

## Energie- und Klimasysteme – Formelsammlung

### Komfort

| Operative/Empfundene Temperatur | $T_{op} = (T_a + T_r)/2$    |
|---------------------------------|-----------------------------|
| Operative Temperatur            | $[T_{op}] = ^\circ\text{C}$ |
| Raumlufttemperatur              | $[T_a] = ^\circ\text{C}$    |
| Mittlere Strahlungstemperatur   | $[T_r] = ^\circ\text{C}$    |

| Mittlere Strahlungstemperatur         | $T_r = \frac{\sum(A_i \cdot T_i)}{\sum A_i}$ |
|---------------------------------------|--|
| Mittlere Strahlungstemperatur         | $[T_r] = ^\circ\text{C}$                     |
| Fläche der abstrahlenden Oberfläche i | $[A_i] = \text{m}^2$                         |
| Temperatur der Oberfläche i           | $[T_i] = ^\circ\text{C}$                     |

### Grundlagen

| Wärmestrom                 | $\Phi = Q/t$        |
|----------------------------|---------------------|
| Wärmestrom / Wärmeleistung | $[\Phi] = \text{W}$ |
| Wärme                      | $[Q] = \text{J}$    |
| Zeit                       | $[t] = \text{s}$    |

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

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

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

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

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

| g-Wert (transparente Bauteile)                                  | $g = TS + QI$ |
|---|---------------|
| Energiedurchlassgrad  | $[g] = -$     |
| Transmission solarer Strahlung                                  | $[TS] = -$    |
| Sekundäre Wärmeabgabe nach innen durch Strahlung und Konvektion | $[QI] = -$    |

## Warmwasserbedarf

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

| Warmwasserbedarf                    | $V = V_W \cdot P \cdot t$                      |
|-------------------------------------|--|
| Warmwasserbedarf                    | $[V] = \text{m}^3 \text{ oder } \text{l}$      |
| Warmwasserbedarf pro Person und Tag | $[V_W] = \text{m}^3/\text{d oder } \text{l/d}$ |
| Anzahl Personen                     | $[P] = -$                                      |
| Anzahl Tage                         | $[t] = \text{d}$                               |

## Heizwärme-/Kältebedarf

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

| Kältebedarf                       | $Q_K = Q_i + Q_s - \eta_g \cdot (Q_T + Q_V)$ |
|-----------------------------------|--|
| Kältebedarf                       | $[Q_K] = \text{Wh}$                          |
| Transmissionswärmeverluste        | $[Q_T] = \text{Wh}$                          |
| Lüftungswärmeverluste             | $[Q_V] = \text{Wh}$                          |
| Ausnutzungsgrad für Wärmeverluste | $[\eta_g] = -$                               |
| Interne Wärmeeinträge             | $[Q_i] = \text{Wh}$                          |
| Solare Wärmeeinträge              | $[Q_s] = \text{Wh}$                          |

| Ausnutzungsgrad für Wärmegewinne/verluste | <p>Im Heizfall: <math>\eta_g = \frac{(1 - \gamma^a)}{(1 - \gamma^{a+1})}</math></p> <p>Im Kühlfall: <math>\eta_g = \frac{(1 - \gamma^{-a})}{(1 - \gamma^{-(a+1)})}</math></p> <p><math>a = 1 + \frac{\tau}{15}, \eta_g = 1 \text{ wenn } \gamma &lt; 0</math></p> |
|---|---|
| Ausnutzungsgrad für Wärmegewinne          | $[\eta_g] = -$  |
| Wärmeeintrag/-verlust-Verhältnis          | $[\gamma] = -$  |
| Zeitkonstante des Gebäudes                | $[\tau] = \text{h}$   |

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

| Zeitkonstante                                | $\tau = \frac{C \cdot A}{H_T + H_V}$   |
|--|--|
| Zeitkonstante des Gebäudes                   | $[\tau] = \text{h}$                    |
| Wärmespeicherfähigkeit der inneren Schichten | $[C] = \text{Wh/(m}^2 \cdot \text{K)}$ |
| Wärmespeichernde Flächen                     | $[A] = \text{m}^2$                     |
| Transmissions-Wärmetransferkoeffizient       | $[H_T] = \text{W/K}$                   |
| Lüftungs- Wärmetransferkoeffizient           | $[H_V] = \text{W/K}$                   |

