

ANWENDBARKEIT VON MESSEINRICHTUNGEN DER 1. BIMSCHV BEI DER ÜBERWACHUNG KLEINER MOTORANLAGEN

Agenda

- 1** Charakteristische Emissionen von Öl- und Gasfeuerungsanlagen und von Motoranlagen
- 2** Messen von NO_x-Emissionen an Öl- und Gasfeuerungsanlagen und an Motoranlagen
- 3** Messen von CO-Emissionen an Motoranlagen (BHKW) nach KÜO
- 4** Wiederkehrende Überprüfung der Messeinrichtungen auf den Prüfstellen der Schornsteinfeger

Stickstoffoxide bei Luftüberschuss und hoher Temperatur

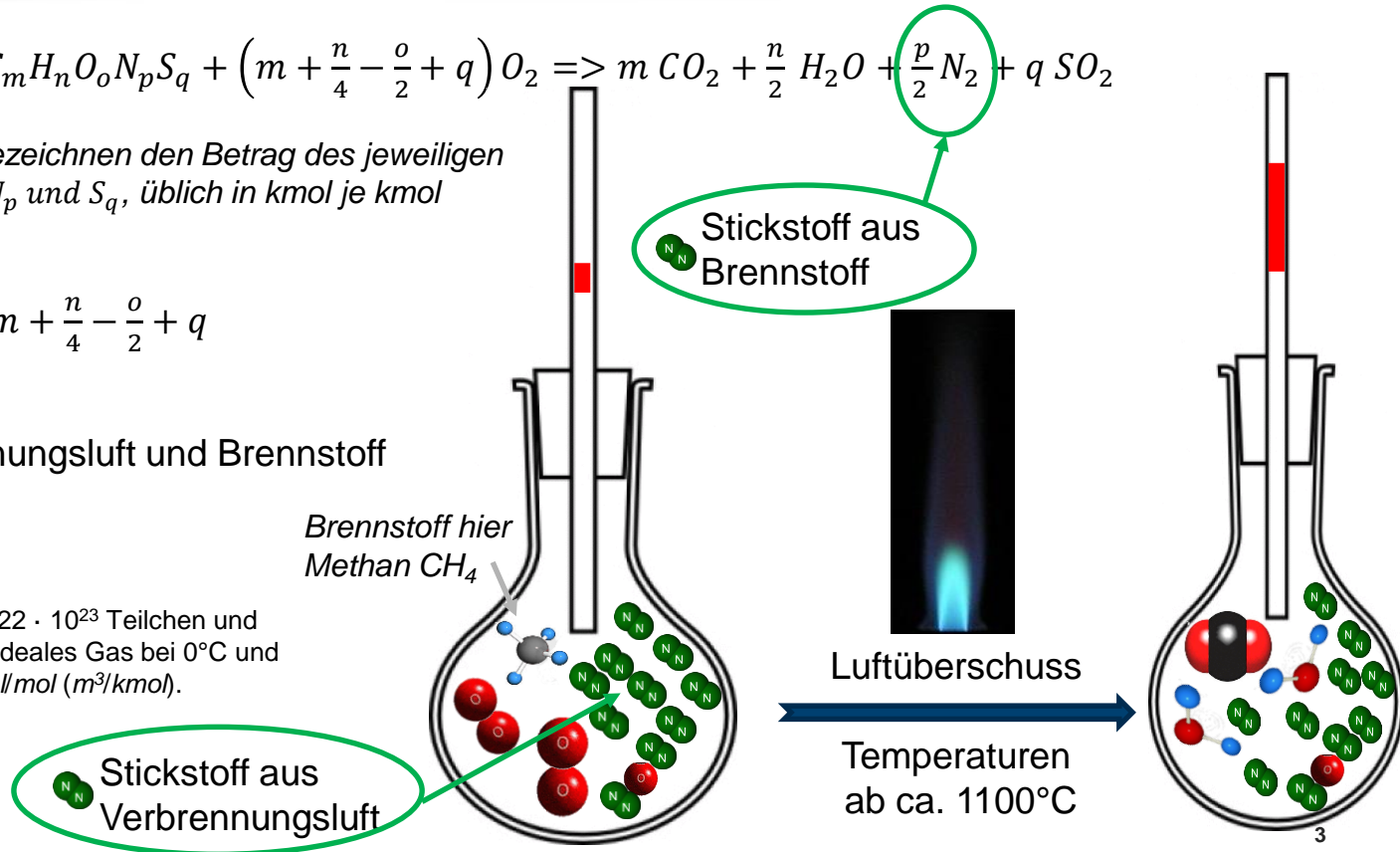
- allgemeiner Ansatz:
$$C_m H_n O_o N_p S_q + \left(m + \frac{n}{4} - \frac{o}{2} + q\right) O_2 \Rightarrow m CO_2 + \frac{n}{2} H_2O + \frac{p}{2} N_2 + q SO_2$$

dabei gilt: m , n , o , p und q bezeichnen den Betrag des jeweiligen Stoffmengenanteils C_m , H_n , N_p und S_q , üblich in kmol je kmol Brennstoff.

- Mindestbedarf: $O_{2,min} = m + \frac{n}{4} - \frac{o}{2} + q$

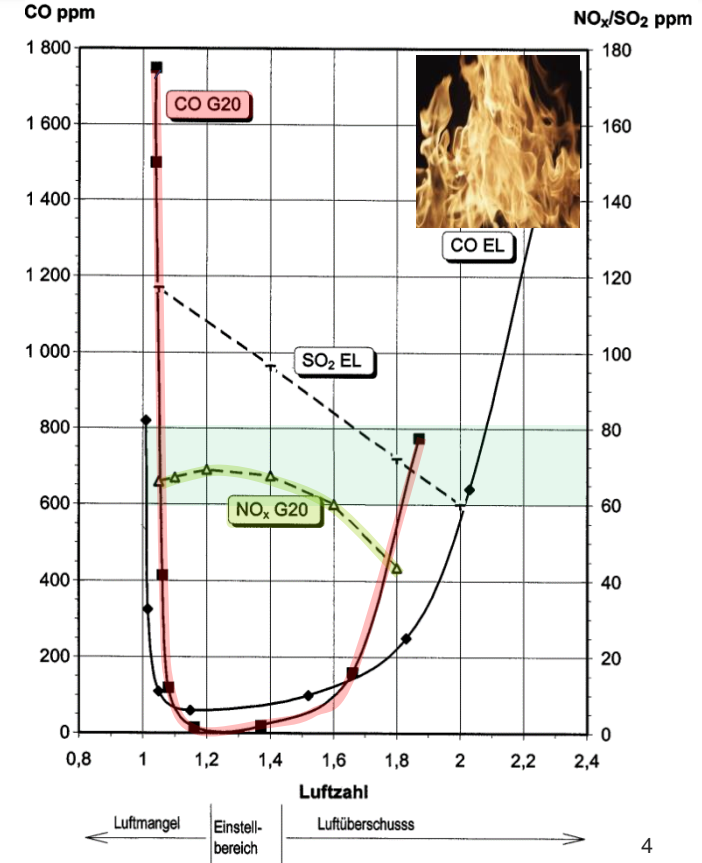
- Stickstoffquelle: Verbrennungsluft und Brennstoff

Anmerkung: Ein Mol entspricht $6,022 \cdot 10^{23}$ Teilchen und benötigt im gasförmigen Zustand (ideales Gas bei 0°C und 1013 hPa) ein Volumen von 22,41 l/mol ($m^3/kmol$).



