

TG Umwelttechnik
Hauptprüfungen
und Übungen

Abitur 2013/2014
bis
Abitur 2021/2022

TG Umwelttechnik**Abitur 2013/2014****Hauptprüfung**

Arbeitszeit: 270 Minuten

Hilfsmittel: Formelsammlung Umwelttechnik,
Zugelassener Taschenrechner

Stoffgebiet Teil 1: Pflichtbereich

Aufgabe 1:	Photovoltaik Elektromobilität	(3 Seiten)
Aufgabe 2:	Wohnklima und Gebäudehülle Wärme erzeugen Energieumwandlung in Wärmekraftwerken	(3 Seiten)

Teil 2: Wahlbereich

Aufgabe 3:	Elektro- und Hybridfahrzeuge Abgasreinigung Wind- und Wasserkraft	(2 Seiten)
Aufgabe 4:	Wärme erzeugen Abgasreinigung Steuern und regeln	(3 Seiten)

Bemerkungen Die Aufgaben 1 und 2 (Pflichtbereich) sind von allen Prüflingen zu bearbeiten.
Aus den Aufgaben 3 und 4 (Wahlbereich) wählt die Schülerin/der Schüler eine Aufgabe aus.

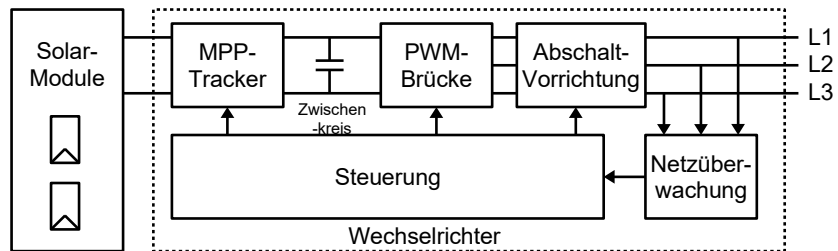
Jede Aufgabe ist mit einem neuen Blatt zu beginnen. Bei Verstößen gegen die angemessene Darstellungsform kann ein Punkteabzug erfolgen.

D

**1 Pflichtaufgabe
Photovoltaik**

Punkte

Bild1:
Das Blockschaltbild zeigt eine netzgekoppelte Photovoltaik-Anlage.



1.1 Aufgaben eines Wechselrichters

1.1.1 Nennen Sie drei Aufgaben eines Wechselrichters.

2

Wechselrichter können auch Blindleistung kompensieren.

1.1.2 Stellen Sie dar, wodurch Blindleistung entsteht und wie sie kompensiert wird.

3

1.2 PWM-Brücke im Wechselrichter

Im Wechselrichter kommt eine Brückenschaltung zum Einsatz, deren Ausgangsspannung $U_{1_{PWM}}$ auf dem Arbeitsblatt dargestellt ist. Eine nachgeschaltete Filterschaltung erzeugt eine analoge Spannung, indem sie näherungsweise die arithmetischen Mittelwerte der Ausgangsspannung $U_{1_{PWM}}$ über die Zeiträume T bildet.

1.2.1 Skizzieren Sie auf dem Arbeitsblatt abschnittsweise die arithmetischen Mittelwerte der Spannung $U_{1_{PWM}}$.

2

Anleitung: Jeweils einen Mittelwert über einen Abschnitt T abschätzen.

1.3 Kennwerte von Solarzellen

Auf dem Arbeitsblatt sind die Daten und die I-U-Kennlinie der verwendeten Solarmodule dargestellt.

1.3.1 Berechnen Sie die Leistungen eines Solarmoduls bei folgenden Spannungswerten: 0 V / 25 V / 27 V / 29,5 V / 31 V / 35 V / 36,6 V.

3

Konstruieren Sie mit den errechneten Werten die Leistungskennlinie $P(U)$.

Zeichnen Sie diese in das Diagramm auf dem Arbeitsblatt ein.

1.3.2 Zeichnen Sie die Punkte I_{SC} , U_{OC} , I_{MPP} , U_{MPP} , P_{MPP} in das Diagramm ein.

2

1.3.3 Ergänzen Sie das Diagramm durch eine Skizze der Solarmodulkennlinie, die sich bei halber Bestrahlungstärke (500 W/m^2) ergibt. Erklären Sie den Kennlinienverlauf.

2

1.3.4 Erklären Sie den Begriff und die Notwendigkeit des MPP-Tracking.

3

1.4 Projektierung der Module auf dem Dach

Eine Dachfläche von 6 m x 9 m wird mit den auf dem Arbeitsblatt angegebenen Modulen belegt. Die Spannung am Wechselrichter soll in den Betriebszuständen STC und NOCT im Bereich zwischen 400 V und 660 V liegen.

1.4.1 Bestimmen Sie die notwendige Anzahl der Module. Begründen Sie die Verschaltung der Module.

3

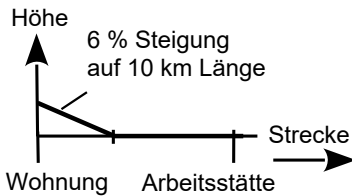
1.4.2 Ermitteln Sie die Nennleistung der Gesamtanlage und den Modulwirkungsgrad bei STC- oder NOCT-Bedingungen.

2

Elektromobilität: Effektive E-Bike-Nutzung

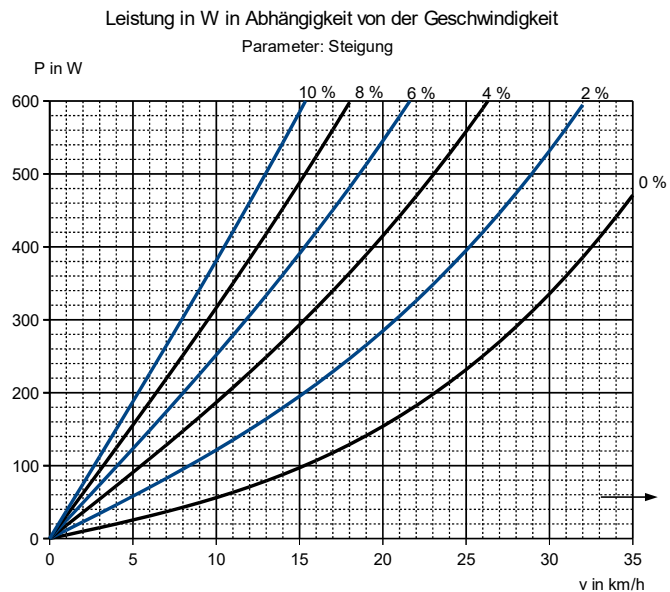
Als umweltschonende Alternative zum Auto soll für die tägliche Fahrt zur Arbeit ein E-Bike eingesetzt werden. Der Nutzer bewältigt auf seinen Fahrten das abgebildete Streckenprofil in beiden Richtungen.

Streckenprofil



Kurvenschar P(v,m)

Die abgebildete Kurvenschar dient zur Berechnung der aufzubringenden Leistung in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit v für verschiedene Steigungen m in %.



1.5 Fahrt auf der Ebene

Ermitteln Sie, welche Motorunterstützung (in %) der Fahrer in der Ebene wählen muss, damit er 25 km/h schnell fährt und selbst nur 100 W Tretleistung aufbringen muss.

Hinweis: X % Motorunterstützung bedeutet: Motor X %, Rest Mensch.

2

1.6 Fahrt am Berg

Um das E-Bike möglichst effektiv nutzen zu können, sollen bei der Bergauffahrt die Fälle mit den Motorunterstützungen 50 % und 75 % miteinander verglichen werden. Der Körper soll **in beiden Fällen 100 W** aufbringen.

Hinweis: 75 % Motorunterstützung bedeutet: Motor 75 %, Mensch 25 %

1.6.1 Bestimmen Sie mithilfe der Kurvenschar P(v,m) die Geschwindigkeiten auf der Bergfahrt bei den Tretunterstützungen 50 % und 75 %.

1

1.6.2 Berechnen Sie für beide Fälle die dem Akku entnommenen Energiemengen.

3

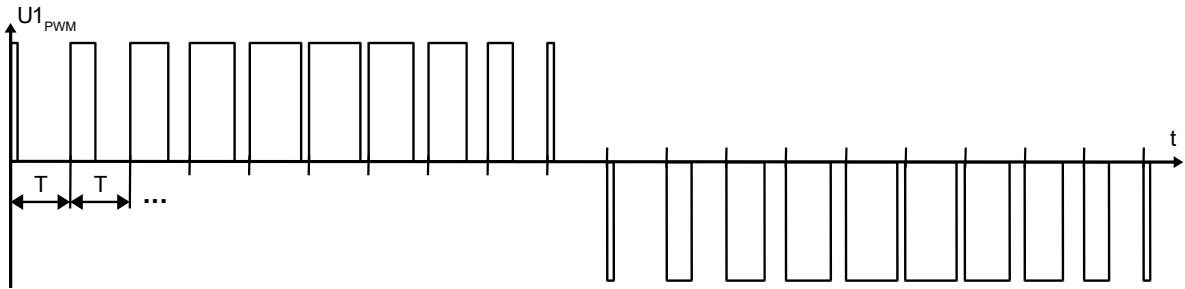
1.6.3 Diskutieren Sie die beiden Fälle hinsichtlich Fahrzeit, Akku-Energieverbrauch und der vom Fahrer aufgebrauchten Energiemenge.

2

Σ 30

Arbeitsblatt

zu Aufgabe 1.2.1



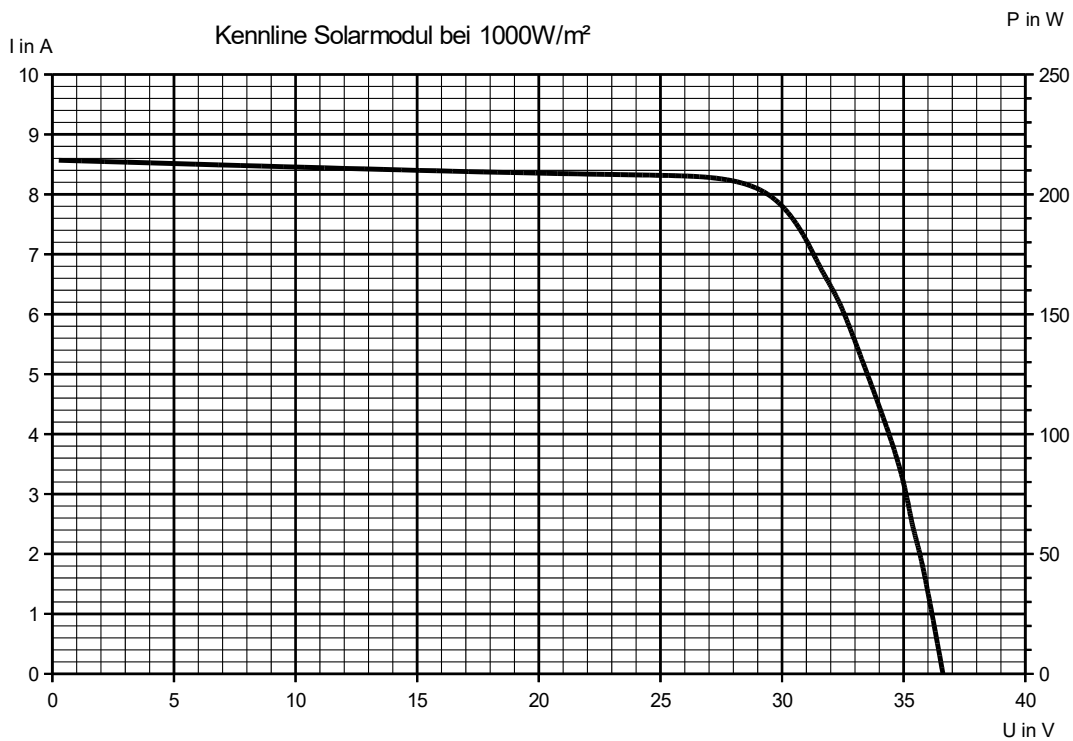
2

zu den Aufgaben 1.3.1 und 1.3.2 und 1.3.3

Daten Solarmodul: Modulmaße 1500mm x 1000mm

Elektrische Daten		@STC	@NOCT	Einheit
Nennleistung	P_{MPP}	235	179	W_P
Nennspannung im MPP	U_{MPP}	29,5	27,5	V
Leerlaufspannung	U_{OC}	36,6	34,2	V
Kurzschlussstrom	I_{SC}	8,66A	6,96	A

Standardtestbedingungen STC (Luftmasse AM 1,5, Einstrahlung $1000W/m^2$, Zelltemperatur $25^\circ C$)
 Nennbetriebstemperatur NOCT ($800W/m^2$, AM 1,5, Windlast 1m/s, Umgebungstemperatur $20^\circ C$)



3

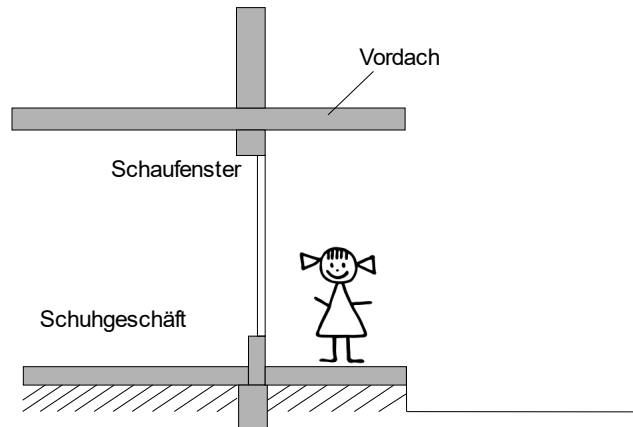
2

2

2 Pflichtaufgabe

2.1 Sanierung eines Wohn- und Geschäftshauses

Im Innenstadtbereich von Stuttgart soll ein Wohn- und Geschäftsgebäude saniert werden. Im Erdgeschoss befindet sich das Schuhgeschäft des Eigentümers mit großen nach Süden ausgerichteten Schaufensterflächen.



Ein Energieberater schlägt dem Eigentümer Herrn Maier in einem ersten Beratungsgespräch unter anderem folgendes vor:

- Entfernung des Vordachs oberhalb des Schaufensters
- Anbringen einer Außendämmung
- Erneuerung des Heizkessels

2.1.1 Nennen und erklären Sie je einen Vorteil und einen Nachteil zur Entfernung des Vordachs aus bauphysikalischer Sicht.

2

2.1.2 Die Wand besteht aus Vollklinker (Rohdichteklasse 1800, $d = 24$ cm). Als Innenputz wurde Gipsputz ($d = 2$ cm) verwendet, der Außenputz besteht aus Kalkzementmörtel ($d = 2$ cm).

Der Energieberater empfiehlt eine Außendämmung aus 16 cm dicken Holzfaserdämmplatten (WLG 045), verputzt mit Wärmedämmputz (WLG 060, $d = 2$ cm).

Erstellen Sie eine beschriftete Schnittskizze des Wandaufbaus nach der Sanierung mit Maßangaben.

2

2.1.3 Ermitteln Sie den Wärmedurchgangskoeffizienten des Wandquerschnitts vor und nach der Sanierung.

Berechnen Sie die prozentuale Änderung des Wärmestroms durch den Wandquerschnitt, welche sich durch die Sanierungsmaßnahme ergibt.

4

2.1.4 Die Temperatur der Raumluf ϑ_i beträgt 20 °C, die relative Luftfeuchte ist $\varphi = 60$ %.

Ermitteln Sie die Taupunkttemperatur.

Markieren Sie in Ihrer Skizze des sanierten Wandquerschnitts den Bereich, in dem die Taupunkttemperatur im Winter unterschritten werden kann (ohne Berechnung!). Begründen Sie Ihre Auswahl.

4

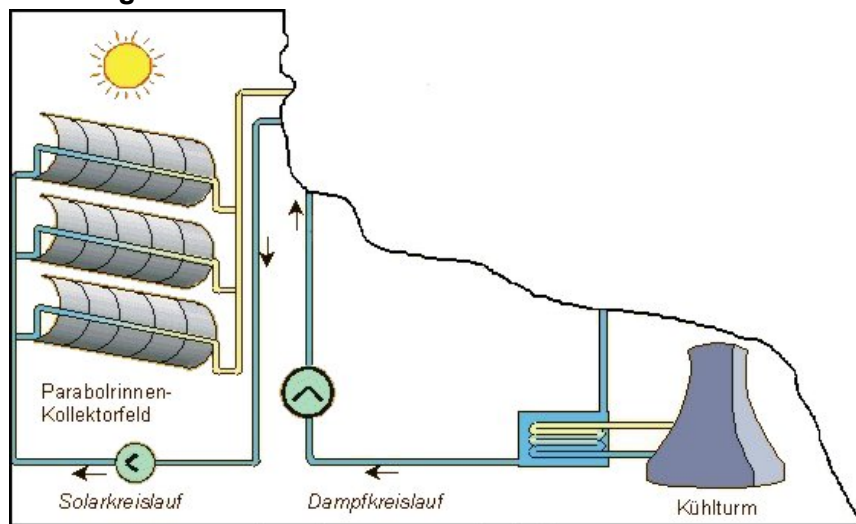
Erläutern Sie, warum mit großer Wahrscheinlichkeit trotzdem kein Tauwasser im Wandquerschnitt anfällt.

2.1.5 Im Rahmen der Sanierung soll auch der Heizkessel ausgetauscht werden. Der alte Ölkessel hat einen Wirkungsgrad von 78 %. Der Wirkungsgrad des neuen Kessels wird mit 105 % angegeben. Die Heizkörper sollen erhalten bleiben.	2
Erläutern Sie, warum der Energieberater in der Planung ein neu einzubauendes Abwasserrohr neben dem Heizkessel vorsieht.	
2.1.6 Stellen Sie die Reaktionsgleichung für die Verbrennung von Heizöl EL (näherungsweise: $C_{10}H_{18}$) auf. Ermitteln Sie den Taupunkt bei einer angenommenen Luftzusammensetzung von 80 % N_2 und 20 % O_2 . Die zugeführte Verbrennungsluftmenge entspricht der stöchiometrisch erforderlichen Mindestluftmenge, der Umgebungsdruck p_{amb} ist 1 bar.	3
2.1.7 Begründen Sie, wie sich der Taupunkt ändert, wenn die zugeführte Luftmenge erhöht wird.	1
2.2 Solarthermisches Kraftwerk	
Nach dem Gespräch mit dem Energieberater steht Schuhhändler Maier vor seinem Schuhgeschäft auf dem Gehweg. Sein Nachbar, Herr Bauer, berichtet begeistert von seinem Besuch in einem Solarkraftwerk während seines Spanienurlaubs.	
2.2.1 Herr Bauer zeigt ihm das Anlagenschaubild eines solarthermischen Kraftwerks. Jedoch ist ihm auf der Reise ein Teil abhanden gekommen.	
Vervollständigen Sie das Anlagenschaubild (s. Arbeitsblatt).	
Ordnen Sie die folgenden Begriffe zu:	
<ul style="list-style-type: none"> • Thermoöl • Wasser • Dampferzeuger / Überhitzer • Kondensator 	5
Erklären Sie die Funktionsweise der Anlage.	
2.2.2 Von dem Dampfkraftprozess sind folgende Daten bekannt:	
<ul style="list-style-type: none"> • Druck im Kondensator: $p_{Kond} = 0,07$ bar • Druck im Dampferzeuger: $p_{DE} = 28$ bar • Temperatur beim Turbineneintritt: $\vartheta_{TE} = 283$ °C • Entropie beim Turbinenaustritt: $s_{TA} = 7,7 \frac{kJ}{kg \cdot K}$ 	2
Tragen Sie den Prozess im T,s-Diagramm (s. Arbeitsblatt) ein.	
2.2.3 Ermitteln Sie mit Hilfe des T,s-Diagramms die im Dampferzeuger zugeführte und die im Kondensator abgeführte spezifische Wärmemenge q in kJ/kg näherungsweise.	3
2.2.4 Berechnen Sie die spezifische Nutzarbeit w_{Nutz} und den thermischen Wirkungsgrad η_{th} des Prozesses.	2
30	

Arbeitsblatt

zu Aufgabe 2.2.1: Anlagenschaubild Solarthermisches Kraftwerk

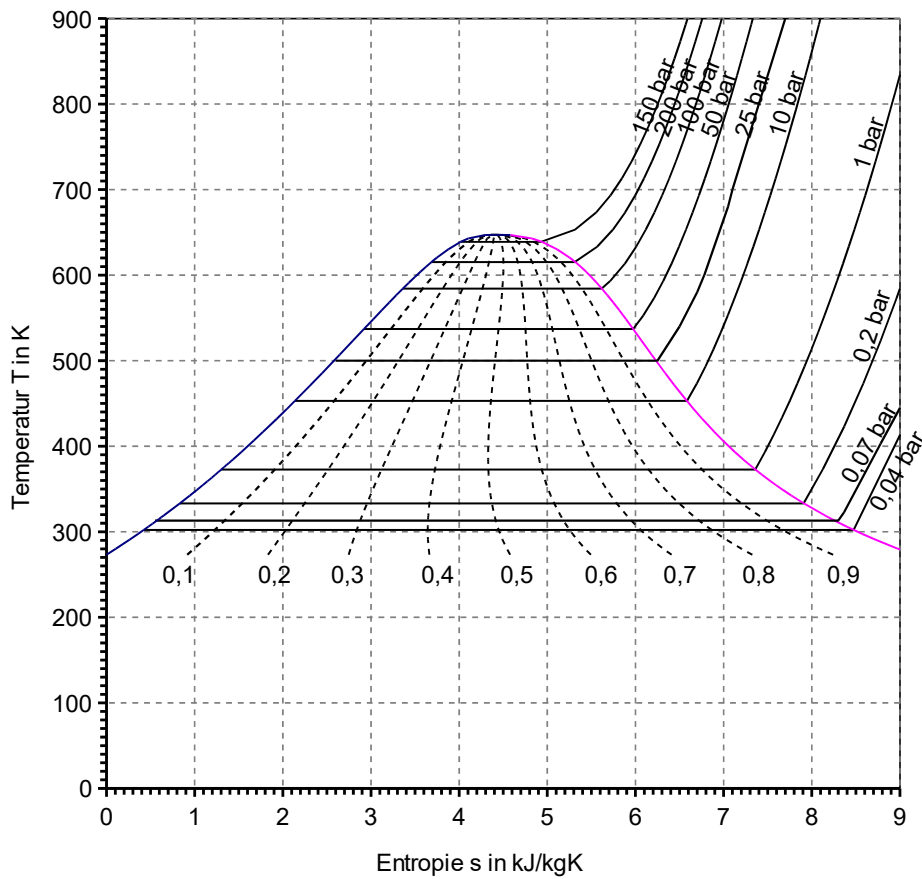
5



zu Aufgabe 2.2.2: T,s-Diagramm

T,s-Diagramm von Wasser

2



3 Wahlaufgabe Windpumpspeicherkraftwerk und Hybrid-PKW

Punkte

3.1 Pumpspeicherkraftwerk

Mit einer Kombination aus Windkraftanlage und Pumpspeicherkraftwerk soll ein grundlastfähiges Kraftwerk mit folgenden technischen Daten entstehen:

Fallhöhe	$h = 250\text{m}$
Durchfluss	$\dot{V}_p = 5,6 \text{ m}^3/\text{s}$
Maximal speicherbare elektrische Arbeit	$W_e = 70 \text{ MWh}$
Volumen oberes Becken	$V = 160.000 \text{ m}^3$

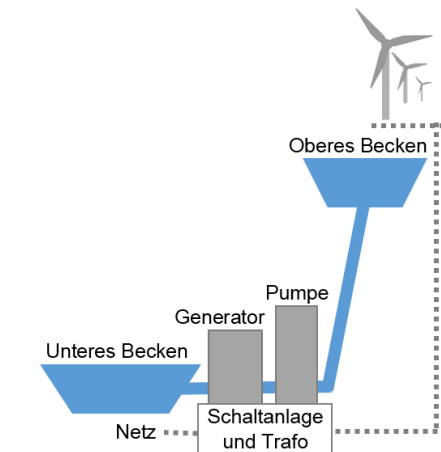


Bild 1

3.1.1 Berechnen Sie die im oberen Becken gespeicherte Arbeit W_{pot} . Diese kann über eine Turbine mit angeschlossenen Generator in elektrische Arbeit umgewandelt werden. Bestimmen Sie auch den Wirkungsgrad für diese Speicherung.

2

3.1.2 Die abgegebene Leistung des Pumpspeicherkraftwerks soll variabel einstellbar sein. Begründen Sie, welcher Turbinentyp in dieser Situation zu wählen ist.

2

3.2 Windkraftanlage

Das Pumpspeicherkraftwerk wird ergänzt durch eine Windkraftanlage. Die Leistungskurve der Windkraftanlage ist im Bild 2 stark vereinfacht dargestellt. Die Windkraftanlage hat folgende technischen Daten:

Rotordurchmesser	$d = 123 \text{ m}$
Gleitzahl Flügelprofil	$E \rightarrow \infty$
Flügelanzahl	$Z = 3$
Nennwindgeschwindigkeit	$v_n = 11 \text{ m/s}$
Generatorleistung	$P_e = 4,5 \text{ MW}$
Wirkungsgrad Generator	$\eta_g = 0,95$

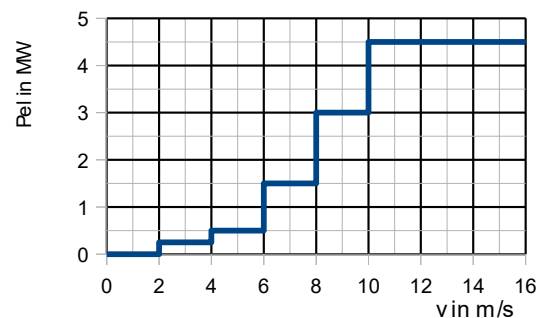


Bild 2

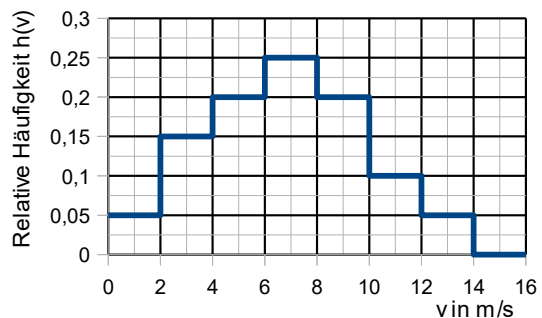


Bild 3

3.2.1 Erläutern Sie, warum die Leistungskurve im Bild 2 mit zunehmender Windgeschwindigkeit ansteigt und dann abflacht.

2

3.2.2 Berechnen Sie den Leistungsbeiwert c_p der Anlage.

3

3.2.3 Bestimmen Sie mithilfe des Leistungsbeiwert-Schnelllaufzahl-Diagramms, wie oft sich der Rotor bei Nennwindgeschwindigkeit pro Minute dreht. Gehen Sie dabei von einem Leistungsbeiwert $c_p = 0,5$ aus. 2

3.2.4 Die Windkraftanlage soll an einem Standort mit einer Windverteilung wie in Bild 3 aufgestellt werden. Ermitteln Sie den Jahresertrag in GWh. 3

3.3 Gesamtanlage

3.3.1 Erläutern Sie den Vorteil, der sich aus der Kombination der beiden Kraftwerke ergibt. Gehen Sie dabei auch auf den Begriff der Grundlastfähigkeit ein. 2

3.3.2 Wie viele Tage mit durchschnittlicher Windenergie kann das Pumpspeicherkraftwerk zwischenspeichern, wenn man einen Jahresertrag der Windkraftanlage von 15,7 GWh annimmt? 2

3.3.3 Schätzen Sie den Gesamtwirkungsgrad der Anlage ab, wenn die Energie aus dem Wind zuerst im Pumpspeicherkraftwerk zwischengespeichert wurde. Verwenden Sie soweit wie möglich die bisher gewonnenen Erkenntnisse und Werte. 2

3.4 Diesel-Hybrid-PKW

Als Dienstfahrzeug für die Mitarbeiter des Kraftwerks wird ein Diesel-Hybrid-PKW beschafft.

Der Dieselmotor dieses Fahrzeugs arbeitet mit 12-facher Verdichtung bei einer Ansaugtemperatur von ca. 70 °C und einem Umgebungsdruck $p_{amb} = 1$ bar. Das Arbeitsgas soll näherungsweise als Luft betrachtet werden. Die Masse der angesaugten Luftmenge beträgt $m_1 = 1,02$ g.

Vom Diesel-Kreisprozess sind folgende Daten bekannt:

	p in bar	V in L	T in K
1	1		343
2	32,6	0,08	928
3	32,6	0,25	2784
4	4,65	1	1595

3.4.1 Skizzieren Sie den Dieselkreisprozess im p-V-Diagramm und benennen Sie die einzelnen Zustandsänderungen beginnend mit Punkt 1 am Start der Kompression. 2

3.4.2 Berechnen Sie das Anfangsvolumen V_1 im Punkt 1 des dargestellten Kreisprozess. 1

3.4.3 Skizzieren Sie die vom Motor erzeugte Nutzarbeit in Ihr p,V-Diagramm.
Die bei der Expansion freigesetzte Energie ist $W_{ab} = -1411$ J. Berechnen Sie die Nutzarbeit. 4

3.4.4 Zur Reduktion von Dieselruß im Abgas werden spezielle Dieselrußfilter eingesetzt.
Erläutern Sie, wie die Dieselrußpartikel die menschliche Gesundheit beeinträchtigen können. 1

3.4.5 Erklären Sie, wie das Verstopfen eines Rußpartikelfilters erkannt und beseitigt wird.
Geben Sie die chemische Gleichung an, bei der der Kohlenstoff abgebaut wird. 2

4 Pflichtaufgabe**4.1 Holzhackschnitzelfeuerung**

Punkte

In ein Schulzentrum wird eine Holzhackschnitzelheizungsanlage eingebaut.

Der Brennstoff ist sehr inhomogen. Für seine Verbrennung ist daher ein hoher Luftüberschuss erforderlich ($\lambda = 1,6$).

4.1.1 Der Heizwert der Holzhackschnitzel ist $H_i = 4,5 \text{ kWh/kg}$, der Kesselwirkungsgrad η_K ist 91 %.

3

Ermitteln Sie den erforderlichen Holzdurchsatz in kg/h, wenn für die Beheizung des Gebäudes eine Leistung von 50 kW erforderlich ist.

4.1.2 Für die Verbrennung von Holzhackschnitzeln ist eine relativ hohe Luftverhältniszahl erforderlich.

2

Erklären Sie den Begriff Luftverhältniszahl.

4.1.3 Berechnen Sie den tatsächlichen Luftbedarf bei einer Luftverhältniszahl $\lambda = 1,6$ und einem Mindestluftbedarf $L_{\min} = 5 \text{ m}^3/\text{kg}$.

2

4.1.4 Entwerfen Sie ein Diagramm, das die Abhängigkeit der CO-Emission von der Luftverhältniszahl qualitativ darstellt. Begründen Sie den Kurvenverlauf.

4

4.2 Solarthermieanlage

Zusätzlich zur Hackschnitzelanlage wird eine Anlage zur solaren Trinkwassererwärmung eingeplant. Die Kollektoren werden frei aufgeständert auf dem Flachdach montiert.

Im ersten Planungsstadium sollen die Kollektoren bei einer Neigung von 70° gegenüber der Horizontalen in Richtung Süden ausgerichtet sein.

Die Solaranlage soll in den Sommermonaten die Warmwasserversorgung sicherstellen. Der Anlagenwirkungsgrad η_{Anl} soll mit 50 % berücksichtigt werden.

Der minimale Wärmebedarf Q_{\min} soll mit 50 kWh angenommen werden.

4.2.1 Beurteilen Sie die Ausrichtung und Neigung der Kollektoren.

3

4.2.2 Begründen Sie, welchen Kollektortyp Sie für die beschriebene Anwendung vorschlagen würden.

2

4.2.3 Ermitteln Sie die erforderliche Kollektorfläche. Der Speicher hat ein Volumen von 1000 l und soll an einem Juli-Tag mit der Solarthermieanlage von 10°C auf 60°C erwärmt werden können.

4

4.3 Steuerung für energiesparende Flurbeleuchtung

Zur Energieeinsparung wird in einem Schulgebäude ein längerer Flur beim Durchschreiten abschnittsweise beleuchtet. Dabei „bewegen“ sich die beleuchteten Abschnitte mit dem Passanten.

Hinweis: In dieser Aufgabe wird nur der Fall betrachtet, dass der Flur in der angegebenen Laufrichtung durchschritten wird und der Passant eine einzelne Türe ansteuert. Nachdem er den Sensor B0 passiert hat, benötigt er weniger als 3 Minuten, bis er eine der Türen erreicht hat.

Bild 1: Technologieschema

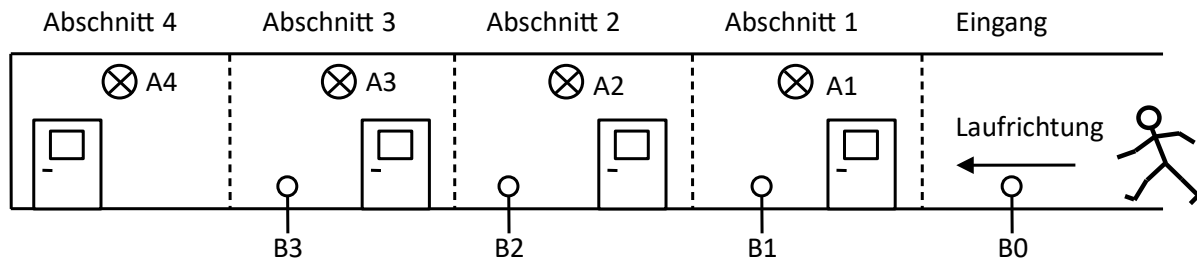
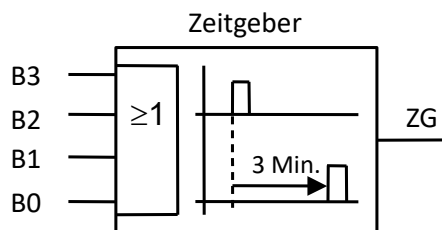


Bild 2: Verwendeter Zeitgeber-Baustein



Logische Zustände

- Leuchten aus: $A = 0$
- Leuchten an: $A = 1$
- keine Bewegung durch Sensor erkannt: $B = 0$
- Bewegung durch Sensor erkannt: $B = 1$

Der Zeitgeber ZG wird durch jeden der Eingänge B0 bis B3 neu gestartet und liefert nach drei Minuten einen kurzen Impuls $ZG = 1$.

Zu realisierender Ablauf

Erreicht der Passant den Sensor B0, so wird die Leuchte A1 eingeschaltet. Mit dem Erreichen des Sensors B1 wird A2 eingeschaltet, mit Erreichen von B2 wird A3 ein- und A1 ausgeschaltet, mit Erreichen von B3 wird A4 ein- und A2 ausgeschaltet. A3 und A4 können nur über den Zeitgeber ZG ausgeschaltet werden. Mit ZG soll sichergestellt werden, dass alle Leuchten spätestens 3 Minuten, nachdem der letzte Sensor passiert wurde, ausgeschaltet werden.

4.3.1 Grafische Darstellung

Stellen Sie die Ablaufsteuerung als Zustandsdiagramm oder in GRAFCET dar.

Eingänge: B0, B1, B2, B3, ZG Ausgänge: A1, A2, A3, A4

5

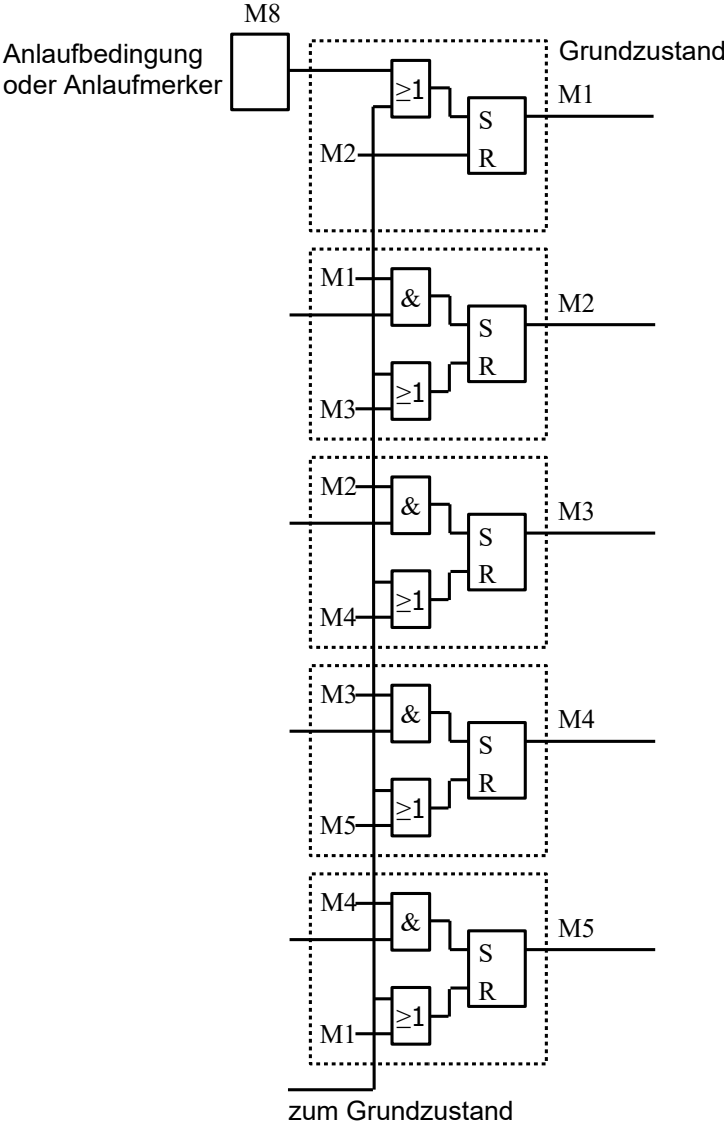
4.3.2 Schrittkette

Vervollständigen Sie auf dem Arbeitsblatt den Funktionsplan der Schrittkette zur Ansteuerung der Leuchten.

5

Arbeitsblatt

zu Aufgabe 4.3.2: Schrittkette



TG Umwelttechnik**2013/2014****Übung****Arbeitszeit:** 270 Minuten**Stoffgebiet:** Teil 1: Pflichtbereich

Aufgabe 1: Wind- und Wasserkraft (3 Seiten)

Aufgabe 2: Wohnklima und Gebäudehülle (3 Seiten)
Wärme erzeugen
Abgasreinigung

Teil 2: Wahlbereich

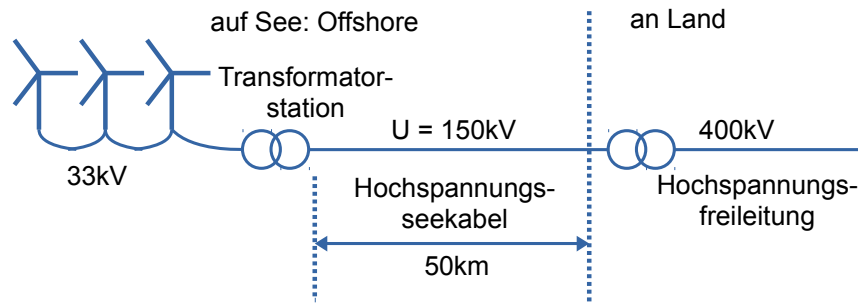
Aufgabe 3: Wohnklima und Gebäudehülle (4 Seiten)
Brennstoffzelle
Steuern und regelnAufgabe 4: Wärme erzeugen (2 Seiten)
Elektromobilität
Photovoltaik
Elektro- und Hybridfahrzeuge

1 Pflichtaufgabe

1.1 Energieübertragung

Punkte

Bei einem Offshore-Windpark wird vor der Übertragung der elektrischen Energie zum Land die Spannung von 33 kV auf 150 kV hoch transformiert.



Daten:

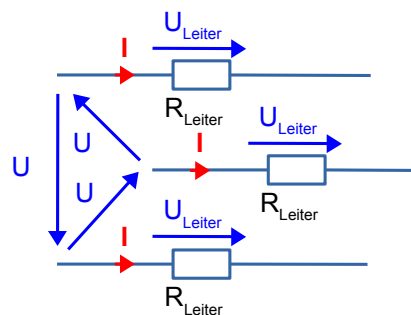
Leistung Windpark
 $P_{\text{Nenn}} = 100 \text{ MW}$

Widerstand eines 1 km langen Leiters des Seekabels: $R_{\text{Leiter}} = 55,3 \text{ m}\Omega / \text{km}$

Länge des Seekabels:
 $L = 50 \text{ km}$

Material der Leiter des Seekabels:
 Kupfer

Übertragung mit 3 x 150 kV
 3-Phasen-Wechselstrom (Drehstrom)



- 1.1.1 Berechnen Sie die Querschnittsfläche eines Leiters des Seekabels. 1
- 1.1.2 Ermitteln Sie den Strom in einem Leiter des Seekabels und die gesamte Verlustleistung aller 3 Leiter, die durch den ohm'schen Widerstand des Kabels entsteht. Annahme: $\cos \varphi = 1$. 3
- 1.1.3 Weisen Sie nach, dass der Einsatz von Hochspannung zu geringeren Verlusten führt. Berechnen Sie dazu die Verlustleistung, die entstünde, wenn man unverändert 100 MW bei einer Spannung von 33 kV übertragen wollte. 2
- 1.1.4 Die Verluste von Unterwasserkabeln sind in der Praxis deutlich höher als die rein ohm'schen Leitungsverluste. Beschreiben Sie Gründe dafür. 2
- 1.1.5 Diskutieren Sie die Vor- und Nachteile der Hochspannungsgleichstrom-Übertragung (HGÜ) am Beispiel der Anbindung des Offshore-Windparks an das bestehende Drehstrom-Netz. 2

Bemessung eines Laufwasserkraftwerks

Ein Laufwasserkraftwerk soll möglichst viele Haushalte mit Grundlastenergie versorgen. Das Kraftwerk ist mit 4 Maschinensätzen ausgerüstet. Jeder Maschinensatz besteht aus einer Propeller-Turbine, die einen Synchrongenerator antreibt.

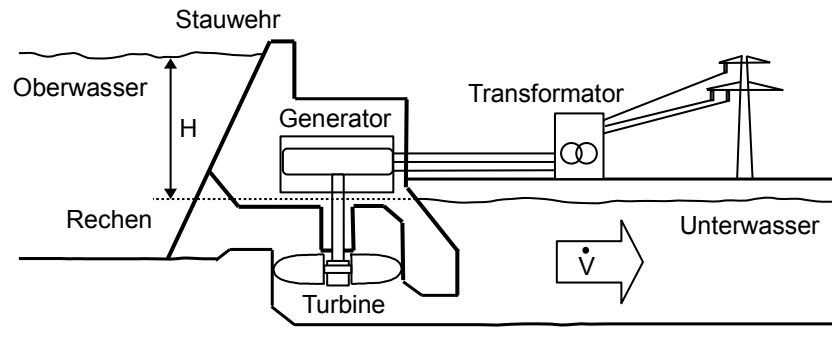
Daten:

Generator:

$$\eta_{\text{Gen}} = 0,9$$

Turbine bei einem maximalen Durchfluss von $5 \text{ m}^3/\text{s}$:

$$\eta_{\text{maxTurbine}} = 0,9$$



1.2 Niedrigwasser

Während der Winterzeit beträgt die Wasserdurchflußmenge $\dot{V} = 5 \text{ m}^3/\text{s}$. Die Fallhöhe beträgt $12,5 \text{ m}$. Lediglich einer der Maschinensätze ist in Betrieb.

1.2.1 Berechnen Sie die Leistung, mit der die Turbine angetrieben wird. 2

1.2.2 Ermitteln Sie die elektrische Leistung, die das Kraftwerk bereit stellt und die Anzahl der Haushalte, deren Grundlast von 180 W mit diesem Wasserkraftwerk gedeckt werden kann. 2

1.3 Normalwasser

Über einen weiten Zeitraum kann die Wasserdurchflußmenge durch das Wehr konstant gehalten werden. Sie liegt dann bei $\dot{V} = 16 \text{ m}^3/\text{s}$. Die Fallhöhe beträgt 12 m .

Drei Verteilungen der Durchflussmenge auf die Maschinensätze werden verglichen: 5

a) $5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} + 5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} + 5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} + 1 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ b) $5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} + 5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} + 3 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} + 3 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ c) $4 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} + 4 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} + 4 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} + 4 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

Begründen Sie durch Rechnung, bei welcher Verteilung das Kraftwerk die größte elektrische Leistung zur Verfügung stellt. Berücksichtigen Sie dabei die Abhängigkeit des Turbinenwirkungsgrads von der Durchflussmenge in der Formelsammlung. Der Generatorwirkungsgrad bleibt konstant.

1.4 Hochwasser

Begründen Sie, weshalb ein Maschinensatz bei Hochwasser und einer Durchflussmenge von $5 \text{ m}^3/\text{s}$ nicht die elektrische Nennleistung abgeben kann. 1

Rotor einer Windkraftanlage

1.5 Vergleich Rotoren

Moderne Windkraftanlagen unterscheiden sich erheblich von holländischen Windmühlen. Dies soll im Folgenden untersucht werden.

- 1.5.1 Nennen Sie die beiden wichtigsten Unterschiede in der Rotorform. 1
- 1.5.2 Beschreiben Sie, was man unter dem Leistungsbeiwert einer Windkraftanlage versteht und welche Bedeutung er für den Betrieb hat. Bestimmen Sie jeweils einen typischen Wert für holländische Windmühlen und moderne Windkraftanlagen. 2

1.6 Orientierung des Rotors

In Bild 1 sind die Schnittbilder zwei verschiedener Rotoren gegeben.

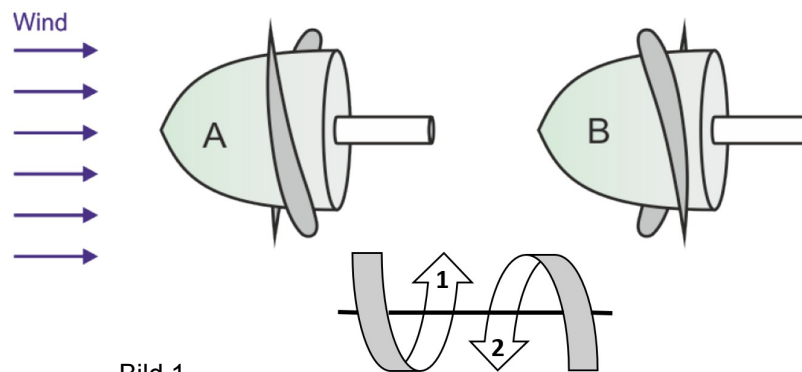


Bild 1

- 1.6.1 Ermitteln Sie, in welche Richtung sich die Rotoren jeweils drehen. 1
- 1.6.2 Begründen Sie, mit welchem Rotor dem Wind mehr Energie entnommen werden kann. 2

1.7 Pitcheinstellung und Rotorform

Eine wesentliche Anpassungsmöglichkeit des Rotors an die Gegebenheiten ist der Einstellwinkel ϑ der Rotorblätter zur Rotorebene.

- 1.7.1 Begründen Sie, ob beim Anlaufen aus dem Stillstand ein großer oder ein kleiner Winkel einzustellen ist. 2
- 1.7.2 Rotoren moderner Windkraftanlagen haben je nach Entfernung vom Zentrum einen anderen Winkel zur Rotorebene. Die Rotorblätter sind in sich verdreht. Erklären Sie diesen Sachverhalt. 2

Σ30

2 Pflichtaufgabe

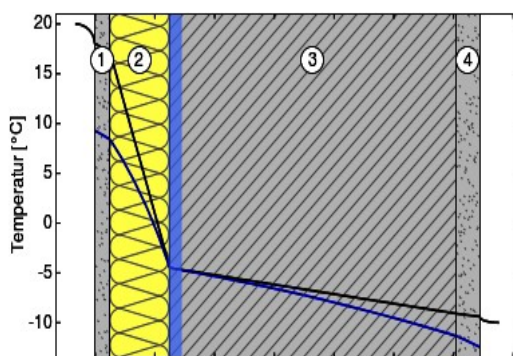
2.1 Feriendorf – bauliche Überlegungen

Ein Investor plant ein Feriendorf auf der schwäbischen Alb. Es soll aus 70 Wohneinheiten bestehen.

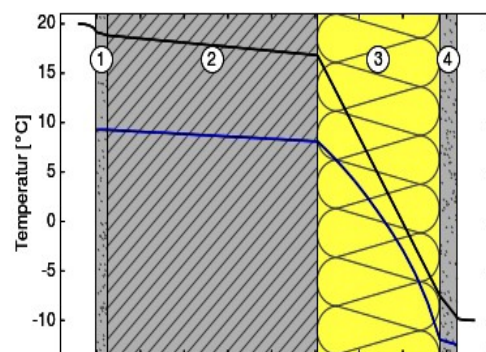
2.1.1 Erläutern Sie zwei bauliche Vorüberlegungen, die eingeplant werden können, um die Heizkosten in den Häusern des Feriendorfs möglichst gering zu halten

2.1.2 Als Wandaufbau für die Feriendorfhäuser stehen zwei verschiedene Varianten zur Auswahl. In den Wandquerschnitten ist der Temperaturverlauf und der Verlauf der Taupunkttemperatur der Wintermonate dargestellt.

Ordnen Sie die Wandquerschnitte 1 und 2 den Beschreibungen A und B zu. Begründen Sie Ihre Auswahl.



Wandquerschnitt 1



Wandquerschnitt 2

Beschreibung A

Innen: Gipskartonplatte $d = 12,5$ mm
 Mauerwerk: Kalksandstein (KS), $\rho = 1600$ kg/m³, $d = 24$ cm
 Außen: Polystyrol (XPS), WLG 038, $d = 14$ cm
 Wärmedämmputz, WLG 060, $d = 2$ cm

Beschreibung B

Innen: Gipskartonverbundplatte, bestehend aus:
 Gipskarton $d = 12,5$ mm und
 Dämmstoff Polystyrol EPS, WLG 035, $d = 50$ mm
 Mauerwerk: Kalksandstein (KS), $\rho = 1600$ kg/m³, $d = 24$ cm
 Außen: Kalk-Zementputz, $\rho = 1800$ kg/m³, $d = 2$ cm

2.1.3 Einer der abgebildeten Wandquerschnitte ist tauwassergefährdet. Erklären Sie anhand der Abbildungen den Anfall von Tauwasser innerhalb des betroffenen Wandquerschnitts.

2.1.4 Die Heizungsanlage dient während der Wintermonate dem Frostschutz. Die Ferienhäuser werden nur an wenigen Belegungstagen aufgeheizt.

Bewerten Sie die Wandquerschnitte für die beschriebene Nutzung in den Wintermonaten.

2.1.5 Bestimmen Sie den U-Wert des Wandquerschnitts 2.

2.1.6 Bestimmen Sie die Wärmeleitfähigkeit eines alternativen Dämmstoffs für den Wandaufbau 2, um bei gleichen Schichtdicken einen U-Wert von $U = 0,18$ W/m²K zu erreichen.

Punkte

2

2

2

3

2

4

2.2 Feriendorf – Blockheizkraftwerk

In der Planungsphase des Feriendorfs sind verschiedene Wärmeerzeuger in der Diskussion. Da der Investor ein besonders innovatives Image pflegen möchte, würde er gerne ein Blockheizkraftwerk einbauen.

2.2.1 Erläutern Sie dem Investor, welche Voraussetzungen für einen wirtschaftlichen Betrieb eines Blockheizkraftwerks gegeben sein müssen. 1

2.2.2 Vervollständigen Sie den Heizkreislauf in der Prinzipskizze (s. Arbeitsblatt) zwischen den Wärmetauschern und der Raumheizung. Begründen Sie die Reihenfolge der Wärmetauscher. 3

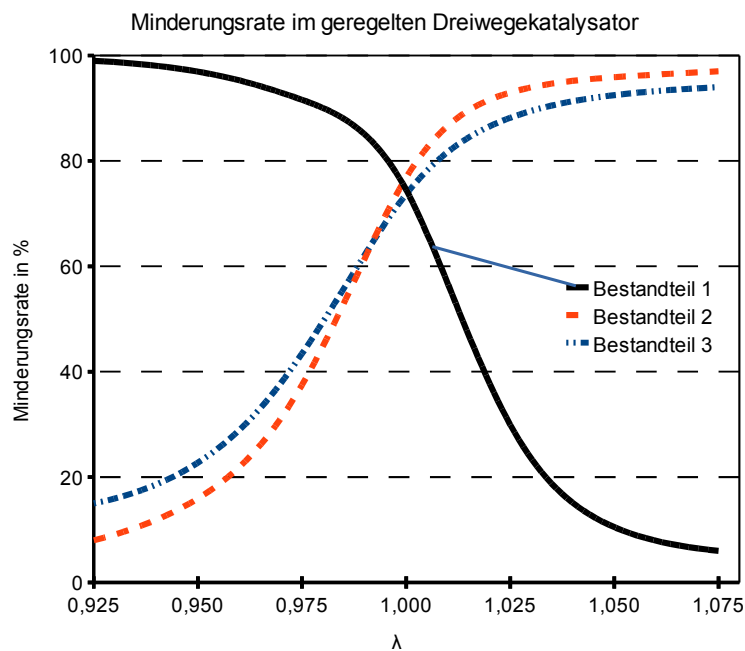
2.2.3 Die thermische Leistung des in Frage kommenden Blockheizkraftwerks ist $\dot{Q}_{th} = 45 \text{ kW}$, die elektrische Leistung $P_{el} = 25 \text{ kW}$. Ermitteln Sie den thermischen und den elektrischen Wirkungsgrad bei einem Gesamtwirkungsgrad von 88 %. 2

2.2.4 Zur Abgasreinigung des Blockheizkraftwerks mit Otto-Motor wird ein geregelter Dreiwegekatalysator eingesetzt. 5

Beschreiben Sie seinen Aufbau und seine Funktionsweise.

Erstellen Sie die Reaktionsgleichungen für die Minderung der Abgasbestandteile NO, CO und C_3H_8 .

2.2.5 Begründen Sie, um welchen Abgasbestandteil es sich bei „Bestandteil 1“ handelt. 2

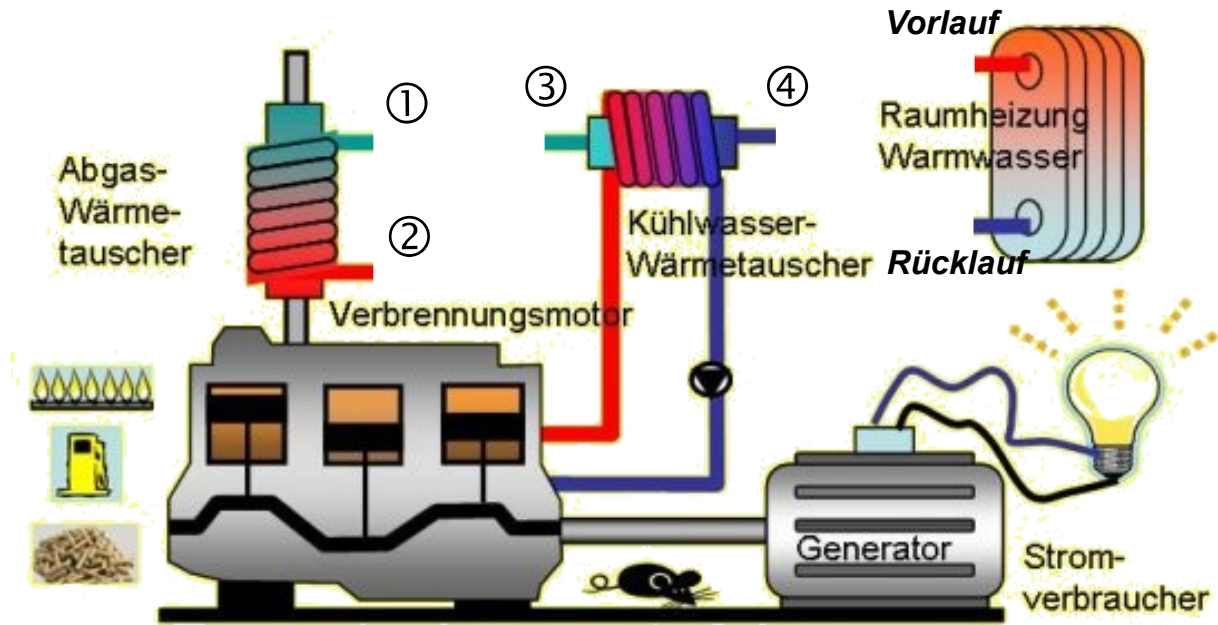


2.2.6 Benennen Sie die Phasen des idealen Kreisprozesses des Otto-Motors im p,V-Diagramm (Arbeitsblatt). 2

Kennzeichnen Sie die Wärmezufuhr und Wärmeabgabe.

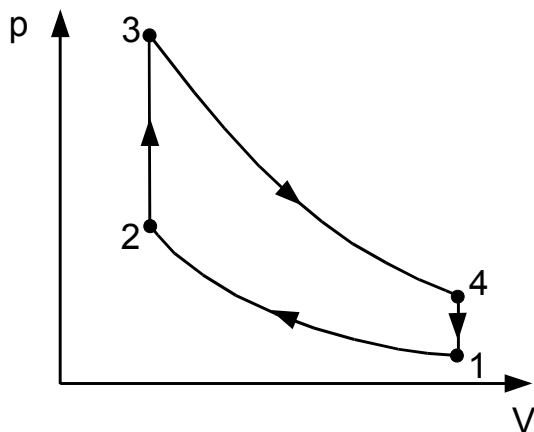
Arbeitsblatt

zu Aufgabe 2.2.2: Prinzipskizze BHKW



3

zu Aufgabe 2.2.6



- 1 → 2 _____
- 2 → 3 _____
- 3 → 4 _____
- 4 → 1 _____

2

3 Wahlaufgabe Neubau mit innovativem Lüftungs- und Versorgungskonzept

3.1 Lüftungsanlage für den Neubau

Punkte

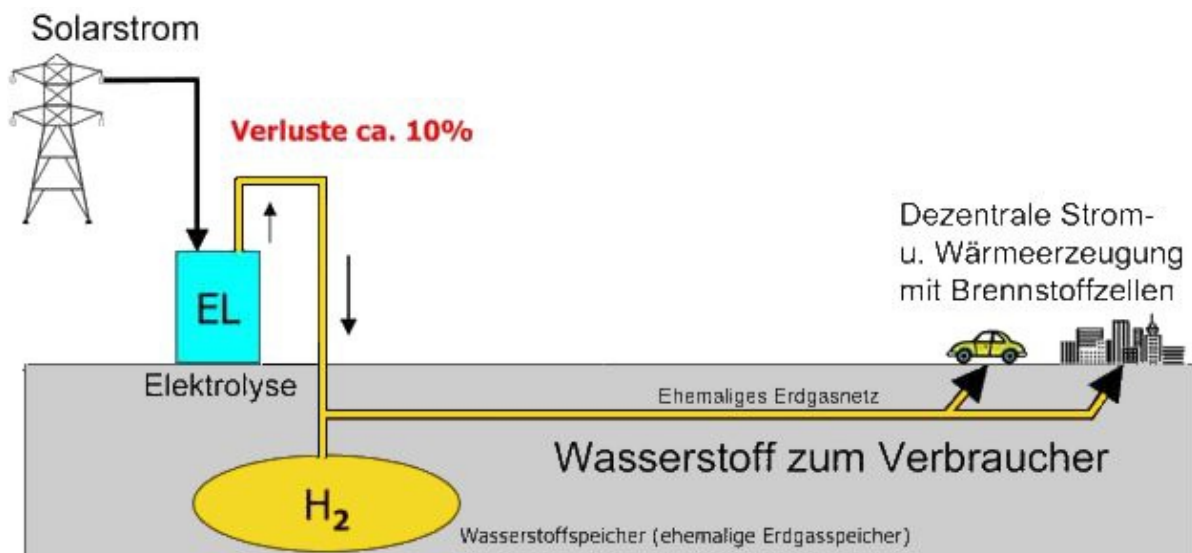
Familie Huber plant den Bau eines Niedrigenergiehauses. Die Wohnfläche ihres Neubaus beträgt 140 m^2 bei einer Raumhöhe von $2,5 \text{ m}$. Die Bauvorschriften für Niedrigenergiehäuser erfordern den Einbau einer kontrollierten Wohnraumlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung.

- 3.1.1 Im Dachgeschoss wird die Lüftungsanlage mit Kreuzstromwärmetauscher eingebaut (s. Arbeitsblatt). Zeichnen Sie die Lüftungsrohre ein und begründen Sie, wo Luft angesaugt und abgegeben wird. Kennzeichnen Sie die Zuluft, Fortluft, Frischluft und Abluft in der Zeichnung auf dem Arbeitsblatt. 3
- 3.1.2 Erläutern Sie drei Ziele, welche man mit systematischem Lüften verfolgt. 3
- 3.1.3 Begründen Sie zwei Vorteile, die die beschriebene kontrollierte Wohnraumlüftung gegenüber der Fensterlüftung bietet. 2
- 3.1.4 Dimensionieren Sie die minimal zulässige Außenluftmenge, die dem Einfamilienhaus in jeder Stunde zugeführt werden muss. 2
- 3.1.5 Beurteilen Sie, für wie viele Hausbewohner die Lüftungsanlage ausgelegt ist, wenn der Außenluftvolumenstrom $180 \text{ m}^3/\text{h}$ beträgt. 2

3.2 Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerk

In dem Neubau soll als Wärmeerzeuger ein Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerk vorgesehen werden.

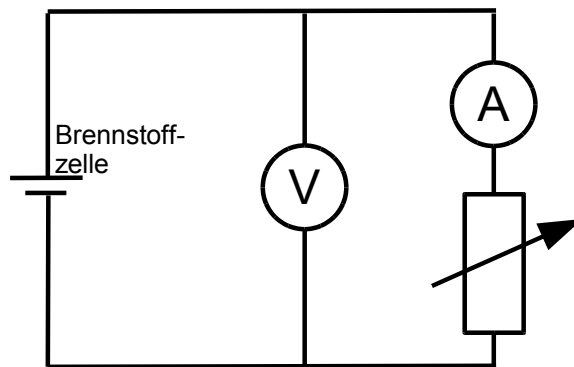
- 3.2.1 Erklären Sie den unten abgebildeten Energieversorgungsansatz. 2



- 3.2.2 Skizzieren Sie den Aufbau einer PEM-Brennstoffzelle und geben Sie die Gesamtreaktionsgleichung an, die in dieser PEM Brennstoffzelle abläuft. 2
- 3.2.3 Anhand einer Labor-Brennstoffzelle wurde mit der unten dargestellten Schaltung der Zusammenhang zwischen Strom und Spannung ermittelt.

Erstellen Sie mit den Tabellenwerten die zugehörige U(I)-Kennlinie.

Spannung U (V)	Stromstärke I (mA)
0,92	0
0,83	0,1
0,8	0,15
0,78	0,2
0,76	0,25
0,74	0,3
0,72	0,35
0,69	0,4
0,6	0,45
0,46	0,5



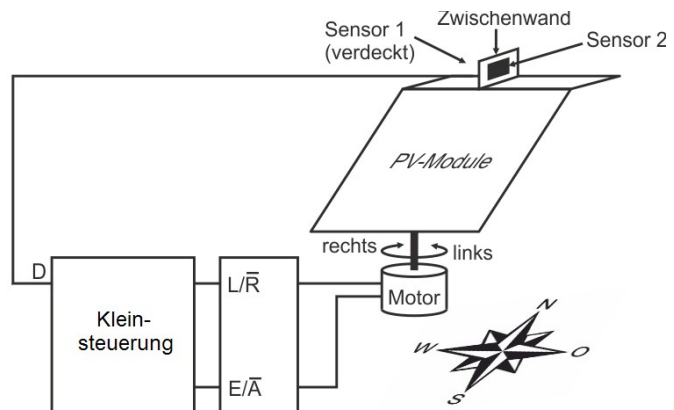
2

3.2.4 Bestimmen Sie den Widerstand, bei dem die größte Leistungsabgabe erfolgt.

2

3.3 Photovoltaik-Anlage mit automatischer Nachführung der Module

Der Ausrichtungswinkel der PV-Module auf dem Flachdach kann durch einen Getriebemotor verstellt werden. Mit Hilfe einer Kleinststeuerung soll dies so geschehen, dass die Module immer optimal der Sonne zugewandt sind. Dies ist dann der Fall, wenn die beiden Sensoren die gleiche Bestrahlungsstärke messen. Unterschiedliche Bestrahlungsstärken an den Sensoren sollen zu einer Nachführung mit geeigneter Drehrichtung führen.



Die folgenden Signale stehen zur Verfügung:

Signal	Physikalische Bedeutung	Elektrische Beschreibung
D	Differenzsignal $D = U_{Sensor1} - U_{Sensor2} $	Analogsignal 0 ... 5 V
L/R	Drehrichtungssignal der Motorelektronik	'1' = Linkslauf, '0' = Rechtslauf
E/A	Einschaltsignal der Motorelektronik	'1' = Motor ein, '0' = Motor aus

3.3.1 Nennen Sie die Führungsgröße (Sollwert), die Messgröße (Istwert), die Stellgröße und eine mögliche Störgröße des in der Abbildung dargestellten Regelkreises.

2

3.3.2 Erläutern Sie je einen Vor- und Nachteil des Einsatzes einer Nachführung.

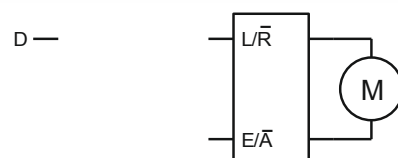
1

3.3.3 Ermitteln Sie die Drehrichtung (links oder rechts), in die im Laufe eines Tages grundsätzlich nachgeführt werden muss.

0,5

3.3.4 Entwickeln Sie die erforderliche Schaltung des Reglers, so dass die Nachführung in der unter 3.3.3 ermittelten Drehrichtung erfolgen kann.

Hinweis: Übertragen Sie das nebenstehende Schaltbild auf Ihr Lösungsblatt und ergänzen es

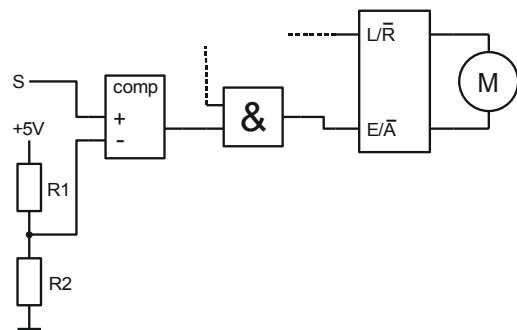


2

um einen Zweipunktregler mit Hysterese.

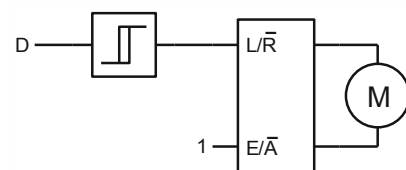
- 3.3.5 Es steht ein Intensitätssignal S zur Verfügung. Die automatische Nachführung soll deaktiviert werden, sobald das Intensitätssignal unter 20 % seines Maximalwertes von 5 V abfällt. Dies wird durch die nebenstehende Schaltung erreicht.

Dimensionieren Sie den Spannungsteiler so, dass sich die gewünschte Funktion ergibt und der Strom durch die beiden Widerstände 0,5 mA beträgt.

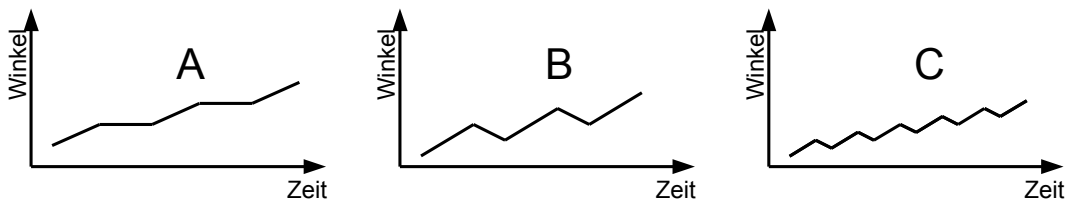


1,5

Eine alternative Schaltung zur Nachführung des Ausrichtungswinkels arbeitet mit zwei Drehrichtungen. Dabei steht das Differenzsignal D nun mit Vorzeichen zur Verfügung: $D = U_{Sensor1} - U_{Sensor2}$



- 3.3.6 Beurteilen Sie, welches Diagramm den zeitlichen Verlauf des Azimuthwinkels wiedergibt. (Mehrfachnennung möglich)



1

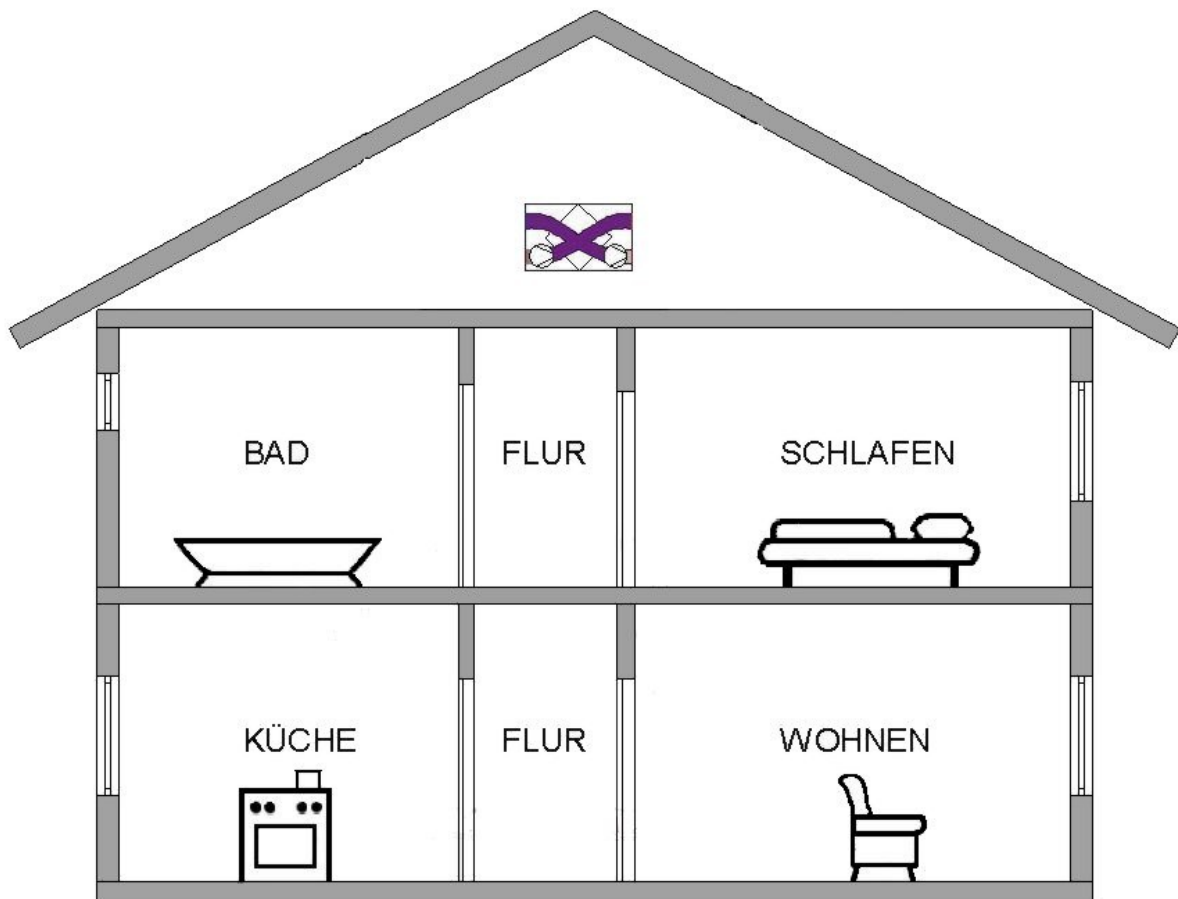
- 3.3.7 Nehmen Sie Stellung zu der Aussage: „Die Regelung mit zwei Drehrichtungen regelt störende Fremdeinwirkungen schneller aus, hat aber gleichzeitig einen höheren Eigenverbrauch als die Regelung mit einer Drehrichtung.“

2

30

Arbeitsblatt**zu Aufgabe 3.1.1: Anlagenschema kontrollierte Wohnraumlüftung**

3



4 Wahlaufgabe

4.1 Wärmepumpe

Punkte

Familie Findig möchte auf einem neu erworbenen Grundstück eine Wärmepumpe als Heizquelle für ihr neu zu bauendes Haus einsetzen.

Während der Planungsphase für das neue Eigenheim informiert sich Familie Findig über die Technologie der Wärmepumpe.

4.1.1 Nennen Sie zwei mögliche Wärmequellen für die Wärmepumpe und erklären Sie deren Vor- und Nachteile. 3

4.1.2 Beschreiben Sie den Kreisprozess der Wärmepumpe mit einer geeigneten Anlagenskizze. Benennen Sie die Vorgänge in den einzelnen Anlagenteilen des Kältemittelkreislaufs 4

4.1.3 Im Datenblatt einer Wärmepumpe finden Sie folgende Angaben: 1

Vorlauftemperatur max.	62°C
Untere Einsatzgrenze Wärmequelle (Heizbetrieb)	-5°C
Obere Einsatzgrenze Wärmequelle (Heizbetrieb)	25°C
Heizleistung 1 Verdichter COP B0/W35	17,5 kW / 4,7
Heizleistung 1 Verdichter COP B0/W45	17 kW / 3,6
Nennaufnahme nach EN 14511 bei B0/W35	3,72 kW

Begründen Sie, um welchen Wärmepumpentyp es sich bei dem Gerät handelt.

4.1.4 Erläutern Sie, warum im Datenblatt verschiedene COP-Werte angegeben sind. 2

4.2 PV-Module auf einem Garagendach

Der Akku eines Elektrofahrzeugs soll ausschließlich mit der elektrischen Energie von auf dem Garagendach montierten Solarmodulen geladen werden. Die folgenden Daten stehen zur Verfügung:

Laderegler	Modell 1	Modell 2
Eingangsspannung	150 – 250 V	150 – 250 V
Max. Anzahl Stränge	2	3
Max. Strangstrom	8 A	12 A

Dach	Wert
Bauform	Flachdach
Fläche	3,4 m x 6,2 m

Modul	Wert	
Fläche	1660 mm x 990 mm	
Leerlaufspannung	38,2 V (STC)	35,1 V (NOCT)
Spannung im MPP	31,3 V (STC)	28,4 V (NOCT)
Strom im MPP	8,30 A (STC)	6,65 A (NOCT)

STC Standard Test Conditions:

$S = 1000 \text{ W/m}^2$; AM1,5; $\vartheta_{\text{Zelle}} = 25^\circ\text{C}$

NOCT Nominal Operating Cell Temperatur: $S = 800 \text{ W/m}^2$; AM 1,5; $\vartheta_{\text{Luft}} = 20^\circ\text{C}$; $v = 1 \text{ m/s}$

4.2.1 Bestimmen Sie die Anzahl der Solarmodule, die eben (Neigungswinkel 0°) auf das Flachdach der Garage passen. Stellen Sie dar, wie diese zu verschalten sind, damit 4

die Gesamtspannungen der Module die Eingangsspannungsbereiche der Laderegler bei STC- und NOCT-Bedingungen nicht über- oder unterschreiten.

- 4.2.2 Ermitteln Sie einen geeigneten Laderegler. Begründen Sie Ihre Wahl. 1
- 4.2.3 Bestimmen Sie den Tagesertrag an einem durchschnittlichen 1. Juni. Gehen Sie dabei von Standard-Testbedingungen (STC) aus. 4
- 4.2.4 Der Ertrag der Solaranlage soll im Winter gesteigert werden. Begründen Sie, wie die Module aufgestellt und ausgerichtet werden müssen, damit der Ertrag an einem durchschnittlichen 1. Januar maximiert wird. 1

4.3 Elektrofahrzeug

Der Akku eines Elektrofahrzeugs wird mittels der auf dem Garagendach installierten PV-Module geladen.

Fahrzeug	Wert
Querschnittsfläche	2,13 m ²
c _w -Wert	0,32
Masse	350 kg

- 4.3.1 Berechnen Sie die Antriebsleistung für eine Fahrt auf ebener Strecke bei einer konstanten Geschwindigkeit von 80 km/h. Hinweis: Es soll nur der Luftwiderstand berücksichtigt werden. 3
- 4.3.2 Bestimmen Sie, welche Strecke das Fahrzeug zurücklegen kann, wenn die Solaranlage einen Tagesertrag von 15,86 kWh zur Verfügung stellt, um das Fahrzeug bei einer konstanten Geschwindigkeit von 80 km/h auf ebener Straße anzutreiben. 2
- 4.3.3 Begründen Sie, warum die in Aufgabenteil 4.3.2 bestimmte Strecke in der Praxis nicht annähernd erreicht werden kann. 2
- Das Elektrofahrzeug nimmt an einer Streckenrekord-Meisterschaft teil. Die Geschwindigkeit wird so gewählt, dass die zur Verfügung stehende Energiemenge von 15,86 kWh in exakt 24 Stunden zur Fortbewegung mit konstanter Geschwindigkeit verwendet wird. 3
- 4.3.4 Berechnen Sie die Fahrgeschwindigkeit und den zurück gelegten Weg.

Arbeitszeit: 270 Minuten
Hilfsmittel: Formelsammlung Umwelttechnik
Zugelassener Taschenrechner

Stoffgebiet	Teil 1: Pflichtbereich	
	Aufgabe 1: Windkraft Photovoltaik	(3 Seiten)
	Aufgabe 2: Bauphysik, Dämmung, Feuchteschutz Wärmepumpe Brennstoffzellen, BHKW	(4 Seiten)
	Teil 2: Wahlbereich	
	Aufgabe 3: Elektromobilität Elektro- und Hybridfahrzeuge Müllheizkraftwerk	(3 Seiten)
	Aufgabe 4: Brennwerttechnik Behaglichkeit, Wohnraumlüftung Regelungstechnik	(3 Seiten)

Bemerkungen

Die Aufgaben 1 und 2 (Pflichtbereich) sind von allen Prüflingen zu bearbeiten.
Aus den Aufgaben 3 und 4 (Wahlbereich) wählt die Schülerin/der Schüler eine Aufgabe aus.

Der Aufgabensatz umfasst 14 Seiten (inklusive diesem Deckblatt).

Bitte entnehmen Sie den Aufgaben die beigelegten Arbeitsblätter und geben Sie diese mit Ihrer Reinschrift ab.

Sie sind verpflichtet, die Vollständigkeit des Aufgabensatzes umgehend zu überprüfen und fehlende Seiten der Aufsicht führenden Lehrkraft anzuzeigen. Jede Aufgabe ist mit einem neuen Blatt zu beginnen. Bei Verstößen gegen die angemessene Darstellungsform kann ein Punkteabzug erfolgen.

1 Pflichtaufgaben zur Windkraft und Photovoltaik

Punkte

1.1 Windkraftanlage

- 1.1.1 Nennen Sie je einen Vorteil und einen Nachteil eines 3-Blattrotors im Vergleich zu einem 2-Blattrotor. 1
- 1.1.2 Nennen Sie je zwei Vor- und Nachteile von Offshore-Windkraftanlagen im Vergleich zu Onshore-Windkraftanlagen. 2

Von einer sich im Betrieb befindenden Windkraftanlage sind die folgenden Daten bekannt, die für die weiteren Aufgabenteile gelten. Rechnen Sie in den Aufgaben mit $v = 9 \text{ m/s}$.

allgemeine Daten:

Daten bei der Windgeschwindigkeit $v = 9 \text{ m/s}$:

Rotordurchmesser $d = 71 \text{ m}$
 Flügelzahl $z = 3$

Drehzahl: $n = 17 \text{ min}^{-1}$
 Generatorwirkungsgrad: $\eta_G = 0,96$
 Generatorleistung: $P_{el} = 830 \text{ kW}$

- 1.1.3 Berechnen Sie die mechanisch nutzbare Leistung P_{mech} sowie den Leistungsbeiwert c_P der Windkraftanlage. 3
- 1.1.4 Ermitteln Sie die Umfangsgeschwindigkeit u und die Schnelllaufzahl λ des Rotors. 2
- 1.1.5 Ermitteln Sie aus dem Leistungsbeiwert-Schnelllaufzahl-Diagramm der Formelsammlung die beiden Leistungsbeiwerte für $\lambda = 7$ bei $E \rightarrow \infty$ und $E = 40$. Die Güte der Rotoren wird in der Anlagenbeschreibung als „gut“ bezeichnet. Nehmen Sie Stellung zu dieser Aussage. (Hinweis: $c_P = 0,5$ und $\lambda = 7$) 2
- 1.1.6 Bei einer Windgeschwindigkeit von $v_6 = 6 \text{ m/s}$ beträgt die Windleistung durch die Rotorfläche $P_6 = 513 \text{ kW}$. Übertragen Sie die Tabelle auf Ihr Lösungsblatt und ermitteln Sie die fehlenden Windleistungen. 4

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

Zeichnen Sie das Diagramm der Windleistung in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit $P(v)$ und erklären Sie dessen Verlauf. (Maßstab: $1 \text{ cm} \hat{=} 500 \text{ kW}$; $1 \text{ cm} \hat{=} 1 \text{ m/s}$)

- 1.1.7 In jeder Sekunde strömt eine bestimmte Masse Luft durch die Rotorfläche. Diese ist bei der Berechnung der Standfestigkeit der Anlage maßgeblich. Berechnen Sie die Masse, die in jeder Sekunde durch die Fläche des Rotors mit dem Rotordurchmesser $d = 71 \text{ m}$ strömt, wenn die Windgeschwindigkeit $v = 9 \text{ m/s}$ beträgt. (Hinweis: strömende Masse pro 1 Sekunde = Massenstrom \dot{m}) 2

1.2 Netzgekoppelte PV-Anlage

Die I(U)-und die P(U)-Kennlinie der gesamten PV-Anlage bei STC sind auf dem Arbeitsblatt angegeben (Bild 1). Die Daten der einzelnen Solarmodule entnehmen Sie dem nebenstehenden Datenblattauszug.

Datenblattauszug Solarmodul	
Elektrische Werte bei STC (1000 W/m ² , Zelltemp. 25 °C)	
P _{MPP} Leistung im MPP	160 W
U _{MPP} Spannung im MPP	34,1 V
I _{MPP} Strom im MPP	4,7 A
U _{OC} Leerlaufspannung	43,3 V
I _{SC} Kurzschlussstrom	5,2 A
Modulwirkungsgrad η _m	13,70%
Solarzellenabmessungen	125 x 125 mm
Modulabmessungen	1581 x 809 x 40 mm
Temperaturkoeffizient TK _U	- 0,35 % / K
Temperaturkoeffizient TK _I	0,05 % / K

1.2.1 Beschreiben Sie, wie man die P(U)-Kennlinie aus der I(U)-Kennlinie konstruieren kann.

1.2.2 Geben Sie die Kennwerte I_{SC}, U_{OC}, U_{MPP}, I_{MPP}, P_{MPP} der Gesamtanlage an und markieren sie auf dem Arbeitsblatt, wo sie die Werte ablesen.

1.2.3 Begründen Sie, aus wie vielen Modulen die Anlage besteht und wie diese elektrisch verschaltet sind.

1.2.4 Zeigen Sie, dass sich die Leerlaufspannung der Gesamtanlage bei 1000 W/m² und -10 °C auf U_{oc}(-10°C) = 583 V und bei +75 °C auf U_{oc}(+75°C) = 428 V ändert.

Die Spannungen bei 1000 W/m² ändern sich im MPP bei -10 °C auf 460 V und bei +75 °C auf 337 V. Die Stromänderungen im Kurzschlussfall und im MPP sind gering und bleiben unberücksichtigt.

1.2.5 Skizzieren Sie auf dem Arbeitsblatt mithilfe der Kennwerte im Leerlauf (siehe 1.2.4), im MPP und im Kurzschlussfall die I(U)-Kennlinien bei -10 °C und bei +75 °C

1.2.6 Beurteilen und begründen Sie, welcher der zur Auswahl stehenden Wechselrichter zum Betrieb der Anlage geeignet ist.

Kennwerte von 3 Wechselrichtern im Vergleich			
Eingangsdaten	WR 1	WR 2	WR 3
Max. DC-Leistung (@ cos φ = 1)	3800 W	4000 W	4400 W
Max. DC-Eingangsspannung	500 V	600 V	800 V
MPP-Spannungsbereich	320 V ... 400 V	320 V ... 420 V	320 V ... 480 V
Max. Eingangsstrom Eingang	18 A	15 A	24 A
max Eingangsstrom pro String	15 A	15 A	15 A

1.3 Einphasiger Wechselrichter 230 V / 50 Hz

Bild 2 auf dem Arbeitsblatt zeigt die Transistorbrückenschaltung zur Erzeugung des PWM-Signals in einem einphasigen Wechselrichter. In Bild 3 auf dem Arbeitsblatt ist der prinzipielle Verlauf des erzeugten PWM-Signals dargestellt.

1.3.1 Zeichnen Sie in Bild 2 die Wege des fließenden Stroms mit Pfeilen von + nach - ein:
 - Stromfluss während der Zeit t_i mit Farbe 1
 - Stromfluss während der Zeit t_p mit Farbe 2.
 Hinweis: es muss ersichtlich sein, welcher Transistor oder welche Diode leitet.

