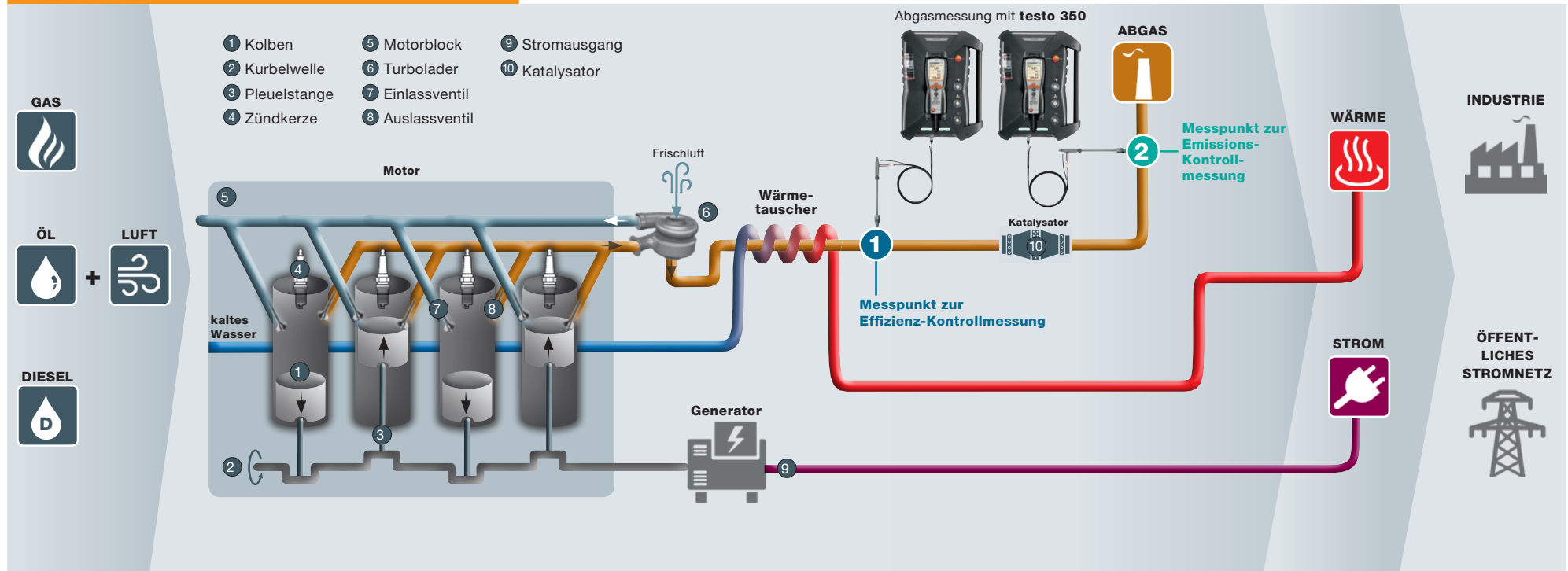


Anwendungsbeschreibung Blockheizkraftwerk – BHKW*

Skizze & Funktion BHKW



Typischer Verbrennungsprozess eines BHKW Motors

- I. **Ansaugen** des Kraftstoff-Luft-Gemisches durch das Einlassventil.
- II. **Verdichten** und Erwärmen des Gemisches.
- III. **Zündung** des Kraftstoff-Luft-Gemisches (bei Ottomotoren durch die Zündkerze, bei Dieselmotoren durch Selbstzündung).
- IV. Die Kurbelwelle wird in eine **Drehbewegung** versetzt. Die Drehbewegung wird durch den Generator in Elektrizität umgewandelt.
- V. **Ausstoßen** des verbrannten Abgases durch das geöffnete Auslassventil.
- VI. Der **Turbolader**, vom Abgas angetrieben, verdichtet die Verbrennungsluft, die dem Motor zugeführt wird. Es ergibt sich eine höhere Motorleistung, bei gleichzeitig niedrigerem Verbrauch und besseren Emissionswerten.
- VII. Der **Wärmetauscher** nutzt die im Abgas vorhandene Abwärme, um das Heizungssystem zu betreiben oder als **Prozesswärme** zu verwenden.

* gilt für alle Applikationen im Bereich Motoren

Anwendungsbeschreibung Blockheizkraftwerk – BHKW*

Messung

Messpunkt ① Effizienz-Kontrollmessung

Messpunkt vor dem Katalysator (nach dem Turbolader)

Warum wird gemessen?

