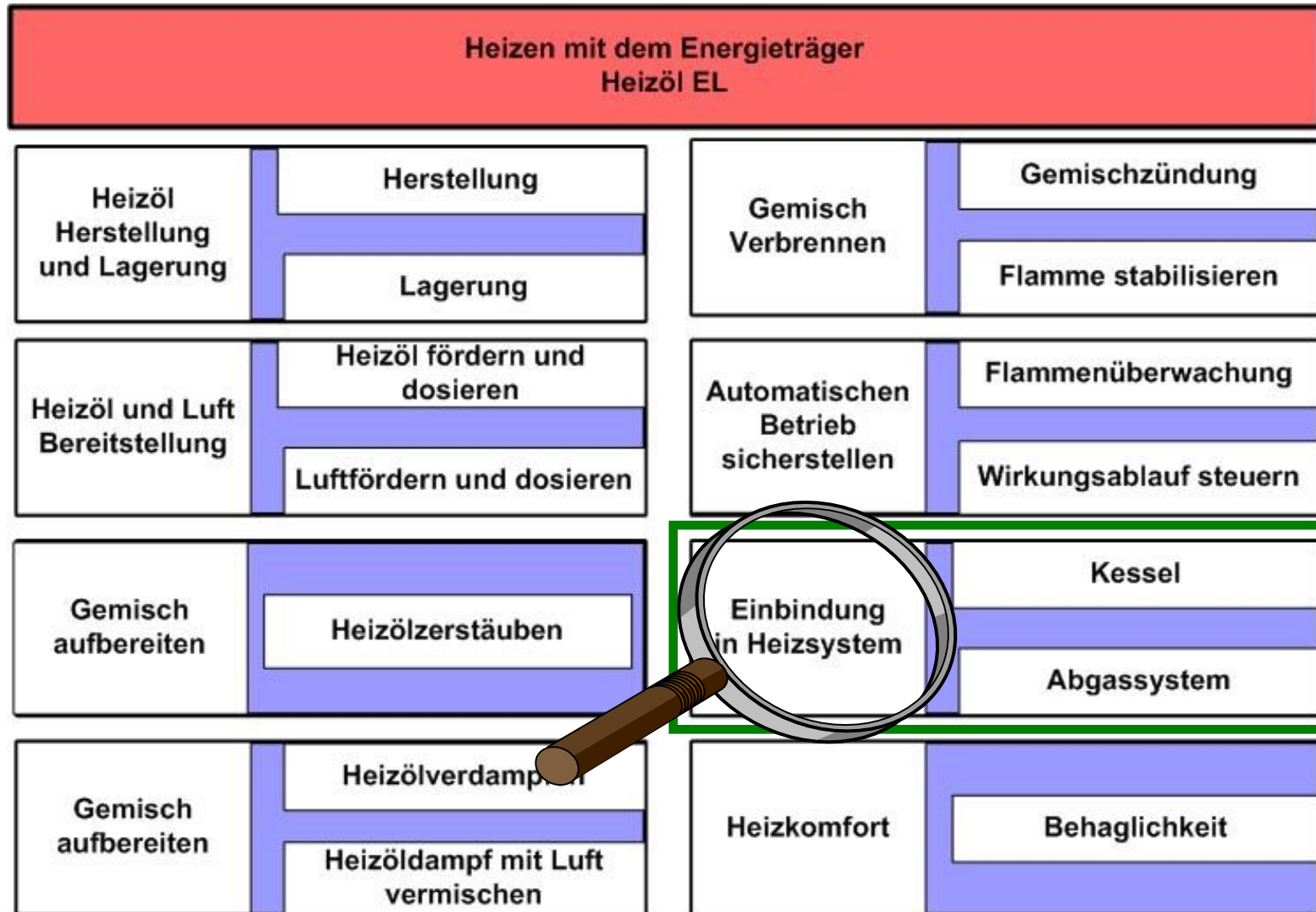


Angewandte Thermofluiddynamik

Dr.-Ing. F. v. Issendorff

Inhalte der Vorlesungen



Einteilung der Heizkessel

Heizkessel

Brennstoffart	Gasförmig (Erdgas L,...)
	Flüssig Heizöl
	Fest (Holz, Kohle..)

Relegungsart	Einstufig
	zweistufig
	modulierend

Brennstoffvielfalt	Einstoffbrenner
	Zweistoffbrenner
	Mehrstoffbrenner

Brennerprinzip	Öl	Verdampfungsbrenner
		Zerstäubungsbrenner
	Gas	Vormischbrenner
		Difussionsbrenner

Kesseltyp	Standardkessel
	Niedertemperaturkessel
	Brennwertkessel

Einbindung der Trinkwasserbereitung	Kombibetrieb
	Nur Trinkwasserbereitung
	Nur Heizung

Bauform	Wandhängend
	Bodenbestehend

Normen und Richtlinien	TRGI für Gaskessel
	DIN Normen

Anzahl der Kessel	Einkesselanlage
	Mehresselanlage

Einteilung der Heizkessel

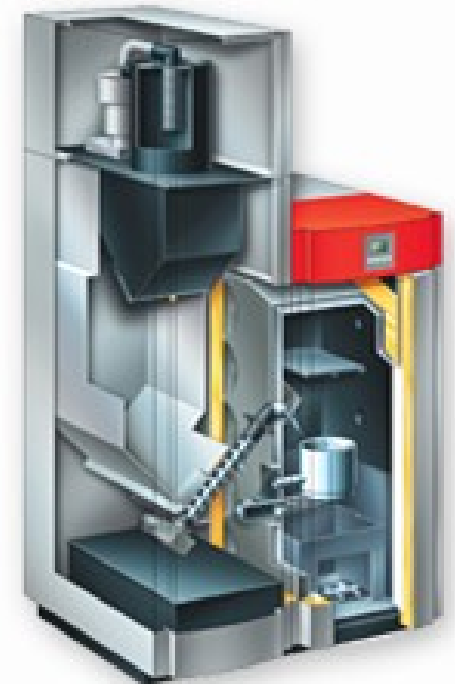
Brennstoffart	Gasförmig (Erdgas L,...)
	Flüssig Heizöl
	Fest (Holz, Kohle..)



Niedertemperatur-Gas-Heizkessel
mit atmosphärischem Vormischbrenner

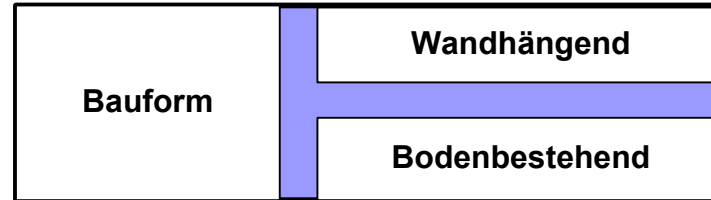


Niedertemperatur-Öl-Gussheizkessel



Der Holzpellets-Kessel Vitotig 300

Einteilung der Heizkessel



Wandhängend oder Therme: (Nur für die Brennstoff Gas und Öl)

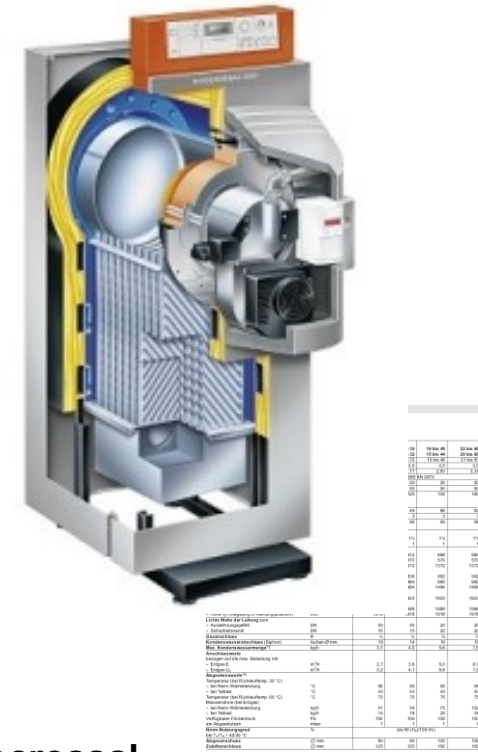
Unterschied zwischen Thermen und Standkessel ist der Wassereinhalt

StandKessel: 1 bis 1.5 Liter/kW
Themen: teilweise nur ein Zehntel dieses Werts



Gas-Kategorie	1	2	3
1	1.0	1.5	2.0
2	1.5	2.0	2.5
3	2.0	2.5	3.0
4	2.5	3.0	3.5
5	3.0	3.5	4.0
6	3.5	4.0	4.5
7	4.0	4.5	5.0
8	4.5	5.0	5.5
9	5.0	5.5	6.0
10	5.5	6.0	6.5
11	6.0	6.5	7.0
12	6.5	7.0	7.5
13	7.0	7.5	8.0
14	7.5	8.0	8.5
15	8.0	8.5	9.0
16	8.5	9.0	9.5
17	9.0	9.5	10.0
18	9.5	10.0	10.5
19	10.0	10.5	11.0
20	10.5	11.0	11.5
21	11.0	11.5	12.0
22	11.5	12.0	12.5
23	12.0	12.5	13.0
24	12.5	13.0	13.5
25	13.0	13.5	14.0
26	13.5	14.0	14.5
27	14.0	14.5	15.0
28	14.5	15.0	15.5
29	15.0	15.5	16.0
30	15.5	16.0	16.5
31	16.0	16.5	17.0
32	16.5	17.0	17.5
33	17.0	17.5	18.0
34	17.5	18.0	18.5
35	18.0	18.5	19.0
36	18.5	19.0	19.5
37	19.0	19.5	20.0
38	19.5	20.0	20.5
39	20.0	20.5	21.0
40	20.5	21.0	21.5
41	21.0	21.5	22.0
42	21.5	22.0	22.5
43	22.0	22.5	23.0
44	22.5	23.0	23.5
45	23.0	23.5	24.0
46	23.5	24.0	24.5
47	24.0	24.5	25.0
48	24.5	25.0	25.5
49	25.0	25.5	26.0
50	25.5	26.0	26.5
51	26.0	26.5	27.0
52	26.5	27.0	27.5
53	27.0	27.5	28.0
54	27.5	28.0	28.5
55	28.0	28.5	29.0
56	28.5	29.0	29.5
57	29.0	29.5	30.0
58	29.5	30.0	30.5
59	30.0	30.5	31.0
60	30.5	31.0	31.5
61	31.0	31.5	32.0
62	31.5	32.0	32.5
63	32.0	32.5	33.0
64	32.5	33.0	33.5
65	33.0	33.5	34.0
66	33.5	34.0	34.5
67	34.0	34.5	35.0
68	34.5	35.0	35.5
69	35.0	35.5	36.0
70	35.5	36.0	36.5
71	36.0	36.5	37.0
72	36.5	37.0	37.5
73	37.0	37.5	38.0
74	37.5	38.0	38.5
75	38.0	38.5	39.0
76	38.5	39.0	39.5
77	39.0	39.5	40.0
78	39.5	40.0	40.5
79	40.0	40.5	41.0
80	40.5	41.0	41.5
81	41.0	41.5	42.0
82	41.5	42.0	42.5
83	42.0	42.5	43.0
84	42.5	43.0	43.5
85	43.0	43.5	44.0
86	43.5	44.0	44.5
87	44.0	44.5	45.0
88	44.5	45.0	45.5
89	45.0	45.5	46.0
90	45.5	46.0	46.5
91	46.0	46.5	47.0
92	46.5	47.0	47.5
93	47.0	47.5	48.0
94	47.5	48.0	48.5
95	48.0	48.5	49.0
96	48.5	49.0	49.5
97	49.0	49.5	50.0
98	49.5	50.0	50.5
99	50.0	50.5	51.0
100	50.5	51.0	51.5

