TG Umwelttechnik

2013

Musteraufgabe

Arbeitszeit: 270 Minuten
Hilfsmittel Formelsammlung Umwelttechnik
Zugelassener Taschenrechner

Bemerkungen

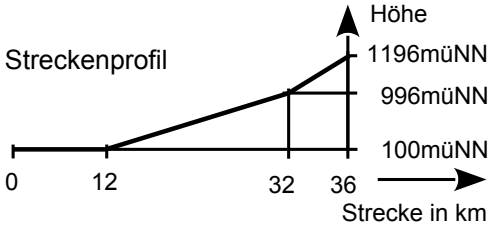
Die Aufgaben 1 und 2 (Pflichtbereich) sind von allen Prüflingen zu bearbeiten.
Aus den Aufgaben 3 und 4 (Wahlbereich) wählt die Schülerin/der Schüler eine Aufgabe aus.

1 Elektromobilität, