



# Empfehlung für die Beurteilung von Flammraumgeometrien bei Großwasserraumkesseln

## Präambel

Diese Empfehlung stellt keine Anforderungen an die Beschaffenheit von Großwasserraumkesseln im Sinne der Druckgeräte-Richtlinie 97/23/EG [1]. Vielmehr soll mit der Anwendung dieser Empfehlung die Funktionalität der Einheit „Brenner – Kessel“ beurteilt werden.

Anforderungen aus anderen Regelwerken und Normen sind ggf. zu berücksichtigen. Diese Empfehlung beschreibt den Stand der Technik und wird bei Bedarf angepasst.

## 1 Geltungsbereich

Diese Empfehlung gilt für die Beurteilung von Flammraumgeometrien von Großwasserraumkesseln als Durchbrandkessel mit einer Feuerungswärmeleistung im Bereich von 1 000 kW bis 20 000 kW bei Befuerung mit Heizöl EL und Erdgas.

Voraussetzung für die Beurteilung nach dieser Empfehlung ist eine Konstruktion mit einer wassergekühlten Wendekammer. Ein Beispiel eines Flammrohr-Rauchrohr-Kessels mit einer innen liegenden, wassergekühlten Wendekammer ist in Bild 1 dargestellt.

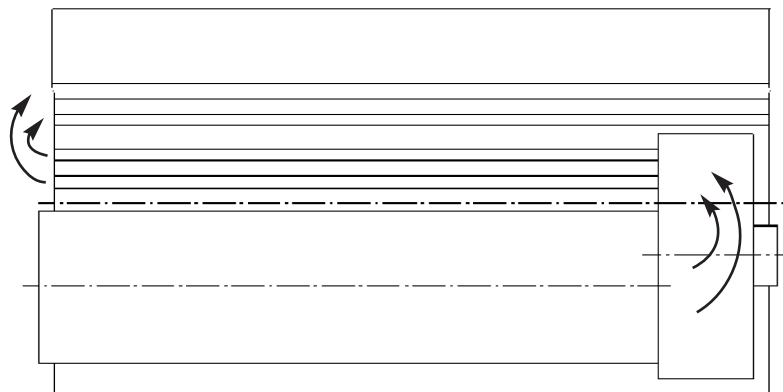


Bild 1: Flamm-Rauchrohr-Kessel in 3-Zug-Bauweise mit innen liegender Wendekammer

In den Geltungsbereich fallen auch Konstruktionen mit halb innen liegenden Wendekammern nach Bild 2. Hierbei muss die zur Wärmeübertragung genutzte Mantelfläche der Wendekammer vollständig wassergekühlt sein.

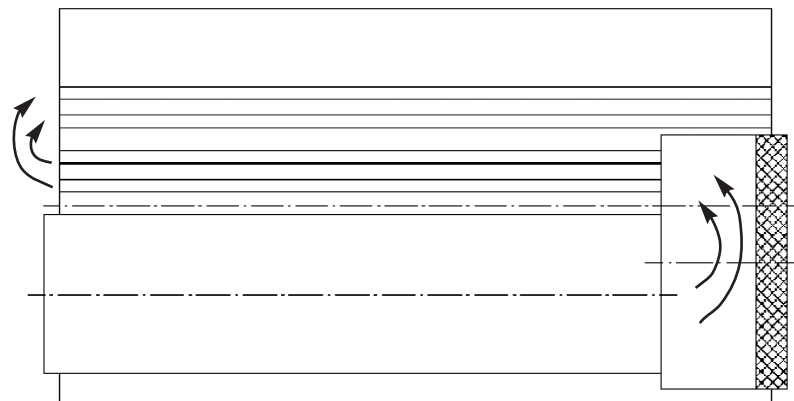


Bild 2: Flammrohr-Rauchrohr-Kessel in 3-Zug-Bauweise mit halb innen liegender Wendekammer

Weitere wassergekühlte Wendekammerkonstruktionen sind möglich, werden hier aber nicht explizit aufgeführt. Kessel mit Umkehrflamme werden in dieser Empfehlung nicht berücksichtigt.

