

Verbrennungen – Fortsetzung: Allgemeine Betrachtungen

Homogene und heterogene Verbrennung

Fette und magere Verbrennung

Wie hoch muss mindestens der Luftüberschuss sein?

Brennstoff-Partikelgröße und Verbrennungsqualität

Heizölfeuerungen

Sprayverbrennung, Gelbbrenner

Heizölverbrennung mit Blaubrenner

Spraycharakterisierung

Brennstoffzerstäubung

Zerstäubung von Heizöl EL mit Druckdralldüse

Tropfenverdampfung, D²-Gesetz

Ölbrenner

Feststofffeuerungen

Brennstoffaufbereitung bei Feststoffverbrennung

Klassifizierung der Feststofffeuerungen

Allgemeine Betrachtungen

Homogene und heterogene Verbrennung

Die Verbrennung ist „homogen“ (gleichartig, einheitlich, gleichförmig), wenn Brennstoff und Oxidator (meist Verbrennungsluft) vor der Verbrennung den gleichen, nämlich gasförmigen, Aggregatzustand aufweisen. Die im Manuskript **„Brennstoffverbrennung“** gezeigten Beispiele präsentieren die homogene Verbrennung. Die Gasverbrennung ist immer homogen.

Die Verbrennung ist „heterogen“ (andersartig, uneinheitlich, ungleichmäßig), wenn ein fester Brennstoff, z.B. Koks, mit (gasförmiger) Luft reagiert: In diesem Fall diffundiert der Sauerstoff in den Feststoff hinein und das gasförmige Verbrennungsprodukt, Kohlendioxid, diffundiert in die entgegengesetzte Richtung, nämlich in die Luft hinein. Während die Gasverbrennung immer homogen ist, ist die Feststoffverbrennung **nicht** immer heterogen. Der Feststoff, z.B. Holz oder Kohle, kann nämlich bei der Verbrennung gänzlich oder teilweise vergast bzw. entgast werden: Der ent- oder vergaste Brennstoff verbrennt dann homogen.

Auch flüssige Brennstoffe verbrennen homogen: Der Flüssigbrennstoff wird zuerst verdampft, der gasförmige Brennstoffdampf verbrennt homogen mit der Verbrennungsluft.

Gemeinsam ist bei der Flüssigbrennstoff- und Festbrennstoffverbrennung, dass der Verbrennung eine Aufbereitungsphase vorgeschaltet wird. Die Aufbereitungsphase ist die Gasifizierung des Brennstoffes, d.h. die Verdampfung, Vergasung oder Entgasung, und die Vermischung des gasifizierten Brennstoffes mit der Verbrennungsluft. Während die Verbrennung ein chemischer Vorgang ist, ist die Brennstoffaufbereitung eine physikalische Angelegenheit.

4 – Heizöl- und Feststofffeuerungen

Dabei ist die zur Aufbereitung benötigte Zeit meist um ein Vielfaches länger als die Verbrennungszeit. Der Verbrennungsvorgang wird demzufolge in erster Linie durch die Aufbereitungszeit beeinflusst. Die Aufbereitungszeit kann durch die Verkleinerung der Brennstoff-Partikelgröße deutlich verkürzt werden.

Fette und magere Verbrennung

Die Verbrennung im Luftmangelbereich verläuft auf anderen Reaktionswegen als die im Luftüberschuss.

Die Radikale CH_3 und CH_2 können in sauerstoffreicher Atmosphäre zu H_2CO (Formaldehyd) oxidiert werden. Durch weite Oxidationsschritte entsteht aus Formaldehyd Kohlenmonoxid und schließlich Kohlendioxid. Aus H_2CO kann kein Ruß entstehen, das Abgas kann aber, wenn die Verweilzeit oder Reaktionstemperatur zu niedrig ist, Formaldehyd als Schadstoff enthalten.

Die Radikale CH_3 und CH_2 können in sauerstoffarmer Atmosphäre zu C_2H_2 (Azetylen) reduziert werden. Aus Azetylen kann wiederum durch Polymerisation Ruß entstehen.

Die Abbildungen 1 und 2 zeigen die Vielfalt der möglichen Reaktionspfade der fetten und der mageren Verbrennung.

