

Energieeffiziente Produktion

Aufgaben und Formeln der ersten Übung
Sommersemester 2019



Wichtige Stoffdaten und Formeln für Luft-Wasser

Wasser

Dichte (bei 20 °C) ρ_W :

$$1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{l}}$$

Spezifische Wärmekapazität $c_{p,W}$:

$$4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

Verdampfungsenthalpie (bei $\geq 100^\circ\text{C}$) r :

$$2257 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Verdunstungsenthalpie (bei $< 100^\circ\text{C}$) r :

$$2465 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Luft

Dichte (bei 20 °C) ρ_L :

$$1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Spezifische Wärmekapazität $c_{p,L}$:

$$1004 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

Wärmeübertragung durch Transmission

$$\dot{Q}_{Trans} = U \cdot A \cdot \Delta T$$

Berechnung des U-Wertes ebene Platte

$$\frac{1}{U \cdot A} = \frac{1}{\alpha_i \cdot A} + \frac{s}{\lambda \cdot A} + \frac{1}{\alpha_a \cdot A}$$

Berechnung des U-Wertes Zylinderschale

$$\frac{1}{U \cdot A} = \frac{1}{\alpha_i \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_i \cdot L} + \frac{\ln\left(\frac{r_a}{r_i}\right)}{\lambda \cdot 2 \cdot \pi \cdot L} + \frac{1}{\alpha_a \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_a \cdot L}$$

konvektiver Wärmestrom

$$\dot{Q}_{Konv} = \alpha \cdot A \cdot \Delta T$$

Wärmestrahlung

$$\dot{Q}_{Str} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_0^4 - T_{sky}^4)$$

thermischer Wärmestrom

$$\dot{Q}_{th} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T$$

Wärmestrom bei Verdampfung

$$\dot{Q}_V = \dot{m} \cdot r$$

Heizleistung (Wärmestrom)

$$\dot{Q} = \dot{m}_{BR} \cdot H_U \cdot \eta$$

Aufgabe 2: Beleuchtung

Welche Beleuchtungsstärke wird durch eine Glühlampe von 1000 cd auf einer horizontalen Fläche in 5 m Entfernung erzielt?

Gegeben: $I = 1000 \text{ cd}$ $r = 5 \text{ m}$

Lösung:

$$E = \frac{I}{r^2}$$
$$= \frac{1000 \text{ cd}}{(5 \text{ m})^2} = \underline{\underline{40 \text{ lx}}}$$

Aufgabe 3: Beleuchtung

Ein Arbeitsraum, in dem feine Arbeiten verrichtet werden, hat eine Fläche von 20 m². Die Lichtausbeute soll 12 lm/W und der Beleuchtungswirkungsgrad 0,54 betragen.

Wie groß muss die Leistungsaufnahme der Glühlampe sein?

Gegeben: $E = 500 \text{ lx}$ $A = 20 \text{ m}^2$
 $\eta = 12 \text{ lm/W}$ $\eta_B = 0,54$

Lösung:

$$P = \frac{\phi}{\eta} = \frac{E \cdot A}{\eta \cdot \eta_B}$$
$$= \frac{500 \text{ lx} \cdot 20 \text{ m}^2}{12 \frac{\text{lm}}{\text{W}} \cdot 0,54} = \underline{\underline{1543 \text{ W}}}$$

Aufgabe 4: Beleuchtung

Es soll ein Zeichenraum ($l=9\text{m}$, $b=6\text{m}$, $h=3\text{m}$) mit einer Leuchte beleuchtet werden. Laut Herstellerangabe beträgt der Lampenwirkungsgrad 81% . Die Beleuchtungsstärke soll 500lx bei einem Raumwirkungsgrad von $0,463$ betragen. Als Verschmutzungsfaktor wird $0,8$ angenommen, d.h. ca. 4-6 Wochen nach der Montage kann mit einer Verminderung des Lichtstromes um ca. 20% gerechnet werden.