Gas-Brennwertkessel (Wandgerät) mit MatriX-Gasbrenner



Vitocrossal 300 - Gas-Brennwertkessel Standkessel

Einteilung der Heizkessel

Grundsätzlich wird der Heizkessel in 3 Typen unterschieden

Kesseltyp	Standardkessel
	Niedertemperaturkessel
	Brennwertkessel

Ein Standardkessel oder Konstanttemperaturkessel:

Konstruktionsbedingt kann der Kessel nur mit hohen Temperaturen betrieben werden i.d.R über 70°C (nach Richtlinie 92/42/EWG)

Ein Niedertemperaturkessel:

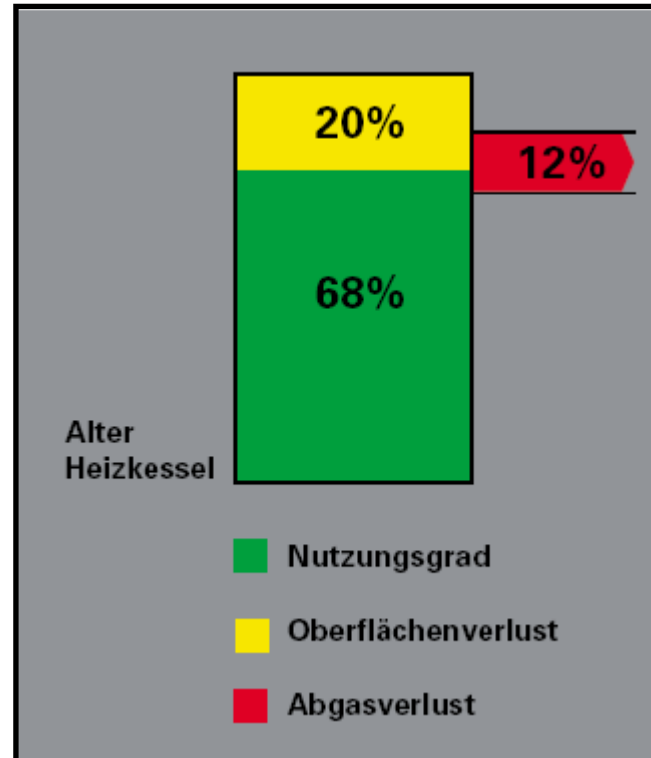
Niedertemperatur-Heizkessel zeichnen sich durch ihre gleitende Betriebsweise aus. Dadurch arbeiten sie mit einer deutlich niedrigeren durchschnittlichen Kesselwassertemperatur (Vorlauftemperatur). Kann kontinuierlich mit einer Eintrittstemperatur von 35 bis 40 Grad Celsius betrieben werden. (nach Richtlinie 92/42/EWG)

Ein Brennwertkessel:

Ist ein Kessel, der für die permanente Kondensation eines Großteils, des in den Abgasen enthaltenen Wasserdämpfe konstruiert ist.

(nach Richtlinie 92/42/EWG)

Konstanttemperaturkessel



Seit den 80er-Jahren sind „Niedertemperaturheizkessel auf dem Markt.

Durch konstruktive Maßnahmen wird verhindert, dass die abgasseitige Wandtemperatur niedriger wird als der Wasserdampftaupunkt.

Die wichtigsten dieser Maßnahmen sind:

- Rippen auf der Oberfläche der Rauchgasseite
- Zweischichtige Heizflächen, bei denen der Unterschied zwischen den Oberflächentemperaturen auf der Rauchgasseite und der Heizwasserseite größer ist.
- Lenkung der Heizwasserströmung im Heizkessel
- Mischung des kalten Rücklaufwassers mit etwas warmem Kesselwasser, bevor es mit den Heizflächen in Berührung kommt.

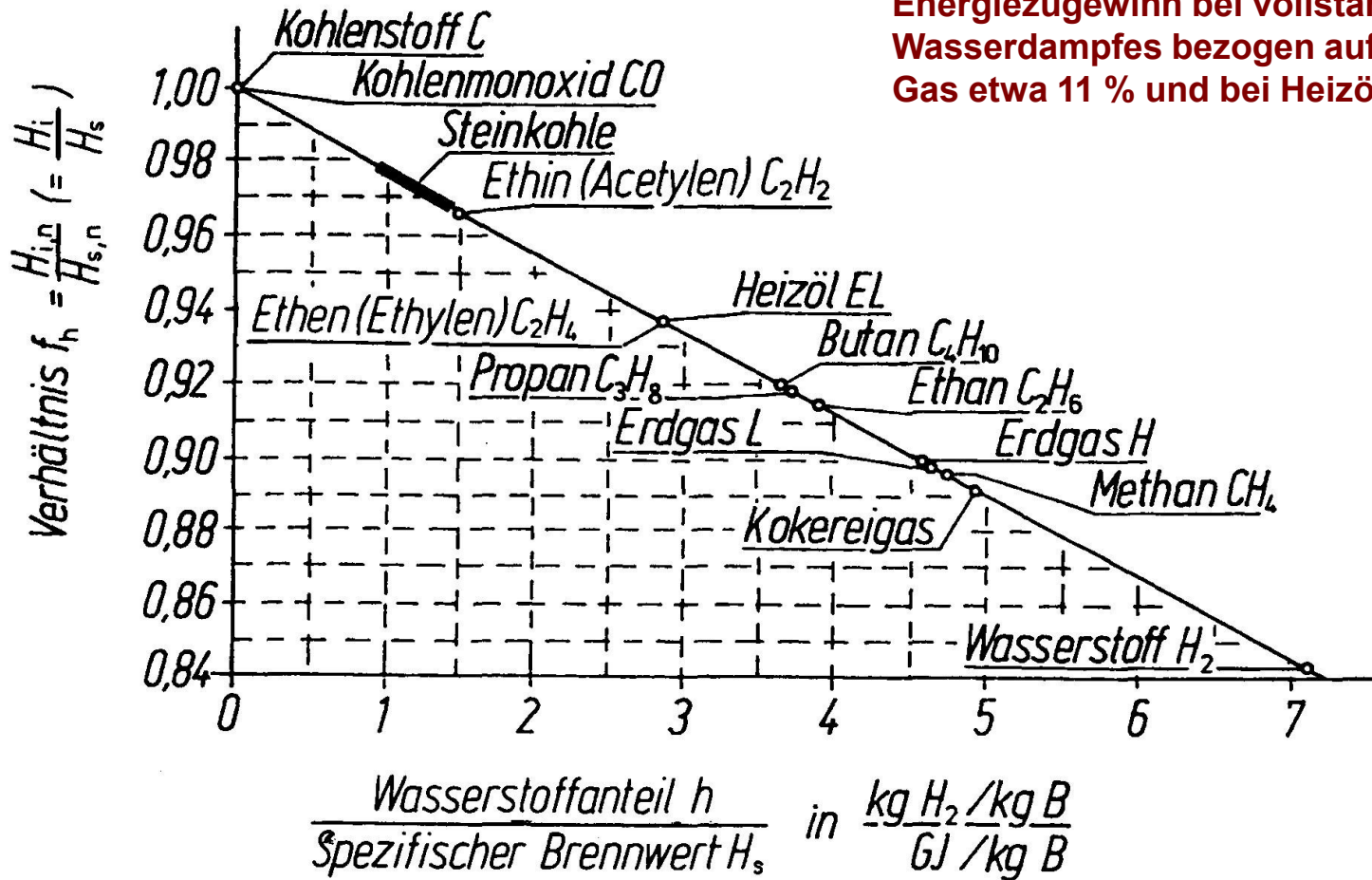


***Vitola 200 Öl-Tieftemperatur-Heizkessel
18 bis 63 kW***

Bei üblichen Niedertemperaturheizkesseln liegt die Abgastemperatur bei 160 °C.

Brenn- und Heizwert in Abhängigkeit vom Wassergehalt

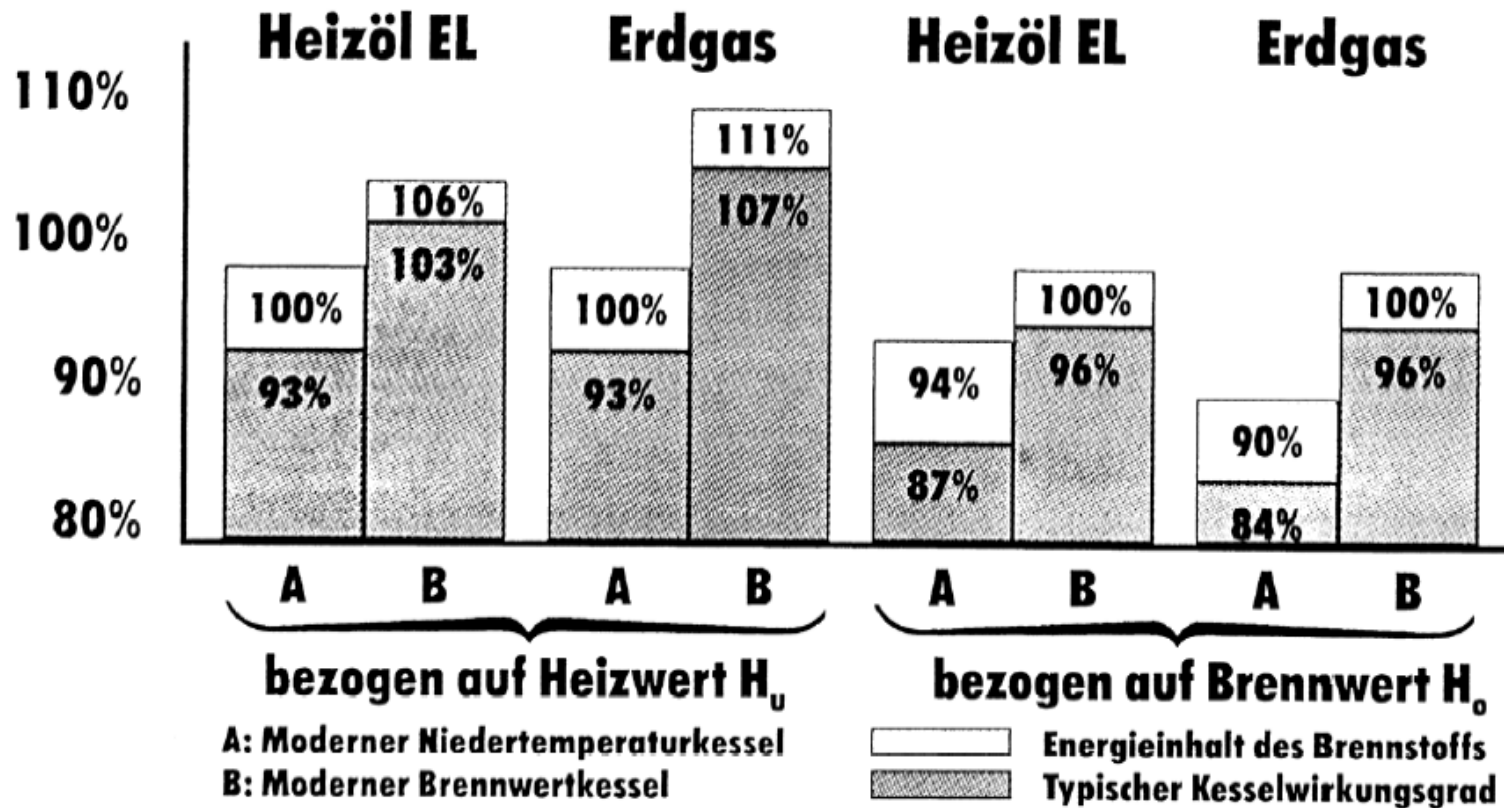
Energiezugewinn bei vollständiger Kondensation des Wasserdampfes bezogen auf den Heizwert beträgt bei Gas etwa 11 % und bei Heizöl etwa 6%



Z.B Wasserstoff H₂

$$H_o = 141,79 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$$

Heizwerte verschiedener Brennstoffe



$$H_u = H_o - m_{H_2O} \cdot r$$

r Verdampfungsenthalpie in kJ / kg

$m_{Kondensat}$ Wasserdampfmenge, die je kg Brennstoff im Rauchgas vorhanden ist

Heizöl EL

$$H_o = 12,6 \frac{kWh}{kg}$$

$$H_u = 11,9 \frac{kWh}{kg}$$

HOVAL MultiJet Brennwertkessel



Geräuscharmer
LowNOx-Ölbrenner

Jet-Einsätze aus Edelstahl

Option für Raumluft
unabhängigen Betrieb



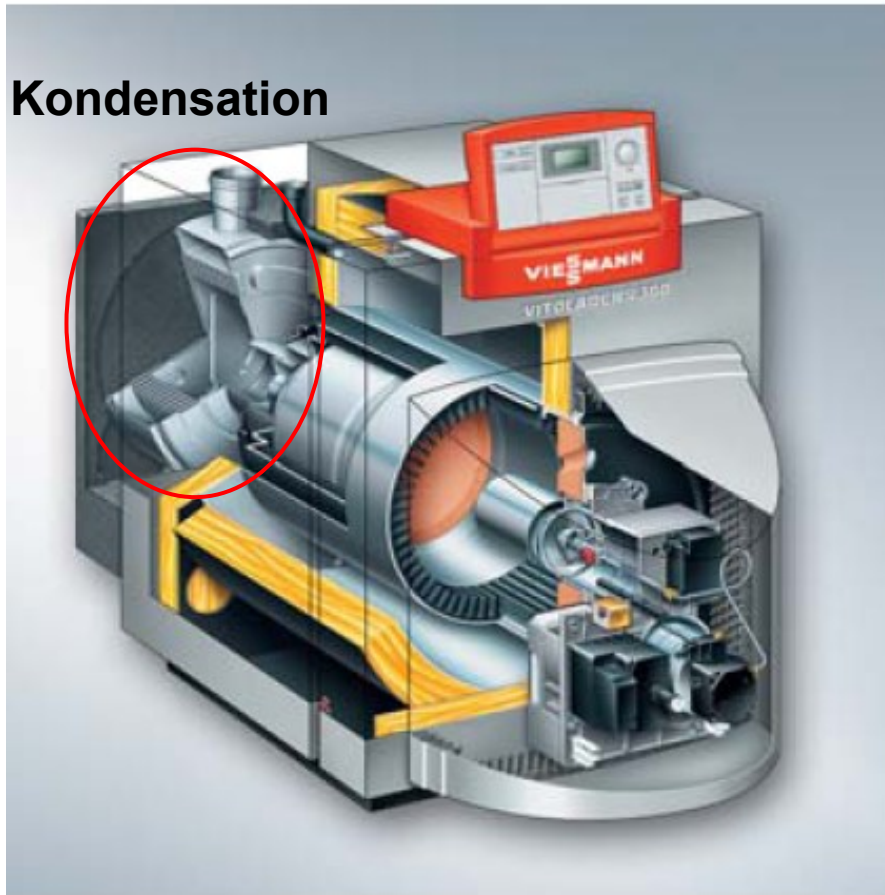
Wärmegeämmte Schallschluckhaube

Heizkreisregelung Hoval TopTronic®T

Hochwirksame Wärmedämmung

Kesselsockel mit Neutralisationsbox

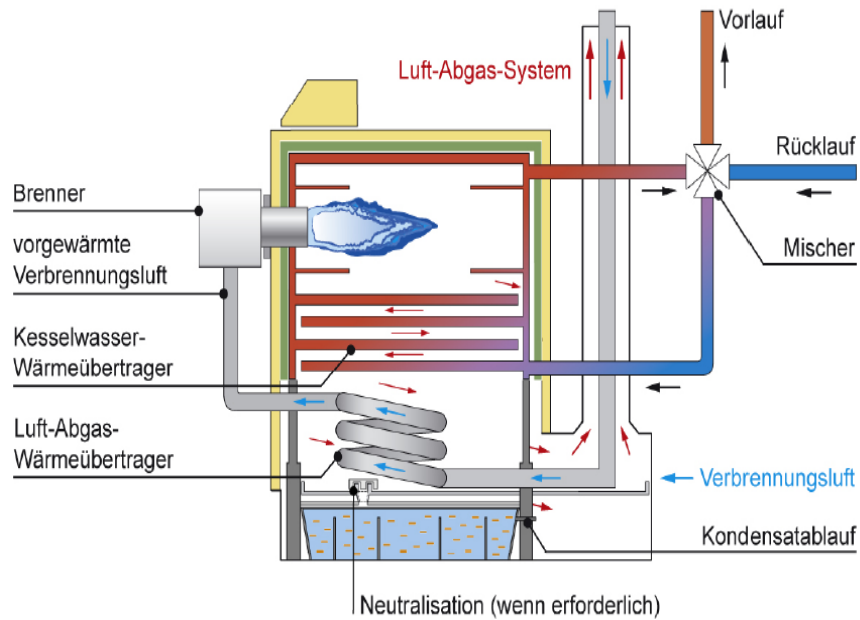
Kondensation



Räumlich Trennung der Kondensation
von der Verbrennung

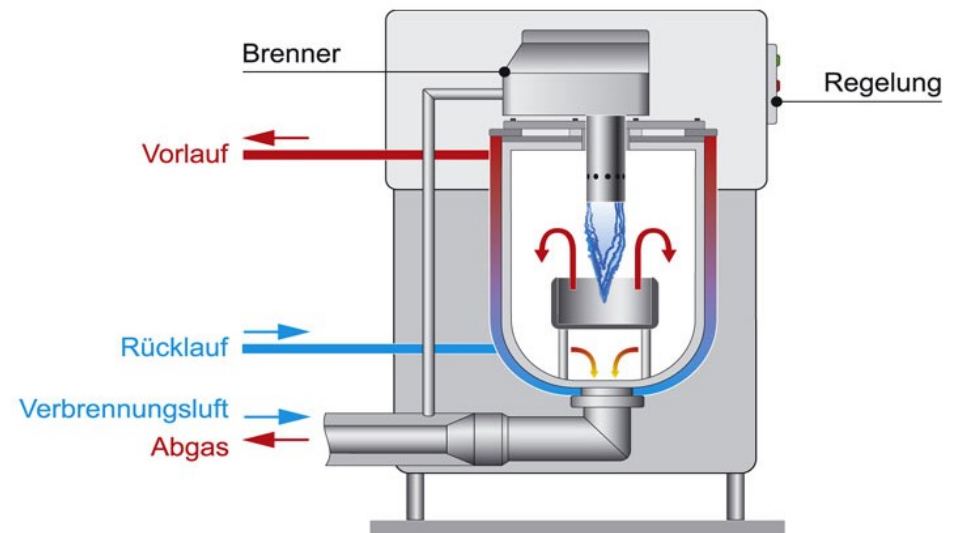
Vitoladens 300-T – Öl-Brennwert

Brennwertkessel



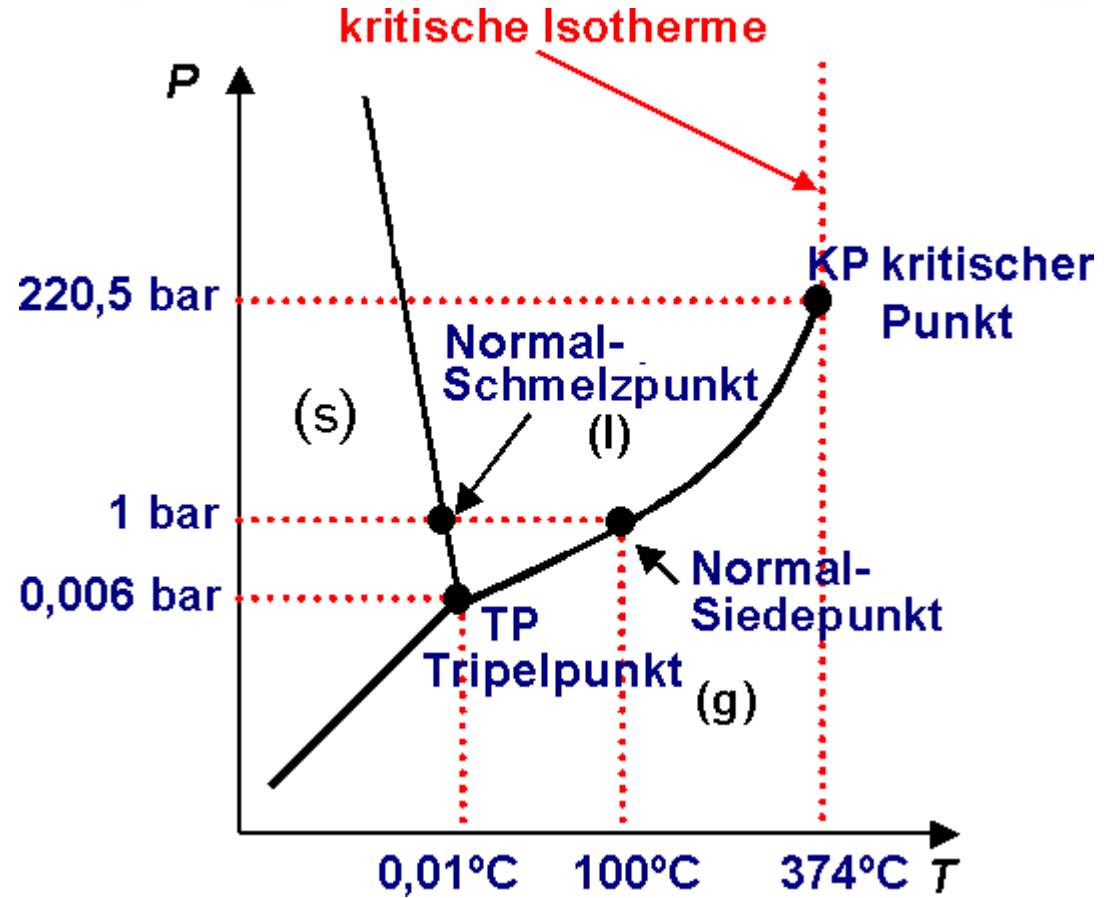
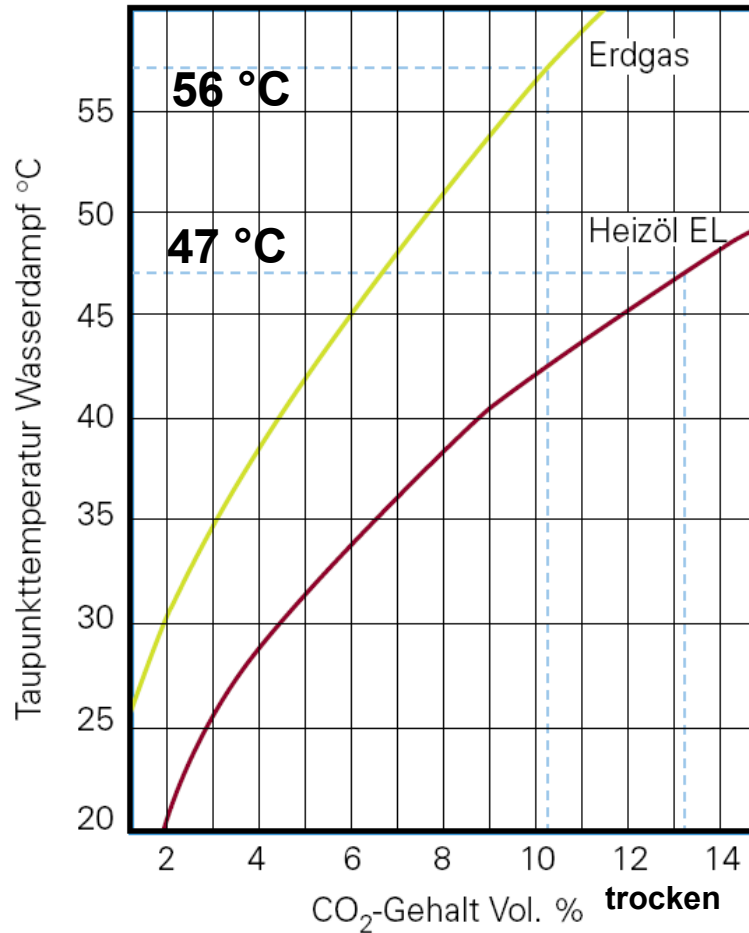
Quelle: IWO Institut für wirtschaftliche Ölheizung e.V.