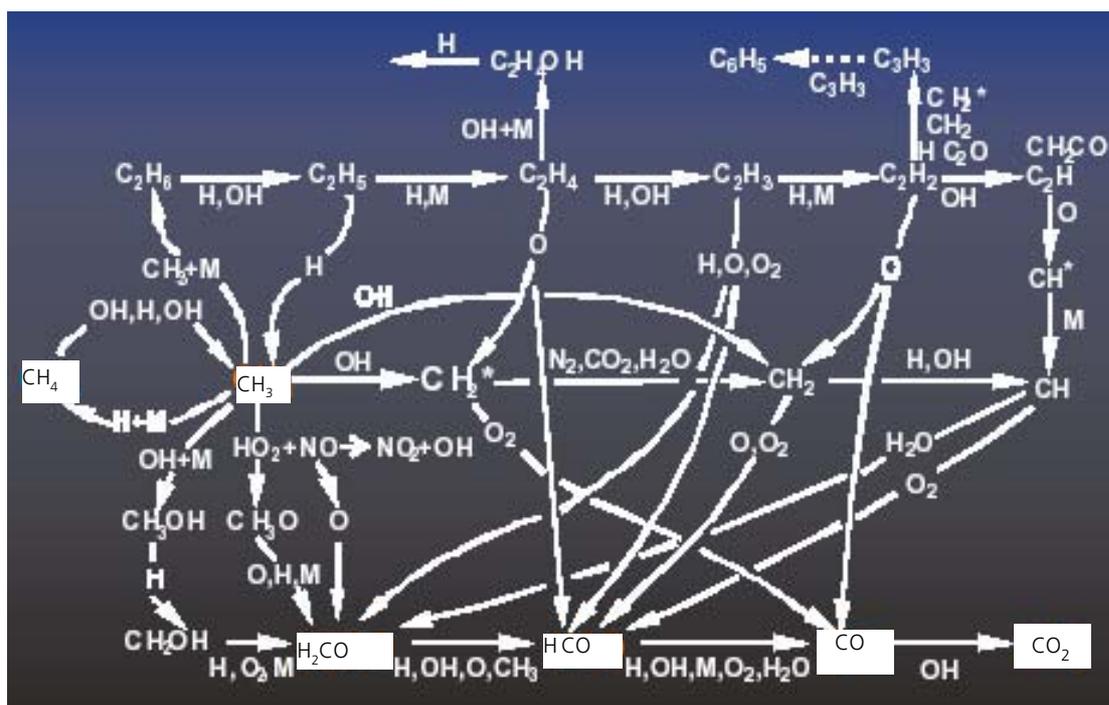


Abbildung 1: Mögliche Reaktionspfade der Methanverbrennung;
 Quelle: J. Warnatz (Ber. Bunsenges. Phys. Chem. 87, 1008 (1983)).

Abbildung 1 zeigt die Elementarschritte der Methanverbrennung. Die Reaktionsschritte von links nach rechts sind Oxidationsschritte durch Wasserstoffabgabe, von oben nach unten Oxidationsschritte durch Sauerstoffzunahme und durch Aufspaltung großer Kohlenwasserstoffmoleküle in kleine Bruchstücke. In der fetten Verbrennung verlaufen die Reaktionsschritte nach den oberen Zeilen, im Magerbereich nach den unteren Zeilen. Der zweite Knotenpunkt in der unteren Zeile ist Formaldehyd H_2CO , der vorletzte Knotenpunkt in der oberen Zeile Azetylen C_2H_2 .

4 – Heizöl- und Feststofffeuerungen

www.farago.info

Wie hoch muss mindestens der Luftüberschuss sein?

- a) Der Luftüberschuss muss die Inhomogenität der Mischungsbildung kompensieren. Je besser Brennstoffaufbereitung und Mischungsbildung sind, umso niedriger liegt der Luftbedarf, diese Schwankungen zu kompensieren

Notwendige Luftüberschüsse zur Kompensierung der Inhomogenität der Mischungsbildung:

guter Blaubrenner	5 %
guter Gelbbrenner	10 %
weniger guter Brenner	15 %

- b) Der Luftüberschuss muss die atmosphärischen Luftdruckschwankungen überkompensieren:

$$100 (\rho_{\text{barometrischer Hochdruck}} - \rho_{\text{barometrischer Niederdruck}}) / \rho_{\text{barometrischer Hochdruck}} > 6 \%$$

- c) Der Luftüberschuss muss die Schwankungen der Luftfeuchtigkeit überkompensieren. Die Feuchtigkeit extrem trockener Verbrennungsluft beträgt ca. 0,1 % Wasserdampfkonzentration, während extrem feuchte Verbrennungsluft ca. 3,5 % Wasserdampf enthält.

