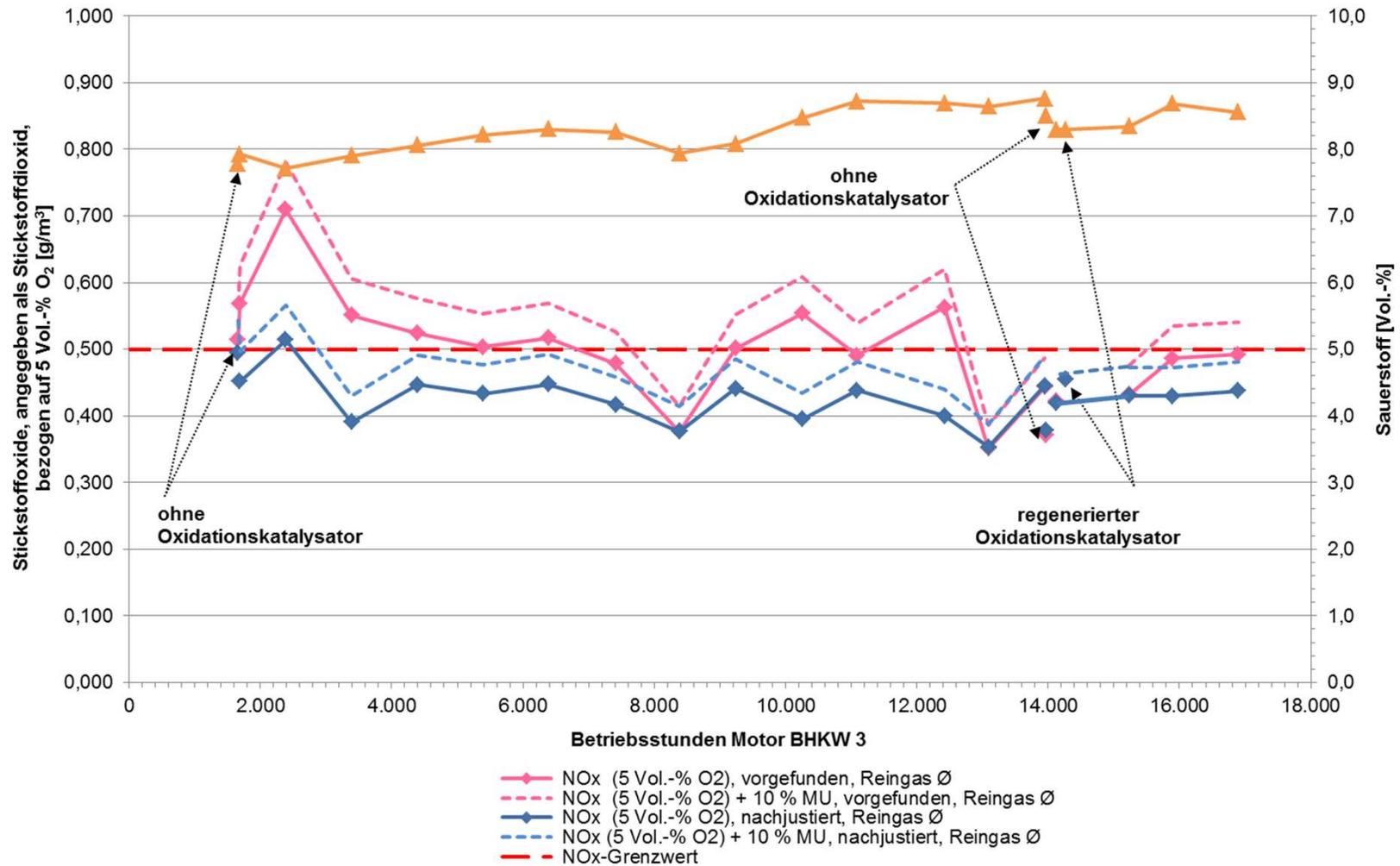
Die Messergebnisse sind angegeben als Mittelwert von jeweils vier Einzelmessungen (als Halbstundenmittelwert)

