

# **Der kleine Formelhelfer Anlagenmechaniker SHK**

Eric Nagel  
Pädagoge, M. A.

3., durchgesehene Auflage

Handwerk und Technik – Hamburg

ISBN 978-3-582-31042-2

Best.-Nr: 31357

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Nutzung in anderen als den gesetzlich oder durch bundesweite Vereinbarungen zugelassenen Fällen bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlages. Die automatisierte Analyse des Werkes, um daraus Informationen insbesondere über Muster, Trends und Korrelationen gemäß § 44b UrhG („Text und Data Mining“) zu gewinnen, ist untersagt.

Die Verweise auf Internetadressen und -dateien beziehen sich auf deren Zustand und Inhalt zum Zeitpunkt der Drucklegung des Werks. Der Verlag übernimmt keinerlei Gewähr und Haftung für deren Aktualität oder Inhalt noch für den Inhalt von mit ihnen verlinkten weiteren Internetseiten.

Verlag Handwerk und Technik GmbH,  
Lademannbogen 135, 22339 Hamburg; Postfach 63 05 00, 22331 Hamburg – 2018  
E-Mail: [info@handwerk-technik.de](mailto:info@handwerk-technik.de) – Internet: [www.handwerk-technik.de](http://www.handwerk-technik.de)

Satz und Layout: Reemers Publishing Services GmbH, 47799 Krefeld  
Druck: Elbe Druckerei Wittenberg GmbH, 06886 Lutherstadt Wittenberg  
technische Zeichnungen: as-illustration Alexander Schmitt, 97222 Rimpar,  
S. 27.1; S. 31.1; S. 43.1; S. 45.1; S. 55.1 bis 3  
Grafische Produktionen Neumann, 97222 Rimpar, S. 42.1 bis 4

# Vorwort

Der kleine Formelhelfer ist eine Ergänzung zu Lehrbüchern, Tabellenbüchern und Formelsammlungen für den Beruf des Anlagenmechaniker SHK. Zur Berechnung zentraler Größen, angefangen mit „Abgasverlust“ bis hin zu „Wirkungsgrad“, sind die wichtigsten Formeln aufgenommen und nach jeder Berechnungsgröße umgestellt. Im Umstellen der Grundformel wird leider viel zu oft schon der erste Fehler gemacht, deshalb ist der Formelhelfer als Einstiegshilfe in die Berechnungen zu verstehen. Diese Sammlung ist seit vielen Jahren erfolgreich im Einsatz bei der Unterstützung von Auszubildenden zum Anlagenmechaniker SHK.

... und weil Übung den Meister macht, gibt es zu jeder Formel **Übungsaufgaben mit Lösungen** zur Selbstkontrolle **als Download** bei

**handwerk-technik.de**

**Artikelnummer D 31357111**

Viel Erfolg wünschen Ihnen

Autor und Verlag

# Inhaltsverzeichnis

## Seite

Abgasverlust .....	6
Arbeit .....	7
Ausflussvolumen .....	8
Außenluftvolumenstrom .....	9
Dichte .....	11
Drehmoment .....	12
Druck .....	12
Hydrostatischer Druck .....	13
Druckverlust .....	14
Einstellwert / Anschlusswert .....	16
Elektrotechnik: Ohmsches Gesetz, Widerstand von Leitern, Elektrische Arbeit, Elektrische Leistung, Reihen- und Parallelschaltung .....	17
Flächen .....	20
Gasgleichungen .....	22
Gefälle .....	24
Geschwindigkeit/Fließgeschwindigkeit .....	25
Gewichtskraft .....	25
Hebelgesetz .....	26
Heizkörperberechnung .....	26
<i>Heizwert / Brennwert siehe Wärmemenge</i>	
Hydraulische Presse .....	32
Kontinuitätsgesetz .....	32
Längenänderung .....	33
Luftverhältniszahl, Luftbedarf, Luftüberschuss .....	34

Masse .....	35
Mechanische Leistung .....	36
Mischtemperatur .....	37
Nennwärmeleistung / Nennwärmebelastung .....	38
Öldurchsatz .....	39
Pumpenleistung .....	40
Pythagoras .....	42
Rohrnetzkenlinie .....	43
Schmelzen und Verdampfen .....	44
Schnittgeschwindigkeit / Umfangsgeschwindigkeit .....	46
Ventilatorleistung .....	46
Volumen .....	47
Volumenstrom .....	48
Wärmedurchgang .....	49
Wärmeleistung .....	50
Wärmemenge .....	52
Wärmepumpe Leistungszahl .....	54
Winkelfunktionen .....	55
Wirkungsgrad .....	56

# Abgasverlust

$$q_A = (\theta_A - \theta_L) \cdot \left( \frac{A}{21 - O_2} + B \right)$$

$q_A$ : Abgasverlust in %  
 $\theta_A$ : Temperatur Abgas in °C  
 $\theta_L$ : Temperatur  
 Verbrennungsluft in °C  
 A und B: Beiwerte (Tabelle)  
 $O_2$ :  $O_2$ -Gehalt  
 ( $\theta$  oder  $\vartheta$  bedeutet „klein theta“)

Beiwerte	Heizöl EL	Naturgase	Flüssiggase
A	0,68	0,66	0,63
B	0,007	0,009	0,008

Brennstoffspezifische Faktoren  
 (aus 3137, Fachkenntnisse 2)

Oder:

## - $CO_2$ -Messung

$$q_A = (\theta_A - \theta_L) \cdot \left( \frac{A_1}{CO_2} + B \right)$$

$q_A$ : Abgasverlust in %  
 $\theta_A$ : Temperatur Abgas in °C  
 $\theta_L$ : Temperatur Verbrennungs-  
 luft in °C

## - O<sub>2</sub>-Messung

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

$A_1$   
 $A_2$  } Beiwerte (Tabellenwert)  
 $B$   
 $CO_2$ : CO<sub>2</sub>-Gehalt  
 $O_2$ : O<sub>2</sub>-Gehalt

## Berechnungsbeiwerte A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> und B

Beiwerte	Heizöl	Stadtgas	Erdgas	Flüssiggas
A <sub>1</sub>	0,50	0,35	0,37	0,42
A <sub>2</sub>	0,68	0,63	0,66	0,63
B	0,007	0,011	0,009	0,008

## Arbeit

$$W = F \cdot s$$

$$F = \frac{W}{s}$$

$$s = \frac{W}{F}$$

W: Arbeit in Nm

F: Kraft in N

s: Weg in m

### TIPP:

$$N = kg \cdot m/s^2$$

$$1Nm = 1 J$$

$$Nm \xrightarrow{:1000} kJ$$

$$F = m \cdot g$$

m: Masse in kg

g: Erd- oder Fallbeschleunigung  
in m/s<sup>2</sup>

(auf der Erde gilt  $g \approx 9,81 \text{ m/s}^2$ )

# Ausflussvolumen

$$V = A \cdot v \cdot t$$

$$A = \frac{V}{v \cdot t}$$

$$v = \frac{V}{A \cdot t}$$

$$t = \frac{V}{A \cdot v}$$

$$V = \dot{V} \cdot t$$

$$\dot{V} = \frac{V}{t}$$

$$t = \frac{V}{\dot{V}}$$

$V$ : Ausflussvolumen in  $\text{m}^3$

$A$ : Fläche, Strömungsquerschnitt  
in  $\text{m}^2$

$v$ : Fließgeschwindigkeit in  $\text{m/s}$

$t$ : Zeit in  $\text{s}$

$\dot{V}$ : Volumenstrom in  $\text{m}^3/\text{s}$

**TIPP:**

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$$

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$



# Außenluftvolumenstrom

## - nach Luftwechselzahl

$$LW = \frac{\dot{V}_{AUL}}{V_{RAUM}}$$

$$\dot{V}_{AUL} = LW \cdot V_{RAUM}$$

$$V_{RAUM} = \frac{\dot{V}_{AUL}}{LW}$$

oder:

$$\beta = \frac{\dot{V}_{AUL}}{V_R}$$

$$\dot{V}_{AUL} = \beta \cdot V_R$$

$$V_R = \frac{\dot{V}_{AUL}}{\beta}$$

$\dot{V}_{AUL}$ : Außenluftvolumenstrom in m<sup>3</sup>/h

$V_{RAUM}$  oder  $V_R$ : Volumen des Raumes in m<sup>3</sup>

LW oder  $\beta$ : Luftwechselzahl in 1/h (Tabelle)

## - nach Außenluftrate

$$\dot{V}_{AUL} = n \cdot AR$$

$$AR = \frac{\dot{V}_{AUL}}{n}$$

$$n = \frac{\dot{V}_{AUL}}{AR}$$

$\dot{V}_{AUL}$ : Außenluftvolumenstrom in m<sup>3</sup>/h

$n$ : Anzahl der Personen

AR: Mindest-Außenluftrate (Tabelle)

## - nach Fläche

$$\dot{V}_{AUL} = A \cdot AR$$

$$A = \frac{\dot{V}_{AUL}}{AR}$$

$$AR = \frac{\dot{V}_{AUL}}{A}$$

$\dot{V}_{AUL}$ : Außenluftvolumenstrom in m<sup>3</sup>/h

$A$ : Fläche in m<sup>2</sup>

AR: Mindest-Außenluftrate (Tabelle)