- d) Der Luftüberschuss muss die Schwankungen der Brennstoffzufuhr überkompensieren:

Bei Ölbrennerdüsen bei häufiger Wartung (mindestens 1x im Jahr) 5 %

Bei Ölbrennerdüsen bei weniger häufiger Wartung 10 %

Bei Gasgebläseburnern wegen Schwankungen im Versorgungsdruck 10%

Bei atmosphärischen Gasburnern wegen der Auswirkung der Schwankungen im Versorgungsdruck auf die Luftansaugung weitere 5 - 10%

- e) Wenn der Wind große Wirkung auf den Schornsteinzug ausübt:

Bei atmosphärischen Gasburnern (ev. Deflektor einbauen) 20 %

Bei Gebläseburnern (ev. Zugbegrenzer einbauen) 5 %

Σ a bis e

Bei Großanlagen, bei häufig gewarteten Anlagen, bei Neuanlagen weniger Luftüberschuss. Bei sehr guten Blaubrennern gelten 15 %, bei sehr guten Gelbbrennern 20 % als Minimum für den Haushaltsbereich. Im Megawatt – Bereich können bei gut gewarteten Anlagen diese Werte unterschritten werden.

Durchschnittlicher Luftüberschuss von Hausheizungen und Industriefeuerungen im Allgemeinen ist:

Gasgebläseburnner (Haushalt)	$\lambda = 1,15$	-	1,25,
Heizöl EL Blaubrenner (Haushalt)	$\lambda = 1,15$	-	1,3,
Heizöl EL Gelbbrenner (Haushalt)	$\lambda = 1,2$	-	1,5 ,
Atmosphärische Gasburnner (Haushalt)	$\lambda = 1,25$	-	1,5,
Feststofffeuerungen (Haushalt)	$\lambda = 1,5$	-	2,
Industriefeuerungen:			
Gas:	$\lambda = 1,05$	-	1,15,
Öl:	$\lambda = 1,1$	-	1,2,
Kohle:	$\lambda = 1,2$	-	1,3.

4 – Heizöl- und Feststofffeuerungen

www.farago.info

Aufgabe 1: Ein Gebläsebrenner, der in Hamburg bei 30 m über NN bei einem atmosphärischen Druck von 101000 Pa für die Verbrennung mit einer Luftzahl von $\lambda = 1,15$ eingestellt ist, wird nach Freudenstadt, 630 m über NN, transportiert, und wird dort ohne neue Einstellung (!) weiterbetrieben. (So etwas darf natürlich nicht vorkommen!) Der atmosphärische Druck nimmt je 8 Meter Höhenzunahme um 1 hPa ab. Wie hoch wird am neuen Ort die Luftzahl sein, wenn *alle anderen Bedingungen gleich geblieben sind*?

Aufgabe 2: Bei einer Außentemperatur von -20°C beträgt die Luftzahl $\lambda = 1,1$. Wie hoch wird die Luftzahl sein, wenn alle Bedingungen gleich bleiben, lediglich die Außentemperatur den Wert von $+20^{\circ}\text{C}$ annimmt?

Aufgabe 3: Unter welchen Bedingungen ist die Aufgabe 2 wirklichkeitsfremd, und wann ist sie nicht wirklichkeitsfremd?

Aufgabe 4: Die Luftzahl der Verbrennung mit einem Gebläsebrenner beträgt bei einem Luftdruck von 1010 mbar und Temperatur von 10°C den Wert von $\lambda = 1,2$. Wie wird die Luftzahl sein, wenn der Luftdruck auf 975 mbar sinkt und die Temperatur auf 22°C ansteigt?

Aufgabe 5: Sie führen die Wartung eines Brenners bei extrem schwülem Wetter durch. Sie wollen bei der Einstellung der Luftzahl für die Verbrennung die Wetterlage berücksichtigen. Müssen Sie dabei die Luftzahl eher etwas höher oder eher etwas niedriger stellen als bei einer normalen Wetterlage?