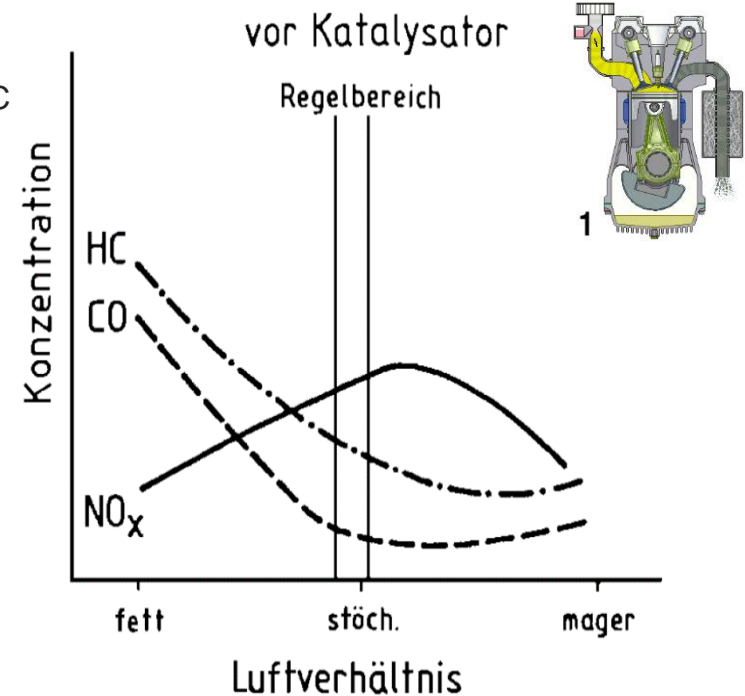
Emissionsverhalten von Feuerungsanlagen

- **Luftmangel:** Luftzahl $\lambda \rightarrow 1$
 - steiler Anstieg der CO-Bildung und damit auch der Wasserstoff-Komponente H_2
 - Abkühlung und O_2 -Mangel reduzieren thermisches NO_x
- **Einstellbereich:** Luftzahl $\lambda \approx 1,2$
(reale Feuerung benötigt Luftüberschuss)
 - CO-Emission minimal
 - NO_x -Emission maximal durch hohe Temperatur
- **Luftüberschuss:** Luftzahl $\lambda > 1,4$
 - CO-Bildung steigt wieder an, unvollständige Verbrennung durch niedrige Flammtemperatur trotz ausreichendem Luftüberschuss
 - thermische NO_x -Bildung geht deutlich zurück.



Emissionsverhalten von Motoranlagen (BHKW)

- **Zündtemperatur:** Arbeitstakt
 - Verdichtung erhöht Brennraumtemperatur zusätzlich um ca. 900 °C
 - nach Zündung im Brennraum > ca. 2000 °C
 - ausgeprägte thermische NO-Bildung
- **Luftüberschuss:** „Magermotor“
 - hoher Sauerstoffgehalt im Brennraum fördert Oxidation des Stickstoffs
- **Zündstrahlmotoren:** Zündhilfe durch Dieseleinspritzung
 - zusätzliche Stickstoffquelle im Diesel
 - Freisetzung von Brennstoff-NO



Quellen: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=79093833>;

<https://www.google.de/url?sa=t&ct=j&q=&escr=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiKp7bp16LsAhUBDewKHb6IBLEQFjAFegQIBxAC&url=https%3A%2F%2Fpublikationen.bibliothek.kit.edu%2F1912001%2F1415&usq=AQvVaw0BWZyqR5yAd2zPaA8tXpR4>

beide zuletzt geöffnet am 12.10.2020

NO_x-Emissionen von Feuerungsanlagen und Motoranlagen (BHKW)

Fazit 1:

NO_x – Konzentration im Abgas (Rohgas) von bestehenden (älteren) BHKW kann deutlich höher sein als im Abgas von klassischen Kleanfeuerungsanlagen.

Agenda

1

Charakteristische Emissionen von Öl- und Gasfeuerungsanlagen und von Motoranlagen

2

Messen von NO_x-Emissionen an Öl- und Gasfeuerungsanlagen und an Motoranlagen

3

Messen von CO-Emissionen an Motoranlagen (BHKW) nach KÜO

4

Wiederkehrende Überprüfung der Messeinrichtungen auf den Prüfstellen der Schornsteinfeger

Funktionsprinzip eines Abgasmessgerätes

Messsonde

Abgaspumpe

Gassensoren:

O₂ O₂ Vol. %

NO NO ppm

NO₂ NO₂ ppm

CO CO ppm

+

NO_x ppm

×

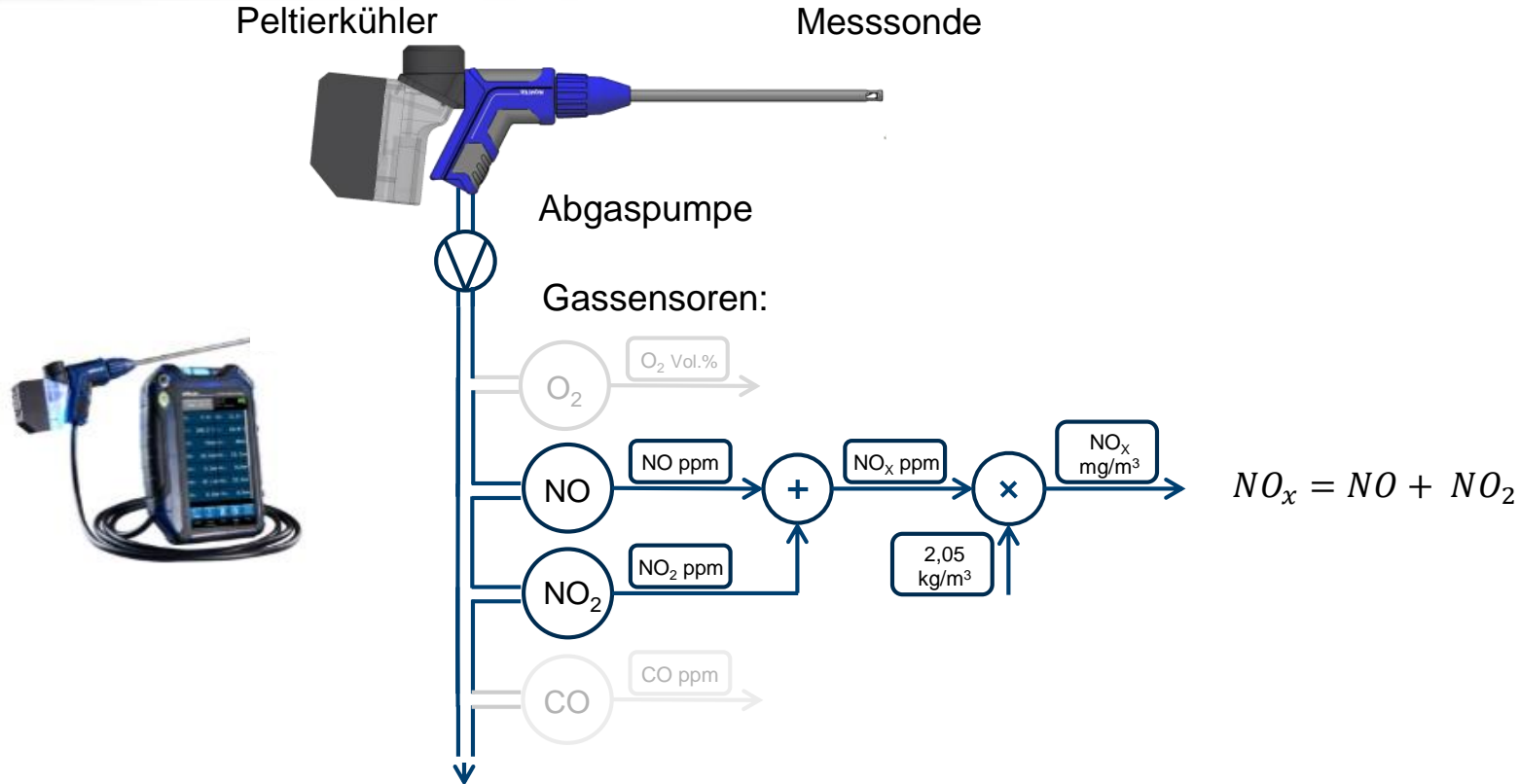
2,05
kg/m³

NO_x
mg/m³

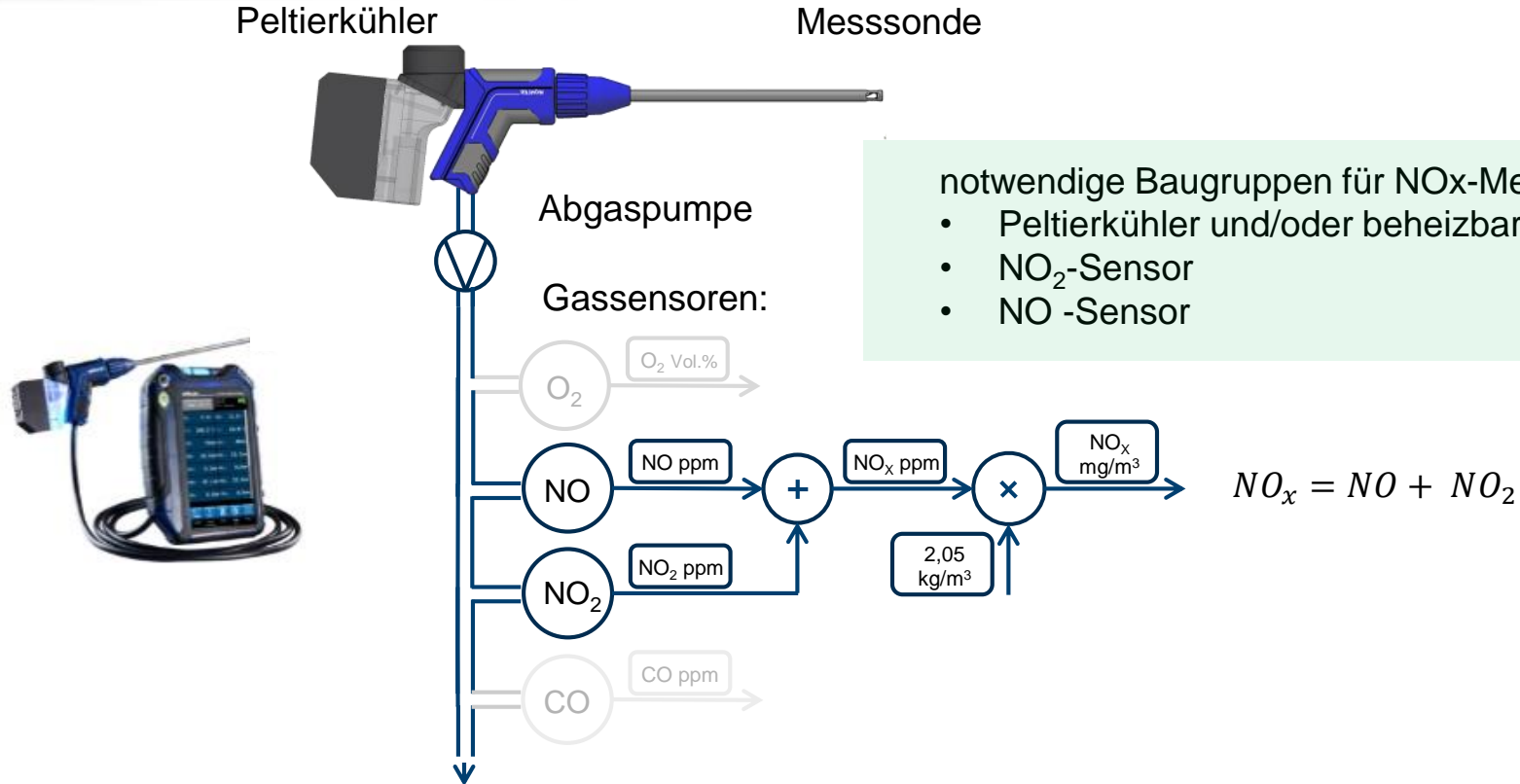
$$NO_x = NO + NO_2$$

Anmerkung: Im Sinne der Übersichtlichkeit wird hier und im Folgenden auf die Darstellung der Normierung von Emissionsmesswerten auf den Bezugssauerstoffgehalt und anderer Rechenwerte bewusst verzichtet.

NO_x-Messmethode A



NO_x-Messmethode A



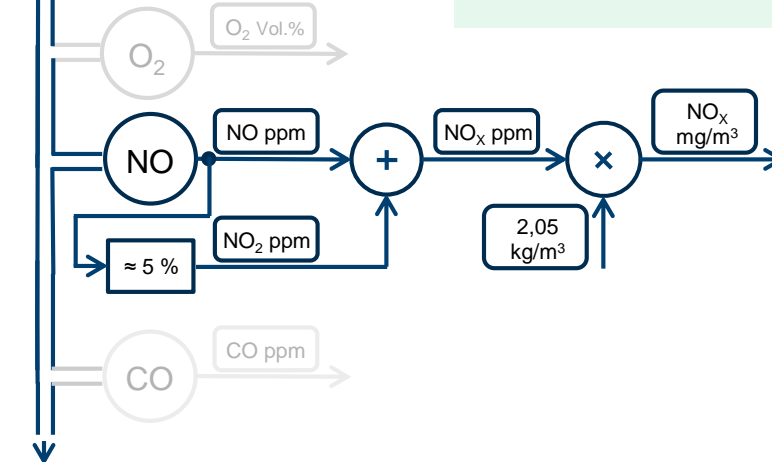
Vereinfachte NO_x-Messmethode B

Messsonde

Abgaspumpe

Gassensoren:

- notwendige Baugruppen für NO_x-Messung:
- ~~Peltierkühler und/oder beheizbare Schläuche~~
 - ~~NO₂-Sensor~~
 - NO -Sensor



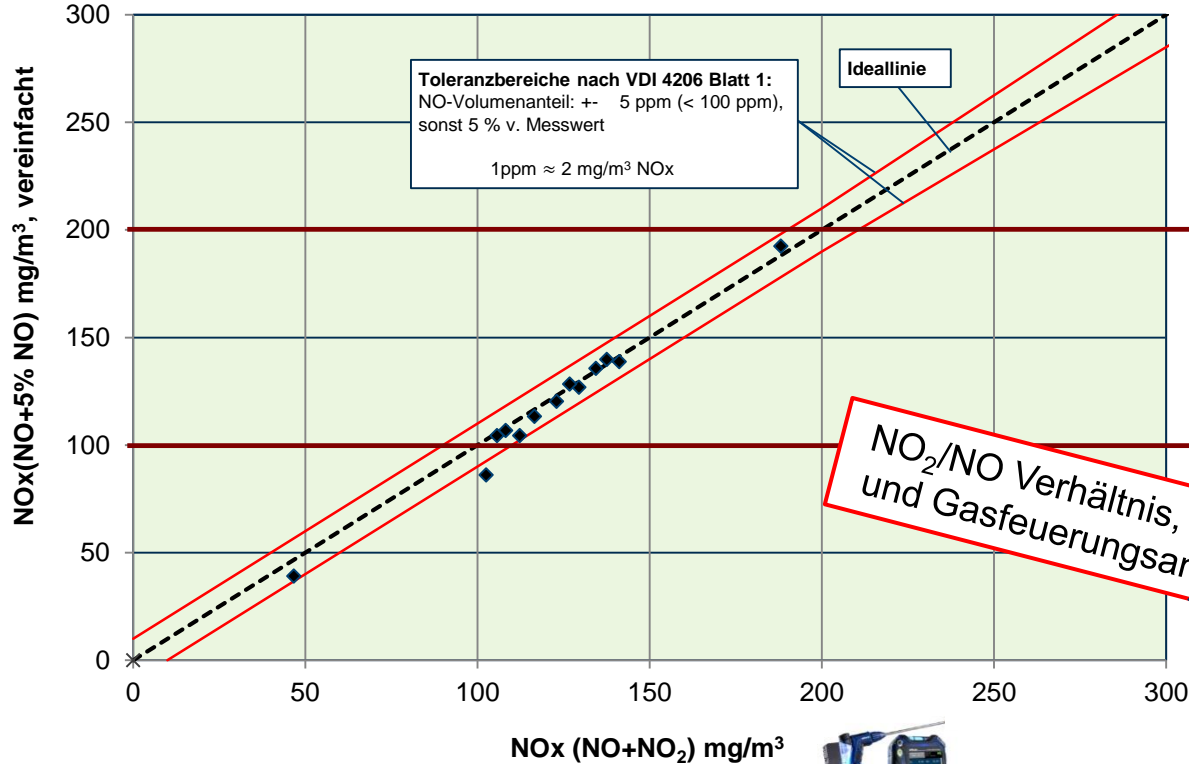
$$NO_x = NO + NO_2$$

$$NO_x \approx NO + 5\%NO$$

13 MCP-Anlagen (Gas- u. Ölfeuerungen) , NO_x-Methode A und Methode B



NO_x-Messmethode B



NO_x-Messmethode A

NO₂/NO Verhältnis, hier **5%** gilt nur für Öl- und Gasfeuerungsanlagen, keine BHKW!!