Luftwechselzahl LW für verschiedene Räume (Erfahrungswerte)  $LW = \frac{\dot{V}_{AUL}}{V_{RAUM}}$

Raumart	Luftwechsel in 1/h
Ausstellungshalle	2...3
Arbeitsraum	3...7
Bibliothek	4...6
Büroraum	3...6
Computerraum	10...40
Duschraum	10...25
Flur	1...4
Garage	4...10
Gaststätte Nichtraucher	5...10
Gaststätte Raucher	6...12
Hörsaal	7...9
Hotelzimmer	3...5
Kino, Theater	4...6
Klassenraum	3...6
Kopierraum	10...20
Küche	8...25
Lackierraum	10...40
Montagehalle	4...9
Maschinenraum	10...40
Speiseraum	6...8
Sporthalle	3...6
Schweißarbeitsraum	15...30
Tagungsraum	5...10
Toilette Büro	5...8
Toilette Fabrik	8...10
Toilette Schule	5...8
Toilette öffentlich	10...15
Umkleideraum	6...10
Versammlungsraum	5...10
Werkhalle groß	2...3

Werkhalle klein	2...4
Werkstatt	3...6
Werkstatt mit Belastung	6...12

(aus 3130, Tabellenbuch)

Empfohlene Luftwechselzahlen  $\beta$

Raumart	$\beta$ in 1/h
Wohnräume nach WSVÖ 1995	0,3.....0,8
Toiletten in Wohnungen	2...4
Toiletten in Bürogebäuden	3....6
Ausstellungshallen	2...3
Büroräume	4...8
EDV-Anlagen	30 und mehr
Farbspritzräume	20...50
Gasträume, Restaurants:	
Raucher	6...12
Nichtraucher	4....8
Wohnungsküchen	8...20
Mittel- und Großküchen	15...20
Verkaufsräume	4...8
Schulen, Klassenräume	4...5
Schulen, Turnhallen	2...3
Kaufhäuser	4...6
Werkstätten	3...6
Versammlungsräume	5...10

## Bestimmung des Außenluftvolumenstroms (ODA) für größere Räume nach DIN EN 13779 : 2007-09

Raumart	Raumbeispiel	personenbezogener AUL-Volumenstrom in m³/h	flächenbezogener AUL-Volumenstrom in m³/m² · h
Arbeitsräume	Einzelbüro	40	4
	Großraumbüro	60	6
Versammlungsräume	Konzertsaal Theater Konferenzraum	20	10 bis 20
Unterrichtsräume	Lesesaal	20	12
	Unterrichtsraum	30	15
Räume mit Publikumsverkehr	Verkaufsraum	20	3 bis 12
	Gaststätte	30	8

(aus 3130, Tabellenbuch)

## Dichte

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = V \cdot \rho$$

$$V = \frac{m}{\rho}$$

$\rho$ : Dichte in kg/dm³

$m$ : Masse in kg

$V$ : Volumen in dm³

( $\rho$  oder  $\varrho$  bedeutet „roh“)

## Die Dichte ausgewählter Stoffe:

Feste Stoffe	$\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$	Flüssige Stoffe	$\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$	Gasförmige Stoffe	$\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$
Aluminium	2,7	Wasser	(bei 4 °C) 1,0	Luft (bei 0 °C; 1013 mbar)	1,293
Blei	11,34	Benzin	0,72	Sauerstoff	1,429
Kupfer	8,9	Heizöl	EL 0,84	Erdgas L – H	0,7–0,84
Stahl	7,85			Kohlendioxid	1,977
Zink	7,2			Kohlenmonoxid	1,250
Zinn	7,28				
PVC	1,4				
PE	0,92 bis 0,95				

(aus 3135, Grundkenntnisse)

## Drehmoment

$$M = F \cdot l \text{ oder } M = F \cdot \frac{d}{2}$$

$$F = \frac{M}{l} \text{ oder } F = \frac{M \cdot 2}{d}$$

$$l = \frac{M}{F} \text{ oder } d = \frac{M \cdot 2}{F}$$

$M$ : Drehmoment in Nm

$F$ : Kraft in N

$l$ : Länge Hebel in m

$d$ : Durchmesser in m

**TIPP:**  $F = m \cdot g$

$F$ : Kraft in N

$m$ : Masse in kg

$g$ : Erd- oder Fallbeschleunigung in m/s<sup>2</sup>  
(auf der Erde gilt  $g \approx 9,81 \text{ m/s}^2$ )

## Druck

$$p = \frac{F}{A} \quad F = p \cdot A \quad A = \frac{F}{p}$$

$$p_e = p_{\text{abs}} - p_{\text{amb}} \quad p_{\text{amb}} = p_{\text{abs}} - p_e$$

$$p_{\text{abs}} = p_{\text{amb}} + p_e$$

$p$ : Druck in N/m<sup>2</sup> = Pa

$F$ : Kraft in N

$A$ : Fläche in m<sup>2</sup>

**TIPP:**

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \quad d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$F = m \cdot g$$

$p_e$ : Überdruck in bar

$p_{\text{abs}}$ : Absoluter Druck in bar

$p_{\text{amb}}$ : Umgebungsdruck in bar  $\approx 1 \text{ bar}$

## Umrechnungen Druck

$$\text{bar} \begin{matrix} \xleftarrow{\cdot 1000} \\ \xrightarrow{\cdot 1000} \end{matrix} \text{mbar}$$

$$\text{bar} \begin{matrix} \xleftarrow{\cdot 10} \\ \xrightarrow{\cdot 10} \end{matrix} \text{N/cm}^2$$

$$\text{bar} \begin{matrix} \xleftarrow{\cdot 100.000} \\ \xrightarrow{\cdot 100.000} \end{matrix} \text{Pa}$$

$$\text{Pa} \begin{matrix} \xleftarrow{\cdot 100} \\ \xrightarrow{\cdot 100} \end{matrix} \text{mbar}$$

$$\text{Pa} \xRightarrow{\text{gleich}} \text{N/m}^2$$

$$\text{Pa} \begin{matrix} \xleftarrow{\cdot 10.000} \\ \xrightarrow{\cdot 10.000} \end{matrix} \text{N/cm}^2$$

$$\text{N/cm}^2 \begin{matrix} \xleftarrow{\cdot 100} \\ \xrightarrow{\cdot 100} \end{matrix} \text{mbar}$$

$$\text{N/cm}^2 \begin{matrix} \xleftarrow{\cdot 10.000} \\ \xrightarrow{\cdot 10.000} \end{matrix} \text{N/m}^2$$

$$\text{hPa} \begin{matrix} \xleftarrow{\cdot 100} \\ \xrightarrow{\cdot 100} \end{matrix} \text{Pa}$$

$$\text{hPa} \xRightarrow{\text{gleich}} \text{mbar}$$

$$\text{N/m}^2 \begin{matrix} \xleftarrow{\cdot 100} \\ \xrightarrow{\cdot 100} \end{matrix} \text{mbar}$$

$$\text{N/m}^2 \begin{matrix} \xleftarrow{\cdot 100.000} \\ \xrightarrow{\cdot 100.000} \end{matrix} \text{bar}$$

## Hydrostatischer Druck

oder:

$$p_e = \rho \cdot g \cdot h$$

$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

$\rho$ : Dichte in  $\text{kg/m}^3$  ( $\rho$  oder  $\varrho$  bedeutet „rho“)

$g$ : Fallbeschleunigung =  $9,81 \text{ m/s}^2 \approx 10 \text{ m/s}^2$

$h$ : Höhe in m

$$h = \frac{p_e}{\rho \cdot g}$$

$$h = \frac{p}{\rho \cdot g}$$

$$g = \frac{p_e}{\rho \cdot h}$$

$$g = \frac{p}{\rho \cdot h}$$

$$\rho = \frac{p_e}{h \cdot g}$$

$$\rho = \frac{p}{h \cdot g}$$

### TIPP:

10 Meter Wassersäule  $\approx 1 \text{ bar}$

1 Meter Wassersäule  $\approx 0,1 \text{ bar}$

(Dichtetabelle siehe Seite 11)

$p_e$  oder  $p$ : hydrostatischer Druck in Pa

# Druckverlust

$$Z = \sum \zeta \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}$$

Z: Druckverlust durch Einzelwiderstände in Pa

$\rho$ : Dichte in kg/m<sup>3</sup> ( $\rho$  oder  $\varrho$  bedeutet „rho“)

v: Fließgeschwindigkeit in m/s

$\zeta$ : Beiwert

( $\Sigma$  bedeutet „Summe aus“)

## TIPP:



$\rho$ : 1kg/dm<sup>3</sup> = 1000kg/m<sup>3</sup>

Pa  $\xrightarrow{:100}$  mbar

## Widerstandsbeiwerte $\zeta$ von Einzelwiderständen

Einzelwiderstände	ζ-Wert			
Armaturen				
Nennweite DN	10 15	20 25	32 40	50 > 50
Schieber	1,0	0,5	0,3	0,3
Ventile, Geradesitzventil	10,0	7,0	5,0	4,0
Schrägsitzventil	3,5	3,0	2,5	2,0
Eckventil	4,0	2,0	2,0	1,5
Heizkörperventile, Durchgangsventil	8,5	6,0	5,0	4,0
Eckventil	4,0	2,0	2,0	–
Rücklaufverschraubung	2,0	1,5	1,0	–
Rückschlagventil	5,0	4,0	4,0	3,5
Rückschlagklappe	2,0	1,5	1,2	1,0
Kugelhahn	0,4	0,6	1,0	1,0