1.3.2 Erklären Sie die Aufgaben der Spulen L1, L2 und des Kondensators in Bild 2.

Punkte

1

1,5

2,5

2

2

2

1,5

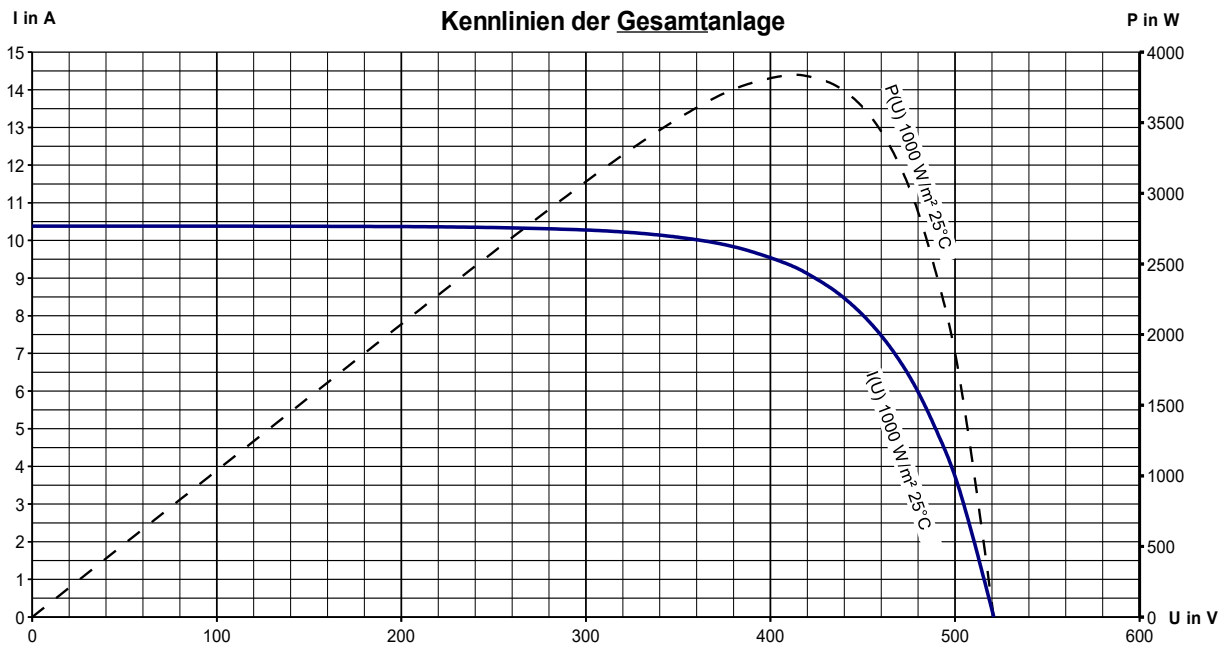
1,5

30

Arbeitsblatt

Punkte

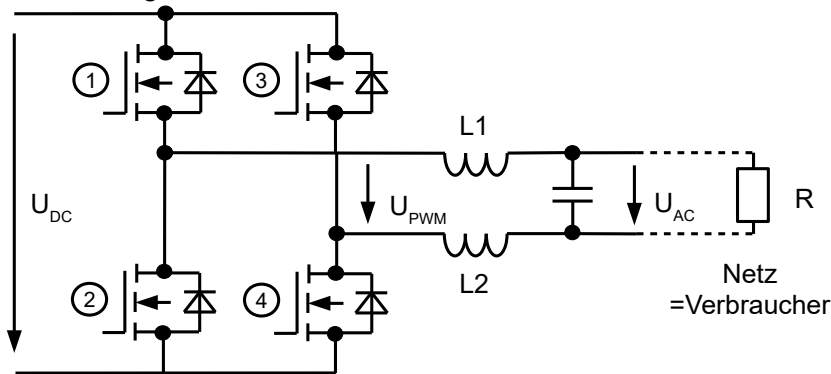
zu den Aufgaben 1.2:



1,5
2

Bild 1: I(U)- und P(U)-Kennlinie bei STC der **Gesamtanlage**

zu den Aufgaben 1.3:



1,5

Bild 2: Transistorbrücke mit Spulen L1, L2 und Kondensator C

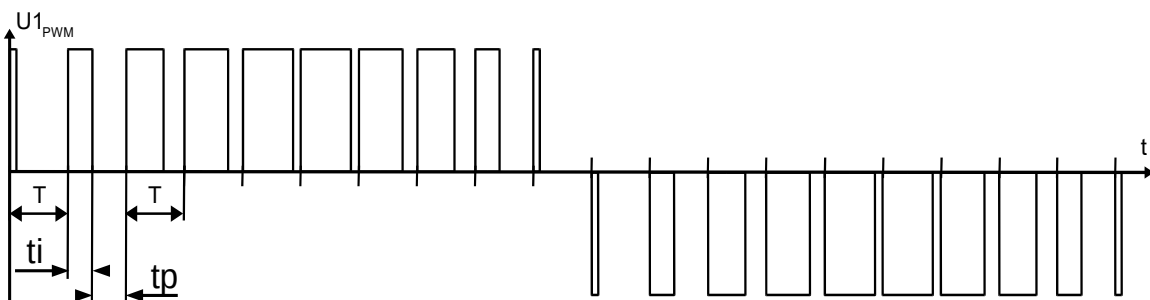


Bild 3: PWM-Signal

2 Sanierung einer historischen Villa

Punkte

Georg Müller besitzt eine historische Villa (Baujahr 1925). Trotz dauernd laufender Ölheizung sind die Räume an kalten Wintertagen unangenehm kühl.

Verschiedene Experten schlagen unterschiedliche Sanierungsmaßnahmen vor.

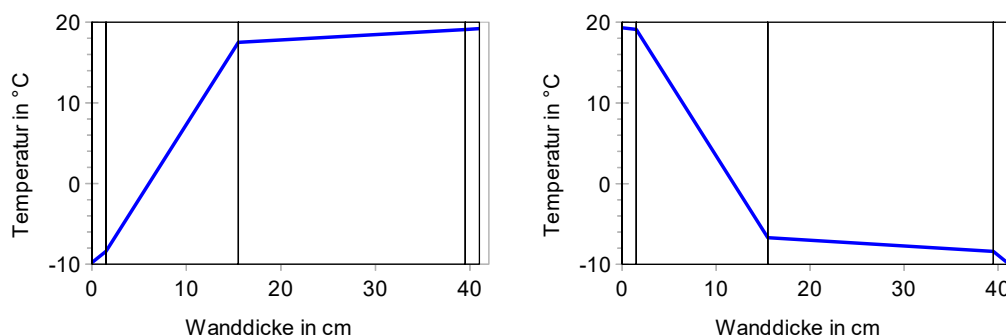
2.1 Wärmedämmung des Gebäudes

Der Energieberater des Stuckateurverbands empfiehlt die Dämmung der Gebäudehülle.

2.1.1 Begründen Sie, welcher der dargestellten Wandquerschnitte innen gedämmt ist.

1

Dargestellt ist jeweils der Temperaturverlauf über den Wandquerschnitt während der Tauperiode.



2.1.2 Beschreiben Sie jeweils zwei Vor- und Nachteile der Außendämmung gegenüber der Innendämmung.

2

2.1.3 Bestimmen Sie die Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs, wenn ein U-Wert der Wand von $0,2 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ eingehalten werden muss.

3

Bekannt ist:

- Innenputz: Gipsputz $d = 1,5 \text{ cm}$
- Außenputz: Wärmedämmputz 060 $d = 1,5 \text{ cm}$
- Mauerwerk: Hochlochklinker, 1800 $d = 24 \text{ cm}$
- Dämmung Mineralwolle $d = 14 \text{ cm}$

Die beiden im Arbeitsblatt dargestellten Glaser-Diagramme (1) und (2) der Tauperiode machen Aussagen zu einem Aspekt der bauphysikalischen Qualität obiger Wandaufbauten.

2.1.4 Erläutern Sie ausführlich die in den Diagrammen (1) bzw. (2) dargestellten Größen.

2

2.1.5 Tragen Sie in beiden Wandquerschnitten der Anlage 1 den tatsächlichen Dampfdruckverlauf während der Tauperiode nach Glaser ein und beurteilen Sie die Wandquerschnitte im Hinblick auf möglichen Tauwasseranfall.

3

2.1.6 Erklären Sie eine geeignete bauliche Maßnahme, um den Tauwasseranfall in einem gefährdeten Wandquerschnitt zu verhindern.

2

2.2 Beheizung mit einer Kompressionswärmepumpe

Der Experte des Elektrizitätsversorgers regt die Installation einer Wärmepumpe an. Die Heizkörper und -leitungen sollen weiter verwendet werden.

2.2.1 Skizzieren Sie den Aufbau einer Kompressionswärmepumpe. Benennen Sie die Bauteile und stellen Sie den Wärmestrom von Umweltwärme zu Heizungswärme (ohne Zahlenwerte) graphisch dar.

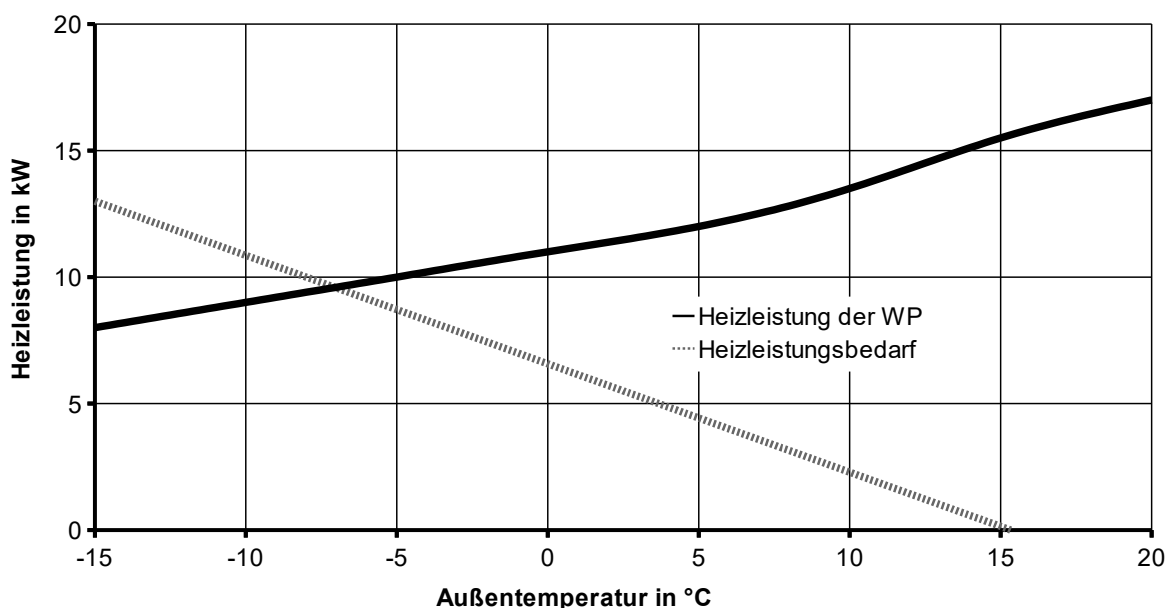
2

2.2.2 Die mit der Wärmepumpe erzeugte Heizungsenergie wird in einem Pufferspeicher mit dem Volumen $V = 100 \text{ l}$ zwischengespeichert. Die elektrische Leistung des Kompressors beträgt $0,5 \text{ kW}$, die Leistungsziffer ϵ ist $3,5$.

3

Ermitteln Sie, wie lange die Wärmepumpe dazu benötigt, den Pufferspeicher von $15 \text{ }^\circ\text{C}$ auf $55 \text{ }^\circ\text{C}$ aufzuheizen.

In der Abbildung ist der Heizleistungsbedarf eines Gebäudes und die Heizleistung einer Wärmepumpe (WP) dargestellt.



2.2.3 Begründen Sie, welche Wärmequelle bei der dargestellten Anlage genutzt wird.

1

2.2.4 Erklären Sie den Zusammenhang zwischen dem Heizleistungsbedarf des Gebäudes und der Heizleistung der Wärmepumpe links und rechts des Schnittpunkts der beiden Kurven.

3

2.2.5 Die Leistungsziffer der Wärmepumpe hängt von den Randbedingungen der Gebäudeheizung ab.

2

Außen- temperatur [°C]	Heizleistung				Leistungsaufnahme			
	35 °C [kW]	45 °C [kW]	55 °C [kW]	60 °C [kW]	35 °C [kW]	45 °C [kW]	55 °C [kW]	60 °C [kW]
-20	6,7	7,0	7,6	7,8	2,8	3,5	4,4	4,9
-15	7,7	8,0	8,5	8,7	2,9	3,6	4,4	4,9
-7	9,6	9,9	10,3	10,5	3,0	3,7	4,6	5,0
2	11,3	11,7	11,8	11,6	3,0	3,7	4,6	5,0
7	12,3	11,8	11,4	11,2	2,9	3,5	4,2	4,5

Ermitteln Sie mit Hilfe der Geräteherstellerangaben jeweils die Leistungsziffer bei einer Vorlauftemperatur von 35 °C und einer Vorlauftemperatur von 60 °C.

Die Außentemperatur beträgt jeweils - 7 °C

2.2.6 Begründen Sie, ob diese Wärmepumpe für das ungedämmte Gebäude sinnvoll einsetzbar ist.

2

2.3 Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerk

Zur Beheizung der großzügigen Villa steht ebenfalls ein mit Erdgas betriebenes Brennstoffzellen-BHKW zur Auswahl

2.3.1 Stellen Sie die Energieumwandlung eines Brennstoffzellen-BHKWs in einem Blockschaltbild dar.

1

2.3.2 Begründen Sie einen Vorteil des Brennstoffzellen-BHKWs gegenüber einem mit Verbrennungsmotor betriebenen BHKW.

1

2.3.3 Das Brennstoffzellen-BHKW liefert in einer halben Stunde eine elektrische Arbeit von $W_{el} = 4$ kWh. Der elektrische Wirkungsgrad η_{el} beträgt 60 % (bezogen auf den Heizwert). Ermitteln Sie den für den Betrieb erforderlichen Gasvolumenstrom.

2

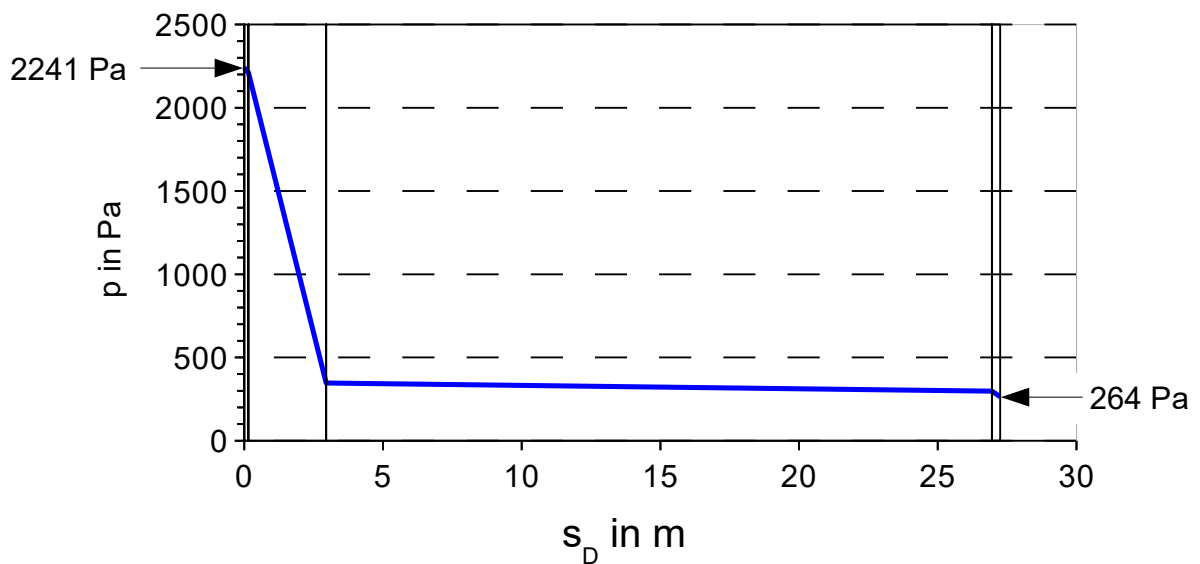
30

Arbeitsblatt

Punkte

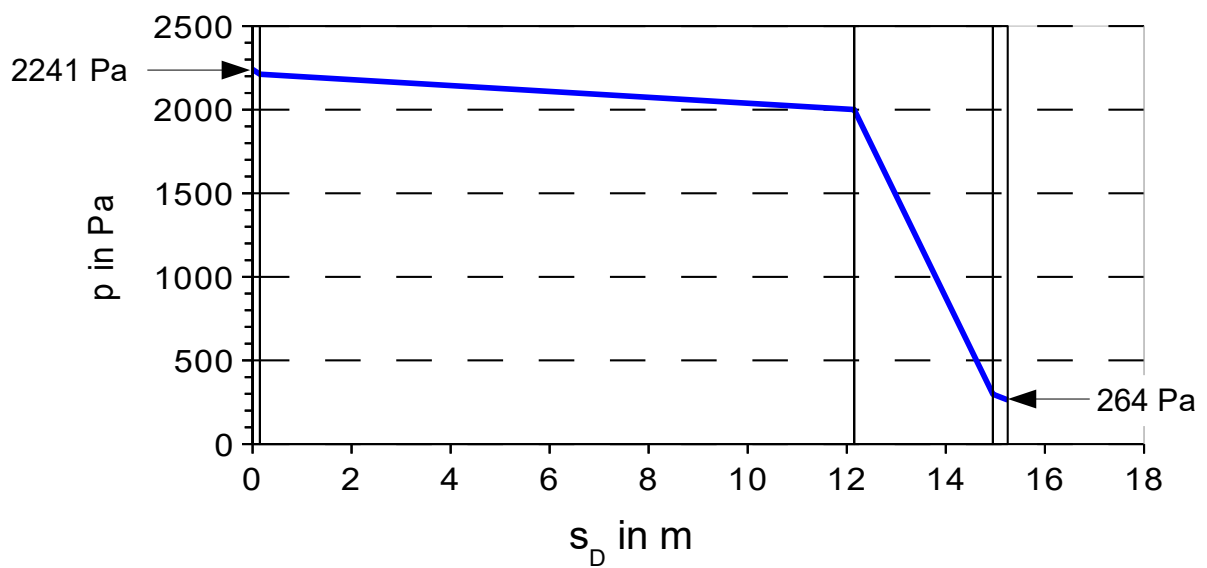
zu Aufgabe 2.1: Wärmedämmung des Gebäudes

Glaser-Diagramm (1)



2
3

Glaser-Diagramm (2)



3 Elektrofahrzeug mit Range Extender

Punkte

3.1 Elektrofahrzeug

Der Motor eines Elektrofahrzeugs treibt direkt die Vorderachse an. Das Wirkungsgrad-Kennlinienfeld des Motors mit zugehöriger Leistungselektronik ist in Bild 1 dargestellt.

Weitere Daten:

Akku-Nennspannung $U_A = 360 \text{ V}$
 Akku-Nennenergie $W_A = 20 \text{ kWh}$
 Reifendurchmesser $d = 653 \text{ mm}$

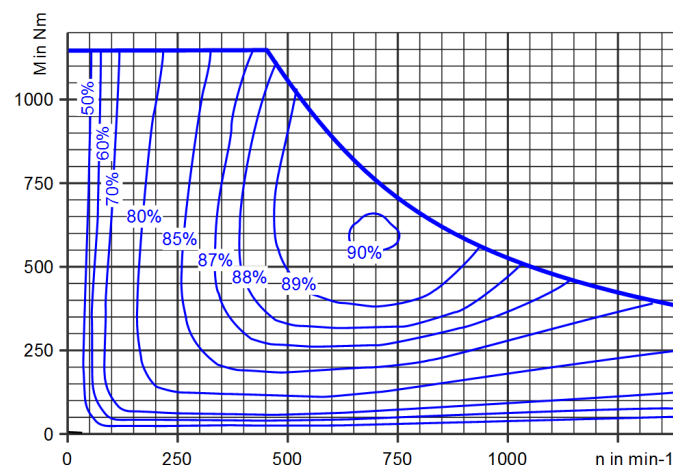


Bild 1: Wirkungsgrad-Kennlinienfeld

Für die folgenden Teilaufgaben wird eine Fahrt auf ebener Strecke mit einer Geschwindigkeit von 80 km/h zugrunde gelegt. Die Antriebskraft beträgt dabei 214,4 N.

- 3.1.1 Beschreiben Sie, wofür die Antriebskraft auf ebener Strecke benötigt wird. 1
- 3.1.2 Zeigen Sie durch Berechnung, dass sich für den gegebenen Fall ein Drehmoment von $M = 70 \text{ Nm}$ und eine Drehzahl von $n = 650 \text{ min}^{-1}$ auf der angetriebenen Vorderachse ergibt. 3
- 3.1.3 Ermitteln Sie die mechanisch abgegebene Leistung, sowie mit Hilfe des Kennlinienfelds den Wirkungsgrad des Elektroantriebs. Berechnen Sie aus diesen Werten den Batteriestrom. 3
- 3.1.4 Der leere Akku kann an einer Schnellladestation innerhalb von 30 min auf 80 % seiner Nennenergie aufgeladen werden. Die Ladeleistung beträgt dabei 50 kW. Berechnen Sie den Ladewirkungsgrad des Akkus. 2

3.2 Range Extender

Ein Hybridfahrzeug wird elektrisch angetrieben. Zur Erhöhung der Reichweite kann der Akku über eine Ottomotor-Generator-Kombination nachgeladen werden (serieller Hybrid). Der Ottomotor ist **nicht** mit der Antriebsachse verbunden. Bild 2 zeigt das Verbrauchskennlinienfeld des Ottomotors.

Weitere Angaben:

Kraftstoff-Brennwert $H_i = 11,3 \text{ kWh/kg}$
 Leistung Ottomotor $P_{\text{nenn}} = 15 \text{ kW}$
 Drehzahl Ottomotor $n_{\text{Nenn}} = 3600 \text{ min}^{-1}$

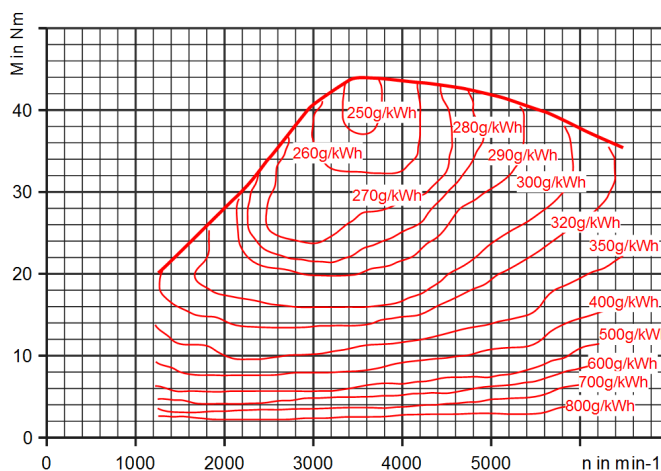


Bild 2: Verbrauchskennlinienfeld

- | | | |
|-------|---|---|
| 3.2.1 | Die verschiedenen Bereiche des Drehmoment-Drehzahl-Diagramms $M(n)$ der elektrischen Antriebsmaschine sollen benannt werden. Erstellen Sie dazu ein $M(n)$ -Achskreuz und kennzeichnen Sie die vier Quadranten des Diagramms mit den Begriffen vorwärts/ rückwärts und Motorbetrieb/Generatorbetrieb. | 2 |
| 3.2.2 | Kennzeichnen Sie im $M(n)$ -Diagramm in welchen Quadranten Ottomotor und Generator betrieben werden. | 1 |
| 3.2.3 | Skizzieren Sie ein Energieflussdiagramm für das Gesamtsystem aus Ottomotor, Generator und elektrischer Antriebsmaschine. Die Ottomotor-Generator-Kombination speist gleichzeitig den Akku und den Elektromotor. (keine Zahlenwerte verlangt!) | 3 |
| 3.2.4 | Der Ottomotor arbeitet im Nennbetrieb. Ermitteln Sie aus dem Verbrauchs-Kennlinienfeld (Bild 2) den spezifischen Verbrauch in kg/kWh und den Wirkungsgrad. | 3 |
| 3.2.5 | Der Verbrennungsmotor arbeitet mit fester Drehzahl und ohne direkte Kopplung mit der Antriebsachse. Bewerten Sie diese Betriebsweise. | 2 |

3.3 Müllheizkraftwerk

Die benötigte elektrische Energie kann auch in einem Müllheizkraftwerk erzeugt werden.

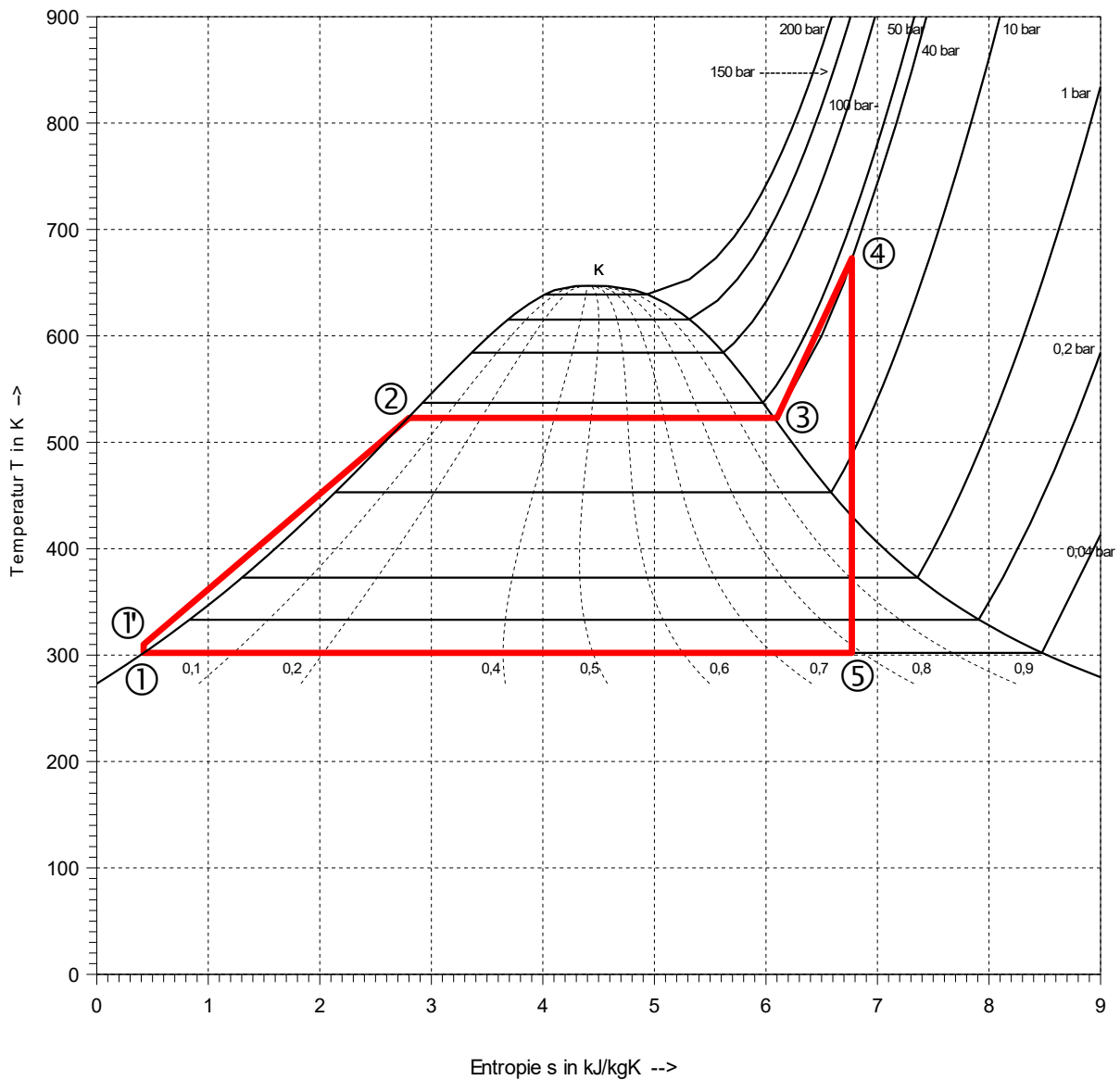
- | | | |
|-------|---|---|
| 3.3.1 | Im T,s -Diagramm (Arbeitsblatt) ist der Clausius-Rankine-Prozess des Müllheizkraftwerks dargestellt. Ordnen Sie den eingetragenen Vorgängen ($1 \rightarrow 1'$, $1' \rightarrow 2$ usw.) die unten angegebenen Baugruppen zu und beschreiben Sie die jeweils ablaufenden Vorgänge.
Baugruppen: Turbine, Speisewasserpumpe, Dampferzeuger, Kondensator | 2 |
| 3.3.2 | Stellen Sie die zugeführte und die abgeführte spezifische Wärme im Diagramm (Arbeitsblatt) dar. | 2 |
| 3.3.3 | Ermitteln Sie den thermischen Wirkungsgrad des Kraftwerks. Die abgeführte spezifische Wärme beträgt -1920 kJ/kg . | 2 |
| 3.3.4 | Begründen Sie, warum die Heizwärmeversorgung einer Kleinstadt mit Fernwärme aus dem Müllheizkraftwerk im Vergleich zur dezentralen Beheizung der Gebäude aus umwelttechnischer Sicht sinnvoller ist. | 2 |
| 3.3.5 | Ein Müllheizkraftwerk benötigt eine funktionierende Rauchgasreinigungsanlage. Ordnen Sie die angegebenen Reinigungsstufen in sinnvoller Reihenfolge. Begründen Sie Ihre Anordnung.
Reinigungsstufen: Entschwefelung, Enstaubung, Entstickung | 2 |

Punkte

zu Aufgabe 3.2.1 und 3.2.2: T,s-Diagramm

T,s-Diagramm zum Clausius-Rankine-Prozess des Müll-Heizkraftwerks

T,s-Diagramm von Wasser



2

2

4 Beheizung und Belüftung einer komfortablen Etagenwohnung

Punkte

4.1 Erdgas-Brennwertgerät

Familie Maier-Schulze wohnt in einer komfortablen Etagenwohnung. Die Beheizung erfolgt mit einem Erdgas-Brennwertgerät, das für die Fußbodenheizung sowie für die Erwärmung des Brauchwasserspeichers auf 60 °C ausgelegt ist.

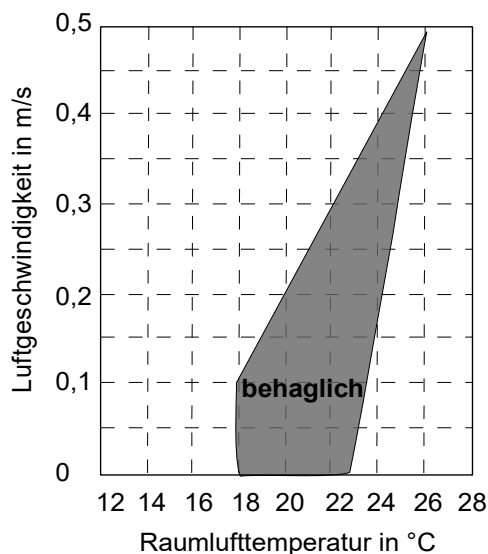
Das Brennwertgerät hat eine Nenn-Wärmebelastung von 7,5 kW bezogen auf den Brennwert.

Bei einer Abgasmessung im März wird eine Abgastemperatur von 35 °C bei einem Luftüberschuss $\lambda = 1,1$ gemessen.

- 4.1.1 Erklären Sie, wie das heiße Abgas auf 35 °C abgekühlt wird. 1
- 4.1.2 Ermitteln Sie überschlägig den Kesselwirkungsgrad bei der Abgastemperatur von 35 °C. 1
- 4.1.3 Ermitteln Sie die anfallende stündliche Kondensatmenge bei Nenn-Wärmebelastung und einer Abgastemperatur von 35 °C. 3
- 4.1.4 An kalten Wintertagen kann die Abgastemperatur Werte von bis zu 65 °C erreichen. Ermitteln Sie überschlägig, welche Kondensatmenge bei dieser Abgastemperatur zu erwarten ist. Begründen Sie Ihre Antwort. 2
- 4.1.5 Erklären Sie, warum die Abgastemperatur desselben Brennwertgerätes jahreszeitabhängig stark schwankende Werte annehmen kann. 2

4.2 Behaglichkeit in Wohnräumen

- 4.2.1 Die Behaglichkeit in Wohnräumen hängt von verschiedenen Faktoren ab. Erläutern Sie den Zusammenhang der im Diagramm dargestellten Größen. 2



- 4.2.2 Nennen Sie drei weitere Einflussfaktoren auf die Behaglichkeit. Erläutern Sie jeweils den Einfluss auf die Behaglichkeit. 3

4.3 Entlüftung eines Badezimmers

Ein innen liegendes Badezimmer hat ein Raumvolumen von 15 m^3 . Nachdem die ganze Familie geduscht hat, beträgt die Raumtemperatur $26 \text{ }^\circ\text{C}$ bei einer relativen Feuchte von 90% . Die Luft in der übrigen Wohnung hat eine Temperatur von $20 \text{ }^\circ\text{C}$ und eine relative Feuchte von 50% .

- 4.3.1 Erklären Sie den Begriff „relative Feuchte“. 1
- 4.3.2 Beschreiben Sie zwei Probleme, die im Badezimmer auftreten können, wenn der Raum nicht gelüftet wird. 2
- 4.3.3 Nach dem Öffnen der Badezimmertür vermischt sich die Badezimmer- mit der Wohnungsluft. Tragen Sie in dem h,x-Diagramm (Arbeitsblatt) alle möglichen Zustände der Mischungsluft ein. 2
- 4.3.4 Ermitteln Sie, wie viel Gramm Wasser bei einer angenommenen Luftdichte $\rho_{\text{Luft}} = 1,17 \text{ kg/m}^3$ mit der Badezimmerluft aus dem Raum transportiert werden müssen, damit die gleichen Luftbedingungen wie in der übrigen Wohnung herrschen (50% relative Feuchte, $20 \text{ }^\circ\text{C}$). 2

4.4 Badezimmerentlüftung mit Abluftventilator

Zur Entlüftung des innen liegenden Bades bei geschlossener Badezimmertür wird ein Abluftventilator eingebaut. Der Eigentümer hat die Auswahl zwischen einer Nachlaufsteuerung des Ventilators und einer Regelung. Bei der Nachlaufsteuerung wird der Abluftventilator beim Einschalten der Badezimmerbeleuchtung ein- und 5 Minuten nach Abschalten der Badezimmerbeleuchtung ausgeschaltet. Bei der Regelung wird der Ventilator über einen Zweipunktregler in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte beeinflusst.

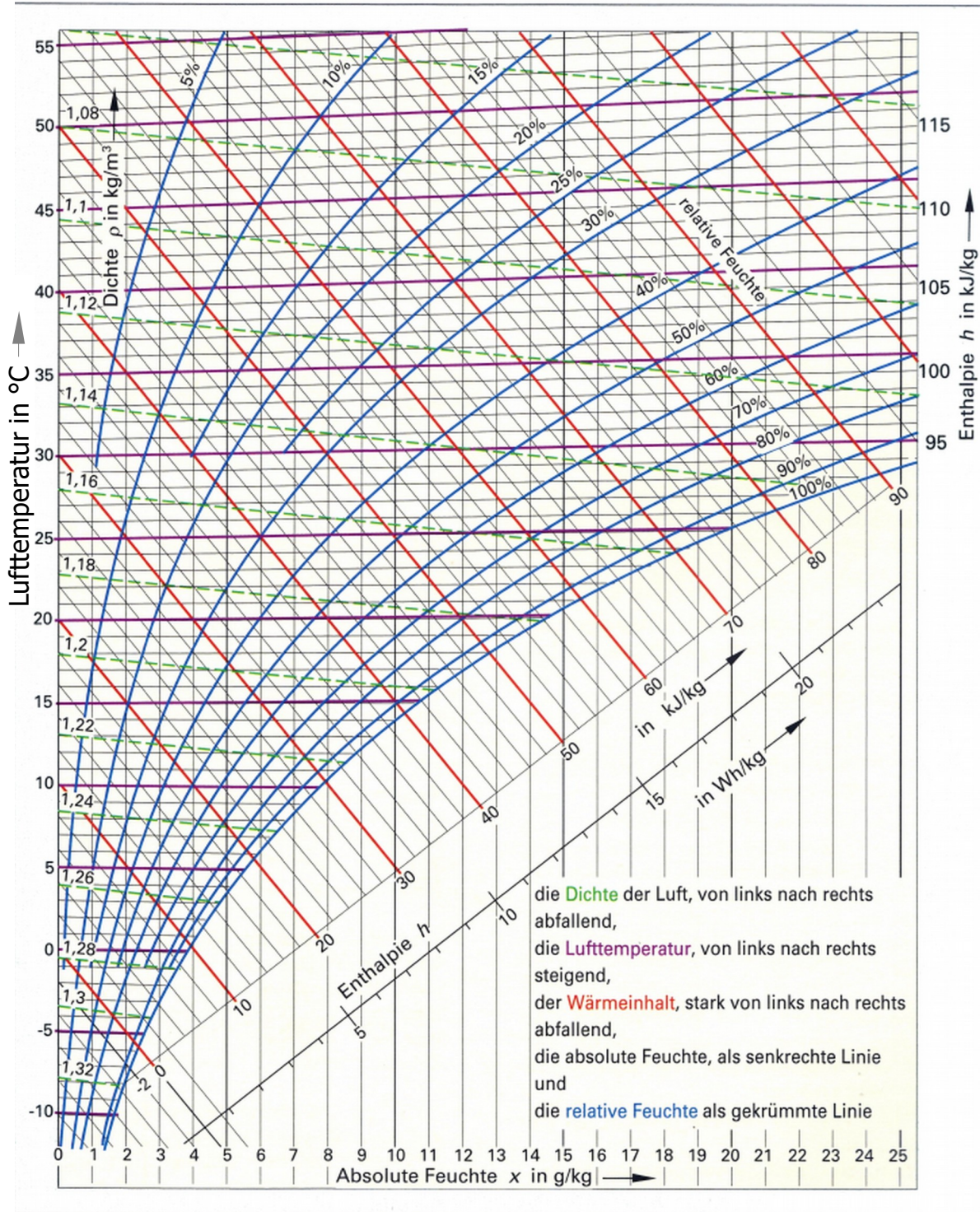
- 4.4.1 Nennen Sie zwei Vorteile einer Feuchteregelung gegenüber der Nachlaufsteuerung. 1
- Der Lüfter wird an 230 V betrieben und über einen elektrischen Leistungsschalter (Relais) angesteuert. Die Luftfeuchte wird über einen Feuchtigkeitssensor erfasst.
- 4.4.2 Skizzieren Sie den Regelkreis der Feuchteregelung und benennen Sie die einzelnen Komponenten, physikalischen und elektrischen Größen sowie den Soll- und Ist-Wert des Regelkreises für den konkreten Fall der Badezimmerentlüftung. 4
- 4.4.3 Nennen Sie eine Störgröße des Regelkreises „Badezimmerentlüftung“ und erläutern Sie deren Einfluss auf den Regelkreis. 1

Im Badezimmer beträgt die relative Feuchte vor dem Duschen 50% . Der Sollwert des Zweipunktreglers ist auf 55% eingestellt, dessen Hysterese beträgt 6% relative Feuchte.

- 4.4.4 Skizzieren Sie den zeitlichen Verlauf der relativen Luftfeuchte während des Duschens über einen Zeitraum von 6 Minuten. Gehen Sie davon aus, dass der Lüfter zum ersten Mal nach ca. 2 Minuten anläuft und dann alle 90 s ein- bzw. ausgeschaltet wird. 3

Zu Aufgabe 4.3.3: h,x-Diagramm

Punkte



2

TG Umwelttechnik**2014/2015****Übung**

Arbeitszeit: 270 Minuten

Stoffgebiete

Teil 1: Pflichtbereich

Aufgabe 1: Elektromobilität (2 Seiten)
Elektro- und Hybridfahrzeuge
Photovoltaik-Ertragsberechnung

Aufgabe 2: Heizkraftwerk-Fernwärmeversorgung (3 Seiten)
Brennwerttechnik
Blockheizkraftwerk

Teil 2: Wahlbereich

Aufgabe 3: Steuerungstechnik (4 Seiten)
Transistorbrücke
Solarthermie

Aufgabe 4: Wohnraumlüftung (3 Seiten)
Windkraft
Bauphysik

Bemerkungen

Die Aufgaben 1 und 2 (Pflichtbereich) sind von allen Prüflingen zu bearbeiten.
Aus den Aufgaben 3 und 4 (Wahlbereich) wählt die Schülerin/der Schüler eine Aufgabe aus.

Der Aufgabensatz umfasst 13 Seiten (inklusive diesem Deckblatt).

1 Elektromobilität, Elektro- und Hybridfahrzeuge und Photovoltaik

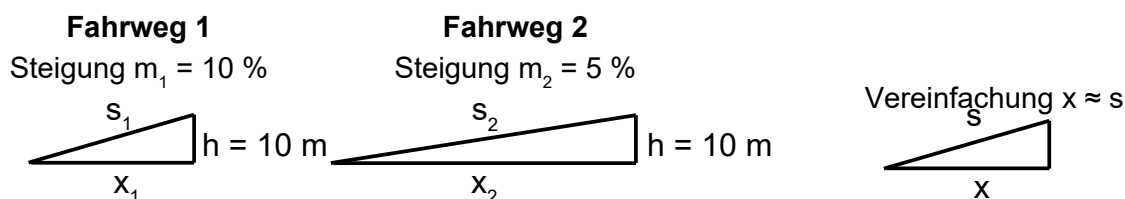
Punkte

1.1 Selbstfahrendes Transportsystem

Um zwei Produktionsanlagen miteinander zu verbinden soll ein selbstfahrendes Transportsystem für kleine Lasten eingesetzt werden. Dieses Fahrzeug wird elektrisch betrieben und von einem Akkumulator mit Energie versorgt.

Akkuspannung	U_{Akku}	= 12 V
Akkuenergieinhalt	W_{akku}	= 120 Wh
Maximaler Ladestrom	I_{Lmax}	= 5 A
Leistungsaufnahme Steuerung	$P_{\text{Steuerung}}$	= 15 W

Das Fahrzeug soll eine Last von $m_L = 50$ kg über einen Höhenunterschied von $h = 10$ m aufwärts transportieren. Dafür stehen zwei verschiedene Fahrwege zur Verfügung, die im Folgenden untersucht werden.



1.1.1 Ermitteln Sie die Länge der Strecken s_1 und s_2 .

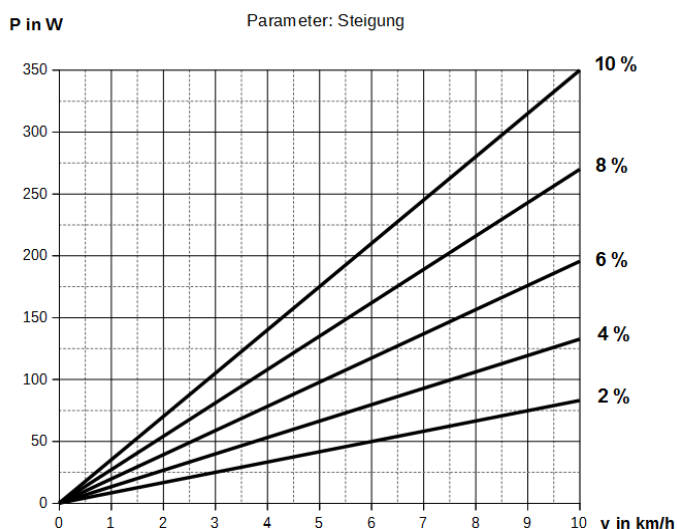
1

1.1.2 Das Transportsystem soll sich mit einer Geschwindigkeit von $v = 5$ km/h in beide Richtungen bewegen. Für das Beladen wird eine Zeit von $t_B = 5$ s, für das Entladen eine Zeit von $t_E = 4$ s angenommen. Beschleunigungs- und Abbremsvorgänge sind zu vernachlässigen. Bestimmen Sie für beide Fahrwege die Zeit für einen kompletten Transportzyklus t_{Weg1} und t_{Weg2} , bestehend aus Beladen, Hinfahrt, Entladen und Rückfahrt.

2

1.1.3 Ermitteln Sie mit Hilfe des nebenstehenden Diagramms, welche Leistung der Motor jeweils aufbringen muss.

Leistung in W in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit



1

Für einen Transportzyklus bei Fahrweg 1 muss eine Energie von 4,14 Wh aufgewendet werden. Mit einer Akkuladung sind dann 29 Fahrten möglich.

Fahrweg2:

Gesamtfahrdauer: $t_{\text{Weg2}} = 297$ s

ein Fahrweg: $t_{\text{Fahrdauer2}} = 144$ s

$P_{\text{Antrieb2}} = 80$ W

1.1.4 Ermitteln Sie wie, viele Zyklen mit einer Akkuladung auf Fahrweg 2 gemacht werden können.

3

Gehen sie dabei davon aus, dass die Steuerung permanent Leistung benötigt und für den Antrieb bei der Fahrt nach unten keine Energie aus dem Akku entnommen wird.

- 1.1.5 Berechnen Sie die Anzahl der möglichen Fahrten beider Varianten, wenn bei der Rückfahrt max. 70% der Energie der Hinfahrt zurückgespeist werden kann. Beachten Sie dabei, dass der maximale Ladestrom des Akkus nicht überschritten werden darf. Überschüssige Energie wird in Wärme umgewandelt. Die reine Fahrtdauer pro Strecke beträgt 72 s bei Fahrweg 1 und 144 s bei Fahrweg 2. (Hinweis: $P_{\text{Antrieb1}} = 175 \text{ W}$) 6
- 1.1.6 Schätzen Sie die Wirkungsgrade beider Fahrwege mit Hilfe der aufgewandten potentiellen Energie ab. 2
- 1.1.7 Diskutieren Sie die wichtigsten Vor- und Nachteile der beiden Varianten. 2

1.2 Dieselmotor in einem Hybridfahrzeug

Als Antriebsmotor wird in einem Hybridfahrzeug ein 4-Zylinder-Dieselmotor eingesetzt.

- 1.2.1 Erstellen Sie ein qualitatives p-V-Diagramm für ein idealisiertes Arbeitsspiel eines Dieselmotors (Kreisprozess). Benennen Sie die einzelnen Zustandsänderungen. 2

Das Gesamtvolumen des Motors beträgt 1,6 Liter, das Verdichtungsverhältnis 18 : 1. Das Arbeitsgas soll näherungsweise als Luft angenommen werden.

Weitere Daten des idealisierten Dieselmotors:

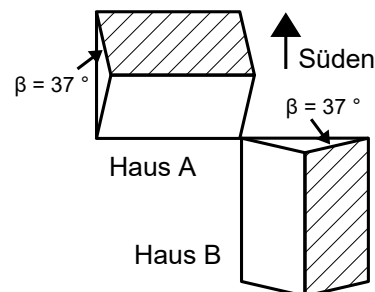
	T [°C]	P [bar]	V [m³]
1	100	1	?
2	?	58	?
3	1911,5	?	?
4	600	2,34	?

- 1.2.2 Übertragen Sie die Tabelle auf Ihr Lösungsblatt und ergänzen Sie diese durch Berechnen oder Bestimmen der fehlenden Zustandsgrößen eines Zylinders. 5

1.3 Ertragsberechnung an PV-Anlagen

Zwei um 37° geneigte Dachflächen (im Bild schraffiert dargestellt) sind mit Solarmodulen belegt. Die Flächen besitzen identische Maße und identische Solarmodule. Die Häuser sind jedoch nach unterschiedlichen Himmelsrichtungen ausgerichtet.

Standort: Karlsruhe
 Nennleistung pro Anlage: 4 kWp
 Wirkungsgrad der Anlagen $\eta_{\text{PV}} = 90 \%$.



- 1.3.1 Berechnen Sie die einzelnen Jahreserträge beider Häuser in kWh. 3
- 1.3.2 Ermitteln Sie, welche Fläche in m² bei Haus B zusätzlich mit Solarzellen belegt werden müsste, damit sich der gleiche Jahresertrag wie bei Haus A ergibt? 3

2 Beheizung eines Wellness-Hotels

Punkte

Das Wellness-Hotel Waldesruh mit großem Saunabereich und einem Hallenbad wird bisher durch ein Steinkohle-Heizkraftwerk mit Fernwärme versorgt.

2.1 Fernwärmeversorgung

Im Heizkraftwerk wird nach der Mitteldruckturbine Fernwärme ausgekoppelt.

2.1.1 Ergänzen Sie im Anlagenschema des Heizkraftwerks (Arbeitsblatt) die fehlenden Bauteile. Benennen Sie die Anlagenteile. 2

Im Folgenden sind die Turbinenstufen als eine Turbine anzusehen.

2.1.2 Zeichnen Sie ein Blockschaltbild für das Heizkraftwerk. 2

2.1.3 Das Steinkohle-Heizkraftwerk hat eine elektrische Leistung von 230 MW. 3

Bekannt sind folgende Wirkungsgrade:

Dampferzeuger: $\eta_{DE} = 0,84$

Dampfturbine: $\eta_T = 0,45$

Generator: $\eta_G = 0,98$

Ermitteln Sie den stündlichen Bedarf an Steinkohle für das Kraftwerk.

Das sehr ineffiziente 50 Jahre alte Heizkraftwerk wird in absehbarer Zeit außer Betrieb gehen.

Daher werden verschiedene Möglichkeiten der dezentralen Wärmeenergieversorgung untersucht.

Zur Auswahl steht die Beheizung mittels Brennwerttechnik oder mittels eines Blockheizkraftwerks. Als Energieträger wird Erdgas eingesetzt.

2.2 Erdgas-Brennwertgerät

Ein mögliches Brennwertgerät kann eine Wärmeleistung im Bereich 17 – 90 kW liefern. Folgende Auszüge aus den Herstellerunterlagen sind bekannt:

Auszug 1:

Hohe Effizienz: Der maximale Norm-Nutzungsgrad entspricht 109% bezogen auf den Heizwert und 99,4% bezogen auf den Brennwert. Damit werden physikalische Grenzen erreicht.

Auszug 2

Typ	WTX 90	
Brennerleistung gemäß EN 483	86,5	kW
Wärmeleistung bei 80/60°C	84,3	kW
Wärmeleistung bei 50/30°C	90,0	kW
Kondensatmenge bei Erdgas	6,4	kg/h
Gewicht	117	kg
Kategorie (DE, AT, CH)	IIELL3P, II2H3P	

2.2.1 Begründen Sie, warum in Auszug 1 unterschiedliche Zahlenwerte für den Norm-Nutzungsgrad angegeben sind. 1

2.2.2 Erläutern Sie, warum sich die Wärmeleistung in Abhängigkeit von der Heizkreistemperatur ändert. 2

- 2.2.3 Ermitteln Sie das Erdgasvolumen, das durch die Brennwertnutzung im Vergleich zur konventionellen Heizungstechnik in einer Stunde maximal eingespart werden kann. 4
- 2.2.4 Im Folgenden kann Erdgas vereinfacht als Methan (CH_4) betrachtet werden. Die Luftzusammensetzung kann mit 80 % N_2 und 20 % O_2 angenommen werden, der Umgebungsdruck p_{amb} ist 1 bar. 4
- Erstellen Sie die Reaktionsgleichung für die Verbrennung von Methan auf und ermitteln Sie den Taupunkt bei einem Luftüberschuss von 20 %.

2.3 Blockheizkraftwerk

Alternativ dazu wird für die dezentrale Energieversorgung des Wellness-Hotels ein Blockheizkraftwerk in Betracht gezogen. Mit einer Simulation wurde die auf dem Arbeitsblatt dargestellte Jahresdauerlinie des Heizwärmebedarfs ermittelt.

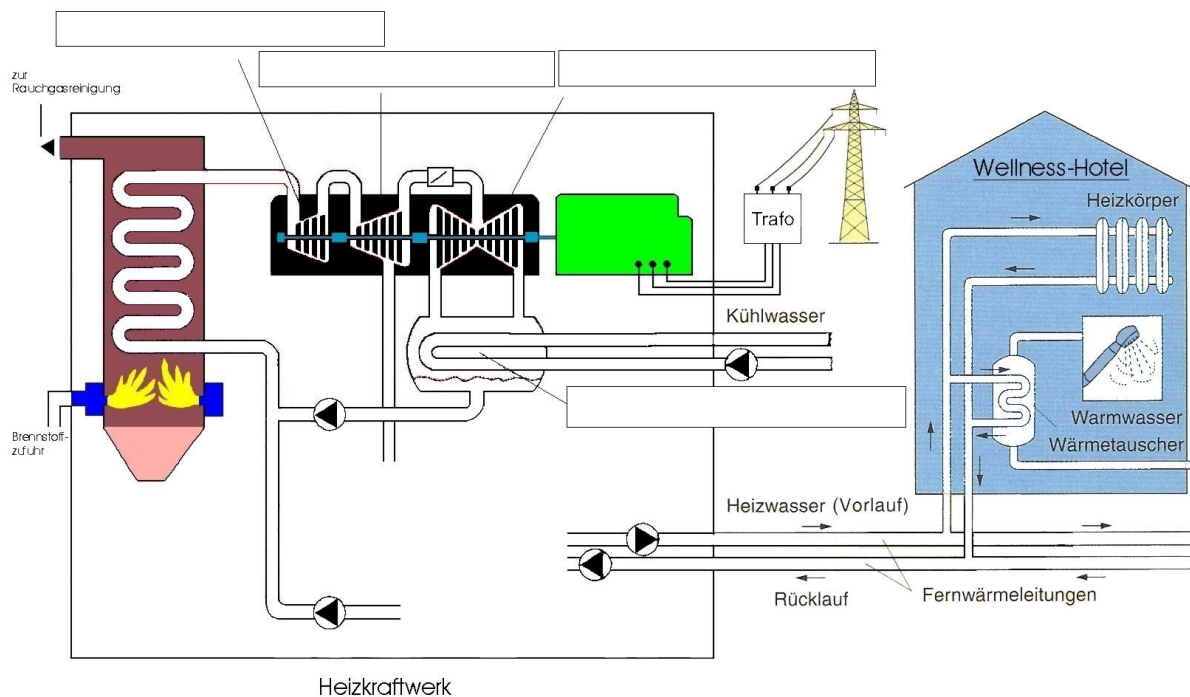
Folgende Daten des BHKW sind bekannt:

Gesamtwirkungsgrad des BHKW:	92 %
mechanischer Wirkungsgrad des BHKW-Motors:	35 %
Generatorwirkungsgrad:	95 %

- 2.3.1 Begründen Sie, warum bei dem beschriebenen Objekt ein Blockheizkraftwerk ein geeigneter Wärmeerzeuger ist. 1
- 2.3.2 Skizzieren Sie (ohne Werte, nicht maßstäblich) das prinzipielle Energieflussdiagramm (Sankey-Diagramm) eines Blockheizkraftwerks und beschriften Sie dieses. 2
- 2.3.3 Ermitteln Sie den elektrischen und den thermischen Wirkungsgrad des beschriebenen Blockheizkraftwerks. 3
- 2.3.4 Das in Betracht gezogene Blockheizkraftwerk liefert eine thermische Leistung von 30 kW. Ermitteln Sie den voraussichtlichen jährlichen Wärmeertrag für den Einsatz im beschriebenen Hotel. 2
- 2.3.5 In der unmittelbar benachbarten Wohnsiedlung mit einem maximalen Heizleistungsbedarf von 90 kW sind auf den Dächern solarthermische Anlagen vorhanden. In einem nächsten Schritt soll eine Nahwärmeversorgung aufgebaut werden. Dazu ist die Installation eines baugleichen Blockheizkraftwerks mit einer thermischen Leistung von 30 kW angedacht. 4
- Tragen Sie eine mögliche Jahresdauerlinie für die Wohnsiedlung in das Diagramm (Arbeitsblatt) ein und begründen Sie den eingezeichneten Verlauf.
- Vergleichen Sie die beiden Einsatzbereiche des Blockheizkraftwerks. Bewerten Sie, in welchem Fall das Blockheizkraftwerk wesentlich besser geeignet ist.

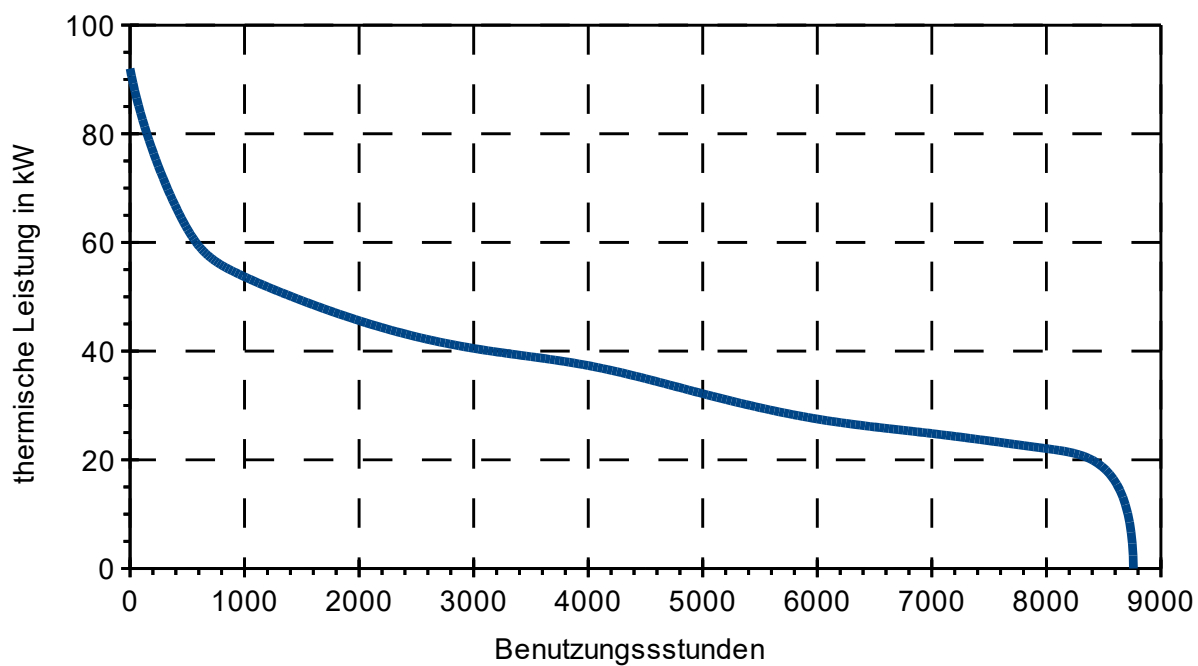
Arbeitsblatt

zu Aufgabe 2.1.1: Anlagenschema des Kohlekraftwerks



2

zu Aufgabe 2.3.4 und 2.3.5: thermische Jahresdauerlinie des Wellness-Hotels Waldesruh

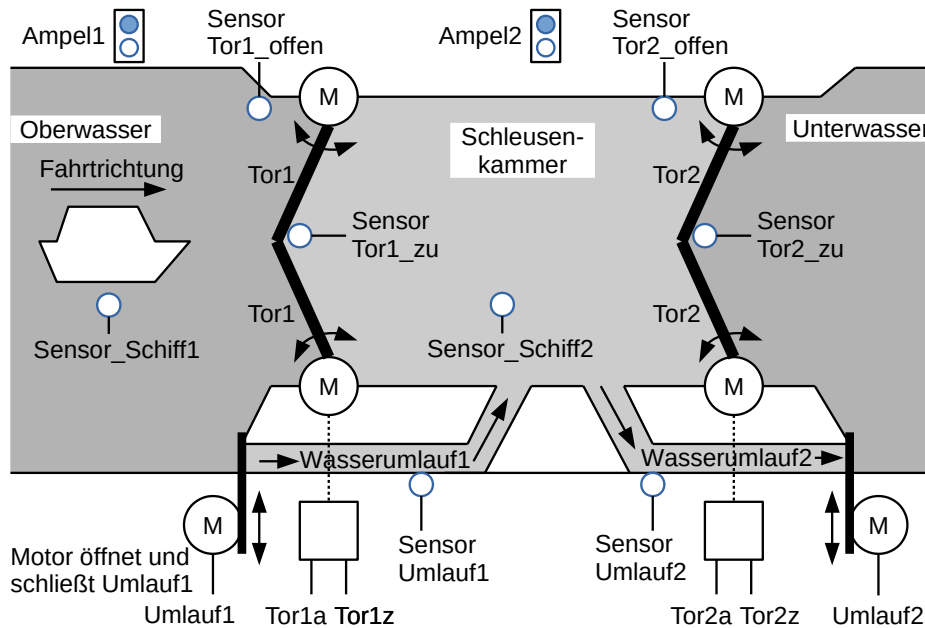


2

3 Wahlaufgabe

Punkte

3.1 Ablaufsteuerung einer Schleuse



Auf einem Fluss wird der Höhenunterschied zwischen Oberwasser und Unterwasser mit einer Schleuse überwunden. Die Funktionen der Sensoren und Aktoren sind in der Zuordnungstabelle und in der Ablaufbeschreibung erklärt. In der Aufgabe wird nur ein Teil des Gesamtablaufs behandelt.

Ablaufbeschreibung:

Im Ausgangszustand ist der Oberwasserstand gleich dem Wasserstand in der Schleuse, die Sensoren Tor1_offen und Tor2_zu melden 1. Ampel1 ist grün, Ampel2 zeigt rot.

Ein Schiff fährt vom Oberwasser in die Schleuse ein. Sobald Sensor_Schiff2 = 1 meldet, wird die Ampel1 rot und das Tor1 schließt. Der Schließvorgang ist beendet, wenn Sensor_Tor1_zu = 1 meldet.

Dann öffnet der Umlauf2 und das Wasser kann aus der Schleusen-kammer ins Unterwasser abfließen. Dadurch senkt sich das Schiff.

Nachdem der Sensor_Umlauf2 keine Wasserströmung mehr erkennt, hat der Wasserstand in der Kammer das Niveau des Unterwassers erreicht und das Tor2 beginnt sich zu öffnen.

10 Sekunden später schließt der Umlauf2. Die Toröffnung dauert länger als 10 Sekunden.

Sobald Sensor_Tor2_offen = 1 meldet, wechselt die Ampel2 auf grün.

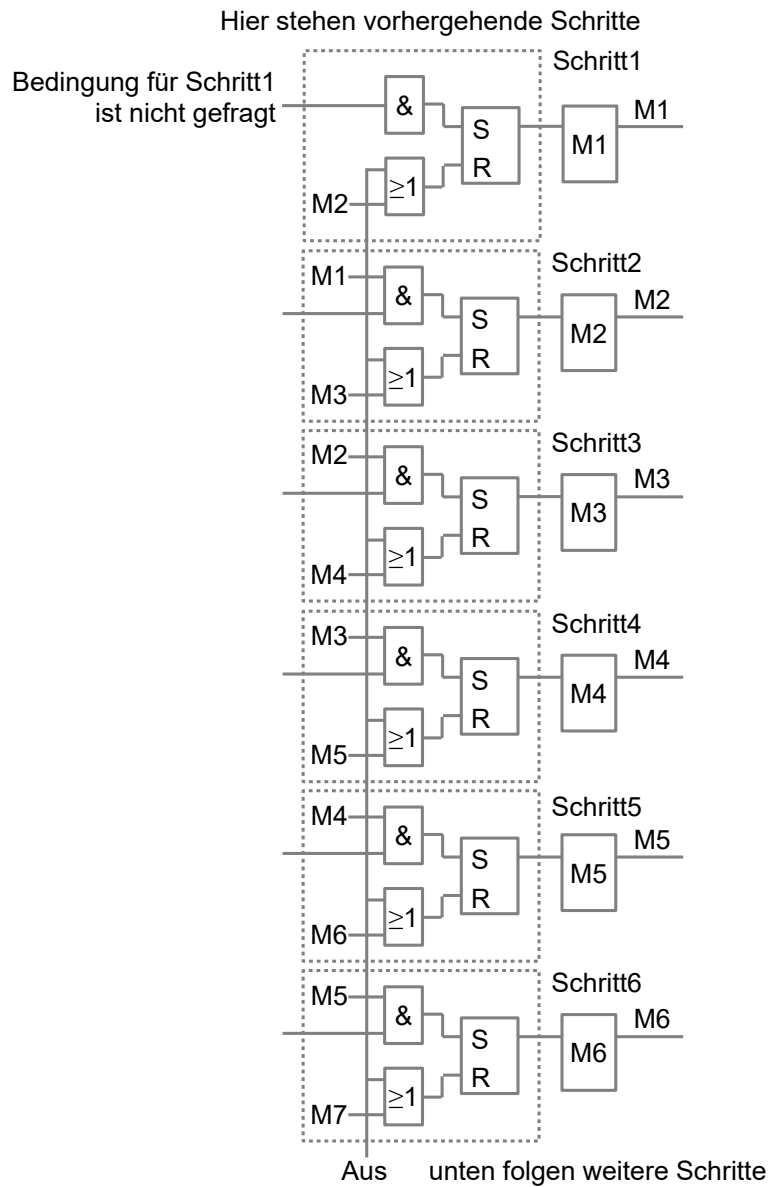
Weitere Schritte sind in der Aufgabe nicht gefragt.

Zuordnungstabelle			
Eingänge (Sensoren, Endschalter)			
Sensor_Schiff1 Sensor_Schiff2	0: kein Schiff vorhanden, 1: Schiff wartet		
Sensor_Umlauf1 Sensor_Umlauf2	1: Wasser fließt, 0: Wasserniveau ausgeglichen		
Sensor_Tor1_offen Sensor_Tor2_offen	0: Tor nicht vollständig geöffnet, 1: Tor vollständig geöffnet		
Sensor_Tor1_zu Sensor_Tor2_zu	0: Tor nicht geschlossen, 1: Tor vollständig geschlossen		
Ausgänge (Aktoren)			
	a	z	Funktion
Tor1a, Tor1z	0	0	Tor unverändert
	0	1	Tor schließen (zu)
Tor2a, Tor2z	1	0	Tor öffnen (auf)
	1	1	Tor unverändert
Umlauf1 Umlauf2	0: Umlauf zu, 1: Umlauf auf		
Ampel1 Ampel2	0: rot, 1: grün		

	Punkte
<p>3.1.1 Ablaufdarstellung: Stellen Sie den oben beschriebenen Ablauf mit einem Zustandsdiagramm <u>oder</u> in GRAFCET dar. Hinweis: Geben Sie im Zustandsdiagramm nur die Ausgänge an, die 1 sind.</p>	6
<p>3.1.2 Schrittfolge: Vervollständigen Sie auf dem Arbeitsblatt den Funktionsplan der Schrittfolge zur Ansteuerung der Ampeln und der Motoren der Schleuse. Es steht als Zeitgeber die rechts gezeichnete Einschaltverzögerung zur Verfügung.</p>	5
<p>3.1.3 Motoransteuerung für die Tore Zum Öffnen und Schließen der Tore ist die Drehrichtung der Gleichstrommotoren umkehrbar. Dazu werden die Motoren über Transistor-H-Brücken geschaltet. Beachten Sie die Funktionsbeschreibung der Tore in der Zuordnungstabelle und berücksichtigen Sie alle <u>vier</u> Ansteuervarianten. Zum Öffnen der Tore muss die Motorspannung $U_M = + U_{Bat}$ und zum Schließen der Tore $U_M = - U_{Bat}$ sein. Vervollständigen Sie die Ansteuerung der Transistoren V1 bis V4 auf dem Arbeitsblatt.</p>	3
<p>3.1.4 Freilaufdioden Erläutern Sie die Aufgabe der 4 Dioden der H-Brücken-Schaltung aus 3.1.3.</p>	2
<p>3.1.5 PWM-Ansteuerung Beim schlagartigen Einschalten der Motoren treten hohe Einschaltströme auf, da sich die Motoren durch den Widerstand des Wassers nur sehr langsam zu drehen beginnen. Eine PWM-Ansteuerung sorgt für den Sanftanlauf der Motoren. Skizzieren Sie die Verknüpfung des PWM-Signals mit den Signalen Tor1a, Tor1z und erklären Sie, wie sich das PWM-Signal beim Sanftanlauf der Motoren ändert.</p>	3
<p>3.2 Solarthermie-Anlage mit Heizungsunterstützung</p>	
<p>Auf einem Garagendach wird eine Solarthermie-Anlage installiert, die neben der Trinkwassererwärmung auch Heizenergie bereitstellen soll.</p>	
<p>3.2.1 Ergänzen Sie auf dem Arbeitsblatt 2 das Rohrsystem und die Wärmetauscher im Pufferspeicher. Die Trinkwassererwärmung findet über Rohr-Wärmetauscher statt. Beschriften Sie den Heizungsvor- und Heizungsrücklauf sowie die Leitungen des kalten und warmen Trinkwassers.</p>	4
<p>Der Kollektor soll vor allem in der kalten Jahreszeit einen hohen Wärmeertrag liefern.</p>	
<p>3.2.2 Wählen Sie eine geeignete Kollektorbauart und begründen Sie Ihre Auswahl.</p>	2
<p>3.2.3 Die Kollektoren sollen auf dem Flachdach der Garage aufgebaut werden. Bestimmen Sie die Ausrichtung und den Neigungswinkel der Kollektoren und erläutern Sie den Zusammenhang zwischen Neigungswinkel und Wärmeertrag für die beschriebene Anwendung.</p>	3
<p>3.2.4 Aufgrund der Heizungsunterstützung wird die größtmögliche Kollektorfläche installiert. Beurteilen Sie, welche Problematik sich dadurch für den Sommerbetrieb ergibt und erläutern Sie, durch welches Bauteil die Anlage in diesem Fall geschützt wird.</p>	2
<p>30</p>	

Arbeitsblatt 1

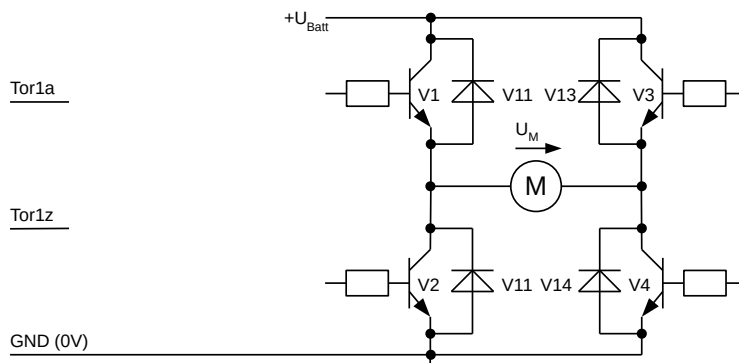
Zu 3.1.2 Schrittkette



Punkte

5

zu 3.1.3 Motoransteuerung für Tore

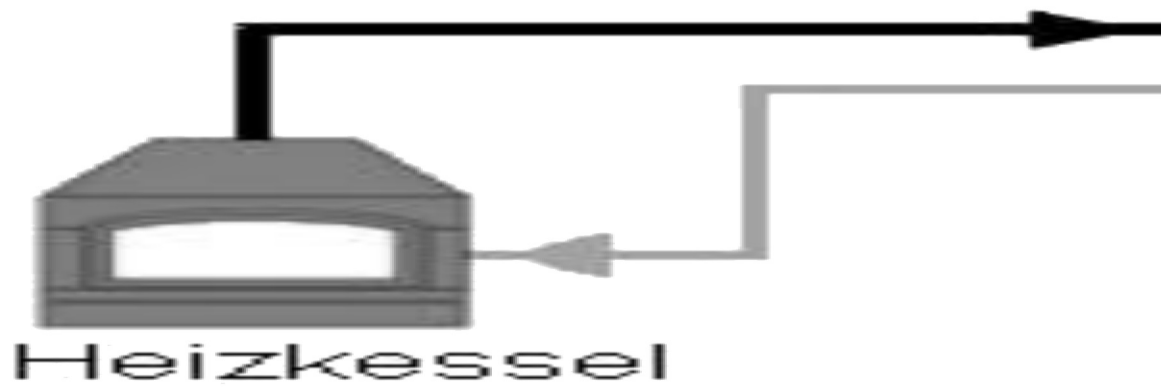


2

Arbeitsblatt 2

zu 3.2.1 Anlagenschema einer Solaranlage

Punkte



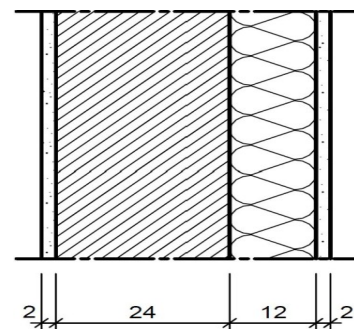
3

4 Neubau eines Eigenheims

Punkte

4.1 Bauphysik

Herr Maier plant den Bau eines Eigenheims. Sein Architekt empfiehlt ihm den nebenstehenden, der EnEV (Energieeinsparungsverordnung) entsprechenden, Wandaufbau:



4.1.1 Bestimmen Sie den U-Wert des angegebenen Wandquerschnitts.

- (1) Gipsputz $d = 2 \text{ cm}$ $\lambda_1 = 0,51 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$
- (2) Stahlbeton (bewehrt) $d = 24 \text{ cm}$ $\lambda_2 = 2 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$
- (3) EPS-Dämmung WLG030 $d = 12 \text{ cm}$ $\lambda_3 = 0,03 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$
- (4) Kalkzementputz $d = 2 \text{ cm}$ $\lambda_4 = 1 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$

2

Herr Maier hat Bedenken gegenüber dem Wandaufbau, da er in der Zeitung über die Entsorgungsproblematik und Brennbarkeit von Polystyrol gelesen hat.

Er wünscht sich ein Mauerwerk aus Porenbetonplansteinen PP 400, das beidseitig mit den vom Architekten vorgeschlagenen Putzen beschichtet wird. Es soll ohne zusätzliche Dämmung einen guten Wärmeschutz bieten.

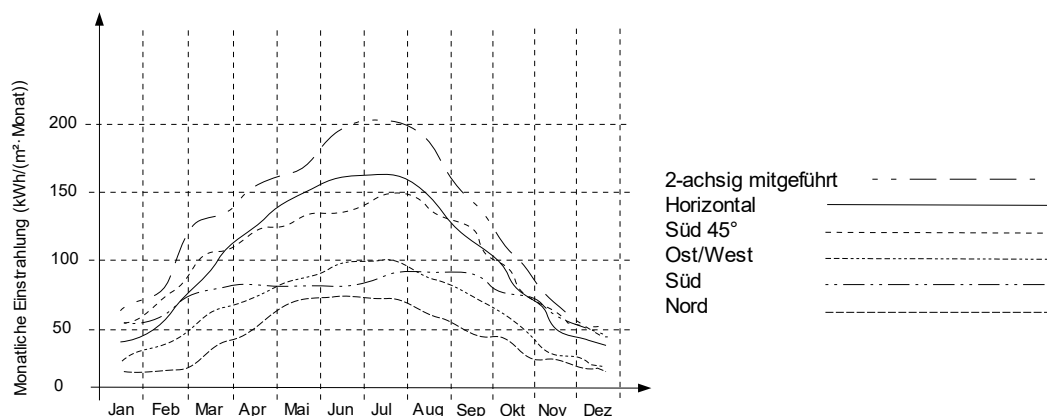
4.1.2 Bestimmen Sie die Dicke des Mauerwerkbaustoffes, wenn die Wand einen U-Wert von höchstens $U = 0,2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$ aufweisen soll. Beurteilen Sie das Ergebnis.

3

4.1.3 Die Form des Baukörpers ist noch vollkommen offen. Machen Sie einen begründeten Vorschlag zur Form des Hauses mit der Zielsetzung, dass das Haus möglichst wenig Heizenergie benötigt.

2

4.1.4 Herr Maier überlegt sich, ob er sein großes 8 m^2 Panoramafenster des Wohnzimmers nach Süden oder nach Norden ausrichten soll. Berechnen Sie überschlägig für den Monat Februar den solaren Energieeintrag der beiden Möglichkeiten.



1

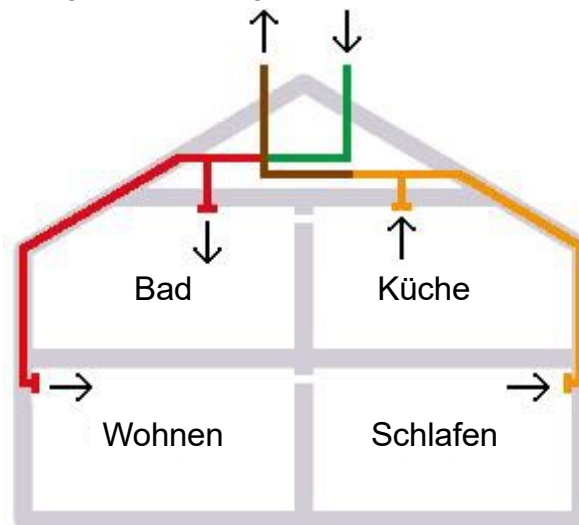
- 4.1.5 Bei der Dachdämmung stehen zwei Dämmstoffe zur Auswahl: Holzfaserdämmplatten und Hanf. Bewerten Sie die beiden Dämmstoffe hinsichtlich Wärmedämmung und sommerlichem Wärmeschutz.

2

4.2 Wohnraumlüftung

Der nötige Luftwechsel des Gebäudes soll mit einer zentralen Wohnraumlüftungsanlage gewährleistet werden.

- 4.2.1 Bewerten Sie das abgebildete Anlagenschema.



2

- 4.2.2 Erläutern Sie Aufbau und Funktion eines zentralen Lüftungsgerätes.

2

- 4.2.3 Die gesamte Wohnfläche beträgt 152 m^2 , die lichte Raumhöhe ist $2,5 \text{ m}$.

Bestimmen Sie die Mindestzuluftmenge für das Haus bei einer Luftwechselrate von $0,5 \frac{1}{\text{h}}$. Überprüfen Sie, ob das ausgetauschte Luftvolumen je Stunde ausreicht, wenn das Haus von 4 Personen bewohnt wird.

2

- 4.2.4 An einem kalten Wintertag (Außentemperatur $\vartheta_a = -10 \text{ °C}$, Dichte $\rho_{\text{Luft}} = 1,33 \text{ kg/m}^3$) wird ein Volumen von 190 m^3 Luft je Stunde ausgetauscht.

Berechnen Sie die Wärmemenge, die pro Stunde aufgewendet werden muss, um die Frischluft auf 20 °C zu erwärmen, wenn der Wärmetauscher des zentralen Lüftungsgerätes einen Wirkungsgrad $\eta = 80 \%$ aufweist.

2

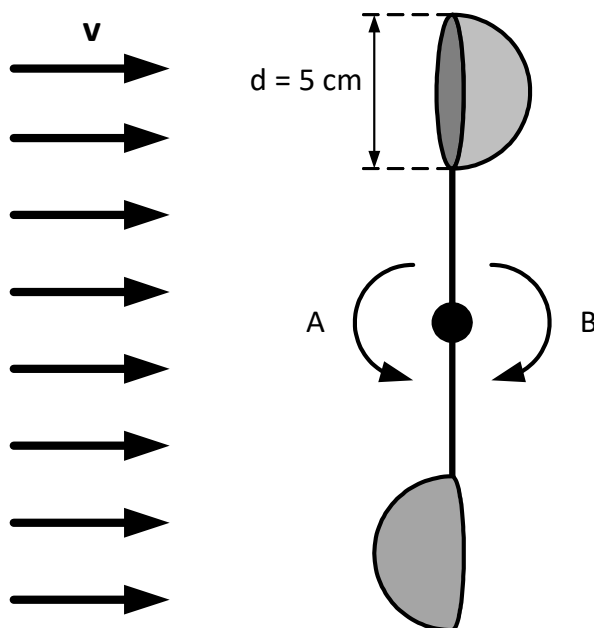
- 4.2.5 Bestimmen Sie die pro kg Luft zu- bzw. abzuführende Wassermenge, wenn die angesaugte Luft ($\vartheta_a = -10 \text{ °C}$, $\varphi = 60 \%$) auf eine Raumtemperatur von $\vartheta_i = 20 \text{ °C}$ erwärmt wird und die relative Luftfeuchte $\varphi = 60 \%$ beibehalten werden soll.

2

4.3 Schalenkreuzanemometer

Herr Meier plant, dass eine Markise auf der Terrasse Schatten spenden soll, damit die Innenräume trotz Sommerhitze kühl bleiben. Bei starkem Wind soll die Markise automatisch eingefahren werden.

Zur Messung der Windgeschwindigkeit v kann ein Schalenkreuzanemometer eingesetzt werden. Es besteht aus zwei hohlen Halbkugeln, die sich über eine gemeinsame Verbindung um eine Drehachse bewegen.



- 4.3.1 Begründen Sie, ob es sich im Falle des Schalenkreuzanemometers um einen Widerstandsläufer oder um einen Auftriebsläufer handelt. 2
- 4.3.2 Geben Sie an, in welche Richtung (A oder B) sich das Anemometer dreht. Begründen Sie ihre Entscheidung. 2
- 4.3.3 Berechnen Sie die Windgeschwindigkeit v , wenn die Widerstandskraft der oberen Halbkugel $F_{WO} = 25,2 \text{ mN}$ und die Umfangsgeschwindigkeit $v_{\text{Körper}} = 1,94 \text{ m/s}$ beträgt. 2
- 4.3.4 Ermitteln Sie die Schnelllaufzahl λ des Schalenkreuzanemometers und begründen Sie warum $\lambda < 1$ ist. 2
- 4.3.5 Begründen Sie, ob die Umfangsgeschwindigkeit $v_{\text{Körper}}$ des Anemometers größer oder kleiner wird, falls die beiden geöffneten Halbkugeln durch gefüllte Halbkugeln ersetzt werden. 2

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

Arbeitszeit: 270 Minuten
Hilfsmittel: Formelsammlung Umwelttechnik
Zugelassener Taschenrechner

Stoffgebiet	Teil 1: Pflichtbereich	
	Aufgabe 1: Windkraft Photovoltaik	(3 Seiten)
	Aufgabe 2: Wärmezeugung Wärmeleistungwerke	(4 Seiten)
	Teil 2: Wahlbereich	
	Aufgabe 3: Hybridfahrzeug Dieselmotor Klimaanlage und Abgasreinigung	(4 Seiten)
	Aufgabe 4: Bauphysik Steuerungstechnik	(3 Seiten)

Bemerkungen

Die Aufgaben 1 und 2 (Pflichtbereich) sind von allen Prüflingen zu bearbeiten.
Aus den Aufgaben 3 und 4 (Wahlbereich) wählt die Schülerin/der Schüler eine Aufgabe aus.

Der Aufgabensatz umfasst 15 Seiten (inklusive diesem Deckblatt).

Bitte entnehmen Sie den Aufgaben die beigefügten Arbeitsblätter und geben Sie diese mit Ihrer Reinschrift ab.

Sie sind verpflichtet, die Vollständigkeit des Aufgabensatzes umgehend zu überprüfen und fehlende Seiten der Aufsicht führenden Lehrkraft anzuzeigen. Jede Aufgabe ist mit einem neuen Blatt zu beginnen. Bei Verstößen gegen die angemessene Darstellungsform kann ein Punkteabzug erfolgen.

1 Windkraft, Photovoltaik

Punkte

1.1 Repowering einer Windkraftanlage

Beim Repowering werden ältere Windkraftanlagen mit kleineren Leistungen durch moderne Anlagen mit größeren Leistungen ersetzt. Somit kann die Anlagenzahl verringert werden bei gleichzeitiger Vergrößerung der Leistung durch effizientere Nutzung der Standorte.

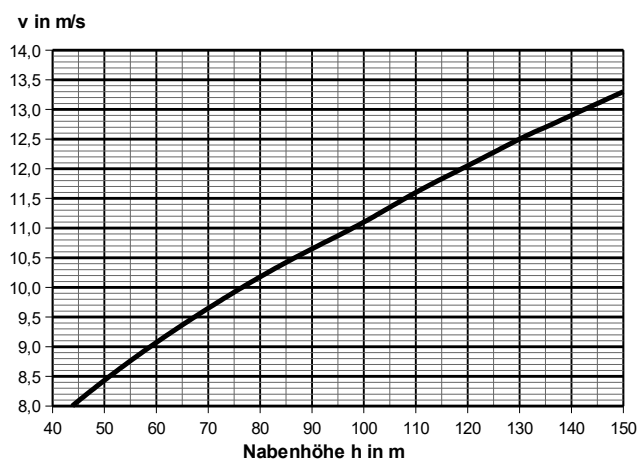
Daten der Windkraftanlagen

Alte Windkraftanlage WKA₁ aus dem Jahr 2000:

Nennleistung $P_{N1} = 1,5 \text{ MW}$
 Leistungsbeiwert $c_p = 0,5$ bei $\lambda = 7$
 Nabenhöhe $h_1 = 100 \text{ m}$
 Rotordurchmesser $d_1 = 70 \text{ m}$
 Generatorwirkungsgrad $\eta_G = 96 \%$

Neue Windkraftanlage WKA₂ aus dem Jahr 2015:

Leistungsbeiwert $c_p = 0,5$ bei $\lambda = 7$
 Nabenhöhe $h_2 = 135 \text{ m}$
 Rotordurchmesser $d_2 = 127 \text{ m}$
 Generatorwirkungsgrad $\eta_G = 96 \%$



Die dargestellte Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Nabenhöhe wird zur Auslegung der Anlage für die Nennleistung herangezogen.

- 1.1.1 Berechnen Sie die erforderliche Windleistung P_{W1} damit sich für die alte WKA₁ eine elektrische Nennleistung von $P_{N1} = 1,5 \text{ MW}$ ergibt. 2
- 1.1.2 Aus dem Diagramm ist abzulesen, dass am ausgewählten Standort bei einer Nabenhöhe von $h_1 = 100 \text{ m}$ die Windgeschwindigkeit $v = 11,1 \text{ m/s}$ beträgt. Weisen Sie diesen Wert rechnerisch mit Hilfe der Anlagendaten der WKA₁ nach. 1,5
- 1.1.3 Berechnen Sie die elektrische Nennleistung P_{N2} , für die die neue WKA₂ ausgelegt werden muss. 2,5
- 1.1.4 Durch die größere Nabenhöhe und durch die längeren Rotorblätter hat die neue WKA₂ die fünffache Leistung der WKA₁. Begründen Sie, welche der beiden Abmessungsänderungen den größeren Einfluss auf die Leistungssteigerung hat. 2,5
- 1.1.5 Berechnen Sie sowohl für die alte WKA₁ als auch für die neue WKA₂ die Nenndrehzahl der Rotorblätter pro Minute und bewerten Sie die Ergebnisse. 2

Der Jahresenergieertrag für den Standort der WKA entspricht der Energiemenge, die durch 2000 Stunden bei Nennleistung erwirtschaftet wird ($P_{N2} = 7,5 \text{ MW}$).

Mit dem Netzbetreiber wurde eine Vergütung von 8,8 ct/kWh vereinbart.

- 1.1.6 Berechnen Sie den Jahresertrag der WKA₂ in kWh und die Vergütung in Euro. Ermitteln Sie die Anzahl der 4-Personenhaushalte, die man 1 Jahr lang mit der WKA₂ versorgen könnte, wenn ein Haushalt 4600 kWh im Jahr verbraucht. 2
- 1.1.7 Nehmen Sie Stellung zu der Aussage: Mit der neuen WKA₂ könnte man ein ganzes Dorf autark mit elektrischer Energie versorgen. 2,5

1.2 Photovoltaik-Anlage

Alternativ zu einem Windrad (Aufgabe 1.1), das einen Jahresertrag von 15 GWh liefert, wird der Bau einer Groß-Photovoltaik-Anlage geprüft. Diese wird mit den Einstrahlungswerten von Karlsruhe geplant und soll auf einer Ackerfläche errichtet werden. Durch die Montage auf Gestellen mit optimalem Neigungswinkel $\beta = 37^\circ$ und Südausrichtung beträgt der Flächenverbrauch das 1,7-fache der Solarmodulfläche. Die Solarmodule besitzen Wirkungsgrade von 18 % und Größen von 1,5 m x 1 m.

Ein Fußballfeld besitzt die Größe 105 m x 68 m.

- | | | |
|-------|---|-----|
| 1.2.1 | Berechnen Sie die gesamte Solarmodulfläche und den Flächenverbrauch, wenn die Anlage einen Jahresertrag von 15 GWh liefert. Ermitteln Sie, wie vielen Fußballfeldern dies entspricht. | 4 |
| 1.2.2 | Zeigen Sie durch Verwendung der Formeln W_{Tag} und $W_{\text{Jahr-ideal}}$, dass die Nennleistung der gesamten Photovoltaik-Anlage ungefähr $P_{\text{nenn}} = 10,8 \text{ MW}$ beträgt. | 2 |
| 1.2.3 | Berechnen Sie die Nennleistung <u>eines Moduls</u> bei Standard-Test-Bedingungen ($P_{\text{Sonne}} = 1000 \text{ W pro m}^2$) und geben Sie an, aus wie vielen Modulen die Anlage besteht. | 2,5 |

In jedem String der Anlage sind 20 Module in Reihe geschaltet. Jedes Modul besitzt eine Bypassdiode. Diese Dioden haben die Aufgabe, den Strom durch den String aufrecht zu erhalten, auch wenn ein Modul verschattet ist und dadurch den Stromfluss sperrt. Auf dem Arbeitsblatt ist die Schaltung eines Strings mit Bypassdioden gezeichnet.

- | | | |
|-------|--|---|
| 1.2.4 | Zeichnen Sie auf dem Arbeitsblatt den Weg des fließenden Stroms ein, wenn Modul 1 verschattet ist. | 1 |
|-------|--|---|

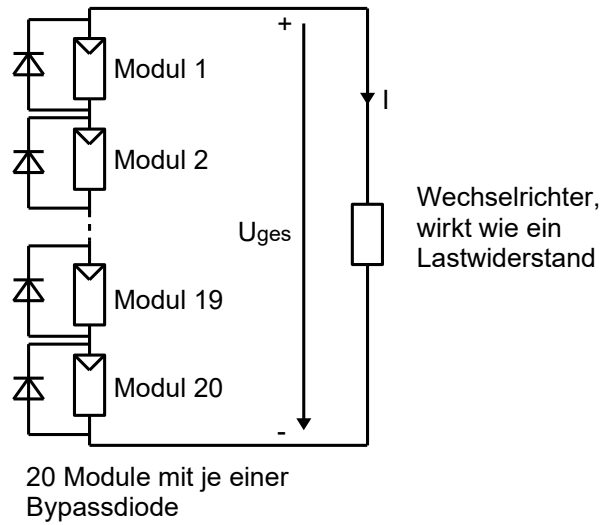
Die Kennlinie 1a auf dem Arbeitsblatt stellt die $I(U)$ -Kennlinie eines Strings dar, Kennlinie 1b die $P(U)$ -Kennlinie eines Strings. Alle Kennlinien gelten bei Standard-Test-Bedingungen STC.

- | | | |
|-------|--|-----|
| 1.2.5 | Begründen Sie, welche der anderen Kennlinien sich bei der Verschattung <u>eines Moduls</u> ergibt. | 2 |
| 1.2.6 | Ermitteln Sie die Modulspannung und den Modulstrom im MPP bei STC ohne Verschattung. | 1 |
| 1.2.7 | Skizzieren Sie auf dem Arbeitsblatt die $I(U)$ -Kennlinie <u>eines Strings</u> bei 500 W/m^2 ohne Verschattung und geben Sie die ungefähren Werte der Leerlaufspannung und des Kurzschlussstromes an | 2,5 |

30

Arbeitsblatt

zur Aufgabe 1.2.4

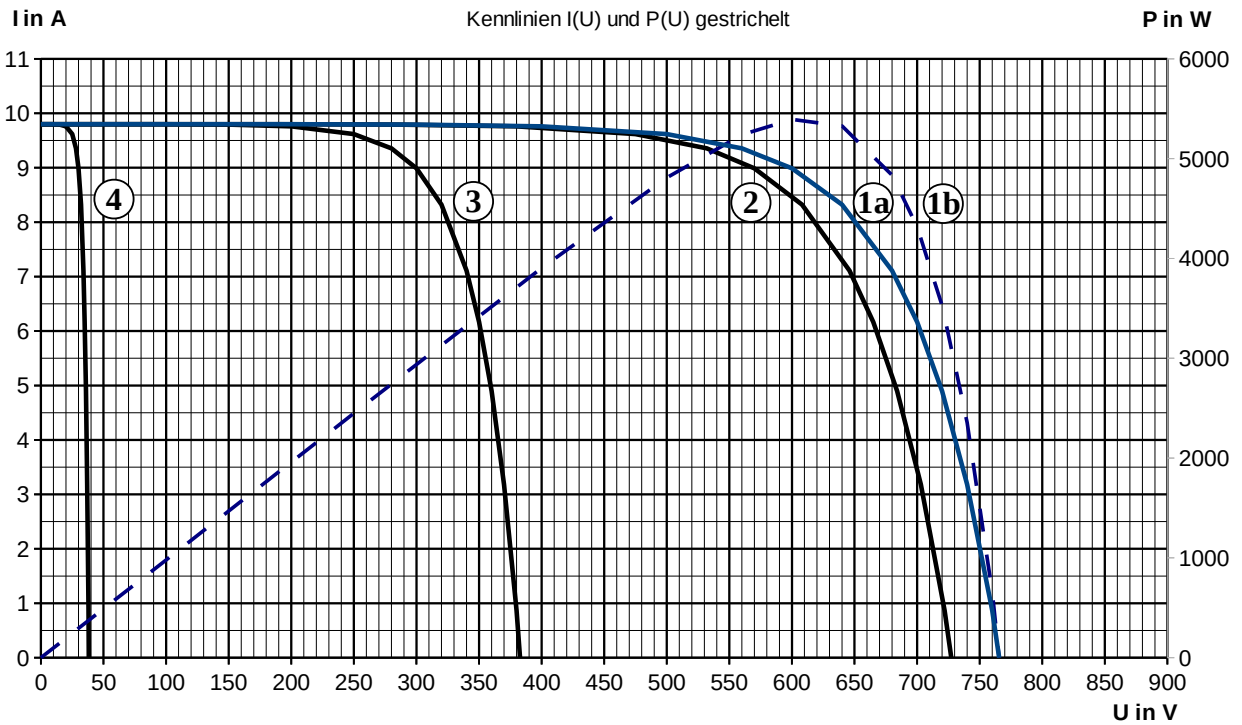


Punkte

(1)

zu den Aufgaben 1.2.5, 1.2.6, 1.2.7

(2,5)



30

2 Wärme erzeugen, Wärmekraftwerke

Punkte

2.1 Sanierung eines Altbaus

Familie Maier hat ein Einfamilienhaus in Berlin, Baujahr 1931, geerbt und möchte dieses sanieren. Die Sanierung soll so kostengünstig wie möglich durchgeführt werden. Daher soll lediglich die bestehende Ölheizung durch eine solar unterstützte Flüssiggas-Brennwertheizung ersetzt werden. Die alten Radiatoren-Heizkörper bleiben erhalten.

Solarthermie

Die Dachfläche, auf der die Kollektoren installiert werden sollen, ist nach Osten ausgerichtet.

- 2.1.1 Ermitteln Sie überschlägig die mittlere jährliche Globalstrahlung bei einer Dachneigung von 60°. Beschreiben Sie die Ergebnisermittlung. 1
- 2.1.2 Der Wirkungsgrad des Flachkollektors beträgt 50 %. Benennen Sie die auftretenden Verluste und zeichnen Sie am Flachkollektor (Arbeitsblatt) ein, an welchen Stellen diese auftreten. 3
Geben Sie die Anteile der Verlustarten an und begründen Sie Ihre Angaben.
- 2.1.3 Der Kollektor hat eine Fläche von 6 m². Ermitteln Sie die Zeit, bis der 400 L fassende Trinkwasserspeicher bei einer Einstrahlung auf den Kollektor von 800 W/m² und einem Kollektorwirkungsgrad von 50 % von 20 °C auf 60 °C aufgeheizt wird. Die Verteil- und Speicherverluste betragen jeweils 10%. 3
- 2.1.4 Erläutern Sie, warum bei solarthermischen Anlagen die Auslegung über die mittlere jährliche Globalstrahlung nur bedingt sinnvoll ist. 1
- 2.1.5 Vergleichen Sie die in Abbildung 1 dargestellten Kollektoren. Erläutern Sie dazu die Begriffe „Deckungsgrad“ und „Nutzungsgrad“ und begründen Sie, welcher Anlage Sie für den beschriebenen Sanierungsfall den Vorzug geben würden. 3

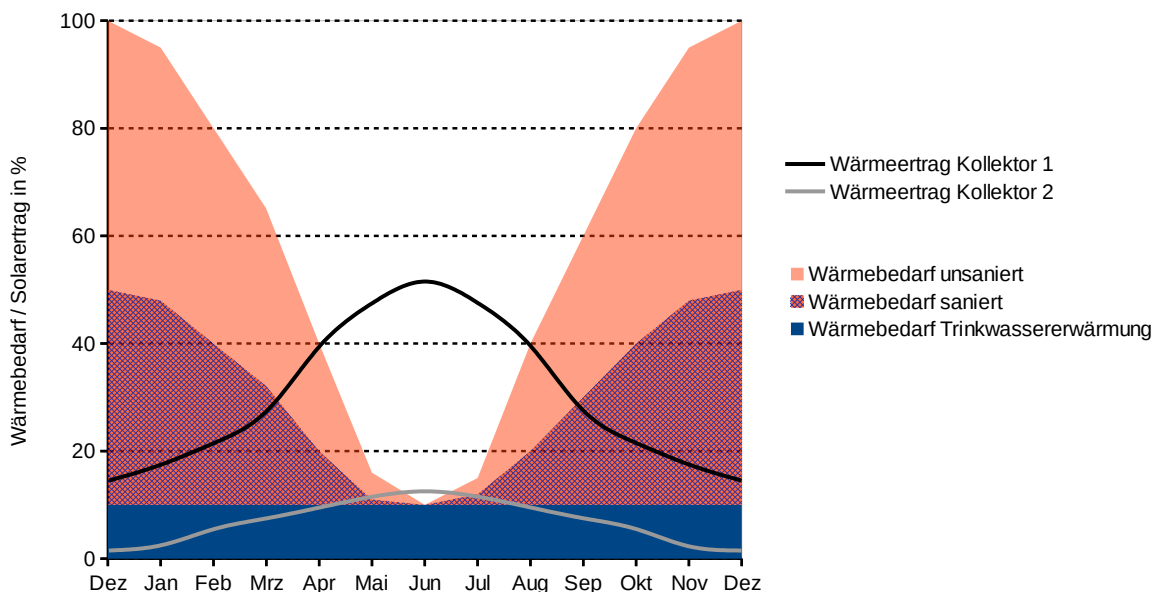


Abbildung 1: Wärmebedarf und -ertrag

2.2 Gas-Brennwertgerät

Als zusätzlicher Wärmeerzeuger wird bei der Sanierung des Gebäudes eine Flüssiggas-Brennwertheizung eingebaut.

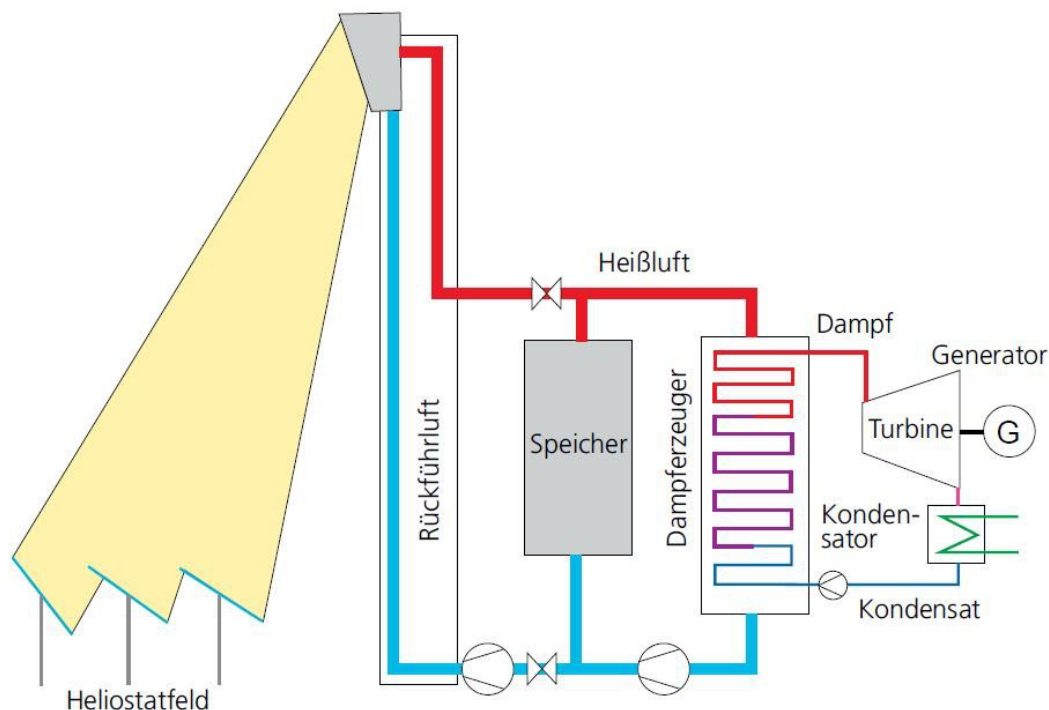
Die Luftverhältniszahl λ soll 1,2 betragen.

- | | | |
|-------|--|---|
| 2.2.1 | Erläutern Sie den Begriff „Luftverhältniszahl λ “. | 1 |
| 2.2.2 | Ermitteln Sie den Taupunkt des im Abgas enthaltenen Wasserdampfs.
Dabei gelten folgende Annahmen: <ul style="list-style-type: none">- Die Zusammensetzung der Luft wird vereinfacht mit 80 % Stickstoff und 20 % Sauerstoff angenommen.- Flüssiggas soll näherungsweise als Propan (C_3H_8) betrachtet werden.- Der Umgebungsdruck p_{amb} ist 1,0 bar. | 4 |
| 2.2.3 | Die Anlage wird konsequent mit dem eingestellten Luftüberschuss betrieben. Trotzdem kommt es in den Wintermonaten zu keinem Kondenswasseranfall. Erläutern Sie, welche Ursachen dies haben könnte. | 2 |

2.3 Solartermische Kraftwerke

Das solare Turmkraftwerk Jülich konzentriert die Sonnenstrahlung mithilfe von 2153 Heliostaten am Receiver und erwärmt dort die Luft auf 680 °C.

Die heiße Luft überträgt ihre Energie im Dampferzeuger auf das Prozessmedium Wasser, welches bei 25 bar auf 480 °C erwärmt wird.



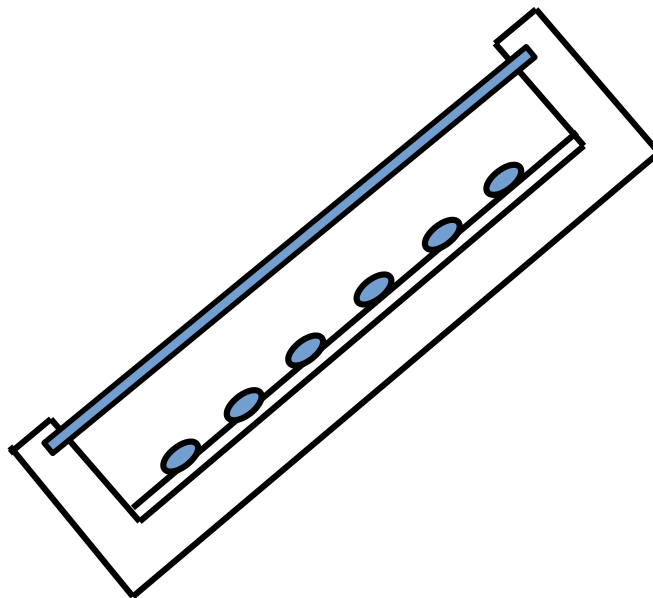
Die Sonne liefert eine Leistung von 7,7 MW an das Kraftwerk. Der Verlust an den Heliostaten beträgt 40 %, am Receiver gehen 0,93 MW Leistung und bei der Umwandlung in elektrische Leistung 26,5 % verloren. Der Kraftwerkseigenverbrauch der Anlage beträgt 2 %.

Die prozentualen Angaben beziehen sich auf die Eingangsleistung.

- 2.3.1 Zeichnen Sie ein maßstäbliches Energieflussdiagramm (Sankey-Diagramm) der Anlage und ermitteln Sie die abgegebene elektrische Leistung und den Gesamtwirkungsgrad der Anlage. 4
- 2.3.2 Zeichnen Sie den Wasser-Dampf-Kreisprozess des Kraftwerks in das T,s-Diagramm (Arbeitsblatt) ein. Die Speisepumpe ist dabei zu vernachlässigen. Der Kondensationsdruck beträgt 0,07 bar und der Wassergehalt im Dampf beim Turbinenaustritt 10%. 2
- 2.3.3 Nehmen Sie zu folgender Aussage Stellung: „Der Wassergehalt im Dampf am Turbinenausgang darf maximal 10% betragen“ 2
- 2.3.4 Berechnen Sie die im Dampferzeuger zugeführte spezifische Wärme und die an die Turbine übertragene Nutzarbeit. Im Kondensator wird 2173,5 kJ/kg an spezifischer Wärme abgeführt. 4

Arbeitsblatt

zur Aufgabe 2.1.2

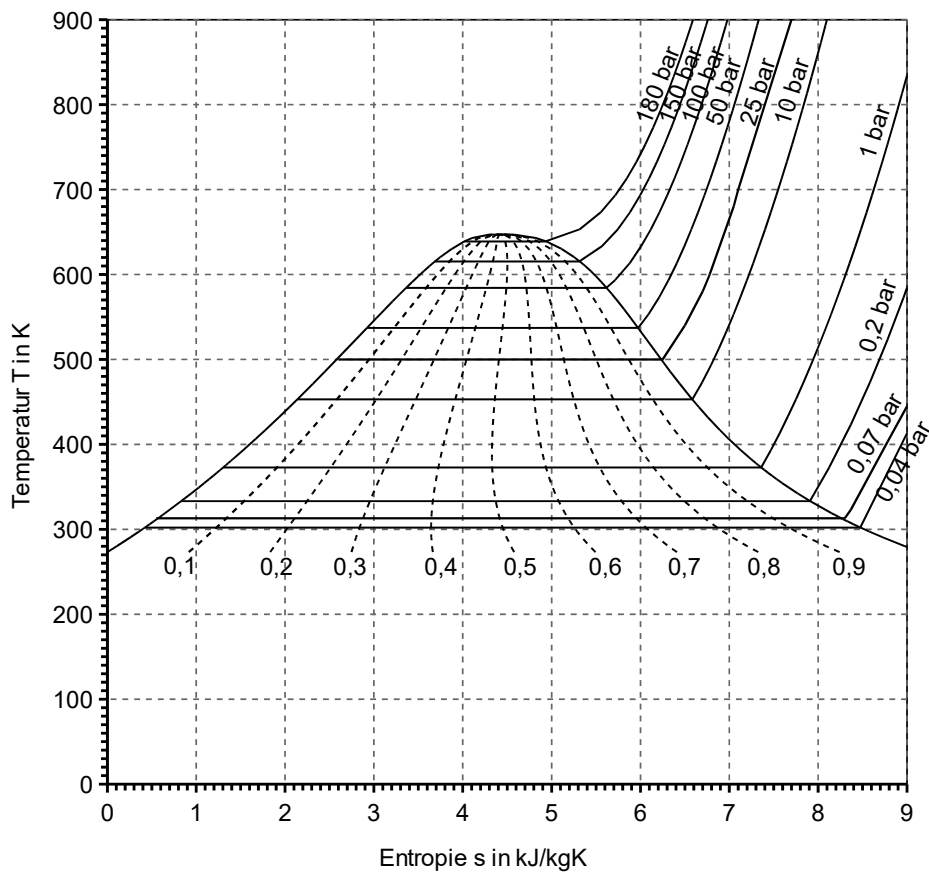


Punkte

(3)

zur Aufgabe 2.3

T,s-Diagramm von Wasser



3 Paralleles Hybridfahrzeug

3.1 Hybridantrieb

Ein Hybridfahrzeug enthält einen Verbrennungsmotor und eine elektrische Maschine.

Verbrennungsmotor	Prinzip	4-Zylinder-Dieselmotor
	Hubraum	$V_h = 1995 \text{ cm}^3$
	Nennleistung	$P_N > 100 \text{ kW}$
	Nenn Drehzahl	$n_N = 4000 \text{ min}^{-1}$
Elektrische Maschine	Mechanische Nennleistung	$P_N = 20 \text{ kW}$
	Max. Drehmoment	$M_{\max} = 250 \text{ Nm}$
	Mittlerer Wirkungsgrad	$\eta = 0,85$
Akku	Nennenergie	$W_A = 0,8 \text{ kWh}$

Folgende Betriebsarten sind möglich:

(1) Elektrischer Betrieb

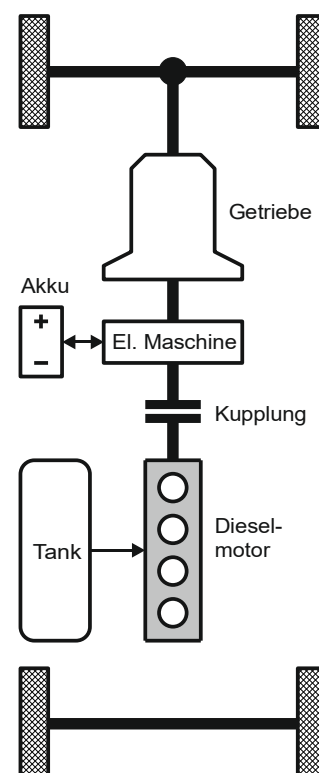
Der Fahrzeugantrieb erfolgt nur mit der elektrischen Maschine. Die Kupplung ist offen, so dass sich die Kurbelwelle des Dieselmotors nicht mitdreht.

(2) Lastpunktverschiebung

Der Fahrzeugantrieb erfolgt nur mit dem Dieselmotor. Die Kupplung ist geschlossen, so dass sich die elektrische Maschine mit der Drehzahl der Kurbelwelle mitdreht. Sie dient als Generator zum Laden des Lithium-Akkus, was zur Lastpunktverschiebung eingesetzt werden kann. Dies bedeutet: Der Betriebspunkt des Dieselmotors kann durch die zusätzliche Last des Generators vom ungünstigen Teillastbereich in den Bereich des optimalen Verbrauchs verschoben werden.

(3) „Boost“-Betrieb

Der Fahrzeugantrieb erfolgt mit beiden Maschinen parallel. Die Kupplung ist geschlossen, so dass sich die elektrische Maschine mit der Drehzahl der Kurbelwelle dreht. Sie dient als Motor, der ein zusätzliches Drehmoment ermöglicht.



Es werden drei Fahrsituationen auf ebener Strecke betrachtet:

- Gleichförmige Fahrt geradeaus mit 40 km/h. Die Antriebskraft beträgt 220 N.
- Gleichförmige Fahrt geradeaus mit 130 km/h. Die Antriebskraft beträgt 720 N.
- Überholvorgang auf der Autobahn.

3.1.1 Wozu wird in der Fahrsituation (a) die Antriebskraft benötigt?

3.1.2 Überprüfen Sie, ob in der Fahrsituation (a) die Betriebsart (1) möglich ist.

3.1.3 Bestimmen Sie die maximal mögliche Fahrzeit und Reichweite für Fahrsituation (a) in Betriebsart (1). Gehen Sie dabei von $P_{\text{mech}} = 2,44 \text{ kW}$ aus.

- 3.1.4 Wozu wird in der Fahrsituation (a) die Antriebskraft benötigt?
- 3.1.5 Der Hybridantrieb arbeitet in Betriebsart (2) bei $n = 1500 \text{ min}^{-1}$. Ermitteln Sie das notwendige Drehmoment der elektrischen Maschine in Fahrsituation (b) für eine optimale Lastpunktverschiebung. Verwenden Sie dabei als Grundlage das Kennlinienfeld des spezifischen Verbrauchs (siehe Arbeitsblatt).
- 3.1.6 Im Kennlinienfeld (siehe Arbeitsblatt) ist bereits die Volllastkennlinie des Dieselmotors enthalten. Zeichnen Sie zusätzlich die Volllastkennlinie der elektrischen Maschine ein. Verwenden Sie dabei die bekannten Werte von P_N und M_{\max} der elektrischen Maschine.
- 3.1.7 Ermitteln Sie das maximal zur Verfügung stehende Antriebsmoment des Hybridantriebs aus dem Kennlinienfeld. Kennzeichnen Sie die von Ihnen zur Ermittlung herangezogenen Angaben im Kennlinienfeld auf dem Arbeitsblatt.

3.2 Dieselmotor

Im Folgenden wird ein idealisierter Arbeitszyklus von einem der vier Zylinder betrachtet.

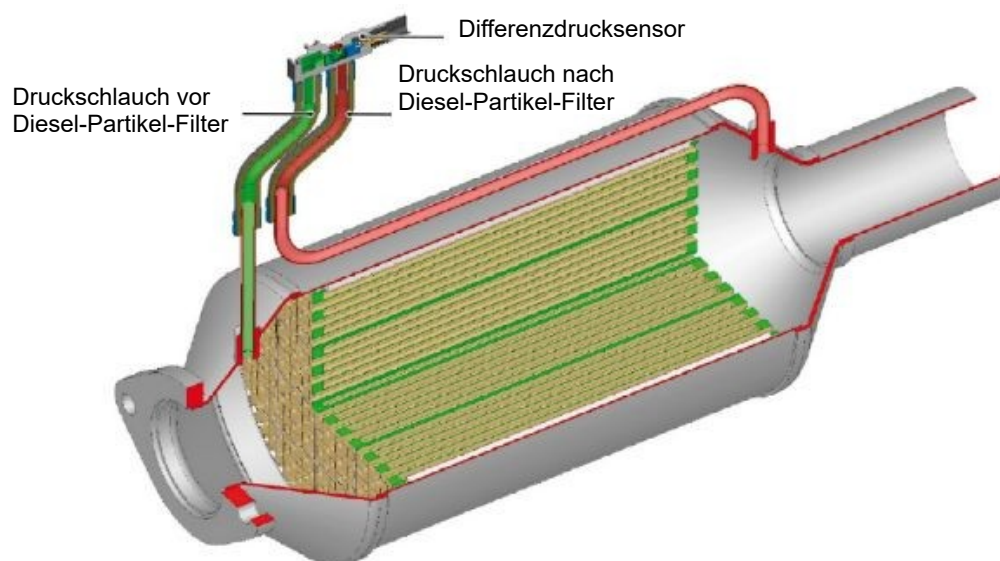
	p in bar	V in L	T in K
1		0,531	358
2	101	0,032	1099
3		0,074	2527
4		0,531	1149

- 3.2.1 Skizzieren Sie den Dieselmotorkreisprozess in einem pV-Diagramm und benennen Sie alle Zustandsänderungen beginnend mit Punkt 1 am Start der Kompression.
- 3.2.2 Die hohe Motorleistung kann durch Ansaugen bei atmosphärischem Druck nicht erreicht werden, denn es muss dafür eine Luftmasse von 1033 mg pro Zyklus in jeden der 4 Zylinder gedrückt werden. Berechnen Sie den Druck p_1 , der hierfür erforderlich ist (Ladedruck des Turboladers).
- 3.2.3 Pro Zyklus und Zylinder beträgt die Nutzarbeit 897 J, die zugeführte Wärme 1484 J und die Kompressionsarbeit 549 J. Veranschaulichen Sie die genannten Größen im pV-Diagramm und berechnen Sie den thermischen Wirkungsgrad des Dieselmotorkreisprozesses.
- 3.2.4 Berechnen Sie die Leistung des Dieselmotors bei der Nenndrehzahl $n_N = 4000 \text{ min}^{-1}$. Hinweis: Die Anzahl der Zyklen pro Minute ist nur halb so groß wie die Anzahl der Kurbelwellen-Umdrehungen pro Minute!
Verwenden Sie die in Aufgabe Fehler: Verweis nicht gefunden angegebenen Zahlenwerte.

3.3 Klimaanlage und Abgasreinigung im Diesel-Hybrid-PKW

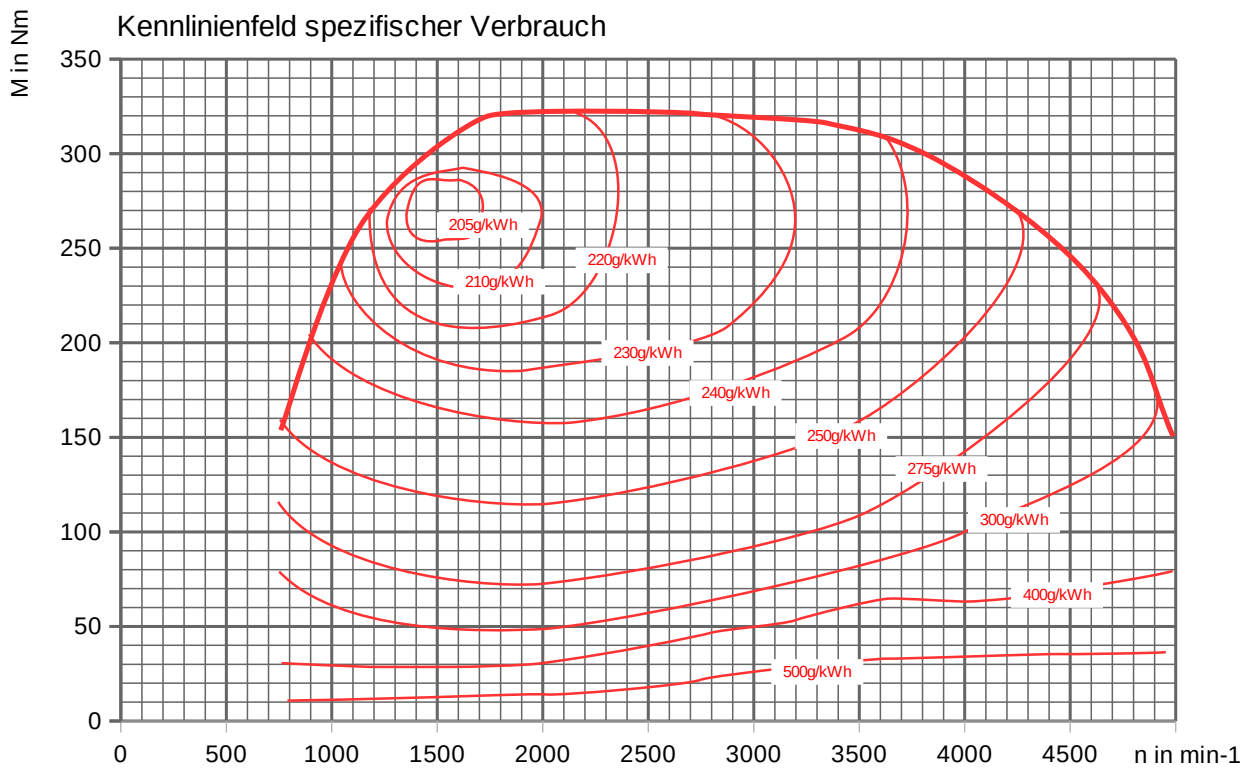
Leistungsfähigkeit und Aufmerksamkeit der Menschen sind stark von der Temperatur und der Beschaffenheit der Umgebungsluft abhängig. Es ist deshalb erforderlich, den Fahrgastraum eines Fahrzeuges mit gefilterter Frischluft zu versorgen, die bei hoher Außentemperatur gekühlt werden muss.

- 3.3.1 Erklären Sie die Funktionsweise der auf dem Arbeitsblatt abgebildeten Fahrzeug-Klimaanlage. Beginnen Sie Ihre Beschreibung mit dem Kompressor. Zeichnen Sie in die Abbildung (siehe Arbeitsblatt) die Fließrichtung des Kältemittels mit Pfeilen ein. 3
- 3.3.2 Während einer dreistündigen Autofahrt im Sommer läuft der Gebläselüfter des Verdampfers (Innenraumlüfter) der Klimaanlage mit einem Volumenstrom von 500 L/min. Die Umgebungsluft hat eine Temperatur von 30 °C und eine relative Luftfeuchte von 80 %. Die ins Fahrzeuginnere geblasene Luft hat eine Temperatur von 21 °C. Ermitteln Sie die während dieser Fahrt anfallende Kondensatmenge. Die Dichte der Luft kann mit 1,16 kg/m³ angenommen werden. 3
- 3.3.3 Die dem Innenraum zugeführte Luft wird immer am Verdampfer vorbei geleitet. Beurteilen Sie das gesundheitliche Risiko, welches durch das Anfallen des Kondensates am Verdampfer entsteht. 1
- 3.3.4 Abgasreinigung Dieselmotor Partikelfilter 3
- An einem Dieselpartikelfilter ist ein Differenzdrucksensor angebracht (siehe Abbildung unten). Erklären Sie die Wirkungsweise des Partikelfilters und die sich daraus ableitende Funktion des Differenzdrucksensors. Erklären Sie eine Regenerationsmöglichkeit des Dieselpartikelfilters.



Arbeitsblatt

zu Aufgabe 3.1.5, 3.1.6 und 3.1.7: Kennlinienfeld Dieselmotor

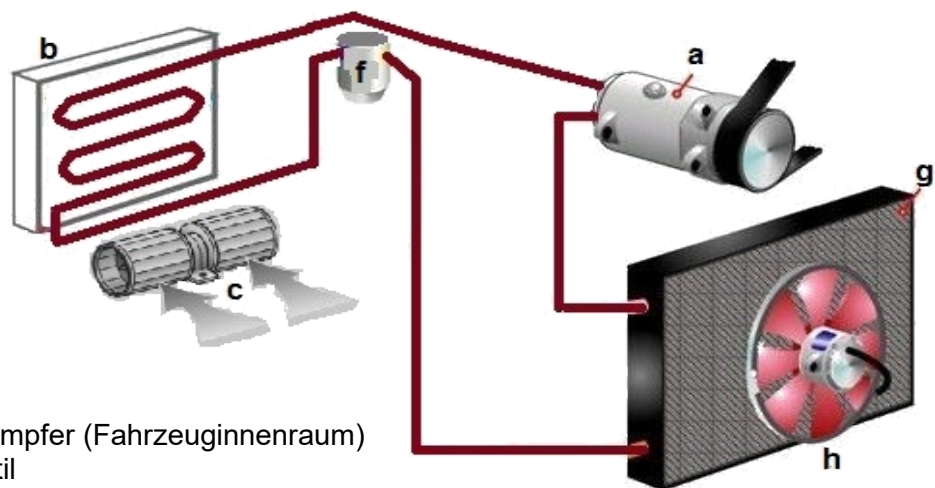


(3)

(2)

(1)

zu Aufgabe 3.3.1: Abbildung Kältekreisprozess



(2)

- a Kompressor
- b Verdampfer
- c Gebläse-Verdampfer (Fahrzeuginnenraum)
- f Expansionsventil
- g Kondensator
- h Kondensator-Lüfter

4 Bauphysik und Steuerungstechnik

4.1 Bauphysik - Altbausanierung

Ein älteres Einfamilienhaus in Massivbauweise soll saniert werden. Um die Tauwasserbildung in den Wintermonaten auf der Innenoberfläche der Außenwände zu vermeiden, werden Untersuchungen an den nicht sanierten Wänden durchgeführt.

Aus einer Studie zum Thema Tauwasserbildung auf Bauteiloberflächen entnehmen Sie die Empfehlung, dass bei einer Rauminnenlufttempeartur von 20°C eine Oberflächentemperatur von $12,5^{\circ}\text{C}$ auf der Wandinnenseite nicht unterschritten werden darf, da ansonsten die Gefahr von Schimmelbildung droht.

- 4.1.1 Erläutern Sie, unter welchen Voraussetzungen sich an Außenwänden Schimmel bilden kann. 1
- 4.1.2 Bestimmen Sie die relative Luftfeuchte der Innenraumluft, wenn bei einer Wandoberflächentemperatur von $12,5^{\circ}\text{C}$ auf der Wandoberfläche Tauwasser anfällt und die Innenraumlufttemperatur 20°C beträgt. Beschreiben Sie Ihren Lösungsweg. 2
- 4.1.3 Die Gebäudehülle ist vor allem in den Wintermonaten tauwassergefährdet. Nennen Sie zwei besonders tauwassergefährdete Bereiche in Außenwänden und erklären Sie die jeweilige Ursache für den Tauwasseranfall. 2

Bei der Untersuchung der Gebäudehülle wurden folgende Temperaturen gemessen:

Lufttemperatur innen: 20°C

Lufttemperatur außen: -10°C

Wandoberflächentemperatur innen: $12,5^{\circ}\text{C}$

- 4.1.4 Berechnen Sie den Wärmedurchgangswiderstand R_T mit den angegebenen Temperaturen des unsanierten Mauerwerks. 4
- 4.1.5 Bei der Sanierung wird das bestehende Mauerwerk außengedämmt. 3
- Dimensionieren Sie die Dicke des aufzubringenden Dämmstoffs der WLG 035, um den unten genannten U-Wert zu erreichen.
- Der U-Wert beträgt
- vor der Sanierung: $U = 1,92\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- nach der Sanierung: $U = 0,20\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.
- Der neue Außenputz kann vernachlässigt werden.
- 4.1.6 Die sanierten Außenwände haben eine Gesamtfläche von 200 m^2 . Bestimmen Sie die durch die Sanierung erzielte Energiekosteneinsparung in € an einem Wintertag mit einer Außenlufttemperatur von -10°C und einer Innenraumlufttemperatur von 20°C . Die Heizenergiekosten belaufen sich auf $10\text{ Cent}/\text{kWh}$. 3

Bei der Sanierung sollen große Fensterflächen in das Haus eingebaut werden. Dafür werden bestehende Fenster erweitert und zu großen Fensterflächen zusammengefasst.

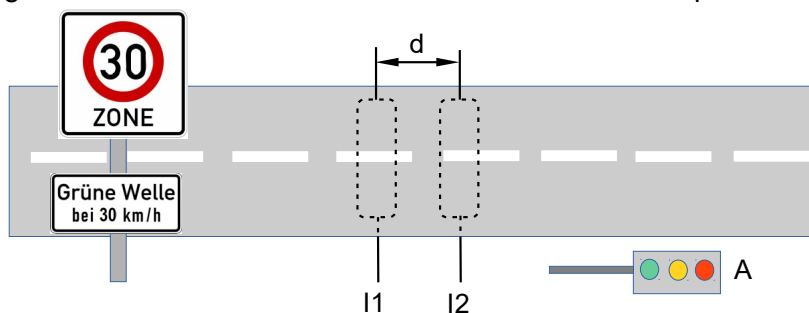
4.1.7 Erläutern Sie die sinnvolle Ausrichtung solch großer Fensterflächen.

4.1.8 Nennen Sie zwei bauphysikalische Nachteile einer solchen Sanierungsmaßnahme

4.1.9 Die Anordnung der Dämmung auf dem Mauerwerk der Außenwände wird diskutiert. Erläutern Sie den Vorteil einer Außendämmung gegenüber einer Innendämmung hinsichtlich Behaglichkeit an sonnig-heißen Sommertagen.

4.2 Geschwindigkeitsabhängige Ampelsteuerung

Aus Lärmschutzgründen ist eine Ortsdurchfahrt als Tempo-30-Zone eingerichtet. Am Ortseingang ist auf einem Schild zu lesen: Grüne Welle bei Tempo 30 km/h.



Vor der Ampel A sind im Fahrbahnbelag zwei Induktionsschleifen I1 und I2 im Abstand d eingelassen. Wenn ein Auto schneller als 30 km/h fährt, soll die Ampel für kurze Zeit auf rot schalten. Die Geschwindigkeitsüberwachung und die Ampelsteuerung werden mit einer Kleinststeuerung realisiert.

4.2.1 Berechnen Sie den Abstand d der Induktionsschleifen I1 und I2, wenn die Strecke d bei 30 km/h in 1s zurückgelegt werden soll.

Die Geschwindigkeitsmessung erfolgt mithilfe einer Einschaltverzögerung (EVZ, siehe Arbeitsblatt). Wechselt deren Eingang E_{EVZ} von 0 nach 1, so bleibt der Ausgang A_{EVZ} zunächst 0. Erst nach einer einstellbaren Verzögerungszeit T_v wechselt der Ausgang von 0 auf 1. Sobald der Eingang wieder 0 wird, wechselt auch der Ausgang auf 0.

4.2.2 Erklären Sie die Funktion der Teilschaltung 1 auf dem Arbeitsblatt.

Eine Schrittkette steuert die Ampel. Im Grundzustand zeigt die Ampel "grün". Die Anlage bleibt so lange grün, bis ein zu schnell fahrendes Fahrzeug erkannt wird ($zu_schnell = 1$). In diesem Fall schaltet die Anlage für 3 s auf gelb und anschließend für 4 s auf rot. Danach wird für 1 s rot und gelb angezeigt und dann wieder auf grün in den Grundzustand geschaltet.

4.2.3 Skizzieren Sie ein Zustandsdiagramm oder eine GRAFCET-Darstellung zur Darstellung des Ablaufs.

4.2.4 Ergänzen Sie die fehlenden Verbindungen und Bauteile der Schrittkette auf dem Arbeitsblatt. Es stehen weitere Ein- und Ausschaltverzögerungen mit frei wählbarer Verzögerungszeit zur Verfügung.

1

1

2

2

1

2

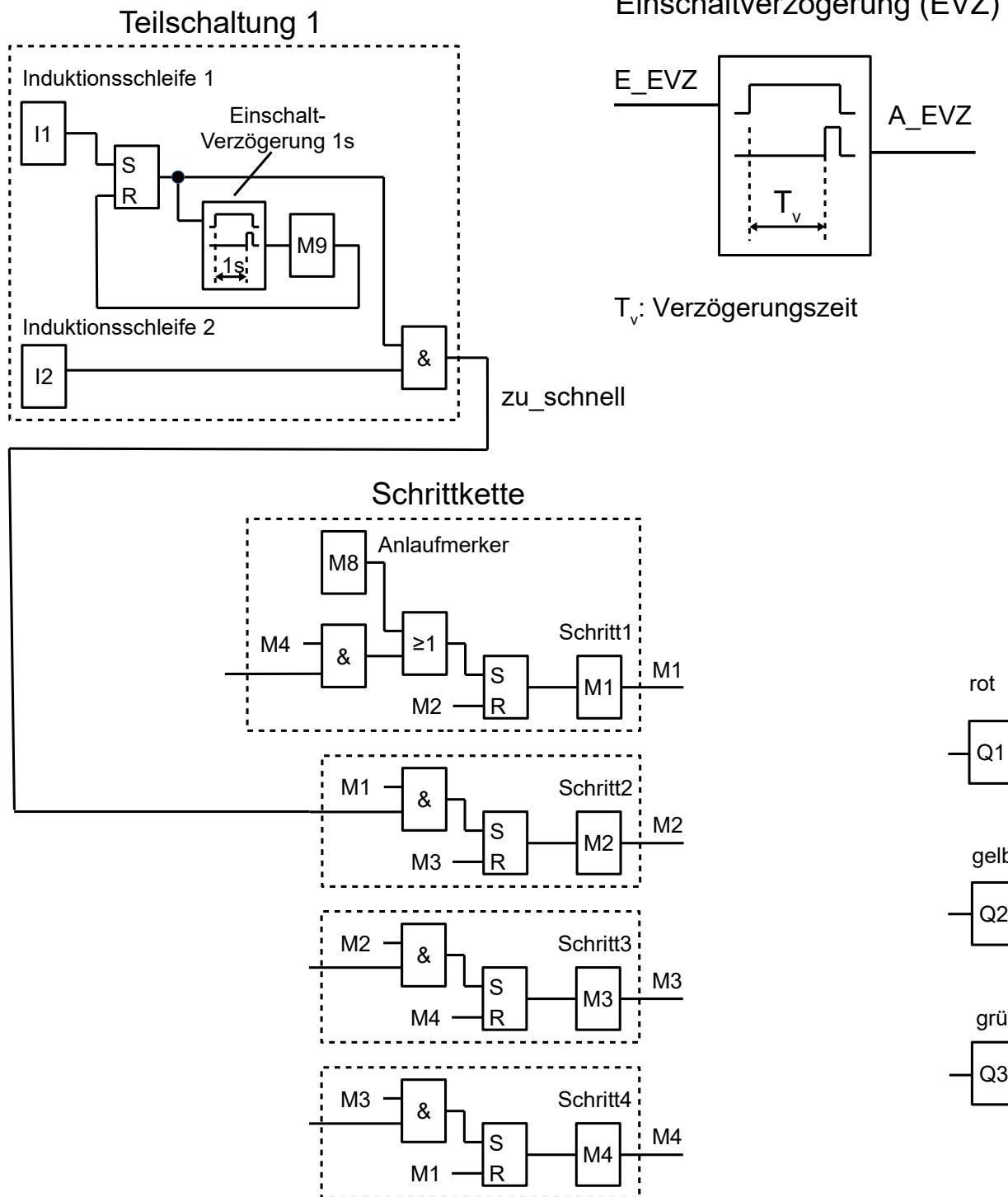
4

3

30

Arbeitsblatt

Zu den Aufgaben 4.2.2 und 4.2.4



TG Umwelttechnik**2015/2016****Übung**

Arbeitszeit: 270 Minuten
Hilfsmittel: Formelsammlung Umwelttechnik
Zugelassener Taschenrechner

Stoffgebiet

Teil 1: Pflichtbereich	
Aufgabe 1: Wasserkraft Elektromobilität	(2 Seiten)
Aufgabe 2: Feuchte- und Wärmeschutz Kontrollierte Wohnraumlüftung BHKW und Brennwerttechnik	(4 Seiten)
Teil 2: Wahlbereich	
Aufgabe 3: Photovoltaik und Windkraft Brennstoffzelle Abwasser	(2 Seiten)
Aufgabe 4: Kohlekraftwerk Rauchgasreinigung Steuerungstechnik	(5 Seiten)

Bemerkungen

Die Aufgaben 1 und 2 (Pflichtbereich) sind von allen Prüflingen zu bearbeiten.
Aus den Aufgaben 3 und 4 (Wahlbereich) wählt die Schülerin/der Schüler eine Aufgabe aus.

Der Aufgabensatz umfasst 14 Seiten (inklusive diesem Deckblatt).

1 Wasserkraft und Elektromobilität

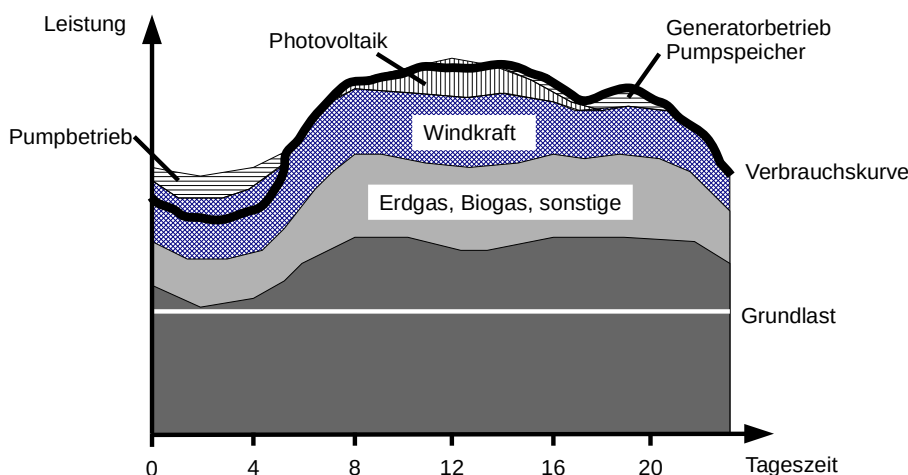
Punkte

1.1 Pumpspeicherkraftwerk

Der Stausee eines Pumpspeicherkraftwerks im Schwarzwald liegt 357 m über dem Turbinenhaus. Im Maschinenraum werden 2 Pelton-turbinen mit Generatoren zur Energieumwandlung eingesetzt. Jede Pelton-turbine hat 6 Düsen mit einem Durchmesser von jeweils $d_D = 12 \text{ cm}$. Jede Turbine ist an ein Druckrohr (Durchmesser $d_R = 2,2 \text{ m}$) angeschlossen, in dem jeweils ein Volumenstrom von $\dot{V} = 8 \text{ m}^3/\text{s}$ fließt. Insgesamt ergibt sich bei Vollast eine elektrische Leistung von $P_{\text{elekt}} = 45 \text{ MW}$.

- 1.1.1 Berechnen Sie die Fließgeschwindigkeit des Wassers in km/h in einer Düse der Pelton-turbine und die Fließgeschwindigkeit in einem Druckrohr in km/h. 3
- 1.1.2 Ermitteln Sie die hydraulische Leistung P_{hydro} des strömenden Wassers durch die beiden Druckrohre. Berechnen Sie den Gesamtwirkungsgrad des Kraftwerks. 2
- 1.1.3 Berechnen Sie, wie viel Liter Wasser sich in einem gefüllten Druckrohr befinden, welches eine Länge von $l_R = 526 \text{ m}$ hat. 1
- 1.1.4 Berechnen Sie die Energie in kWh, die im Stausee gespeichert ist, wenn der See mit 14,4 Millionen Kubikmeter Wasser gefüllt ist. Wie lange könnte das Kraftwerk mit dieser Wassermenge elektrische Energie bei Vollast liefern? 2
- 1.1.5 Untersuchen Sie, welche Turbinenart alternativ zur Pelton-turbine eingesetzt werden könnte. Argumentieren Sie mit Hilfe der Grafik „Turbinen Einsatzgebiete“ in der Formelsammlung. 2

Folgende Grafik zeigt eine typische Tageslastkurve im Herbst. Die Verbrauchskurve stellt den Bedarf an elektrischer Energie in Abhängigkeit der Tageszeit dar. Dieser Bedarf muss zu jeder Zeit durch die verschiedenen Kraftwerkstypen gedeckt werden.



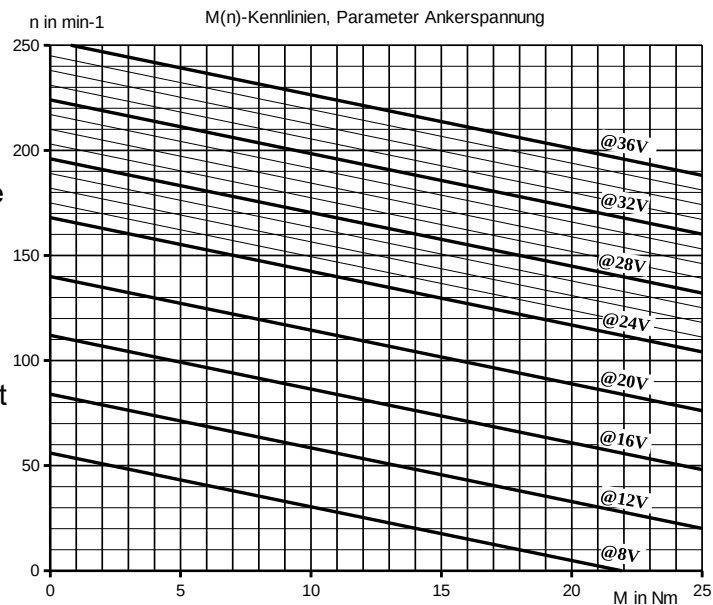
- 1.1.6 Beurteilen Sie die Notwendigkeit von Pumpspeicherkraftwerken für eine funktionierende Energieversorgung im Verbundnetz anhand der Grafik. Erklären Sie, wie sich der Einsatz von Pumpspeicherkraftwerken geändert hat, seit das Erneuerbare-Energien-Gesetz die vorrangige Nutzung der regenerativen Energien vorschreibt. 4
- 1.1.7 Nennen Sie 2 Kraftwerkstypen, die für die Grundlastdeckung eingesetzt werden. 1

1.2 Elektromobilität

Für die Konstruktion eines rein elektrisch angetriebenen E-Bikes wird die Dimensionierung des Motors überprüft.

Der Motor kann über sein Gehäuse maximal $P_{vmax} = 75 \text{ W}$ an Wärme abgeben und hat dabei einen Wirkungsgrad von 83 %.

Er ist fest am Hinterrad montiert, das einen Umfang von 1,98 m hat. Die nebenstehende Abbildung stellt die Kennlinien des Motors mit dem Parameter Ankerspannung dar.



In den Aufgaben 1.2.1 bis 1.2.5 wird das E-Bike zunächst mit einer Geschwindigkeit von 25 km/h betrieben und erzeugt dabei eine Verlustleistung von $P_{vmax} = 75 \text{ W}$.

- 1.2.1 Zeigen sie, dass sich bei dieser Geschwindigkeit das Hinterrad mit einer Drehzahl von etwa 210 Umdrehungen pro Minute dreht. 1,5
- 1.2.2 Erstellen Sie ein Energieflussdiagramm des Motors, das den Zusammenhang von elektrischer, mechanischer und Verlustleistung darstellt. Ermitteln Sie diese Größen rechnerisch, wenn der Motor in der gegebenen Fahrsituation betrieben wird. 2,5
- 1.2.3 Bestimmen sie das Drehmoment in diesem Betriebspunkt. 1
- 1.2.4 Der Akku des E-Bikes hat einen Energieinhalt von 500 Wh. Berechnen Sie welche Reichweite sich dadurch ergibt. (Hinweis: $P_{elekt} = 441 \text{ W}$) 1,5
- 1.2.5 Stellen Sie das Motorersatzschaltbild dar und ermitteln Sie mithilfe der obigen Kennlinien die Ankerspannung und den Ankerwiderstand des Motors. (Hinweis: $P_{elekt} = 441 \text{ W}$, $M = 16,7 \text{ Nm}$) 3,5

Durch Verschmutzung des Gehäuses kann jetzt der Motor nur noch 50 W Verlustleistung abgeben. Dadurch reduziert sich die Geschwindigkeit des E-Bikes auf 16 km/h.

- 1.2.6 Zeigen Sie, dass sich das Drehmoment des Motors auf 13,6 Nm ändert. Legen Sie dabei einen Ankerwiderstand von $0,5 \Omega$ zugrunde. 2
- 1.2.7 Weisen Sie mit Hilfe des obigen Diagramms nach, dass der Motor nun mit einer Klemmenspannung von 24 V betrieben wird. Ermitteln Sie, welche Reichweite sich dadurch ergibt. 3

30

2 Bauphysikalische Aspekte und Gebäudetechnik eines Mehrfamilienhauses

Punkte

2.1 Feuchte- und Wärmeschutz

Ein Wandquerschnitt für einen Neubau (Mehrfamilienhaus) weist folgenden Wandaufbau auf:

- Innenputz: Gipsputz d = 15 mm
- Mauerwerk: Beton, armiert d = 240 mm
- Dämmung: EPS WLG 030 d = 160 mm
- Außenputz: Kalk-Zement Putz d = 15 mm

2.1.1 Nach der EnEV 2014 wird für Außenwände ein U-Wert von $U = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ gefordert.

3

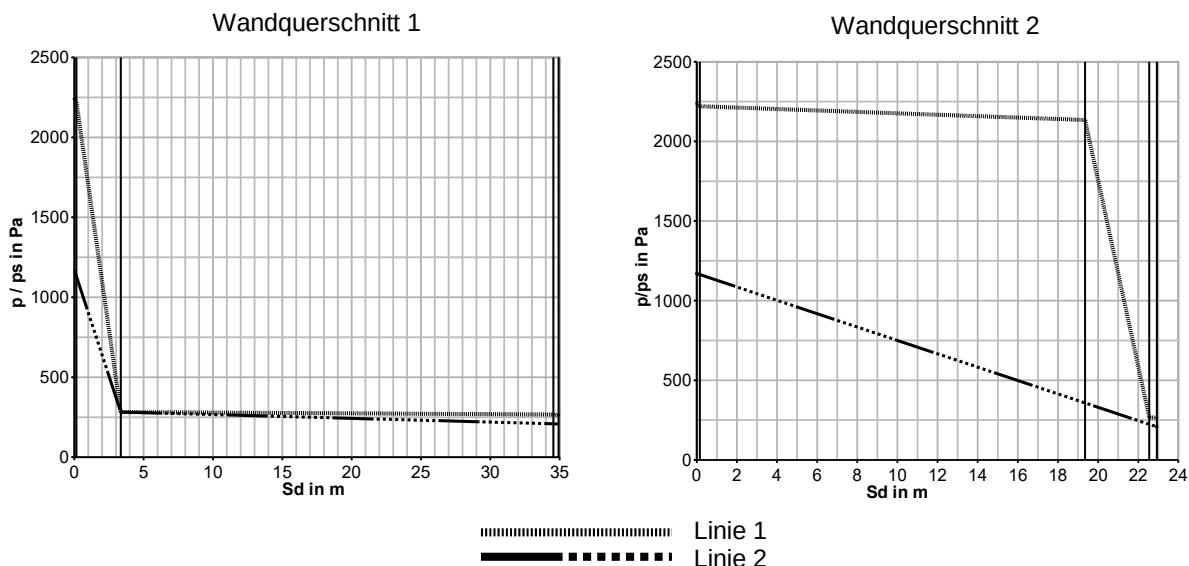
Ermitteln Sie, ob die Wand diese Anforderungen erfüllt.
Erläutern Sie ausführlich die Bedeutung des U-Werts.

2.1.2 Es herrscht eine Außenlufttemperatur von -10°C und eine Innenlufttemperatur von 20°C . Ermitteln Sie die Temperatur in der Grenzfläche zwischen Dämmstoff und Außenputz.

1

Bei der Untersuchung des Wandquerschnitts werden zwei verschiedene Varianten betrachtet.

Die Wasserdampfdiffusion während der Tauperiode bei Standardbedingungen ist für beide Wandquerschnitte unten dargestellt.



2.1.3 Erläutern Sie die Bedeutung der Linien 1 und 2, die in den Diagrammen dargestellt sind.

3

In welchem der beiden Wandquerschnitte fällt Tauwasser an? Erklären Sie.

2.1.4 Wählen Sie das Diagramm aus, das den außen gedämmten Wandquerschnitt der Aufgabenstellung (Neubau) darstellt und begründen Sie Ihre Entscheidung.

3

2.2 Kontrollierte Wohnraumlüftung

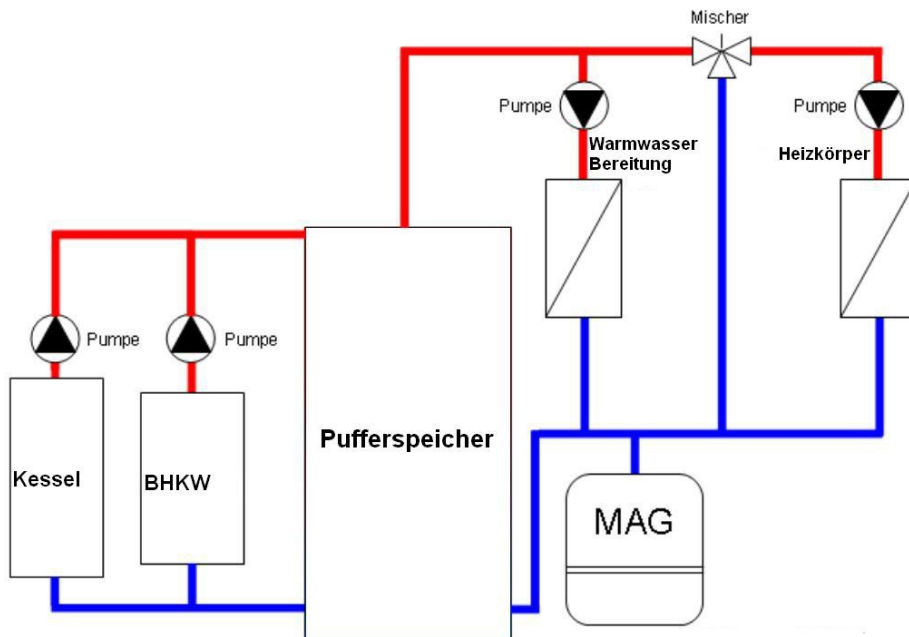
In dem Neubau (Mehrfamilienhaus) wird ein großer Aufenthaltsraum eingebaut. Die Eigentümergemeinschaft des Mehrfamilienhauses plant hier Vorträge, Familienfeiern, Kinobabende und ähnliches durchzuführen.

Es wird eine kontrollierte Wohnraumlüftung vorgesehen.

- | | | |
|-------|--|---|
| 2.2.1 | Nennen Sie zwei Gründe, die für den Einbau einer kontrollierten Wohnraumlüftungsanlage sprechen. | 1 |
| 2.2.2 | Die Abmessungen des Aufenthaltsraumes betragen 5m x 10m x 3m.
Bestimmen Sie den Außenluftvolumenstrom, der bei $\beta = 1,0$ 1/h von der Anlage geleistet werden muss und erklären Sie den Begriff „Luftwechselrate β “. | 2 |
| 2.2.3 | Bei einer Veranstaltung im Sommer beträgt die Lufttemperatur im Aufenthaltsraum 28°C bei einer relativen Luftfeuchte $\varphi = 60\%$. Die kontrollierte Wohnraumlüftung fällt aus, nachdem sie 30 % der Raumluft durch Außenluft (22°C und $\varphi = 40\%$) ersetzt hat.
Bestimmen Sie die Temperatur und relative Luftfeuchte der nun im Veranstaltungsraum vorhandenen Luft und dokumentieren Sie Ihren Lösungsweg auf dem Arbeitsblatt. | 2 |
| 2.2.4 | Im Winterbetrieb wird die Wärme der Abluft an die kalte Außenluft über einen Wärmetauscher übertragen, bevor sie als Zuluft in den Raum eintritt.
Berechnen Sie bei der Außenlufttemperatur von 0°C und der Ablufttemperatur von 18°C die Temperatur der Zuluft.
Die Rückwärmezahl bezogen auf die Außenlufttemperatur ist $\Phi = 0,6$. | 3 |

2.3 Blockheizkraftwerk mit Brennwertnutzung

Das Gebäude wird mit einem Erdgas-BHKW mit Brennwertnutzung beheizt. Das Anlagenfließbild zeigt neben dem BHKW einen zusätzlichen Heizkessel.



- 2.3.1 Beschreiben Sie die dargestellte Anlagenhydraulik. Erläutern Sie dazu die jeweilige Aufgabe der einzelnen dargestellten Bauteile. 3
- 2.3.2 Skizzieren Sie eine beispielhafte Jahresdauerlinie des Wärmebedarf eines Mehrfamilienhauses. Tragen Sie die vom BHKW und die vom Kessel erzeugte Energiemenge ein. Begründen Sie Ihre Eintragungen. 2
- 2.3.3 Erläutern Sie, warum eine Brennwertnutzung beim BHKW nur möglich ist, wenn in die Anlage ein Pufferspeicher eingebunden ist. 2

Das identische BHKW kann auch ohne Brennwertnutzung betrieben werden. Folgende Leistungangaben (alle bezogen auf den Heizwert) sind bekannt:

	ohne Brennwertnutzung	mit Brennwertnutzung
elektrische Leistung in W	5,5	
thermische Leistung in W	12,5	14,8
Leistungsaufnahme in W	20,5	

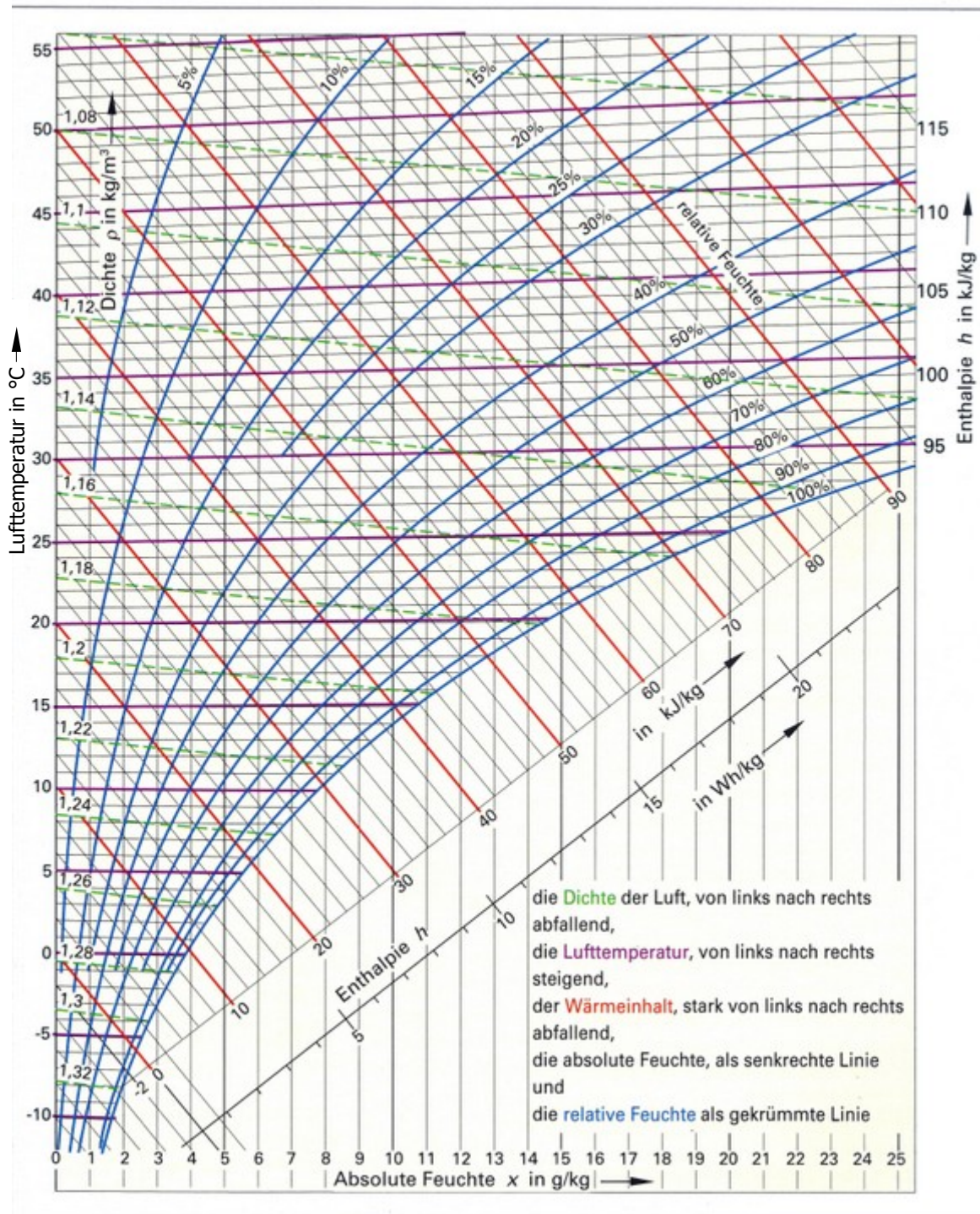
- 2.3.4 Ermitteln Sie den Gesamtwirkungsgrad für das BHKW mit Brennwertnutzung. Vergleichen Sie das Ergebnis mit Erfahrungswerten von Gasbrennwertheizgeräten. 2
- 2.3.5 Die jährliche Laufzeit des BHKWs beträgt 4000 Volllaststunden. Ermitteln Sie die dabei anfallende Menge an Kondensat. 3

Arbeitsblatt

zur Aufgabe 2.2.3

Punkte

(2)



3 Photovoltaik, Brennstoffzelle, Abwasser, Windkraft

Punkte

3.1 Photovoltaik

Eine Siedlung mit 6 Ferienhäusern an einem Berliner See soll mit einer Photovoltaikanlage ausgestattet werden. Jeweils 2 Häuser besitzen gleiche Ausrichtung und Dachneigung.

Daten der verwendeten Photovoltaik-Module:

	Gebäude 1 & 2	Gebäude 3 & 4	Gebäude 5 & 6
Ausrichtung	0° (Süd)	45°	-70°
Neigungswinkel	65°	37°	30°

	STC	NOCT	Modulmaße: 1500 mm x 1000 mm
P_{MPP}	236 W	180 W	
U_{MPP}	29,6 V	27,6 V	NOCT: 800 W/m ² und 20 °C
U_{OC}	36,7 V	34,3 V	
I_{SC}	8,67 A	6,97 A	

- 3.1.1 Die Photovoltaikanlage wird auf zwei Gebäuden installiert. Ermitteln Sie mithilfe des Diagramms in der Formelsammlung „Mittlere jährliche globale Einstrahlungssumme“, auf welchen Gebäuden die Photovoltaikanlage installiert werden sollte, um den maximalen Jahresertrag zu erhalten.

1

Der durchschnittliche Tagesbedarf der gesamten Siedlung beträgt im Oktober 28 kWh elektrische Arbeit.

Hinweis: Die in der Formelsammlung angegebenen Korrekturfaktoren für Karlsruhe gelten näherungsweise auch für Berlin.

- 3.1.2 Weisen Sie nach, dass insgesamt 54 Module auf den Gebäuden 3 & 4 installiert werden müssen, um den Tagesbedarf zu decken.

2

- 3.1.3 Ermitteln Sie den zu erwartenden Jahresertrag in kWh.

2

- 3.1.4 Berechnen Sie den Wirkungsgrad eines Photovoltaik-Moduls unter NOCT-Bedingungen.

2

Die Anlage wird auf zwei Gebäude gleichmäßig verteilt, jedes Gebäude erhält einen Wechselrichter. Es stehen verschiedene Wechselrichter für maximale Eingangsspannungen von 410 V zur Verfügung.

- 3.1.5 Geben Sie an, wie viele Module zu einem String verschaltet werden müssen. Berücksichtigen Sie die Faustformeln in der Formelsammlung.

2

- 3.1.6 Untersuchen Sie, ob es möglich ist, ein 1 m breites und 2 m hohes Dachfenster auf der 9,20 m breiten und 5,10 m hohen Dachfläche zwischen den Photovoltaik-Modulen unterzubringen. (Modulmaße siehe Tabelle oben)

2

3.2 PEM-Brennstoffzelle

- 3.2.1 Beschreiben Sie die Wirkungsweise einer PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell). Geben Sie dabei auch die drei ablaufenden Reaktionsgleichungen an. (Anode, Kathode und Gesamtreaktion)

4

- 3.2.2 Im Zusammenhang mit Brennstoffzellen wird häufig der Begriff „Stack“ verwendet. Erklären Sie, welcher technische Sachverhalt hinter diesen Begriff steht und begründen Sie, weshalb in der Brennstoffzellenpraxis diese „Stacks“ meist unverzichtbar sind.

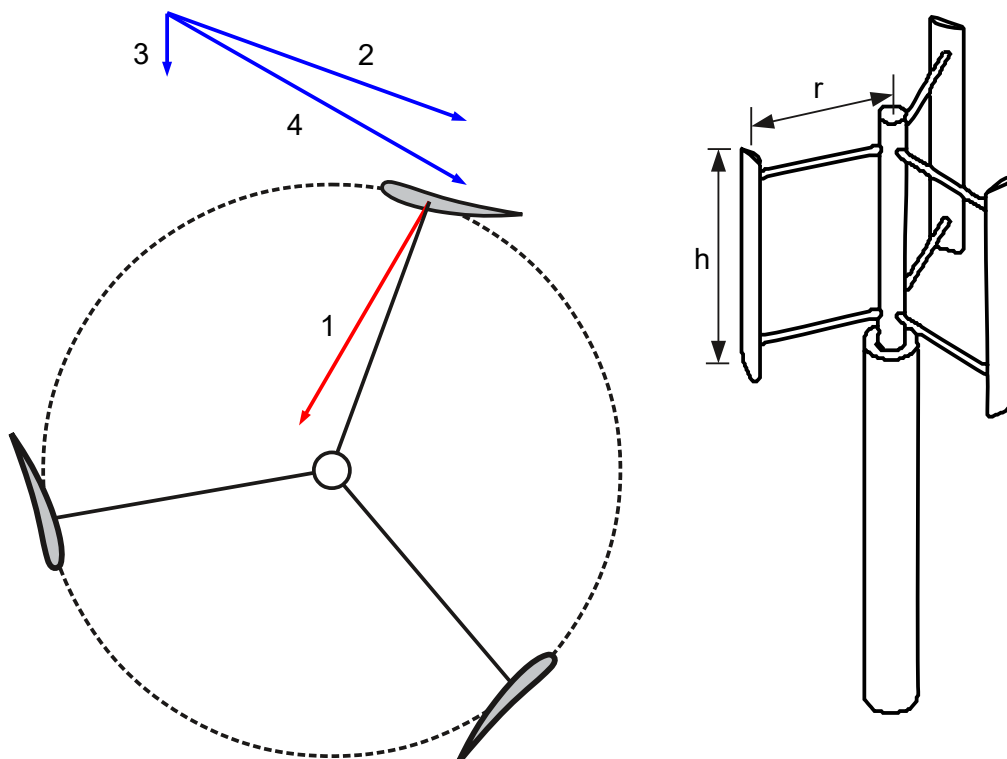
2

3.3 Abwasserreinigung

Nennen Sie die drei physikalischen Abscheideverfahren, mit denen in Kläranlagen die ungelösten Stoffe aus dem Abwasser entfernt werden können. Weisen Sie jedem Abscheideverfahren jeweils zwei beispielhafte Stoffe zu.

3

3.4 Windturbine mit Vertikal-Rotor



In der linken Abbildung sind die Windgeschwindigkeit v , die Windgeschwindigkeit aufgrund der Drehbewegung u und die effektive Windgeschwindigkeit w dargestellt. Außerdem ist die resultierende Kraft F_{res} an den Blättern einer Windturbine mit Vertikal-Rotor eingezeichnet. Die rechte Abbildung zeigt die Windturbine in der Seitenansicht ($r = 2,5 \text{ m}$, $h = 3 \text{ m}$). Die Schnelllaufzahl beträgt ca. 5.

- 3.4.1 Bestimmen Sie mit Hilfe des entsprechenden Diagramms aus der Formelsammlung den Leistungsbeiwert des Vertikal-Rotors. 1
- 3.4.2 Ermitteln Sie die Leistung P_{Wind} des Windes, der die Anlage bei einer Windgeschwindigkeit von 10 m/s durchströmt. 2
- 3.4.3 Berechnen Sie die erforderliche elektrische Leistung des Generators bei einer Windgeschwindigkeit von 10 m/s , wenn er einen Wirkungsgrad von 95% besitzt. 2
- 3.4.4 Ordnen Sie die Begriffe Windgeschwindigkeit, Windgeschwindigkeit durch Drehbewegung, effektive Windgeschwindigkeit und resultierende Kraft den Vektorpfeilen 1 – 4 in der linken Abbildung zu. Geben Sie die Drehrichtung an. 2
- 3.4.5 Nehmen Sie Stellung zu den von Ihnen vermuteten Vor- bzw. Nachteilen von Windturbinen mit Vertikal-Rotor. 3

30

4 Kohlekraftwerk, Rauchgasreinigung und Steuerungstechnik

Punkte

4.1 Kohlekraftwerk

In Abb. 1 ist der überkritische Dampfprozess eines hochmodernen Steinkohlekraftwerks dargestellt.

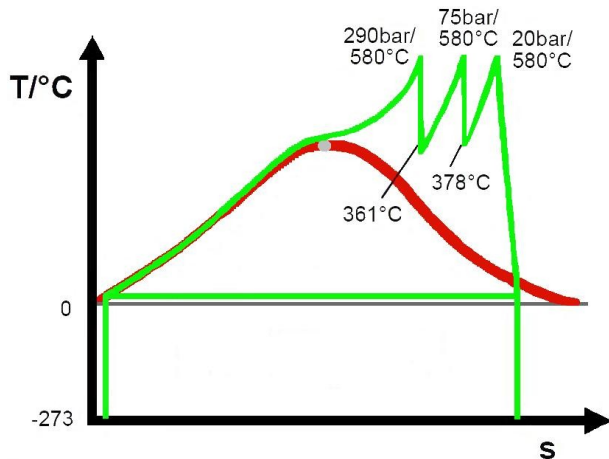


Abb. 1: T,s-Diagramm

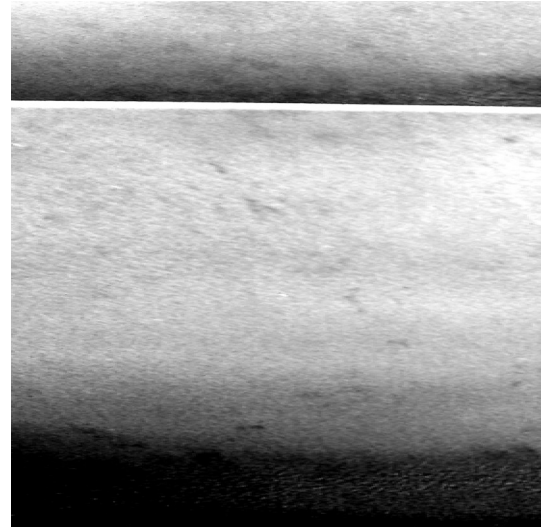


Abb. 2: ausgetauschte Turbinenschaufeln

- 4.1.1 Ergänzen Sie die fehlenden Baugruppen in dem Anlagenschaubild (Arbeitsblatt 1). Kennzeichnen Sie die Stellen, an denen dem trockenen Heißdampf Energie zugeführt wird. 3
- 4.1.2 Ordnen Sie den Turbinenstufen auf dem Arbeitsblatt 1 sinnvolle Bezeichnungen zu. 2
- 4.1.3 Der Wirkungsgrad des Steinkohlekraftwerks bei der Stromerzeugung beträgt $\eta = 46\%$. Der thermodynamische Kreisprozess des Kraftwerks ist technisch ausgereizt. 2
- Machen Sie einen sinnvollen, technisch umsetzbaren Vorschlag zur Steigerung des Kraftwerkwirkungsgrads und begründen Sie diesen.
- 4.1.4 Abb. 2 zeigt Turbinenschaufeln, welche bei der letzten Revision des Kraftwerks aus der Turbine vor dem Kondensator entfernt wurden. 2
- Beurteilen Sie den Zustand der abgebildeten Turbinenschaufeln.
- 4.1.5 Die vom Dampf im Kondensator abgeführte spezifische Wärmeenergie beträgt $q_{\text{ab}} = -2280 \text{ kJ/kg}$. Am Kondensatoreingang beträgt die Entropie $s_7 = 8 \text{ kJ/kgK}$ und am Ausgang $s_1 = 0,4 \text{ kJ/kgK}$. 3
- Berechnen Sie den im Kondensator herrschenden Druck.

4.2 Rauchgasreinigung

Die Rauchgase des Kohlekraftwerks werden in einem mehrstufigen Verfahren gereinigt.

4.2.1 Im Arbeitsblatt 1 ist das Fließbild der Rauchgasreinigung eines modernen Kohlekraftwerks dargestellt. Beschriften Sie die drei markierten Reinigungsstufen und beschreiben Sie das jeweilige Prinzip, nach dem in den einzelnen Stufen die Reinigung erfolgt. Nennen Sie für jede Stufe die gebildeten Produkte. 3

4.2.2 Geben Sie eine sinnvolle Alternative an, wie die Reinigungsstufen stattdessen angeordnet werden können. Erläutern Sie je einen Vor- und Nachteil gegenüber der im Arbeitsblatt dargestellten Anordnung. 2

4.2.3 Die Entstickung erfolgt mit Hilfe von Ammoniak (NH₃) als Reduktionsmittel. Erstellen Sie die Reaktionsgleichung für die Entfernung von NO. Als zusätzlicher Reaktionspartner wird Sauerstoff benötigt. 3

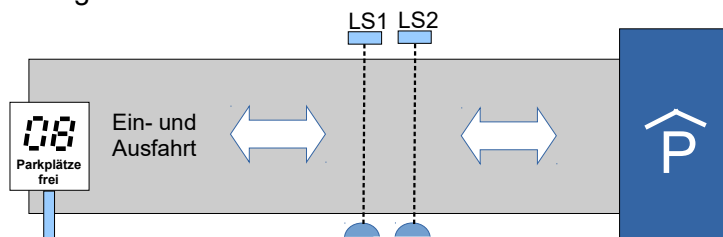
Ermitteln Sie den stündlichen Ammoniakbedarf, wenn die NO-Rohgaskonzentration 1000 mg/m³ beträgt. Der Rauchgasvolumenstrom ist 1 500 000 m³/h.

Angaben: $M(\text{NO}) = 30 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$, $M(\text{NH}_3) = 14 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$.

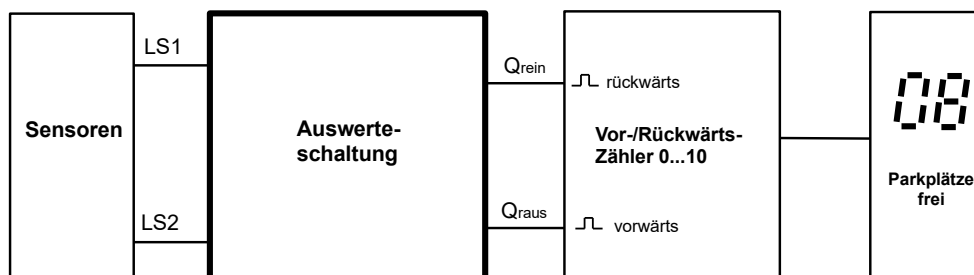
Damit kein Ammoniak im gereinigten Abgas verbleibt, wird nur 90 % der theoretisch (stöchiometrisch) erforderlichen Ammoniak-Menge in den Abgasstrom eingebracht.

4.3 Steuerung für eine Tiefgarage

In der Tiefgarage eines Wohnhauses befinden sich 10 Stellplätze. Zur Zählung der ein- und ausfahrenden Fahrzeuge sind an der Zufahrt zwei Lichtschranken LS1 und LS2 in geringem Abstand montiert. Vor der Zufahrt befindet sich eine Anzeige, die die Anzahl der freien Parkplätze anzeigt.