## 2 Definitionen

Formelzeichen	Einheit	Benennung
$A'$	MW/m <sup>2</sup>	Flammraum-Flächenbelastung
$B$	kg/h	Brennstoffmassenstrom
$D_{mm}$	m	Flammraumdurchmesser
$D_{Emm}$	m	ausgeführter Flammraumdurchmesser
$d_F$	mm	Flammendurchmesser
$D_{min}$	mm; m	Mindest-Flammraumdurchmesser
$L$	mm; m	Flammraumlänge
$L_E$	mm; m	ausgeführte Flammraumlänge
$L_F$	m	Flammenlänge
$Q_F$	kW; MW	Feuerungswärmeleistung

## 3 Flammraumgeometrie

Die Flammraumgeometrie wird durch den Flammraumdurchmesser  $D$  und die Flammraumlänge  $L$  beschrieben. Der Flammraum muss so dimensioniert sein, dass eine einwandfreie Funktion von Kessel und Brenner gewährleistet ist. Die Brennraumgeometrie muss so beschaffen sein, dass die Verbrennung vor Eintritt der Rauchgase in den 2. Zug abgeschlossen ist.

### 3.1 Grundlagen

Als Grundlage für die Berechnung der Flammraumgeometrien wird der Ausbrand der Flamme nach den Anforderungen an eine vollständige Verbrennung gemäß den Normen EN 267 und EN 676 zugrunde gelegt. Ausgenommen hiervon ist die NO<sub>x</sub>-Emission. Ebenso werden Anforderungen von Low-NO<sub>x</sub>-Feuerungen in dieser Empfehlung nicht berücksichtigt. Die Ermittlung der Flammraumgeometrien erfolgt nach „Wärmeträgertechnik mit organischen Fluiden“ von Walter Wagner [2]. Der Ansatz für die Berechnung der Flammenabmessungen ist nach [2] die turbulente Freistrahtheorie:

$$\text{Flammenlänge:} \quad L_F = f_L \cdot B^m \quad \text{Gleichung (1)}$$

$$\text{Flammendurchmesser:} \quad d_F = f_L \cdot B^n \quad \text{Gleichung (2)}$$

Hierbei berücksichtigen die Summen die verschiedenen Einflussparameter wie Luftverhältnis  $f_n$ , Drall  $f_d$ , Düsengeometrie  $f_{Düse}$  und Brennerart  $f_{Br}$ . Werden die Parameter zusammengefasst, ergeben sich folgende Gleichungen:

$$\text{Flammenlänge:} \quad L_F = C_L \cdot B^m \cdot f_{nL} \cdot f_{DL} \cdot f_{Düse} \cdot f_{Br} \quad \text{Gleichung (3)}$$

$$\text{Flammendurchmesser:} \quad d_F = C_d \cdot B^n \cdot f_{nd} \cdot f_{Dd} \cdot f_{Düse} \cdot f_{Br} \quad \text{Gleichung (4)}$$

Unter Berücksichtigung der Flammenabmessungen von Druckzerstäubern verschiedener Brennerhersteller ergeben sich bei der Verbrennung von Erdgas und Heizöl bei einem Luftüberschuss von etwa 20 % und den bei Druckzerstäubern üblichen Drallstärken folgende Flammenabmessungen:

$$\text{Flammenlänge:} \quad L_F = 0,150 \cdot B^{0,5} \cdot f_{Düse} \quad \text{Gleichung (5)}$$

$$\text{Flammendurchmesser:} \quad d_F = 0,135 \cdot B^{0,333} \cdot f_{Düse} \quad \text{Gleichung (6)}$$



### 3.2 Flammraumlänge

Die Flammraumlänge wird ab dem Punkt im Flammrohr gemessen, ab dem der lichte Flammraumdurchmesser zur Verfügung steht (s. Bild 3). Das heißt, dass die erforderliche Flammraumlänge unabhängig von Ausmauerungen oder anderen Einbauten gewährleistet sein muss.

