

TG Umwelttechnik

2013

Musteraufgabe

Lösungsvorschlag

Arbeitszeit: 270 Minuten
Hilfsmittel: Formelsammlung Umwelttechnik
Zugelassener Taschenrechner

1 Elektromobilität, Wasserkraft und Drehstromübertragung, Tiefsetzsteller

Punkte

Ausflug mit dem E-Bike**1.1 Leistungsermittlung**

2

Auf der Ebene muss der Fahrer die Haftreibungskraft und die Windwiderstandskraft überwinden. Da der Windwiderstand quadratisch und die Windleistung sogar kubisch mit der Geschwindigkeit ansteigt, steigt die aufzubringende Leistung stark an. Bei Bergfahrten kommt die Überwindung des Hangabtriebs hinzu, wodurch diese Kurven stärker ansteigen

1.2 Fahrt auf der Ebene

Abgelesen aus der Kennlinienschar $P(v)$ bei der Steigung $m=0\%$ und der Geschwindigkeit $v=25\text{km/h}$: $P=210\text{W}$

$$P_{\text{Motor}} = 0,1 \cdot 210\text{W} = 21\text{W}$$

3,5

$$P_{\text{zu}} = \frac{P_{\text{Motorab}}}{\eta} = \frac{21\text{W}}{0,82} = 25,61\text{W}$$

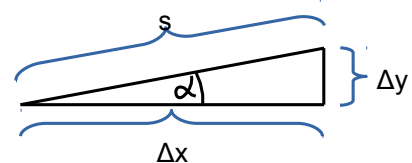
bei $v = 25\text{km/h}$ und $12\text{km} \rightarrow t = 0,48\text{h}$

$\rightarrow$ nach $0,48\text{h}$ Fahrt: $W = P \cdot t = 25,61 \cdot 0,48\text{h} = 12,29\text{Wh}$

1.3 Bergfahrt

$$1.3.1 \quad m_1 = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{996\text{m}}{20.000\text{m}} = 4,48\% \quad , \quad s_1 \approx 20\text{km}$$

$$m_2 = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{200\text{m}}{4.000\text{m}} = 5\% \quad , \quad s_2 \approx 4\text{km}$$



1

$$1.3.2 \quad v = \frac{s}{t} \Rightarrow t_1 = \frac{s_1}{v} = \frac{20\text{km}}{20 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = 1\text{h}$$

$$t_2 = \frac{s_2}{v} = \frac{4\text{km}}{20 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = 0,2\text{h}$$

Aus der Kennlinienschar:

$P_1 = 385\text{W}$, $P_2 = 410\text{W}$

$$P_{1\text{Motor}} = \frac{0,5 \cdot 385\text{W}}{0,82} = 234\text{W}$$

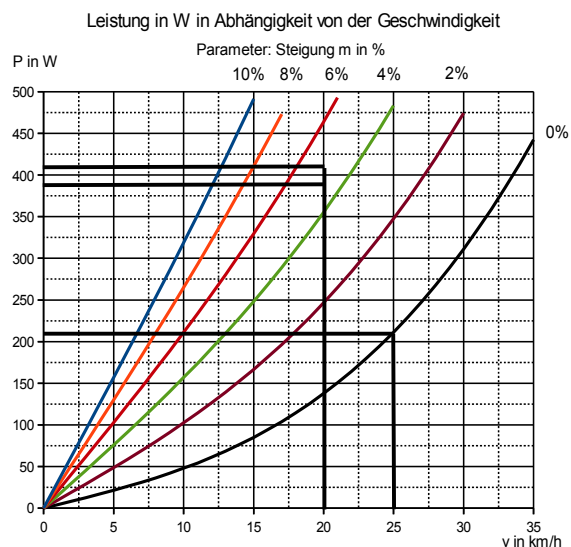
$$P_{2\text{Motor}} = \frac{0,75 \cdot 410\text{W}}{0,82} = 375\text{W}$$

$$W_1 = P \cdot t = 234\text{W} \cdot 1\text{h} = 234\text{Wh}$$

$$W_2 = P_2 \cdot t = 375\text{W} \cdot 0,2\text{h} = 75\text{Wh}$$

$$W_{\text{ges}} = 13,2\text{Wh} + 234\text{Wh} + 75\text{Wh} = 321\text{Wh} > 300\text{Wh}$$

Kurz vor der Bergspitze schaltet der Motor ab!



3

$$1.3.3 \quad P_{3_{\text{Motor}}} = \frac{W_3}{t} = \frac{53 \text{ Wh}}{0,2 \text{ h}} = 265 \text{ W}$$

$$\text{Unterstützungsgrad} = \frac{P_{3_{\text{Motor}}} \cdot \eta}{P_2} = \frac{265 \text{ W} \cdot 0,82}{410 \text{ W}} = 53 \% \quad \text{also } 50 \% \text{ wählen}$$

Wasserkraft und Drehstromübertragung

1.4 Übertragungsverluste

$$1.4.1 \quad P_{\text{ges}} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \rightarrow I = \frac{P_{\text{ges}}}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{250 \text{ MW}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ kV}} = 360,8 \text{ A}$$

$$1.4.2 \quad P_{V_{\text{ges}}} = 3 \cdot I^2 \cdot R_V = 3 \cdot (360,8)^2 \cdot 800.000 \text{ m} \cdot 0,0001 \frac{\Omega}{\text{m}} = 31,25 \text{ MW}$$

$$1.4.3 \quad P_{\text{Pump}} = P_{\text{ges}} - P_{V_{\text{ges}}} = 218,8 \text{ MW}$$

Zusätzliche ohm'sche Verluste, weil Blindleistung übertragen werden muss, die den Gesamtstrom erhöht.

Koronaentladungen zwischen den Leitern,
Umspannverluste.

1.5 Energieaufnahme Pumpspeicherkraftwerk

$$W_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h = \rho_{\text{Wasser}} \cdot V_{\text{See}} \cdot g \cdot \text{Pumphöhe} = \eta_R \cdot \eta_P \cdot \eta_M \cdot W_{\text{elek}}$$

$$V_{\text{See}} = \frac{\eta_R \cdot \eta_P \cdot \eta_M \cdot W_{\text{elek}}}{\rho_{\text{Wasser}} \cdot g \cdot \text{Pumphöhe}} = \frac{0,96 \cdot 0,95 \cdot 0,92 \cdot 220 \text{ W} \cdot 10^6 \cdot 3600 \text{ s}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 510 \text{ m}} = 132.822 \text{ m}^3$$

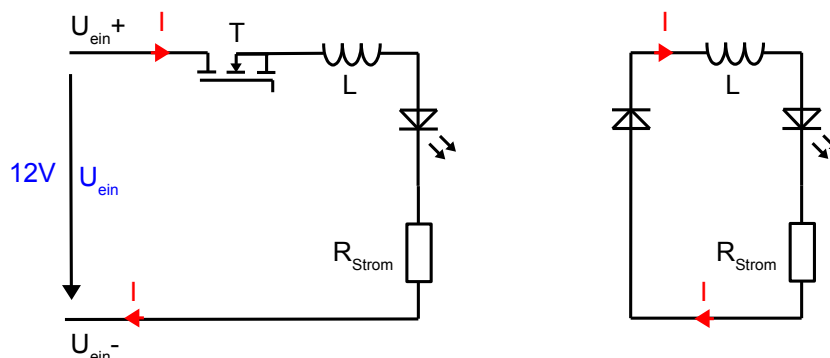
$$d = \frac{V}{A} = \frac{132.822 \text{ m}^3}{2.000.000 \text{ m}^2} = 0,0664 \text{ m} = 6,64 \text{ cm}$$

1.6 Energiesparende LED-Beleuchtung mit Tiefsetzsteller

$$1.6.1 \quad R_V = \frac{U_{R_V}}{I_F} = \frac{(12 \text{ V} - 3,8 \text{ V})}{1 \text{ A}} = 8,2 \Omega$$

$$P_{R_V} = U_{R_V} \cdot I_F = 8,2 \text{ W}$$

1.6.2

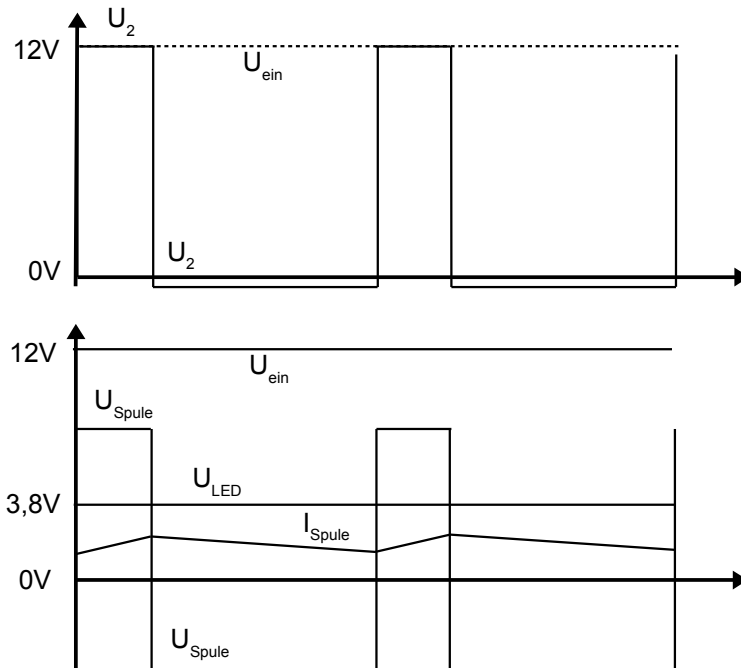


- 1.6.3 Die Spule wirkt als Generator und hält den Strom über die LED aufrecht.
Die Diode schließt den Stromkreis zur Spule bei sperrendem Transistor.

2

1.6.4

1,5



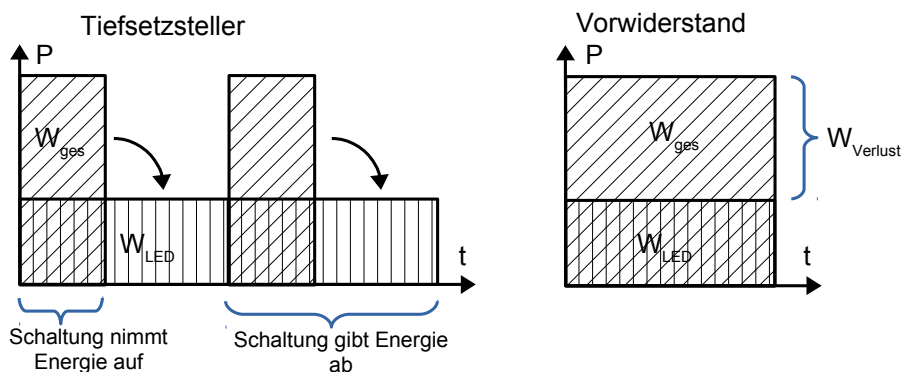
- 1.6.5 $U_2 = U_{\text{Spule}} + U_{\text{LED}} + 0,25\text{V} \rightarrow U_{\text{Spule}} = U_2 - U_{\text{LED}} - 0,25\text{V}$
 Fall Transistor sperrt, $U_2 = -0,7\text{V}$: $U_{\text{Spule}} = -0,7\text{V} - U_{\text{LED}} - 0,25\text{V} = -4,75\text{V}$
 Fall Transistor leitet, $U_2 = 12\text{V}$: $U_{\text{Spule}} = 12\text{V} - U_{\text{LED}} - 0,25\text{V} = 7,95\text{V}$

1,5

- 1.6.6 Die ideale Spule gibt die (bei leitendem Transistor) aufgenommene Energie (bei sperrendem Transistor) wieder ab und verbraucht keine Energie. Am leitenden Transistor fällt nur wenig Wirkleistung ab, am hier ideal betrachtenden leitenden Transistor ist $P=0$. Am Messwiderstand fällt nur eine geringe Leistung ab ($0,25\text{V} \cdot 1\text{A} = 0,25\text{W}$).

1,5

Daher nimmt beim Tiefsetzsteller nur die leuchtende LED Leistung auf. Die große Wirkleistung des Vorwiderstandes aus 1.6.1 entfällt.



30

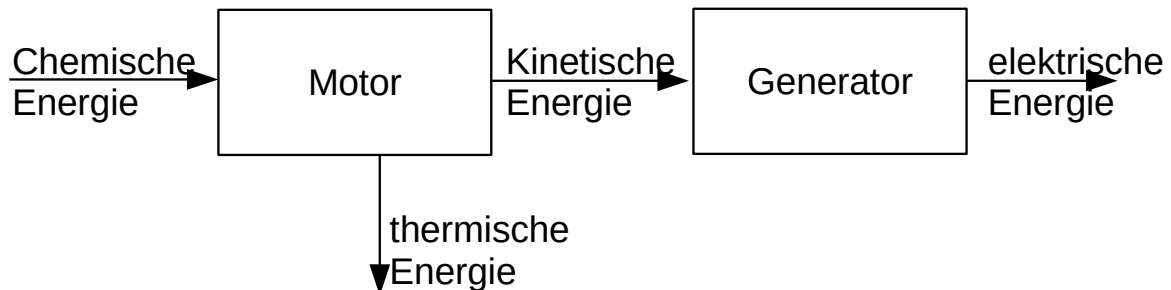
2 Erweiterung und Sanierung eines Mehrfamilienhaus

Punkte

2.1 Blockheizkraftwerk

2.1.1

2



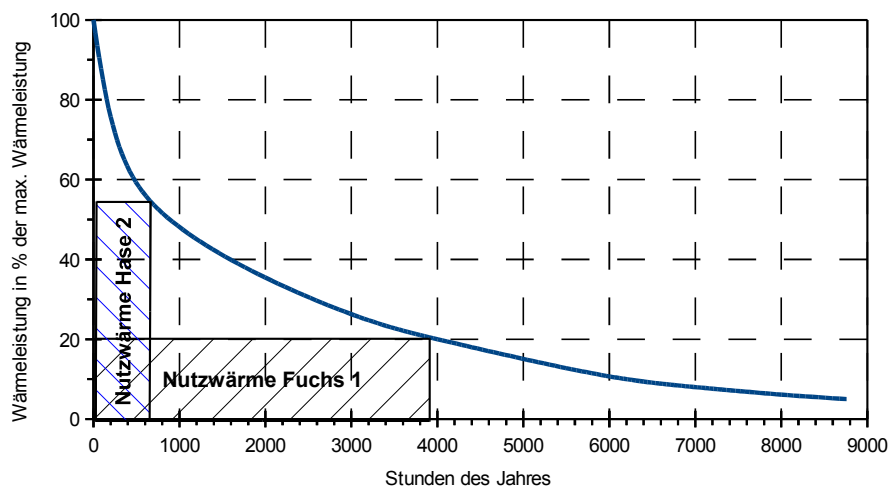
2.1.2 Man sieht die relative Wärmeverteilung über ein Jahr nach der Größe des Wärmebedarfs geordnet.

1

2.1.3 Ich wähle Fuchs 1, da ein BHKW um rentabel betrieben zu werden eine große Laufzeit haben sollte. Hase 2 und Variotherm haben geringere Betriebszeiten, da die Abwärme nicht abgeführt werden kann.

4

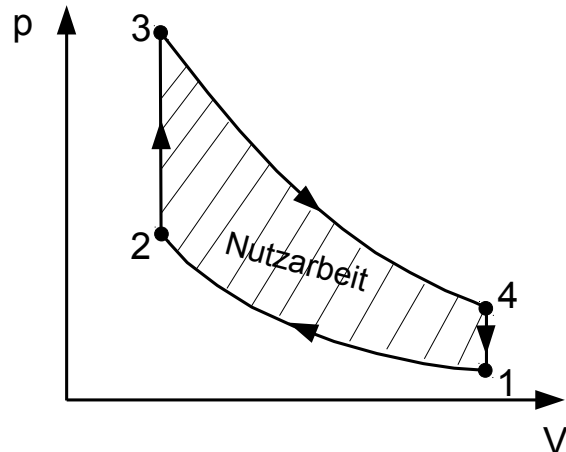
Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs



$$Q_{\text{Nutz}} = \dot{Q}_{\text{th}} \cdot t = 4 \text{ kW} \cdot 3900 \text{ h} = 15600 \text{ kWh}$$

- 2.1.4
- 1 → 2 adiabate Kompression
 - 2 → 3 isochore Verbrennung
 - 3 → 4 adiabate Expansion
 - 4 → 1 isochore Entspannung

Alternativ: 4 Takte des Ottomotors



4

2.2 Erdgas-Brennwertkessel

- 2.2.1 Da als Bezugsgröße der Heizwert verwendet wird, bei dem die freiwerdende Kondensationswärme nicht berücksichtigt wird, ist der Wirkungsgrad zu hoch d. h. > 100 %.

1

2.2.2 $\eta_i = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{Q}_{B,i}}$, $\dot{Q}_{B,i} = \dot{V}_B \cdot H_i$

2

$$\eta_i = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{V}_B \cdot H_i} \Rightarrow \dot{V}_B = \frac{\dot{Q}_L}{\eta_i \cdot H_i} = \frac{18 \text{ kW}}{1,08 \cdot 10 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}} \quad \dot{V}_B = 1,67 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

2.2.3 $\lambda = 1,0$: $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 + 8 \text{N}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 8 \text{N}_2$,

Volumen-Anteil H_2O : $\varphi_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{2}{1+2+8} = 0,18$

$\lambda = 1,2$: $\text{CH}_4 + 2,4 \text{O}_2 + 9,6 \text{N}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 0,4 \text{O}_2 + 9,6 \text{N}_2$

Volumen-Anteil H_2O : $\varphi_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{2}{1+2+0,4+9,6} = 0,154$

Umgebungsdruck $p_{\text{amb}} = 1 \text{ bar}$. Partialdruck $p_{\text{H}_2\text{O}} = \varphi_{\text{H}_2\text{O}} \approx 0,15$

absoluter Druck Wasserdampf $p_{\text{H}_2\text{O}} = 0,15 \text{ bar}$.

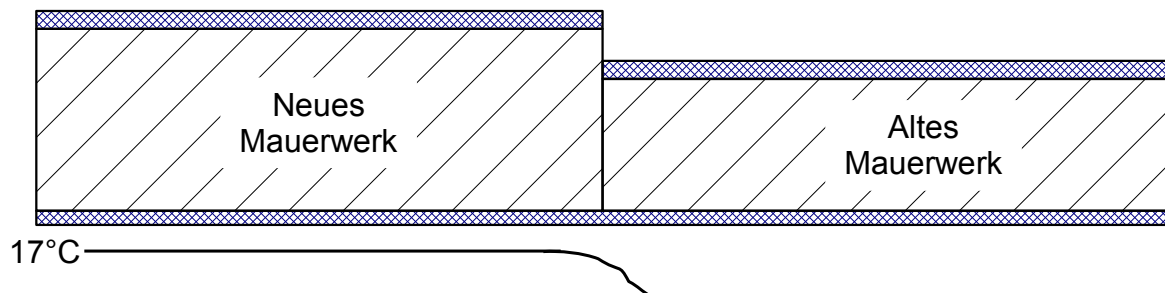
Wasserdampf tabel: $\vartheta_T = 54^\circ\text{C}$

- 2.2.4 bei zunehmendem Luftüberschuss nimmt der prozentuale Wassergehalt im Abgas bezogen auf das Gesamtabgasvolumen ab. Somit fällt die Taupunkttemperatur.

2

2.3 Anbau – Bauphysikalische Beurteilung

2.3.1



$$2.3.2 \quad U = \frac{1}{R_T}, \quad R_T = R_{si} + \frac{d_{\text{Putz,i}}}{\lambda_{\text{Putz,i}}} + \frac{d_{\text{Mauer}}}{\lambda_{\text{Mauer}}} + \frac{d_{\text{Putz,a}}}{\lambda_{\text{Putz,a}}} + R_{sa}$$

$$R_T = 0,13 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} + \frac{0,015 \text{ m}}{0,51 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{0,365 \text{ m}}{0,21 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{0,02 \text{ m}}{1 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + 0,043 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} = 1,96 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

$$U = \frac{1}{1,96 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}} = 0,51 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

2.3.3 im h, x -Diagramm ablesen: $\vartheta_T = 10^\circ\text{C}$ (am Schnittpunkt der Kurven $\vartheta = 20^\circ\text{C}$, $\varphi = 50\%$, senkrecht nach unten bis zur Kurve $\varphi = 100\%$, ϑ_T ablesen)

Berechnung der Oberflächentemperatur: $\vartheta_{si} = \vartheta_i - \frac{\Delta T}{R_T} \cdot R_{si}$

$$R_T = R_{si} + \frac{d_{\text{Putz,i}}}{\lambda_{\text{Putz,i}}} + \frac{d_{\text{Mauer}}}{\lambda_{\text{Mauer}}} + \frac{d_{\text{Putz,a}}}{\lambda_{\text{Putz,a}}} + R_{sa}$$

$$R_T = 0,13 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} + \frac{0,015 \text{ m}}{0,51 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{0,175 \text{ m}}{0,68 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{0,02 \text{ m}}{1 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + 0,043 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} = 0,48 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

$$\vartheta_{si} = 20^\circ\text{C} - \frac{30 \text{ K}}{0,48 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}} \cdot 0,13 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} = 11,87^\circ\text{C}$$

$\vartheta_{si} > \vartheta_T \Rightarrow$ kein Tauwasseranfall

2.3.4 alte Wand mit Dämmung.

4

Vorsicht: Die Außenputzschicht muss 2 mal berücksichtigt werden:

$$R_T = R_{si} + \frac{d_{\text{Putz},i}}{\lambda_{\text{Putz},i}} + \frac{d_{\text{Mauer}}}{\lambda_{\text{Mauer}}} + \frac{d_{\text{Putz},a}}{\lambda_{\text{Putz},a}} + \frac{d_{\text{Dämmung}}}{\lambda_{\text{Dämmung}}} + \frac{d_{\text{Putz},a}}{\lambda_{\text{Putz},a}} + R_{sa}$$

$$d_{\text{Dämmung}} = \left(R_T - \left(R_{si} + \frac{d_{\text{Putz},i}}{\lambda_{\text{Putz},i}} + \frac{d_{\text{Mauer}}}{\lambda_{\text{Mauer}}} + \frac{d_{\text{Putz},a}}{\lambda_{\text{Putz},a}} + \frac{d_{\text{Putz},a}}{\lambda_{\text{Putz},a}} + R_{sa} \right) \right) \cdot \lambda_{\text{Dämmung}}$$

$$d_{\text{Dämmung}} = \left(2 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} - \left(0,13 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} + \frac{0,015 \text{ m}}{0,51 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{0,175 \text{ m}}{0,68 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + 2 \cdot \frac{0,02 \text{ m}}{1 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + 0,043 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \right) \right) \cdot 0,035 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$d_{\text{Dämmung}} = 0,053 \text{ m}$$

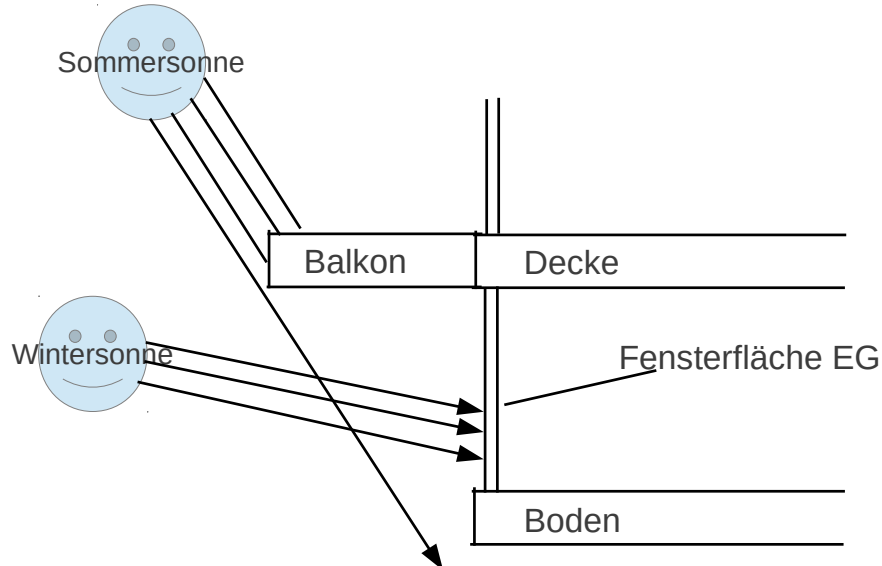
3 Dreifamilienhaus mit Studio

Punkte

3.1 Sommerlicher Wärmeschutz

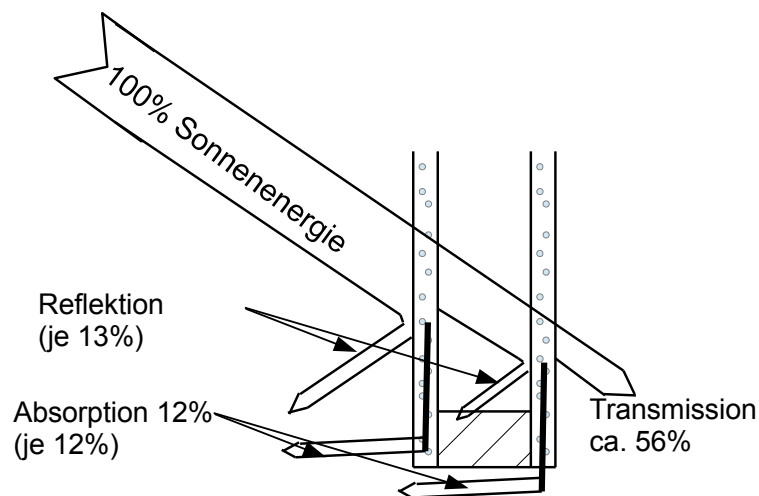
3.1.1

2



3.1.2

3

**3.2 Kontrollierte Wohnraumlüftung**

3.2.1 Zuluft: Schlafzimmer, Wohnzimmer, Büro, Kinderzimmer: In den genannten Räumen wird Frischluft benötigt.

2

Abluft: Bad, Küche, WC: In den Sanitärräumen und der Küche entstehen Luftfeuchtigkeit und Gerüche, die abgesaugt werden müssen.

3.2.2 Luftwechselzahl $\beta = 0,7$ 1/h.

1

Raumvolumen $V = L \cdot B \cdot H = 8 \text{ m} \cdot 5 \text{ m} \cdot 2,5 \text{ m} = 100 \text{ m}^3$

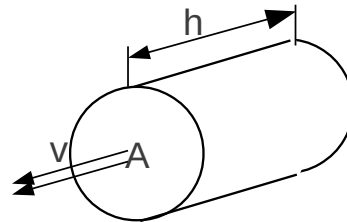
$$\dot{V}_{\text{zu}} = V \cdot \beta = 100 \text{ m}^3 \cdot 0,7 \frac{1}{\text{h}} = 70 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$3.2.3 \quad v = 0,15 \frac{\text{m}}{\text{s}}; \quad \dot{V}_{\text{zu}} = 70 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$V = A \cdot h = A \cdot v \cdot t$$

$$\dot{V} = \frac{V}{t} = \frac{A \cdot v \cdot t}{t} = A \cdot v \quad \text{Diese Gleichung kann auch der Formelsammlung, Bereich Wind- und Wasserkraft, entnommen werden.}$$

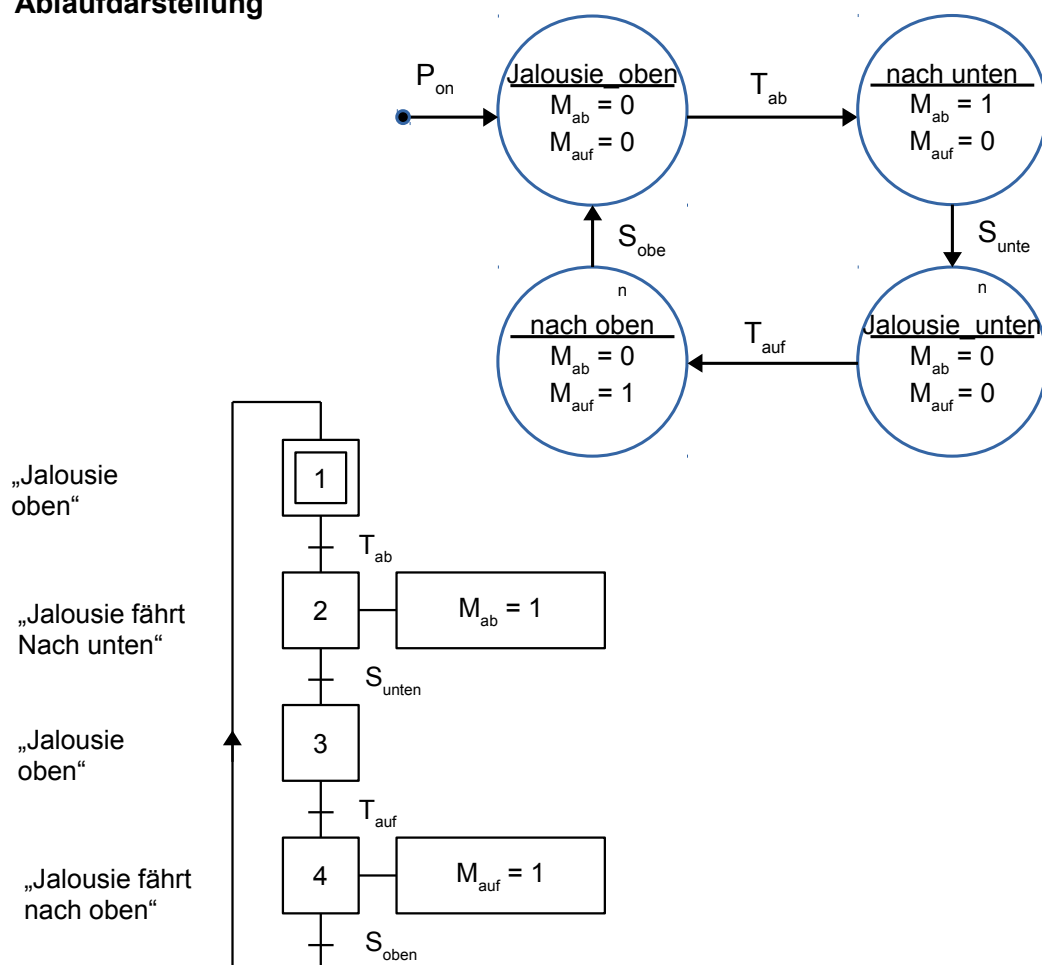
$$A = \frac{\dot{V}}{v} = \frac{70 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{0,15 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,130 \text{ m}^2$$



3.3 Steuerung: Verschattung der Glasfassade

3.3.1 **Rechts-/Linkslauf des Motors** Siehe Zeichnung

3.3.2 **Ablaufdarstellung**



3.3.3 **Schrittkette** Siehe Zeichnung

4

3.3.4 **Schutz der Jalousie durch zusätzliche Sensoren**

4

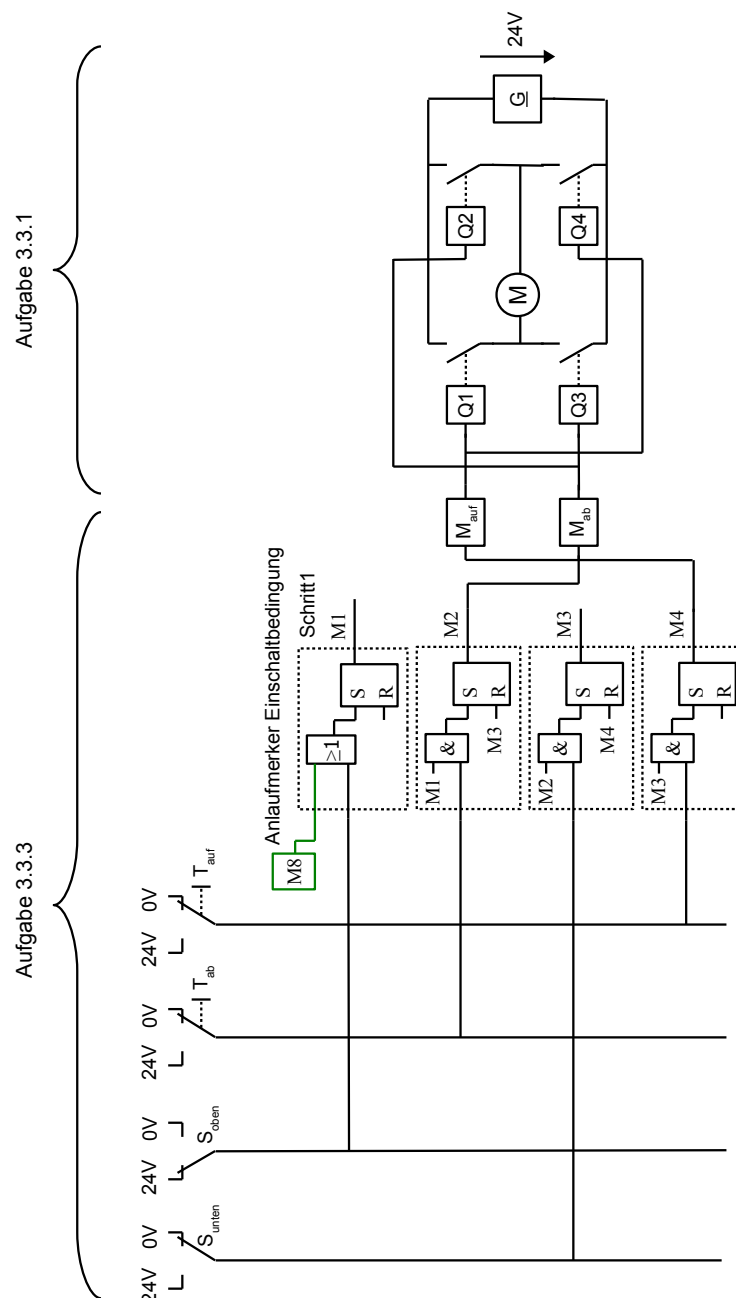
$$\text{abwärts} = T_{\text{ab}} \cdot \bar{W} \cdot K \cdot H, \quad \text{aufwärts} = (T_{\text{auf}} \cdot K) + W$$

3.3.5 **Analoger Windmesser**

4

Es wird ein Schwellwertschalter benötigt, der feststellt, ob die Windgeschwindigkeit über einer kritischen Schwelle liegt. Um festzustellen, ob der Wind längere Zeit weht, wird eine Einschaltverzögerung benötigt. Ist nach der Verzögerungszeit der Wind immer noch stark, wird die Jalousie hochgefahren.

Lösung Arbeitsblatt



4 Solare Trinkwassererwärmung

Punkte

4.1 Bivalenter Trinkwasserspeicher

4.1.1 Es ist notwendig, den Speicher für 2 Tage auszulegen, um einen Tag ohne solare Einstrahlung zu überbrücken.

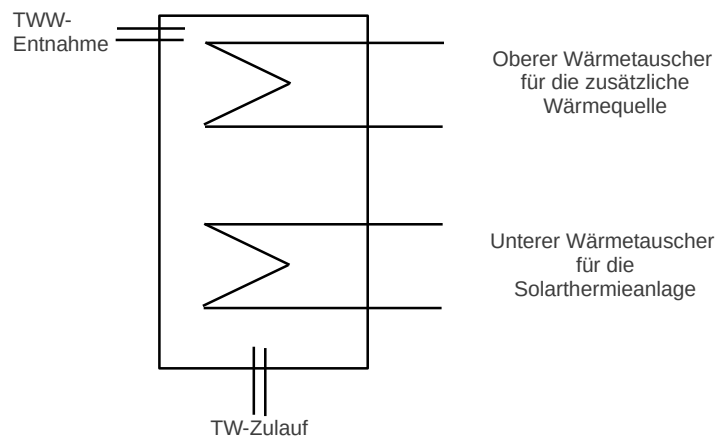
1

4.1.2 Hygiene: In einem Brauchwasserspeicher können sich Legionellen bilden. Dies ist nicht erwünscht, deshalb wird die Temperatur mit 60 °C gewählt, so dass die Legionellen absterben.

4

Energiedichte: Die gespeicherte Wärmeenergie ist größer als bei der Temperatur 45 °C, d. h. es ist ein kleineres Speichervolumen erforderlich als bei einer Speichertemperatur von 45 °C.

4.1.3



5

Die Warmwasser (TWW)- Entnahmestelle befindet sich oben am Behälter, da warmes Wasser eine geringere Dichte als kaltes hat und somit nach oben steigt.

Der obere Wärmetauscher wird mit der zusätzlichen Wärmequelle (z. B. Gasbrennwerttherme) beheizt, um eine schnelle und direkte Verfügbarkeit des warmen Wassers zu gewährleisten, wenn die solar erzeugte Wärmemenge den Bedarf nicht deckt. Es wird nur so viel Wasser erwärmt, wie direkt verfügbar sein muss; das nicht erwärmte Wasser im unteren Speicherbereich steht damit zur Erwärmung durch den Kollektor zur Verfügung, sobald genügend Sonneneinstrahlung herrscht.

Die solare Wärmequelle wird am unteren Wärmetauscher angeschlossen, da hier die Temperaturdifferenz zwischen Wärmetauscher und Brauchwasser am größten ist. Dadurch ist es möglich, maximale Wärmemengen zu übertragen.

4.1.4 Warmwasserbedarf $V_{\text{Tag}} = V_P \cdot n_P = 40 \frac{\text{l}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}} \cdot 4 \text{ Personen} = 160 \frac{\text{l}}{\text{Tag}}$

4

$$V_{2T} = 2 \text{ Tage} \cdot 160 \frac{\text{l}}{\text{Tag}} = 320 \text{ l mit } 45^\circ\text{C}$$

darin enthaltene Wärmemenge: $Q = m_1 \cdot c_w \cdot \Delta T_1$

bei $\Delta\theta_1$ von $(45^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C} = 35 \text{ K})$

$$Q = 320 \text{ kg} \cdot 1,163 \frac{\text{Wh}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 35 \text{ K} = 13,025 \text{ kWh}$$

Dieselbe Wärmemenge wird im Speicher bei $\Delta\theta_2$ von $(60^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C} = 50 \text{ K})$ gespeichert: $Q = m_2 \cdot c_W \cdot \Delta T_2$

$$\Rightarrow m_2 = \frac{Q}{c_W \cdot \Delta T_2} = \frac{m_1 \cdot c_W \cdot \Delta T_1}{c_W \cdot \Delta T_2} = \frac{320 \text{ kg} \cdot 35 \text{ K}}{50 \text{ K}} = 224 \text{ kg}$$

Dabei gilt die Annahme: $\rho_W = 1 \text{ kg/m}^3$, auch bei erhöhten Temperaturen.

4.2 Solarkollektor

- 4.2.1 Verschiedene Antworten möglich. Jedoch kein Schwimmbadabsorber, da der Wirkungsgrad bei sinkender Außentemperatur sehr stark abfällt.

3

Der Flachkollektor ist geeignet zur Trinkwassererwärmung. Der Wirkungsgrad sinkt bei abnehmenden Temperaturen. Der günstigere Preis verglichen mit Vakuumröhrenkollektoren rechtfertigt die Anschaffung.

Der Röhrenkollektor ist geeignet zur Trinkwassererwärmung. Sein Wirkungsgrad nimmt bei sinkenden Außentemperatur nur wenig ab. Wegen der hohen Anschaffungskosten ist er aber eigentlich nur zu rechtfertigen, wenn er auch zur Heizungsunterstützung eingesetzt werden soll.

4.2.2 $q_{d,\max} = 5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}$ (aus Diagramm)

3

$f_1 = 1,07$ (Korrekturfaktor aus Tabelle)

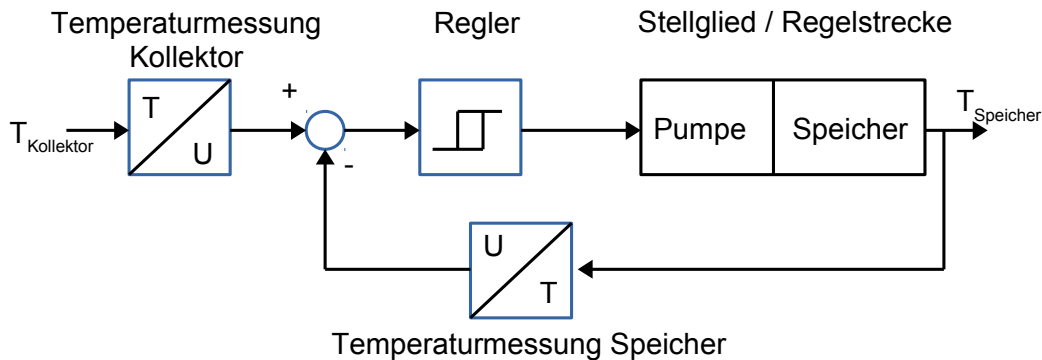
$A_K = 7 \text{ m}^2$, $\eta_K = 0,7$

$$Q_d = \frac{q_{d,\max} \cdot \eta_K \cdot A_K}{f_1} = \frac{5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{d}} \cdot 0,7 \cdot 7 \text{ m}^2}{1,07} = 22,89 \frac{\text{kWh}}{\text{d}}$$

Hinweis zur Einschätzung der berechneten Wärmemenge: In Teilaufgabe 4.1.4 wurde der Zweitageswärmebedarf mit 13 kWh ermittelt.

Solaranlage zur Wassererwärmung

4.3 Regelkreis

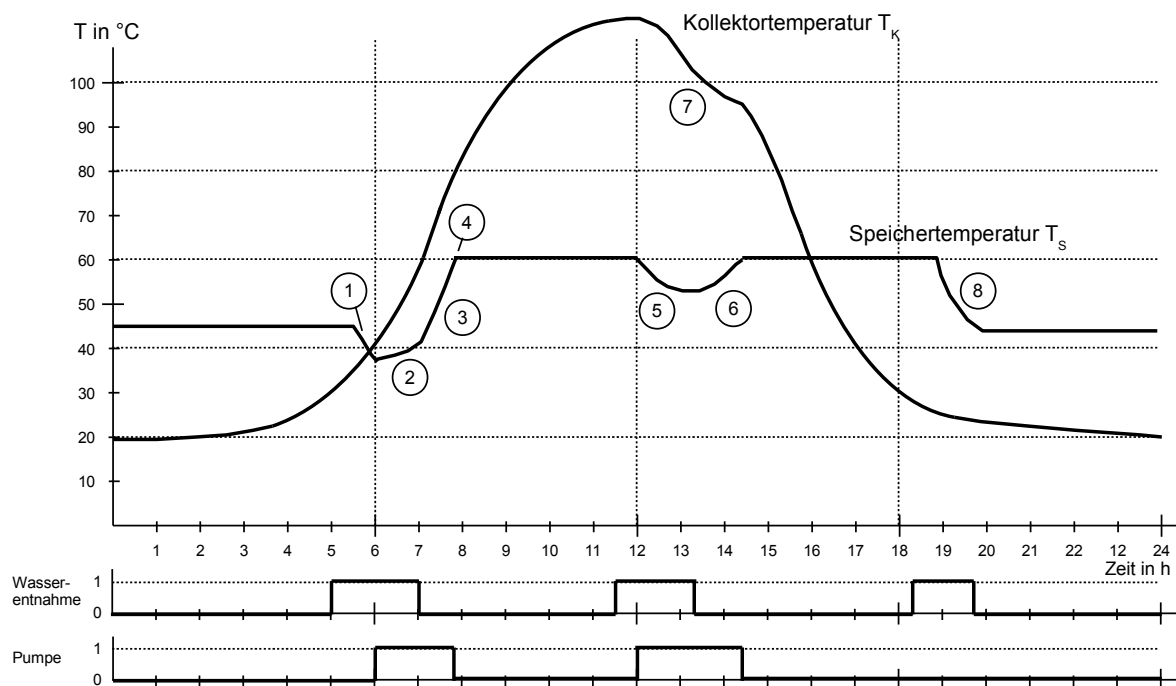


4.4 Zweipunktregler

4.4.1 siehe Zeichnung

4.4.2 siehe Zeichnung

4.4.3



- 1) Wasserentnahme, kein Nachheizen da Kollektortemperatur zu niedrig
- 2) Wasserentnahme, Kollektor heizt gleichzeitig nach
- 3) schnellere Nachheizung, da keine Wasserentnahme
- 4) Verbrühschutz begrenzt Speichertemperatur auf 60°C, (daher Pumpe aus)
- 5) Wasserentnahme, da Speichertemperatur dann sinkt geht Pumpe wieder an.
- 6) Aufheizen bis Verbrühschutz aktiv
- 7) Abkühlung des Kollektors durch Aufheizen des Speichers
- 8) Wasserentnahme, kein Aufheizen da Nacht

1 Pflichtaufgabe**Photovoltaik**

Punkte

1.1 Aufgaben eines Wechselrichters

- 1.1.1 - Erzeugung einer sinusförmigen Spannung aus einer Gleichspannung
 - Netzsynchrone Einspeisung
 - Optimale Energieausbeute der Solarmodule (MPP)
 - Trennung der Solaranlage vom Netz bei Netzausfall
 - Trennung der Solaranlage vom Netz bei zu großer oder zu kleiner Netzfrequenz (Überangebot an Energie oder Netzüberlastung)
 - Blindleistungskompensation

2

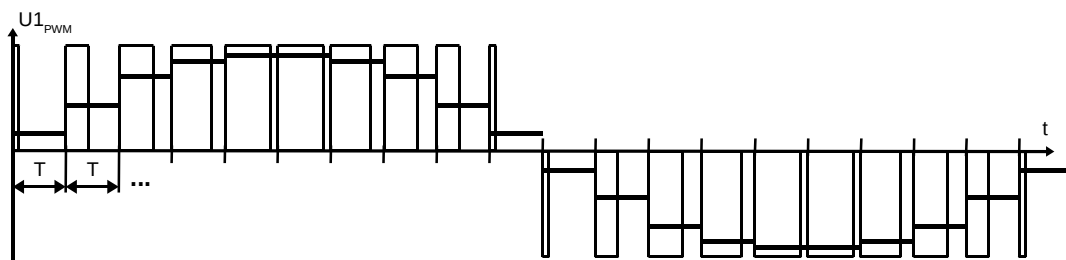
- 1.1.2 Blindleistung entsteht durch die Speicherwirkung von Leitungen (Kapazität) und durch die induktive Wirkung von Verbrauchern wie z.B. Motoren. Die Entstehung von Blindleistung bewirkt, dass Strom und Spannung nicht mehr phasengleich sind.

3

Induktive Blindleistung kann durch Kapazitäten, kapazitive Blindleistung durch Induktivitäten kompensiert werden. Wechselrichter können in gewissen Grenzen Strom und Spannung in der Phase verschieben und dadurch Blindleistung kompensieren.

1.2 PWM-Brücke im Wechselrichter

1.2.1



2

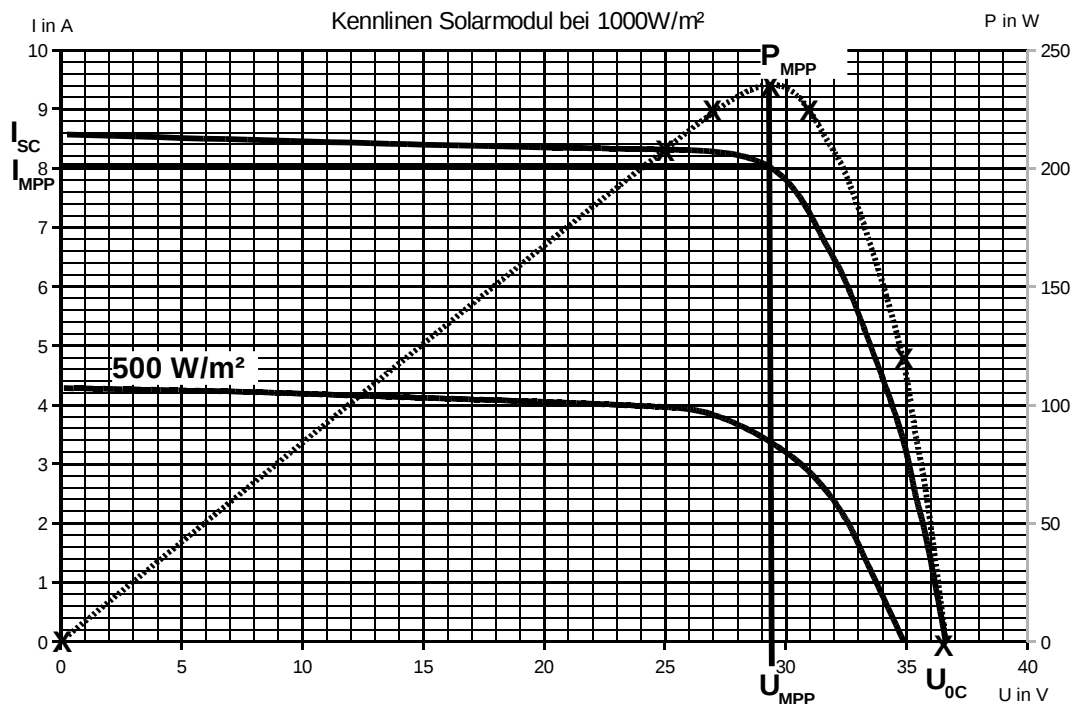
sinusförmig eingezeichnete Linie ist ebenfalls richtig.

1.3 Kennwerte von Solarzellen

1.3.1

1.3.2

U in V	0	25	27	29,5	31	35	36,6
I in A	0	8,35	8,3	8	7,25	3,5	0
P in W	0	209	224	236	225	122,5	0



1.3.3 Kennlinienverlauf:

halbe Bestrahlungsstärke → halber Kurzschlussstrom
 → Parallelverschiebung der Kennlinie 1000 W/m² um $I_{SC}/2$ nach unten.
 → Leerlaufspannung ändert sich nur wenig

1.3.4 MPP-Tracking bedeutet, dass der Frequenzumrichter die Belastung des Solarmoduls immer so ändert, dass die abgegebene Leistung maximal wird. Die Werte von U_{MPP} und I_{MPP} ändern sich ständig mit der Bestrahlungsstärke. Daher kann man das Solarmodul nicht mit einem konstanten Widerstand belasten, sondern der Frequenzumrichter muss den Punkt maximaler Energieausbeute ständig „suchen“.

1.4 Projektierung der Module auf dem Dach

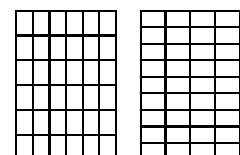
1.4.1 Bei STC liefert ein Modul 29,5V.

Für maximal 660V darf man max. $660V / 29,5V = 22$ Module in Reihe schalten.

Bei NOCT liefert ein Modul 27,5V.

Für minimal 400V muss man min. $400V / 27,5V = 13,5 \rightarrow 14$ Module in Reihe schalten.Auf der Dachfläche haben $6 * 6$ oder $4 * 9 = 36$ Module Platz.

Daher schaltet man sinnvollerweise 18 Module in Reihe und parallel dazu noch einmal 18 Module in Reihe.



1.4.2 $P_{\text{STC}} = 36 \text{ Module} \cdot 235 \text{ W}_p = 8460 \text{ W}_p$

Strahlungsleistung durch die Sonne: $6 \cdot 9 \text{ m}^2 \cdot 1000 \text{ W/m}^2 = 54000 \text{ W}$

$$\eta = \frac{P_{\text{ab}}}{P_{\text{zu}}} = \frac{8460 \text{ W}}{54000 \text{ W}} = 15,7\%$$

Alternative Berechnung bei NOCT:

$$P_{\text{NOCT}} = 36 \cdot 179 \text{ W} = 6444 \text{ W}$$

Strahlungsleistung durch die Sonne: $6 \cdot 9 \text{ m}^2 \cdot 800 \text{ W/m}^2 = 43200 \text{ W}$

$$\eta = \frac{P_{\text{ab}}}{P_{\text{zu}}} = \frac{6444 \text{ W}}{43200 \text{ W}} = 14,9\%$$

Elektromobilität: Effektive E-Bike-Nutzung

1.5 Fahrt auf der Ebene

Aufzubringende Leistung bei 25km/h: $230 \text{ W} \triangleq 100\%$

$$1 \text{ W} \triangleq 0,435\%$$

=> Motor: $130 \text{ W} \triangleq 56,5\%$ Motorunterstützung. (Mensch $100 \text{ W} \triangleq 43,5\%$)

1.6 Fahrt am Berg

1.6.1

1.6.2 Tretunterstützung 50%: Körper 100 W , Motor 100 W => $P_{\text{ges}50} = 200 \text{ W}$

Abgelesen aus dem Diagramm bei 6% Steigung: $v = 8 \text{ km/h}$

$$v = \frac{s}{t} \Rightarrow t_{50} = \frac{s}{v} = \frac{10 \text{ km}}{8 \text{ km/h}} = 1,25 \text{ h}$$

$$W_{50} = P_{\text{ges}50} \cdot t = 200 \text{ W} \cdot 1,25 \text{ h} = 250 \text{ Wh}$$

Tretunterstützung 75%: Körper 100 W , Motor 300 W => $P_{\text{ges}75} = 400 \text{ W}$

Abgelesen aus dem Diagramm bei 6% Steigung: $v = 15,3 \text{ km/h}$

$$t_{75} = \frac{s}{v} = \frac{10 \text{ km}}{15,3 \text{ km/h}} = 0,654 \text{ h}$$

$$W_{75} = P_{\text{ges}75} \cdot t = 400 \text{ W} \cdot 0,654 \text{ h} = 261,6 \text{ Wh}$$

1.6.3 Da der Körper in beiden Fällen 100 W leistet, wird bei 75% Tretunterstützung insgesamt die doppelte Leistung aufgebracht gegenüber 50% Tretunterstützung. Der Motor muss bei 75% aber 3 mal soviel Leistung aufbringen, daher ist der E-Bike-Fahrer zwar viel schneller zu Hause, dem Akku wird aber auch viel mehr Energie entnommen. Um die Akku-Reichweite zu erhöhen, muss er langsamer fahren. Bei der langsameren Fahrt muss der Körper dann aber insgesamt mehr Energie aufbringen (weil er die gleiche Leistung von 100 W während einer längeren Zeit aufbringt).

$\Sigma 30$

2 Pflichtaufgabe**2.1 Sanierung eines Wohn- und Geschäftshauses**

Punkte

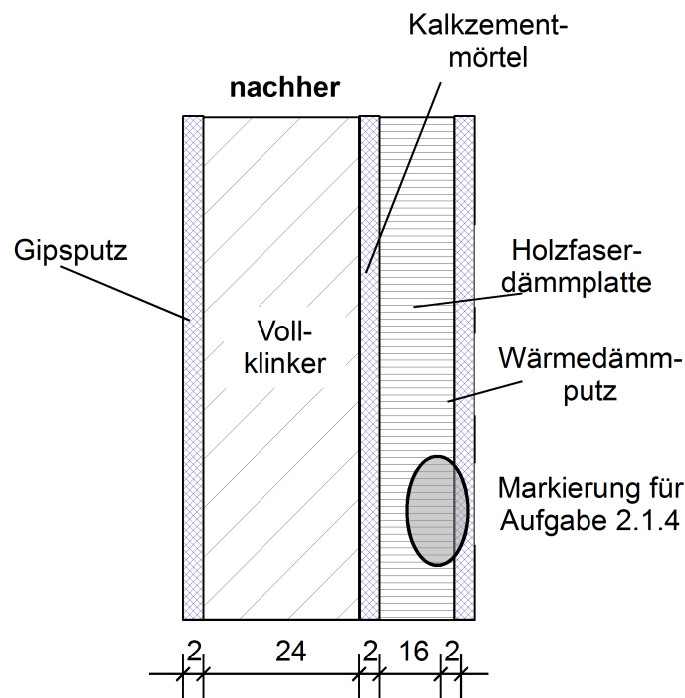
2.1.1 Vorteil: Entfernung einer Wärmebrücke. „Kühlrippeneffekt“ durch das auskragende Bauteil entfällt, die Wand kann komplett gedämmt werden.