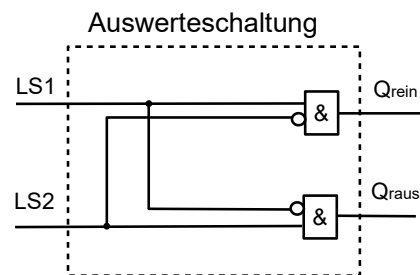


Die Abbildung unten zeigt das Blockschaftbild der Steuerung. Gehen Sie davon aus, dass sich im Bereich der Lichtschranken immer nur ein Fahrzeug befindet und ein Fahrzeug den Lichtschrankenbereich immer vollständig verlässt.



Einfache Auswerteschaltung

Mithilfe einer einfachen digitalen Schaltung sollen die Lichtschrankensignale LS1 und LS2 ausgewertet und die Fahrtrichtung erkannt werden.



4.3.1 Ergänzen Sie auf dem Arbeitsblatt 2 die zeitlichen Verläufe der Signale Q_{rein} und Q_{raus} .

3

4.3.2 Erläutern Sie, weshalb mit dieser Auswerteschaltung keine eindeutige Fahrtrichtungserkennung möglich ist.

1

Eindeutige Erkennung der Fahrtrichtung

Durch den Einsatz von zwei RS-Flipflops FF_{raus} und FF_{rein} kann eine eindeutige Richtungserkennung realisiert werden. Bei der Einfahrt eines Fahrzeugs setzt die Lichtschranke LS1 das Flipflop FF_{rein} ($Q_{\text{rein}}=1$). FF_{raus} kann nun nicht mehr gesetzt werden. Bei der Ausfahrt wird FF_{raus} in gleicherweise durch LS2 gesetzt ($Q_{\text{raus}}=1$). Hier kann dann FF_{rein} nicht mehr gesetzt werden.

4.3.3 Skizzieren Sie den Funktionsplan der digitalen Schaltung zur Realisierung der beschriebenen Funktionsweise. Die Beschaltung der Rücksetzeingänge der Flipflops ist nicht Bestandteil dieser Teilaufgabe. Die Flipflops werden nach jeder vollständigen Durchfahrt eines Fahrzeugs zurückgesetzt.

2

Erzeugung von Zählimpulsen für einen Vor-/Rückwärtszähler

Entsprechend Teilaufgabe 4.3.3 signalisieren Q_{raus} und Q_{rein} nach der Einfahrt in den Lichtschrankensbereich die eindeutige Fahrtrichtung eines Fahrzeugs ($Q_{\text{rein}}=1$ bzw. $Q_{\text{raus}}=1$).

Nach der vollständigen Durchfahrt des Fahrzeugs durch die Lichtschranken wird FF_{rein} bzw. FF_{raus} zurückgesetzt ($Q_{\text{rein}}=0$ bzw. $Q_{\text{raus}}=0$). Damit entsteht bei jeder Durchfahrt eines Fahrzeugs an den Ausgängen Q_{rein} bzw. und Q_{raus} ein Zählimpuls.

Mit diesem Zählimpuls lässt man einen Zähler abwärts (nach einer Einfahrt) bzw. aufwärts (nach einer Ausfahrt) zählen. Der Zähler verfügt hierzu über zwei Zähl Eingänge $E_{\text{rück}}$ und E_{vor} . Der Zählbereich liegt im Bereich 0...10.

4.3.4 Beschalten Sie auf dem Arbeitsblatt 2 die Rücksetzeingänge von FF_{raus} und FF_{rein} so, dass die beschriebene Erzeugung der Zählimpulse realisiert wird.

2

Hinweis: Es dürfen lediglich logische Grundverknüpfungen UND, ODER und NICHT ergänzt werden.

Dritte Lichtschranke

Es wird vorgeschlagen, direkt neben den vorhandenen Lichtschranken LS1 und LS2 eine dritte Lichtschranke LS3 anzubringen und die Lichtschrankensignale kombinatorisch auszuwerten.

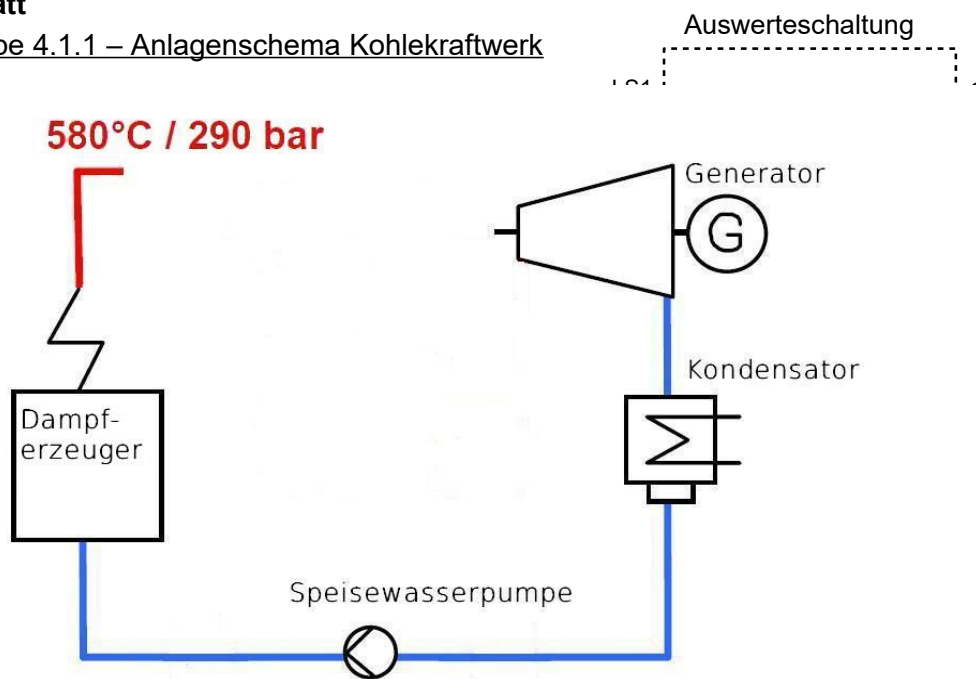
4.3.5 Ermitteln Sie alle auftretenden Eingangskombinationen (LS1, LS2, LS3) bei der Einfahrt bzw. der Ausfahrt eines Fahrzeugs. Begründen Sie, weshalb keine eindeutige Fahrtrichtungserkennung durch kombinatorische Auswertung der Eingangskombinationen (LS1, LS2, LS3) möglich ist.

2

30

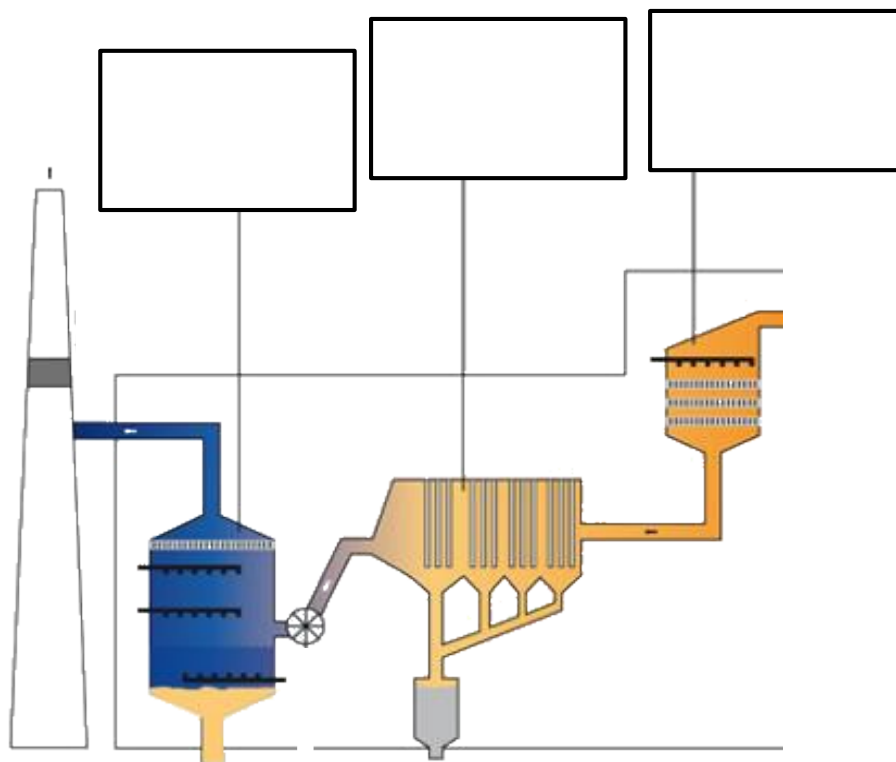
Arbeitsblatt

Zur Aufgabe 4.1.1 – Anlagenschema Kohlekraftwerk



(3)

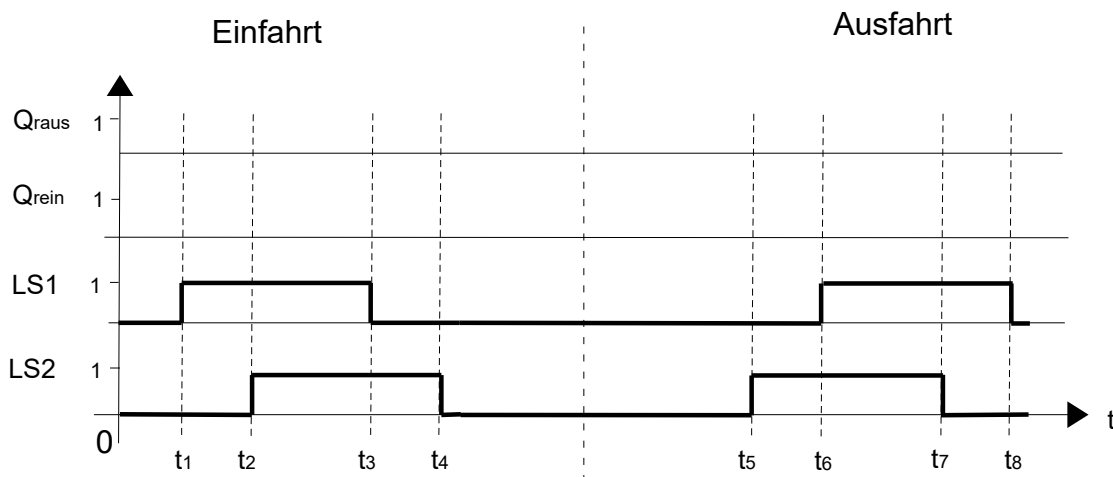
zur Aufgabe 4.2.1 - Rauchgasreinigung – Fließbild



(3)

Arbeitsblatt

zur Aufgabe 4.3.1

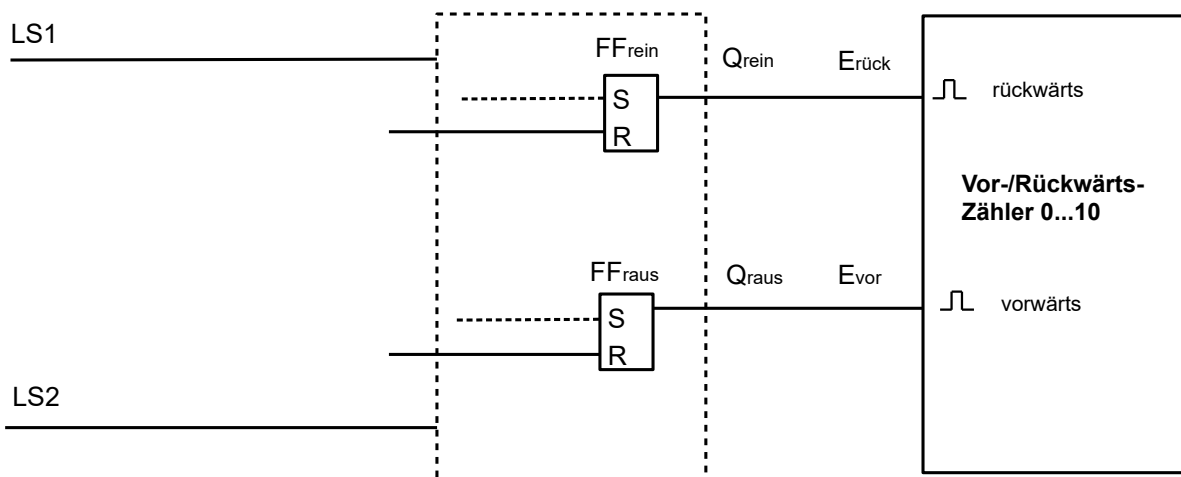


Punkte

(3)

zur Aufgabe 4.3.4

Auswerteschaltung aus Teilaufgabe 4.3.3



(2)

TG Umwelttechnik**Abitur 2016/2017****Hauptprüfung**

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

Bemerkungen

Die Aufgaben 1 und 2 (Pflichtbereich) sind von allen Prüflingen zu bearbeiten.
Aus den Aufgaben 3 und 4 (Wahlbereich) wählt die Schülerin/der Schüler eine Aufgabe aus.

Der Aufgabensatz umfasst 16 Seiten (inklusive diesem Deckblatt).

Bitte entnehmen Sie den Aufgaben die beigefügten Arbeitsblätter und geben Sie diese mit Ihrer Reinschrift ab.

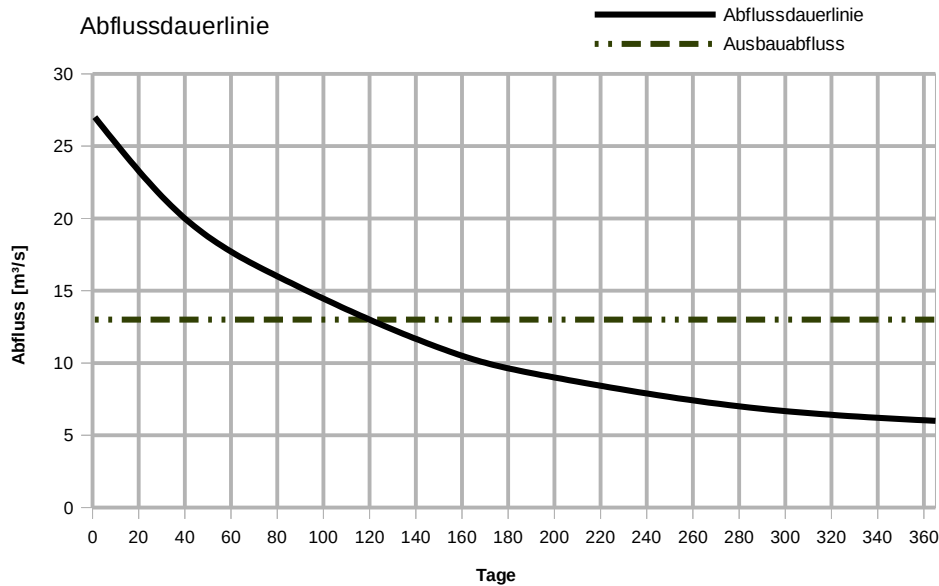
Sie sind verpflichtet, die Vollständigkeit des Aufgabensatzes umgehend zu überprüfen und fehlende Seiten der Aufsicht führenden Lehrkraft anzuzeigen. Jede Aufgabe ist mit einem neuen Blatt zu beginnen. Bei Verstößen gegen die angemessene Darstellungsform kann ein Punkteabzug erfolgen.

1 Pflichtaufgabe zu Wasserkraft, Photovoltaik

Punkte

1.1 Laufwasserkraftwerk

Ein stillgelegtes Laufwasserkraftwerk soll wieder in Betrieb gesetzt werden. Für das Laufwasserkraftwerk wurden die Abflusswerte erfasst und ergaben nachfolgende Abflussdauerlinie.



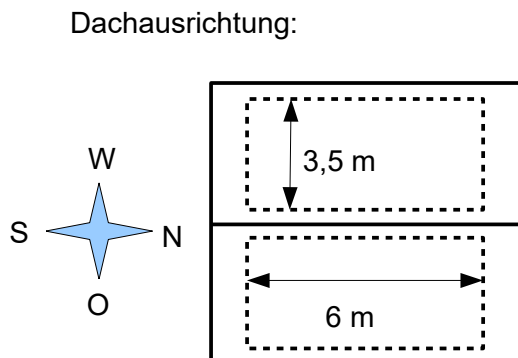
Daten des geplanten Laufwasserkraftwerks im Nennbetrieb:

Ausbauabfluss:	13 m³/s
Fallhöhe:	7,5 m
Gesamtwirkungsgrad:	73 %
Anzahl Turbinen:	2

- 1.1.1 Erklären Sie, wie die Abflussdauerlinie eines Flusses ermittelt werden kann. 2
- 1.1.2 Für die Auslegung des Laufwasserkraftwerks wurde der Ausbauabfluss auf 13 m³/s festgelegt. Bestimmen Sie, an wie vielen Tagen diese Abflussmenge erreicht oder überschritten wird. 1
- 1.1.3 Berechnen Sie die elektrische Nennleistung des Kraftwerks. 2
- 1.1.4 Nennen Sie drei Einflussfaktoren auf den Gesamtwirkungsgrad des Wasserkraftwerks. 2
- 1.1.5 Die Abflussmenge betrage nun 10 m³/s. Durch große Regenfälle steigt die Abflussmenge kontinuierlich bis zum doppelten Wert an. Analysieren Sie die sich ergebenden Pegelstände und die Leistung des Laufwasserkraftwerks. Dokumentieren Sie deren Verlauf. 2
- 1.1.6 Ermitteln Sie mit Hilfe der Grafik „Turbinen Einsatzgebiete“ in der Formelsammlung, welche Turbinentypen sich für dieses Laufwasserkraftwerk eignen. Beurteilen Sie, welchem Turbinentyp hier der Vorzug zu geben ist. 3

1.2 Photovoltaik

Die zur Verfügung stehende Dachfläche eines Geräteschuppens in Karlsruhe mit Ost-West-Ausrichtung soll für eine PV-Anlage genutzt werden. Dabei kann je Dachhälfte eine Fläche von 3,5 m x 6 m mit Solarmodulen bestückt werden.



Die Solarmodule haben folgende Daten:

STC Bedingungen ($E = 1000 \text{ W/m}^2$; 25°C) Modulabmessungen: 1600 mm x 1000 mm			
Nennleistung	W_p	P_{MPP}	240
Nennspannung	V	U_{MPP}	30
Leerlaufspannung	V	U_{OC}	37,5
Nennstrom	A	I_{MPP}	8,0
Kurzschluss-Strom	A	I_{SC}	8,9

- 1.2.1 Geben Sie an, wieviele Module auf der Dachfläche maximal installiert werden können und skizzieren Sie die Anordnung auf dem Arbeitsblatt für eine Dachhälfte. 1
- 1.2.2 Es werden zwei Stränge mit jeweils 12 Modulen in Reihenschaltung an den Wechselrichter angeschlossen. Begründen Sie, warum jeder Strang einen eigenen MPP-Tracker haben muss. 2
- 1.2.3 Berechnen Sie die Werte für die Spannung und den Strom in einem Strang sowie die Nennleistung P_N der gesamten PV-Anlage bei STC. 2
- Ein Solarmodul wurde unter STC an einer variablen Last betrieben und jeweils die Modulspannung U und der Modulstrom I gemessen.
- 1.2.4 Vervollständigen Sie die Tabelle auf dem Arbeitsblatt, indem Sie die jeweiligen Leistungen P berechnen. 1
- 1.2.5 Zeichnen Sie die $I(U)$ -Kennlinie und die $P(U)$ -Kennlinie des Solarmoduls bei STC in das Diagramm des Arbeitsblatts. 2
- Der Anlagenbetreiber möchte den Wirkungsgrad der Module ermitteln und misst dazu die Sonnenstrahlung $E = 500 \text{ W/m}^2$ mit einem Solarmessgerät. Bei dieser Bestrahlungsstärke liefert ein Modul die Nennspannung $U_{MPP} = 28 \text{ V}$ und die Nennleistung $P_{MPP} = 112 \text{ W}$.
- 1.2.6 Skizzieren Sie in das Diagramm auf dem Arbeitsblatt die $I(U)$ -Kennlinie bei einer Sonneneinstrahlung von $E = 500 \text{ W/m}^2$ und lesen Sie den Wert der Leerlaufspannung U_{OC500} ab. 3
- 1.2.7 Ermitteln Sie den Wirkungsgrad eines Moduls bei $E = 500 \text{ W/m}^2$. 2
- 1.2.8 Die Anlage soll mit einer PV-Anlage gleicher Größe in Südausrichtung verglichen werden. Um welchen Faktor ist der Jahresertrag der Anlage in Südausrichtung höher als der Jahresertrag der Anlage in Ost-West-Ausrichtung. In beiden Fällen ist von einem Modulneigungswinkel von $\beta = 37^\circ$ auszugehen. 2

Um einen störungsfreien Betrieb der Stromnetze zu gewährleisten, müssen PV-Anlagen in ihrer Leistung abgeregelt werden können, d.h. es dürfen nicht mehr als 70 % der Nennleistung der Anlage in das Netz eingespeist werden.

- | | | |
|--------|---|---|
| 1.2.9 | Nennen Sie zwei Maßnahmen, mit denen sich ein Großteil der erzeugten elektrischen Energie der PV-Anlage ohne Einspeisung in das öffentliche Netz nutzen lässt. | 1 |
| 1.2.10 | Falls die PV-Anlage mehr als 70 % der Nennleistung bereitstellen könnte und die Energie nicht anderweitig genutzt werden kann, muss die Leistung der PV-Anlage gedrosselt werden.

Beschreiben Sie eine Möglichkeit, wie der Wechselrichter die Leistung der Anlage drosseln kann. | 1 |
| 1.2.11 | Aufgrund der Abregelung geht man bei einer nach Süden ausgerichteten Anlage von Einspeiseverlusten in Höhe von 5 % der Einspeisevergütung eines Jahres aus. Berechnen Sie die Einspeise verluste in einem Jahr, wenn die Einspeisevergütung 12,31 ct/kWh beträgt und man von einem Jahresertrag mit 1000 kWh / kWp ausgehen kann.

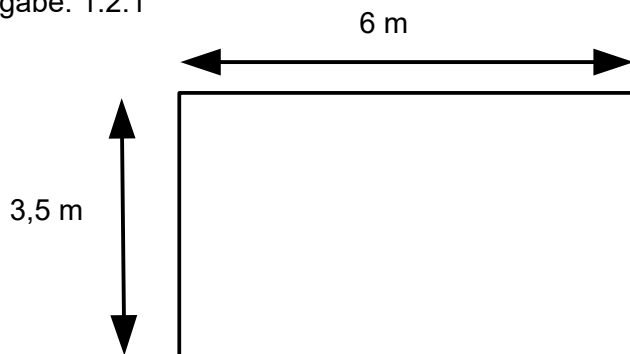
Gehen Sie dabei von einer Nennleistung der Gesamtanlage von $P_N = 5,76$ kWp aus. | 1 |

30

Arbeitsblatt

Punkte

zur Aufgabe: 1.2.1



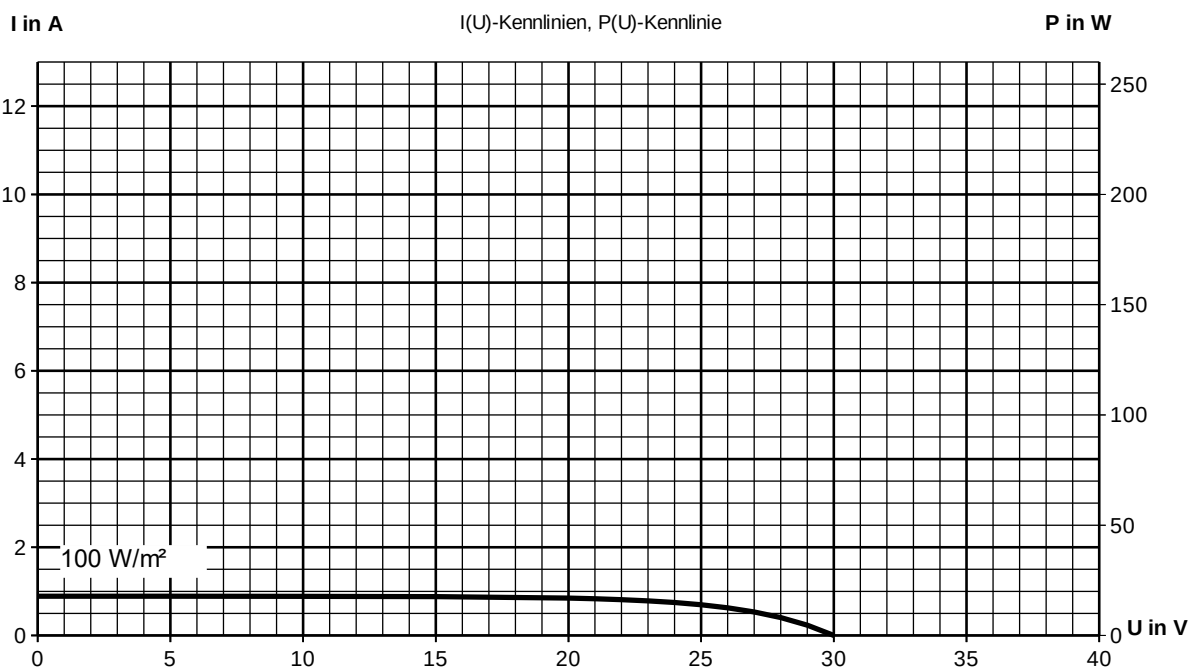
(1)

zur Aufgabe: 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									

(1)

Zu den Aufgaben: 1.2.5 und 1.2.6



(2)

(3)

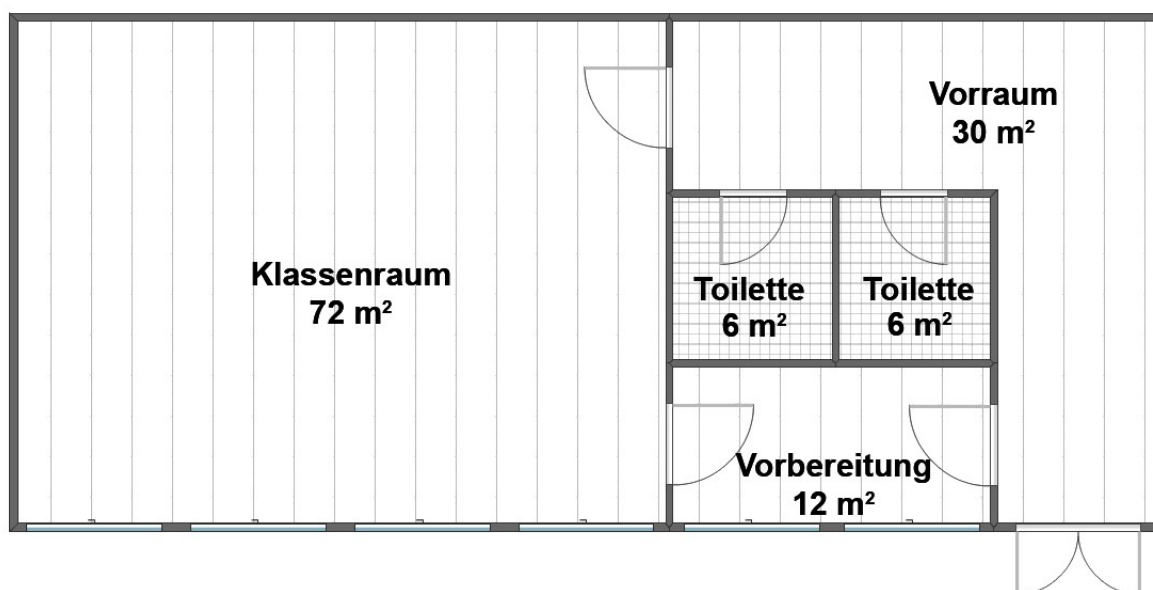
2 Pflichtaufgaben zu Solarthermie, kontrollierter Wohnraumlüftung und Gebäudehülle

Punkte

Ihre Schule soll Raum für Raum saniert werden. Deshalb soll der Unterricht vorübergehend in Schulcontainern stattfinden. Da ihre Schule das Profil Umwelttechnik führt, sollen die Container unter umwelttechnischen Aspekten geplant werden.

Die Containerräume haben eine Deckenhöhe von 2,5 m und werden von bis zu 33 Personen genutzt.

Der Grundriss sieht wie folgt aus:



2.1 Solarthermie

Die Warmwasserversorgung im Container soll über eine solarthermische Anlage mit elektrischer Zusatzheizung (Heizstab) erfolgen.

2.1.1 Vervollständigen Sie auf dem Arbeitsblatt den grundsätzlichen Aufbau dieser solarthermischen Anlage zur Warmwassererzeugung und benennen Sie alle Anlagenteile.

3

Auf die Darstellung der Solarkreisregelung kann verzichtet werden.

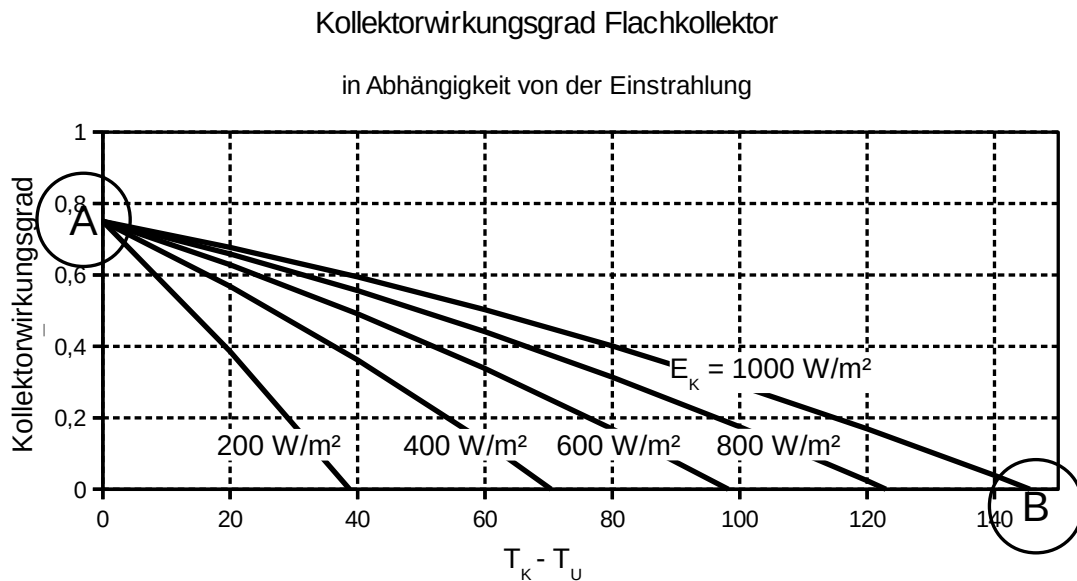
2.1.2 Der verantwortliche Architekt behauptet: „Vakuum-Röhrenkollektoren sind generell die besseren Kollektoren zur solaren Wärmeengewinnung“. Nehmen Sie begründet Stellung zu dieser Behauptung.

2

2.1.3 Wählen Sie für den beschriebenen Einsatz einen geeigneten Kollektor aus und begründen Sie Ihre Wahl.

1

Das Diagramm zeigt den Wirkungsgradverlauf eines Flachkollektors bei unterschiedlichen solaren Einstrahlungsintensitäten.



2.1.4 Beurteilen Sie, unter welchen Betriebsbedingungen die dargestellten Punkte A und B erreicht werden. 2

2.1.5 Erläutern Sie zwei Belastungen, die am Punkt B auf den Solarkreislauf wirken. 2

2.1.6 Zur Dimensionierung der Anlage geht der Planer von einem Warmwasserbedarf von 6 Liter pro Person und Tag mit einer Temperatur von 40 °C aus. 3

Die Kaltwassertemperatur beträgt $\vartheta_{KW} = 10 \text{ °C}$.

Dimensionieren Sie die Größe des Speichers, wenn eine Vorhaltezeit von 2 Tagen und eine Warmwassertemperatur im Speicher von $\vartheta_{WW} = 60 \text{ °C}$ eingeplant wird.

Wärmeverluste können bei dieser Rechnung vernachlässigt werden.

2.1.7 Ermitteln Sie die erforderliche Kollektorfläche. 2

Folgende Angaben sind bekannt:
 Speichervolumen $V_{Sp} = 300 \text{ L}$
 Anlagenwirkungsgrad $\eta_{Anl} = 0,55$
 Aufstellwinkel $\alpha = 30^\circ$
 Anlagenstandort Würzburg
 Ausrichtung Süden

Die Kollektorfläche soll so ausgelegt werden, dass sie an einem Tag im April das Wasser im Speicher von 10 °C auf 60 °C erwärmen kann.

2.2 Kontrollierte Wohnraumlüftung

Der Architekt schlägt eine kontrollierte Belüftung für das Containergebäude vor. An der Lüftungsanlage werden an einem Wintertag folgende Temperaturen gemessen:

Temperatur der Außenluft: $\vartheta_{au} = - 5 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperatur der in den Raum einströmenden Luft: $\vartheta_{zu} = 13 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperatur der aus dem Raum abgesaugten Luft: $\vartheta_{ab} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Die relative Luftfeuchte der Außenluft beträgt: $\varphi_{au} = 60 \text{ } \%$.

- 2.2.1 Begründen Sie, warum bei der gewählten Raumaufteilung eine mechanische Lüftung zwingend erforderlich ist. 1
- 2.2.2 Berechnen Sie die Frischluftmenge pro Person und Stunde, die bei einer Luftwechselrate von $\beta = 4 \frac{1}{h}$ im Klassenraum zur Verfügung steht und bewerten Sie das Ergebnis. 2
- 2.2.3 Um weniger zuheizen zu müssen, werden Luft-Luft-Wärmetauscher in Lüftungsanlagen eingebaut. Die Abbildung auf dem Arbeitsblatt zeigt die Prinzipdarstellung eines Kreuzstromwärmetauschers. Beschriften Sie die Luftströme in der Abbildung und beschreiben Sie die Funktionsweise des Wärmetauschers. 2
- 2.2.4 Die angesaugte Außenluft wird im Raum auf 20°C aufgeheizt. 2
Bestimmen Sie die relative Luftfeuchte der aufgeheizten Luft und bewerten Sie das Ergebnis hinsichtlich der Behaglichkeit.

2.3 Gebäudehülle

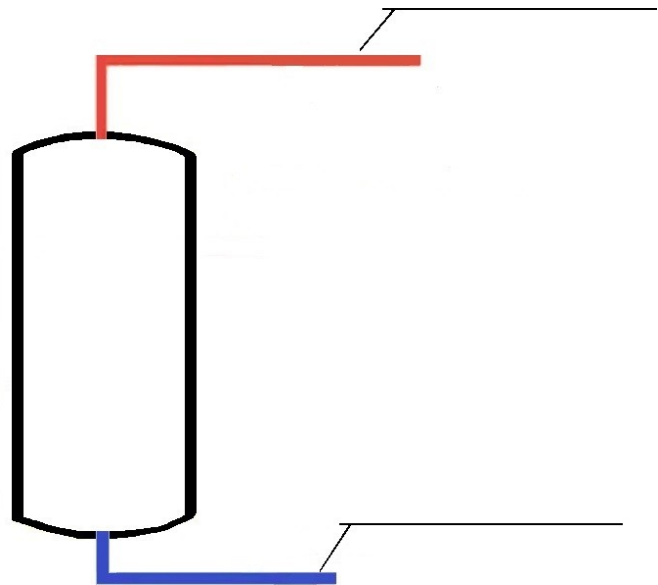
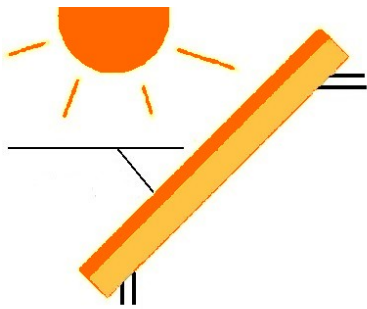
Die Außenwände des Containers sind von innen nach außen wie folgt aufgebaut:

	Baustoff	Dicke d (mm)
1	Sperrholzplatte (Rohdichte 500 kg/m^3)	10
2	Dämmplatte aus EPS (WLG 050)	30
3	Stahlblech	4

- 2.3.1 Skizzieren Sie den Wandaufbau im Maßstab 1:1 und zeichnen Sie den qualitativen Temperaturverlauf über den Wandquerschnitt bei einer Innentemperatur von 20°C und einer Außentemperatur von -10°C ein. 2
- 2.3.2 Nach einer sehr kalten Winternacht beobachten Sie an der Innenseite der Außenwand Tauwasserbildung. Im Klassenraum wird eine Raumlufttemperatur von $\vartheta_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ und eine relative Luftfeuchte von $65 \text{ } \%$ gemessen. 4
Bestimmen Sie die nächtliche Außenlufttemperatur unterhalb der das Tauwasser anfällt.
- 2.3.3 Begründen Sie, warum es an sonnig-heißen Sommertagen im Container sehr warm werden kann. 2

Arbeitsblatt

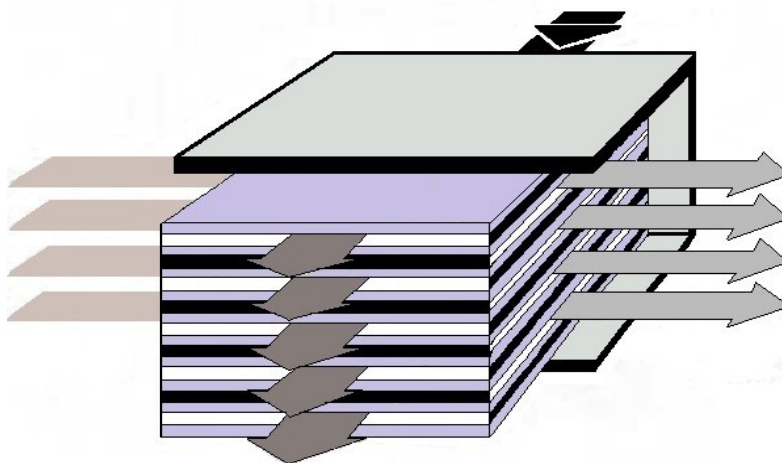
zur Aufgabe 2.1.1:



Punkte

(3)

zu Aufgabe 2.2.3:



(2)

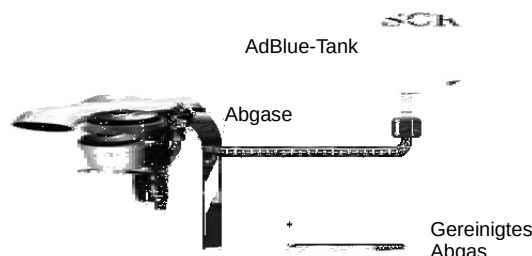
3 Wahlaufgabe Hybridfahrzeug und Abgasreinigung	Punkte
3.1 Paralleles Hybridfahrzeug	
Auf dem Arbeitsblatt ist das Kennlinienfeld eines Dieselmotors mit Vollastkennlinie M_{\max} und Leistungsverlauf dargestellt. Bei den Aufgaben 3.1.1 bis 3.1.5 ist nur der Dieselmotor in Betrieb.	
3.1.1 Bestimmen Sie aus dem Diagramm auf dem Arbeitsblatt: - Die maximal mögliche Motorleistung und die Drehzahl, bei der diese abgegeben wird. - Die Motorleistung im Verbrauchsoptimum.	2
3.1.2 Überprüfen Sie für einen beispielhaften Punkt, ob Vollastkennlinie und Leistungsverlauf zusammen passen. Markieren Sie diesen Punkt auf dem Arbeitsblatt.	2
3.1.3 Beurteilen Sie die folgenden Aussagen: - Die Konstantleistungs-Hyperbeln sind bei verschiedenen Motoren gleich. - Der Schnittpunkt von Vollastkennlinie und Leistungsverlauf hat keine Bedeutung.	2
Es werden 10 kW Antriebsleistung bei einer Fahrgeschwindigkeit von 100 km/h benötigt.	
3.1.4 Ermitteln Sie auf dem Arbeitsblatt, in welchem Gang der Verbrauch optimal ist.	2
3.1.5 Zeigen Sie, dass für diese Fahrsituation der Verbrauch ca. 4,27 L / 100 km beträgt. Rechnen Sie mit $\rho_{\text{Kraftstoff}} = 0,82 \text{ kg / L}$.	3
Eine Elektrische Maschine ($P_{\text{Nenn}} = 40 \text{ kW}$) wird parallel zum Dieselmotor wahlweise als Motor oder als Generator zum Aufladen eines Akkumulators ($W_{\text{Akku}} = 4 \text{ kWh}$) verwendet. Die Fahrt wird mittels einer Antriebsleistung von 10 kW bei konstant 100 km/h im 6. Gang fortgesetzt.	
3.1.6 Die elektrische Maschine wird zunächst genutzt, um den Lastpunkt in den Bereich des optimalen Verbrauchs zu verschieben. Skizzieren Sie die notwendige Lastpunktverschiebung auf dem Arbeitsblatt.	2
3.1.7 Der Akkumulator wird in der Betriebsart „Lastpunktverschiebung“ von der elektrischen Maschine mit P_{Nenn} geladen. Zeigen Sie, dass der anfänglich leere Akku nach 0,1 h voll geladen ist und das Fahrzeug dabei 10 km zurücklegt bei einem Verbrauch von 1,31 L. Rechnen Sie mit $\rho_{\text{Kraftstoff}} = 0,82 \text{ kg / L}$.	3
3.1.8 Nachdem der Akkumulator voll ist, wird der Dieselmotor abgeschaltet und die 10 kW Antriebsleistung bei weiterhin konstanter Geschwindigkeit von der elektrischen Maschine aufgebracht (Betriebsart „Segeln“). Berechnen Sie, wie weit das Fahrzeug während der Betriebsart „Segeln“ kommt, bis der volle Akkumulator wieder leer ist.	2
3.1.9 Berechnen Sie einen durchschnittlichen Verbrauchswert in L / 100km, wenn während der 100 km langen Fahrt immer zwischen den Betriebsarten „Lastpunktverschiebung“ und „Segeln“ gewechselt wird.	2

3.2 Abgasreinigung

Die Abgase des Diesel-Hybridfahrzeugs müssen in verschiedenen Stufen gereinigt werden. Die Verbrennung in einem Dieselmotor läuft unter sehr hohen Drücken und Temperaturen ab. Diese werden unter anderem durch einen Luftüberschuss von über 50 % erreicht.

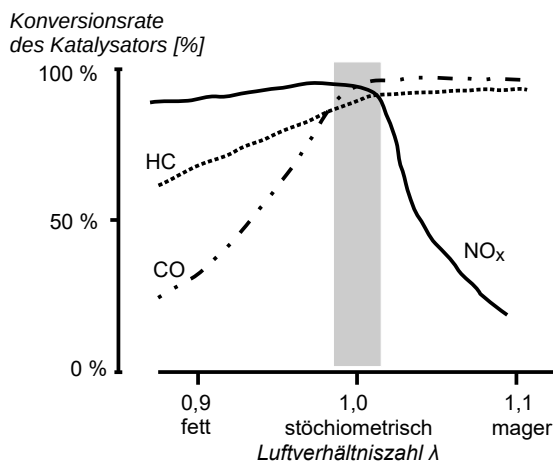
- 3.2.1 Die Diesel-Abgasbestandteile, welche die größten Probleme verursachen, sind Stickstoffoxide und Feinstäube. Beschreiben Sie deren jeweilige Schadwirkung. 2
- 3.2.2 Durch innermotorische Maßnahmen (Rückführung eines Teils der Abgase) können die Verbrennungstemperaturen abgesenkt werden. Begründen Sie, welcher Abgasbestandteil damit verringert werden kann. 1
- 3.2.3 Erläutern Sie, warum die Temperatur in einem Dieselmotor nicht beliebig weit abgesenkt werden kann. 2

In einem SCR-Katalysator werden Dieselabgase unter Zugabe von Ammoniak (NH_3) mit Luftüberschuss entstickt. Dieser wird aus einer Harnstofflösung (AdBlue) gewonnen.



- 3.2.4 Erstellen Sie die Reaktionsgleichung für die Reduktion von Stickstoffmonoxid (NO). 1
- 3.2.5 Begründen Sie, warum trotz eines technisch einwandfreien Katalysators auf den ersten Kilometern jeder Fahrt die Abgase nur unzureichend gereinigt werden. Beschreiben Sie die Konsequenz für die Wahl des Einbauorts des Katalysators. 2

Ein häufig eingesetztes Verfahren zur Reinigung von Abgasen aus Verbrennungsmotoren ist der Dreiwegekatalysator. Im Diagramm sind die Minderungsraten für die Abgaskomponenten Stickstoffoxide (NO_x), Kohlenstoffmonoxid (CO) und Kohlenwasserstoffe (HC) im Dreiwegekatalysator dargestellt.

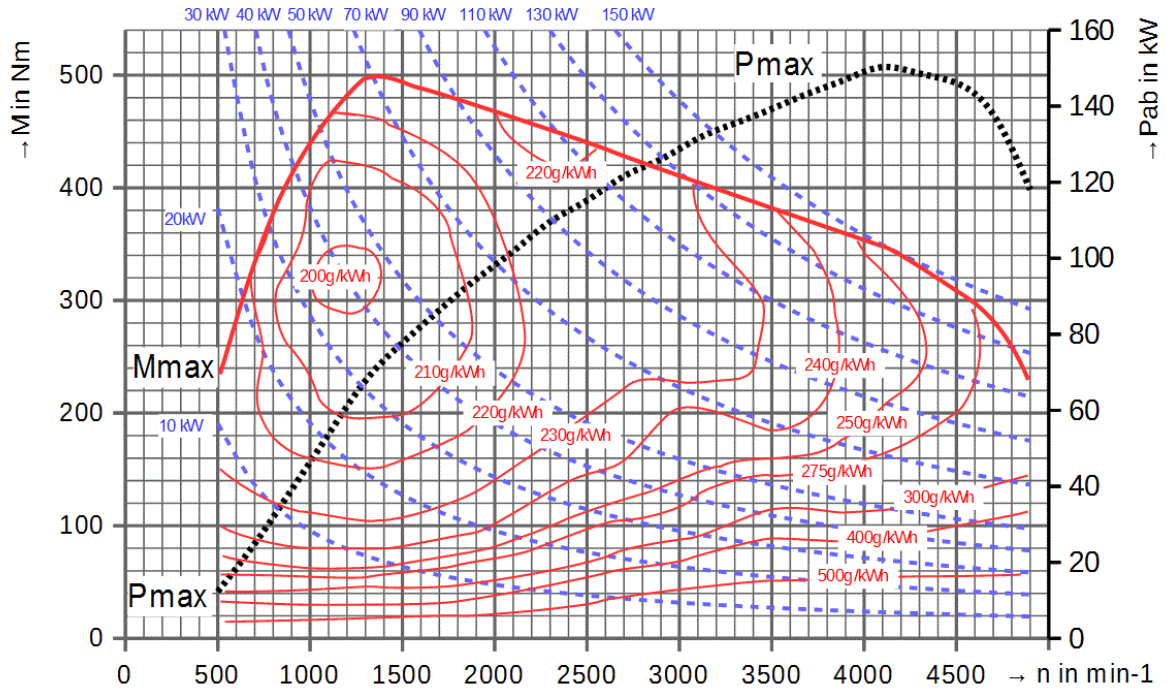


- 3.2.6 Begründen Sie, warum die Stickstoffoxide aus einem Diesel-Motor nicht mit einem Dreiwegekatalysator reduziert werden können. 2

Arbeitsblatt

zu den Aufgaben 3.1.2, 3.1.4, 3.1.6

Kennlinienfeld spezifischer Verbrauch mit Volllastkennlinie Mmax und Leistungsverlauf Pmax



1. Gang	0	5	10	15	20	25	30	35	40	v in km/h	
4. Gang	0	20	40	60	80	100	120	140		v in km/h	
5. Gang	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	v in km/h
6. Gang	0	50	100	150	200						v in km/h

Punkte

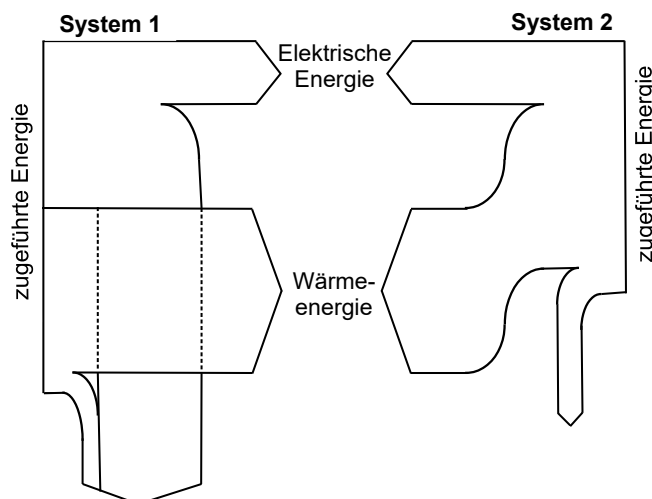
(2)
(2)
(2)

4 Wahlaufgabe zu Energieversorgung, Wärmekraftwerk und Steuerungstechnik

Punkte

4.1 Energieversorgung

Im folgenden Diagramm sind zwei prinzipiell unterschiedliche Möglichkeiten zur Energieversorgung dargestellt. Die elektrische Energie und die Wärmeenergie beider Systeme sind jeweils gleich groß.



4.1.1 Vergleichen Sie die Energieeffizienz der beiden Systeme. Nennen Sie je ein Beispiel und beschreiben Sie den prinzipiellen Unterschied.

3

4.1.2 Begründen Sie, warum sich für ein Einfamilienhaus eine gekoppelte Wärme- und Stromerzeugung nur unter bestimmten Bedingungen rechnet.

2

4.2 Wärmekraftwerk

Für die zentrale Stromversorgung wird ein Braunkohlekraftwerk eingesetzt. Vom Dampfkreisprozess des Kraftwerks sind folgende Daten bekannt:

- Druck am Turbineneingang: $p_{TE} = 150 \text{ bar}$
- Temperatur am Turbineneingang: $\vartheta_{TE} = 527 \text{ °C}$
- Druck am Kondensator: $p_{Kond} = 0,07 \text{ bar}$

4.2.1 Stellen Sie die im Kessel ablaufenden Vorgänge im T,s-Diagramm (Arbeitsblatt) dar und nummerieren Sie die charakteristischen Punkte.

3

Benennen Sie die Zustandsänderungen entsprechend Ihrer Nummerierung.

4.2.2 Die im Kondensator mittels Abkühlung entzogene spezifische Wärmemenge beträgt $q_{ab} = 2170 \text{ kJ/kg}$. Berechnen Sie den Wert der vorhandenen Entropie am Turbinenausritt und vervollständigen Sie den Kreisprozess im T,s-Diagramm.

4

4.2.3 Beurteilen Sie, ob der aus der Turbine austretende Wasserdampf noch zur Fernwärmeauskopplung genutzt werden kann.

2

4.2.4 Kennzeichnen Sie die dem Prozess zugeführte spezifische Wärme im T,s-Diagramm.

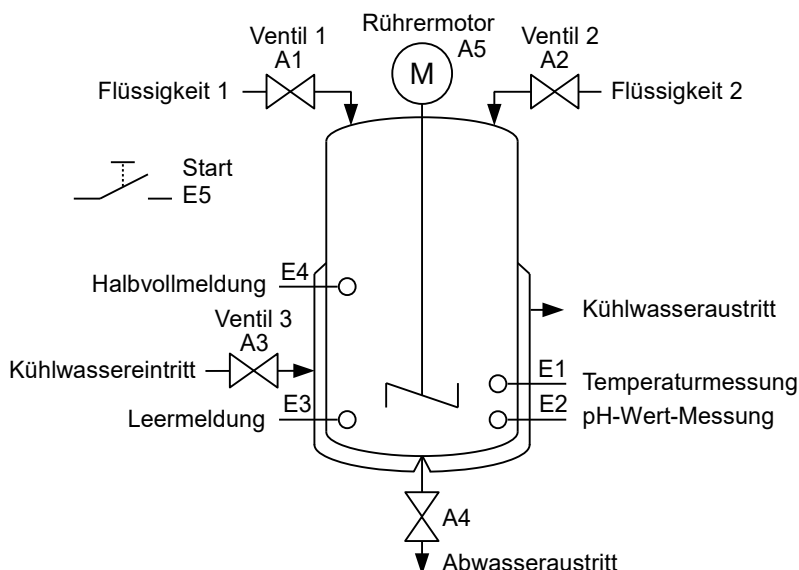
4

Berechnen Sie den thermischen Wirkungsgrad des Dampfkraftprozesses mit $q_{ab} = 2170 \text{ kJ/kg}$.

4.2.5 Beschreiben Sie, wodurch Irreversibilitäten in der Turbine zustande kommen. Kennzeichnen Sie die Verluste durch irreversible Vorgänge im T,s-Diagramm.

2

4.3 Steuerungstechnik: Rührkesselreaktor



Eingänge	E1	Temperaturmessung	E1 = 1 wenn Temperatur $\leq 33^{\circ}\text{C}$
	E2	PH-Wert-Messung	E2 = 1 wenn pH-Wert ≥ 7
	E3	Leermeldung	E3 = 0 wenn leer
	E4	Halbvollmeldung	E4 = 1 wenn Füllhöhe \geq halbe Höhe
	E5	Start-Taster	E5 = 1 wenn Taster gedrückt
Ausgänge	A1	Ventil Flüssigkeit 1	A1 = 1 Ventil offen
	A2	Ventil Flüssigkeit 2	A2 = 1 Ventil offen
	A3	Ventil Kühlwasserzulauf	A3 = 1 Ventil offen
	A4	Ventil Abwasseraustritt	A4 = 1 Ventil offen
	A5	Rührermotor	A5 = 1 Motor an

In einem Unternehmen werden saure Abwässer in einem Rührkesselreaktor neutralisiert. Die Steuerung wird als Ablaufsteuerung mit einer Schrittkette programmiert.

Wenn der Starttaster gedrückt wird, verlässt die Ablaufsteuerung den Grundzustand und der Behälter wird mit der Flüssigkeit 1 bis zur Hälfte gefüllt. Für die nächsten Schritte wird der Rührermotor eingeschaltet. Gleichzeitig erfolgt der Zulauf des Neutralisationsmittels (Flüssigkeit 2) bis der pH-Wert 7 erreicht ist. Nun muss der Kühlwasserzulauf geöffnet werden, da die Reaktion der beiden Flüssigkeiten Wärme erzeugt. Diese Kühlung wird gestoppt, sobald 33°C unterschritten sind. Nach einer Wartezeit von 10 Sekunden erfolgt die vollständige Entleerung des Abwassers. Danach stoppt der Rührermotor und die Steuerung kehrt in den Grundzustand zurück.

4.3.1 Skizzieren Sie wahlweise ein Zustandsdiagramm oder einen Ablaufplan (z.B. GRAFCET) für diese Ablaufsteuerung.

6

4.3.2 Ergänzen Sie die Schrittkette auf dem Arbeitsblatt.

4

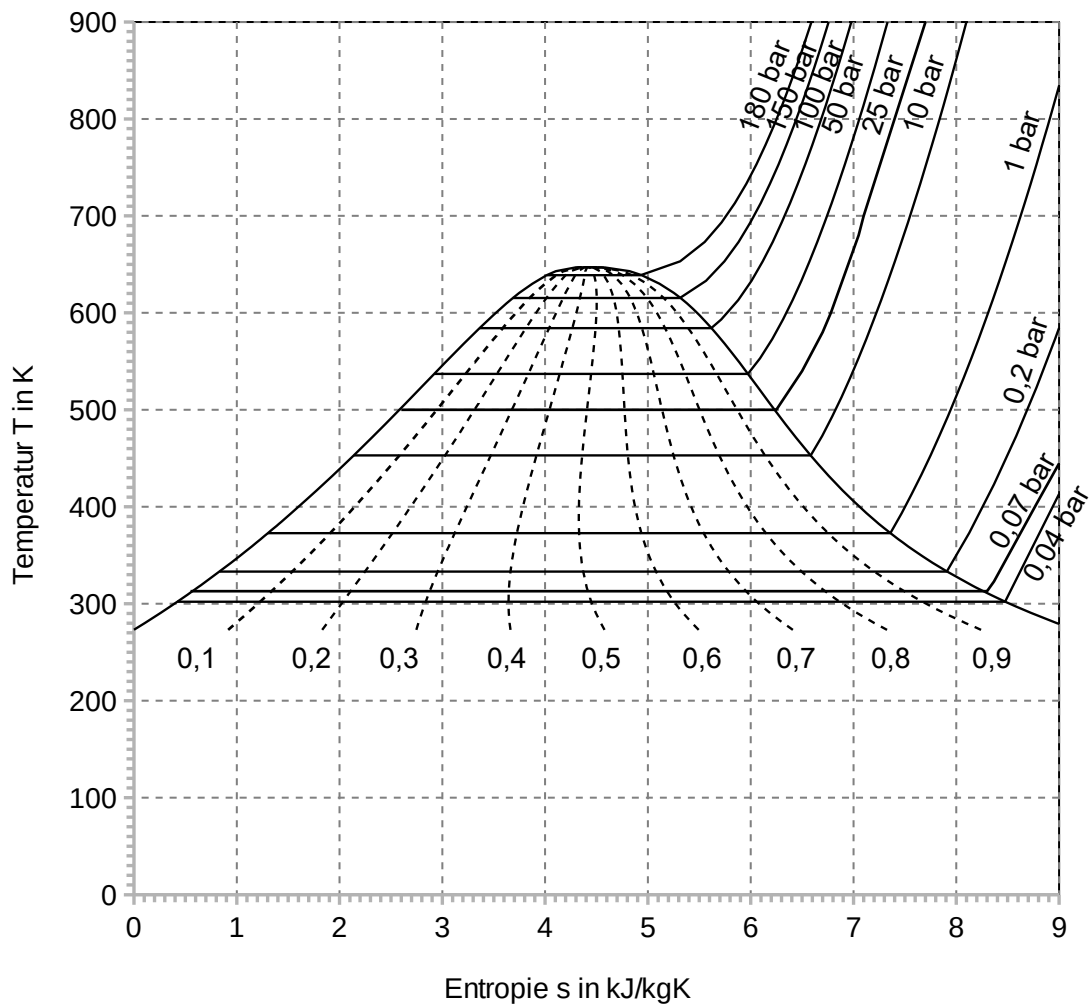
30

Arbeitsblatt 1

zu den Aufgaben 4.2.1, 4.2.2, 4.2.4:

Punkte

T,s-Diagramm von Wasser



(3)

(4)

(4)

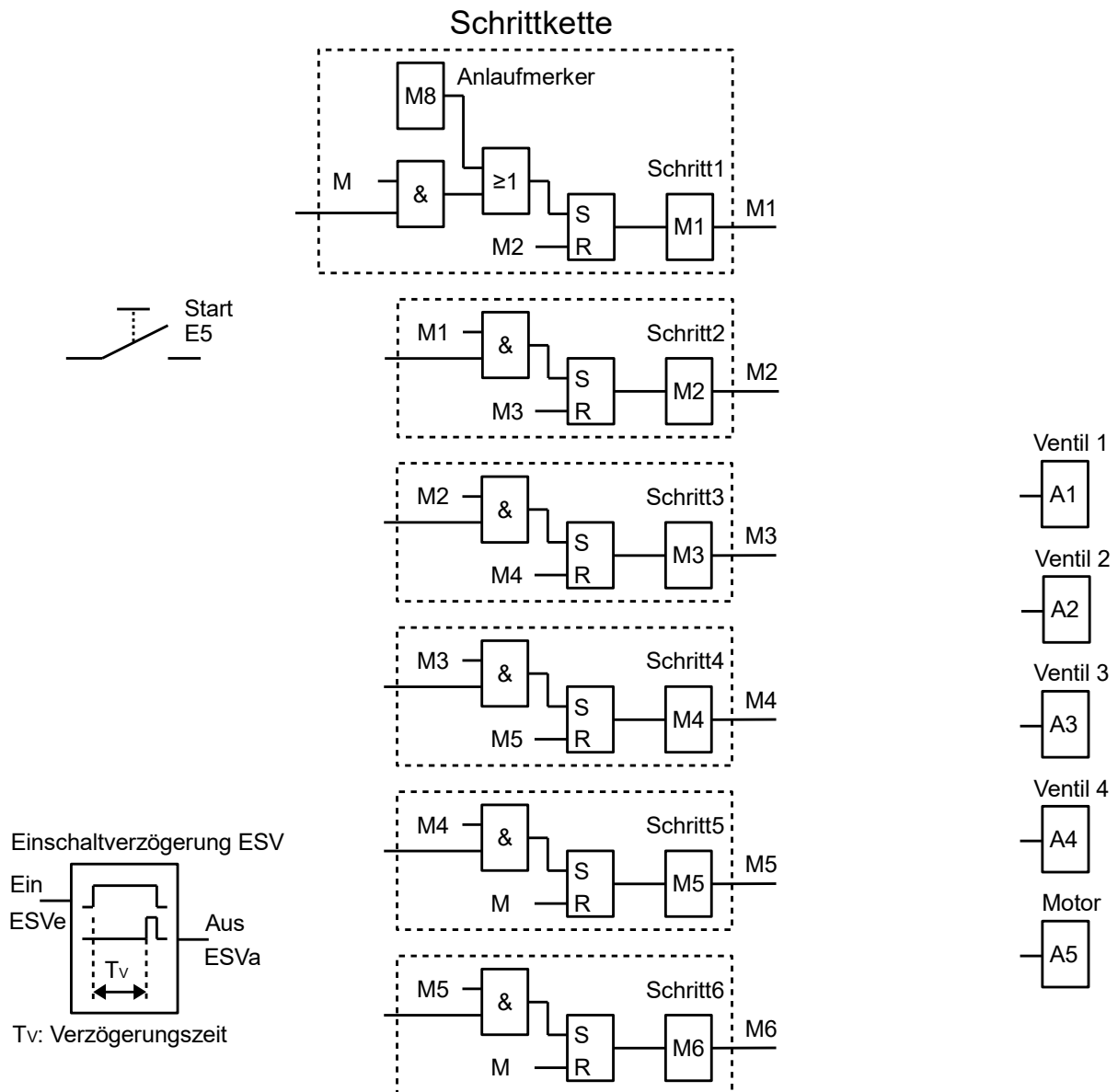
Arbeitsblatt 2

zur Aufgabe 4.3.2 :

Hinweise: Möglicherweise benötigen Sie mehr oder weniger als 6 Schritte.
Verwenden Sie die dargestellte Einschaltverzögerung

Punkte

(4)



TG Umwelttechnik**2016/2017****Übungsaufgabe**

Arbeitszeit: 270 Minuten
Hilfsmittel: Formelsammlung Umwelttechnik
Zugelassener Taschenrechner

Stoffgebiet

Teil 1: Pflichtbereich

Aufgabe 1: Photovoltaik (2 Seiten)
ElektromobilitätAufgabe 2: Wärme erzeugen (2 Seiten)
Abgasreinigung
Gebäudehülle

Teil 2: Wahlbereich

Aufgabe 3: Wasserkraft (3 Seiten)
GuD-KraftwerkAufgabe 4: Blockheizkraftwerk (3 Seiten)
Trink- und Abwasser
Regelungstechnik

Bemerkungen

Die Aufgaben 1 und 2 (Pflichtbereich) sind von allen Prüflingen zu bearbeiten.
Aus den Aufgaben 3 und 4 (Wahlbereich) wählt die Schülerin/der Schüler eine Aufgabe aus.

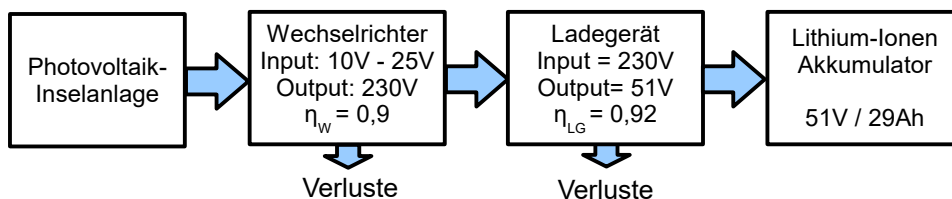
Der Aufgabensatz umfasst 11 Seiten (inklusive diesem Deckblatt).

1 Pflichtaufgaben zur Photovoltaik, Elektromobilität

Punkte

1.1 PV-Inselanlage

Der Fahrer eines Elektrorollers aus Karlsruhe fährt von April bis September mit seinem Elektroroller zur Arbeit. Er kauft sich einen zweiten Akkumulator mit den Daten 51 V / 29 Ah und einem Gewicht von 10 kg. Er plant eine PV-Inselanlage auf seinem Carport, um hiermit einen der zwei Lithium-Ionen-Akkumulatoren aufzuladen. Die Inselanlage soll so dimensioniert werden, dass pro Tag eine Akkuaufladung erzielt werden kann.



Für die Inselanlage benötigt er Solarmodule, einen Wechselrichter und Anschlussmaterial. Zum Laden des Akkus nutzt er das beigefügte 230 V-Ladegerät des Elektrorollers. Das Laden und Entladen der Batterie wird als verlustfrei betrachtet.

1.1.1 Beschreiben Sie jeweils zwei Funktionen des Wechselrichters und des Ladegerätes. 2

1.1.2 Berechnen Sie die Energiedichte (Energienmenge pro Masse) des Akkus und vergleichen Sie diese mit dem Wert von Dieselkraftstoff. 2
 Heizwert Diesel: $H_i = 10 \text{ kWh/L}$, Dichte Diesel: $\rho_{\text{Diesel}} = 0,83 \text{ kg/L}$

Nach einer Fahrt zur Arbeit und zurück ist der Akku auf 40 % des Maximalwerts entladen.

1.1.3 Ermitteln Sie die benötigte Energiemenge, welche die PV-Module liefern müssen, um den Akku wieder voll aufzuladen. 2

1.1.4 Berechnen Sie die zu installierende PV-Anlagenleistung, um zu gewährleisten, dass der Akku an einem Septembertag mit 1070 Wh vollständig geladen wird. 3
 (Standort: Karlsruhe; Ausrichtung: Südwest; Neigungswinkel: 45°)

Zur Verfügung stehen monokristalline Solarmodule mit den nebenstehenden Werten:

Daten bei Standard-Test-Bedingungen (STC): 1000 W/m²; AM 1,5; $\theta = 25 \text{ °C}$ 2 Bypassdioden; Maße: 67 x 134 x 3,5 cm		
Nennleistung	P_{Nenn}	150 W
Nennspannung	U_{MPP}	17,8 V
Nennstrom	I_{MPP}	8,43 A
Leerlaufspannung	U_{OC}	22,3 V
Kurzschluss-Strom	I_{SC}	9,10 A
Modulwirkungsgrad	η	16,7 %

1.1.5 Ermitteln Sie, wie viele Module benötigt werden, um ca. 270 W Anlagenleistung zu erzielen. Begründen Sie, wie die Module verschaltet werden müssen, damit der Wechselrichter im erlaubten Spannungsbereich arbeitet. 2

- 1.1.6 Alternativ kann der Eingang des Ladegeräts an das Stromnetz angeschlossen werden. Weisen Sie nach, dass dann für die Aufladung des Akkus von 40 % bis 100 % eine Energiemenge von 965 Wh notwendig ist. 1
- 1.1.7 Beim Laden des Akkus über das Stromnetz müsste ein Bezugspreis von 0,30 €/kWh bezahlt werden. Die Kosten der PV-Anlage mit Wechselrichter betragen 630 €. Ermitteln Sie rechnerisch, nach wie vielen Ladevorgängen sich die Inselanlage amortisiert. (Aufladung von 40 % auf 100 % des Maximalwerts.) 3
- Obwohl alle theoretischen Berechnungen zu stimmen scheinen, lädt sich der Akku während eines Tages nicht voll auf. Es wird vermutet, dass dies an der zu geringen Sonneneinstrahlung insbesondere an trüben Tagen liegt.
- 1.1.8 Zeigen Sie, dass der Mindest-Akku-Ladestrom von 3 A (bei $U_{\text{akku}} = 51 \text{ V}$) einen Ausgangsstrom der PV-Anlage von $I_{\text{PV}} = 10,4 \text{ A}$ erfordert. Gehen Sie zur Vereinfachung von einer Spannung $U_{\text{PV}} = 17,8 \text{ V}$ aus. 2
- 1.1.9 Überprüfen Sie die folgende Aussage: „Die Aufladung des Akkumulators beginnt erst ab einer Bestrahlungsstärke von $E = 617 \text{ W/m}^2$ “. Berücksichtigen Sie bei Ihrer Berechnung den Wirkungsgrad η_{PV} der PV-Module. Beachten Sie auch, dass ein Mindest-Akku-Ladestrom von 3 A notwendig ist. 3
- 1.2 Elektroroller**
- Der Besitzer des Elektrorollers nutzt nun die aus der PV-Anlage gewonnene Energie, um damit zur Arbeit zu fahren.
- Sein Elektroroller hat folgende technische Daten:
- Akku: 51 V / 29 Ah
 - Reichweite: 36 km (bei 45 km/h in der Ebene)
 - Maximale Geschwindigkeit: 45 km/h
 - Bürstenloser permanenterregter Gleichstrom -Nabenmotor
 - Wirkungsgrad: 80 %
 - Reifendurchmesser: 0,3 m
- 1.2.1 Beschreiben Sie zwei wesentliche Eigenschaften des bürstenlosen Nabenmotors. 1
- 1.2.2 Ermitteln Sie, welche Leistung P_{mech} der Motor bei einer Fahrt mit Maximalgeschwindigkeit in der Ebene abgeben muss. Berücksichtigen Sie bei der Berechnung die Reichweitenangabe. 3
- 1.2.3 Zeigen Sie, dass bei dieser Fahrt ein Drehmoment von 17,8 Nm am Motor entsteht, wenn der Motor eine mechanische Leistung von $P_{\text{mech}} = 1,48 \text{ kW}$ abgibt. 2
- Um die Reichweite zu erhöhen, fährt der Fahrer jetzt mit 30 km/h. Dazu ist eine Antriebskraft von 64,4 N notwendig. An den Motor muss eine Spannung von 32,8 V angelegt werden.
- 1.2.4 Zeigen Sie, dass ein Motorstrom von etwa 20 A fließt und ermitteln Sie die sich ergebende Reichweite. 4

2 Pflichtaufgaben zu Wärme erzeugen, Abgasreinigung und Gebäudehülle	Punkte
Ein Schulzentrum mit drei großen Schulen und ein Hallenbad liegen in einem Stadtviertel, das städtebaulich weiter entwickelt werden soll. Zur Nahwärmeversorgung der Schulen und des Hallenbades wird als Ersatz für die bestehenden Ölkessel eine zentrale Pelletheizungsanlage geplant.	
2.1 Ölheizung	
Bisher wurden die Gebäude jeweils mit einem Ölkessel beheizt.	
2.1.1 Stellen Sie jeweils ein Argument dar, welches für und gegen die zentrale Wärmeversorgung spricht.	2
2.1.2 Der alte Ölkessel des Hallenbades hat eine Heizleistung von 500 kW. Ermitteln Sie den stündlichen Ölverbrauch bei einem Kesselwirkungsgrad von 95 %.	2
2.2 Pelletheizungsanlage	
In der Pelletheizungsanlage werden im Regelbetrieb 500 kg Pellets pro Stunde verbrannt.	
2.2.1 Stellen Sie die Reaktionsgleichung zur vollständigen Verbrennung von Holzpellets mit Luft auf. Berücksichtigen Sie dazu folgende vereinfachende Annahmen: Summenformel von Holz: $C_6H_{10}O_5$ Zusammensetzung der Luft: 20 % O_2 , 80 % N_2	2
2.2.2 Berechnen Sie den erforderlichen Luftvolumenstrom bei einer Verbrennung mit 20 % Luftüberschuss.	2
2.2.3 Bestimmen Sie die Wärmeleistung des Kessel bei einem thermischen Wirkungsgrad von 90 % bezogen auf den Heizwert.	1
2.2.4 Theoretisch kann auch bei Pelletfeuerungen der Wirkungsgrad mit Hilfe der Brennwerttechnik erhöht werden. Erläutern Sie die Ursache für die Wirkungsgradsteigerung durch die Brennwerttechnik. Berechnen Sie den theoretisch möglichen Wirkungsgrad einer Brennwert-Pelletheizungsanlage bezogen auf den Heizwert.	3
2.3 Abgasreinigung	
Die Emissionen von Holzfeuerungen sind deutlich höher als bei der Verbrennung von Erdgas oder Heizöl EL.	
2.3.1 Begründen Sie den wesentlichen Vorteil dieser Anlagen unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten.	1
2.3.2 Nennen Sie zwei Stoffgruppen, die in den Rauchgasen enthalten sind und zu Belästigungen führen können. Erläutern Sie deren Schadwirkung auf Mensch und Umwelt.	3

- 2.3.3 Zur Rauchgasreinigung steht ein Elektrofilter zur Diskussion. Beschreiben Sie den Einsatzzweck, skizzieren Sie den prinzipiellen Aufbau und erläutern Sie ausführlich die Funktionsweise. 3
- 2.3.4 Der Rauchgasvolumenstrom der beschriebenen Anlage beträgt 1500 m³/h (bezogen auf Normbedingungen), die abgeschiedene Staubmasse beträgt 1125 g/h. Der Abscheidegrad des Elektrofilters liegt bei 93,7 %. 2
- Berechnen Sie den Rohgasstaubgehalt und den Reingasstaubgehalt jeweils in mg/m³.

2.4 Energetische Sanierung

Im Rahmen der Baumaßnahme soll das Schulzentrum energetisch saniert werden. Dabei soll eine Wärmedämmung aufgebracht und moderne, wärmeschutzverglaste Fenster eingebaut werden.

Die unsanierte Gebäudeaußenwand weist folgenden Querschnitt auf

Nr.	Baustoff	Dicke
1	Gipsputz	2 cm
2	Bewehrter Stahlbeton 2400	24 cm
3	Kalkzementputz	2 cm

- 2.4.1 Die Innenraumluft eines Klassenzimmers hat im Winter eine Temperatur von 20°C und eine relative Luftfeuchte von 60%. Bestimmen Sie die Temperatur, bei der an der Innenseite der Außenwand Tauwasser anfällt. 2
- 2.4.2 An der ungedämmten Innenwandfläche kommt es vereinzelt zu Schimmelbildung. Geben Sie einen besonders gefährdeten Bereich mit Begründung an. 1
- Für die Sanierung ist Polyurethanschaum WLG 035 vorgesehen. Verputzt wird mit 2 cm Wärmedämmputz (WLG 060).
- 2.4.3 Nach der Sanierung soll auch bei einer Außentemperatur von -11 °C eine Innenwandoberflächentemperatur von 19 °C erreicht werden, um die Raumtemperatur von 20° C nicht zu beeinträchtigen. Ermitteln Sie die erforderliche Dämmstoffdicke. 4
- 2.4.4 Beurteilen Sie den Anteil der Transmissionswärmeverluste vor und nach der Sanierung. 2
- Beschreiben Sie das Verhältnis der Lüftungswärmeverluste zu den Transmissionswärmeverlusten vor und nach der Sanierung.

3 Wahlaufgabe Wasserkraft und GuD-Kraftwerk

Punkte

3.1 Vergleich zweier Wasserräder

Die Abbildungen zeigen zwei verschiedene Wasserräder. In Abb. 1 fließt das Wasser eines Kanals von oben auf das Wasserrad. In Abb. 2 ist das Wasserrad einfach in den Wasserkanal getaucht. Diese Option verursacht geringere Baukosten.

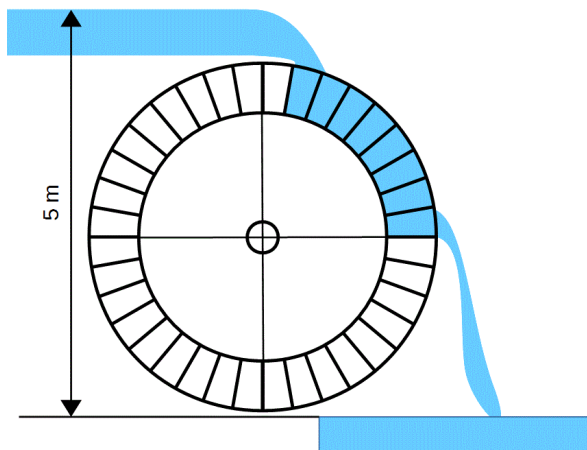


Abb. 1: oberflächiges Wasserrad

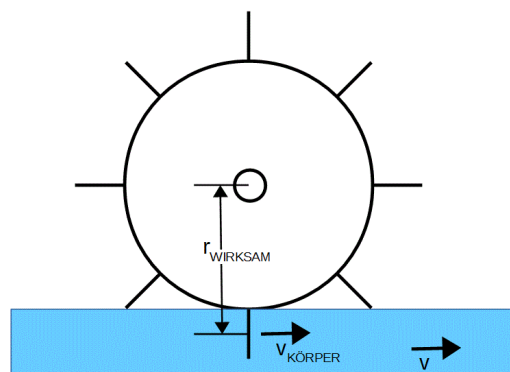


Abb. 2: unterflächiges Wasserrad

Die Teilaufgaben 3.1.1 bis 3.1.4 beziehen sich auf Abb. 1.

Wir nehmen folgende Vereinfachungen an: Es sind jeweils nur 8 der insgesamt 36 Kammern des Wasserrades vollständig gefüllt. Die Wassermasse in den gefüllten Kammern beträgt 400 kg. Daraus ergibt sich ein Drehmoment von $M = 6000 \text{ Nm}$.

- 3.1.1 Berechnen Sie die mechanische Leistung P_{Mech} , die das Wasserrad Abb. 1 im Betrieb abgibt, wenn es sich 30 mal pro Minute dreht. 2
- 3.1.2 Der Volumenstrom des zufließenden Wassers wird vollständig über das Wasserrad geführt. Zeigen Sie mithilfe der bekannten Drehzahl und der Wassermasse, dass der Volumenstrom $\dot{V} = 0,9 \text{ m}^3 / \text{s}$ beträgt. 2
- 3.1.3 Die gesamte hydraulische Leistung des zufließenden Kanals beträgt $P_{\text{hydro}} = 44,1 \text{ kW}$. Das Wasserrad wandelt davon nur ca. 43 % in mechanische Leistung um. Nehmen Sie Stellung zu den doch erheblichen Verlusten. 3
- 3.1.4 Weisen Sie nach, dass $P_{\text{hydro}} = 44,1 \text{ kW}$ beträgt und überprüfen Sie den Wirkungsgrad von 43 %. 3

Die Teilaufgaben 3.1.5 und 3.1.6 beziehen sich auf Abb. 2.

Betrachtet wird eine einzige Schaufel des Wasserrades, die senkrecht in den Wasserkanal eintaucht. Die Umfangsgeschwindigkeit in Schaufelmitte ($v_{\text{Körper}} = 1/3 \text{ m/s}$) ist kleiner als die Fließgeschwindigkeit des Kanal ($v = 1 \text{ m/s}$). Die Schaufel ($A = 0,64 \text{ m}^2$, $c_w = 1,2$) wird also mit der Differenzgeschwindigkeit senkrecht angeströmt. Die an $r_{\text{WIRKSAM}} = 2 \text{ m}$ angreifende Widerstandskraft der Schaufel führt zu einem Drehmoment auf der Achse.

- 3.1.5 Berechnen Sie das Drehmoment. 3

- 3.1.6 Das Drehmoment betrage $M = 341 \text{ Nm}$. Zeigen Sie, dass die mechanische Leistung des Wasserrads im Betrieb $56,8 \text{ W}$ beträgt. 2

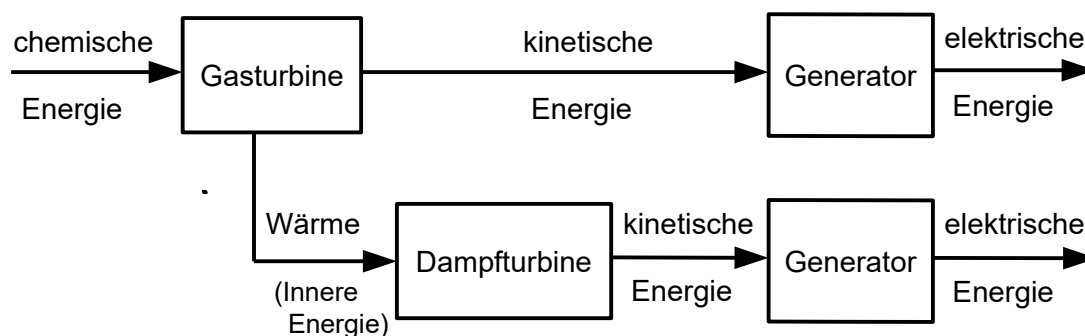
Bei den Teilaufgaben 3.1.7 und 3.1.8 werden die beiden Bauformen verglichen.

- 3.1.7 Vergleichen Sie die beiden Wasserräder hinsichtlich ihrer mechanischen Leistung. Erklären Sie den Unterschied. 2

- 3.1.8 Die so genannten überschlächtigen bzw. unterschlächtigen Wasserräder sind historische Bauformen. Nehmen Sie Stellung zur Möglichkeit der Effizienzsteigerung durch Einsatz von modernen Turbinenbauformen. 3

3.2 Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerk

Zur Absicherung von Spitzenlasten im Stromnetz betreibt der Energieversorger ein Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerk (GuD-Kraftwerk).



Blockschaltbild eines Gas- und Dampfkraftwerkes (GuD-Kraftwerk)

- 3.2.1 Zeichnen Sie das Anlagenschema eines einstufigen GuD-Kraftwerks. 2

- 3.2.2 Beschreiben Sie die Funktionsweise eines GuD-Kraftwerks. Erläutern Sie zwei Vorteile dieser Anlage gegenüber anderen Kraftwerkstypen. 2

- 3.2.3 Die Besucher des Kraftwerks können auf einer Schautafel bei der Dampfturbine folgende Kraftwerksdaten ablesen: 4

Dampfdruck vor der Turbine:	$p_{TE} = 150 \text{ bar}$
Dampf Temperatur vor der Turbine:	$\vartheta_{TE} = 527 \text{ °C}$
Dampfdruck im Kondensator:	$p_K = 0,04 \text{ bar}$
Der Nassdampfanteil am Turbinenausgang:	$x = 10 \%$

Bestimmen Sie mit Hilfe des T-S-Diagramms auf dem Arbeitsblatt die zur Verfügung stehende mechanische Arbeit und den thermischen Wirkungsgrad des Dampfkreislaufs.

- 3.2.4 Mit dem GuD-Kraftwerk soll durch eine Kraft-Wärme-Kopplung auch ein Fernwärmenetz betrieben werden. Um hierfür das notwendige Temperaturniveau zu erhalten, wird der überhitzte Dampf bei einer Temperatur von 80 °C aus der Turbine in einen Wärmetauscher für die Fernwärme ausgeleitet. Erläutern Sie die Folge für den Wirkungsgrad der Dampfturbine. 2

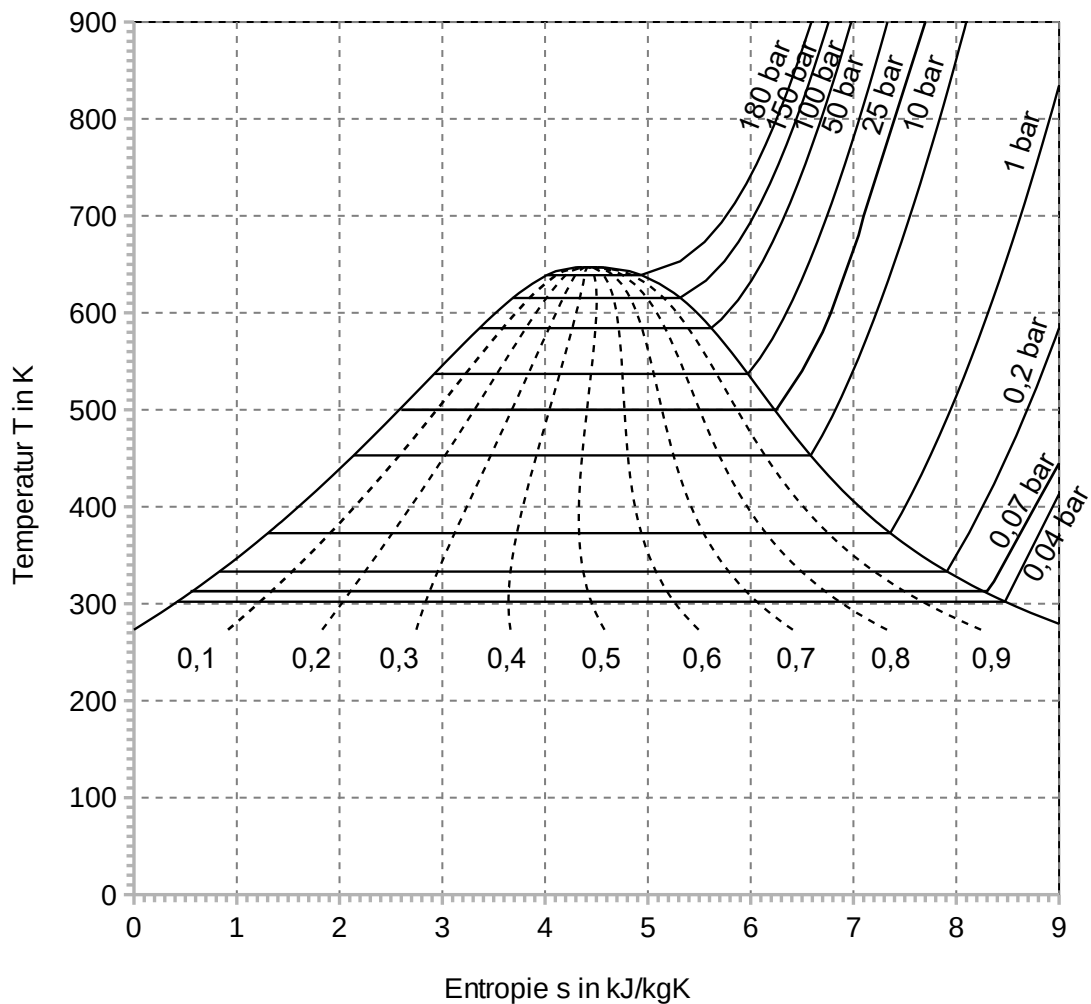
Arbeitsblatt

zur Aufgabe 3.2.3

Punkte

(4)

T,s-Diagramm von Wasser



4 Wahlaufgaben zu Blockheizkraftwerk, Trink- und Abwasser, Regelungstechnik

Punkte

4.1 Blockheizkraftwerk (BHKW)

Ein mit Erdgas betriebenes modernes BHKW soll den alten Niedertemperaturkessel der Gasheizungsanlage in einem großen Mehrfamilienhaus ersetzen.

