

Schnelle Bestimmung von Luftbedarf, Wobbe-Index und Heizwert in industriellen Anfallgasen

Dr. Heinrich S. Grienauer
AMS Analysen-, Mess- und Systemtechnik GmbH, DE 69234 Dielheim

Aus Gründen des Umweltschutzes [1] und als kostengünstige Alternative zum Erdgas werden in industriellen Verbrennungsprozessen zunehmend auch Gase eingesetzt, die bei anderen Prozessen **in der chemischen oder petrochemischen Industrie, aber auch** in der Stahlindustrie anfallen. In der Vergangenheit wurden diese Gase teilweise über die Fackel abgeleitet, heute werden sie zur Nutzung von elektrischer Energie oder für die Gewinnung von Prozesswärme genutzt. Einerseits unterliegt die Zusammensetzung dieser Gase starken Schwankungen, andererseits wird bei der Verwertung dieser Anfallgase aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und zur Minimierung der Kosten und Emissionen eine konstante **bzw. geregelte** Energiezufuhr gefordert. Die zuverlässige, **schnelle** und kontinuierliche Messung des Luftbedarfs und des Wobbe-Index des Einsatzgases ist somit eine zwingende Voraussetzung, um den Verbrennungsprozess an wechselnde Brenngasqualitäten und Betriebsbedingungen anzupassen.

	CH ₄	C ₂ H ₄	C ₃ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ +	CO ₂	H ₂	N ₂	C ₅ +
Min [Vol%]	1	0,9	2	0,2	0,1	4,6	2	3	0,1
Max [Vol%]	30	73	46	2,2	14,2	6,6	51,5	66	1,5

Tabelle Beispiel für die Konzentrationsschwankungen **der Hauptkomponenten** in einem Fackelgas

Die Wirtschaftlichkeit und die Einsparung von teuer eingekaufter Energie in Form von Erdgas oder Strom ist heute mehr denn je ein wesentlicher Aspekt beim Betrieb von industriellen Prozessen. Auch behördliche Auflagen bezüglich der Vermeidung von Schadstoffen oder Russpartikeln spielen eine nicht zu vernachlässigende Rolle. Die Anwendungen erstrecken sich auf ein weites Einsatzgebiet, wovon einige der wichtigsten wie folgt zu beschreiben sind:

- Nutzung von Anfallgasen aus Chemieanlagen, Raffinerien, Biogasanlagen [2,3]
- Nutzung der Gase aus Hochöfen, Konvertern oder Kokereien
- Anlagen zur Herstellung von Gasgemischen mit vorgegebener Qualität
- Prozesse, wo die Gaszusammensetzung die Flamme und die Produktqualität beeinflusst [4]

Ein besonderes Problem bei vielen Messungen liegt in der extremen Schwankung der Gaszusammensetzung, welche dann auch noch innerhalb einiger Sekunden von wenigen MJ/m³ auf Werte über 100 MJ/m³ steigen bzw. fallen kann. Dies entspricht einer Schwankungsbreite von Schwachgas bis Propan.

Die **kalorische Qualität solcher Gase** kann mit Geräten der Serie **RHADOX™** in hervorragender Weise **kontinuierlich bestimmt** werden. Es handelt sich hier um eine Gerätefamilie, die mit ungewöhnlich schneller Ansprechzeit Gase mit einer sehr großen Spanne in der Zusammensetzung auf **seine kalorischen Kenngrößen**

- **stöchiometrischer Luftbedarf**
 - **Wobbe-Index**
 - **spezifische Dichte und**
 - **Heizwert bzw. Brennwert**
- untersuchen kann.

Das Messverfahren beruht auf der Oxidation des Einsatzgases (Verbrennung oder katalytische Oxidation) unter Luftzufuhr und Messung des Restsauerstoffs mit einer ZrO_2 -Sonde. Jedes Gerät wird auf seine spezielle Applikation ausgelegt, im Prüflabor parametrisiert und den jedem Prozess eigenen Bedingungen hin getestet.