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

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

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

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

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

| Interne Wärmeeinträge      | $Q_i = \Phi_P \cdot t_P + \Phi_B \cdot t_B + \Phi_G \cdot t_G$ |
|----------------------------|--|
| Interne Wärmeeinträge      | $[Q_i] = Wh$   |
| 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 Wärmeeinträge   | $Q_s = G \cdot F_F \cdot A_w \cdot g \cdot f_v$ |
|--|---|
| Solare Wärmeeinträge   | $[Q_s] = kWh$                                   |
| Globalstrahlung auf horizontale Fläche   | $[G] = kWh/m^2$                                 |
| Faktor für Ausrichtung der Einstrahlungsebene                                      | $[F_F] = -$                                     |
| Aussenwandfläche (transparent) = Glasfläche  | $[A_w] = m^2$                                   |
| Energiedurchlassgrad Verglasung (g-Wert)   | $[g] = -$                                       |
| Reduktionsfaktor durch externe Verschattung (Sonnenschutz, Überhang, Seitenblende) | $[f_v] = -$                                     |

## Luftbedarf

| Aussenluftvolumenstrom            | $\dot{V} = \dot{V}_p \cdot \left( A \cdot \frac{1}{A_p} \right)$ |
|-----------------------------------|--|
| Aussenluftvolumenstrom            | $[\dot{V}] = m^3/h$  |
| Aussenluftvolumenstrom pro Person | $[\dot{V}_p] = m^3/h$  |
| Raumfläche                        | $[A] = m^2$  |
| Personenfläche                    | $[A_p] = m^2$  |

| Aussenluftvolumenstrom (minimal)              | $\dot{V}_{min} \geq \frac{G}{c_{max} - c_e}$ |
|---|--|
| Aussenluftvolumenstrom (minimal)              | $[\dot{V}_{min}] = m^3/h$                    |
| Verunreinigungsrate                           | $[G] = olf, l/h, g/h$                        |
| Max. akzeptabler Innenluftverunreinigungsgrad | $[c_{max}] = pol, ppm, g/m^3$                |
| Verunreinigungsgrad der Aussenluft            | $[c_e] = pol, ppm, g/m^3$                    |

| Luftwechselrate                  | $n = \dot{V}/V$     |
|----------------------------------|---------------------|
| Luftwechselrate                  | $[n] = h^{-1}$      |
| Aussenluftvolumenstrom (minimal) | $[\dot{V}] = m^3/h$ |
| Raumvolumen                      | $[V] = m^3$         |

## Elektrizitätsbedarf

| Elektrizitätsbedarf             | $E = E_A + E_B + E_L + E_M$ |
|---------------------------------|-----------------------------|
| Elektrizitätsbedarf             | $[E] = Wh$                  |
| Elektrizitätsbedarf der Geräte  | $[E_A] = Wh$                |
| Elektrizitätsbedarf Beleuchtung | $[E_B] = Wh$                |
| Elektrizitätsbedarf Lüftung     | $[E_L] = Wh$                |
| Elektrizitätsbedarf Mobilität   | $[E_M] = Wh$                |

| Elektrizitätsbedarf  | $E = P \cdot t$ |
|----------------------|-----------------|
| Elektrizitätsbedarf  | $[E] = Wh$      |
| Leistung bei Vollast | $[P] = W$       |
| Vollaststunden       | $[t] = h$       |

## Wärme-/Kälteversorgung

| Wärme/Kälte durch Wärmepumpe  | $Q_{\text{nutz}} = E \cdot COP = Q_{\text{Anergie}} + E$ |
|-------------------------------|--|
| Wärme/Kälte, nutzbar          | $[Q_{\text{nutz}}] = \text{kWh}$                         |
| Strom (Exergie)               | $[E] = \text{kWh}$                                       |
| Leistungsziffer               | $[COP] = -$  |
| Wärme/Kälte aus Anergiequelle | $[Q_{\text{Anergie}}] = \text{kWh}$                      |