Brennstoff-Partikelgröße und Verbrennungsqualität

Brennstoff	Partikelgröße	Typischer Luftzahlbereich
Kohle	Stückkohle (über 80 mm),	$\lambda > 1,6$
	Nusskohle (10 – 100 mm),	$\lambda > 1,5$
	Grießkohle (1 – 3 mm)	$\lambda > 1,4$
	Staubkohle (< 1 mm)	$\lambda > 1,2$
Holz	Schnittholz (Länge bis 45 cm)	$\lambda > 1,5$
	Hackschnitzel (Länge bis 35cm)	$\lambda > 1,5$
	Scheitholz (Länge bis 25 cm)	$\lambda > 1,4$
	Holzpellet (Länge bis 5 cm)	$\lambda > 1,3$
Heizöl EL ~25 kW	0,5 μm bis ~140 μm	$\lambda > 1,4$
	0,5 μm bis ~120 μm	$\lambda > 1,25$
	0,5 μm bis ~90 μm Blaubrenner	$\lambda > 1,10$
Heizöl EL ~100 kW	0,5 μm bis ~180 μm	$\lambda > 1,35$
	0,5 μm bis ~150 μm	$\lambda > 1,20$
	0,5 μm bis ~120 μm Blaubrenner	$\lambda > 1,05$

Tabelle 1: Brennstoff-Partikelgröße und benötigte Luftzahl der Verbrennung.

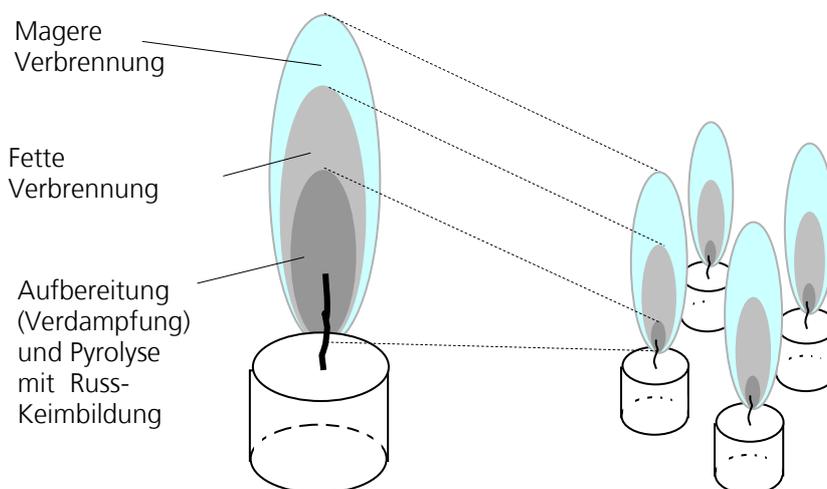


Abbildung 3: Einfluss der Brennstoff-Partikelgröße auf das Verhältnis der verschiedenen Bereiche der Verbrennung: Kleine Brennstoffpartikel verkürzen die Aufbereitungszeit und verbessern die Verbrennungsqualität.

In Abbildung 3 weisen die vier kleinen Kerzen die gleiche Brennstoffmasse auf als die eine große Kerze, und die vier kleinen Flammen die gleiche Verbrennungsleistung als die eine große Flamme. Die Verbrennungsgeschwindigkeit wird durch die Luft-Diffusionsgeschwindigkeit bestimmt, welche bei den kleinen wie bei der großen Flamme annähernd gleich groß ist. Demgegenüber sind bei den kleinen Kerzen die Brennstoffaufbereitungszone und Brennstoffaufbereitungszeit deutlich verkleinert bzw. verkürzt. Damit wird die Russkeimbildung in der Aufbereitungszone ebenfalls verringert. Die vier kleinen Kerzenflammen bilden trotz gleicher Verbrennungsleistung weniger Russ als die eine große Flamme.

4 – Heizöl- und Feststofffeuerungen

www.farago.info

	Große Flamme	Kleine Flammen
Brennstoffaufbereitung (Verdampfung und Pyrolyse der Kerzenwachses)	50 %	20%
Fette Verbrennung	25%	40%
Magerverbrennung	25%	40%

Tabelle 2: Das Verhältnis der verschiedenen Flammenbereiche zueinander in Abbildung 3.

Die Verkleinerung der Partikelgröße bei der Feststofffeuerung bzw. der Tropfengröße bei der Ölverbrennung ist die wichtigste Maßnahme zur Verbesserung der Verbrennungsqualität. Sie verkürzt die Verbrennungszeit und reduziert somit sowohl die Neigung zur Russbildung als auch die zur Bildung von Verbrennungstickoxiden. Gleichzeitig ermöglicht die Verkleinerung der Brennstoff-Partikelgröße eine niedrigere Luftzahl der Verbrennung und somit einen höheren Wirkungsgrad der Feuerungsanlage.

Der Unterschied zwischen großer und kleiner Partikelgröße bei der Flüssig- und Feststoffverbrennung spielt eine ähnliche Rolle bei der Verbesserung der Verbrennungsqualität wie der Unterschied zwischen Diffusions- und Vormischflamme bei der Gasverbrennung.