2

Nachteil: Sommerlicher Wärmeschutz wird vermindert durch fehlende Abschattung. Dadurch können Probleme durch zu hohe Aufheizung der Räume sowie durch das Ausbleichen der (einzelnen) Schuhe entstehen.

2.1.2

2



2.1.3 $U = \frac{1}{R_T}$, $R_T = R_{si} + \frac{d_{\text{Putz},i}}{\lambda_{\text{Putz},i}} + \frac{d_{\text{Mauer}}}{\lambda_{\text{Mauer}}} + \frac{d_{\text{Putz},a}}{\lambda_{\text{Putz},a}} + R_{sa}$

4

vorher: $R_T = 0,13 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} + \frac{0,02 \text{ m}}{0,51 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{0,24 \text{ m}}{0,81 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{0,02 \text{ m}}{1 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + 0,043 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} = 0,529 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$

$$U = \frac{1}{0,529 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}} = 1,892 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

nachher: $R_T = 0,13 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} + \frac{0,02 \text{ m}}{0,51 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{0,24 \text{ m}}{0,81 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{0,02 \text{ m}}{1 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{0,16 \text{ m}}{0,045 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{0,02 \text{ m}}{0,06 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + 0,043 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} = 4,417 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$

Achtung: Der alte Außenputz bleibt erhalten!

$$U = \frac{1}{4,417 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}} = 0,226 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\frac{\dot{Q}_{\text{nachher}}}{\dot{Q}_{\text{vorher}}} = \frac{U_{\text{nachher}}}{U_{\text{vorher}}} = \frac{0,226 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}}{1,892 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}} = 0,120 = 12,0 \%$$

(Hinweis: $\dot{Q} = A \cdot \frac{\lambda}{d} \cdot \Delta T = A \cdot U \cdot \Delta T$)

Damit hat sich der Wärmestrom um 88 % verringert.

- 2.1.4 im h,x-Diagramm ablesen: ϑ_T ca. 12,3°C (am Schnittpunkt der Kurven $\vartheta = 20^\circ\text{C}$, $\varphi = 60\%$, senkrecht nach unten bis zur Kurve $\varphi = 100\%$, ϑ_T ablesen)

4

rechnerisch:

aus Tabelle: Wasserdampfsättigungsdruck $p_s = 2340 \text{ Pa} = 23,4 \text{ mbar}$,

Annahme: $p_{\text{amb}} = 1 \text{ bar}$

$$p_D = 0,6 \cdot 23,4 \text{ mbar} = 14,04 \text{ mbar}$$

aus Tabelle: $\vartheta_T = 12,0^\circ\text{C}$

Bis zur Dämmschicht setzen die Baustoffe dem Wärmestrom keinen großen Widerstand entgegen. Der Temperaturabfall ist bis dahin gering. Im Bereich der Dämmschicht ist der Temperaturabfall sehr hoch. Auf der Außenseite der Dämmschicht entspricht die Temperatur nahezu der Außentemperatur. Die Wahrscheinlichkeit, dass die Taupunkttemperatur im Bereich der Dämmschicht unterschritten wird, ist daher sehr hoch. (Markierung s. Aufgabe 2.1.2)

Die in der Innenluft enthaltene Luftfeuchtigkeit gelangt nicht in den Bereich, in dem der Taupunkt unterschritten wird, da die innenseitig angeordneten Baustoffe als Dampfbremse wirken.

- 2.1.5 Der neue Kessel arbeitet unter Ausnutzung der Kondensationswärme des Wasseranteils im Abgas. Das anfallende Kondensat muss abgeleitet werden.

2

- 2.1.6 $2 \text{ C}_{10}\text{H}_{18} + 29 \text{ O}_2 + 116 \text{ N}_2 \rightarrow 20 \text{ CO}_2 + 18 \text{ H}_2\text{O} + 116 \text{ N}_2$

3

$$\lambda = 1,0: \varphi_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{18}{20 + 18 + 116} = 0,12, \quad \varphi_{\text{CO}_2} = 0,13, \quad \varphi_{\text{N}_2} = 0,75$$

Lösung mit linearer Interpolation, Werte aus der Wasserdampf tabel:

$$\vartheta_T = 45,83^\circ\text{C} + \frac{54^\circ\text{C} - 45,83^\circ\text{C}}{0,15 \text{ bar} - 0,10 \text{ bar}} \cdot (0,12 \text{ bar} - 0,10 \text{ bar}) = 49,1^\circ\text{C}$$

- 2.1.7 Bei zunehmendem Luftüberschuss nimmt der prozentuale Wassergehalt im Abgas bezogen auf das Gesamtabgasvolumen ab. Der Wasserdampfpartialdruck sinkt, somit sinkt auch die Taupunkttemperatur.

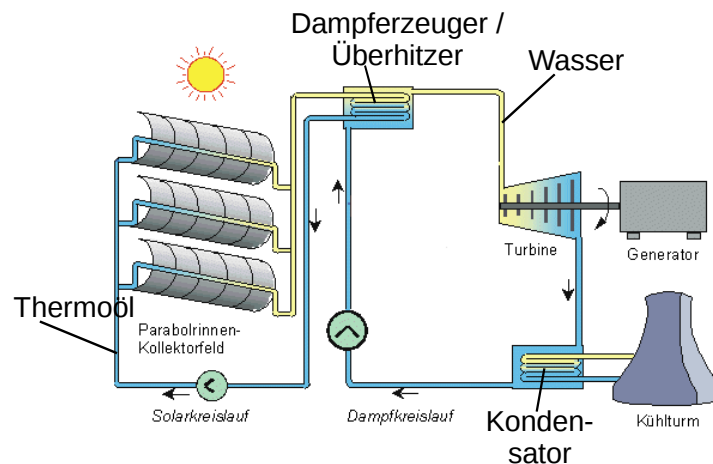
1

2.2 Solarthermisches Kraftwerk

2.2.1 Es handelt sich bei der im Schaubild dargestellten Anlage um ein System mit Sonnenstrahlungsbündelung (über Konzentratoren wie z. B. Parabolspiegel).

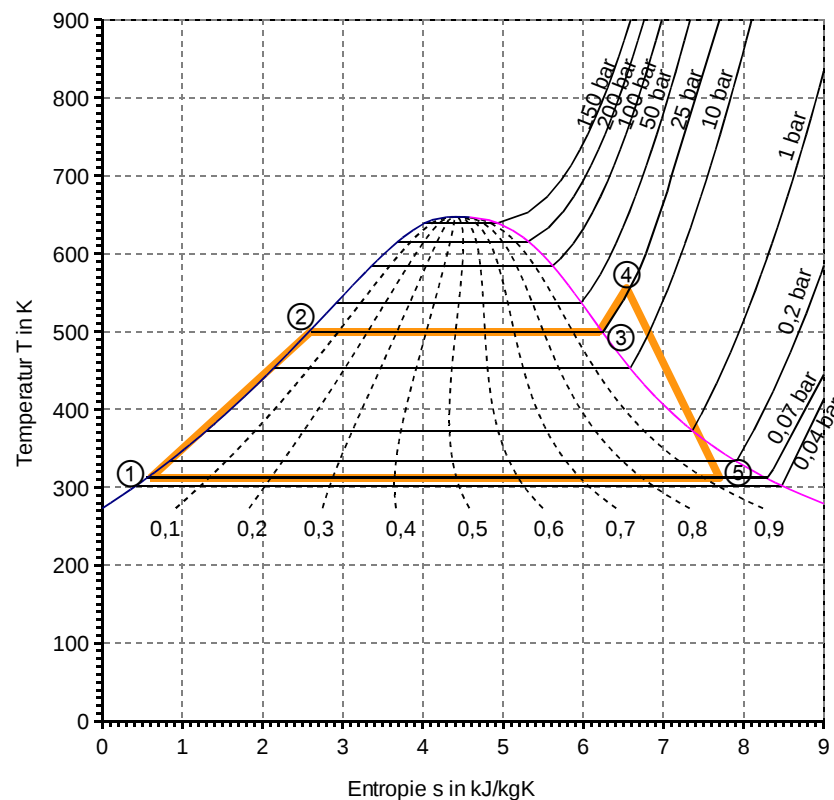
Die konzentrierte Sonnenstrahlung erhitzt das sich in einem Solarkreislauf befindliche Thermoöl. Das erwärmte Thermoöl aus dem Solarkreislauf trifft in einem Dampferzeuger / Überhitzer auf Arbeitswasser, das sich in einem Dampfkreislauf befindet.

Der dort erzeugte überhitzte Dampf wird über eine Dampfturbine mit nachgeschaltetem Stromgenerator zur Stromerzeugung geleitet. Der abgekühlte Dampf wird in einem Kondensator rückverflüssigt und erneut in den Dampfkreislauf geleitet.



2.2.2

T,s-Diagramm von Wasser



- 2.2.3 zugeführte Wärme (Punkt 1→4): Trapezflächen (1 → 2, 3 → 4) und Rechteckfläche (2 → 3) näherungsweise aus dem Diagramm ermittelt:

$$q_{zu} = \frac{(315+500)K}{2} \cdot (2,6-0,5) \frac{kJ}{kg \cdot K} + 500 K \cdot (6,2-2,6) \frac{kJ}{kg \cdot K} + \frac{(500+550)K}{2} \cdot (6,5-6,2) \frac{kJ}{kg \cdot K} = 2813 \frac{kJ}{kg}$$

abgeführte Wärme (Punkt 5→1): Rechteckfläche näherungsweise aus dem Diagramm ermittelt: $q_{ab} = 315 K \cdot (7,6 \frac{kJ}{kg \cdot K} - 0,5 \frac{kJ}{kg \cdot K}) = 2236,5 \frac{kJ}{kg}$

2.2.4 $w_{Nutz} = q_{zu} - q_{ab} = 576,5 \frac{kJ}{kg}$

$$\eta_{th} = \frac{w_{Nutz}}{q_{zu}} = 0,2 = 20 \%$$

3 Wahlaufgabe Windpumpspeicherkraftwerk und Hybrid-PKW

3.1 Pumpspeicherkraftwerk

3.1.1

$$W_{pot} = m \cdot g \cdot h = \rho \cdot V \cdot g \cdot h$$

$$W_{pot} = \frac{1000 kg}{m^3} \cdot 160000 m^3 \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 250 m$$

$$W_{pot} = 392,4 \cdot 10^9 Ws = 109 MWh$$

$$\eta_P = \frac{W_e}{W_{pot}} = \frac{70 MWh}{109 MWh} = 0,642$$

- 3.1.2 Mit den Angaben $h = 250 m$ und Durchfluss $\dot{V} = 5,6 \frac{m^3}{s}$ ergeben sich im

Diagramm „Turbinen Einsatzgebiete“ in der Formelsammlung die Möglichkeiten eine Pelton oder eine Francis Turbine einzusetzen.

Betrachtet man aber die Turbinenwirkungsgrade, kann nur die Pelton Turbine über einen großen Abflussbereich einen guten Wirkungsgrad erzielen. Somit ist die Pelton Turbine die richtig Wahl.

3.2 Windkraftanlage

- 3.2.1 Die Leistungskurve steigt steil an, da die Windleistung mit v^3 ansteigt. Bei 4,5 MW flacht die Kurve ab, da sie durch die Maximalleistung des Generators begrenzt ist.

3.2.2 $P_{Wind} = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3$

$$\text{mit } A = r^2 \cdot \pi = \frac{d^2}{4} \cdot \pi = \frac{(123 m)^2}{4} \cdot \pi = 11,9 \cdot 10^3 m^2$$

$$P_{Wind} = \frac{1}{2} \cdot 1,2 \frac{kg}{m^3} \cdot 11,9 \cdot 10^3 m^2 \cdot \left(11 \frac{m}{s}\right)^3 = 9,5 MW$$

$$c_p = \frac{P_{Nutz}}{P_{Wind}} \text{ mit } P_{nutz} = \frac{P_e}{\eta} = \frac{4,5 MW}{0,95} = 4,74 MW$$

$$c_p = \frac{4,74 MW}{9,5 MW} = 0,5$$

3.2.3 Aus Diagramm mit $E \rightarrow \infty \Rightarrow \lambda = 5$

Da die Schnelllaufzahl interpoliert werden muss sind abweichende Werte ebenso gültig.

$$\lambda = \frac{\pi * d * n}{v} \Rightarrow n = \frac{\lambda * v}{\pi * d} = \frac{5 * 11 \text{ m/s}}{\pi * 123 \text{ m}} = 142,3 * 10^{-3} \frac{1}{s}$$

In Umdrehungen pro Minute:

$$n = 142,3 * 10^{-3} \frac{1}{s} * \frac{60 \text{ s}}{\text{min}} = 8,5 \frac{1}{\text{min}}$$

2

3.2.4

$$W_{\text{Jahr}} = (P_1 * h_1 + P_2 * h_2 + \dots + P_n * h_n) * T$$

$$W_{\text{Jahr}} = (0,25 \text{ MW} * 0,15 + 0,500 \text{ MW} * 0,2 + 1,5 \text{ MW} * 0,25 + 3 \text{ MW} * 0,2 + 4,5 \text{ MW} * 0,1 + 4,5 \text{ MW} * 0,05) * 365 * 24 \text{ h} = 15,7 \text{ GWh}$$

3

3.3 Gesamtanlage

3.3.1 Durch die Kombination beider Kraftwerkstypen kann die Windenergie zwischengespeichert werden. Energie kann dann ins Netz abgegeben werden, wenn sie benötigt wird.
Grundlastfähig bedeutet, das Kraftwerk ist in der Lage konstant Energie ins Netz abzugeben.

2

3.3.2 Der durchschnittliche Tagesertrag der Windkraftanlage kann über den Mittelwert abgeschätzt werden

2

$$W_T = \frac{W_{\text{Jahr}}}{365} = \frac{15,7 \text{ GWh}}{365} = 43 \text{ MWh}$$

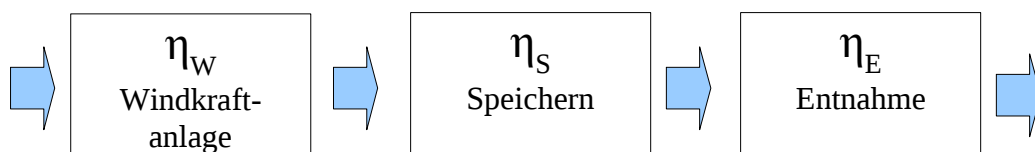
Mit einem maximalen elektrischen Speichervermögen von $W_E = 70 \text{ MWh}$ folgt

$$t = \frac{W_e}{W_t} = \frac{70 \text{ MWh}}{43 \text{ MWh}} = 1,63$$

Damit ergibt sich eine Speicherkapazität von 1,6 Tagen.

3.3.3

2



Der Wirkungsgrad der WKA kann aus dem Leistungsbeiwert errechnet werden.

$$\eta_w = \frac{c_p}{c_{p, \text{Betz}}} = \frac{0,5}{0,593} = 0,84$$

Der Wirkungsgrad Entnahme wurde in der ersten Teilaufgabe ermittelt. Er kann ähnlich zum Wirkungsgrad Speichern angenommen werden. Andere Abschätzungen sind auch zulässig.

$$\eta_s \simeq \eta_E = 0,642$$

Mit diesen Annahmen ergibt sich ein Gesamtwirkungsgrad von

$$\eta_g = \eta_w * \eta_s * \eta_e = 0,84 * 0,64 * 0,64 = 0,34$$

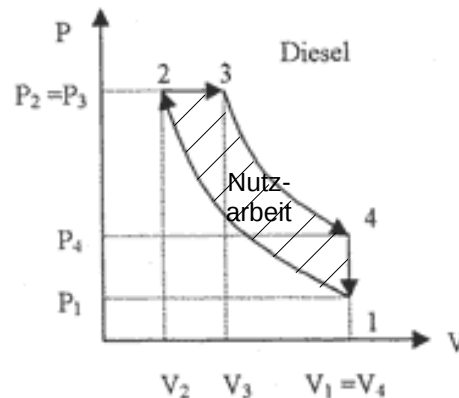
3.4 Diesel-Hybrid-PKW

Punkte

3.4.1

- 1 → 2: Kompression
 2 → 3: Expansion
 3 → 4: Expansion
 4 → 1: Druckminderung

(Markierung der Nutzarbeit
 für Aufgabe 3.4.3.)



2

3.4.2

$$p_1 \cdot V_1 = m_1 \cdot R_i \cdot T_1 \Rightarrow V_1 = \frac{m_1 \cdot R_i \cdot T_1}{p_1}$$

$$V_1 = \frac{1,02 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot 287 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 343 \text{ K}}{1 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 1 \text{ L}$$

$$\text{Alternative: 12fache Verdichtung} \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = 12$$

1

3.4.3 W_{Nutz} Fläche zwischen den Kurven im p,V-Diagramm (s. 3.1.1)

$$W_{\text{zu}} = W_{12} = - \frac{m \cdot R_i}{1 - \kappa} \cdot (T_2 - T_1)$$

$$= \frac{1,02 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot 287 \frac{\text{Nm}}{\text{kg} \cdot \text{K}}}{1 - 1,4} \cdot (928 \text{ K} - 343 \text{ K}) = 428 \text{ J}$$

$$W_{\text{Nutz}} = |W_{\text{ab}}| - |W_{\text{zu}}| = |-1411 \text{ J}| - 428 \text{ J} = 983 \text{ J}$$

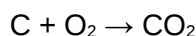
4

3.4.4 Die Dieselrußpartikel werden eingeatmet, sie sind lungengängig und erhöhen das Lungenkrebsrisiko. Die Dieselrußpartikel gelangen über die Lunge oder über die Haut ins Blut und werden bis ins Gehirn getragen.

1

3.4.5 Drucksensoren im Filter erkennen einen erhöhten Staudruck der Abgase im Filter. Sie veranlassen, dass mit Hilfe des Edelmetallkatalysators der Kohlenstoff bei Abgastemperaturen von mindestens 500 °C zu Kohlendioxid verbrannt wird (z. B. Autobahnfahrten).

2



30

4 Wahlaufgabe**4.1 Holzhackschnitzelfeuerung**

Punkte

$$4.1.1 \quad \dot{m}_{\text{real}} = \frac{\dot{Q}}{H_i \cdot \eta_K} = \frac{50 \text{ kW}}{4,5 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}} \cdot 0,91} = 12,2 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

3

4.1.2 Luftverhältniszahl λ : Verhältnis der wirklich zugeführten Luftmenge zur stöchiometrisch erforderlichen Mindestluftmenge

2

$$4.1.3 \quad \lambda = \frac{L_{\text{tats}}}{L_{\text{min}}} \Rightarrow L_{\text{tats}} = \lambda \cdot L_{\text{min}} = 1,6 \cdot 5 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = 8 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

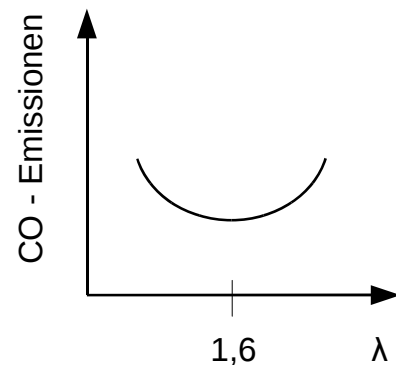
2

4.1.4 Annähernd vollständige Verbrennung bei $\lambda = 1,5$

4

λ zu klein: unvollständige Verbrennung $\Rightarrow$ hohe CO-Emissionen

λ zu groß: Abkühlung der Flamme $\Rightarrow$ schlechtere Verbrennung $\Rightarrow$ hohe CO-Emissionen

**4.2 Solarthermieranlage**

4.2.1 Die Ausrichtung nach Süden ist optimal, die maximale Ausnutzung der Einstrahlung ist möglich, ein Korrekturfaktor muss nicht berücksichtigt werden.

3

70° Kollektorneigung ist für die beschriebene Anwendung zu steil. Die Kollektoren sollten daher relativ flach angeordnet werden, z. B. Neigungswinkel 30°, weil die Auslegung für den Sommerbetrieb durchgeführt wurde, wenn die Sonne hoch am Himmel steht.

4.2.2 Vakuumröhrenkollektoren wären für die beschriebene Anwendung zu teuer. Schwimmbadabsorber haben für die beschriebene Anwendung einen zu schlechten Wirkungsgrad. Sinnvollerweise sollten Flachkollektoren eingesetzt werden.

2

Andere gut begründete Antworten sind möglich.

$$4.2.3 \quad A_K = \frac{Q_{\text{min}} \cdot f}{q_{d,\text{max}} \cdot \eta_{\text{Anl}}}$$

4

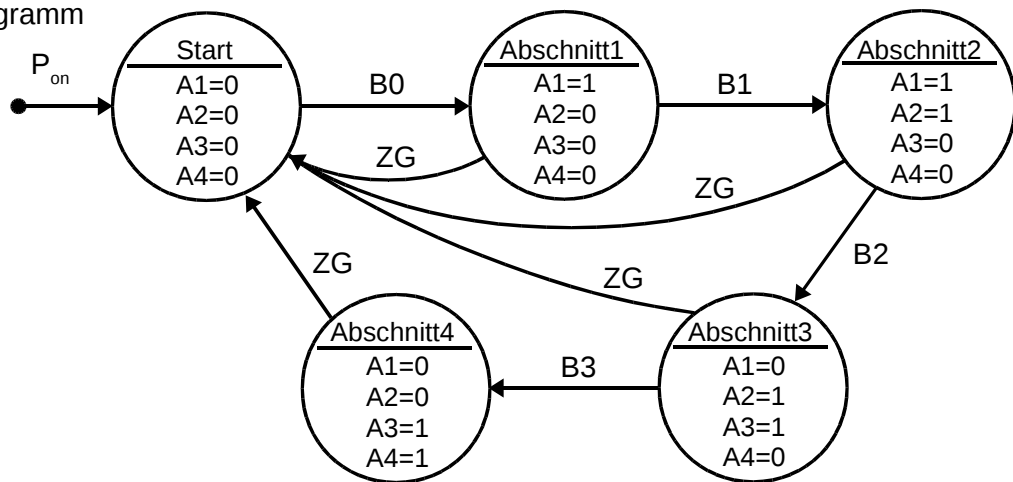
$$Q_{\text{min}} = m \cdot c \cdot \Delta T = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \cdot 1,163 \frac{\text{Wh}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 50 \text{ K} = 58,15 \frac{\text{kWh}}{\text{d}}$$

$$A_K = \frac{58,15 \frac{\text{kWh}}{\text{d}} \cdot 1}{4,0 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{d}} \cdot 0,5} = 29,1 \text{ m}^2$$

4.3 Steuerung für energiesparende Flurbeleuchtung

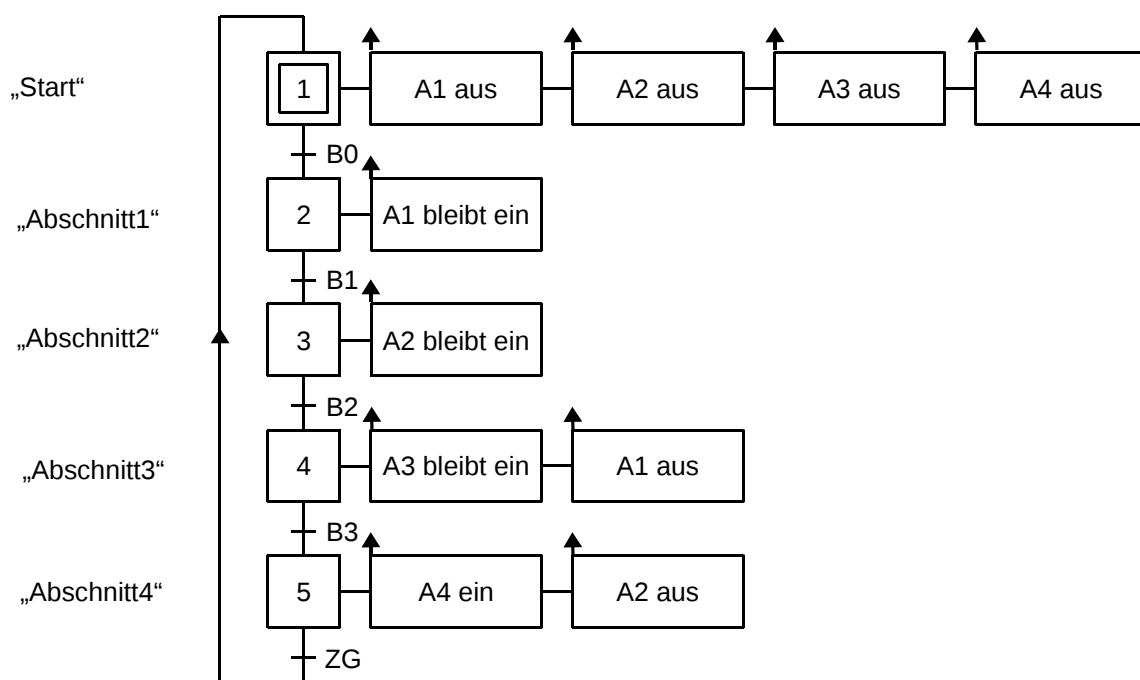
4.3.1 Grafische Darstellung

Zustandsdiagramm



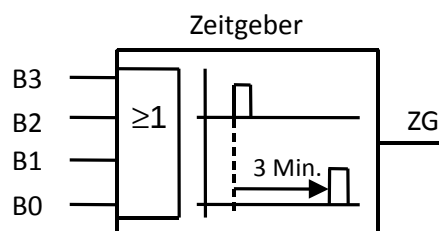
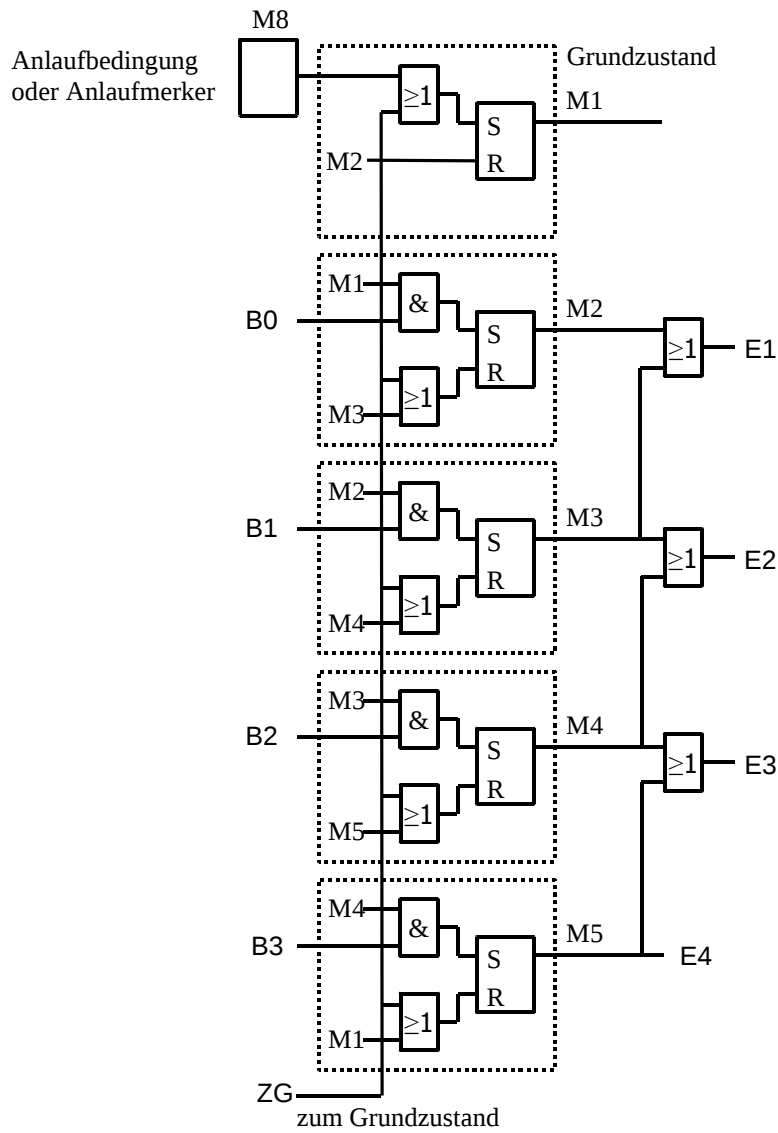
oder

GRAFCET



Bemerkung: Bei ZG=1 fährt die Anlage in den Grundzustand

4.3.2 Schrittkette



TG Umwelttechnik

2013/2014

Übung

Lösungsvorschlag

Arbeitszeit: 270 Minuten

Stoffgebiet: Teil 1: Pflichtbereich

Aufgabe 1: Wind- und Wasserkraft

Aufgabe 2: Wohnklima und Gebäudehülle
Wärme erzeugen
Abgasreinigung

Teil 2: Wahlbereich

Aufgabe 3: Wohnklima und Gebäudehülle
Brennstoffzelle
Steuern und regeln

Aufgabe 4: Wärme erzeugen
Elektromobilität
Photovoltaik
Elektro- und Hybridfahrzeuge

1 Pflichtaufgabe**Energieübertragung****Punkte**

$$1.1.1 \quad R = \rho \cdot \frac{L}{A} \rightarrow A = \rho \cdot \frac{L}{R} = 0,0178 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \cdot \frac{1000\text{m}}{0,0553 \Omega} = 322 \text{mm}^2$$

1

$$1.1.2 \quad \cos \varphi = 1$$

3

$$P_{\text{ges}} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos(\vartheta) \rightarrow I = \frac{P_{\text{ges}}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos(\vartheta)} = \frac{100 \text{MW}}{\sqrt{3} \cdot 150 \text{kV} \cdot 1} = 384,9 \text{A}$$

$$P_{\text{Verlust}} = 3 \cdot I^2 \cdot R_{\text{Leiter}} = 3 \cdot (384,9 \text{A})^2 \cdot 0,0553 \frac{\Omega}{\text{km}} \cdot 50 \text{km} = 1,229 \text{MW}$$

$$1.1.3 \quad I = \frac{P_{\text{ges}}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos(\varphi)} = \frac{100 \text{MW}}{\sqrt{3} \cdot 33 \text{kV} \cdot 1} = 1749,6 \text{A}$$

2

$$P_{\text{Verlust}} = 3 \cdot I^2 \cdot R_{\text{Leiter}} = 3 \cdot (1749,6 \text{A})^2 \cdot 0,0553 \frac{\Omega}{\text{km}} \cdot 50 \text{km} = 25,39 \text{MW}$$

Man erhält 20 mal höhere Verluste bei Mittelspannung 33kV als bei Hochspannung 150kV.

1.1.4 Zusätzliche Verluste entstehen durch kapazitive Blindleistung, weil das Seekabel wie ein großer Kondensator wirkt. Zusätzliche Blindströme, die nur "zum Auf- und Entladen" des Kabels dienen (Auf- und Abbau des elektrischen Feldes) vergrößern den Gesamtstrom. Dadurch steigen auch die ohm'schen Leitungsverluste.

2

1.1.5 Bei der HGÜ entsteht keine Blindleistung wie bei der Drehstromübertragung. Allerdings kann Gleichspannung nicht einfach auf eine andere Spannung transformiert werden. Bei den notwendigen Umrichtern entsteht auch Verlustleistung, so dass sich die HGÜ bei Freileitungen preislich erst bei größeren Entfernungen lohnt. Die Drehstrom-Übertragung über Seekabel ist jedoch auf ca. 100km begrenzt, da sonst die Blindleistung zu groß wird. Bei Entfernungen > 100km kann hier die HGÜ sinnvoll sein.

2

Bemessung eines Laufwasserkraftwerks**1.2 Niedrigwasser**

$$1.2.1 \quad P_{\text{hydro}} = \rho_{\text{Wasser}} \cdot g \cdot h \cdot \dot{V} = \frac{1000 \text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 12,5 \text{m} \cdot 5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 613,1 \text{kW}$$

2

$$1.2.2 \quad P_{\text{nutz}} = \eta_{\text{Gen}} \cdot \eta_{\text{maxTurbine}} \cdot P_{\text{hydro}} = 0,9 \cdot 0,9 \cdot 613,1 \text{kW} = 496,6 \text{kW}$$

2

$$\text{Anzahl}_{\text{Haushalte}} = \frac{P_{\text{Nutz}}}{P_{\text{Grundlast}}} = \frac{496,6 \text{kWh}}{0,180 \text{kWh}} = 2759$$

1.3 Normalwasser

5

$$1.3.1 \quad \dot{V} = 16 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad h = 12\text{m} \quad P_{\text{hydro}} = \rho_{\text{Wasser}} \cdot g \cdot h \cdot \dot{V} \Rightarrow P_{\text{hydro}} \sim \dot{V}$$

=> Es reicht aus, die Volumenströme mit den Wirkungsgraden zu multiplizieren und diese Ergebnisse zu vergleichen, die erzeugte Leistung proportional zu diesem Wert.

mögliche Verteilung der Volumenströme:

a) 5 / 5 / 5 / 1 oder b) 5 / 5 / 3 / 3 oder c) 4 / 4 / 4 / 4 (oder d) 5 / 3,6 / 3,6 / 3,6)

Vorgehen: normierte Abflüsse bestimmen und dann die Wirkungsgrade aus der Formelsammlung entnehmen. $5\text{m}^3/\text{s} \triangleq 100\% \Rightarrow 1\text{m}^3/\text{s} \triangleq 20\%$

Durchfluss im m ³ /s	normierter Abfluss	Wirkungsgrad
5	100,00%	0,9
4	4 * 20% = 80%	0,82
3,6	3,6 * 20% = 72%	0,72
3	3 * 20% = 60%	0,53
1	1 * 20% = 20%	0

$$P_{\text{elekt}} = \eta \cdot P_{\text{hydro}} \sim 5 \cdot 0,9 + 5 \cdot 0,9 + 5 \cdot 0,9 + 1 \cdot 0 = 13,5 \quad \text{maximale Leistung!}$$

$$5 \cdot 0,9 + 3,6 \cdot 0,72 + 3,6 \cdot 0,72 + 3,6 \cdot 0,72 = 12,3$$

$$5 \cdot 0,9 + 5 \cdot 0,9 + 3 \cdot 0,6 + 3 \cdot 0,6 = 12,2$$

$$4 \cdot 0,82 \cdot 4 = 13,1$$

Die maximale Leistung erhält man, wenn man nur 4 Maschinensätze einsetzt und das restliche Wasser "über das Wehr" laufen lässt. (Wirkungsgrad 0 bedeutet, dass die Turbine steht)

1.4 Hochwasser

1

Der Wasserstand des Oberwassers ändert sich durch fest Höhe des Wehrs kaum, der Wasserstand des Unterwassers ist jedoch deutlich erhöht. Dadurch sinkt die Fallhöhe. Die erzeugte Leistung ist proportional zur Fallhöhe und nimmt daher bei Hochwasser ab.

$$P_{\text{hydro}} = \rho_{\text{Wasser}} \cdot g \cdot h \cdot \dot{V}$$

Rotor einer Windkraftanlage**1.5 Vergleich Rotoren**

1.5.1

Holländische Windmühle	Moderne WKA
Flache Struktur	Flügelprofil
Gerade eckige Form	Verdreht mit unterschiedlicher Breite

1

1.5.2 Unter dem Leistungsbeiwert versteht man das Verhältnis von nutzbarer zu im Wind enthaltener Leistung in der von dem Rotor überstrichenen Fläche.

2

Aus der Tabelle in der Sektion „Windturbinenformen mit Leistungsbeiwert und Schellaufzahl“ der Formelsammlung können folgende Werte entnommen werden.

$$c_{p, \text{Holland}} = 0,28 \quad \text{und} \quad c_{p, 3\text{-Blatt}} = 0,52$$

1.6 Orientierung des Rotors

1.6.1 Beide Rotoren drehen sich in Richtung 2

1

1.6.2 Mit dem Rotor B kann dem Wind mehr Energie entnommen werden. Die sich aus der Rotationsbewegung und der Windrichtung ergebende Strömung erzeugt an diesem Profil eine zusätzliche Auftriebskraft.

2

1.7 Pitcheinstellung und Rotorform

1.7.1 Zu berücksichtigen ist die effektive Windrichtung, die sich aus realer Windrichtung und dem Wind durch die Drehbewegung des Rotors zusammensetzt. Während des Anlaufens ist der Einfluss des Winds durch die Drehbewegung zunächst gering und die effektive Windrichtung entspricht nahezu der wirklichen Windrichtung. Dies wird durch einen großen Einstellwinkel ϑ berücksichtigt.

2

1.7.2 Je nach Entfernung vom Zentrum der Drehbewegung herrscht eine andere Anströmgeschwindigkeit auf das Flügelprofil. Dadurch ist auch ein anderer Winkel nötig. Das Blatt muss daher in sich verdreht sein um die optimale Leistung aus dem Wind nehmen zu können.

2

Σ30

2 Pflichtaufgabe

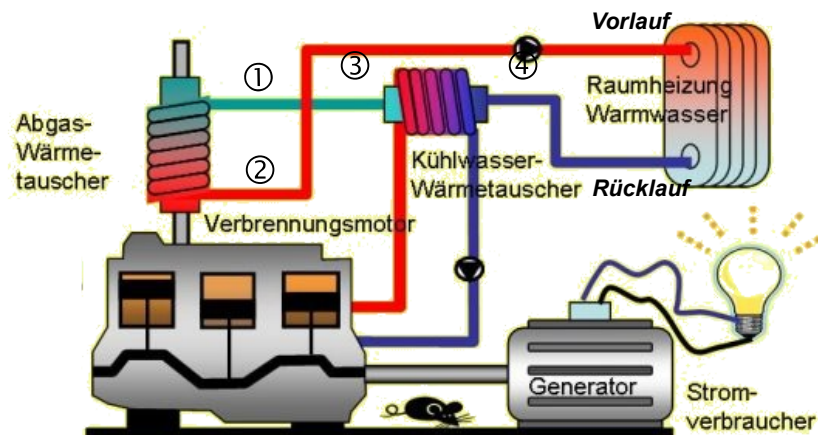
2.1 Feriendorf – bauliche Überlegungen	Punkte
2.1.1 Südausrichtung der hauptsächlich genutzten Räume mit großen Fensterflächen $\Rightarrow$ passive solare Energiegewinne. Sonnenschutz vorsehen! Günstiges (möglichst geringes) A/V-Verhältnis, um die Wärmeübertragungsflächen zu minimieren. Weitere: Wärmebrücken vermeiden, um Transmissionswärmeverluste zu verringern, Vollwärmeschutz einplanen, Auswahl einer effizienten Heizungsanlage...	2
2.1.2 Wandquerschnitt 1 $\rightarrow$ Beschreibung B Begründung: Hoher Temperaturabfall auf der warmen Seite, Innendämmung Wandquerschnitt 2 $\rightarrow$ Beschreibung A Begründung: Hoher Temperaturabfall auf der kalten Seite, Außendämmung	2
2.1.3 Im Wandquerschnitt 1 fällt in der Tauperiode Tauwasser aus. Begründung: Eine große Menge an feuchter Innenluft diffundiert durch die Gipskartonplatte, da der Dampfdiffusionswiderstand gering ist. Innerhalb des Dämmstoffs ist ein starker Temperaturabfall, die Taupunkttemperatur wird unterschritten, Tauwasser fällt an.	2
2.1.4 Wandquerschnitt 1: Schnelle Aufheizung des Innenraums durch Innendämmung, dadurch geringere Heizkosten, Gefahr des Tauwasseranfalls auf der Außenseite der Dämmschicht (vgl. 2.1.3). Wandquerschnitt 2: Langsame Aufheizung des Innenraums (kaltes Mauerwerk), geringe Gefahr des Tauwasseranfalls durch Außendämmung.	3
2.1.5 $U = \frac{1}{R_T}$, $R_T = R_{si} + \frac{d_{\text{Putz,i}}}{\lambda_{\text{Putz,i}}} + \frac{d_{\text{Mauer}}}{\lambda_{\text{Mauer}}} + \frac{d_{\text{Dämm}}}{\lambda_{\text{Dämm}}} + \frac{d_{\text{Putz,a}}}{\lambda_{\text{Putz,a}}} + R_{se}$ $R_T = 0,13 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} + \frac{0,0125 \text{ m}}{0,25 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{0,24 \text{ m}}{0,79 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{0,14 \text{ m}}{0,038 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{0,02 \text{ m}}{0,06 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + 0,043 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$ $= 4,5443 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$ $U = \frac{1}{4,5443 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}} = 0,22 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$	2
2.1.6 $U = 0,18 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$ $U = \frac{1}{R_T}$, $R_T = R_{si} + \frac{d_{\text{Putz,i}}}{\lambda_{\text{Putz,i}}} + \frac{d_{\text{Mauer}}}{\lambda_{\text{Mauer}}} + \frac{d_{\text{Dämm}}}{\lambda_{\text{Dämm}}} + \frac{d_{\text{Putz,a}}}{\lambda_{\text{Putz,a}}} + R_{se}$ $\lambda_{\text{Dämm}} = \frac{d_{\text{Dämm}}}{\frac{1}{U} - \left(R_{si} + \frac{d_{\text{Putz,i}}}{\lambda_{\text{Putz,i}}} + \frac{d_{\text{Mauer}}}{\lambda_{\text{Mauer}}} + \frac{d_{\text{Putz,a}}}{\lambda_{\text{Putz,a}}} + R_{se} \right)}$ $\lambda_{\text{Dämm}} = \frac{d_{\text{Dämm}}}{\frac{1}{0,18 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}} - \left(0,13 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} + \frac{0,0125 \text{ m}}{0,25 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{0,24 \text{ m}}{0,79 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{0,02 \text{ m}}{0,06 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + 0,043 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \right)}$ $= 0,0298 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \approx 0,03 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$	4

2.2 Feriendorf – Blockheizkraftwerk

2.2.1 Wegen der hohen Anschaffungskosten ist eine hohe Laufzeit anzustreben (Größenordnung: mind. 4000 Betriebsstunden pro Jahr), daher ist eine möglichst gleichmäßige Wärmeabnahme erforderlich, z. B. Schwimmbadaufheizung

2.2.2 (heißerer) Abgas-Wärmetauscher: im heißen Vorlauf

(kühlerer) Kühlwasser-Wärmetauscher: im kühlen Rücklauf: möglichst vollständige Ausnutzung der Kühlwasser-Abwärme $\Rightarrow$ nur möglich, wenn die Heizkreistemperatur im Wärmetauscher nicht zu hoch ist.

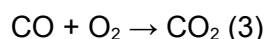
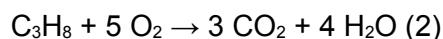
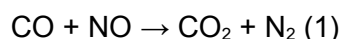


$$2.2.3 \quad \dot{Q}_{zu} = \frac{\dot{Q}_{th} + P_{el}}{\eta_{ges}} = \frac{70 \text{ kW}}{0,88} = 79,55 \text{ kW}$$

$$\eta_{th} = \frac{\dot{Q}_{th}}{\dot{Q}_{zu}} = \frac{45 \text{ kW}}{79,55 \text{ kW}} = 0,57, \quad \eta_{el} = \frac{P_{el}}{\dot{Q}_{zu}} = \frac{25 \text{ kW}}{79,55 \text{ kW}} = 0,31$$

2.2.4 Der Drei-Wege-Katalysator (DWK) besteht aus einem Metall- oder Keramikträger mit Edelmetallbeschichtung (z. B. eine Legierung aus Platin, Rhodium und/oder Palladium).

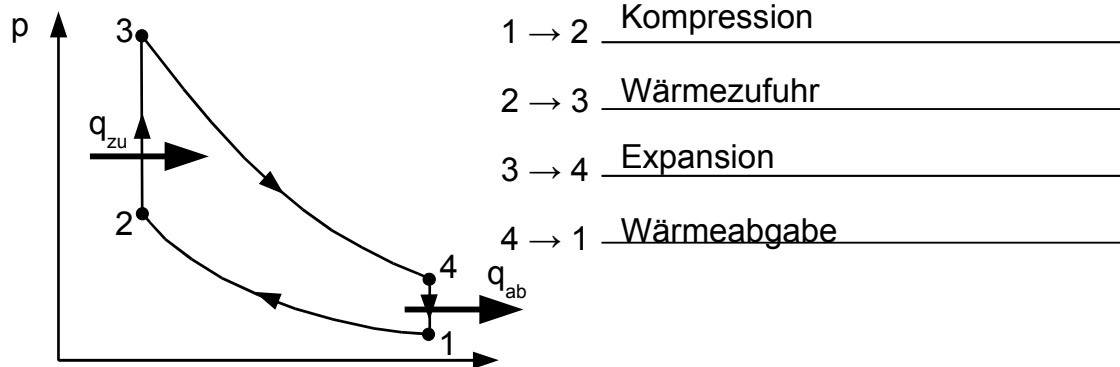
Der DWK konvertiert gleichzeitig die Schadstoffe Kohlenstoffmonoxid, Kohlenwasserstoffe und Stickstoffoxide in die unschädlichen Stoffe CO_2 , H_2O und N_2 .



2.2.5 Bei Stoff 1 muss es sich um Stickstoffmonoxid handeln: Die Konvertierungsrate nimmt bei steigendem Luftüberschuss ab. In diesem Fall laufen bevorzugt die Reaktionen (2) und (3) ab. Bei Reaktion (1) liefert NO den Sauerstoff für die Reaktion von CO und C_3H_8 .

2.2.6

2



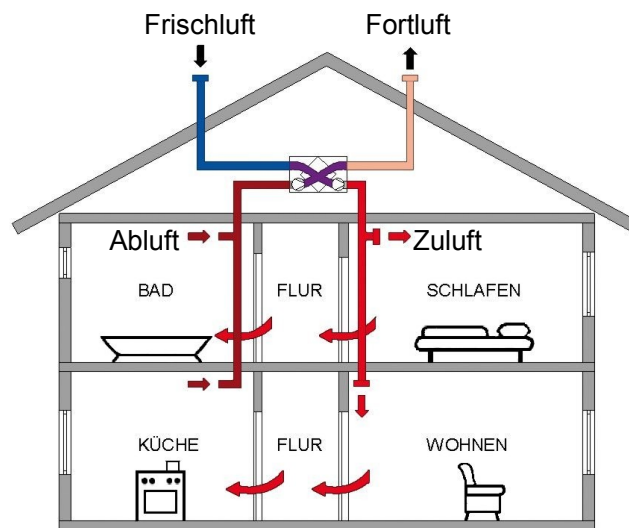
3 Wahlaufgabe

3.1 Lüftungsanlage für den Neubau

Punkte

3.1.1 Lüftungsschema. Überströmöffnungen sind nicht gefragt, müssen nicht beschriftet werden.

3



- Frischluftzufuhr in Wohnräumen (Steigerung der Behaglichkeit)
- Abluftabfuhr in Bad/Küche: Abtransport von Feuchte und Gerüchen

3.1.2 Aufgaben einer systematischen Lüftung (muss nicht durch kontrollierte Wohnraumlüftung erfolgen, systematische Fensterlüftung ebenfalls möglich):

3

- Abfuhr von Schadstoffen und Gerüchen
- Abfuhr von zu großer Luftfeuchtigkeit, Vermeidung von Schimmelbildung
- Frischluftzufuhr

3.1.3 Kontrollierte Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung:

2

- Verringerung der Energieverluste durch Wärmerückgewinnung
- Automatischer Luftaustausch ⇒ Gewährleistung des Mindestluftbedarfs, daher sichere Vermeidung von Schimmelbildung

3.1.4 $\beta = \frac{\dot{V}_{AU}}{V_R}$ mit $\beta = 0,5 \frac{1}{h}$ (aus Formelsammlung)

$$\dot{V}_{AU} = 0,5 \frac{1}{h} \cdot \beta \cdot V_R = 140 \text{ m}^2 \cdot 2,5 \text{ m} = 175 \frac{\text{m}^3}{h}$$

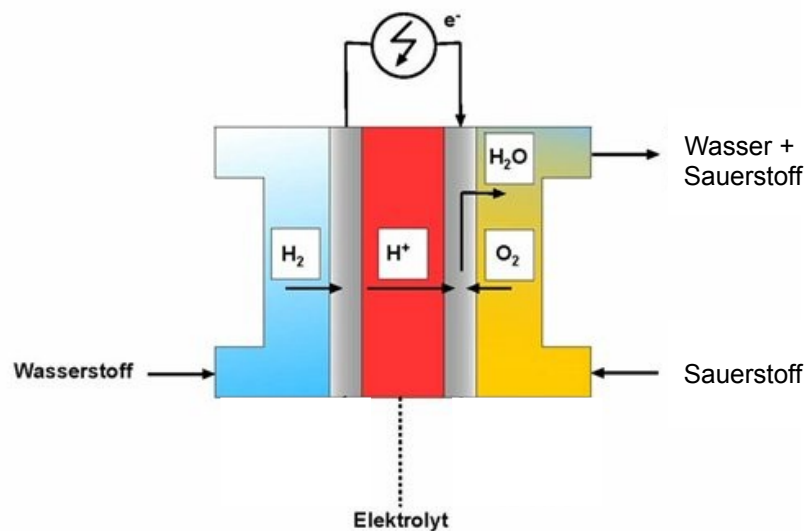
3.1.5 $\dot{V}_{AU} = \dot{V}_{AU, \min} \cdot n$ mit $\dot{V}_{AU, \min} = 30 \frac{\text{m}^3}{h}$ (aus Formelsammlung)

$$n = \frac{\dot{V}_{AU}}{\dot{V}_{AU, \min}} = \frac{180 \frac{\text{m}^3}{h}}{30 \frac{\text{m}^3}{h}} = 6$$

3.2 Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerk

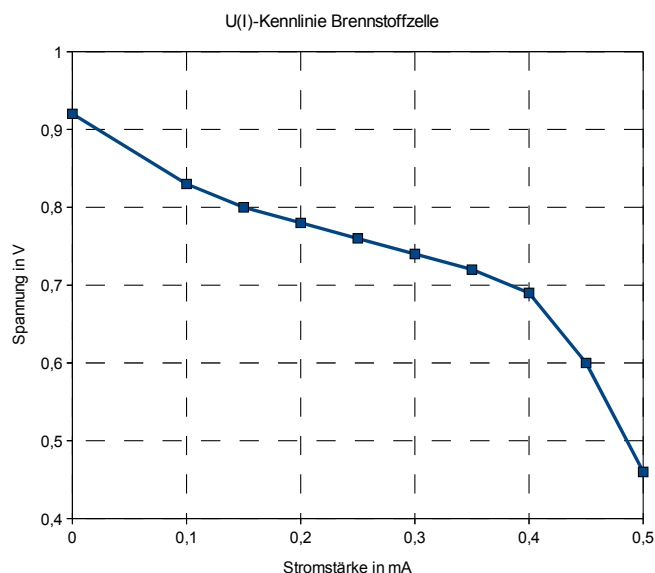
3.2.1 Wasserstoffwirtschaft: Elektrische Energie wird dazu verwendet, elektrolytisch Wasserstoff zu gewinnen. Dieser kann als Energieträger genutzt werden, z. B. zum Betrieb einer Brennstoffzelle.

3.2.2 Gesamtreaktionsgleichung: $2 \text{ H}_2 + \text{ O}_2 \rightarrow 2 \text{ H}_2\text{O}$



Anmerkung: H^+ -Übergang in der Membran ist nicht gefragt.

3.2.3



- 3.2.4 max. Leistung: vor dem Abbruch der Kennlinie, d. h. bei $I = 0,4 \text{ mA}$.
maximale Leistung auch durch $P = U \cdot I$ herleitbar

$$\text{Widerstand } R = \frac{U}{I} = \frac{0,69 \text{ V}}{0,0004 \text{ A}} = 1725 \Omega$$

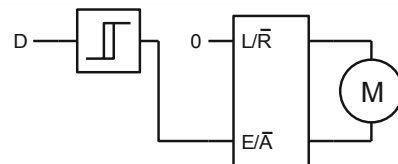
3.3 Photovoltaik-Anlage mit automatischer Nachführung der Module

- 3.3.1 Führungsgröße: 0 (Das Differenzsignal soll gleich Null sein)
Messgröße: Differenzsignal D
Stellgröße: Ausrichtungswinkel der PV-Module
Störgrößen: Azimuthwinkel der Sonne,
Reflexion oder Streuung an benachbarten Objekten

- 3.3.2 Vorteil: - Theoretisch kann ein höherer Ertrag erzielt werden.
Nachteile: - Eigenverbrauch schmälert den theoretisch höheren Ertrag.
- Systemkomplexität und Investitionskosten steigen.

- 3.3.3 Rechts herum, da die Sonnenbahn von Osten über Süden nach Westen verläuft.

- 3.3.4 Das Differenzsignal wird auf den Zweipunktregler mit Hysterese gegeben. Ab der im Regler eingestellten Schwelle führt das Differenzsignal zu einer Nachführung. Das Drehrichtungssignal ist dauerhaft auf '0', was einem Rechtslauf entspricht.



Ohne Hysterese würde der Motor in schneller Folge ein- und ausschalten.

- 3.3.5 Sobald die mit dem Spannungsteiler eingestellte Schwelle des Intensitätssignals überschritten ist, gibt der Komparator eine '1' aus und der Motor wird über die UND-Verknüpfung überhaupt erst freigegeben.

Laut Vorgabe kann das Summensignal maximal 5 V betragen. Die Freigabe soll bei 20 % hiervon, also bei 1 V erfolgen. Auf diese Spannung muss also der Spannungsteiler die Versorgungsspannung herunterteilen.

$$R_1 + R_2 = \frac{5 \text{ V}}{0,5 \text{ mA}} = 10 \text{ k}\Omega$$

$$\frac{5 \text{ V}}{1 \text{ V}} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \quad \rightarrow \quad R_2 = 2 \text{ k}\Omega, \quad R_1 = 8 \text{ k}\Omega$$

- 3.3.6 B und C (es wird ständig die Drehrichtung umgeschaltet!)

- 3.3.7 Die Regelung mit zwei Drehrichtungen regelt störende Fremdeinstrahlung schneller aus, da sie nicht erst eine ganze Umdrehung machen muss, wenn aufgrund von Fremdeinstrahlung ein zu großer Ausrichtungswinkel eingestellt wurde. Es reicht ein kurzer Stelleingriff in die entgegengesetzte Richtung.