Konstanten	Wert	Einheit
Bezugssauerstoff O ₂ ref	3	Vol-%
NO ₂ /NO-Verhältnis	5	%
Normdichte NO ₂	2,05	kg/m ³

44. BImSchV, Einzelmessung nach § 31 Abs.9 für Schornsteinfeger

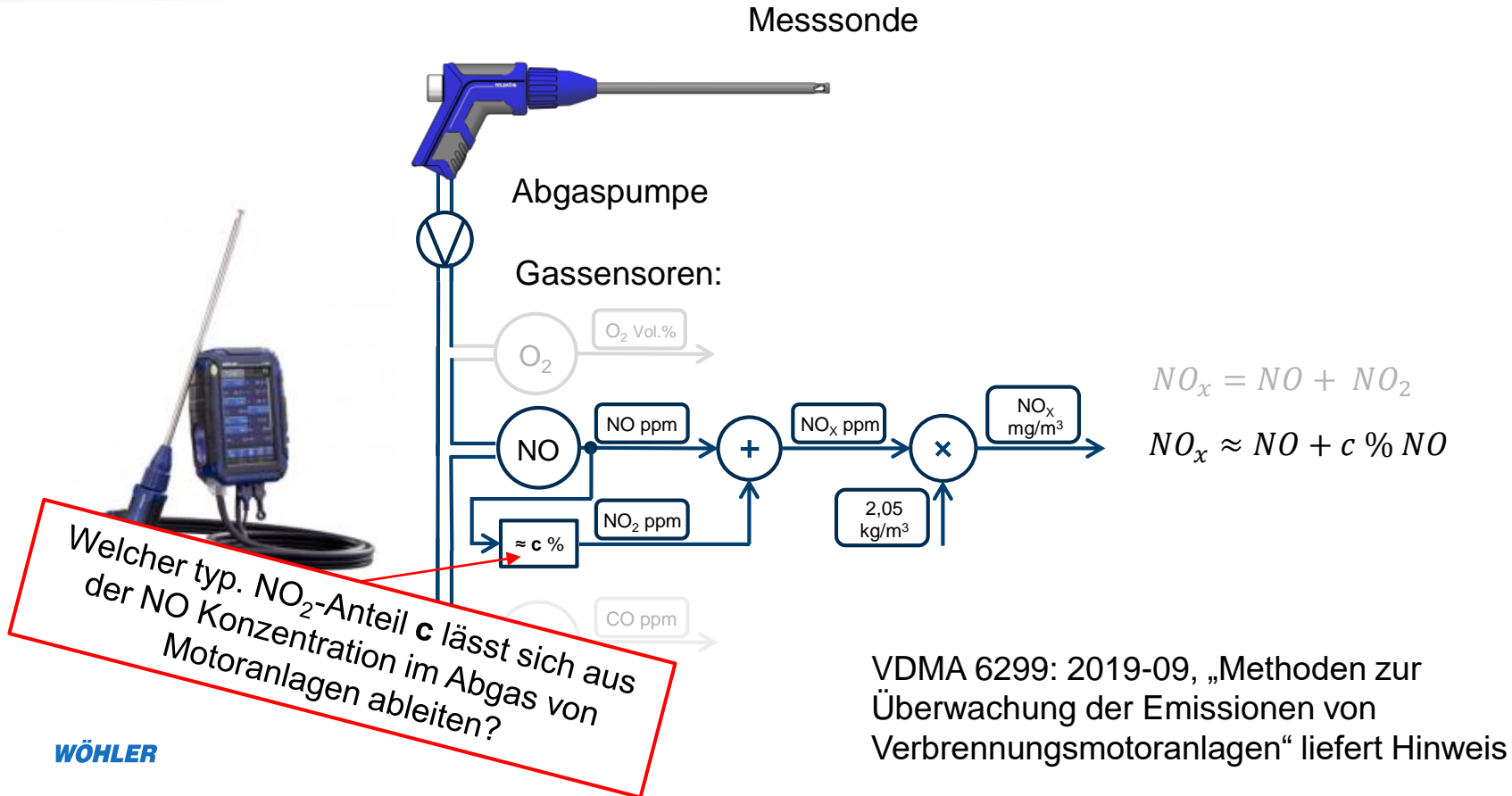
.. hier Emissionsmessungen nur an Öl- und Gasfeuerungsanlagen, (CO-Messung an BHKW nur nach KÜO)

	Einzelmessung	Grenzwert		
1	Rußzahl bei flüssigem Brennstoff	1 bzw. 2	§ 12, ..	< 10 MW alle 3 Jahre
2	Ölderivate bei flüssigem Brennstoff	keine sichtbaren Spuren	§ 12, ..	< 10 MW alle 3 Jahre
3	CO-Volumengehalt	500 / 1000 ppm	KÜO(!)	Anlagen nach KÜO
4*	CO-Emission flüssige u. gasförmige Brennstoffe (bestehende Anlagen)	80 mg/m ³ u. 80 mg/m ³ (150 mg/m ³ u. 110 mg/m ³)	§§ 12,14	< 10 MW, O _B = 3 Vol% alle 3 Jahre
5*	NO _x -Emission flüssige u. gasförmige Brennstoffe (bestehende Gasfeuer.)	200 mg/m ³ u. 0,10 g/m ³ (0,15 g/m ³)	§§ 12,14 § 14	< 10 MW, O _B = 3 Vol% alle 3 Jahre (bis 31.12.2035)
6*	Abgasverlust flüssige u. gasförmige Brennstoffe	9 %	§ 17	< 10 MW alle 3 Jahre



* Probenahme **über 3 Minuten** repräsentieren ½ h Mittelwerte, Bezugssauerstoffgehalt 3 Vol.%

Vereinfachte NO_x-Messmethode C für Motoranlagen



Vereinfachte NO_x-Messmethode C für BHKW-Verbrennungsmotoren

Hinweis aus VDMA 6299:2019-09, „Methoden zur Überwachung der Emissionen von Verbrennungsmotoranlagen“, Abschnitt 5.6.3.2, z.B. Gl. 2:

VDMA-Einheitsblatt		September 2019
	VDMA 6299	VDMA
ICS 13.040.40		
Methoden zur Überwachung der Emissionen von Verbrennungsmotoranlagen		
Methods for the Emission Monitoring of Internal Combustion Engine Power Plants		
Gesamtumfang 14 Seiten		
VDMA		

5.6.3.2 Umrechnung des Sensorsignals

Die Umrechnung des Sensorsignals ist grundsätzlich erforderlich, da die verwendete NO_x-Sensorik prinzipbedingt O₂ und NO misst, allerdings eine ausgeprägte Querempfindlichkeit auf NO₂ aufweist. Dieser Zusammenhang erlaubt es, NO_x als Summe von NO und NO₂ zu ermitteln. Zur Umrechnung sind verschiedene Rechenschritte erforderlich.