Bei der Messung laufen im Gerät folgende Funktionsschritte ab:

- **definierte** Mischung von Gas und Luft
- (Katalytische) Verbrennung bzw. Oxidation
- Bestimmung des Restsauerstoffs
- Berechnung von Luftbedarf und Wobbeindex
- Berechnung von Heizwert bzw. Brennwert durch integrierte Messung der **spezifischen** Gasdichte

Zentrale Funktion hat die Mischkammer. Hier wird das Gas mit einem Luftüberschuss über Düsen bei laminarer Strömung homogen gemischt und ist somit unabhängig von Schwankungen in der Viskosität der Gase [5]. Der Zufluss vom Gas ist, wie beim Brenner, nur noch von der Dichte des Gases abhängig. Ein Wärmetauscher für das Gas und die Luft gleicht deren Temperatur bis auf Differenzen im Milli-Kelvin-Bereich aneinander an.. Die Druckangleichung der beiden Gase erfolgt mit dem Messgas-Regelventil und einem Differenzdruckregler derart, dass eine Regelgenauigkeit von $< 0,05$ mbar gewährleistet ist. **Dabei kommt es nur darauf an, dass Gas und Luft auf gleichen Druck und gleiche Temperatur gebracht werden – die absolute Höhe dieser Parameter ist von untergeordneter Bedeutung.**

Im **RHADOX™** Messgerät wird das zu messende Gas vollständig verbrannt. Die Mischung des Gases mit der Brennluft muss konstant und reproduzierbar sein. Der verbleibende Restsauerstoff ist ein zuverlässiges Maß für den Luftbedarf des Gases bei der Verbrennung. Mit entsprechender Kalibrierung kann daraus der Wobbe-Index des Brenngases abgeleitet werden. Bei Gasen, die aufgrund ihrer Zusammensetzung keine stabile Flamme bilden, wird die Oxidation in einem katalytischen Reaktor durchgeführt [6].

Die Bestimmung des Restsauerstoffgehaltes erfolgt mit einer ZrO_2 -Sonde. Hier hat sich eine beheizte Lambda-Sonde bewährt, die bei einer Temperatur von ca. 600°C arbeitet. Für den Betrieb der Sonde ist saubere und trockene Instrumentenluft erforderlich, die frei von Kohlenwasserstoffen, CO und H_2 sein muss.

Die unmittelbare Messgröße ist der korrigierte, stöchiometrische Luftbedarf des Brenngases. Für jede Gruppe von Gasen kann man einen linearen Zusammenhang zwischen dem Luftbedarf und dem Wobbe-Index herstellen. Über eine Computersimulation der Oxidationsvorgänge lassen sich geeignete Kalibriergase definieren.

