

Basiswissen

Verbrennungs- & Brennertechnik
Auswahl der optimalen Beheizungseinrichtung



GRUNDLAGEN DER VERBRENNUNGSTECHNIK

Verbrennungsdreieck

Mit Hilfe des Verbrennungsdreiecks stellt man die Bedingungen dar, die notwendig sind, um eine Verbrennung zu ermöglichen. Wichtig ist, dass alle Bedingungen zeitlich und räumlich zusammentreffen.

Die drei Bedingungen dargestellt als Verbrennungsdreieck sind:

- Brennbarer Stoff
- Sauerstoff
- Zündenergie (Wärme, mechanische Funken, Elektrizität)



Quelle: Wikipedia

Da auch das Mischungsverhältnis dieser drei Bedingungen notwendig für das Starten des Verbrennungsvorganges ist, wird diese Voraussetzung als vierte Grundbedingung bezeichnet.

Feuerungstechnischer Wirkungsgrad η_F

Der feuerungstechnische Wirkungsgrad (FTW) gibt die Nutzung der aus der Verbrennung eines Brennstoffes entstehenden Wärme bei Nennleistung an. Er berücksichtigt lediglich den Wärmeverlust durch Abkühlung der Abgase auf Umgebungstemperatur.

$$\eta_F = 100 \% - q_A \quad (q_A: \text{Abgasverlust} [\%])$$

Näherungsweise Berechnung mit Hilfe folgender Formel:

$$q_A = (\vartheta_a - \vartheta_l) \cdot \left(\frac{A_2}{21 - O_2} + B \right)$$

$A_2 = 0,66$ (Erdgas)

$B = 0,009$ (Erdgas)

ϑ_a – Abgastemperatur [°C]

ϑ_l – Verbrennungslufttemperatur [°C]

O_2 – Sauerstoffgehalt im Abgas [%]

Luftzahl λ

Die Luftzahl λ ist das Verhältnis zwischen der zugeführten Luftmenge l_0 zur theoretisch erforderlichen Mindestluftmenge $l_{0,\min}$

$$\lambda = \frac{l_0}{l_{0,\min}}$$

$\lambda = 1$ bedeutet stöchiometrisches Verbrennungsluftverhältnis, d.h. alle Brennstoff-Moleküle reagieren vollständig mit dem Luftsauerstoff, ohne dass Sauerstoff fehlt oder unverbrannter Sauerstoff übrig bleibt.

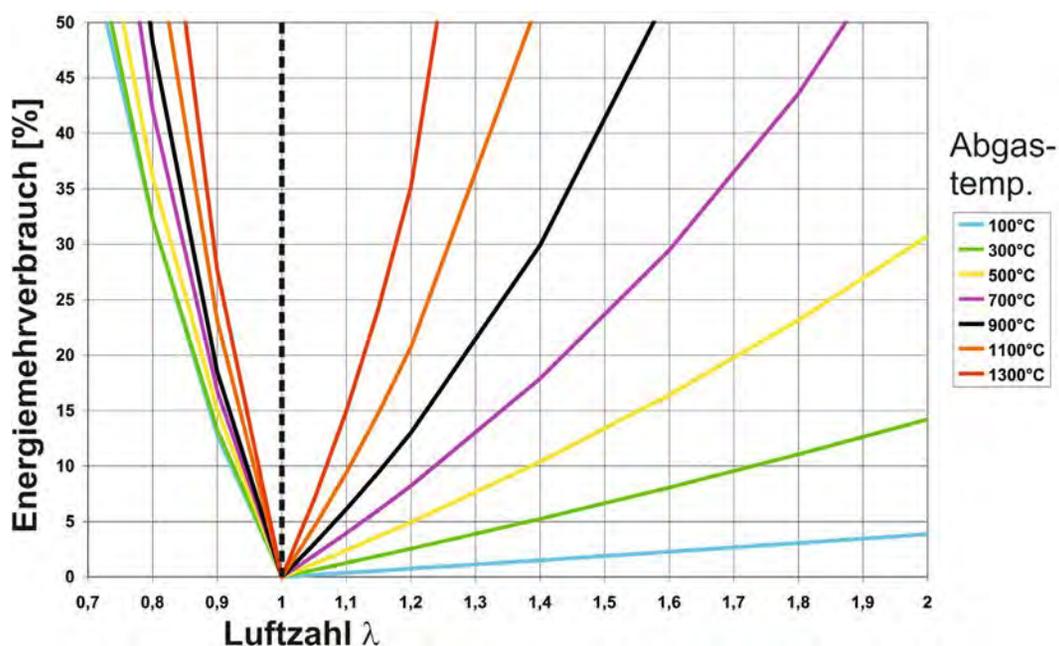
$\lambda < 1$ (z.B. 0,9) bedeutet „Luftmangel“

$\lambda > 1$ (z.B. 1,1) bedeutet „Luftüberschuss“

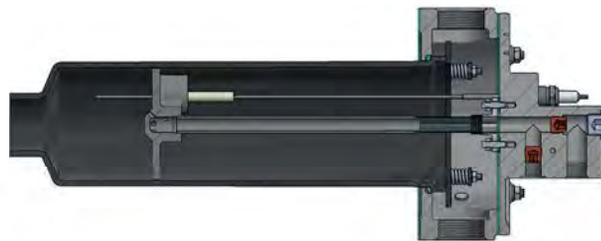
Eine näherungsweise Berechnung kann z.B. über den Restsauerstoffgehalt im Abgas erfolgen:

$$\lambda \approx \frac{21}{21 - \kappa_{O_2}}$$

Optimalerweise sollte der Restsauerstoffgehalt (κ_{O_2}) im Abgas zwischen 2,5 und 3,5 % liegen. Ein zu hohes Lambda bewirkt einen Mehrverbrauch an Brenngas, der bei höherer Anwendungs- bzw. Abgastemperatur zusätzlich ansteigt.



Konstruktionsmerkmale und Funktion eines Kaltluftbrenners



Der Brenner besteht aus einem zweiteiligen Brennergehäuse dem Brennrrohr, einer Gaslanze und einer Elektrode.

Die Verbrennungsluft strömt über die Anschlussleitung durch das Luftteil in das Brennrrohr und im Weiteren durch die Drallplatte in die Brennkammer. Die Drallplatte verwirbelt die Verbrennungsluft, so dass eine intensive Vermischung mit dem Brenngas in der Brennkammer erfolgt. Das Brenngas strömt über die Anschlussleitung durch das Gasteil und die Gaslanze zur Drallplatte. Dort teilt sich der Gasstrom auf. Der Hauptteil des Brenngases strömt in die Brennkammer, wo es mit der stark verdrallten Verbrennungsluft intensiv vermischt wird. Der kleinere Brenngasanteil wird zur Zündkammer der Drallplatte geführt und mittels Hochspannungszündfunken gezündet.

Exakt aufeinander abgestimmte Bedingungen in der Zündkammer ermöglichen ein problemloses Zünden und Starten des Brenners (Kaltstart). Die Flammengase treten mit hoher Geschwindigkeit aus dem Brennrrohr aus.