Zunächst ist der im feuchten Abgas gemessene Sauerstoffgehalt auf trockenes Abgas umzurechnen:

$$O_{2,tr} = \frac{O_{2,f}}{1 - \left(0,1966 - 0,8953 \cdot \frac{O_{2,f}}{100}\right)} \quad (1)$$

mit

$O_{2,tr}$ Auf trockenes Abgas berechneter Sauerstoffwert des NO_x-Sensors [vol. %]

$O_{2,f}$ Feucht gemessener Sauerstoffwert des NO_x-Sensors [vol. %]

Im zweiten Schritt muss der gemessene NO_x-Wert um sensor- und anlagenspezifische NO₂-Korrekturfaktoren korrigiert werden.

$$NO_{x,f-k} = NO_{x,f} \cdot \underline{(1 - K)} + NO_{x,f} \cdot \left(\frac{K}{K_{NO_2}}\right) \quad (2)$$

mit

$NO_{x,f}$ Feucht gemessener NO_x-Wert des NO_x-Sensors [ppm]

$NO_{x,f-k}$ Um dem NO₂-Faktor korrigierten NO_x Wert, bezogen auf feuchtes Abgas [ppm]

K NO₂ : NO_x Verhältnis des Abgases, als Konstante

K_{NO_2} Sensor spezifische NO₂-Korrekturfaktor, als Konstante

Anmerkung 1 zur Formel 2: Die Konstante K ist eine anlagenspezifische Konstante. Bei bestehenden Anlagen kann die Konstante aus Messprotokollen vergangener Verifizierungsmessungen abgeleitet werden. Bei anderen Anlagen ist nach Möglichkeit eine Auskunft des Motorenherstellers einzuholen. Die Konstante K ist im Rahmen der regelmäßigen Verifizierungsmessungen nach 3.5 zu überprüfen und ggf. in der Steuerung zu korrigieren.

Anmerkung 2 zur Formel 2: Die Konstante K_{NO_2} ist dem Datenblatt des verwendeten NO_x-Sensors zu entnehmen.

NO_x-Emissionen von Feuerungsanlagen und BHKW-Motoren

Fazit 2:

- Katalysatoren und andere Abgasnachbehandlungssysteme beeinflussen das Verhältnis von NO und NO₂ im Abgas.
- Verifikation des Hinweises in VDMA 6299:2019-09 über „**anlagen-spezifische Konstante c** “ und Fehlerabschätzung, z.B. durch Feldversuch ist notwendig.
- Hinweis auch aus ÖNORM H 7510-2:2021-07, Überprüfung von Heizungsanlagen, Teil 2: Einfache Überprüfung von Feuerungsanlagen und Verbrennungskraftanlagen, siehe Abs. 5.2: ... bei wiederkehrender Überprüfung von Verbrennungskraftmaschinen darf **NO₂-Anteil aus dokumentierten Ergebnissen der ersten Überprüfung** entnommen werden..
- Die Apriori-Ermittlung der Konstante c eröffnet auch für kleine Motoranlagen eine einfache und kostengünstige NO_x-Messmethode.

Agenda

1

Charakteristische Emissionen von Öl- und Gasfeuerungsanlagen und von Motoranlagen

2

Messen von NO_x-Emissionen an Öl- und Gasfeuerungsanlagen und an Motoranlagen

3

Messen von CO-Emissionen an Motoranlagen (BHKW) nach KÜO

4

Wiederkehrende Überprüfung der Messeinrichtungen auf den Prüfstellen der Schornsteinfeger

Verordnung über die Kehrung und Überprüfung von Anlagen

(Kehr- und Überprüfungsordnung - KÜO)

Vom 16. Juni 2009 (BGBl. I S. 1292), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 2. Juli 2020 (BGBl. I S. 1544)

§1 Kehr- und überprüfungspflichtige Anlagen, ...

(1) ...

(2) Bei Feuerstätten, Blockheizkraftwerken, Wärmepumpen und ortsfesten Verbrennungsmotoren für flüssige und gasförmige Brennstoffe darf der Kohlenmonoxidanteil im Rahmen der Abgaswegüberprüfung bezogen auf unverdünntes, trockenes Abgas, nicht mehr als 1 000 ppm betragen. Bei Überschreitung dieser Werte ist die Überprüfung in Abhängigkeit von der konkreten Gefährdungslage spätestens nach sechs Wochen zu wiederholen.

....

Die Messungen sind mit geeigneten Messeinrichtungen durchzuführen. Die eingesetzten Messeinrichtungen sind halbjährlich von einer der Stellen zu überprüfen, die in § 13 Absatz 3 der Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen vom 26. Januar 2010 (BGBl. I S.38) in der jeweils geltenden Fassung bezeichnet sind.

Bescheinigung nach KÜO

Blockheizkraftwerke (BHKW), Wärmepumpen, ortsfeste Verbrennungsmotoren und Brennstoffzellenheizgeräte

Anschrift des Schornsteinfegerbetriebes

Datum der Arbeitsausführung:

- ☐ Überprüfung nach § 1 KÜO*
☐ Wiederholungsüberprüfung nach § 1 Absatz 2 KÜO

Ausfertigung für

Name und Anschrift des Eigentümers/Verwalters

Betreiber/Aufstellungsort der Anlage:

Gebäudeteil:

Bescheinigung

über das Ergebnis der Überprüfung an
☐ einem Blockheizkraftwerk (BHKW) ☐ einer Wärmepumpe
☐ einem ortsfesten Verbrennungsmotor ☐ einem Brennstoffzellenheizgerät
☐ einem Notstromaggregat ☐ ...
für
☐ gasförmige Brennstoffe ☐ flüssige Brennstoffe ☐ feste Brennstoffe
gemäß der Verordnung über die Kehrung und Überprüfung von Anlagen (Kehr- und Überprüfungsordnung – KÜO) vom 16. Juni 2009 (BGBl. I S. 1292) oder nach Rechtsverordnungen nach § 1 Absatz 1 Satz 3 Schf-IwG

Anlagenbeschreibung: Hersteller, Typ, Herstell-Nr., Errichtung

Nennleistung	Thermische Leistung	Aufstellraum	Raumgröße
raumluftabhängig <input type="checkbox"/>	Sonstiges:		
raumluftunabhängig <input type="checkbox"/>			

Abgasanlage für

- ☐ Unterdruck (N) ☐ Überdruck (P) ☐ hohen Überdruck (H) ☐ ... ☐ dicht geschweißt

Überprüfungsergebnis gemäß KÜO (✓ = in Ordnung, X = mangelhaft, – = nicht zutreffend):

Verbrennungsluft/Lüftung	Abgasabzug:	O ₂ -Gehalt im Abgas	%
Gerät:	– am Gerät	unverdünnter CO-Gehalt	ppm
– Standsicherheit	– am Abgasstutzen	O ₂ -Differenz im Ringspalt	%
– äußerer Zustand	– am Schalldämpfer	Lufttemperatur im Ringspalt	°C
– Abstände	Verbindungsstück	Druckdifferenz im Ringspalt	Pa
Schalldämpfer	Abgasleitung	Abgastemperatur	°C

☐ Folgende Mängel wurden festgestellt: ☐ Es wurden keine Mängel festgestellt.

- ☐ Die Mängel stellen z. Zt. noch keine unmittelbare Gefahr dar, eine Überprüfung durch einen Fachbetrieb wird empfohlen.
☐ Die Mängel sind aus Sicherheitsgründen bis zum zu beseitigen.
☐ Aufgrund der festgestellten Mängel ist eine zusätzliche Überprüfung der Feuerungsanlage erforderlich.

Messgeräte-Identifikationsnummer(n)

Datum	Unterschrift des Schornsteinfegers	Falls Mängel festgestellt worden sind, die innerhalb einer Frist zu beseitigen sind, geben Sie mir bitte Nachricht, sobald die Mängel beseitigt sind bzw. die Wiederholungsüberprüfung erfolgen kann.
-------	------------------------------------	---

* Sämtliche Rechtsvorschriften dieses Formblattes beziehen sich auf die jeweils geltende Fassung.