Nachteilig wirkt sich aus, dass ständig der Motor bei wechselnder Drehrichtung in Betrieb ist. → erhöhter Eigenverbrauch

4 Wahlaufgabe**4.1 Wärmepumpe**

Punkte

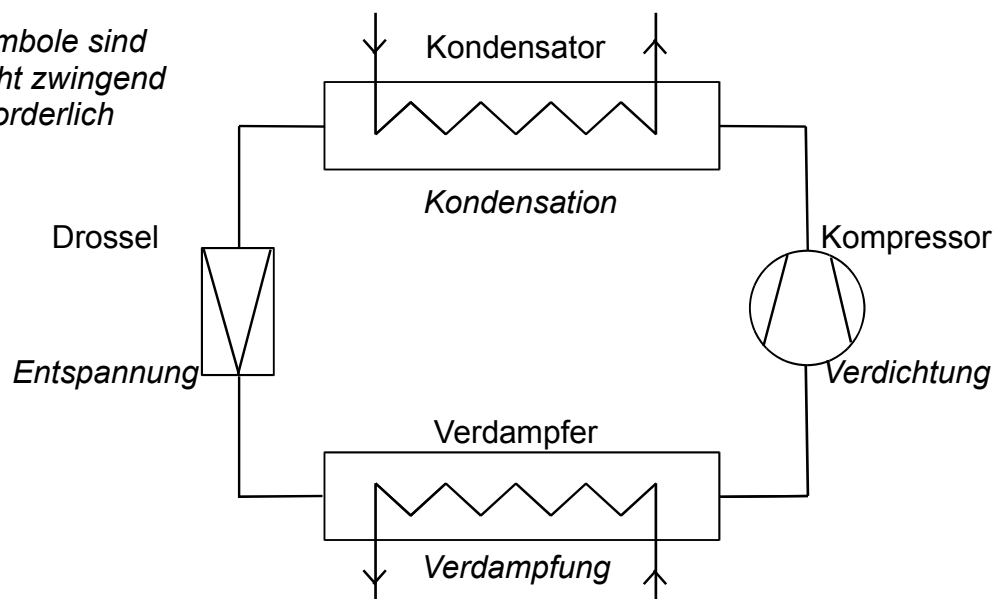
- 4.1.1 Wärmequelle Erdreich (Sole-Wasser-Wärmepumpe):
 Vorteil: gleichmäßige Erdreichtemperatur um $+10\text{ °C}$ bei Erdwärmesonden in Tiefen bis 100 m.
 Nachteil: höhere Investitionskosten
 Wärmequelle Luft (Luft-Wasser-Wärmepumpe):
 Vorteil: niedrigere Investitionskosten
 Nachteil: schlechte Arbeitszahlen, hoher Bedarf an zusätzlicher elektrischer Energie

3

4.1.2

4

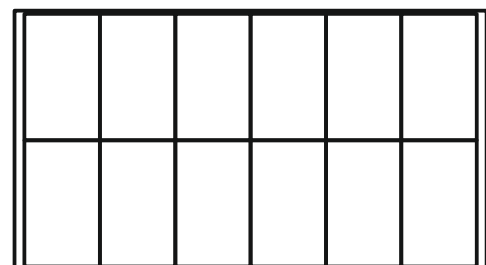
*Symbole sind
nicht zwingend
erforderlich*



- 4.1.3 Sole-Wasser-Wärmepumpe („B“: Boden als Wärmequelle) 1
- 4.1.4 Bei größerer erforderlicher Heizkreistemperatur steigt der Energiebedarf für die Verdichtung, die Effizienz der Wärmepumpe wird schlechter 2

4.2 PV-Module auf einem Garagendach

- 4.2.1 Es passen 12 Module auf das Flachdach. Man muss je 6 Module in Reihe schalten. Zwei solche Stränge werden parallel geschaltet.



4

Die max. mögliche Spannung ergibt sich im Leerlauf unter Standard Test Conditions. Sie beträgt $6 \cdot 38,2\text{ V} = 229,2\text{ V}$.

Die min. mögliche Spannung ergibt sich im MPP unter Nominal Operating Conditions, also $6 \cdot 28,4\text{ V} = 170,4\text{ V}$.

Es passen die beiden angebotenen Laderegler. Andere Aufteilungen sind nicht möglich.

4.2.2 Von der Spannung her passen beide Laderegler. Jedoch könnte im Sommer bei senkrechter Einstrahlung mit max. Bestrahlungsstärke bei einer Zelltemperatur von 25°C (STC) der zulässige Strangstrom von Modell 1 (kurzzeitig) überschritten werden. Es muss also Modell 2 gewählt werden.

4.2.3 Die Module auf dem Dach haben eine Nennleistung unter STC von

$$P_{MPP, Dach} = n \cdot U_{MPP} \cdot I_{MPP} = 12 \cdot 31,3 \text{ V} \cdot 8,3 \text{ A} = 12 \cdot 260 \text{ W} = 3,12 \text{ kW}$$

Wenn die Sonne 1 h lang mit 1 kW/m² scheint, entsteht also ein Ertrag von

$$W = P_{MPP, Dach} \cdot t = 3,12 \text{ kW} \cdot 1 \text{ h} = 3,12 \text{ kWh}$$

Das Diagramm „Wirksame Globalstrahlung“ aus der zugelassenen

$$\text{Formelsammlung liefert für den 1. Juni: } Globalstrahlung = 5,6 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot d}$$

Dies ist gleichwertig zu 5,6 h Sonnenschein mit 1 kW/m². In dieser Zeit liefern die Module auf dem Dach den Ertrag $W = P_{MPP, Dach} \cdot t = 3,12 \text{ kW} \cdot 5,6 \text{ h} = 17,47 \text{ kWh}$.

4.2.4 Steigerung möglich durch Schrägstellen der Module auf $\alpha = 60^\circ$ bei gleichzeitiger Südausrichtung. Aus dem Diagramm „Wirksame Globalstrahlung“

$$(\text{Formelsammlung}) \text{ ergibt sich für den 1. Januar: } \frac{1,8 \text{ kWh} / (\text{m}^2 \cdot d)}{0,7 \text{ kWh} / (\text{m}^2 \cdot d)} = 2,57$$

4.3 Elektrofahrzeug

$$4.3.1 \quad P = F_w \cdot v = c_w \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^2 \cdot v = 0,32 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2,13 \text{ m}^2 \cdot \left(22,22 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 = 4488 \text{ W}$$

$$4.3.2 \quad s = v \cdot t = v \cdot \frac{W}{P} = 80 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{15,86 \text{ kWh}}{4,488 \text{ kW}} = 283 \text{ km}$$

4.3.3 Bei der Berechnung wurde davon ausgegangen, dass der gesamte Ertrag des Solardachs für die Überwindung des Luftwiderstandes auf einer ebenen Strecke zur Verfügung steht. In der Praxis müssen jedoch auch Steigungen und der Rollwiderstand zwischen Rädern und Fahrbahn überwunden werden. Auch das Beschleunigen des Fahrzeugs ist zu berücksichtigen.

Tatsächlich steht nicht der gesamte Ertrag des Solardachs hierfür zur Verfügung, sondern nur ein um die folgenden Wirkungsgrade reduzierter Anteil:

- Wirkungsgrad des Ladereglers
- Ladewirkungsgrad des Akkus
- Entladewirkungsgrad des Akkus
- Wirkungsgrad des Frequenzumrichters
- Wirkungsgrad des Motors

4.3.4 Je langsamer die Rekordfahrt, desto geringer der Luftwiderstand, aber auch umso geringer die innerhalb eines Tages zurückgelegte Strecke. Die Geschwindigkeit ist also gemäß der Vorgabe so zu wählen, dass das Fahrzeug die gesamte zur Verfügung stehende Zeit von 24 h fährt und in dieser Zeit gerade die gesamte verfügbare Energie umsetzt.

$$W = P \cdot t \rightarrow P = \frac{W}{t} = \frac{15,86 \text{ kWh}}{24 \text{ h}} = 0,66 \text{ kW}$$

$$P = F_w \cdot v = c_w \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^2 \cdot v$$

$$v^3 = \frac{2 \cdot P}{c_w \cdot \rho \cdot A} = \frac{2 \cdot 661 \text{ W}}{0,32 \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot 2,13 \text{ m}^2} \rightarrow v = 11,73 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 42,2 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$$s = v \cdot t = 42,2 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot 24 \text{ h} = 1013 \text{ km}$$

1 Pflichtaufgaben zur Windkraft und Photovoltaik

Punkte

1.1 Windkraftanlage**1.1.1 3-Blattrotor im Vergleich zu einem 2-Blattrotor**

1

Vorteile: höherer Leistungsbeiwert c_P
 3-Blattrotoren laufen optisch ruhiger

Nachteil: höherer Materialeinsatz

1.1.2 Vor- und Nachteile von Offshore im Vergleich zu Onshore-Windkraftanlagen.

2

Vorteile: große zusammenhängende Flächen für Windparks möglich
 höheres Windangebot im Vergleich zu Onshore-Anlagen
 gleichmäßigere Windgeschwindigkeit als an Land
 höherer Ertrag als Onshore-Anlagen

Nachteile: bei schlechtem Wetter oder hohem Seegang nicht zugänglich für Wartungsarbeiten (spezielle Schiffe arbeiten nur bei ruhiger See)
 die Komponenten müssen besonders geschützt und korrosionsbeständig sein, da Salzwasser sehr aggressiv ist
 Wassertiefe darf nicht zu groß (max. 50 m) sein.
 Untergrund darf nicht zu weich sein
 Netzanschluss ist aufwändiger als bei Onshore-Anlagen

1.1.3 Mechanisch nutzbare Leistung P_{mech} und Leistungsbeiwert c_P

3

$$P_{\text{mech}} = \frac{P_{\text{el}}}{\eta_G} = \frac{830 \text{ kW}}{0,96} = 864,6 \text{ kW} \quad A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot (71 \text{ m})^2}{4} = 3959,2 \text{ m}^2$$

$$P_{\text{Wind}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 = \frac{1}{2} \cdot 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 3959,2 \text{ m}^2 \cdot \left(9 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 = 1,732 \text{ MW}$$

$$c_P = \frac{P_{\text{mech}}}{P_{\text{Wind}}} = \frac{864,6 \text{ kW}}{1,732 \text{ MW}} = 0,5$$

1.1.4 Umfangsgeschwindigkeit u und Schnelllaufzahl λ

2

$$u = \pi \cdot d \cdot \frac{n}{60} = \pi \cdot 71 \text{ m} \cdot \frac{17}{60 \text{ s}} = 63,2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \lambda = \frac{u}{v} = \frac{63,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{9 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 7$$

**1.1.5 abgelesen bei $\lambda = 7$ und $E \rightarrow \infty$ und $z = 3 \Rightarrow c_P = 0,52$
 abgelesen bei $\lambda = 7$ und $E \rightarrow 40$ und $z = 3 \Rightarrow c_P = 0,42$**

2

Der Schnittpunkt $c_P = 0,5$ und $\lambda = 7$ liegt im Diagramm deutlich oberhalb der Kurvenschar $E = 40$ für einen dreiflügeligen Rotor, sodass die Güte des Rotorblatts mit „gut“ bezeichnet werden kann.

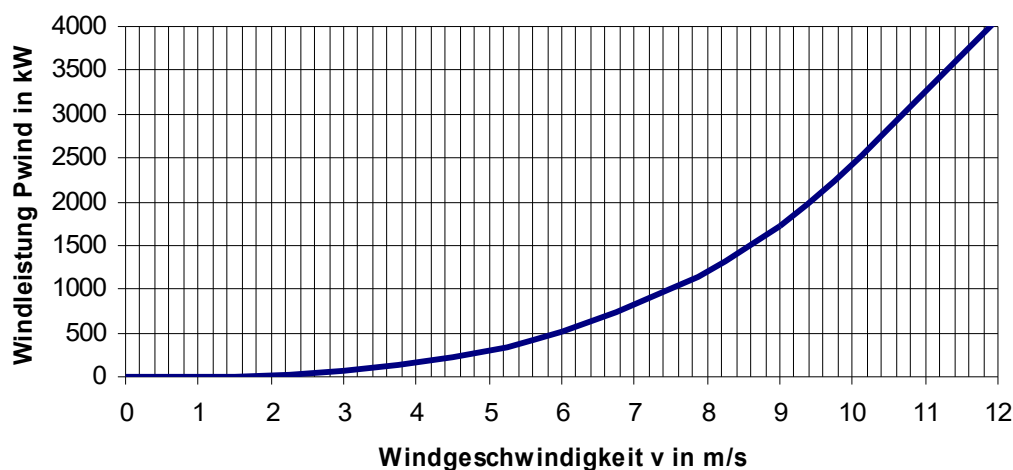
1.1.6 Windleistung in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit

4

$v_0 = 0 \text{ m/s}$	$v_3 = 3 \text{ m/s}$	$v_6 = 6 \text{ m/s}$	$v_9 = 9 \text{ m/s}$	$v_{12} = 12 \text{ m/s}$
$P_0 = 0 \text{ kW}$	$P_3 = 64,1 \text{ kW}$	$P_6 = 513 \text{ kW}$	$P_9 = 1731 \text{ kW}$	$P_{12} = 4100 \text{ kW}$

Die Windgeschwindigkeit geht mit der 3. Potenz in die Berechnung der Windleistung ein, d.h. bei doppelter Windgeschwindigkeit wird die Windleistung verachtst.

$$P_x = \frac{x^3}{6^3} \cdot 513 \text{ kW}$$

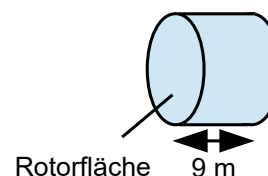


$$1.1.7 \quad v = \frac{s}{t} \rightarrow s = v \cdot t = 9 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1 \text{ s} = 9 \text{ m}$$

Die Luftmasse legt in 1 Sekunde 9 m zurück.

Volumen = Rotorfläche X zurückgelegter Weg

$$A = \pi \cdot \frac{d^2}{4}; \quad m = \rho \cdot V = \rho \cdot A \cdot s = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 3959 \text{ m}^2 \cdot 9 \text{ m} = 42757 \text{ kg}$$



1.2 Netzgekoppelte PV-Anlage

1.2.1 Für einige Punkte der I(U)-Kennlinien liest man die Wertepaare U und I ab und berechnet $P = U \cdot I$. Werte von P bei den zugehörigen Werten von U eintragen, Punkte durch Kurve verbinden.

1.2.2 $I_{SC} = 10,4 \text{ A}$, $U_{OC} = 520 \text{ V}$, $U_{MPP} = 410 \text{ V}$, $I_{MPP} = 9,3 \text{ A}$, $P_{MPP} = 3800 \text{ W}$
siehe Diagramm unten

$$1.2.3 \quad n_{\text{Reihe}} = \frac{U_{OC-\text{Gesamt}}}{U_{OC-\text{Modul}}} = \frac{520 \text{ V}}{43,3 \text{ V}} = 12 \quad \text{Module in Reihenschaltung}$$

$$s_{\text{Par}} = \frac{I_{SC-\text{Gesamt}}}{I_{SC-\text{Modul}}} = \frac{10,4 \text{ A}}{5,2 \text{ A}} = 2 \quad \text{Strings parallel geschaltet}$$

$$\rightarrow 12 \cdot 2 = 24 \quad \text{Module}$$

1.2.4 bei -10°C : $\Delta T = T_2 - 25^\circ\text{C} = (-10^\circ\text{C}) - 25^\circ\text{C} = -35 \text{ K}$

bei $+75^\circ\text{C}$: $\Delta T = T_2 - 25^\circ\text{C} = (+75^\circ\text{C}) - 25^\circ\text{C} = +50 \text{ K}$

$$U(T_2) = U_{25^\circ\text{C}} \cdot (1 + TK_U \cdot \Delta T)$$

Leerlaufspannungen pro Modul bei -10°C und $+75^\circ\text{C}$ mit $TK_U = -0,35 \% / \text{K}$:

$$U_{OC}(-10\text{ }^{\circ}\text{C}) = 43,3\text{ V} \cdot (1 + (-0,0035) \cdot (-35\text{K})) = 43,3\text{ V} \cdot 1,1225 = 48,6\text{ V}$$

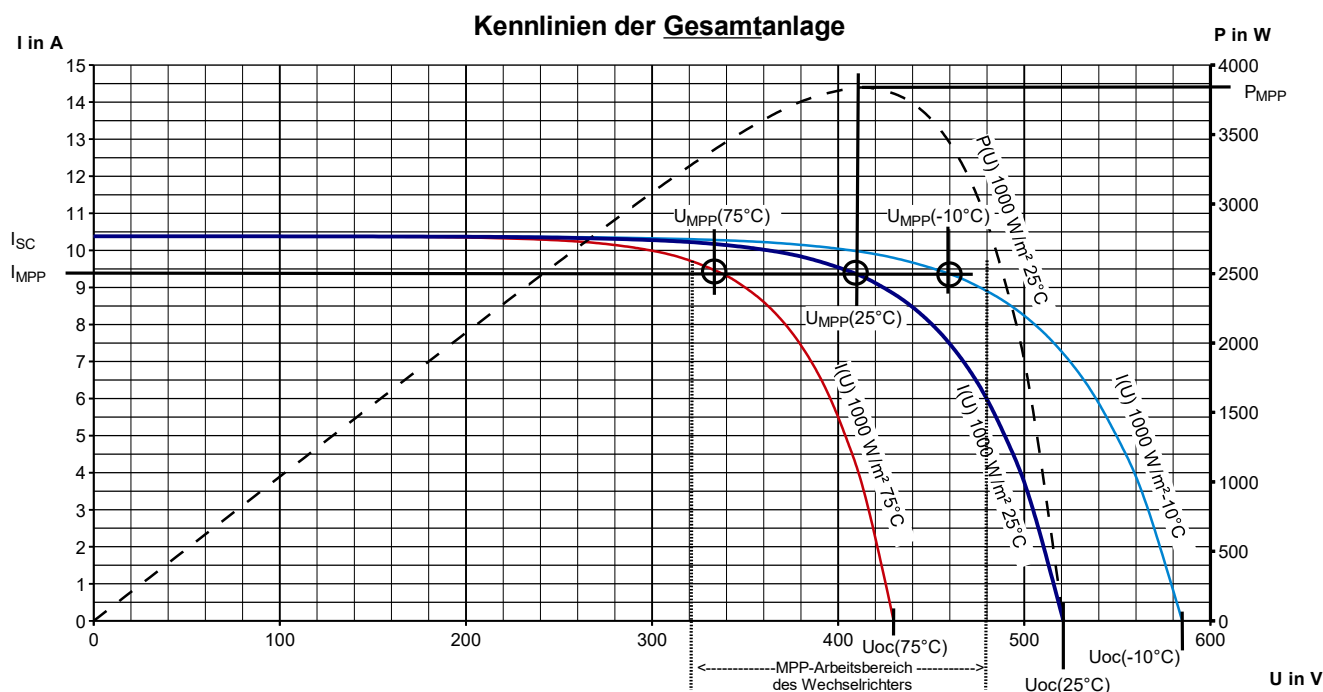
$$U_{OC}(+75\text{ }^{\circ}\text{C}) = 43,3\text{ V} \cdot (1 + (-0,0035) \cdot (50\text{K})) = 43,3\text{ V} \cdot 0,825 = 35,7\text{ V}$$

Gesamtanlage (12 Module in Reihe):

$$U_{OC}(-10\text{ }^{\circ}\text{C}) = 48,6\text{ V} \cdot 12 = 583,2\text{ V} \quad U_{OC}(+75\text{ }^{\circ}\text{C}) = 35,7\text{ V} \cdot 12 = 428,4\text{ V}$$

1.2.5

2



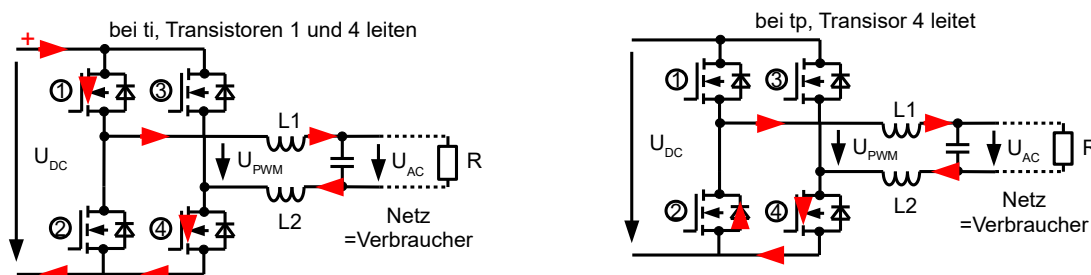
- 1.2.6 Max. DC-Eingangsspannung 583 V (Leerlauf bei $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$) $\rightarrow$ WR 1 nicht geeignet
 MPP-Spannungsbereich bis 460 V (U_{MPP} bei $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$) $\rightarrow$ WR 2 nicht geeignet
 ebenso bei $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$: $P_{MPP} = 460\text{ V} \cdot 9,4\text{ A} = 4324\text{ W} \rightarrow$ WR 2 könnte nicht im MPP arbeiten (Elektronik würde WR aber vor Überlastung schützen)
 $\rightarrow$ nur WR 3 ist geeignet.

2

1.3 Einphasiger Wechselrichter 230 V / 50 Hz

1.3.1

1,5



- 1.3.2 Die Spulen halten den Stromfluss aufrecht während der Zeit t_p (wenn Transistor 1 sperrt). Der Kondensator glättet den Kurvenverlauf weiter.

1,5

30

2 Sanierung einer historischen Villa

Punkte

2.1 Wärmedämmung des Gebäudes

2.1.1 Der rechte Wandquerschnitt ist innen gedämmt. Grund: Großer Temperaturabfall auf warmer Seite.

1

2.1.2 Vorteile der Außendämmung gegenüber der Innendämmung:

2

- Wärmebrücken wie beispielsweise Bodenplatten werden überdämmt
- Tauwasseranfall im Bauteil unwahrscheinlich, da hoher Temperaturabfall im Wandquerschnitt auf kalter Außenseite, innenseitig angeordnete Bauteile wirken als Dampfbremse

Weitere mögliche Antworten: Massige Bauteile auf Wandinnenseite dienen als Speichermasse für Wärme (sommerlicher Wärmeschutz), Schutz der Wandkonstruktion vor starken Temperaturschwankungen ...

Nachteile der Außendämmung gegenüber der Innendämmung:

- hohe Kosten, da Gerüst notwendig
- langsames Aufheizen der Räume, da kalte Außenwände wie träge Speichermasse wirken (kritisch bei sporadischer Nutzung)

Weitere mögliche Antworten: keine Anwendung bei denkmalgeschützten Fassaden möglich...

2.1.3 $U = \frac{1}{R_T} \Rightarrow R_T = \frac{1}{U} = R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_4}{\lambda_4} + R_{se}$

3

$$R = R_T - R_{si} - R_{se} = 5 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} - 0,13 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} - 0,043 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} = 4,827 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}},$$

$$R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_4}{\lambda_4} \Rightarrow \frac{d_2}{\lambda_2} = R - \left(\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_4}{\lambda_4} \right)$$

$$\lambda_2 = \frac{d_2}{R - \left(\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_4}{\lambda_4} \right)} = \frac{0,14 \text{ m}}{4,827 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} - \left(\frac{0,015 \text{ m}}{0,51 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}} + \frac{0,24 \text{ m}}{0,81 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}} + \frac{0,015 \text{ m}}{0,06 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}} \right)} = 0,033 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

2.1.4 Erläuterung der Größen im Glaser-Diagramm

2

Ordinate: p: Dampfdruck: eingezeichnet ist der Verlauf des Sättigungsdampfdrucks über das Bauteil. Abhängig von der Temperatur und der Dampfdurchlässigkeit der Baustoffe

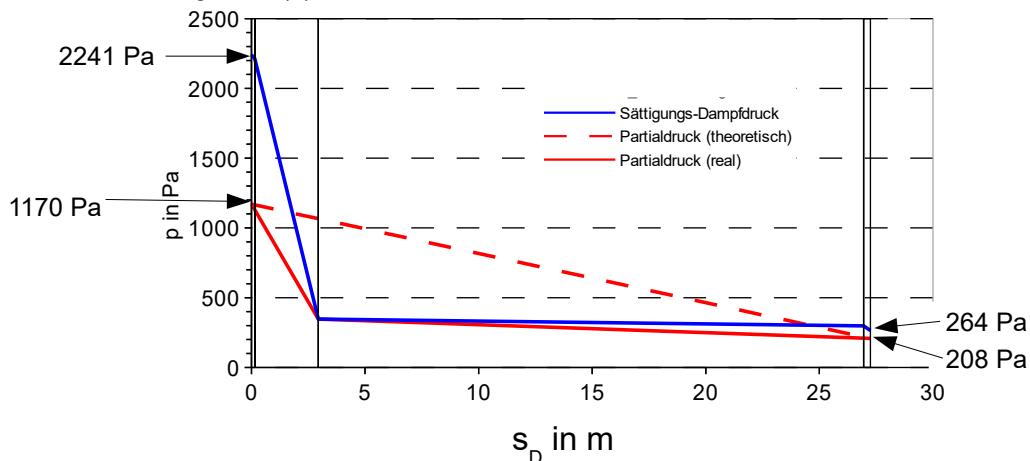
Abszisse: s_D : Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke: die Durchlässigkeit der einzelnen Baustoffschichten wird hier auf die Wasserdampf-Durchlässigkeit von Luft bezogen und in m angegeben.

- 2.1.5 Wenn der Partialdampfdruck die Sättigungsdampfdrucklinie im Bauteilquerschnitt berührt oder schneidet, fällt Tauwasser an.

3

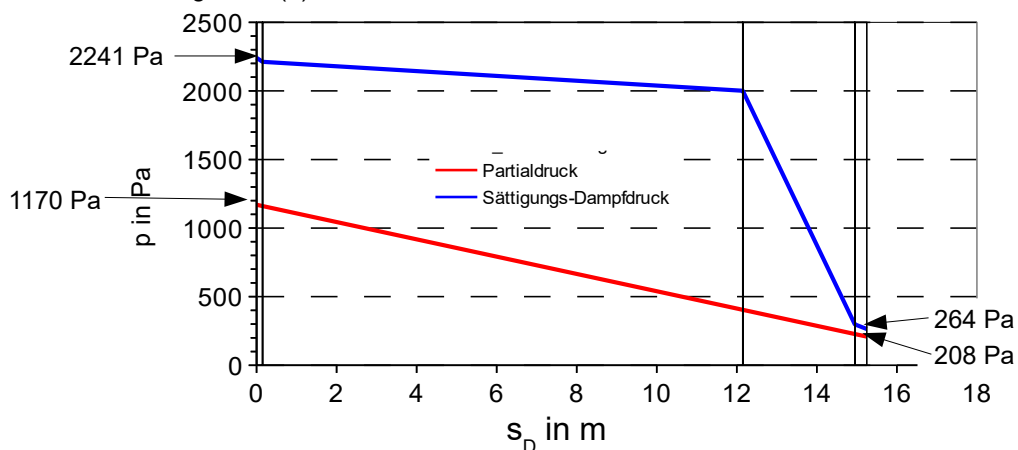
Obere Abbildung (Innendämmung): Im Bereich der Dämmschicht fällt der Sättigungsdampfdruck stark ab und schneidet dabei die Partialdampfdrucklinie. Daher kommt es zu Tauwasseranfall. Der reale Verlauf der Partialdampfdrucklinie wird nicht verlangt.

Glaser-Diagramm (1)



Untere Abbildung (Außendämmung): Die Partialdampfdrucklinie ist über den gesamten Wandquerschnitt unterhalb der Sättigungsdampfdrucklinie. Es kommt daher zu keiner Tauwasserbildung.

Glaser-Diagramm (2)



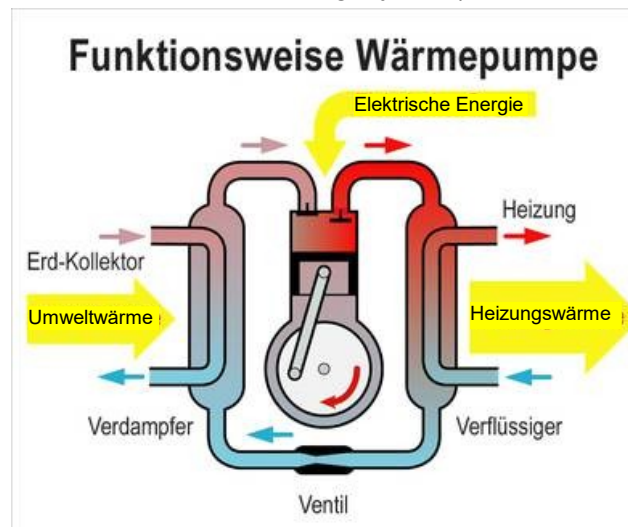
- 2.1.6 Beim Aufbringen einer Innendämmung muss eine Dampfbremse auf der warmen Seite der Dämmung eingebaut werden. Dadurch wird verhindert, dass die warme feuchte Innenluft in den Wandquerschnitt diffundiert, dort abkühlt und der Wasserdampf kondensiert.

2

2.2 Beheizung mit einer Kompressionswärmepumpe

- 2.2.1 Bauteile: Verdampfer (Wärmetauscher zur Umweltwärmequelle), Kompressor, Kondensator (Wärmetauscher zum Heizungssystem), Expansionsventil

2



Hinweis: Eine entsprechend vereinfachte Darstellung ist ausreichend.

$$2.2.2 \quad \dot{Q} = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{t} \Rightarrow t = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{\dot{Q}}$$

3

aus FS: $\varepsilon = \frac{\dot{Q}_{WP}}{P_{el}} \Rightarrow \dot{Q} = 3,5 \cdot 0,5 \text{ kW} = 1,75 \text{ kW}$, Annahme: $\rho_w = 1 \text{ kg/dm}^3$

$$t = \frac{100 \text{ kg} \cdot 1,163 \frac{\text{Wh}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 40 \text{ K}}{1750 \text{ W}} = 2,66 \text{ h}$$

- 2.2.3 Je höher die Außentemperatur ist, desto stärker steigt die Heizleistung der Wärmepumpe an $\Rightarrow$ Wärmequelle Außenluft. Die anderen Umweltwärmequellen haben ein konstantes Temperaturniveau.

1

- 2.2.4 Links des Schnittpunkts (niedrige Außentemperatur): der Wärmebedarf des Gebäudes ist höher als die Heizleistung der Wärmepumpe, eine zusätzliche Wärmequelle ist erforderlich.

3

Rechts des Schnittpunkts (hohe Außentemperatur): der Wärmebedarf des Gebäudes ist niedriger als die Heizleistung der Wärmepumpe, die Wärmepumpe dient als alleiniger Wärmeerzeuger.

$$2.2.5 \quad \vartheta_{VL} = 35^\circ\text{C} \quad \varepsilon = \frac{9,6 \text{ kW}}{3,0 \text{ kW}} = 3,2 \quad , \quad \vartheta_{VL} = 60^\circ\text{C} \quad \varepsilon = \frac{10,5 \text{ kW}}{5,0 \text{ kW}} = 2,1$$

2

- 2.2.6 Sehr schlecht gedämmtes Gebäude $\Rightarrow$ sehr hohe Vorlauftemperatur im alten Heizungssystem (kleine Heizkörperflächen) erforderlich.

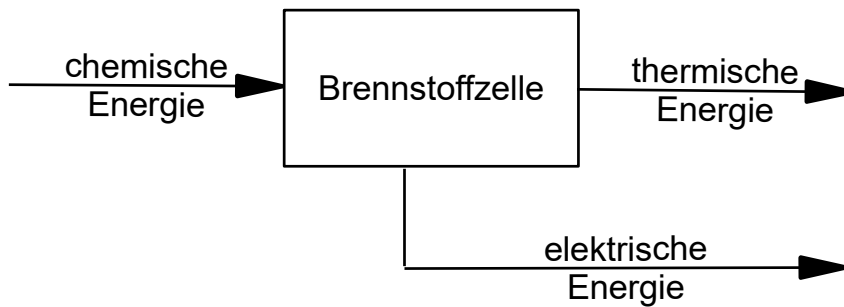
2

Effizienz der Wärmepumpe sinkt stark bei großer Temperaturdifferenz zwischen Vorlauftemperatur und Umweltwärmequellentemperatur

Für die beschriebene Anwendung ist eine Luft-Wasser-Wärmepumpe daher nicht geeignet, weil zu wenig Umweltwärme genutzt werden kann.

2.3 Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerk

2.3.1



1

2.3.2 Der elektrische Wirkungsgrad des Brennstoffzellen-BHKWs ist deutlich höher als bei einem Verbrennungsmotor-BHKW: Bei der chemischen Reaktion wird direkt elektrische Energie freigesetzt, es ist kein Generator erforderlich.

1

$$2.3.3 \quad \eta_{\text{el}} = \frac{P_{\text{el}}}{\dot{Q}_{\text{B,i}}} = \frac{P_{\text{el}}}{\dot{V}_{\text{B}} \cdot H_{\text{i}}} \Rightarrow \dot{V}_{\text{B}} = \frac{P_{\text{el}}}{\eta_{\text{el}} \cdot H_{\text{i}}} = \frac{\frac{4 \text{ kWh}}{0,5 \text{ h}}}{0,6 \cdot 10 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}} = 1,3 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

2

30

3 Elektrofahrzeug mit Range Extender

Punkte

3.1 Elektrofahrzeug

3.1.1 Die Antriebskraft wird bei gleichförmiger Fahrt auf ebener Strecke benötigt, um die Luftwiderstandskraft und die Rollreibungskraft der Räder zu überwinden.

1

3.1.2 $M = F \cdot r = 214,4 \text{ N} \cdot 1/2 \cdot 0,653 \text{ m} = 70 \text{ Nm}$

3

$$P = F \cdot v = M \cdot \omega = M \cdot 2 \cdot \pi \cdot n$$

$$n = \frac{F \cdot v}{M \cdot 2 \cdot \pi} = \frac{214,4 \text{ N} \cdot (80/3,6) \text{ m/s}}{70 \text{ Nm} \cdot 2 \cdot \pi} = 10,83 \text{ s}^{-1} = 650 \text{ min}^{-1}$$

Lösungsalternative für Drehzahlberechnung über Radumfang U:

$$v = U \cdot n \rightarrow n = \frac{v}{U} = \frac{v}{\pi \cdot d} = \frac{(80/3,6) \text{ m/s}}{\pi \cdot 0,653 \text{ m}} = 10,83 \text{ s}^{-1} = 650 \text{ min}^{-1}$$

3.1.3 $P_{\text{mech}} = F \cdot v = 214,4 \text{ N} \cdot (80/3,6) \text{ m/s} = 4,764 \text{ kW}$

3

Aus dem Wirkungsgradkennfeld abgelesen: $\eta_{\text{ges}} = 0,7$

$$\eta_{\text{ges}} = \frac{P_{\text{ab}}}{P_{\text{zu}}} = \frac{P_{\text{mech}}}{P_{\text{el}}} \rightarrow P_{\text{el}} = \frac{P_{\text{mech}}}{\eta} = \frac{4,764 \text{ kW}}{0,7} = 6,806 \text{ kW}$$

$$P_{\text{el}} = U \cdot I \rightarrow I = \frac{P_{\text{el}}}{U} = \frac{6,806 \text{ kW}}{360 \text{ V}} = 18,9 \text{ A}$$

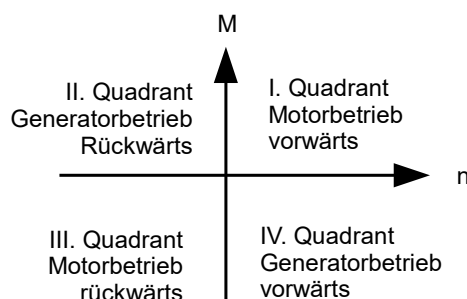
3.1.4 $\eta = \frac{W_{\text{ab}}}{W_{\text{zu}}} = \frac{0,8 \cdot W_A}{P_{\text{Lade}} \cdot t} = \frac{0,8 \cdot 20 \text{ kWh}}{50 \text{ kW} \cdot 0,5 \text{ h}} = 0,64 = 64\%$

2

3.2 Range Extender

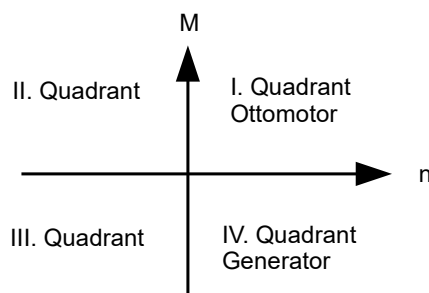
3.2.1

2

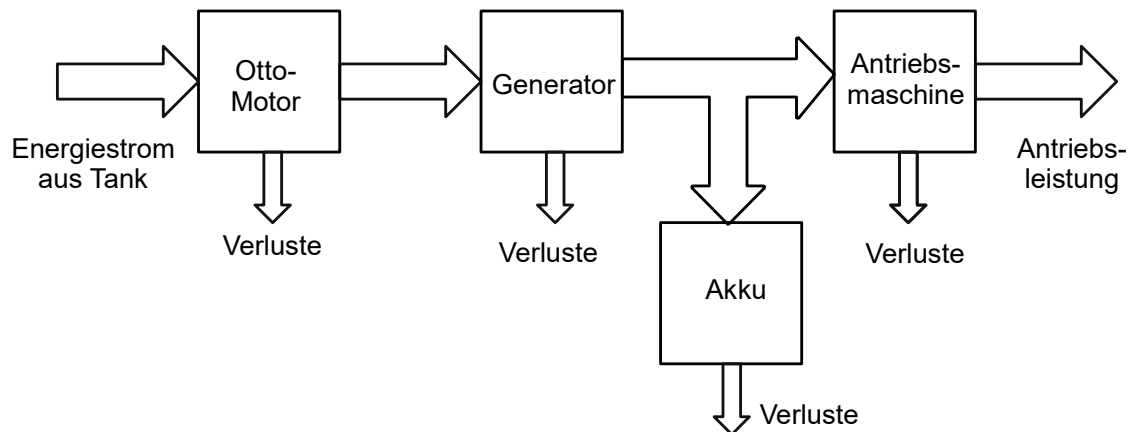


3.2.2

1



3.2.3



3

$$3.2.4 \quad P_N = M_N \cdot \omega_N = M_N \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_N \rightarrow M_N = \frac{P_N}{2 \cdot \pi \cdot n_N} = \frac{15 \text{ kW}}{2 \cdot \pi \cdot (3600/60) \text{ s}^{-1}} = 39,8 \text{ Nm}$$

3

aus Verbrauchskennfeld abgelesen: $\text{Verbrauch} = 0,25 \frac{\text{kg}}{\text{kWh}}$

$$\eta = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}} = \frac{\text{spezifische Ausbeute}}{\text{Heizwert}} = \frac{1/\text{spezifischer Verbrauch}}{\text{Heizwert}}$$

$$\eta = \frac{1}{\text{spezifischer Verbrauch} \cdot H_i} = \frac{1}{0,25 \text{ kg/kWh} \cdot 11,3 \text{ kWh/kg}} = 35,4 \%$$

3.2.5 Als Range Extender im seriellen Hybridfahrzeug wird der Verbrennungsmotor ausschließlich im verbrauchsoptimalen Nennbetriebspunkt betrieben. Die in einer Fahrsituation nicht benötigte Energie wird in der Batterie gespeichert. Im Teillastbereich dagegen steigt der Verbrauch stark an. Wäre der Verbrennungsmotor (über Kupplung und Getriebe) mit der Antriebsachse gekoppelt, so würde er je nach Fahrsituation häufig im Teillastbereich bei ungünstigen Verbrauchswerten arbeiten.

2

3.3 Müllheizkraftwerk

3.3.1 1-1' Speisepumpe; Das Prozessmedium Wasser wird auf den Arbeitsdruck komprimiert.

2

1'-2 Dampferzeuger; Das Wasser wird im Dampferzeuger erwärmt.

2-3 Dampferzeuger; Das Wasser wird im Dampferzeuger verdampft.

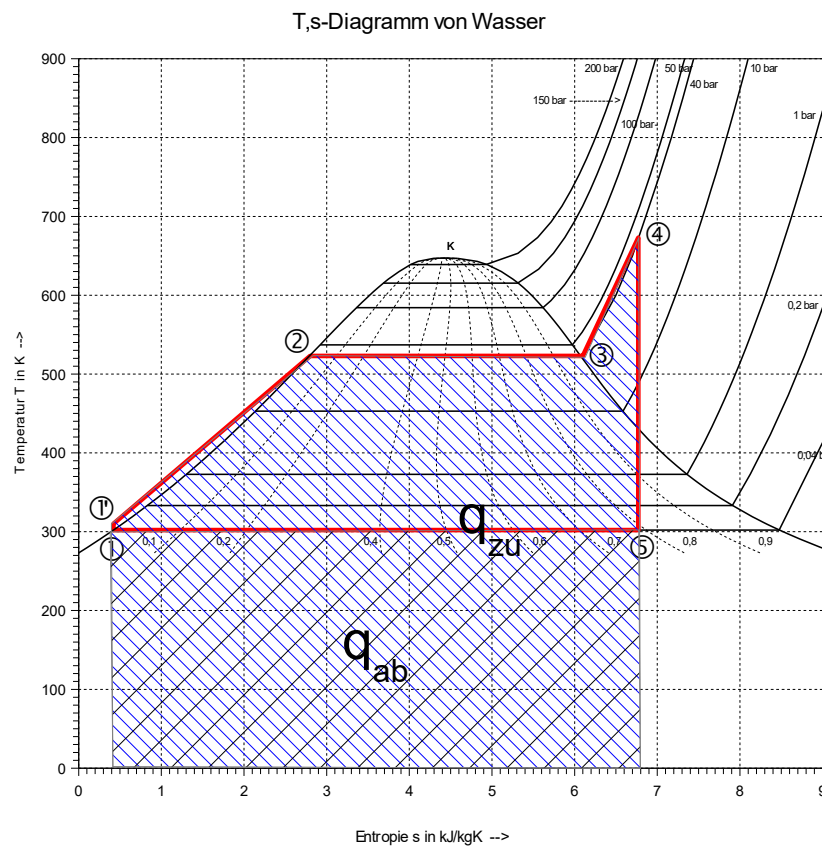
3-4 Dampferzeuger; Der Wasserdampf wird überhitzt.

4-5 Turbine; Der überhitzte Wasserdampf wird in der Turbine entspannt.

5-1 Kondensator; Der Wasserdampf wird im Kondensator verflüssigt.

3.3.2

2



q_{zu} : gesamte Fläche, q_{ab} : unteres Rechteck

3.3.3

2

$$q_{zu} = q_{12} + q_{23} + q_{34}$$

$$q_{zu} = \left(2,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} - 0,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \right) \cdot \frac{520\text{K} + 300\text{K}}{2} + \left(6,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} - 2,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \right) \cdot 520\text{K} + \left(6,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} - 6,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \right) \frac{670\text{K} + 520\text{K}}{2} = 3116,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\eta_{th} = \frac{q_{zu} - |q_{ab}|}{q_{zu}} = \frac{3116,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 1920 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{3116,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 0,38 = 38\%$$

3.3.4 Der anfallende Müll muss thermisch verwertet werden. Die energetische Verwertung des Mülls spart Primärenergie zur Erzeugung elektrischer Energie.

2

Durch die Auskopplung von Fernwärme für eine Kleinstadt wird der Kraftwerkswirkungsgrad erhöht und dadurch die im Müll vorhandene Energie optimal ausgenutzt. Gleichzeitig wird Geld für dezentrale Heizanlagen und den dafür benötigten Brennstoff gespart.

Die Abgase des Müllheizkraftwerkes werden gereinigt, die dezentralen Heizungsanlagen haben keine Rauchgasreinigung.

- 3.3.5 Lösungsvorschlag (Tail-End-Anordnung, bei Müllverbrennungsanlagen gebräuchlich); andere Lösungen, z.B. High-Dust-Verfahren sind möglich:
- Entstaubung → Entschwefelung → Entstickung
- Zuerst müssen mithilfe der Entstaubung die groben Staubpartikel entfernt werden. Die Rauchgasreinigung geht vom Groben zum Feinen um die nachfolgenden Reinigungsanlagen vor zu großer Belastung zu schützen.
- Als zweites folgt die Entschwefelung. Deren Aufgabe ist es, im Waschprozess gasförmige Säurebildner und restliche Feinstäube zu entziehen. Die nachfolgenden Rauchgasreinigungsstufen werden dadurch geschont.
- Zum Schluss folgt die Entstickung. In der Entstickungsanlage werden die Stickstoffoxide zu Stickstoff und Wasser umgewandelt. Die Reaktionstemperatur des Rauchgases muss vor der Entstickung durch einen Wärmetauscher angehoben werden.

2

3.3.6

30

4 Beheizung und Belüftung einer komfortablen Etagenwohnung	Punkte
4.1 Erdgas-Brennwertgerät	
4.1.1 Im Abgaswärmetauscher wird das heiße Abgas durch den (kühlen) Heizkreis-Rücklauf abgekühlt. Dabei wird das Heizungswasser aufgeheizt.	1
4.1.2 Aus Diagramm Formelsammlung: Kesselwirkungsgrad ca. 109 %.	1
4.1.3 Aus Diagramm Formelsammlung: Kondensatmenge ca. 1,4 l/m ³ Gas, $\dot{Q}_{B,s} = \dot{V}_B \cdot H_s \text{ mit } H_s = 11,1 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \quad \dot{V}_B = \frac{\dot{Q}_{B,s}}{H_s} = \frac{7,5 \text{ kW}}{11,1 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}} = 0,676 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ $\text{Kondensatvolumenstrom } \dot{V}_{\text{Kondensat}} = \dot{V}_B \cdot \dot{V}_{\text{Kondensat,bezogen}} = 0,676 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 1,4 \frac{\text{l}}{\text{m}^3} = 0,946 \frac{\text{l}}{\text{h}}$	3
4.1.4 Aus Diagramm Formelsammlung: Ab einer Abgastemperatur von ca. 60 °C findet keine Kondensation mehr statt. Die Kondensatmenge ist dementsprechend 0 l/m ³ Gas. Der Kondensationspunkt (Taupunkt) des Wasserdampfes im Abgasstrom wird nicht mehr unterschritten, weil bei sehr kalten Außentemperaturen das Heizungssystem hohe Vor- und Rücklauftemperaturen benötigt.	2
4.1.5 Die Kesselvorlauftemperatur sinkt bei zunehmender Außentemperatur da der Wärmebedarf geringer wird. Dadurch ist auch die Kesselrücklauftemperatur auf einem niedrigeren Niveau. Das Abgas wird daher vom Wärmetauscher stärker abgekühlt.	2
4.2 Behaglichkeit in Wohnräumen	
4.2.1 Die Behaglichkeit des Menschen ist unter anderem abhängig von der im Raum herrschenden Luftgeschwindigkeit und der vorherrschenden Raumtemperatur. Ist die Luftgeschwindigkeit gering, reicht eine Raumtemperatur von 18 bis 23 °C, um Behaglichkeit zu erzeugen. Ab einer Luftgeschwindigkeit von 0,1 m/s kann eine Behaglichkeit nur noch durch eine Erhöhung der Raumtemperatur erreicht werden, da die Umgebung sonst als „zugig“ empfunden wird. Bei hohen Raumtemperaturen sorgt eine erhöhte Luftgeschwindigkeit (bis max. 0,5 m/s) für ein Behaglichkeitsempfinden, weil die Luftbewegung für eine gewisse Abkühlung sorgt.	2
4.2.2 Wandtemperatur: Eine geringe Wandoberflächentemperatur führt zu freier Konvektion der Raumluft und wird als Zug wahrgenommen. Luftfeuchtigkeit: zu gering: trockene Luft führt zu einer Austrocknung der Schleimhäute und evtl. zu Atemwegserkrankungen zu hoch: Schimmelbildung, schwüle Raumluft. Luftqualität: CO ₂ -Anteil zu hoch kann zu Kopfschmerz und Müdigkeit führen, Ausdünstungen führen zu Geruchsbelastungen	3

4.3 Entlüftung eines Badezimmers

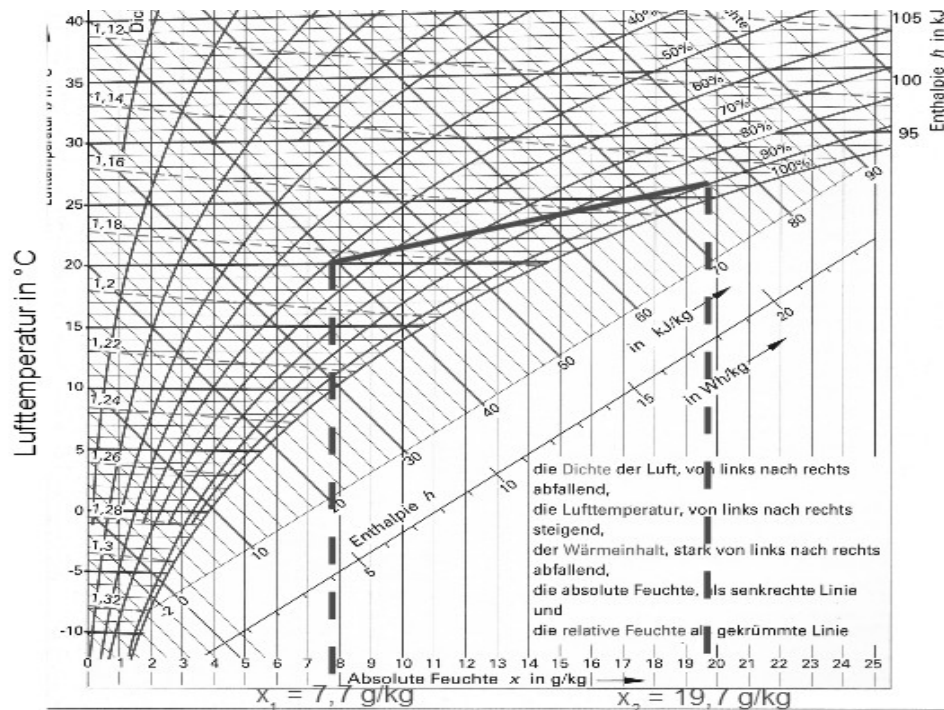
4.3.1 Die relative Luftfeuchte gibt an, wieviel Prozent des maximalen Wasserdampfgehaltes die Luft bei vorhandener Temperatur enthält. 1

4.3.2 An Außenwänden oder Fenstern könnte sich aufgrund der geringeren Temperatur Feuchtigkeit absetzen und zu Bauschäden und/oder Schimmelbildung führen. 2

Spiegel könnten beschlagen.

Unbehaglichkeit aufgrund zu hoher relativer Feuchtigkeit im Raum.

4.3.3 Alle Zustände auf der (schrägen) Mischungsline können eintreten. 2



4.3.4 aus h,x-Diagramm: $\Delta x = 12 \frac{\text{g}}{\text{kg Luft}}$, $V_{\text{Raum}} = 15 \text{ m}^3$, $\rho_{\text{Luft}} = 1,17 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ 2

$$m_{\text{Luft, Raum}} = V_{\text{Raum}} \cdot \rho_{\text{Luft}} = 15 \text{ m}^3 \cdot 1,17 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 17,55 \text{ kg}$$

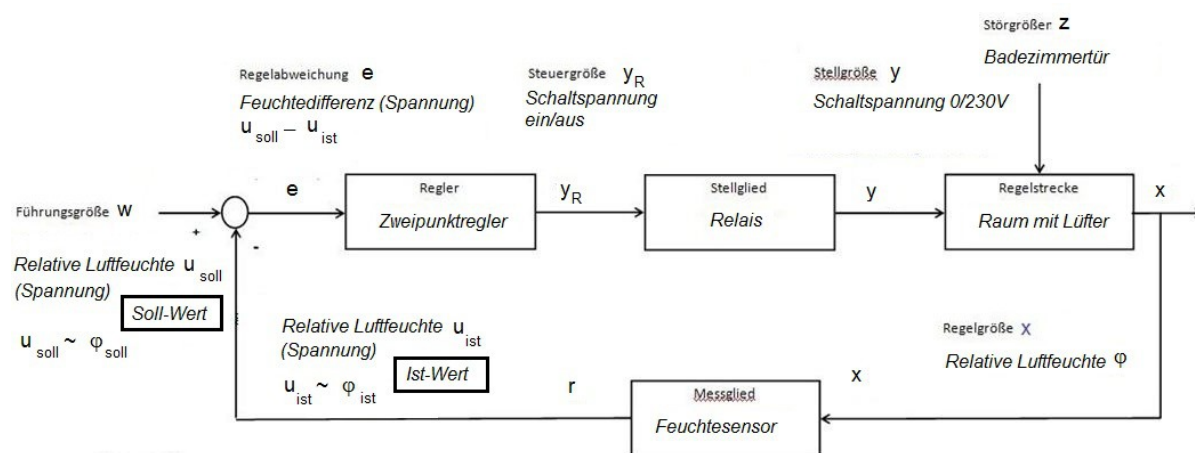
$$m_{\text{Wasser}} = \Delta x \cdot m_{\text{Luft, Raum}} = 12 \frac{\text{g}}{\text{kg Luft}} \cdot 17,55 \text{ kg Luft} = 210,6 \text{ g}$$

4.4 Badezimmerentlüftung mit Abluftventilator

4.4.1 Der Lüfter läuft nur dann, wenn ein Feuchtigkeitsausgleich mit der übrigen Wohnungsluft überhaupt notwendig ist. Das

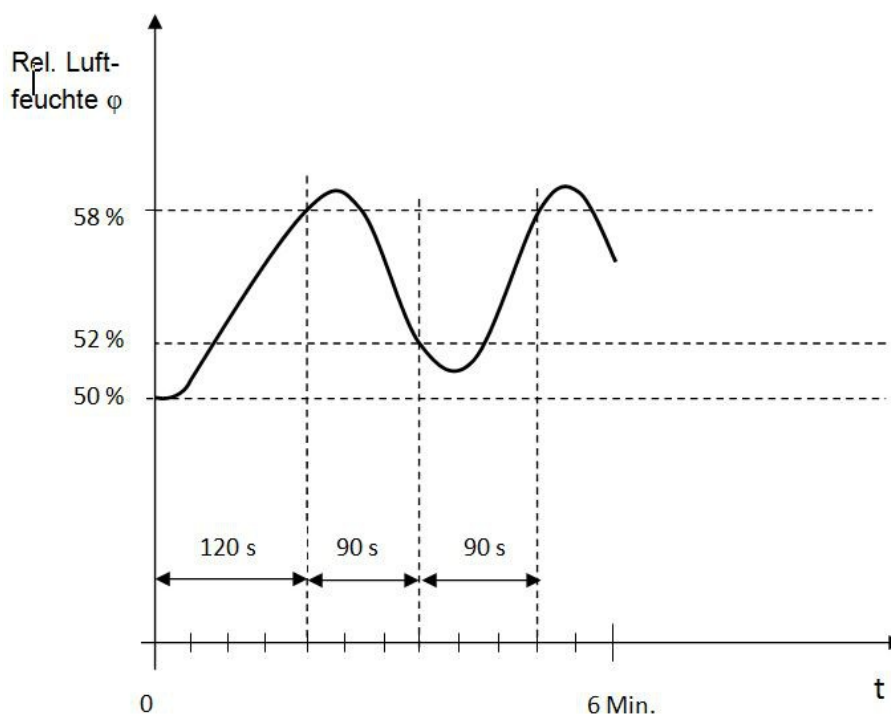
- spart Energie
- minimiert die Lärmbelastung
- erhöht die Lebensdauer des Lüfters

4.4.2



4.4.3 Als Störgröße, allerdings im positiven Sinn, wirkt die Badezimmertüre, die im geöffneten Zustand die Entlüftung des Raumes unterstützt.