- 4.1.1 Bei der Auslegung von Blockheizkraftwerken können aufgrund der Kraft-Wärme-Kopplung zwei verschiedene Betriebsweisen als Auslegungsvariante herangezogen werden.

2

Beschreiben Sie die Betriebsweisen und erläutern Sie, welche sich für den Einsatz in Wohngebäuden besser als Auslegungsvariante eignet.

Erläutern Sie, unter welchen Bedingungen die andere Betriebsweise als Auslegungsvariante herangezogen werden kann.

Für die Auslegung eines Blockheizkraftwerks ist die Kenntnis des Heizleistungsbedarfs der projektierten Anlage (Gebäude) von großer Bedeutung.

- 4.1.2 Zeichnen Sie die geordnete Jahresdauerkennlinie unter Zuhilfenahme des unten dokumentierten Heizleistungsbedarfs des alten Niedertemperaturkessels.

4

Schätzen Sie damit die notwendige Heizleistung eines geeigneten BHKW ab und begründen Sie Ihre Annahme.

Monat	Gasverbrauch Niedertemperaturkessel [m ³]	Heizleistung [kW]
Januar	1960	21,1
Februar	1523	18,1
März	1136	12,2
April		6,1
Mai	435	5,3
Juni	203	2,3
Juli	190	2,0
August	198	2,1
September	450	5,0
Oktober	830	8,9
November	1290	14,3
Dezember	1681	18,1

- 4.1.3 Die alte Niedertemperaturkessel - Heizungsanlage besitzt einen Nutzungsgrad von 80 %. Ermitteln Sie den Gasverbrauch dieser Anlage für den Monat April, wenn die Betriebsdauer 720 Stunden beträgt.

3

Vom projektierten BHKW sind die Wirkungsgrade $\eta_{th} = 45\%$ und $\eta_{el} = 35\%$ bekannt.

- 4.1.4 Die Niedertemperaturheizung benötigt nur rund die Hälfte der im BHKW zum Heizen verbrannten Gasmenge. Dennoch ist der Austausch sinnvoll. Begründen Sie diesen Sachverhalt.

2

- 4.1.5 Berechnen Sie die elektrische Arbeit W_{el} , welche im betrachteten Monat April (720 Betriebsstunden) vom BHKW erzeugt worden wäre.

2

4.2 Trink- und Abwasser

Das im Mehrfamilienhaus anfallende Abwasser wird in der nahe liegenden Kläranlage in mehreren Stufen gereinigt.

- 4.2.1 Nennen Sie zwei Teilschritte der ersten Reinigungsstufe einer Kläranlage und beschreiben Sie kurz, welche Stoffe jeweils entfernt werden. 2

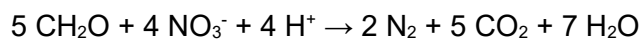
Phosphat wird in der chemischen Reinigungsstufe durch eine Fällungsreaktion eliminiert.

- 4.2.2 Erläutern Sie ein Problem, das entstehen kann, wenn das Phosphat ungereinigt in ein Gewässer gelangt. 1

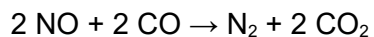
- 4.2.3 Beschreiben Sie den Vorgang der Fällung. Begründen Sie, welche Reinigungsstufe anschließend erforderlich ist. 2

Die Entfernung von Stickstoffverbindungen erfolgt in der biologischen Reinigungsstufe in mehreren Teilreaktionen.

- 4.2.4 Die Bruttogleichung der Denitrifikation lautet: 2



Vergleichen Sie diese Reaktionsgleichung mit der zur Reduktion von Stickstoffmonoxid in einer SCR-Anlage:

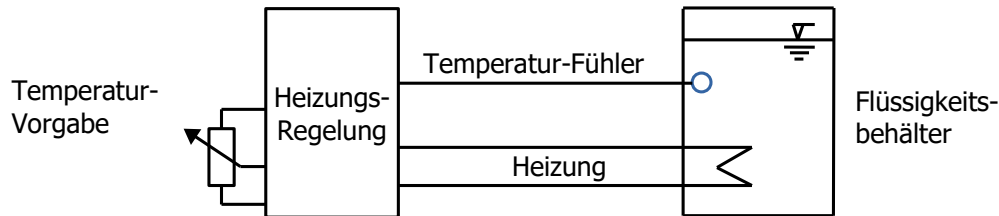


Analysieren Sie die Parallele zwischen den beiden Reaktionen.

Begründen Sie, welche Voraussetzung in beiden Fällen erforderlich ist, damit die Reaktionen nach den beschriebenen Mechanismen ablaufen können.

4.3 Regelungstechnik

Die Temperatur der Flüssigkeit in einem Behälter soll mithilfe einer Heizungsregelung einem vorgegebenen Wert nachgeführt werden.



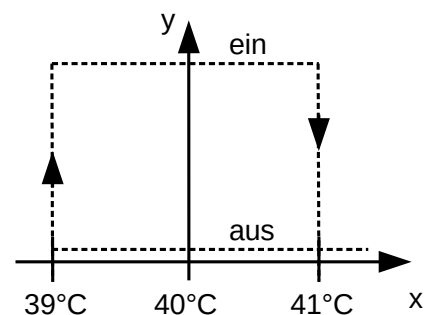
4.3.1 Erklären Sie den Unterschied zwischen einer Steuerung und einer Regelung. 1

4.3.2 Beschreiben Sie den Unterschied zwischen einem stetigen Regler und einem Zweipunkt-Regler. 1

Als Heizungsregelung wird ein Zweipunkt-Regler eingesetzt.

4.3.3 Gegeben ist die Übertragungsfunktion der Stellgröße y in Abhängigkeit der Regelgröße x . 2

Entnehmen Sie der Darstellung die Führungsgröße w sowie die Hysterese des Zweipunktreglers.



Im Folgenden soll das Verhalten der Temperaturnachführung mit Hilfe des obigen Zweipunkt-Reglers untersucht werden.

Beim Heizen nimmt die Temperatur in einer Minute näherungsweise um 1°C zu, beim Abkühlen nimmt die Temperatur in zwei Minuten näherungsweise um 1°C ab.

4.3.4 Skizzieren Sie den zeitlichen Verlauf der Behältertemperatur. Beginnen Sie bei einer Starttemperatur von 37°C . Stellen Sie den Verlauf für eine Dauer von 20 min dar. 3

Maßstab: $1\text{ cm} \rightarrow 1^\circ\text{C}$; $1\text{ cm} \rightarrow 2\text{ min}$

4.3.5 Erstellen Sie unter der Lösung der Aufgabe 4.3.4 ein zweites Diagramm. Skizzieren Sie darin die Funktion der Stellgröße y in Abhängigkeit von der Zeit. 1

Maßstab: $2\text{ cm} \rightarrow \text{ein}$; $1\text{ cm} \rightarrow 2\text{ min}$

4.3.6 Die Temperaturnachführung mit dem eingesetzten Zweipunkt-Regler erweist sich als zu ungenau. Geben Sie zwei Lösungsmöglichkeiten zur Verbesserung der Genauigkeit an und bewerten Sie diese. 2

TG Umwelttechnik**Abitur 2017/2018****Hauptprüfung**

Arbeitszeit:	270 Minuten	
Hilfsmittel	Formelsammlung Umwelttechnik Zugelassener Taschenrechner	
Stoffgebiet	Teil 1: Pflichtbereich	
	Aufgabe 1: Photovoltaik Energieübertragung Windkraft	(3 Seiten)
	Aufgabe 2: Wärmeschutz BHKW	(3 Seiten)
	Teil 2: Wahlbereich	
	Aufgabe 3: Elektrofahrzeug Solarthermisches Kraftwerk	(4 Seiten)
	Aufgabe 4: Wohnklima Wärmepumpe als Klimaanlage Temperaturregelung	(4 Seiten)

Bemerkungen

Die Aufgaben 1 und 2 (Pflichtbereich) sind von allen Prüflingen zu bearbeiten.
Aus den Aufgaben 3 und 4 (Wahlbereich) wählt die Schülerin/der Schüler eine Aufgabe aus.

Der Aufgabensatz umfasst 15 Seiten (inklusive diesem Deckblatt).

Bitte entnehmen Sie den Aufgaben die beigefügten Arbeitsblätter und geben Sie diese mit Ihrer Reinschrift ab.

Sie sind verpflichtet, die Vollständigkeit des Aufgabensatzes umgehend zu überprüfen und fehlende Seiten der Aufsicht führenden Lehrkraft anzuzeigen. Jede Aufgabe ist mit einem neuen Blatt zu beginnen. Bei Verstößen gegen die angemessene Darstellungsform kann ein Punkteabzug erfolgen.

1 Pflichtaufgabe zur Photovoltaik, Energieübertragung, Windkraft

1.1 Solaranlage in Kleingartenanlage

Eine Hütte in einer Kleingartenanlage soll mit Elektrizität versorgt werden. Dazu wird ein Solarmodul verwendet, dessen Kennlinie zusammen mit der Kennlinie der Hüttenbeleuchtung auf dem Arbeitsblatt gegeben ist.

- 1.1.1 Markieren Sie die Punkte U_{OC} und I_{SC} für die Kennlinie 1. Geben Sie Zahlenwerte an und erklären Sie die Begriffsbezeichnungen für U_{OC} und I_{SC} . 2
- 1.1.2 Die Leerlaufspannung einer Solarzelle bei STC wird mit ca. 0,61 V angegeben. Begründen Sie, aus wie vielen Solarzellen das verwendete Modul besteht und wie diese verschaltet sind. Geben Sie auch I_{SC} einer Solarzelle an. 2
- 1.1.3 Die verwendeten Solarzellen haben eine dunkelviolette, einfarbige Oberfläche mit dünnen Streifen. Geben Sie an, um welchen Solarzellentyp es sich hierbei handelt und nennen Sie einen Vorteil und einen Nachteil gegenüber anderen Solarzellentypen. 2
- 
- 1.1.4 An dem Solarmodul wird die Hütten-Beleuchtung direkt betrieben, die sich elektrisch wie ein ohm'scher Widerstand verhält. (vgl. Kennlinie 3 auf dem Arbeitsblatt) Bestimmen Sie den Widerstand der Beleuchtung und berechnen Sie die elektrische Leistung, die das Solarmodul unter STC an die Beleuchtung abgibt. 2
- 1.1.5 Ermitteln Sie die zur Kennlinie 2 gehörende Einstrahlung E_2 . Weisen Sie nach, dass die elektrische Leistung der Beleuchtung nun auf ca. 38 % gesunken ist. Begründen Sie, weshalb die elektrische Leistung der Beleuchtung stärker sinkt, als die Leistung der Sonnen-Einstrahlung. 5
- 1.1.6 Um aus dem Modul immer die maximale Leistung zu beziehen, könnte man einen Wechselrichter einsetzen. Benennen Sie, welche Funktion des Wechselrichters dafür zuständig ist, dass die Leistungsabgabe optimal ist, und erläutern Sie die Arbeitsweise dieser Funktion. 2

1.2 Energieübertragung

- 1.2.1 Neben den Kleingärten befindet sich eine große Freifeld-Photovoltaikanlage, die ins Netz einspeist. Wechselrichter, die ins Netz einspeisen, müssen nach neuesten Vorschriften auch Blindleistung kompensieren können. Geben Sie an, was man unter Blindleistungskompensation versteht und wodurch Blindleistung entsteht. 2
- 1.2.2 Um die Energieversorgung in Süddeutschland zu sichern, sind neue Gleichstromtrassen vom Norden in den Süden geplant. Erläutern Sie, welchen Vorteil eine Energieübertragung mit Gleichstrom (HGÜ) gegenüber der Übertragung mit Drehstrom hat. Zeigen Sie ebenfalls auf, weshalb bei der Freiluftübertragung trotz evtl. Vorteile eher Drehstrom übertragen wird und weshalb bei Erd- und Seekabeln eher HGÜ zum Einsatz kommt. 2

1.3 Windkraftanlage

Zwei weitere Grundstücke der Kleingartenanlage wollen zusammen eine kleine Windkraftanlage errichten. Als Verbraucher werden die Hüttenbeleuchtungen und zwei Kühlschränke direkt angeschlossen.

Aufgrund der Bebauung wird der Wind ständig abgelenkt, so dass er böig aus unterschiedlichen Richtungen auf die Windkraftanlage auftrifft. Laut Bauordnung dürfen nur Bauten mit max. 7 m Höhe in der Gartenanlage errichtet werden.

Die Garteneigentümer erwerben preisgünstig die nebenstehend abgebildete Kleinwindkraftanlage mit Darrieus-Helix-Rotor.

Daten der Windkraftanlage:

Die wirksame vom Wind durchströmte Fläche ist ungefähr rechteckförmig mit den Maßen 1,5 m x 1,42 m.

Nennbetrieb bei $v_{\text{wind}} = 12 \text{ m/s}$:

$P_{\text{elekt}} = 600 \text{ W}$, $n = 300 \text{ min}^{-1}$

Generatorwirkungsgrad: $\eta_{\text{Gen}} = 0,85$



- | | | |
|-------|---|-----|
| 1.3.1 | Die Windkraftanlage hat eine Nennleistung von 600 W. Die Kühlschränke benötigen je 90 W und die Beleuchtung insgesamt 200 W. Nehmen Sie Stellung zu der Aussage, dass die Windkraftanlage den Energiebedarf der Hütten vollkommen abdeckt. Beachten Sie auch die Generatorkennlinie auf dem Arbeitsblatt. | 2 |
| 1.3.2 | Berechnen Sie die Umfangsgeschwindigkeit u und die Schnelllaufzahl λ im Nennbetrieb. | 2 |
| 1.3.3 | Schätzen Sie mithilfe der berechneten und gegebenen Daten ab, ob die Anlage besonders leise arbeitet. | 2 |
| 1.3.4 | Kennzeichnen Sie in der Kennlinie $P_{\text{elekt}}(v_{\text{wind}})$ auf dem Arbeitsblatt folgende Begriffe: Einschaltwindgeschwindigkeit v_E , Nenngeschwindigkeit v_N , Abschaltwindgeschwindigkeit v_A , Teillastbereich TB, Volllastbereich VB. | 2,5 |
| 1.3.5 | Berechnen Sie den Leistungsbeiwert c_p . Begründen Sie, warum diese Anlage in der Kleingartenanlage trotz des geringeren Leistungsbeiwerts unter Umständen größere Erträge liefert als ein üblicher 3-Blatt-Rotor. | 2,5 |

Arbeitsblatt

Punkte

zu den Aufgaben 1.1.1, 1.1.4, 1.1.5:

Kennlinie 1: Solarmodul bei Standard-Test-Bedingungen STC, $E = 1000 \text{ W/m}^2$

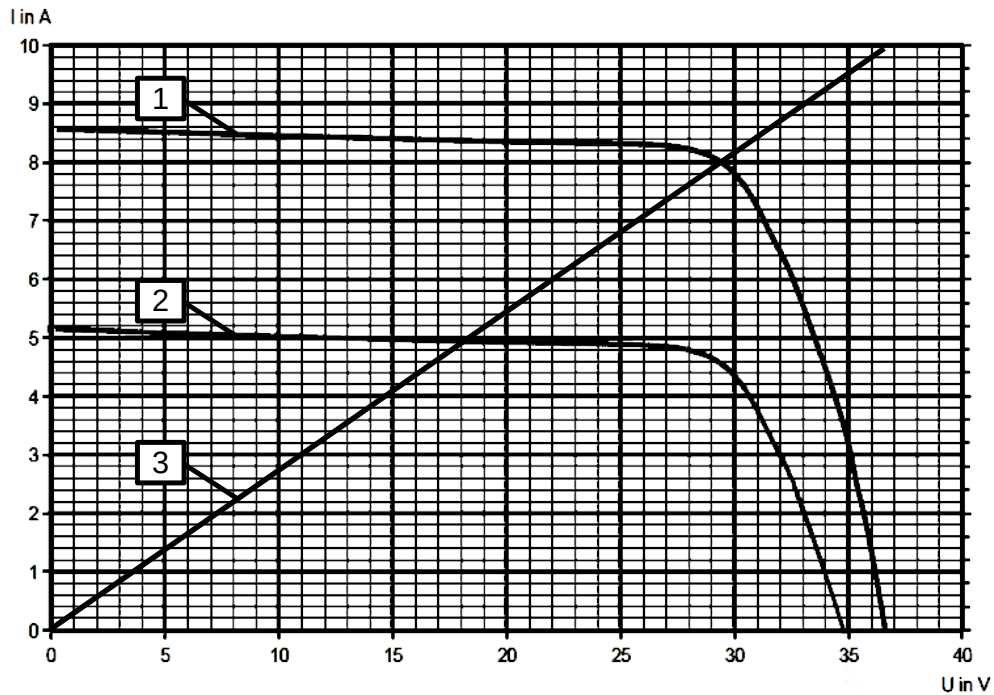
(2)

Kennlinie 2: Solarmodul bei unbekannter Einstrahlung E_2 bei $25 \text{ }^\circ\text{C}$

(2)

Kennlinie 3: Hüttenbeleuchtungsanlage (Leuchtmittel mit Vorschaltgerät)

(5)

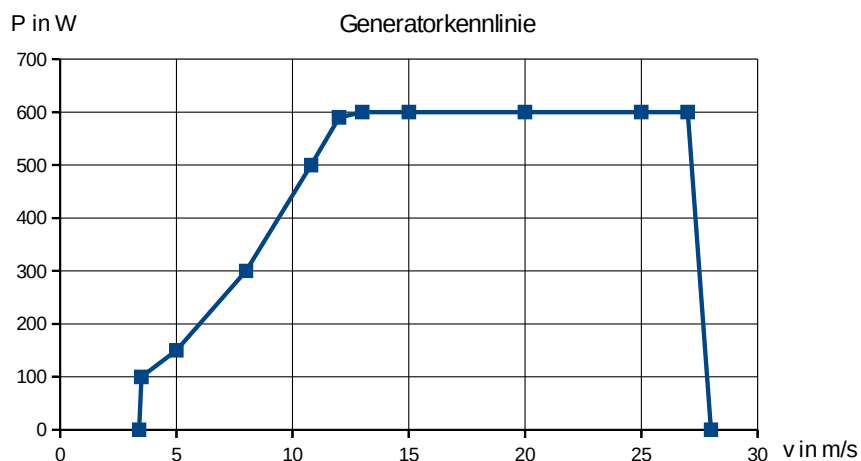


zu den Aufgaben 1.3.1, 1.3.4:

Pelekt (v_{wind}) des Windgenerators

(2)

(2,5)



2 Wärmeschutz und BHKW

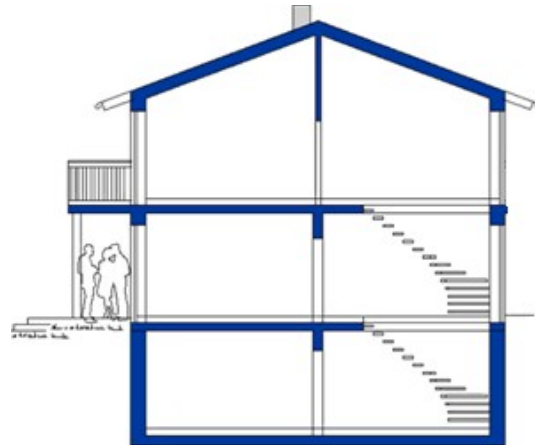
Punkte

2.1 Wärmeschutz in einem Reihenhaus

Bei der Planung eines Reihenhauses mit vier Einheiten fertigt der Architekt die abgebildete Schnittzeichnung des Hauses an.

Das Reihenhaus ist mit der Balkonseite nach Süden ausgerichtet.

Die dreifach verglasten Fenster weisen einen U-Wert von $U_{\text{Fenster}} = 0,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ auf.



2.1.1 Die Schnittzeichnung enthält eine bauliche Maßnahme für den sommerlichen Wärmeschutz. Erläutern Sie diese Maßnahme.

2

2.1.2 Zeichnen Sie in der Schnittzeichnung auf dem Arbeitsblatt zwei mögliche Wärmebrücken ein und begründen Sie Ihre Wahl.

2

2.1.3 An einem Wintertag herrscht eine Temperaturdifferenz von $\Delta T = 30 \text{ K}$ zwischen Wohnraum- und Außenlufttemperatur. Die solare Einstrahlung auf die Fensterscheibe beträgt zu diesem Zeitpunkt $300 \text{ W}/\text{m}^2$. Gehen Sie davon aus, dass 45 % des Sonnenlichts durch das Fenster dringen und die Raumluft erwärmen. Vergleichen Sie mit einer geeigneten Berechnung die Verlustwärmeleistung nach außen mit der eingebrachten solaren Leistung nach innen an der Fensterfläche. Bewerten Sie Ihr Ergebnis.

4

Die tragenden Elemente der Außenwände bestehen aus folgenden Baustoffschichten:

Innenputz: Gipsputz ($d = 2 \text{ cm}$)
 Mauerwerk: Kalksandstein, Rohdichteklasse 1000 ($d = 30 \text{ cm}$)
 Außendämmung: Polystyrolplatten (EPS) WLG 032
 Außenputz: Wärmedämmputz WLG 060 ($d = 2 \text{ cm}$)

2.1.4 Erläutern Sie die strukturellen Gemeinsamkeiten im Aufbau aller Wärmedämmstoffe.

1

2.1.5 Bestimmen Sie die Schichtdicke der Dämmung, wenn der Wärmedurchgangskoeffizient der Außenwand mindestens $U_{\text{Wand}} = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ betragen soll.

4

2.1.6 Die EnEV fordert, dass die wärmeübertragenden Außenflächen einschließlich der Fugen dauerhaft luftundurchlässig abgedichtet sein müssen. Begründen Sie die Notwendigkeit einer luftdichten Gebäudehülle (zwei Gründe).

2

2.1.7 Bewerten Sie die Empfehlung des Architekten, die Dämmung außen anzubringen (zwei bauphysikalische Argumente).

2

2.2 Blockheizkraftwerk (BHKW)

Zur Nahwärmeversorgung des Reihenhauses soll ein Blockheizkraftwerk aufgestellt werden. Dieses wird mit einem Ottomotor betrieben. Es besitzt eine elektrische Nennleistung von 65 kW und eine thermische Nennleistung von 100 kW.

Hinweis: 1 Monat hat 30 Tage

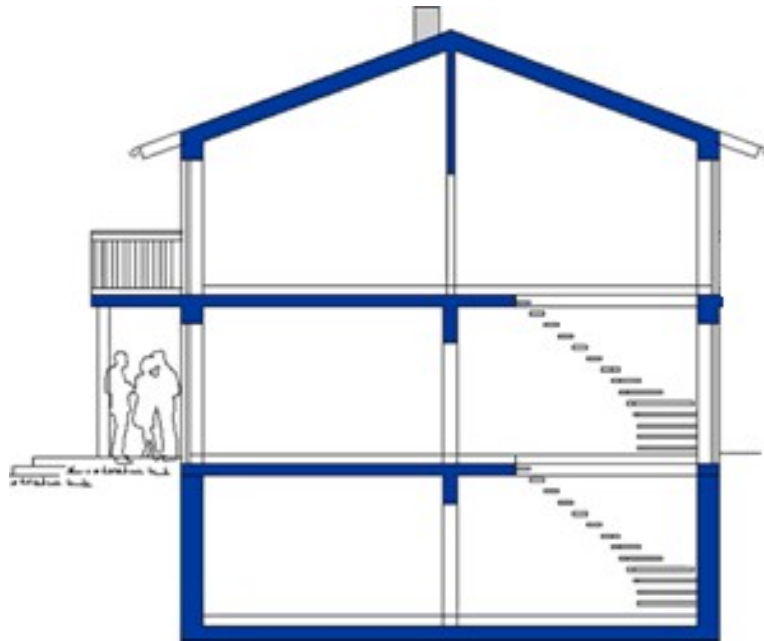
- | | | |
|-------|--|---|
| 2.2.1 | Erklären Sie die Funktionsweise des oben beschriebenen BHKWs und zeichnen Sie die Energieströme für diesen Prozess in ein Blockschaltbild. | 3 |
| 2.2.2 | Zeichnen Sie die erzeugte Wärmemenge im Nennbetrieb in das Diagramm „Jahresdauerlinie“ auf dem Arbeitsblatt ein.
Berechnen Sie die pro Jahr erzeugte Wärmemenge in kWh. | 2 |
| 2.2.3 | Durch Modulation der Motorleistung im Bereich 50 - 100 % der Nennleistung kann die Gesamtlaufzeit des BHKWs verlängert werden.
Berechnen Sie näherungsweise die zusätzlichen Volllaststunden, die durch die Leistungsmodulation erreicht werden können. | 3 |
| 2.2.4 | Die Anlage wird mit Erdgas betrieben und hat einen Gesamtwirkungsgrad von 90 %.
Berechnen Sie die benötigte jährliche Brennstoffmenge in m ³ , wenn die Anlage 5940 h/a läuft. | 3 |
| 2.2.5 | Bei der Auslegung der Anlage wird der Einbau eines wassergefüllten Pufferspeichers vorgesehen. Begründen Sie den sich daraus ergebenden Vorteil. | 1 |
| 2.2.6 | Erläutern Sie, inwiefern das projektierte BHKW die Wärmeversorgung gewährleisten kann. | 1 |

30

Arbeitsblatt

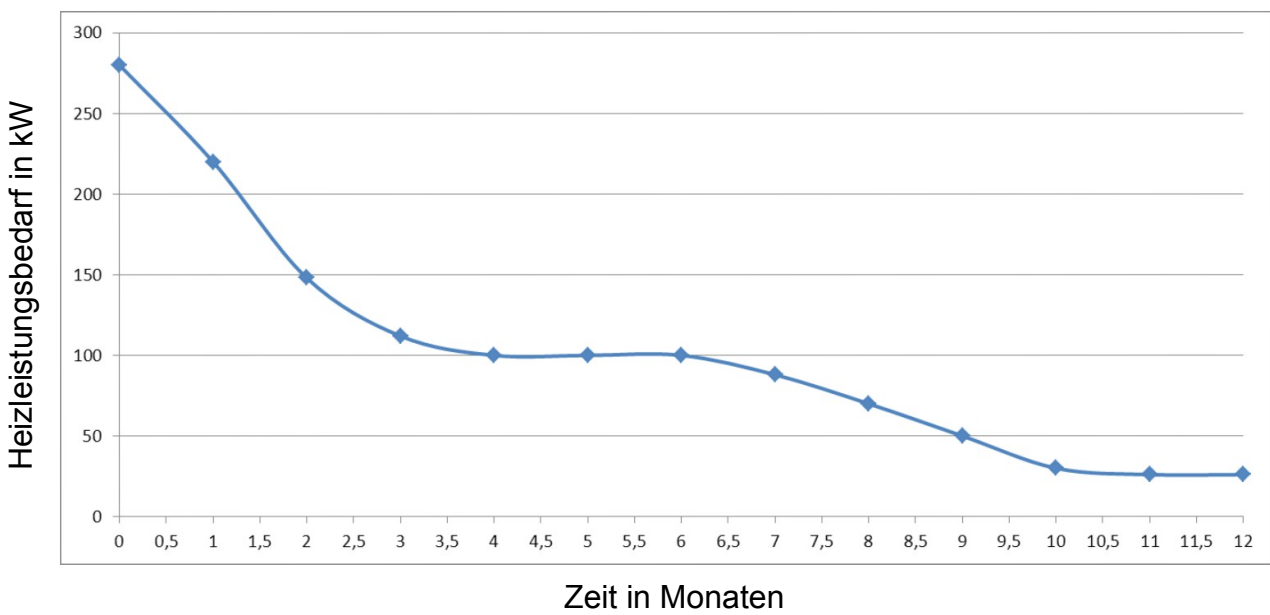
zu Aufgabe 2.1.2

Punkte



(2)

zu Aufgabe 2.2.2 und 2.2.3: Diagramm „Jahresdauerlinie“



(2)

(3)

3 Wahlaufgabe zum elektrischen Fahrzeug und zum solarthermischen Kraftwerk

3.1 Batterieelektrisches Fahrzeug

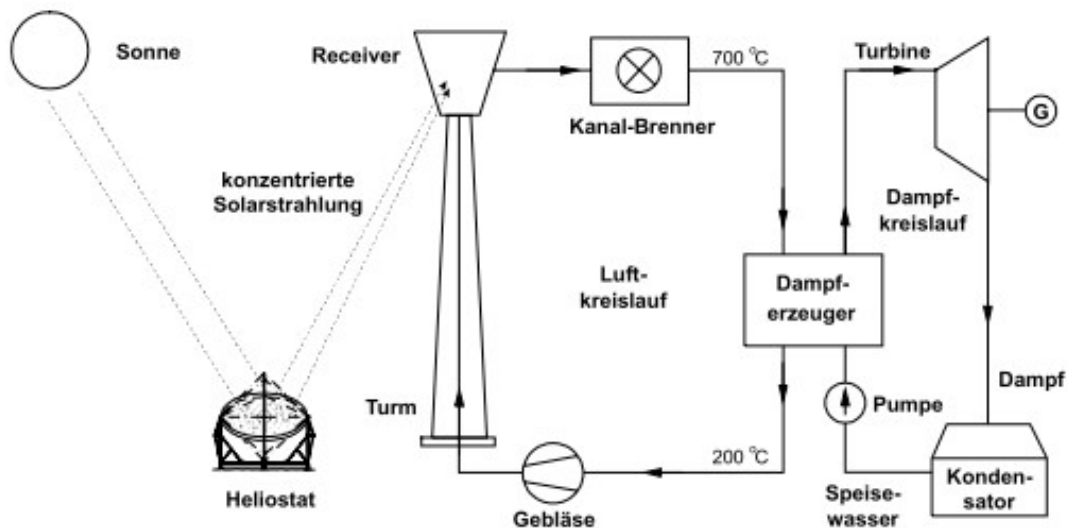
In der kompletten Aufgabe 3.1 wird ein batterieelektrisches Fahrzeug untersucht. Es gelten die Werte in der Tabelle und im Wirkungsgradkennfeld auf dem Arbeitsblatt.

Fahrzeugdaten		Motor	
Höchstgeschwindigkeit v_{\max}	165 km/h	Maximale Drehzahl n_{\max}	12 000 min^{-1}
Batterie		Maximales Drehmoment M_{\max}	250 Nm
Nennspannung U_{Bat}	360 V	Verlustwiderstand R_{Verlust} (Ankerwiderstand)	0 Ω
Maximale Ladung W_{Bat}	20 kWh	Max. Klemmenspannung $U_{\text{KL,max}}$ (Ankerspannung)	360 V

- 3.1.1 Im Wirkungsgrad-Kennfeld (siehe Arbeitsblatt) ist neben den Wirkungsgraden auch die Volllastkennlinie des Elektromotors abgebildet. Beschreiben und begründen Sie den Verlauf der Kennlinie. 2
- 3.1.2 Das Fahrzeug wird von Arbeitspunkt A zu Arbeitspunkt B maximal beschleunigt. Tragen Sie den entsprechenden Verlauf von einem zum anderen Arbeitspunkt im Wirkungsgrad-Kennfeld auf dem Arbeitsblatt ein und erläutern Sie diesen. 2
- 3.1.3 Begründen Sie, wie die Straße verläuft, wenn man vom Arbeitspunkt A auf den Arbeitspunkt C beschleunigt, wie dies auf dem Arbeitsblatt angegeben ist. 1,5
- 3.1.4 Berechnen Sie die Geschwindigkeit im Arbeitspunkt B und weisen Sie nach, dass die Klemmenspannung des Motors 270 V beträgt. 3
- 3.1.5 Bestimmen Sie im Arbeitspunkt B den Wirkungsgrad von dem Motor mit Leistungselektronik. Berechnen Sie den Batteriestrom. 2,5
- 3.1.6 Die Batteriespannung wird mittels des PWM-Prinzips auf die mittlere Motorspannung von 270 V herabgesetzt. Berechnen Sie den Tastgrad der PWM. 1
- 3.1.7 Begründen Sie, weshalb hier das PWM-Prinzip zur Reduzierung der Batteriespannung eingesetzt wird und nicht ein Vorwiderstand. 2
- 3.1.8 Das Fahrzeug kommt an eine Steigung. Es fährt nun 48 km/h. Der Motor liefert ein Drehmoment von 100 Nm bei einer Drehzahl von $n = 3500 \text{ min}^{-1}$. Die vom Motor abgegebene Leistung beträgt $P_{\text{mech}} = 36,7 \text{ kW}$. Berechnen Sie, wie weit das Fahrzeug unter diesen Bedingungen mit einer Batterie-Restladung von 14,5 kWh fahren kann. 4
- 3.1.9 In einem $M(n)$ -Diagramm kann der Betrieb einer elektrischen Maschine in allen vier Quadranten dargestellt werden. Kennzeichnen Sie im Diagramm auf dem Arbeitsblatt die vier Quadranten mit den Begriffen vorwärts / rückwärts und Motorbetrieb / Generatorbetrieb. 2

3.2 Solarthermisches Kraftwerk

Zu Versuchszwecken wurde ein Solarturmkraftwerk erstellt. Als Wärmeüberträger wird Luft eingesetzt, welche im Receiver durch die Solarstrahlung auf eine Temperatur von mindestens 700 °C erwärmt wird. Ist die Solarstrahlung zu gering, um den Wärmeenergiebedarf zur Dampferzeugung zu decken, wird ein erdgasbetriebener Kanal-Brenner zur zusätzlichen Erwärmung der Luft eingesetzt. Der Aufbau der Anlage ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

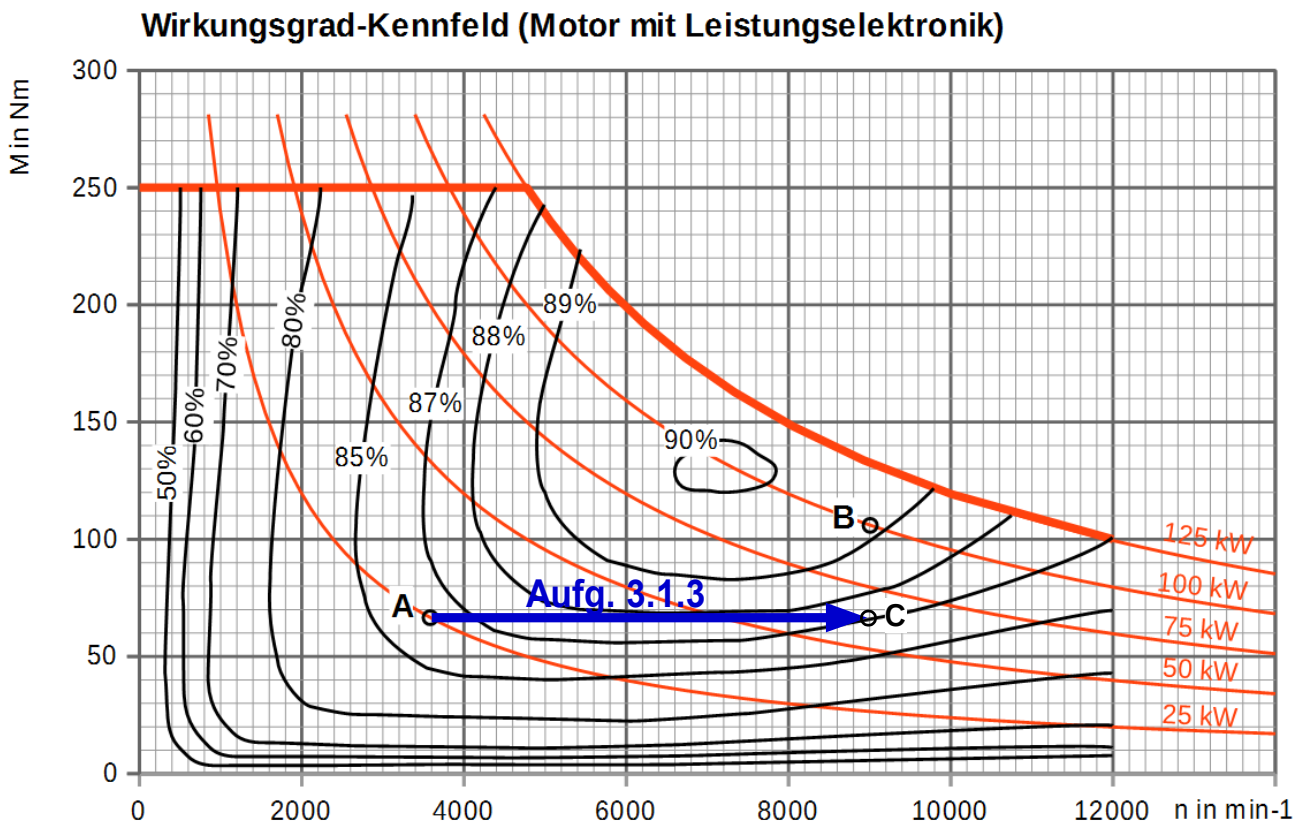


- 3.2.1 Zum Betrieb des Kraftwerkes beträgt die jährliche solare Einstrahlung rund 395,8 GWh. Der mittlere Wirkungsgrad des Heliostatenfeldes ist 60,7 %. Die Betriebsdauer des Kraftwerks beträgt im Durchschnitt 10 Stunden pro Tag. Im Receiver ($\eta_R = 73\%$) wird die Luft bei konstantem Druck von 200 °C auf 700 °C erwärmt. Ermitteln Sie die Luftmasse, die in einer Betriebsstunde erwärmt werden kann. 4
- 3.2.2 Die Speisewasserpumpe führt dem Dampferzeuger 60 °C warmes Wasser zu. Dieses wird dort mithilfe der heißen Luft erhitzt, verdampft und überhitzt. Bei 100 bar Anlagendruck beträgt die Turbineneingangstemperatur 487 °C. Am Turbinenausgang ist der Wasseranteil des Dampfes auf 10 % angestiegen. Zeichnen Sie den Dampfkreisprozess im T,s-Diagramm (s. Arbeitsblatt) ein. 2
- 3.2.3 Bei ungünstiger Wetterlage reicht die Solarenergiemenge häufig nur dazu, das Wasser im Dampferzeuger auf Siedetemperatur zu erwärmen und einen Anteil von 50 % zu verdampfen. Die für die vollständige Verdampfung und die anschließende Überhitzung des Wasserdampfes benötigte Wärmeenergie wird dann vom erdgasbetriebenen Kanal-Brenner geliefert. Ermitteln Sie mithilfe des T,s-Diagramms die spezifische Wärmemenge q in kJ/kg, die einerseits vom Receiver und andererseits vom Kanal-Brenner geliefert wird. 4

Arbeitsblatt

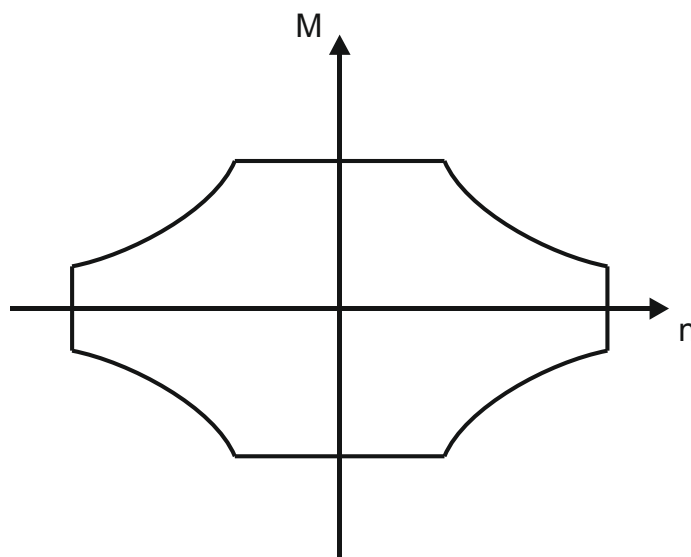
zu Aufgabe 3.1.1 bis 3.1.5, 3.1.8:

3.1.2:
(2)



zu Aufgabe 3.1.9:

(2)

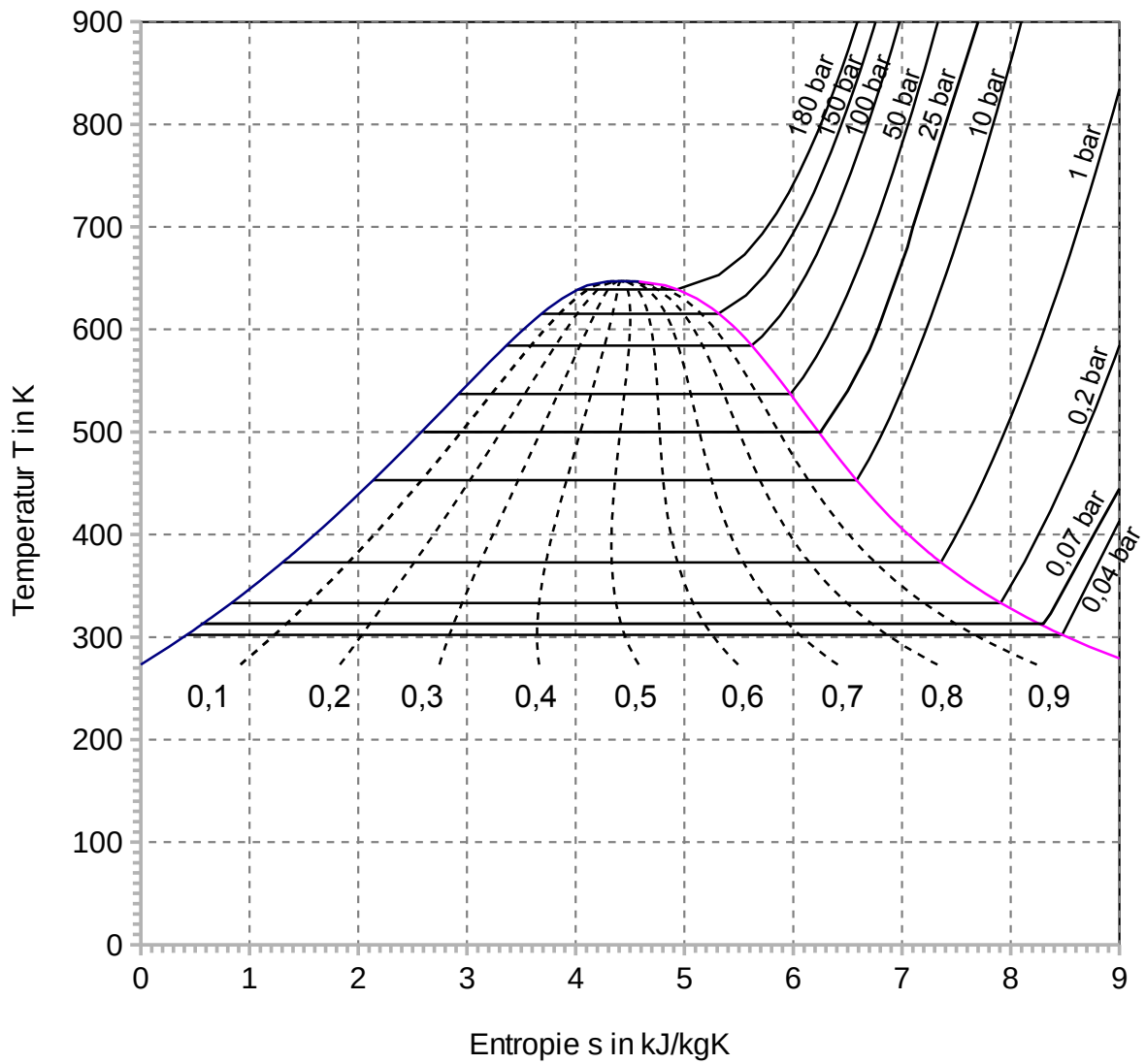


Arbeitsblatt

zu Aufgabe 3.2.2 und 3.2.3:

Punkte

T,s-Diagramm von Wasser



(2)

(4)

4 Wahlaufgabe zum Wohnklima, zur Wärmepumpe als Klimaanlage und zur Temperaturregelung	Punkte
4.1 Multi-Split-Klimaanlage / Wärmepumpe	
<p>Ein älteres Bürogebäude soll mit einer Multi-Split-Klimaanlage nachgerüstet werden. Diese Anlage hat das Funktionsprinzip einer Wärmepumpe. Sie arbeitet mit einem Außenteil und mehreren daran angeschlossenen Innengeräten. Es ist sowohl Kühlbetrieb als auch Heizbetrieb vorgesehen.</p>	
<p>4.1.1 Beschreiben Sie die Arbeitsweise der Anlage als Gerät zur Kühlung der Büroräume und benennen Sie die Zustandsänderungen des Kältemittels. Beschriften Sie außerdem die Anlagenskizze auf dem Arbeitsblatt und kennzeichnen Sie die bauliche Lage innerhalb oder außerhalb des Gebäudes.</p>	4
<p>4.1.2 Das Gerät kann (durch Betätigung eines Umschaltventils) auch als Wärmepumpe zum Heizen der Büroräume genutzt werden. Erklären Sie die Veränderung der Betriebsweise zwischen Kühl- und Heizbetrieb.</p>	2
<p>4.1.3 Für das Klimagerät ist eine Heizleistung von 4,0 kW und eine Kühlleistung von 3,5 kW angegeben. Begründen Sie die Differenz in den Leistungsangaben mit Hilfe eines (nicht maßstäblichen) Energieflussdiagramms.</p>	2
<p>4.1.4 Ein Käufer eines Gerätes möchte die Effizienz verschiedener Geräte vergleichen. Im Prospekt findet er Angaben zum COP (Coefficient of Performance) und zur Jahresarbeitszahl β. Erläutern Sie die Aussage der beiden Kennwerte. Begründen Sie, welcher besser für den Vergleich unterschiedlicher Geräte besser geeignet ist.</p>	3
4.2 Gebäudeklimatisierung	
<p>Die Multi-Split-Klimaanlage dient zur Klimatisierung des Bürogebäudes. An einem Sommertag wird Raumluft mit einer Temperatur $\vartheta = 28\text{ °C}$ und einer relativen Feuchte $\phi = 60\%$ angesaugt und in der Klimaanlage auf $\vartheta = 5\text{ °C}$ abgekühlt.</p>	
<p>4.2.1 Zeichnen Sie die Zustandsänderung der angesaugten Luft im h,x-Diagramm auf dem Arbeitsblatt ein und begründen Sie den Verlauf. Ermitteln Sie die Masse an Wasser, die dabei je kg trockener Luft zu- beziehungsweise abgeführt werden muss.</p>	4
<p>4.2.2 Ermitteln Sie die Temperatur und die relative Luftfeuchte, wenn die Hälfte der Raumluft durch die Klimaanlage wie oben beschrieben abgekühlt wurde.</p>	3
<p>4.2.3 Neben der bisher betrachteten Möglichkeit, die Hälfte der Raumluft stark abzukühlen und die Luftmassen zu mischen, wird überlegt, die gesamte Raumluft direkt auf 22 °C abzukühlen. Vergleichen Sie beide Möglichkeiten hinsichtlich der Behaglichkeit.</p>	2

4.3 Temperaturregelung

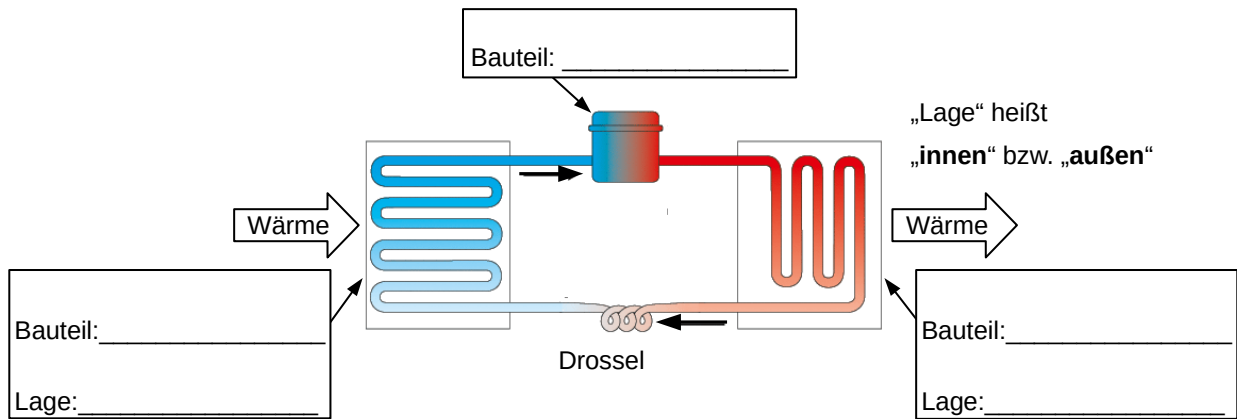
Ein Raum wird über die Klimaanlage auf eine gewünschte Temperatur geregelt. Der Regler schaltet die Heizen-Funktion der Klimaanlage direkt mit der Netzspannung $U = 230\text{ V}$ ein bzw. aus. Die Grafik auf dem Arbeitsblatt zeigt die Sprungantwort der Strecke und den Temperaturverlauf mit Regelung.

- | | | |
|-------|--|---|
| 4.3.1 | Benennen Sie das Regelstreckenverhalten der Regelstrecke und den verwendeten Reglertyp und begründen Sie kurz Ihre Antwort. | 2 |
| 4.3.2 | Zeichnen Sie in das untere Diagramm auf dem Arbeitsblatt ein, wann die Heizung mit dem Stellsignal y ein- und ausgeschaltet wird. Achten Sie darauf, dass die Zeitachse zum dargestellten Temperaturverlauf passt. | 2 |
| 4.3.3 | Bestimmen Sie den Sollwert w und die Hysterese x_D des Reglers. Kennzeichnen Sie diese Größen zusätzlich in der Kennlinie. | 2 |
| 4.3.4 | Die Hysterese wird verkleinert. Nennen Sie zwei Auswirkungen auf die Eigenschaften der Regelung. Begründen Sie, warum man auf die Hysterese nicht verzichten sollte. | 2 |
| 4.3.5 | Skizzieren Sie einen möglichen Temperaturverlauf in die Kennlinie auf dem Arbeitsblatt für den Fall, dass durch ein gekipptes Fenster geringfügig Wärmeenergie verloren geht. Beschreiben Sie die relevanten Unterschiede zwischen Ihrer Kurve und dem originalen Temperaturverlauf. | 2 |

30

Arbeitsblatt

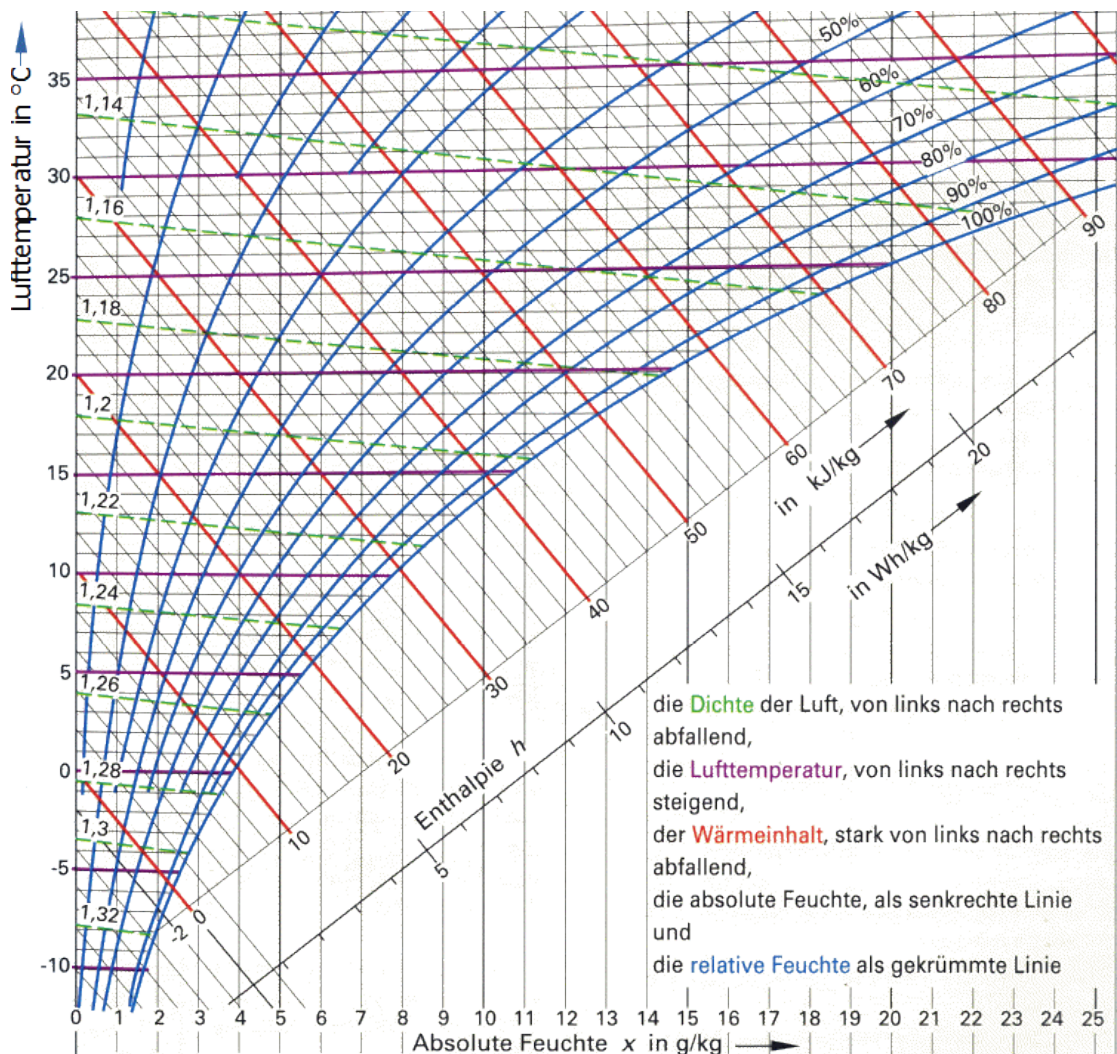
zu Aufgabe 4.1.1:



Punkte

(4)

zu Aufgabe 4.2.1, 4.2.2 4.2.3:



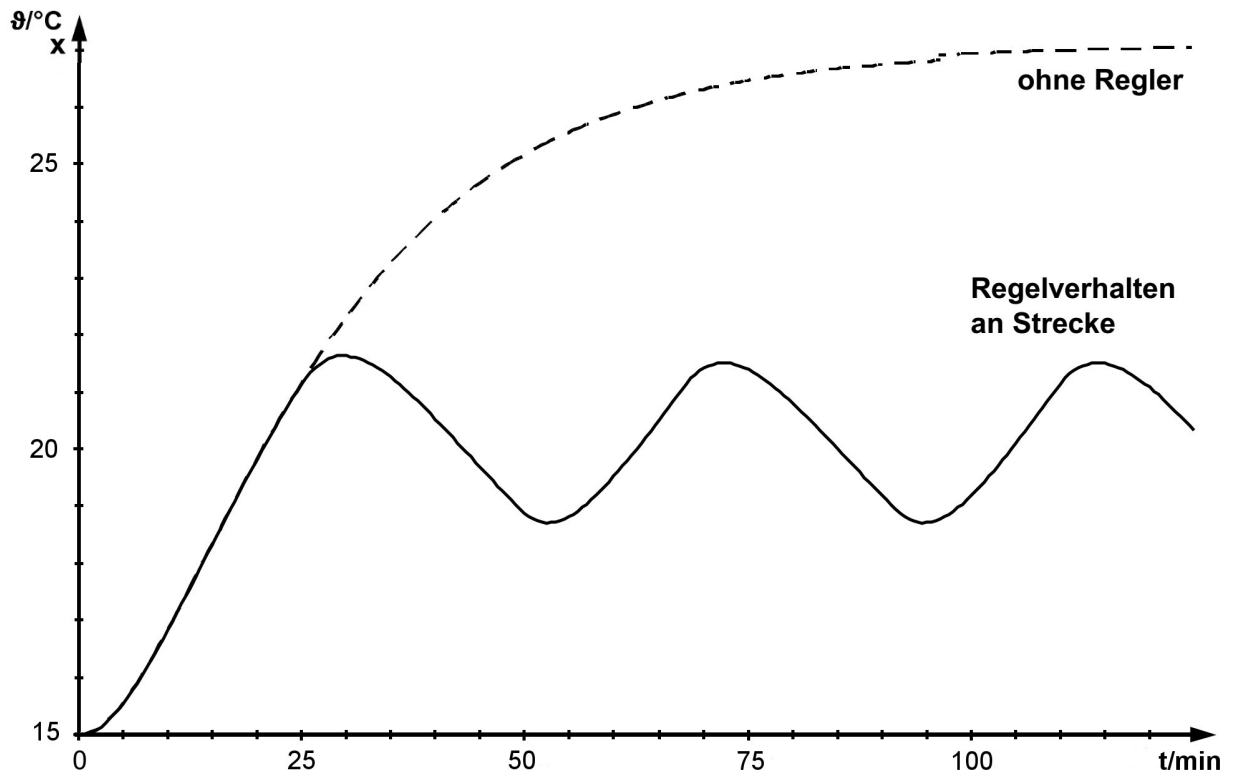
(4)

(3)

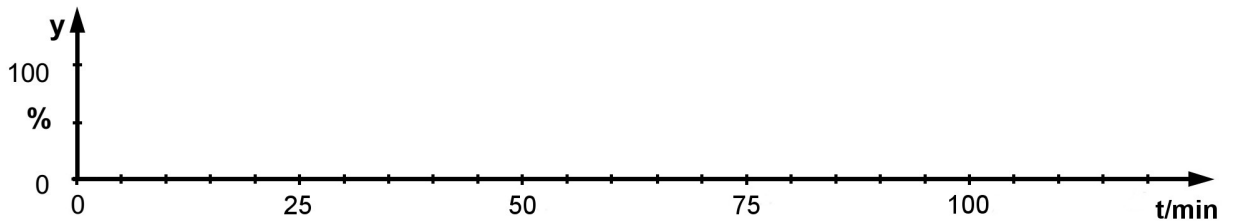
(2)

Arbeitsblatt

zu Aufgabe 4.3: Temperaturregelung



(2)
(2)
(2)



(2)

TG Umwelttechnik**2017/2018****Übungsaufgabe**

Arbeitszeit:	270 Minuten	
Hilfsmittel	Formelsammlung Umwelttechnik Zugelassener Taschenrechner	
Stoffgebiet	Teil 1: Pflichtbereich	
	Aufgabe 1: Windkraft Energieübertragung	(2 Seiten)
	Aufgabe 2: Wohnklima und Gebäudehülle Brennwerttechnik	(2 Seiten)
	Teil 2: Wahlbereich	
	Aufgabe 3: Elektromobilität Brennstoffzelle	(4 Seiten)
	Aufgabe 4: Wärmekraftwerk Rauchgasreinigung Photovoltaik	(3 Seiten)

Bemerkungen

Die Aufgaben 1 und 2 (Pflichtbereich) sind von allen Prüflingen zu bearbeiten.
Aus den Aufgaben 3 und 4 (Wahlbereich) wählt die Schülerin/der Schüler eine Aufgabe aus.

Der Aufgabensatz umfasst 12 Seiten (inklusive diesem Deckblatt).

1 Pflichtaufgaben zur Windkraft, Energieübertragung

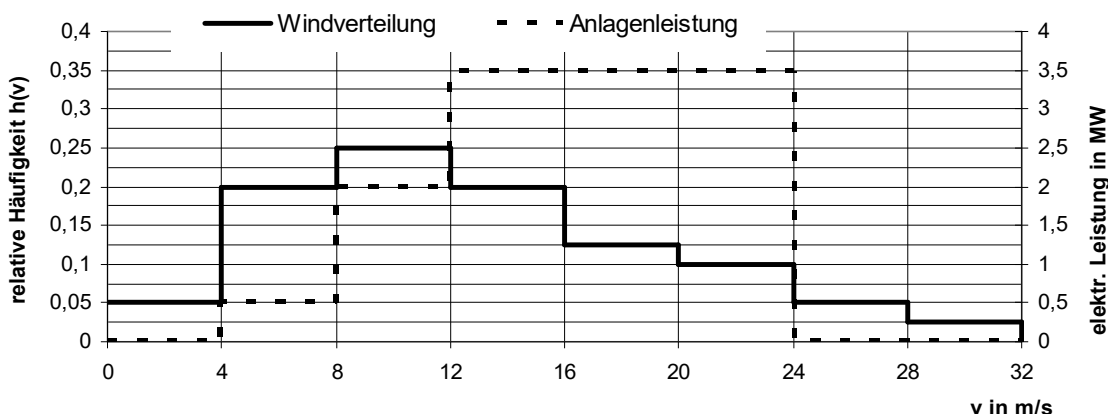
Punkte

1.1 Windkraft

Um das Kernkraftwerk Brokdorf mit der elektrischen Nennleistung $P_{NKK} = 1410$ MW durch regenerative Energiequellen zu ersetzen, soll ein in der Nordsee vorhandener Offshore-Windpark erweitert werden. Der Windpark besteht momentan aus 80 Windkraftanlagen (WKA), die jeweils folgende Kenndaten haben:

Rotordurchmesser $d = 101$ m	Schnelllaufzahl $\lambda = 6$
Flügelzahl $z = 3$	Generatorwirkungsgrad $\eta = 92,8\%$
Elektrische Generatorleistung $P_{NWKA} = 3,5$ MW	

Die folgende Abbildung zeigt die relative Häufigkeit $h(v)$ der Windgeschwindigkeiten in einem Jahr. Außerdem ist die Anlagenleistung einer WKA in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit dargestellt.

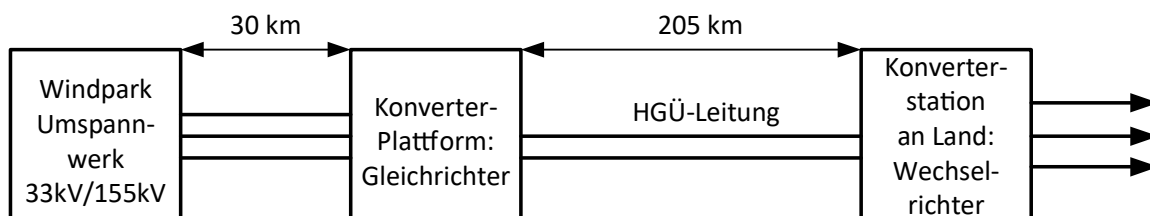


- 1.1.1 Das Kernkraftwerk Brokdorf speist durchschnittlich an 300 Tagen im Jahr in das Energieversorgungsnetz ein. Berechnen Sie den Jahresertrag W_{Jahr} in GWh, den der Windpark bereitstellen muss, um das Kernkraftwerk zu ersetzen. 1
- 1.1.2 Die Einschaltwindgeschwindigkeit der Windkraftanlagen liegt bei $v_E = 4$ m/s. Bei einer Windgeschwindigkeit von $v_A = 24$ m/s werden die Anlagen abgeschaltet. 3
Zeigen Sie, dass sich der Jahresertrag einer Windkraftanlage auf eine elektrische Energie von **$W_{WKA} = 18,29$ GWh** aufsummiert.
- 1.1.3 Berechnen Sie die Anzahl der Windkraftanlagen, die notwendig wäre, um das Kernkraftwerk zu ersetzen. 1
- 1.1.4 Ermitteln Sie die durchschnittliche elektrische Leistung der WKA. Zeigen Sie mit Hilfe der Formelsammlung, dass die Windgeschwindigkeit, die konstant vorhanden sein müsste, um die durchschnittliche mechanische Leistung der WKA zu erreichen, $v = 9,85$ m/s beträgt. 4
- 1.1.5 Berechnen Sie die Umfangsgeschwindigkeit u in km/h und die Drehzahl n in 1/min der WKA bei einer Windgeschwindigkeit von $v = 9,85$ m/s. 2

- 1.1.6 Der Nutzungsgrad einer WKA wird in Volllaststunden ausgedrückt, d.h. die Anzahl der Stunden, welche die Anlage im Nennbetrieb laufen müsste, um den Jahresertrag von $W_{WKA} = 18,29$ GWh zu erzeugen. Ermitteln Sie Anzahl der Volllaststunden der gegebenen WKA. 2
- 1.1.7 Im Diagramm ist zu erkennen, dass ab $v = 12$ m/s trotz steigender Windgeschwindigkeit die Anlagenleistung konstant bleibt. Erklären Sie, warum bei höheren Windgeschwindigkeiten die Anlagenleistung auf die Nennleistung begrenzt wird. Beschreiben Sie, welche Maßnahmen dabei eingesetzt werden. 3
- 1.1.8 Ein durchschnittlicher Haushalt benötigt im Jahr 4400 kWh elektrische Energie. Berechnen Sie die Anzahl der Haushalte, die der Windpark mit den 80 WKA mit elektrischer Energie theoretisch versorgen kann, wenn die Übertragungsverluste mit 5 % berücksichtigt werden müssen. 3
- 1.1.9 Naturschützer fordern, dass die Anzahl der Windräder auf die Hälfte reduziert werden soll. Berechnen Sie den Rotordurchmesser der nun einzusetzenden Windräder, wenn die Gesamtleistung des Windparks unverändert bleiben soll. 3

1.2 Energieübertragung

Ein Umspannwerk im Windpark dient als Sammelpunkt für die erzeugte elektrische Energie aller 80 Windkraftanlagen. Die von den WKA erzeugte Mittelspannung von 33 kV wird im Umspannwerk in 155 kV umgewandelt und über Seekabel zu einer 30 km entfernten Offshore-Konverter-Plattform weitergeleitet. Von dort wird die elektrische Energie über ein 205 km langes Seekabel in Form einer HGÜ-Netzanbindung bis zur landesseitigen Konverterstation geleitet.



- 1.2.1 Begründen Sie, warum die Spannung im Umspannwerk auf 155 kV hochtransformiert wird. 2
- 1.2.2 Der Wechselrichter an der Konverter-Station an Land muss in der Lage sein, Blindleistung zu kompensieren. Erklären Sie die Ursache der Blindleistung und begründen Sie, warum Blindleistung zu erhöhten Verlusten auf der Leitung führt. 3
- 1.2.3 Erklären Sie, warum bei der kurzen Übertragungsstrecke die Drehstromübertragung sinnvoll ist, während für die lange Übertragungsstrecke eine HGÜ-Übertragung eingesetzt wird. Nennen Sie jeweils einen Vor- und Nachteil beider Übertragungsarten. 3

30

2 Pflichtaufgaben zu Wohnklima und Gebäudehülle, Brennwerttechnik

Punkte

2.1 Wärmeschutz in einem Niedrigenergiehaus

Ein Anbieter von Niedrigenergiehäusern gibt an, dass sein Niedrigenergiehaus mit 4 Liter Heizöl pro m² und pro Jahr auskommt. Dieser geringe Verbrauch basiert laut Prospekt auf einer Reihe von Maßnahmen:

- 3-fach Verglasungen mit einem U-Wert von 0,6 W/m²K bei allen Fenstern
- hervorragend gedämmte Außenwände (U-Wert von 0,15 W/m²K)
- optimale Ausrichtung des Niedrigenergiehauses
- Vermeidung von Wärmebrücken
- Luftdichtheit

- 2.1.1 Erläutern Sie an zwei Beispielen, welche Bedeutung die Ausrichtung eines Wohnhauses bezüglich des Energieverbrauches hat. 2
- 2.1.2 Erklären Sie die Bedeutung des A/V-Verhältnisses eines Baukörpers auf dessen Energieverbrauch. 2
- 2.1.3 Nennen und erklären Sie kurz eine Möglichkeit die Luftdichtigkeit eines Gebäudes zu überprüfen und nachzuweisen. 2

Die Außenwände des Niedrigenergiehauses sind wie folgt aufgebaut:

- Innenputz: Gipsputz d = 2 cm
 Mauerwerk: Porenbetonplanstein mit Dünnbettmörtel d = 30 cm, $\rho = 400 \text{ kg/m}^3$
 Wärmedämmstoff: Polystyrol extrudiert WLG 030 d = 12 cm
 Außenputz: Wärmedämmputz WLG 060 d = 2 cm

- 2.1.4 Weisen Sie rechnerisch nach, ob der im Prospekt angegebene Wärmedurchgangskoeffizient durch diesen Wandaufbau erreicht wird. 2
- 2.1.5 Ermitteln Sie den s_D -Wert dieses Wandquerschnitts und erläutern Sie seine Bedeutung. Gehen Sie von ungünstigen Bedingungen während der Tauperiode aus. 3

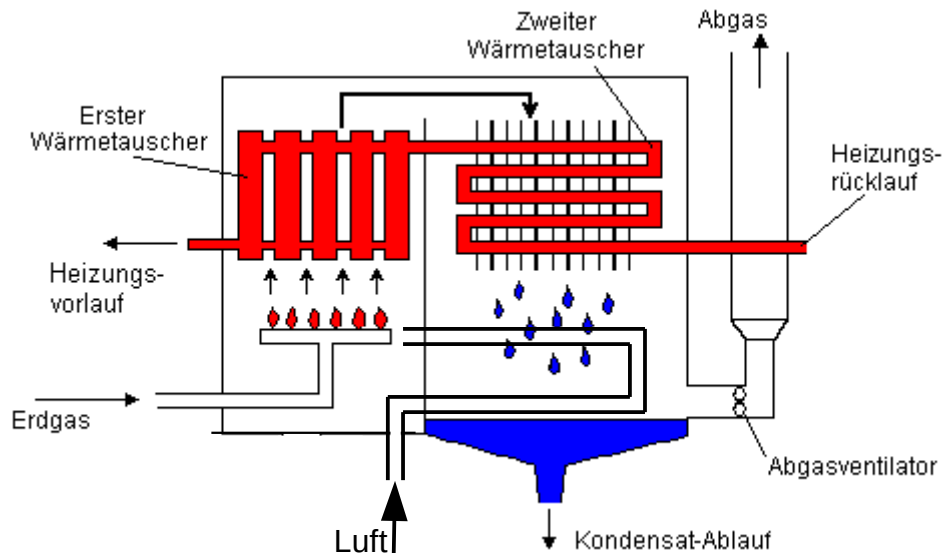
2.2 Kontrollierte Wohnraumlüftung

Im beschriebenen Niedrigenergiehaus mit einem beheizten Wohnraum $V = 420 \text{ m}^3$ kommt eine Anlage zur kontrollierten Wohnraumlüftung zum Einsatz. Die Anlage ist werksseitig auf eine Luftwechselrate von $\beta = 0,3 \text{ h}^{-1}$ eingestellt. Das Kernstück der Anlage ist ein Gegenstrom-Wärmetauscher, der eine Rückwärmezahl $\Phi_2 = 75 \%$ hat. An einem Wintertag herrschen Tag und Nacht Außentemperaturen von $\vartheta_a = -10 \text{ °C}$. Im Haus ist die Raumtemperatur von $\vartheta_i = 20 \text{ °C}$ eingestellt.

- 2.2.1 Skizzieren Sie die vorherrschenden Luftströme in einem Gegenstrom-Wärmetauscher und benennen Sie diese. 2
- 2.2.2 Berechnen Sie für den oben beschriebenen Wintertag die Temperatur des Luftstroms in Richtung Wohnraum direkt nach dem Wärmetauscher. 2
- 2.2.3 Die Lufttemperatur direkt nach dem Wärmetauscher beträgt $\vartheta_{zu} = 12 \text{ °C}$. Die Luft wird mit einer Brennwertheizung auf 22 °C erwärmt. Berechnen Sie, wie viel Energie an einem Tag zum Erwärmen der Luft benötigt werden. (Hinweis: Die Dichte der Luft wird durchgängig mit $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ angenommen). 3

2.3 Voll-Brennwertkessel

Eine Weiterentwicklung der Brennwerttechnik ist der sogenannte Voll-Brennwertkessel. Hierbei wird die verbleibende Restwärme im Abgas noch zur Vorwärmung der Verbrennungsluft genutzt.



- 2.3.1 Der Wirkungsgrad eines Brennwertgeräts wird mit 109 % angegeben. Erläutern Sie mit Hilfe eines (nicht-maßstäblichen) Energieflussdiagramms, wie ein Wirkungsgrad einen Wert von über 100 % annehmen kann. 2
- 2.3.2 Neben Erdgas wird auch leichtes Heizöl als Brennstoff für Brennwertheizungsgeräte eingesetzt. Begründen Sie, warum Erdgas als Brennstoff einen höheren Energiegewinn durch Kondensationswärmenutzung ermöglicht als Heizöl. 2
- 2.3.3 Voll-Brennwertgeräte sind vor allem in Altbauten interessant, in denen relativ kleine Heizkörper installiert sind. In Neubauten mit Fußbodenheizung haben sie keinen Vorteil gegenüber „normalen“ Brennwertgeräten. 2
- Begründen Sie diesen Sachverhalt, indem Sie die Vor- und Rücklauftemperaturen in den beschriebenen Heizungssystemen vergleichen.
- 2.3.4 Für den Betrieb im Winter werden folgende Behauptungen aufgestellt: 6
- Der Wirkungsgrad eines jeden Brennwertkessels sinkt im Winter, weil die Kondensationswärmenutzung abnimmt. Folglich sinkt auch der Wirkungsgrad des Voll-Brennwertkessels.
 - Die vollständige Kondensationswärme des Abgases muss von der Verbrennungsluft aufgenommen werden.
 - Die Kondensationswärme kommt beim Voll-Brennwertkessel nicht bei der Heizung an, da die Kondensationswärme der Zuluft und nicht dem Rücklauf der Heizung zugeführt wird.
- Überprüfen Sie jede dieser Behauptungen auf Richtigkeit und begründen Sie Ihre Aussagen.

3 Wahlaufgaben zu Elektromobilität und Brennstoffzelle

Punkte

3.1 Elektromobilität

- 3.1.1 Erklären Sie, warum bei einer Gleichstrommaschine eine Kommutierung vorgenommen werden muss. 1
- 3.1.2 Im Ersatzschaltbild einer Gleichstrommaschine kommen unter anderem die Größen R_{Verlust} bzw. R_{Anker} und $U_{\text{induziert}}$ vor. Erläutern Sie deren Bedeutung. 2

Für den weiteren Verlauf der Aufgabe wird das Elektroeinrad Ninebot ONE S2 zugrunde gelegt.

Rad	$d = 0,36 \text{ m}$	Motor	$\eta = 87 \% = \text{konst.}$ $P_{\text{el, Nenn}} = 500 \text{ W}$ $U_{\text{ind, Nenn}} = 47 \text{ V}$ $M_{\text{Nenn}} = 12,15 \text{ Nm}$
Akku	$U_{\text{Akku}} = 54 \text{ V}$ $W_{\text{Akku}} = 310 \text{ Wh}$		



Quelle: <http://www.rch-mobility.de/e-wheels>

- 3.1.3 Berechnen Sie die Nenndrehzahl sowie den Verlustwiderstand R_{Verlust} (Ankerwiderstand). 4
- 3.1.4 Ermitteln Sie mit Hilfe des Diagrammes auf dem Arbeitsblatt den Motorstrom für eine Geschwindigkeit von 18 km/h auf ebener Straße. 2
- 3.1.5 Ermitteln Sie, welche Klemmenspannung hierzu an den Motor angelegt werden muss. 3
- 3.1.6 Berechnen Sie den Tastgrad der PWM für eine Klemmenspannung von 40,9 V. 1
- 3.1.7 Die Pulsweitenmodulation wird mit einer Schaltfrequenz von 20 kHz betrieben. Berechnen und zeichnen Sie maßstabsgetreu das PWM-Signal bei einem Tastgrad von 76 % (siehe Arbeitsblatt). 2
- 3.1.8 Geben Sie an, ob die folgenden Aussagen zur Funktionsweise eines Tiefsetzstellers richtig oder falsch sind. 2
- Die Diode leitet, wenn der Transistor durchgeschaltet ist.
 - Der Glättungskondensator hält den Ausgangsstrom konstant.
 - Wenn der Transistor sperrt, wird der Stromfluss durch die Spule aufrecht erhalten.
 - Bei einer Erhöhung der Schaltfrequenz (bei sonst gleichen Bedingungen) verringert sich der Schwankungsbereich der Ausgangsspannung.

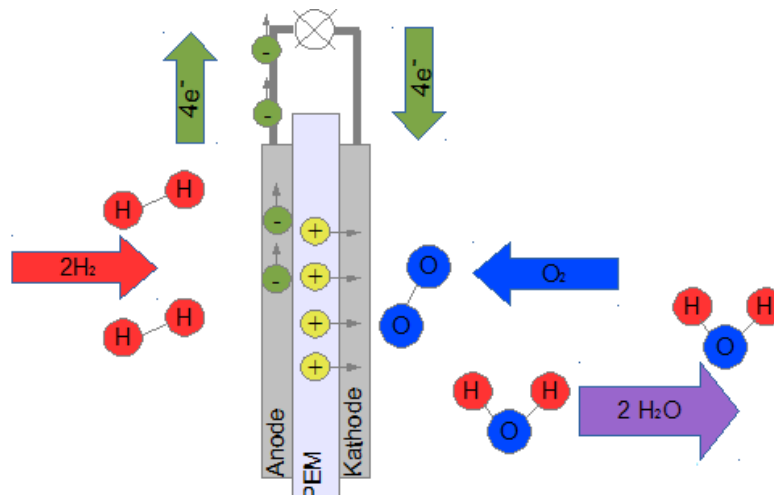
Ein Elektroeinradfahrer fährt auf seiner Heimfahrt mit einer Geschwindigkeit von 15 km/h einen Hügel mit 6 % Steigung hinauf. Der Höhenunterschied beträgt 180 m. Bevor er losfährt sieht er über eine App, dass der Akkustand noch 35 % beträgt.

- 3.1.9 Prüfen Sie mithilfe des Diagramms auf dem Arbeitsblatt, ob der Fahrer zu Hause ankommt, ohne sein Einrad tragen zu müssen. 3

3.2 Brennstoffzelle

- 3.2.1 Beschreiben Sie kurz die Funktionsweise einer PEM-Brennstoffzelle (Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC). Geben Sie hierbei auch die Anoden-, Kathoden- und Gesamtreaktion an.

3



- 3.2.2 Von einer mit Wasserstoff betriebenen Brennstoffzelle wurde die auf dem Arbeitsblatt dargestellte Kennlinie aufgenommen. Erläutern Sie den Verlauf. Kennzeichnen Sie den Spannungsbereich, in dem die Brennstoffzelle betrieben werden sollte und begründen Sie Ihre Auswahl.
- 3.2.3 Die benötigte Betriebsspannung beträgt 30 V. Erklären und berechnen Sie die technische Umsetzung, mit der diese Spannung mit Brennstoffzellen erzeugt werden kann. Gehen Sie davon aus, dass die einzelnen Brennstoffzellen (Kennlinie siehe Arbeitsblatt) einen Strom von 0,3 mA abgeben.
- 3.2.4 Ermitteln Sie für den Betriebszustand, in dem die Brennstoffzelle 0,3 mA abgibt, den „Spannungswirkungsgrad“ d. h., das Verhältnis der Betriebsspannung zur theoretischen Klemmenspannung $U_{\text{th}} = 1,25 \text{ V}$.

3

2

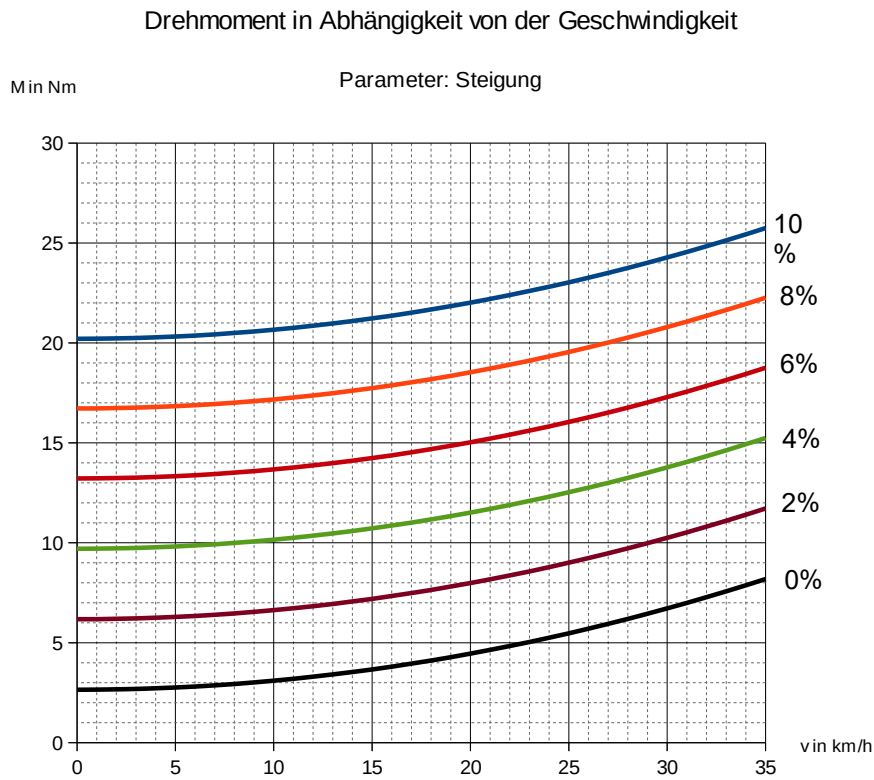
2

30

Arbeitsblatt

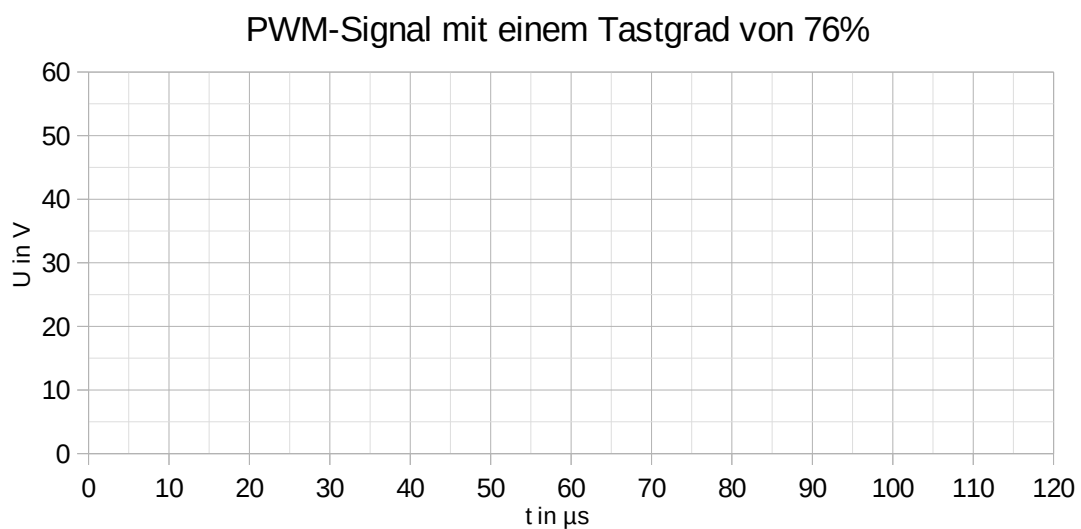
zu Aufgabe 3.1.4, 3.1.9:

Punkte



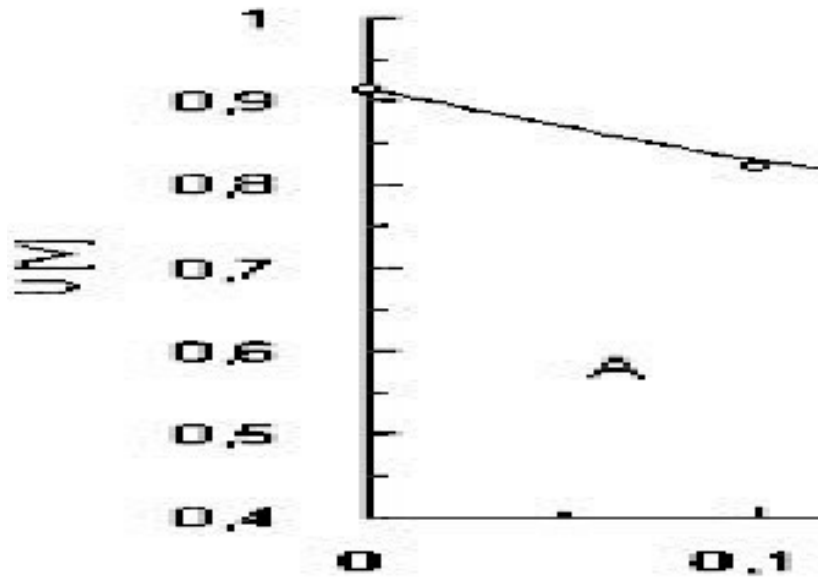
zu Aufgabe 3.1.7:

(2)



Arbeitsblatt

zu Aufgabe 3.2.2, 3.2.3, 3.2.4:



Punkte

(3)

(2)

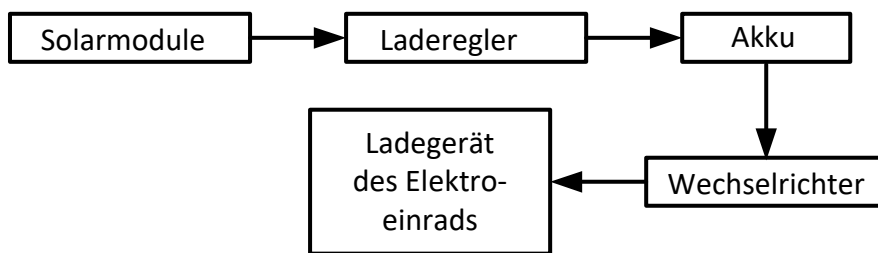
(2)

4 Wahlaufgabe zu Wärmekraftwerken, Rauchgasreinigung und Photovoltaik	Punkte
4.1 Wärmekraftwerke	
Zur Energieversorgung Deutschlands werden 2018 verschiedenste technische Anlagen eingesetzt. Elektrische Energie wird zum Beispiel von Kernkraftwerken, die bis 2022 abgeschaltet werden sollen, bereitgestellt.	
4.1.1 Beschreiben Sie den Wasser-Dampfprozess eines Wärmekraftwerks.	2
4.1.2 Nennen Sie zwei weitere Wärme-Kraftwerksarten und erläutern Sie deren Unterschiede zum Kernkraftwerk.	3
4.1.3 Dampfkraftwerksprozesse werden im T,s-Diagramm dargestellt. Erläutern Sie den Vorteil gegenüber einer Darstellung im p-V-Diagramm.	1
Konventionelle Kernkraftwerke werden im Satttdampfbereich betrieben, d.h. nach dem Verdampfen des Wassers wird der Dampf nicht überhitzt. Ausgehend von 25 °C und einem Druck von 0,04 bar wird der Wasserdruck zunächst erhöht und anschließend das Wasser bei 300 °C isobar verdampft. Dann entspannt sich der Dampf in der Satttdampfturbine bei gleichbleibender Entropie auf 0,04 bar und kondensiert anschließend.	
4.1.4 Zeichnen Sie den Prozess in das T-s-Diagramm ein (Arbeitsblatt).	2
4.1.5 Bestimmen Sie den thermodynamischen Wirkungsgrad des Dampfprozesses, wenn die im Verdampfer zugeführte Wärme $q_{zu} = 2610 \text{ kJ/kg}$ beträgt und die spezifische Entropie während der Entspannung konstant bleibt.	2
4.1.6 Tatsächlich nimmt die Entropie beim Entspannen in der Turbine um 1 kJ/(kgK) zu. Zeichnen Sie diese Korrektur ebenfalls in das T-s-Diagramm ein. Erläutern Sie je einen dadurch entstehenden Vor- und Nachteil.	3
4.2 Rauchgasreinigung im Kohlekraftwerk	
Ein zentraler Baustein für die zukünftige Energieversorgung Deutschlands sind die erneuerbaren Energien. Sie reichen nur, wenn die Sonne scheint oder der Wind weht. Auch in Zukunft stellen konventionelle Kraftwerke zur Verbrennung fossiler Brennstoffe noch rund 50 % der benötigten elektrischen Leistung zur Verfügung.	
4.2.1 In einem Kraftwerk werden pro Stunde 350 t Steinkohle mit einem Schwefelgehalt von 1 % verbrannt. Es entsteht Schwefeldioxid, welches zu 95 % aus den Rauchgasen entfernt wird.	3
Berechnen Sie den stündlichen SO_2 -Anfall im gereinigten Rauchgas und beurteilen Sie die Notwendigkeit der Rauchgasentschwefelung, bevor dieses in die Atmosphäre entlassen wird.	
$M(\text{S}) = 32 \text{ g/mol}$, $M(\text{SO}_2) = 64 \text{ g/mol}$	
4.2.2 Erklären Sie, wie aus dem Rauchgas des Kraftwerks Gips gewonnen werden kann. Begründen Sie, warum die Rauchgasentschwefelung in der Regel an der letzten Stelle der Rauchgasreinigung steht.	4

4.3 Photovoltaik

Die Aufladung eines Elektroeinrads soll in Karlsruhe über eine selbst geplante und installierte Photovoltaik-Insellösung erfolgen. Diese soll auf dem Garagendach mit südlicher Ausrichtung und einer Dachneigung von 20° montiert werden. Die nutzbare Dachfläche beträgt 2,5 m x 2 m.