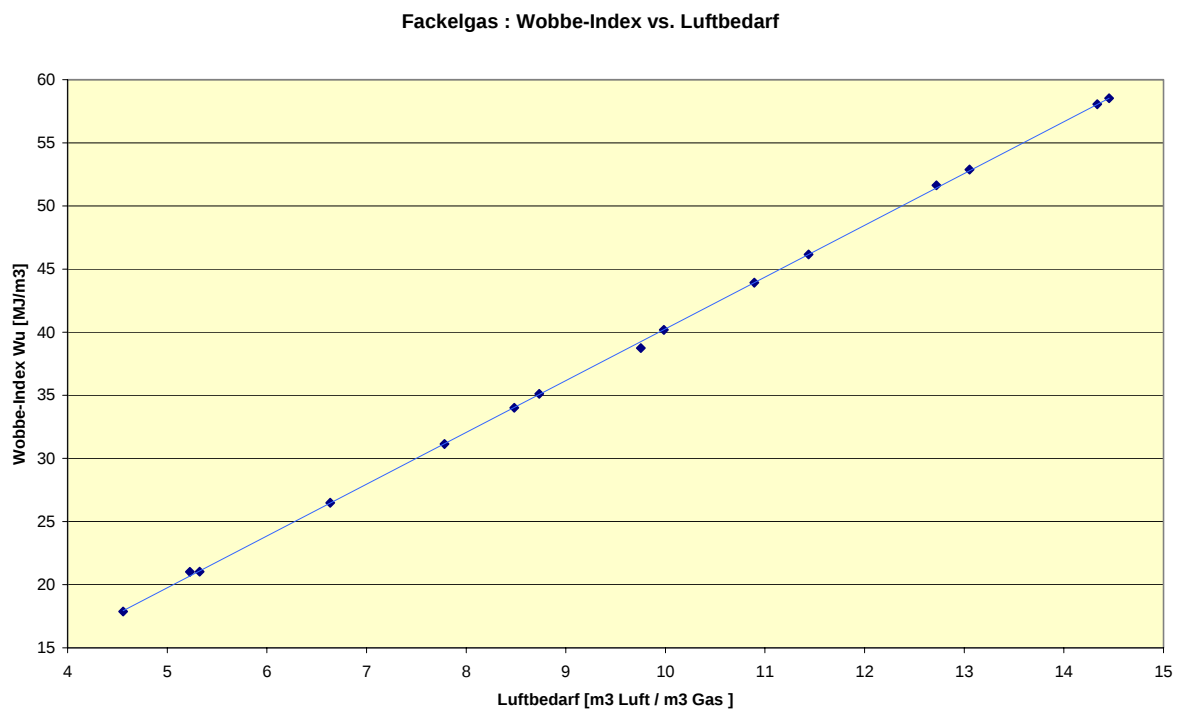


Diagramm : Wobbe-Index als Funktion des stöchiometrischen Luftbedarfs

Heizwert und Wobbe-Index sind über die spezifische Dichte des Gases verknüpft :

Formel :

$$H_U = W_U * \sqrt{d_{rel}}$$

Legende :

H_U	Heizwert
W_U	(unterer) Wobbe-Index
d_{rel}	Dichte des Gases relativ zu Luft (spezifische Dichte)

Mit einer **integrierten Messung der spezifischen** Dichte kann der Geräterechner den Heizwert eines Gases bestimmen. Im Rhadox wird dabei die bekannte Methode von Bernoulli eingesetzt, bei welcher die Dichte-Abhängigkeit der Strömung eines Gases durch eine Messblende zum Bestimmen der Dichte benutzt wird [7,8].

Zusammengefasste Leistungsmerkmale für das System **RHADOX™** :

- Da es so gut wie keinen Einfluss der Umgebungstemperatur gibt, ist kein Kalorimeter-Raum erforderlich
- Sehr kurze Reaktionszeiten - Ansprechzeit ca. 3 sec. // T90 je nach Gasart 10-20 sec.
- Reproduzierbarkeit besser als 0,15% vom Istwert
- Halbautomatische Kalibrierung **mit automatischer Prüfung auf Plausibilität, Drift und Reproduzierbarkeit**
- O₂ Korrektur für konditionierte Brenngase
- Einsatz des Gerätes in Ex-Zone 2 möglich (ATEX II 3 G // EEx nC IIB+H2 T3) auch unter Berücksichtigung der inneren Explosionsgefahr wegen des Einleitens brennbarer Gase



Bild : Rhadox zur Bestimmung der kalorischen Werte von Fackelgas in einem Chemiebetrieb

Betriebserfahrung :

Messeinrichtungen zur schnellen Bestimmung von Wobbezahl und stöchiometrischem Luftbedarf in Anfallgasen befinden sich an mehreren Raffinerie- und Chemie-Standorten in Deutschland, in Norwegen, Spanien, Kuwait, Südafrika und in China im Einsatz. Neben der Schnelligkeit der Messungen werden der geringe Wartungsbedarf und die Langzeit-Stabilität der Geräte von den Anwendern besonders geschätzt.

Literaturhinweise :

- [1] EU Richtlinie 96/61/EG über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung;
- [2] Dippel et.al.: Deutscher Beitrag zu besten verfügbaren Techniken in der Raffinerie-Industrie (März 2000);
- [3] Lukat R., Mannheim : Regelung und Überwachung der Verbrennung von gasförmigen Brennstoffen mit sich ständig verändernder Dichte und Zusammensetzung in einem Raffineriekraftwerk; pers. Mitteilung, Januar 2001;
- [4] Grienauer H. u. Schneider L. : Rhadox für optimalen Energie-Einsatz und Umwelt-Management; Vortrag a.d. Sitzung der Deutschen Glastechnischen Gesellschaft in Würzburg, März 1999
- [5] Patentschrift EP 99-109-994.6-1240
- [6] DE-GM 297 15 633.0
- [7] Daniel Bernoulli, 1733; ausführlich beschrieben z.B. in : Führer durch die Strömungslehre; Ludwig Prandtl, Klaus Oswatitsch; Vieweg (1965)
- [8] Patentschrift DE 101 58 077 C1