**Ölbrennwertkessel mit
Verbrennungsluftvorwärmung**



**Brennwertkessel mit
interner Kondensation**

Wasserdampftaupunkt



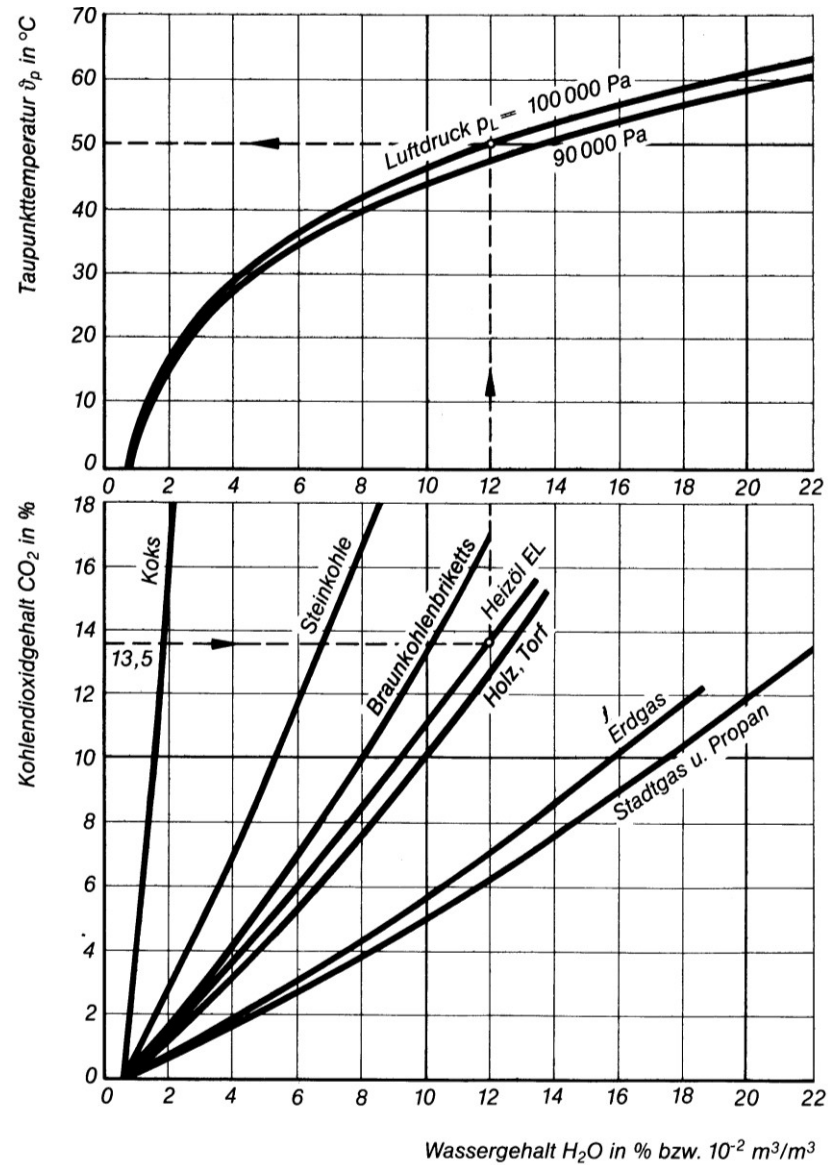
	Erdgas	Flüssiggas		Heizöl EL
		Propan	Butan	
Kondenswassermenge in kg/kWh H_u	0,16	0,13	0,12	0,09

ϑ	p
°C	bar
15,00	0,017057
20,00	0,023392
25,00	0,031697
30,00	0,042467
35,00	0,056286
40,00	0,073844
45,00	0,095944
50,00	0,12351
55,00	0,15761
60,00	0,19946
65,00	0,25041
70,00	0,31201
75,00	0,38595
80,00	0,47415
85,00	0,57868
90,00	0,70182
95,00	0,84609
100,00	1,0142

Stöchiometrische Verbrennung von Methan und Luft

Berechnung des Taupunkts

Wassergehalt und Wassertaupunkt von Abgas



Kondensatsmenge

Die Menge des Kondensats hängt von folgenden Faktoren ab:

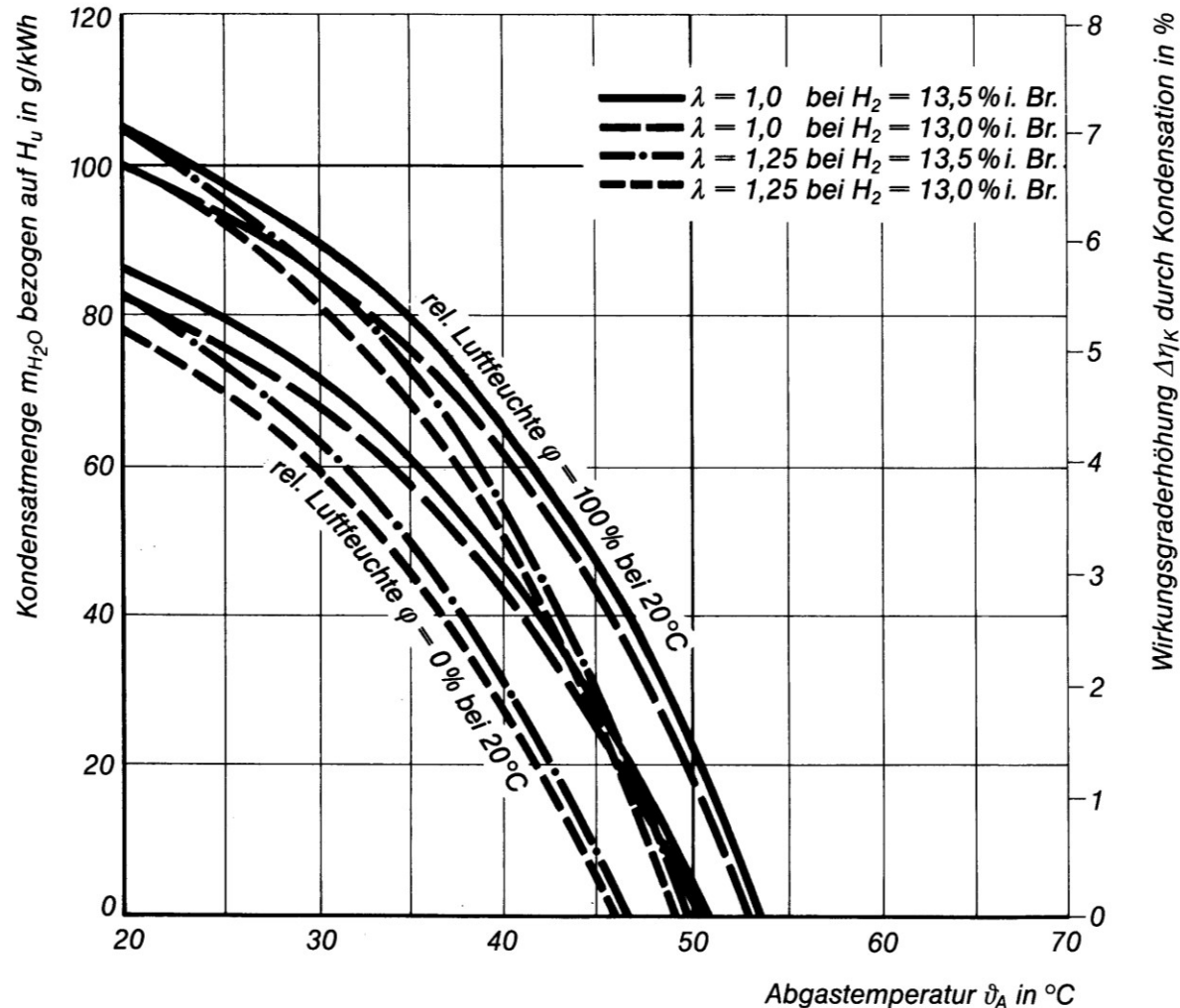
- ✓ Luftverhältnis
- ✓ Abgastemperatur
- ✓ relative Feuchte der Verbrennungsluft
- ✓ Wasserstoffanteil im Brennstoff