4.4.4



TG Umwelttechnik

2014/2015

Übung

Lösungsvorschlag

Stoffgebiete

Teil 1: Pflichtbereich

Aufgabe 1: Elektromobilität
Elektro- und Hybridfahrzeuge
Photovoltaik-Ertragsberechnung

Aufgabe 2: Heizkraftwerk-Fernwärmeversorgung
Brennwerttechnik
Blockheizkraftwerk

Teil 2: Wahlbereich

Aufgabe 3: Steuerungstechnik
Transistorbrücke
Solarthermie

Aufgabe 4: Wohnraumlüftung
Windkraft
Bauphysik

1 Elektromobilität, Elektro- und Hybridfahrzeuge und Photovoltaik**Punkte****1.1 Selbstfahrendes Transportsystem**

$$1.1.1 \quad m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{h}{x} \quad s_1 = \frac{10 \text{ m}}{0,1} = 100 \text{ m} \quad s_2 = \frac{10 \text{ m}}{0,05} = 200 \text{ m}$$

1

$$1.1.2 \quad v = 5 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{5 \cdot 1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 1,389 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

2

$$t_{\text{Weg}} = t_b + 2 \cdot t_{\text{Fahrdauer}} + t_e \quad \text{mit} \quad t_{\text{Fahrdauer}} = \frac{s}{v}$$

$$t_{\text{Fahrdauer}1} = \frac{100 \text{ m}}{1,389 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 72 \text{ s}$$

$$t_{\text{Fahrdauer}2} = \frac{200 \text{ m}}{1,389 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 144 \text{ s}$$

$$t_{\text{Weg}1} = 5 \text{ s} + 2 \cdot 72 \text{ s} + 4 \text{ s} = 153 \text{ s}$$

$$t_{\text{Weg}2} = 5 \text{ s} + 2 \cdot 144 \text{ s} + 4 \text{ s} = 297 \text{ s}$$

$$1.1.3 \quad \text{abgelesen } P_{\text{Antrieb}} \text{ bei } v = 5 \text{ km/h}$$

1

$$P_1 = 175 \text{ W}$$

$$P_2 = 80 \text{ W}$$

$$1.1.4$$

3

$$W_{\text{Weg}} = P_{\text{Steuerung}} \cdot t_{\text{Weg}} + P_{\text{Antrieb}} \cdot t_{\text{Fahrdauer}}$$

$$W_1 = 4,14 \text{ Wh} = 14,9 \text{ kWs} \quad W_2 = 15 \text{ W} \cdot 297 \text{ s} + 80 \text{ W} \cdot 144 \text{ s}$$

$$W_2 = 16,0 \text{ kWs}$$

$$\text{Akku- Energieinhalt } W_{\text{Akku}} = 120 \text{ Wh} = 432 \text{ kWs}$$

$$\text{Anzahl der Fahrten } N = \frac{W_{\text{Akku}}}{W_{\text{Weg}}}$$

$$N_{\text{Weg}1} = 29$$

$$N_{\text{Weg}2} = \frac{432 \text{ kWs}}{16,0 \text{ kWs}} = 27$$

$$1.1.5$$

6

Durch die Bergabfahrt verfügbare Energie

$$W_{\text{bergab}} = P_{\text{Antrieb}} \cdot t_{\text{Fahrdauer}} \cdot \eta$$

$$W_{\text{bergab}1} = 175 \text{ W} \cdot 72 \text{ s} \cdot 0,7 = 8,82 \text{ kWs} \quad W_{\text{bergab}2} = 80 \text{ W} \cdot 144 \text{ s} \cdot 0,7 = 8,06 \text{ kWs}$$

$$Q_1 = \frac{W_{\text{bergab}1}}{U_{\text{Akku}}} = \frac{8,82 \text{ kWs}}{12 \text{ V}} = 735 \text{ As} \quad Q_2 = \frac{W_{\text{bergab}2}}{U_{\text{Akku}}} = \frac{8,06 \text{ kWs}}{12 \text{ V}} = 671,7 \text{ As}$$

$$I_1 = \frac{Q_1}{t} = \frac{735 \text{ As}}{72 \text{ s}} = 10,2 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{Q_2}{t} = \frac{671,7 \text{ As}}{144 \text{ s}} = 4,66 \text{ A}$$

$$I_1 > I_{\text{Lmax}} \rightarrow I_{\text{rekup}1} = 5 \text{ A}$$

$$I_2 < I_{\text{Lmax}} \rightarrow I_{\text{rekup}2} = I_2$$

Einspeisbare Energie durch die Bergabfahrt

$$W_{\text{rekup}} = U \cdot I_{\text{rekup}} \cdot t_{\text{Fahrdauer}}$$

$$W_{\text{rekup}1} = 12 \text{ V} \cdot 5 \text{ A} \cdot 72 \text{ s} \quad W_{\text{rekup}2} = 12 \text{ V} \cdot 4,66 \text{ A} \cdot 144 \text{ s}$$

$$W_{\text{rekup}1} = 4,32 \text{ kWs} \quad W_{\text{rekup}2} = 8,05 \text{ kWs}$$

Benötigte Energie pro Fahrt $W_r = W_{\text{Weg}} - W_{\text{rekup}}$

$$W_{1R} = 14,9 \text{ kWs} - 4,32 \text{ kWs}$$

$$W_{2R} = 16,0 \text{ kWs} - 8,05 \text{ kWs}$$

$$W_{1R} = 10,58 \text{ kWs}$$

$$W_{2R} = 7,95 \text{ kWs}$$

$$\text{Anzahl Fahrten mit Rekuperation } N_R = \frac{W_{\text{Akku}}}{W_R}$$

$$N_{1R} = \frac{432 \text{ kWs}}{10,58 \text{ kWs}} = 40,8$$

Es sind 40 Fahrten möglich

$$N_{2R} = \frac{432 \text{ kWs}}{7,95 \text{ kWs}} = 54,3$$

Es sind 54 Fahrten möglich

1.1.6

2

$$W_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h = 50 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 10 \text{ m} = 4905 \text{ Nm} = 4,905 \text{ kWs}$$

$$\eta_1 = \frac{4,90 \text{ kWs}}{10,58 \text{ kWs}} = 46,6 \%$$

$$\eta_2 = \frac{4,90 \text{ kWs}}{7,95 \text{ kWs}} = 61,6 \%$$

1.1.7

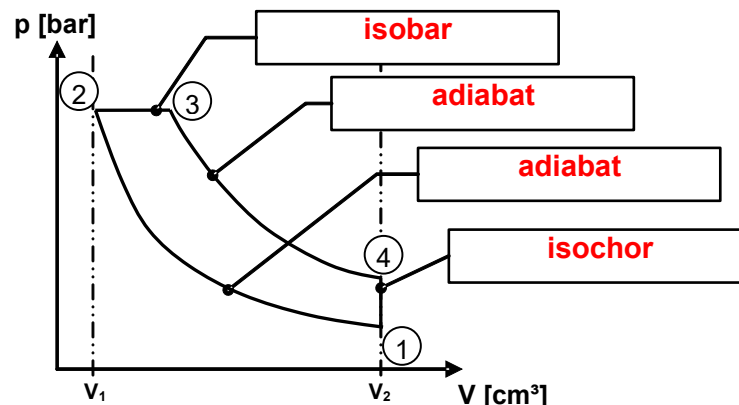
2

- + Schnellere Taktzeiten möglich
- nur ein Teil der bei der Talfahrt erzeugten Energie wird rückgespeist
- + Energieeffizienter
- + größere Rückspeisung möglich wegen langsamerer Fahrt
- langsamer

1.2 Dieselmotor in einem Hybridfahrzeug

1.2.1

2



1.2.2

4

	T [°C]	P [bar]	V [m³]
1	100	1	$0,4 \cdot 10^{-3}$
2	917,05 (1190,05 K)	58	$2,2 \cdot 10^{-5}$
3	1911,5	58 (58 * 10⁵ N/m²)	$4,04 \cdot 10^{-5}$
4	600	2,34	$0,4 \cdot 10^{-3}$

$$V_1 = \frac{1,6 \text{ l}}{4 \text{ Zylinder}} = 0,4 \text{ l} = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\text{mit } \epsilon = \frac{V_1}{V_2} \rightarrow V_2 = \frac{V_1}{\epsilon} = \frac{0,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{18} = 2,22 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

Adiabat von 1 nach 2

$$\frac{T_1}{T_2} = \left[\frac{V_2}{V_1} \right]^{\kappa-1}$$

$$T_2 = \frac{T_1}{\left[\frac{V_2}{V_1} \right]^{\kappa-1}} = \frac{373 \text{ K}}{\left[\frac{2,22 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3}{0,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3} \right]^{1,4-1}} = 1185,7 \text{ K}$$

Isoabar von 2 nach 3

$$P_2 = P_3 = 58 \text{ bar}$$

$$\frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3}$$

$$V_3 = \frac{V_2}{T_2} \cdot T_3 = \frac{2,2 \cdot 10^{-4}}{1190,05 \text{ K}} \cdot 2184,5 \text{ K} = 4,04 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

Isochor von 4 nach 1

$$V_4 = V_1 = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

1.3 Ertragsberechnung an PV-Anlagen

1.3.1 Jahreserträge beider Häuser in kWh.

3

abgelesen aus Formelsammlung S.27 Tabelle Mittlere tägliche Globalstrahlung
Karlsruhe Jahr $H_h = 3,28 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ d})$ und $K_{\alpha,\beta} = 1,17$ bei $\beta = 37^\circ$

$$\text{Haus A: } W_{\text{Tag}} = P_{\text{Nenn}} \cdot \frac{H_h}{1 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}} \cdot K_{\alpha,\beta} = 4 \text{ kW}_p \cdot \frac{3,28 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}}{1 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}} \cdot 1,17 = 15,35 \frac{\text{kWh}}{\text{d}}$$

$$\text{Haus A: } W_{\text{Jahr}} = 15,35 \frac{\text{kWh}}{\text{d}} \cdot 365 \text{ d} = 5603 \text{ kWh} \text{ bei } 37^\circ \text{ Südausrichtung}$$

$$\text{Haus B: } W_{\text{Jahr}} = 5603 \text{ kWh} \cdot \frac{0,92}{1,17} = 4406 \text{ kWh} \quad K_{\alpha,\beta} = 0,92 \text{ bei } 37^\circ \text{ Westausrichtung}$$

1.3.2 Fläche in m^2 bei Haus B zusätzlich mit Solarzellen belegt?

3

$$\frac{5603 \text{ kWh}}{4406 \text{ kWh}} = 1,27 \quad 1,27\text{-fache Fläche notwendig bei Haus B}$$

$$W_{\text{Jahr-ideal}} = A_{\text{PV}} \cdot H_{h\text{-Jahr}} \cdot K_{\alpha,\beta} \cdot \eta_{\text{PV}}$$

$$\rightarrow A_{\text{PV}} = \frac{W_{\text{Jahr-ideal}}}{H_{h\text{-Jahr}} \cdot K_{\alpha,\beta} \cdot \eta_{\text{PV}}} = \frac{5603 \text{ kWh}}{3,28 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{d}} \cdot 365 \text{ d} \cdot 0,92 \cdot 0,9} = 4,44 \text{ m}^2$$

$$\text{Haus B: } 4,44 \text{ m}^2 \cdot 1,27 = 5,64 \text{ m}^2$$

$$\text{zusätzliche Fläche: } 5,64 \text{ m}^2 - 4,44 \text{ m}^2 = 1,2 \text{ m}^2$$

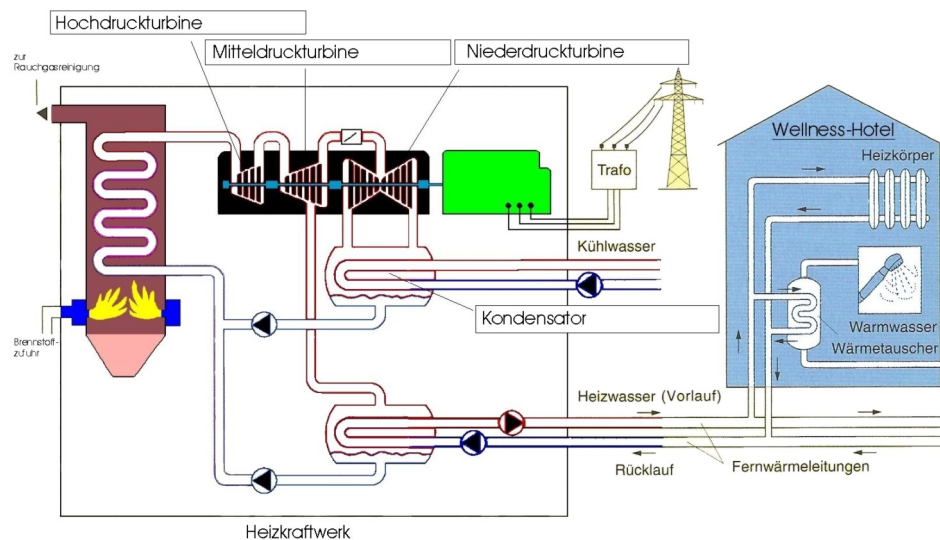
30

2 Beheizung eines Wellness-Hotels

Punkte

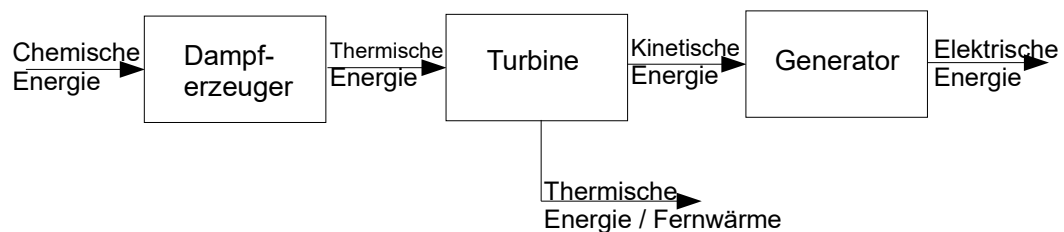
2.1 Fernwärmeversorgung

2.1.1



2

2.1.2



2

$$2.1.3 \quad \eta_{\text{Ges}} = \eta_{\text{DE}} \cdot \eta_{\text{T}} \cdot \eta_{\text{G}} = 0,84 \cdot 0,45 \cdot 0,98 = 0,37 = 37 \%$$

$$\eta_{\text{Ges}} = \frac{P_{\text{ab}}}{P_{\text{zu}}}$$

$$P_{\text{zu}} = \frac{P_{\text{ab}}}{\eta_{\text{Ges}}} = \frac{230 \text{ MW}}{0,37} = 621,6 \text{ MW}$$

$$P_{\text{zu}} = \frac{W_{\text{zu}}}{t} = \frac{Q_{\text{zu}}}{t}$$

$$Q_{\text{zu}} = P_{\text{zu}} \cdot t = 621,6 \text{ MW} \cdot 3600 \text{ s} = 2,24 \cdot 10^{12} \text{ J} = 76353,2 \text{ kg SKE} = 76,35 \text{ t SKE}$$

3

2.2 Erdgas-Brennwertgerät

2.2.1 unterschiedliche Bezugsgröße: Heizwert entspricht der bei der Verbrennung freierwerdenden Energie (bei der Verbrennung gebildetes Wasser bleibt dampförmig). Brennwert berücksichtigt zusätzlich die Kondensationsenergie.

Der Normnutzungsgrad bezogen auf den Brennwert ist daher ca. 10 % kleiner als bezogen auf den Heizwert.

1

2.2.2 niedrigere Heizkreistemperatur $\Rightarrow$ nahezu bei jeder Außentemperatur sind Vor- und Rücklauftemperatur niedriger als der Taupunkt des Abgas, die Kondensationswärmenutzung ist nahezu komplett. Bei höheren Heizkreistemperaturen kann nur ein Teil der Kondensationswärme genutzt werden.

2.2.3 Betrachtung der angegebenen Kondensatmenge:

$$\dot{Q}_{\text{eingespart}} = \dot{Q}_v = \dot{m} \cdot r = 6,4 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 0,6272 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}} = 4,01 \text{ kW}$$

Einsparung: $\dot{V}_{G, \text{eingespart}} = \frac{\dot{Q}_{\text{eingespart}}}{H_i} = \frac{4,01 \text{ kW}}{10 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}} = 0,401 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$

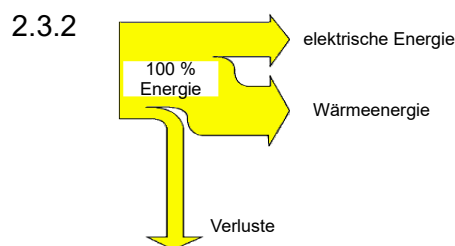
2.2.4 $\lambda = 1,0$: $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 + 8 \text{N}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 8 \text{N}_2$

Luftüberschuss 20 % $\Rightarrow \lambda = 1,2$: $\text{CH}_4 + 2,4 \text{O}_2 + 9,6 \text{N}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 0,4 \text{O}_2 + 9,6 \text{N}_2$

$$\frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p_{\text{amb}}} = \varphi_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{2}{1 + 2 + 0,4 + 9,6} = 0,15, \text{ aus Tabelle FS: } \vartheta_T = 54 \text{ }^\circ\text{C}$$

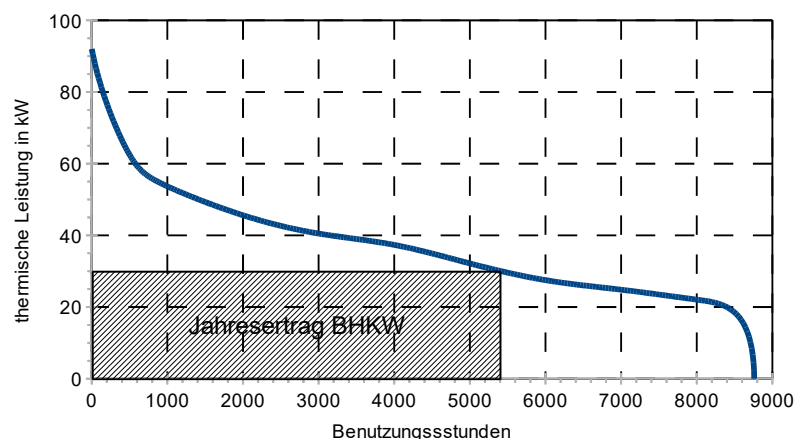
2.3 Blockheizkraftwerk

2.3.1 hoher Bedarf an Heizwärme über das ganze Jahr, hoher Bedarf an elektrischer Energie. Es sind lange Betriebszeiten und eine hohe Eigennutzung der elektrischen Leistung zu erwarten. Daher ist der Gesamtwirkungsgrad sehr hoch, die Anlage kann sehr wirtschaftlich betrieben werden.



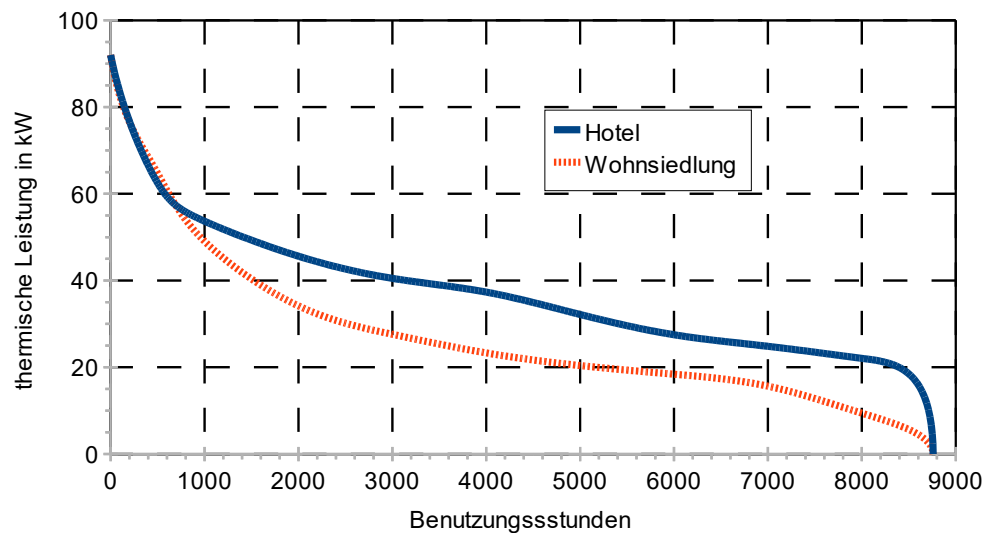
2.3.3 $\eta_{\text{el}} = \eta_{\text{mech}} \cdot \eta_{\text{Gen}} = 0,35 \cdot 0,95 = 0,33$, $\eta_{\text{therm}} = \eta_{\text{ges}} - \eta_{\text{el}} = 0,92 - 0,33 = 0,59$

2.3.4 $Q = \dot{Q} \cdot t = 30 \text{ kW} \cdot 5400 \text{ h} = 162\,000 \text{ kWh}$



Die Eintragung des Wärme ertrages im Diagramm ist nicht erforderlich.

2.3.5 Verlauf Wohnsiedlung deutlich steiler: Wärmebedarf in der Übergangszeit und v. a. im Sommer viel geringer.



Anwendung des BHKW im Hotel: sehr lange Laufzeiten, effizienter Betrieb des BHKW möglich. Zusätzlich auch hoher Strombedarf im Hotel, hohe Eigennutzung zu erwarten.

Mögliche Laufzeiten des BHKW in der Wohnsiedlung sehr viel kürzer (ca. 2200 Vollbenutzungsstunden bei der eingezeichneten Linie) $\Rightarrow$ effizienter Betrieb des BHKW bei den beschriebenen Randbedingungen nicht möglich.

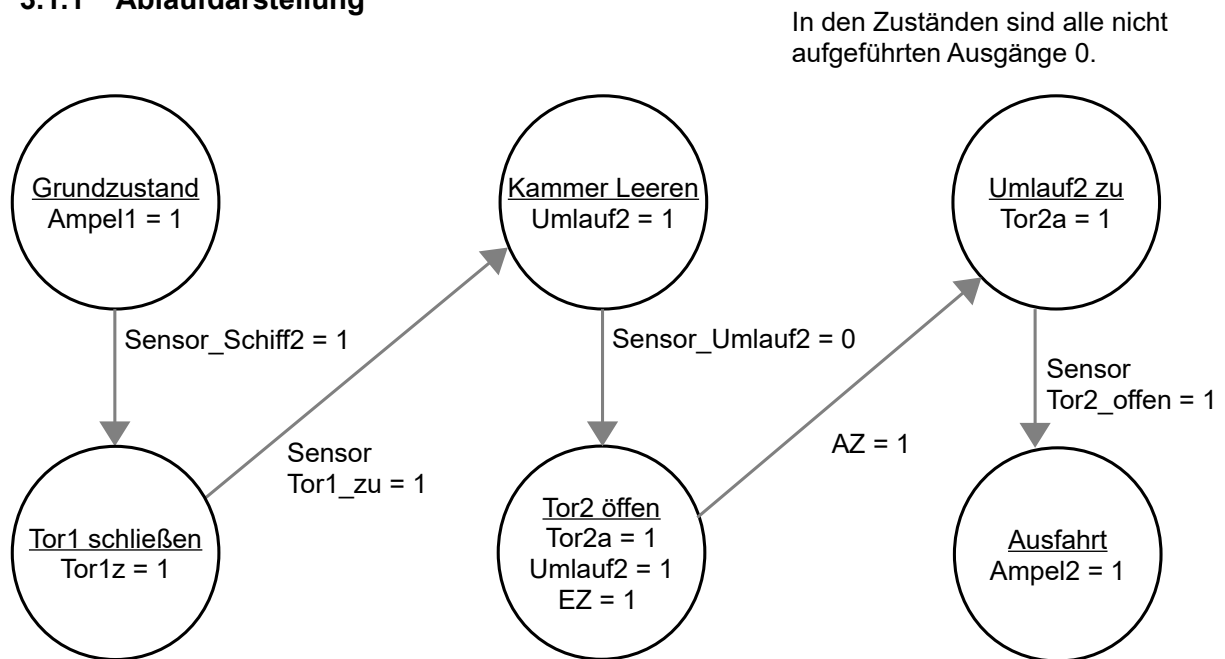
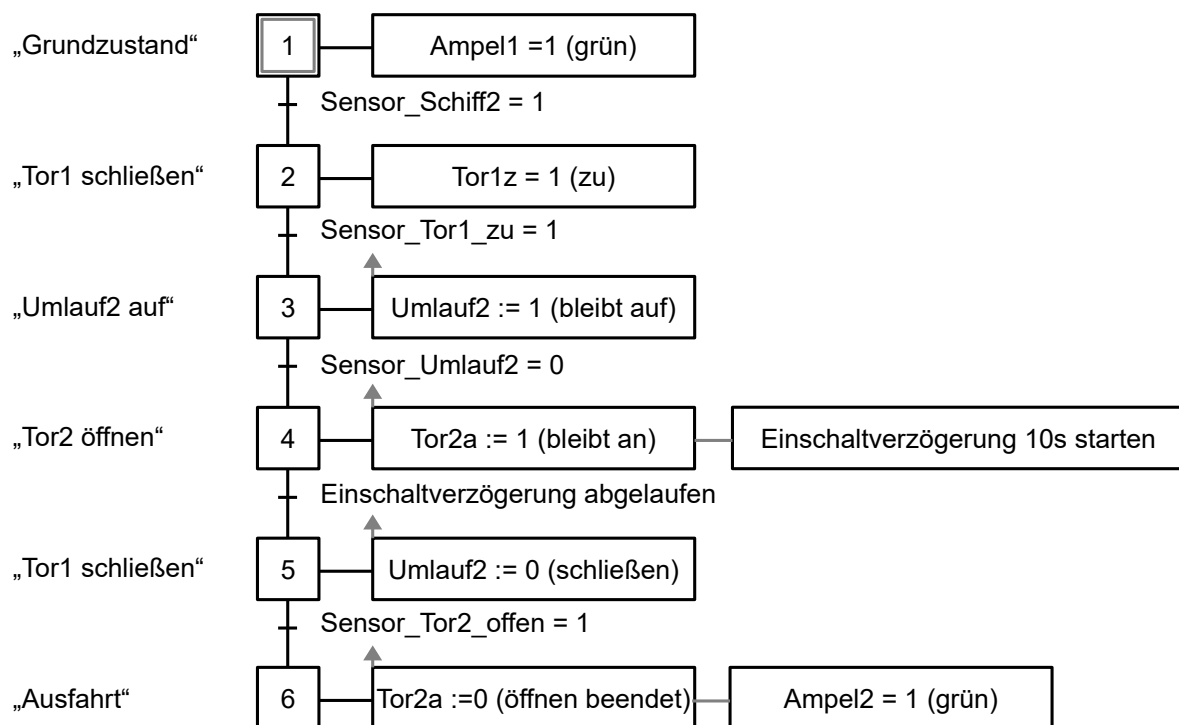
4

30

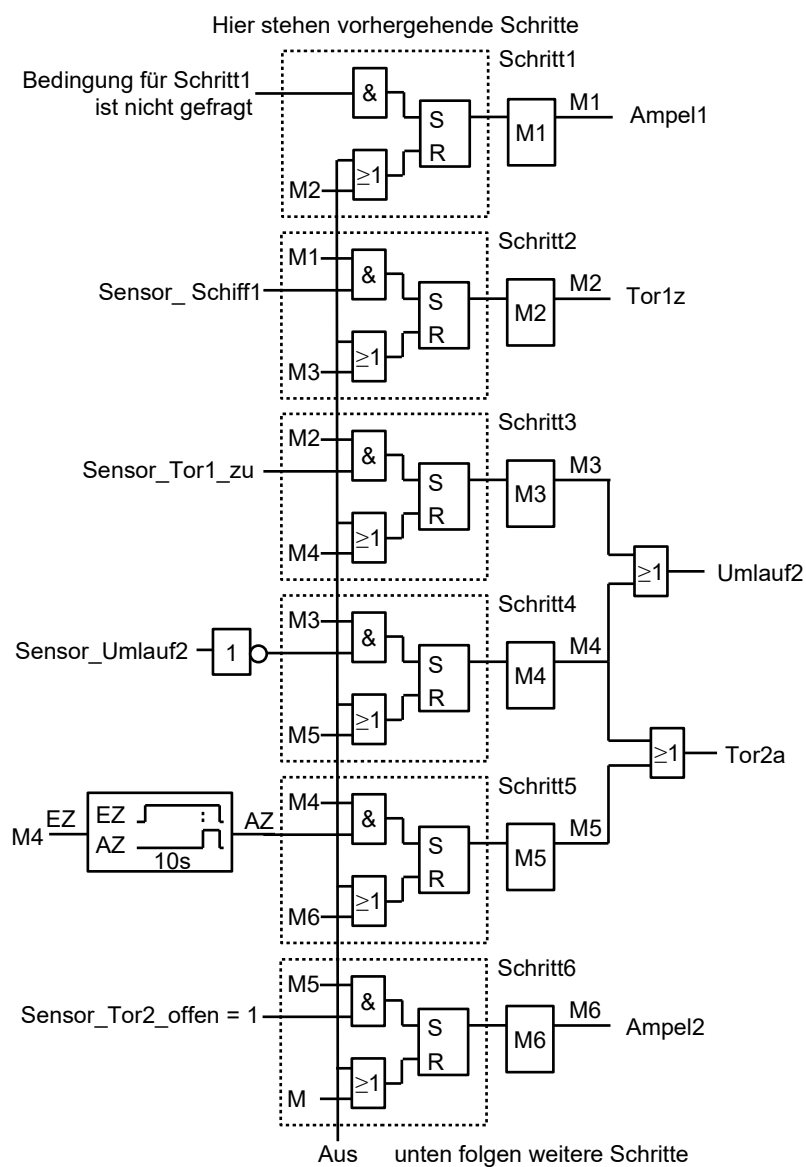
3 Wahlaufgabe**3.1 Ablaufsteuerung einer Schleuse****3.1.1 Ablaufdarstellung**

Punkte

6

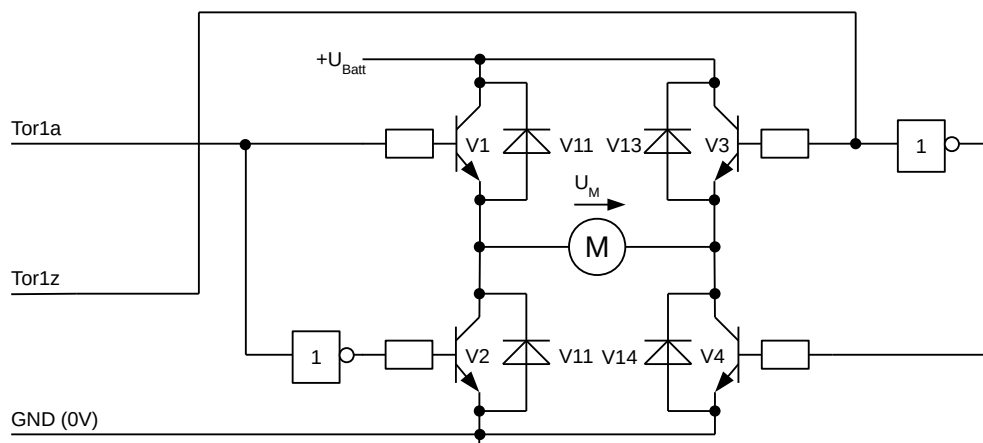
**Alternative Darstellung in GRAFCET**

3.1.2 Schrittkette



5

3.1.3 Motoransteuerung für die Tore



3

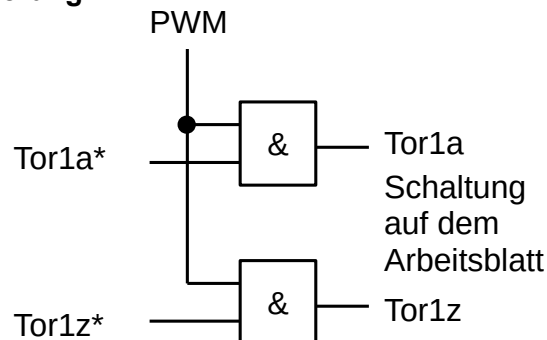
3.1.4 Freilaufdioden

Beim Ein- und Ausschalten des Motor entstehen Spannungsspitzen, die umgekehrt

2

gepolt sind, wie die Durchlassrichtung der Transistoren. Daher leiten die Dioden wenn diese Spannungsspitzen entstehen und schließen sie kurz.

3.1.5 PWM-Ansteuerung



Das PWM-Signal ist zu Beginn nur sehr kurz eingeschaltet (kleiner Tastgrad). Die Einschaltzeit (bzw. der Tastgrad) wird langsam bis zum Maximum erhöht.

3.2 Solarthermie-Anlage mit Heizungsunterstützung

3.2.1



3.2.2 Es wird ein Vakuum-Röhrenkollektor gewählt, da dieser bei kalten Außentemperaturen einen höheren Wirkungsgrad besitzt als ein Flachkollektor. Mit größer werdender Differenz zwischen Kollektortemperatur und Außentemperatur nimmt der Wirkungsgradvorteil zu.

3.2.3 Der Kollektor sollte Richtung Süden ausgerichtet werden. Für eine sinnvolle Heizungsunterstützung ist es notwendig, den Kollektor möglichst steil aufzuständern, z.B. 60-70°. Somit wird im Winterhalbjahr, wenn die Sonne flach steht, der maximale Ertrag erreicht. Im Sommerhalbjahr, wenn die Sonne hoch und die Solarenergie im Überfluss zur Verfügung steht, hat man trotz der steilen Aufständigung genug Ertrag.

3.2.4 Im Sommerbetrieb hat man mit der größtmöglichen Kollektorfläche das Problem, dass man mehr Wärme erzeugt als man benötigt. Wird der Kollektor zu heiß, geht die Solarflüssigkeit in Dampf. Der entstehende Überdruck wird von einem Membranausdehnungsgefäß aufgenommen, damit das Leitungssystem nicht platzt.

4 Neubau eines Eigenheims

Punkte

4.1 Bauphysikalische Überlegungen

$$4.1.1 \quad U = \frac{1}{R_T} \Rightarrow R_T = \frac{1}{U} = R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_4}{\lambda_4} + R_{se}$$

$$R_T = 0,13 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} + \frac{0,02 \text{ m}}{0,51 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{0,24 \text{ m}}{2 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{0,12 \text{ m}}{0,03 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{0,02 \text{ m}}{1 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + 0,043 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} = 4,35 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{4,35 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}} = 0,23 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$4.1.2 \quad U = 0,2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}, \quad R_T = \frac{1}{U} = 5 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}, \quad R = R_T - R_{s,i} - R_{s,e} = 4,827 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

$$R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3}, \quad d_2 = \left(R - \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_4}{\lambda_4} \right) \cdot \lambda_2,$$

$$d_2 = \left(4,827 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} - \frac{0,02 \text{ m}}{0,51 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} - \frac{0,02 \text{ m}}{1 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} \right) \cdot 0,13 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} = 0,62 \text{ m}$$

- 4.1.3 Das A/V-Verhältnis beschreibt die Oberfläche der thermischen Gebäudehülle dividiert durch beheiztes Volumen. Je kleiner dieses Verhältnis ist, desto kompakter (energiesparender) ist das Haus. Je größer die raumumschließende Außenfläche, desto höher sind die Transmission-Wärmeverluste.

Gebäudevorschlag: „Würfelförmig“ bzw. möglichst kompakte Bauweise

- 4.1.4 Aus Diagramm ausgelesen: Februar mit Ausrichtung Norden ca. $15 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{Monat}}$
Ausrichtung Süden ca. $60 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{Monat}}$

Berechnung monatlicher Ertrag: Norden: $15 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{Monat}} \cdot 8 \text{ m}^2 = 120 \frac{\text{kWh}}{\text{Monat}}$
Süden: $60 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{Monat}} \cdot 8 \text{ m}^2 = 480 \frac{\text{kWh}}{\text{Monat}}$

- 4.1.5 Aus Tabelle Formelsammlung:

	Rohdichte in $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$	Wärmeleitfähigkeit $\left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$
Holzfaserdämmplatten	1120 - 280	0,032 – 0,060
Hanf	20 - 25	0,040

Aufgrund der ähnlichen Wärmeleitfähigkeit von Hanf und Holzfaserdämmplatten ist das winterliche Wärmedämmverhalten von beiden Werkstoffe ungefähr gleich.

Die Rohdichte der Holzfaserdämmplatten ist deutlich höher als die des Hanfes. Dadurch ergibt sich eine größere flächenbezogene Masse und damit eine höhere Wärmespeicherfähigkeit. Die Holzfaserdämmplatten eignen sich daher besser für den sommerliche Wärmeschutz.

4.2 Zentrale Kontrollierte Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung

4.2.1 falsch:

Bad: Die zugeführte Luft verteilt die oft feuchte Luft des Badezimmers im ganzen Gebäude. Richtig: Die feuchte Luft des Badezimmers an die Umgebung abführen.

Schlafen: Die verbrauchte Luft aus dem Gebäude wird über das Schlafzimmer abgeführt. Richtig: Außenluft über das Schlafzimmer einbringen.

Gut:

Wohnen: Außenluft wird in das Wohnzimmer eingebracht und sorgt so für gute Luftqualität.

Küche: Die mit Gerüchen belastete und oft feuchte Luft wird an die Umgebung abgegeben.

2

4.2.2 Durch Ventilatoren wird Außenluft in das Gebäude geführt, die in einem Platten-Wärmetauscher aufgewärmt wird. Sie wird dann als Zuluft in die Wohn- und Schlaf-räume zugeführt.

Die Abluft aus Bad und Küche gibt im Platten-Wärmetauscher ihre Wärme ab und wird durch einen Ventilator als Fortluft abgeführt.

2

4.2.3 gegeben: $A = 152 \text{ m}^2$, $h = 2,5 \text{ m}$

$$V_R = A \cdot h = 152 \text{ m}^2 \cdot 2,5 \text{ m} = 380 \text{ m}^3, \quad \dot{V}_{AU} = \beta \cdot V_R = 0,5 \frac{1}{h} \cdot 380 \text{ m}^3 = 190 \frac{\text{m}^3}{h}$$

$$\text{erforderliche Außenlufrate: } 4 \text{ Personen} \cdot 30 \frac{\text{m}^3}{h \cdot \text{Person}} = 120 \frac{\text{m}^3}{h} \Rightarrow \text{ausreichend}$$

$$4.2.4 \quad \dot{Q} = \frac{\dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T}{\eta} = \frac{190 \frac{\text{m}^3}{h} \cdot 1,33 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1,005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 30 \text{ K}}{0,8} = 9524 \text{ kJ}$$

2

4.2.5 aus h,x-Diagramm: $x_1 = 0,9 \frac{\text{g}}{\text{kg}}$, $x_2 = 9,1 \frac{\text{g}}{\text{kg}}$.

Pro kg Luft sind $\Delta x = 8,2 \text{ g}$ Wasser zuzuführen.

4.3 Schalenkreuzanemometer

4.3.1 Es handelt sich um einen Widerstandsläufer, da der Wind eine Widerstandskraft auf die beiden Halbkugeln ausübt. Dabei unterscheidet sich die Widerstandskraft der oberen Halbkugel von derjenigen der unteren Halbkugel aufgrund unterschiedlicher Widerstandsbeiwerte.

2

4.3.2 Der Widerstandsbeiwert der oberen Halbkugel beträgt $c_{WO} = 1,3$, der der unteren Halbkugel $c_{WU} = 0,34$ (siehe Formelsammlung: Widerstandsläufer und Widerstandsbeiwert). Dadurch ist die Widerstandskraft $F_{WO} < F_{WU}$, das Anemometer dreht sich also in Richtung B (im Uhrzeigersinn).

2

$$4.3.3 \quad A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot (0,05\text{m})^2}{4} = 1,963 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$F_{WO} = c_{WO} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot (v - v_{\text{Körper}})^2 \rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot F_{WO}}{c_{WO} \cdot \rho \cdot A}} + v_{\text{Körper}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 25,2 \text{ mN}}{1,3 \cdot 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1,963 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2}} + 1,94 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

2

4.3.4 Bei dieser Form eines Widerstandsläufers kann die Umfangsgeschwindigkeit nie größer als die Windgeschwindigkeit sein, deshalb muss das Verhältnis $v_{\text{Körper}} / v$ (Schnellaufzahl) kleiner 1 sein

$$\lambda = \frac{v_{\text{Körper}}}{v} = \frac{1,94 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{6 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = \frac{1,94}{6} = 0,3233$$

2

4.3.5 Da der Widerstandsbeiwert c_w einer gefüllten Halbkugel kleiner ist als der Widerstandsbeiwert einer hohlen Halbkugel, verringert sich die Kraft F_w auf die Halbkugel. Eine geringere Kraft führt zu einer geringeren Umfangsgeschwindigkeit.

2

30

TG Umwelttechnik**Abitur 2015/2016****Hauptprüfung****Lösungsvorschlag**

Arbeitszeit: 270 Minuten
Hilfsmittel: Formelsammlung Umwelttechnik
Zugelassener Taschenrechner

Stoffgebiet Teil 1: Pflichtbereich
Aufgabe 1: Windkraft
Photovoltaik

Aufgabe 2: Wärmeerzeugung
Wärmekraftwerke

Teil 2: Wahlbereich
Aufgabe 3: Hybridfahrzeug
Dieselmotor
Klimaanlage und Abgasreinigung

Aufgabe 4: Bauphysik
Steuerungstechnik

1 Windkraft, Photovoltaik

Punkte

1.1 Repowering einer Windkraftanlage

$$1.1.1 \quad \eta_G = \frac{P_{N1}}{P_{mech1}} \quad c_P = \frac{P_{mech1}}{P_{W1}}$$

$$P_{W1} = \frac{P_{mech1}}{c_P} = \frac{P_{N1}}{\eta_G \cdot c_P} = \frac{1,5 \text{ MW}}{0,96 \cdot 0,5} = 3,125 \text{ MW}$$

2

$$1.1.2 \quad A_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} = \frac{\pi \cdot (70 \text{ m})^2}{4} = 3848,45 \text{ m}^2$$

1,5

$$P_{W1} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_1 \cdot v^3 \quad \rightarrow \quad v = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot P_{W1}}{\rho \cdot A_1}} = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 3,125 \text{ MW}}{1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 3848,45 \text{ m}^2}} = 11,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$1.1.3 \quad v = 12,7 \text{ m/s bei Nabenhöhe } h_2 = 135 \text{ m aus dem Diagramm abgelesen}$$

2,5

$$A_2 = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} = \frac{\pi \cdot (127 \text{ m})^2}{4} = 12668 \text{ m}^2$$

$$P_{W2} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_2 \cdot v^3 = \frac{1}{2} \cdot 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 12668 \text{ m}^2 \cdot \left(12,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 = 15,57 \text{ MW}$$

$$P_{N2} = P_{W2} \cdot \eta_G \cdot c_P = 15,57 \text{ MW} \cdot 0,96 \cdot 0,5 = 7,5 \text{ MW}$$

$$1.1.4 \quad \text{Die Veränderung der Nabenhöhe bewirkt eine Vergrößerung der Windgeschwindigkeit von } v_1 = 11,1 \text{ m/s auf } v_2 = 12,7 \text{ m/s}$$

2,5

Die Windgeschwindigkeit geht in der 3. Potenz in die Formel für die Windleistung ein.

$$\frac{v_2^3}{v_1^3} = \frac{\left(12,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3}{\left(11,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3} = 1,5$$

Damit ist der Einfluss der größeren Nabenhöhe und die damit verbundene Vergrößerung der Windgeschwindigkeit nicht so groß wie die Verlängerung der Rotorblätter mit der damit verbundenen Vergrößerung der Fläche.

Alternativ kann die Auswirkung der Rotorblattvergrößerung untersucht werden:

Die vom Wind durchströmte Fläche ist proportional zur Windleistung, der Durchmesser der Rotorblätter geht quadratisch in die Fläche ein.

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{\pi \cdot \frac{d_2^2}{4}}{\pi \cdot \frac{d_1^2}{4}} = \frac{d_2^2}{d_1^2} = \frac{(127 \text{ m})^2}{(70 \text{ m})^2} = 3,3 \quad \text{Probe: } 1,5 \cdot 3,3 = 5$$

Damit ist der Einfluss der längeren Rotorblätter und die damit verbundene Vergrößerung der Windgeschwindigkeit größer als die Leistungssteigerung durch den mit der größeren Nabenhöhe einhergehende Windgeschwindigkeitszuwachs.

$$1.1.5 \quad \lambda = \frac{u}{v} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{v} \rightarrow n = \frac{\lambda \cdot v}{\pi \cdot d} \quad n_1 = \frac{7 \cdot 11,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{70 \text{ m} \cdot \pi} = 0,3533 \frac{1}{\text{s}} = 21,2 \frac{1}{\text{min}} \quad 2$$

$$n_2 = \frac{7 \cdot 12,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{127 \text{ m} \cdot \pi} = 0,2228 \frac{1}{\text{s}} = 13,4 \frac{1}{\text{min}}$$

Bei gleicher Schnelllaufzahl hat das größere Windrad eine kleinere Drehzahl. (Dies wirkt optisch ruhiger.)

$$1.1.6 \quad W_2 = P_{N2} \cdot t = 7,5 \text{ MW} \cdot 2000 \text{ h} = 15 \text{ GWh} = 15 \cdot 10^6 \text{ kWh} \quad 2$$

$$\text{Vergütung} = 15 \cdot 10^6 \text{ kWh} \cdot 0,088 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 1\,320.000 \text{ €}$$

$$\text{Anzahl der Haushalte} = \frac{W_2}{W_{\text{Haushalt}}} = \frac{15 \cdot 10^6 \text{ kWh}}{4600 \text{ kWh}} = 3260$$

1.1.7 Mit einem Windrad alleine könnte sich kein Dorf autark versorgen, auch wenn die rechnerisch ermittelte Anzahl der versorgten Haushalte dies vermuten lässt. Eine Windkraftanlage liefert aufgrund unterschiedlicher Windgeschwindigkeiten keinen konstanten Energiebetrag. Es müsste zusätzlich ein großer Speicher für die elektrische Energie vorgehalten werden, in dem überschüssige Energie gespeichert werden kann, wenn das Energieangebot den Energiebedarf übersteigt. Damit könnten die Haushalte auch bei Windflaute weiterhin mit Energie versorgt werden. 2,5

1.2 Photovoltaik-Anlage

$$1.2.1 \quad W_{\text{Jahr-ideal}} = A_{\text{PV}} \cdot H_{\text{h-Jahr}} \cdot K_{\alpha,\beta} \cdot \eta_{\text{PV}} \quad 4$$

$$A_{\text{PV}} = \frac{W_{\text{Jahr-ideal}}}{H_{\text{h-Jahr}} \cdot K_{\alpha,\beta} \cdot \eta_{\text{PV}}} = \frac{15 \cdot 10^6 \text{ kWh}}{3,28 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{d}} \cdot 365 \text{ d} \cdot 1,17 \cdot 0,18} = 59.493 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{ges}} = 1,7 \cdot A_{\text{PV}} = 101.138 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{Fußball}} = 105 \cdot 68 \text{ m}^2 = 7.140 \text{ m}^2$$

$$\frac{A_{\text{ges}}}{A_{\text{Fußb}}} = 14,2 \quad \text{Die Fläche entspricht der Größe von 14,2 Fußballfeldern.}$$

$$1.2.2 \quad W_{\text{Tag}} = P_{\text{Nenn}} \cdot \frac{H_{\text{h}}}{1 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}} \cdot K_{\alpha,\beta} = \frac{W_{\text{Jahr}}}{365} = A_{\text{PV}} \cdot \frac{H_{\text{h-Jahr}}}{365} \cdot K_{\alpha,\beta} \cdot \eta_{\text{PV}} \quad | :k \quad | :H_{\text{h}} \quad 2$$

$$\frac{P_{\text{Nenn}}}{1 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}} = A_{\text{PV}} \cdot \eta_{\text{PV}} = 59.493 \text{ m}^2 \cdot 0,18$$

$$P_{\text{Nenn}} = 10.710 \text{ kW} = 10,7 \text{ MW}$$

$$1.2.3 \quad \eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} = \frac{P_{Nenn}}{P_{Sonne}}$$

2,5

$$P_{Nenn} = P_{Sonne} \cdot \eta = 1000 \frac{W}{m^2} \cdot 0,18 = 180 \frac{W}{m^2}$$

$$P_{Nenn} = 180 \frac{W}{m^2} \cdot 1,5 m^2 = 270 W$$

$$Anzahl = \frac{10,8 MW}{270 W} = 40.000 \quad (\text{bzw. } 39630 \text{ bei } P_{Nenn} = 10,7 MW)$$

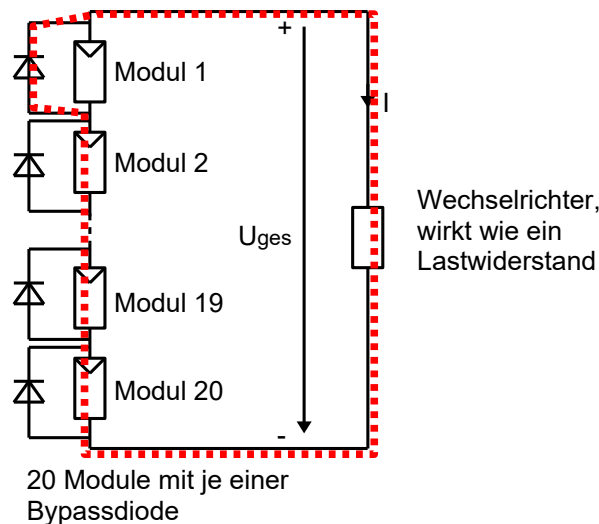
Alternativ:

$$N = \frac{A_{PV}}{A_{Modul}} = \frac{59.500 m^2}{1,5 m \cdot 1 m} = 39.700$$

$$P_{Modul} = \frac{P_N}{N} = \frac{10,8 MW}{39700} = 272 W$$

1.2.4

1



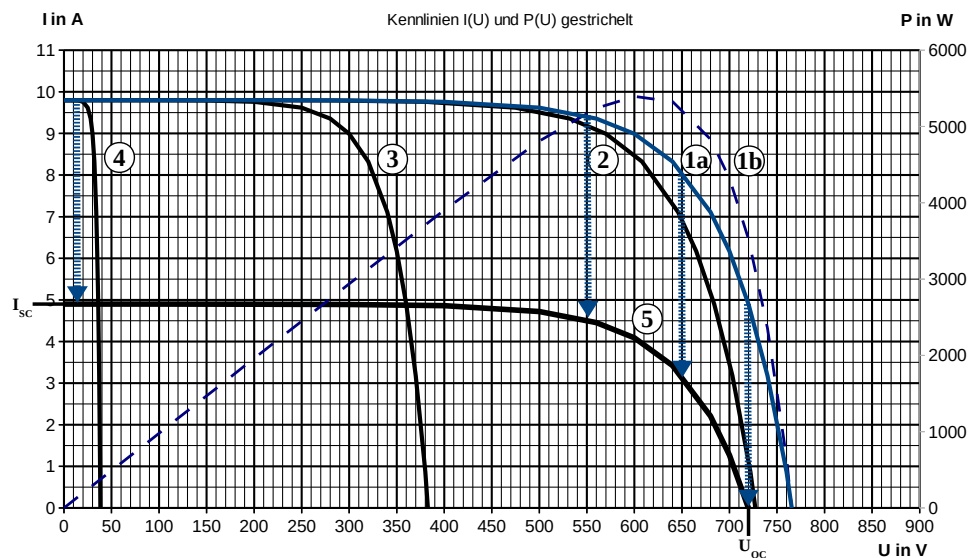
1.2.5 Ein Modul wird durch eine Bypassdiode überbrückt. Dadurch sinkt die Gesamtspannung eines Strings um eine Modulspannung. Es addieren sind also nur noch die Spannungen von 19 Modulen. Daher ergibt sich Kennlinie 2 für den gesamten String. (Kennlinie 1 ist die eines Moduls.)

2

1.2.6 $U_{MPP-Anlage}$ abgelesen beim Maximum von $P(U)$: $U_{MPP} = 600 V$
 $\rightarrow 1 \text{ Modul: } U_{MPP-Modul} = 600 V / 20 = 30 V$
 $I_{MPP} = 9 A$ (mit $I(U)$ -Kennlinie bei 600 V abgelesen)

1

1.2.7



Halbe Bestrahlungsstärke (500 W/m^2 statt 1000 W/m^2) → halber Kurzschlussstrom
Die Kurve bei STC wird so nach unten verschoben, dass sich der halbe Kurzschlussstrom ergibt.

Abgelesene Werte: $I_{sc} = 4,9 \text{ A}$ und $U_{oc} = 720 \text{ V}$

2 Wärme erzeugen, Wärmekraftwerke

2.1 Sanierung eines Altbaus

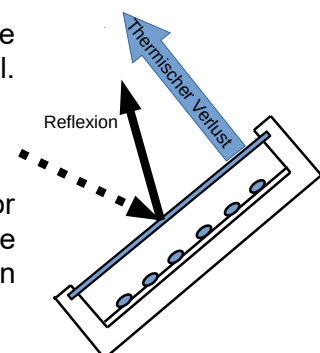
2.1.1 z. B. FS S. 27: ablesen in der Grafik für Berlin: mittlere jährliche globale Einstrahlung: $850 \text{ kWh(m}^2\text{a)}$.

Alternativ: Ermittlung aus Monatswerten für Würzburg (FS S. 7) $1150 \text{ kWh(m}^2\text{a)}$

2.1.2 Optische Verluste durch Reflexion (25%), thermische Verluste (25%) durch Abstrahlung (Front + Seite), evtl. Konvektion durch Wind,

Zahlenwerte aus Tabelle/Diagramm FS. S. 7:

Bei einer Temperaturdifferenz von 0 K zwischen Kollektor und Umgebung (y-Achse) betragen die optischen Verluste ca. 25 %. Dadurch ergibt sich ein thermischer Verlust von ebenfalls ca. 25 %.



2.1.3 Berechnung der Aufheizzeit:

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t} \Rightarrow t = \frac{400 \text{ kg} \cdot 1,16 \frac{\text{Wh}}{\text{kg K}} \cdot 40 \text{ K}}{800 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 6 \text{ m}^2 \cdot 0,5 \cdot 0,9 \cdot 0,9} = 9,5 \text{ h}$$

2.1.4 Sehr starke Schwankungen im Energieertrag zwischen Sommer und Winter.

- 2.1.5 Kollektor 1: Hoher Deckungsgrad: Der Warmwasserbedarf kann über das ganze Jahr von der Solarthermieanlage gedeckt werden. Geringer Nutzungsgrad: Ein großer Teil der gewonnenen Energie ist nicht nutzbarer „Überschuss“.

3

Kollektor 2: sehr hoher Nutzungsgrad, geringer Deckungsgrad: Nur in den Sommermonaten wird kein zusätzliche Wärmeerzeuger für die Trinkwassererwärmung benötigt.

Beiden Kollektoren kann bei entsprechender Begründung der Vorzug gegeben werden.

2.2 Gas-Brennwertgerät

- 2.2.1 Das Verhältnis von tatsächlicher Luftmenge zur theoretisch benötigten Verbrennungsluftmenge.

1

- 2.2.2 $\lambda = 1$: $\text{C}_3\text{H}_8 + 5 \text{O}_2 + 20 \text{N}_2 \rightarrow 3 \text{CO}_2 + 4 \text{H}_2\text{O} + 20 \text{N}_2$

4

$$\lambda = 1,2: \text{C}_3\text{H}_8 + 6 \text{O}_2 + 24 \text{N}_2 \rightarrow 3 \text{CO}_2 + 4 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 24 \text{N}_2$$

$$\varphi(\text{H}_2\text{O}) = \frac{4}{3+4+1+24} = 0,125, \quad p_{\text{H}_2\text{O}} = 0,125 \text{ bar} \Rightarrow \text{abgelesen: } \vartheta_{\text{T}} = 49,9^\circ \text{C}$$

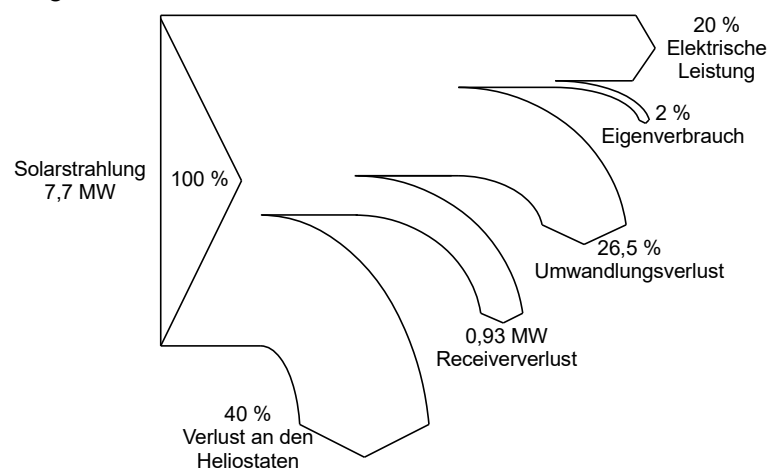
- 2.2.3 Mögliche Ursache: Sehr kleine Heizflächen setzen bei hohem Wärmebedarf sehr hohe Vorlauftemperaturen voraus. Dies hat zur Folge, dass die Rücklauftemperatur höher ist als der Taupunkt des im Abgas enthaltenen Wasserdampfs.