## Widerstandsbeiwerte $\zeta$ von Einzelwiderständen

Einzelwiderstände		ζ-Wert	
Rückflussverhinderer		DN 15 – DN 20	7,7
		DN 25 – DN 40	4,3
		DN 50	3,8
Absperrventil mit integriertem Rückflussverhinderer		DN 20	6,0
		DN 25 – DN 50	5,0
Druckminderer voll geöffnet		30,0	
Kompensator		2,0	
Rohrformteile			
90°-Bogen		0,5	
Etagenbogen		0,5	
Hosen-T		1,5	
Überbogen		1,0	
T-Stück Vereinigung		0,5	
Durchgang		0,5	
Abzweig		1,0	
T-Stück Trennung		0	
Durchgang		0,5	
Abzweig		1,5	
T-Stück Gegenlauf		3,0	
Sonstige Einbauteile			
Heizkessel		2,5	
Heizkörper		2,5	
Verteiler	Eintritt	1,0	
	Austritt	0,5	
Speicher-Trinkwassererwärmer		2,5	

(aus: 3136, Fachkenntnisse 1)

## Einstellwert / Anschlusswert

### Einstellwert:

$$\dot{V}_E = \frac{\Phi_{NB}}{H_{i,B}}$$

$$\Phi_{NB} = \dot{V}_E \cdot H_{i,B}$$

$$H_{i,B} = \frac{\Phi_{NB}}{\dot{V}_E}$$

$\dot{V}_E$ : Einstellwert in l/min  
 $\Phi_{NB}$  oder  $\dot{Q}_{NB}$ : Nennwärmebelastung in kW  
 $H_{i,B}$ : Betriebsheizwert in kWh/m<sup>3</sup>  
 $\dot{V}_A$ : Anschlusswert in m<sup>3</sup>/h  
( $\Phi$  bedeutet „groß Phi“)

### Anschlusswert:

$$\dot{V}_A = \frac{\Phi_{NB}}{H_{i,B}}$$

$$\Phi_{NB} = \dot{V}_A \cdot H_{i,B}$$

$$H_{i,B} = \frac{\Phi_{NB}}{\dot{V}_A}$$



# Elektrotechnik

## Ohmsches Gesetz

$$U = R \cdot I$$

$$I = \frac{U}{R}$$

$$R = \frac{U}{I}$$

$U$ : Spannung in V

$R$ : Widerstand in  $\Omega$

$I$ : Stromstärke in A

## Widerstand von Leitern

$$R_k = \frac{\rho \cdot l}{A} \quad \text{oder} \quad R_k = \frac{\rho \cdot l}{q}$$

$$l = \frac{R_k \cdot A}{\rho} \quad \text{oder} \quad l = \frac{R_k \cdot q}{\rho}$$

$$\rho = \frac{R_k \cdot A}{l} \quad \text{oder} \quad \rho = \frac{R_k \cdot q}{l}$$

$$A = \frac{\rho \cdot l}{R_k} \quad \text{oder} \quad q = \frac{\rho \cdot l}{R_k}$$

$R_k$ : Leiterwiderstand in  $\Omega$

$\rho$ : spezifischer elektrischer Widerstand (Tabellenwert)

$l$ : Leiterlänge in m

$A$  oder  $q$ : Fläche in  $\text{m}^2$

Spezifischer Widerstand $\rho$ in $\Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$			
Silber	0,016	Eisen	0,1
Elektro-Kupfer	0,0175	Chrom-Nickel-Stahl	1,1

### TIPP:

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \quad d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}}$$

## Elektrische Arbeit

$$W = P \cdot t$$

$$P = \frac{W}{t}$$

$$t = \frac{W}{P}$$

$$W = U \cdot I \cdot t$$

$$U = \frac{W}{I \cdot t} \quad I = \frac{W}{U \cdot t} \quad t = \frac{W}{U \cdot I}$$

$W$ : Elektrische Arbeit in Wh  
 $P$ : Elektrische Leistung in W  
 $t$ : Zeit in h  
 $U$ : Spannung in V  
 $I$ : Stromstärke in A

## Elektrische Leistung

$$P = U \cdot I$$

$$U = \frac{P}{I}$$

$$I = \frac{P}{U}$$

$$P = I^2 \cdot R$$

$$P = \frac{U^2}{R}$$

$P$ : Elektrische Leistung in W  
 $U$ : Spannung in V  
 $I$ : Stromstärke in A  
 $R$ : Widerstand in  $\Omega$

## Reihenschaltung

$$U_{\text{ges}} = U_1 + U_2 + U_3 \dots$$

$$R_{\text{ges}} = R_1 + R_2 + R_3 \dots$$

$$I_{\text{ges}} = I_1 = I_2 = I_3 \dots$$

$U_{\text{ges}}$ : Spannung in V  
 $R_{\text{ges}}$ : Widerstand in  $\Omega$   
 $I_{\text{ges}}$ : Stromstärke in A

## Parallelschaltung

$$U_{\text{ges}} = U_1 = U_2 = U_3 \dots$$

$$\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \dots$$

Bei zwei Widerständen:

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_{\text{ges}} = I_1 + I_2 + I_3 \dots$$

**TIPP:**

Bruch gleichnamig machen!

# Flächen

## Quadrat

$$A = l^2$$

$$l = \sqrt{A}$$

A: Fläche in m<sup>2</sup>

l : Länge in m

b: Breite in m

h: Höhe in m

d: Durchmesser in m

$\pi \hat{=} 3,14$  ( $\pi$  bedeutet „Pi“)

## Rechteck

$$A = l \cdot b$$

$$b = \frac{A}{l}$$

$$l = \frac{A}{b}$$

## Parallelogramm

$$A = l \cdot b$$

$$b = \frac{A}{l}$$

$$l = \frac{A}{b}$$

## Dreieck

$$A = \frac{l \cdot b}{2} \text{ oder } A = \frac{l \cdot h}{2}$$

$$l = \frac{A \cdot 2}{b} \text{ oder } l = \frac{A \cdot 2}{h}$$

$$b = \frac{A \cdot 2}{l} \text{ oder } h = \frac{A \cdot 2}{l}$$

# Flächen

Trapez

$$A = \frac{l_1 + l_2}{2} \cdot b$$

Kreis

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$$

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

oder:

$$A = r^2 \cdot \pi$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

Mantelfläche Rohr

$$A_M = D \cdot \pi \cdot h$$

$A_M$ : Mantelfläche

$D$ : Außendurchmesser

$h$ : Höhe oder Länge des Rohres

**TIPP:**

$$d = D - (2 \cdot s)$$

$$D = d + (2 \cdot s)$$

$d$ : Innendurchmesser

$s$ : Wandstärke des Rohres

# Gasgleichungen

## Allgemein:

$$\frac{p_{\text{abs},1} \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_{\text{abs},2} \cdot V_2}{T_2}$$

$$p_{\text{abs},1} = \frac{T_1 \cdot p_{\text{abs},2} \cdot V_2}{T_2 \cdot V_1} \quad p_{\text{abs},2} = \frac{T_2 \cdot p_{\text{abs},1} \cdot V_1}{T_1 \cdot V_2}$$

$$T_1 = \frac{p_{\text{abs},1} \cdot V_1 \cdot T_2}{p_{\text{abs},2} \cdot V_2} \quad T_2 = \frac{p_{\text{abs},2} \cdot V_2 \cdot T_1}{p_{\text{abs},1} \cdot V_1}$$

$$V_1 = \frac{p_{\text{abs},2} \cdot V_2 \cdot T_1}{p_{\text{abs},1} \cdot T_2} \quad V_2 = \frac{p_{\text{abs},1} \cdot V_1 \cdot T_2}{p_{\text{abs},2} \cdot T_1}$$

$p_{\text{abs}, 1 \text{ oder } 2}$ : absoluter Druck in bar  
oder Pa (Pascal)  
 $T_{1 \text{ oder } 2}$ : Temperatur in K (Kelvin)  
 $V_{1 \text{ oder } 2}$ : Gasvolumen  
in m<sup>3</sup> oder dm<sup>3</sup>

### TIPP:

$$^{\circ}\text{C} + 273 \rightarrow \text{K}$$

$$\text{K} - 273 \rightarrow ^{\circ}\text{C}$$

## Gasgleichung bei konstantem Druck

$$V_1 \cdot T_2 = V_2 \cdot T_1$$

$$V_1 = \frac{T_1}{T_2} \cdot V_2 \quad V_2 = \frac{T_2}{T_1} \cdot V_1$$

$$T_1 = \frac{V_1}{V_2} \cdot T_2 \quad T_2 = \frac{V_2}{V_1} \cdot T_1$$

$V_{1 \text{ oder } 2}$ : Gasvolumen in m<sup>3</sup>  
 $T_{1 \text{ oder } 2}$ : Temperatur in K