| Leistungsziffer Wärmepumpe                                      | $COP = \eta_w \cdot \frac{T_1}{T_1 - T_2}$ |
|---|--|
| Leistungsziffer Wärmepumpe                                      | $[COP] = -$                                |
| Effizienz der Wärmepumpe  | $[\eta_w] = -$                             |
| Temperatur des warmen Reservoirs (z.Bsp. Warmwassertank)        | $[T_1] = \text{K}$                         |
| Temperatur des kalten Reservoirs (z. Bsp. Aussenluft, Erdreich) | $[T_2] = \text{K}$                         |

| Leistungsziffer Kältemaschine                             | $COP = \eta_k \cdot \frac{T_2}{T_1 - T_2}$ |
|---|--|
| Leistungsziffer Kältemaschine                             | $[COP] = -$                                |
| Effizienz der Kältemaschine                               | $[\eta_k] = -$                             |
| Temperatur des warmen Reservoirs (z.Bsp. Aussenluft)      | $[T_1] = \text{K}$                         |
| Temperatur des kalten Reservoirs (z.Bsp. Innentemperatur) | $[T_2] = \text{K}$                         |

| Entzugswärme Erdsonde       | $Q_{\text{Anergie}} = P_{\text{spez}} \cdot L \cdot t$ |
|-----------------------------|--|
| Entzugswärme der Erdsonde   | $[Q_{\text{Anergie}}] = \text{kWh}$                    |
| Spezifische Entzugsleistung | $[P_{\text{spez}}] = \text{kW/m}$                      |
| Länge der Erdsonde          | $[L] = \text{m}$                                       |
| Betriebsstunden             | $[t] = \text{h}$                                       |

| Solarkollektoren                              | $Q_{\text{nutz}} = G \cdot F_F \cdot A \cdot \eta_{\text{SK}} \cdot R_V$ |
|---|--|
| Warmwasserertrag aus Kollektoren              | $[Q_{\text{nutz}}] = \text{kWh}$   |
| 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       | $[\eta_{\text{SK}}] = -$   |
| Verteilungsverlustkoeffizient                 | $[R_V] = -$  |

| Wärme durch Verbrennung           | $Q_{\text{nutz}} = \eta_v \cdot H \cdot m$ |
|-----------------------------------|--|
| Wärme                             | $[Q_{\text{nutz}}] = \text{kWh}$           |
| Effizienz des Verbrennungssystems | $[\eta_v] = -$                             |
| Heizwert                          | $[H] = \text{kWh/kg}$                      |
| Masse                             | $[m] = \text{kg}$                          |

## Luftversorgung

| Volumenstrom durch Öffnung     | $\dot{V} = c_d \cdot A \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p}$ |
|--------------------------------|--|
| Volumenstrom durch Öffnung     | $[\dot{V}] = \text{m}^3/\text{s}$                            |
| Durchflusskoeffizient          | $[c_d] = -$  |
| Querschnittsfläche der Öffnung | $[A] = \text{m}^2$   |
| Dichte der Luft                | $[\rho] = \text{kg/m}^3$                                     |
| Druckdifferenz über Öffnung    | $[\Delta p] = \text{Pa}$                                     |

| Auftriebsdruck             | $\Delta p_A = g \cdot (\rho_a - \rho_i) \cdot \Delta h_A$ |
|----------------------------|---|
| Druckdifferenz             | $[\Delta p_A] = \text{Pa}$                                |
| Erdbeschleunigung          | $[g] = \text{m/s}^2 = \text{N/kg}$                        |
| Dichte Aussenluft          | $[\rho_a] = \text{kg/m}^3$                                |
| Dichte Innenluft           | $[\rho_i] = \text{kg/m}^3$                                |
| Höhenunterschied Öffnungen | $[\Delta h_A] = \text{m}$                                 |

| Winddruck  | $\Delta p_w = c_p \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v_w^2$ |
|--|---|
| Winddruck  | $[\Delta p_w] = \text{Pa}$                          |
| Winddruckkoeffizient (abhängig von Windrichtung) | $[c_p] = -$   |
| Dichte der Luft                                  | $[\rho] = \text{kg/m}^3$                            |
| Windgeschwindigkeit                              | $[v_w] = \text{m/s}$                                |

| Luftdichte               | $\rho = \frac{p}{R \cdot T}$ |
|--------------------------|------------------------------|
| Luftdichte               | $[\rho] = \text{kg/m}^3$     |
| Luftdruck                | $[p] = \text{Pa}$            |
| Spezifische Gaskonstante | $[R] = \text{J/(kg K)}$      |
| Lufttemperatur           | $[T] = \text{K}$             |