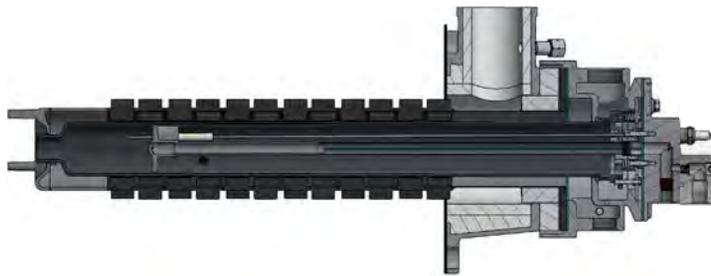
Die Abgase des Brenners werden über eine separate Abgasabführung abgesaugt.

Die Spülluft wird dosiert dem Brenngas im Gasteil über eine Spülluftdüse zugeführt. Sie bewirkt gute Zündbedingungen. Weiterhin spült sie die Gaslanze bei der Brennerabschaltung vom darin befindlichen restlichen Brenngas frei. Ein Nachbrennen wird so verhindert.

NOXMAT-Hochgeschwindigkeitsbrenner besitzen die Möglichkeit eines Kühlluftanschlusses und können bei Anforderung mit diesem ausgeführt werden. Die Kühlluft strömt vom Anschluss durch das Luftteil direkt durch das Brennrrohr in ein Strahlrohr oder in den Ofenraum.

Prozessabhängig erfolgt die Überwachung der Flamme über den Flammenüberwachungsstrom einer UV-Sonde oder den Ionisationsstrom der Elektrode, die gleichzeitig Zünd- und Überwachungselektrode ist.

Konstruktionsmerkmale und Funktion eines Rekuperatorbrenners



Der Brenner besteht aus einem dreiteiligen Brennergehäuse, einem Rekuperator sowie aus den innen liegenden Bauteilen Brennrrohr, Gaslanze und Elektrode.

Die Verbrennungsluft strömt über die Anschlussleitung, durch das Luftteil und den Rekuperator, wo sie durch die Ausnutzung der Abgaswärme vorgewärmt wird. Am Rekuperatorausgang strömt der größere Teil der Verbrennungsluft (Primärluft) über Bohrungen ins Innere des Brennröhres und im Weiteren durch die Drallplatte in die Brennkammer. Der kleinere Teil der Verbrennungsluft (Sekundärluft) verlässt den Rekuperator im Ringspalt an der Brennkammermündung und vermischt sich mit den austretenden Flammengasen aus der Brennkammer.

Das Luftblech ermöglicht eingangs am Luftteil eine Aufteilung des Verbrennungsluft-Volumenstromes. Die Verbrennungsluft kann sowohl vollständig über den Rekuperator als auch teilweise direkt durch das Brennrrohr im Inneren des Brenners strömen. Bei hohen Temperaturbelastungen werden so die inneren Bauteile des Brenners gegen Überhitzung geschützt.

Das Brenngas strömt über die Anschlussleitung durch das Gasteil und die Gaslanze zur Drallplatte. Dort teilt sich der Gasstrom auf. Der Hauptteil des Brenngases strömt in die Brennkammer, wo es mit der stark verdrallten Verbrennungsluft intensiv vermischt wird. Der kleinere Brenngasanteil wird zur Zündkammer der Drallplatte geführt und mittels Hochspannungszündfunken gezündet. Exakt aufeinander abgestimmte Bedingungen in der Zündkammer ermöglichen ein problemloses Zünden und Starten des Brenners (Kaltstart).

Die Flammengase treten mit hoher Geschwindigkeit aus dem Brennrrohr aus. Sie vermischen sich mit der Sekundärluft. Eine vollständige Verbrennung wird erreicht. Die gestuften Brenngas- und Verbrennungsluftzuführungen bewirken einen verzögerten Verbrennungsablauf, der eine niedrigere Verbrennungstemperatur und damit eine niedrigere NO_x-Emission zur Folge hat.

BRENNERTECHNIK

Das Abgas strömt über den Rekuperator in das Abgasteil, wo es anschließend den Brenner verlässt. Im Rekuperator gibt das Abgas einen Teil seiner Wärme an die Verbrennungsluft ab. Die Verbrennungsluft wird vorgewärmt. Die Vorwärmung führt zu einer Brennstoffeinsparung.

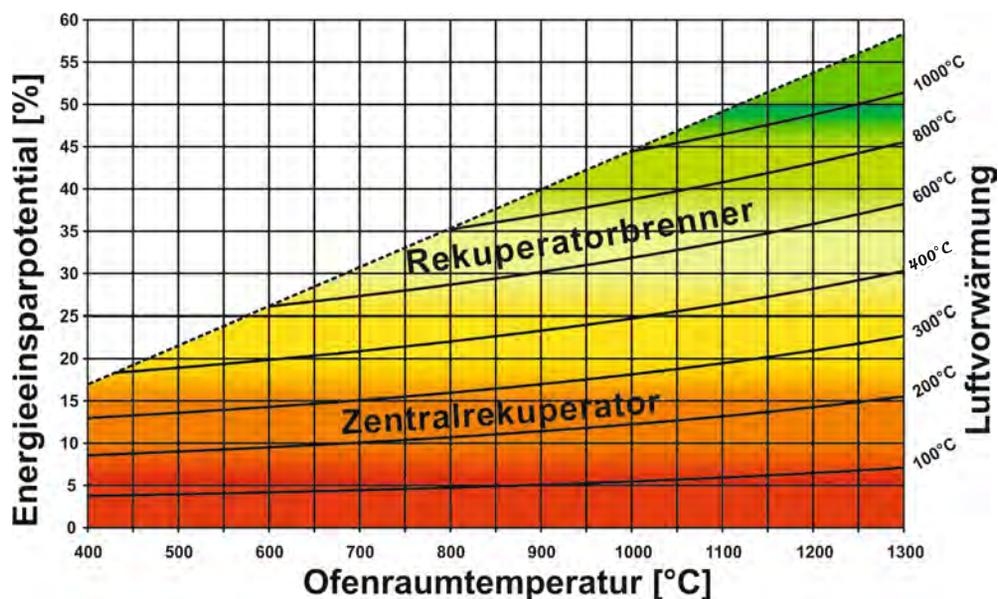
Die Spülluft wird dosiert dem Brenngas im Gasteil über eine Spülluftdüse zugeführt. Sie bewirkt gute Zündbedingungen. Weiterhin spült sie die Gaslanze bei der Brennerabschaltung vom darin befindlichen restlichen Brenngas frei. Ein Nachbrennen wird so verhindert.

NOXMAT-Rekuperatorbrenner sind mit einem separaten Kühlluftanschluss ausgerüstet. Von diesem strömt die Kühlluft direkt durch das Brennrrohr in das Strahlrohr.