2

2.3 Solarthermische Kraftwerke

- 2.3.1 Energieflussdiagramm:

4



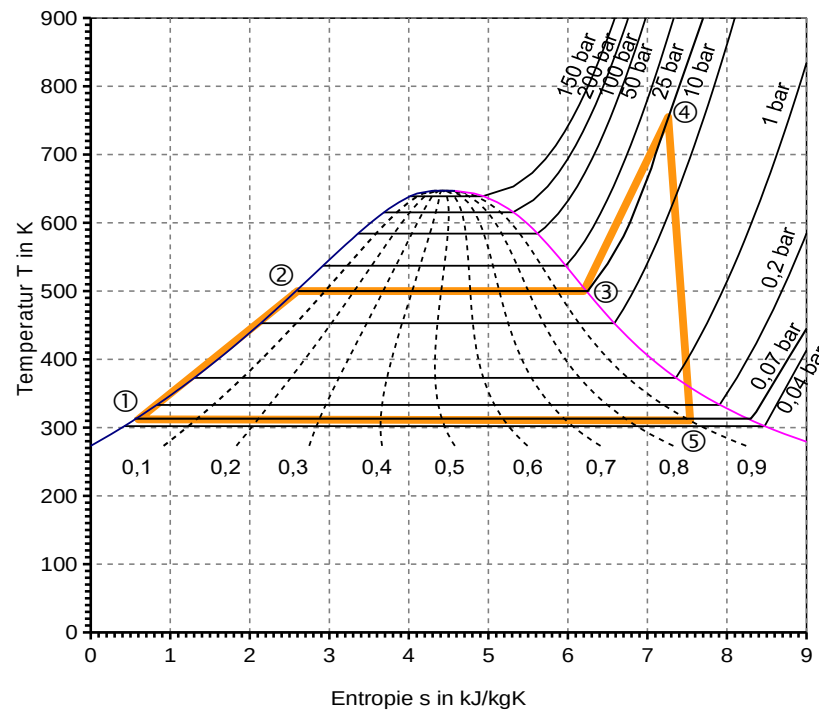
$$\begin{aligned} P_{\text{El}} &= P_{\text{Solar}} - P_{\text{Kollektor}} - P_{\text{Receiver}} - P_{\text{Umwandlung}} - P_{\text{Eigenverbrauch}} \\ &= P_{\text{Solar}} - 0,4 \cdot P_{\text{Solar}} - 0,93 \text{ MW} - 0,265 \cdot P_{\text{Solar}} - 0,02 \cdot P_{\text{Solar}} \\ &= 7,7 \text{ MW} - 0,4 \cdot 7,7 \text{ MW} - 0,93 \text{ MW} - 0,265 \cdot 7,7 \text{ MW} - 0,02 \cdot 7,7 \text{ MW} \\ &= 1,5 \text{ MW} \end{aligned}$$

$$\text{Oder } \eta = \frac{P_{\text{El}}}{P_{\text{Solar}}} \rightarrow P_{\text{El}} = \eta \cdot P_{\text{Solar}} = 0,20 \cdot 7,7 \text{ MW} = 1,5 \text{ MW} \text{ (aus Sankey-Diagramm)}$$

Zahlenwerte sind für die Lösungserstellung erforderlich, müssen in der Lösung aber nicht explizit angegeben werden.

2.3.2

T,s-Diagramm von Wasser



2

2.3.3 Der Dampf sollte nicht mehr als 10 % Wasseranteil besitzen, da die Wassertropfchen beim Aufprall auf die sich schnell drehenden Turbinenschaufeln diese abrasiv schädigen.

2

2.3.4

$$\begin{aligned}
 q_{zu} &= q_{12} + q_{23} + q_{34} \\
 &= \left(\frac{T_1 + T_2}{2} \right) (s_2 - s_1) + T_{23} (s_3 - s_2) + \left(\frac{T_3 + T_4}{2} \right) (s_4 - s_3) \\
 &= \left(\frac{315 \text{ K} + 500 \text{ K}}{2} \right) \cdot \left(2,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} - 0,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) + 500 \text{ K} \cdot \left(6,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} - 2,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \\
 &\quad + \left(\frac{500 \text{ K} + 753 \text{ K}}{2} \right) \cdot \left(7,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} - 6,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \\
 &= 3250,75 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\
 w_{\text{Nutz}} &= q_{zu} - |q_{ab}| = 3250,75 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 2173,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 1077,25 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}
 \end{aligned}$$

4

30

3 Paralleles Hybridfahrzeug

Punkte

3.1 Hybridantrieb

3.1.1 Die Antriebskraft wird zur Überwindung der Rollreibungskraft und der Luftwiderstandskraft benötigt.

1

3.1.2 $P_{mech} = F \cdot v = 220 \text{ N} \cdot \frac{40 \text{ m}}{3,6 \text{ s}} = 2,44 \text{ kW} < P_{Nenn} = 20 \text{ kW} \rightarrow \text{Betriebsart (1) möglich.}$

1

3.1.3 $P_{el} = \frac{P_{mech}}{\eta} = \frac{2,44 \text{ kW}}{0,85} = 2,87 \text{ kW} \quad t = \frac{W_A}{P_{el}} = \frac{0,8 \text{ kWh}}{2,87 \text{ kW}} = 0,279 \text{ h}$

2

$$s = v \cdot t = 40 \text{ km/h} \cdot 0,279 \text{ h} = 11,2 \text{ km}$$

3.1.4 Fahrsituation (b): Betriebsart (2) sinnvoll, da hier der höhere Energieinhalt des Kraftstofftanks benötigt wird. Außerdem wird bei der schnellen Autobahnfahrt der stärkere Dieselantrieb benötigt. Die elektrische Maschine kann zur Lastpunktverschiebung genutzt werden.

2

Fahrsituation (c): Betriebsart (3) sinnvoll, da so ein höheres Antriebsmoment für den Überholvorgang zur Verfügung steht, der damit schneller abgeschlossen werden kann.

3.1.5 Antriebsleistung: $P = F \cdot v = 720 \text{ N} \cdot \frac{130 \text{ m}}{3,6 \text{ s}} = 26 \text{ kW}$

3

Antriebsmoment: $P = \omega \cdot M = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot M \quad M = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot n} = \frac{26 \text{ kW}}{2 \cdot \pi \cdot 1500/60 \text{ s}^{-1}} = 165 \text{ Nm}$

Die elektrische Maschine wird als Generator betrieben, der durch sein zusätzliches Lastmoment das für die Fahrsituation benötigte Moment von 165 Nm auf den verbrauchsoptimalen Wert von ca. 270 Nm erhöht.

$$M_{\text{zusätzlich}} = M_{\text{optimal}} - M = 270 \text{ Nm} - 165 \text{ Nm} = 105 \text{ Nm}$$

Die Werte sind zusätzlich in das Kennlinienfeld eingezeichnet, was aber nicht verlangt war (siehe 3.1.7).

3.1.6 Die Kennlinie lässt sich zusammensetzen aus einem Teil mit maximalem Drehmoment und einer Konstantleistungshyperbel.

2

Das maximale Drehmoment von 250 Nm wird ab der Drehzahl 0 min^{-1} erreicht und

reicht bis $P = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot M \rightarrow n = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot M} = \frac{20 \text{ kW}}{2 \cdot \pi \cdot 250 \text{ Nm}} = 12,7 \text{ s}^{-1} = 764 \text{ min}^{-1}$.

Wertetabelle Konstantleistungshyperbel:

n in min^{-1}	764	1000	2000	3000	4000	5000
M in Nm	250	191	95	64	48	38

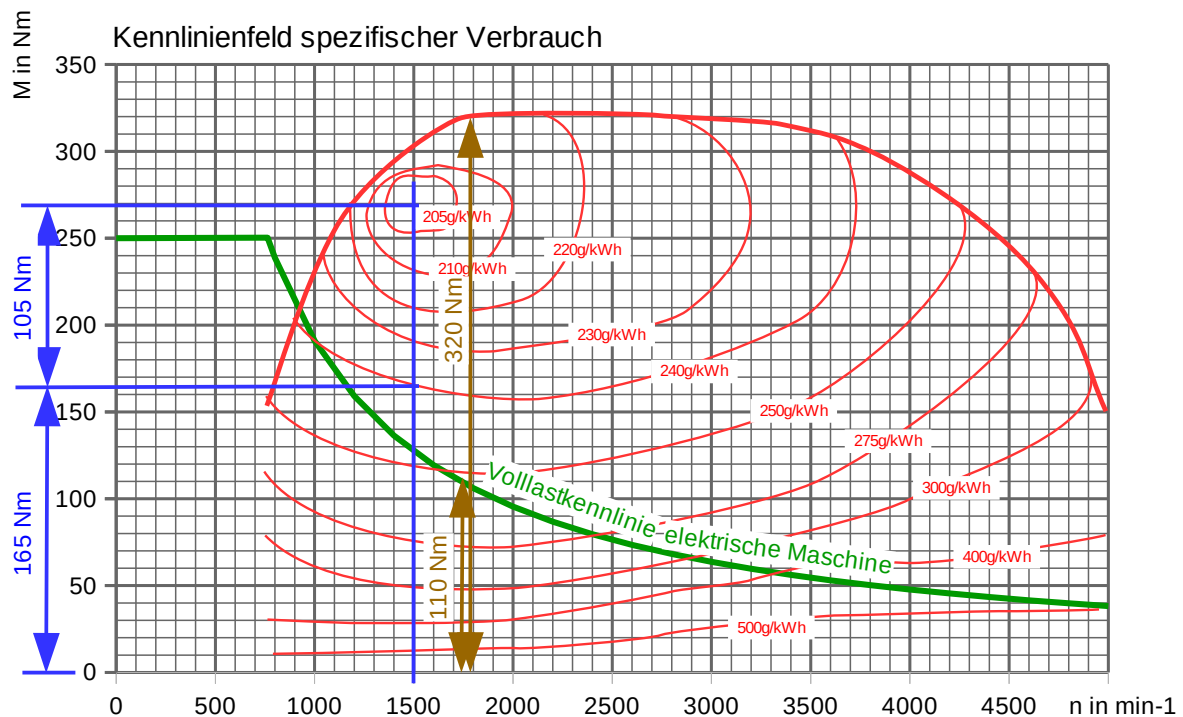
Die Kennlinie ist in das Kennlinienfeld eingezeichnet (siehe 3.1.7)

3.1.7 Das maximal zur Verfügung stehende Antriebsmoment ergibt sich im „Boost“-Betrieb bei einer Drehzahl von 1750 min^{-1} . Es beträgt insgesamt

1

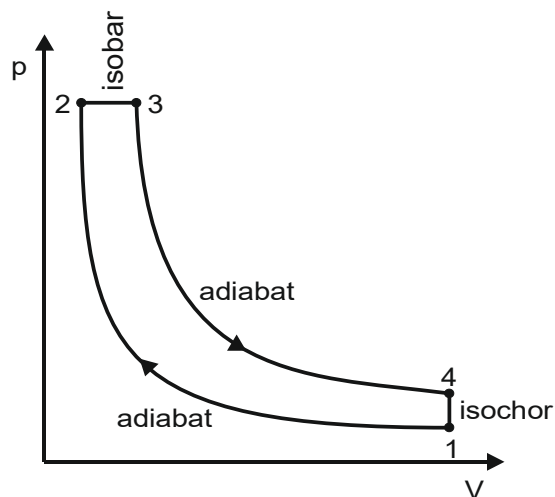
$$M_{\text{ges, max}} = M_{\text{el}}(1750 \text{ min}^{-1}) + M_{\text{Diesel}}(1750 \text{ min}^{-1}) = 110 \text{ Nm} + 320 \text{ Nm} = 430 \text{ Nm}$$

Anmerkung: Im gesamten Drehzahlbereich $900 \text{ min}^{-1} \dots 1750 \text{ min}^{-1}$ erhält man $M_{\text{ges}} = 420 \dots 430 \text{ Nm}$. Daher sind Lösungen in diesem Bereich korrekt.



3.2 Dieselmotor

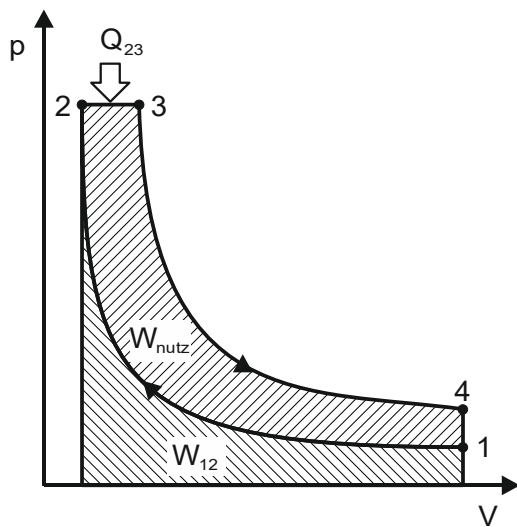
3.2.1



3.2.2 $p_1 \cdot V_1 = m \cdot R_s \cdot T_1 \rightarrow$

$$p_1 = \frac{m \cdot R_s \cdot T_1}{V_1} = \frac{1033 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot 287 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 358 \text{ K}}{0,000531 \text{ m}^3} = 199880 \text{ Pa} \approx 2 \text{ bar}$$

3.2.3



$$Q_{23} = Q_{zu}$$

$$W_{12} = W_{Kompression}$$

$$\eta_{th} = \frac{W_{nutz}}{Q_{23}} = \frac{897 \text{ J}}{1484 \text{ J}} = 0,604 = 60,4\%$$

2

$$3.2.4 \quad P_{ges} = z \cdot \frac{n_N}{2} \cdot W_{nutz} = 4 \cdot 897 \text{ J} \cdot 2000 \frac{1}{60 \text{ s}} = 120 \text{ kW}$$

2

3.3 Klimaanlage und Abgasreinigung im Diesel-Hybrid-PKW

3.3.1 Der Kompressor saugt gasförmiges Kältemittel an und verdichtet es. Das durch den Verdichtungsprozess ca. 65 °C heiß gewordene gasförmige Kältemittel wird mit einem Druck von ca. 16 bar zum Kondensator gedrückt. In ihm wird das heiße Kältemittel von der Umgebungsluft (Fahrtwind/Lüfter) auf ca. 55 °C abgekühlt. Dabei geht es in den flüssigen Zustand über, es kondensiert. Das Expansionsventil sprüht das Kältemittel in den Verdampfer. Der Druck sinkt auf ca. 1,2 bar ab. Durch diese Entspannung sinkt die Temperatur des Kältemittels rasch auf -7 °C. Dem Verdampfer wird vom Gebläse Um- oder Frischluft an der Oberfläche zugeführt. Das Kältemittel entzieht dieser Luft Wärme und verdampft dadurch. Die abgekühlte Luft strömt in den Innenraum des Fahrzeuges. Das gasförmige, ca. -3 °C kalte Kältemittel wird vom Kompressor angesaugt und der Kreislauf ist geschlossen.

3

Die angegebenen Zahlenwerte sind typisch, werden aber nicht verlangt.

Fließrichtung: Kompressor → Kondensator → Expansionsventil → Verdampfer

3.3.2 Aus h,x-Diagramm:

3

$$\Delta x = x(30^\circ \text{C}, 80\%) - x(21^\circ \text{C}, 100\%) = 21,8 \frac{\text{g}}{\text{kg}} - 15,5 \frac{\text{g}}{\text{kg}} = 6,3 \frac{\text{g}}{\text{kg}}$$

$$\dot{V}_{\text{Luft}} = 500 \frac{\text{L}}{\text{min}} = 30 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{\text{Wasser}} = \dot{m}_{\text{Luft}} \cdot \Delta x = 30 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 1,16 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 3 \text{ h} \cdot 6,3 \frac{\text{g}}{\text{kg}} = 657,72 \text{ g}$$

3.3.3 Die aus der Umgebungsluft anfallenden Verunreinigungen (Pollen, Schmutz, usw.) setzen sich am Verdampfer fest. Durch das zudem anfallende Kondensat sind ideale Bedingungen für Schimmel-, Keim-, Bakterien- und Mikroorganismenbildung am Verdampfer gegeben. Die dem Innenraum zugeführte Luft wird dadurch belastet.

1

3.3.4	Das Abgas mit Partikeln muss durch die porösen Filterwände des Partikelfilters strömen. Die Partikel bleiben hängen und werden dadurch herausgefiltert. Die Poren des Filters setzen sich langsam zu, wodurch der Abgasgegendruck allmählich steigt. Der Differenzdrucksensor misst den Druck vor und nach dem Partikelfilter und kann damit diesen steigenden Abgasgegendruck messen und an das Steuergerät weiterleiten.	3
	Durch eine gezielte Nach- oder Mehreinspritzung wird die Abgastemperatur auf ca. 600 °C angehoben. Die Kohlenstoffpartikel im Diesel-Partikel-Filter verbrennen mit dem Restsauerstoff im Abgas.	
	Weitere korrekte Antworten:	
	Absenken der Partikelabbrenntemperatur durch Zugabe von Kraftstoff-Additiven.	
	Volllastbetrieb („Autobahnfahrt“) über eine bestimmte Zeit (Herstellerangaben).	
		30
4 Bauphysik und Steuerungstechnik		Punkte
4.1 Bauphysik - Altbausanierung		
4.1.1	Lösungsvorschlag: Tauwasseranfall auf der Bauteiloberfläche, durch Taupunktunterschreitung. (Tau)wasser stellt Lebensgrundlage für Schimmelpilze dar. Schimmelpilze bilden sich bereits bei einer rel. Luftfeuchte von 80%.	1
4.1.2	Lösungsvorschlag: Im h,x-Diagramm auf Taulinie bei 12,5 °C, senkrecht nach oben bis zum Schnitt mit der 20 °C-Linie. Aus h-x Diagramm $\phi = 60\%$	2
4.1.3	<u>Rauminnenecken</u> sind geometrisch bedingte Wärmebrücken, dadurch wird die Wandinnenoberflächentemperatur abgesenkt. An kalten Wintertagen besteht die Gefahr, dass die Taupunkttemperatur der wärmeren, feuchten Innenraumluft unterschritten wird und Tauwasser anfällt. <u>Konstruktions- bzw. materialbedingte Wärmebrücken</u> , z. B. Stahlbetonskelettwand, auskragende Platten. Am Werkstoff mit der höheren Wärmeleitfähigkeit kühlt die Wandoberfläche stärker ab. Fällt diese Temperatur unter die Taupunkttemperatur, bildet sich dort Tauwasser.	2
4.1.4	$\vartheta_{si} = \vartheta_i - \frac{\Delta T}{R_T} \cdot R_{si} \Rightarrow R_T = \frac{\Delta T \cdot R_{si}}{\vartheta_i - \vartheta_{si}} = \frac{30 \text{ K} \cdot 0,13 \frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}}}{20^\circ \text{C} - 12,5^\circ \text{C}} = 0,52 \frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}}$	4
4.1.5	$U = \frac{1}{R_T}; R_{T(\text{neu})} = R_{T(\text{alt})} + \frac{d_D}{\lambda_D}$ $\Rightarrow d_D = (R_{T(\text{neu})} - R_{T(\text{alt})}) \cdot \lambda = \left(\frac{1}{0,2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}} - \frac{1}{1,92 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}} \right) \cdot 0,035 \frac{\text{W}}{\text{m K}} = 0,157 \text{ m}$	3
4.1.6	$\dot{Q}_{\text{alt}} = \Delta T \cdot A \cdot U = 30 \text{ K} \cdot 200 \text{ m}^2 \cdot 1,92 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} = 11\,520 \text{ W}$ $\dot{Q}_{\text{neu}} = \Delta T \cdot A \cdot U = 30 \text{ K} \cdot 200 \text{ m}^2 \cdot 0,2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} = 1\,200 \text{ W}$ $\Delta \dot{Q} = \dot{Q}_{\text{alt}} - \dot{Q}_{\text{neu}} = 10\,320 \text{ W}$	3

$$\text{Einsparung } Q = \Delta \dot{Q} \cdot t = 10\,320 \text{ W} \cdot 24 \frac{\text{h}}{\text{d}} = 247,7 \frac{\text{kWh}}{\text{d}}$$

$$247,7 \frac{\text{kWh}}{\text{d}} \cdot 0,1 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 24,77 \frac{\text{€}}{\text{d}}$$

- 4.1.7 Südausrichtung für die größtmöglichen solaren Energiegewinne im Winter. 1
- 4.1.8 Aufheizung des Innenraums im Sommer bei Südausrichtung, größere Wärmeverluste (schlechterer U-Wert als das Anschlussmauerwerk) im Winter. 2
- 4.1.9 Eine Außendämmung führt dazu, dass die Temperatur im Innenraum nicht so stark schwankt und die Hoch- und Tieftemperaturen zeitlich verzögert im Innenraum ankommen (Phasenverschiebung und Amplitudendämpfung). Der Effekt der Wärmespeicherung und Kühlung durch das innen liegende Mauerwerk entfällt bei einer Innendämmung. 2

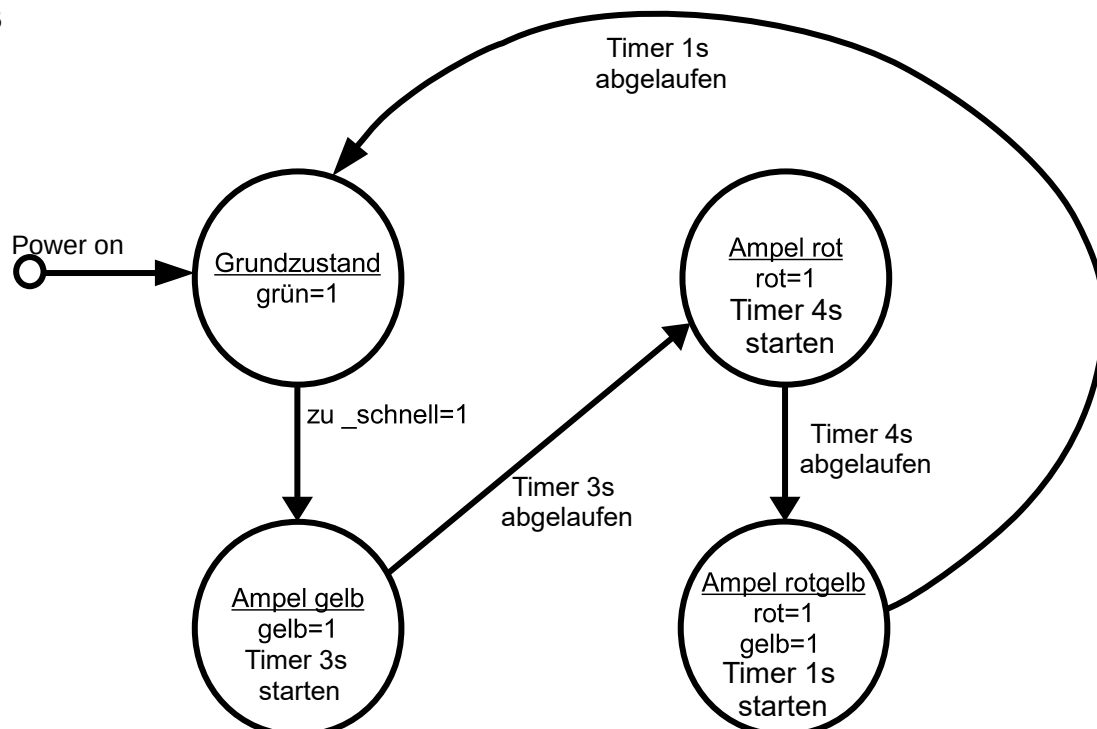
4.2 Geschwindigkeitsabhängige Ampelsteuerung

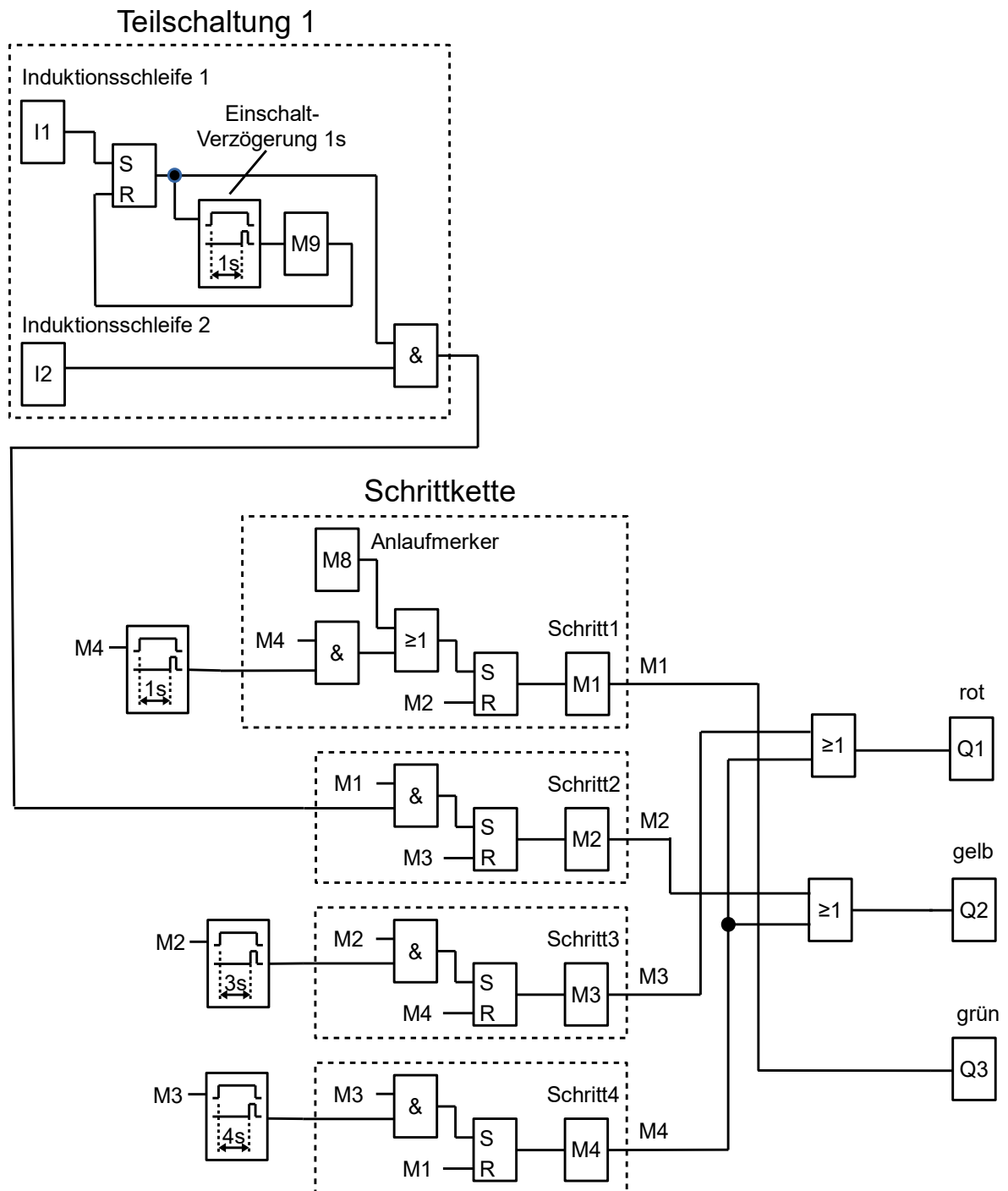
- 4.2.1 $s = v \cdot t$ 1
- $$d = 30 \text{ km/h} \cdot 1 \text{ s} = (30.000 \text{ m} / 3.600 \text{ s}) \cdot 1 \text{ s} = 8,33 \text{ m}$$

Die Induktionsschleifen I1 und I2 sind im Abstand von 8,33m anzubringen.

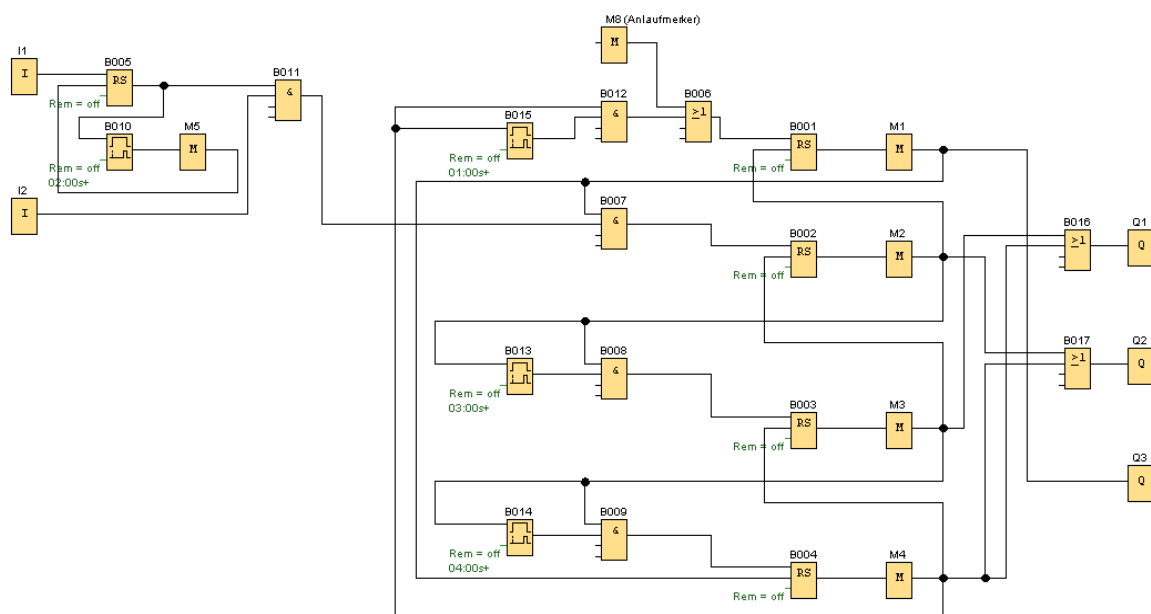
- 4.2.2 Die Induktionsschleife I1 setzt das RS-Flipflop und startet eine Einschaltverzögerung von einer 1s. Gleichzeitig wird die UND-Verknüpfung freigegeben. Sollte nun ein Fahrzeug schneller als 30 km/h sein und daher die Induktionsschleife I2 vor Ablauf der Verzögerungszeit $T_v=1 \text{ s}$ erreichen, wird am Ausgang der UND-Verknüpfung eine 1 erscheinen (zu_schnell=1). Damit geht die Ablaufsteuerung in den Schritt 2 über. Ist das Fahrzeug langsamer als 30 km/h wird das RS-Flipflop nach 1s durch $A_EVZ=1$ zurückgesetzt und die UND-Verknüpfung gesperrt. Die Schaltung ist bereit für eine neue Messung. 2

- 4.2.3 4





Hinweis: Realisierung in LOGO!



TG Umwelttechnik

2015/2016

Übung

Lösungsvorschlag

Arbeitszeit:	270 Minuten
Hilfsmittel	Formelsammlung Umwelttechnik Zugelassener Taschenrechner
Stoffgebiet	Teil 1: Pflichtbereich Aufgabe 1: Wasserkraft Elektromobilität Aufgabe 2: Feuchte- und Wärmeschutz Kontrollierte Wohnraumlüftung BHKW und Brennwerttechnik Teil 2: Wahlbereich Aufgabe 3: Photovoltaik und Windkraft Brennstoffzelle Abwasser Aufgabe 4: Kohlekraftwerk Rauchgasreinigung Steuerungstechnik

1 Wasserkraft und Elektromobilität

Punkte

1.1 Pumpspeicherkraftwerk

1.1.1 Jede Peltonturbine hat insgesamt 6 Düsen

$$\dot{V}_D = \frac{\dot{V}}{6} = \frac{8 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{6} = 1,33 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\dot{V}_D = A_D \cdot v_D \rightarrow v_D = \frac{\dot{V}_D}{A_D} = \frac{4 \cdot \dot{V}_D}{\pi \cdot d_D^2} = \frac{4 \cdot 1,33 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\pi \cdot (0,12 \text{ m})^2} = 117,9 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 424,4 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$$v_R = \frac{\dot{V}}{A_R} = \frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot d_R^2} = \frac{4 \cdot 8 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\pi \cdot (2,2 \text{ m})^2} = 2,1 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 7,58 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$$1.1.2 \quad P_{\text{hydro}} = \rho \cdot g \cdot h \cdot \dot{V} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 357 \text{ m} \cdot 16 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 56 \text{ MW}$$

$$\eta = \frac{P_{\text{el}}}{P_{\text{hydro}}} = \frac{45 \text{ MW}}{56 \text{ MW}} = 0,8$$

$$1.1.3 \quad \text{Rohrvolumen } V_R = A_R \cdot l_R = \frac{\pi \cdot d_R^2}{4} \cdot l_R = \frac{\pi \cdot (2,2 \text{ m})^2}{4} \cdot 526 \text{ m} = 2.000 \text{ m}^3$$

Das Rohrvolumen $V_R = 2000 \text{ m}^3$ entspricht 2 Millionen Liter

1.1.4

$$W = m \cdot g \cdot h = \rho \cdot V \cdot g \cdot h = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 14,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 357 \text{ m} = 5 \cdot 10^{13} \text{ Nm}$$

$$W = 5 \cdot 10^{13} \text{ Nm} = 5 \cdot 10^{13} \text{ Ws} = 14 \cdot 10^6 \text{ kWh}$$

$$W = P_{\text{hydro}} \cdot t \rightarrow t = \frac{W}{P_{\text{hydro}}} = \frac{14 \cdot 10^6 \text{ kWh}}{56 \cdot 10^6 \text{ W}} = 250 \text{ h} = 10,4 \text{ Tage}$$

$$\text{Alternativ: } \dot{V} = \frac{V}{t} \rightarrow t = \frac{V}{\dot{V}} = \frac{14,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3}{16 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} = 900.000 \text{ s} = 250 \text{ h}$$

1.1.5 Formelsammlung S.17: Turbinen-Einsatzgebiete

Eine Francis-Turbine könnte ebenfalls eingesetzt werden, da sowohl Fallhöhe, Leistung und Durchfluss mit dem Einsatzgebiet von Francis-Turbinen übereinstimmen.

1.1.6 An dem Verlauf der Verbrauchskurve ist ersichtlich, dass der Energiebedarf im Tagesverlauf schwankend ist. Beispielsweise wird nachts deutlich weniger Energie angefordert als zur Mittagszeit. Neben den Kraftwerken, die ständig im Betrieb sind und die Grundlast abdecken, gibt es Kraftwerkstypen, die für die Mittellast eingesetzt werden. Dabei unterliegt insbesondere das Energieangebot von Windkraftanlagen und Photovoltaikanlagen den augenblicklichen Wetterverhältnissen (Windflaute $\leftrightarrow$ Sturm, wolkenfrei $\leftrightarrow$ Sonne von Wolken verdeckt). Die besondere Herausforderung beim Energiemanagement besteht darin, die Energienachfrage mit dem Energieangebot in Einklang zu bringen. Die Einspeisung von Solarstrom deckt die Mittagsspitzen ab. Früher liefen in dieser Zeit Pumpspeicherkraftwerke im

Generatorbetrieb. Heute decken diese die Abendspitzen (siehe Grafik) und arbeiten im Pumpbetrieb z.B. bei Überschuss von Windenergie bei Nacht. Außerdem kann an windigen und sonnigen Tagen überschüssige Energie für den Pumpbetrieb genutzt werden. Der große Vorteil von Pumpspeicherkraftwerken liegt in der kurzen Anlaufzeit der Maschinen, sodass schnell auf Schwankungen reagiert werden kann.

1.1.7 Steinkohlekraftwerk, Braunkohlekraftwerk, Kernkraftwerk, Laufwasserkraftwerk

1.2 Elektromobilität

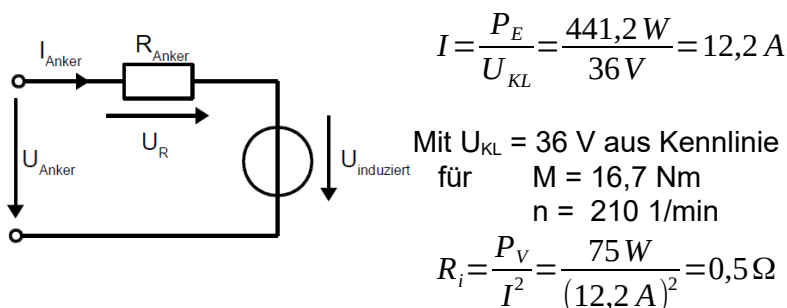
1.2.1	$v = 25 \frac{km}{h} = 416,66 \frac{m}{min}$ $n = \frac{v}{U_{pad}} = \frac{416,66 \frac{m}{min}}{1,98 m} = 210,4 \frac{1}{min} = 3,5 \frac{1}{s}$	1,5
-------	--	-----

1.2.2		$P_E = \frac{P_V}{1-\eta} = \frac{75\text{ W}}{1-0,83} = 441,2\text{ W}$ $P_M = P_E - P_V = 441,2 - 75\text{ W} = 366,2\text{ W}$	2,5
-------	--	---	-----

1.2.3	$P_M = 2 * \pi * n * M$	$M = \frac{P_M}{2 * \pi * n} = \frac{366,2 \text{ W}}{2 * \pi * 3,5 \frac{1}{s}} = 16,7 \text{ Nm}$	1
-------	-------------------------	---	---

1.2.4	$t = \frac{W}{P_E} = \frac{500 \text{ Wh}}{441,2 \text{ W}} = 1,13 \text{ h}$ $s = v * t = 25 \frac{\text{km}}{\text{h}} * 1,13 \text{ h} = 28,3 \text{ km}$	1,5
-------	--	-----

1.2.5	3,5
-------	-----



Alternativ aus Kennlinie

$$U_0 = 30 \text{ V}$$

$$U_{Ri}=U_{Kl}-U_{Ind}=36\text{ V}-30\text{ V}=6\text{ V}$$

bei $M = 0 \text{ Nm}$ und $n = 210 \frac{1}{\text{min}}$

$$R_I = \frac{U_{RI}}{I_{KI}} = \frac{6V}{12,2A} = 0,49\Omega$$

1.2.6	$I_2 = \sqrt{\frac{P_{V2}}{R}} = \sqrt{\frac{50 W}{0,5 \Omega}} = 10 A$	2
aus	$\frac{M_1}{I_1} = \frac{M_2}{I_2} \quad M_2 = \frac{M_1}{I_1} * I_2 = \frac{16,6 Nm}{12,2 A} * 10 A = 13,6 Nm$	

$$1.2.7 \quad V_2 = 16 \frac{km}{h} = 266,6 \frac{m}{min} \quad n_2 = \frac{v_2}{U_{Rad}} = \frac{267 \frac{m}{min}}{1,98 m} = 134,7 \frac{1}{min} = 2,24 \frac{1}{s}$$

Aus Kennlinie $U_{kl} = 24 V$ $P_e = U_{kl} * I_2 = 24 V * 10 A = 240 W$

$$t = \frac{W}{P_e} = \frac{500 \text{ Wh}}{240 \text{ W}} = 2,08 \text{ h} \quad s = v * t = 16 \frac{\text{km}}{\text{h}} * 2,08 \text{ h} = 33,3 \text{ km}$$

30

2 Bauphysikalische Aspekte und Gebäudetechnik eines Mehrfamilienhauses

Punkte

2.1 Feuchte- und Wärmeschutz

2.1.1 Wärmedurchgangswiderstand R_T

3

$$R_T = R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_4}{\lambda_4} + R_{se}$$

$$= 0,13 \frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}} + \frac{0,015 \text{ m}}{0,51 \frac{\text{W}}{\text{mK}}} + \frac{0,24 \text{ m}}{2 \frac{\text{W}}{\text{mK}}} + \frac{0,16 \text{ m}}{0,03 \frac{\text{W}}{\text{mK}}} + \frac{0,015 \text{ m}}{1 \frac{\text{W}}{\text{mK}}} + 0,043 \frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}} = 5,671 \frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}}$$

$$\text{Wärmedurchgangskoeffizient } U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{5,671 \frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}}} = 0,176 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

Der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) ist ein Maß für den Wärmedurchgang von der Innenluft durch eine Außenwand zur Außenluft. Ursache für den Wärmestrom ist der Temperaturunterschied zwischen Innenluft und Außenluft. Der U-Wert gibt den Wärmestrom (Wärmeenergie pro Zeit) je Fläche der Wand und je Kelvin Temperaturunterschied zwischen der Außen – und Innenluft an. Er ist abhängig von den Wärmeübergangskoeffizienten zwischen dem festen Körper und der Luft sowie der Wärmeleitfähigkeit und Schichtdicken der Außenwand. Je geringer der U-Wert, umso größer die Dämmwirkung der betrachteten Außenwand.

$$2.1.2 \quad \vartheta_4 = \vartheta_i - \frac{\Delta T}{R_T} \cdot (R_{si} + R_1 + R_2 + R_3)$$

1

$$= 20^\circ \text{C} - \frac{30 \text{ K}}{5,671 \frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}}} + 0,13 \frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}} + \frac{0,015 \text{ m}}{0,51 \frac{\text{W}}{\text{mK}}} + \frac{0,24 \text{ m}}{2 \frac{\text{W}}{\text{mK}}} + \frac{0,16 \text{ m}}{0,03 \frac{\text{W}}{\text{mK}}} = -9,7^\circ \text{C}$$

2.1.3 Gepunktete Linie: Verlauf des tatsächlich vorhandenen Wasserdampfdrucks über den Wandquerschnitt.

3

Gestrichelte Linie: Verlauf des Wasserdampfgesättigungsdampfdruck über den Wandquerschnitt.

Im Wandquerschnitt 1 fällt Tauwasser an, da sich hier der tatsächlich vorhandene Dampfdruck und der Wasserdampfgesättigungsdruck berühren/schneiden.

2.1.4 Wandquerschnitt 2

3

Der Verlauf des Wasserdampfgesättigungsdrucks korreliert mit dem Temperaturverlauf über den Wandquerschnitt. Ein starker Temperaturabfall und damit ein starker Abfall des Wasserdampfgesättigungsdrucks tritt im Bereich eines Dämmstoffes auf. Bei Wandquerschnitt 2 tritt dieser starke Abfall auf der kalten Seite des Wandquerschnitts auf, insofern handelt es sich hierbei um eine außen gedämmte Wand, wie in der Aufgabenstellung beschrieben.

2.2 Kontrollierte Wohnraumlüftung

2.2.1 Luftqualität (Reduktion von CO₂, Anhebung O₂ Gehalt, Reduktion von Gerüchen)
Wärmerückgewinnung

$$2.2.2 \quad \dot{V}_{\text{AUL}} = \beta \cdot V_R = 1,0 \frac{1}{h} \cdot 150 \text{ m}^3 = 150 \frac{\text{m}^3}{h}$$

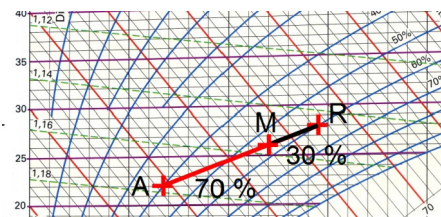
Die Luftwechselrate gibt an, wie oft das gesamte Luftvolumen eines Raumes ausgetauscht wird.

2.2.3 Raumlufte R, Außenluft A.

Ermittlung der Mischluft nach dem „Gesetz der abgewandten Hebelarme“: Der Zustand der Mischluft liegt im h,x-Diagramm auf der Gerade zwischen den beiden Punkten. 30% der Raumlufte wurden ersetzt, d. h. 70 % sind noch übrig

=> der Mischungspunkt M muss näher am Punkt R liegen.

Abgelesen: Temperatur $\vartheta_M = 26^\circ\text{C}$, relative Feuchte $\varphi_M = 56\%$



$$2.2.4 \quad \Phi = \frac{\vartheta_{\text{zu}} - \vartheta_{\text{AU}}}{\vartheta_{\text{ab}} - \vartheta_{\text{AU}}},$$

$$\vartheta_{\text{zu}} = (\vartheta_{\text{ab}} - \vartheta_{\text{AU}}) \cdot \Phi + \vartheta_{\text{AU}} = (18^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}) \cdot 0,6 + 0^\circ\text{C} = 10,8^\circ\text{C}$$

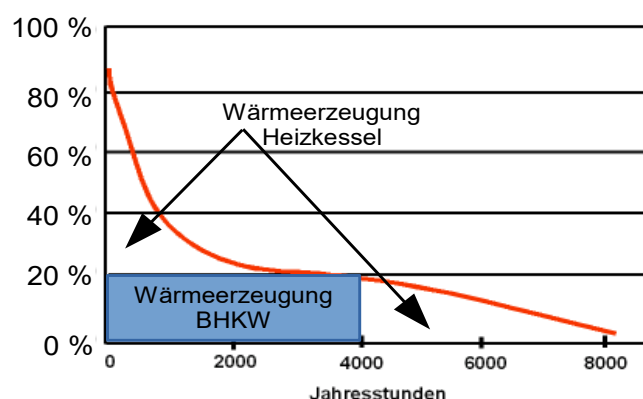
2.3 Blockheizkraftwerk mit Brennwertnutzung

2.3.1 Der Pufferspeicher ist mit Heizungswasser gefüllt. Dieses wird abwechselnd oder parallel von beiden Wärmeerzeugern erwärmt. Mit dem im Pufferspeicher enthaltenen Heizungswasser wird in einem Wärmetauscher das Trinkwasser erwärmt und der Heizkreis betrieben. Der Mischer dient dazu, die Heizkreistemperatur nach Bedarf zu regulieren. Das MAG nimmt das sich bei Aufheizung ausdehnende Heizungswasser auf. Die Pumpen sorgen für die Zirkulation der einzelnen Kreise.

2.3.2 Annahme: Auswahl der Laufzeit des BHKW 4000 h (andere sinnvoll begründete Annahmen möglich).

y-Achsen-Beschriftung: analoge kW-Angaben möglich.

Jahresdauerlinie des Heizwärmebedarfs



- 2.3.3 Im Pufferspeicher sind im unteren Teil die Temperaturen so niedrig, dass im BHKW-Rücklauf die Taupunkttemperatur des Abgases sicher unterschritten wird. Wenn das BHKW direkt zur Trinkwassererwärmung oder direkt in den Heizkreis eingepflanzt wird, ist dies oft nicht der Fall. Daher gäbe es häufig Betriebssituationen ohne Kondensationswärmenutzung.

Zudem wird die Gesamtlaufzeit des BHKW verlängert.

$$2.3.4 \quad \eta_{\text{ges}} = \frac{\dot{Q}_{\text{el}} + \dot{Q}_{\text{th}}}{\dot{Q}_{\text{Aufnahme}}} = 0,99$$

Gasbrennwertheizgeräte haben (bezogen auf den Heizwert) einen Wirkungsgrad von über 100 %. Dafür ist die erzeugte Energie aber ausschließlich „wertlosere“ Wärme und keine „wertvolle“ elektrische Energie

- 2.3.5 Kondensationswärme: Differenz zwischen Betrieb mit und ohne Brennwertnutzung:

$$Q_{\text{Kond}} = (\dot{Q}_{\text{mit}} + \dot{Q}_{\text{ohne}}) \cdot t_{\text{Betrieb}} = (14,8 \text{ kW} - 12,5 \text{ kW}) \cdot 4000 \text{ h} = 9\,200 \text{ kWh}$$

$$Q_V = Q_{\text{Kond}} = m \cdot r \rightarrow m = \frac{Q_{\text{Kond}}}{r} = \frac{9\,200 \text{ kWh}}{0,6272 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}} = 14\,668 \text{ kg}$$

3 Photovoltaik, Brennstoffzelle, Abwasser, Windkraft

3.1 Photovoltaik

	Gebäude 1 & 2	Gebäude 3 & 4	Gebäude 5 & 6
Ausrichtung	0° (Süd)	45° (Südwest)	-70°
Neigungswinkel	65°	37°	30°
Abgelesen	1050-1100 kWh/(m²a)	1100-1150 kWh/(m²a)	1050 kWh/(m²a)

Gebäude 3 & 4 haben die höchste Einstrahlungssumme und liefern daher den größten Jahresertrag.

- 3.1.2 Korrekturfaktor bei $\alpha = 45^\circ$ (Südwest) und $\beta = 37^\circ$ im Oktober: $K_{\alpha,\beta} = 1,30$

Tägliche Globalstrahlung Berlin im Oktober: $H_h = 1,7 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}$

$$P_{\text{Nenn}} = \frac{P_{\text{MPP}}}{1 \text{ Modul}} \cdot \text{Anzahl Module} = 236 \text{ W} \cdot 54$$

$$W_{\text{Tag}} = P_{\text{Nenn}} \cdot \frac{H_h}{1 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}} \cdot K_{\alpha,\beta} = 236 \text{ W} \cdot 54 \cdot \frac{1,7 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}}{1 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}} \cdot 1,3 = 28,16 \frac{\text{kWh}}{\text{d}}$$

54 Module erzeugen den gewünschten Tagesbedarf im Oktober.

$$3.1.3 \quad W_{\text{Jahr}} = 365 \frac{\text{d}}{\text{a}} \cdot W_{\text{Tag}} = P_{\text{Nenn}} \cdot \frac{H_{h-\text{Jahr}}}{1 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}} \cdot K_{\alpha,\beta-\text{Jahr}}$$

$$W_{\text{Jahr}} = 365 \frac{\text{d}}{\text{a}} \cdot 236 \text{ W} \cdot 54 \cdot \frac{2,93 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}}{1 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}} \cdot 1,09 = 14.855 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

$$3.1.4 \quad \frac{P_{\text{Sonne}}}{1 \text{ Modul}} = 800 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 1,5 \text{ m}^2 = 1200 \text{ W}$$

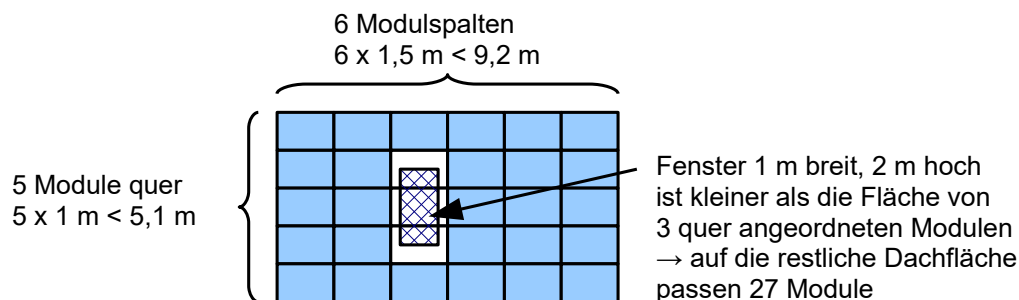
$$\eta = \frac{P_{\text{Modul}}}{P_{\text{Sonne}}} = \frac{180 \text{ W}}{1200 \text{ W}} = 0,15 = 15 \%$$

3.1.5 1 Gebäude erhält 27 Module

$$\text{Faustformel: } U_{\text{WR-max}} = 1,2 U_{\text{OC@STC}} \rightarrow \frac{410 \text{ V}}{1,2 \cdot 36,7 \text{ V}} = 9,3 \text{ Module pro String}$$

$$\frac{27 \text{ Module}}{9 \text{ Module/String}} = 3 \text{ Strings mit je 9 Modulen}$$

3.1.6



3.2 PEM-Brennstoffzelle

3.2.1 Wasserstoff (H_2) wird an der Anode katalytisch (Katalysator: Platin) in Protonen und Elektronen zerlegt. Durch die Kunststoffmembran (proton exchange membrane) gelangen nur die Protonen auf die andere Seite. Für die Elektronen ist die Membran unpassierbar. Sie werden aus der Brennstoffzelle abgeleitet und fließen über einen Verbraucher zur Kathode. An der Kathode nimmt der zugeführte Sauerstoff (O_2 , Oxidationsmittel) aus der Luft die Elektronen auf und reagiert unmittelbar mit den durch die Membran geführten Wasserstoffionen zu Wasser (H_2O).

Reaktionsgleichungen:

Anode: $2\text{H}_2 \rightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$ (Oxidation / Elektronenabgabe)

Kathode: $\text{O}_2 + 4\text{e}^- + 4\text{H}^+ \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ (Reduktion / Elektronenaufnahme)

Gesamtreaktion: $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ (Redoxreaktion / Zellreaktion)

3.2.2 Unter einem Stack versteht man das Zusammenschalten mehrerer Brennstoffzellen in Reihe. Durch diese Verschaltung addieren sich die niedrigen Einzelspannungen einer Brennstoffzelle (max. 1 V) zu in der Praxis meist notwendigen höheren Spannungen.

3.3 Abwasserreinigung

Filtration (Rechen und Siebe): Holzteile, Kunststoffteile, Faserstoffe, usw..

Sedimentation (Absetzen): Sand, mineralische Bestandteile des Abwassers, usw..

Flotation (Aufschwimmen): Öle, Fette, usw..

3.4 Windturbine mit Vertikal-Rotor

3.4.1 Aus dem c_p - λ -Diagramm für verschiedene Rotor-Bauformen lässt sich für den Vertikal-Rotor für $\lambda = 5$ ein Leistungsbeiwert von $c_p = 0,4$ ablesen.

$$3.4.2 \quad P_{Wind} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (2 \cdot r \cdot h) \cdot v^3 = \frac{1}{2} \cdot 1,2 \frac{kg}{m^3} \cdot (2 \cdot 2,5 m \cdot 3 m) \cdot (10 m/s)^3 = 9 kW$$

$$3.4.3 \quad P_{el} = P_{Wind} \cdot c_p \cdot \eta = 9 kW \cdot 0,4 \cdot 0,95 = 3,42 kW$$

3.4.4 Nr 1 Resultierende Kraft Nr 2 Wind durch Drehbewegung
Nr 3 Windrichtung Nr 4 Effektive Windrichtung
Drehrichtung: Gegen den Uhrzeigersinn

3.4.5 Vertikal-Rotoren (VR) müssen im Gegensatz zu Rotoren mit horizontaler Achse (HR) nicht entsprechend der Windrichtung ausgerichtet werden, was technischen Aufwand einspart.