Heizöl EL

$$H_o = 12,6 \frac{kWh}{kg}$$

$$H_u = 11,9 \frac{kWh}{kg}$$

Anfallende Kondenswassermenge bei der Brennwertnutzung von Heizöl EL¹⁾

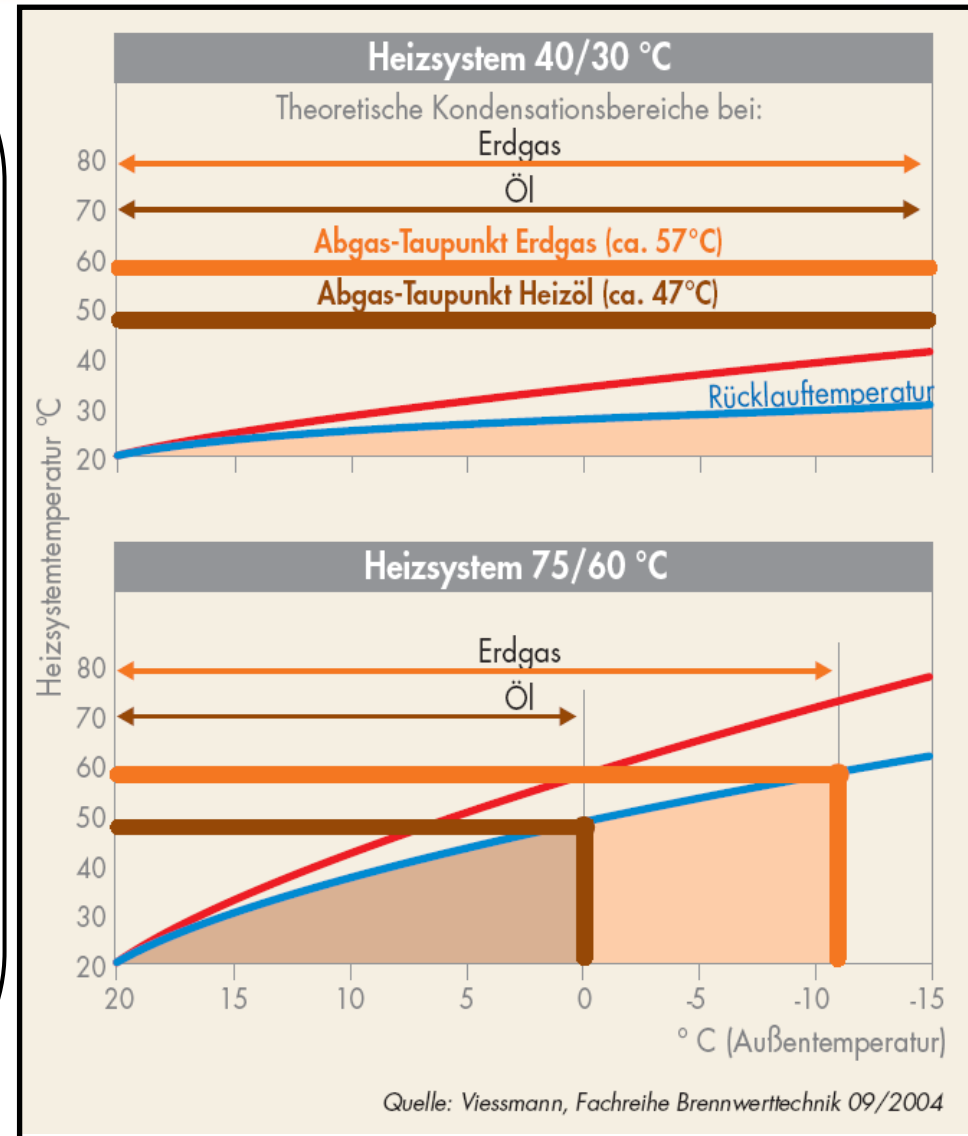


¹⁾ Aus D. Stehmeier „Brennwertnutzung bei Wärmeerzeugern kleiner Leistung“, VDI-Bericht 593 (1986).

Vergleich der theoretische Kondensationsbereiche Erdgas ; Heizöl

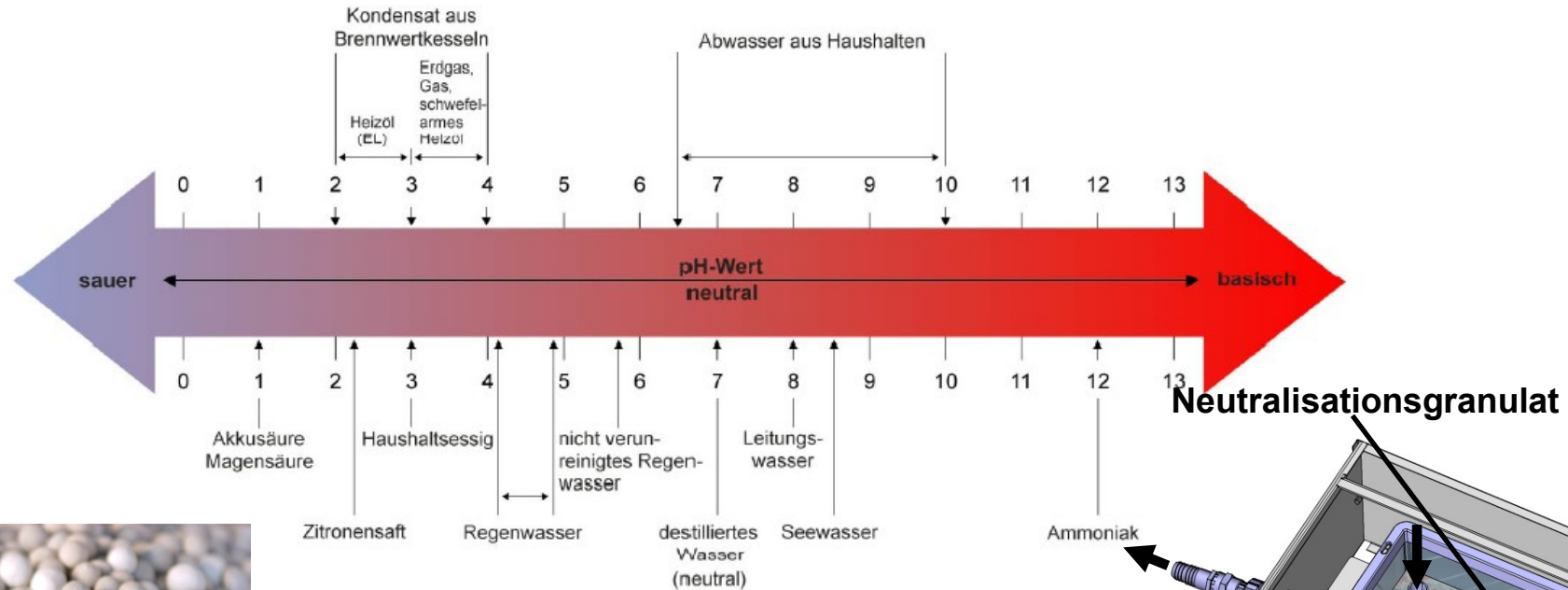
Bei Heizsystemen **40/30 °C** wie bei der Fußbodenheizung unterscheiden sich die Kondensationsbereiche nicht. Sowohl Erdgas- als auch Öl-Brennwertgeräte können bei niedrigen Außentemperaturen im Brennwertbereich betrieben werden.

Bei Heizungsanlagen mit höheren Systemtemperaturen **z.B. 75/60 °C** wie bei Radiatoren), wird der Unterschied deutlicher. Durch die höheren Taupunkttemperaturen von Erdgas können Anlagen mit Erdgas-Brennwertgeräten auch bei niedrigen Außentemperaturen (wenn die Heizungen mit relativ hohen Rücklauftemperaturen arbeiten) noch eine Brennwertnutzung erreichen, mit Heizöl dagegen nicht mehr.

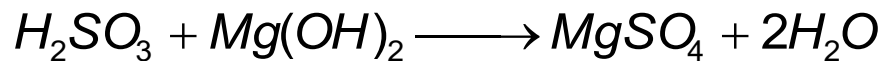


pH-Werte im Vergleich

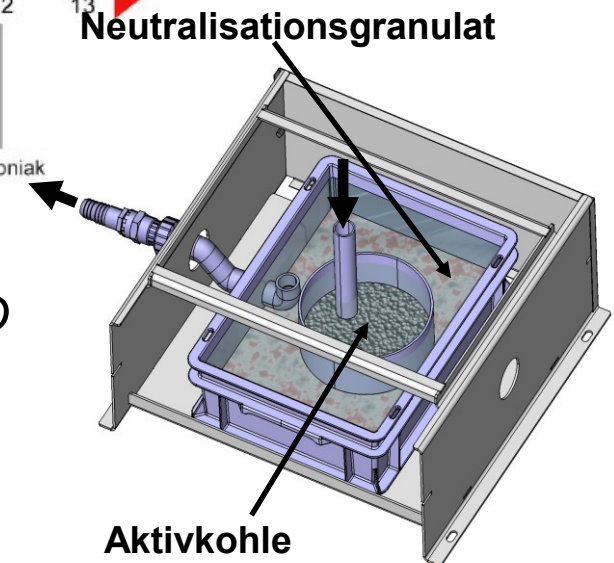
Nur bei der Verbrennung von schwefelarmem Heizöl EL (< 50 mg/kg) entfällt entsprechend dem Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 251 die Neutralisationspflicht für das entstandene Kondenswasser. *DVWK: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (www.atv.de)*