Ergebnisse Langzeitmessungen: Kohlenmonoxid



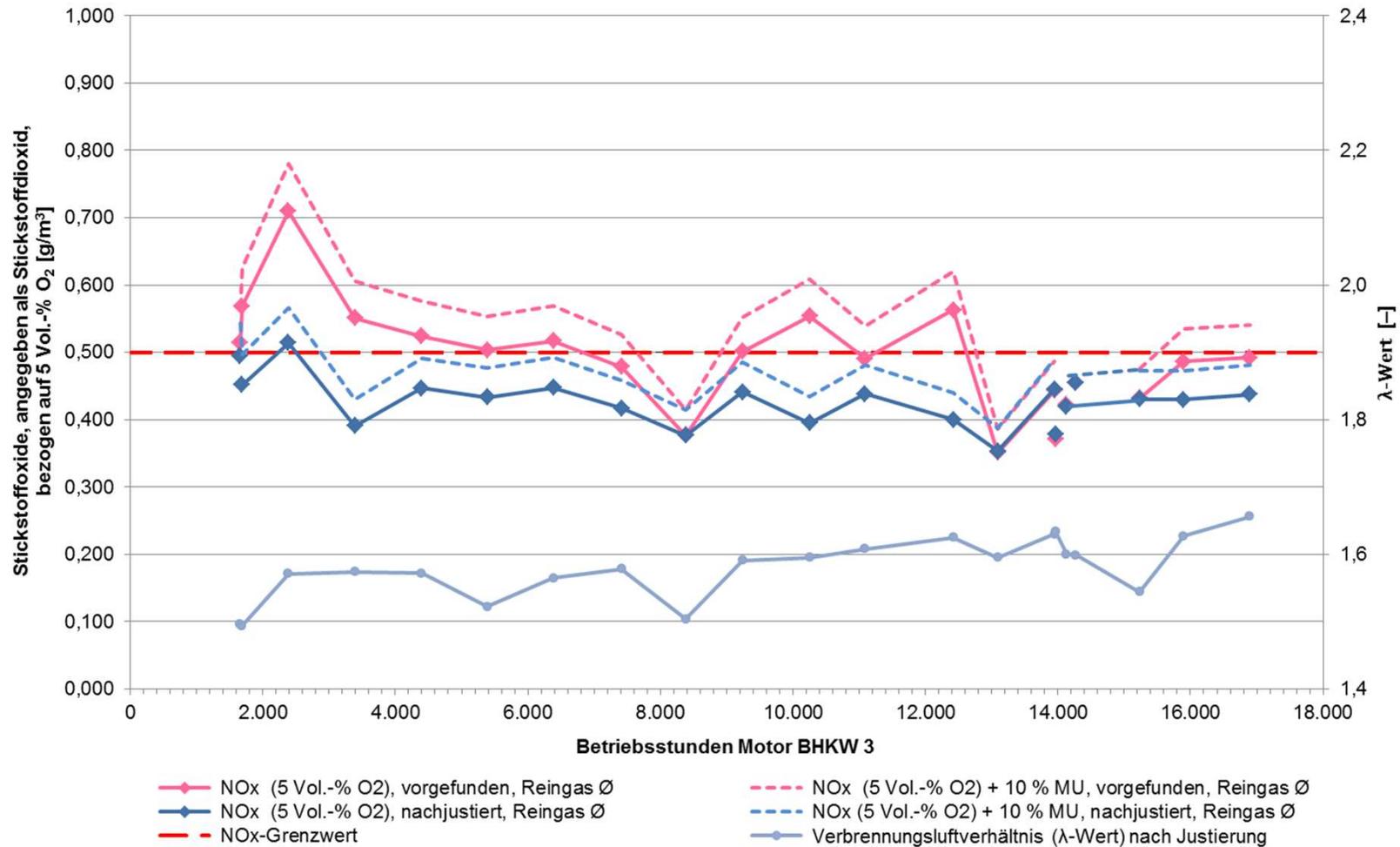
Die Messergebnisse sind angegeben als Mittelwert von jeweils vier Einzelmessungen (als Halbstundenmittelwert)

Ergebnisse Langzeitmessungen: Stickstoffoxide



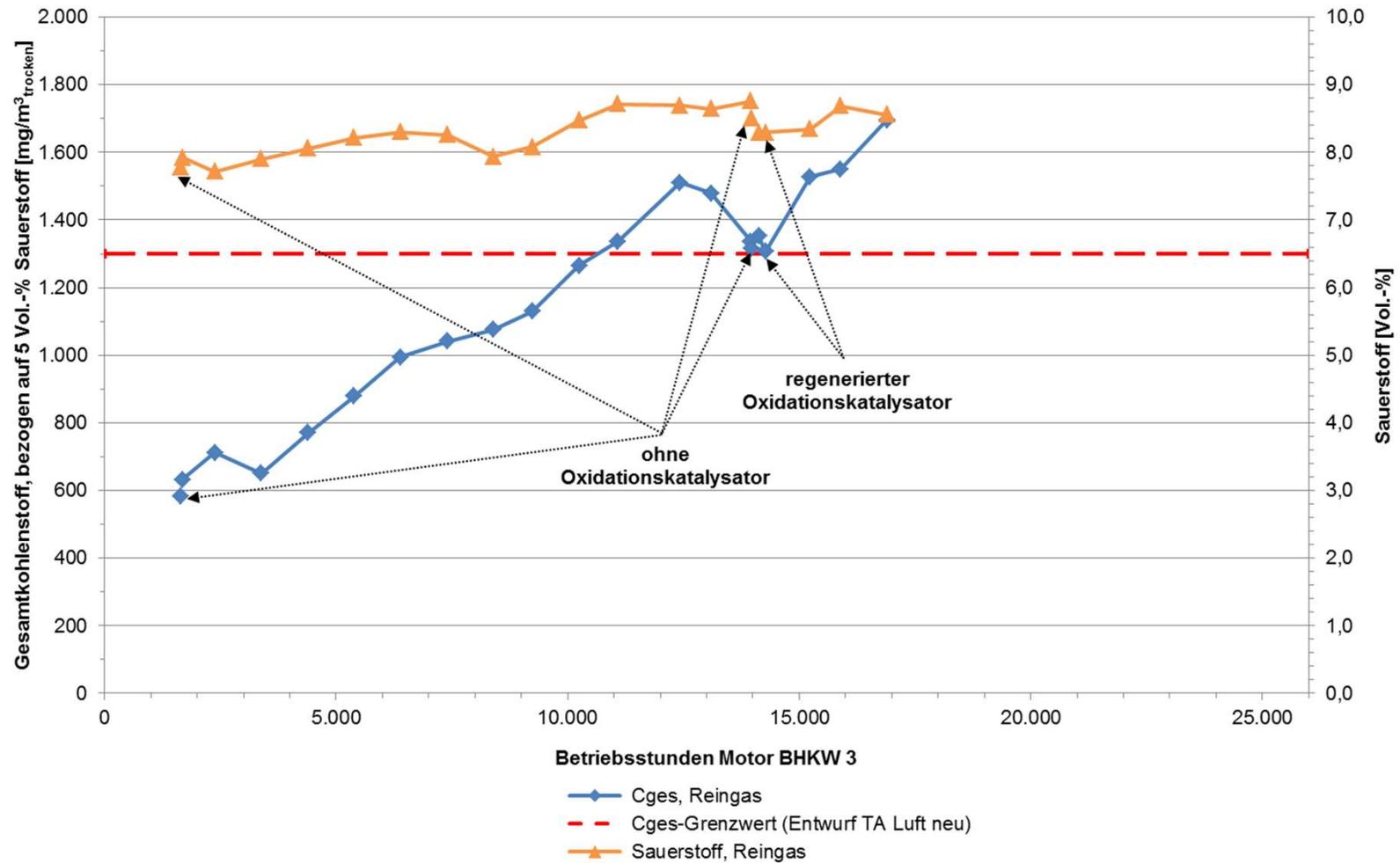
Die Messergebnisse sind angegeben als Mittelwert von jeweils vier Einzelmessungen (als Halbstundenmittelwert)

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 ₂	HCHO _{5 Vol.-% O₂}	HCHO
hh:mm	kW	Vol. -%	mg/m ³	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 ₂	HCHO _{5 Vol.-% O₂}	HCHO
hh:mm	kW	Vol. -%	mg/m ³	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 ₂	CO _{5 Vol.-% O2}	CO
hh:mm	kW	Vol. -%	g/m ³	kg/h
09:30 – 10:00	889	8,7	0,03	0,043
10:15 – 10:45	889	8,7	0,03	0,043
11:00 – 11:30	889	8,7	0,03	0,043
11:45 – 12:15	889	8,7	0,03	0,043
Minimum	889	8,7	0,03	0,043
Mittelwert	889	8,7	0,03	0,043
Maximum	889	8,7	0,03	0,043

▪ Volllast, NO₂

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

▪ Lastwechsel, Teillast, CO

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

▪ Lastwechsel, Teillast, NO₂

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

Untersuchung Volllast – Lastwechsel, Teillast

- **Volllast, SO₂**

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

- **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 mg/m^3 wurde der damalige Formaldehydgrenzwert von 40 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 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 SO₂-Emissionen erzielt werden, die auch die Spezifikationen der Katalysatorhersteller einhalten.