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

| 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  | $[A] = \text{m}^2$                |

## Stromversorgung

| Solarstromertrag PV-Anlage                    | $E = G \cdot F_F \cdot A \cdot \eta_{PV} \cdot PR$ |
|---|--|
| Stromertrag                                   | $[E] = \text{kWh}$                                 |
| 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        | $[PR] = -$   |

| Wirkungsgrad PV-Modul             | $\eta_{PV} = \eta_{\text{cell}} \cdot f_{\text{cover}} \cdot \frac{A_{\text{cell}}}{A_{\text{modul}}}$ |
|-----------------------------------|--|
| Wirkungsgrad PV-Modul             | $[\eta_{PV}] = -$  |
| Wirkungsgrad PV-Zelle             | $[\eta_{\text{cell}}] = -$   |
| Durchlassgrad der Zellabdeckung   | $[f_{\text{cover}}] = -$   |
| Gesamtfläche der Zellen pro Modul | $[A_{\text{cell}}] = \text{m}^2$   |
| Fläche eines Moduls               | $[A_{\text{modul}}] = \text{m}^2$  |

## Energiespeicherung

| Thermischer Speicher (sensible Wärme) | $Q_{TS} = V \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_1 - T_2)$ |
|---------------------------------------|---|
| Thermische Speicherkapazität          | $[Q_{TS}] = \text{J}$                               |
| Speichervolumen                       | $[V] = \text{m}^3$                                  |
| Dichte                                | $[\rho] = \text{kg/m}^3$                            |
| Spezifische Wärmekapazität            | $[c_p] = \text{J/(kg} \cdot \text{K)}$              |
| Temperatur nach Zufügen der Wärme     | $[T_1] = \text{K oder } ^\circ\text{C}$             |
| Temperatur vor Zufügen der Wärme      | $[T_2] = \text{K oder } ^\circ\text{C}$             |

| Elektrischer Speicher / Batterie | $E_s = V \cdot \rho \cdot C$ |
|----------------------------------|------------------------------|
| Elektrische Speicherkapazität    | $[E_s] = \text{kWh}$         |
| Speichervolumen                  | $[V] = \text{m}^3$           |
| Dichte des Speichers             | $[\rho] = \text{kg/m}^3$     |
| Spezifische Speicherkapazität    | $[C] = \text{kWh/kg}$        |

## 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 <sup>3</sup> = 1'000 l |

| Dichte  | $\rho = \frac{m}{V}$                     |
|---------|--|
| Dichte  | [ $\rho$ ] = kg/m <sup>3</sup> oder kg/l |
| Masse   | [m] = kg                                 |
| Volumen | [V] = m <sup>3</sup> oder l              |

| Stoff-Eigenschaften                      |                        |
|--|------------------------|
| Dichte Wasser                            | 1000 kg/m <sup>3</sup> |
| Dichte Luft                              | 1.2 kg/m <sup>3</sup>  |
| Wärmekapazität Wasser                    | 4.18 kJ/(kg·K)         |
| Wärmekapazität Luft                      | 1.005 kJ/(kg·K)        |
| Wärmekapazität Eis                       | 2.09 kJ/(kg·K)         |
| Wärmekapazität Beton                     | 0.88 kJ/(kg·K)         |
| Wärmekapazität Stahl                     | 0.50 kJ/(kg·K)         |
| Heizwert Rapsöl                          | 7 kWh/l                |
| Heizwert Biogas                          | 6 kWh/m <sup>3</sup>   |
| Heizwert Holz                            | 5 kWh/kg               |
| CO <sub>2</sub> Konzentration Aussenluft | 410 ppm                |

| Konstanten                 |   |
|----------------------------|---|
| Erdbeschleunigung          | 9.81 m/s <sup>2</sup>                                     |
| Stefan-Boltzmann-Konstante | 5.67·10 <sup>-8</sup> W/(m <sup>2</sup> ·K <sup>4</sup> ) |
| Raumwinkel Kugeloberfläche | 4 $\pi$ sr  |

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