## Gasgleichung bei konstantem Volumen

$$p_1 \cdot T_2 = p_2 \cdot T_1$$

$p_{\text{abs, 1 oder 2}}$ : absoluter Druck in bar  
oder Pa (Pascal)

$T_{\text{1 oder 2}}$ : Temperatur in K (Kelvin)

$$p_{\text{abs, 1}} = \frac{T_1}{T_2} \cdot p_{\text{abs, 2}} \quad p_{\text{abs, 2}} = \frac{T_2}{T_1} \cdot p_{\text{abs, 1}}$$

$$T_1 = \frac{p_{\text{abs, 1}}}{p_{\text{abs, 2}}} \cdot T_2 \quad T_2 = \frac{p_{\text{abs, 2}}}{p_{\text{abs, 1}}} \cdot T_1$$

## Gasgleichung bei konstanter Temperatur

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

$p_{\text{abs, 1 oder 2}}$ : absoluter Druck in bar  
oder Pa (Pascal)

$V_{\text{1 oder 2}}$ : Gasvolumen in m<sup>3</sup>

$$p_{\text{abs, 1}} = \frac{V_2}{V_1} \cdot p_{\text{abs, 2}} \quad p_{\text{abs, 2}} = \frac{V_1}{V_2} \cdot p_{\text{abs, 1}}$$

$$V_1 = \frac{p_{\text{abs, 2}}}{p_{\text{abs, 1}}} \cdot V_2 \quad V_2 = \frac{p_{\text{abs, 1}}}{p_{\text{abs, 2}}} \cdot V_1$$

## Gefälle

$$I_R = \frac{h}{l} \text{ oder } I_R = \frac{\Delta h}{l}$$

$$h = I_R \cdot l \text{ oder } \Delta h = I_R \cdot l$$

$$l = \frac{h}{I_R} \text{ oder } l = \frac{\Delta h}{I_R}$$

$$I\% = \frac{h}{l} \cdot 100\% \text{ oder } I\% = \frac{\Delta h}{l} \cdot 100\%$$

$$h = \frac{I\% \cdot l}{100\%} \text{ oder } \Delta h = \frac{I\% \cdot l}{100\%}$$

$$l = \frac{100\% \cdot h}{I\%} \text{ oder } l = \frac{100\% \cdot \Delta h}{I\%}$$

$I_R$ : Relativgefälle  
 $h$  oder  $\Delta h$ : Höhenunterschied in m  
 $l$ : Grundlänge in m

$I\%$ : Prozentgefälle  
 $h$  oder  $\Delta h$ : Höhenunterschied in m  
 $l$ : Grundlänge in m



## Geschwindigkeit / Fließgeschwindigkeit

$$v = \frac{s}{t}$$

$$s = v \cdot t$$

$$t = \frac{s}{v}$$

$v$ : Geschwindigkeit / Fließgeschwindigkeit in m/s  
 $s$ : Strecke in m  
 $t$ : Zeit in s

## Gewichtskraft

$$F_g = m \cdot g$$

$$m = \frac{F_g}{g}$$

$$g = \frac{F_g}{m}$$

$F_g$ : Gewichtskraft in N  
 $m$ : Masse in kg  
 $g$ : Erdbeschleunigung  $9,81 \text{ m/s}^2$  oder  $\approx 10 \text{ m/s}^2$

**TIPP:**

$\text{kg} \cdot \text{m/s}^2 = \text{N}$

Allgemein:

$$F_g = m \cdot a$$

$$m = \frac{F_g}{a}$$

$$a = \frac{F_g}{m}$$

$a$ : Beschleunigung in  $\text{m/s}^2$

## Hebelgesetz

$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$$

$F_1, F_2, F_3$ : Kräfte in N  
 $l_1, l_2, l_3$ : Länge in m

$$F_1 = \frac{F_2 \cdot l_2}{l_1} \quad F_1 = \frac{F_2 \cdot l_2 + F_3 \cdot l_3}{l_1}$$

$$l_1 = \frac{F_2 \cdot l_2}{F_1} \quad l_1 = \frac{F_2 \cdot l_2 + F_3 \cdot l_3}{F_1}$$

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot l_1}{l_2} \quad F_2 = \frac{F_1 \cdot l_1 + F_3 \cdot l_3}{l_2}$$

$$l_2 = \frac{F_1 \cdot l_1}{F_2} \quad l_2 = \frac{F_1 \cdot l_1 + F_3 \cdot l_3}{F_2}$$

## Heizkörperberechnung

### – Flachheizkörper

1.  $A = l \cdot b$   
(Fläche des Raumes berechnen)
2.  $Q_{HL} = q \cdot A$   
(W/m<sup>2</sup> · Fläche des Raumes)

$A$ : Fläche in m<sup>2</sup>  
 $l$ : Länge Raum in m  
 $b$ : Breite Raum in m

3. BRH – 17cm  $\Rightarrow$  max. HK-Höhe  
Fensterische – 0,25 m  $\Rightarrow$   
max. HK-Länge
4.  $Q_s = Q_{HL} \cdot f_1$  oder  $f_T$  (Watt  $\cdot f_1$  oder  $f_T$   
(Tabelle)  $\cdot f_2$  (falls gewünscht)
5.  $Q_L = \frac{\Phi_s}{\text{max. HK} - \text{Länge}}$   
(Watt : max. HK-Länge = W/m)
6.  $\frac{Q_L}{2}$  (Bei 2 Fensterischen: W/m : 2)
7. Heizkörper aussuchen

BRH: Brüstungshöhe in cm

$Q_{HL}$ : Normheizlast in W

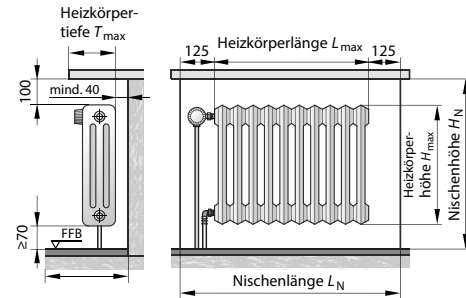
$q$ : notwendige Heizleistung in W/m<sup>2</sup>

$Q_s$ : Norm-Wärmeleistung in W

$f_1$  oder  $f_T$ : Temperaturkorrekturfaktor

$f_2$ : Leistungsminderungsfaktor

$Q_L$ : Norm-Wärmeleistung des  
Moduls in W/m



(aus: 3136, Fachkenntnisse 1)

# Heizkörperberechnung

## – Handtuchheizkörper

1.  $A = l \cdot b$  (Fläche Raum berechnen)
2.  $Q_{HL} = q \cdot A$  ( $W/m^2 \cdot$  Fläche Raum)
3.  $Q_s = Q_{HL} \cdot f_1 \cdot f_2$  (Watt  $\cdot f_1$  (Tabelle)  $\cdot f_2$  (falls gewünscht)  
( $f_1$  nur bei abweichenden Systemtemperaturen)
4. Heizkörper aussuchen

Vorlauf- temperatur $\phi_V$ in °C	Rücklauf- temperatur $\phi_R$ in °C	Norm-Innentemperatur $\phi_i$ in °C						
		10	12	15	18	20	22	24
90	80	0,59	0,61	0,64	0,68	0,71	0,74	0,77
	75	0,62	0,64	0,68	0,72	0,75	0,78	0,82
	70	0,65	0,67	0,72	0,76	0,80	0,83	0,87
	65	0,68	0,71	0,76	0,81	0,85	0,89	0,93
	60	0,72	0,76	0,81	0,87	0,91	0,96	1,01
	55	0,77	0,81	0,87	0,93	0,98	1,04	1,10
	50	0,83	0,87	0,93	1,01	1,07	1,14	1,21

Vorlauf- temperatur $\phi_V$ in °C	Rücklauf- temperatur $\phi_R$ in °C	Norm-Innentemperatur $\phi_i$ in °C						
		10	12	15	18	20	22	24
85	75	0,64	0,67	0,71	0,75	0,79	0,82	0,86
	70	0,68	0,70	0,75	0,80	0,83	0,88	0,92
	65	0,72	0,75	0,80	0,85	0,89	0,94	0,99
	60	0,76	0,79	0,85	0,91	0,96	1,01	1,07
	55	0,81	0,85	0,91	0,98	1,04	1,10	1,16
	50	0,87	0,91	0,98	1,07	1,13	1,21	1,29
80	70	0,71	0,74	0,79	0,84	0,88	0,93	0,97
	60	0,80	0,83	0,89	0,96	1,01	1,07	1,13
	50	0,91	0,96	1,04	1,13	1,20	1,28	1,37
	40	1,07	1,14	1,25	1,39	1,50	1,63	1,78
75	65	0,79	0,82	0,88	0,95	1,00	1,05	1,12
	60	0,84	0,88	0,94	1,02	1,08	1,14	1,21
	55	0,89	0,94	1,01	1,10	1,17	1,24	1,32
	50	0,96	1,01	1,10	1,20	1,28	1,37	1,47
70	60	0,88	0,93	1,00	1,08	1,15	1,22	1,30
	55	0,94	0,99	1,08	1,17	1,25	1,33	1,42
	50	1,01	1,07	1,17	1,28	1,37	1,47	1,58
65	55	1,00	1,05	1,15	1,26	1,34	1,43	1,54
	50	1,08	1,14	1,25	1,37	1,47	1,59	1,71
	45	1,17	1,24	1,37	1,52	1,64	1,78	1,94