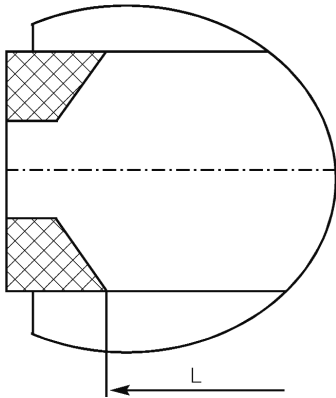


Bild 3: Dimensionierung der Flammraumlänge

Bei entsprechender konstruktiver Beschaffenheit der Brennraumgeometrie darf für die Festlegung der Flammraumlänge ein zylindrischer Anteil der Wendekammertiefe genutzt werden.

Mit einem Äquivalent von  $Q_F/10,1$  für den Brennstoffmassenstrom  $B$  und einem mittleren Wert von 1 für  $f_{Düse L}$  erhält man aus Gleichung (5) für die Flammraumlänge  $L$  folgende Berechnungsgleichung:

$$\text{Flammenlänge: } L[m] \cdot 0,150 \cdot Q_F[kW] = 10,1^{0,5} \quad \text{Gleichung (7)}$$

#### Mindest-Flammraumlänge

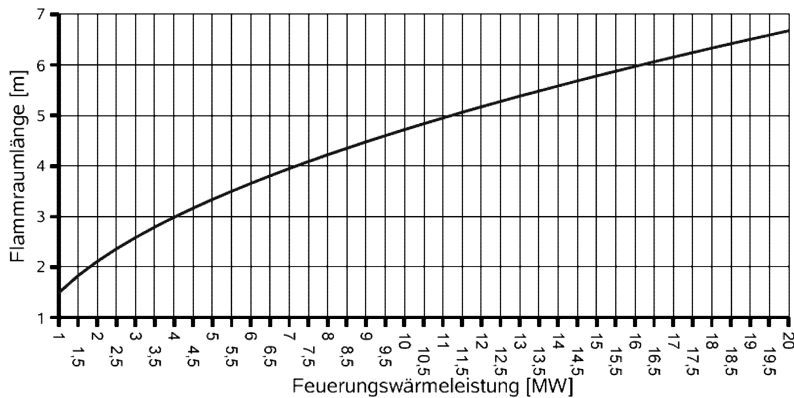


Bild 4: Flammraumlänge  $L[m]$

### 3.3 Flammraumdurchmesser

Der Flammraumdurchmesser ist der lichte Durchmesser des Flammraums (siehe Bild 5).

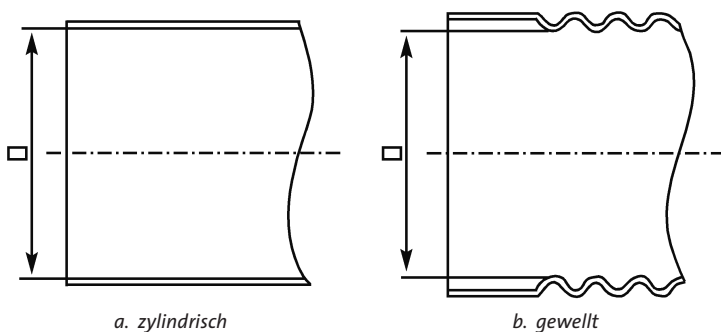


Bild 5: Lichter Durchmesser von Flammrohren

Einbeziehungen am Flammrohrende sind möglich. Dabei soll die rauchgasführende Querschnittsfläche jedoch nicht um mehr als 50 % verringert werden. Schroffe Übergänge sind zu vermeiden. Bei kontinuierlichen konischen Verjüngungen sollte das Verhältnis von zylindrischer Länge zu konischer Länge nicht kleiner als 1:1 sein.