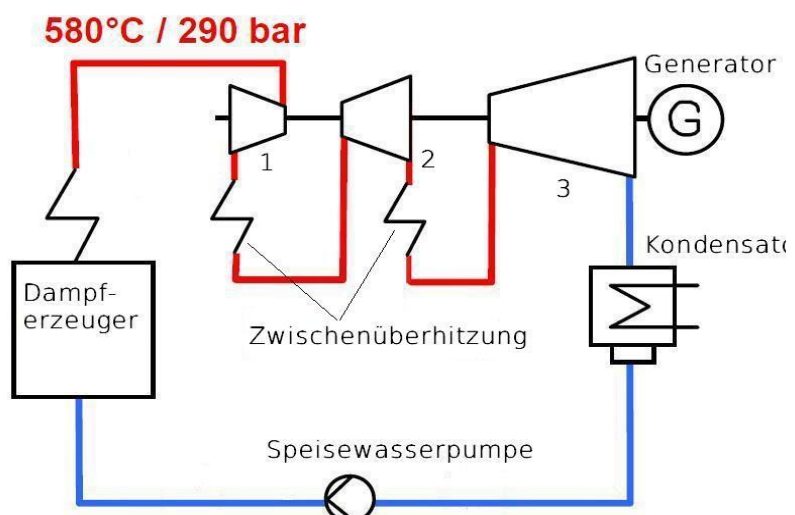
Der Generator eines VR muss nicht in großer Höhe über Grund und damit schwer zugänglich platziert werden, sondern befindet sich in Bodennähe. Dies ist ein weiterer Vorteil des VR.

Allerdings ist der Leistungsbeiwert eines VR immer geringer als der eines modernen HR mit großer Schnelllaufzahl.

Im Gegensatz zum VR strömt beim HR der effektive Wind immer in optimalem Winkel um die Rotorblätter, die von Nabe zu Blattspitze verwunden entsprechend verwunden sind. Dies gilt unabhängig von der Winkellage auf dem überstrichenen Kreis. Beim VR ist die Anströmung abhängig von der Winkelposition auf dem überstrichenen Kreis und damit nicht immer optimal.

4 Kohlekraftwerk, Rauchgasreinigung und Steuerungstechnik**4.1 Kohlekraftwerk**

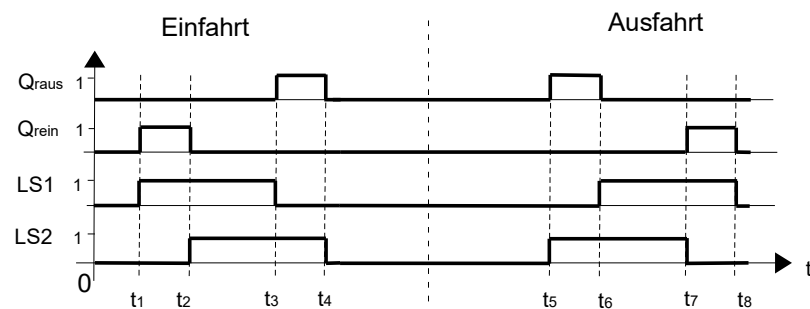
4.1.1 Die Zwischenüberhitzung erfolgt in der Realität im oberen Bereich des Dampferzeugers. Der Übersichtlichkeit halber ist sie im Lösungsvorschlag räumlich getrennt dargestellt. Andere Darstellungen sind möglich.



4.1.2	1 Hochdruckturbine 2 Mitteldruckturbine 3 Niederdruckturbine	2
4.1.3	Zur Steigerung des Wirkungsgrades könnte man neben der Erzeugung elektrischer Energie auch die im Dampf enthaltene thermische Energie verwenden. Man könnte einen Teil des Dampfes zur Erzeugung von Prozesswärme für die Industrie oder für Fernwärme verwenden.	2
4.1.4	Auf der Oberfläche der Turbinenschaufeln ist eine Beschädigung (abrasiver Materialabtrag) zu erkennen. Die Beschädigung ist durch Wassertröpfchen im Dampf entstanden, welche im Betrieb auf die sich schnell drehenden Turbinenschaufeln prallen und Materialschäden verursachen.	2
4.1.5	$q_{ab} = T_{71} \cdot (s_1 - s_7)$ $\rightarrow T_{71} = \frac{q_{ab}}{(s_1 - s_7)} = \frac{\left(-2280 \frac{\text{kJ}}{(\text{kg} \cdot \text{K})} \right)}{\left(0,4 \frac{\text{kJ}}{(\text{kg} \cdot \text{K})} - 8 \frac{\text{kJ}}{(\text{kg} \cdot \text{K})} \right)} = 300 \text{ K}$ Hinweis: Mit dem T,s-Diagramm der Formelsammlung kann man den Kondensatordruck bestimmen. $p_{\text{Kond}} = 0,04 \text{ bar}$	3
4.2	Rauchgasreinigung	
4.2.1	Beschriftung von links: Entschwefelung: In einem Rauchgaswäscher reagiert SO_2 mit einer Kalksuspension. Als Produkt entsteht Gips. Entstaubung: Im Elektrofilter werden die Staubpartikel elektrostatisch aufgeladen und an Platten abgeschieden. Das Produkt nennt sich Flugasche und kann als Zement verwendet werden. Entstickung: Bei der selektiven katalytischen Reduktion reagieren Stickstoffoxide mit Ammoniak. Die Produkte sind Stickstoff und Wasser.	3
4.2.2	Alternativ: Entstickung nach der Entstaubung (Low-Dust-Verfahren). Vorteil: weniger Katalysator-Verschleiß Nachteil: geringere Abgastemperatur, dadurch schlechtere Reinigungsleistung.	2
4.2.3	$4 \text{ NO} + 4 \text{ NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{ N}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O}$ $\dot{m}(\text{NO}) = 1\,000 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \cdot 1\,500\,000 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{mg}} = 1\,500 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \Rightarrow$ $\dot{n}(\text{NO}) = \frac{\dot{m}(\text{NO})}{M(\text{NO})} = \frac{1\,500 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{30 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} = 50 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$, aus Reaktionsgleichung: $\dot{n}(\text{NH}_{3,\text{stoch}}) = \dot{n}(\text{NO})$, $\dot{m}(\text{NH}_{3,\text{real}}) = 0,9 \cdot \dot{n}(\text{NH}_3) \cdot M(\text{NH}_3) = 700 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 0,9 \cdot 50 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \cdot 14 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} = 630 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$	3

4.3 Steuerung für eine Tiefgarage

4.3.1

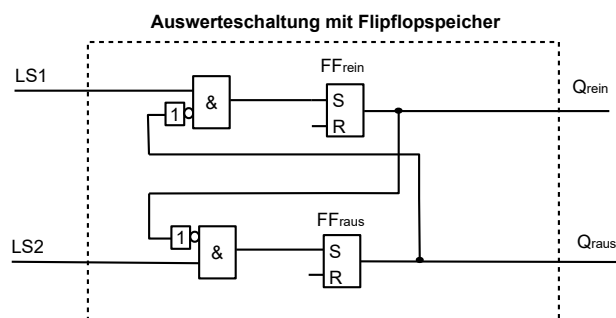


3

4.3.2 Zur eindeutigen Fahrtrichtungserkennung müsste die zeitliche Reihenfolge der Signalimpulse Q_{rein} und Q_{raus} berücksichtigt werden. Das ist z.B. durch die Speicherung der Impulsreihenfolge möglich. Tritt z.B. ein Impuls an Q_{rein} vor dem Impuls an Q_{raus} auf, liegt eine Einfahrt vor. Nach dem Verlassen des Lichtschrankenbereichs müssen die Speicher zurückgesetzt werden.

1

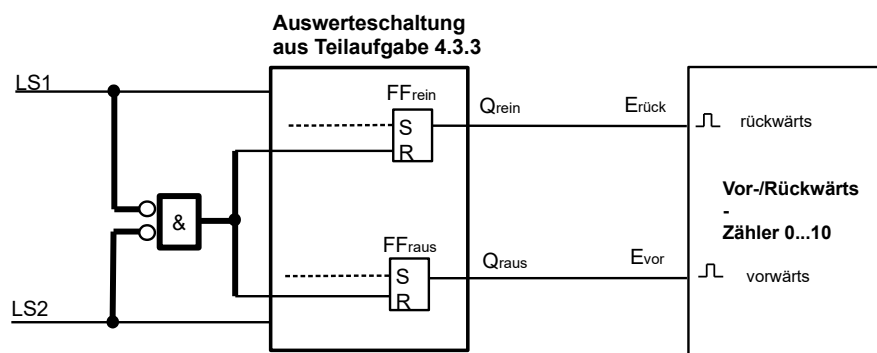
4.3.3



2

4.3.4

4.3.5



2

4.3.6 Einfahrt: (LS1, LS2, LS3) Ausfahrt: (LS1, LS2, LS3)

2

(0 , 0 , 0)	(0 , 0 , 0)
(1 , 0 , 0)	(0 , 0 , 1)
(1 , 1 , 0)	(0 , 1 , 1)
(1 , 1 , 1)	(1 , 1 , 1)
(0 , 1 , 1)	(1 , 1 , 0)
(0 , 0 , 1)	(1 , 0 , 0)
(0 , 0 , 0)	(0 , 0 , 0)

Die bei einer Ein- oder Ausfahrt auftretenden Eingangskombinationen sind identisch, d.h. es gibt z.B. keine Eingangskombination, die nur bei der Einfahrt auftritt.

30

TG Umwelttechnik

Abitur 2016/2017

Hauptprüfung

Lösungsvorschlag

Arbeitszeit: 270 Minuten
Hilfsmittel: Formelsammlung Umwelttechnik
Zugelassener Taschenrechner

Stoffgebiet

Teil 1: Pflichtbereich

Aufgabe 1: Laufwasserkraftwerk (4 Seiten)
Photovoltaik

Aufgabe 2: Solarthermie (4 Seiten)
Kontrollierte Wohnraumlüftung
Gebäudehülle

Teil 2: Wahlbereich

Aufgabe 3: Paralleles Hybridfahrzeug (3 Seiten)
Abgasreinigung

Aufgabe 4: Energieversorgung (4 Seiten)
Wärmekraftwerk
Steuerungstechnik

1 Pflichtaufgabe zu Wasserkraft, Photovoltaik

Punkte

1.1 Laufwasserkraftwerk

1.1.1 Der Abfluss (Volumenstrom) des Flusses wird kontinuierlich erfasst. Dadurch erhält man die Abflussganglinie (Jahresganglinie) für den Abfluss eines Jahres. Ordnet man die Abflusswerte nach der Größe, erhält man die Abflussdauerlinie (Jahresdauerlinie). Abflussdauerlinien werden über mehrere Jahre ermittelt.

2

1.1.2 An ca. 120 Tagen (Schnittpunkt zwischen Abflussdauerlinie und Ausbauabfluss).

1

$$1.1.3 \quad P_{el} = \dot{V} \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot \eta_{ges} = 13 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 7,5 \text{ m} \cdot 0,73 = 698,2 \text{ kW}$$

2

1.1.4 Rechen, Turbine, Generator, Transformator, Reibungsverluste in den Zu- und Ablaufleitungen der Turbine, normierter Abfluss, Höhendifferenz.
Bei mehreren Turbinen: Betriebsweise.

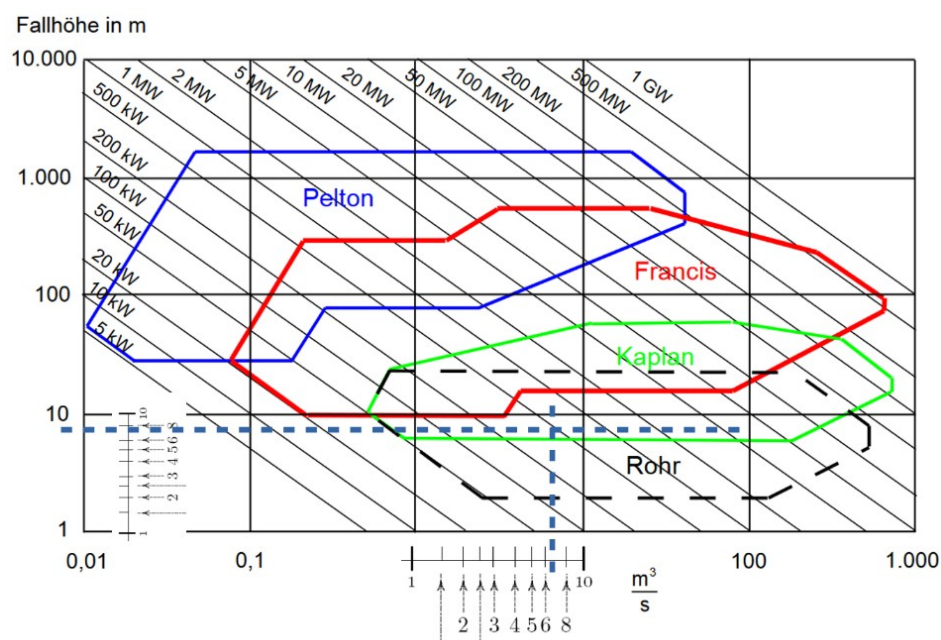
2

1.1.5 Der Pegelstand des Oberwassers kann nur bis zum Stauziel ansteigen. Der Pegelstand des Unterwassers steigt aber immer mehr an. Dadurch nimmt die Fallhöhe zunehmend ab.
Oberhalb des Ausbauabflusses geht ein Teil des Wassers ungenutzt über das Wehr. Die Leistung steigt bis zum Erreichen des Ausbauabflusses an, danach fällt sie auf Grund der kleiner werdenden Fallhöhe ab.

2

1.1.6 Bei zwei Turbinen beträgt der Abfluss jeweils $6,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Bei einer Fallhöhe von $7,5 \text{ m}$ ist nach dem Diagramm sowohl die Kaplan- als auch die Rohrturbine geeignet. Die Kaplan-turbine arbeitet aber am unteren Rand ihrer Fallhöhe. Die Rohrturbine kann mit kleineren Fallhöhen umgehen und eignet sich daher in diesem Fall besser.

3



1.2 Photovoltaik

1.2.1 Aufstellung der Module: hochkant

Je Dachhälfte 12 Module

Insgesamt: 24 Module

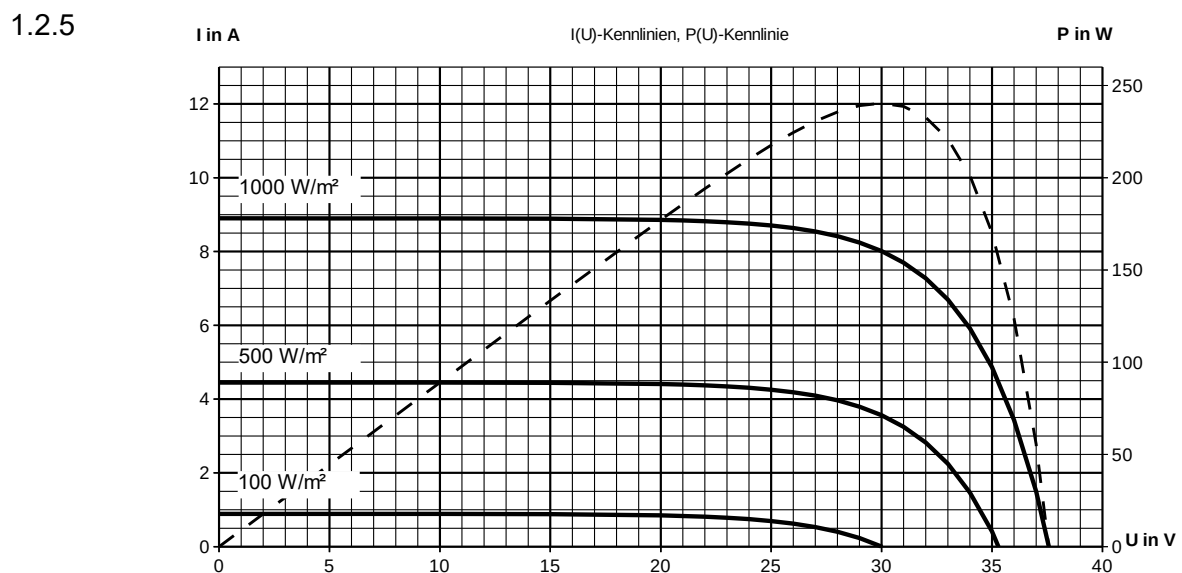
1.2.2 Durch die Ost-West-Ausrichtung des Geräteschuppens erhalten die beiden Dachhälften unterschiedliche Sonneneinstrahlung im Tagesverlauf. Damit gibt es unterschiedliche MPP, sodass für jede Dachhälfte ein eigener MPP-Tracker notwendig ist, um die maximale Leistung der PV-Anlage zu entnehmen.

1.2.3 Strang: $U = 12 \cdot U_{MPP} = 12 \cdot 30 \text{ V} = 360 \text{ V}$ $I = I_{MPP} = 8,0 \text{ A}$

Anlage: $P_N = 24 \cdot P_{MPP} = 24 \cdot 240 \text{ W} = 5760 \text{ W}$

1.2.4

U in V	0	25	29	30	31	32	35	36	37,5
I in A	8,9	8,7	8,2	8,0	7,7	7,3	4,9	3	0
P in W	0	217,5	237,8	240	238,7	233,6	171,5	108	0



1.2.6 Bei einer Sonnenstrahlung von $P_{\text{tot}} = 500 \text{ W/m}^2$ liegt der MPP bei $P_{MPP} = 112 \text{ W}$.

$$\rightarrow I_{MPP} = P_{MPP} / U_{MPP} = 112 \text{ W} / 28 \text{ V} = 4 \text{ A}$$

Der Kurzschlussstrom liegt bei dem halben Wert der STC: $I_{SC500} = 4,45 \text{ A}$

Die STC- Kennlinie verschiebt sich an jedem Punkt um 4,45 A nach unten

Abgelesen: $U_{OC500} = 35,3 \text{ V}$

1.2.7	$\eta_{PV} = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} = \frac{P_{N500}}{P_{tot} \cdot A_{PV}} = \frac{24 \cdot 112 W}{500 \frac{W}{m^2} \cdot 24 \cdot 1,6 m \cdot 1 m} = 0,14$	2
1.2.8	Der Jahresertrag errechnet sich nach folgender Formel (FOSA S. 27): $W_{Jahr-ideal} = A_{PV} \cdot H_{h-Jahr} \cdot k_{\alpha,\beta} \cdot \eta_{PV}$ Bis auf den Korrekturfaktor $k_{\alpha,\beta}$ bleiben alle Werte gleich, wenn die PV-Anlage in Richtung Süden ausgerichtet ist. Südausrichtung: $k_{\alpha,\beta \text{ Süd}} = k_{opt} = 1,17$ Ost-Westausrichtung: $k_{\alpha,\beta \text{ OW}} = 0,94$ (Werte aus FOSA S. 27) $\frac{k_{opt}}{k_{\alpha,\beta \text{ OW}}} = \frac{1,17}{0,94} = 1,245$ Der Jahresertrag der PV-Anlage in Südausrichtung ist um den Faktor 1,245 höher als in Ost-West-Ausrichtung.	2
1.2.9	Eigenverbrauch, Speicherung der elektrischen Energie	1
1.2.10	Wenn der MPP-Tracker den Arbeitspunkt aus dem Maximum Power Point schiebt wird der Anlage weniger Leistung entnommen.	1
1.2.11	$\text{Verluste} = 1000 \frac{kWh}{kWp} \cdot 5,76 kW \cdot 0,1231 \frac{\text{Euro}}{kWh} \cdot 0,05 = 35,45 \text{ Euro}$	1
		30

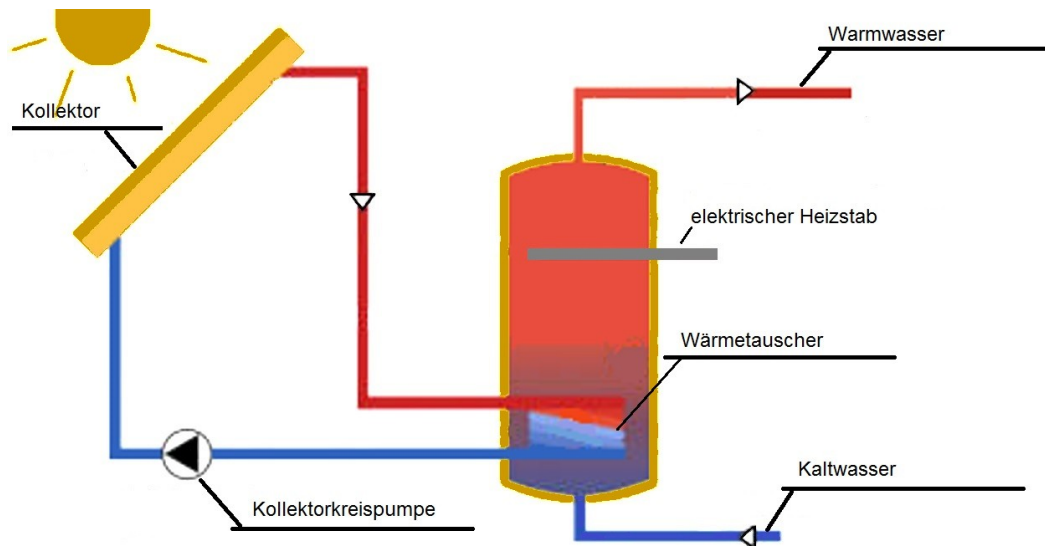
2 Pflichtaufgaben zu Solarthermie, kontrollierter Wohnraumlüftung und Gebäudehülle

Punkte

2.1 Solarthermie

2.1.1 Aufbau solarthermische Anlage

3



2.1.2 Flachkollektoren haben aufgrund ihrer geringeren optischen Verluste bis zu einer Temperaturdifferenz zwischen Umgebung und Kollektor von ca. 30 K einen höheren Wirkungsgrad als Vakuumröhrenkollektoren. Erst über einer Temperaturdifferenz von 30 K weisen die Vakuumröhrenkollektoren aufgrund ihrer besseren Wärmedämmung einen höheren Wirkungsgrad auf als die Flachkollektoren. Flachkollektoren sind deutlich günstiger in der Anschaffung.

2

2.1.3 Flachkollektor, Begründung: Günstig in der Anschaffung, hoher optischer Wirkungsgrad, für Warmwasserbereitung ohne Heizungsunterstützung ausreichend. Andere Lösungen können bei passender Erklärung ebenfalls als richtig bewertet werden.

1

2.1.4 Punkt A: Hier gibt es keine Temperaturdifferenz zwischen Umgebung und Kollektor, es gibt keine thermischen Verluste.

2

Punkt B: Wird bei maximaler solarer Einstrahlung erreicht. Die Temperaturdifferenz zwischen Umgebung und Kollektor liegt bei ca. 145 K. Der Wirkungsgrad sinkt auf 0 %, da hier eine zu hohe Anlagentemperatur erreicht wird, schaltet die Anlage ab.

2.1.5 Belastungen:

2

Hohe Temperatur führt zu hohem Druck, der die Anlagenbauteile beschädigen kann.

Hohe Temperatur führt zu Zersetzung/Alterung des Frostschutzmittels (Glykol) in der Solarflüssigkeit.

2.1.6 Speichergröße

3

$$V_{\text{WW}, 40^\circ\text{C}} = 33 \text{ Pers} \cdot 6 \frac{\text{L}}{\text{Pers} \cdot \text{d}} \cdot 2 \text{ d} = 396 \text{ L} \Rightarrow m_{40} = 396 \text{ kg}$$

$$\Delta T_{40} = 40^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C} = 30 \text{ K}$$

$$Q_{40} = m_{40} \cdot c \cdot \Delta T_{40} = 396 \text{ kg} \cdot 1,16 \frac{\text{Wh}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 30 \text{ K} = 13780,8 \text{ Wh}$$

$$\Delta T_{60} = 60^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C} = 50 \text{ K} \quad Q_{60} = Q_{40} = m_{60} \cdot c \cdot \Delta T_{60}$$

$$m_{60} = \frac{Q_{40}}{c \cdot \Delta T_{60}} = \frac{13780,8 \text{ Wh}}{1,16 \frac{\text{Wh}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 50 \text{ K}} = 237,6 \text{ kg} \Rightarrow V_{\text{Sp}, 60^\circ\text{C}} = 237,6 \text{ L}$$

2.1.7 Erforderliche Kollektorfläche A_K

2

$$V = 300 \text{ L} \rightarrow m = 300 \text{ kg}$$

$$Q_{\text{min}} = m \cdot c \cdot \Delta T = 300 \text{ kg} \cdot 1,16 \frac{\text{Wh}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 50 \text{ K} = 17400 \text{ Wh} = 17,4 \text{ kWh}$$

$$q_{\text{d}, \text{max}} = 4,6 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}, \quad f = 1,0 \text{ ablesen aus Diagramm und Tabelle}$$

$$A_K = \frac{Q_{\text{min}} \cdot f}{q_{\text{d}} \cdot \eta_{\text{Anl}}} = \frac{17,4 \text{ kWh} \cdot 1,0}{4,6 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{d}} \cdot 0,55} = 6,88 \text{ m}^2$$

2.2 Kontrollierte Wohnraumlüftung

2.2.1 Wegen der innen liegenden Toilettenräume ist keine Fensterlüftung möglich. Eine mechanische Lüftung ist daher zwingend erforderlich.

1

2.2.2 Raumvolumen $V_{\text{Raum}} = 72 \text{ m}^2 \cdot 2,5 \text{ m} = 180 \text{ m}^3$

2

$$\text{Außenluftvolumenstrom: } \dot{V}_{\text{AUL}} = \beta \cdot V_{\text{Raum}} = 4 \frac{1}{\text{h}} \cdot 180 \text{ m}^3 = 720 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

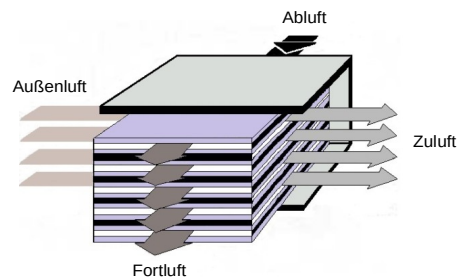
Aber: erforderliche Außenlufrate = $30 \text{ m}^3/(\text{Person} \cdot \text{h})$

$$\text{Bei 33 Personen: } 30 \frac{\text{m}^3}{\text{h} \cdot \text{Pers}} \cdot 33 \text{ Pers} = 990 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Bewertung: Der Außenluftvolumenstrom ist um $990 \text{ m}^3/\text{h} - 720 \text{ m}^3/\text{h} = 270 \text{ m}^3/\text{h}$ (ca. 25 %) zu gering.

- 2.2.3 Die verbrauchte Raumluft wird als Abluft in den Kreuzwärmetauscher geleitet, darin abgekühlt und als kalte Fortluft nach außen geleitet.

Die kalte Außenluft wird im Wärmetauscher erwärmt und als Zuluft in die Räume geleitet. Die Luftströme werden durch dünne Platten getrennt, so dass ein Wärme- jedoch kein Stoffaustausch erfolgen kann. Durch die Anordnung der Öffnungen des Plattenwärmetauschers wird ein Kreuzstrom der Luftströme erzwungen.



2

- 2.2.4 Zulufttemperatur: $\vartheta_{zu} = 13^\circ\text{C}$

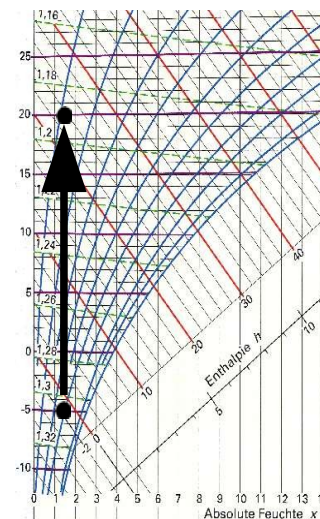
Außenlufttemperatur $\vartheta_{au} = -5^\circ\text{C}$

Relative Feuchte $\phi_{au} = 60\%$,

Ablesen aus Diagramm: $\phi_i = 11\%$

Die Luft ist in diesem Zustand unbehaglich trocken.

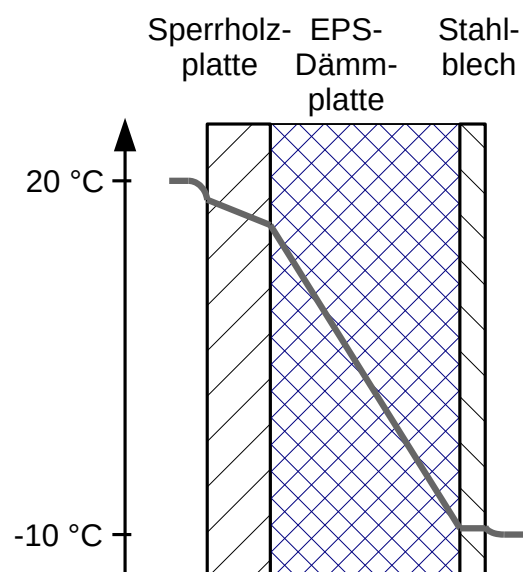
Mögliche Konsequenz: Dadurch kann es zum Austrocknen der Schleimhäute kommen.



2

2.3 Gebäudehülle

- 2.3.1 Hinweis zum Temperaturverlauf: Die Temperatur im Stahlblech verläuft nahezu komplett waagrecht; der Temperaturverlauf über die Sperrholzplatte hat ungefähr ein Drittel der Steigung wie über die Dämmung.



2

- 2.3.2 Bestimmung der Taupunkttemperatur mit dem h,x-Diagramm (Punkt 20 °C / 65 %, senkrecht nach unten): $\vartheta_T = 13,5 \text{ °C}$

4

Sobald diese Innenwandtemperatur ϑ_{si} erreicht wird, fällt Tauwasser aus.

$$\vartheta_{si} = \vartheta_i - \frac{\Delta T}{R_T} \cdot R_{si} = \vartheta_i - \frac{\vartheta_i - \vartheta_e}{R_T} \cdot R_{si} \quad \text{Gesuchte Größe: } \vartheta_e$$

$$R_T = R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + R_{se}$$

$$R_T = 0,13 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} + \frac{0,01 \text{ m}}{0,13 \frac{\text{W}}{\text{mK}}} + \frac{0,03 \text{ m}}{0,05 \frac{\text{W}}{\text{mK}}} + \frac{0,004 \text{ m}}{50 \frac{\text{W}}{\text{mK}}} + 0,043 \text{ m}^2\text{K} = 0,85 \text{ m}^2\text{K}$$

$$\Delta T = \left(\frac{\vartheta_i - \vartheta_{si}}{R_{si}} \right) \cdot R_T = \left(\frac{20 \text{ °C} - 13,5 \text{ °C}}{0,13 \text{ m}^2\text{K}} \right) \cdot 0,85 \text{ m}^2\text{K} = 42,5 \text{ K}$$

$$\vartheta_e = \vartheta_i - \Delta T = -22 \text{ °C}$$

- 2.3.3 Keine massigen Außenwände, sondern leichte Containerwände
 ==> keine Wärmespeicherfähigkeit der Wände
 ==> starke Aufheizung der Innenräume („Barackenklima“)

2

30

3 Wahlaufgabe Paralleles Hybridfahrzeug und Abgasreinigung	Punkte
3.1 Paralleles Hybridfahrzeug	
3.1.1 Maximale Motorleistung: $P_{\max} = 150 \text{ kW @ } n = 4150 \text{ min}^{-1}$ Motorleistung im Verbrauchsoptimum: $P_{\text{opt}} \approx 40 \text{ kW}$	2
3.1.2 Gewählt: Punkt maximaler Motorleistung Aus der Volllastkennlinie abgelesen: $n = 4150 \text{ min}^{-1}$ $M = 345 \text{ Nm}$ Leistung berechnet: $P = \omega \cdot M = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot M = 2 \cdot \pi \cdot \frac{4150}{60} \text{ s}^{-1} \cdot 345 \text{ Nm} = 150 \text{ kW}$ (Die aus der Volllastkennlinie berechnete Leistung stimmt mit der abgelesenen überein. Volllastkennlinie und Leistungsverlauf passen also zueinander.)	2
3.1.3 Die Konstantleistungshyperbeln sind einfach Punkte im M-n-Diagramm, für die die Gleichung gilt $P = \omega \cdot M = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot M = \text{konst} \rightarrow M = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot n}$. Diese Hyperbelgleichungen beschreiben nicht einen bestimmten Motor – sie sind also bei verschiedenen Motoren gleich. Der Schnittpunkt von Volllastkennlinie und Leistungsverlauf hat keine Bedeutung, da die y-Achsen beider Graphen verschiedene Einheiten tragen.	2
3.1.4 Für 10 kW Antriebsleistung bei einer Fahrgeschwindigkeit von 100 km/h ist der 6. Gang optimal.	2
3.1.5 Aus dem Diagramm lässt sich für 100 km/h im 6. Gang $n = 2000 \text{ min}^{-1}$ ablesen. Eine Vertikale bei $n = 2000 \text{ min}^{-1}$ schneidet die 10 kW-Hyperbel bei einem spezifischen Verbrauch von ca. 350 g/kWh. 100 km werden in 1 h zurückgelegt. Die während einer Stunde verrichtete Arbeit beträgt $W = P \cdot t = 10 \text{ kW} \cdot 1 \text{ h} = 10 \text{ kWh}$.	3
Der Verbrauch in kg/100km beträgt: $\text{Verbrauch} = \frac{10 \text{ kWh} \cdot 0,35 \frac{\text{kg}}{\text{kWh}}}{100 \text{ km}} = 3,5 \frac{\text{kg}}{100 \text{ km}}$ Der Verbrauch in L/100km beträgt: $\text{Verbrauch} = \frac{3,5 \frac{\text{kg}}{100 \text{ km}}}{0,82 \frac{\text{kg}}{\text{L}}} = 4,27 \frac{\text{L}}{100 \text{ km}}$	
3.1.6 Der Lastpunkt sollte bei $n = 2000 \text{ min}^{-1}$ von der 10 kW- zur 50 kW-Hyperbel verschoben werden. Dann sinkt der spezifische Verbrauch von ca. 350 g/kWh auf 215 g/kWh. Dazu wird die elektrische Maschine als Generator betrieben, der eine zusätzliche Last von 40 kW darstellt.	2
3.1.7 Der Akkumulator wird mit 40 kW aufgeladen. Er ist nach $t = \frac{W}{P} = \frac{4 \text{ kWh}}{40 \text{ kW}} = 0,1 \text{ h}$ voll. Die dabei zurückgelegte Strecke beträgt $s = v \cdot t = 100 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot 0,1 \text{ h} = 10 \text{ km}$. Dabei beträgt der Verbrauch $\text{Verbrauch} = 50 \text{ kW} \cdot 0,1 \text{ h} \cdot 0,215 \frac{\text{kg}}{\text{kWh}} = 1,075 \text{ kg}$	3

Dabei beträgt der Verbrauch in L: $\text{Verbrauch} = \frac{1,075 \text{ kg}}{0,82 \frac{\text{kg}}{\text{L}}} = 1,31 \text{ L}$

3.1.8 Der Akkumulator wird also mit 10 kW entladen.

Er ist nach $t = \frac{W}{P} = \frac{4 \text{ kWh}}{10 \text{ kW}} = 0,4 \text{ h}$ leer.

Die dabei zurückgelegte Strecke beträgt $s = v \cdot t = 100 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot 0,4 \text{ h} = 40 \text{ km}$.

Dabei wird kein Kraftstoff verbraucht.

3.1.9 Nach der folgenden Zyklenabfolge sind 100 km zurückgelegt:

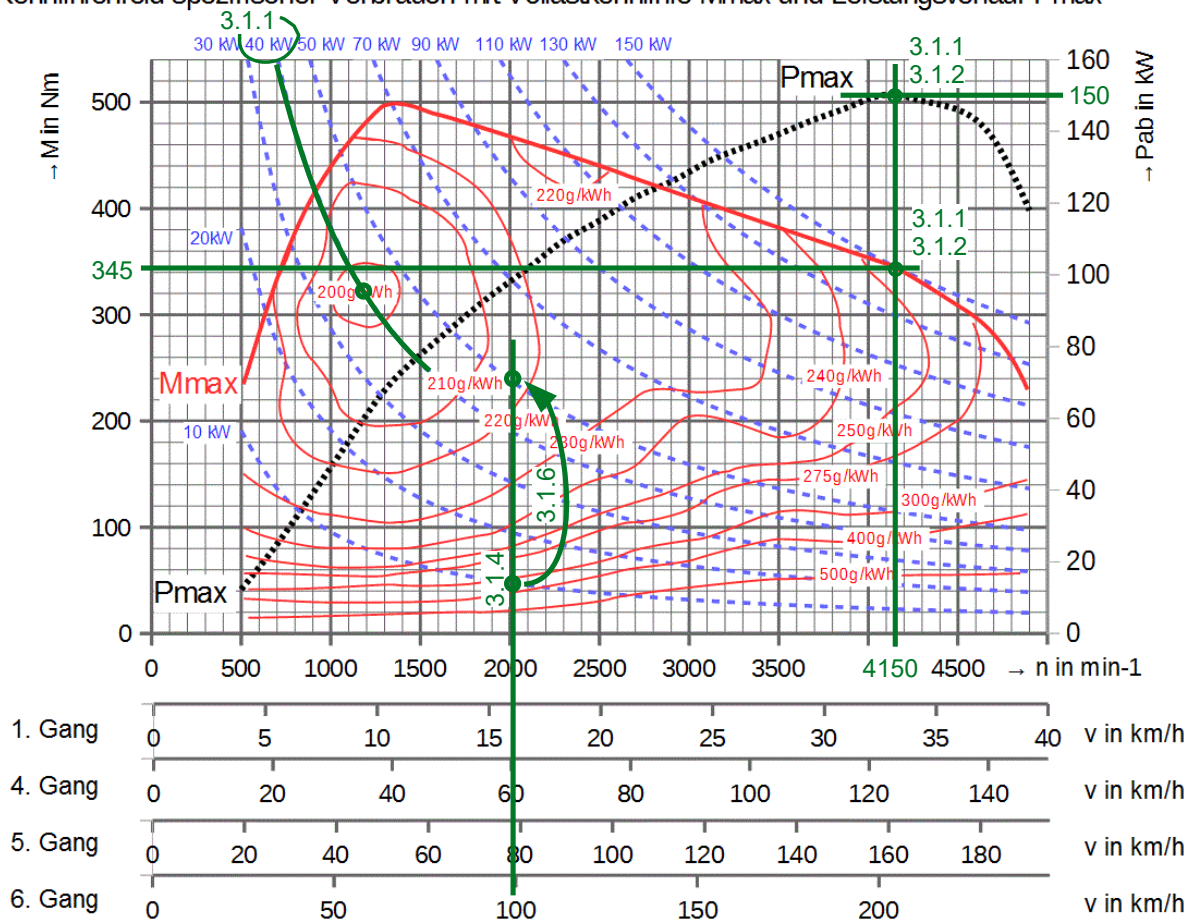
„Lastpunktverschiebung“ $t = \frac{W}{P} = \frac{4 \text{ kWh}}{40 \text{ kW}} = 0,1 \text{ h}$ (10 km) → „Segeln“ (40 km)

→ „Lastpunktverschiebung“ (10 km) → „Segeln“ (40 km)

Dabei werden $2 \times 1,31 \text{ L} = 2,62 \text{ L}$ verbraucht.

Der Verbrauch in L/100km beträgt also $\text{Verbrauch} = \frac{2,62 \text{ L}}{100 \text{ km}}$

Kennlinienfeld spezifischer Verbrauch mit Vollastkennlinie M_{max} und Leistungsverlauf P_{max}



3.2 Abgasreinigung

- | | | |
|-------|--|---|
| 3.2.1 | Mögliche Antworten: Stickstoffoxide: NO ₂ wirkt als Reizgas und kann Herz-Kreislaufkrankungen verursachen, Stickstoffoxide sind Vorläufersubstanzen für bodennahes Ozon (Reizgas) und Mitverursacher des sauren Regens. Feinstaub ist lungengängig, kann die inneren Organe schädigen und verursacht Atemwegserkrankungen. Dieselruß ist krebserregend. | 2 |
| 3.2.2 | Stickoxide werden bevorzugt bei hohen Verbrennungsmotoren gebildet (thermisches NO). Durch Absenkung der Temperatur können die Emissionen gesenkt werden. | 1 |
| 3.2.3 | Bei zu niedrigen Verbrennungstemperaturen wird die Verbrennung unvollständig, die Rußemissionen steigen. Andere mögliche Antworten: Bei zu niedrigen Temperaturen sinkt der Wirkungsgrad des Motors; bei sehr niedrigen Temperaturen kann die Selbstzündung nicht ablaufen. | 2 |
| 3.2.4 | $4\text{NH}_3 + 4\text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow 4\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$, auch möglich: $4\text{NH}_3 + 6\text{NO} \rightarrow 5\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ | 1 |
| 3.2.5 | Zu Beginn einer Fahrt reichen die Temperaturen im Abgassystem nicht aus. Die ablaufenden Reaktionen im Katalysator benötigen eine gewisse Mindesttemperatur. Der Katalysator sollte möglichst nahe am Motor eingebaut werden. | 2 |
| 3.2.6 | Der Dieselmotor wird mit sehr großem Luftüberschuss betrieben. Die Luftverhältniszahl λ ist 1,5 (oder auch sehr viel höher). Die Konversionsrate für Stickstoffoxide ist in diesem Bereich nahe 0. | 2 |

 30

4 Wahlaufgaben zu Energieversorgung und Wärmekraftwerk

Punkte

4.1 Energieversorgung

- 4.1.1 Die Energieeffizienz ist bei der gekoppelte Wärme- und Stromerzeugung (System 2) größer, die Verluste sind deutlich geringer. Bei der getrennten Wärme- und Stromerzeugung (System 1) führen die Wärmeübertragungsverluste zu großen Wirkungsgradeinbußen.

3

Bei der gekoppelten Wärme- und Stromerzeugung wird das „Abfallprodukt“ Wärme des Kraftwerks zum Heizen eingesetzt, dadurch geht weniger Energie verloren, d.h. der Wirkungsgrad ist größer.

- 4.1.2 Der Heizbedarf und damit der Wärmebedarf eines Einfamilienhauses unterliegt starken jahreszeitabhängigen Schwankungen, der Stromverbrauch hingegen ist relativ konstant. Dies führt gerade im Sommer zu einer großen Diskrepanz zwischen Wärme- und Strombedarf. Wirtschaftlich und auch ökologisch arbeitet eine gekoppelte Wärme- und Stromerzeugung nur, wenn beides über das ganze Jahr gleichmäßig benötigt wird.

2

4.2 Wärmekraftwerk

- 4.2.1 s. Diagramm in Aufgabe 4.2.4, nur Teilstücke $1' \rightarrow 2$, $2 \rightarrow 3$, $3 \rightarrow 4$

3

$1' \rightarrow 2$ Erwärmen des Wassers (flüssig) auf Siedetemperatur

$2 \rightarrow 3$ Verdampfen des Wassers

$3 \rightarrow 4$ Überhitzen des Dampfes

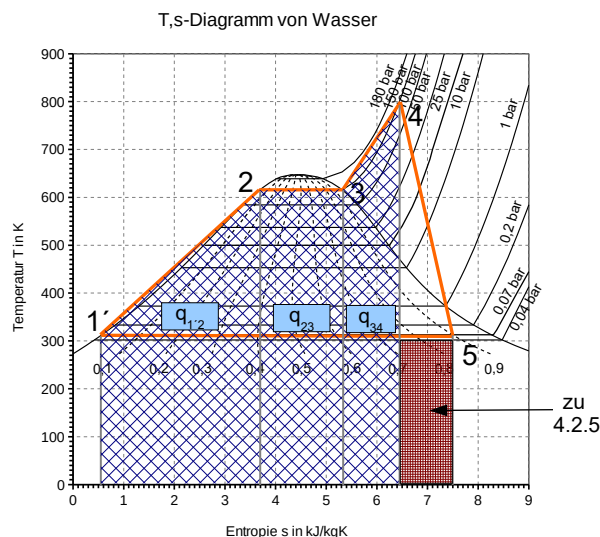
- 4.2.2 $q_{ab} = (s_1 - s_5) \cdot T_{51}$
- $$s_5 = s_1 - \frac{q_{ab}}{T_{51}} = 0,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} - \frac{-2170 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{315 \text{ K}} = 7,49 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

3

Werte für s_1 und T_{51} aus T,s-Diagramm bei 0,07 bar,
Vervollständigung Kreisprozess siehe 4.2.4

- 4.2.3 Der aus der Turbine austretende Wasserdampf besitzt eine Temperatur von ca. 315 K (42 °C) und ist damit zu kühl, um noch sinnvoll für die Fernwärmeversorgung genutzt zu werden.

2

4.2.4

4

$$q_{zu} = (s_2 - s_1) \cdot \left(\frac{T_2 + T_1}{2} \right) + (s_3 - s_2) \cdot T_{23} + (s_4 - s_3) \cdot \left(\frac{T_4 + T_3}{2} \right)$$

$$q_{zu} = \left(3,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} - 0,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \right) \cdot \left(\frac{620 \text{ K} + 315 \text{ K}}{2} \right) + \left(5,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} - 3,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \right) \cdot 620 \text{ K} \\ + \left(6,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} - 5,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \right) \cdot \left(\frac{800 \text{ K} + 620 \text{ K}}{2} \right) = 3284,25 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\eta_{th} = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}} = \frac{q_{zu} - q_{ab}}{q_{zu}} \quad \eta_{th} = \frac{3284,25 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 2170 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{3284,25 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 0,34 = 34 \%$$

4.2.5 Verluste durch Verwirbelungen, Kennzeichnung siehe 4.2.4

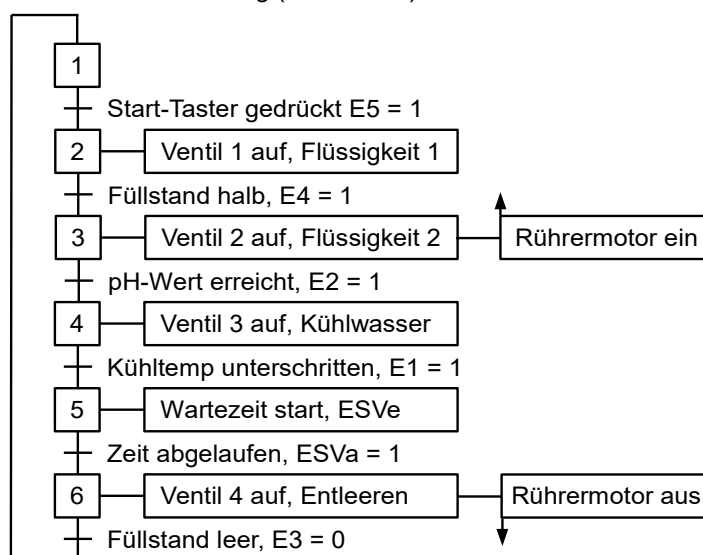
2

4.3 Steuerungstechnik

4.3.1

6

GRAFCET-Darstellung (vereinfacht)

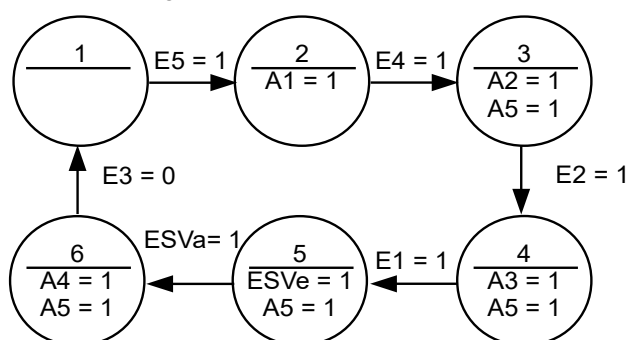


ESV = Einschaltverzögerung

ESVe = ESV-Eingang

ESVa = ESV-Ausgang

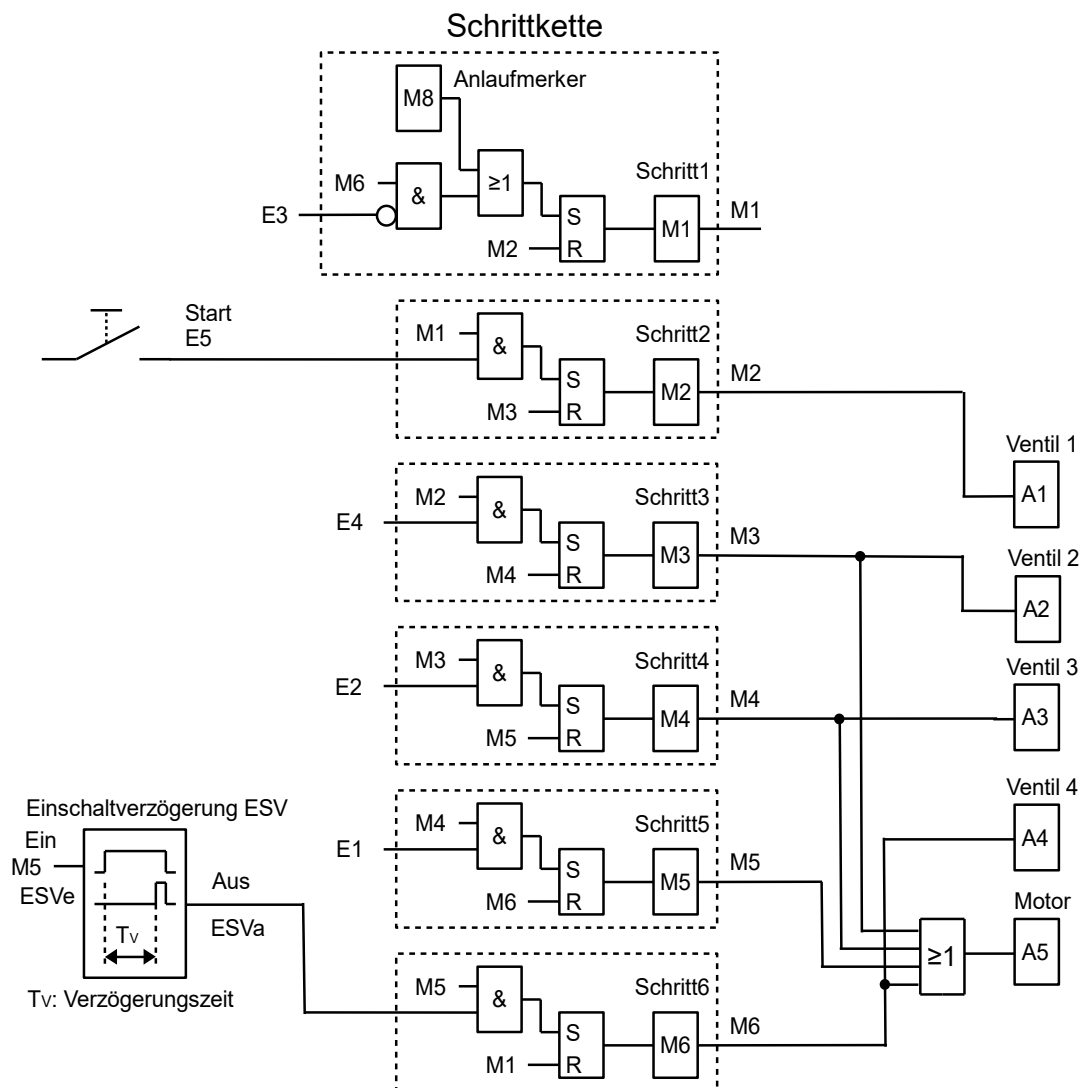
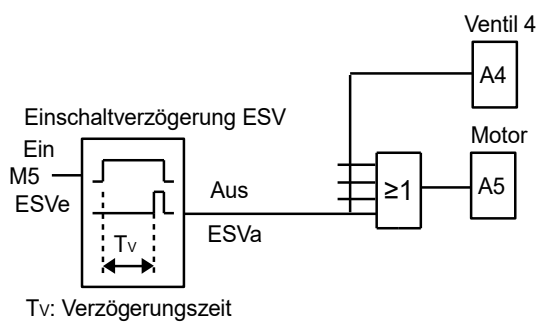
Zustandsdiagramm



Alle in den Zuständen nicht angegebenen Ausgänge sind 0.

