

Energie- und Klimasysteme – Formelsammlung

Thermischer Komfort

Operative/Empfundene Temperatur	$T_{op} = (T_a + T_r)/2$
Operative Temperatur	$[T_{op}] = °C$
Raumlufttemperatur	$[T_a] = °C$
Mittlere Strahlungstemperatur	$[T_r] = °C$

Mittlere Strahlungstemperatur	$T_r = \frac{\sum(A_i \cdot T_i)}{\sum A_i}$
Mittlere Strahlungstemperatur	$[T_r] = °C$
Fläche der abstrahlenden Oberfläche i	$[A_i] = °C$
Temperatur der Oberfläche i	$[T_i] = °C$

Wärmestrom	$\Phi = Q/t$
Wärmestrom / Wärmeleistung	$[\Phi] = W$
Wärme	$[Q] = J$
Zeit	$[t] = s$

Wärmestrom durch Körper (Wärmeleitung)	$\Phi = A \cdot \frac{\lambda}{d} \cdot (T_1 - T_2)$
Wärmestrom durch Körper	$[\Phi] = W$
Fläche, durch die die Wärme strömt	$[A] = m^2$
Wärmeleitfähigkeit	$[\lambda] = W/(m \cdot K)$
Distanz zwischen warmer und kalter Seite	$[d] = m$
Temperatur der warmen Seite	$[T_1] = K$
Temperatur der kalten Seite	$[T_2] = K$

Wärmestrom von Körper zu Fluid (Konvektion)	$\Phi = A \cdot h \cdot (T_1 - T_2)$
Wärmestrom von Körperoberfläche zu Fluid	$[\Phi] = W$
Kontaktfläche zwischen Körper und Fluid	$[A] = m^2$
Wärmeübergangskoeffizient	$[h] = W/(m^2 \cdot K)$
Temperatur der Körperoberfläche	$[T_1] = K$
Temperatur des umgebenden Mediums	$[T_2] = K$

Strahlung von Körper in Umgebung	$\Phi = \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4$
Wärmestrom von Körperoberfläche in Umgebung	$[\Phi] = W$
Emissionsgrad der Körperoberfläche	$[\epsilon] = -$
Stefan-Boltzmann-Konstante	$[\sigma] = 5.67 \cdot 10^{-8} W/(m^2 \cdot K^4)$
Fläche des abstrahlenden Körpers	$[A] = m^2$
Temperatur des abstrahlenden Körpers	$[T] = K$

Wärme- und Kältebedarf

Warmwasserwärmebedarf	$Q_w = V \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_1 - T_2)$
Warmwasserwärmebedarf	$[Q_w] = J$
Wasservolumen	$[V] = m^3 \text{ oder } l$
Dichte Wasser	$[\rho] = kg/m^3 \text{ oder } kg/l$
Spezifische Wärmekapazität Wasser	$[c_p] = J/(kg \cdot K)$
Wassertemperatur nach Zufügen der Wärme	$[T_1] = K \text{ oder } °C$
Wassertemperatur vor Zufügen der Wärme	$[T_2] = K \text{ oder } °C$

Heizwärmebedarf	$Q_H = Q_T + Q_V - \eta_g \cdot (Q_i + Q_s)$
Heizwärmebedarf	$[Q_H] = Wh$
Transmissionswärmeverluste	$[Q_T] = Wh$
Lüftungswärmeverluste	$[Q_V] = Wh$
Ausnutzungsgrad für Wärmegewinne	$[\eta_g] = -$
Interne Wärmeeinträge	$[Q_i] = Wh$
Solare Wärmeeinträge	$[Q_s] = Wh$

Ausnutzungsgrad für Wärmegewinne	$\eta_g = \frac{(1 - \gamma^a)}{(1 - \gamma^{a+1})}, a = 1 + \frac{\tau}{15}$
Ausnutzungsgrad für Wärmegewinne	$[\eta_g] = -$
Wärmeeintrag/-verlust-Verhältnis	$[\gamma] = -$
Zeitkonstante des Gebäudes	$[\tau] = h$

Wärmeeintrag/-verlust-Verhältnis	$\gamma = \frac{Q_i + Q_s}{Q_T + Q_V}$
Wärmeeintrag/-verlust-Verhältnis	$[\gamma] = -$
Transmissionswärmeverluste	$[Q_T] = Wh$
Lüftungswärmeverluste	$[Q_V] = Wh$
Interne Wärmeeinträge	$[Q_i] = Wh$
Solare Wärmeeinträge	$[Q_s] = Wh$