Mit einem Äquivalent von  $Q_F/10,1$  für den Brennstoffmassenstrom B und einem mittleren Wert 1 für  $f_{Düse L}$  erhält man aus der Gleichung (6) für den Flammraumdurchmesser D folgende Berechnungsgleichung:

$$\text{Flammraumdurchmesser: } D[m] = 0,135 \cdot \left( \frac{Q_F [kW]}{10,1} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{Gleichung (8)}$$

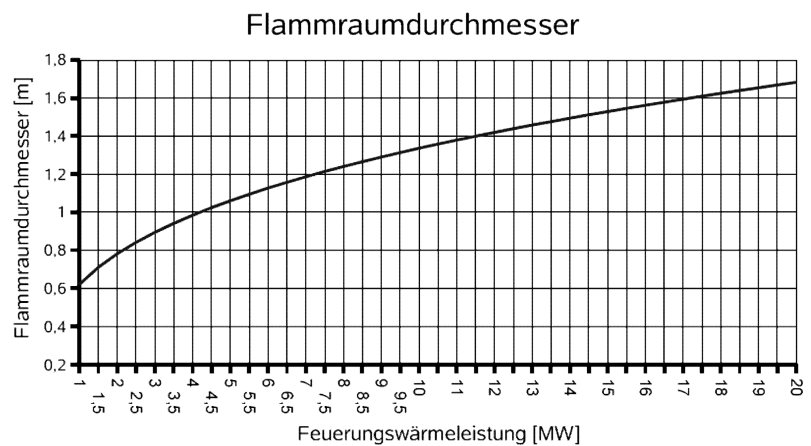


Bild 6: Flammraumdurchmesser  $D [m]$

### 3.4 Zulässige Flammraum-Flächenbelastung

Die zulässige Flammraum-Flächenbelastung errechnet sich aus der Feuerungswärmeleistung und den zugehörigen Geometriedaten der Flammraumlänge L nach Gleichung (7) und des Flammraumdurchmessers D nach Gleichung (8). Damit erfolgt die Berechnung der zulässigen Flammraum-Flächenbelastung A' nach folgender Gleichung:

$$\text{Flammraum-Flächenbelastung: } A' = \frac{Q_F}{\pi \cdot D \cdot L} \quad \text{Gleichung (9)}$$

Die für die Berechnung nutzbare Flammraum-Fläche ist in Bild 7 dargestellt.