Das Blockschaltbild zeigt die benötigten Komponenten für die Insellösung.



4.3.1 Nennen Sie jeweils eine Aufgabe für jede Komponente der Inselanlage. 2,5

Die Anlage soll jeden Tag mindestens einen Ertrag von $W_{\text{Tag}} = 400 \text{ Wh}$ liefern.

4.3.2 Berechnen Sie die benötigte Leistung des PV-Generators, sodass der gewünschte Ertrag auch im Dezember geliefert werden kann. 2,5

Die Nennleistung der Anlage muss mindestens $P_{\text{Nenn}} = 420 \text{ W}$ betragen. Sie haben zwei Angebote für unterschiedliche Module vorliegen:

	Modul 1	Modul 2
Abmessungen in m	0,9 x 1,2	1 x 1,3
P in W_{Peak}	110	150
Preis in €	70	90

4.3.3 Die Inselanlage soll möglichst preiswert aufgebaut werden. Begründen Sie, für welches Modul Sie sich entscheiden und zeichnen Sie die Anordnung der Module auf dem Dach ($1\text{m} \triangleq 2 \text{ cm}$) 3

4.3.4 Der Laderegler soll mit einem MPP-Tracker ausgestattet sein. Beschreiben Sie die Funktionsweise eines MPP-Trackers. 2

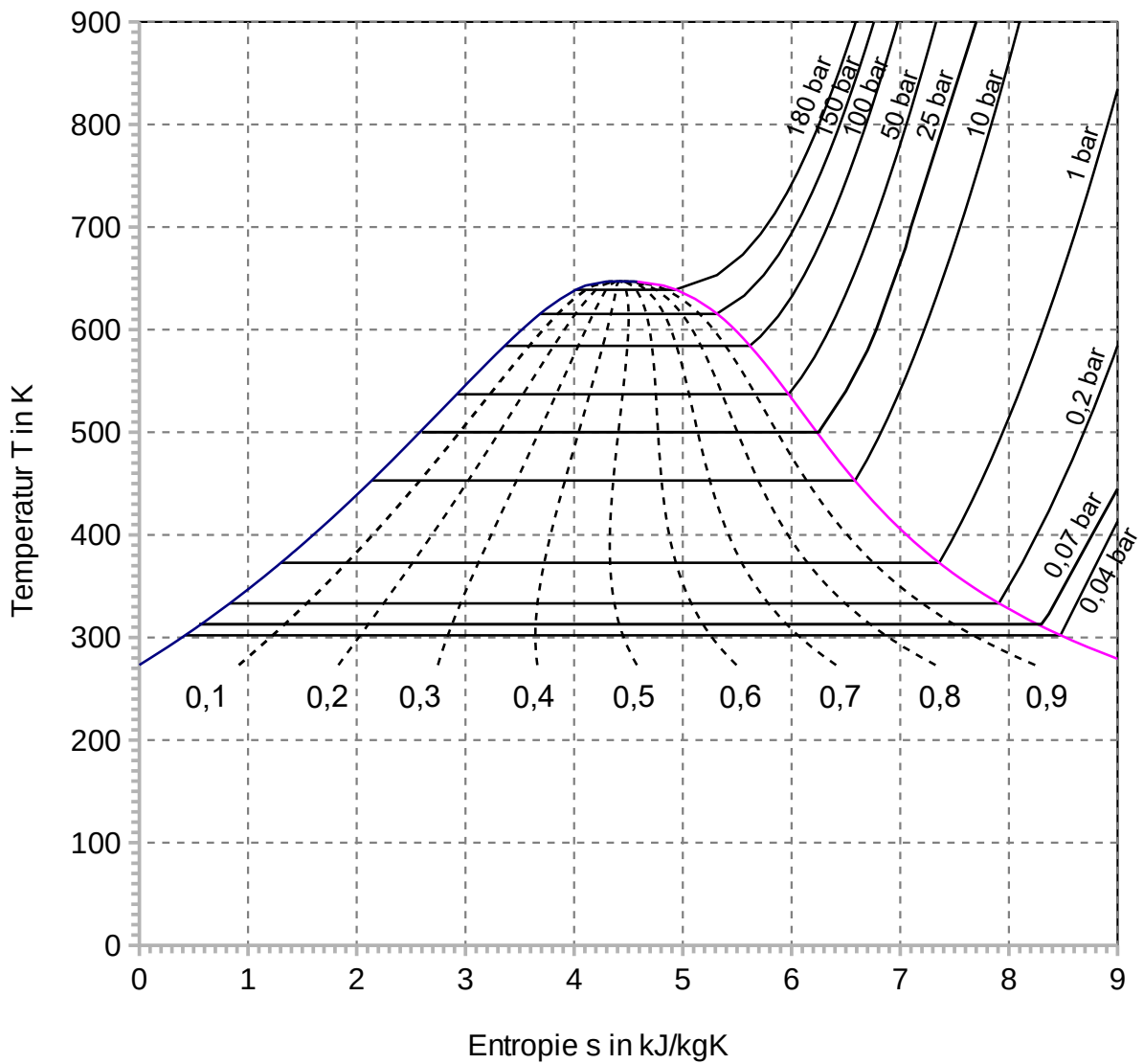
30

Arbeitsblatt

zu Aufgabe 4.1.4, 4.1.5, 4.1.6:

Punkte

T,s-Diagramm von Wasser



(2)

(2)

(3)

TG Umwelttechnik**Abitur 2018/2019****Hauptprüfung**

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	(4 Seiten)
	Teil 2: Wahlbereich	
Aufgabe 3:	Bewertung von umwelttechnischen Systemen Abgasreinigung	(3 Seiten)
Aufgabe 4:	Windkraft, Wasserstoffwirtschaft Bewertung von umwelttechnischen Systemen	(3 Seiten)

Bemerkungen

Die Aufgaben 1 und 2 (Pflichtbereich) sind von allen Prüflingen zu bearbeiten.
Aus den Aufgaben 3 und 4 (Wahlbereich) wählt die Schülerin/der Schüler eine Aufgabe aus.

Der Aufgabensatz umfasst 14 Seiten (inklusive diesem Deckblatt).

Bitte entnehmen Sie den Aufgaben die beigefügten Arbeitsblätter und geben Sie diese mit Ihrer Reinschrift ab.

Sie sind verpflichtet, die Vollständigkeit des Aufgabensatzes umgehend zu überprüfen und fehlende Seiten der Aufsicht führenden Lehrkraft anzuzeigen. Jede Aufgabe ist mit einem neuen Blatt zu beginnen. Bei Verstößen gegen die angemessene Darstellungsform kann ein Punkteabzug erfolgen.

1 Pflichtaufgabe zu Hybridfahrzeug und Photovoltaik

Punkte

Der Energieberater Herr Clever kauft sich ein serielles Hybrid-Fahrzeug. Dies ist ein Plug-in-Hybrid mit Range Extender.

	Raddurchmesser	$d = 0,65 \text{ m}$
Elektroantrieb:	Wirkungsgrad E-Motor	$\eta_{\text{ElektroMotor}} = 0,91$
	Getriebe-Untersetzung	$i = 10$
	Energieinhalt Akku	$W_{\text{Akku}} = 35 \text{ kWh}$
Range Extender:	Wirkungsgrad Benzinmotor	23 %
	Generator-Wirkungsgrad	85 %
	Tankvolumen	12 Liter Benzin

1.1 Energiebedarf des Elektroantriebs

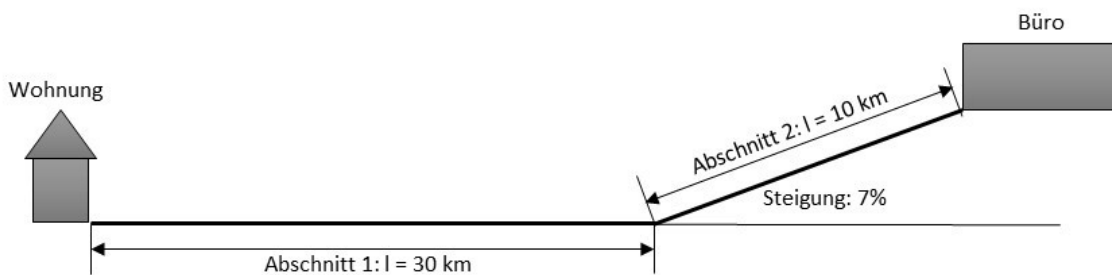


Abbildung 1: Streckenprofil

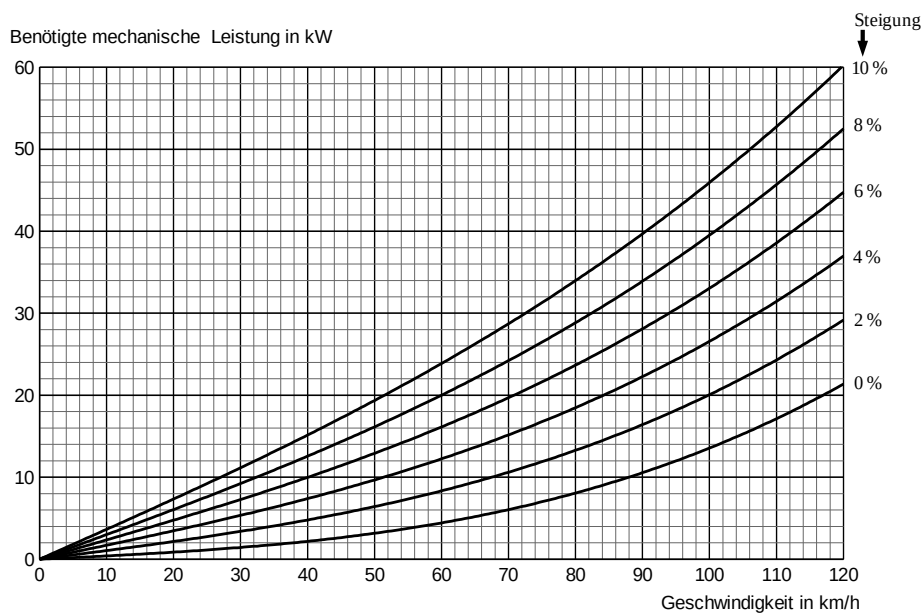


Abbildung 2: Benötigte Leistung in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit

- 1.1.1 Ermitteln Sie den elektrischen Energieverbrauch W_{el} für den Weg von seiner Wohnung zum Büro, wenn Herr Clever im Abschnitt 1 mit 100 km/h und im Abschnitt 2 mit 70 km/h fährt. Verwenden Sie die Abbildungen 1 und 2. 3
- 1.1.2 Herr Clever lädt sein Fahrzeug nur zuhause. Die Energieverbrauchsanzeige im Auto zeigt für die gesamte Rückfahrt einen geringeren Verbrauch an, als für den Abschnitt 1 auf der Hinfahrt. Beschreiben Sie die Ursache für diese Tatsache. 2

	Punkte
Das Auto fährt mit konstanter Geschwindigkeit $v = 100 \text{ km/h}$ auf ebener Strecke und gibt eine Leistung von $P_{\text{mech}} = 13,5 \text{ kW}$ ab.	
1.1.3 Berechnen Sie den in den Motor fließenden Strom, wenn die Spannung am Motor 300 V beträgt.	2
1.1.4 Berechnen Sie das Drehmoment an der angetriebenen Achse und an der Welle des Motors. Beachten Sie, dass das Getriebe am Motor als Drehmomentwandler wirkt und der Motor zehn Mal schneller dreht als die Antriebsachse. (Formel in der Formelsammlung, Wirkungsgrad 100% .)	3
Der Ladewirkungsgrad des Akkus beträgt $\eta_{\text{Akk}} = 65 \%$, wenn der Akku an der Netzspannung $U_N = 230 \text{ V}$ mit dem Strom $I_{\text{Lade}} = 14 \text{ A}$ geladen wird.	
1.1.5 Berechnen Sie die Zeit, die benötigt wird, um den leeren Akku wieder voll aufzuladen.	2
1.1.6 Herr Clever möchte sich eine Ladestation ($\eta = 65 \%$) mit Typ 2-Stecker für einen Drehstromanschluss 400 V , 63 A anschaffen. Ermitteln Sie, auf welchen Wert sich damit die Ladezeit drastisch verkürzt. ($\cos \varphi = 1$)	2
1.2 Fahrt mit Range-Extender	
1.2.1 Skizzieren Sie ein Blockschaltbild des Range-Extender-Konzepts (inkl. Speicher und Antrieb).	3
Mit seinem Auto mit Range Extender (serieller Hybridantrieb) plant Herr Clever eine längere Reise. Eine Autobahnfahrt mit einer konstanter Geschwindigkeit von 110 km/h , keinen Steigungen und rein elektrischem Antrieb ermöglicht eine Fahrstrecke von 206 km .	
1.2.2 Berechnen Sie, um welche Fahrstrecke sich die Reichweite erhöht, wenn der Range-Extender mit vollem Tank zum Einsatz kommt. Während dieser Fahrstrecke wird der Akku weder geladen noch entladen.	3

1.3 Photovoltaik-Anlage

Zur Erzeugung der elektrischen Energie für sein neues Auto möchte Herr Clever auf dem Dach seines Bürogebäudes in Karlsruhe eine Photovoltaikanlage installieren. Die Anlage soll so ausgelegt werden, dass der jährliche Energiebedarf von 5000 kWh für sein Auto gedeckt werden kann.

Herr Clever kauft Module mit den nebenstehenden Daten.

Der Wechselrichter hat einen Wirkungsgrad von 92 %.

Daten Solarmodule, Werte bei STC 1000 W/m ² , 25°C Zelltemperatur	
P _{MPP}	300 W
I _{SC}	9,77 A
U _{OC}	39,76 V
I _{MPP}	9,26 A
U _{MPP}	32,41 V
η _{Modul}	18 %
Temperaturkoeffizient U _{OC}	-0,28 %/K
Temperaturkoeffizient I _{SC}	+0,04 %/K
Format 1670 mm x 1000 mm	

Punkte

1.3.1 Ermitteln Sie die minimale Anzahl an Modulen, die den geforderten Jahresenergiebedarf von 5000 kWh liefern. Die Module werden flach auf das Gebäude gelegt. Die Größe der Dachfläche bleibt unberücksichtigt.

3

1.3.2 Herr Clever überlegt sich, seine Module nicht flach aufs Dach zu legen, sondern nach Süden auszurichten und optimal schräg zu stellen. Ermitteln Sie, um wie viel Prozent der Ertrag im Vergleich zu einer flachen Anordnung ansteigen würde.

2

Herr Clever entscheidet sich für eine Anlage mit 14 Modulen, wobei je 7 Module zu Strängen verschaltet werden. An einem Sommertag im August beträgt die Zelltemperatur 75°C. Die Bestrahlungsstärke beträgt 1000 W/m².

1.3.3 Ermitteln Sie die Spannung, den Strom und die Leistung am Wechselrichtereingang unter der Annahme, dass die gegebenen Temperaturkoeffizienten auch im MPP gelten.

3

1.3.4 Die Sonne scheint unabhängig davon, ob Herr Clever gerade seinen Akku im Auto auflädt oder nicht. Beschreiben Sie zwei Möglichkeiten, wie Herr Clever sicherstellen kann, dass er auch dann Strom tanken kann, wenn die Sonne nicht scheint. Nennen Sie jeweils einen Vorteil und einen Nachteil.

2

30

2 Pflichtaufgabe zu Niedrigenergiebauweise und GuD-Kraftwerk

Punkte

Ein früheres Gewerbegebiet wird in eine Neubausiedlung mit zentraler Energieversorgung umgewandelt. Die Wohngebäude erfüllen Niedrigenergiehaus-Standard, die Heizungsenergie wird von einem Gas- und Dampfturbinenkraftwerk mit Kraft-Wärme-Kopplung geliefert.

2.1 Niedrigenergiehaus

Die Mehrfamilienhäuser werden nach Niedrigenergiehaus-Standard gebaut. Da das Gebiet an einer stark befahrenen Straße liegt, soll außerdem der Schallschutz besonders gut gewährleistet sein.

2.1.1 Erläutern Sie zwei wesentliche Vorteile, die dafür sprechen, in die Gebäude eine zentrale kontrollierte Wohnraumlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung einzubauen. 2

2.1.2 Im Winter klagen die Bewohner über auffallend trockene Luft im Innenraum. Es herrschen die Bedingungen der Tauperiode. 3

Geben Sie die absolute und relative Feuchte der Zuluft an, die im Wärmetauscher auf 18°C erwärmt wird.

Beschreiben Sie Ihren Lösungsweg und beurteilen Sie das Ergebnis.

Gegeben ist folgender Wandaufbau von innen nach außen mit einer Wandaußenfläche von 120 m²:

- 2 cm Gipsputz
- 24 cm Vollklinker, 2400 kg/m³
- 12 cm EPS-Dämmung WLG 032
- 2 cm Wärmedämmputz WLG 060

Die Innentemperatur beträgt 20 °C, die Außentemperatur -10 °C. Fensterflächen und Außentüren sowie interne Wärmegewinne werden nicht berücksichtigt.

2.1.3 Berechnen Sie die Wärmemenge, die während der Tauperiode durch die Außenwand verloren geht. 4

2.1.4 Ermitteln Sie die Oberflächentemperatur der Innenwand bei einem U-Wert von $U = 0,22 \frac{W}{m^2K}$. 2

Im Diagramm auf dem Arbeitsblatt sind die s_d-Werte der einzelnen Wandschichten sowie die Temperaturen an den Grenzflächen eingetragen.

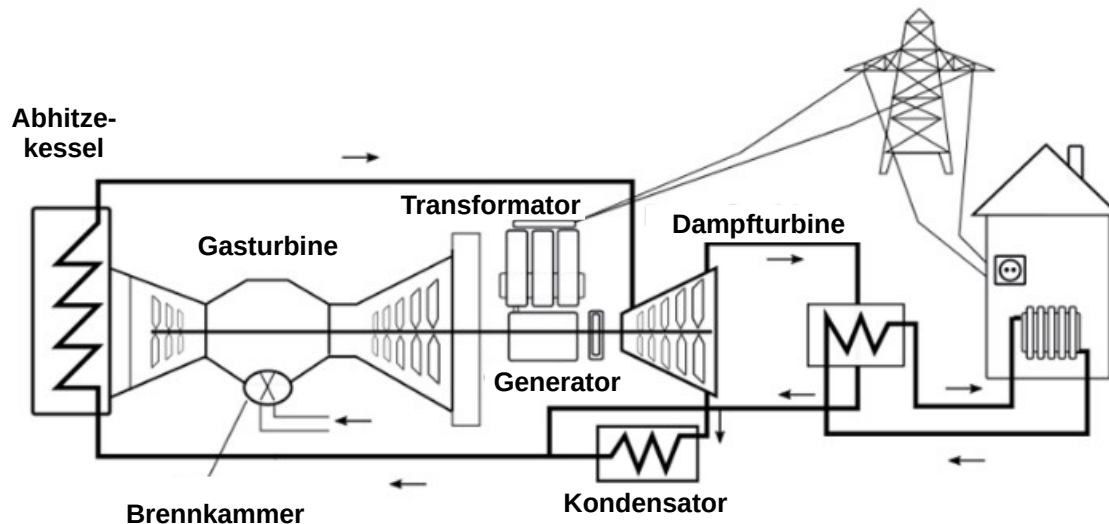
2.1.5 Erläutern Sie die Aussage des s_d-Wertes. 1

2.1.6 Ergänzen Sie im Diagramm die Wasserdampfsättigungsdrücke an jeder Grenzfläche, die Wasserdampfpartialdrücke innen und außen während der Tauperiode und beurteilen Sie das Ergebnis. 3

2.2 Gas- und Dampfturbinenkraftwerk (GuD-Kraftwerk)

Moderne Gas- und Dampfturbinenkraftwerke sind äußerst effiziente Kraftwerke zur Erzeugung von elektrischem Strom aus dem fossilen Energieträger Erdgas. Hierbei werden die heißen Abgase der Gasturbine für die Dampfbereitung genutzt.

Das dargestellte Dampf- und Gasturbinenkraftwerk soll mit Hilfe der Kraft-Wärme-Kopplung zur Strom- und Wärmeversorgung einer Stadt dienen.

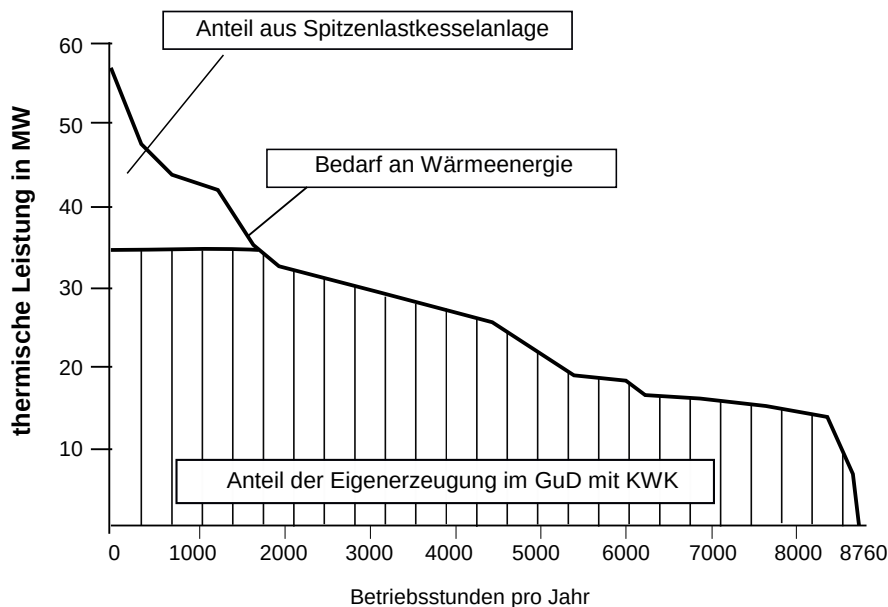
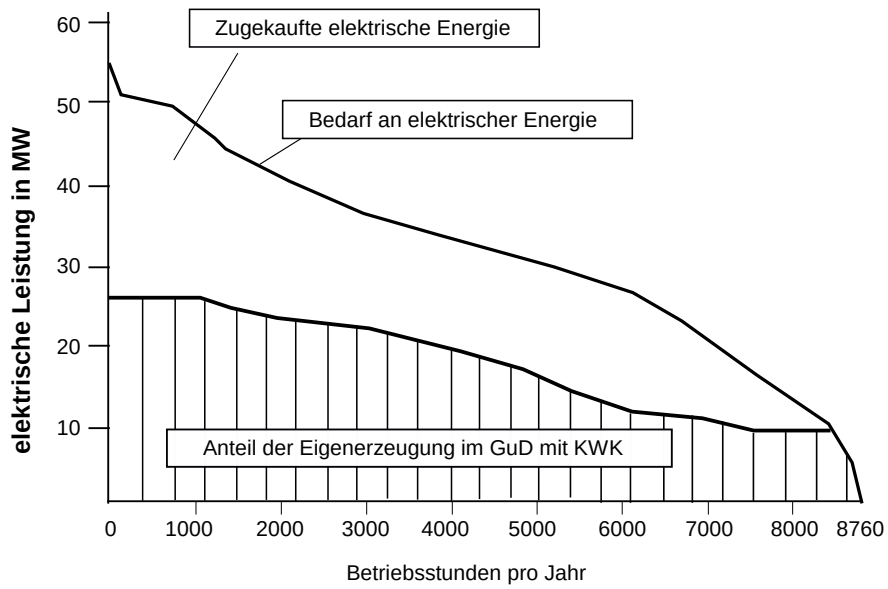


Daten: ins Netz eingespeiste elektrische Leistung: 29 MW
 elektrischer Wirkungsgrad: 57,7 %
 elektrischer Eigenbedarf: 4 MW
 Wärmeverluste: 5 MW.

- 2.2.1 Berechnen Sie, wie viele Haushalte bei Dauerbetrieb des GuD-Kraftwerks mit elektrischer Energie versorgt werden können, wenn pro Haushalt jährlich 4000 kWh benötigt werden. 2
- 2.2.2 Skizzieren Sie das energetische Blockschaltbild des oben abgebildeten GuD-Kraftwerks. 3
- 2.2.3 Zeichnen Sie das maßstäbliche Energieflussdiagramm für das GuD-Kraftwerk mit Kraft-Wärme-Kopplung und bestimmen Sie den Gesamtwirkungsgrad. 4
- 2.2.4 Ein modernes Kohledampfkraftwerk erreicht einen elektrischen Wirkungsgrad von 45 %. Begründen Sie, warum mit einem GuD-Kraftwerk ein deutlich höherer elektrischer Wirkungsgrad erreicht werden kann. 2
- 2.2.5 Zwischen Generator und Dampfturbine befindet sich eine Kupplung, welche die Gasturbinen-Generator-Einheit von der Dampfturbine entkoppeln kann. 2
 Beschreiben Sie den Vorteil, der sich daraus ergibt.

Die Auslegung eines Dampfkraftwerks mit Kraft-Wärme-Kopplung kann nach dem Strombedarf oder dem Wärmebedarf der zu versorgenden Haushalte erfolgen.

In den beiden Jahresdauerlinien ist der (elektrische bzw. thermische) Leistungsbedarf der Siedlung sowie die gelieferte Leistung des Kraftwerks dargestellt.



2.2.6 Erläutern Sie, ob das Kraftwerk strom- oder wärmegeführt betrieben wird.

2

30

Arbeitsblatt

zu Aufgabe 2.1.6:

Punkte

Glaserdiagramm einer vierschichtigen Wand:

(3)

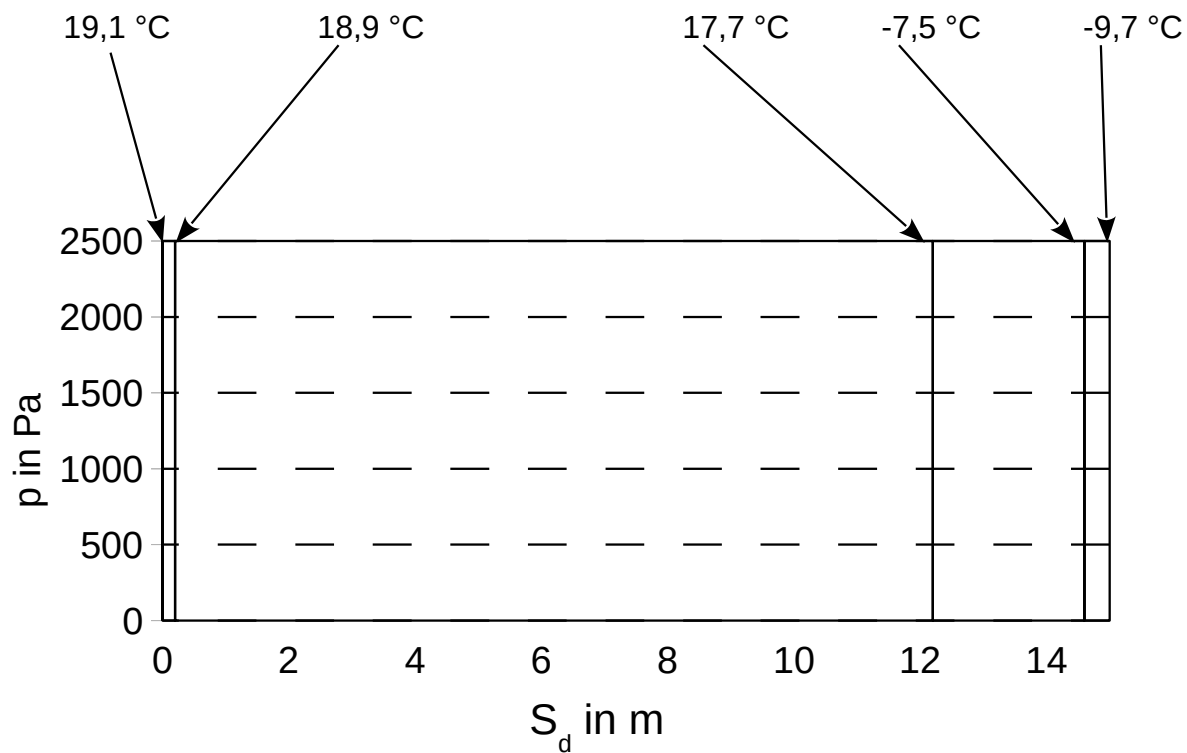
Von links nach rechts:

2 cm Gipsputz

24 cm Vollklinker

12 cm EPS-Dämmung WLG 032

2 cm Wärmedämmputz WLG 060



3 Wahlaufgabe zur Bewertung von umwelttechnischen Systemen, Abgasreinigung

Punkte

3.1 Vergleich Fahrzeug mit Benzinmotor und Elektrofahrzeug

Die Schadstoffausstöße eines Autos mit Elektroantrieb und eines Autos mit Benzinmotor werden bei der folgenden Well-to-Wheel-Analyse verglichen.

Dabei wird davon ausgegangen, dass die Erzeugung von 1 kWh elektrischer Energie beim derzeitigen Strom-Mix in Deutschland einen CO₂-Ausstoß von 527 g verursacht.

PKW mit Benzinmotor		Elektrofahrzeug	
CO ₂ -Ausstoß	159 g/km	Energieinhalt des Akkus	30 kWh
Energieaufwand zur Benzinherstellung	1,585 kWh/L	CO ₂ -Ausstoß bei der Akkuherstellung	150 kg/kWh
Verbrauch auf 100 km	7 L	Verbrauch auf 100 km	20,5 kWh

3.1.1 Zeigen Sie durch Berechnung, dass die CO₂-Emission pro gefahrenem Kilometer für das Elektrofahrzeug 108 g/km beträgt. Der CO₂-Ausstoß bei der Herstellung des Akkus soll unberücksichtigt bleiben. 2

3.1.2 Bestimmen Sie die CO₂-Emission des Elektrofahrzeugs über eine Lebensdauer von 8 Jahren. Legen Sie dabei eine Jahresfahrleistung von 25 000 km zugrunde. Der CO₂-Ausstoß bei der Herstellung des Akkus soll dabei berücksichtigt werden. 2

3.1.3 Berechnen Sie die CO₂-Emission des PKWs mit Benzinmotor über eine Lebensdauer von 8 Jahren bei einer Jahresfahrleistung von 25 000 km. Berücksichtigen Sie dabei auch den Energieaufwand bei der Benzinherstellung. 2

3.1.4 Stellen Sie die CO₂-Emissionen des PKWs mit Benzinmotor und des Elektrofahrzeugs in Abhängigkeit von der gefahrenen Strecke im Diagramm 1 auf dem Arbeitsblatt dar. Berücksichtigen Sie dabei auch Akkuherstellung und Benzinherstellung. 2

3.1.5 Stellen Sie im Diagramm 1 zusätzlich die CO₂-Emissionen eines Elektrofahrzeugs dar, das mit regenerativ erzeugtem Strom geladen wird. 1

Zur Erstellung einer Ökobilanz muss der gesamte Lebenszyklus der Kraftfahrzeuge untersucht werden.

3.1.6 Stellen Sie weitere 2 Aspekte dar, die (über die Well-to-Wheel-Betrachtung hinaus) bei einer umfassenden Ökobilanz noch berücksichtigt werden müssen. 2

3.1.7 Untersuchen Sie 3 Aspekte einer Lebenszyklusanalyse, die für bzw. gegen ein Elektrofahrzeug im Vergleich zu einem PKW mit Benzinmotor sprechen. 3

1 ha Wald bindet 10 t CO₂ pro Jahr. Pro Bundesbürger stehen 0,13 ha Wald zur Verfügung, pro Erdenbürger 0,6 ha Wald.

25 t CO₂-Emissionen entstehen zur Zeit beim Betrieb eines Elektrofahrzeugs während einer Lebensdauer von 8 Jahren, wenn es mit dem deutschen Strom-Mix geladen wird.

3.1.8 Ermitteln Sie, ob die CO₂-Emissionen durch die zur Verfügung stehende Waldfläche ausglich werden können und bewerten Sie die Nachhaltigkeit von individueller Elektromobilität. 3

- 3.1.9 Entwickeln Sie 3 Maßnahmen, die in Bezug auf die CO₂-Emission zu einer höheren Nachhaltigkeit der individuellen Mobilität führen.

3

3.2 Schadstoffemission und Abgasreinigung bei Kraftfahrzeugen

Neben Kohlenstoffdioxid CO₂ entstehen in Verbrennungsmotoren von Kraftfahrzeugen Kohlenmonoxid CO, Kohlenwasserstoffe HC (für die weiteren Betrachtungen: C₂H₆) und Stickoxide NO_x; z. B. NO.

Für die Entfernung der Schadstoffe aus dem Abgas eines Otto-Motors spielt der Sauerstoffgehalt im Abgas eine wichtige Rolle. Das untere Diagramm auf dem Arbeitsblatt zeigt die Konzentration im Abgas (vor dem Katalysator) in Abhängigkeit der Luftverhältniszahl λ .

- 3.2.1 Begründen Sie die Kurvenverläufe der Schadstoffkonzentrationen im Abgas mithilfe des Diagramms 2 auf dem Arbeitsblatt.

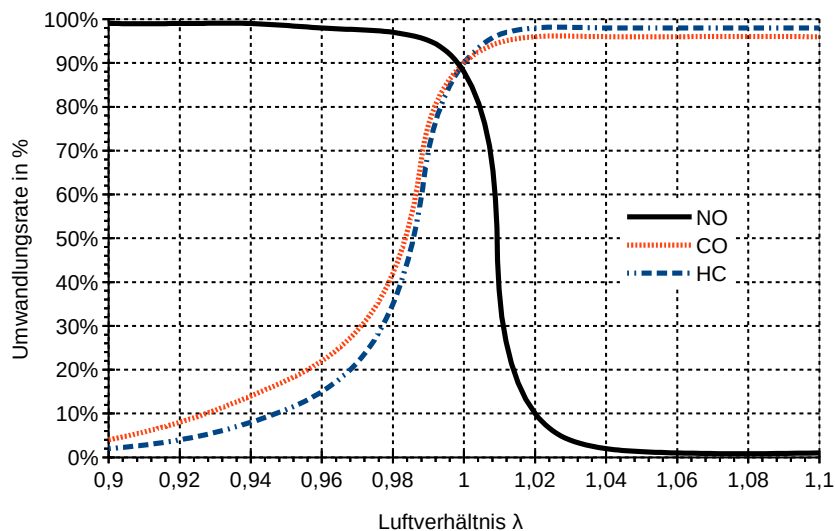
2

- 3.2.2 Formulieren Sie die Reaktionsgleichungen für die Entfernung der Schadstoffe aus dem Abgas mithilfe eines Drei-Wege-Katalysators.

3

- 3.2.3 In der folgenden Abbildung ist die Umwandlungsrate der Schadstoffe im Drei-Wege-Katalysator in Abhängigkeit von λ dargestellt.

3



Berechnen Sie für $\lambda = 0,95$ und $\lambda = 1,05$ die Schadstoffkonzentrationen von NO und CO nach dem Katalysator und zeichnen Sie diese Werte zusätzlich in das Diagramm 2 auf dem Arbeitsblatt ein. Bewerten Sie das Ergebnis.

- 3.2.4 Zur Verringerung der CO-Emission wurde das Konzept des Magermixmotors entwickelt, bei dem der Otto-Motor mit mindestens 30 % Luftüberschuss betrieben wird.

2

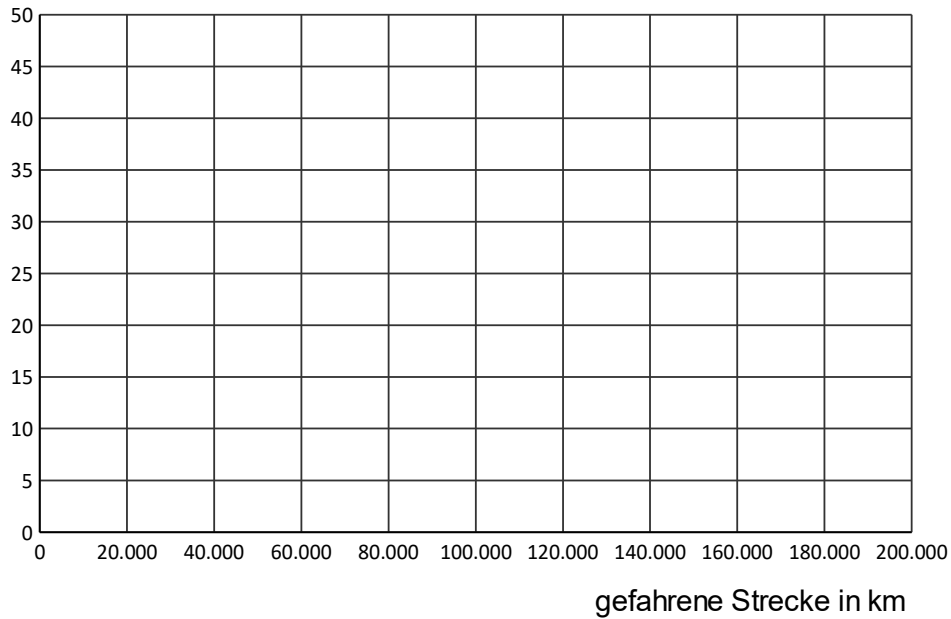
Beschreiben Sie die Roh-Abgaskonzentrationen vor der Abgasreinigung. Beurteilen Sie, welche Konsequenz sich für die Beseitigung von NO im Abgas ergibt.

30

Arbeitsblatt

zu Aufgabe 3.1.4, 3.1.5: Diagramm 1

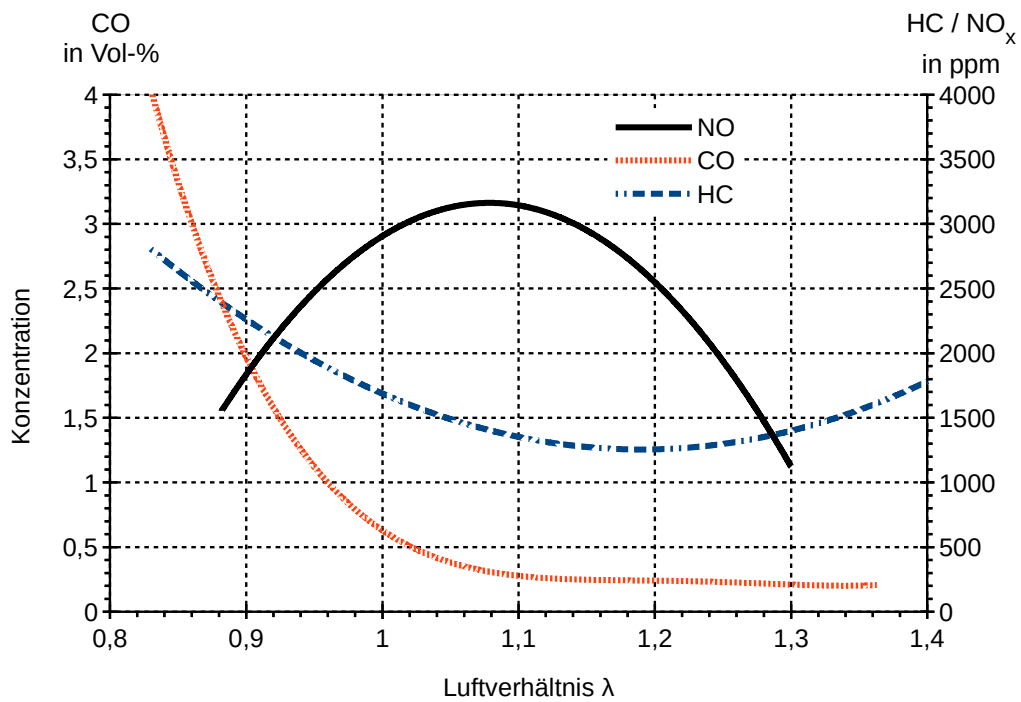
CO₂-Ausstoß in Tonnen



Punkte

(3)

zu Aufgabe 3.2.1, 3.2.3: Diagramm 2



(3)

(2)

4 Wahlaufgabe zu Windkraft und Wasserstoffwirtschaft

Punkte

Die mit einer Kleinwindkraftanlage gewonnene Energie wird in einer Versuchsanlage der Wasserstoffwirtschaft weiterverwendet.

4.1 Kleinwindkraftanlage

Daten der Windkraftanlage:

Durchmesser des Windrads: 120 cm

Anzahl der Flügel: 3

Nennleistung: 350 W bei einer Windgeschwindigkeit von 12 m/s

Wirkungsgrad des Generators: 90 %

- 4.1.1 Ermitteln Sie mit Hilfe des Diagramms 1 auf dem Arbeitsblatt die Drehzahl des Rotors bei einer Windgeschwindigkeit von 12 m/s und berechnen Sie daraus die Schnelllaufzahl der Windkraftanlage. 3
- 4.1.2 Ermitteln Sie den Leistungsbeiwert der Anlage, wenn sich bei einer Windgeschwindigkeit von 12 m/s eine elektrische Leistung von 350 W ergibt. 3
- 4.1.3 Bewerten Sie die Qualität der Windkraftanlage wenn $\lambda = 8,1$ und $c_P = 0,331$ beträgt. 3

Die folgende Tabelle 1 zeigt die Windverteilung am Standort und die resultierenden Leistungswerte des Windrads.

Tabelle 1:

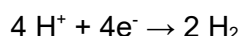
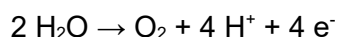
v in m/s	0...4	4...6	6...8	8...10	10...12	12...14
h	10 %	30 %	30 %	20 %	5 %	5 %
P in W	0	5	35	130	280	350

- 4.1.4 Ermitteln Sie den jährlichen Energieertrag der Anlage. 4

4.2 „Power to Gas“ mit Windkraft und Wasserstoffspeicher

Für eine umwelttechnische Versuchsanlage ist das Kleinwindrad mit einem Elektrolyseur zur Erzeugung von Wasserstoff gekoppelt. Der so hergestellte Wasserstoff wird in einem Druckbehälter gespeichert.

Die Teilreaktionen an den Elektroden des Elektrolyseurs sind:



- 4.2.1 Ergänzen Sie in der Abbildung 2 des Elektrolyseurs auf dem Arbeitsblatt, in welchem Bereich Wasserstoff (H_2) und Sauerstoff (O_2) ausgasen. Begründen Sie Ihre Wahl. 2
- 4.2.2 Formulieren Sie die Gesamtreaktionsgleichung der Elektrolyse und leiten Sie daraus das Volumenverhältnis ab, in dem Wasserstoff und Sauerstoff erzeugt werden. 2

Der Elektrolyseur wird an eine Spannung $U = 23,9 \text{ V}$ angeschlossen, es fließt ein Strom von $I = 14,5 \text{ A}$. Innerhalb von 300 s wird dabei Wasserstoff mit einem Volumen von $V_{\text{H}_2} = 6 \text{ dm}^3$ erzeugt.

4.2.3 Berechnen Sie den elektrischen Wirkungsgrad des Elektrolyseurs. 2

Hinweis: Beziehen Sie sich bei Ihren Berechnungen auf einen Druck von $p_{\text{amb}} = 1 \text{ bar}$ und den Brennwert von Wasserstoff.

4.2.4 Berechnen Sie das Volumen an Wasserstoff, das an einem Tag erzeugt werden kann, wenn die Windgeschwindigkeit stetig im Bereich zwischen $10 - 12 \text{ m/s}$ liegt. Gehen Sie bei der Berechnung von einem Wirkungsgrad des Elektrolyseurs von $\eta_{\text{Elektrolyseur}} = 75 \%$ aus. Beachten Sie Tabelle 1 aus Aufgabe 4.1. 3

4.3 Bilanzierung der „Power to Gas“ - Anlage

Zur weiteren Verwendung wird der Wasserstoff in einer kleinen PEM-Brennstoffzelle in thermische und elektrische Energie umgewandelt.

Von der Brennstoffzelle und dem Elektrolyseur sind folgende Werte bekannt:

$$\eta_{\text{Elektrolyseur}} = 75 \%$$

$$\eta_{\text{Brennstoffzelle, gesamt}} = 85 \%$$

$$\eta_{\text{Brennstoffzelle, thermisch}} = 40 \%$$

4.3.1 Stellen Sie die Energieumwandlungsprozesse vom Wind vor der Windkraftanlage bis zur Energieabgabe der Brennstoffzelle in einem energetischen Blockschaltbild dar. 2

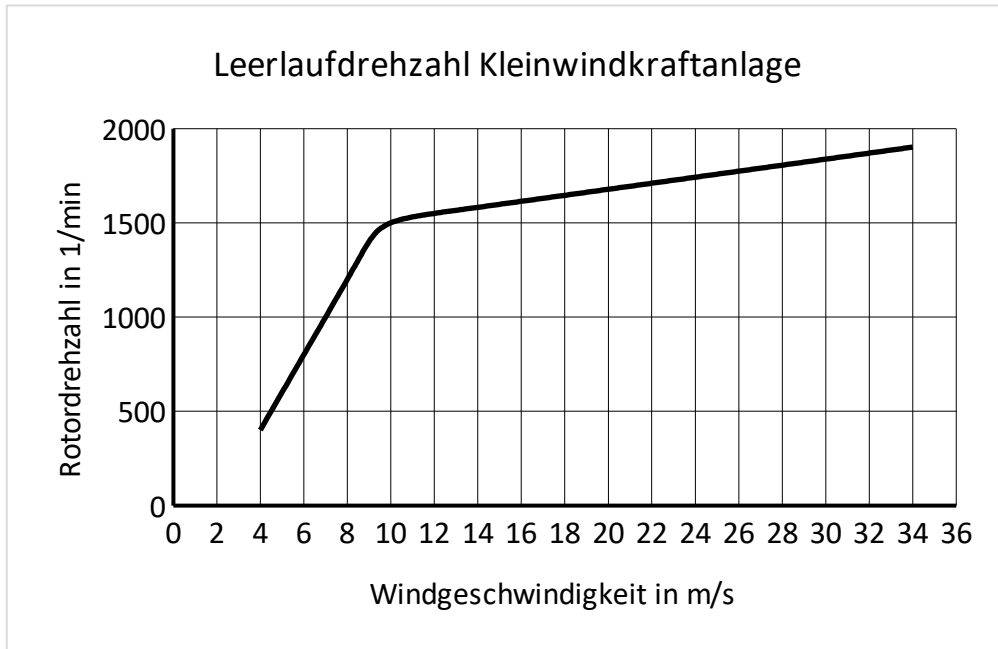
4.3.2 Berechnen Sie den elektrischen Gesamtwirkungsgrad des umwelttechnischen Systems Elektrolyseur und Brennstoffzelle und bewerten Sie das Ergebnis. 4

4.3.3 Beurteilen Sie inwieweit die „Power to Gas“ - Anlage dem wesentlichen Nachteil der Windenergie entgegenwirken kann. 2

30

Arbeitsblatt

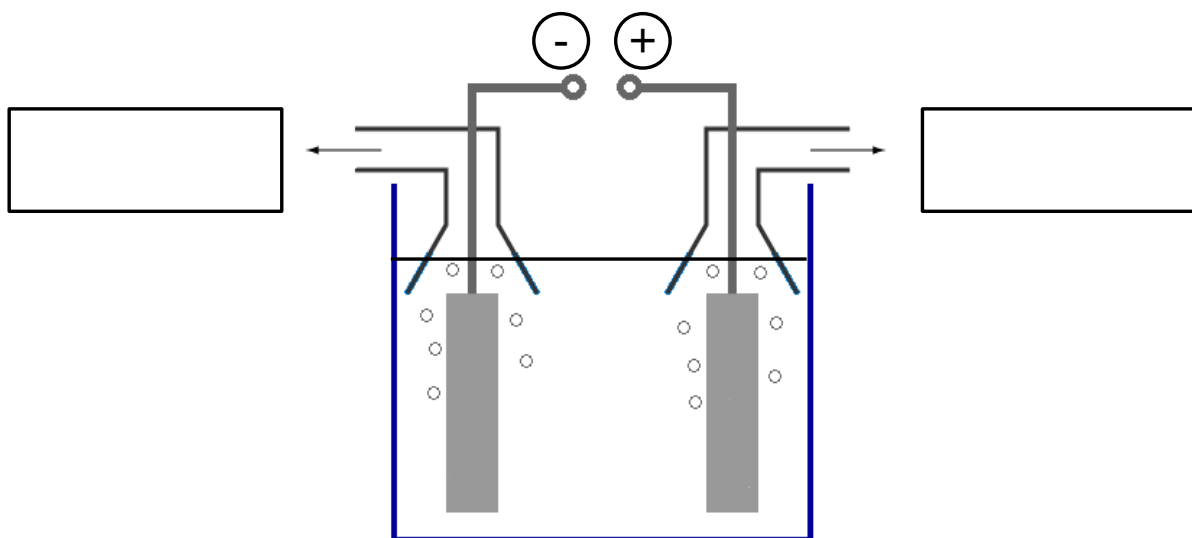
zu Aufgabe 4.1.1: Diagramm 1



Punkte

(4)

zu Aufgabe 4.2.1: Abbildung 2



(2)

TG Umwelttechnik**Abitur 2018/2019****Übung**

Arbeitszeit:	270 Minuten	
Hilfsmittel	Formelsammlung Umwelttechnik Zugelassener Taschenrechner	
Stoffgebiet	Teil 1: Pflichtbereich	
Aufgabe 1:	Windkraft Elektro- und Hybridfahrzeuge	(5 Seiten)
Aufgabe 2:	Wärme erzeugen Wohnklima und Gebäudehülle	(3 Seiten)
	Teil 2: Wahlbereich	
Aufgabe 3:	Solarthermie, Photovoltaik Bewertung von umwelttechnischen Systemen	(2 Seiten)
Aufgabe 4:	Elektromobilität Bewertung von umwelttechnischen Systemen	(2 Seiten)

Bemerkungen

Die Aufgaben 1 und 2 (Pflichtbereich) sind von allen Prüflingen zu bearbeiten.
Aus den Aufgaben 3 und 4 (Wahlbereich) wählt die Schülerin/der Schüler eine Aufgabe aus.

Der Aufgabensatz umfasst 13 Seiten (inklusive diesem Deckblatt).

Bitte entnehmen Sie den Aufgaben die beigefügten Arbeitsblätter und geben Sie diese mit Ihrer Reinschrift ab.

Sie sind verpflichtet, die Vollständigkeit des Aufgabensatzes umgehend zu überprüfen und fehlende Seiten der Aufsicht führenden Lehrkraft anzuzeigen. Jede Aufgabe ist mit einem neuen Blatt zu beginnen. Bei Verstößen gegen die angemessene Darstellungsform kann ein Punkteabzug erfolgen.

1 Pflichtaufgabe zu Windkraft, Hybridfahrzeug und Elektromobilität

1.1 Windkraftanlage

Bild 1 zeigt den Leistungsverlauf und den Verlauf des Leistungsbeiwerts einer Windkraftanlage.

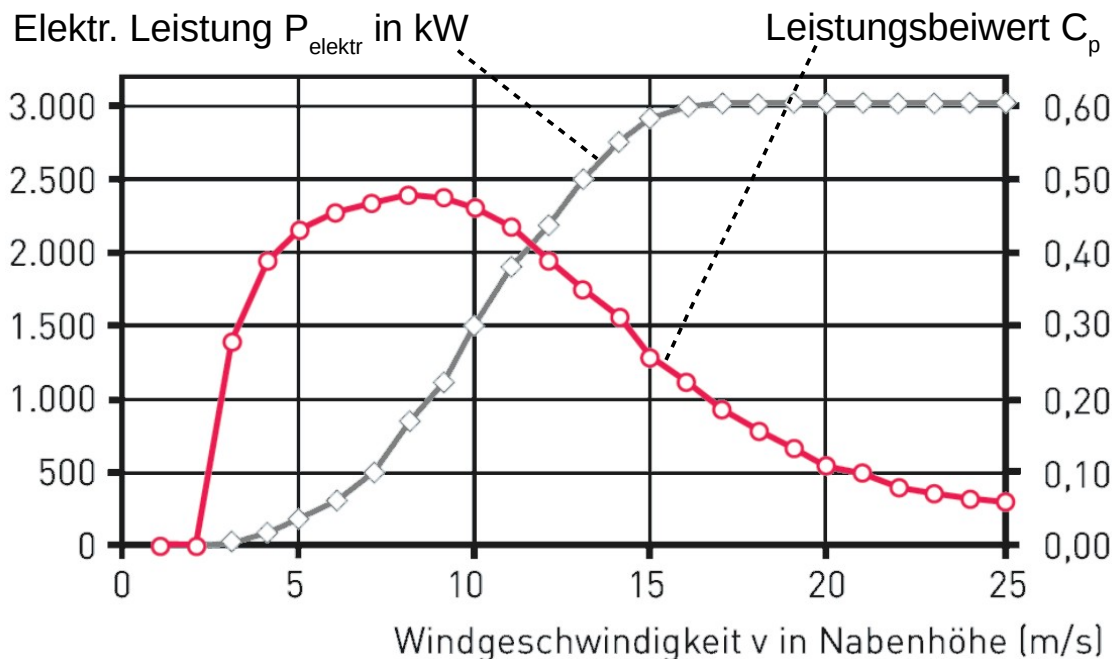


Bild 1: Quelle: Enercon_Produnkt_de_6_2015.pdf

Die Anlage besitzt folgende technischen Daten:

Nennleistung:	3000 kW
Rotordurchmesser:	82 m
Flügelzahl:	3
Schnellaufzahl:	8
Nennwindgeschwindigkeit:	16 m/s
Auslegungswindgeschwindigkeit:	8 m/s

(Bei Nennwindgeschwindigkeit erreicht der Generator seine maximale Dauerleistung.)

(Bei der Auslegungswindgeschwindigkeit ist der Leistungsbeiwert maximal.)

- 1.1.1 Bestimmen Sie mithilfe des Diagramms aus Bild 1 den Leistungsbeiwert der Anlage bei Auslegungswindgeschwindigkeit. Berechnen Sie bei dieser Windgeschwindigkeit die mechanische Leistung an der Welle in kW. 3
- 1.1.2 Erläutern Sie die Bedeutung des Leistungsbeiwerts für eine Windkraftanlage. Begründen Sie, warum es sinnvoll ist, dass das Maximum des Leistungsbeiwertes bei einer Windgeschwindigkeit von 8 m/s und nicht erst bei der Nennwindgeschwindigkeit von 16 m/s liegt. 3
- 1.1.3 Berechnen Sie die Drehzahl des Rotors bei Auslegungswindgeschwindigkeit. 2

- 1.1.4 Die Windgeschwindigkeitsverteilung für den geplanten Standort der Windkraftanlage und die vereinfachte Leistungskurve sind in Bild 2 und Bild 3 dargestellt. Ermitteln Sie den Jahresertrag der Windkraftanlage.

3

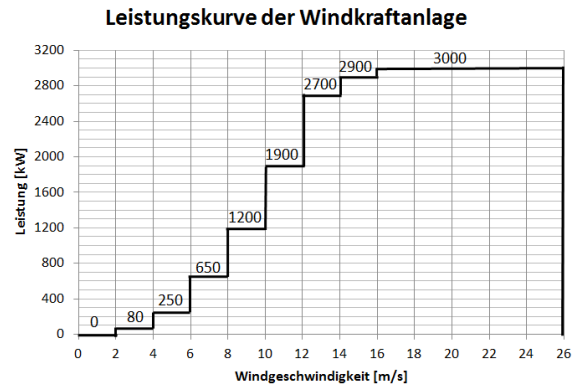
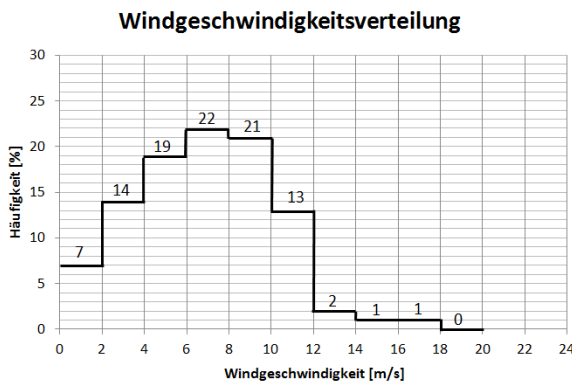


Bild 2

Bild 3

- 1.1.5 Ein durchschnittlicher Vier-Personen-Haushalt benötigt 4500 kWh pro Jahr. Ermitteln Sie die Anzahl dieser Durchschnittshaushalte, die theoretisch mit der erzeugten Energie versorgt werden könnten.
- 1.1.6 Erläutern Sie die Problematik einer Versorgung ausschließlich mit Windenergie. Stellen Sie zwei Möglichkeiten zur Lösung des Problems dar.

1

3

Hybridfahrzeug, Elektromobilität

Ein Parallel-Hybridfahrzeug ist mit einem Dieselmotor und einem Elektromotor ausgestattet. Der Dieselmotor hat eine Nennleistung von 152 kW. Der Elektromotor hat eine Nennleistung von 50 kW und einen Wirkungsgrad von 93 %. Gehen Sie von einem Akkuvirkungsgrad von 100 % aus.

1.2 Antriebskonzept eines Hybridfahrzeugs

- 1.2.1 Beschreiben Sie das Antriebsprinzip eines Parallel-Hybrid-Fahrzeugs.

1

1.3 Dieselmotor

Für den Kreisprozess des Diesel-Motors sind die in der Tabelle aufgeführten Daten bekannt. Das Arbeitsgas wird näherungsweise als Luft betrachtet.

	p [bar]	V [cm ³]	T[K]
Zustand 1	1	960	334
Zustand 2	32	80	902
Zustand 3	32	192	2166
Zustand 4	3	960	
k = 1,4			

- 1.3.1 Skizzieren Sie den Dieselmotorprozess in das p-V-Diagramm auf dem Arbeitsblatt 1. 1
- 1.3.2 Beschriften Sie das p-V-Diagramm mit den Fachbegriffen der Zustandsänderungen. 1
- 1.3.3 Markieren Sie die Nutzarbeit W_{Nutz} im p-V-Diagramm. 1
- 1.3.4 Berechnen Sie die Temperatur T4 im Punkt 4 des Kreisprozesses. 2

1.4 Fahrsituation im Hybridbetrieb

Auf dem Arbeitsblatt 2 ist das Kennlinienfeld des Dieselmotors mit Volllastkennlinie M_{max} und dem Leistungsverlauf dargestellt.

Das Fahrzeug fährt mit 50 km/h im 6. Gang. Die Antriebskraft beträgt 2880 N.

In den folgenden 3 Aufgaben arbeiten beide Motoren so, dass der Dieselmotor im optimalen Betriebspunkt betrieben wird.

- 1.4.1 Berechnen Sie das notwendige Drehmoment für diese Fahrsituation und markieren Sie den Betriebspunkt im Kennlinienfeld auf dem Arbeitsblatt 2. 3
- 1.4.2 Zeigen Sie, dass das Drehmoment des Elektromotors in dieser Fahrsituation $M = 61 \text{ Nm}$ beträgt. 1
- 1.4.3 Die Akkuspannung beträgt 200 V. Ermitteln Sie den Strom, der aus dem Akku oder in den Akku fließt. Begründen Sie auch die Stromrichtung. 2

1.5 Fahren mit elektrischem Antrieb

In einer anderen Fahrsituation fährt das Fahrzeug mit einer konstanten Geschwindigkeit von 40 km/h im 5. Gang im rein elektrischen Betrieb.

Die Akkukapazität beträgt 90 Ah bei einer Spannung von 200 V.

Der Akku ist zu Beginn der Fahrt vollständig aufgeladen.

Die mechanische Antriebsleistung beträgt 20 kW.

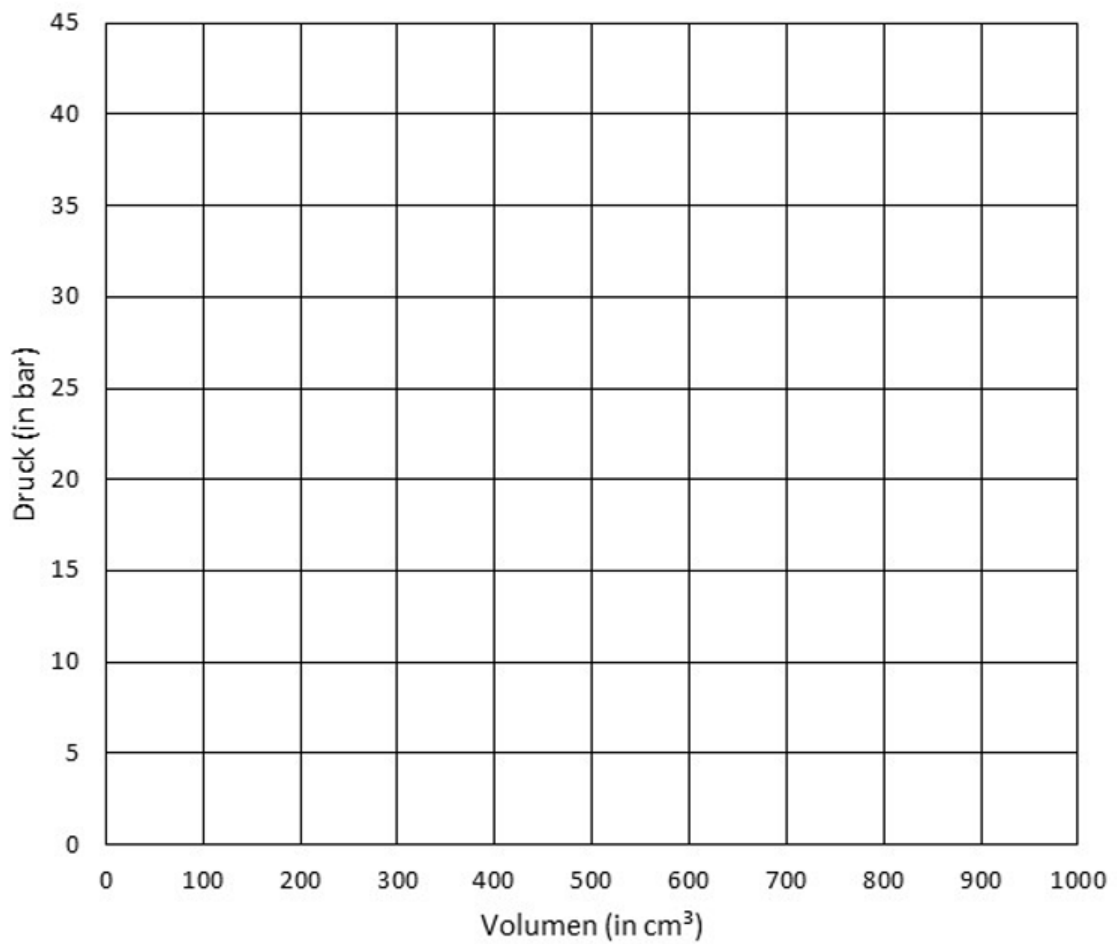
Der Elektromotor hat einen Wirkungsgrad von 92 %

- 1.5.1 Berechnen Sie die Länge der Strecke, die das Fahrzeug in dieser Fahrsituation zurücklegen kann bis der Akku leer ist. 3

Arbeitsblatt 1

Zu Aufgabe 1.3.1, 1.3.2 und 1.3.3

p-V-Diagramm Dieselkreisprozess



Punkte

(1)

(1)

(1)

Arbeitsblatt 2

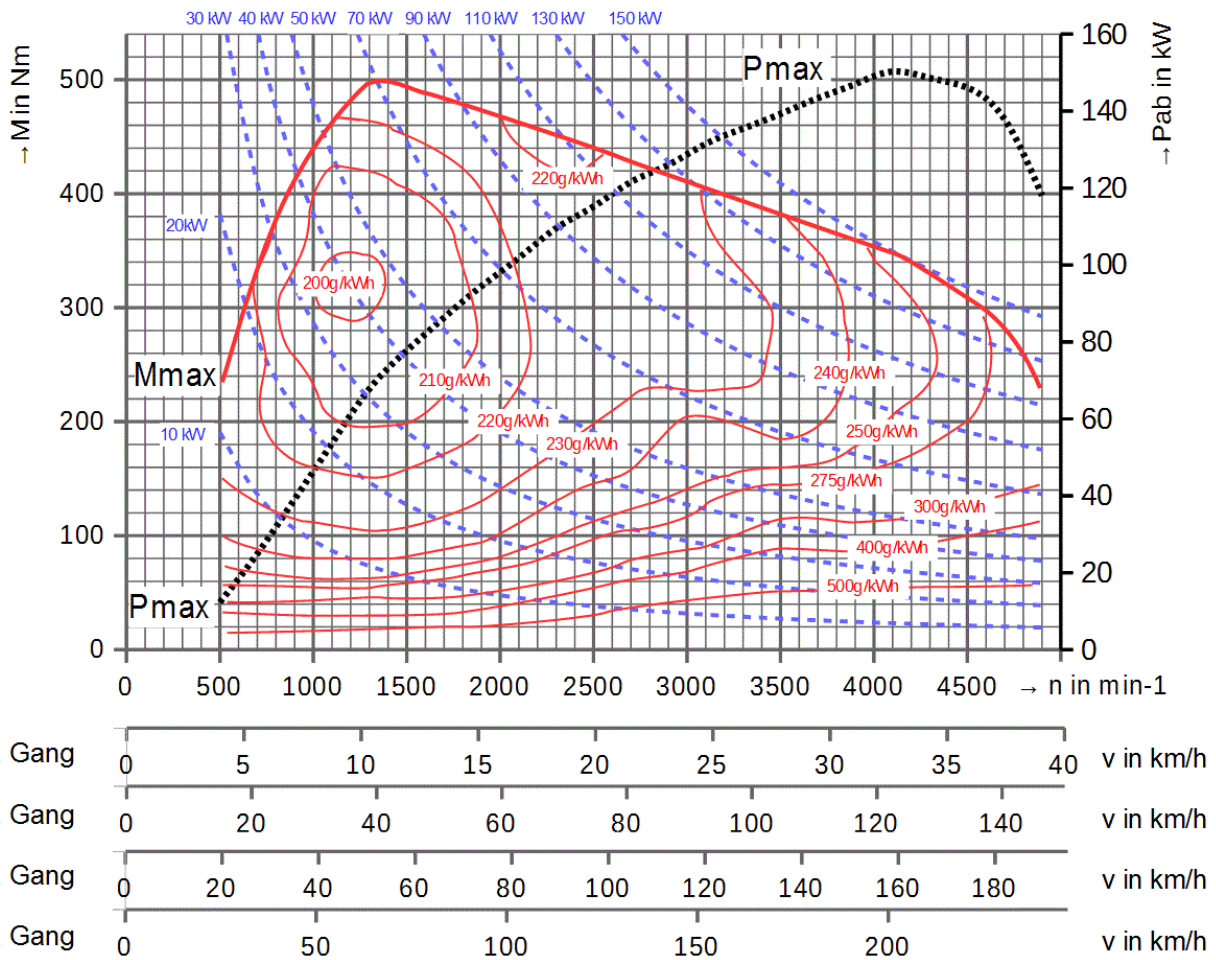
Zu Aufgabe 1.4.1 und 1.4.2

Kennlinienfeld spezifischer Verbrauch mit Volllastkennlinie Mmax und Leistungsverlauf Pmax

Punkte

(3)

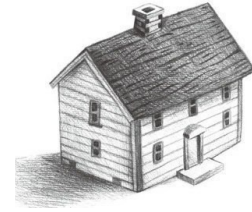
(1)



2 Pflichtaufgaben zu Wärme erzeugen, Wohnklima und Gebäudehülle

Punkte

Familie Meier besitzt eine 100 Jahre alte Hütte am See, die als Wochenend- und Ferienhaus genutzt wird. Die Hütte ist an das Stromnetz angeschlossen.



2.1 Wohnklima und Gebäudehülle

Das Wochenendhaus soll aus Komfortgründen energetisch saniert werden. Die Wände bestehen aus 20 cm dickem Weichholz (Fichte).

- 2.1.1 Ein befreundeter Architekt schlägt eine Innendämmung vor. Nennen Sie 2 Gründe, die in diesem Fall für die Anwendung einer Innendämmung sprechen. 1
- 2.1.2 Um den natürlichen Charakter der Hütte zu behalten, soll mit Holzfaserplatten WLK 032 gedämmt werden. Berechnen Sie die nötige Dicke der Holzfaserplatten, wenn ein U-Wert von $0,3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$ gefordert wird. 3
- 2.1.3 Der befreundete Architekt empfiehlt unbedingt den Einbau einer Dampfsperre. Erläutern Sie kurz die Aufgabe einer Dampfsperre, nennen Sie ein typisches Material, welches als Dampfsperre verwendet wird, und beurteilen Sie, ob der Vorschlag des Experten hier sinnvoll ist. 3
- 2.1.4 Das Duschbad des Ferienhauses hat die Abmessungen 2 m x 3 m x 2,5 m. Nach dem Duschen stellt sich folgender Zustand ein: 3
 Raumtemperatur $\vartheta_R = 25 \text{ °C}$, relative Luftfeuchte $\varphi = 90 \text{ %}$.
 An einem Wintertag beträgt die Außentemperatur $\vartheta_{\text{AU}} = -5 \text{ °C}$ bei einer relativen Luftfeuchte von $\varphi = 60 \text{ %}$. Das Fenster im Duschbad lässt sich nur einen Spalt breit öffnen, so dass pro Minute nur 200 l der Raumluft durch Außenluft ausgetauscht werden.
 Bewerten Sie mit Hilfe des h-x-Diagramms den Zustand des Raumklimas, welcher sich nach 15 Minuten Lüften eingestellt hat.
- 2.1.5 Der befreundete Architekt empfiehlt Familie Meier zusätzlich zum Einbau der Wärmedämmung eine dezentrale Lüftungsanlage für das Duschbad. Beurteilen Sie, ob der Einbau dieser Lüftung sinnvoll ist. 2
- 2.1.6 Berechnen Sie den Außenluftvolumenstrom, der von einer Lüftung zugeführt werden muss, damit in 15 Minuten die gesamte Luft des Duschbades durch frische Außenluft ersetzt wird. 2
- Die Außenluft (-5 °C , 60 %) erwärmt sich im Duschbad auf 22 °C .
- 2.1.7 Bestimmen Sie die relative Luftfeuchtigkeit und beurteilen Sie, ob das Raumklima als behaglich empfunden wird. 2
- 2.1.8 Ermitteln Sie näherungsweise die Wärmemenge, die bei Austausch der gesamten Raumluft zugeführt werden muss. Als Dichte der Luft können $1,3 \text{ kg/m}^3$ angenommen werden. 2

2.2 Wärme erzeugen

Die Heizenergie für das Wochenendhaus wird bisher mit einem 30 Jahre alten ölbetriebenen Heizkessel erzeugt. Für die Trinkwassererwärmung sind elektrische Durchlauferhitzer installiert.

2.2.1 Der alte Heizkessel besitzt einen Wirkungsgrad von $\eta = 70\%$. Bestimmen Sie die durchschnittlichen Heizkosten, wenn von einem jährlichen Heizwärmebedarf von $1840 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$ ausgegangen wird und das Heizöl 68 ct pro Liter kostet. 2

2.2.2 In der Heizung wird Heizöl EL ($\text{C}_{10}\text{H}_{18}$) verbrannt. Erstellen Sie die chemische Reaktionsgleichung für eine vollständige Verbrennung bei einer Luftverhältniszahl $\lambda = 1,0$. 2

Der befreundete Architekt denkt im Rahmen seiner Planungen darüber nach, die alte Heizung gegen ein kleines BHKW mit zentraler Trinkwassererwärmung und -speicherung zu ersetzen.

2.2.3 Skizzieren Sie das energetische Blockschaltbild für ein BHKW. 2

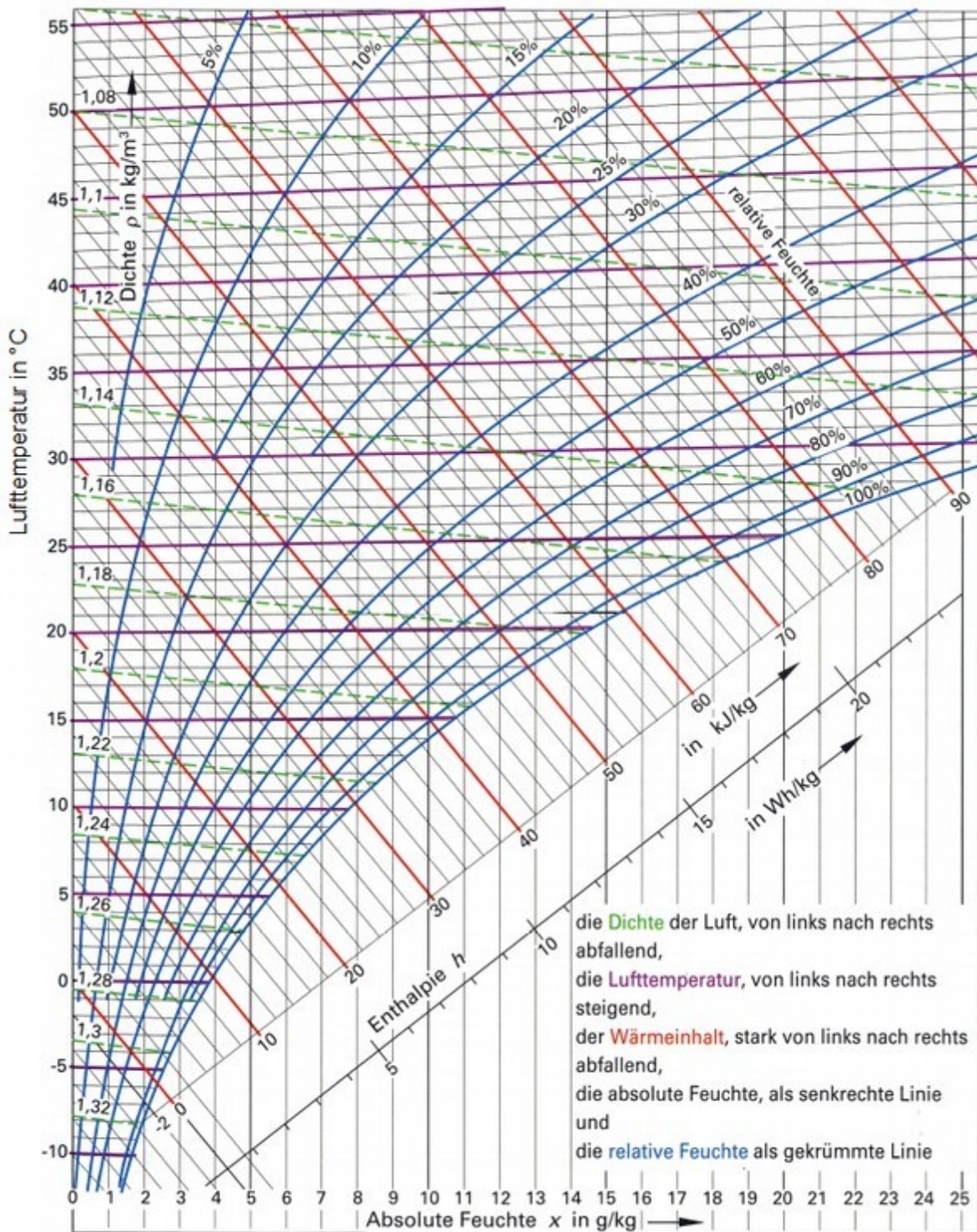
2.2.4 Es gibt gute Argumente, die für bzw. gegen den Einsatz eines BHKW im Wochenendhaus sprechen. 2
Begründen Sie jeweils einen Vorteil und einen Nachteil für Familie Meier.

2.2.5 Bestimmen Sie die Größe des bivalenten Trinkwasserspeichers, wenn für die 5 köpfige Familie ein mittlerer täglicher Warmwasserbedarf pro Kopf von 30 L bei $45\text{ }^\circ\text{C}$ für 2 Tage vorgehalten werden soll. Die Speichertemperatur beträgt $60\text{ }^\circ\text{C}$ und die Kaltwassertemperatur $10\text{ }^\circ\text{C}$. 3

2.2.6 Erläutern Sie hygienische Probleme, welche bei der Bevorratung von warmem Wasser im Wochenendhaus auftreten können. 1

Arbeitsblatt

zu Aufgabe 2.1.4, 2.1.7, 2.1.8:



Punkte

(3)

(2)

(2)

3 Wahlaufgaben zur Solarthermie, zur Photovoltaik und zur Bewertung von umwelttechnischen Systemen	Punkte
<p>Ein Haus mit einer Dachfläche von 10 m x 5 m, Neigung 30°, Ausrichtung Süd soll entweder mit einer Solarthermie- oder einer Photovoltaikanlage ausgestattet werden. In den folgenden Aufgaben werden die Systeme einander gegenübergestellt.</p>	
3.1 Solarthermie	
<p>An einem Tag im August wird eine Kollektortemperatur von 110 °C bei einer Außentemperatur von 30 °C gemessen. Standort: Würzburg.</p>	
<p>3.1.1 Bestimmen Sie den täglichen Wärmeertrag einer Flachkollektoranlage, welche die gesamte Dachfläche bedeckt.</p>	3
<p>Das Haus wird von 6 Personen mit einem täglichen Warmwasserbedarf von 50 L pro Person bewohnt.</p>	
<p>3.1.2 Zeigen Sie, dass der tägliche Wärmebedarf für die Erwärmung des Wassers von 15 °C auf 45 °C ca. 10,4 kWh beträgt.</p>	2
<p>3.1.3 Beurteilen Sie den Deckungs- und den Nutzungsgrad der Anlage.</p>	2
3.2 Photovoltaik und elektrische Warmwasserbereitung	
<p>Alternativ wird ermittelt, welchen Ertrag eine PV-Anlage liefert und ob diese auch sinnvoll zur Wärmeerzeugung verwendet werden kann. Rechnen Sie mit den Werten für den Standort Karlsruhe und einem Wirkungsgrad der Solarmodule von 18 %.</p>	
<p>3.2.1 Zeigen Sie durch Berechnung, dass die durchschnittlichen PV-Tageserträge an einem Augusttag 47,7 kWh und an einem Januartag 11,9 kWh betragen, wenn die gesamte Dachfläche mit Solarzellen belegt ist.</p>	3
<p>Der Warmwasserspeicher ist mit Heizstäben ausgestattet, die ihre Energie aus dem Stromnetz erhalten. Die Energie aus der PV-Anlage gelangt über den Wechselrichter ins Stromnetz und kann als „Eigenverbrauch“ zur Wärmeerzeugung genutzt werden. Wechselrichter, Heizstäbe und Zuleitungen haben zusammen einen Wirkungsgrad von 90 %.</p>	
<p>3.2.2 Beurteilen Sie, inwieweit die PV-Anlage im August und im Januar zur Warmwassererzeugung verwendet werden kann. Beschreiben Sie, wie die Warmwasserversorgung auch an mehreren aufeinanderfolgenden trüben Tagen im Januar aufrecht erhalten werden kann. Der tägliche Wärmebedarf beträgt 10,4 kWh (wie in Aufg. 3.1.2).</p>	4
<p>Alternativ wird vorgeschlagen, die elektrische Energie aus der PV-Anlage zum Betrieb einer Luft-Wasserwärmepumpe mit der Jahresarbeitszahl 4 einzusetzen.</p>	
<p>3.2.3 Erstellen und beschriften Sie ein energetisches Blockschaltbild dieses Energiekonzepts.</p>	3
<p>3.2.4 Zeigen Sie durch Berechnung, dass die Wärmepumpe einen jährlichen elektrischen Energiebedarf von 949 kWh besitzt, wenn der Wärmebedarf der Familie aus Aufgabe 3.1.2 zugrunde gelegt wird.</p>	2

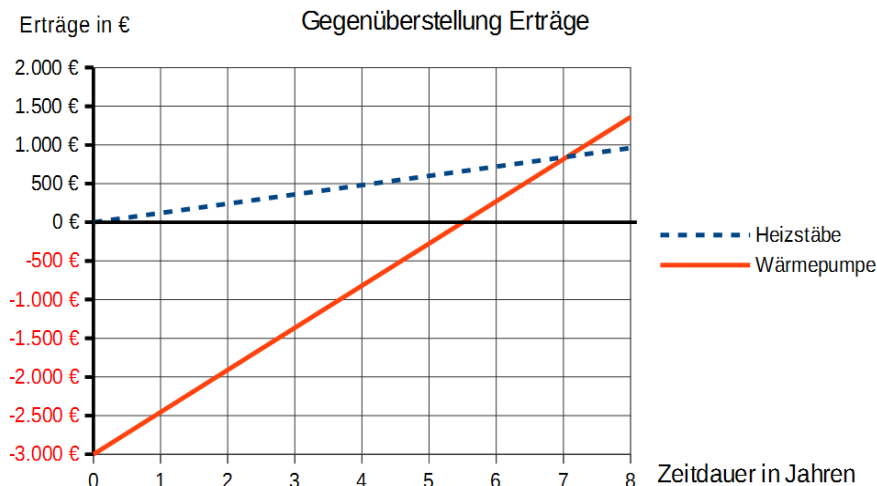
Der **PV-Jahresertrag** beträgt ca. **12.400 kWh**. Der durchschnittliche **elektrische Jahresenergieverbrauch** (ohne Warmwasserbereitung) beträgt ca. **6.000 kWh** für einen 6-Personen-Haushalt.