Transmissionswärmeverluste	$Q_T = H_T \cdot (T_i - T_e) \cdot t$
Transmissionswärmeverluste	$[Q_T] = Wh$
Transmissions-Wärmetransferkoeffizient	$[H_T] = W/K$
Raumlufttemperatur	$[T_i] = K \text{ oder } °C$
Aussenlufttemperatur	$[T_e] = K \text{ oder } °C$
Länge der Berechnungsperiode	$[t] = h$

Transmissions-Wärmetransferkoeffizient	$H_T = A_{op} \cdot U_{op} + A_w \cdot U_w$
Transmissions-Wärmetransferkoeffizient	$[H_T] = W/K$
Aussenwandfläche (opak)	$[A_{op}] = m^2$
Aussenwandfläche (transparent) = Fenster	$[A_w] = m^2$
Wärmedurchgangskoeffizient Aussenwand (opak)	$[U_{op}] = W/(m^2K)$
Wärmedurchgangskoeffizient Fenster	$[U_w] = W/(m^2K)$

U-Wert	$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum \left(\frac{d_i}{\lambda_i} \right) + \frac{1}{h_a}}$
Wärmedurchgangskoeffizient	$[U] = W/(m^2K)$
Wärmeübergangszahl innen	$[h_i] = W/(m^2K)$
Schichtdicke des Materials i	$[d_i] = m$
Wärmeleitfähigkeit des Materials i	$[\lambda_i] = W/(m \cdot K)$
Wärmeübergangszahl aussen	$[h_a] = W/(m^2K)$

Lüftungswärmeverluste	$Q_V = H_V \cdot (T_i - T_e) \cdot t$
Lüftungswärmeverluste	$[Q_V] = Wh$
Lüftungs- Wärmetransferkoeffizient	$[H_V] = W/K$
Raumlufttemperatur	$[T_i] = K \text{ oder } ^\circ C$
Aussenlufttemperatur	$[T_e] = K \text{ oder } ^\circ C$
Länge der Berechnungsperiode	$[t] = h$

Lüftungs-Wärmetransferkoeffizient	$H_V = \dot{V}_{th} \cdot \rho \cdot c_p$
Lüftungs- Wärmetransferkoeffizient	$[H_V] = W/K$
Thermisch wirksamer Aussenluft-Volumenstrom	$[\dot{V}_{th}] = m^3/s$
Dichte Luft	$[\rho] = kg/m^3$
Spezifische Wärmekapazität Luft	$[c_p] = J/(kg \cdot K)$

Thermisch wirksamer Aussenluftvolumenstrom	$\dot{V}_{th} = \dot{V}_e \cdot (1 - \eta_{rec}) + \dot{V}_{inf}$
Thermisch wirksamer Aussenluft-Volumenstrom	$[\dot{V}_{th}] = m^3/h \text{ oder } m^3/s$
Aussenluft-Volumenstrom durch Lüftung	$[\dot{V}_e] = m^3/h \text{ oder } m^3/s$
Aussenluft-Volumenstrom durch Infiltration	$[\dot{V}_{inf}] = m^3/h \text{ oder } m^3/s$
Nutzungsgrad der Wärmerückgewinnung	$[\eta_{rec}] = -$

Interne Wärmeinträge	$Q_i = \Phi_P \cdot t_P + \Phi_B \cdot t_B + \Phi_G \cdot t_G$
Interne Wärmeinträge	$[Q_i] = Wh$
Wärmeabgabe Personen	$[\Phi_P] = W$
Wärmeabgabe Beleuchtung	$[\Phi_B] = W$
Wärmeabgabe Geräte	$[\Phi_G] = W$
Vollaststunden Personen	$[t_P] = h$
Vollaststunden Beleuchtung	$[t_B] = h$
Vollaststunden Geräte	$[t_G] = h$

Solare Wärmeinträge	$Q_s = G \cdot F_F \cdot A_w \cdot g$
Solare Wärmeinträge	$[Q_s] = kWh$
Globalstrahlung (abhängig vom Ort)	$[G] = kWh/m^2$
Faktor für Ausrichtung der Einstrahlungsebene	$[F_F] = -$
Aussenwandfläche (transparent) = Fenster	$[A_w] = m^2$
g-Wert	$[g] = -$