Vorlauf- temperatur $\phi_V$ in °C	Rücklauf- temperatur $\phi_R$ in °C	Norm-Innentemperatur $\phi_i$ in °C						
		10	12	15	18	20	22	24
60	55	1,07	1,13	1,23	1,36	1,45	1,56	1,68
	50	1,15	1,22	1,34	1,48	1,60	1,73	1,87
	45	1,25	1,33	1,47	1,65	1,78	1,94	2,13
	40	1,37	1,47	1,64	1,86	2,03	2,24	2,50
55	50	1,23	1,31	1,45	1,62	1,75	1,90	2,07
	45	1,34	1,43	1,60	1,80	1,96	2,15	2,37
	40	1,47	1,59	1,78	2,03	2,24	2,48	2,78
	35	1,64	1,78	2,03	2,36	2,64	2,99	3,43
50	45	1,45	1,56	1,75	1,98	2,17	2,40	2,67
	40	1,60	1,73	1,96	2,25	2,50	2,79	3,15
	35	1,78	1,94	2,24	2,63	2,96	3,38	3,92
	30	2,03	2,24	2,64	3,20	3,70	4,39	5,39
45	40	1,75	1,90	2,17	2,53	2,83	3,19	3,66
	35	1,96	2,15	2,50	2,96	3,37	3,89	4,58
	30	2,24	2,48	2,96	3,63	4,25	5,11	6,38
	25	2,64	2,99	3,70	4,84	6,08	8,26	13,93

Tabelle 2 Korrekturfaktor  $f_1$  oder  $f_T$  bei abweichenden Auslegungstemperaturen auf Grundlage von DIN EN 442, Heizkörper Exponent  $n = 1,3$   
(aus: 3136, Fachkenntnisse 1)

## – Stahlradiator

1. Höhe/Tiefe  $\Rightarrow$  Tabelle 3  $\Rightarrow \phi_L$  W/Glied
2.  $Q_{HL} = Q_L \cdot n$  ( $n$  = Anzahl der Glieder)
3. Systemtemperaturen (Tabelle 1)  $\Rightarrow f_1$
4.  $Q_s = Q_{HL} \cdot f_1 \cdot f_2$  (falls gewünscht)
5. Heizkörper aussuchen

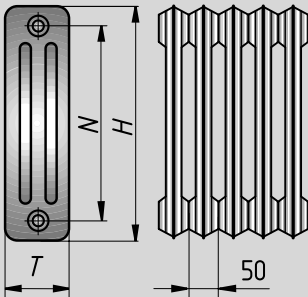
Stahlradiatoren			
	Höhe H in mm	Naben- abstand N in mm	Tiefe T in mm
	300	200	250
	450	350	160 220
	600	500	110 160 220
	1000	900	110 160 220
			58 56 75 55 75 96 92 118 154

Tabelle 3 Wärmeleistung des Moduls  $\phi_L$  in  $\frac{W}{\text{Glied}}$  von Stahlradiatoren nach DIN EN 442 bei 75/65/20 °C  
(aus: 3136, Fachkenntnisse 1)

## Hydraulische Presse

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

$$F_1 = \frac{F_2 \cdot A_1}{A_2} \quad A_1 = \frac{A_2 \cdot F_1}{F_2}$$

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot A_2}{A_1} \quad A_2 = \frac{A_1 \cdot F_2}{F_1}$$

$A_1$  oder  $A_2$ : Kolbenfläche in  $\text{m}^2$

$F_1$  oder  $F_2$ : Kolbenkraft in N

### TIPP:

$A_1$  und  $A_2$  müssen die gleiche Einheit haben!

## Kontinuitätsgesetz

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$

$$A_1 = \frac{A_2 \cdot v_2}{v_1} \quad v_1 = \frac{A_2 \cdot v_2}{A_1}$$

$$A_2 = \frac{A_1 \cdot v_1}{v_2} \quad v_2 = \frac{A_1 \cdot v_1}{A_2}$$

$A_1, A_2$ : Fläche in  $\text{m}^2$

$v_1, v_2$ : Fließgeschwindigkeit in  $\text{m/s}$

### TIPP:

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$$

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$



# Längenänderung

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta$$

$$L_0 = \frac{\Delta L}{\alpha \cdot \Delta \theta}$$

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta \theta}$$

$$\Delta \theta = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \alpha}$$

$\Delta L$ : Längenänderung in mm

$L_0$ : Ausgangslänge in m

$\alpha$ : Längenausdehnungskoeffizient  
(Tabellenwert in mm/m · K)

$\Delta \theta$  oder  $\Delta \vartheta$ : Temperaturdifferenz in K

## TIPP:

$$\Delta \theta = \theta_2 - \theta_1$$

$$\theta_1 = \theta_2 - \Delta \theta$$

$$\theta_2 = \Delta \theta + \theta_1$$

Werkstoff	$\alpha \text{ in } \frac{\text{m}}{\text{m} \cdot \text{K}} = \frac{1}{\text{K}}$	$\alpha \text{ in } \frac{\text{mm}}{\text{m} \cdot \text{K}}$	Werkstoff	$\alpha \text{ in } \frac{\text{m}}{\text{m} \cdot \text{K}} = \frac{1}{\text{K}}$	$\alpha \text{ in } \frac{\text{mm}}{\text{m} \cdot \text{K}}$
Aluminium	0,0000238	0,0238	PE-HD	0,00020	0,20
Beton	0,0000115	0,0115	PE-X	0,00018	0,18
Chrom	0,0000085	0,0085	PP	0,00015	0,15
Grauguss	0,0000105	0,0105	PVC	0,00008	0,08
Gusseisen	0,0000104	0,0104	Stahl, unlegiert	0,0000115	0,0115
Kupfer	0,0000165	0,0165	Stahl, nichtrostend	0,000011	0,011
Messing	0,0000184	0,0184	Verbundrohr PE-X/Al/PE-HD	0,000026	0,026
PB	0,0013	0,13			

Längenausdehnungskoeffizienten verschiedener Werkstoffe  
(aus 3136, Fachkenntnisse 1)

# Luftverhältniszahl, Luftbedarf, Luftüberschuss

## - bei CO<sub>2</sub>

$$\lambda = \frac{\text{CO}_{2\max}}{\text{CO}_2}$$

$$\text{CO}_{2\max} = \lambda \cdot \text{CO}_2 \quad \text{CO}_2 = \frac{\text{CO}_{2\max}}{\lambda}$$

$\lambda$ : Luftverhältniszahl  
( $\lambda$  bedeutet „klein lambda“)  
 $\text{CO}_{2\max}$ : max. CO<sub>2</sub>-Gehalt im Abgas  
 $\text{CO}_2$ : gemessener CO<sub>2</sub>-Gehalt im Abgas

## - bei O<sub>2</sub>

$$\lambda = \frac{\text{O}_2}{21 - \text{O}_2} + 1$$

$$L_{\text{tats}} = \lambda \cdot L_{\text{min}}$$

$$L_{\text{min}} = \frac{L_{\text{tats}}}{\lambda} \quad \lambda = \frac{L_{\text{tats}}}{L_{\text{min}}}$$

$$n = (\lambda - 1) \cdot 100\% \quad \lambda = 1 + \frac{n}{100\%}$$

O<sub>2</sub>: gemessener O<sub>2</sub>-Gehalt im Abgas

$L_{\text{tats}}$ : tatsächlicher Luftbedarf  
 $L_{\text{min}}$ : theoretischer Luftbedarf

$n$ : Luftüberschuss

Brennstoff	$L_{\min}$ in $\frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$	$\text{CO}_{2\max}$ in %
Holz	4,1	20,2
Koks	7,7	20,7
Steinkohle	7,9	18,7
Heizöl EL	11,2	15,4

Brennstoff	$L_{\min}$ in $\frac{\text{m}^3}{\text{m}^3}$	$\text{CO}_{2\max}$ in %
Erdgas LL	8,4	11,8
Erdgas E	9,8	12,0
Propan	23,8	13,8
Butan	30,9	14,1

Theoretischer Luftbedarf  $L_{\min}$  und theoretisch maximaler  $\text{CO}_2$ -Gehalt  $\text{CO}_{2\max}$  verschiedener Brennstoffe. Je nach Brennstoffqualität können die Werte geringfügig abweichen.  
(aus: 3137, Fachkenntnisse 2)

## Masse

$$m = V \cdot \rho$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$V = \frac{m}{\rho}$$

$m$ : Masse in kg  
 $V$ : Volumen in  $\text{dm}^3$   
 $\rho$ : Dichte (Tabellenwert) in  $\text{kg}/\text{dm}^3$   
 ( $\rho$  bedeutet „klein rho“)

### TIPP:

$$m = m' \cdot l$$

$m'$ : Tabellenwert bei Rohren  
 $l$ : Länge des Rohres

(Die Dichte ausgewählter Stoffe: siehe Tabelle Seite 11)