- Prüfung und Kontrolle der Motorwirkungsgrade
- Fehlersuche/Analyse der Betriebsbedingungen des Motors inkl. Motorsteuerung
- Optimale Einstellung des Motors zur Einsparung von Treibstoffkosten
→ höhere Effizienz
- Korrekte Einstellung der Zusammenhänge von Zündeneinstellung, Luftüberschuss usw. des Motors

Typische Abgaseigenschaften:

- **Temperatur:** ca. +650 °C
- **Überdruck:** bis ca. 100 mbar (abhängig von Turbolader und Katalysator)

Typische Messwerte mit testo 350**:

Messgröße	Erdgas	Deponiegas	Öl
O ₂	8 %	5 ... 6 %	8 ... 10 %
NO	100 ... 300 ppm	100 ... 500 ppm	800 ... 1000 ppm
NO ₂	30 ... 60 ppm	90 ... 110 ppm	10 ... 20 ppm
CO	20 ... 40 ppm	350 ... 450 ppm	450 ... 550 ppm
CO ₂	10 %	13 %	7 ... 8 %
SO ₂		30 ppm	30...50 ppm

** Magermotoren

Praxisinfo:

Luftüberschuss, Brennstoffdruck, Motoreinstellung oder die Umgebungstemperatur oder -feuchte können maßgebliche Auswirkungen auf die Emissionen haben. Dies alles muss bei der Optimierung oder Einstellung des Motors berücksichtigt werden.



* gilt für alle Applikationen im Bereich Motoren

Messpunkt ② Emissions-Kontrollmessung

Messpunkt nach dem Katalysator (am Ende des Abgaskanals)

Warum wird gemessen?

- Kontrolle der Katalysatoreffizienz
- Kontrolle der Emissionsgrenzwerte (abhängig von nationalen Emissionsvorschriften, z.B. TA-Luft)

Typische Abgaseigenschaften:

- **Temperatur:** ca. +250 °C
- **Überdruck:** kein hoher Überdruck im Abgas
- **NO_x-Wert:** ca. 480 mg/m³ (Richtwert, da leicht unterhalb des Grenzwertes 500 mg/m³)

Typische Messwerte mit testo 350:

Messgröße	Motorart	Grenzwerte
CO	Erdgas	650 mg/m ³
NO + NO ₂	Selbstzünder (Diesel) < 3 MW	4000 mg/m ³
NO + NO ₂	Selbstzünder (Diesel) > 3 MW	2000 mg/m ³
NO + NO ₂	Sonstige 4-Takt (Gasmotoren)	500 mg/m ³
NO + NO ₂	Sonstige 2-Takt (Gasmotoren)	800 mg/m ³
O ₂	Bezugswert	5 Vol. %
SO ₂	Nach DIN 51603	

Messöffnung

- kurze, angeschweißte Stutzen mit Außengewinde
- direkt in den Abgaskanal eingearbeitete Bohrung mit Innengewinde
- verschiedenste Flanschlösungen



Hinweis:

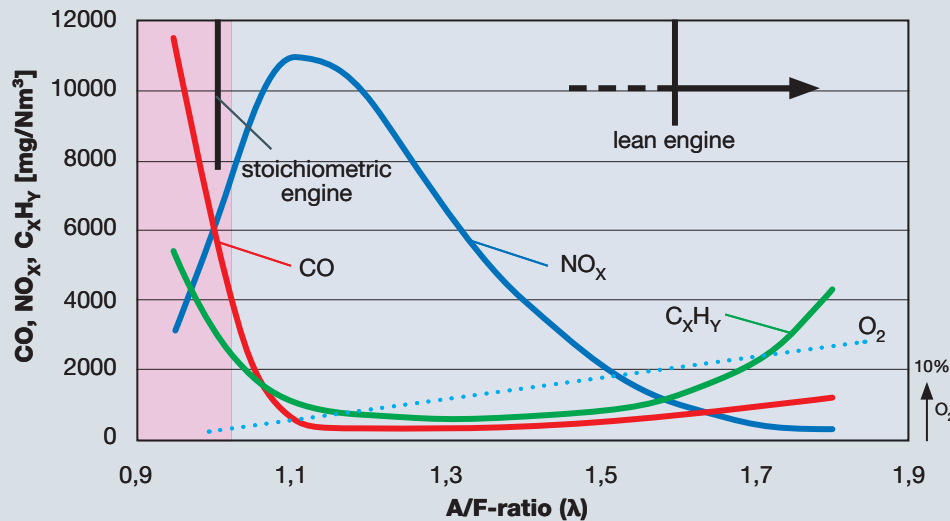
Diese Messstellen sind oftmals nur mit Hilfe einer Leiter, Podest o.ä. erreichbar.



Anwendungsbeschreibung Blockheizkraftwerk – BHKW*

Theoriewissen 1

Entwicklung der Emissionen anhand von λ -Werten



Generell gilt:

Je nach Verhältnis von Luft zu Kraftstoffanteil, verschiebt sich die Kurve auf dem Verbrennungsdiagramm.