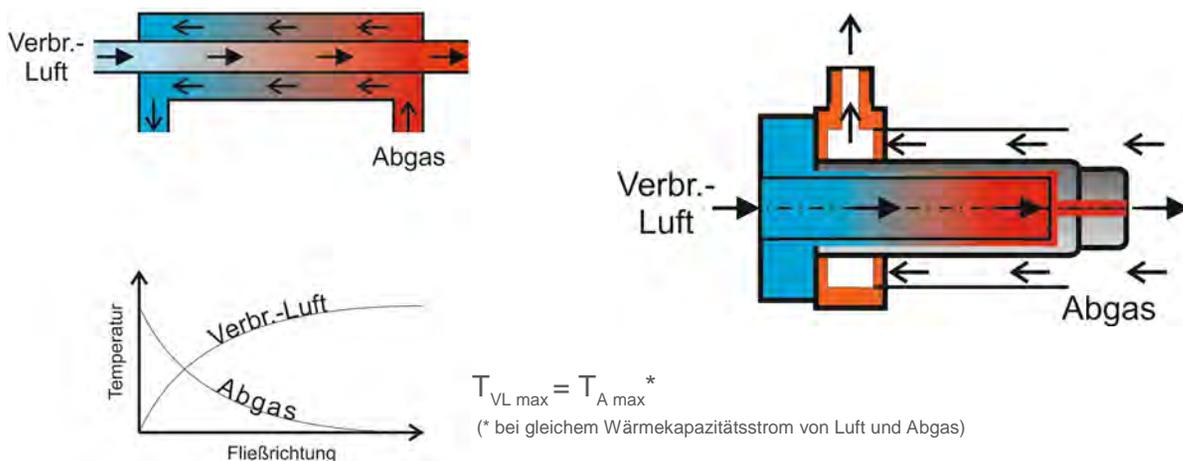
Prozessabhängig erfolgt die Überwachung der Flamme über den Flammenüberwachungsstrom einer UV-Sonde oder den Ionisationsstrom der Elektrode, die gleichzeitig Zünd- und Überwachungselektrode ist.

BRENNERTECHNIK

Auch heute noch trifft man recht häufig auf Zentralrekuperatoren. Diese Variante birgt einige Nachteile, wie z.B. die Notwendigkeit einer Warmluftkompensation sowie eines Schutzsystems für den Rekuperator. Zudem müssen sämtliche Komponenten der Verbrennungsluftzuführung warmfest und für die größeren Betriebsvolumenströme ausgelegt werden. Nur selten wird mit diesem System eine Verbrennungslufttemperatur von 400°C am Brenner erzielt. Die Luftvorwärmung und somit die Energieeinsparung ist bei Rekuperatorbrennern (dezentrale Wärmerückgewinnung) i.d.R. deutlich höher, wie die folgende Grafik zeigt:

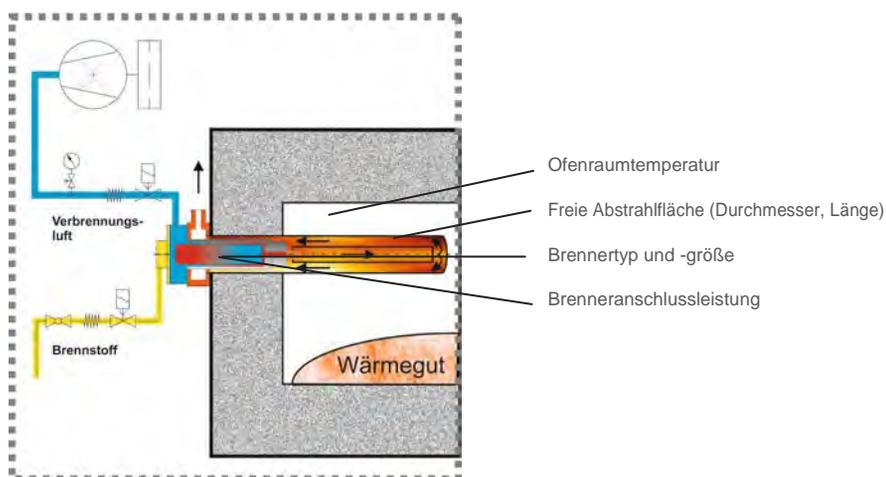


Beim Rekuperatorbrenner wird das überaus effektive Gegenstromprinzip angewendet, bei dem die Abgase einen größtmöglichen Teil ihrer enthaltenen Energie auf die entgegengesetzt strömende Verbrennungsluft übertragen und somit den feuerungstechnischen Wirkungsgrad steigern.



Einflussgrößen auf den feuerungstechnischen Wirkungsgrad

Generell wird beim Betrieb eines Brenners immer ein möglichst hoher Wirkungsgrad angestrebt, um den Energieverbrauch und damit auch die Emissionen zu senken bzw. die zugeführte Energie möglichst effizient zu nutzen. Der feuerungstechnische Wirkungsgrad wird allerdings nicht allein durch den Brenner vorgegeben, sondern kann auch durch weitere Faktoren mehr oder weniger gezielt beeinflusst werden.

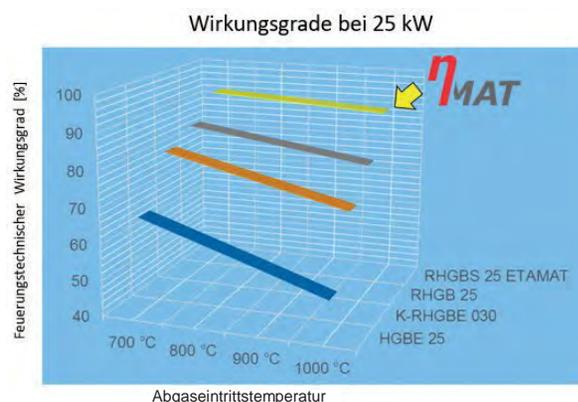


Generell nimmt der feuerungstechnische Wirkungsgrad mit steigender Ofenraumtemperatur ab, da bei ansonsten gleichbleibenden Parametern natürlich auch die Abgastemperatur steigt.

Eine Reduzierung der Brennerleistung wirkt sich zwar positiv auf den Wirkungsgrad aus, jedoch reduziert sie die Qualität der Verbrennung und kann zu erhöhten Emissionen führen und ist daher nur bedingt zu empfehlen.

Bei indirekter Beheizung bewirkt eine Vergrößerung der freien Abstrahlfläche des Mantelrohrs eine Erhöhung des Wirkungsgrades, da der Wärmeübergang in den Ofenraum verbessert wird. Daher sollten Mantelstrahlrohre generell nicht zu klein ausgewählt werden.

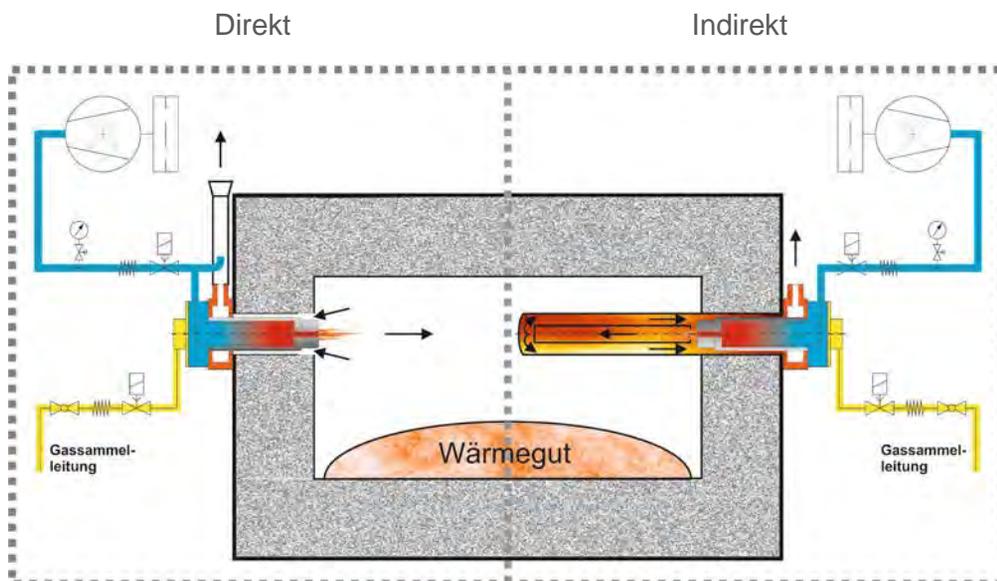
Dem Brenner selbst kommt natürlich eine entscheidende Bedeutung zu. Die Grafik zeigt die unterschiedlichen Wirkungsgrade der verschiedenen Brennertypen in Abhängigkeit von der Abgaseintrittstemperatur.



AUSWAHL DER OPTIMALEN BEHEIZUNGSEINRICHTUNG

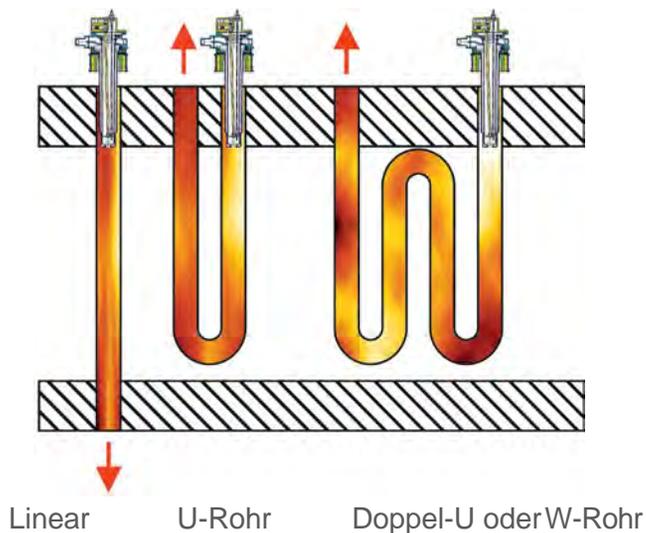
1. Direkte oder indirekte Beheizung?

Grundsätzlich wird zwischen direkter und indirekter Beheizung unterschieden. Bei der Auslegung einer Thermoprozessanlage gilt es zunächst zu beurteilen, ob eine indirekte Beheizung erforderlich ist, oder ob eine direkte Beheizung für den gewünschten Prozess ausreichend ist.



- Direkte Einwirkung der Flammengase auf das Wärmegut
 - Hohe Umwälzung im Ofenraum
 - Abgase müssen gezielt abgesaugt werden (über den Ejektor)
 - z.B. Schmiedeöfen
 - Übliche Leistungen für Rekuperatorbrenner 50-250 kW
- Keine direkte Einwirkung der Flammengase auf das Wärmegut
 - Keine Umwälzung im Ofenraum
 - Abgase treten automatisch aus dem Strahlrohr (Brennergehäuse) aus
 - z.B. Wärmebehandlungsöfen mit Schutzgasatmosphäre
 - Übliche Brennerleistungen 15-80 kW (gerades Strahlrohr) bzw. 120 kW (Doppel-P-Rohr)

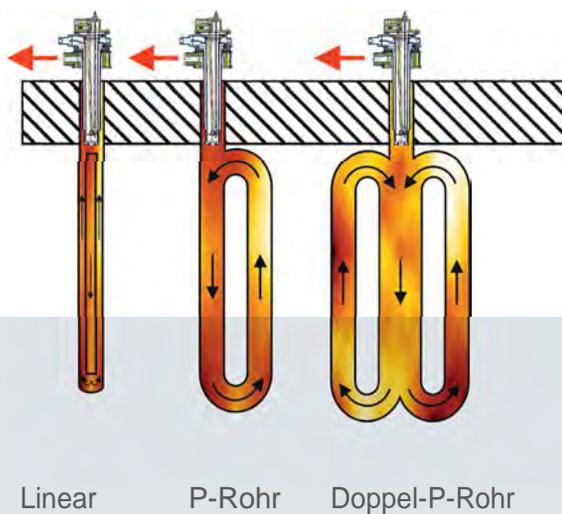
Strahlrohre ohne Rezirkulation



Nachteile:

- Keine bzw. nur eingeschränkte Wärmerückgewinnung (hohe Abgastemperatur)
- Unbefriedigende Temperaturverteilung

Strahlrohre mit Rezirkulation



Vorteile:

- Verbesserte Wärmerückgewinnung durch integrierten Rekuperator
- Brennerimpuls wird zur Rezirkulation genutzt
- 3- bis 5- fache Umwälzung der Rauchgase im Strahlrohr
- Hohe Umwälzgeschwindigkeiten bewirken Temperaturvergleichmäßigung und Kühlung der Flamme

AUSWAHL DER OPTIMALEN BEHEIZUNGSEINRICHTUNG

2. Luftvorwärmung oder Kaltluftbetrieb?

Als Nächstes sollte entschieden werden, ob die Anlage mit einem vergleichsweise einfachen Kaltluftbrenner oder einem hocheffizienten Rekuperatorbrenner ausgerüstet werden soll. Grundsätzlich ist beides möglich.

Ein Kaltluftbrenner arbeitet, ohne Vorwärmung der Verbrennungsluft mit einem entsprechend niedrigen Wirkungsgrad. Allerdings ist er deutlich günstiger in der Anschaffung. Kaltluftbrenner werden bevorzugt bei Niedertemperaturanlagen eingesetzt, bei denen ohnehin keine hohe Wärmerückgewinnung möglich ist. Fällt die Wahl auf einen Kaltluftbrenner für die indirekte Beheizung, so kommen ausschließlich nicht rezirkulierende Strahlrohre zum Einsatz.