Berechnen Sie:

- a. den erforderlichen Lichtstrom unter optimalen Bedingungen
- b. den erforderlichen Lichtstrom unter den gegebenen Bedingungen
- c. die Anzahl der Lampen, Glühbirne 700 Lumen ; 65 Watt
- d. den Anschlusswert

Lösung Aufgabe 4: Beleuchtung

Gegeben:

$$l = 9 \text{ m}; b = 6 \text{ m}; h = 3 \text{ m}$$
$$\eta_{LB} = 0,81 \quad E = 500 \text{ lx}$$
$$WF = 0,8 \quad \eta_R = 0,463$$
$$\phi_{Glüh} = 700 \text{ lm} \quad P_{Glüh} = 65 \text{ W}$$

Lösung a:

$$\phi_{opt} = \frac{E \cdot A}{\eta_{LB}}$$
$$= \frac{500 \text{ lx} \cdot 54 \text{ m}^2}{0,81}$$
$$= \underline{\underline{33\,333 \text{ lm}}}$$

Lösung b:

$$\phi_{real} = \frac{E \cdot A}{\eta_R \cdot \eta_{LB} \cdot WF}$$
$$= \frac{500 \text{ lx} \cdot 54 \text{ m}^2}{0,463 \cdot 0,81 \cdot 0,8}$$
$$\approx \underline{\underline{90\,000 \text{ lm}}}$$

Lösung Aufgabe 4: Beleuchtung

Gegeben:

$$l = 9 \text{ m}; b = 6 \text{ m}; h = 3 \text{ m}$$

$$\eta_{LB} = 0,81$$

$$WF = 0,8$$

$$\phi_{Glüh} = 700 \text{ lm}$$

$$E = 500 \text{ lx}$$

$$\eta_R = 0,463$$

$$P_{Glüh} = 65 \text{ W}$$

Lösung c:

$$\begin{aligned} n_{Glüh} &= \frac{\frac{E \cdot A}{\eta_R \cdot \eta_{LB} \cdot WF}}{\phi} = \frac{\phi_{real}}{\phi_{Glüh}} \\ &= \frac{90\,000 \text{ lm}}{700 \text{ lm}} \\ &= \underline{\underline{128,57 \text{ Stück}}} \end{aligned}$$

gewählt 129 Glühbirnen

Lösung d:

$$\begin{aligned} P_{Ges,Glüh} &= n_{Glüh} \cdot P_{Glüh} \\ &= 129 \cdot 65 \text{ W} \\ &= \underline{\underline{8\,385 \text{ W}}} \end{aligned}$$

Aufgabe 4a: Beleuchtung

Die bisherige Beleuchtung bestehend aus Glühbirnen soll aus Energieeffizienzmaßnahmen ausgetauscht werden. Dafür sollen LED Leuchten mit einem Lichtstrom von 470 Lumen zum Einsatz kommen.

Berechnen Sie:

- e. die Anzahl der LED-Lampen
- f. den Anschlusswert (6 Watt)

- g. Berechnen Sie die Amortisationszeit beim Austausch der Lampen bei einer jährlichen Betriebszeit von 2500 h/a und einem Strompreis von $0,18 \text{ €/kWh}$. Die Kosten für die LED-Beleuchtung betragen $8,80 \text{ €}$ und die Kosten für den Mitarbeiter insgesamt 12 € . Für die Installation sind 30 h vorgesehen.

Lösung Aufgabe 4a: Beleuchtung

Gegeben:

$$l = 9 \text{ m}; b = 6 \text{ m}; h = 3 \text{ m}$$

$$\eta_{LB} = 0,81$$

$$WF = 0,8$$

$$\phi_{LED} = 470 \text{ lm}$$

$$E = 500 \text{ lx}$$

$$\eta_R = 0,463$$

$$P_{LED} = 6 \text{ W}$$

Lösung e:

$$\begin{aligned} n_{LED} &= \frac{E \cdot A}{\phi \cdot \eta_R \cdot \eta_{LB} \cdot WF} \\ &= \frac{500 \text{ lx} \cdot 54 \text{ m}^2}{470 \text{ lm} \cdot 0,463 \cdot 0,81 \cdot 0,8} \\ &= \underline{\underline{191,47 \text{ Stück}}} \end{aligned}$$

gewählt 192 Lampen

Lösung f:

$$\begin{aligned} P_{Ges,LED} &= n_{LED} \cdot P_{LED} \\ &= 192 \cdot 6 \text{ W} \\ &= \underline{\underline{1152 \text{ W}}} \end{aligned}$$

