

# Energieeffiziente Produktion

Aufgaben und Formeln der ersten Übung  
Sommersemester 2019



## Wichtige Stoffdaten und Formeln für Luft–Wasser

### Wasser

Dichte (bei 20 °C)  $\rho_W$  :

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

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)  $\rho_L$  :

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

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 m<sup>2</sup>. 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  $500\text{lx}$  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  $700\text{ Lumen}$ ;  $65\text{ Watt}$
- 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  $2500 \text{ h/a}$  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  $12 \text{ €}$ . Für die Installation sind  $30 \text{ h}$  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 €
<b>Payback-Zeit</b>		<b>7,5 Monate</b>

# Aufgabe 5: Abgegebene Wärmeleistung

---

Die Wasser-Vorlauftemperatur eines Heizkörpers beträgt  $50^{\circ}\text{C}$ , der Rücklauf hat  $40^{\circ}\text{C}$ . Der Durchfluss beträgt  $100 \text{ l/h}$ . Wie groß ist die abgegebene Wärmeleistung?

# Lösung Aufgabe 5: Abgegebene Wärmeleistung

Gegeben:

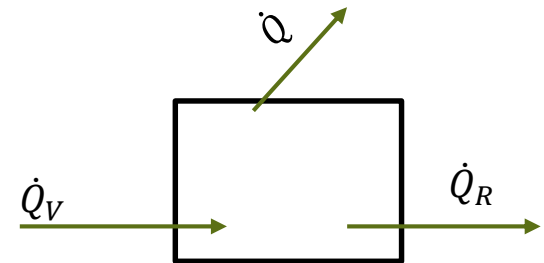
$$T_V = 50 \text{ }^\circ\text{C} \quad C_{p,W} = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$
$$T_R = 40 \text{ }^\circ\text{C} \quad \rho_W = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{l}}$$
$$\dot{V} = 100 \frac{\text{l}}{\text{h}} = 100 \frac{\text{dm}^3}{\text{h}} = 0,1 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

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  $120 \text{ kW}$ . Sie besitzt einen Wasser-Kühlkreislauf mit einer Eintrittstemperatur von  $10^\circ\text{C}$  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  $80 \text{ kW}$  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:

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

Lösung a:

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

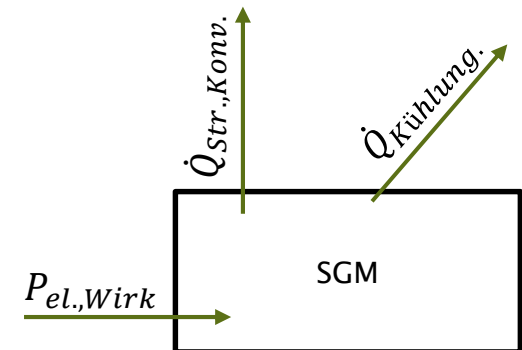
Lösung b: mit  $P_{el.,Wirk}$  aus a)

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  $20\text{ °C}$  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  $10\text{ kW}$ .

- Stellen Sie die Energiebilanz des Gebäudes auf!
- Wie hoch ist die notwendige Kühllast bei einer Außentemperatur von  $30\text{ °C}$  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:  $10 \text{ m} \cdot 15 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} \triangleq (\text{Länge} \cdot \text{Breite} \cdot \text{Höhe})$

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

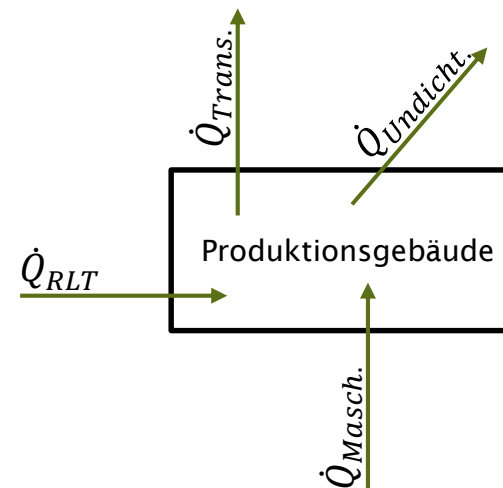
$$\rho_L = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad c_{p,L} = 1004 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

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

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

Lösung a:

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



# 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](mailto:hannen@upp-kassel.de)

Raum 2112, Gebäude Technik III/2

Tim Weiß

[weiss@upp-kassel.de](mailto: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  $25^{\circ}\text{C}$ , für die Strahlungsaustauschflächen wird angenommen, dass sie etwa Raumtemperatur haben. Die Oberfläche des Heizkörpers beträgt je  $3\text{ m}^2$  an der Vorder- und Rückseite. Die mittlere Temperatur im Heizkörper beträgt  $60^{\circ}\text{C}$ . Für den Wärmeübergangskoeffizienten  $\alpha$  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:

$$T_{Raum} = 25 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \varepsilon = 0,8$$

$$T_{sky} = 25 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \alpha = 3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

$$T_{Heizk.} = 60 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}$$

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

Lösung:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{ges} &= \dot{Q}_{Str} + \dot{Q}_{Konv} \\ &= \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_0^4 - T_{sky}^4) + \alpha \cdot A \cdot \Delta T \end{aligned}$$

mit  $T_0 = T_{Heizk.}$ ,  $\Delta T = (T_{Heizk.} - T_{Raum})$  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  $40\text{ W}$  ( $12\text{ lm/W}$ ). 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  $71\text{ W/Lampe}$  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  $6000\text{ h/a}$  und einem Strompreis von  $0,1\text{ €/kWh}$ . Die Kosten für ein EVG betragen  $14,95\text{ €}$  und die Kosten für den Mitarbeiter insgesamt  $12\text{ €}$ .

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

→Die Maximale Lichtausbeute beträgt  **$683\text{ lm/W}$**

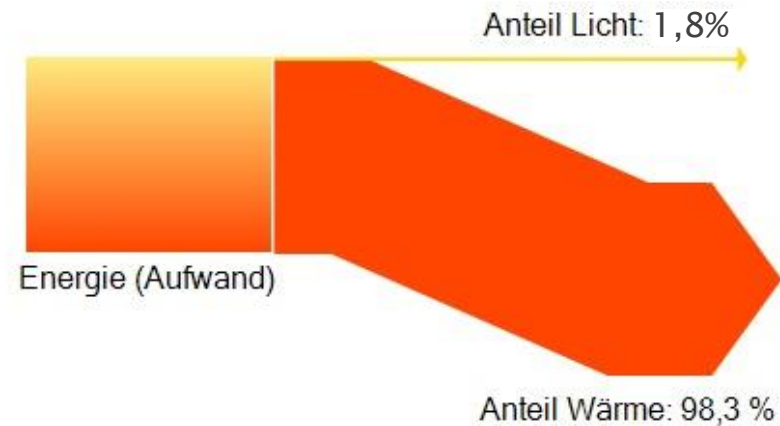
Mit diesem Wert werden sämtliche Lichtquellen verglichen um zu einem Wirkungsgrad zu gelangen.

## 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  $11 \text{ kW}$  bei 4.000 Betriebsstunden pro Jahr und einem Energiepreis von  $10 \text{ ct/kWh}$ .

Für den Austausch des neuen Motors der Energieeffizienzklasse IE 2 (Wirkungsgrad 0,912) benötigt ein Mitarbeiter des Unternehmens 5 Stunden ( $40 \text{ Euro/Stunde}$ ). 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

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

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

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