NO_x:

$\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$
 → NO_x separat messen
 - NO₂-Anteile können stark schwanken
 - Bestehend aus Brennstoff NO_x und thermischem NO_x
 - Höchster NO_x-Wert = höchster mechanischer Wirkungsgrad

C_xH_y:

$\text{C}_x\text{H}_y + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
 (Verbrennungsgleichung)

Fettmotoren ($\lambda \leq 1$)

Eigenschaften:

- Motoren mit Luftmangel (Lambda = 1 Regelung): Kraftstoff wird daher nicht effizient ausgenutzt
- Typische Applikationen: Kompressor-Stationen, z.B. Gastransport (vergleichbar mit Gasmotoren im Automobilbereich)
- Typischer Arbeitsbereich: $\lambda \sim 0,85 \dots 0,95$

Vor- und Nachteile eines fetten Motors:

- + Hohe Leistungsdichte
- + Inbetriebnahmekosten vergleichsweise niedriger als bei Magermotoren
- + Sicherer Betrieb
- Hoher Kraftstoffverbrauch
- Hohe Emissionen (falls nicht überwacht)
- Keine geeignete Nutzung für den Einsatz bei Biogas

NO_x (Stickoxide):

NO_x ≤ NO_x max.:
 geringer NO_x-Anteil aufgrund unvollständig oder unverbranntem Kraftstoff (HC)

→ keine max. Temperaturentwicklung (weniger thermisches NO_x)

C_xH_y oder HC (Kohlenwasserstoff z.B. Methan):

Aufgrund des Sauerstoffmangels werden nicht alle Kraftstoffe (HC) verbrannt
 → hoher C_xH_y-Wert

CO (Kohlenmonoxid):

Sauerstoffmangel führt im Verbrennungsprozess dazu, dass nicht alle CO-Moleküle zu CO₂ umgewandelt werden können. Kraftstoff verlässt somit unvollständig oder unverbrannt den Motor.

→ führt zu hohem Kraftstoffverbrauch (HC-Schlupf)

Magermotoren ($\lambda > 1$)

Eigenschaften:

- Motoren mit Luftüberschuss (Magermotoren)
 → Kraftstoff wird effizient ausgenutzt
- Typische Applikationen: Stromversorgung für Krankenhäuser, Regierungsgebäude, Serverhäuser, Abwasseranlagen, Bergbau
- Typischer Arbeitsbereich: $\lambda \sim 1,05 \dots 1,3$

Vor- und Nachteile eines mageren Motors:

- + Geeignete Nutzung für den Einsatz bei Biogas
- + Hohe Brennstoffeffizienz
- + Emissionsarm
- Geringer Wirkungsgrad

NO_x (Stickoxide):

NO_x > NO_x max.: Erhöhter O₂-Wert führt zur Absenkung der Brennkammertemperatur, somit geringer NO_x-Anteil (weniger thermisches NO_x)

C_xH_y oder HC (Kohlenwasserstoff z.B. Methan):

Bei zu hohem Sauerstoffüberschuss wird die Verbrennungstemperatur soweit herabgesetzt, dass die Flammentemperatur nicht mehr ausreicht, um den gesamten Kraftstoff (HC) zu verbrennen
 → Anstieg C_xH_y-Wert

CO (Kohlenmonoxid):

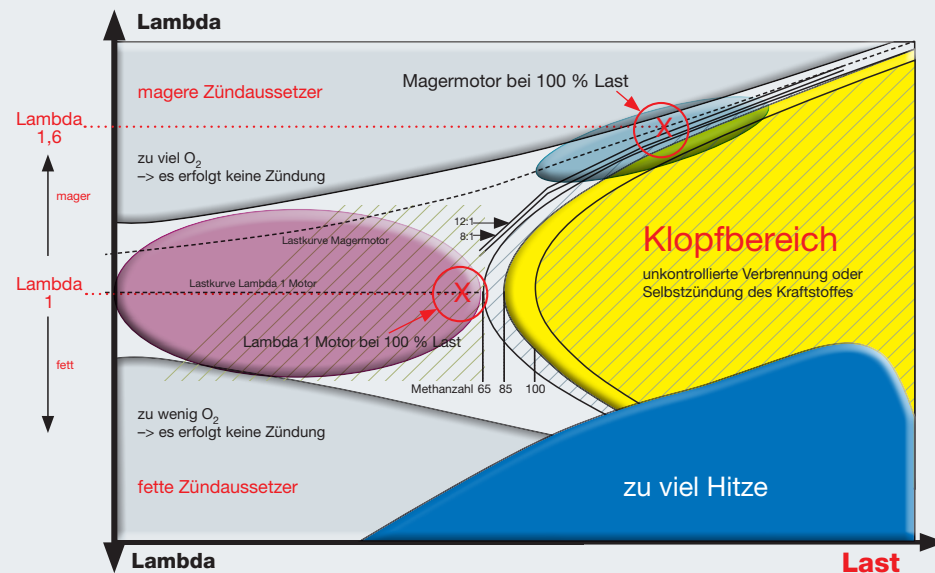
Sauerstoffüberschuss führt im Verbrennungsprozess dazu, dass die CO-Moleküle mit O₂ zu CO₂ reagieren können
 → Sauerstoff bleibt übrig