Lösung Aufgabe 4a: Beleuchtung

Lösung g:	Glühbirne	LED
Leistungsaufnahme	65 W/Lampe	6 W/Lampe
Leistungsaufnahme gesamt	8385 W	1152 W
Betriebszeit	2500 h/a	
Verbrauch	20 962,5 kWh/a	2 880 kWh/a
Stromeinsparung	--	18 082,5 kWh/a
Strompreis	0,18 €/kWh	
Betriebskosten	3 773,25 €/a	518,4 €/a
Kosteneinsparung		3 254,85 €/a
Investitionskosten		2 049,60 €
Payback-Zeit		7,5 Monate

Aufgabe 5: Abgegebene Wärmeleistung

Die Wasser-Vorlauftemperatur eines Heizkörpers beträgt 50°C , der Rücklauf hat 40°C . Der Durchfluss beträgt 100 l/h . Wie groß ist die abgegebene Wärmeleistung?

Lösung Aufgabe 5: Abgegebene Wärmeleistung

Gegeben:

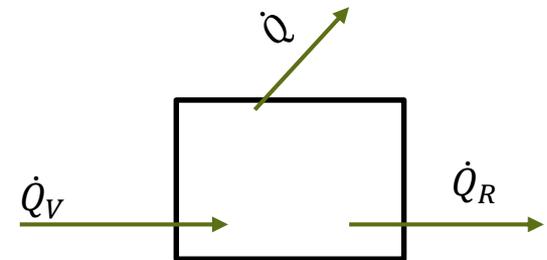
$$T_V = 50 \text{ }^\circ\text{C} \quad C_{p,W} = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$
$$T_R = 40 \text{ }^\circ\text{C} \quad \rho_W = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{l}}$$
$$\dot{V} = 100 \frac{\text{l}}{\text{h}} = 100 \frac{\text{dm}^3}{\text{h}} = 0,1 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Lösung:

$$\underline{\underline{\dot{Q}_V = \dot{Q} + \dot{Q}_R}}$$

$$\dot{Q} = \dot{Q}_V - \dot{Q}_R$$
$$\dot{Q} = \dot{V} \cdot \rho_W \cdot C_{p,W} \cdot (T_V - T_R)$$

$$= 0,1 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{1}{3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4190 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \cdot (50 \text{ }^\circ\text{C} - 40 \text{ }^\circ\text{C})$$
$$\approx \underline{\underline{1163,89 \text{ W}}}$$



Aufgabe 6: Spritzgießmaschine

Eine Spritzgießmaschine benötigt für den Betrieb eine mittlere elektrische Wirkleistung von 120 kW . Sie besitzt einen Wasser-Kühlkreislauf mit einer Eintrittstemperatur von 10°C und einem Durchfluss von $5 \text{ m}^3/\text{h}$ ($Dichte = 1000 \text{ kg/m}^3$, $c_p = 4190 \text{ J/kg K}$). An die Umgebungsluft gibt sie 80 kW Wärme über Strahlung und Konvektion ab.

- a. Stellen Sie die Energiebilanz der Spritzgießmaschine auf!
- b. Wie groß ist die Austrittstemperatur des Kühlwassers, wenn sonst keine weiteren Energieströme vorhanden sind?

Lösung Aufgabe 6: Spritzgießmaschine

Gegeben:

$$P_{el.,Wirk} = 120 \text{ kW} \quad \dot{V}_{Kühlwasser} = 5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$
$$\dot{Q}_{Str.,Konv.} = 80 \text{ kW} \quad c_{p,W} = 4190 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$
$$T_{ein,Kühl} = 10 \text{ }^\circ\text{C} \quad \rho_W = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Lösung a:

$$\underline{\underline{P_{el.,Wirk} = \dot{Q}_{Str.,Konv.} + \dot{Q}_{Kühlung}}}$$

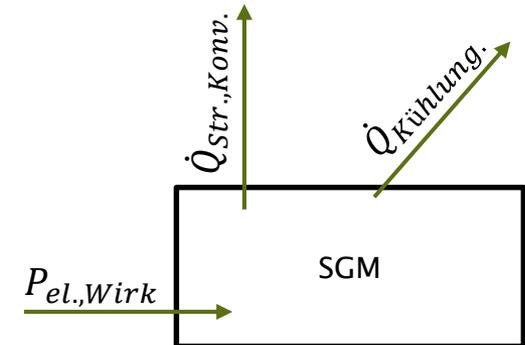
Lösung b: mit $P_{el.,Wirk}$ aus a)

folgt $P_{el.,Wirk} = \dot{Q}_{Str.,Konv.} + \dot{Q}_{Kühlung}$

mit $\dot{Q}_{Kühlung} = \dot{m}_{Kühlwasser} \cdot c_{p,W} \cdot \Delta T$

und $\Delta T = T_{aus,Kühl} - T_{ein,Kühl}$, $\dot{m}_{Kühlwasser} = \dot{V}_{Kühlwasser} \cdot \rho_W$

folgt $P_{el.,Wirk} = \dot{Q}_{Str.,Konv.} + \dot{V}_{Kühlwasser} \cdot \rho_W \cdot c_{p,W} \cdot (T_{aus,Kühl} - T_{ein,Kühl})$