4.3.2

4

Alternative ohne Schritt 6Alternative Ansteuerung
des Motors

TG Umwelttechnik

2016/2017

Übungsaufgabe

Lösungsvorschlag

Arbeitszeit: 270 Minuten
Hilfsmittel: Formelsammlung Umwelttechnik
Zugelassener Taschenrechner

Stoffgebiet

Teil 1: Pflichtbereich

Aufgabe 1: Photovoltaik (3 Seiten)
Elektromobilität

Aufgabe 2: Wärme erzeugen (3 Seiten)
Abgasreinigung
Gebäudehülle

Teil 2: Wahlbereich

Aufgabe 3: Wasserkraft (3 Seiten)
Wärmeleistungwerke

Aufgabe 4: Blockheizkraftwerk (4 Seiten)
Trink- und Abwasser
Regelungstechnik

1 Pflichtaufgaben zur Elektromobilität, Photovoltaik	Punkte
1.1 PV-Inselanlage	
1.1.1 Funktionen des Wechselrichters und des Ladegerätes: Wechselrichter: Spannungsumsetzung von kleiner Gleichspannung auf große Wechselspannung MPP-Tracking um maximale Leistung der Solarzellen auszunutzen. Ladegerät: Spannungsumsetzung von großer Wechselspannung auf kleine Gleichspannung Überladeschutz, Strom- und Spannungsanpassung für optimalen Ladevorgang	2
1.1.2 Lithium-Ionen-Akku: $\text{Energiedichte}_{\text{Akku}} = \frac{51 \text{ V} \cdot 29 \text{ Ah}}{10 \text{ kg}} = 147,9 \frac{\text{Wh}}{\text{kg}} = 0,148 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}$ $\text{Dieselkraftstoff: Energiedichte}_{\text{Diesel}} = \frac{\text{Heizwert}}{\text{Dichte}} = 10 \frac{\text{kWh}}{\text{L}} \cdot \frac{\text{L}}{0,83 \text{ kg}} = 12,05 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}$ Die Energiedichte von Diesel ist ca. 80 x größer als die des Lithium-Ionen-Akkus, daher sind Akkus verglichen mit Dieseltanks, welche die gleiche Energiemenge beinhalten viel größer und schwerer.	2
1.1.3 Von PV-Modulen zu liefernde Energiemenge für Akku-Aufladung 40 % bis 100 %: $W = \frac{51 \text{ V} \cdot 29 \text{ Ah} \cdot 0,6}{0,9 \cdot 0,92} = 1,072 \text{ kWh}$	2
1.1.4 $W_{\text{Tag}} = P_{\text{Nenn}} \cdot \frac{H_h}{1 \text{ kW/m}^2} \cdot K_{\alpha, \beta} \rightarrow P_{\text{Nenn}} = \frac{W_{\text{Tag}} \cdot 1 \text{ kW/m}^2}{H_h \cdot K_{\alpha, \beta}}$ $P_{\text{Nenn}} = \frac{1070 \text{ Wh} \cdot 1 \text{ kW/m}^2}{3,56 \text{ kWh/m}^2 \cdot 1,15} = 261,4 \text{ W}$	3
1.1.5 Für ca. 270 W Anlagenleistung werden 2 Module mit jeweils 150 W benötigt → 300 W Die Module liefern maximal 22,3 V, die maximale Eingangsspannung des Wechselrichter beträgt laut Blockschaltbild 25 V → Parallelschaltung der 2 Module.	2
1.1.6 Vom Ladegerät zu liefernde Energiemenge für Akku-Aufladung 40 % bis 100 %: $W = \frac{51 \text{ V} \cdot 29 \text{ Ah} \cdot 0,6}{0,92} = 964,6 \text{ Wh}$	1
1.1.7 $\frac{630 \text{ €}}{0,30 \text{ €/kWh}} = 2100 \text{ kWh}$ sind notwendig bis zur Amortisation $\frac{2100 \text{ kWh}}{0,965 \text{ kWh}} = 2176 \text{ Ladungen}$ (≙ ca. 22 Jahre bei 100 Arbeitstagen April bis September)	3
1.1.8 $P_{\text{Akku}} = 51 \text{ V} \cdot 3 \text{ A} = 153 \text{ W} \rightarrow P_{\text{PV}} = \frac{153 \text{ W}}{0,92 \cdot 0,9} = 184,8 \text{ W}$ $I_{\text{PV}} = \frac{P_{\text{PV}}}{U_{\text{PV}}} = \frac{184,8 \text{ W}}{17,8 \text{ V}} = 10,4 \text{ A}$	2

$$1.1.9 \quad P_{\text{Sonne}} = \frac{P_{\text{PV}}}{\eta} = \frac{10,4 \text{ A} \cdot 17,8 \text{ V}}{0,167} = 1108,5 \text{ W}$$

$$P_{\text{Sonne}} = E \cdot \text{Fläche}_{\text{PV}}$$

$$E = \frac{P_{\text{sonne}}}{\text{Fläche}_{\text{PV}}} = \frac{1108,5 \text{ W}}{0,67 \cdot 1,34 \cdot 2} = 617,3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad \text{Notwendige Mindesteinstrahlung}$$

1.2 Elektroroller

1.2.1 Die Kommutierung erfolgt elektronisch. Daher sind keine Schleifringe und Bürsten erforderlich. Der Motor ist direkt in der Radnabe verbaut.

$$1.2.2 \quad t = \frac{s}{v} = \frac{36 \text{ km}}{45 \text{ km/h}} = 0,8 \text{ h}$$

$$P_{\text{elektr}} = \frac{W}{t} = \frac{51 \text{ V} \cdot 29 \text{ Ah}}{0,8} = 1,85 \text{ kW}$$

$$P_{\text{mech}} = \eta \cdot P_{\text{elekt}} = 1,48 \text{ kW}$$

$$1.2.3 \quad P_{\text{mech}} = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot M = 2 \cdot \pi \cdot \frac{v}{U} \cdot M \quad U = 2 \cdot \pi \cdot r = 0,9425 \text{ m}$$

$$M = \frac{P_{\text{mech}} \cdot U}{2 \cdot \pi \cdot v} = \frac{1,48 \text{ kW} \cdot 0,9425 \text{ m}}{2 \cdot \pi \cdot 45 \cdot \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}}} = 17,8 \text{ Nm}$$

$$1.2.4 \quad M_{30} = F \cdot r = 64,4 \text{ N} \cdot 0,15 \text{ m} = 9,66 \text{ Nm} \quad (\text{Drehmoment bei } 30 \text{ km/h})$$

$$I_{45} = \frac{Q}{t_{45}} = \frac{29 \text{ Ah}}{0,8 \text{ h}} = 36,25 \text{ A} \quad (\text{Strom bei } 45 \text{ km/h})$$

$$\frac{M_{30}}{I_{30}} = \frac{M_{45}}{I_{45}} \rightarrow I_{30} = M_{30} \cdot \frac{I_{45}}{M_{45}} = 9,66 \text{ Nm} \cdot \frac{36,25 \text{ A}}{17,8 \text{ Nm}} = 19,7 \text{ A}$$

$$P_{\text{elekt } 30} = U_{\text{motor}} \cdot I_{\text{Motor}} = 32,8 \text{ V} \cdot 19,7 \text{ A} = 646,2 \text{ W}$$

$$t = \frac{W}{P} = \frac{51 \text{ V} \cdot 29 \text{ Ah}}{646,2 \text{ W}} = 2,29 \text{ h}$$

$$s = v \cdot t = 30 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot 2,29 \text{ h} = 68,7 \text{ km}$$

Alternativer Lösungsweg über die mechanische Leistung möglich:

$$P_{\text{mech } 30} = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot M_{30} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{v_{30}}{U} \cdot M_{30} = 537 \text{ W}$$

$$P_{\text{elekt } 30}^* = \frac{P_{\text{mech } 30}}{\eta} = \frac{537 \text{ W}}{0,8} = 670,8 \text{ W}$$

Abweichung zu $P_{\text{elekt } 30}$ entsteht durch die Annahme, dass der Wirkungsgrad über alle Betriebszustände konstant sei. Der Wirkungsgrad bei $v=30 \text{ km/h}$ beträgt jedoch $\eta=83\%$. Eine Herleitung ist nicht verlangt.

$$I_{\text{elekt } 30}^* = \frac{P_{\text{elekt } 30}^*}{U_{\text{Motor}}} = \frac{670,8 \text{ W}}{32,8 \text{ V}} = 20,45 \text{ A}$$

3

1

3

2

4

30

2 Pflichtaufgaben zu Wärme erzeugen, Abgasreinigung und Gebäudehülle	Punkte
2.1 Ölheizung	
2.1.1 In einer zentralen Anlage kann die geforderte Leistung (kosten)-günstiger erzeugt werden, als in mehreren kleineren Anlagen. Nachteilig sind z. B. Leitungsverluste.	2
2.1.2 $\dot{V} = \frac{\dot{Q}_B}{H_i} = \frac{\dot{Q}_L}{H_i \cdot \eta_{K,i}} = \frac{500 \text{ kW}}{10 \frac{\text{kWh}}{\text{L}} \cdot 0,95} = 52,63 \frac{\text{L}}{\text{h}}$ („alter Ölkessel“ impliziert einen auf den Heizwert bezogenen Wirkungsgrad)	2
2.2 Pelletsheizungsanlage	
2.2.1 bei $\lambda = 1,0$: $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5 + 6\text{O}_2 + 24\text{N}_2 \rightarrow 6\text{CO}_2 + 5\text{H}_2\text{O} + 24\text{N}_2$	2
2.2.2 Luftvolumenstrom bei 20 % Luftüberschuss $\rightarrow \lambda = 1,2$, aus FS: $L_{\min} = 4 \text{ m}^3/\text{kg}$ $\dot{V} = \dot{m} \cdot \lambda \cdot L_{\min} = 500 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 1,2 \cdot 4 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = 2400 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$	2
2.2.3 Wärmeleistung $\dot{Q}_L = \eta_i \cdot \dot{m} \cdot H_i = 0,9 \cdot 500 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 4,9 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}} = 2205 \text{ kW}$	1
2.2.4 Im Abgas enthaltenes Wasser (aus der Verbrennung) kann theoretisch kondensieren. Die Wirkungsgraderhöhung durch Kondensationswärmenutzung entspricht dem Verhältnis von Brennwert zu Heizwert: $\frac{H_s}{H_i} = \frac{5,21 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}}{4,9 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}} = 1,06$	3
2.3 Abgasreinigung	
2.3.1 Nachwachsende Rohstoffe, zu denen auch Holz zählt, sind ein wesentlicher Bestandteil einer nachhaltigen Energiewirtschaft. Nachhaltigkeit bedeutet, dass sich die Energiequelle nicht aufbraucht sondern nachwächst und dabei so viel CO_2 bindet wie bei der Verbrennung freigesetzt wird..	1
2.3.2 Feinstäube: Die Schadwirkung inhalierter Staubpartikel hängt davon ab, wie tief die Teilchen in den Atemtrakt eindringen. Feinstaub verursacht Atemwegserkrankungen und kann Ursache für Krebs sein. Unverbrannte Kohlenwasserstoffe: Manche Kohlenwasserstoffverbindungen haben krebserregende Wirkung. Kohlenwasserstoffe sind maßgeblich am Entstehen von Sommersmog beteiligt. Des weiteren können Geruchsbelästigungen verursacht werden.	3

- 2.3.3 Elektrofilter sind Anlagen zur Abscheidung von Partikeln aus Gasen, die auf dem elektrostatischen Prinzip beruhen.

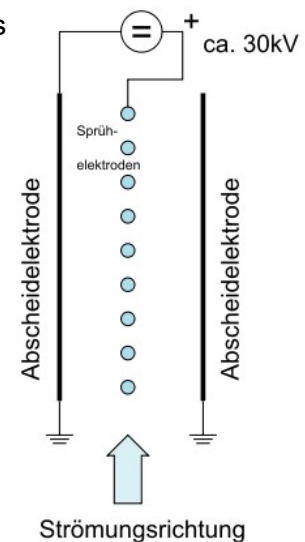
Funktionsweise:

Freisetzung von elektrischen Ladungen und Aufladung der Staubpartikel durch Sprühelektroden,

Transport der geladenen Staubteilchen zur Abscheideelektrode,

Anhaftung der Staubpartikel an der Abscheideelektrode,

Entfernung der Staubschicht von der Abscheideelektrode durch Klopferwerk.



3

- 2.3.4 Staubbelastung im Rohgas: $\dot{m}_{100} = \frac{100\%}{93,7\%} \cdot 1125 \frac{\text{g}}{\text{h}} = 1201 \frac{\text{g}}{\text{h}}$

2

$$\text{Rohgasstaubgehalt: } \frac{\dot{m}_{\text{roh}}}{\dot{V}} = \frac{1201 \frac{\text{g}}{\text{h}}}{1500 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}} = 800,4 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Reingasstaubgehalt: } \frac{\dot{m}_{\text{rein}}}{\dot{V}} = (100\% - 93,7\%) \cdot \frac{\dot{m}_{\text{roh}}}{\dot{V}} = 50,4 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

2.4 Energetische Sanierung

- 2.4.1 Bestimmung mit Hilfe des h,x-Diagramms:

2

Von Zustand 20°C und $\phi = 60\%$ senkrecht nach unten, beim Schnittpunkt mit $\phi = 100\%$ nach links und Taupunkttemperatur ablesen:

Taupunkttemperatur $\vartheta_{\text{Tau}} = 12,3\text{ °C}$

- 2.4.2 Tauwasser fällt in den Bereichen an, in denen die Taupunkttemperatur unterschritten wird. Dies kann an Wärmebrücken der Fall sein. Zum Beispiel in Rauminnenecken.

1

In einer Rauminnenecke wird die Wärme an kalten Tagen schneller nach außen transportiert als in der restlichen Wand.

Weitere Wärmebrücken als Schülerantwort möglich.

2.4.3 Berechnung der Wandtemperatur:

4

$$\vartheta_{si} = \vartheta_i - \frac{\Delta T}{R_{T,neu}} \cdot R_{si} \implies R_{T,neu} = \frac{R_{si} \cdot \Delta T}{\vartheta_i - \vartheta_{si}} = \frac{0,13 \frac{m^2 K}{W} \cdot 30 K}{1 K} = 3,9 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_{T,neu} = R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_{Dämm}}{\lambda_{Dämm}} + \frac{d_5}{\lambda_5} + R_{se}$$

$$d_{Dämm} = \lambda_{Dämm} \cdot \left(R_{T,neu} - \left(R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_5}{\lambda_5} + R_{se} \right) \right)$$

$$d_{Dämm} = 0,035 \frac{W}{mK} \cdot \left(3,9 - \left(0,13 + \frac{0,02}{0,51} + \frac{0,24}{2} + \frac{0,02}{1} + \frac{0,02}{0,06} + 0,043 \right) \frac{m^2 K}{W} \right)$$

$$d_{Dämm} = 0,113 \text{ m} \quad (\text{Ausklammerung der Einheit aus Platzgründen})$$

2.4.4 Die Transmissionswärmeverluste werden durch die energetische Sanierung stark verringert.

2

Der Anteil der Lüftungswärmeverluste am Gesamtwärmeverlust ist nach der Sanierung im Verhältnis größer als der Anteil der Transmissionswärmeverluste.

30

3 Wahlaufgabe Wasserkraft und GUD-Kraftwerk

Punkte

3.1 Vergleich zweier Wasserräder

$$3.1.1 \quad P_{\text{mech}} = \omega \cdot M = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot M = 2 \cdot \pi \cdot \frac{30}{60} \text{ s}^{-1} \cdot 6000 \text{ Nm} = 18850 \text{ W} = 18,9 \text{ kW}$$

2

$$3.1.2 \quad \dot{m} = \rho \cdot \dot{V} \rightarrow \dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{m}{\frac{80}{360} \cdot T \cdot \rho} = \frac{m \cdot n}{\frac{80}{360} \cdot \rho} = \frac{400 \text{ kg} \cdot 0,5 \text{ s}^{-1}}{\frac{80}{360} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,9 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

2

Alternativer Lösungsweg:

Drehzahl = $30 \text{ min}^{-1} \rightarrow$ Pro Sek $\frac{1}{2}$ Umdrehung $\rightarrow$ 18 gefüllte Kammern pro Sek1 Kammer besitzt die Masse von $400 \text{ kg} / 8 = 50 \text{ kg}$ $\rightarrow$ Damit werden $18 \times 50 \text{ kg} = 900 \text{ kg}$ Wasser pro Sek transportiert. $900 \text{ kg} / \text{s} \triangleq 0,9 \text{ m}^3 / \text{s}$

3.1.3 Die hydraulische Leistung des Kanals könnte vollständig genutzt werden, wenn die potentielle Energie des Oberwassers beim Durchlaufen der Höhendifferenz von 5 m vollständig genutzt werden würde. Da das Wasser die Schaufeln jedoch ca. auf halber Höhe verlässt, bleibt die Hälfte der Fallhöhe ungenutzt. Sicherlich sorgen auch Reibungsverluste für eine Verschlechterung des Wirkungsgrads. Deshalb kann das Wasserrad nur weniger als die Hälfte der hydraulischen Leistung des Wasserkanaals nutzen.

3

$$3.1.4 \quad P_{\text{hydro}} = \rho \cdot g \cdot h \cdot \dot{V} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 5 \text{ m} \cdot 0,9 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 44145 \text{ W} = 44,1 \text{ kW}$$

3

$$\text{Wirkungsgrad} \quad \eta = \frac{P_{\text{mech}}}{P_{\text{hydro}}} = \frac{18,9 \text{ kW}}{44,1 \text{ kW}} = 0,428 = 42,8 \%$$

3.1.5 Widerstandskraft auf die Schaufel

3

$$F_w = c_w \cdot \frac{\rho}{2} \cdot A \cdot (v - v_{\text{Körper}})^2 = 1,2 \cdot \frac{1000 \text{ kg/m}^3}{2} \cdot 0,64 \text{ m}^2 \cdot \left(1 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 1/3 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 170,7 \text{ N}$$

Radius senkrecht auf Widerstandskraft $r_{\text{WIRKSAM}} = r = 2 \text{ m}$

$$\text{Drehmoment} \quad M = F_w \cdot r_{\text{WIRKSAM}} = 170,7 \text{ N} \cdot 2 \text{ m} = 341 \text{ Nm}$$

$$3.1.6 \quad \text{Drehzahl} \quad u = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{T} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot n \rightarrow n = \frac{u}{2 \cdot \pi \cdot r} = \frac{v_{\text{Körper}}}{2 \cdot \pi \cdot r} = \frac{1/3 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2 \cdot \pi \cdot 2 \text{ m}} = 0,0265 \text{ s}^{-1}$$

2

$$\text{Leistung} \quad P_{\text{mech}} = \omega \cdot M = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot M = 2 \cdot \pi \cdot 0,0265 \text{ s}^{-1} \cdot 341 \text{ Nm} = 56,8 \text{ W}$$

3.1.7 Die Leistung des in Abb. 2 gezeigten unterschlächtigen Wasserrades ist viel geringer, da es nur die kinetische und nicht die potentielle Energie des Kanals nutzt. Die kinetische Energie eines fließenden Gewässers ist jedoch gering gegenüber der potentiellen Energie an einer Staustufe.

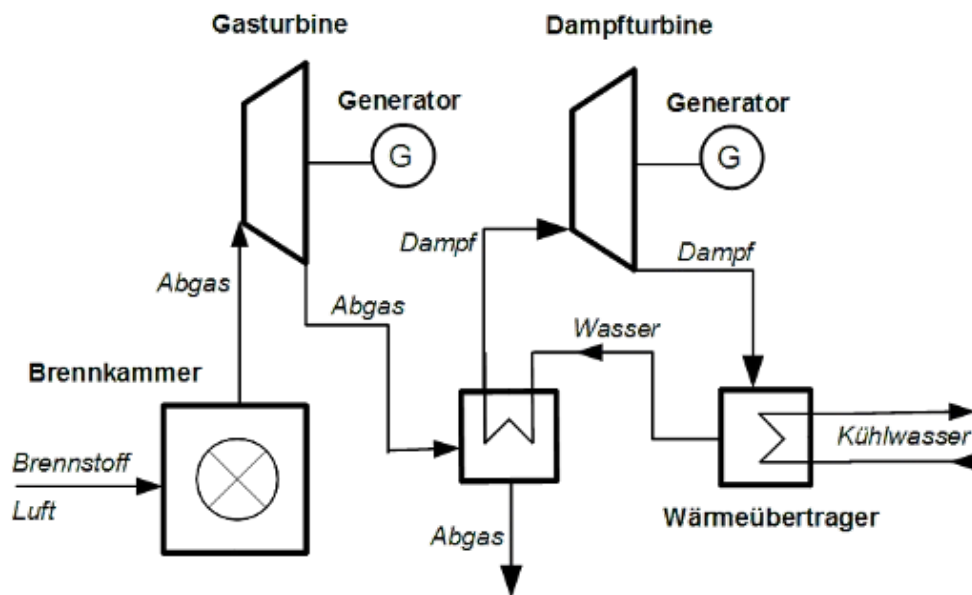
2

3.1.8 Ideal wäre, den Kanal zu stauen, und die 5 m Höhendifferenz und $0,9 \text{ m}^3/\text{s}$ Volumenstrom durch eine passende moderne Wasserturbinen-Bauform zu nutzen. Nach dem Schaubild in der Formelsammlung wäre keine der modernen Turbinenbauformen direkt passend. Am nächsten liegend wäre jedoch die Rohrturbine. Der Wirkungsgrad der modernen Bauformen liegt bei ca. 90 % im Nennbetriebsfall, was eine deutliche Effizienzsteigerung bedeutet.

3

3.2 Gas- und Dampfturbinenkraftwerk

3.2.1



2

3.2.2 Funktionsweise eines GuD-Kraftwerks:

Gas wird in einer Gasturbine verbrannt und treibt diese und den angeschlossenen Generator an → elektrische Energie.

Die anfallende Wärme bei der Gasverbrennung (Abgase) wird genutzt, um Wasserdampf zu überhitzen und damit eine Dampfturbine anzutreiben. Mit der erzeugten kinetischen Energie wird ein Generator angetrieben → elektrische Energie.

Vorteile: Höherer Wirkungsgrad, flexibel einsetzbar als Spitzenlastkraftwerk (schnelles Hoch- bzw. Runterfahren des Kraftwerkes), geringere Baukosten und Bauzeit.

2

3.2.3 Abgelesene Werte aus Prozessverlauf:

$$T_1 = 300\text{K}$$

$$T_2 = 615\text{K}$$

$$T_3 = 800\text{K}$$

$$s_1 = 0,5 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$$

$$s_2 = 3,7 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$$

$$s_3 = 5,4 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$$

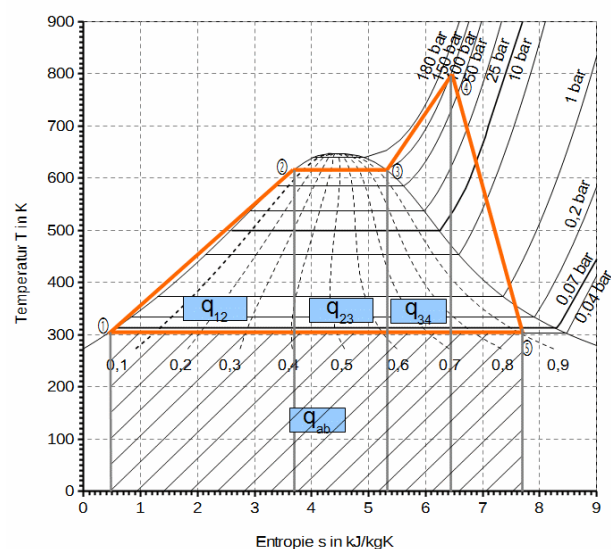
$$s_4 = 6,5 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$$

$$s_5 = 7,7 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$$

$$w_{\text{Nutz}} = q_{\text{zu}} - |q_{\text{ab}}|$$

$$q_{\text{zu}} = q_{12} + q_{23} + q_{34}$$

T,s-Diagramm von Wasser



4

$$\begin{aligned}
 q_{zu} &= \left(\frac{(T_1 + T_2)}{2} \right) \cdot (s_2 - s_1) + T_{23} \cdot (s_3 - s_2) + \left(\frac{(T_3 + T_4)}{2} \right) \cdot (s_4 - s_3) \\
 &= \left(\frac{(300\text{K} + 615\text{K})}{2} \right) \cdot \left(3,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} - 0,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) + 615\text{K} \cdot \left(5,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} - 3,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \\
 &\quad + \left(\frac{(615\text{K} + 800\text{K})}{2} \right) \cdot \left(6,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} - 5,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \\
 q_{zu} &= 3287,75 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\
 q_{ab} &= T_1 \cdot (s_5 - s_1) \\
 q_{ab} &= 300\text{K} \cdot \left(7,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} - 0,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \\
 q_{ab} &= 2160 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad w_{\text{Nutz}} = 3287,75 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 2160 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 1127,25 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\
 \eta_{\text{therm}} &= \frac{w_{\text{Nutz}}}{q_{zu}} \quad \eta_{\text{therm}} = \frac{1127,25 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{3287,75 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 0,34
 \end{aligned}$$

3.2.4 Der Wirkungsgrad der Dampfturbine sinkt, da in der Turbine weniger Wärmeenergie in kinetische Energie umgesetzt werden kann.

2

30

4 Wahlaufgaben zu Blockheizkraftwerk, Trink- und Abwasser, Regelungstechnik

Punkte

4.1 Blockheizkraftwerk (BHKW)

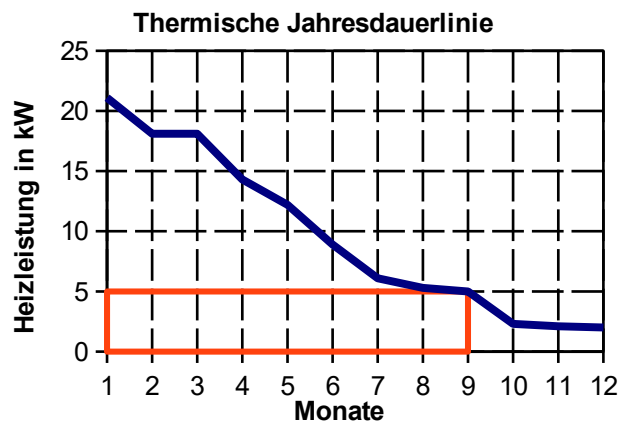
- 4.1.1 Wärmegeführte Betriebsweise: Das BHKW ist solange in Betrieb wie thermische Energie angefordert wird. Überschüssige elektrische Energie kann idealerweise gespeichert oder in das öffentliche Stromnetz eingespeist werden. Diese Betriebsweise eignet sich sehr gut für Wohngebäude.

2

Stromgeführte Betriebsweise: Das BHKW ist solange in Betrieb wie elektrische Energie angefordert wird. Da bei stromgeführter Betriebsweise überschüssige thermische Energie entsteht, die nur in geringem Umfang gespeichert werden kann und der Rest z. B. in einem Kühlturm „vernichtet“ werden muss, ist diese Betriebsweise für den Einsatz in Wohngebäuden normalerweise nicht gut geeignet.

4.1.2

4



Leistungsempfehlung: z B. Wärmeleistung des BHKW: 5 kW.

Begründung: Eine große Vollastbetriebsdauer wird erreicht (ca. 6000 h), der wirtschaftliche Betrieb ist gewährleistet.

Es sind alle Lösungen mit einer Betriebsdauer > 4000 h als richtig zu werten.

$$4.1.3 \quad \dot{Q}_{B,i} = \frac{V_{\text{Gas}}}{t} \cdot H_i \quad \eta = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{Q}_{B,i}} \quad V_{\text{Gas}} = \frac{\dot{Q}_L \cdot t}{\eta \cdot H_i} = \frac{6,1 \text{ kW} \cdot 720 \text{ h}}{0,8 \cdot 10 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}} = 549 \text{ m}^3$$

3

- 4.1.4 Der thermische Wirkungsgrad des BHKW ist nur etwas mehr als halb so groß wie der Wirkungsgrad der alten Gasheizung. Da neben der thermischen Energie aber noch (höherwertige) elektrische Energie erzeugt wird, ist die Primärenergie-Ausnutzung im BHKW wesentlich günstiger.

2

$$4.1.5 \quad W_{\text{el}} = V_{\text{Gas}} \cdot H_i \cdot \eta_{\text{el}} = \frac{\dot{Q}_L \cdot t \cdot \eta_{\text{el}}}{\eta_{\text{th}}} = \frac{6,1 \text{ kW} \cdot 720 \text{ h} \cdot 0,35}{0,45} = 3416 \text{ kWh}$$

2

4.2 Trink- und Abwasser

- | | | |
|-------|--|---|
| 4.2.1 | Erste Reinigungsstufe: mechanische Reinigung. Zwei der folgenden Schritte müssen beschrieben werden:
Rechen: Entfernt grobe Verschmutzungen (z. B. Laub, Steine, Äste...).
Sandfang: Entfernt feinere absetzbare Verschmutzungen (z.B. Sand, kleine Steine).
Vorklärbecken: ungelöste Stoffe setzen sich ab (z. B. Papier, Fäkalien). | 2 |
| 4.2.2 | Ohne Phosphatentfernung wird das Gewässer überdüngt. Übermäßiges Pflanzen- bzw. Algenwachstum führt zu Sauerstoffmangel, das Gewässer „kippt um“. | 1 |
| 4.2.3 | Lösliche Phosphatverbindungen werden in eine unlösliche Form überführt. Die gebildeten unlöslichen Phosphatflocken müssen durch Absetzen aus dem Abwasser entfernt werden. | 2 |
| 4.2.4 | In beiden beschriebenen Reaktionsgleichungen dient eine Stickstoff-Sauerstoff-Verbindung als Sauerstofflieferant für die ablaufende Reaktion. Steht Luft-Sauerstoff zur Verfügung, wird dieser für den Abbau der Kohlenstoffverbindung (CH_2O bzw. CO) verwendet. Die Stickstoffverbindung kann dann nicht abgebaut werden.

Voraussetzung für die beschriebenen Reaktionsgleichungen ist daher das Fehlen von Luft-Sauerstoff (anoxische Bedingungen in der Kläranlage bzw. $\lambda \leq 1$ im Dreiwegkatalysator). | 2 |

4.3 Regelungstechnik

4.3.1 Bei einer Steuerung findet kein Vergleich zwischen Soll- und Istwert statt. Der Wirkungsweg ist offen. Bei einer Regelung wird aus der Regel- und Führungsgröße eine Stellgröße zur Beeinflussung der Regelstrecke gebildet. Der Wirkungsweg ist geschlossen. Im Vergleich des Reglers wird aus der Differenz von Soll- und Istwert die Regelabweichung gebildet.

1

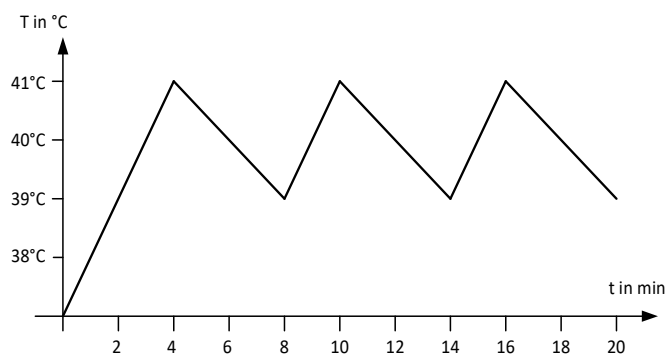
4.3.2 Bei einem stetigen Regler ist die Stellgröße y zu jedem Zeitpunkt eine direkte Funktion der Regeldifferenz e . Ein Zweipunktregler ist ein schaltender Regler, der nur die beiden Zustände EIN und AUS ausgibt.

1

4.3.3 Führungsgröße $w = 40^\circ\text{C}$
Hysterese = oberer Grenzwert – unterer Grenzwert = $41^\circ\text{C} - 39^\circ\text{C} = 2^\circ\text{C}$

2

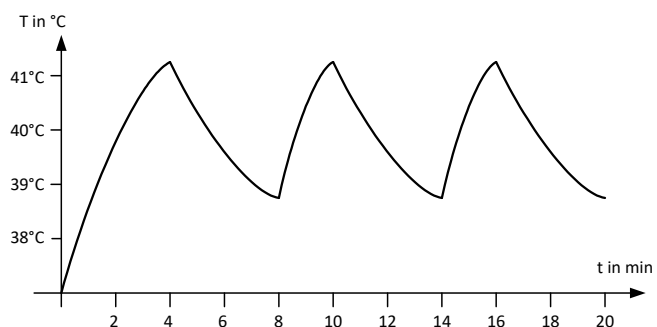
4.3.4
Idealisierter Verlauf der Temperatur der Behälterflüssigkeit bei linearen Temperaturänderungen und ohne Berücksichtigung der Trägheit



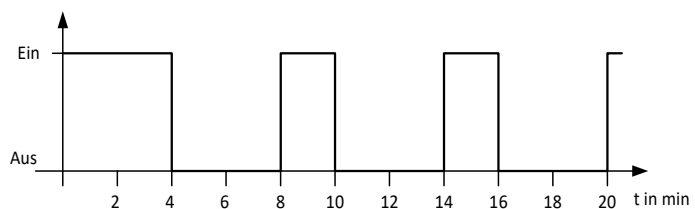
3

Alternativ:

Darstellung unter Berücksichtigung nichtlinearer Temperaturänderungen und der Trägheit



4.3.5



1

4.3.6 Die Genauigkeit kann z.B. durch eine Verkleinerung der Hysterese oder über den Einsatz eines stetigen Reglers verbessert werden. Bei der Verkleinerung der Hysterese nimmt die Schalthäufigkeit zu, was zu einem erhöhten Verschleiß des Schaltelements führen kann. Eine Regelabweichung kann damit nicht ganz vermieden werden. Der Einsatz eines stetigen Reglers erfordert eine aufwendigeres Stellglied und mehr Aufwand in der Konfiguration. Sie liefert aber die genaueste und flexibelste Lösung.

2

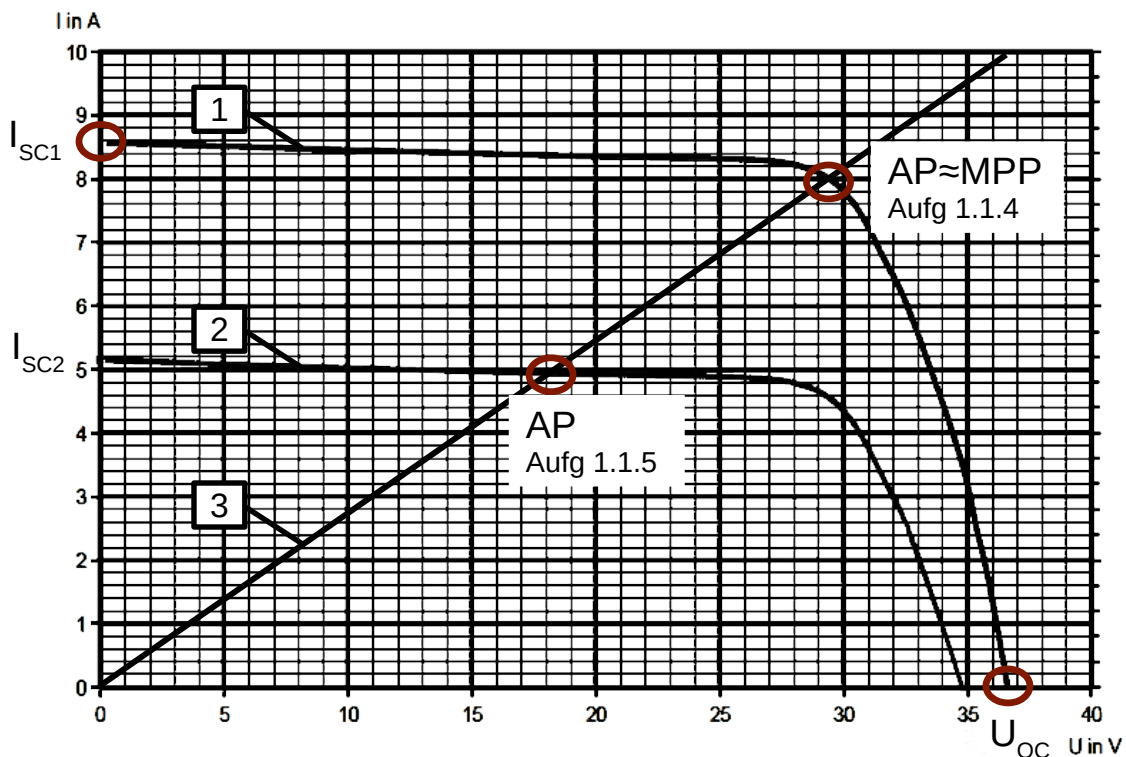
TG Umwelttechnik**Abitur 2017/2018****Hauptprüfung****Lösungsvorschlag**

Arbeitszeit: 270 Minuten
Hilfsmittel: Formelsammlung Umwelttechnik
Zugelassener Taschenrechner

Stoffgebiet	Teil 1: Pflichtbereich	
	Aufgabe 1: Photovoltaik Energieübertragung Windkraft	(3 Seiten)
	Aufgabe 2: Wärmeschutz BHKW	(4 Seiten)
	Teil 2: Wahlbereich	
	Aufgabe 3: Elektrofahrzeug Solarthermisches Kraftwerk	(5 Seiten)
	Aufgabe 4: Wohnklima Wärmepumpe als Klimaanlage Temperaturregelung	(3 Seiten)

1 1 Pflichtaufgabe zur Photovoltaik, Energieübertragung, Windkraft

Punkte

1.1 Solaranlage in Kleingartenanlage

- 1.1.1 $U_{OC} = 36,5 \text{ V}$ Leerlaufspannung: kein Verbraucher angeschlossen
 $I_{SC} = 8,6 \text{ A}$ Kurzschlussstrom: Verbraucherwiderstand ist 0

2

- 1.1.2 $\frac{36,6 \text{ V}}{0,61 \text{ V}} = 60$ in Reihe geschaltete Solarzellen. $I_{SC-1 \text{ Zelle}} = I_{SC-Modul} = 8,6 \text{ A}$

2

- 1.1.3 Monokristalline Zelle,
 Vorteil: hoher Wirkungsgrad, Nachteil: energieaufwändige Herstellung, teuer

2

- 1.1.4 $R_{\text{Beleuchtung}} = \frac{35 \text{ V}}{9,5 \text{ A}} = 3,68 \Omega$

2

Arbeitspunkt ist Schnittpunkt der Kennlinien 1 und 3: $29,5 \text{ V} / 8 \text{ A}$

$$P = U \cdot I = 29,5 \text{ V} \cdot 8 \text{ A} = 236 \text{ W}$$

- 1.1.5 Kurzschlussstrom proportional zur Einstrahlung $\rightarrow \frac{E_2}{E_1} = \frac{I_{SC2}}{I_{SC1}}$

5

$$E_2 = 1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot \frac{5,2 \text{ A}}{8,6 \text{ A}} = 605 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

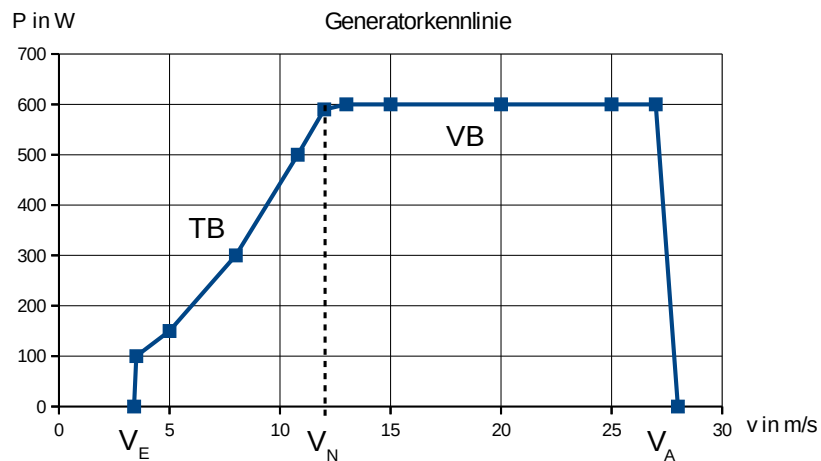
Arbeitspunkt 2 $\rightarrow$ Schnittpunkt Kennlinien 2 und 3: $18,2 \text{ V} / 5 \text{ A}$

$$P = 18,2 \text{ A} \cdot 5 \text{ A} = 91 \text{ W}$$

$$91 \text{ W} \triangleq 100\% \cdot \frac{91 \text{ W}}{236 \text{ W}} = 38,6\%$$

Im Arbeitspunkt 1 wird das Solarmodul im MPP betrieben und kann die maximale Leistung abgeben, im Arbeitspunkt 2 jedoch nicht. Daher sinkt die Leistungsabgabe stärker als die Sonneneinstrahlung.	
1.1.6 Funktion des Wechselrichters: MPP-Tracker Ständig U und I messen und $P = U \cdot I$ berechnen, Belastung vergrößern → wenn P kleiner wurde → Belastung verringern, wenn P größer wurde → Belastung weiter vergrößern.	2
1.2 Energieübertragung	
1.2.1 Blindleistung ist notwendig, wenn Verbraucher (z.B. Motoren) oder die Übertragungsleitung (z.B. Seekabel) magnetisch oder elektrisch „aufgeladen“ werden müssen. Liegt Wechselspannung an, so erfolgt diese Auf- und Entladung 50 mal pro Sekunde. Wenn die zur Auf- und Entladung notwendige Energie durch Spulen oder Kondensatoren direkt dort bereitgestellt wird, wo sie benötigt wird, spricht man von Blindleistungskompensation. Die Blindenergie muss dann nicht vom Energieerzeuger (Kraftwerk, Windrad) über lange Leitungen hin und her pendeln.	2
1.2.2 Vorteil HGÜ: es entsteht keine Blindleistung. Seekabel wirkt wegen der Isolation und dem geringeren Abstand der Leitungen wie ein großer Energiespeicher (Kondensator), daher ist viel Blindleistung schon bei kurzen Entfernungen notwendig. Hier verwendet man besser die HGÜ. Freiluftkabel besitzen als Isolator die Luft und haben einen großen Abstand der Leitungen, daher speichern diese wenig Energie und die notwendige Blindleistung „stört“ erst bei großen Entfernungen.	2
1.3 Windkraftanlage	
1.3.1 $600 \text{ W} > 200 \text{ W} + 180 \text{ W}$. Die Windkraftanlage kann bei Windgeschwindigkeiten $> 9 \text{ m/s}$ den Energiebedarf der Hütten decken. Da dieser Windgeschwindigkeitswert sicherlich häufig unterschritten wird und die Anlage keinen elektrischen Speicher besitzt, können dann die Verbraucher nicht betrieben werden.	2
1.3.2 $u = \pi \cdot d \cdot n = \pi \cdot 1,5 \text{ m} \cdot 300 \frac{1}{60 \text{ s}} = 23,6 \frac{\text{m}}{\text{s}} (= 86 \frac{\text{km}}{\text{h}})$ $\lambda = \frac{23,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{12 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 1,96$	2
1.3.3 Die Anlage ist mit einer Schnelllaufzahl von 2 ein Langsamläufer. Die Umfangsgeschwindigkeit ist niedriger als bei üblichen 3-Blatt-Rotor-Anlagen (mit horizontaler Rotorachse). Daher erzeugt die Anlage weniger Windgeräusche und ist leiser.	2

1.3.4



2,5

1.3.5 $P_{\text{Wind}} = \frac{1}{2} \cdot 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1,5 \text{ m} \cdot 1,42 \text{ m} \cdot 12^3 \frac{\text{m}^3}{\text{s}^3} = 2,21 \text{ kW}$

2,5

$$P_{\text{mech}} = \frac{600 \text{ W}}{0,85} = 706 \text{ W} \quad c_P = \frac{P_{\text{mech}}}{P_{\text{Wind}}} = \frac{706 \text{ W}}{2210 \text{ W}} = 0,32$$

Die Anlage mit Darrieus-Helix-Rotor reagiert schneller auf böige Winde aus unterschiedlichen Richtungen als ein träger 3-Blatt-Rotor, der nur langsam nach dem Wind ausgerichtet werden kann. Daher ist der Ertrag dieser Windkraftanlage unter Umständen größer als bei einem 3-Blatt-Rotor.

30

2 Wärmeschutz und BHKW

Punkte

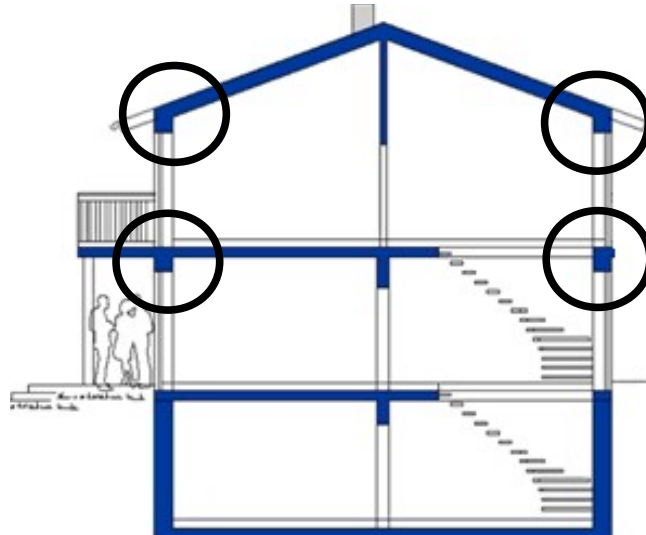
2.1 Wärmeschutz in einem Reihenhaushaus

2.1.1 Das Gebäude besitzt auf der Südseite einen auskragenden Balkon. So werden die Innenräume vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt und heizen sich weniger auf.

2

2.1.2

2



Wärmebrücke 1: Übergang Dach- Außenwand, Begr.: geometrisch bedingte Wärmebrücke

Wärmebrücke 2: Auskragende Balkonplatte, Begr.: konstruktionsbedingte Wärmebrücke

Wärmebrücke 3: Rollladenkasten oder Auflage der Bodenplatte des ersten OG, Begr.: Konstruktionsbedingte Wärmebrücke

2.1.3 Wärmestrom von innen nach außen durch die Fensterfläche:

4

$$\dot{Q} = U_{\text{Fenster}} \cdot \Delta T = 0,6 \frac{\text{W}}{(\text{m}^2 \cdot \text{K})} \cdot 30 \text{ K} = 18 \frac{\text{W}}{(\text{m}^2)}$$

Wärmestrom von außen nach innen verursacht durch die solare Einstrahlung:

$$\dot{Q} = E_K \cdot g = 300 \frac{\text{W}}{(\text{m}^2)} \cdot 0,45 = 135 \frac{\text{W}}{(\text{m}^2)}$$

Bewertung: Der eingehende Wärmestrom ist deutlich größer als der abfließende Wärmestrom. Durch das Fenster wird mehr Wärme gewonnen als verloren geht.

2.1.4 Strukturelle Gemeinsamkeiten:

1

Große Porigkeit: Die Wärmedämmung eines Baustoffs wird durch viele mit Luft gefüllte Poren verbessert, da Luft eine geringe Wärmeleitfähigkeit besitzt.

oder:

Geringe Rohdichte: Materialien mit geringer Rohdichte eignen sich als Wärmedämmstoffe. Bei geringer Rohdichte ist wenig wärmeleitfähiges Material vorhanden.

2.1.5 Werte für die Wärmeleitfähigkeit aus FS:

Kalksandstein (Rohdichteklasse 1000)

$\lambda_1 = 0,5 \text{ W/(mK)}$

Innenputz, Gipsputz

$\lambda_2 = 0,51 \text{ W/(mK)}$

Außendämmung (EPS) WLG 032

$\lambda_3 = 0,032 \text{ W/(mK)}$

Außenputz, Wärmedämmputz WLG 060

$\lambda_4 = 0,06 \text{ W/(mK)}$

Berechnung des Wärmedurchgangswiderstands R_T

$$R_T = \frac{1}{U_{\text{Wand}}} = \frac{1}{0,15 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}} = 6,67 \frac{\text{m}^2\cdot\text{K}}{\text{W}}$$

Berechnung der Schichtdicke der Außendämmung:

$$d_3 = \lambda_3 \cdot (R_T - R_{\text{si}} - R_{\text{se}} - \frac{d_1}{\lambda_1} - \frac{d_2}{\lambda_2} - \frac{d_4}{\lambda_4}) = 0,177 \text{ m}$$

2.1.6 Sicherstellung der Dämmwirkung: Wärmedämmung beruht auf dem Einschluss von ruhender Luft in Hohlräumen des Dämmmaterials. Bei Luftundichtheiten ist ein Wärmetransport mittels Konvektion möglich.

Vermeidung von Tauwasser in der Konstruktion: Wenn warme, feuchte Luft aus dem Innenraum durch Undichtheiten in den kälteren Bereich der Baukonstruktion gelangt, kann der enthaltene Wasserdampf kondensieren. Dadurch verschlechtert sich die Dämmwirkung.

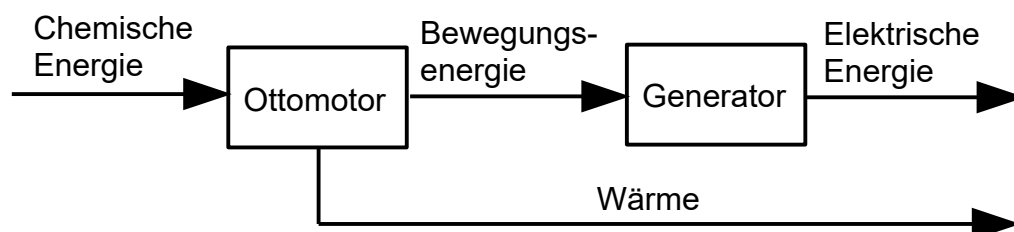
2.1.7 Reduktion von Wärmebrücken: Bei einer Außendämmung werden alle konstruktionsbedingten Wärmebrücken überdämmt.

Wahrscheinlichkeit des Tauwasseranfalls wird reduziert: Die Außendämmung, in der ein starker Temperaturabfall stattfindet, ist durch die Wandkonstruktion von der warmen, feuchten Innenluft getrennt (Dampfbremse). Ein Tauwasseranfall ist so unwahrscheinlicher als bei der Innendämmung.

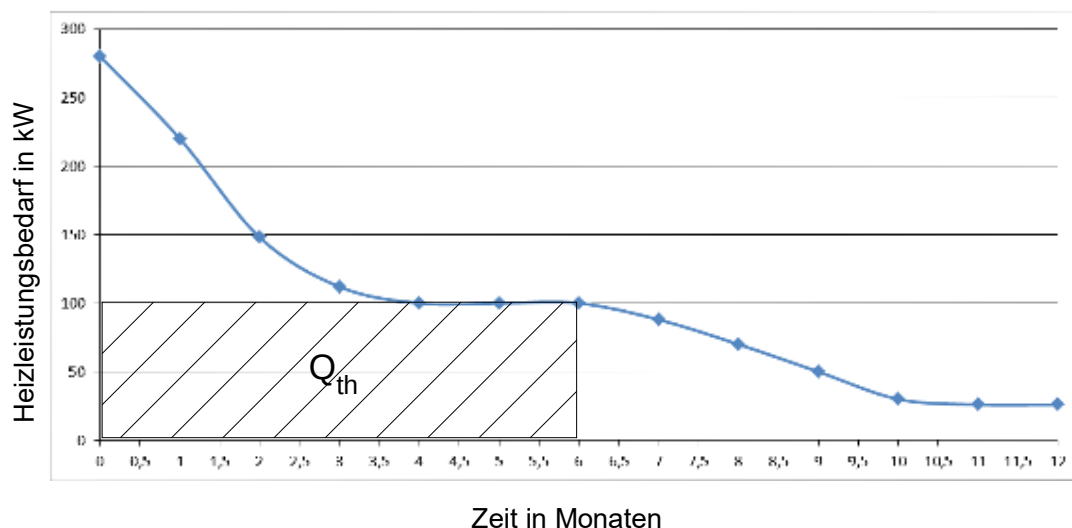
2.2 Blockheizkraftwerk (BHKW)

2.2.1 Das BHKW besteht im Wesentlichen aus einem Ottomotor (Verbrennungsmotor), einem Drehstromgenerator und mehreren Wärmetauschern. Der Verbrennungsmotor wird mit Gas betrieben und treibt den Generator an, dieser erzeugt elektrischen Strom. Bei der Energieumwandlung entsteht im Verbrennungsmotor Abwärme. Diese Wärme über ein Wärmetauschersystem an das angeschlossene Heizungssystem übertragen.

Blockschaltbild:



2.2.2



2

Wärmemenge:

$$t = 6 \text{ Monate} = 6 \text{ Mon} \cdot 30 \text{ d/Mon} \cdot 24 \text{ h/d} = 4320 \text{ h}$$

$$Q = \dot{Q} \cdot t = 100 \text{ kW} \cdot 4320 \text{ h} = 432000 \text{ kWh} = 0,432 \text{ MWh}$$

2.2.3 $\dot{Q}_{100} = 100 \text{ kW}$; $\dot{Q}_{50} = 50 \text{ kW}$; $t_1 = 4320 \text{ h}$

3

 $t_2 = 9 \text{ Monate}$ im Diagramm ablesen

$$t_2 = 9 \text{ Mon} \cdot 30 \text{ d/Mon} \cdot 24 \text{ h/d} = 6480 \text{ h}$$

$$t_{\text{zu}} = \frac{\dot{Q}_{100} + \dot{Q}_{50}}{2 \cdot \dot{Q}_{100}} \cdot (t_2 - t_1) = \frac{100 \text{ kW} + 50 \text{ kW}}{2 \cdot 100 \text{ kW}} \cdot 2160 \text{ h} = 1620 \text{ h}$$

2.2.4 $\eta_{\text{ges}} = \frac{P_{\text{el}} + \dot{Q}_H}{\dot{Q}_{B,i}}$ $P_{\text{el}} = 65 \text{ kW}$; $\dot{Q}_H = 100 \text{ kW}$; $\eta_{\text{ges}} = 90 \%$

3

$$\dot{Q}_{B,i} = \frac{(P_{\text{el}} + \dot{Q}_H)}{\eta_{\text{ges}}} = \frac{(65 \text{ kW} + 100 \text{ kW})}{0,9} = 183,3 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{B,i} = \dot{V}_{B,i} \cdot H_i \quad \dot{V}_{B,i} = \frac{\dot{Q}_{B,i}}{H_i} = \frac{183,3 \text{ kW}}{10 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}} = 18,33 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$V_{B,i} = \dot{V}_{B,i} \cdot t = 18,33 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 5940 \frac{\text{h}}{\text{a}} = 108880,2 \frac{\text{m}^3}{\text{a}}$$

2.2.5 Durch einen zusätzlichen Wärmespeicher (Pufferspeicher) kann das BHKW mit weniger Ein- und Ausschaltvorgängen und somit mit weniger Verschleiß betrieben werden.

1

2.2.6 Das BHKW kann nur einen Teil des Jahreswärmebedarfs decken. Im Winter reicht die Heizleistung nicht aus und im Sommer schaltet das BHKW nicht ein, da der Wärmebedarf zur Trinkwassererwärmung zu gering ist.

1

30

3 Wahlaufgabe zum elektrischen Fahrzeug und zum solarthermischen Kraftwerk

Punkte

3.1 Batterieelektrisches Fahrzeug

- 3.1.1 Im Drehzahlbereich $0 - 4400 \text{ min}^{-1}$ kann die elektrische Maschine mit maximalem Drehmoment, also $M_{\max} = 250 \text{ Nm}$, arbeiten. Bei Überschreiten von $M_{\max}$ würde der zulässige Strom überschritten.

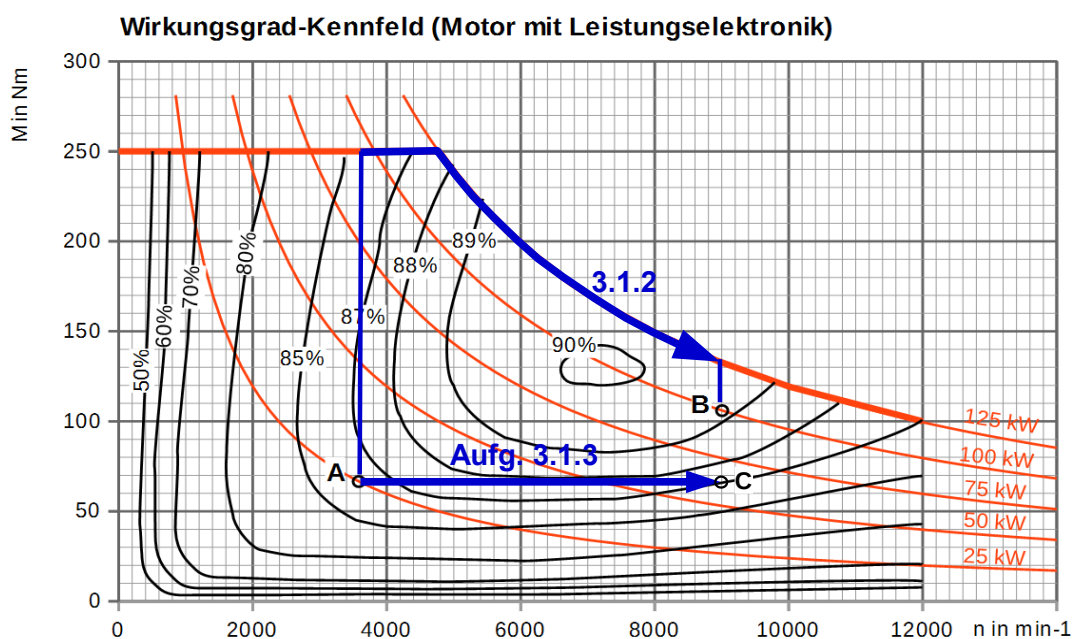
2

Im Drehzahlbereich $4400 - 12000 \text{ min}^{-1}$ kann nicht mehr das maximale Drehmoment genutzt werden. Hier ist die maximale Leistung von $P_{\max} = 125 \text{ kW}$ begrenzend und die Volllastkennlinie folgt einer Konstantleistungshyperbel. Bei Überschreiten von $P_{\max}$ würde die maximal mögliche Verlustleistung überschritten werden.

Bei $n_{\max} = 12000 \text{ min}^{-1}$ ist die maximale Drehzahl erreicht. Ein Überschreiten von $n_{\max}$ ist aufgrund der begrenzten Batteriespannung nicht möglich.

3.1.2

2



Bei der Drehzahl $n_A = 3600 \text{ min}^{-1}$ wird mit maximalem Drehmoment, also 250 Nm beschleunigt, bis die maximale Leistung der elektrischen Maschine von 125 kW bei $n = 4400 \text{ min}^{-1}$ erreicht ist. Dann wird mit dieser maximalen Leistung weiter beschleunigt, wobei das Drehmoment mit steigender Drehzahl sinkt. Dies geschieht bis zum Erreichen von $n_B = 9000 \text{ min}^{-1}$.

- 3.1.3 Während die Drehzahl von $n_A = 3600 \text{ min}^{-1}$ auf $n_B = 9000 \text{ min}^{-1}$ ansteigt, steigt die Geschwindigkeit und damit die Luftwiderstandskraft. Trotzdem bleibt das Antriebsmoment und damit die Antriebskraft von der elektrischen Maschine konstant. Es muss also zusätzlich eine Antriebskraft, die nicht von der elektrischen Maschine stammt, existieren: Eine Hangabtriebskraft. Die Straße muss also ein Gefälle aufweisen.