# Mechanische Leistung

$$P = \frac{W}{t}$$

$$t = \frac{W}{P}$$

$$W = P \cdot t$$

$$P = \frac{F \cdot s}{t}$$

$$s = \frac{P \cdot t}{F}$$

$$t = \frac{F \cdot s}{P}$$

$$F = \frac{P \cdot t}{s}$$

$P$ : Leistung in  $\text{Nm/s} = \text{W}$

$W$ : Arbeit in  $\text{Nm}$

$t$ : Zeit in  $\text{s}$

$F$ : Kraft in  $\text{N}$

$s$ : Weg in  $\text{m}$

## TIPP:

$\text{Nm/s} = \text{W}$

$F = m \cdot g$

$F$ : Kraft in  $\text{N}$

$m$ : Masse in  $\text{kg}$

$g$ : Erd- oder Fallbeschleunigung  
in  $\text{m/s}^2 \approx 10 \text{ m/s}^2$

## Zugleistung:

$$P = F \cdot v$$

$$F = \frac{P}{v}$$

$$v = \frac{P}{F}$$

$P$ : Leistung in  $\text{Nm/s} = \text{W}$

$F$ : Kraft in  $\text{N}$

$v$ : Fahrgeschwindigkeit in  $\text{m/s}$

# Mischtemperatur

$$\theta_M = \frac{m_K \cdot \theta_K + m_W \cdot \theta_W}{m_K + m_W}$$

$$\theta_W = \frac{m_M \cdot \theta_M - m_K \cdot \theta_K}{m_W}$$

$$\theta_K = \frac{m_M \cdot \theta_M - m_W \cdot \theta_W}{m_K}$$

$$m_W = m_K \cdot \frac{\theta_M - \theta_K}{\theta_W - \theta_M}$$

$$m_W = m_M \cdot \frac{\theta_M - \theta_K}{\theta_W - \theta_K}$$

$$m_K = m_W \cdot \frac{\theta_W - \theta_M}{\theta_M - \theta_K}$$

$$m_K = m_M \cdot \frac{\theta_W - \theta_M}{\theta_W - \theta_K}$$

$\theta_M$  oder  $\vartheta_M$ : Temperatur Mischwasser in °C

$\theta_W$  oder  $\vartheta_W$ : Temperatur Warmwasser in °C

$\theta_K$  oder  $\vartheta_K$ : Temperatur Kaltwasser in °C

$m_M$ : Masse Mischwasser in kg

$m_W$ : Masse Warmwasser in kg

$m_K$ : Masse Kaltwasser in kg

## TIPP:

$$m_M = m_K + m_W$$

$$m_W = m_M - m_K$$

$$m_K = m_M - m_W$$

## Nennwärmeleistung (Nutzen)

$$\Phi_{\text{NL}} = \frac{m \cdot c \cdot \Delta\theta}{t}$$

$$m = \frac{\Phi_{\text{NL}} \cdot t}{c \cdot \Delta\theta}$$

$$t = \frac{m \cdot c \cdot \Delta\theta}{\Phi_{\text{NL}}}$$

$$c = \frac{\Phi_{\text{NL}} \cdot t}{m \cdot \Delta\theta}$$

$\Phi_{\text{NL}}$  oder  $\dot{Q}_{\text{NL}}$ : Nennwärmeleistung in W

$m$ : Masse in kg

$c$ : spezifische Wärmekapazität, z. B. Wasser  
1,163 Wh/kg · K

$\Delta\theta$  oder  $\Delta\vartheta$ : Temperaturdifferenz in K

$t$ : Zeit in h

## Nennwärmebelastung (Aufwand)

$$\Phi_{\text{NB}} = \frac{V_{\text{G}} \cdot H_{\text{S}}}{t}$$

$$V_{\text{G}} = \frac{\Phi_{\text{NB}} \cdot t}{H_{\text{S}}}$$

$$t = \frac{V_{\text{G}} \cdot H_{\text{S}}}{\Phi_{\text{NB}}}$$

$$H_{\text{S}} = \frac{\Phi_{\text{NB}} \cdot t}{V_{\text{G}}}$$

$\Phi_{\text{NB}}$  oder  $\dot{Q}_{\text{NB}}$ : Nennwärmebelastung  
in W

$V_{\text{G}}$ : Volumen Gas in m<sup>3</sup>

$H_{\text{S}}$ : Brennwert in kWh/m<sup>3</sup>

$t$ : Zeit in h

# Öldurchsatz

$$\dot{m}_E = \frac{\dot{Q}_{NB}}{H_i}$$

$$\dot{Q}_{NB} = \dot{m}_E \cdot H_i \quad H_i = \frac{\dot{Q}_{NB}}{\dot{m}_E}$$

$$\dot{m}_E = \frac{\dot{Q}_{NL}}{H_i \cdot \eta}$$

$$\dot{Q}_{NL} = \dot{m}_E \cdot H_i \cdot \eta$$

$$H_i = \frac{\dot{Q}_{NL}}{\dot{m}_E \cdot \eta}$$

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{NL}}{\dot{m}_E \cdot H_i}$$

$$\dot{V}_E = \frac{\dot{m}_E}{\varrho}$$

$$\dot{m}_E = \dot{V}_E \cdot \varrho$$

$$\varrho = \frac{\dot{m}_E}{\dot{V}_E}$$

$\dot{m}_E$ : Öldurchsatz in kg/h

$\dot{Q}_{NB}$ : Nennwärmebelastung in kW

$H_i$ : Heizwert in kWh/kg

$\eta$ : Wirkungsgrad

$\dot{V}_E$ : Öldurchsatz in l/h

$\varrho$ : Dichte in kg/dm<sup>3</sup>

$\dot{Q}_{NL}$ : Nennwärmeleistung in kW

## Pumpenleistung

$$P_{zu} = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p}{3600 \cdot (\eta)}$$

$$\dot{V} = \frac{P_{zu} \cdot (\eta) \cdot 3600}{\Delta p}$$

$$\Delta p = \frac{P_{zu} \cdot (\eta) \cdot 3600}{\dot{V}}$$

$$\eta = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p}{P_{zu} \cdot 3600}$$

$$P_{ab} = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p}{3600}$$

$$\dot{V} = \frac{P_{ab} \cdot 3600}{\Delta p}$$

$$\Delta p = \frac{P_{ab} \cdot 3600}{\dot{V}}$$

$P_{zu}$ : zugeführte Leistung in W

$\dot{V}$ : Volumenstrom in m<sup>3</sup>/h

$\Delta p$ : Druckverlust in Pa

$\eta$ : Wirkungsgrad (z.B. 50%  $\Rightarrow$  0,5)

### TIPP:

1 bar= 100000 Pa

1mWs= 0,1 bar= 10000 Pa

1mbar= 100 Pa

$P_{ab}$ : abgeführte Leistung in W

$\dot{V}$ : Volumenstrom in m<sup>3</sup>/h

$\Delta p$ : Druckverlust in Pa



# Pumpenleistung

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$$

$$P_{ab} = \eta \cdot P_{zu} \quad P_{zu} = \frac{P_{ab}}{\eta}$$

$$\eta_{ges} = \eta_M \cdot \eta_P$$

$$\eta_M = \frac{\eta_{ges}}{\eta_P} \quad \eta_P = \frac{\eta_{ges}}{\eta_M}$$

$$P = \dot{m} \cdot g \cdot s$$

$$\dot{m} = \frac{P}{g \cdot s}$$

$$g = \frac{P}{\dot{m} \cdot s} \quad s = \frac{P}{\dot{m} \cdot g}$$

$$\dot{m} = \frac{m}{t}$$

$$m = \dot{m} \cdot t \quad t = \frac{m}{\dot{m}}$$

$P_{ab}$ : abgeführte Leistung in W  
 $P_{zu}$ : zugeführte Leistung in W  
 $\eta$ : Wirkungsgrad (z.B. 50%  $\Rightarrow$  0,5)

$\eta_M$ : Motorenwirkungsgrad  
 $\eta_P$ : Pumpenwirkungsgrad  
 $\eta_{ges}$ : Gesamtwirkungsgrad

$\dot{m}$ : Fördermenge in kg/s  
 $g$ : Erdbeschleunigung  $\approx 10 \text{ m/s}^2$   
 (9,81m/s<sup>2</sup>)  
 $s$ : Förderhöhe in m

$\dot{m}$ : Fördermenge in kg/s  
 $m$ : Masse in kg  
 $t$ : Zeit in s

# Pythagoras

$$a^2 + b^2 = c^2$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

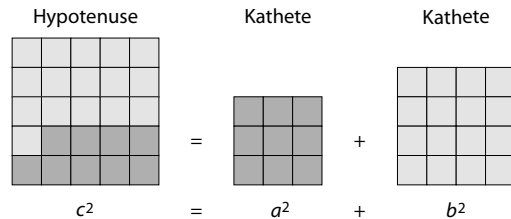
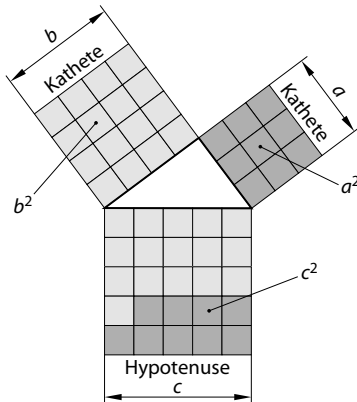
$$a = \sqrt{c^2 - b^2}$$

$$b = \sqrt{c^2 - a^2}$$

$a$ : Kathete  
 $b$ : Kathete  
 $c$ : Hypotenuse

## TIPP:

$c$  liegt immer gegenüber dem rechten Winkel!