Lösung Aufgabe 6: Spritzgießmaschine

auflösen nach $T_{aus,Kühl}$

$$T_{aus,Kühl} = \frac{P_{el,Wirk} - \dot{Q}_{Str.,Konv.}}{\dot{V}_{Kühlwasser} \cdot \rho_W \cdot c_{p,W}} + T_{ein,Kühl}$$

mit einsetzen der Werte (T in $[K]$, $[J] = [Ws]$)

folgt

$$\begin{aligned} T_{aus,Kühl} &= \frac{120 \text{ kW} - 80 \text{ kW}}{5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{1}{3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}} \cdot 4190 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}} + 283,15 \text{ K} \\ &\approx \frac{40000 \text{ W}}{5819,44 \frac{\text{W}}{\text{K}}} + 283,15 \text{ K} \\ &\approx 6,87 \text{ K} + 283,15 \text{ K} \\ &\approx 290,02 \text{ K} \\ &\approx \underline{\underline{16,87 \text{ }^\circ\text{C}}} \end{aligned}$$

Aufgabe 7: Produktionsgebäude

Ein Gebäude (umgeben von Außenluft, kein Bodenkontakt) hat eine Größe von $10\text{ m} \cdot 15\text{ m} \cdot 6\text{ m}$ (*Länge · Breite · Höhe*). Der U-Wert der Außenwände beträgt $0,8\text{ W/m}^2\text{K}$. Es gibt keine Fenster. Die Luftwechselrate durch offene Türen sowie Undichtigkeiten im Gebäude beträgt $n = 2/h$, die Hallentemperatur wird auf konstant 20 °C eingeregelt. (Dichte Luft $\rho_L = 1,2\text{ kg/m}^3$, $c_{p,L} = 1004\text{ J/kg K}$). Durch Maschinenabwärme in der Halle beträgt die innere Last 10 kW .

- Stellen Sie die Energiebilanz des Gebäudes auf!
- Wie hoch ist die notwendige Kühllast bei einer Außentemperatur von 30 °C und wie viel elektrische Energie ist dafür notwendig wenn die verwendeten Kompressionskälteanlage einen COP von 4 besitzt?
- Bei welcher Außentemperatur muss weder geheizt noch gekühlt werden?

Lösung Aufgabe 7: Produktionsgebäude

Gegeben: $10 \text{ m} \cdot 15 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} \triangleq (\text{Länge} \cdot \text{Breite} \cdot \text{Höhe})$

$$U = 0,8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \quad n = 2/h$$

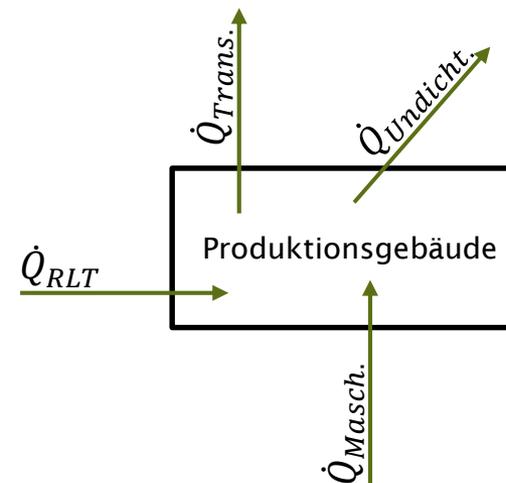
$$\rho_L = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad c_{p,L} = 1004 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

$$T_{\text{Halle}} = 20^\circ\text{C} \quad T_{\text{Außen}} = 30^\circ\text{C}$$

$$\dot{Q}_{\text{Masch.}} = 10 \text{ kW} \quad \text{COP} = 4$$

Lösung a:

$$\underline{\underline{0 = \dot{Q}_{RLT} + \dot{Q}_{\text{Masch.}} - \dot{Q}_{\text{Trans.}} - \dot{Q}_{\text{Undicht.}}}}$$



