

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 – Internet: 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
Rohrnetz Kennlinie	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 %
 θ_A : Temperatur Abgas in °C
 θ_L : Temperatur
 Verbrennungsluft in °C
 A und B: Beiwerte (Tabelle)
 O_2 : O_2 -Gehalt
 (θ oder ϑ 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:

- CO₂-Messung

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

q_A : Abgasverlust in %
 θ_A : Temperatur Abgas in °C
 θ_L : Temperatur Verbrennungs-
 luft in °C

- O₂-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 : CO₂-Gehalt
 O_2 : O₂-Gehalt

Berechnungsbeiwerte A₁, A₂ und B

Beiwerte	Heizöl	Stadtgas	Erdgas	Flüssiggas
A ₁	0,50	0,35	0,37	0,42
A ₂	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:

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

$$1 \text{ Nm} = 1 \text{ J}$$

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

$$F = m \cdot g$$

m: Masse in kg

g: Erd- oder Fallbeschleunigung
in m/s²

(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 m^3

A : Fläche, Strömungsquerschnitt
in m^2

v : Fließgeschwindigkeit in m/s

t : Zeit in s

\dot{V} : Volumenstrom in m^3/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 m³/h

V_{RAUM} oder V_R : Volumen des Raumes in m³

LW oder β : 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 m³/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 m³/h

A : Fläche in m²

AR: Mindest-Außenluftrate (Tabelle)

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

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 β

Raumart	β 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

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

$$m = V \cdot \rho$$

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

ρ : Dichte in kg/dm³

m : Masse in kg

V : Volumen in dm³

(ρ oder ϱ 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/s²
(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/m² = Pa

F : Kraft in N

A : Fläche in m²

TIPP:

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

$$F = m \cdot g$$

p_e : Überdruck in bar

p_{abs} : Absoluter Druck in bar

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

Umrechnungen Druck

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Hydrostatischer Druck

oder:

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

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

ρ : Dichte in kg/m^3 (ρ oder ϱ 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

ρ : Dichte in kg/m³ (ρ oder ϱ bedeutet „rho“)

v: Fließgeschwindigkeit in m/s

ζ : Beiwert

(Σ bedeutet „Summe aus“)

TIPP:



ρ : 1kg/dm³ = 1000kg/m³

Pa $\xrightarrow{:100}$ mbar

Widerstandsbeiwerte ζ 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 ζ 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
 Φ_{NB} oder \dot{Q}_{NB} : Nennwärmebelastung in kW
 $H_{i,B}$: Betriebsheizwert in kWh/m³
 \dot{V}_A : Anschlusswert in m³/h
(Φ 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 Ω

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 Ω

ρ : spezifischer elektrischer Widerstand (Tabellenwert)

l : Leiterlänge in m

A oder q : Fläche in m^2

Spezifischer Widerstand ρ 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 Ω

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_{ges} : Spannung in V
 R_{ges} : Widerstand in Ω
 I_{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 m²

l : Länge in m

b: Breite in m

h: Höhe in m

d: Durchmesser in m

$\pi \hat{=} 3,14$ (π 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 m³ oder dm³

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 m³
 $T_{1 \text{ oder } 2}$: 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 m³

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

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

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 Δh : Höhenunterschied in m
 l : Grundlänge in m

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

Geschwindigkeit / Fließgeschwindigkeit

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

v : Geschwindigkeit / Fließgeschwindigkeit in m/s

s : Strecke in m

t : Zeit in s

$$s = v \cdot t$$

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

Gewichtskraft

$$F_g = m \cdot g$$

F_g : Gewichtskraft in N

m : Masse in kg

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

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

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

TIPP:

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

Allgemein:

$$F_g = m \cdot a$$

a : Beschleunigung in m/s^2

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

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

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/m² · Fläche des Raumes)

A : Fläche in m²
 l : Länge Raum in m
 b : Breite Raum in m

3. BRH – 17cm \Rightarrow max. HK-Höhe
 Fensternische – 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 Fensternischen: W/m : 2)
7. Heizkörper aussuchen

BRH: Brüstungshöhe in cm

Q_{HL} : Normheizlast in W

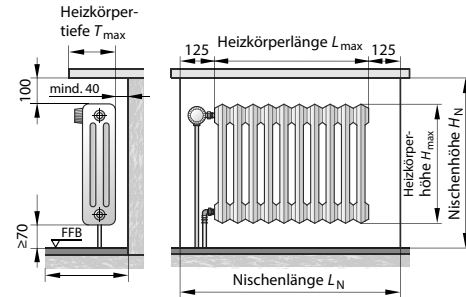
q : notwendige Heizleistung in W/m²

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 ϕ_V in °C	Rücklauf- temperatur ϕ_R in °C	Norm-Innentemperatur ϕ_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 ϕ_V in °C	Rücklauf- temperatur ϕ_R in °C	Norm-Innentemperatur ϕ_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 ϕ_V in °C	Rücklauf- temperatur ϕ_R in °C	Norm-Innentemperatur ϕ_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

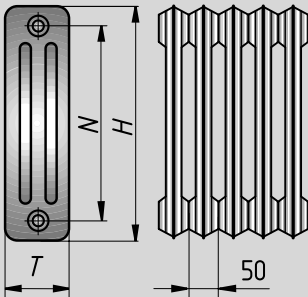
Stahlradiatoren			
	Höhe H in mm	Naben- abstand N in mm	Tiefe T in mm
	300	200	250
	450	350	160 220
	600	500	110 160 220
	1000	900	110 160 220
			58 56 75 55 75 96 92 118 154

Tabelle 3 Wärmeleistung des Moduls ϕ_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 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 m^2

v_1, v_2 : Fließgeschwindigkeit in m/s

TIPP:

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

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

Längenänderung

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

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

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

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

ΔL : Längenänderung in mm

L_0 : Ausgangslänge in m

α : 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 CO₂

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

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

λ : Luftverhältniszahl
(λ bedeutet „klein lambda“)
 $\text{CO}_{2\max}$: max. CO₂-Gehalt im Abgas
 CO_2 : gemessener CO₂-Gehalt im Abgas

- bei O₂

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

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

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

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

O₂: gemessener O₂-Gehalt im Abgas

L_{tats} : tatsächlicher Luftbedarf
 L_{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 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 dm^3
 ρ : Dichte (Tabellenwert) in kg/dm^3
 (ρ 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 Nm

t : Zeit in s

F : Kraft in N

s : Weg in m

TIPP:

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

$F = m \cdot g$

F : Kraft in N

m : Masse in 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 N

v : Fahrgeschwindigkeit in m/s

Mischtemperatur

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

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

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

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

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

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

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

θ_M oder ϑ_M : Temperatur Mischwasser in °C

θ_W oder ϑ_W : Temperatur Warmwasser in °C

θ_K oder ϑ_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)

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

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

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

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

Φ_{NL} oder \dot{Q}_{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)

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

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

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

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

Φ_{NB} oder \dot{Q}_{NB} : Nennwärmebelastung
in W

V_{G} : Volumen Gas in m³
 H_{S} : Brennwert in kWh/m³
 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

η : Wirkungsgrad

\dot{V}_E : Öldurchsatz in l/h

ϱ : Dichte in kg/dm³

\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 m³/h

Δp : Druckverlust in Pa

η : 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 m³/h

Δp : 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
 η : Wirkungsgrad (z.B. 50% \Rightarrow 0,5)

η_M : Motorenwirkungsgrad
 η_P : Pumpenwirkungsgrad
 η_{ges} : Gesamtwirkungsgrad

\dot{m} : Fördermenge in kg/s
 g : Erdbeschleunigung $\approx 10 \text{ m/s}^2$
 (9,81m/s²)
 s : Förderhöhe in m

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

Pythagoras

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

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

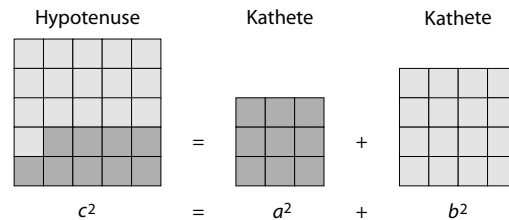
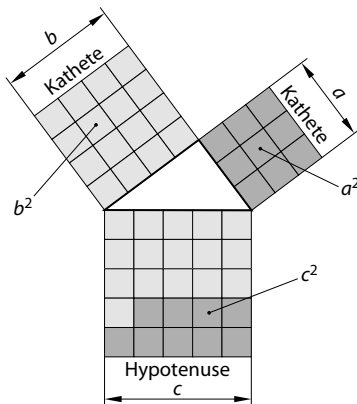
$$a = \sqrt{c^2 - b^2}$$

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

a : Kathete
 b : Kathete
 c : Hypotenuse

TIPP:

c liegt immer gegenüber dem rechten Winkel!



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

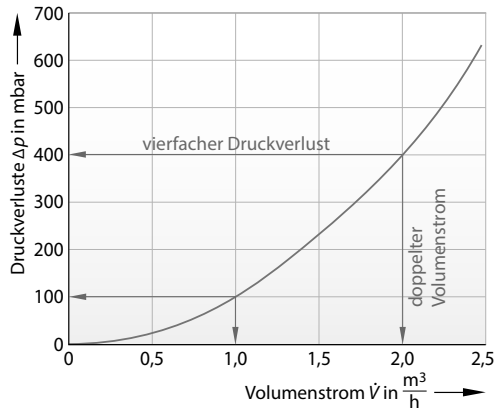
Rohrnetzkenlinie

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

Δp_1 oder Δp_2 : Druckverlust in Pa
 \dot{V}_1 oder \dot{V}_2 : Volumenstrom in m³/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