Systemdesign – Heizen/Kühlen

Wärme um Körper/Fluid zu heizen/kühlen	$Q = m \cdot c_p \cdot (T_1 - T_2)$
Wärme, dem Körper zugeführt	$[Q] = J$
Masse	$[m] = kg$
Spezifische Wärmekapazität des Körpers	$[c_p] = J/(kg \cdot K)$
Temperatur des Körpers nach Zufügen der Wärme	$[T_1] = K$
Temperatur des Körpers vor Zufügen der Wärme	$[T_2] = K$

Wärme durch Verbrennung	$Q = H \cdot m$
Wärme	$[Q] = kWh$
Brennwert	$[H] = kWh/kg$
Masse	$[m] = kg$

Wärme/Kälte durch Wärmepumpe	$Q = E \cdot COP$
Wärme	$[Q] = kWh$
Strom (Exergie)	$[E] = kWh$
Leistungsziffer	$[COP] = -$

Leistungsziffer Wärmepumpe	$COP_w = \eta \frac{T_1}{T_1 - T_2}$
Leistungsziffer Wärmepumpe	$[COP] = -$
Effizienz der Wärmepumpe	$[\eta] = -$
Temperatur des warmen Reservoirs	$[T_1] = K$
Temperatur des kalten Reservoirs	$[T_2] = K$

Leistungsziffer Kältemaschine	$COP_k = \eta \frac{T_2}{T_1 - T_2}$
Leistungsziffer Kältemaschine	$[COP_k] = -$
Effizienz der Kältemaschine	$[\eta] = -$
Temperatur des warmen Reservoirs	$[T_1] = K$
Temperatur des kalten Reservoirs	$[T_2] = K$

Entzugsleistung Erdsonde	$P_{GHE} = P_{spez} \cdot L$
Leistung der Erdsonde	$[P_{GHE}] = W$
Spezifische Entzugsleistung	$[P_{spez}] = W/m$
Länge der Erdsonde	$[L] = m$

Solarstromertrag PV-Anlage	$E_{PV} = G \cdot F_F \cdot A \cdot \eta_{PV} \cdot PR$
Stromertrag	$[E_{PV}] = \text{kWh}$
Globalstrahlung (abhängig vom Ort)	$[G] = \text{kWh/m}^2$
Faktor für Ausrichtung der Einstrahlungsebene	$[F_F] = -$
Fläche der PV-Module	$[A] = \text{m}^2$
Wirkungsgrad des PV-Moduls	$[\eta_{PV}] = -$
Systemwirkungsgrad / Performance Ratio	$[PR] = -$

Thermischer Ertrag Solarkollektoren	$Q_{th} = G \cdot F_F \cdot A \cdot \eta_K \cdot R_V$
Warmwasserertrag aus Kollektoren	$[Q_{th}] = \text{kWh}$
Globalstrahlung (abhängig vom Ort)	$[G] = \text{kWh/m}^2$
Faktor für Ausrichtung der Einstrahlungsebene	$[F_F] = -$
Fläche der Kollektoren	$[A] = \text{m}^2$
Thermischer Wirkungsgrad des Kollektors	$[\eta_K] = -$
Verteilungsverlustkoeffizient	$[R_V] = -$

Lüftung

Auftriebslüftung	$\Delta p_A = g \cdot (\rho_{L,a} - \rho_{L,i}) \cdot \Delta h_A$
Druckdifferenz	$[\Delta p_A] = \text{Pa}$
Erdbeschleunigung	$[g] = \text{m/s}^2 = \text{N/kg}$
Dichte Aussenluft	$[\rho_{L,a}] = \text{kg/m}^3$
Dichte Innenluft	$[\rho_{L,i}] = \text{kg/m}^3$
Höhenunterschied Öffnungen	$[\Delta h_A] = \text{m}$

Windlüftung	$\Delta p_w = \Delta C_p \cdot \frac{\rho_L}{2} \cdot v_w^2$
Winddruck	$[\Delta p_w] = \text{Pa}$
Druckkoeffizient (abhängig von der Form)	$[\Delta C_p] = -$
Dichte der Luft	$[\rho_L] = \text{kg/m}^3$
Windgeschwindigkeit	$[v_w] = \text{m/s}$

Luftdichte	$\rho_L = \frac{p_L}{R \cdot T_L}$
Luftdichte	$[\rho_L] = \text{kg/m}^3$
Luftdruck	$[p_L] = \text{Pa}$
Spezifische Gaskonstante	$[R] = \text{J/(kg K)}$
Lufttemperatur	$[T_L] = \text{K}$