Bei Ofenraumtemperaturen ab ca. 500°C lohnt sich i.d.R. die Vorwärmung der Verbrennungsluft. Dies geschieht am einfachsten durch den Einsatz von Rekuperatorbrennern. Sie zeichnen sich durch ihre kompakte Bauform und ihre hohe Energieeffizienz aus. Sofern sie für die indirekte Beheizung eingesetzt werden, kommen rezirkulierende Strahlrohre zum Einsatz.

Üblicherweise wird bei Rekuperatorbrennern eine zweistufige Verbrennung angewendet, d.h. der Luftvolumenstrom teilt sich auf in Primär- und Sekundärluft. Der feuerungstechnische Wirkungsgrad ist entsprechend hoch und die Emissionen sind entsprechend gering.

Eine vereinfachte Form bzw. preisgünstige Alternative stellt der einstufige Rekuperatorbrenner K-RHGBE dar. Der feuerungstechnische Wirkungsgrad ist immer noch deutlich höher als beim Kaltluftbrenner, aber der Preis deutlich unter dem des „normalen“ Rekuperatorbrenners.

3. Stahl oder Keramik ?

Die maximale Anwendungstemperatur von Stahlrekuperatorbrennern beträgt 1150 °C.

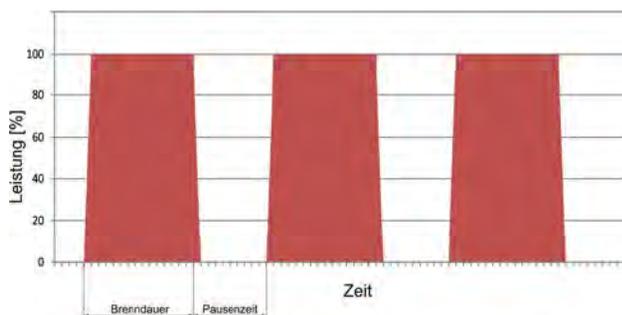
Bei höheren Anwendungstemperaturen bis 1300°C müssen keramische Rekuperatoren eingesetzt werden. Bei einer direkten Beheizung ist dies in etwa die Ofenraumtemperatur, bei der indirekten Beheizung jedoch nicht, da hier die Temperatur im Strahlrohr z.T. deutlich über der Ofenraumtemperatur liegen kann. Dies ist gleichermaßen bei der Auslegung der Brenner und der Strahlrohre zu berücksichtigen. Generell reduziert sich die thermische Belastung von Brenner und Strahlrohr durch eine größere Mantelrohroberfläche, während der feuerungstechnische Wirkungsgrad steigt.

4. Betriebsweise: Ein-Aus, Groß-Klein oder Stetig?

Ein-Aus-Regelung

Üblicherweise werden Rekuperatorbrenner im Ein-Aus-Betrieb gefahren (Standardapplikation). Diese Variante hat mehrere Vorteile:

- Kostengünstigste Applikation
- Einfachste Einstellung der Brenner
- Max. Impuls der Brenner (Temperaturgleichmäßigkeit)
- Brenner brennen immer im optimalen Betriebspunkt



Ein Vorteil der Ein-Aus-Regelung kommt insbesondere bei der Verwendung schnell öffnender Gas- und Luftventile zur Geltung, da der Brenner innerhalb kürzester Zeit im optimalen Betriebspunkt brennt und bei direkter Beheizung für eine optimale Umwälzung /Temperaturgleichmäßigkeit im Ofenraum sorgt. Dies stellt allerdings besondere Anforderungen an das Zündverhalten des Brenners, die bei sämtlichen NOXMAT-Brennern durch die patentierte Zündkammer optimal erfüllt werden. Brenn- und Pausenzeit können von der übergeordneten Ofensteuerung je nach Wärmeanforderung variabel gestaltet werden, sollten aber 15 bzw. 5 sec. nicht unterschreiten.

AUSWAHL DER OPTIMALEN BEHEIZUNGSEINRICHTUNG

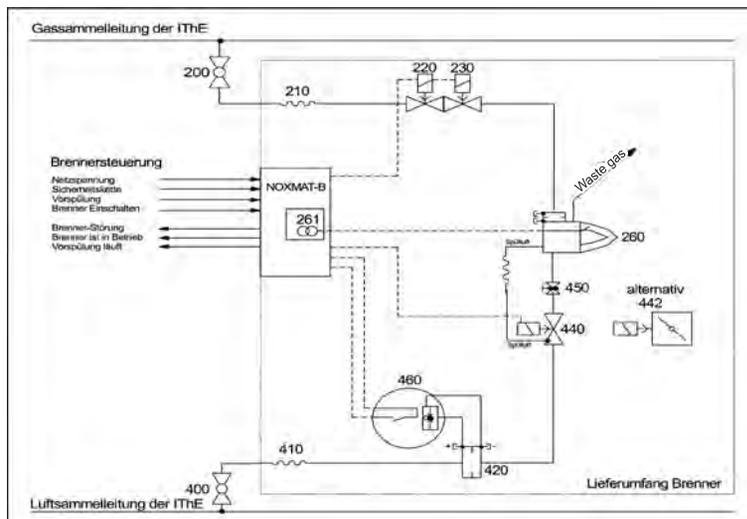


Bild: Beispielhafter Aufbau einer Ein-Aus-Regelung eines Rekuperatorbrenners. Die Brennerleistung wird über die fest im Brenner eingebaute Gasdüse vorgegeben.

Legende			
Gas		Verbrennungsluft	
200	Handbetätigtes Absperrventil	400	Handbetätigtes Absperrventil
210	Gasschlauch	410	Luftschlauch
220	1. Absperrventil ohne Dämpfung	420	Messblende
230	2. Absperrventil ohne Dämpfung	440	Luft-Magnetventil ohne Dämpfung
260	Brenner	alternativ 442	Luft-Magnetklappe ohne Dämpfung
261	Zündung / Flammenüberwachung	450	Einstellorgan Luft
		460	Druckwächter Luft

Groß-Klein-Regelung

Eine Groß-Klein-Regelung kommt heutzutage vergleichsweise selten zur Anwendung. Bei dieser Applikation wird der Brenner üblicherweise gar nicht abgeschaltet (Dauerbetrieb), sondern schaltet abhängig von der Wärmeanforderung lediglich zwischen den beiden Leistungsstufen hin und her.

Diese Regelung wurde gerne gewählt, um z.B. bei direkter Beheizung stets einen positiven Druck im Brennraum sicherzustellen bzw. bei Brennern mit schlechtem Zündverhalten die Wahrscheinlichkeit einer Störung beim Brennerstart zu reduzieren. Lediglich bei Übertemperatur im Brennraum werden die Brenner durch die übergeordnete Ofensteuerung abgeschaltet.

Diese Betriebsweise kann beispielsweise durch die Verwendung zweistufiger Ventile realisiert werden.

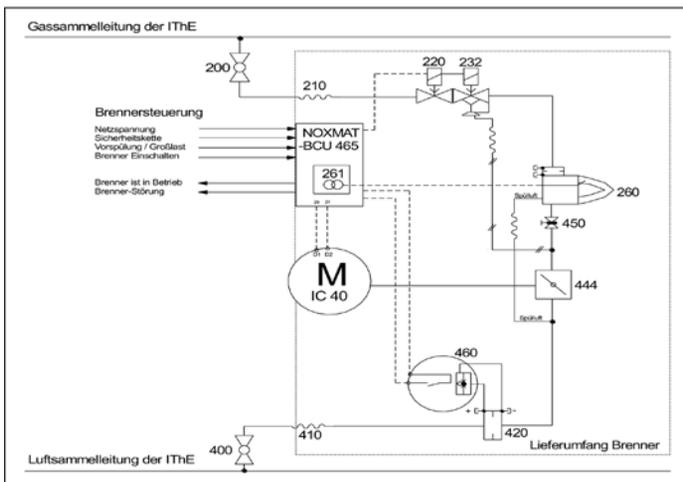
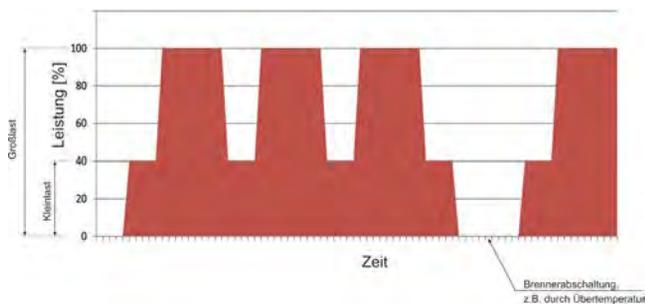


Bild: Beispielhafter Aufbau einer Groß-Klein-Regelung eines Kaltluftbrenners (Gleichdruckregelung). Die jeweilige Leistungsstufe des Brenners wird von der Ofensteuerung vorgegeben.

Legende			
Gas		Verbrennungsluft	
200	Handbetätigtes Absperrventil	400	Handbetätigtes Absperrventil
210	Gasschlauch	410	Luftschlauch
220	1. Absperrventil ohne Dämpfung	420	Messblende
230	2. Absperrventil ohne Dämpfung	444	Luftregelventil / Luftregelklappe
260	Brenner	450	Einstellorgan Luft
261	Zündung / Flammenüberwachung	460	Druckwächter Luft

AUSWAHL DER OPTIMALEN BEHEIZUNGSEINRICHTUNG

Stetige Regelung

Der stetige Betrieb eines Brenners erfordert eine deutlich aufwändigere Regelungstechnik als der Ein-Aus-Betrieb. Der Brenner wird üblicherweise bei kleiner Leistung gezündet und kann dann je nach Wärmeanforderung bei jeder möglichen Leistungsstufe zwischen Klein- und Großlast im Dauerbetrieb betrieben werden.

Diese Betriebsweise kann beispielsweise durch die Verwendung einer Luftklappe realisiert werden, deren Öffnungswinkel je nach Wärmeanforderung variiert wird. Die Luftklappe muss separat über die Ofensteuerung angesteuert werden. Die Gasmenge wird meist automatisch im mechanischen Verbund über einen Verhältnis- oder Volumenstromregler so angepasst, dass die Luftzahl λ in jeder Leistungsstufe möglichst konstant gehalten wird.

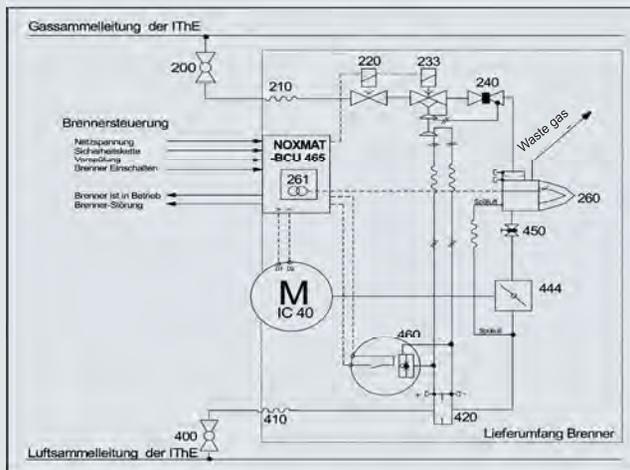
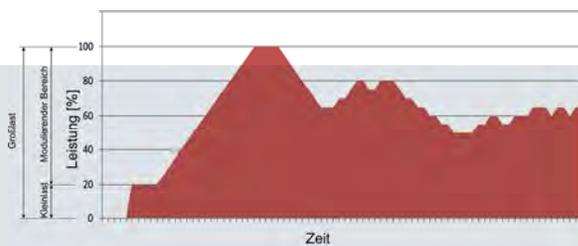


Bild: Beispielhafter Aufbau einer stetigen Regelung eines Rekuperatorbrenners (Verhältnisdruckregelung). Die jeweilige Brennerleistung wird von der Ofensteuerung vorgegeben.

Legende

Gas		Verbrennungsluft	
200	Handbetätigtes Absperrventil	400	Handbetätigtes Absperrventil
210	Gasschlauch	410	Luftschlauch
220	1. Absperrventil ohne Dämpfung	420	Messblende
233	2. Absperrventil mit Verhältnisdruckregler	444	Luftregelventil / Luftregelklappe
240	Einstellorgan für Verhältnisdruckregler	450	Einstellorgan Luft
260	Brenner	460	Druckwächter Luft
261	Zündung / Flammenüberwachung		

PRODUKTÜBERSICHT

Serie RHGBS „ETAMAT“

Rekuperator-Hochgeschwindigkeitsbrenner mit Metallschaum- Rekuperator zur indirekten Beheizung von Industrieöfen 15-35 kW



Serie RHGB

Rekuperator-Hochgeschwindigkeitsbrenner mit Stahlrekuperator zur direkten und indirekten Beheizung von Industrieöfen 7-250 kW



Serie K-RHGB

Rekuperator-Hochgeschwindigkeitsbrenner mit keramischem Rekuperator zur direkten und indirekten Beheizung von Industrieöfen 9-250 kW



Serie K-RHGBE

Rekuperator-Hochgeschwindigkeitsbrenner mit keramischem Rekuperatorbrennrohr zur direkten und indirekten Beheizung von Industrieöfen 9-100 kW



Serie K-RHGB RN „ REMAT“

Retrofit-Rekuperator-Hochgeschwindigkeitsbrenner mit keramischem Rekuperator zur indirekten Beheizung von Industrieöfen 13-25 kW



Serie HGBE

Hochgeschwindigkeitsbrenner zur direkten und indirekten Beheizung von Industrieöfen 9-160 kW



Mantelstrahlrohre in Stahl- oder Keramikausführung zur indirekten Beheizung von Industrieöfen



Zubehör für industrielle Beheizungsanlagen (Brennersteuerungen, Verbrennungsluftventilatoren, Gasdruckmeß- und Regelstrecken, weiteres Zubehör)