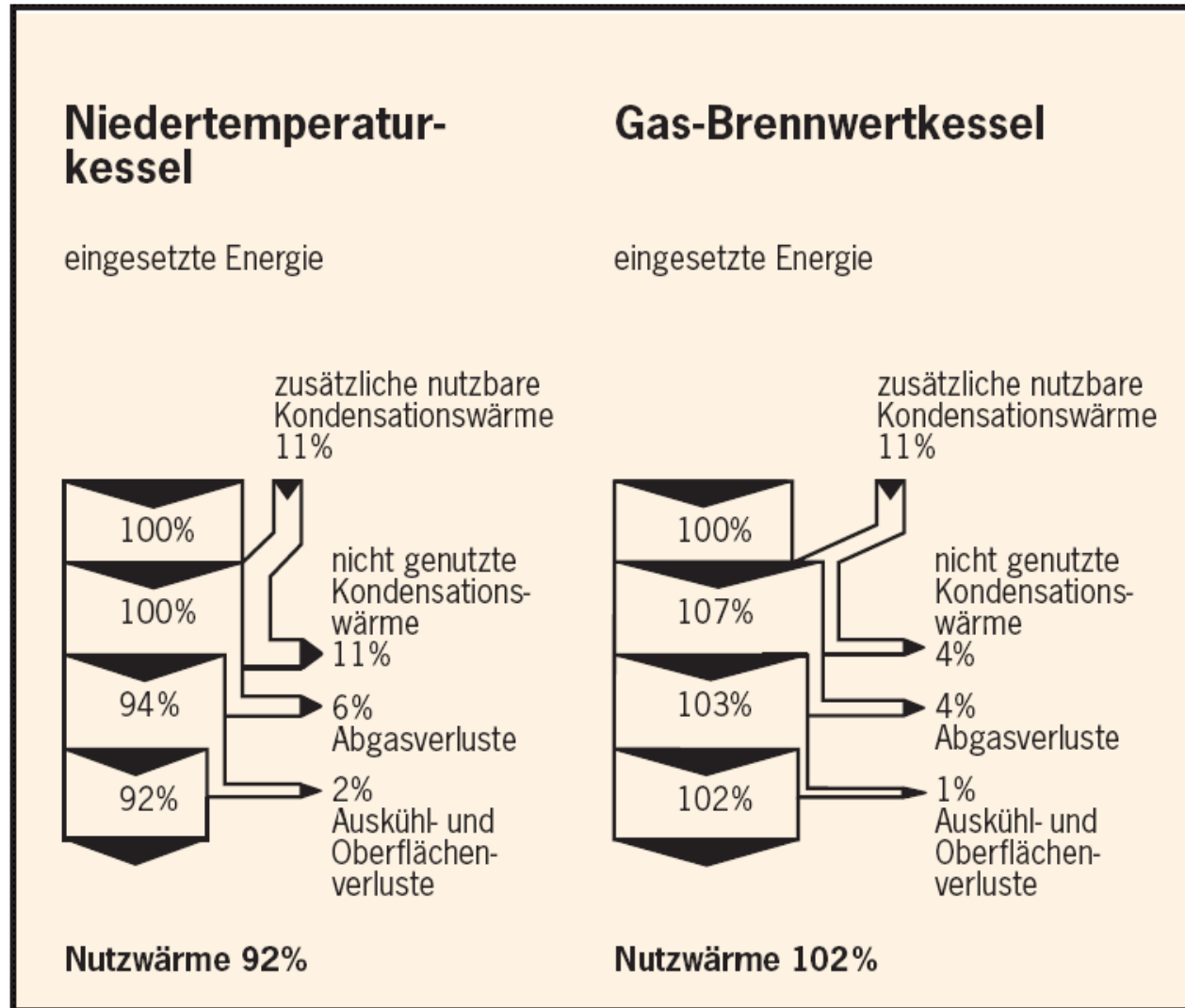
Magnesiumhydroxid



Magnesiumsulfat

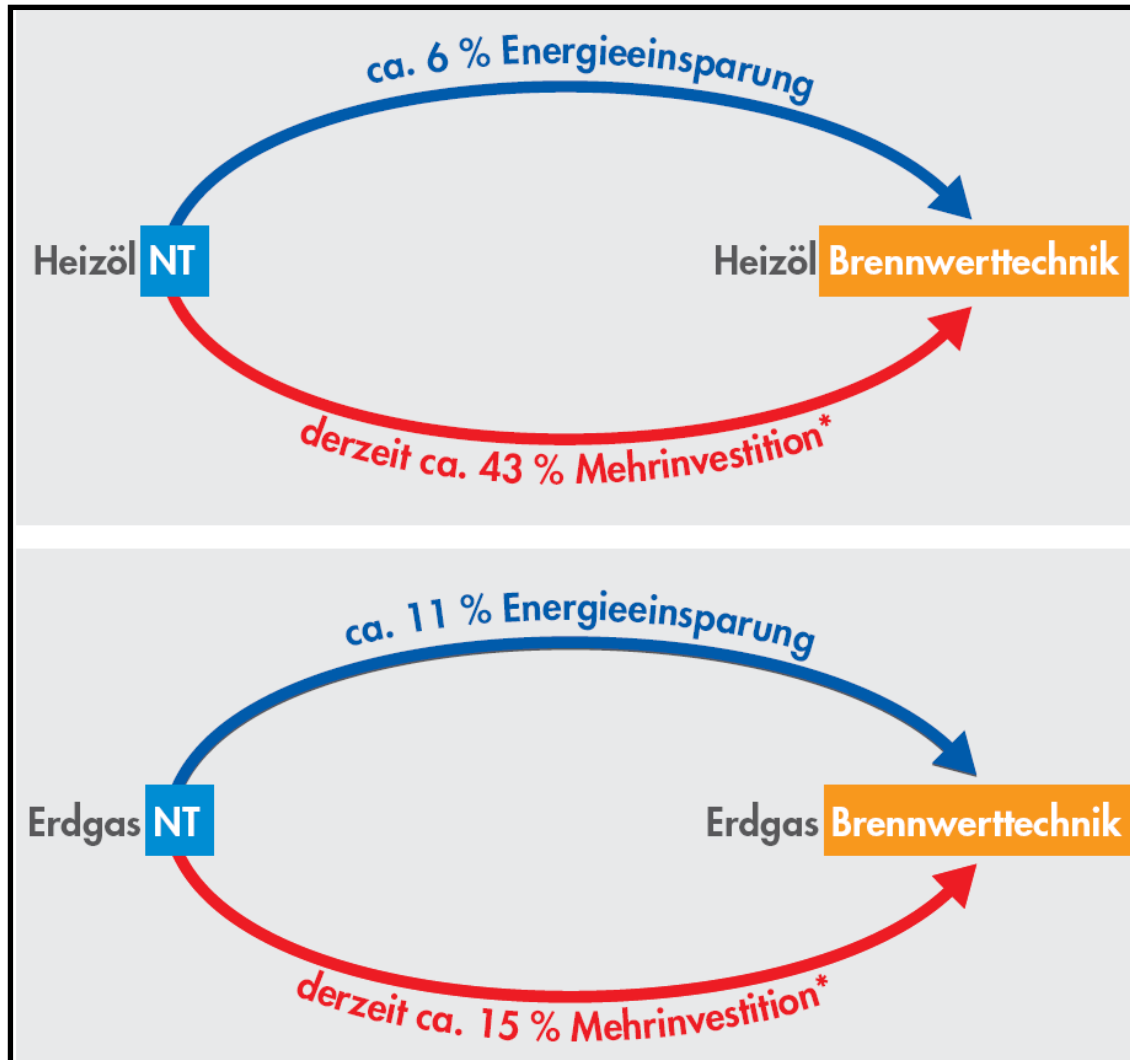


Ende 11



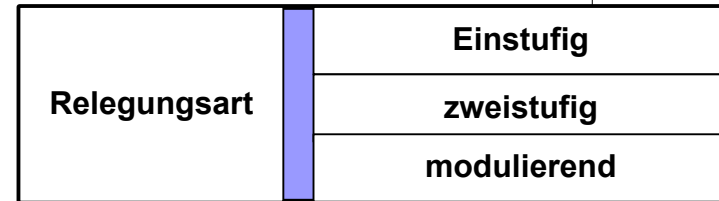
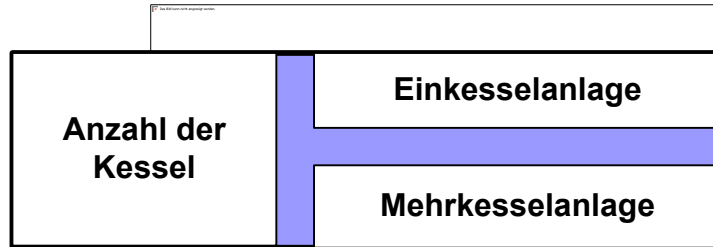
Heizwertbezogene Energiebilanzen eines Gas-Niedertemperaturkessels und eines Gas-Brennwertkessels
Heizwassertemperatur 40/30°C

Niedertemperatur- und Brennwerttechnik Erdgas & Heizöl



Erdgas	Heizöl EL
Brennwerttechnik ist seit Jahren Stand der Technik	Brennwerttechnik ist noch relativ jung
hohe Stückzahlen	geringere Stückzahlen
kostengünstigere Geräte	höhere Geräte-Preise
Ergebnis: Preis-Abfrage für 20-kW-Geräte (Ein-/Zweifamilienhausbereich)	
Niedertemperatur-Technik (raumluftabhängig)	
2.500 €	3.900 €
Brennwerttechnik	
2.900 €	5.600 €
<i>Herstellerabfrage November 2006 Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden Forschung und Anwendung GmbH</i>	

Einteilung der Heizkessel



Eine Kesselanlage kann aus Ein- oder Mehrkesseanlagen ausgeführt werden:

Grund : Leistungsanpassung
Betriebssicherheit

Jeder Kessel kann mit dem zugeordneten Brenner wiederum einstufig, zweistufig und modulierend betrieben werden

Die Leistungsanpassung der Gesamtanlage erfolgt über Zu oder Abschalten der Einzelnen Kessel



DIN 4702 Heizkessel

Teil 3: Gas- Spezialheizkessel mit Brenner ohne Gebläse

Teil 4: Heizkessel für Holz, Stroh und ähnliche Brennstoff

Teil 6: Brennwertkessel für gasförmige Brennstoffe

Teil 7: Brennwertkessel für flüssige Brennstoffe

DIN 3368: Gasgeräte

Teil 2: Umlauf-Wasserheizer und Kombi Wasserheizer

Teil 4: Durchlauf-Wasserheizer

Teil 7: Brennwert-Wasserheizer

Teil 8: Wasserheizer mit Vormischbrenner und geschlossener Verbrennungskammer

DIN 4759:

Wärmeerzeugungsanlage für mehrer Energiearten

DIN EN 304: Heizkessel-Prüfregeln für Heizkessel mit Ölzerstäubungsbrennern

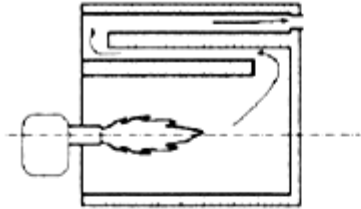
DIN EN 483, DIN EN 656, DIN EN 677 Heizkessel für gasförmige Brennstoffe

DIN 18894, 18894 und 18897: Feuerstätte für feste Brennstoffe

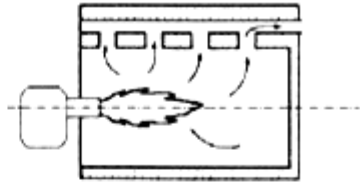
incl. Pelletöfen Heizkessel für gasförmige Brennstoffe

Rauchgasführung in den Heizkesseln

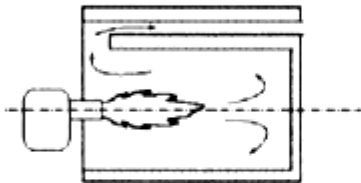
Die meisten heutigen Kessel sind als 3- Zugkessel ausgebildet