Lösung Aufgabe 7: Produktionsgebäude

Lösung b: Auflösen der Energiebilanz aus a) nach \dot{Q}_{RLT} liefert

$$-\dot{Q}_{RLT} = \dot{Q}_{Masch.} - \dot{Q}_{Trans.} - \dot{Q}_{Undicht.}$$

$$= 10kW - U \cdot A_{Halle} \cdot \Delta T - \dot{V} \cdot \rho_L \cdot c_{p,L} \cdot \Delta T$$

mit $\Delta T = T_{Halle} - T_{Außen} = 293,15 K - 303,15 = -10 K$

und $A_{Halle} = 10 m \cdot 6 m \cdot 2 + 15 m \cdot 6 m \cdot 2 + 10 m \cdot 15 m \cdot 2 = 600 m^2$

und $\dot{V} = V_{Halle} \cdot n$ mit $V_{Halle} = 10 m \cdot 15 m \cdot 6 m = 900 m^3$, $n = 2/h$

folgt
$$\begin{aligned} \dot{V} &= 900 m^3 \cdot \frac{2}{h} = 1800 \frac{m^3}{h} \\ &= 1800 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{1}{3600 \frac{s}{h}} \\ &= 0,5 \frac{m^3}{s} \end{aligned}$$

Lösung Aufgabe 7: Produktionsgebäude

und durch einsetzen der Werte in

$$-\dot{Q}_{RLT} = 10kW - U \cdot A_{Halle} \cdot \Delta T - \dot{V} \cdot \rho_L \cdot c_{p,L} \cdot \Delta T$$

folgt

$$\begin{aligned} -\dot{Q}_{RLT} &= 10kW - 0,8 \frac{W}{m^2 K} \cdot 600 m^2 \cdot (-10 K) - 0,5 \frac{m^3}{s} \cdot 1,2 \frac{kg}{m^3} \cdot 1004 \frac{J}{kg K} \cdot (-10 K) \\ &= 10kW + 4800 W + 6024 W \\ &= 20824 W \end{aligned}$$

$$\dot{Q}_{RLT} = -20824 W$$

Die benötigte elektrische Energie für die Kompressionskälteanlage:

$$\begin{aligned} E_{el.} &= |\dot{Q}_{RLT}| \cdot \frac{1}{COP} \\ &= 20824 W \cdot \frac{1}{4} \\ &= \underline{\underline{5206 W}} \end{aligned}$$

Lösung Aufgabe 7: Produktionsgebäude

Lösung c: Mit der Energiebilanz aus b) und mit $\dot{Q}_{RLT} = 0$

folgt $0 = \dot{Q}_{Masch.} - \dot{Q}_{Trans.} - \dot{Q}_{Undicht.}$

$$0 = 10kW - 0,8 \frac{W}{m^2 K} \cdot 600 m^2 \cdot \Delta T - 0,5 \frac{m^3}{s} \cdot 1,2 \frac{kg}{m^3} \cdot 1004 \frac{J}{kg K} \cdot \Delta T$$

$$-10kW = \left(-0,8 \frac{W}{m^2 K} \cdot 600 m^2 - 0,5 \frac{m^3}{s} \cdot 1,2 \frac{kg}{m^3} \cdot 1004 \frac{J}{kg K} \right) \cdot \Delta T$$

mit $\Delta T = T_{Halle} - T_{Außen} = 293,15 K - T_{Außen}$

folgt $-10 kW = -1082,4 \frac{W}{K} \cdot (293,15 K - T_{Außen})$

$$-10 kW = -317305,56 W + 1082,4 \frac{W}{K} \cdot T_{Außen}$$

$$\frac{307305,56 W}{1082,4 \frac{W}{K}} = T_{Außen}$$

$$T_{Außen} \approx 283,91 K$$

$$\approx \underline{\underline{10,76 \text{ } ^\circ\text{C}}}$$

Noch Fragen?