Anzahl BHKW < 1 MW und KÜO-Intervalle

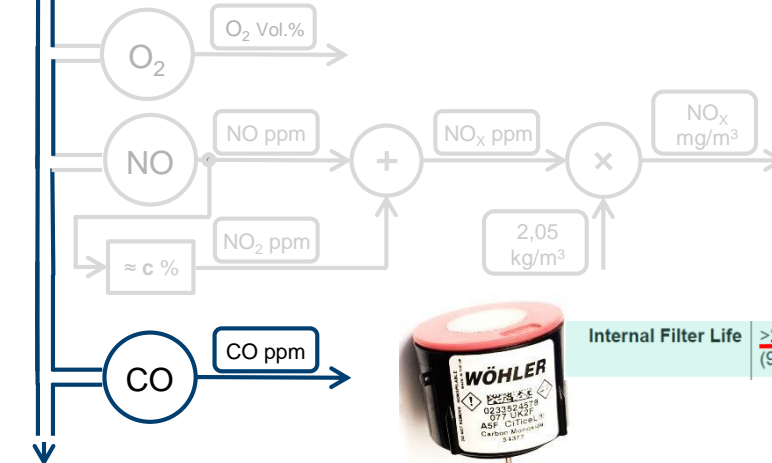
KÜO	Brennstoff des BHKW	Anlagenanzahl in Deutschland < 1MW FWL. (Quelle: ZIV)	Messintervall
1.4	Feste Brennstoffe	unter 100	siehe gasförmige Brennstoffe
2.7	Flüssige Brennstoffe Schwefelarm oder vergleichbar	ca. 4.500	jährlich alle 2 Jahre
3.4	Gasförmige Brennstoffe	ca. 55.500	alle 2 Jahre
	Summe:	ca. 60.000	

CO-Messung an Motoranlagen (BHKW) nach KÜO

Messsonde

Abgaspumpe

Gassensoren:



$$NO_x = NO + NO_2$$

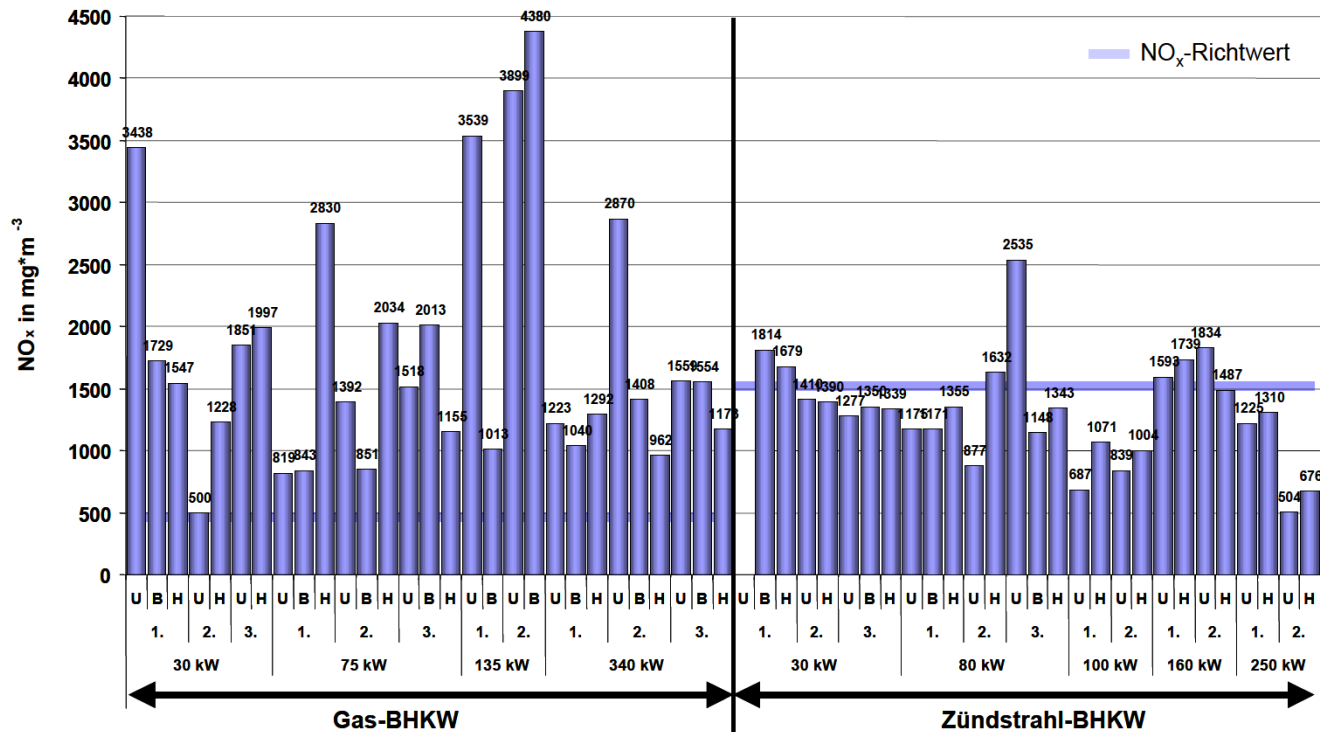
$$NO_x \approx NO + 5\%NO$$



Internal Filter Life >275.000 ppm hours
(900 ppm NO @ 200 ml/min)

NO_x-Emissionen von Motoranlagen (BHKW im Bestand, „Altanlagen“)

Emissions- und Leistungsverhalten von Biogas-Verbrennungsmotoren in Abhängigkeit von der Motorwartung



- CO-Messung nach KÜO: NO_x-Belastung des CO-Sensors in der Vergangenheit konnte sehr hoch sein.
- Geringere Grenzwerte für NO_x-Emissionen entschärfen auch die vorzeitige Alterung der Querempfindlichkeit eines elektrochemischen CO-Sensors

Hinweis:

1ppm NO_x ↔ 2,05 mg/m³

Zusätzlicher Schutz des CO-Sensors vor erhöhtem NOx-Gehalt (BHKW)

Am Markt verfügbare Schutzkonzepte:

filterbasiert

Wöhler:
„BHKW-Adapter“



Afriso:
„NOx/SOx Zwischen-
Filter“



WÖHLER

Testo:
„Quergasfilter“



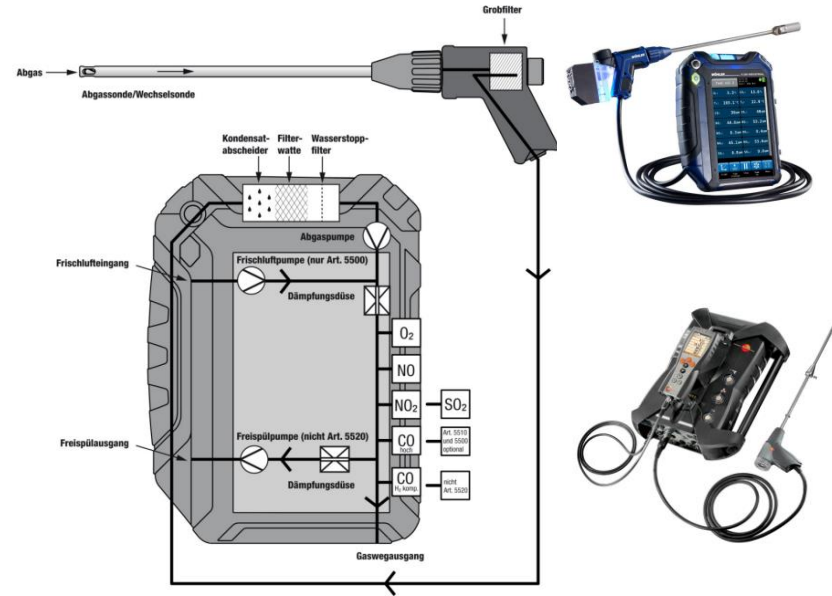
Dräger: „NOx-
Filtereinsatz für
Dräger FG7“