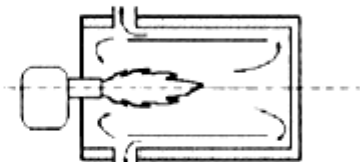
Einwegflamme, gekühlt
Dreizugprinzip



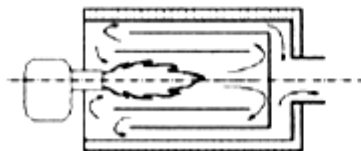
Einwegflamme, gekühlt
Teilstromprinzip



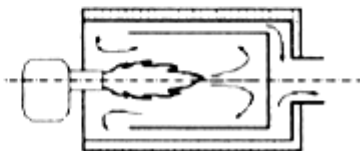
Umkehrflamme, gekühlt
Zweizugprinzip



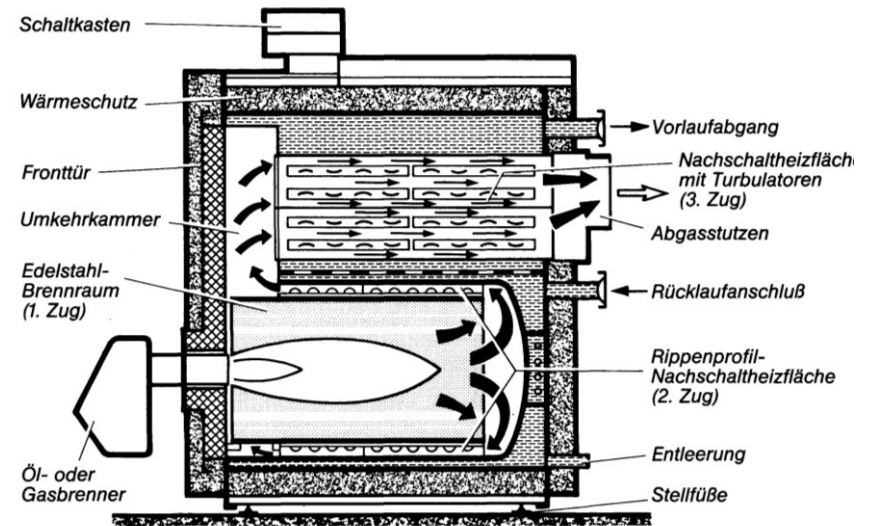
Einwegflamme, ungekühlt
Einfache Trockenbrennkammer
Teilweise Rauchgasrückführung



Einwegflamme, ungekühlt
Doppelte Trockenbrennkammer
Teilweise Rauchgasrückführung

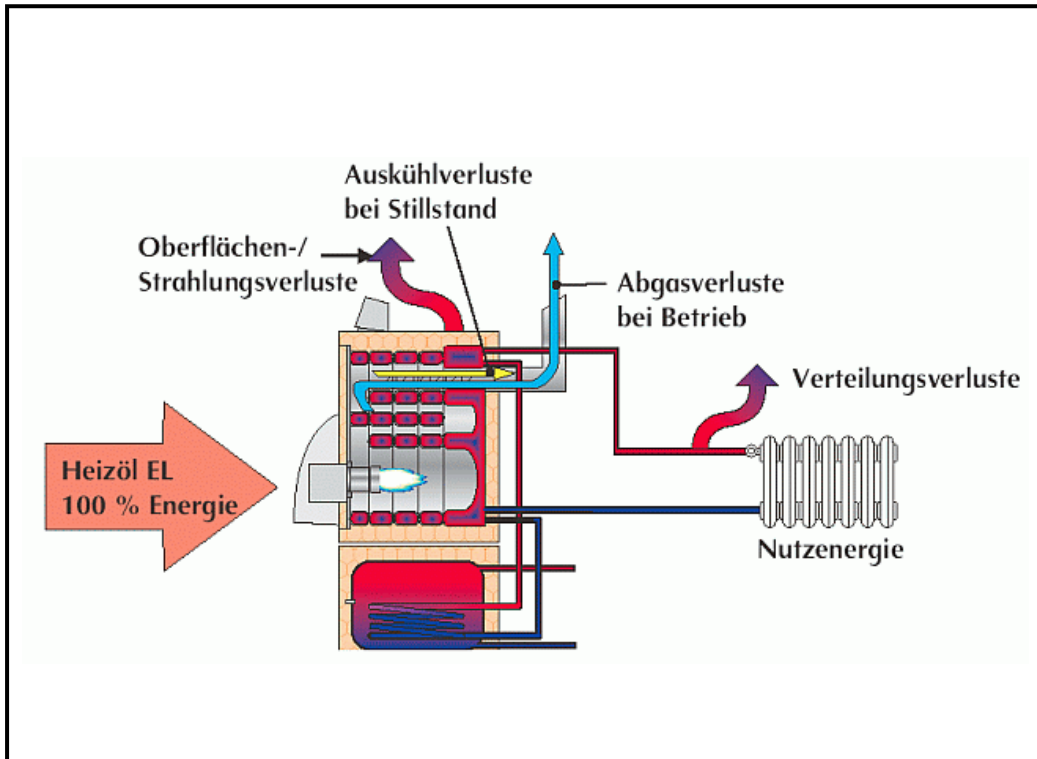


Umkehrflamme, ungekühlt
Umkehrtrockenbrennkammer



Heizgas-Strömungsverlauf nach dem Dreizugprinzip im Buderer-Stahlheizkessel S_ 415

Verlustwärmeströme



Die wesentlichen Verluste bei der Primärenergieumsetzung im Heizkessel entstehen durch

- Abgasverlustleistung \dot{Q}_A
- Strahlungsverlustleistung während des Brennerbetriebes \dot{Q}_S
- Bereitschaftsleistung während der Brennerstillstandszeiten (Abkühlverluste) \dot{Q}_B

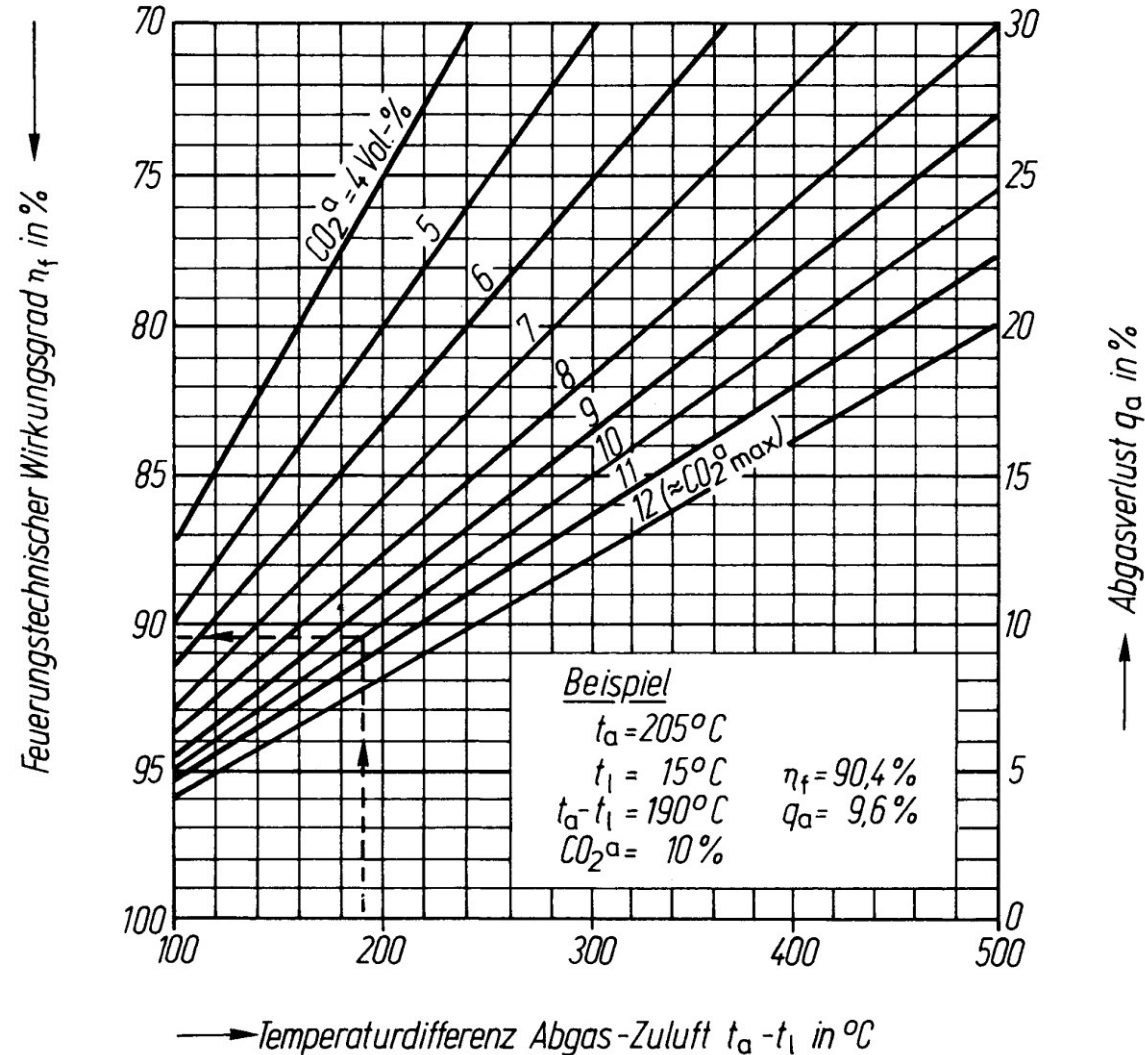
Die Verluste durch Abstrahlung und Auskühlung steigen, je höher die Kesseltemperatur ist.

Feuerungstechnischer Wirkungsgrad und Abgasverluste für Erdgas H

Feuerungstechnischer Wirkungsgrad

Energieausbeute aus dem Heizwert des Brennstoffs abzüglich der Abgasverluste.

$$\eta_F = 1 - q_A$$



Kesselwirkungsgrad

Kesselwirkungsgrad

Der Kesselwirkungsgrad ist ein Momentanwert, welcher das Verhältnis der Kesselleistung (**Nutzleistung**) \dot{Q}_K zur zugeführten **Feuerungsleistung** \dot{Q}_F darstellt.

Kesselleistung ist die Differenz aus der Feuerungsleistung und der **Abgasverlustleistung** \dot{Q}_A sowie der **Strahlungsverlustleistung** \dot{Q}_S

$$\eta_K = \frac{\dot{Q}_K}{\dot{Q}_F} = \frac{\dot{Q}_F - \dot{Q}_A - \dot{Q}_S}{\dot{Q}_F} = \frac{\dot{Q}_F}{\dot{Q}_F} - \frac{\dot{Q}_A}{\dot{Q}_F} - \frac{\dot{Q}_S}{\dot{Q}_F} = 1 - q_A - q_S$$

$$\eta_K = \frac{\dot{Q}_K}{\dot{Q}_F} = \frac{\dot{m}_{KW} \cdot c_{pKW} \cdot (\vartheta_{aus} - \vartheta_{ein})}{\dot{Q}_F}$$

Nutzungsgrad:

Im Gegensatz zum Wirkungsgrad, der das momentane Verhältnis von Nutzen und Aufwand beschreibt, gibt der Nutzungsgrad dieses Verhältnis über einen bestimmten Zeitraum hinweg an. Für die energetische Bewertung eines Heizkessels ist z. B. der Jahresnutzungsgrad die entscheidende Größe.

$$\eta_K = \frac{\dot{Q}_K}{\dot{Q}_F} = \frac{\dot{Q}_F - \dot{Q}_A - \dot{Q}_S - \dot{Q}_B}{\dot{Q}_F} = \frac{\dot{Q}_F}{\dot{Q}_F} - \frac{\dot{Q}_A}{\dot{Q}_F} - \frac{\dot{Q}_S}{\dot{Q}_F} - \frac{\dot{Q}_B}{\dot{Q}_F}$$

$$\eta_K = 1 - q_A - q_S - q_B$$

Die Betriebsbereitschaftverluste \dot{Q}_B bzw. die Stillstandsverluste umfassen die Wärmeabgabe des Kessels über seiner Oberfläche sowie die Auskühlung durch den Schornsteinzug während der Feuerungspausen zusammen.