* gilt für alle Applikationen im Bereich Motoren

Anwendungsbeschreibung Blockheizkraftwerk – BHKW*

Theoriewissen 2

Richtige Einstellung des Motors um „Klopfen“ und „Zündaussetzer“ des Motors zu vermeiden



Fettmotor

Sicherer Betrieb des Motors

- großer Einstellkorridor des Motors
- „Magere Fehlzündung“ oder „Fette Fehlzündung“
- bei Fett-Verbrennungsmotoren ist dies eher unüblich

Magermotor

Effizienter Betrieb

- exakte Einstellung des Motors mittels Messgerät (testo 350) notwendig
- kleiner Einstellkorridor des Motors
- Bei falschem Einstellen des Motors:
 - „Magere Fehlzündung“ oder „Klopfgefahr“

Einstellmöglichkeiten bei Fettmotoren

Falsche Einstellung des Kraftstoff-Luft-Gemisches:

Abhängig von Lastpunkt und den Vorgaben der Motorenhersteller bzw. den nationalen Emissionsvorschriften

Hohe HC- bzw. NO_x-Werte nach TWC (3-Wege-Kat):

-> Messung vor/nach TWC bzw. siehe hohe NO_x-Werte vor TWC

Hohe NO_x Werte vor TWC:

-> hohe Temperaturen in der Brennkammer: Zündung in Richtung „früh“ einstellen und Lambda-Sonde überprüfen

Hohe NO_x- oder HC-Werte vor TWC:

-> Zylinderfehler durch Fehlzündung: Zusammensetzung Brenngas, Umgebungstemperatur und Druck des Brenngases, Einlasslufttemperatur nach dem Turbolader usw.

Einstellmöglichkeiten bei Magermotoren

Hohe NO_x-Werte nach Selective Catalytic Reduction (SCR):

-> Messung vor/nach SCR bzw. siehe hohe NO_x-Werte vor SCR

Hohe NO_x Werte vor SCR:

-> Zündzeitpunkt zu früh
-> Verschiebung Zündzeitpunkt in Richtung spät

Zu niedrige Methanzahl (Schwankung oft bei Biogas):

-> niedrigere Zündtemperatur
-> zu frühes Zünden

Einstellmöglichkeiten bei Klopfen:

-> glühender Abbrand (Verbrennungs- & Ölrückstände) an Brennraumwänden
-> zu frühe Zündung
-> neue Motoren verfügen über Klopfensoren
-> Steinschlag, Kettenrasseln etc. können zu Fehlsignalen am Klopf-sensor (= akustisch) führen

ACHTUNG:

„Zündzeitpunkt zu früh“ führt zu Klopfen, „Zündzeitpunkt zu spät“ führt zu Zündaussetzern -> präzise Einstellung nur mit Messgerät möglich. „Richtwerte“ können auch Einfluss auf andere Parameter haben (z.B. Schmieröl, Temperaturen etc.), was zu erhöhtem Verschleiß führen kann.

Warum ein Katalysator?

Allgemein

Prinzip:

Katalysatoren erhöhen die Geschwindigkeit einer chem. Reaktion durch Herabsetzung der Aktivierungsenergie. Katalysatoren werden dabei nicht selbst verbraucht.



Fettmotor

3-Wege-Katalysator (TWC = Three-way-catalysator):

- Geregelter Katalysator: wird gesteuert durch λ -Sonde (Sensor, der im Abgas einer Verbrennung das Verhältnis von Luft zu Kraftstoff bestimmt)
- Reduziert Schadstoffe um bis zu 90%: CO und NO_x und HC
- Optimaler Arbeitsbereich: $\lambda \sim 0,98 \dots 0,998$

Magermotor

Oxidationskatalysator:

Reduziert Emissionen von CO und HC; NO_x-Emissionen werden jedoch nicht reduziert.

SCR (Selective Catalytic Reduction) = DeNO_x:

Reduktion von NO_x in Abgasen

* gilt für alle Applikationen im Bereich Motoren