Rechtwinkliges Dreieck / Lehrsatz des Pythagoras  
 (aus: 3135, Grundkenntnisse)

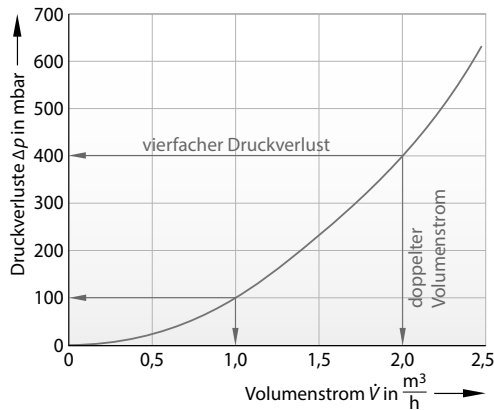
# Rohrnetzkenlinie

$$\frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} = \left( \frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} \right)^2$$

$\Delta p_1$  oder  $\Delta p_2$ : Druckverlust in Pa  
 $\dot{V}_1$  oder  $\dot{V}_2$ : Volumenstrom in m<sup>3</sup>/h

$$\Delta p_1 = \frac{\dot{V}_1^2 \cdot \Delta p_2}{\dot{V}_2^2} \quad \dot{V}_1 = \sqrt{\frac{\Delta p_1 \cdot \dot{V}_2^2}{\Delta p_2}}$$

$$\Delta p_2 = \frac{\dot{V}_2^2 \cdot \Delta p_1}{\dot{V}_1^2} \quad \dot{V}_2 = \sqrt{\frac{\Delta p_2 \cdot \dot{V}_1^2}{\Delta p_1}}$$



Rohrnetzkenlinie  
 (aus: 3136, Fachkenntnisse 1)

# Schmelzen und Verdampfen

$$Q_s = m \cdot s$$

$$m = \frac{Q_s}{s}$$

$$s = \frac{Q_s}{m}$$

$$Q_v = m \cdot r$$

$$m = \frac{Q_v}{r}$$

$$r = \frac{Q_v}{m}$$

$Q_s$ : Schmelzwärme in Wh oder kJ

$m$ : Masse in kg

$s$ : spezifische Schmelzwärme  
(Tabelle)

$Q_v$ : Verdampfungswärme in Wh  
oder kJ

$m$ : Masse in kg

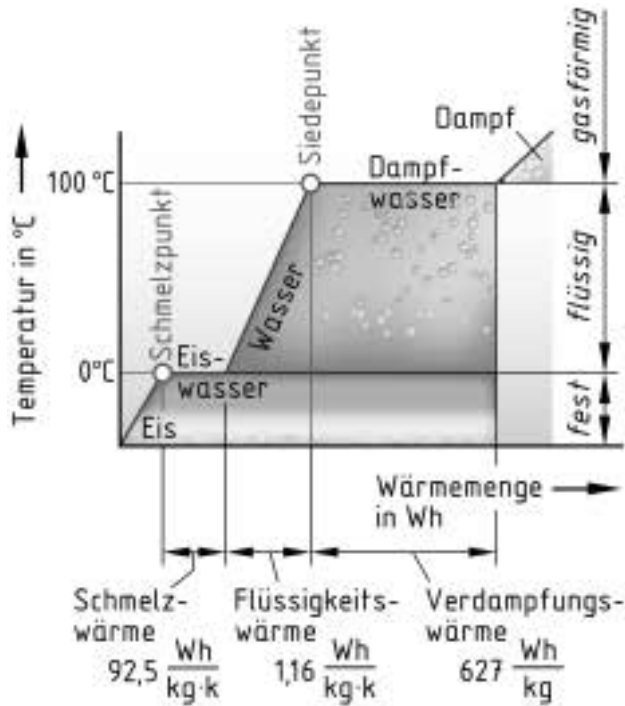
$r$ : spezifische Verdampfungswärme  
(Tabelle)

## TIPP:

$$\text{Wh} \xrightleftharpoons[\text{:3,6}]{\text{:3,6}} \text{kJ}$$

$$\text{kW} \xrightleftharpoons[\text{:3600}]{\text{:3600}} \text{kJ/h}$$

# Schmelzen und Verdampfen



## Schnittgeschwindigkeit/ Umfangsgeschwindigkeit

$$v_c = \pi \cdot d \cdot n$$

$$n = \frac{v_c}{\pi \cdot d}$$

$$d = \frac{v_c}{\pi \cdot n}$$

$v_c$ : Schnittgeschwindigkeit in m/min

$d$ : Durchmesser in m

$n$ : Umdrehungsfrequenz  
(Drehzahl) in 1/min

## Ventilatorleistung

$$P_{zu} = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p}{3600 \cdot (\eta)}$$

$$\dot{V} = \frac{P_{zu} \cdot (\eta) \cdot 3600}{\Delta p}$$

$$\Delta p = \frac{P_{zu} \cdot (\eta) \cdot 3600}{\dot{V}}$$

$$\eta = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p}{P_{zu} \cdot 3600}$$

$P_{zu}$ : zugeführte Leistung in W

$\dot{V}$ : Volumenstrom in m<sup>3</sup>/h

$\Delta p$ : Druckverlust in Pa

$\eta$ : Wirkungsgrad (z.B. 50%  $\Rightarrow$  0,5)

### TIPP:

1 bar= 100000 Pa

1mWs= 0,1 bar= 10000 Pa

1mbar= 100 Pa

# Volumen

## Prisma

$$V = A \cdot h$$

$$A = \frac{V}{h}$$

$$h = \frac{V}{A}$$

$V$ : Volumen in  $\text{m}^3$

$A$ : Fläche in  $\text{m}^2$

$h$ : Höhe in  $\text{m}$

## Rohr

$$V = A \cdot h \rightarrow A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$$

$$h = \frac{V}{A}$$

$$A = \frac{V}{h}$$

$$\pi \approx 3,14$$

### TIPP:

$$V = V' \cdot l$$

$V'$ : Tabellenwert für Rohre

$l$ : Länge des Rohres

# Volumenstrom

$$\dot{V} = A \cdot v$$

$$A = \frac{\dot{V}}{v}$$

$$v = \frac{\dot{V}}{A}$$

$$V = \dot{V} \cdot t$$

$$\dot{V} = \frac{V}{t}$$

$$t = \frac{V}{\dot{V}}$$

$\dot{V}$ : Volumenstrom in m<sup>3</sup>/s

$A$ : Fläche in m<sup>2</sup>

$v$ : Fließgeschwindigkeit in m/s

$t$ : Zeit in s

$V$ : Volumen in m<sup>3</sup>

**TIPP:**

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$$

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$



# Wärmedurchgang

$$\Phi = U \cdot A \cdot \Delta\theta$$

$$A = \frac{\Phi}{U \cdot \Delta\theta}$$

$$\Delta\theta = \frac{\Phi}{U \cdot A}$$

$$U = \frac{\Phi}{A \cdot \Delta\theta}$$

$\Phi$  oder  $\dot{Q}$ : Wärmestrom in W

$U$ : Wärmedurchgangskoeffizient

in  $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$

$A$ : Fläche in  $\text{m}^2$

$\Delta\theta$ ,  $\Delta T$  oder  $\Delta\vartheta$ : Temperaturdifferenz in K

Wärmedurchgang von → durch → an	$U$ in $\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$	Wärmedurchgang von → durch → an	$U$ in $\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$
Wasser → Stahl → Wasser	300...500 <sup>1)</sup>	Luft <sup>3)</sup> → Stahl → Luft	10...16
Wasser → Kupfer → Wasser	350...550 <sup>1)</sup>	Luft <sup>3)</sup> → Kupfer → Luft	8...17
Dampf → Stahl → Wasser	930...1390	Luft <sup>3)</sup> → Schamottesteine → Luft	5...7
Dampf → Kupfer → Wasser	1160...2910	Rauchgas <sup>3)</sup> → Stahl → Wasser	9...10
Wasser → Metall → Luft <sup>2)</sup>	10...29	Rauchgas <sup>3)</sup> → Stahl → Dampf	11...14

1) Je nach Wasserführung und Geschwindigkeit kann der  $U$ -Wert wesentlich höher sein.

2) Heizkörper 8...15  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

3) Gilt auch für Heizgas.