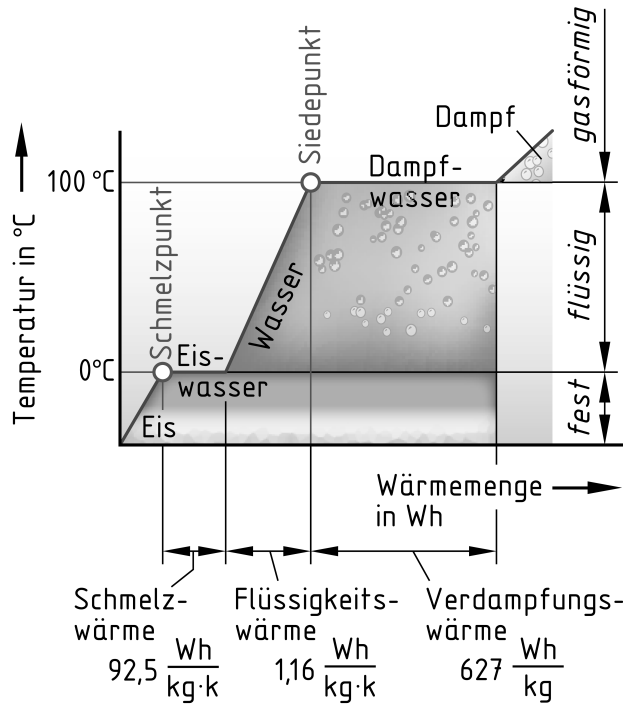
r : spezifische Verdampfungswärme
(Tabelle)

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 m³/h

Δp : Druckverlust in Pa

η : 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 m^3

A : Fläche in m^2

h : Höhe in 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 m³/s

A : Fläche in m²

v : Fließgeschwindigkeit in m/s

t : Zeit in s

V : Volumen in m³

TIPP:

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

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

Wärmedurchgang

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

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

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

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

Φ oder \dot{Q} : Wärmestrom in W

U : Wärmedurchgangskoeffizient

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

A : Fläche in m^2

$\Delta\theta$, ΔT 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 ¹⁾	Luft ³⁾ → Stahl → Luft	10...16
Wasser → Kupfer → Wasser	350...550 ¹⁾	Luft ³⁾ → Kupfer → Luft	8...17
Dampf → Stahl → Wasser	930...1390	Luft ³⁾ → Schamottesteine → Luft	5...7
Dampf → Kupfer → Wasser	1160...2910	Rauchgas ³⁾ → Stahl → Wasser	9...10
Wasser → Metall → Luft ²⁾	10...29	Rauchgas ³⁾ → 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

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

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

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

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

Φ 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

Φ 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

$\Delta\theta$, ΔT 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 m³

H_i : Heizwert oder H_s Brennwert
in kWh/m³

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

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

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

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

ε_{WP} : Leistungszahl der Wärmepumpe
(ε bedeutet „klein epsilon“)

Φ_{WP} : Wärmeleistung (vom Kondensator abgegebene Heizleistung)
in kW

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

ε_{WP} : Leistungszahl der
Wärmepumpe
(ε bedeutet „klein
epsilon“)

Φ_H oder \dot{Q}_H : Heizwärmeleistung
in kW

P : Antriebsleistung in kW

Winkelfunktionen

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

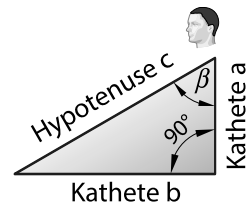
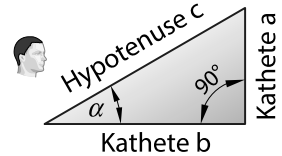
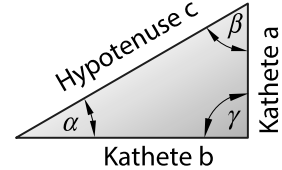
$$b = \frac{a}{\cot \beta}$$

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

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

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

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



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

Wirkungsgrad

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

oder

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

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

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

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

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

η : Wirkungsgrad
(50% = 0,5)

P_{EXI} oder P_{ab} : abgegebene Leistung
in W

P_{ING} oder P_{zu} : zugeführte Leistung
in W

Kesselwirkungsgrad Brennwert

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

η_K : Kesselwirkungsgrad

q_A : Abgasverluste

q_K : Wärmegewinn durch
Kondensation

Feuerungstechnischer Wirkungsgrad

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

η_F : Feuerungstechnischer
Wirkungsgrad (50% = 0,5)

q_A : Abgasverluste

Gesamtwirkungsgrad

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

η_M : Motorenwirkungsgrad

η_P : Pumpenwirkungsgrad

η_{ges} : Gesamtwirkungsgrad

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

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