Bei Fragen oder Anmerkungen zu den Aufgaben bitte melden bei:

Conrad Hannen

hannen@upp-kassel.de

Raum 2112, Gebäude Technik III/2

Tim Weiß

weiss@upp-kassel.de

Raum 2115, Gebäude Technik III/2

Aufgabe 8: Strahlung und Konvektion

Ein Heizkörper gibt seine Wärme über Strahlung und Konvektion an den Raum ab. Der Raum hat eine Temperatur von 25°C , für die Strahlungsaustauschflächen wird angenommen, dass sie etwa Raumtemperatur haben. Die Oberfläche des Heizkörpers beträgt je 3 m^2 an der Vorder- und Rückseite. Die mittlere Temperatur im Heizkörper beträgt 60°C . Für den Wärmeübergangskoeffizienten α nehmen Sie $3\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{ K}}$ an. Der Emissionsfaktor des Heizkörperlacks beträgt 0,8.

Stoffdaten von Wasser:

Dichte

$$\rho_W = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

spez. Wärmekapazität

$$c_{p,W} = 4190 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

Stefan-Boltzmann-Konstante

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{ K}^4}$$

Berechnen Sie die abgegebene Wärmeleistung!

Lösung Aufgabe 8: Strahlung und Konvektion

Gegeben:

$$T_{Raum} = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\varepsilon = 0,8$$

$$T_{sky} = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\alpha = 3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

$$T_{Heizk.} = 60 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}$$

$$A_{Heizk.} = 2 \cdot 3 \text{ m}^2 = 6 \text{ m}^2$$

Lösung:

$$\dot{Q}_{ges} = \dot{Q}_{Str} + \dot{Q}_{Konv}$$

$$= \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_0^4 - T_{sky}^4) + \alpha \cdot A \cdot \Delta T$$

mit

$$T_0 = T_{Heizk.}, \Delta T = (T_{Heizk.} - T_{Raum}) \text{ und } A = A_{Heizk.}$$

folgt

$$\dot{Q}_{ges} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_{Heizk.}^4 - T_{sky}^4) + \alpha \cdot A \cdot (T_{Heizk.} - T_{Raum})$$

Lösung Aufgabe 8: Strahlung und Konvektion

einsetzen der Werte liefert (wichtig T in $[K]$)

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{ges} &= 0,8 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} \cdot 6 m^2 \cdot ((333,15 K)^4 - (298,15 K)^4) + \\ &\quad 3 \frac{W}{m^2 K} \cdot 6 m^2 \cdot (333,15 K - 298,15 K) \\ &\approx 1201,99 W + 630 W \\ &\approx \underline{\underline{1831,99 W}}\end{aligned}$$

Aufgabe 9: Beleuchtung

- a. Berechnen Sie den Wirkungsgrad einer Glühbirne mit 40 W (12 lm/W). Welcher Anteil der eingebrachten Energie wird unmittelbar in Wärme umgewandelt?
- b. Vergleichen Sie die Verlustleistung zweier Vorschaltgeräte. Derzeit ist in einem Unternehmen ein konventionelles Vorschaltgerät (KVG) mit einer Systemleistungsaufnahme (Lampe + KVG) von 71 W/Lampe eingesetzt. Berechnen Sie die Amortisationszeit beim Austausch von zwei Lampen durch ein elektrisches Vorschaltgerät (EVG) ($55\text{ W Systemleistung/Lampe}$) bei einer jährlichen Betriebszeit von 6000 h/a und einem Strompreis von $0,1\text{ €/kWh}$. Die Kosten für ein EVG betragen $14,95\text{ €}$ und die Kosten für den Mitarbeiter insgesamt 12 € .

Erklärung: Nach Definition des Lichtstroms kann eine Strahlungsquelle von 1 Watt Lichtleistung bei einer Wellenlänge von 555 nm (grün) für das hell adaptierte Auge nicht heller als 683 Lumen (683 lm) erscheinen.

→Die Maximale Lichtausbeute beträgt **683 lm/W**

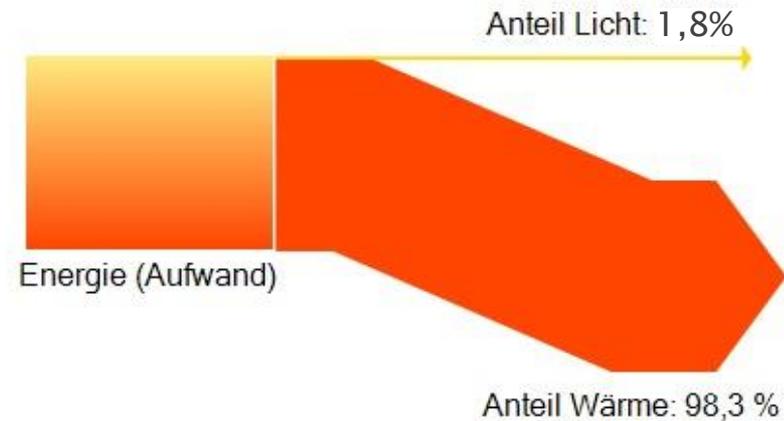
Mit diesem Wert werden sämtliche Lichtquellen verglichen um zu einem Wirkungsgrad zu gelangen.