1,5

(Nicht verlangt: das Gefälle wird immer größer, da sonst die quadratisch mit der Geschwindigkeit steigende Luftwiderstandskraft nicht ausgeglichen werden kann.)

$$3.1.4 \quad v \sim n \rightarrow \frac{v}{n} = \text{konst.} \rightarrow \frac{v_{\max}}{n_{\max}} = \frac{v_B}{n_B} \rightarrow$$

$$v_B = \frac{n_B}{n_{\max}} \cdot v_{\max} = \frac{9000 \text{ min}^{-1}}{12000 \text{ min}^{-1}} \cdot 165 \text{ km/h} = 124 \text{ km/h}$$

$$n \sim U_{Kl} \rightarrow \frac{U_{Kl}}{n} = \text{konst.} \rightarrow \frac{U_{Kl, \max}}{n_{\max}} = \frac{U_{Kl, B}}{n_B} \rightarrow$$

$$U_{Kl, B} = \frac{n_B}{n_{\max}} \cdot U_{Kl, \max} = \frac{9000 \text{ min}^{-1}}{12000 \text{ min}^{-1}} \cdot 360 \text{ V} = 270 \text{ V}$$

$$3.1.5 \quad \text{Aus Wirkungsgrad-Kennfeld: } P_{\text{mech}} = 100 \text{ kW} \quad , \quad \eta = 0,89 \quad 2,5$$

$$P_{\text{Bat}} = \frac{P_{\text{mech}}}{\eta} = \frac{100 \text{ kW}}{0,89} = 112 \text{ kW}$$

$$P_{\text{Bat}} = U_{\text{Bat}} \cdot I_{\text{Bat}} \rightarrow I_{\text{Bat}} = \frac{P_{\text{Bat}}}{U_{\text{Bat}}} = \frac{112 \text{ kW}}{270 \text{ V}} = 415 \text{ A}$$

$$3.1.6 \quad \frac{t_i}{T} = \frac{\bar{U}}{U_{\text{Bat}}} = \frac{270 \text{ V}}{360 \text{ V}} = 0,75 \quad 1$$

3.1.7 Beim PWM-Prinzip wird die Batteriespannung nahezu verlustfrei ein- und ausgeschaltet, so dass an den Klemmen der elektrischen Maschine der zeitliche Mittelwert der geschalteten Batteriespannung wirkt und in eine hierzu proportionale Drehzahl gewandelt wird. Würde hingegen ein Vorwiderstand eingesetzt, so würde der Strom durch die elektrische Maschine und die Differenz zwischen Batteriespannung und Klemmenspannung der elektrischen Maschine zur Erwärmung dieses Vorwiderstand führen. $P_{\text{Verlust}} = I \cdot (U_{\text{Bat}} - U_{\text{Kl}})$ 2

$$3.1.8 \quad \text{Vorab zur Probe: } n_{48} = \frac{48 \text{ km/h}}{165 \text{ km/h}} \cdot 12000 \text{ min}^{-1} \approx 3500 \text{ min}^{-1} \quad 4$$

→ Werte 48 km/h und 3500 min⁻¹ passen zueinander (Nachweis war nicht verlangt)

Aus Diagramm abgelesen: $\eta = 0,87$ @ $M = 100 \text{ Nm}$ und $n = 3500 \text{ min}^{-1}$

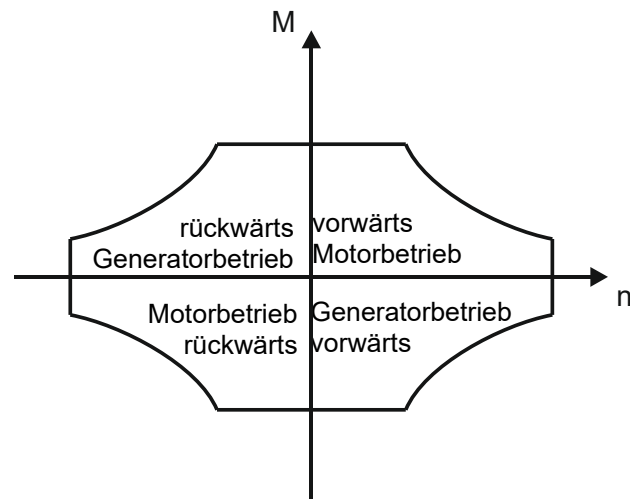
$$P_{\text{Bat}} = \frac{P_{\text{mech}}}{\eta} = \frac{36,7 \text{ kW}}{0,87} = 42,2 \text{ kW}$$

$$W_{\text{Bat}} = P_{\text{Bat}} \cdot t \rightarrow t = \frac{W_{\text{Bat}}}{P_{\text{Bat}}} = \frac{14,5 \text{ kWh}}{42,2 \text{ kW}} = 0,344 \text{ h}$$

$$s = v \cdot t = 48 \text{ km/h} \cdot 0,344 \text{ h} = 16,5 \text{ km}$$

3.1.9

2



3.2 Solarthermisches Kraftwerk

3.2.1 Gegeben:

4

$T_A = 200\text{ }^\circ\text{C}$, $T_E = 700\text{ }^\circ\text{C}$, $\eta_H = 60,7\% = 0,607$, $\eta_R = 73\% = 0,73$, $t_d = 10\text{ h/d}$,

$c_P = 1,005\text{ kJ/kg}\cdot\text{K} = 0,2792\text{ Wh/kg}\cdot\text{K}$, $Q_S = 395,8\text{ GWh}$

Gesucht: $m_{\text{Luft}} = ?$

Am Receiver zur Verfügung stehende jährliche Wärmeenergiemenge Q_R :

$$Q_R = Q_S \cdot \eta_H \cdot \eta_R = 395,8\text{ GWh} \cdot 0,607 \cdot 0,73 = 175,4\text{ GWh}$$

Pro Stunde zur Verfügung stehende Wärmeenergiemenge:

$$\dot{Q}_{Rh} = \frac{Q_R}{t_{ges}} = \frac{175,4 \frac{\text{GWh}}{\text{a}}}{365 \frac{\text{d}}{\text{a}} \cdot 10 \frac{\text{h}}{\text{d}}} = 48,06\text{ MW}$$

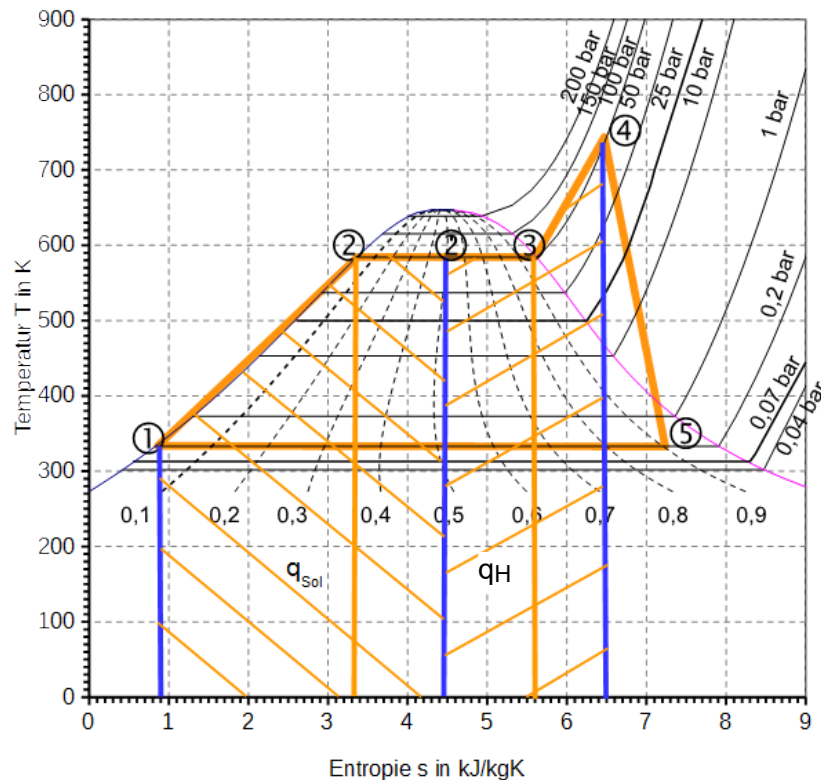
Berechnung der Masse an Luft, die erwärmt werden kann:

$$\dot{Q}_L = \dot{m}_L \cdot c_P \cdot \Delta T$$

$$\dot{m}_L = \frac{\dot{Q}_L}{c_P \cdot \Delta T} = \frac{48,06\text{ MW}}{0,2792 \frac{\text{Wh}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \cdot 500\text{ K}} = 344198,6 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

3.2.2

2



3.2.3 Die zugeführte Solarenergie q_{Sol} entspricht der Fläche unter dem Linienzug $1 \rightarrow 2'$. Dies entspricht der Trapezfläche $1 \rightarrow 2$ und der Rechteckfläche $2 \rightarrow 2'$.

4

$$q_{\text{Sol}} = \frac{T_1 + T_2}{2} \cdot (s_2 - s_1) + T_2 \cdot (s_2' - s_2)$$

$$q_{\text{Sol}} = \frac{333 \text{ K} + 580 \text{ K}}{2} \cdot \left(3,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} - 0,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right) + 580 \text{ K} \cdot \left(4,45 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} - 3,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right)$$

$$q_{\text{Sol}} = 1762,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Die zugeführte Heizenergie q_H entspricht der Fläche unter dem Linienzug $2' \rightarrow 4$. Dies entspricht der Rechteckfläche $2' \rightarrow 3$ und der Trapezfläche $3 \rightarrow 4$.

$$q_H = T_2 \cdot (s_3 - s_2') + \frac{T_3 + T_4}{2} \cdot (s_4 - s_3)$$

$$q_H = 580 \text{ K} \cdot \left(5,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} - 4,45 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right) + \frac{580 \text{ K} + 760 \text{ K}}{2} \cdot \left(6,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} - 5,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right)$$

$$q_H = 1270 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Aus dem T,s-Diagramm abgelesene Werte können abweichen.

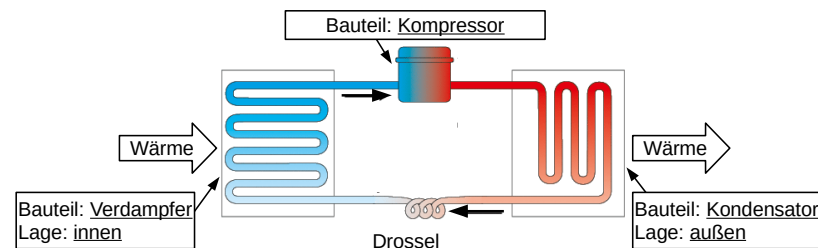
30

4 Wahlaufgaben zu Wohnklima und Gebäudehülle, Wärmepumpe als Klimaanlage

4.1 Eine Multi-Split-Klimaanlage hat das Funktionsprinzip einer Wärmepumpe

- 4.1.1 Im Verdampfer wird das Kältemittel durch Zufuhr der warmen Innenluft verdampft. Im Kompressor wird das verdampfte Kältemittel verdichtet und dabei erwärmt. Die Wärmeabgabe an die Umgebung erfolgt, indem im Kondensator das Kältemittel (unter hohem Druck) wieder kondensiert bevor in der Drossel Temperatur und Druck sinken.

4

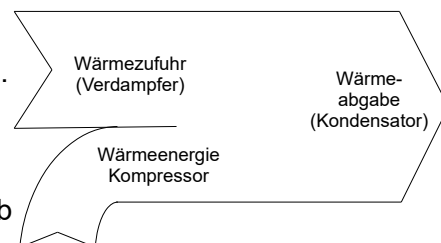


- 4.1.2 Das Kältemittel verdampft im Bereich der „Wärmequelle“. Im Heizbetrieb ist dies außen, so dass „Verdampfer“ und „Kondensator“ getauscht werden müssen. In der Praxis wird dazu die Fließrichtung des Kältemittels geändert.

2

- 4.1.3 Die Wärme, die im Kompressor freigesetzt wird, dient im Winterbetrieb als zusätzliche Heizwärme. Im Sommerbetrieb bezieht sich die Leistungsangabe auf den Wärmestrom, der aus dem Raum abfließt. Das Energieflussbild sieht für beide Betriebszustände identisch aus. Entscheidend ist, ob die „Wärmezufuhr“ oder die „Wärmeabgabe“ die „erwünschte Größe“ ist.

2



- 4.1.4 COP: Momentanwert zum Vergleich der abgegebenen Wärmeleistung zur aufgenommenen elektrischen Leistung

3

JAZ: Verhältnis der abgegebenen Wärmemenge zur aufgenommenen elektrischen Energie über einen langen Zeitraum.

Beide betrachten bei der elektrischen Leistung/Energie neben dem Kompressor auch Hilfsaggregate.

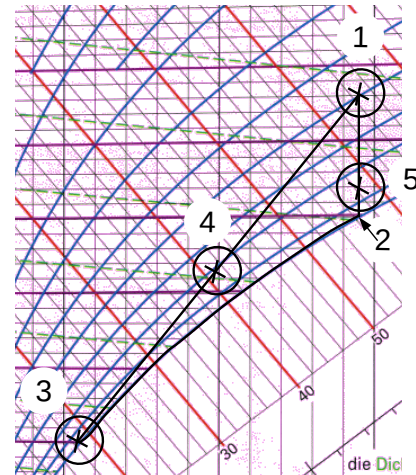
Die JAZ ist für den Vergleich besser geeignet, weil über einen langen Zeitraum verschiedenste Betriebszustände herrschen, die in der Kenngröße berücksichtigt werden können.

4.2 Gebäudeklimatisierung

- 4.2.1 Die warme Innenluft (1) wird bei konstanter absoluter Feuchte bis zum Taupunkt abgekühlt (2). Entlang der Wasserdampfsättigungslinie wird sie bis zur gewünschten Temperatur weiter abgekühlt (3).

Wasserabgabe pro kg trockene Luft:

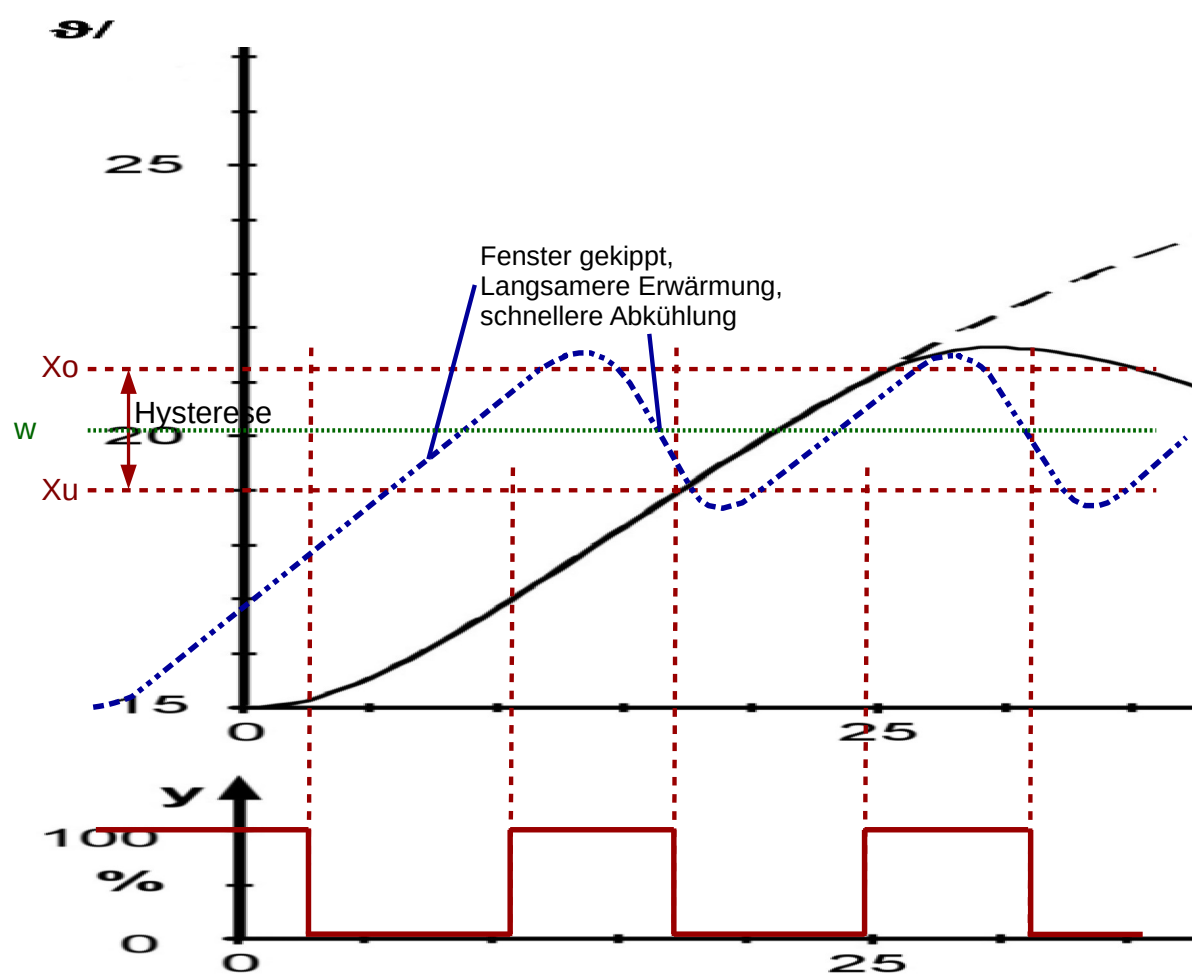
$$\Delta x = x_1 - x_2 = 14,5 \frac{\text{g}}{\text{kg}} - 5,5 \frac{\text{g}}{\text{kg}} = 9 \frac{\text{g}}{\text{kg}}$$



- 4.2.2 Der Mischungspunkt (4) muss auf der Geraden (1) – (3) liegen. Da die Hälfte der Raumluft ausgetauscht wird, liegt der neue Luftzustand genau auf der Hälfte der Strecke (1) – (3).
Abgelesen bei (4): $\vartheta = 16,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $\varphi \approx 81 \%$
- 4.2.3 Beim Abkühlen auf $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ wird ein großer Teil der absoluten Feuchte der Luft entnommen. Die durch Mischung entstandene abgekühlte Luft liegt gerade noch im behaglichen Bereich ($\varphi = 81 \%$ bei $\vartheta = 16,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$). Wenn die warme Luft (1) bei gleichbleibender absoluter Feuchte auf $22 \text{ }^{\circ}\text{C}$ abgekühlt wird (5), erhöht sich die relative Feuchte auf $\varphi = 85 \%$. Die Luft wird als schwül / unbehaglich feucht empfunden.

4.3 Temperaturregelung

- 4.3.1 PT2-Strecke da Verzugszeit sichtbar
Zweipunktregler, schaltet nur ein und aus.
- 4.3.2 Siehe Diagramm: y
- 4.3.3 Obere Schaltschwelle $21,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$, untere Schaltschwelle: $19 \text{ }^{\circ}\text{C}$
→ Hysterese $x_D = 2,3 \text{ K}$ → Sollwert $w = 20,15 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- 4.3.4 Durch die kleinere Hysterese erhöht sich die Schaltfrequenz und die Regelabweichung verringert sich.
Wenn die obere gleich der unteren Schaltschwelle ist, schaltet der Regler ständig und die Anlage kann zerstört werden.
- 4.3.5 Temperaturverlauf siehe Diagramm.
Anstiegszeit vergrößert sich, da Wärme verloren geht und die Erwärmung länger dauert. Die Abfallzeit verringert sich, da der Raum schneller abkühlt.
Sollwert und Hysterese bleiben gleich.



TG Umwelttechnik**Abitur 2018/2019****Hauptprüfung****Lösungsvorschlag**

Arbeitszeit: 270 Minuten
Hilfsmittel: Formelsammlung Umwelttechnik
Zugelassener Taschenrechner

Stoffgebiet	Teil 1: Pflichtbereich	
Aufgabe 1:	Elektromobilität Hybridantrieb Photovoltaik	(3 Seiten)
Aufgabe 2:	Wohnklima und Gebäudehülle Wärme­kraftwerke	(3 Seiten)
	Teil 2: Wahlbereich	
Aufgabe 3:	Bewertung von umwelttechnischen Systemen Abgasreinigung	(3 Seiten)
Aufgabe 4:	Windkraft, Wasserstoffwirtschaft Bewertung von umwelttechnischen Systemen	(3 Seiten)

1 Pflichtaufgabe zu Hybridfahrzeug und Photovoltaik

Punkte

1.1 Energiebedarf des Elektroantriebs1.1.1 Abschnitt 1: abgelesen bei $v = 100 \text{ km/h}$ und 0% Steigung: $P_{\text{mech}} = 13,5 \text{ kW}$

3

$$P_{1\text{Akk}} = \frac{P_{1\text{mech}}}{\eta} = \frac{13,5 \text{ kW}}{0,91} = 14,84 \text{ kW}$$

Abschnitt 2: abgelesen bei $v = 70 \text{ km/h}$ und 7% Steigung: $P_{\text{mech}} = 22 \text{ kW}$

$$P_{2\text{Akk}} = \frac{P_{2\text{mech}}}{\eta} = \frac{22 \text{ kW}}{0,91} = 24,18 \text{ kW}$$

$$t_1 = \frac{s_1}{v_1} = \frac{30 \text{ km}}{100 \text{ km/h}} = 0,3 \text{ h} \quad W_1 = P_{1\text{Akk}} \cdot t_1 = 14,84 \text{ kW} \cdot 0,3 \text{ h} = 4,452 \text{ kWh}$$

$$t_2 = \frac{s_2}{v_2} = \frac{10 \text{ km}}{70 \text{ km/h}} = 0,143 \text{ h} \quad W_2 = P_{2\text{Akk}} \cdot t_2 = 24,18 \text{ kW} \cdot 0,143 \text{ h} = 3,458 \text{ kWh}$$

$$W_{\text{ges}} = W_1 + W_2 = 7,91 \text{ kWh}$$

1.1.2 Bergab ist eine Rekuperation möglich, der Akku wird aufgeladen. Diese Energie kann auf dem Rückweg für Teile der ebenen Strecke genutzt werden.

2

$$1.1.3 \quad P_{\text{el}} = \frac{13,5 \text{ kW}}{0,91} = 14,84 \text{ kW} \quad P_{\text{el}} = U \cdot I \rightarrow I = \frac{P_{\text{el}}}{U} = \frac{14,84 \text{ kW}}{300 \text{ V}} = 49,5 \text{ A}$$

2

$$1.1.4 \quad P_{\text{mech}} = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot M_{\text{Achse}} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{v}{U_{\text{Rad}}} \cdot M \quad \left(n = \frac{v}{U_{\text{Rad}}} = \frac{100 \cdot \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}}}{2 \cdot \pi \cdot \frac{0,65 \text{ m}}{2}} = 13,6 \frac{1}{\text{s}} \right)$$

3

$$\rightarrow M_{\text{Achse}} = \frac{P_{\text{mech}} \cdot U_{\text{Rad}}}{2 \cdot \pi \cdot v} = \frac{13,5 \text{ kW} \cdot \pi \cdot 0,65 \text{ m}}{2 \cdot \pi \cdot 100 \cdot \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}}} = 158 \text{ Nm}$$

$$i = \frac{M_{\text{Achse}}}{M_{\text{Motor}}} = 10 \rightarrow M_{\text{Motor}} = 15,8 \text{ Nm}$$

$$1.1.5 \quad W_{\text{Akk}} = 35 \text{ kWh} \quad W_{\text{Laden}} = \frac{W_{\text{Akk}}}{\eta} = \frac{35 \text{ kWh}}{0,65} = 53,85 \text{ kWh}$$

2

$$P_{\text{Laden}} = U \cdot I = 230 \text{ V} \cdot 14 \text{ A} = 3,22 \text{ kW} \quad t = \frac{W_{\text{Akk}}}{P_{\text{Laden}}} = \frac{53,85 \text{ kWh}}{3,22 \text{ kW}} = 16,7 \text{ h}$$

$$\text{Alternative: } \eta = \frac{P_{\text{ab}}}{P_{\text{zu}}} \rightarrow P_{\text{ab}} = \eta \cdot P_{\text{zu}} = \eta \cdot U_{\text{zu}} \cdot I_{\text{zu}}$$

$$W_{\text{ab}} = P_{\text{ab}} \cdot t \rightarrow t = \frac{W_{\text{ab}}}{P_{\text{ab}}} = \frac{W_{\text{Akk}}}{\eta \cdot U_{\text{zu}} \cdot I_{\text{zu}}}$$

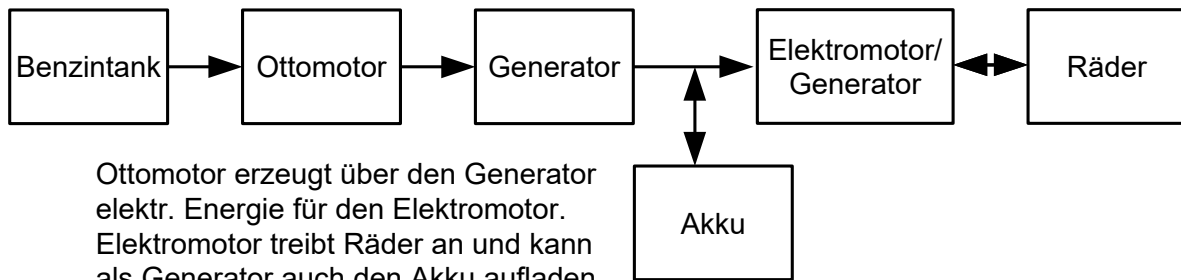
$$1.1.6 \quad P_{\text{Laden}} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos(\phi) = \sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 63 \text{ A} \cdot 1 = 43,65 \text{ kW}$$

2

$$t = \frac{W_{\text{Laden}}}{P_{\text{Laden}}} = \frac{35 \text{ kWh} / 0,65}{43,65 \text{ kW}} = \frac{53,85 \text{ kWh}}{43,65 \text{ kW}} = 1,23 \text{ h}$$

1.2 Fahrt mit Range-Extender

1.2.1



(Akku kann auch zwischen Generator und Elektromotor angeordnet sein.)

1.2.2 Im Benzin enthaltene Energiemenge:

$$W_{\text{Benzin}} = H_i \cdot V = 8,7 \frac{\text{kWh}}{\text{L}} \cdot 12 \text{ L} = 104,4 \text{ kWh}$$

Zur Fortbewegung steht zur Verfügung:

$$W_{\text{mech-Antrieb}} = W_{\text{Benzin}} \cdot \eta_{\text{Benzinmotor}} \cdot \eta_{\text{Generator}} \cdot \eta_{\text{Elektromotor}}$$

$$W_{\text{mech-Antrieb}} = 104,4 \text{ kWh} \cdot 0,23 \cdot 0,85 \cdot 0,91 = 18,57 \text{ kWh}$$

Abgelesen in Abb.2 bei $v = 110 \text{ km/h}$: $P_{\text{mech}} = 17 \text{ kW}$

$$\text{Fahrzeit: } t = \frac{W}{P} = \frac{18,57 \text{ kWh}}{17 \text{ kW}} = 1,09 \text{ h}$$

Zurückgelegte Strecke: $s = 110 \text{ km/h} \cdot 1,09 \text{ h} = 119,9 \text{ km}$

1.3 Photovoltaik-Anlage

$$1.3.1 \quad W_{\text{Jahr}} = P_{\text{Nenn}} \cdot \frac{H_{\text{h-Jahr}}}{1 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}} \cdot K_{\alpha,\beta} \cdot \eta_{\text{WR}} \quad \text{mit} \quad K_{\alpha,\beta} = 1 \quad \text{und} \quad H_{\text{h-Jahr}} = 365 \cdot H_h$$

$$P_{\text{Nenn}} \geq \frac{W_{\text{Jahr}} \cdot 1 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}}{365 \cdot H_h \cdot K_{\alpha,\beta} \cdot \eta_{\text{WR}}} = \frac{5000 \text{ kWh} \cdot 1 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}}{365 \cdot 3,28 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \cdot 1 \cdot 0,92} = 4,54 \text{ kW}$$

$$\text{Anzahl}_{\text{Module}} = \frac{4,54 \text{ kW}}{300 \text{ W}} = 15$$

Alternative Berechnung:

$$W_{\text{Jahr}} = A_{\text{PV}} \cdot H_{\text{h-Jahr}} \cdot K_{\alpha,\beta} \cdot \eta_{\text{PV}} \quad \text{mit} \quad K_{\alpha,\beta} = 1 \quad \text{und} \quad H_{\text{h-Jahr}} = 365 \cdot H_h$$

$$A_{\text{PV}} \geq \frac{W_{\text{Jahr}}}{365 \cdot H_h \cdot \eta_{\text{PV}} \cdot \eta_{\text{WR}}} = \frac{5000 \text{ kWh}}{365 \cdot 3,28 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \cdot 0,18 \cdot 0,92} = 25,2 \text{ m}^2$$

$$\text{Anzahl}_{\text{Module}} = \frac{25,2 \text{ m}^2}{1,67 \text{ m}^2} = 15$$

1.3.2 Verbesserung des Ertrags um den Faktor $K_{\text{opt}} = 1,17$.
D.h. Steigerung des Ertrags um 17 %.

1.3.3 $\Delta T = 75^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C} = 50\text{ K}$

$$U(75^\circ\text{C}) = 7 \cdot 32,41\text{ V} \cdot \left(1 + \frac{-0,28\text{ \%/K} \cdot 50\text{ K}}{100\text{ \%}}\right) = 195,1\text{ V} \quad (U_{1\text{Modul}}(75^\circ\text{C}) = 27,87\text{ V})$$

$$I(75^\circ\text{C}) = 2 \cdot 9,26\text{ A} \cdot \left(1 + \frac{0,04\text{ \%/K} \cdot 50\text{ K}}{100\text{ \%}}\right) = 18,89\text{ A} \quad (I_{1\text{Modul}}(75^\circ\text{C}) = 9,45\text{ A})$$

$$P_{\text{MPP}} = 195,1\text{ V} \cdot 18,89\text{ A} = 3685\text{ W} \quad (P_{1\text{Modul}}(75^\circ\text{C}) = 263,4\text{ W} ; P_{14\text{Module}} = 14 \cdot 263,4\text{ W})$$

1.3.4 Energie ins Stromnetz einspeisen → Vergütung erhalten

Beim Laden der Akkus ohne Sonnenschein → Energie gegen Bezahlung aus dem Netz beziehen:

Einfache Möglichkeit, da Wechselrichter vorhanden, jedoch nur geringe Einspeisevergütung gegenüber teurem Energieeinkauf beim Laden des Autoakkus.

Energie aus eigener Anlage in Akkus speichern und Autoakkus dann mit dieser Energie laden, wenn keine Sonne scheint.

Höhere Investitionskosten für Speicher. Keine zusätzlichen Kosten beim Laden der Autoakkus.

3

2

30

2 Pflichtaufgabe zu Niedrigenergiebauweise und GuD-Kraftwerk

2.1 Niedrigenergiehaus

2.1.1 Verringerung der Lüftungswärmeverluste durch die Wärmerückgewinnung. Verbesserung im Schallschutz: Frischluftzufuhr ohne Fensteröffnung. Zusätzlich wird die Außenluft bei der KWL durch einen Filter gereinigt. 2

2.1.2 h,x-Diagramm: bei -10°C, 80 % rel. Feuchte → absolute Feuchte ca. 1,6 g/kg. Erwärmung auf 18 °C → im h,x-Diagramm senkrecht nach oben → relative Feuchte ca. 15 %. Diagramm FS S. 15: Die zugeführte Luft ist unbehaglich trocken. 3

2.1.3
$$R_T = R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_4}{\lambda_4} + R_{se}$$

$$R_T = 0,13 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} + \frac{0,02 \text{ m}}{0,51 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{0,24 \text{ m}}{1,4 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{0,12 \text{ m}}{0,032 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{0,02 \text{ m}}{0,06 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + 0,043 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

$$R_T = 4,47 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \rightarrow U = \frac{1}{R_T} = 0,224 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

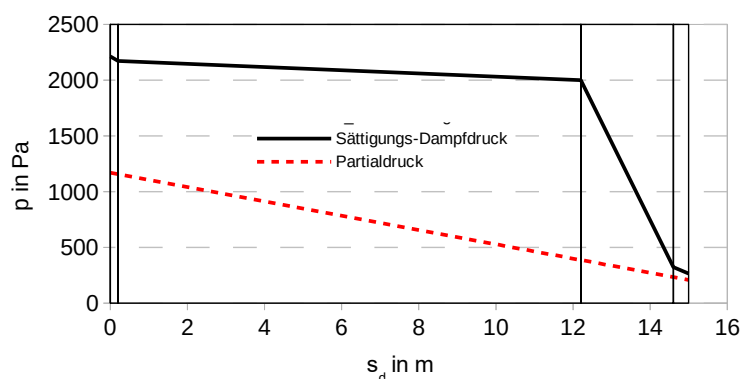
$$\dot{Q} = A \cdot U \cdot \Delta T = 120 \text{ m}^2 \cdot 0,224 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 30 \text{ K} = 806,4 \text{ W}$$

$$Q = \dot{Q} \cdot t = 1161 \text{ kWh}$$
 4

2.1.4
$$\vartheta_{si} = \vartheta_i - \frac{\Delta T}{R_T} \cdot R_{si} = 20^\circ \text{C} - \frac{30 \text{ K}}{\frac{1}{0,22 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}}} \cdot 0,13 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} = 19,1^\circ \text{C}$$
 2

2.1.5 $s_d \rightarrow$ wasserdampfäquivalente Luftschichtdicke. Sie entspricht der Dicke einer Luftschicht, die den identischen Widerstand gegenüber der Wasserdampfdiffusion hat wie die Baustoffschicht. 1

2.1.6 Die Partialdrucklinie ist überall unter dem Sättigungsdampfdruck → kein Tauwasseranfall. 3



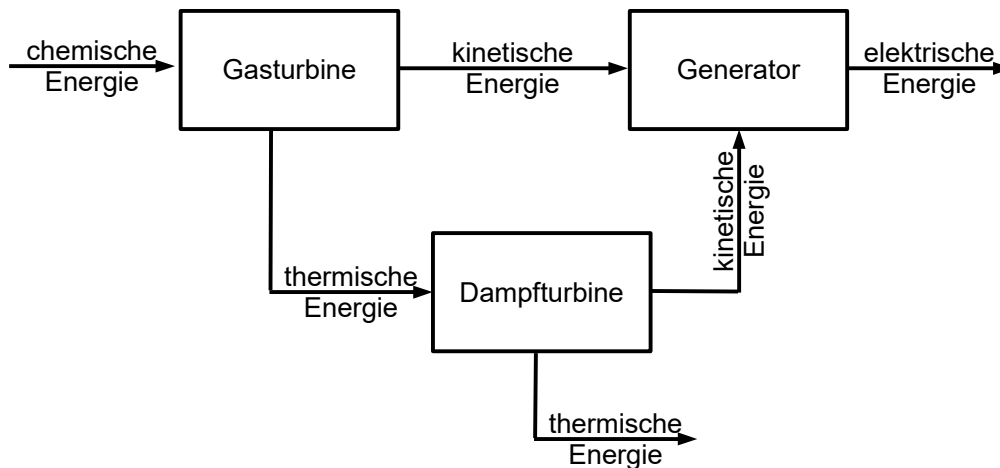
2.2 Gas- und Dampfturbinenkraftwerk

$$2.2.1 \quad W_{\text{el}} = 29 \text{ MW} \cdot 24 \frac{\text{h}}{\text{d}} \cdot 365 \frac{\text{d}}{\text{a}} = 254.040 \frac{\text{MWh}}{\text{a}}$$

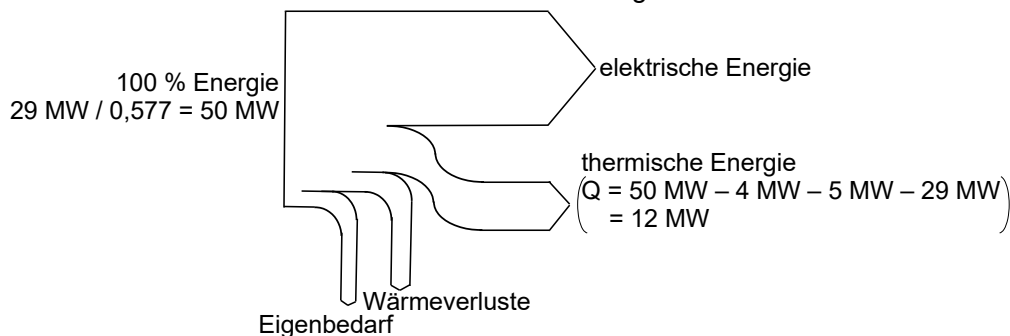
$$\text{Anzahl Haushalte: } N = \frac{W_{\text{el, Kraftwerk}}}{W_{\text{el, Haushalt}}} = \frac{254.040 \frac{\text{MWh}}{\text{a}}}{4 \frac{\text{MWh}}{\text{a}}} = 63.510$$

63.510 Haushalte können versorgt werden.

2.2.2



2.2.3



$$\text{Gesamtwirkungsgrad: } \eta_{\text{ges}} = \frac{Q_{\text{therm}} + W_{\text{el}}}{W_{\text{zu}}} = \frac{29 \text{ MW} + 12 \text{ MW}}{50 \text{ MW}} = 82 \%$$

2.2.4 Im GuD-Kraftwerk wird die in den heißen Abgasen enthaltene Energie mit Hilfe der Gasturbine ausgenutzt. Dadurch wird eine erhebliche Effizienzsteigerung erreicht.

2.2.5 Durch Abkopplung der Gasturbine (mit Generator) kann sehr schnell elektrische Energie bereitgestellt werden. Dadurch können Spitzenlasten im Energiebedarf abgedeckt werden und die Netzstabilität gesichert werden.

2.2.6 Das Kraftwerk ist wärmegeführt, da der Wärmebedarf über den größten Teil des Jahres ganz gedeckt wird. Der Strombedarf wird über das Jahr nie ganz gedeckt.

3 Wahlaufgabe zur Bewertung von umwelttechnischen Systemen, Abgasreinigung

Punkte

3.1 Vergleich Fahrzeug mit Benzinmotor und Elektrofahrzeug

$$3.1.1 \quad \text{benötigte Energiemenge pro km} = \frac{20,5 \text{ kWh}}{100 \text{ km}} = 205 \frac{\text{Wh}}{\text{km}}$$

$$\text{CO}_2 - \text{Ausstoß pro km} = 205 \frac{\text{Wh}}{\text{km}} \cdot \frac{527 \text{ g}}{1000 \text{ Wh}} = 108 \frac{\text{g}}{\text{km}}$$

2

$$3.1.2 \quad m_{\text{CO}_2} = 8 \cdot 25.000 \text{ km} \cdot 0,108 \frac{\text{kg}}{\text{km}} + 30 \text{ kWh} \cdot 150 \frac{\text{kg}}{\text{kWh}} = 21,6 \text{ t} + 4,5 \text{ t} = 26,1 \text{ t}$$

2

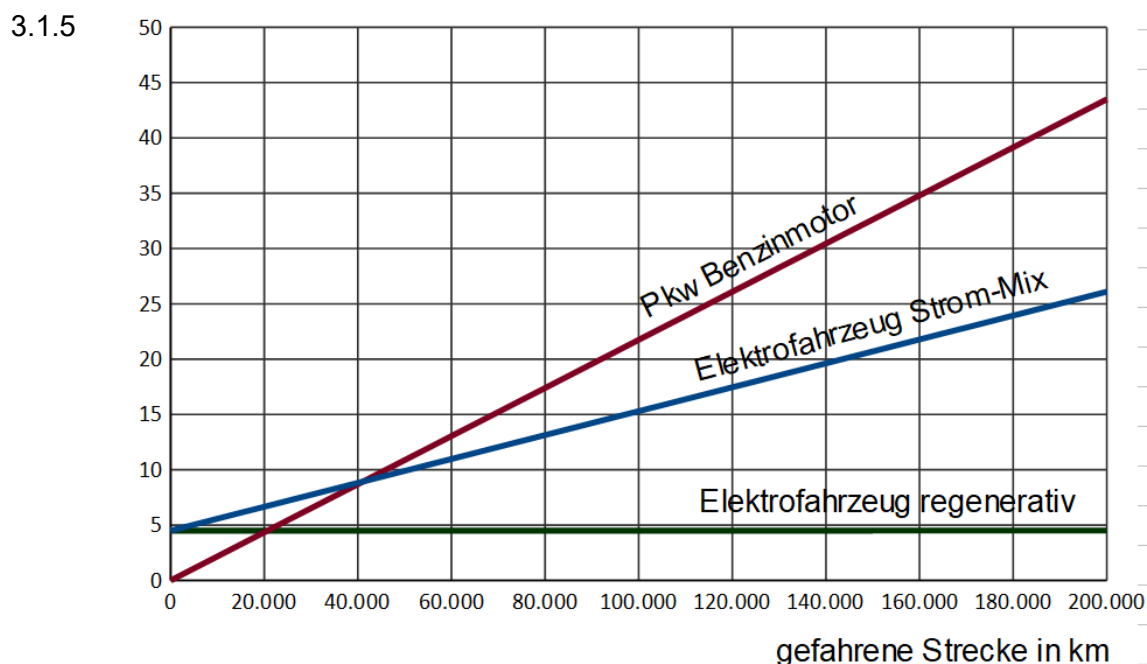
$$3.1.3 \quad m_{\text{CO}_2} = 8 \cdot 25.000 \text{ km} \cdot 0,159 \frac{\text{kg}}{\text{km}} + 8 \cdot 25.000 \text{ km} \cdot \frac{7 \text{ L}}{100 \text{ km}} \cdot 1,585 \frac{\text{kWh}}{\text{L}} \cdot 0,527 \frac{\text{kg}}{\text{kWh}}$$

$$= 31,8 \text{ t} + 11,7 \text{ t} = 43,5 \text{ t}$$

2

3.1.4 CO₂-Ausstoß in Tonnen

2



1

3.1.6 Auch berücksichtigt werden müssen:

2

Herstellung des Fahrzeugs. Die Herstellung trägt zur CO₂-Bilanz, sowie zu weiteren Sach- und Wirkungsbilanzen bei.

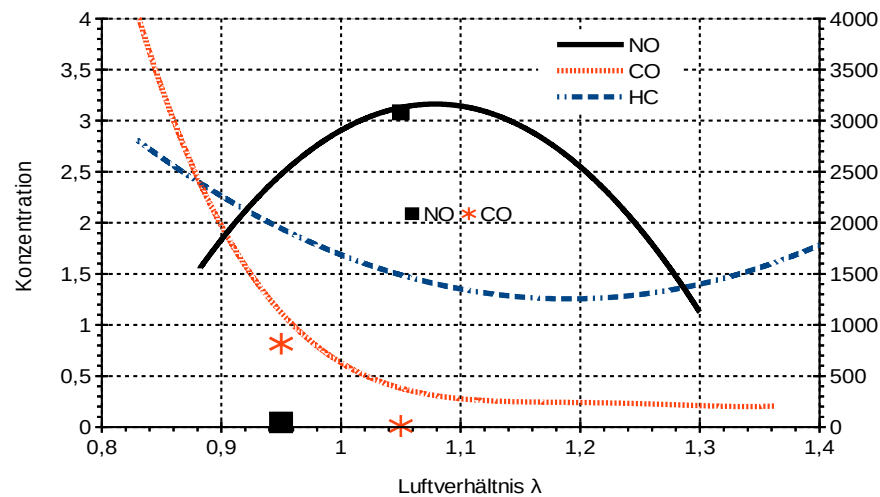
Wartung / Unterhalt des Fahrzeugs. Neben dem Zuführen des Energieträgers zum Antrieb des Fahrzeugs entstehen weitere Aufwendungen, die die Ökobilanz beeinflussen, wie z. B. Ölwechsel, Austausch von Verschleißteilen, usw.

Entsorgung / Recycling des Fahrzeugs. Aufgrund der Verteilung von verschiedenen Materialien z. B. als Verbundwerkstoffe können nicht alle eingesetzten Stoffe recycelt werden und beeinflussen die Sachbilanz ungünstig.

- 3.1.7 Die Herstellung eines Verbrennungsmotors (inklusive Getriebe, Ölfilter etc.) ist deutlich energieintensiver als die Herstellung eines Elektromotors. 3
- Bei einem Elektrofahrzeug ist im Unterhalt und bei der Wartung kein Ölwechsel erforderlich. Durch die Rekuperation gibt es weniger Verschleiß in der Bremsanlage.
- Das Recycling der Lithium-Ionen-Akkus steht noch in der Kritik, ist aber möglich und wird bereits praktiziert. Durch den Aufbau einer Industrie mit umfassender Infrastruktur können die Recyclingverfahren weiter verbessert werden.
- 3.1.8 Erzeugte CO₂-Masse pro Jahr: $m_{\text{CO}_2(\text{Jahr})} = \frac{m_{\text{CO}_2(8 \text{ Jahre})}}{8} = \frac{25 \text{ t}}{8} = 3,125 \text{ t}$ 3
- $\frac{1 \text{ ha}}{10 \text{ t}} \cdot 3,125 \text{ t} = 0,312 \text{ ha}$ sind notwendig, um das CO₂ der mit Strom-Mix geladenen Elektrofahrzeuge zu binden. Es stehen jedoch nur 0,13 ha zur Verfügung.
- Nachhaltigkeit bedeutet, individuelle Bedürfnisse nicht auf Kosten anderer oder zukünftiger Generationen zu befriedigen. Das erfordert eine ausgeglichene CO₂-Bilanz. Für eine nachhaltiges Mobilitätskonzept muss der CO₂-Ausstoß weiter reduziert werden, z. B. durch das regenerative Laden der Elektrofahrzeuge.
- 3.1.9 Die Vermeidung von Autofahrten, wo immer möglich, vermeidet natürlich die damit verbundenen Emissionen. 3
- Car-Sharing hilft, die Gesamtzahl der Fahrzeuge zu minimieren und mindert damit die Emissionen, die mit der Herstellung und der Entsorgung von Fahrzeugen verbunden sind.
- Ein weiterer Ausbau von Wind- und Sonnenenergie hilft den CO₂-Ausstoß des derzeitigen Strom-Mix zu verbessern und ist damit eine weitere Maßnahme zur Erhöhung der Nachhaltigkeit von individueller Mobilität.
- 3.2 Schadstoffemission und Abgasreinigung bei Kraftfahrzeugen**
- 3.2.1 CO / HC werden bei unvollständiger Verbrennung gebildet. Hohe Konzentration bei Luftmangel, niedrige Konzentration bei Luftüberschuss. 2
- Da die Verbrennungstemperatur bei sehr hohem Luftüberschuss sinkt, steigt die HC Konzentration bei großen λ-Werten an. (unvollständige Verbrennung)
- NO wird bei hohen Verbrennungstemperaturen gebildet, maximale Konzentration bei λ 1,0 (ideale Verbrennung, höchste Temperaturen).
- 3.2.2 $2 \text{ CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{ CO}_2$ 3
- $2 \text{ C}_2\text{H}_6 + 7 \text{ O}_2 \rightarrow 4 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O}$
- $2 \text{ NO} + 2 \text{ CO} \rightarrow \text{N}_2 + 2 \text{ CO}_2$

3.2.3

Faktoren			gemindert		
λ	CO	NO	λ	CO	NO
0,95	0,18	0,98	0,95	0,82	49
1,05	0,96	0,02	1,05	0,014	3087



- 3.2.4 $\lambda=1,3 \rightarrow$ Roh-Emissionen:
 sehr niedrige CO-Konzentration,
 relativ niedrige Konzentration HC,
 relativ niedrige NO-Emission.

Die Reaktion $2 \text{ NO} + 2 \text{ CO} \rightarrow \text{N}_2 + 2 \text{ CO}_2$ im Drei-Wege-Katalysator läuft bei hohem Luftüberschuss nicht, da das CO als Reaktionspartner für das NO nicht zur Verfügung steht. CO reagiert einfacher mit dem Luftsauerstoff zu CO_2 . ($2 \text{ CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{ CO}_2$). NO muss daher auf andere Weise entfernt werden (z. B. SCR-Katalysator)

3

2

30

4 Wahlaufgabe zu Windkraft und Wasserstoffwirtschaft

Punkte

4.1 Kleinwindkraftanlage4.1.1 Abgelesen: $n = 1550 \text{ min}^{-1}$

3

$$\lambda = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{v} = \frac{\pi \cdot 1,2 \text{ m} \cdot \frac{1550}{60 \text{ s}}}{12 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 8,1$$

$$4.1.2 \quad P_{\text{Wind}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot v^3 = \frac{1}{2} \cdot 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (1,2 \text{ m})^2 \cdot \left(12 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 = 1173 \text{ W}$$

3

$$P_{\text{mech}} = \frac{P_{\text{Nenn}}}{\eta} = \frac{350 \text{ W}}{0,9} = 388,9 \text{ W}$$

$$c_p = \frac{P_{\text{mech}}}{P_{\text{Wind}}} = \frac{388,9 \text{ W}}{1173 \text{ W}} = 0,331$$

4.1.3 Bei einer dreiflügeligen Anlage mit einer Schnelllaufzahl von 8 kann der Leistungsbeiwert bis über 0,5 liegen. Damit wäre deutlich mehr Leistung möglich. Die Qualität der Kleinwindkraftanlage ist daher im Vergleich zur idealen Lösung nicht optimal.

3

4.1.4

4

0 .. 4 m/s $P = 0 \text{ W}$ 4 .. 6 m/s $P = 5 \text{ W}$ 6 .. 8 m/s $P = 35 \text{ W}$ 8 .. 10 m/s $P = 130 \text{ W}$ 10 .. 12 m/s $P = 280 \text{ W}$ 12 .. 14 m/s $P = 350 \text{ W}$

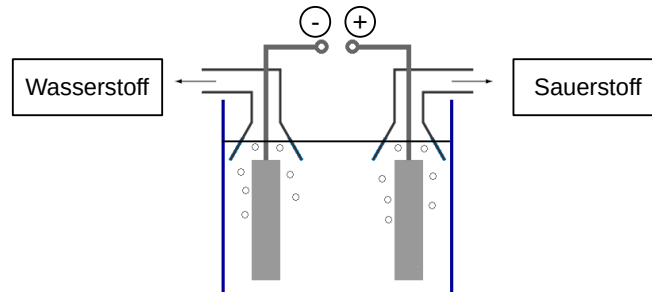
$$W_{\text{Jahr}} = 24 \text{ h/d} \cdot 365 \text{ d} \cdot (0,3 \cdot 5 \text{ W} + 0,3 \cdot 35 \text{ W} + 0,2 \cdot 130 \text{ W} + 0,05 \cdot 280 \text{ W} + 0,05 \cdot 350 \text{ W})$$

$$W_{\text{Jahr}} = 608,8 \text{ kWh}$$

4.2 „Power to Gas“ mit Windkraft und Wasserstoffspeicher

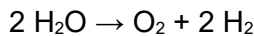
- 4.2.1 Minus-Pol: Elektronen werden dem Elektrolyseur zugeführt. Daher muss an dieser Stelle die untere Reaktionsgleichung (Wasserstoffentstehung) ablaufen.

2



- 4.2.2 Gesamtreaktionsgleichung

2



Das Volumenverhältnis von O_2 zu H_2 ist 1 : 2

- 4.2.3 Berechnung des Elektrolyseur-Wirkungsgrades:

2

$$\eta_{\text{Elektrolyseur}} = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}} = \frac{H_{\text{s,H}_2} \cdot V_{\text{H}_2}}{U \cdot I \cdot t} = \frac{3,55 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \cdot 0,006 \text{ m}^3}{23,9 \text{ V} \cdot 14,5 \text{ A} \cdot 300 \text{ s}} = 0,73$$

- 4.2.4 Ablesen aus Tabelle: Windgeschwindigkeit: 10-12 m/s $\rightarrow P = 280 \text{ W}$

3

Elektrische Energie eines Tages:

$$W_{\text{el}} = P_{\text{el}} \cdot t = 280 \text{ W} \cdot 24 \text{ h} = 6720 \text{ Wh} = 6,72 \text{ kWh}$$

Gewonnene chemische Energie eines Tage:

$$W_{\text{chem}} = W_{\text{el}} \cdot \eta_{\text{Elektrolyseur}} = 6,72 \text{ kWh} \cdot 0,75 = 5,04 \text{ kWh}$$

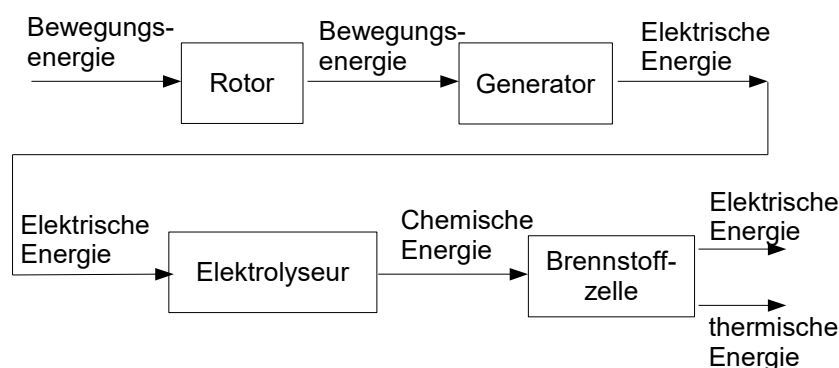
Berechnung Tagesvolumen Wasserstoff

$$V_{\text{H}_2} = \frac{W_{\text{chem}}}{H_{\text{s,H}_2}} = \frac{5,04 \text{ kWh}}{3,55 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}} = 1,42 \text{ m}^3$$

4.3 Bilanzierung der „Power to Gas“ - Anlage

- 4.3.1 Energetisches Blockschaltbild

2



4.3.2 Berechnung des elektr. Wirkungsgrades der Brennstoffzelle

4

$$\eta_{\text{Brennstoffzelle-ges}} = \eta_{\text{Brennstoffzelle-thermisch}} + \eta_{\text{Brennstoffzelle-elekt}}$$

(Prozesse laufen parallel ab, daher Addition)

$$\eta_{\text{Brennstoffzelle-elekt}} = \eta_{\text{Brennstoffzelle-ges}} - \eta_{\text{Brennstoffzelle-thermisch}} = 0,85 - 0,4 = 0,45$$

Berechnung des Gesamtwirkungsgrades

$$\eta_{\text{ges}} = \eta_{\text{Elektrolyseur}} \cdot \eta_{\text{Brennstoffzelle-elekt}} = 0,75 \cdot 0,45 = \underline{0,3375}$$

Der Wirkungsgrad liegt bei einem Drittel der zuvor von der WKA abgegebenen elektrischen Energie. Zwei Drittel gehen bei der Speicherung und Umwandlung als Verlustenergie verloren. Dies erscheint viel. Wenn man jedoch bedenkt, dass ohne Speicherung gar keine Energie aus dem windreichen Zeitraum zur Verfügung stehen würde, ist jeder Energiebeitrag aus der Speicherung eine Verbesserung.

4.3.3 Windenergie steht nicht immer zur Verfügung, wenn der entsprechende elektrische Energiebedarf besteht. Die Speicherung überschüssiger Windenergie in Zeiten starker Windstromproduktion trägt dazu bei, dass in Zeiten schwächerer Produktion und höherer Energienachfrage eine bessere Passung zwischen Energieangebot und Nachfrage erzielt wird. Dies verbessert die Versorgungssicherheit.

2

30