MRU: „Kondensatfalle
mit Purafilfilter“



verdünnungs- bzw. frischluftbasiert



Alle Bildausschnitte beispielhaft aus dem Internet von den Seiten der jeweiligen Hersteller

Emissionsmessungen an Motoranlagen

Fazit 3:

- Für CO- und NO_x-Messungen an „bestehenden“ Motoranlagen ist das Schutzkonzept für den CO-Sensor gegebenenfalls anzupassen, beispielsweise:
 - zunächst CO-Messung mit NO-Quergasfilter, dann Filter entfernen und CO-Sensor vom Probegas trennen und anschließend 3 Minuten NO-Messung durchführen.
- bei „Neuanlagen“ mit NO_x-Emissionswerten im Bereich der 44. BImSchV sind gleichzeitige Messungen von CO und NO_x ohne Schutzeinrichtung möglich. Eine signifikante Verkürzung der Lebensdauer des CO-Sensors ist nicht zu erwarten.
- Die halbjährlich wiederkehrende Überprüfungspflicht der Messeinrichtungen auf den Prüfstellen der Schornsteinfeger sichert zusätzlich zu den bestehenden Anforderungen seit Januar 2020 auch die messtechnische Qualität der CO-Messung an Motoranlagen (BHKW) nach KÜO bezüglich einer höheren NO_x-Belastung.

Agenda

1

Charakteristische Emissionen von Öl- und Gasfeuerungsanlagen und von Motoranlagen

2

Messen von NO_x-Emissionen an Öl- und Gasfeuerungsanlagen und an Motoranlagen

3

Messen von CO-Emissionen an Motoranlagen (BHKW) nach KÜO

4

Wiederkehrende Überprüfung der Messeinrichtungen auf den Prüfstellen der Schornsteinfeger

Überprüfung des NO-Sensors (44. BImSchV), VDI 4208 Blatt 2

Beispiel für einen Prüfbericht nach VDI 4208 Blatt 2

Anschrift oder Stempel der Messgeräteprüfstelle

Prüfstellenkurzzeichen:
 Prüfdatum:
 Prüfzeitraum:
 Prüfer:
 Kundennummer:
 Umgebungstemperatur: _____ °C
 Umgebungsdruck: _____ hPa

PRÜFBERICHT

für Messgeräte zur Emissionsmessung und Messung der Brennstofffeuchte nach VDI 4208 Blatt 2

Geräte-Nr:	Hersteller:	Typ:
Software-Version ^{a)} :	Software eignungsgeprüft ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>	
Messgeräte-Identifikationsnummer bei Eingang: _ _ ! _ _ _ _ _ ! _ _ ! _ _ _		

Prüfkriterium Sollwert	Prüfmittel Istwert	Maximal zulässige Abweichung ^{b)}	Messgerät Messwert	Abweichung	Bewertung
O ₂ : 5 %		±0,4 % (Volumenanteil)			
O ₂ : 15 %		±0,4 % (Volumenanteil)			
CO: 400 × 10 ⁻⁶		±0,07 × Prüfgasistwert			
CO: 1700 × 10 ⁻⁶		±0,07 × Prüfgasistwert			
CO: 1700 × 10 ⁻⁶ (Festbrennstoff)		±0,12 × Prüfgasistwert			
NO: 200 × 10 ⁻⁶ (44. BImSchV)		±0,07 × Prüfgasistwert			
Druckdifferenz: 25 Pa		±3 Pa			
CO (BHKW) ^{c)} : NO: 200 × 10 ⁻⁶		≤ 20 · 10 ⁻⁶ CO			
Rußzahlmessgerät: Probenvolumen 1,63 l (10 Hube)		±0,105 t (1,525 ... 1,735) t			
Rußzahlmessgerät (Motorpumpe): Gesamtabsaugzeit 50 s		±10 s (40 ... 60) s			
Bestimmende Messgröße des Staubmessgeräts:					

Hierzu muss nach Angaben des Herstellers eine BHKW-Schutzeinrichtung zurückgebaut werden.



1. Ist das Messgerät für Einzelmessungen nach §31, Abs. 9 als geeignet bekanntgegeben und beim ZIV gelistet?

2. Bei Aufgabe des Prüfgases 3 mit NO 200 ppm darf die Anzeige des NO-Wertes am Messgerät die maximal zulässige Abweichung:

± 0,07 x Prüfgas-Istwert

nicht überschreiten.

Quellensammlung zum Themenbereich „Messungen an Motoranlagen (BHKW) im Anwendungsbereich des SF“

- Kehr- und Überprüfungsordnung – KÜO, vom 16. Juni 2009 (BGBl. I S. 1292), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 2. Juli 2020 (BGBl. I S. 1544), (nächste Änderung zum 1.1.2020 Bundesrat-Drucksache 658/21 betrifft nicht CO-Messung an BHKW)
- VDMA-Einheitsblatt 6299, Methoden zur Überwachung der Emissionen von Verbrennungsmotoranlagen, September 2019
- ZIV-Arbeitsblatt 105, „Abgaswegüberprüfung an Blockheizkraftwerken, Wärmepumpen, ortsfesten Verbrennungsmotoren, Brennstoffzellen-Heizgeräten und Überprüfung von deren Abgasanlagen“.
- Umsetzung für 44. BImSchV, §31, Abs. 9 erfolgt, siehe Anpassungen in folgenden Richtlinien:
 - Anforderungen an Messgeräte in VDI 4206 - Blatt 1 (Gründruck Mai 2020, Weißdruck eingeleitet)
 - Durchführung der Messung in VDI 4207- Blatt 3 (Gründruck November 2020, zum Weißdruck verabschiedet)
- ÖNORM H 7510-2:2021-07, Überprüfung von Heizungsanlagen, Teil 2: Einfache Überprüfung von Feuerungsanlagen und Verbrennungskraftanlagen, siehe Abs. 5.2: bei wiederkehrender Überprüfung von Verbrennungskraftmaschinen darf NO₂-Anteil aus dokumentierten Ergebnissen der ersten Überprüfung entnommen werden



BESTEN DANK FÜRS ZUHÖREN

Dr.-Ing. Stephan Ester
Geschäftsführer

Wöhler Technik GmbH

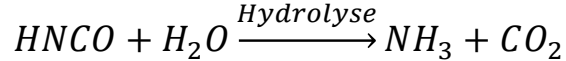
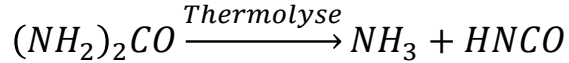


www.woehler.de

Diesel-Stickoxid Nachbehandlung

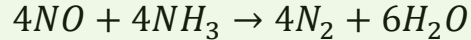
SCR-Katalysator (Selective Catalytic Reduction)

- aus Harnstoff muss Ammoniak gebildet werden

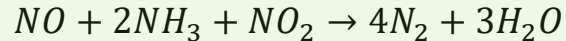


- Ammoniak reagiert im SCR-Kat mit den Stickoxiden:

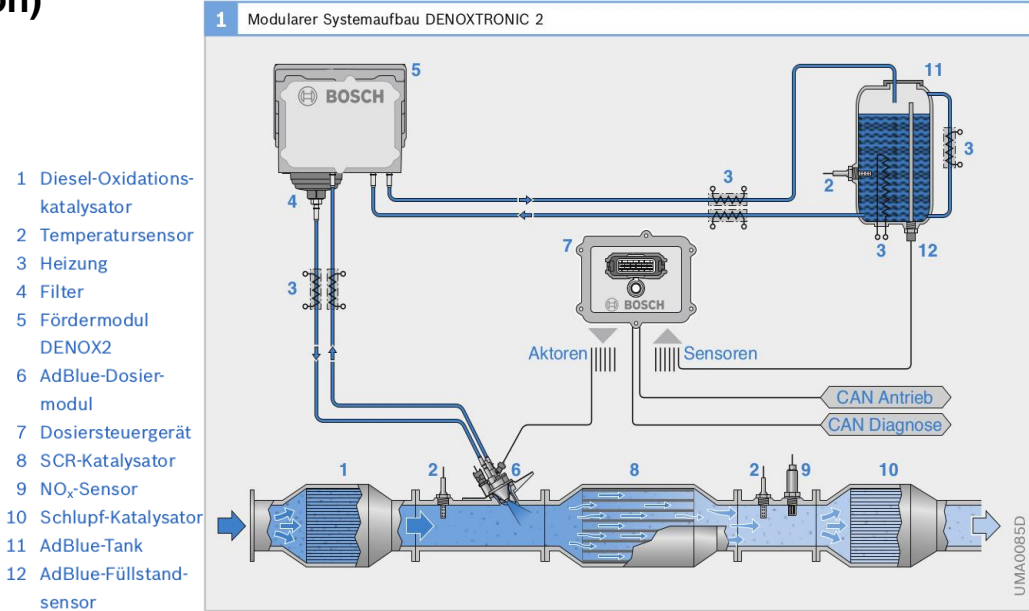
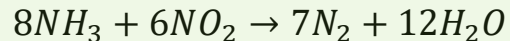
Standard-SCR (über 250°C):



Fast-SCR (über 170°C bis 300°C):



NO₂-SCR (NO₂ > 50 % NO_x, langsam):



Quellen: Konrad Reif (Hrsg.), Dieselmotor-Management im Überblick, Springer, 2010
https://de.wikipedia.org/wiki/Selektive_katalytische_Reduktion, zuletzt geöffnet am 28.04.2021

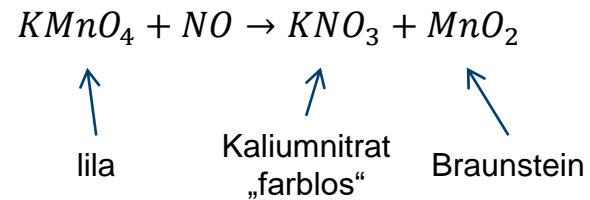
Schutz des CO-Sensors vor erhöhtem NOx-Gehalt (BHKW)

Messgerätehersteller: zusätzliche Maßnahmen zur Erhöhung der Filterstandzeit, z.B. BHKW-Adapter bei Fa. Wöhler Technik GmbH



Purafil Chemisorbant, Kaliumpermanganat $KMnO_4$ setzt NOx-Gas in Feststoff um:

Reaktion mit NO :



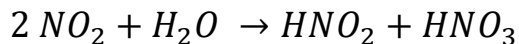
Reaktion mit NO_2 :



Quellen: Purafil, Inc. Weaver, Doraville, GA 30340 und
United States Patent 3,927,177 Dec. 16, 1975, „Removal of Nitrogen Oxides from
Gaseous Mixtures using aqueous Alkaline Manganate or Permanganate solutions

Besonderheiten bei NO₂- Messung nach Methode A

Prinzip „Saurer Regen“:



Salpetersäure

salpetrige Säure

fehlt in der Gasprobe

Peltierkühler zur raschen Abtrennung der Flüssigkeitsphase

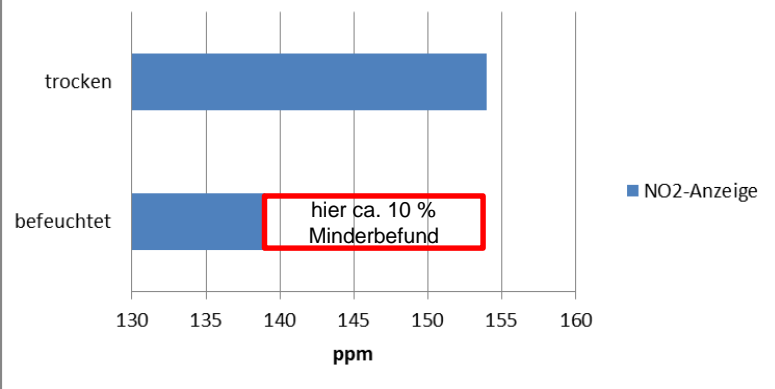


Kondensat-Reservoir

Experiment:



NO₂-Löslichkeit in Wasser



NOx-Vorabmessungen, Realgasmessung im 2. Feldtest

MCP/BimSch	Datum	Hersteller	Typ	Leistung	Baujahr	Kesselart	Druck	Brennstoff	CO-Gehalt	O2-Gehalt	Abgas-temperatur	Kessel-temperatur	NO-Wert	NO2-Wert	SO2-Wert	Hinweis	NOx verdünnt [ppm]	NOx normiert [ppm]	NOx normiert [mg/m³]	NOx normiert [mg/m³] aus NO
MCP	20.02.2018	Jenbacher	JMS 312 GS	1.306	2015	Niedertemperatur	10,05	Erdgas	149	9,3	116,9 °C	60,0 °C	160	34	0	BHKW	194	298,5	612	530
MCP	26.02.2018	Viessmann		2.003	18	Niedertemperatur	-0,02	Erdgas	1	17,4	55,0 °C	54,0 °C	8	2	0		10	50,0	103	86
MCP	20.02.2018	Viessmann	15032-02	2.900	1982	Niedertemperatur	-0,15	Erdgas	24	9,5	157,0 °C	80,0 °C	31	4	0		35	54,8	112	104
MCP	14.03.2018	Viessmann	PUK18	1.998	10,5-18	Niedertemperatur	-0,03	Erdgas	72	13,1	59,0 °C	50,0 °C	8	2	0		10	22,8	47	39
MCP	22.02.2018	Buderus	GE615	1.200	2003	Niedertemperatur	-0,06	Erdgas	2	3,9	192,4 °C	60,0 °C	50	4	0		54	56,8	117	113
MCP	21.02.2018	Buderus	GE615-1020	1.163	2006	Niedertemperatur	-0,57	Erdgas	1	3,3	169,0 °C	78,0 °C	55	4	0		59	60,0	123	120
MCP	20.02.2018	Viessmann	15032-02	2.900	1982	Niedertemperatur	-0,28	Erdgas	0	3,9	120,0 °C	110,0 °C	56	4	0		60	63,2	129	127
MCP	26.02.2018	Buderus	SE715	1.250	1995	Niedertemperatur	-0,39	Heizöl	18	4,8	232,0 °C	82,0 °C	58	4	0	Qa bemängelt	62	68,9	141	139
MCP	09.04.2018	Fröling	Eurotwin 1000	1.000	2003	Niedertemperatur	-0,15	Erdgas	0	3,6	162,0 °C		48	3	0	Foto 7	51	52,8	108	107
MCP	09.04.2018	Fröling	Eurotwin 1000	1.000	2002	Niedertemperatur	-0,15	Erdgas	0	3,2	148,0 °C		48	3	0	Foto 5	51	51,6	106	104
MCP	22.02.2018	Buderus	SK725	1.070	2001	Niedertemperatur	-0,15	Erdgas	6	7,0	110,3 °C	55,0 °C	49	2	0		51	65,6	134	136
MCP	20.02.2018	Viessmann	PD-093	1.070	1992	Niedertemperatur	-0,39	Erdgas	0	4,7	203,3 °C	60,0 °C	54	2	0		56	61,8	127	128
MCP	20.02.2018	Viessmann	Vitoplex 300 TX 3A	1.000	2015	Niedertemperatur	-0,22	Heizöl	0	4,1	123,0 °C	68,0 °C	61	2	0		63	67,1	138	140
MCP	10.04.2018	Loos	ULS	6.600	1990	Dampfkessel	0,95	Erdgas	0	5,7	166,0 °C	60,0 °C	76	2	0		78	91,8	188	192



Konstanten	Wert	Einheit
Bezugssauerstoff O ₂ ref	3	Vol.-%
NO ₂ /NO-Verhältnis	5	%
Normdichte NO ₂	2,05	kg/m³

NOx-Messmethode A

NOx-Messmethode B