Wirkungsgrad – Lichtausbeute

Lösung Aufgabe a:

Glühbirne 40 W (12 lm/W)

$$\Rightarrow \text{Wirkungsgrad} = \frac{12 \frac{\text{lm}}{\text{W}}}{683 \frac{\text{lm}}{\text{W}}} \approx \underline{\underline{1,8\%}}$$



Lösung Aufgabe 9: Beleuchtung

Lösung Aufgabe b: Verlustleistung der Vorschaltgeräte (2 Lampen)

Vorschaltgerät	KVG	EVG
Systemleistungsaufnahme Lampe + Vorschaltgerät	71 W/Lampe	55 W/Lampe
Betriebszeit	6.000 h/a	6.000 h/a
Verbrauch	852 kWh/a	660 kWh/a
Stromeinsparung	–	192 kWh/a
Strompreis	0,10 €/kWh	0,10 €/kWh
Betriebskosten absolut	85,20 €/a	66 €/a
Kosteneinsparung	–	19,20 €/a
Kosten pro EVG	–	14,95 €
Kosten Mitarbeiter insgesamt	–	12 €
Amortisationszeit	–	2,18 a

Aufgabe 10: Elektromotoren

In einem Unternehmen werden derzeit Elektromotoren der Energieeffizienzklasse EFF 3 eingesetzt (Wirkungsgrad 0,8). Die benötigte Leistung beträgt 11 kW bei 4.000 Betriebsstunden pro Jahr und einem Energiepreis von 10 ct/kWh .

Für den Austausch des neuen Motors der Energieeffizienzklasse IE 2 (Wirkungsgrad 0,912) benötigt ein Mitarbeiter des Unternehmens 5 Stunden (40 Euro/Stunde). Die Anschaffungskosten betragen 1.020 Euro.

- a. Berechnen Sie die jährlichen Betriebskosten der neuen und alten Motoren!
- b. Berechnen Sie die Amortisationszeit bei Verwendung eines neuen Motors unter Einbeziehung der Anschaffungs- und Personalkosten!

Lösung Aufgabe 10: Elektromotoren

Lösung a: Jährliche Betriebskosten für Motor-Typ EFF 3

$$\begin{aligned} K_{\text{Betrieb, EFF 3}} &= \frac{11 \text{ kW}}{0,8} \cdot 4000 \frac{\text{h}}{\text{a}} \cdot 0,1 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \\ &= \underline{\underline{5.500 \frac{\text{€}}{\text{a}}}} \end{aligned}$$

Jährliche Betriebskosten für Motor-Typ IE 2

$$\begin{aligned} K_{\text{Betrieb, IE 2}} &= \frac{11 \text{ kW}}{0,912} \cdot 4000 \frac{\text{h}}{\text{a}} \cdot 0,1 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \\ &= \underline{\underline{4.825 \frac{\text{€}}{\text{a}}}} \end{aligned}$$

Lösung b: Amortisationszeit

$$\text{Amortisationszeit} = \frac{\text{einmalige Kosten}}{\text{Einsparung pro Jahr}} = \frac{K_{\text{Anschaffung}} + K_{\text{Austausch}}}{K_{\text{Betrieb, EFF 3}} - K_{\text{Betrieb, IE 2}}}$$

$$\text{mit } K_{\text{Anschaffung}} = 1.020 \text{ € und } K_{\text{Austausch}} = 5 \text{ h } 40 \frac{\text{€}}{\text{h}} = 200 \text{ €}$$

$$\text{Amortisationszeit} = \frac{1.200 \text{ €} + 200 \text{ €}}{5.500 \frac{\text{€}}{\text{a}} - 4.825 \frac{\text{€}}{\text{a}}} = \frac{1.220 \text{ €}}{675 \frac{\text{€}}{\text{a}}} \approx \underline{\underline{1,8 \text{ a}}}$$