Druckerhöhung durch Ventilator	$\Delta p = \frac{P_w \cdot \eta}{\dot{V}}$
Totaldruckerhöhung	$[\Delta p] = \text{Pa}$
Antriebsleistung Ventilator	$[P_w] = \text{W}$
Wirkungsgrad Ventilator	$[\eta] = -$
Luftvolumenstrom	$[\dot{V}] = \text{m}^3/\text{s}$

Totaldruckerhöhung	$\Delta p = \Delta p_d + \Delta p_s$
Totaldruckerhöhung	$[\Delta p] = \text{Pa}$
Dynamischer Luftwiderstand	$[\Delta p_d] = \text{Pa}$
Statischer Luftwiderstand	$[\Delta p_s] = \text{Pa}$

Dynamischer Luftwiderstand	$\Delta p_d = \frac{\rho}{2} \cdot u^2$
Totaldruckerhöhung	$[\Delta p] = \text{Pa}$
Dichte der Luft	$[\rho] = \text{kg/m}^3$
Strömungsgeschwindigkeit	$[u] = \text{m/s}$

Druckverlust in geraden Rohrleitungen	$\Delta p = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \rho \cdot \frac{u^2}{2}$
Druckverlust	$[\Delta p] = \text{Pa}$
Rohrreibungszahl	$[\lambda] = -$
Länge Luftleitung	$[L] = \text{m}$
Leitungsdurchmesser	$[D] = \text{m}$
Dichte der Luft	$[\rho] = \text{kg/m}^3$
Strömungsgeschwindigkeit	$[u] = \text{m/s}$

Luftgeschwindigkeit Luftkanal	$u = \frac{\dot{V}}{A}$
Luftgeschwindigkeit	$[u] = \text{m/s}$
Volumenstrom	$[\dot{V}] = \text{m}^3/\text{s}$
Querschnittsfläche Luftkanal	$[A] = \text{m}^2$

Allgemeines

Umrechnungen	
Umrechnung Wh / J	1 Wh = 3'600 J
Umrechnung kWh / MJ	1 kWh = 3.6 MJ
Umrechnung J / kJ	1 kJ = 1000 J
Umrechnung Watt / Joule	1 W = 1 J/s
Umrechnung Jahr / Tage	1 a = 365 d
Umrechnung Jahr / Stunden	1 a = 8'760h
Umrechnung Stunden / Sekunden	1 h = 3600 s
Umrechnung K / °C	0 °C \triangleq 273 K
Umrechnung Kubikmeter / Liter	1 m ³ = 1'000 l

Kreisfläche	
	$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$
Kreisfläche	[A] = m ²
Durchmesser	[d] = m

Kugeloberfläche	
	$A = 4 \cdot \pi \cdot r^2$
Kugeloberfläche	[A] = m ²
Radius	[r] = m

Dichte	
	$\rho = \frac{m}{V}$
Dichte	[ρ] = kg/m ³ oder kg/l
Masse	[m] = kg
Volumen	[V] = m ³ oder l

Stoff-Eigenschaften	
Dichte Wasser	1000 kg/m ³
Dichte Luft	1.2 kg/m ³
Wärmekapazität Wasser	4.18 kJ/(kg·K)
Wärmekapazität Luft	1.005 kJ/(kg·K)
Heizwert Rapsöl	7 kWh/l
Heizwert Biogas	6 kWh/m ³
Heizwert Holz	5 kWh/kg
CO ₂ Konzentration Aussenluft	410 ppm

Konstanten	
Erdbeschleunigung	9.81 m/s ²
Stefan-Boltzmann-Konstante	5.67·10 ⁻⁸ W/(m ² ·K ⁴)
Raumwinkel Kugeloberfläche	4 π sr

SI-Präfixe			
Symbol	Name	Wert	
P	Peta	10 ¹⁵	1'000'000'000'000'000
T	Tera	10 ¹²	1'000'000'000'000
G	Giga	10 ⁹	1'000'000'000
M	Mega	10 ⁶	1'000'000
k	Kilo	10 ³	1'000
h	Hekto	10 ²	100
-		10 ⁰	1
d	Dezi	10 ⁻¹	0.1
c	Zenti	10 ⁻²	0.01
m	Milli	10 ⁻³	0.001
μ	Mikro	10 ⁻⁶	0.000'001
n	Nano	10 ⁻⁹	0.000'000'001