Wärmedurchgangskoeffizient  $U$  (Anhaltswerte)

(aus: 3130, Tabellenbuch)

# Wärmeleistung

$$\Phi = \frac{m \cdot c \cdot \Delta\theta}{t}$$

$$t = \frac{m \cdot c \cdot \Delta\theta}{\Phi}$$

$$m = \frac{t \cdot \Phi}{c \cdot \Delta\theta}$$

$$c = \frac{t \cdot \Phi}{m \cdot \Delta\theta}$$

$\Phi$  oder  $\dot{Q}$ : Wärmeleistung in W

$m$ : Masse in kg

$c$ : Wärmekapazitäten  
verschiedener Stoffe  
1,163 Wh/kg · K

$\Delta\theta$  oder  $\Delta\vartheta$ : Temperaturdifferenz in K

$t$ : Zeit in h

## TIPP:

$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$$

$$\theta_1 = \theta_2 - \Delta\theta$$

$$\theta_2 = \Delta\theta + \theta_1$$

$$\Phi = \frac{Q}{t}$$

$$t = \frac{Q}{\Phi}$$

$$Q = \Phi \cdot t$$

$t$ : Zeit in h

$\Phi$  oder  $\dot{Q}$ : Wärmeleistung in W

$Q$ : Wärmemenge in Wh

Stoff	Spezifische Wärmekapazität	
	in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	in $\frac{\text{Wh}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
Aluminium	0,900	0,25
CuSn-Legierung	0,380	0,106
Gusseisen	0,544	0,15
Kupfer	0,390	0,108
CuZn-Legierung	0,390	0,108
Stahl	0,460	0,128
nicht rostender Stahl	0,500	0,139
Zink	0,395	0,11
Polyethylen (PE-X)	2,310	0,642
Polybuthen (PB)	1,500	0,417
Polypropylen (PP)	2,000	0,555
Polyvinylchlorid (PVC)	0,980	0,272
Heizöl EL	2,070	0,575
Wasser	4,190	1,163
Eis	2,050	0,57
Wasserdampf	1,900	0,528
Luft	1,224	0,34

c: spezifische Wärmekapazitäten verschiedener Stoffe  
(aus: 3136, Fachkenntnisse 1)

## Wärmemenge

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$$

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta\theta}$$

$$m = \frac{Q}{c \cdot \Delta\theta}$$

$$\Delta\theta = \frac{Q}{m \cdot c}$$

$Q$ : Wärmemenge in Wh

$m$ : Masse in kg

$c$ : spezifische Wärmekapazität, z. B.  $\Rightarrow$  Wasser  
1,163 Wh/kg  $\cdot$  K

$\Delta\theta$ ,  $\Delta T$  oder  $\Delta\vartheta$ : Temperaturdifferenz  
in K

### TIPP:

$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$$

$$\theta_1 = \theta_2 - \Delta\theta$$

$$\theta_2 = \Delta\theta + \theta_1$$

## bei gasförmigen Brennstoffen

$$Q = V_B \cdot H_i \text{ oder } H_s$$

$$H_i \text{ oder } H_s = \frac{Q}{V_B}$$

$$V_B = \frac{Q}{H_i \text{ oder } H_s}$$

$Q$ : Wärmemenge in Wh

$V_B$ : Volumen Gas m<sup>3</sup>

$H_i$ : Heizwert oder  $H_s$  Brennwert  
in kWh/m<sup>3</sup>

**bei festen Brennstoffen**  
**bei flüssigen Brennstoffen**

$$Q = m_B \cdot H_i \text{ oder } H_s$$

$$H_i \text{ oder } H_s = \frac{Q}{m_B}$$

$$m_B = \frac{Q}{H_i \text{ oder } H_s}$$

Q: Wärmemenge in Wh

$m_B$ : Masse in kg

$H_i$ : Heizwert oder  $H_s$  Brennwert  
in kWh/kg

Brennstoff	Heizwert $H_i$ in $\frac{\text{kWh}}{\text{kg}}$ $\left(\frac{\text{kWh}}{\text{l}}\right)$	Brennwert $H_s$ in $\frac{\text{kWh}}{\text{kg}}$ $\left(\frac{\text{kWh}}{\text{l}}\right)$
Holz	4,1	4,6
Koks	8,1	8,9
Steinkohle	9,2	9,9
Heizöl EL	11,8 (10,0)	12,6 (10,8)
Brennstoff	Heizwert $H_i$ in $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}$	Brennwert $H_s$ in $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}$
Erdgas LL	8,8	9,8
Erdgas E	10,4	11,5
Propan	25,8	28,0
Butan	34,3	37,2

Heiz- und Brennwerte verschiedener Brennstoffe. Je nach Brennstoffqualität können die Werte geringfügig abweichen.  
(aus: 3137, Fachkenntnisse 2)

## Wärmepumpe Leistungszahl

$$\varepsilon_{WP} = \frac{\Phi_{WP}}{P_{el}}$$

$$\Phi_{WP} = \varepsilon_{WP} \cdot P_{el}$$

$$P_{el} = \frac{\Phi_{WP}}{\varepsilon_{WP}}$$

oder

$$\varepsilon_{WP} = \frac{\Phi_H}{P}$$

$$\Phi_H = \varepsilon_{WP} \cdot P$$

$$P = \frac{\Phi_H}{\varepsilon_{WP}}$$

$\varepsilon_{WP}$ : Leistungszahl der Wärmepumpe  
( $\varepsilon$  bedeutet „klein epsilon“)

$\Phi_{WP}$ : Wärmeleistung (vom Kondensator abgegebene Heizleistung)  
in kW

$P_{el}$ : Elektrische Leistungsaufnahme  
(Antriebsleistung des Verdichters)  
in kW

$\varepsilon_{WP}$ : Leistungszahl der  
Wärmepumpe  
( $\varepsilon$  bedeutet „klein  
epsilon“)

$\Phi_H$  oder  $\dot{Q}_H$ : Heizwärmeleistung  
in kW

$P$ : Antriebsleistung in kW

# Winkelfunktionen

$$\sin \alpha = \frac{a}{c}$$

$$\cos \alpha = \frac{b}{c}$$

$$\tan \alpha = \frac{a}{b}$$

$$\cot \alpha = \frac{b}{a}$$

$$\sin \beta = \frac{b}{c}$$

$$\cos \beta = \frac{a}{c}$$

$$\tan \beta = \frac{b}{a}$$

$$\cot \beta = \frac{a}{b}$$

$$a = b \cdot \tan \alpha$$

$$a = \frac{b}{\cot \alpha}$$

$$a = c \cdot \sin \alpha$$

$$a = c \cdot \cos \beta$$

$$a = \frac{b}{\tan \beta}$$

$$a = \cot \beta \cdot b$$

$$b = \frac{a}{\tan \alpha}$$

$$b = c \cdot \cos \alpha$$

$$b = a \cdot \cot \alpha$$

$$b = c \cdot \sin \beta$$

$$b = a \cdot \tan \beta$$

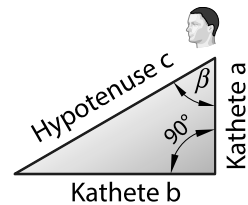
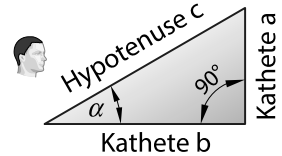
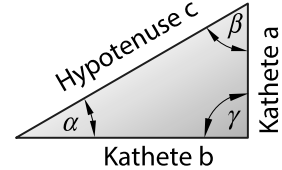
$$b = \frac{a}{\cot \beta}$$

$$c = \frac{a}{\sin \alpha}$$

$$c = \frac{b}{\cos \alpha}$$

$$c = \frac{b}{\sin \beta}$$

$$c = \frac{a}{\cos \beta}$$



Winkelfunktionen im rechtwinkligen Dreieck  
(aus: 3130,  
Tabellenbuch, S. 5)

## Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{P_{\text{EXI}}}{P_{\text{ING}}}$$

oder

$$\eta = \frac{P_{\text{ab}}}{P_{\text{zu}}}$$

$$P_{\text{EXI}} = \eta \cdot P_{\text{ING}}$$

$$P_{\text{ab}} = \eta \cdot P_{\text{zu}}$$

$$P_{\text{ING}} = \frac{P_{\text{EXI}}}{\eta}$$

$$P_{\text{zu}} = \frac{P_{\text{ab}}}{\eta}$$

$\eta$ : Wirkungsgrad  
(50% = 0,5)

$P_{\text{EXI}}$  oder  $P_{\text{ab}}$ : abgegebene Leistung  
in W

$P_{\text{ING}}$  oder  $P_{\text{zu}}$ : zugeführte Leistung  
in W

## Kesselwirkungsgrad Brennwert

$$\eta_K = 100\% - q_A + q_K$$

$\eta_K$ : Kesselwirkungsgrad

$q_A$ : Abgasverluste

$q_K$ : Wärmegewinn durch  
Kondensation

## Feuerungstechnischer Wirkungsgrad

$$\eta_F = 100\% - q_A$$

$\eta_F$ : Feuerungstechnischer  
Wirkungsgrad (50% = 0,5)

$q_A$ : Abgasverluste

## Gesamtwirkungsgrad

$$\eta_{\text{ges}} = \eta_M \cdot \eta_P$$

$\eta_M$ : Motorenwirkungsgrad

$\eta_P$ : Pumpenwirkungsgrad

$\eta_{\text{ges}}$ : Gesamtwirkungsgrad

$$\eta_M = \frac{\eta_{\text{ges}}}{\eta_P}$$

$$\eta_P = \frac{\eta_{\text{ges}}}{\eta_M}$$