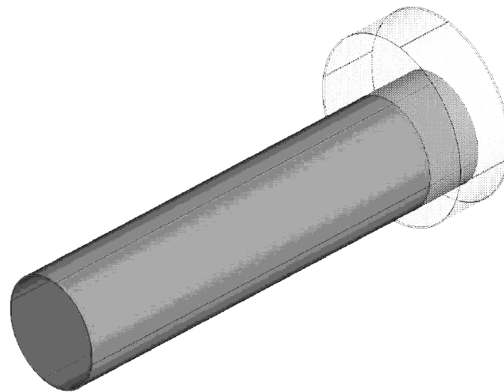


Bild 7: Flammraum-Fläche mit zylindrischem Anteil der Wendekammer

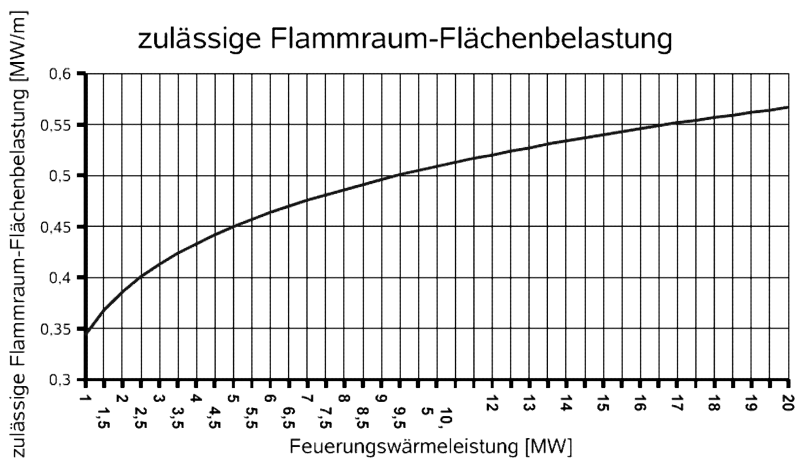


Bild 8: zulässige Flammraum-Flächenbelastung

$$A' \left[ \frac{\text{MW}}{\text{m}^2} \right]$$

#### 4 Beurteilung von Flammraumgeometrien

Bei der Beurteilung der Flammraumgeometrie ist darauf zu achten, dass die Mindestanforderungen an die Flammraumlänge  $L$  und zulässige Flammraum-Flächenbelastung  $A'$  eingehalten werden. Der ausgeführte Flammraumdurchmesser  $D$  darf jedoch kleiner sein als der Flammraumdurchmesser  $D$  nach Gleichung (8) bzw. Bild 6. Dabei ist jedoch ein Mindest-Flammraumdurchmesser  $D_{\min}$  einzuhalten. Weiterhin ist eine entsprechend große Flammraumlänge  $L_{\min}$  vorzusehen, um die zulässige Flammraum-Flächenbelastung  $A'$  nicht zu überschreiten.

Bei der Festlegung der Mindest-Flammraumdurchmesser sind im Betrieb bewährte Kombinationen aus Brenner und Kessel sowie der Stand der Technik berücksichtigt. Der Mindest-Flammraumdurchmesser  $D_{\min}$  wird in Abhängigkeit von der Feuerungswärmeleistung  $Q_F$  ermittelt:

$Q_F \leq 2500\text{kW}$       Mindest-Flammraumdurchmesser  $D_{\min} = 0,077531 \cdot (Q_F)^{0,29}$       Gleichung (10)

$2500\text{kW} < Q_F \leq 7000\text{kW}$       Mindest-Flammraumdurchmesser  $D_{\min} = \frac{500}{9000} (Q_F) + \frac{5500}{9000}$       Gleichung (11)

$7000\text{kW} < Q_F$       Mindest-Flammraumdurchmesser  $D_{\min} = \frac{500}{11000} (Q_F) + \frac{7500}{11000}$       Gleichung (12)

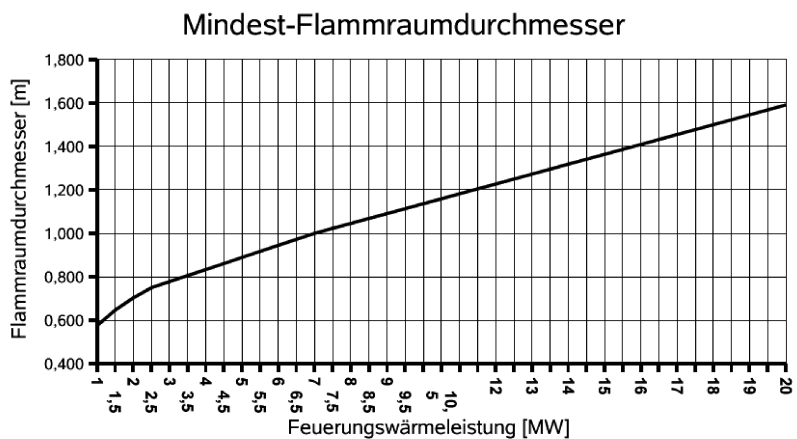


Bild 9: Mindest-Flammraumdurchmesser

$$D_{\min} [m]$$

Wird bei der ausgeführten Konstruktion der Flammraumdurchmesser  $D$  nach Gleichung (8) bzw. Bild 6 unterschritten, so muss die Flammraumlänge  $L$  so groß sein, dass die zulässige Flammraum-Flächenbelastung  $A'$  nach Gleichung (9) bzw. Bild 8 nicht überschritten wird. Für weitere Anforderungen an den Flammraumdurchmesser ist die DIN EN 12953-3 [3] zu beachten.

#### 4.1 Beispielrechnung

Für die Beispielrechnung wird eine Feuerungswärmeleistung  $Q_F = 10\,000\text{ kW}$  gewählt. Daraus ergibt sich folgende Flammraumgeometrie:

Die Flammraumlänge  $L$  nach Gleichung (7) bzw. Bild 4 berechnet zu  $L = 4,72\text{ m}$ . Der Flammraumdurchmesser  $D$  ergibt sich nach Gleichung (8) bzw. Bild 6 zu  $D = 1,35\text{ m}$ . Aus den Werten von  $L$  und  $D$  lässt sich dann nach der Gleichung (9) bzw. Bild 8 die zulässige Flammraum-Flächenbelastung  $A'$  zu  $A' = 501\text{ kW/m}^2$  ermitteln.