EINHEITEN

Energie, Wärmemenge

Einheitenzeichen	Bezeichnung der Einheit	J=Nm	kWs	kWh	kcal	R.grd	BTU
1 J = Nm	Joule= Newtonmeter	1	0,001	$2,7778 \cdot 10^{-7}$	$2,3885 \cdot 10^{-4}$	0,12028	0,00095
1 kWs	Kilowattsekunde	1000	1	$2,7778 \cdot 10^{-4}$	0,238846	120,276	$3,7251 \cdot 10^{-4}$
1 kWh	Kilowattstunde	3 000 000	3600	1	859,845	432 991	3412,14
1 kcal	Kilokalorie	4186,8	4,1868	0,001163	1	503,575	3,96381
1 R . grd	Gaskonstante	8,3142	0,00831	$2,3095 \cdot 10^{-4}$	0,001986	1	0,00788
1 BTU	British thermal unit	1055,06	1,05506	0,000293	0,251995	126,963	1

Spezifische Wärme

Einheitenzeichen	Bezeichnung der Einheit	J/kg grd	kcal/kg grd	kWh/kg grd	BTU/lb deg F
1 J/kg grd	Joule pro Kilogramm pro Grad Celsius	1	$2,38844 \cdot 10^{-4}$	$2,77778 \cdot 10^{-7}$	$2,38844 \cdot 10^{-4}$
1 kcal/kg grd	Kilokalorie pro Kilogramm pro Grad Celsius	4186,8	1	$1,163 \cdot 10^{-3}$	1
1 kWh/kg grd	Kilowattstunde pro Kilogramm pro Grad Celsius	$3,6 \cdot 10^6$	859,845	1	859,845
1 BTU/lb deg F	British thermal unit per pound per degree Fahrenheit	4186,8	1	$1,163 \cdot 10^{-3}$	1

Leistung

Einheitenzeichen	Bezeichnung der Einheit	J/s = 1 W	kW	kcal/h	BTU/s	BTU/min	PS
1 J/s = 1 W	1 Joule pro Sekunde = 1 Watt	1	0,001	0,86	$0,948 \cdot 10^{-3}$	0,0569	$1,36 \cdot 10^{-3}$
1 kW	Kilowatt	1000	1	860	0,948	56,869	1,359
1 kcal/h	Kilokalorie pro Stunde	1,163	$1,163 \cdot 10^{-3}$	1	$1,10 \cdot 10^{-3}$	0,066	$1,58 \cdot 10^{-3}$
1 BTU/s	British thermal unit per second	1060	1,06	0,252	1	60	1,43
1 BTU/min	British thermal unit per minute	17,58	0,01758	15,13	0,01667	1	0,0239
PS	Pferdestärken	735,48	0,735	0,176	0,697	41,827	1

Volumen

Einheitenzeichen	Bezeichnung der Einheit	cm ³	dm ³ = 1 l	m ³	in ³	ft ³	gal (US)
1 cm ³	Kubikzentimeter	1	0,001	$1 \cdot 10^{-6}$	0,061102	-	0,00026
1 dm ³ = 1 l	Kubikdezimeter = Liter	1000	1	$1 \cdot 10^{-3}$	61,0237	0,03531	0,26417
1 m ³	Kubikmeter	$1 \cdot 10^6$	1000	1	61023,7	35,31	264,17
1 in ³	cubic inch	16,3871	0,01639	$16,39 \cdot 10^{-6}$	1	0,00058	0,00433
1 ft ³	cubic foot	28316,8	28,3186	0,02832	17,28	1	7,48047
1 gal (US)	gallon (US)	3785,43	3,78543	$3,785 \cdot 10^{-3}$	231	0,13368	1

Fläche

Einheiten- zeichen	Bezeichnung der Einheit	mm ²	cm ²	m ²	a	ha	km ²	in ²	ft ²	sq. Mile
1 mm ²	Quadratmillimeter	1	0,01	1*10 ⁻⁶	-	-	-	1,55*10 ⁻³	1,08*10 ⁻⁵	-
1 cm ²	Quadratzentimeter	10	1	0,001	-	-	-	0,155	0,00108	-
1 m ²	Quadratmeter	1*10 ⁶	10 000	1	0,01	0,0001	-	1550	10,7639	-
1 a	Ar	-	-	100	1	0,01	0,001	0,001	-	119,599
1 ha	Hektar	-	-	10 000	100	1	0,01	-	107 639	0,00386
1 km ²	Quadratkilometer	-	-	-	10 000	100	1	-	-	0,3861
1 in ²	square inch	6,45*10 ²	6,4516	-	-	-	-	1	0,00694	-
1 ft ²	square foot	9,29*10 ⁴	929,03	0,0929	0,00093	-	-	144	1	-
1 sq. mile	square mile	-	-	25899,9	258,999	2,58999	-	-	-	1

Länge

Einheiten- zeichen	Bezeichnung der Einheit	mm	cm	dm	m	km	in	ft	yd	mile
1 mm	Millimeter	1	0,1	0,01	0,001	-	0,03937	0,00328	-	-
1 cm	Zentimeter	10	1	0,1	0,01	-	0,3937	0,03281	-	-
1 dm	Dezimeter	100	10	1	0,1	-	3,937	0,3281	0,109362	-
1 m	Meter	1000	100	10	1	0,001	39,37	3,28084	1,09362	-
1 km	Kilometer	-	100 000	10 000	1000	1	39 370	3280,84	1093,62	0,62137
1 in	inch	25,4	2,54	0,254	0,0254	-	1	0,08333	0,0277778	0,07778
1 ft	foot	304,8	30,48	3,048	0,3048	-	12	1	0,33333	-
1 yd (UK)	yard (UK)	914,398	91,4398		0,914398	-	36	3	1	-
1 mile	statute mile	-	-	16 093,4	1609,34	1,609	63360	5280	1760	1

Gewichte, Masse

Einheiten- zeichen	Bezeichnung der Einheit	g	kg	t	oz	lb
1 g	Gramm	1	0,001	-	0,03527	0,0022
1 kg	Kilogramm	1000	1	0,001	35,274	2,20462
1 t	Tonne	-	1000	1	35274	2204,62
1 oz.	ounce	28,3495	0,02835	-	1	0,0625
1 lb	pound	453,592	0,045359	0,00045	16	1

EINHEITEN

Druck

Einheiten- zeichen	Bezeichnung der Einheit	Pa= N/m ²	h Pa= mbar	bar	m WS	kpm ² =at	atm	lbf/in ² (psi)	lbf/ft ² (psf)
1 Pa=1 N/m ²	Pascal	1	0,01	0,00001	0,0001	0,00001	-	0,00014	0,02089
1 mbar	Millibar	100	1	0,001	0,0102	0,001	-	0,0145	-
1 bar	Bar	100 000	1000	1	10,1972	1,01972	0,98692	14,5037	2088,54
1 m WS	Meter Wassersäule	9806,65	98,07	0,09807	1	0,1	0,09678	1,42233	204,816
1 kp/m ² =1 at	Techn. Atmosphäre	98066,5	980,67	0,098067	10	1	0,96784	14,2233	2048,16
1 atm	Phys. Atmosphäre	101325	1013,25	1,01325	10,3323	1,03323	1	14,696	2116,22
1 lbf/in ² (psi)	pound-force per square inch	6894,76	69,95	0,06895	0,70307	0,07031	0,06805	1	144
1 lbf/ft ² (psf)	pound-force per square foot	47,8803	0,48	0,00048	0,00488	0,00048	0,00047	0,00694	1