Kesselwirkungsgrad η_K von Brennwertkesseln

$$\eta_K = 1 - \underbrace{q_A - q_S}_{\text{sensible}} + \underbrace{\frac{H_s - H_i}{H_i}}_{\text{latente}} \cdot \alpha$$

$$\alpha = \frac{\dot{V}_{\text{Kondensatmassenstrom (gemessen)}}}{\dot{V}_{\text{Kondensatmassenstrom (theor., max)}}$$

η_K = Kesselwirkungsgrad [%]

q_A = Abgasverlust [%]

q_S = Abstrahlungsverlust [%]

α = Kondensatzahl

H_s = Brennwert

H_i = Heizwert

Jahres-Nutzungsgrad von Heizkesseln mit konstanter Kesselwassertemperatur



Die Jahres-Nutzungsgradberechnung von Heizkesseln mit konstanter Kesselwassertemperatur wird entsprechend der folgenden Beziehung vorgenommen:

$$\eta_N = \frac{\eta_K}{\left(\frac{b}{b_{VK}} - 1 \right) \cdot q_B + 1}$$

nach VDI 2067

- η_N : Jahres-Nutzungsgrad
- η_K : Kesselwirkungsgrad
- b : Betriebsbereitschaftszeit
- b_{VK} : Jährliche Vollbenutzungsstunden des Heizkessels
- q_B : Betriebsbereitschaftsverlustfaktor (0,4 bis 5,5 %)
umso größer, je kleiner die Kesselleistung und je älter der Kessel ist)

Normnutzungsgrad:

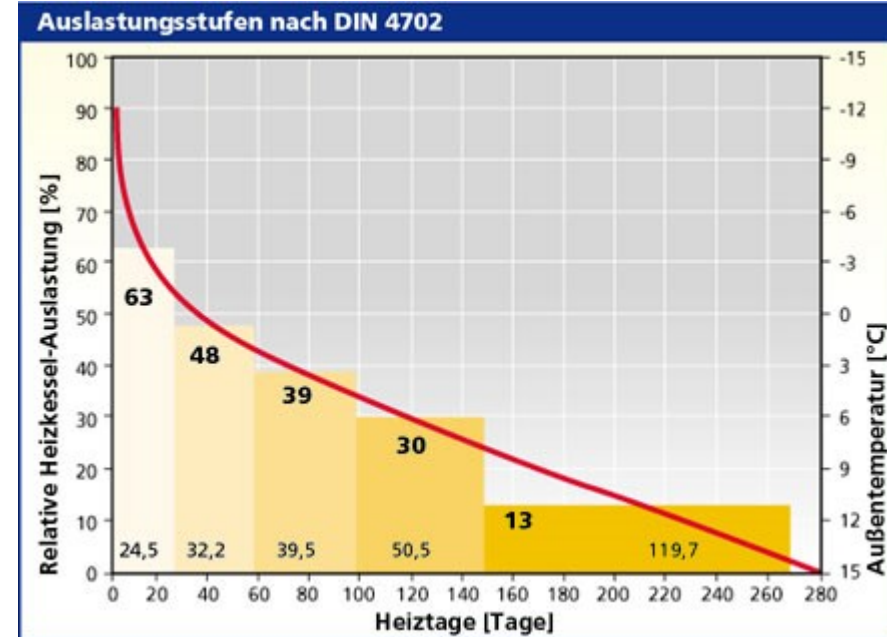
Normnutzungsgrad:

Dient zum Vergleich **verschiedener Kesseltypen**
 Bei fünf verschiedenen Auslastungen wird jeweils ein Teillast-Nutzungsgrad gemessen. Für jede Auslastung sind die Vor- und Rücklauftemperaturen der Auslegungs-Temperaturpaare 75 °C / 60 °C und 40 °C / 30 °C des Heizungskreislaufs festgelegt.

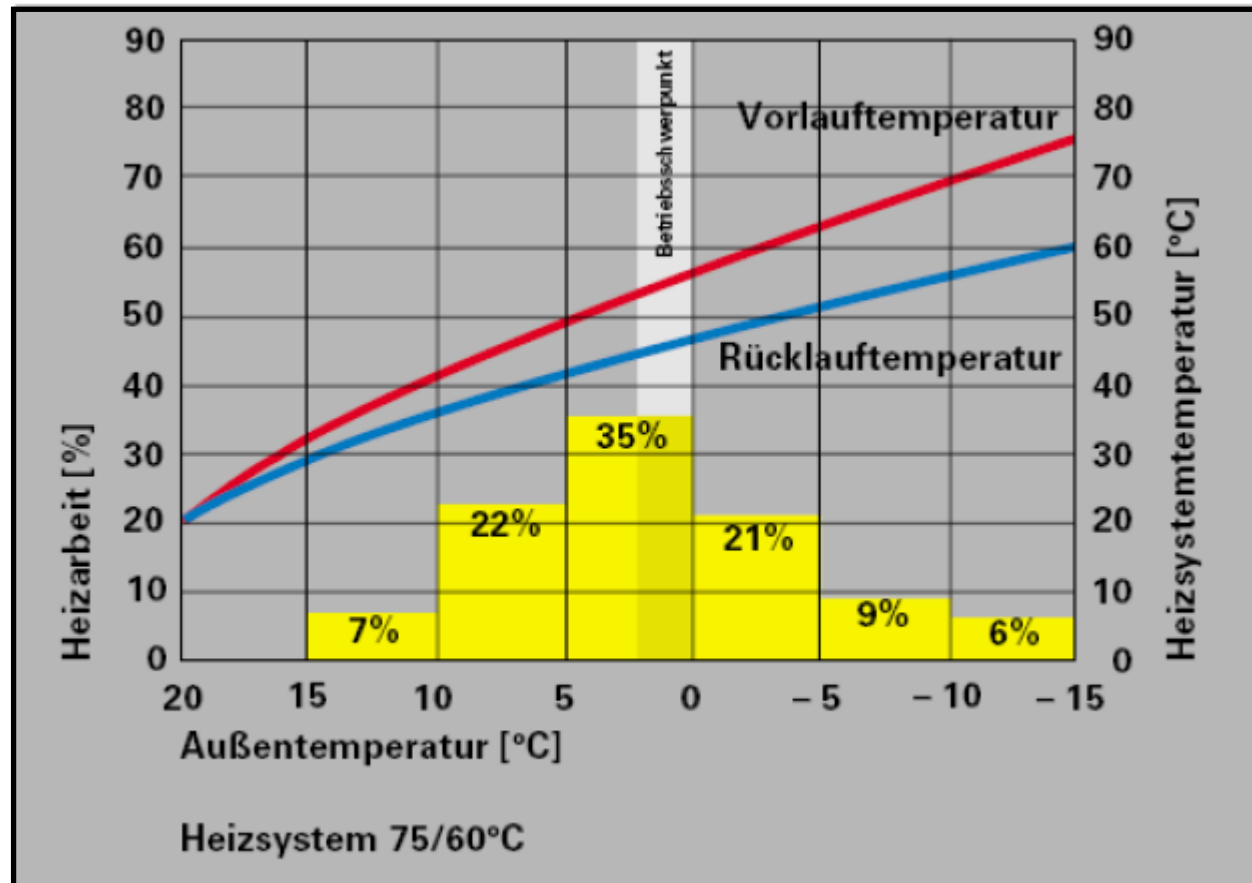
Aus den fünf Teillastnutzungsgraden wird dann der Norm-Nutzungsgrad η_N ermittelt

$$\eta_N = 5 \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^5 \frac{1}{\eta_i}}$$

Die Aufteilung der Messpunkte ist so gewählt, dass jedem Teillastpunkt über das Jahr dieselbe Heizarbeit zugeordnet ist



Mit einer relativen Heizkessel-Auslastung von 0 bis 50 % werden insgesamt etwa 85 bis 90% der Jahres-Heizarbeit erbracht. Dies ist hinsichtlich der Effizienz von Heizkesseln von großer Bedeutung.



Anteile der Heizarbeit in Abhängigkeit von der Außentemperatur

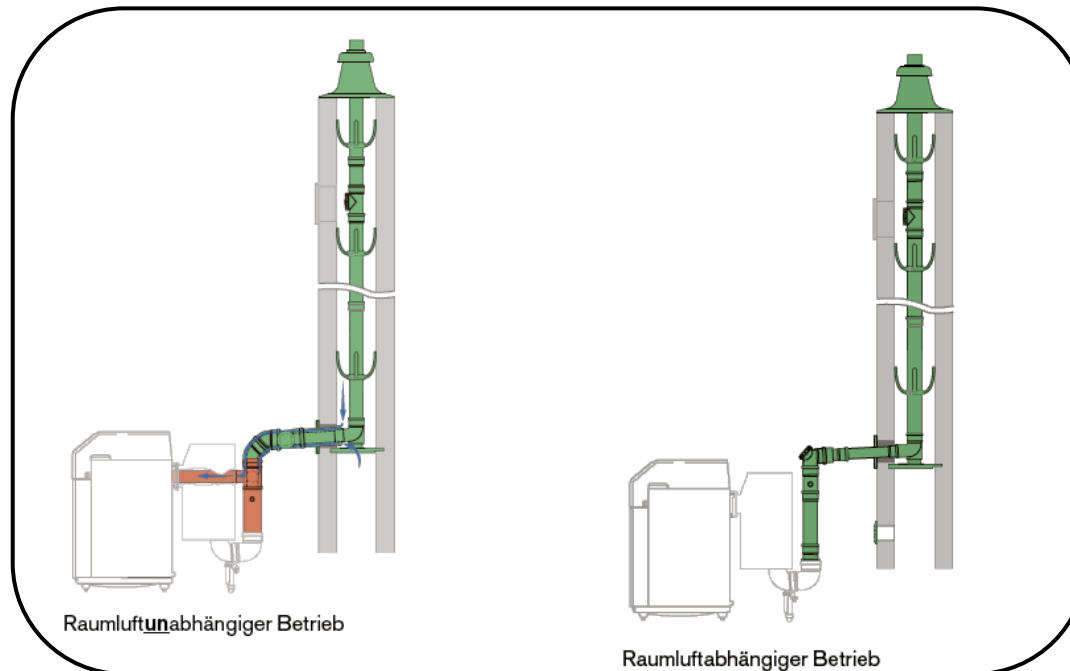
Über das Jahr betrachtet werden rund 64 % der Heizarbeit bei Außentemperaturen oberhalb von 0 °C benötigt. Nur etwa 6 % der Heizarbeit entfallen auf Tage, an denen die Außentemperaturen niedriger als -10°C sind.

Betriebsweise

Raumluftabhängige Betriebsweise

Die Verbrennungsluft wird aus dem Aufstellraum der Heizung bezogen.

Ein Nachströmen kalter Außenluft in den Aufstellraum bewirkt ein künstliches Temperaturgefälle zwischen Heizung und Aufstellraumluft. Dies führt zur Vergrößerung der Abstrahl- und Auskühlverluste. Die Verluste wachsen mit steigender Luftzahl.



Raumluftunabhängige Betriebsweise

Die Verbrennungsluft wird nicht aus dem Aufstellraum, sondern mittels einem LAS von außen bezogen. Die Verbrennungsluft ist also unabhängig von der Raumluft.