#### 4.2 Zulässige Flammraumgeometrien

Bei Einhaltung der Mindestanforderungen an die Länge und den Durchmesser können auch andere Flammraumgeometrien ausgeführt werden. Maßgebend für die Berechnung ist dann eine von der Feuerungswärmeleistung  $Q_F$  abhängige konstante Flammraum-Flächenbelastung  $A'$ .

Beispiel 1: Berechnung des Durchmessers bei vorgegebener Flammraumlänge.

Für die Beispielrechnung wird wiederum eine Feuerungswärmeleistung von  $Q_F = 10\,000\text{ kW}$  und eine Flammraumlänge  $L = 5,25\text{ m}$  angenommen. Die zulässige Flächenbelastung  $A'$  ergibt sich somit nach Gleichung (9) oder Bild 8 zu  $A' = 0,501\text{ MW/m}^2$ . Hierbei ist zu beachten, dass die gewählte Länge die Bedingung aus Gleichung (7) bzw. Bild 4 erfüllt.

Aus der Feuerungswärmeleistung  $Q_F$ , der zulässigen Flammraum-Flächenbelastung  $A'$  und der Flammraumlänge  $L$  lässt sich der zugehörige Flammraumdurchmesser  $D = 1,21\text{ m}$  errechnen.

Der Mindest-Flammraumdurchmesser  $D_{\min}$  darf dabei nicht unterschritten werden und beträgt nach Gleichung (12) oder Bild 9  $D_{\min} = 1,14\text{ m}$ .

Beispiel 2: Berechnung der Länge bei vorgegebenem Flammraumdurchmesser.

Für die Beispielrechnung wird ebenfalls eine Feuerungswärmeleistung von  $Q_F = 10\,000\text{ kW}$  und ein Flammraumdurchmesser  $D = 1,30\text{ m}$  angenommen. Die zulässige Flächenbelastung  $A'$  ergibt sich somit nach Gleichung (9) oder Bild 8 zu  $A' = 501\text{ kW/m}^2$ . Hierbei ist zu beachten, dass der gewählte Flammraumdurchmesser den Mindest-Flammraumdurchmesser nach Gleichung (12) bzw. Bild 9 nicht unterschreitet, Bedingung  $D_e > D_{\min}$ .

Aus der Feuerungswärmeleistung  $Q_F$ , der zulässigen Flammraum-Flächenbelastung  $A'$  und dem Flammraumdurchmesser lässt sich nun die zugehörige Flammraumlänge zu  $L_e = 4,89\text{ m}$  errechnen.

Die minimale Flammraumlänge darf dabei nicht unterschritten werden und beträgt nach Gleichung (7) oder Bild 4  $L = 4,72\text{ m}$ .

Damit ist die Bedingung  $L_e > L$  erfüllt.

#### 4.3 Abweichende Flammraumgeometrien

Eine von den Auslegungsgrundlagen abweichende Ausführung ist zwischen Brenner- und Kesselhersteller abzustimmen.

## 5 Literaturhinweise

- [1] Richtlinie 97/23/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. Mai 1997 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Druckgeräte
- [2] „Wärmeträgertechnik mit organischen Fluiden“, Walter Wagner, Vogel Fachbuch, 7. Auflage 2005
- [3] DIN EN 267 Ölbrenner mit Gebläse
- [4] DIN EN 676 Automatische Brenner mit Gebläse für gasförmige Brennstoffe
- [5] DIN EN 12953 Großwasserraumkessel

BDH-Informationen dienen der unverbindlichen technischen Unterrichtung. Eine Fehlerfreiheit der enthaltenen Informationen kann trotz sorgfältiger Prüfung nicht garantiert werden.

Weitere Informationen unter:  
[www.bdh-koeln.de](http://www.bdh-koeln.de)

Herausgeber:  
Interessengemeinschaft  
Energie Umwelt Feuerungen GmbH  
Infoblatt 33 März/2011