Rohrleitungstabelle (DIN 2440)

Nennweite		Außen- durchmesser	Wand- dicke	Innen- durchmesser	Freier Quer- schnitt	Rauminhalt	Oberfläche	Gewicht des glatten Rohres
Zoll	mm	da≈mm	s mm	di≈mm	AF≈cm ²	V≈l/m	Ao≈m ² /m	≈kg/m
1/8"	6	10,2	2	6,2	0,3	0,03	0,0032	0,407
1/4"	8	13,5	2,35	8,8	0,61	0,061	0,042	0,65
3/8"	10	17,2	2,35	12,5	1,23	0,123	0,054	0,853
1/2"	15	21,25	2,65	15,75	2,02	0,202	0,067	1,22
3/4"	20	26,75	2,65	21,25	3,66	0,366	0,084	1,58
1"	25	33,5	3,25	27	5,8	0,58	0,106	2,44
1 1/4"	32	42,25	3,25	35,75	10,12	1,012	0,133	3,14
1 1/2"	40	48,25	3,25	41,25	13,72	1,372	0,152	3,61
2"	50	50	3,65	42,5	22,06	2,206	0,189	5,1

UMRECHNUNGEN

Temperatur	ϑ ° Celsius	T Kelvin	t ° Fahrenheit
Grad Celsius °C	ϑ	$T-273,16$	$5/9(t-32)$
Kelvin K	$\vartheta+273,16$	T	$5/9(t-455,67)$
Grad Fahrenheit °F	$9/5*\vartheta+32$	$9/5*T-459,67$	t

Temperatur	°C	T	°F
1 °C	1	273.16	33.8
1K	-273.16	1	-239.36
1°F	-17.22	255.93	1

Dichte	1 g/cm ³	lb/cu. inch	lb/cu. foot
1 g/cm ³	1	0.03613	62.428
1 pound/cubic inch	27.68	1	1728
1 pound/cubic foot	0.01602	$5,79*10^{-4}$	1

Kraft	N	kN	MN
1 N	1	10^{-3}	10^{-6}
1 kN	10^3	1	10^{-3}
1 MN	10^6	10^3	1

Zeit	s	ns	μ s	ms	min
1 s	1	10^9	10^6	10^3	$16,66*10^{-3}$
1 ns	10^{-9}	1	10^{-3}	10^{-6}	$16,66*10^{-12}$
1 μ s	10^{-6}	10^3	1	10^{-3}	$16,66*10^{-9}$
1 ms	10^{-3}	10^6	10^3	1	$16,66*10^{-6}$
1 min	60	$60*10^9$	$6*10^6$	$6*10^3$	1

ALLGEMEINE INFORMATIONEN

Atmosphärischer Druck	Druck	
Höhe über Meeresspiegel m	Torr	mbar = h Pa
0	760	1013
200	742	989
400	724	966
600	707	943
800	690	921
1000	673	899
1200	657	876
1400	641	854
1600	626	835
1800	611	851
2000	596	795
2200	581	775
2400	567	756
2600	553	737
2800	539	719
3000	525	701
3500	493	657
4000	463	616
5000	405	540
10 000	198	264
20 000	41	55

Temperatur		
K	°C	°F
0	-273	-460
	0.01602	5,79*10-4
273	0	32
373	100	212
673	400	752
873	600	1112
1073	800	1472
1173	900	1652
1223	950	1742
1273	1000	1832
1323	1050	1922
1373	1100	2012
1423	1150	2102
1473	1200	2192
1523	1250	2282
1573	1300	2372

NOx-Werte in verschiedenen Einheiten

Abgas-Volumen-Bezug				Energie-Bezug (Erdgas H)		
ppm bei 3% O2	ppm bei 5% O2	mg/m ³ bei 3% O2	mg/m ³ bei 5% O2	mg/kWh	mg/MJ	#/MMBTU
10	9	21	18	20	6	0.01
20	18	41	36	41	11	0.03
30	27	62	55	61	17	0.04
40	36	82	73	81	23	0.05
50	44	103	91	102	28	0.07
60	53	123	109	122	34	0.08
70	62	144	128	142	40	0.09
80	71	164	146	163	45	0.11
90	80	185	164	183	51	0.12
100	89	205	182	204	57	0.13
120	107	246	219	244	68	0.16
140	124	287	255	285	79	0.18
160	142	328	292	326	90	0.21
180	160	369	328	366	102	0.24
200	178	410	364	407	113	0.26
250	222	513	456	509	141	0.33
300	267	615	547	611	170	0.39
350	311	718	638	712	198	0.46
400	356	820	729	814	226	0.53
450	400	923	820	916	254	0.59
500	444	1025	911	1018	283	0.66
600	533	1230	1093	1221	339	0.79
700	622	1435	1276	1425	396	0.92
800	711	1640	1458	1628	452	1.05

KUNDENFRAGEBOGEN ZUR BRENNERAUSWAHL

Brenneranfrage							
0	Firma						
	Projekt / Betreiber						
	Ofentyp						
1	Betriebstemperatur						
			min:		°C	max:	
2	Gasart						
		Erdgas (NG):		Flüssiggas:		Sonstige:	
3	Brennertyp						
	Brenneranzahl		Menge/Stück:		Brenneranschlusswert:		kW
	Einbaulage des Brenners				horizontal:		vertikal:
	Kühlluftanschluss am Brenner				mit:		ohne:
4	Brennersteuerung		Ja:		Nein:		
	Profibus		Ja:		Nein:		
	Profinet		Ja:		Nein:		
	Betriebsart		Ein / Aus:		Groß / Klein:		Stetig:
5	Magnetventile /-klappen			Keine Vorgabe:		Hersteller:	
	Strahlrohrbeheizung			Ja:		Nein:	
6	Bauform Strahlrohr		Gerade:		P-Typ:		Doppel-P Typ:
			U-Typ:		Sonstige:		
	Strahlrohr ist mitzuliefern			Ja:		Nein:	
	Außendurchmesser			mm			
	Innendurchmesser			mm			
	Gesamtlänge			mm			
	Freie Abstrahlänge			mm			
Flammrohr ist mitzuliefern			Ja:		Nein:		
7	Bemerkungen						
8	Kunde:		Datum:				
			Firma:				
			Name:				

NOXMAT

combustion technology

NOXMAT GmbH
Ringstraße 7, D-09569 Oederan
Tel: +49 37292 65 03 0
Fax: +49 37292 65 03 29
E-Mail: info@noxmat.de

www.noxmat.com