3.2.5 Konstruieren Sie ein Energieflussdiagramm (Sankeydiagramm) mit den jährlichen Energiemengen 4

- $W_{\text{elektr-PV}}$ (von PV-Anlage erzeugte Energie)
- $W_{\text{elektr-Eigenbedarf}}$ (elektrischer Energieeigenbedarf des Haushalts)
- $Q_{\text{Jahr}} = 3796 \text{ kWh}$ (Wärmebedarf des 6-Personen-Haushalts)
- Q_{Umwelt} (aus der Umwelt entzogene Wärmeenergie)
- $W_{\text{elektr-Netz}}$ (ins Stromnetz eingespeiste Energiemenge ohne Eigennutzung)

Beschriften Sie das Diagramm mit den o. g. Bezeichnungen und berechnen Sie die fehlenden Energiewerte in kWh. Maßstab: $2000 \text{ kWh} \triangleq 1 \text{ cm}$

3.2.6



3

In der Grafik sind die Erträge aus der Netzeinspeisung der elektrischen Energie der PV-Anlage für die 2 Systeme mit Wärmeerzeugung

- durch Heizstäbe
- durch Wärmepumpe

dargestellt. Auch die zusätzlichen Kosten für die Wärmepumpe sind berücksichtigt.

Ermitteln Sie die Jahreserträge in Euro für beide Systeme und erläutern Sie die Bedeutung des Schnittpunkts der Geraden und des Schnittpunkts mit der 0 €-Linie.

3.3 Systemvergleich und Bewertung

3.3.1 Folgende Systeme zur Warmwasserbereitung werden verglichen: 4

- Photovoltaik-Anlage mit Wärmepumpe
- Photovoltaik-Anlage mit Heizstäben im Warmwasserspeicher
- Gasdurchlauferhitzer

Bewerten Sie die Systeme bezüglich CO_2 -Bilanz und energetischer Unabhängigkeit.

30

4 Wahlaufgabe zu Energiespeicherung, Bewertung von Energie- und umwelttechnischen Systemen

Punkte

Überschüssige elektrische Energie aus erneuerbaren Energien kann zur späteren Verwendung gespeichert werden. Auf die folgenden zwei Mobilitätskonzepte wird hier eingegangen:

Batteriespeicher

Elektrische Energie kann lokal in einem Batteriespeicher zwischengespeichert werden. Über eine elektrische Schnittstelle kann daraus der Akku eines Elektroautos aufgeladen werden.

Power to Gas

Elektrische Energie kann durch Elektrolyse und Methanisierung in Methan umgewandelt werden. Dieses kann als Treibstoff für ein Erdgasauto genutzt werden.

Folgende Wirkungsgrade sind bekannt:

- Elektrolyse von Wasser: 60 %
- Methanisierung: 83 %
- Otto-Motor: 25 %
- Batteriespeicher:
Aufladen: 95 %
Entladen: 95 %
- Akku des Elektroautos:
Aufladen: 90 %
Entladen: 90 %
- Elektromotor: 92 %
- Erdgastank, Gastank: 100 %

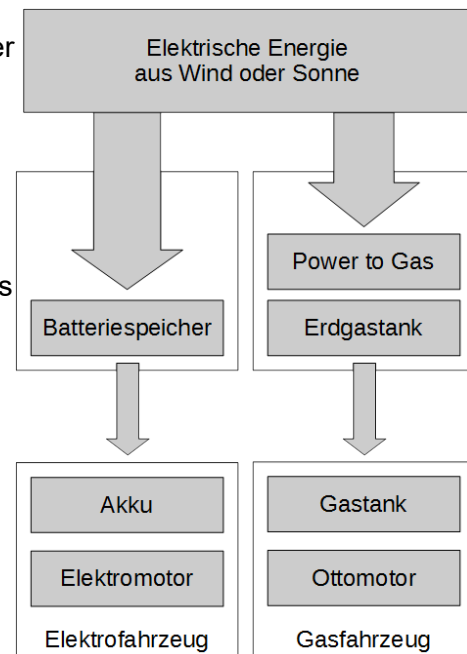


Abbildung 4.1: Regenerative Mobilitätskonzepte

4.1 Konzeptvergleich

- | | | |
|-------|---|---|
| 4.1.1 | Erstellen Sie für das Konzept „Power to Gas“ ein Energieflussdiagramm im Maßstab: 100 % $\hat{=}$ 5 cm. | 3 |
| 4.1.2 | Bestimmen Sie die Gesamtwirkungsgrade der Konzepte „Batteriespeicher“ und „Power to Gas“ und bewerten Sie diese. | 3 |
| 4.1.3 | Beschreiben Sie zwei Vorteile des Mobilitätskonzepts „Power to Gas“ gegenüber dem Batteriespeicherkonzept. | 2 |
| 4.1.4 | Skizzieren Sie analog zu Abbildung 4.1: <i>Regenerative Mobilitätskonzepte</i> das Konzept eines Fahrzeugs mit Brennstoffzellenantrieb. | 2 |

4.2 Elektrofahrzeug

Daten des Akkus im Elektrofahrzeug: 200 V / 95 Ah
Wirkungsgrade Akku Laden/Entladen jeweils 90 %

- 4.2.1 Beim Aufladen des leeren Akkus an einer Haushaltssteckdose (230 V) beträgt die Ladezeit 9 Stunden. Ermitteln Sie den Ladestrom. 2
- 4.2.2 In manchen Haushalten steht ein Drehstromanschluss (230 / 400 V) zum Schnellladen des Elektrofahrzeugs zur Verfügung. Der Strom in den Außenleitern beträgt jeweils 32 A. Der $\cos \varphi$ beträgt 1. Ermitteln Sie die Zeit, die benötigt wird, um den Akku mit 20 kWh elektrischer Energie zu laden. 3
- 4.2.3 Der Hersteller gibt die Reichweite mit 160 km an. Berechnen Sie den Energieverbrauch in kWh pro 100 km mit Hilfe der Herstellerangaben. 2
- 4.2.4 Im Alltagsbetrieb beträgt die Reichweite ca. 120 km. Erläutern Sie zwei Faktoren für die Abweichung von den Herstellerangaben. 2
- 4.2.5 In der „Auto-Umweltliste“ wird für das Fahren des Elektrofahrzeugs ein CO₂-Emissionswert von 90 g/km angegeben. Erläutern Sie, warum es einen CO₂-Emissionswert besitzt, obwohl es kein CO₂ ausstößt. 1

4.3 Verbrennungsmotor mit Gasantrieb

Der Erdgastank kann bei einem Druck von 200 bar und einer Temperatur von 20 °C 72 Liter Erdgas (Methan) aufnehmen.

Die spezifische Gaskonstante für Erdgas ist näherungsweise $R_1 = 520 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$.

Der Heizwert von Erdgas beträgt $45 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$.

- 4.3.1 Erläutern Sie, aus welchem Grund für die energetischen Berechnungen der Heizwert und nicht der Brennwert zugrunde gelegt wird. 1
- 4.3.2 Berechnen Sie den Energieinhalt des vollen Tanks in kWh. 3
- 4.3.3 Zeigen Sie, dass 6 kg Erdgas für eine Reichweite von rund 240 km reichen, wenn das Fahrzeug laut Herstellerangaben 31 kWh auf 100 km verbraucht. 2
- 4.3.4 Der Energieverbrauch des Gasantriebs pro 100 km ist rund dreimal so groß wie der des Elektroantriebs. Begründen Sie diesen Unterschied. 2
- 4.3.5 Der Gasmotor arbeitet nach dem Otto-Prinzip. Bei jedem Zyklus werden 0,03 g Erdgas in jeden der vier Zylinder eingedüst. Der Wirkungsgrad des Motors beträgt 25 %. Berechnen Sie die Leistung bei einer Kurbelwellendrehzahl von 5000 min⁻¹. 2

TG Umwelttechnik**Abitur 2019/2020****Hauptprüfung**

Arbeitszeit:	270 Minuten	
Hilfsmittel	Formelsammlung Umwelttechnik Zugelassener Taschenrechner	
Stoffgebiet	Teil 1: Pflichtbereich	
	Aufgabe 1: Photovoltaik Elektromobilität	(3 Seiten)
	Aufgabe 2: Solarthermie Energiebilanz Gebäudehülle	(2 Seiten)
	Teil 2: Wahlbereich	
	Aufgabe 3: Wasserstoffmobilität Klimatisierung	(3 Seiten)
	Aufgabe 4: Wärmepumpe Rauchgasreinigung Pumpspeicherkraftwerk	(4 Seiten)

Bemerkungen

Die Aufgaben 1 und 2 (Pflichtbereich) sind von allen Prüflingen zu bearbeiten.
Aus den Aufgaben 3 und 4 (Wahlbereich) wählt die Schülerin/der Schüler eine Aufgabe aus.

Der Aufgabensatz umfasst 14 Seiten (inklusive diesem Deckblatt).

Bitte entnehmen Sie den Aufgaben die beigefügten Arbeitsblätter und geben Sie diese mit Ihrer Reinschrift ab.

Sie sind verpflichtet, die Vollständigkeit des Aufgabensatzes umgehend zu überprüfen und fehlende Seiten der Aufsicht führenden Lehrkraft anzuzeigen. Jede Aufgabe ist mit einem neuen Blatt zu beginnen. Bei Verstößen gegen die angemessene Darstellungsform kann ein Punkteabzug erfolgen.

1 Photovoltaik und Elektromobilität

Punkte

1.1 Photovoltaik-Anlage

Auf einem Haus in Karlsruhe wird eine fest nach Süden ausgerichtete PV-Anlage mit 37° Neigungswinkel und einer Leistung von 6 kW installiert. Sie soll primär dazu verwendet werden, den Eigenenergiebedarf zu decken und mit der überschüssigen Energie ein Elektrofahrzeug zu laden.

Moduldaten:

Modul JAM6 60-300/PR	Elektrische Werte bei STC (1000 W/m ² , 25 °C, AM1,5)
Leistung im MPP (P_{MPP})	300 W
Spannung im MPP (U_{MPP})	32,26 V
Stromstärke im MPP (I_{MPP})	9,3 A
Leerlaufspannung (U_{OC})	39,85 V
Kurzschlussstrom (I_{SC})	9,75 A
Temperaturkoeffizient (TK_U)	-0,30 %/K
Temperaturkoeffizient (TK_I)	+0,06 %/K
Maße	991 mm x 1650 mm

- 1.1.1 Bestimmen Sie die Anzahl der Module dieser Anlage. 1
- 1.1.2 Bestimmen Sie den Wirkungsgrad eines Solarmoduls bei STC. 2
- 1.1.3 Konstruieren und begründen Sie die I(U)-Kennlinie eines Moduls bei einer Bestrahlung mit 300 W/m² auf dem Arbeitsblatt. 4
Ermitteln Sie die Werte U_{OC} und I_{SC} .
- 1.1.4 Die 20 Module werden in zwei Strings verschaltet. 3
Bestimmen Sie, für welche maximale Eingangsspannung der Wechselrichter ausgelegt werden muss, wenn die niedrigste Umgebungstemperatur -20 °C beträgt.
- 1.2 Elektromobilität**
- 1.2.1 Erläutern Sie drei Merkmale, die für eine nachhaltige und in der Bevölkerung akzeptierte Entwicklung der Elektromobilität wichtig sind. 3

Ein **Elektroauto** besitzt die folgenden Daten:

Max. Reichweite	280 km	
Verbrauch von Energie aus dem Akku	14,6 kWh/100km	Bei dieser Angabe ist der Entladewirkungsgrad bereits berücksichtigt.
Höchstgeschwindigkeit	135 km/h	
Energieinhalt Akku	41 kWh	(305 kg Li-Ionen-Akku)
Akkuspannung	295 V	
Max. Motordrehzahl	11.000 min ⁻¹	
Wirkungsgrad Akku	96 %	Sowohl Lade- als auch Entladevorgang
Wirkungsgrad Laderegler	95 %	

- 1.2.2 Das Auto wird mit Hilfe einer Solaranlage 5 Stunden lang mit $P_{\text{ab-solar}} = 6 \text{ kW}$ aufgeladen. Berechnen Sie die Reichweite, die mit diesem Ladevorgang erzielt wird. 3

Bei einer Geschwindigkeit von 110 km/h wird eine mechanische Leistung von 40 kW abgegeben.

- 1.2.3 Ermitteln Sie den Arbeitspunkt für diese Fahrsituation und tragen Sie diesen in das $M(n)$ -Diagramm auf dem Arbeitsblatt ein. 3

Hinweis: maximale Motordrehzahl bei Höchstgeschwindigkeit

- 1.2.4 Ermitteln Sie die Reichweite des Autos für diese Fahrsituation. Der Akku ist bei Fahrtantritt vollständig geladen. Der Motorwirkungsgrad beträgt 90 %. 2

- 1.2.5 Das Fahrzeug wird aus dem Stand bis zum Arbeitspunkt $50 \text{ Nm}/6000 \text{ min}^{-1}$ maximal beschleunigt. Zeichnen Sie den Verlauf dieses Vorgangs in das M/n -Diagramm auf dem Arbeitsblatt ein. Begründen Sie den Verlauf. 2

- 1.2.6 Erläutern Sie Unterschiede in der Beschleunigung eines Autos mit Verbrennungsmotor mit der in 1.2.5 beschriebenen Beschleunigung. 2
Hinweis: Beachten Sie die $M(n)$ -Kennlinie des Dieselmotors in der Formelsammlung.

Der Wasserverbrauch bei der Lithium-Gewinnung für Li-Ionen-Akkus steht in der Kritik. Zur Herstellung des Akkus werden 180 g Lithium pro kWh Energieinhalt des Akkus benötigt. Zur Herstellung von 1 t Lithium werden 400.000 L Wasser verbraucht. Die Akku kann für eine Fahrstrecke von 200.000 km genutzt werden.

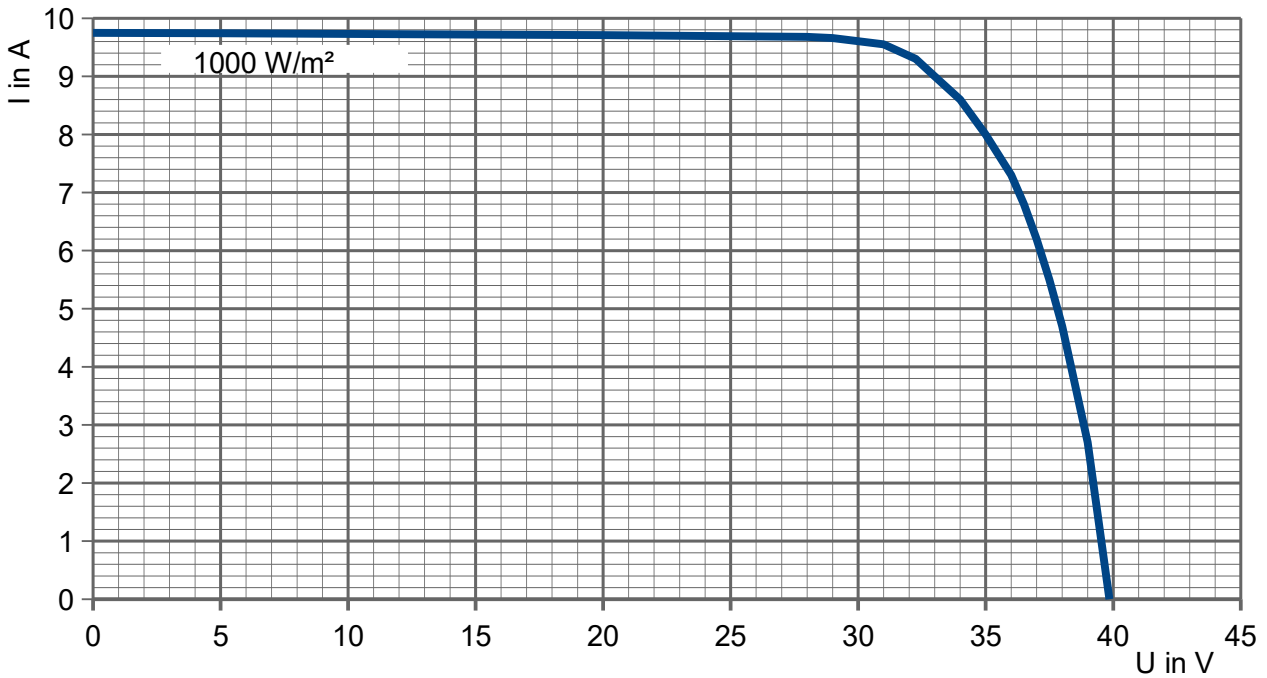
- 1.2.7 Berechnen Sie die zur Gewinnung des Lithiums in einem 41 kWh-Akku benötigte Wassermenge. 2

- 1.2.8 Ermitteln Sie die zur Gewinnung des Lithiums benötigte Wassermenge pro 100 gefahrene Kilometer. Bewerten Sie das Ergebnis. 3

Vergleich: Zur Herstellung des Kaffees in einer Tasse Kaffee werden 140 L Wasser benötigt.

Arbeitsblatt

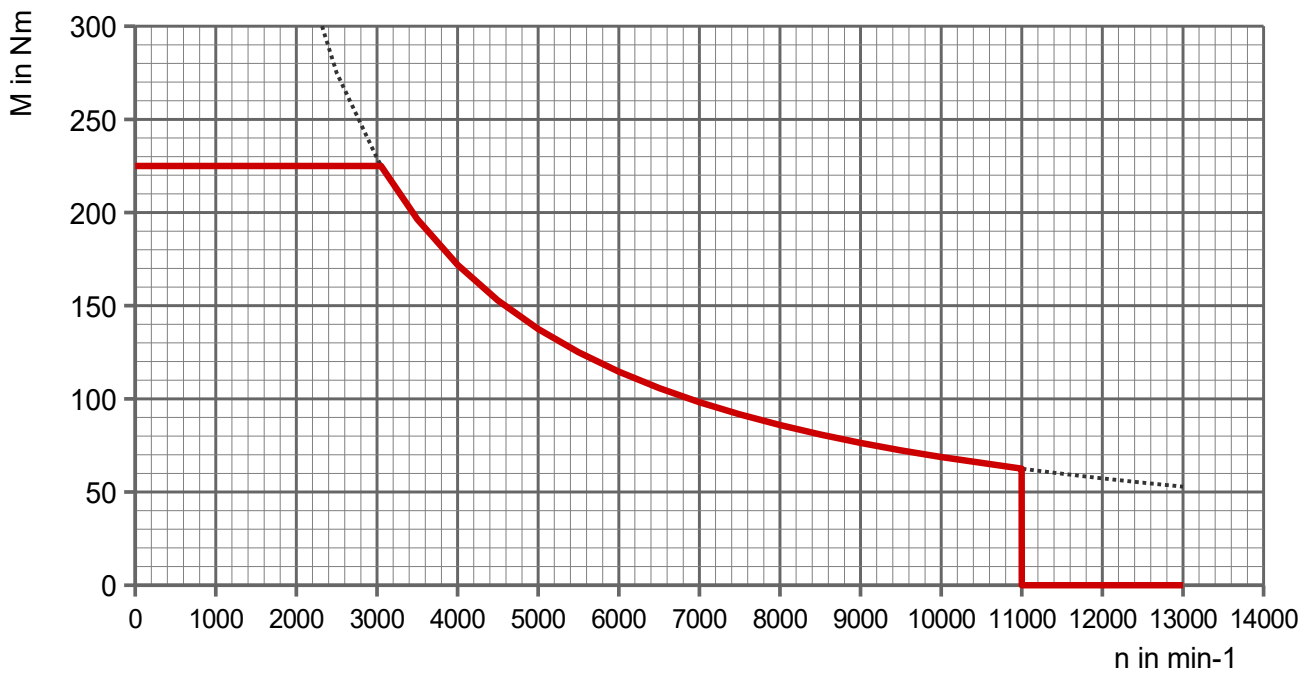
zu Aufgabe 1.1.3: I(U)-Kennlinien eines Solarmoduls



Punkte

(4)

zu Aufgabe 1.2.3, 1.2.5: M(n)-Diagramm des Elektromotors



(3)
(2)

2 Pflichtaufgabe zu Solarthermie, Energiebilanz und Gebäudehülle

Punkte

2.1 Solarthermische Anlage und Speicher

Ein Mehrfamilienhaus wird über einen zentralen Trinkwasserspeicher mit 1000 Litern Fassungsvermögen mit Warmwasser versorgt. Die Frischwassertemperatur beträgt 12 °C, die maximale Wassertemperatur im Speicher beträgt 70 °C. Die Wärme wird von einer solarthermischen Anlage mit Vakuumröhrenkollektoren auf dem Dach bereitgestellt.

Die solarthermische Anlage wird mit Wasser als Wärmeträgermedium betrieben und ist für einen hohen Deckungsgrad konzipiert.

- 2.1.1 Vergleichen Sie den Nutzungsgrad mit dem Deckungsgrad einer solarthermischen Anlage. Erläutern Sie die negativen Auswirkungen, welche die Auslegung auf einen hohen Deckungsgrad für den Nutzungsgrad haben. 3
- 2.1.2 Begründen Sie die optimale Neigung und Ausrichtung des Kollektors unter dem Aspekt eines hohen jährlichen Deckungsgrades. 2
- 2.1.3 Erläutern Sie einen Vorteil von Vakuumröhrenkollektoren gegenüber Flachkollektoren für den vorliegenden Anwendungsfall. 2
- 2.1.4 Der Anlagenhersteller gibt zur Speicherauslegung folgende Formel an:
Speichervolumen in Litern = 1,4063 * täglichem Warmwasserbedarf + 18,75 l.
Berechnen Sie damit die Menge an Warmwasser, die jedem der 12 Bewohner täglich zur Verfügung steht. 2
- 2.1.5 Der Trinkwasserspeicher ist vollständig aufgeheizt. Am Wasserhahn soll das warme Wasser mit 50 °C entnommen werden. 3
Berechnen Sie die gesamte zur Verfügung stehende Warmwassermenge in m³.

2.2 Vakuumröhrenkollektor

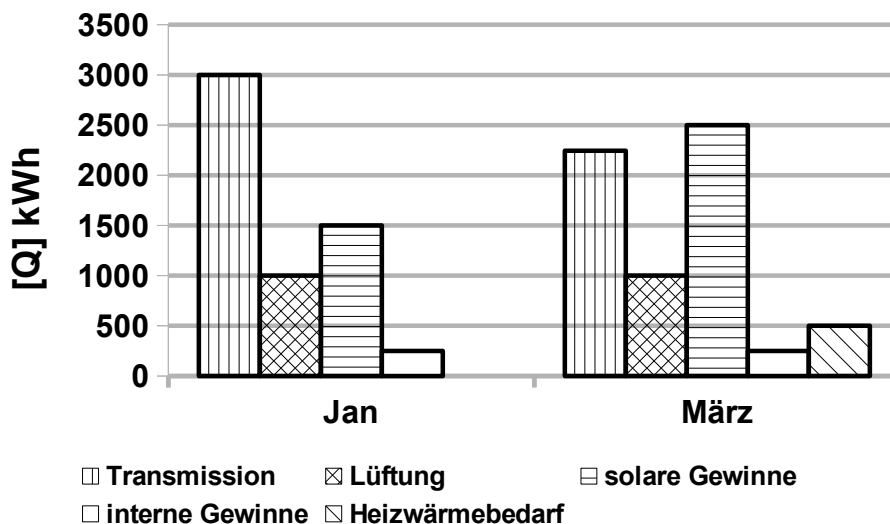
Im April sind ca. 10°C Außentemperatur zu erwarten, während der Kollektor ($A = 28 \text{ m}^2$) im Betrieb 70°C erreicht. Die Strahlungsleistung beträgt zur Mittagszeit 800 W/m².

- 2.2.1 Ermitteln Sie für den dargestellten Tag im April den Anlagenwirkungsgrad unter Berücksichtigung der Verteilungsverluste von 5 % und der Verluste im Speicher von 15 %. Dokumentieren Sie Ihr Vorgehen ausführlich. 2
- 2.2.2 Bestimmen Sie die abgegebene Wärmeleistung des 28 m² großen Kollektors während der Mittagszeit. Falls 2.2.1 nicht gelöst wurde: Rechnen Sie mit einem Kollektorwirkungsgrad von 55 %. 2
- 2.2.3 Durch einen Defekt der Solarkreispumpe wird keine Wärme mehr an den Speicher abgeführt. 3
In den Vakuumröhren befinden sich 0,4 l Wasser als Solarflüssigkeit pro m². Die maximale Betriebstemperatur für die Solarflüssigkeit beträgt 180 °C, weil bei dieser Temperatur die Solarflüssigkeit verdampft.
Berechnen Sie mit einem mittleren Wirkungsgrad $\eta_{\text{Koll}} = 45 \%$, in welcher Zeit der Kollektor von der Betriebstemperatur (70 °C) auf die maximale Betriebstemperatur aufgeheizt wird.

2.3 Energiebilanz

In der Grafik ist die Energiebilanz des Mehrfamilienhauses für die Monate Januar und März dargestellt.

Hinweis: Für den Monat Januar fehlt die Darstellung des Heizwärmebedarfs.



2.3.1 Erklären Sie den Begriff „interne Gewinne“ und nennen Sie zwei Beispiele. 2

2.3.2 Begründen Sie, warum sich die Werte für Transmission und solare Gewinne im Vergleich der Monate unterscheiden, die Werte für interne Gewinne und Lüftung jedoch annähernd gleich bleiben. 3

2.3.3 Ermitteln Sie den fehlenden Heizwärmebedarf im Monat Januar. 2

2.4 Gebäudehülle

Nach der energetischen Sanierung soll der Wandaufbau des Mehrfamilienhauses aus folgenden Werkstoffen bestehen:

Schicht	Dicke [cm]	Wärmeleitfähigkeit [W/mK]
Gipsputz	1	0,51
Beton	18	2
Wärmedämmung	14	
Zementputz	1,5	1,6

2.4.1 Der Wärmedurchgangskoeffizient der Wand soll 0,2 W/m²K nicht überschreiten. Berechnen Sie die erforderliche Wärmeleitfähigkeit der Dämmschicht und schlagen Sie einen geeigneten Dämmstoff vor. 3

2.4.2 Der Bauherr überlegt, ob die Dämmung innen oder außen angebracht werden soll. Nennen Sie zwei Nachteile einer Innendämmung. 1

3 Wahlaufgabe zu Wasserstoffmobilität und Klimatisierung

Punkte

3.1 Wasserstoffmobilität

A: Dieselelektrischer Antrieb (herkömmlicher Dieseltriebwagen)

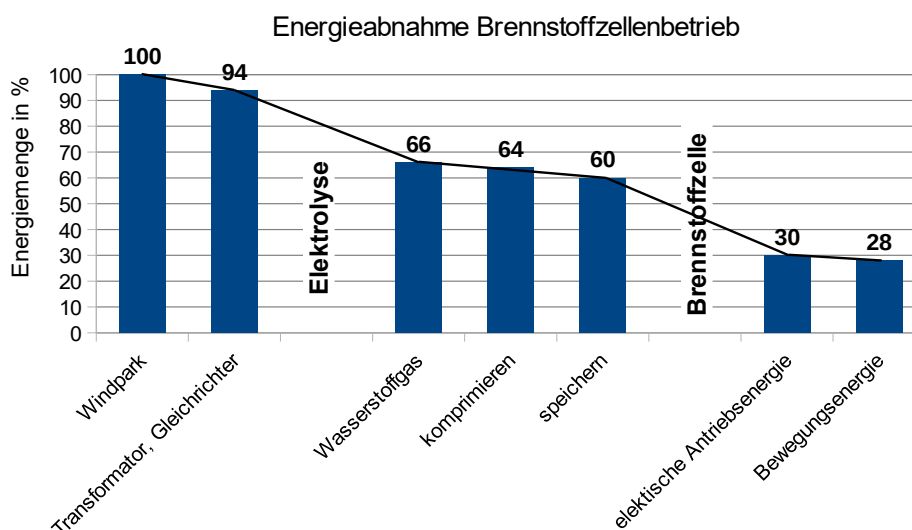
Auf Bahnstrecken ohne Oberleitung werden Triebwagen mit Dieselmotoren eingesetzt. Ihr Antriebsstrang besteht aus einem Verbrennungsmotor, der einen Generator antreibt. Der erzeugte Strom wird direkt ohne Speicher von einem Elektromotor zum Antrieb verwendet.

B: Wasserstoffantrieb (H₂-Triebwagen)

Alte Dieseltriebwagen sollen durch Triebwagen mit Wasserstoff-Brennstoffzellen ersetzt werden. Der von der Brennstoffzelle erzeugte Strom wird zum einen direkt von der elektrischen Maschine für den Antrieb verwendet und zum anderen wird ein Akku damit geladen. Bei hoher Belastung (Beschleunigen, Steigung) dient der Akku als zusätzliche Stromquelle für die elektrische Maschine. Beim Bremsen kann die elektrische Maschine rekuperieren.

- 3.1.1 Nennen Sie zwei positive Aspekte des Bremsens mit Rekuperation gegenüber mechanischen Bremsen. 2
- 3.1.2 Zeichnen Sie die Blockschaltbilder für die Antriebsarten A und B. Beginnen Sie jeweils mit dem Kraftstoffspeicher. 3
- 3.1.3 Erläutern Sie zwei Aspekte, mit denen die CO₂-Bilanz des Dieseltriebwagens A verbessert werden kann. 2
- 3.1.4 Neben dem Ausstoß von CO₂ hat der Dieseltriebwagen weitere negative Umweltauswirkungen. Nennen Sie zwei dieser Auswirkungen. 1
- 3.1.5 Die Befürworter von H₂-Triebwagen werben mit einem CO₂-freien Fahrbetrieb. Erklären Sie, wie die Systemgrenzen gesetzt werden müssen, damit dies stimmt. 2

In der folgenden Grafik sind die einzelnen Umwandlungsschritte dargestellt, die notwendig sind, bis die Energie eines Windparks zur Fortbewegung des Wasserstoff-Triebwagens zur Verfügung steht. Eine Elektrolyseanlage neben den Windparks erzeugt Wasserstoff für die Wasserstofftankstelle, die direkt neben der Bahnlinie liegt.



In den zwei Wasserstofftanks auf dem Triebwagen, die jeweils 90 kg Wasserstoff fassen, werden insgesamt 6 MWh Energie gespeichert.

Dichte: $\rho_{\text{H}_2} = 0,0899 \text{ kg/m}^3$ bei einem Umgebungsdruck $p_{\text{amb}} = 1 \text{ bar}$

3.1.6 Weisen Sie diesen Energiegehalt mithilfe des Heizwerts nach.

2

3.1.7 Ermitteln Sie die Wirkungsgrade des Elektrolyseurs und der Brennstoffzelle.

2

Für eine vollständige Betankung des H₂-Triebwagens fallen 4,89 t CO₂ an, wenn die Wasserstoffherstellung mit Energie aus dem deutschen Strommix durchgeführt wird.

Der H₂-Triebwagen hat eine Reichweite von 900 km und kann dabei 280 Personen befördern. Der Dieseltriebwagen hat einen Verbrauch von 80 L Diesel auf 100 km und kann dabei 370 Personen befördern. „Well to Wheel“ erzeugt die Verbrennung eines Liters Diesel 3,3 kg CO₂.

3.1.8 Der Wasserstoff wird mit dem deutschen Strommix erzeugt.

3

Zeigen Sie, dass der CO₂-Ausstoß beim H₂-Triebwagen $19,4 \frac{\text{g}}{\text{km} \cdot \text{Person}}$

und $7 \frac{\text{g}}{\text{km} \cdot \text{Person}}$ beim Dieseltriebwagen beträgt. (Jeweils bei Vollbesetzung)

3.1.9 Analysieren Sie die Ursachen für die unterschiedlich hohen CO₂-Ausstoß-Werte und erklären Sie in diesem Zusammenhang die Bedeutung der regenerativen Wasserstoffherzeugung.

3

3.2 Behaglichkeit und Klimatisierung im Großraumbüro

In einem Großraumbüro ($V_{\text{Raum}} = 150 \text{ m}^3$) arbeiten 20 Personen. An einem Sommertag herrschen folgende Bedingungen:

außen: Temperatur $\vartheta_a = 31 \text{ °C}$, Luftfeuchte $\varphi_a = 30 \text{ %}$.

innen: Temperatur $\vartheta_i = 21 \text{ °C}$, Luftfeuchte $\varphi_i = 50 \text{ %}$

3.2.1 Die CO₂-Konzentration beeinflusst die Behaglichkeit in Räumen.

3

Beschreiben Sie den Einfluss der CO₂-Konzentration auf das Wohlbefinden des Menschen.

Erklären Sie die Minderung der Behaglichkeit durch zwei weitere Faktoren.

3.2.2 Ermitteln Sie mit Hilfe der Grafik auf dem Arbeitsblatt die stündlich erforderliche Außenluftmenge für das Großraumbüro. Dokumentieren Sie Ihren Lösungsweg.

2

3.2.3 Die CO₂-Konzentration im Raum soll 0,15 % nicht überschreiten.

3

Um dies zu erreichen, werden stündlich 200 m³ Raumluft durch Außenluft ersetzt.

Bestimmen Sie die Luftwechselrate β .

Ermitteln Sie die stündlichen Massenströme der Raum- und Außenluft und begründen Sie den Unterschied zwischen den beiden Werten.

3.2.4 Berechnen Sie die stündlich abzuführende Wassermenge um die gegebenen

2

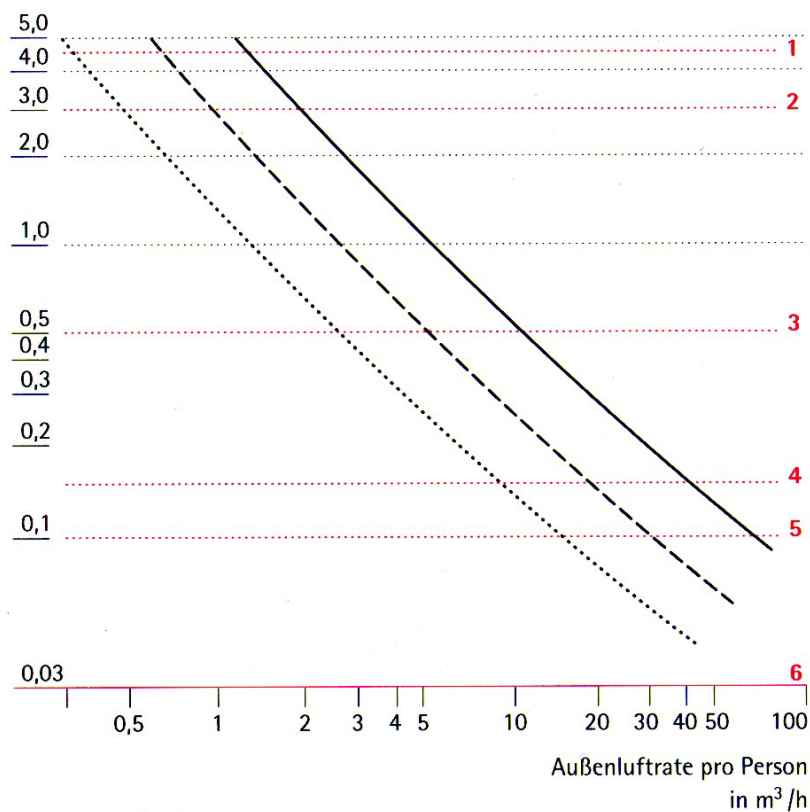
Bedingungen im Raum zu erreichen. Der mittleren Luftmassenstrom beträgt dabei 230 kg/h.

30

Arbeitsblatt

zu Aufgabe 3.2.2:

CO₂-Konzentration in der Luft
in Vol. %



Außenluft rate pro Person bei
verschiedenen zulässigen CO₂-
Konzentrationen (nach Reinders)

- schwere Arbeit,
400 W Wärmeabgabe
- - leichte Arbeit,
200 W Wärmeabgabe
- sitzende Arbeit,
100 W Wärmeabgabe

- 1 ausgeatmete Luft
- 2 Schutzräume
- 3 MAK-Wert für Industrie
- 4 Maximum für Büros
- 5 Pettenkofer-Wert
- 6 Außenluft

Punkte

(2)

4 Wahlaufgabe zu Wärmepumpe, Abgasreinigung, Pumpspeicherkraftwerk

Punkte

4.1 Wärmepumpe

Zur Deckung des Heizwärmebedarfs eines Einfamilienhauses wird parallel zu einer Ölheizung der Einsatz einer Wärmepumpe vorgesehen.

- 4.1.1 Wärmepumpen werden nach der Art der Umwelt-Wärmequelle unterschieden. Nennen Sie zwei mögliche Umwelt-Wärmequellen und vergleichen Sie diese tabellarisch hinsichtlich:
- Temperaturniveau
 - Temperaturkonstanz

2

- 4.1.2 In einem Einfamilienhaus soll eine Wärmepumpe installiert werden. Folgende Daten sind - abhängig von der Außentemperatur - bekannt:

4

Außentemperatur	- 15 °C	+ 15 °C
Heizleistungsbedarf des Einfamilienhauses	9 kW	2 kW
(theoretische) Heizleistung der Wärmepumpe	7 kW	14 kW

Ergänzen Sie im Diagramm 1 auf dem Arbeitsblatt den Heizleistungsbedarf und die Heizleistung der Wärmepumpe in Abhängigkeit von der Außentemperatur. Die Verläufe der Kurven sind als linear anzunehmen.

Beschriften Sie die eingezeichneten Kurven.

Ermitteln Sie mit Hilfe des Diagramms die Außentemperatur, ab der die Wärmepumpe den Heizleistungsbedarf des Einfamilienhauses nicht mehr alleine decken kann.

- 4.1.3 Im Diagramm 2 auf dem Arbeitsblatt ist die Jahresdauerlinie der Außentemperatur dargestellt.

2

Erläutern Sie die Aussage des Diagramms beispielhaft an dem mit „A“ markierten Punkt.

Die Wärmepumpe wird für einen bivalent-alternativen Betrieb ausgelegt. Dabei geht die Wärmepumpe beim Unterschreiten einer Außentemperatur von 0 °C außer Betrieb.

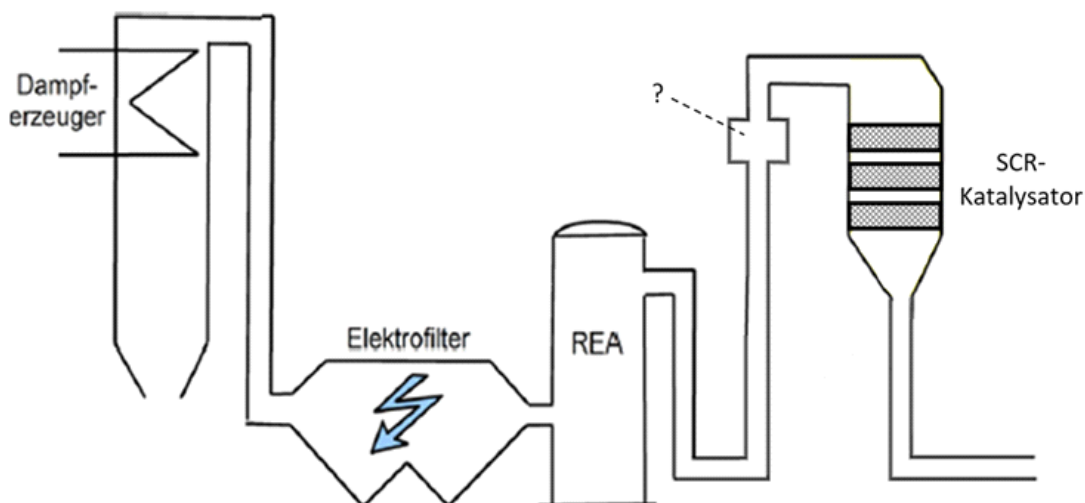
Die Heizgrenze, d. h. die Außentemperatur, ab der keine Heizungswärme mehr bereitgestellt wird, ist 15 °C.

- 4.1.4 Ermitteln Sie mit Hilfe der Jahresdauerlinie (Diagramm 2 auf dem Arbeitsblatt) die Anzahl der Tage, an denen die Wärmepumpe den gesamten Wärmebedarf des Gebäudes abdeckt.

2

4.2 Rauchgasreinigung im Kohlekraftwerk

In der Übergangszeit der Energiewende werden weiterhin fossile Kraftwerke betrieben. Die folgende Abbildung zeigt schematisch die Rauchgasreinigung eines Kohlekraftwerkes.

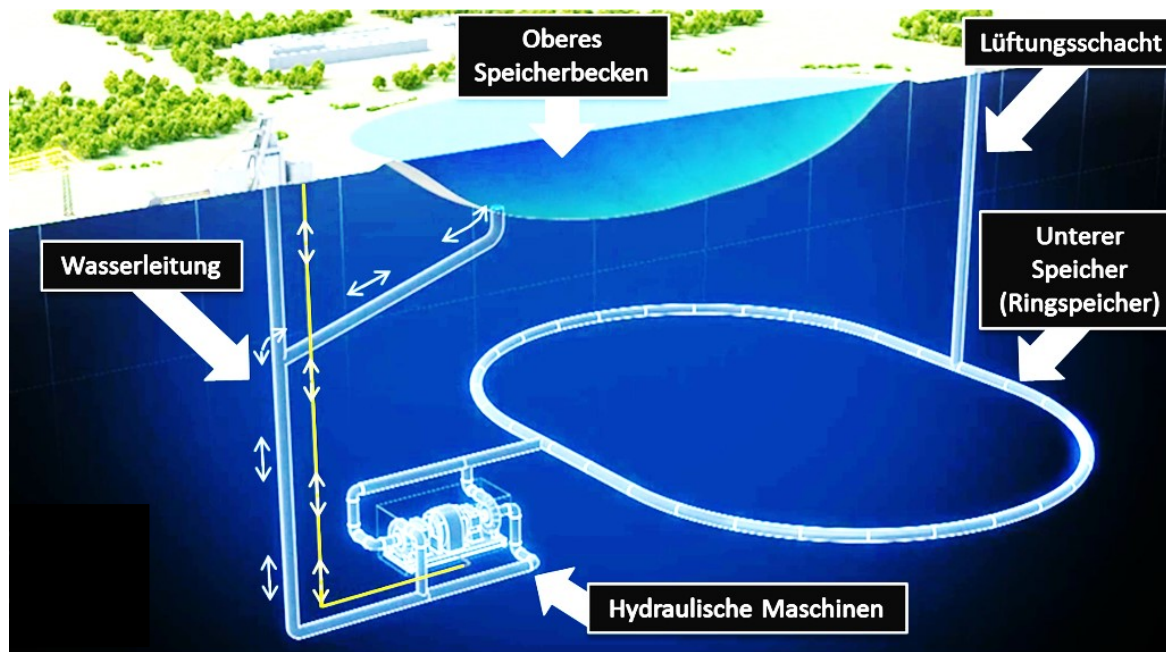


- 4.2.1 Ordnen Sie den dargestellten Reinigungsstufen die dort jeweils zu entfernenden Rauchgasbestandteile sowie ggf. erforderliche Hilfsstoffe zu. 3
- 4.2.2 Erläutern Sie den verfahrenstechnischen Vorteil der dargestellten Anordnung der Reinigungsstufen und erklären Sie, welcher Verfahrensschritt an der mit „?“ gekennzeichneten Stelle durchgeführt werden muss. 3
- 4.2.3 Neben Steinkohle wird in Kohlekraftwerken auch Braunkohle verbrannt. Ermitteln Sie, um wie viel Prozent der CO₂-Ausstoß bei einem Braunkohlekraftwerk höher liegt als bei einem Steinkohlekraftwerk, wenn jeweils 1540 MWh elektrische Energie in dem Kraftwerk zur Verfügung gestellt werden. 4

	Braunkohle	Steinkohle
elektrischer Wirkungsgrad in %	43	46
Heizwert in kWh/kg	5,5	8
Spezifische Emissionen in $\frac{\text{kg CO}_2}{\text{kg Brennstoff}}$	6,6	7,2

4.3 Pumpspeicherkraftwerk

In der Ende 2018 stillgelegten Zeche Prosper-Haniel in Bottrop soll das erste Pumpspeicherkraftwerk unter der Erde entstehen. Die vorhandene Infrastruktur der ehemals zum Kohleabbau verwendeten Zeche wird dabei weiter genutzt. So soll wie im Bild gezeigt auf dem oberirdischen Gelände das obere Speicherbecken und in 600 m Tiefe ein 15 km langer Ringspeicher entstehen.



Technische Daten des Pumpspeicherkraftwerks

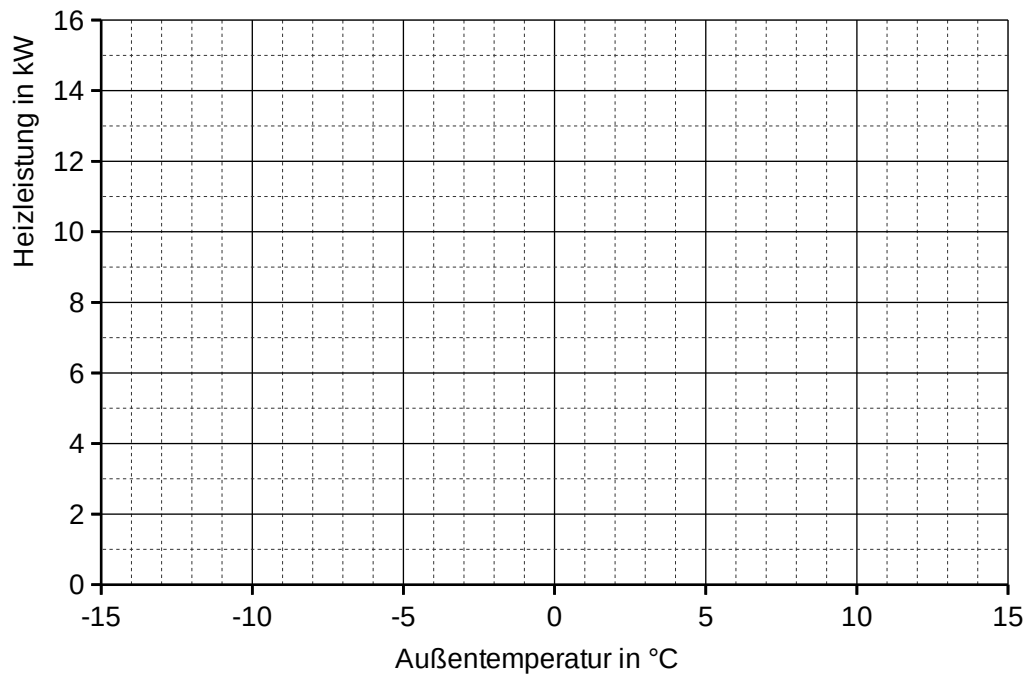
Durchmesser des Leitungsrohrs für Fallrohr und Ringspeicher	$d = 7,14 \text{ m}$
Fallhöhe	$h = 600 \text{ m}$
Länge Ringspeicher	$l = 15 \text{ km}$
Leistung des fließenden Wassers am Turbineneingang	$P_{\text{fließ}} = 180 \text{ MW}$
Nennleistung Generator	$P_{\text{el}} = 147 \text{ MW}$
Wirkungsgrad Rohrleitung	$\eta_R = 0,94$
Wirkungsgrad Turbine	$\eta_T = 0,87$
Wirkungsgrad Pumpe mit Motor	$\eta_P = 0,89$

- 4.3.1 Erstellen Sie das energetische Blockschaltbild der Energieumwandlung von der potentiellen Energie des Wassers bis zur erzeugten elektrischen Energie. 2
- 4.3.2 Berechnen Sie den Wirkungsgrad des Generators für die Energieerzeugung. 2
- 4.3.3 Innerhalb einer Stunde werden $115\,000 \text{ m}^3$ Wasser vom unteren Ringspeicher ins Oberbecken gepumpt. Berechnen Sie die elektrische Leistung, die dafür benötigt wird. 3
- 4.3.4 Ermitteln Sie die elektrische Energie, die vom Pumpspeicherkraftwerk abgegeben wird, während der leere Ringspeicher komplett gefüllt wird. 3
Hinweise: Ringvolumen = Querschnittsfläche Leitungsrohr mal Länge Ringspeicher
Generatorwirkungsgrad 95 % falls Sie 4.3.2 nicht gelöst haben

Arbeitsblatt

zu Aufgabe 4.1.2:

Diagramm 1

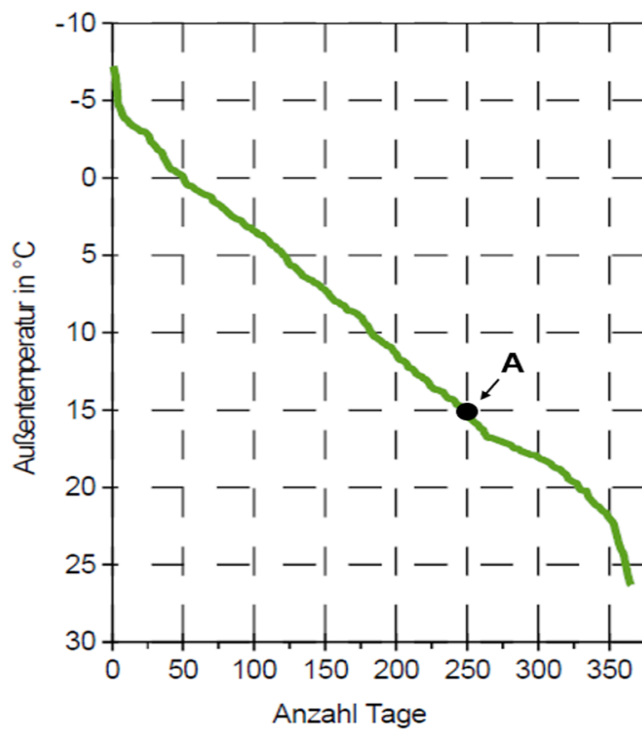


Punkte

(4)

zu Aufgabe 4.1.3, 4.1.4:

Diagramm 2



(2)

(2)

TG Umwelttechnik**Abitur 2019/2020****Übung**

Arbeitszeit: 270 Minuten
Hilfsmittel: Formelsammlung Umwelttechnik
Zugelassener Taschenrechner

Stoffgebiet	Teil 1: Pflichtbereich		
	Aufgabe 1:	Photovoltaik Elektromobilität Energiespeicher	(3 Seiten)
	Aufgabe 2:	Gebäudehülle Brennwerttechnik	(3 Seiten)
	Teil 2: Wahlbereich		
	Aufgabe 3:	Wind- und Wasserkraft Ökobilanz Pumpspeichersystem Abgasreinigung	(3 Seiten)
	Aufgabe 4:	Solarthermisches Kraftwerk Bewertung von PV-Modulen	(3 Seiten)

Bemerkungen

Die Aufgaben 1 und 2 (Pflichtbereich) sind von allen Prüflingen zu bearbeiten.
Aus den Aufgaben 3 und 4 (Wahlbereich) wählt die Schülerin/der Schüler eine Aufgabe aus.

Der Aufgabensatz umfasst 13 Seiten (inklusive diesem Deckblatt).

Bitte entnehmen Sie den Aufgaben die beigefügten Arbeitsblätter und geben Sie diese mit Ihrer Reinschrift ab.

Sie sind verpflichtet, die Vollständigkeit des Aufgabensatzes umgehend zu überprüfen und fehlende Seiten der Aufsicht führenden Lehrkraft anzuzeigen. Jede Aufgabe ist mit einem neuen Blatt zu beginnen. Bei Verstößen gegen die angemessene Darstellungsform kann ein Punkteabzug erfolgen.

1 Pflichtaufgabe zu Photovoltaik, Elektromobilität, Energiespeicher

Punkte

Die Karosserie eines Elektroautos ist mit 308 Solarzellen belegt.

Daten der Solarzellen

Maße: 15,6 cm x 15,6 cm

Zellwirkungsgrad: 24 %

Bei idealen Lichtverhältnissen liefern alle Solarzellen zusammen 1200 W.

Daten des Akkus

Reichweite: 250 km

im Akku gespeicherter Energieinhalt: 29,4 kWh

Verwenden Sie diese Daten für die Aufgaben 1.1 bis 1.3.

1.1 Photovoltaik

Die 308 Solarzellen sind auf Motorhaube, Dach, Türen, Heckklappe verteilt.

- 1.1.1 Begründen Sie, warum die Solarzellen des Fahrzeugs mit 5 MPP-Trackern verbunden sind. 2
- 1.1.2 Die maximale elektrische Leistung aller Solarzellen ist geringer als die theoretische Gesamtleistung der 308 Solarzellen. Begründen Sie diesen Sachverhalt. 1
- 1.1.3 Zeigen Sie, dass die maximale Leistung einer Solarzelle bei Standard-Testbedingungen 5,84 W beträgt. 2
- 1.1.4 An einem Tag mit idealen Lichtverhältnissen kann mit Hilfe der Solarzellen eine zusätzliche Reichweite von 30 km erzielt werden. Zeigen Sie, dass die Solarzellen an einem solchen Tag eine mittlere Leistung von 320,7 W über eine Zeitdauer von 11 Stunden liefern. 2

1.2 Elektromobilität

Das mit Solarzellen belegte Elektroauto fährt mit einer Geschwindigkeit von 45 km/h eine Steigung von 2 % hinauf. Während der Fahrt herrschen ideale Lichtverhältnisse und die Solarzellen liefern eine Leistung von 1200 W. Die Energie der Solarzellen wird direkt an den Motor weitergegeben.

Der Motor hat in dieser Fahrsituation einen Wirkungsgrad von 70 % und der Akku einen Entladewirkungsgrad von 84 %.

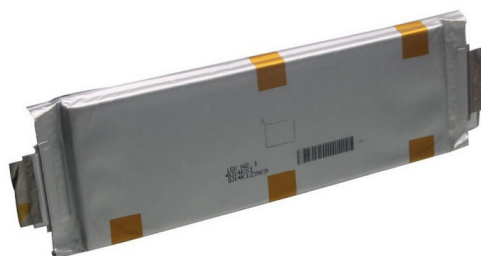
- 1.2.1 Ermitteln Sie aus dem Kennlinienfeld auf dem Arbeitsblatt die benötigte mechanische Leistung für diese Fahrsituation. 1
- 1.2.2 Zeichnen Sie ein energetisches Blockschaltbild des Fahrzeugantriebs (Solarzellen, Akku, Motor) für diese Fahrsituation und berechnen Sie alle elektrischen Leistungen sowie die Verlustleistungen. 4
- 1.2.3 Berechnen Sie die Reichweite des Fahrzeugs in dieser Fahrsituation. Es wird von einem vollständig geladenen Akku bei Fahrtantritt ausgegangen. Der Akku gibt eine elektrische Leistung von 13,1 kW an den Motor ab. 2

- 1.2.4 Ermitteln Sie mit Hilfe des Kennlinienfelds auf dem Arbeitsblatt die maximale Geschwindigkeit bei einer Steigung von 0 %, wenn nur die Leistung der Solarzellen bei idealen Lichtverhältnissen zur Verfügung steht. Der Motorwirkungsgrad sei 83,3 %. 2
- 1.2.5 Das Fahrzeug ist bei einer Ladeleistung von 11 kW nach 3,5 h vollständig geladen. Berechnen Sie den Wirkungsgrad des Ladegeräts und die Energiekosten pro 100 km mit den auf Seite 2 angegebenen Daten. (1 kWh kostet 30 cent) 3

1.3 Energiespeicher

Der Akku des Elektroautos besteht aus **162 Zellen**.

Daten einer Akku-Zelle	
Größe	15 mm x 100 mm x 300 mm
Masse	880 g
Ladungsmenge	60 Ah
Energieinhalt	215 Wh
Max. Spannung	4,2 V
Min. Spannung	2,5 V
Nennspannung	3,6 V
Max. Strom	120 A

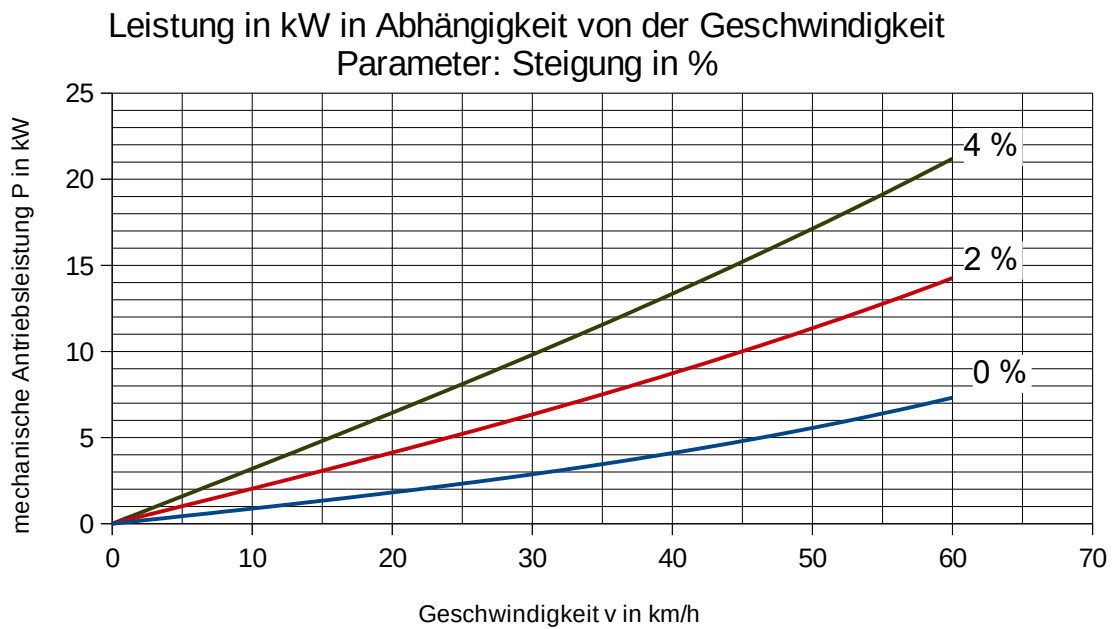


- 1.3.1 Berechnen Sie die Energiedichte des Akkus in $\frac{\text{kWh}}{\text{L}}$ und vergleichen Sie diese mit dem Heizwert von Dieseldieselkraftstoff. 2
- 1.3.2 Begründen Sie, wie die Zellen verschaltet werden müssen, damit die Akkuspannung möglichst hoch ist, aber nicht über 400 V ansteigt. 2
- 1.3.3 Berechnen Sie die Leistung, die der gesamte Akku bei Nennspannung maximal abgeben kann. 2
- 1.3.4 Der Akku soll nach 1000 vollständigen Lade-/Entladezyklen ausgetauscht werden, da er dann nur noch 80 % seiner Kapazität besitzt. Schätzen Sie mithilfe der Akkudaten auf Seite 2 ab, wie viele Kilometer das Fahrzeug während dieser Zeit fahren konnte. 2
- 1.3.5 Der Hersteller bietet das Elektroauto auch mit einem 60 kWh-Akku an. Bewerten Sie, wie der Einsatz des größeren Akkus die Umweltbilanz des Fahrzeugs beeinflusst. Berücksichtigen Sie dabei die Indikatoren CO₂-Ausstoß und Energieeinsatz bei der Herstellung. 3

Arbeitsblatt

zu Aufgabe 1.2.1, 1.2.4:

Punkte



(1)
(2)

2 Pflichtaufgabe zu Gebäudehülle und Brennwerttechnik

Punkte

2.1 Gebäudehülle

Eine Hochschule muss aufgrund hoher Nachfrage eine neue Studentenwohnanlage errichten. Die Apartmentblöcke sollen für jeweils 12 Wohneinheiten Platz bieten.

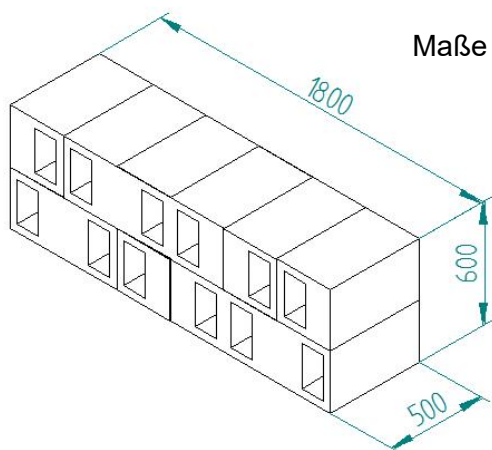
2.1.1 Die Apartmentblöcke sollen aus Fertigbaumodulen errichtet werden. Die abgebildeten Varianten A und B stehen zur Wahl.

3

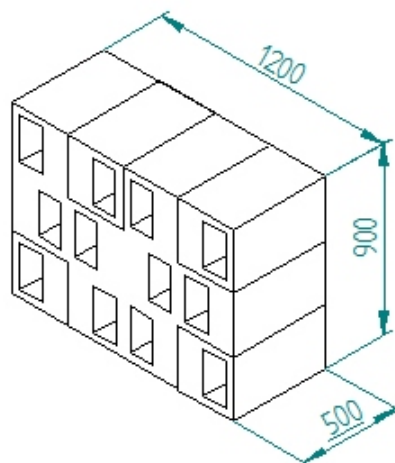
Begründen Sie mit einer überschlägigen Berechnung, welcher Anordnung Sie aus energetischer Sicht den Vorzug geben würden.

Variante A

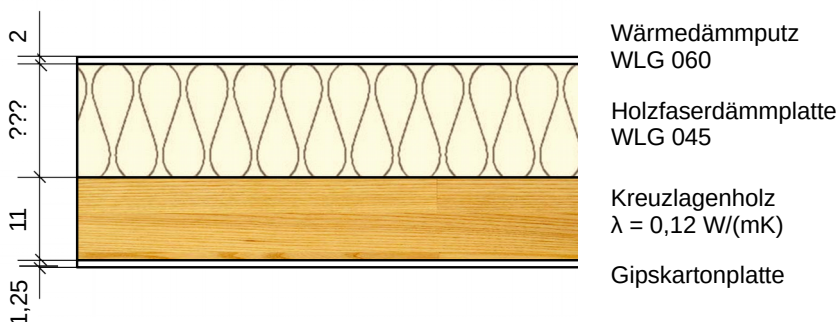
Variante B



Maße in cm



Die Apartmentblöcke werden mit dem dargestellten Wandaufbau (Außenwand) aus dem Holzwerkstoff „Kreuzlagenholz“ ($\lambda = 0,12 \text{ W/(mK)}$) gefertigt. Es soll der geforderte U-Wert von $U = 0,21 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ eingehalten werden.



2.1.2 Nehmen Sie Stellung zu folgender Aussage:
„Ein großer U-Wert ist für den Wärmeschutz günstiger als ein kleiner U-Wert.“

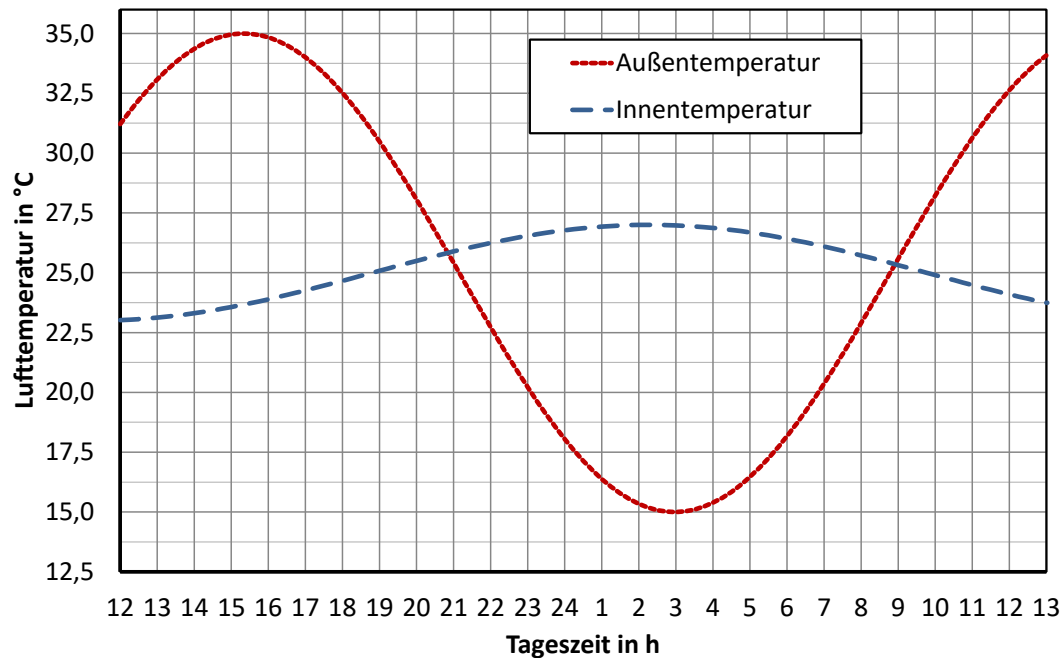
2

2.1.3 Berechnen Sie die notwendige Dämmschichtdicke für den angegebenen Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert).

4

Das Diagramm zeigt den erwarteten Verlauf der Lufttemperaturen (innen und außen) für die geplanten außen gedämmten Apartmentblöcke an einem heißen Sommertag.

Tagesverlauf der Lufttemperatur



- 2.1.4 Analysieren Sie die dargestellten Kurven und erläutern Sie deren unterschiedlichen Verlauf. 3
- 2.1.5 Beschreiben Sie (in Worten) den Verlauf der Innenlufttemperatur, wenn die Wand innen (statt außen) gedämmt wird. 2
- 2.1.6 Beurteilen Sie die Innenlufttemperatur nachts um 2 Uhr hinsichtlich der Behaglichkeit. 1

2.2 Brennwerttechnik

Zur Deckung des Wärmebedarfs kommt ein Brennwertkessel zum Einsatz.

In der folgenden Tabelle sind typische Kennwerte eines Niedertemperatur-Heizkessels sowie eines Brennwertkessels gegenübergestellt.

	Niedertemperatur-Heizkessel	Brennwertkessel
Kondensationswärmeverlust	11,0 %	0,5 %
Abgasverlust	6,0 %	0,5 %

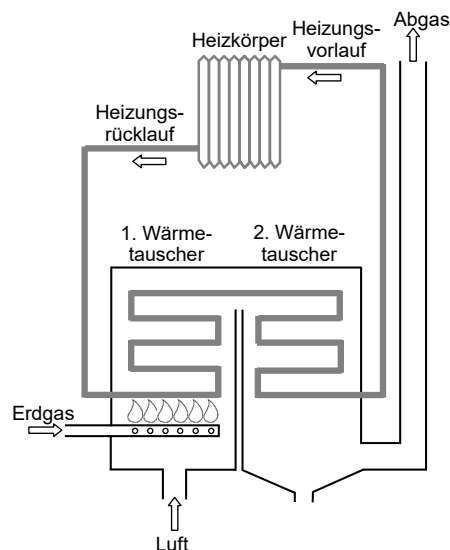
2.2.1 Begründen Sie die unterschiedlichen Werte der auftretenden Verlustarten.

3

2.2.2 Die Wärmeenergie, die durch den Brennwertkessel bereitgestellt wird, liegt bei 12.000 kWh pro Jahr. Ermitteln Sie den Wirkungsgrad des Brennwertkessels bei einer mittleren Abgastemperatur von 40 °C und einer Luftverhältniszahl von $\lambda = 1,1$. Berechnen Sie damit den Jahresbedarf an Erdgas für das Brennwertgerät.

3

Nachfolgend ist das vereinfachte Schema einer Brennwertheizungsanlage dargestellt.



2.2.3 Analysieren Sie die abgebildete Anlage hinsichtlich der Kondensationswärmenutzung und machen Sie einen begründeten Verbesserungsvorschlag.

3

2.2.4 Als alternativer Wärmeerzeuger ist ein wärmegeführtes Blockheizkraftwerk im Gespräch. Beschreiben Sie die Funktionsweise dieses Wärmeerzeugers.

2

2.2.5 Der Gesamtwärmebedarf des Gebäudes beträgt $Q_{\text{Wärme}} = 18.400 \text{ kWh/a}$. Das Blockheizkraftwerk liefert $W_{\text{el}} = 4.800 \text{ kWh/a}$ elektrische Energie. Die Wirkungsgrade sind: $\eta_{\text{el}} = 50 \%$, $\eta_{\text{th}} = 35 \%$

4

Bestimmen Sie den prozentualen Anteil, den das Blockheizkraftwerk am Wärmebedarf der Wohnanlage abdeckt.

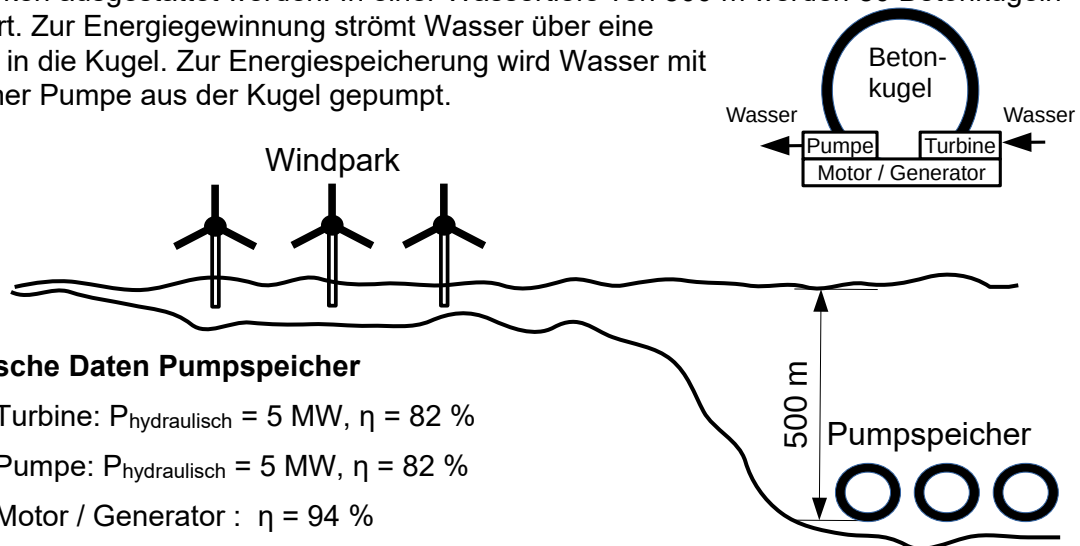
30

3 Wahlaufgabe zu Wind- und Wasserkraft, Ökobilanz, Rauchgasreinigung

Punkte

3.1 Wind- und Wasserkraft

Ein Offshorewindpark mit 72 Windkraftanlagen soll mit Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerken ausgestattet werden. In einer Wassertiefe von 500 m werden 80 Betonkugeln installiert. Zur Energiegewinnung strömt Wasser über eine Turbine in die Kugel. Zur Energiespeicherung wird Wasser mit Hilfe einer Pumpe aus der Kugel gepumpt.



Technische Daten Pumpspeicher

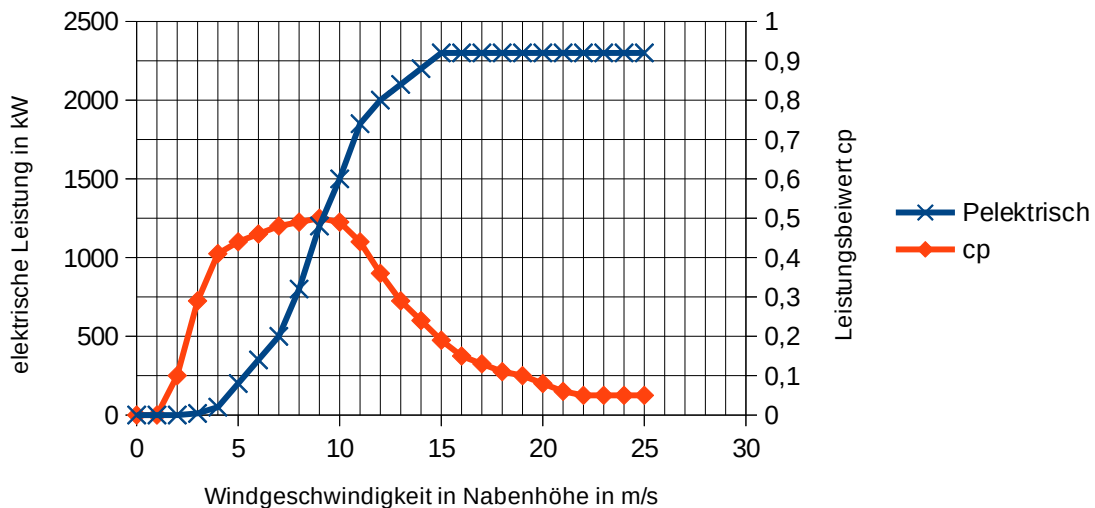
- Turbine: $P_{\text{hydraulisch}} = 5 \text{ MW}$, $\eta = 82 \%$
- Pumpe: $P_{\text{hydraulisch}} = 5 \text{ MW}$, $\eta = 82 \%$
- Motor / Generator : $\eta = 94 \%$
- Energieinhalt einer Betonkugel: 19,26 MWh
- Wassertiefe: 500 m
- Durchmesser Hohlraum: 30 m
- Gesamtgröße: 80 Betonkugeln

Technische Daten einer Windkraftanlage

- Nennleistung elektrisch: 2,3 MW
- Rotorblattlänge: 41 m

Windpark: 72 Windkraftanlagen

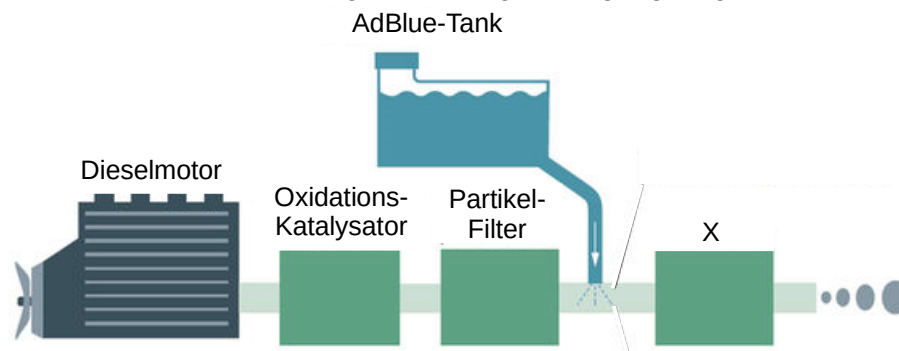
Leistungskennlinie und Leistungsbeiwert einer Windkraftanlage



3.1.1	Begründen Sie, warum es sinnvoll ist, Windparks mit Speichern zu koppeln.	2
3.1.2	Zeigen Sie, dass man 19,26 MWh potentielle Energie in einer Betonkugel speichern kann, wenn man das Wasser aus der Kugel pumpt. Anleitung: Für die Ermittlung der gespeicherten Energie ist (wie bei anderen Pumpspeicherkraftwerken) allein die Höhe 500 m relevant.	3
3.1.3	Berechnen Sie die Zeit, die benötigt wird, um eine zuvor vollständig gefüllte Betonkugel vollständig zu leeren. Die Pumpe wird dabei mit maximaler Leistung betrieben.	1
3.1.4	Berechnen Sie die Windleistung und den Generatorwirkungsgrad einer Windkraftanlage bei einer Windgeschwindigkeit von 10 m/s. Hinweis: Verwenden Sie das Diagramm auf der vorhergehenden Seite.	4
3.1.5	Es herrscht eine Windgeschwindigkeit von 12 m/s. Von der erzeugten Windleistung werden 50 MW ins öffentliche Stromnetz eingespeist. Zeigen Sie, dass die Kugelspeicher unter Wasser dabei eine elektrische Leistung von 94 MW aufnehmen müssen.	2
3.1.6	Berechnen Sie für die Betriebssituation aus Teilaufgabe 3.1.5 die Zeitdauer, bis der Speicher vollständig gefüllt ist, wenn dieser zu Beginn halb voll war.	3
3.1.7	Zunächst herrscht starker Wind, der Windpark kann jedoch nicht ins Stromnetz einspeisen. Der Speicher wird geladen. Im Anschluss herrscht Windstille. Nun wird Strom aus dem Speicher ins Stromnetz eingespeist. Berechnen Sie, wie viel Prozent der ursprünglich erzeugten elektrischen Energie noch ins Stromnetz eingespeist werden können.	2
3.2 Ökobilanz eines Pumpspeichersystems		
Das Pumpspeichersystem Aufg. 3.1 soll hinsichtlich seiner Ökobilanz untersucht werden.		
3.2.1	Zeigen Sie, dass durch das einmalige Befüllen und Entleeren einer Betonkugel 5,03 t CO ₂ im Vergleich zu einem Steinkohlekraftwerk eingespart werden, wenn durch einen Speichervorgang 14,8 MWh ins Stromnetz eingespeist werden. Bei der Steinkohleverstromung entstehen 0,34 kg CO ₂ pro kWh.	2
3.2.2	Nennen Sie vier weitere Aspekte, die für die CO ₂ -Bilanz des Pumpspeichersystems betrachtet werden müssen.	2

3.3 Abgasreinigung beim Diesel-PKW, AdBlue-Verbrauch

In einem PKW mit Dieselmotor ist die dargestellte Abgasreinigung eingebaut.



3.3.1 Beschreiben Sie die Vorgänge, die im Oxidationskatalysator ablaufen. Benennen Sie mindestens zwei Substanzen, die dort reagieren. Erstellen Sie dafür mindestens eine Reaktionsgleichung. 2

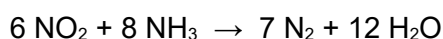
3.3.2 Benennen Sie das mit „X“ markierte Bauteil. Erklären Sie, warum es für die NO₂-Minderung mit Hilfe von Harnstofflösung erforderlich ist. Begründen Sie die Anordnung des Partikelfilters vor dem mit „X“ markierten Bauteil. 3

3.3.3 Nennen Sie zwei negative Auswirkungen von NO₂. 1

Für eine 1630 km lange Fahrt nach Kroatien wird neben dem Ölstand auch der Vorrat an AdBlue (Harnstofflösung) gecheckt.

Das Fahrzeug hat einen Vierzylinder-Dieselmotor mit 2 Litern Hubraum.

Im Bauteil „X“ wird nach folgender Reaktionsgleichung NO₂ aus dem Abgas entnommen:



3.3.4 Berechnen Sie das für die Reise erforderliche Volumen an Harnstofflösung. Die NO₂-Emissionen sollen dabei auf den Grenzwert gesenkt werden. 3

Folgende Randbedingungen sind bekannt:

Stickstoffdioxidemission 850 mg/km

Stickstoffdioxidgrenzwert 80 mg/km

Molare Massen: NO₂: 46 g/mol, NH₃: 17 g/mol

1 Liter Harnstofflösung (AdBlue) enthält 200 g NH₃.

4 Wahlaufgabe zu Solarthermischem Kraftwerk, Bewertung von PV-Modulen	Punkte
4.1 Solarthermisches Kraftwerk	
Ein geplantes solarthermisches Kraftwerk besteht aus folgenden Baugruppen: <ul style="list-style-type: none"> - Solarfeld (solarer Wärmeerzeuger) - Wärmespeicher - Kraftwerk (Wasser-Dampf-Prozess) Mit einem Solarfeld wird ein Wärmeträgermedium erhitzt, welches durch einen Wärmetauscher des Dampferzeugers gefördert wird. Der so erzeugte Dampf treibt die Turbine zur Stromgewinnung an. Überschüssige Wärme kann gespeichert und bei Bedarf dem Wasser-Dampf-Prozess zugeführt werden.	
4.1.1 Skizzieren Sie ein Blockschaltbild für die drei oben genannten Baugruppen.	1
4.1.2 Begründen Sie die Notwendigkeit eines Speichers.	1
4.1.3 Erläutern Sie zwei verschiedene Varianten für den solaren Wärmeerzeuger.	3
4.2 Elektrische Energieerzeugung	
Im Wasser-Dampfkreislauf werden folgende Schritte durchlaufen: <ul style="list-style-type: none"> - Isobare Erwärmung, Verdampfung und Überhitzung auf 367 °C bei 50 bar - Entspannung in der Turbine bis zu einem Wassergehalt von 10 % - Vollständige Kondensation bei 27 °C. 	
4.2.1 Zeichnen Sie den Dampfprozess in das T,s-Diagramm auf dem Arbeitsblatt ein und nummerieren Sie die Zustände.	2
4.2.2 Bewerten Sie den Dampfgehalt nach der Turbine.	1
4.2.3 Im Kondensator wird die spezifische Wärmemenge $q_{ab} = 2.160 \text{ kJ/kg}$ abgegeben. Berechnen Sie die spezifische Nutzarbeit w_{Nutz} und den thermischen Wirkungsgrad η_{th} der Anlage.	4
4.3 Speicher-Betrieb	
Das solarthermische Kraftwerk gibt momentan eine Leistung von $P_{el} = 50 \text{ MW}$ ab. Die Teilwirkungsgrade der Komponenten betragen: $\eta_{Solarfeld} = 35 \%$, $\eta_{Speicher-Wärmetauscher} = 92 \%$, $\eta_{Dampferzeuger} = 88 \%$, $\eta_{Turbine} = 70 \%$, $\eta_{Generator} = 90 \%$ Der Speicher kann die Wärmeenergie $Q_{Speicher} = 650 \text{ MWh}$ aufnehmen.	
4.3.1 Berechnen Sie, wie lange aus dem voll beladenen Speicher der Kraftwerksprozess bei voller Leistung betrieben werden kann.	3
4.3.2 Bei klarem Himmel beträgt während 3 Stunden die mittlere Sonneneinstrahlung auf das Solarfeld $E = 900 \text{ W/m}^2$. Überprüfen Sie, ob die vorhandene Fläche $A_{Solar} = 0,8 \text{ km}^2$ ausreicht, um (während das Kraftwerk betrieben wird), zusätzlich den Speicher in dieser Zeit voll zu beladen.	3
4.3.3 Ermitteln Sie die erforderliche Masse der Salzschnmelze. Gegeben sind folgende Daten: <ul style="list-style-type: none"> - Wärmekapazität der Salzschnmelze $c_{Salz} = 1,55 \text{ kJ/kgK}$ - Temperatur des „kalten“ Speichers $\vartheta_{kalt} = 292 \text{ °C}$ - Temperatur des „warmen“ Speichers $\vartheta_{warm} = 367 \text{ °C}$ 	2

4.4 Bewertung von PV-Modulen

Es sollen PV-Module mit idealer Ausrichtung für den Standort Berlin bewertet werden.

Die PV-Module haben eine Fläche von $1,6 \text{ m}^2$ und einen Wirkungsgrad von 25 %.

Der Energieeinsatz zur Herstellung der PV-Module beträgt 2.110 kWh/m^2 .

Die Lebensdauer wird mit 30 Jahren angenommen.

Bei der Herstellung der Module werden $1,5 \text{ t/m}^2 \text{ CO}_2$ -Äquivalent ausgestoßen.

Beim aktuellen Strommix in Deutschland entstehen 498 g/kWh CO_2 .

4.4.1 Ermitteln Sie die Zeit, innerhalb der die Solarmodule die Energiemenge erzeugen, die für ihre Herstellung benötigt wurde. (Energieamortisationszeit). 2

4.4.2 Nennen Sie 3 Faktoren, welche die Energieamortisationszeit von PV-Modulen begünstigen. 1,5

Der CO_2 -Ausstoß bei der Nutzung von Solarstrom und Strom aus der Steckdose („Strommix Deutschland“) soll über die Lebensdauer von 30 Jahren verglichen werden.

4.4.3 Stellen Sie den CO_2 -Ausstoß für die Herstellung und Nutzung eines Solarmoduls im Diagramm auf dem Arbeitsblatt dar. Ergänzen Sie im gleichen Diagramm den CO_2 -Ausstoß, der für die gleiche Energiemenge anfällt, wenn diese aus dem aktuellen Strommix bezogen wird. 4

4.4.4 Bestimmen Sie den rechnerischen CO_2 -Ausstoß in g/kWh für die betrachteten Module, wenn man den CO_2 -Ausstoß bei der Herstellung auf die 30 Jahre Lebensdauer verteilt. 2,5

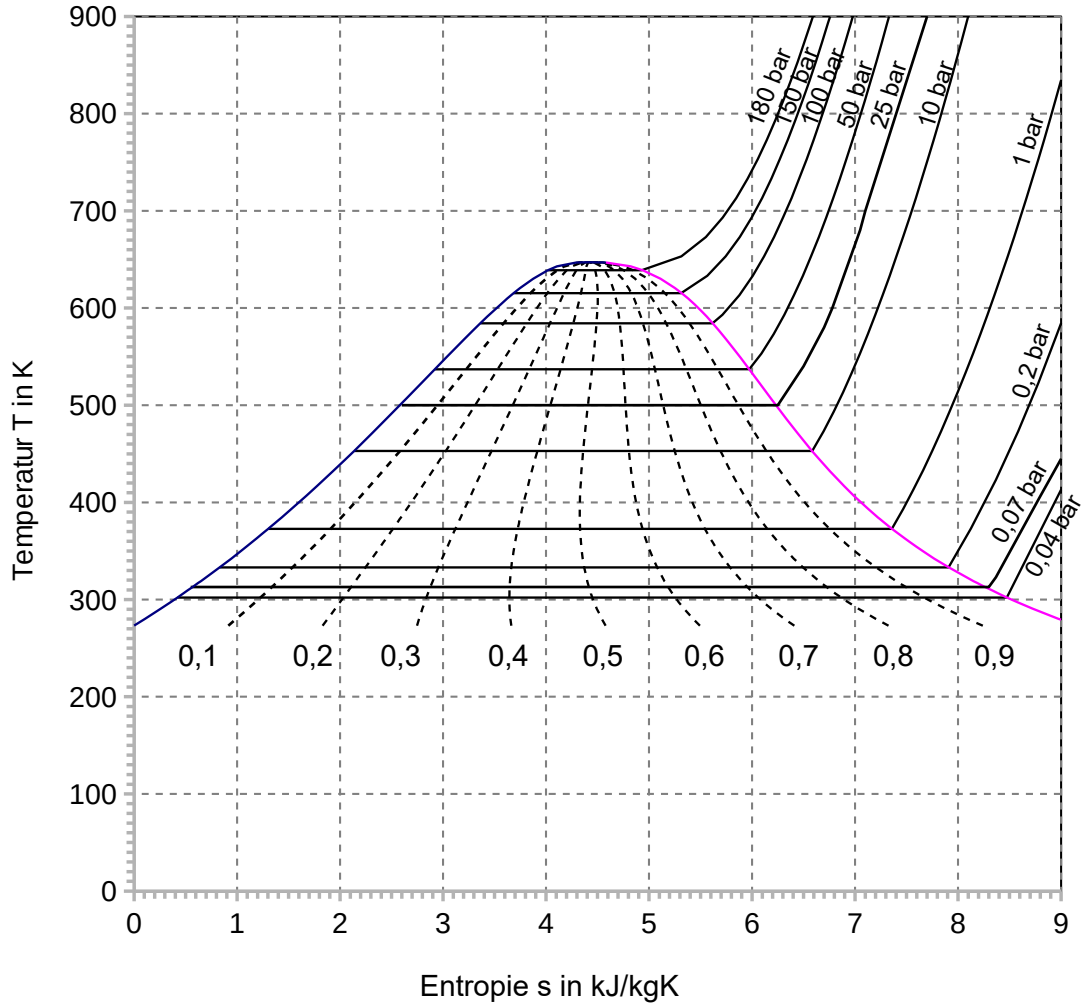
Die Module erzeugen 15.141 kWh elektrische Energie während ihrer Lebensdauer.
Bewerten Sie das Ergebnis.

30

Arbeitsblatt

zu Aufgabe 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3:

T,s-Diagramm von Wasser



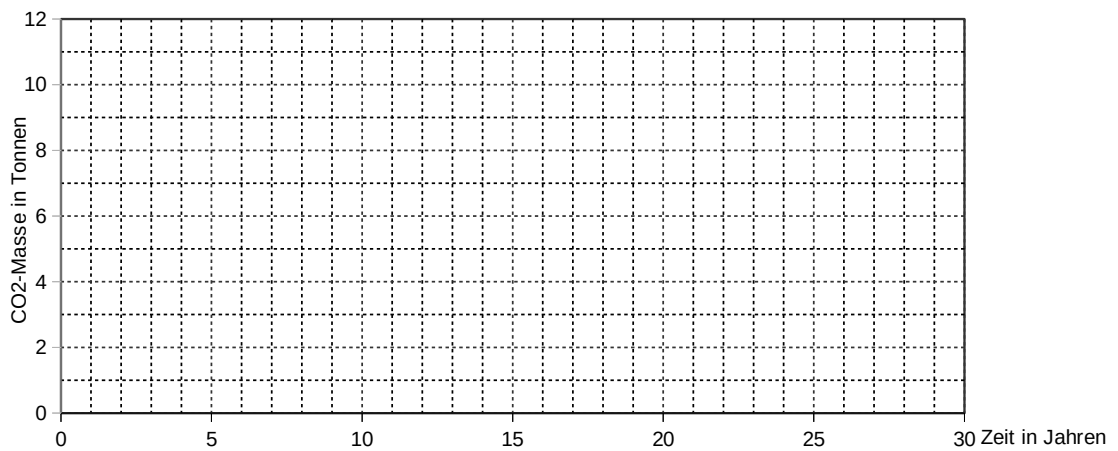
Punkte

(2)

(1)

(4)

zu Aufgabe 4.4.3



(4)

TG Umwelttechnik**Abitur 2020/2021****Hauptprüfung**

Arbeitszeit 270 Minuten
Hilfsmittel Formelsammlung Umwelttechnik
Zugelassener Taschenrechner

Stoffgebiet Teil 1: Pflichtbereich

Aufgabe 1: Photovoltaikanlage (4 Seiten)
Laufwasserkraftwerk

Aufgabe 2: Wärmekraftwerk (3 Seiten)
Blockheizkraftwerk
Bauphysik

Teil 2: Wahlbereich

Aufgabe 3: Windkraft (2 Seiten)
Bewertung von Energiesystemen
Power-to-Gas

Aufgabe 4: Hybridfahrzeug (3 Seiten)
Abgasreinigung
Brennwerttechnik

Bemerkungen

Die Aufgaben 1 und 2 (Pflichtbereich) sind von allen Prüflingen zu bearbeiten.
Aus den Aufgaben 3 und 4 (Wahlbereich) wählt die Schülerin/der Schüler eine Aufgabe aus.

Der Aufgabensatz umfasst 13 Seiten (inklusive diesem Deckblatt).

Bitte entnehmen Sie den Aufgaben die beigegefügtten Arbeitsblätter und geben Sie diese mit Ihrer Reinschrift ab.

Sie sind verpflichtet, die Vollständigkeit des Aufgabensatzes umgehend zu überprüfen und fehlende Seiten der Aufsicht führenden Lehrkraft anzuzeigen. Jede Aufgabe ist mit einem neuen Blatt zu beginnen. Bei Verstößen gegen die angemessene Darstellungsform kann ein Punkteabzug erfolgen.

1 Pflichtaufgabe zu Photovoltaik, Laufwasserkraftwerk

Punkte

Die elektrische Spitzenlast einer Almhütte wird durch eine kürzlich installierte PV-Anlage mit Akku-Speicher gedeckt.

Die Grundlast wird mit einem kleinen Laufwasserkraftwerk in Hüttennähe abgedeckt.

Die Hütte wird in der Regel von Anfang Juni bis Ende September bewirtschaftet.



1.1 Photovoltaikanlage

Die neu installierte **Photovoltaikanlage mit 9,18 kWp** soll den alten Dieselgenerator ersetzen. Die PV-Module sind auf dem Hüttendach mit einer Neigung von 45 ° Richtung Süden installiert. Vorrangig wird der überschüssig erzeugte Strom dazu benutzt, den Akku-Speicher aufzuladen. Die übrige elektrische Energie wird zur Wassererwärmung verwendet.

Die einzelnen **Solarmodule** haben folgende Daten:

STC Bedingungen (Einstrahlung 1000 W/m ² ; 25°C) Abmessungen 1640 x 992 mm			
Nennleistung	Wp	P _{MPP}	255
Nennspannung	V	U _{MPP}	30
Leerlaufspannung	V	U _{OC}	38,1
Nennstrom	A	I _{MPP}	8,5
Kurzschlussstrom	A	I _{SC}	9,3

1.1.1 Markieren Sie die Werte **U_{OC}**, **I_{SC}**, **U_{MPP}** und **I_{MPP}** im Diagramm auf dem Arbeitsblatt 1 und beschriften Sie diese.

3,5

Zeichnen Sie zusätzlich die Leistungskurve P(U) in das Diagramm ein. Ermitteln Sie dazu fünf sinnvolle Werte, auch mithilfe der oben stehenden Angaben.

Bei dem Speicher handelt es sich um einen Elektroauto-Akku mit hoher Spannung. Die benötigte Eingangsspannung für den Laderegler des Akkus muss zwischen 400 V und 700 V liegen.

1.1.2 Ermitteln Sie die Anzahl der PV-Module der Gesamtanlage und erklären Sie eine sinnvolle Verschaltung der einzelnen PV-Module.

3

1.1.3 Berechnen Sie den Wirkungsgrad der PV-Anlage bei STC-Bedingungen.

2

Der Ertrag der PV-Anlage beträgt an einem durchschnittlichen Tag im Juli 49,36 kWh.

1.1.4 Zeigen Sie, dass der Ertrag der PV-Anlage an einem durchschnittlichen Tag im September 40,85 kWh beträgt.

1

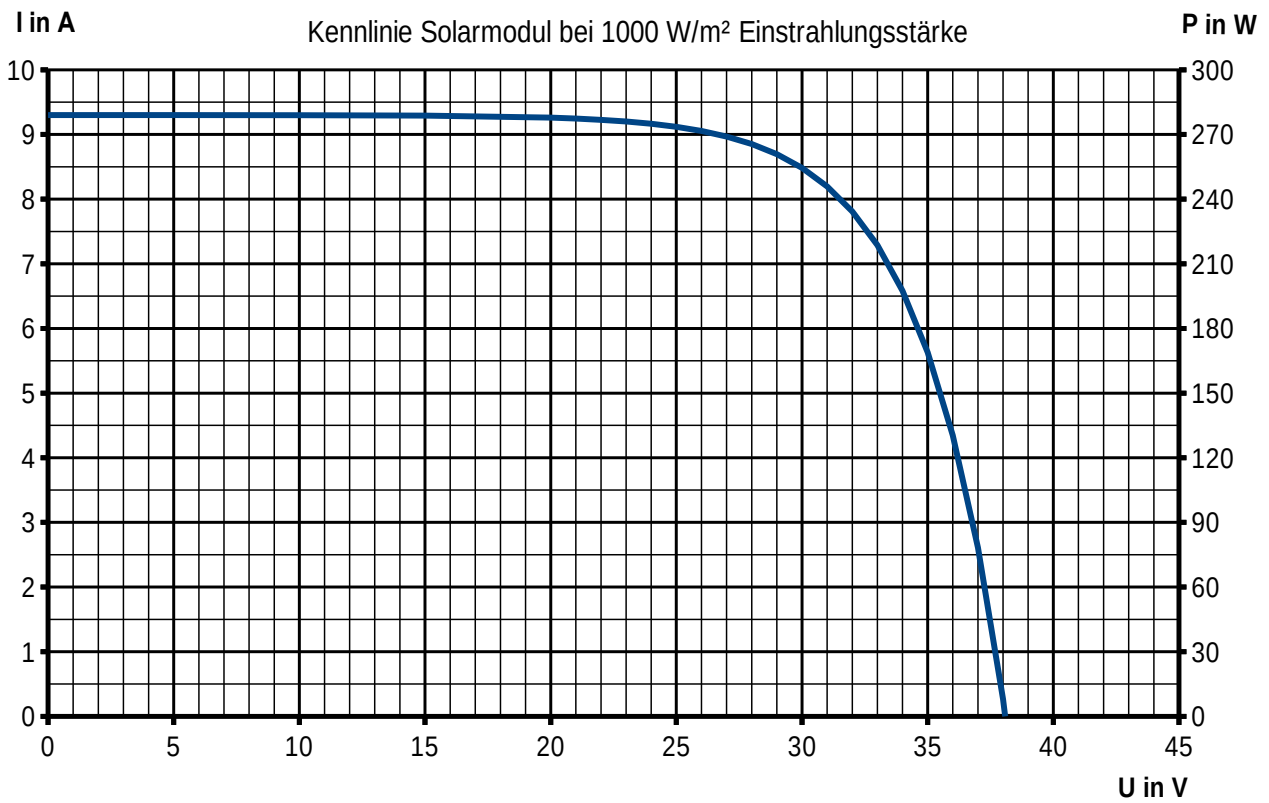
Hinweis: Zur Berechnung können Sie die Werte für den Standort Karlsruhe benutzen.

1.1.5	Der Akku hat eine nutzbare Kapazität von 33,5 kWh. Überprüfen Sie, ob es an durchschnittlichen Tagen im Juli und September möglich ist, den entladenen Akku vollständig aufzuladen. Berücksichtigen Sie einen gesamten Ladewirkungsgrad (Akku und Laderegler) von 80 %. Vergleichen Sie die beiden Tage hinsichtlich der Energie, die dann noch zur Wassererwärmung zur Verfügung steht.	3
1.1.6	Erklären und begründen Sie qualitativ (ohne Berechnung), wie sich die Erträge im Juli und September ändern würden, wenn die Dachneigung 37 ° statt 45 ° betragen würde. Statt zum Aufladen eines Akkus bzw. zur Wassererwärmung könnte überschüssige elektrische Energie in das öffentliche Netz eingespeist werden. Dann wäre zusätzlich ein Wechselrichter notwendig.	2
1.1.7	Nennen Sie drei Aufgaben eines Wechselrichters und erklären Sie diese.	1,5
1.1.8	Erläutern Sie zwei wichtige elektrische Größen, die bei der Auswahl des Wechselrichters zu beachten sind.	2
1.2	Laufwasserkraftwerk Für das Laufwasserkraftwerk in Hüttennähe gelten im Nennbetrieb folgende Daten: Fallhöhe: 2 m Gesamtwirkungsgrad: 88 % Elektrische Nennleistung: 15 kW	
1.2.1	Begründen Sie, weshalb ein Laufwasserkraftwerk grundlastfähig ist.	2
1.2.2	Berechnen Sie die hydraulische Nennleistung des Laufwasserkraftwerks und zeigen Sie, dass der benötigte Volumenstrom 0,87 m ³ /s beträgt.	2
	Der Verlauf des Volumenstroms ist in der Abflussganglinie des Gebirgsbaches auf dem Arbeitsblatt 2 für den Zeitraum vom 01. Juni bis zum 28. September dargestellt. Für den Abfluss wurde zur Vereinfachung jeweils ein Durchschnittswert über 10 Tage ermittelt.	
1.2.3	Erstellen Sie die zugehörige Abflussdauerlinie (Abfluss sortiert von maximal zu minimal über die Anzahl der Tage) auf dem Arbeitsblatt 2.	1,5
1.2.4	Ermitteln Sie die Anzahl der Tage, an denen das Laufwasserkraftwerk seine Nennleistung abgeben kann.	1,5
1.2.5	Die Anlage soll im Dauerbetrieb mit konstanter Leistung arbeiten. Ermitteln Sie den maximal möglichen Ausbauabfluss und die zugehörige hydraulische Leistung.	2
	Der Eigentümer überlegt, das bestehende Laufwasserkraftwerk durch ein Laufwasserkraftwerk mit einem Ausbauabfluss von 1,1 m ³ /s oder 0,7 m ³ /s zu ersetzen.	
1.2.6	Diskutieren Sie die Auswirkungen dieser Überlegungen bezüglich der Auslastung, des Wirkungsgrads und der maximalen Leistung des Kraftwerks.	3

Arbeitsblatt zu Aufgabe 1.1.1:

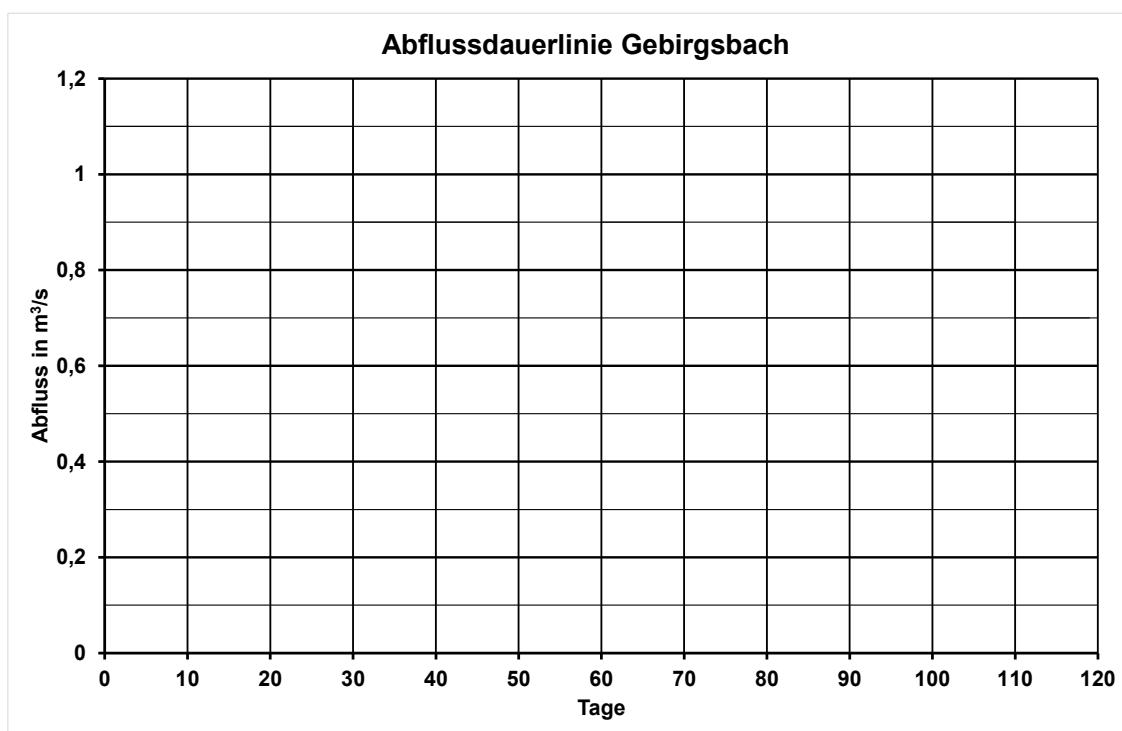
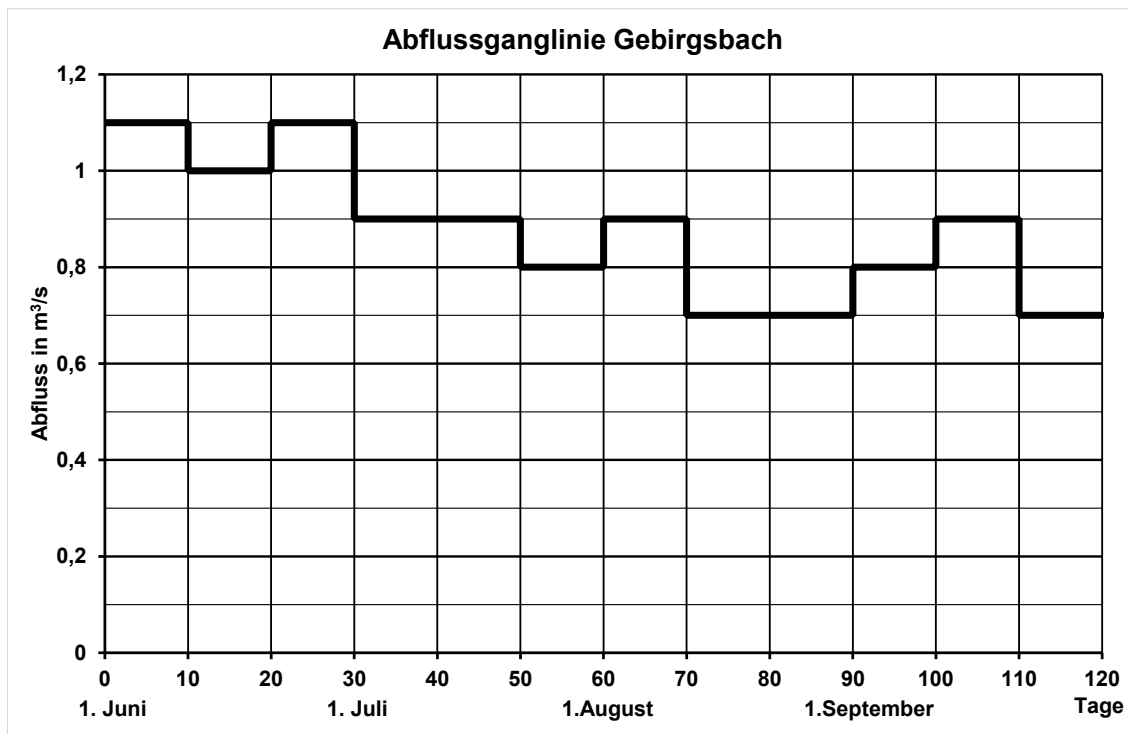
Punkte

(3,5)



Arbeitsblatt zu Aufgabe 1.2.3

Punkte



(1,5)

2 Pflichtaufgabe zu Wärmekraftwerk, Blockheizkraftwerk, Bauphysik

Punkte

Das Freibad einer Kleinstadt wurde in den letzten Jahren mit Fernwärme aus einem alten Kohlekraftwerk versorgt.

Nach Schließung des Kraftwerks soll die Wärmeversorgung durch ein mobiles erdgasbetriebenes Blockheizkraftwerk ersetzt werden. Mit diesem BHKW soll außerhalb der Freibadsaison das 2 km entfernte Hallenbad beheizt werden, welches im nächsten Jahr energetisch saniert werden soll.

2.1 Wärmekraftwerk

2.1.1 Zeichnen Sie das energetische Blockschaltbild eines Kohlekraftwerks.

2

Vom Dampfkraftprozess des Kohlekraftwerks sind folgende Daten bekannt:

Druck im Kondensator: $p_{\text{Kond}} = 0,07 \text{ bar}$
 Dampfdruck am Turbineneintritt: $p_{\text{TE}} = 100 \text{ bar}$
 Dampftemperatur am Turbineneintritt: $T_{\text{TE}} = 800 \text{ K}$
 Spezifische Entropie am Turbinenaustritt: $s = 7,0 \text{ kJ/(kg K)}$

2.1.2 Stellen Sie den Dampfkraftprozess im T-s-Diagramm auf dem Arbeitsblatt dar.

2

2.1.3 Zeigen Sie, dass die zugeführte spezifische Wärme ca. 3300 kJ/kg beträgt.

2

2.1.4 Berechnen Sie den thermischen Wirkungsgrad des Dampfkraftprozesses.

2

Zusätzlich zur stattfindenden Fernwärmeauskopplung gibt es weitere Möglichkeiten, den Wirkungsgrad des Dampfkraftprozesses zu steigern.

2.1.5 Beschreiben Sie zwei weitere Möglichkeiten der Wirkungsgradsteigerung.

2

2.2 Blockheizkraftwerk

Das geplante mobile BHKW soll in der Sommersaison für das Freibad (Beckengröße: 50 m x 15 m x 2,40 m) und den Rest des Jahres für das Hallenbad genutzt werden. Es liefert bei voller Auslastung 50 kW elektrische und 82 kW thermische Leistung. Der Gesamtwirkungsgrad beträgt dabei 90,4 %.

2.2.1 Begründen Sie zwei Vorteile eines mobilen BHKW gegenüber fest installierten BHKWs für die beschriebene Anwendung.

2

2.2.2 Berechnen Sie den elektrischen und den thermischen Wirkungsgrad des BHKW.

3

2.2.3 Zu Beginn der Badesaison wird das Freibadbecken von 15 °C auf 24 °C aufgeheizt. Bestimmen Sie, wie viel m³ Erdgas für die Temperaturerhöhung benötigt werden, wenn der thermische Wirkungsgrad des BHKW 56 % beträgt und die am Becken auftretenden Wärmeverluste vernachlässigt werden.

3

2.2.4 Für die Erwärmung des Schwimmbeckens auf 24 °C wird eine Wärmemenge von rund 19 MWh benötigt. Ermitteln Sie die dabei durch das BHKW erzeugte elektrische Energie.

2

Im laufenden Betrieb des Freibades geht über die Wasseroberfläche des Beckens ein großer Teil an Wärme verloren. Hier ist mit einem Verlust von 100 W/m^2 zu rechnen.

- 2.2.5 Weisen Sie nach, dass das geplante BHKW als einzige Heizquelle ausreichend dimensioniert ist, um diesen Verlust auszugleichen. 2

2.3 Sanierung des Hallenbads

Der zuständige Architekt schlägt zur Sanierung des Hallenbades eine zusätzliche Außendämmung sowie den Austausch der Fenster vor.

Bisheriger Wandaufbau

Innenputz	2 cm Kalkzementputz
Innendämmung	5 cm Schaumglas WLG 040
Mauerwerk	24 cm Normalbeton $\rho = 2,4 \text{ kg/dm}^3$
Außenputz	2 cm Kalkzementputz
U-Wert	$U_{\text{alt}} = 0,613 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$

Nun soll eine zusätzliche 12 cm dicke Außendämmung WLG 032 sowie eine weitere 2 cm dicke Kalkzementputzschicht als Außenputz angebracht werden.

- 2.3.1 Beschreiben Sie einen Vorteil, der sich neben der Heizkostensparnis durch die zusätzlich angebrachte Außendämmung im Hallenbad ergibt. 1

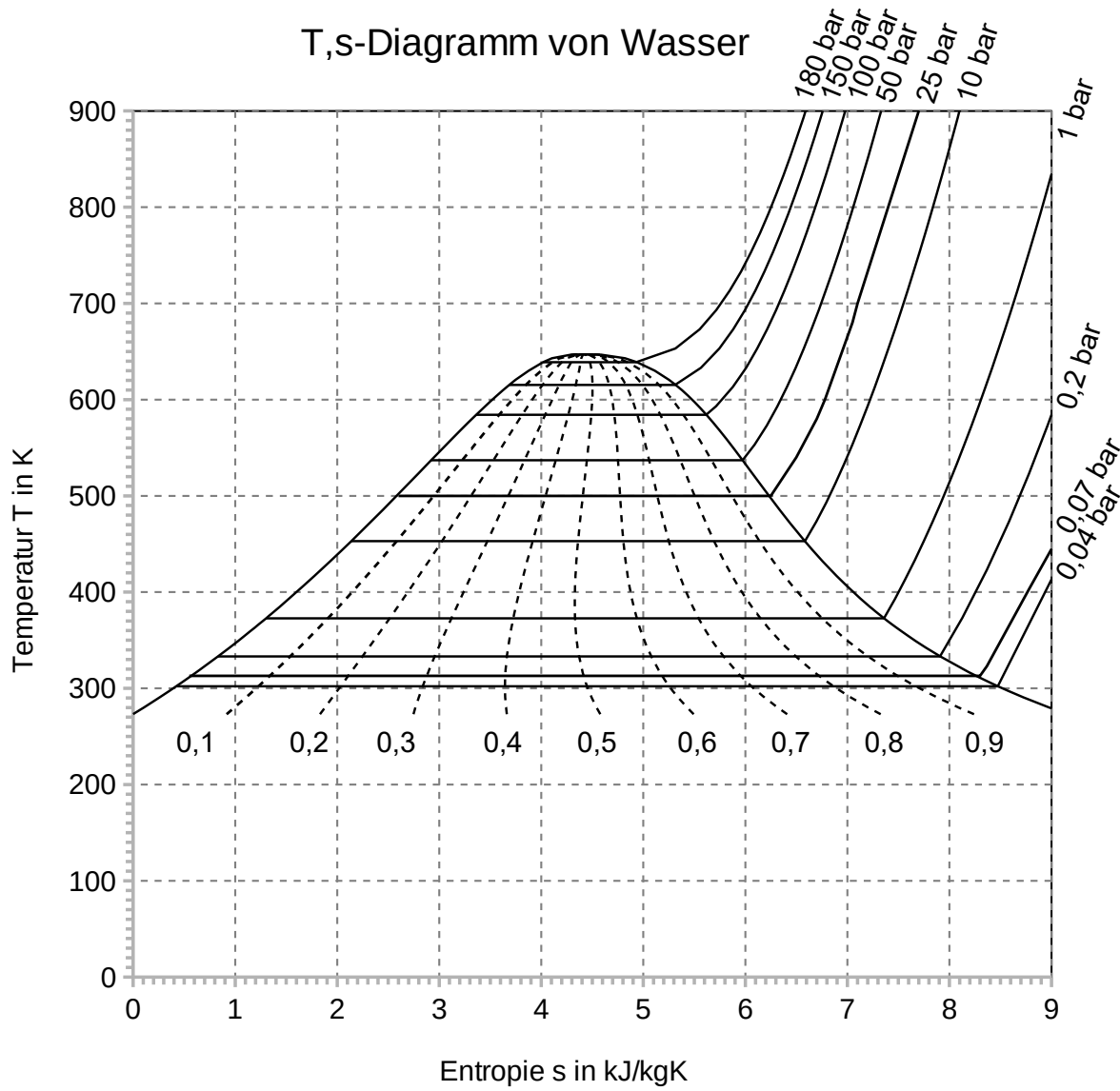
- 2.3.2 Für eine finanzielle Förderung nach der EnEV ist ein U-Wert von mindestens $0,2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ erforderlich.
Weisen Sie anhand des Wandaufbaus nach, dass die Förderung nach der Sanierung gewährt werden kann. 2

- 2.3.3 Berechnen Sie die durch die zusätzliche Dämmung eingesparten Heizkosten an einem kalten Wintertag mit Hilfe der folgenden Angaben: 3

R _T -Wert der sanierten Wand	$R_T = 5,4 \text{ m}^2\text{K/W}$
Außentemperatur	$\vartheta_e = -10 \text{ }^\circ\text{C}$
Innentemperatur	$\vartheta_i = 30 \text{ }^\circ\text{C}$
Außenwandfläche	$A = 450 \text{ m}^2$
Heizkosten	$k = 0,20 \text{ €/kWh}$

- 2.3.4 Begründen Sie die besondere Eignung von Schaumglas als Dämmstoff für die Innendämmung in Hallenbädern. 2

Arbeitsblatt zu 2.1.2



Punkte

(2)

3 Wahlaufgabe Windkraft, Bewertung von Energiesystemen, Power-to-Gas	Punkte
3.1 Windkraftanlage	
Es wird die Möglichkeit der Installation einer Kleinwindkraftanlage folgenden Typs geprüft.	
Generatorleistung $P_{\text{elektr}} = 10 \text{ kW}$	
Generatorwirkungsgrad $\eta_{\text{Gen}} = 0,8$	
Rotordurchmesser $d = 13,2 \text{ m}$	
Nennwindgeschwindigkeit $v = 7,5 \text{ m/s}$	
Nennzahl $n = 66 \text{ min}^{-1}$	
3.1.1 Der Mast wird bei Sturm erheblich belastet. Ein Überlastschutz schaltet die Anlage ab, wenn sie einer Windleistung von $P_{\text{wind,max}} \geq 350 \text{ kW}$ ausgesetzt ist. Berechnen Sie, bei welcher Windgeschwindigkeit der Überlastschutz wirksam wird.	2
3.1.2 Die Umfangsgeschwindigkeit u des Rotors darf aus Lärmschutzgründen 110 km/h nicht überschreiten. Ermitteln Sie, ob diese Bedingung im Nennbetrieb erfüllt wird.	2
Zur Erfüllung der Lärmvorschriften und weil ein langsam drehendes Windrad optisch ruhiger wirkt, werden die Rotorblätter so verstellt, dass die Schnelllaufzahl von 6 auf 3 sinkt. Der Leistungsbeiwert sinkt dadurch von 0,36 auf 0,32.	
3.1.3 Begründen Sie mithilfe der Abbildungen aus der Formelsammlung, ob der Einstellwinkel der Blattverstellung vergrößert oder verkleinert werden muss.	2
3.1.4 Zeigen Sie, dass die Generatorleistung bei $v = 7,5 \text{ m/s}$ auf $8,87 \text{ kW}$ sinkt. Nehmen Sie den Generatorwirkungsgrad als konstant an.	2
3.1.5 Berechnen Sie, wie viele Stunden der Wind mit $7,5 \text{ m/s}$ wehen muss, um einen entladenen Akku, der eine nutzbare Kapazität von 30 kWh besitzt, vollständig zu laden. Der Wirkungsgrad des Ladereglers beträgt $0,8$. Der Ladewirkungsgrad des Akkus ist $0,9$. Die Generatorleistung ist $P_{\text{Gen}} = 8,87 \text{ kW}$.	2
3.2 Bewertung von Energiesystemen anhand der Kleinwindkraftanlage	
Der Primärenergieeinsatz bei der Herstellung der Kleinwindkraftanlage beträgt 16 MWh . Die Lebenserwartung wird mit mindestens 20 Jahren angenommen. Es gelten die Nenndaten aus Fehler: Verweis nicht gefunden.	
Die betrachtete Kleinwindkraftanlage ist mit GFK-Rotoren, Kunststoff-/Stahlgondel, Stahlturm und Betonfundament ausgestattet und wird in unwegsamem Gelände zur Versorgung einer Almhütte aufgestellt. Eine PV-Anlage ist bereits vorhanden.	
Hinweis: GFK ist die Abkürzung des Verbundwerkstoffs Glasfaserverstärkter Kunststoff	
3.2.1 Berechnen Sie die energetische Amortisationszeit der Kleinwindkraftanlage. Gehen Sie hierbei von 2800 Volllaststunden pro Jahr aus.	2
3.2.2 Nennen und beschreiben Sie die verschiedenen Lebenszyklusphasen der Kleinwindkraftanlage und beurteilen Sie diese bezüglich des jeweils notwendigen Energieaufwands. Gehen Sie dabei auch auf die Wiederverwertbarkeit der Komponenten ein.	3

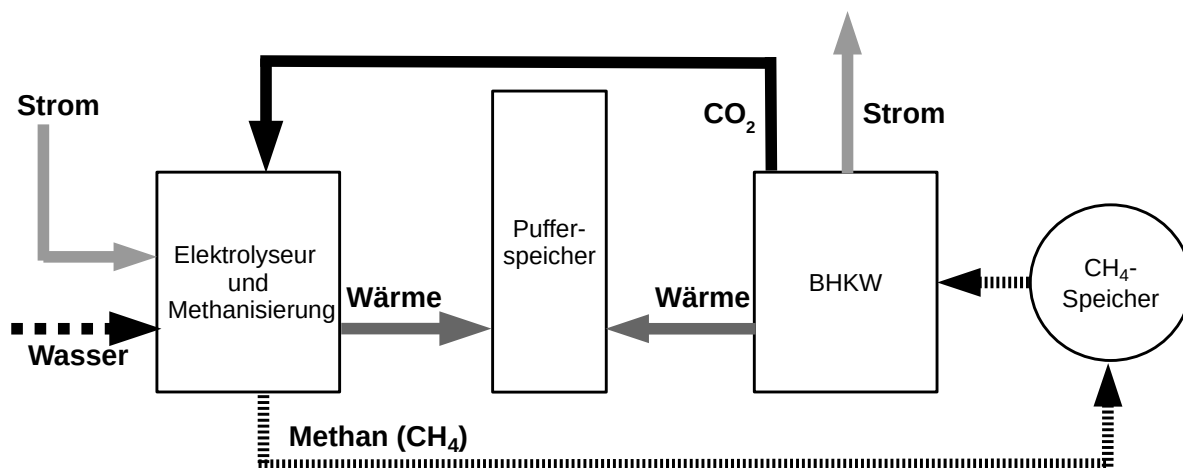
- 3.2.3 Untersuchen Sie 3 Faktoren, die für bzw. gegen die Installation der Kleinwindkraftanlage am beschriebenen Standort sprechen. Gehen Sie dabei auch auf jahreszeitliche Unterschiede ein und diskutieren Sie, ob die Installation eines Akku-Speichers sinnvoll ist.

4

3.3 Wärmeerzeugung mit Power-to-Gas

Forscher arbeiten derzeit an einem Verfahren, mit dem eine CO₂-neutrale Wärmeversorgung ermöglicht werden soll. Ein neuer innovativer Ansatz dazu ist die dezentrale „Power-to-Gas“ Anlage. Diese wandelt elektrischen Strom in Methangas um.

Für die Almhütte könnte die Anlage folgendermaßen aussehen:



- 3.3.1 Stellen Sie den Energieumwandlungsprozess dieser Anlage in einem energetischen Blockschaltbild dar.
- 3.3.2 Formulieren Sie die im Elektrolyseur und bei der Methanisierung ablaufenden Vorgänge in Worten. Erstellen Sie zusätzlich die Reaktionsgleichung für die Elektrolyse.
- 3.3.3 Erläutern Sie zwei Vorteile des Pufferspeichers für diese Anlage.
- 3.3.4 Beurteilen Sie diese Anlage vor dem Hintergrund der Themen „Energiewende“ und „Klimaneutralität“.
- 3.3.5 Bestimmen Sie den Energieinhalt des CH₄-Speichers, wenn dieser ein Volumen von 200 m³ Gas (bei Atmosphärendruck) aufnehmen kann.
Es besteht auch die Möglichkeit, das BHKW mit H₂ statt mit CH₄ zu betreiben. Beurteilen Sie, ob es aus energetischer Sicht sinnvoll wäre, den Energiespeicher direkt mit Wasserstoff statt mit CH₄ zu befüllen.

2

2

2

3

2

30

4 Wahlaufgabe zu Hybridfahrzeug, Abgasreinigung, Brennwerttechnik	Punkte
4.1 Paralleles Hybridfahrzeug	
<p>Ein paralleles Hybridfahrzeug besitzt das auf dem Arbeitsblatt gezeigte Kennlinienfeld. Der elektrische Teil des Hybridantriebs wird aus einem Akku mit einer nutzbaren Kapazität von 4 kWh versorgt, der Dieselmotor aus einem 50 L-Tank. Hinweis: Die Dichte von Diesel beträgt 0,83 kg/L. Der Heizwert beträgt $H_i = 10 \text{ kWh/L}$.</p>	
4.1.1 Ordnen Sie im Kennlinienfeld auf dem Arbeitsblatt die Kennlinien dem Verbrennungsmotor bzw. dem Elektromotor zu. Begründen Sie Ihre Angaben.	2,5
4.1.2 Erläutern Sie die Verläufe der Vollastkennlinien der beiden Motortypen.	2
4.1.3 Berechnen Sie den Energieinhalt des Tanks und vergleichen Sie diesen mit der Kapazität des Akkus.	1
4.1.4 Ermitteln Sie die Reichweite bei rein elektrischem Antrieb, einer Geschwindigkeit von 90 km/h und genau 20 kW Antriebsleistung. Der Akku ist bei Fahrtantritt voll geladen. Die Motordrehzahl beträgt 2000 min^{-1} .	2
Der Akku ist leer, der Verbrenner übernimmt den Antrieb und arbeitet bei $n = 2000 \text{ min}^{-1}$ und $M = 210 \text{ Nm}$. Die Antriebsleistung beträgt weiterhin 20 kW.	
4.1.5 Begründen Sie mithilfe des Diagramms auf dem Arbeitsblatt, warum der Verbrenner mehr Leistung liefert, als zum Antrieb notwendig ist.	2,5
4.1.6 Ermitteln Sie, mit welcher Leistung der Akku in diesem Arbeitspunkt aufgeladen wird. Rechnen Sie dabei ohne Verluste.	2
4.2 Abgasreinigung beim Kraftfahrzeug	
Die Abgase aller Verbrennungsmotoren enthalten Stickstoffoxide.	
4.2.1 Erläutern Sie, wie es zur Bildung von Stickstoffoxiden kommt.	2
4.2.2 Die Abgase von Ottomotoren werden im geregelten Dreiwegekatalysator gereinigt. Erläutern Sie den Begriff „Drei-Wege-Katalysator“. Beschreiben Sie, wie der Stickstoffoxid-Ausstoß durch den Katalysator vermindert wird. Geben Sie hierzu eine Reaktionsgleichung an.	3
4.2.3 Begründen Sie, warum sich ein Dreiwegekatalysator für die Entstickung von Dieselmotor-Abgasen nicht eignet.	2

4.3 Brennwerttechnik

Die Etagenwohnung in einem Mehrfamilienhaus wird über einen mit Heizöl betriebenen Brennwertkessel beheizt.

Im Folgenden soll Heizöl mit der Summenformel $C_{10}H_{18}$ betrachtet werden.

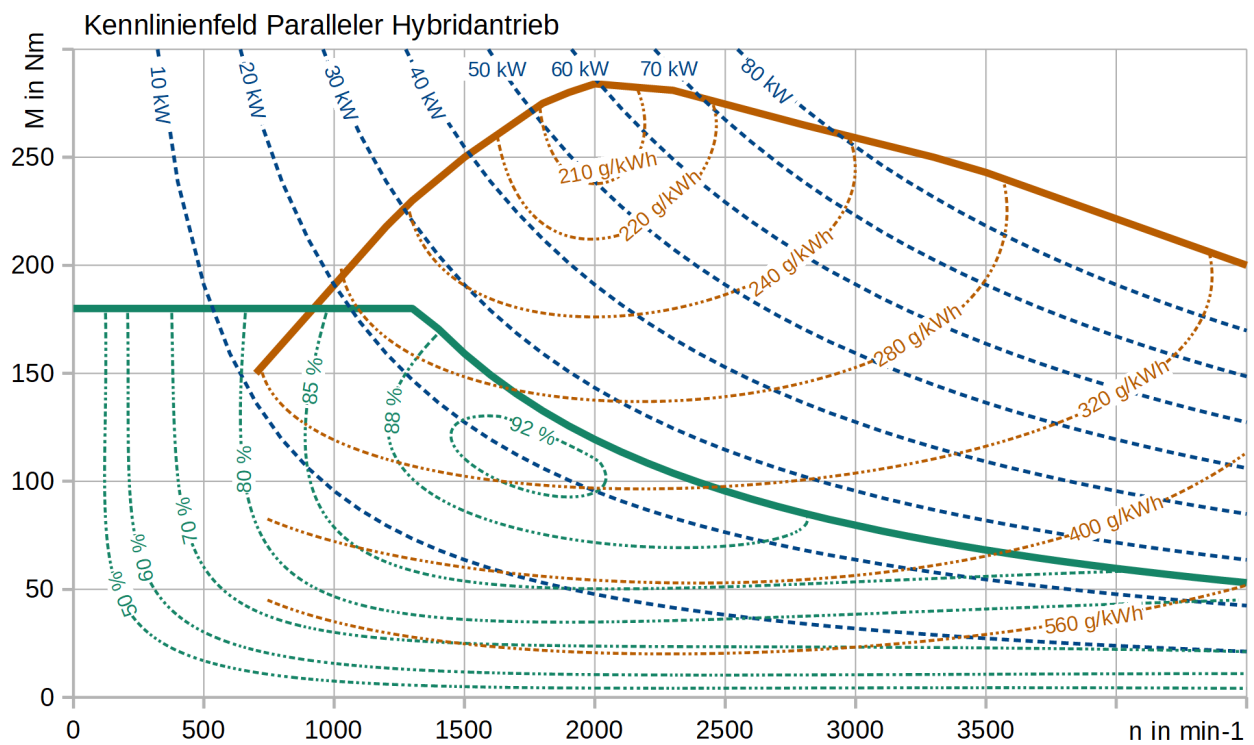
Die Luftzusammensetzung ist 80 % N_2 und 20 % O_2 , der Umgebungsdruck beträgt 1 bar.

- | | | |
|-------|---|---|
| 4.3.1 | Erstellen Sie die Reaktionsgleichung für die Verbrennung von Heizöl. Ermitteln Sie für das Abgas:
- den CO_2 -Gehalt in Vol-% und
- die Taupunkttemperatur.
Der Luftüberschuss beträgt 20 %. Eine lineare Interpolation ist nicht erforderlich. | 3 |
| 4.3.2 | Begründen Sie, wie sich der CO_2 -Gehalt bei Zunahme des Luftüberschusses verändert. | 2 |
| 4.3.3 | Für die Beheizung ist eine Leistung von 10 kW erforderlich.
Ermitteln Sie die CO_2 -Emissionen während der Heizperiode bei einem Kesselwirkungsgrad von 98 % (bezogen auf den Brennwert).

Angaben: Heizperiode: 1440 Volllaststunden
CO_2 -Emissionsfaktor: 2,7 kg CO_2 pro Liter Heizöl | 3 |
| 4.3.4 | Auf dem Arbeitsblatt ist ein Schema des Brennwertgeräts dargestellt. Beschriften Sie die markierten Felder mit den folgenden Begriffen:
„Kondensatablauf“, „Abgas“
Markieren Sie die korrekte Fließrichtung des Heizungswassers mit Pfeilen und begründen Sie Ihre Auswahl. | 3 |

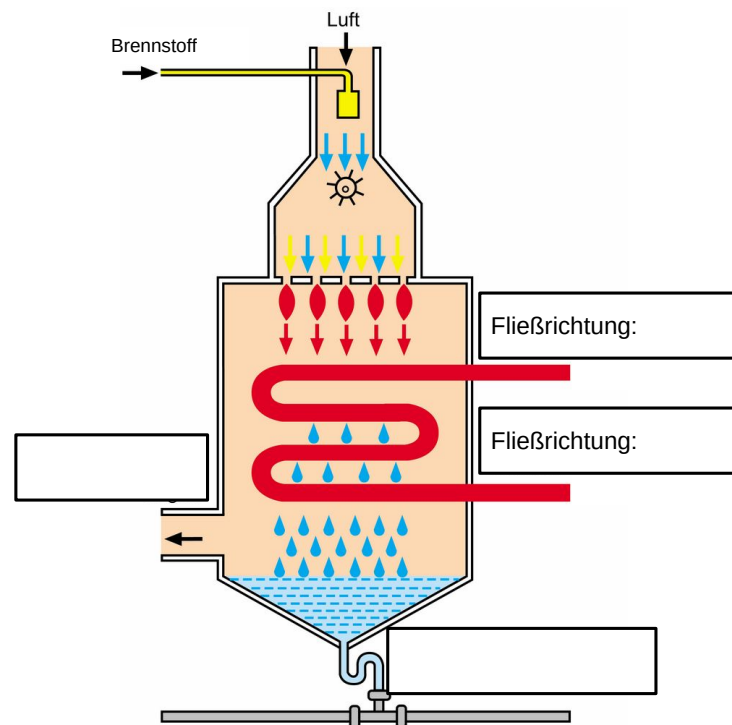
30

zu Aufgabe 4.1:



Punkte

zu Aufgabe 4.3.4:



(3)

TG Umwelttechnik**Abitur 2021/2022****Hauptprüfung**

Arbeitszeit 270 Minuten
Hilfsmittel Formelsammlung Umwelttechnik
Zugelassener Taschenrechner

Stoffgebiet Teil 1: Pflichtbereich

Aufgabe 1: Photovoltaik (3 Seiten)
Elektromobilität

Aufgabe 2: Wärmeschutz (2 Seiten)
Solarthermie
Wohnraumlüftung

Teil 2: Wahlbereich

Aufgabe 3: Plug-in-Hybrid (3 Seiten)
Entstickung und Ozon

Aufgabe 4: Gas- und Dampfkraftwerk (3 Seiten)
Windpark und CO₂-Bilanz

Bemerkungen

Die Aufgaben 1 und 2 (Pflichtbereich) sind von allen Prüflingen zu bearbeiten.
Aus den Aufgaben 3 und 4 (Wahlbereich) wählt die Schülerin/der Schüler eine Aufgabe aus.

Der Aufgabensatz umfasst 12 Seiten (inklusive diesem Deckblatt).

Bitte entnehmen Sie den Aufgaben die beigegefügtten Arbeitsblätter und geben Sie diese mit Ihrer Reinschrift ab.

Sie sind verpflichtet, die Vollständigkeit des Aufgabensatzes umgehend zu überprüfen und fehlende Seiten der Aufsicht führenden Lehrkraft anzuzeigen. Jede Aufgabe ist mit einem neuen Blatt zu beginnen. Bei Verstößen gegen die angemessene Darstellungsform kann ein Punkteabzug erfolgen.

1 Pflichtaufgabe zur Photovoltaik und Elektromobilität

Punkte

1.1 PV-Solarpark in der Nähe von Berlin

Es wird ein neuer Solarpark in der Nähe von Berlin geplant.

Geplante elektrische Energieerzeugung: $W_{ges} = 185 \text{ GWh/a}$

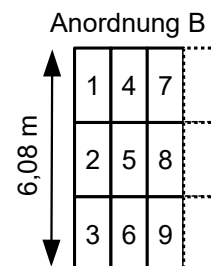
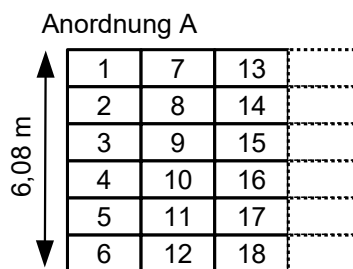
Gesamtnennleistung: $P_{ges} = 187 \text{ MW}_{peak}$

- 1.1.1 Ein Durchschnittshaushalt benötigt pro Tag ca. 10 kWh elektrische Energie. Berechnen Sie die Anzahl der Haushalte, die rein rechnerisch mit dem geplanten Solarpark versorgt werden können. 2
- 1.1.2 Weisen Sie mithilfe der Nennleistung nach, dass der jährliche Ertrag für den Standort Berlin bei **optimaler Ausrichtung** 235,9 GWh beträgt. 2
- 1.1.3 Nennen Sie zwei Gründe, warum der berechnete jährliche Ertrag größer ist als die vom Hersteller angegebene geplante Energieerzeugung. Hinweis: Performance Ratio PR beachten, siehe Formelsammlung. 2
- 1.1.4 Ermitteln Sie, wie vielen Fußballfeldern die insgesamt benötigte Solarmodulfläche bei einem Modulwirkungsgrad von 20,5 % entspricht. 1 Fußballfeld hat 7000 m². 2

Nachfolgend sind die Daten eines Moduls und zwei mögliche Anordnungen der Module angegeben.

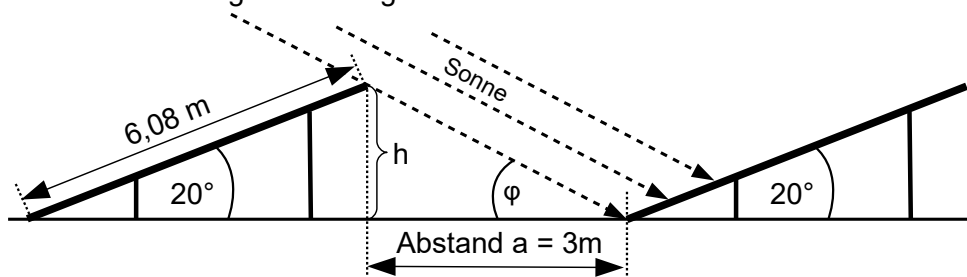
Moduldaten bei STC

P_{max}	415 W _{peak}
U_{MPP}	40,9 V
I_{MPP}	10,15 A
U_{OC}	49,6 V
I_{SC}	10,66 A
Maße	2024 mm*1012 mm
Temperaturkoeffizient U_{OC}	-0,25 %/K
Temperaturkoeffizient I_{SC}	0,04 %/K



- 1.1.5 Berechnen Sie die Anzahl der für die gesamte Anlage benötigten Module. 1

Die Module werden wie abgebildet aufgestellt.



- 1.1.6 Berechnen Sie den minimalen Winkel φ (zwischen tiefstem Sonnenstand und Erdoberfläche), bei dem die Module gerade noch nicht verschattet werden. 2

Bei sehr tief stehender Sonne werden die unteren Modulteile verschattet. Dies muss bei der Anordnung (A oder B) und der elektrischen Verschaltung der Module berücksichtigt werden, um die Leistungseinbußen gering zu halten. Auch der Aufständigungswinkel von 20° wird gegenüber dem optimalen Winkel von 37° laut Formelsammlung notwendig, um einen Kompromiss zwischen möglichst optimaler Flächennutzung und großer Leistungsabgabe zu erzielen.

Es werden immer 27 Module in Reihe geschaltet.

- 1.1.7 Begründen Sie, welche der angegebenen Modulanordnungen (A oder B) besser geeignet ist und wie die Module elektrisch verschaltet werden müssen. 4

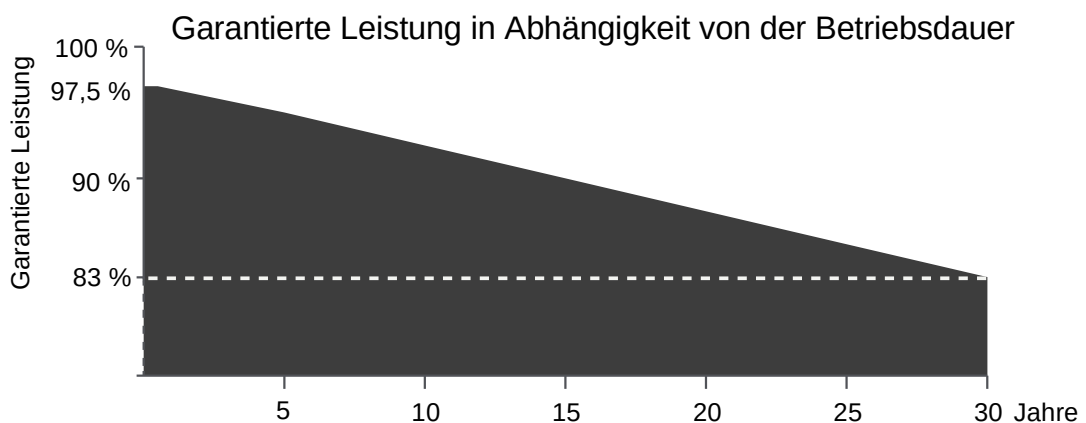
HINWEIS: Geben Sie die Reihenschaltung der Module mit den in den Abbildungen eingezeichneten Nummern an, z.B. 1-2-3 usw. oder 1-7-13 usw. oder 1-4-7 usw.

Zur Netzanbindung werden Wechselrichter mit 1500 V Eingangsspannung eingesetzt.

- 1.1.8 Zeigen Sie, dass maximal 27 Module in Reihe angeschlossen werden können, wenn bei einer Temperatur von -10°C die maximale Eingangsspannung der Wechselrichter nicht überschritten werden darf. 3

1.2 Garantieleistung über 30 Jahre

- 1.2.1 Über 30 Jahre Betriebsdauer verändert sich die vom Hersteller garantierte Leistung der Solarmodule. Erläutern Sie das vom Hersteller dazu angegebene Diagramm und die Auswirkungen für den Betreiber der Anlage. 2

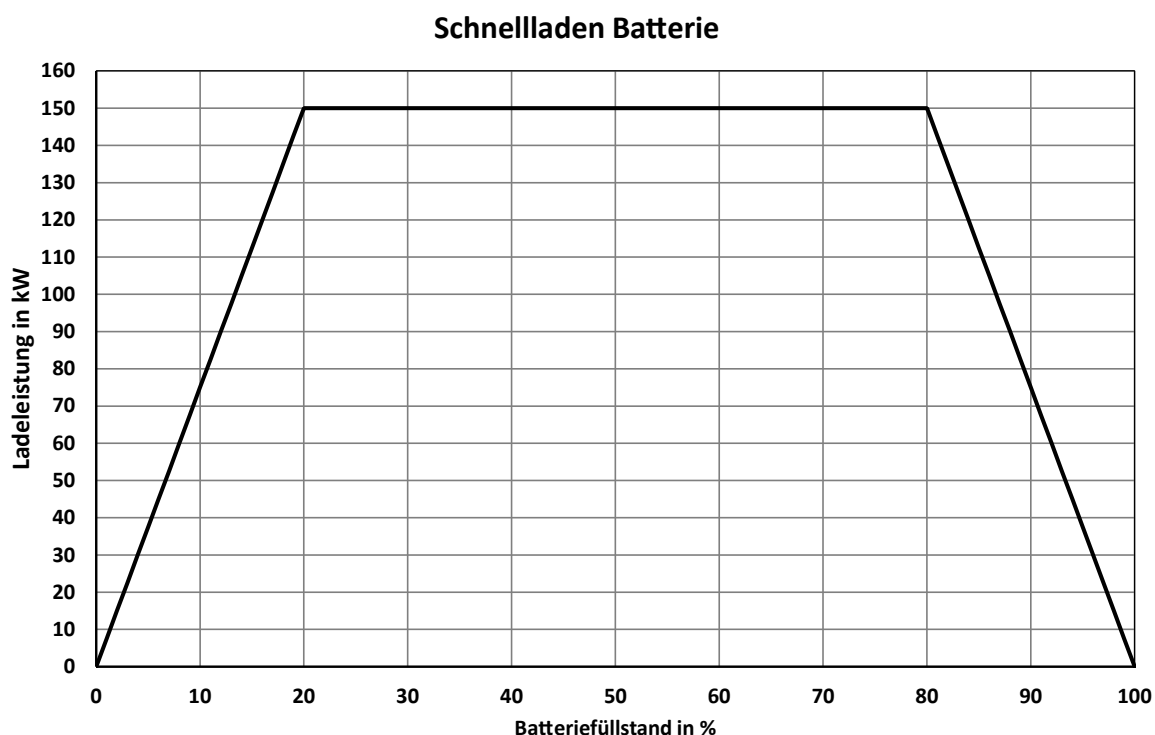


1.3 Elektromobilität

Das zu untersuchende Fahrzeug der Oberklasse hat eine nutzbare Batteriekapazität von 70 kWh und einen durchschnittlichen Verbrauch von 22,5 kWh/100 km.

- 1.3.1 Ermitteln Sie die maximale Reichweite des Fahrzeugs bei durchschnittlichem Verbrauch. 1

Nachfolgend ist die idealisierte Kennlinie beim Laden an der Schnellladesäule dargestellt.



- 1.3.2 Beschreiben Sie den Ladevorgang beim Schnellladen anhand der Kennlinie. 2

- 1.3.3 Weisen Sie nach, dass 3

- a) die Batterie in 0,28 h (16,8 min) von 20 % auf 80 % aufgeladen wird
 b) die Batterie in 0,467 h (28 min) von 20 % auf 100 % aufgeladen wird.

Die Ladeverluste sind in der Kennlinie bereits enthalten und müssen nicht berücksichtigt werden.

- 1.3.4 Beschreiben Sie unter Berücksichtigung der Werte aus 1.3.3 eine effiziente „Tankstrategie“ für möglichst kurze Tankstopps bei einer Langstreckenfahrt, bei der mehrere Mal geladen werden muss. 2

- 1.3.5 Berechnen Sie die Anzahl der Fahrzeuge, die bei einer jährlichen Fahrleistung von 12.000 km pro Fahrzeug komplett mit dem geplanten Solarpark aus Aufgabe 1.1 versorgt werden können. Gehen Sie dabei von einem durchschnittlichen Verbrauch von 19 kWh/100 km aus. Darin sind die Ladeverluste bereits enthalten. 2

2 Pflichtaufgabe zu Wärmeschutz, Solarthermie, Wohnraumlüftung

Punkte

Familie Heller hat sich ein Einfamilienhaus aus dem Jahr 1982 gekauft. Das Gebäude soll vor dem Einzug zu einem so genannten Solaraktivhaus umgebaut werden. Dazu wird das Gebäude nach Passivhausstandard außen gedämmt, die Dämmung mit einem Kalkzementputz versehen und einer Solarthermieanlage nachgerüstet.

2.1 Wärmeschutz

Der unsanierte Wandaufbau des Gebäudes besteht aus:

- 2 cm Kalkzementputz
- 24 cm Hochlochziegel 2000
- 1 cm Gipskartonplatten

Der Wandaufbau soll nach der Sanierung den U-Wert von $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ einhalten. Hierfür wird das Mauerwerk außen gedämmt und mit 2 cm Kalkzementputz beschichtet.

2.1.1 Skizzieren Sie den sanierten Wandquerschnitt als Schnittzeichnung.

1

2.1.2 Bestimmen Sie die notwendige Dämmschichtdicke, wenn als Dämmstoff expandiertes Polystrol EPS 030 zum Einsatz kommt.

4

An einem Wintertag mit $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ soll es in den Wohnräumen $20 \text{ }^\circ\text{C}$ warm sein.

2.1.3 Bestimmen Sie die innere Wandoberflächentemperatur für den sanierten sowie den unsanierten Fall.
Bewerten Sie die Auswirkungen der Sanierungsmaßnahmen auf die Behaglichkeit.

4

Die geplanten dreifach verglasten Fenster haben einen U-Wert von $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Am oben beschriebenen Wintertag treffen $250 \text{ W}/\text{m}^2$ solare Strahlung auf die Fensterscheiben; 60 % der auftreffenden Strahlung gelangen als Wärme in das Rauminnere.

2.1.4 Beurteilen Sie mit Hilfe einer geeigneten Berechnung, ob durch die Fenster mehr Energie gewonnen wird als verloren geht.

3

2.2 Solarthermie

Zum Heizen will Familie Heller die Energie der Sonne nutzen. Um ganzjährig auf den Einsatz fossiler Brennstoffe verzichten zu können, soll ein großer saisonaler Speicher die Wärme des Sommers für den Winter speichern.

2.2.1 Vor der Sanierung wurden für die Beheizung des Gebäudes (Wohnfläche: 150 m^2) 900 m^3 Erdgas pro Jahr benötigt. Nach der Sanierung beträgt der jährliche Primärenergiebedarf für die Gebäudeheizung 15 kWh pro Quadratmeter Wohnfläche.
Ermitteln Sie die prozentuale Energieeinsparung, die durch die Sanierung des Gebäudes erreicht wird.

3

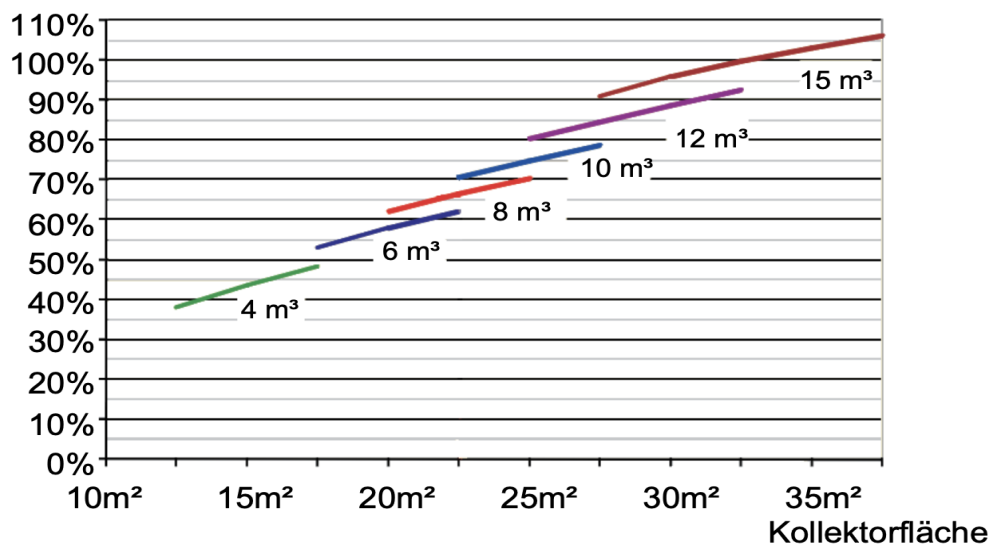
2.2.2 Um nur mit Sonnenwärme ohne Zusatzheizung über den Winter zu kommen, benötigt man rund 1000 kWh gespeicherte Energie. Diese wird in einem zylinderförmigen Wasserspeicher gelagert, dessen Innendurchmesser 2 m beträgt. Die Wassertemperatur darf maximal $90 \text{ }^\circ\text{C}$ betragen und kann unterhalb $30 \text{ }^\circ\text{C}$ nicht mehr sinnvoll für die Wärmebereitstellung genutzt werden.
Berechnen Sie die Bauhöhe des Speichers für die Auslegungstemperatur $90 \text{ }^\circ\text{C}$.

4

- 2.2.3 Um das Solaraktivhaus ganzjährig ausschließlich mit Sonnenwärme beheizen zu können, müssen die Kollektorfläche und der Saisonwärmespeicher aufeinander abgestimmt sein. Bestimmen Sie näherungsweise die Größe des Kollektors und begründen Sie Ihre Auswahl anhand des solaren Deckungsgrades.

2

Solarer Deckungsgrad



- 2.2.4 Die Wärmeenergie wird den Wohnräumen über ein wasserführendes Heizungssystem zugeführt. Nehmen Sie Stellung zur folgenden Aussage des Heizungsplaners bezüglich der zur Verfügung stehenden Wärmemengen:

2

„...Die gespeicherte Wärme kann sehr gut für eine Flächenheizung genutzt werden. Bei einer Heizkörper-Heizung ist die nutzbare Speicherkapazität entsprechend geringer...“

2.3 Kontrollierte Wohnraumlüftung

Das Solaraktivhaus wird mit einer zentralen kontrollierten Wohnraumlüftung (KWL) ausgestattet, um die auftretenden Wärmeverluste zu minimieren.

- 2.3.1 Erstellen Sie eine Skizze und erläutern Sie, wie es gelingt, einen großen Teil der Wärme während des Lüftungsvorgangs im Haus zu behalten.

3

- 2.3.2 Bestimmen Sie die Temperatur, auf die die zugeführte Außenluft an einem Wintertag vorgewärmt wird.

2

Folgende Daten sind bekannt:

- Außenlufttemperatur $-2,5\text{ °C}$
- Raumlufttemperatur 21 °C
- Rückwärmezahl des Lüftungssystems 83 %

- 2.3.3 Bei vielen Systemen zur zentralen KWL kann der Wärmetauscher mit einem sogenannten Bypass umgangen werden. Erläutern Sie, in welcher Situation diese Überbrückung sinnvoll ist.

2

30

3 Wahlaufgabe zu Hybridfahrzeuge, Entstickung und Ozon

Punkte

3.1 Hybridfahrzeuge: Plug-in-Hybrid

In der folgenden Tabelle sind Herstellerangaben eines Plug-in-Hybridfahrzeugs dargestellt. Der Fahrzeughersteller gibt an, dass die Batterie des Fahrzeugs zu Beginn der Testfahrten vollständig geladen war. Das Fahrzeug ist mit einem parallelen Hybridantrieb ausgestattet, der auch einen rein elektrischen Fahrbetrieb ermöglicht.

Verbrauch	CO ₂ -Ausstoß	
	Herstellerangabe „Werbung“	Herstellerangabe „Kleingedrucktes“
1 L/100 km	23 g/km	59 g/km
7,2 kWh/100 km		

Zur Bewertung der CO₂-Emission stehen folgende Daten zur Verfügung:

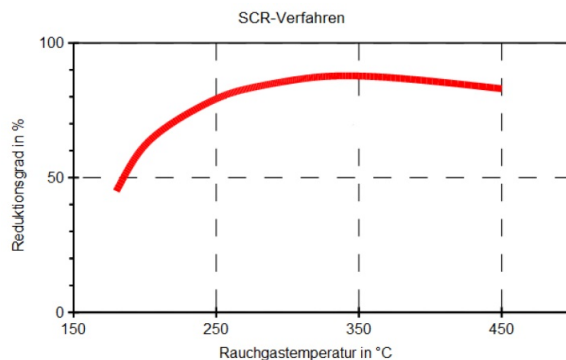
Energiequelle	CO ₂ -Äquivalent
Strommix Deutschland 2019	400 g/kWh
Ökostrom	ca. 0 g/kWh
Benzin (Tank-to-Wheel)	2,3 kg/L
Benzin (Well-to-Tank)	0,72 kg/L

- 3.1.1 Erläutern Sie den Begriff Plug-in-Hybrid. 1
- 3.1.2 Erläutern Sie den Begriff Well-to-Wheel und nennen Sie zwei mögliche CO₂-Emissionen bei der Well-to-Wheel-Betrachtung von Benzin. 2
- 3.1.3 Weisen Sie nach, dass die Herstellerangabe
a) „Werbung“ auf dem Laden mit Ökostrom und Tank-to-Wheel-Emissionen beim Benzin basiert. 4
b) „Kleingedrucktes“ auf dem Laden mit Strommix Deutschland 2019 und Well-to-Wheel-Emissionen beim Benzin basiert.
- 3.1.4 Ein Fahrzeugnutzer stellt einen gegenüber der Herstellerangabe erhöhten Benzinverbrauch fest. Nennen Sie zwei mögliche Ursachen. 2
- 3.1.5 Ein heute neu auf die Straße kommendes Elektrofahrzeug stößt gegenüber Benzinfahrzeugen 27 % weniger CO₂ aus innerhalb seines Lebenszyklus. Bei einem in 5 Jahren neu zugelassenen Elektrofahrzeug sind dies bereits 40 % Unterschied zu Benzinfahrzeugen. Diskutieren Sie mögliche Ursachen. 3
- Die folgenden Aufgaben beziehen sich auf das Diagramm auf dem Arbeitsblatt.
- 3.1.6 Berechnen Sie mithilfe des Diagramms den Verbrauch in kWh/100 km bei rein elektrischem Betrieb mit einer mechanischen Antriebsleistung von 5 kW (bei $n = 1900 \text{ min}^{-1}$, $v = 65 \text{ km/h}$). 4
- 3.1.7 Berechnen Sie mithilfe des Diagramms den Verbrauch in L/100 km bei einem Antrieb nur mit dem Benzinmotor und einer mechanischen Antriebsleistung von 5 kW (bei $n = 1900 \text{ min}^{-1}$, $v = 65 \text{ km/h}$). 4
Hinweis: Die Dichte von Benzin ist $\rho = 740 \text{ g/L}$.

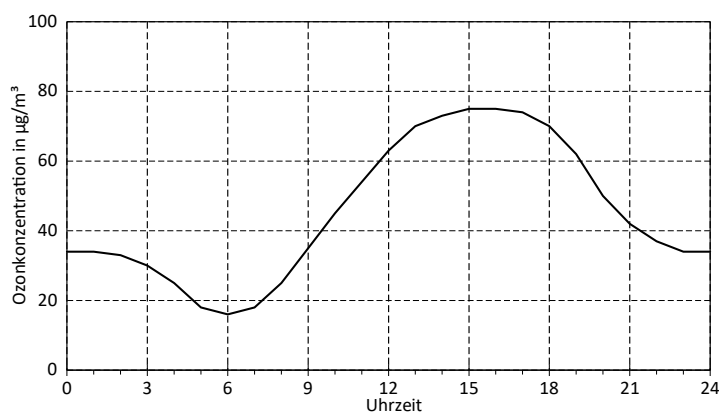
3.2 Entstickung und Ozon

In Kohlekraftwerken ist die Rauchgasentstickung eine wichtige Reinigungsstufe. Im SCR-Verfahren werden die Stickstoffoxide durch „Selektive Katalytische Reduktion“ entfernt.

- 3.2.1 Erläutern Sie den Begriff „Reduktion“ am Beispiel der Reduktion von NO mit Hilfe von NH₃ (in Worten und mit Hilfe einer Reaktionsgleichung). 2
- 3.2.2 Begründen Sie, warum für diese Reaktion ein Katalysator eingesetzt wird. 1
- 3.2.3 Begründen Sie die Position, an der Sie den SCR-Katalysator im Abgasreinigungsstrang anordnen würden. 2
- 3.2.4 Der Abgas-Grenzwert für Stickoxide beträgt 150 mg/m³. Die Rauchgastemperatur beträgt 250 °C und der NO-Gehalt vor dem Katalysator liegt bei 1350 mg/m³. Bewerten Sie die Qualität der Entstickung. 2



Stickoxide spielen eine wesentliche Rolle bei der Entstehung von bodennahem Ozon. In der Abbildung ist der Tagesgang der Ozonkonzentration einer städtischen Messstation an einem Sommertag dargestellt.



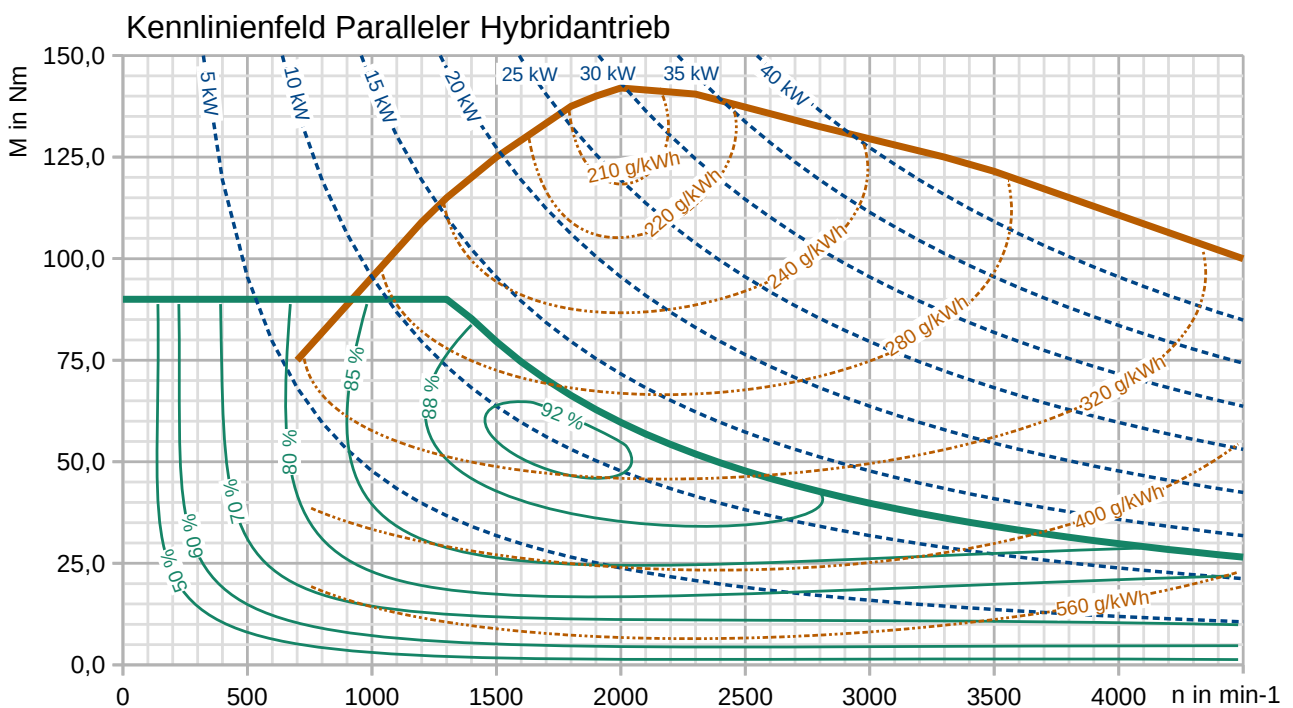
- 3.2.5 Erläutern Sie, wie aus Sauerstoff und Stickstoffdioxid Ozon gebildet wird und erklären Sie damit den starken Anstieg der Ozonkonzentration in den Mittagsstunden. 2
- 3.2.6 Beschreiben Sie die Schädigung von Ozon auf den menschlichen Organismus. 1

Arbeitsblatt zu Aufgabe 3.1.6 und 3.1.7:

Das Diagramm zeigt in einem gemeinsamen Kennlinienfeld

- die Volllastkennlinie der elektrischen Maschine
- Wirkungsgradbereiche der elektrischen Maschine
- die Volllastkennlinie des Benzinmotors
- Bereiche mit spezifischen Verbräuchen des Benzinmotors

Punkte



(4)

(4)

4 Wahlaufgabe zu Gas- und Dampfkraftwerk, Windpark und CO ₂ -Bilanz	Punkte
4.1 Gas- und Dampfkraftwerk	
Der Anteil erneuerbarer Energien am deutschen Strommix nimmt zu. Zur Sicherstellung der Energieversorgung werden erdgasbetriebene Gas- und Dampfkraftwerke als Backup-Systeme vorgehalten. Ein Beispiel dafür ist das GuD-Kraftwerk Irsching 4 in Bayern.	
Technische Daten:	
elektrischer Wirkungsgrad der Gasturbine mit Generator: $\eta_{\text{Gas,el}} = 38 \%$	
elektrischer Wirkungsgrad des GuD-Kraftwerks: $\eta_{\text{GuD,el}} = 61 \%$	
4.1.1 Ergänzen Sie auf dem Arbeitsblatt die Bezeichnungen der Baugruppen des abgebildeten GuD-Kraftwerks.	3
4.1.2 Stellen Sie die Energieströme des abgebildeten GuD-Kraftwerks (mit Kraft-Wärme-Kopplung) in einem energetischen Blockschaltbild dar.	3
4.1.3 Beschreiben Sie die Funktionsweise des GuD-Kraftwerks.	2
4.1.4 Begründen Sie den Vorteil eines GuD-Kraftwerks gegenüber einem Kohlekraftwerk in Hinblick auf den wachsenden Anteil der erneuerbaren Energien am Strommix.	2
Der Gasturbinenblock des Backupkraftwerks Irsching 4 besitzt unter Vollast eine Leistung von 340 MW _{el} . Sein Wirkungsgrad beträgt $\eta_{\text{Gas,el}} = 38 \%$.	
4.1.5 Berechnen Sie das stündlich benötigte Erdgasvolumen.	2
4.1.6 Bei einer Erdgaszufuhr von 90.000 m ³ /h erreicht das GuD-Kraftwerk einen elektrischen Gesamtwirkungsgrad von $\eta_{\text{GuD,el}} = 61 \%$. Bestimmen Sie die elektrische Leistung des Dampfturbinenblocks.	3
4.1.7 Die Zwischenüberhitzung nach der Hochdruckturbine (HD) ist nicht im Schema des GuD-Kraftwerks eingezeichnet. Vervollständigen Sie das Schema auf dem Arbeitsblatt, indem Sie die Zwischenüberhitzung inklusive der Fließrichtung des Speisewassers ergänzen.	2
Für den Dampfkraftprozess des GuD-Kraftwerks sind folgende technische Daten bekannt:	
- Dampfdruck im Dampferzeuger vor dem HD-Turbineneintritt: 150 bar	
- Dampftemperaturen beim Eintritt in die HD- und MD-Turbine: 500 °C	
- Dampfdruck und -temperatur vor der Zwischenüberhitzung: 50 bar, 330 °C	
Mit 10 % Wasseranteil tritt der Dampf bei einem Druck von 0,07 bar in den Kondensator ein.	
4.1.8 Zeichnen Sie den Dampfkraftprozess in das T,s-Diagramm auf dem Arbeitsblatt ein.	3

4.2 Windpark und CO₂-Bilanz

Ein Energieversorger plant einen Windpark im Schwarzwald mit folgenden Daten:

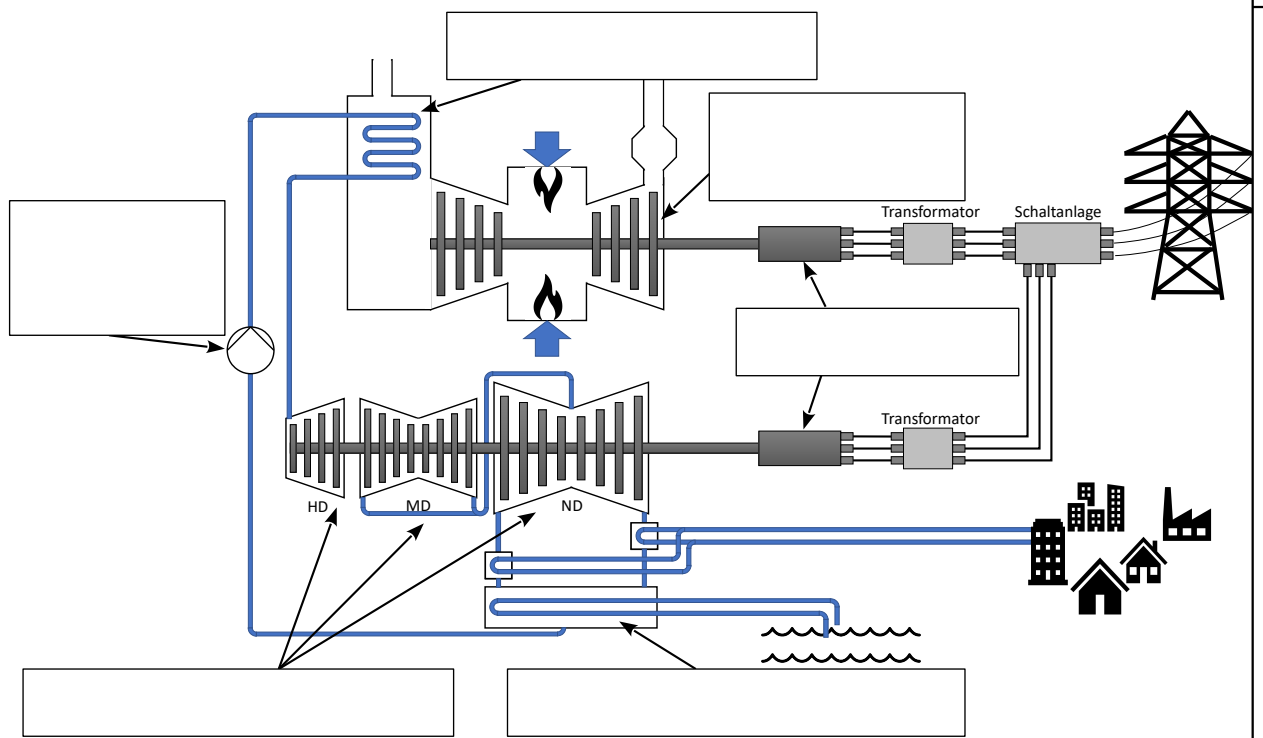
Anzahl Windkraftanlagen (WKA):	3
Nennleistung einer WKA	4,2 MW
CO ₂ -Einsparung des Windparks:	20.500 t/a
Volllaststunden	2619 h

Zur Bewertung der CO₂-Emission stehen folgende Vergleichsdaten zur Verfügung:

Energiequelle	CO ₂ -Emission in g/kWh
Braunkohle	940 - 1260
Steinkohle	730 - 940
Erdgas	350 - 500
Photovoltaik	0
Windkraft	0
Wasserkraft	0
Deutscher Strommix 2019	400

- 4.2.1 Der Betreiber erklärt, mit dem Windpark 10.000 Haushalte versorgen zu können. Weisen Sie nach, dass damit einem Haushalt bei dem am Standort gegebenen Windangebot pro Jahr 3.300 kWh zur Verfügung stehen würden. 1,5
- 4.2.2 Der Betreiber nennt eine CO₂-Ersparnis von 20.500 t pro Jahr. Weisen Sie nach, dass der Betreiber als Berechnungsgrundlage einen CO₂-Ausstoß von 621 g/kWh annimmt. 1,5
- 4.2.3 Erläutern Sie, warum der Betreiber für die Berechnung der CO₂-Ersparnis einen vom deutschen Strommix 2019 abweichenden CO₂-Ausstoß gewählt hat und warum dies sinnvoll ist. 2
- 4.2.4 Die bisher genannten CO₂-Emissionen berücksichtigen nur den störungsfreien Betrieb des Windparks. Erläutern Sie, welche weiteren Faktoren in eine umfassende Bewertung der CO₂-Emissionen des Windparks einfließen müssen. 2
- 4.2.5 Ein Fundament und ein Turm bestehen zusammen aus 380 t Stahl und 3100 t Beton. Berechnen Sie bei einer Laufzeit von 20 Jahren die daraus resultierenden spezifischen Treibhausgasemissionen und bewerten Sie das Ergebnis für den Windpark im Vergleich zu Kraftwerken mit fossilen Brennstoffen. 3
- CO₂-Äquivalent Stahlherstellung: 1444 g CO₂/kg Stahl
 CO₂-Äquivalent Betonherstellung: 323,8 g CO₂/kg Beton

Arbeitsblatt zu Aufgabe 4.1.1, 4.1.7: GuD-Anlagenschema

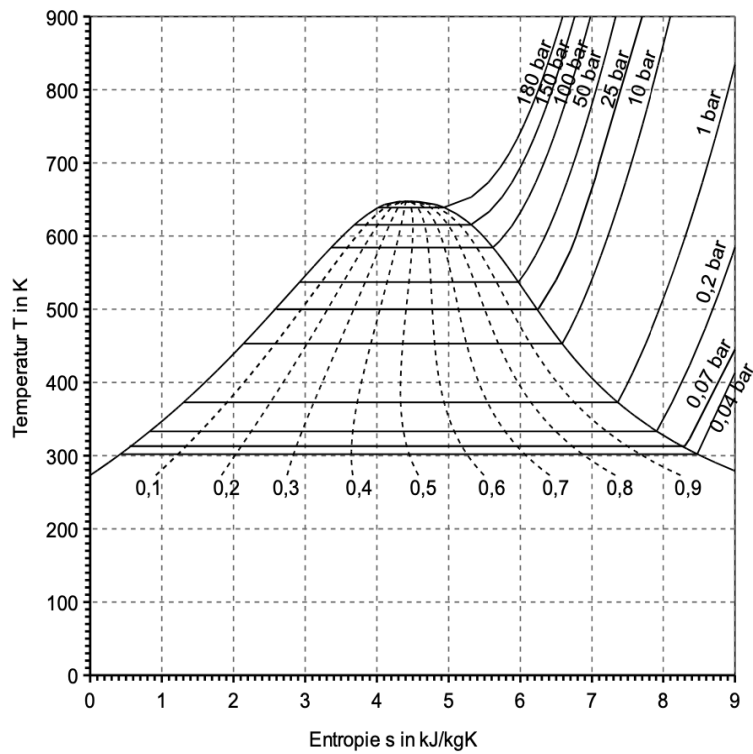


Punkte

(3)

(2)

**zu Aufgabe 4.1.8:
T,s-Diagramm**



(3)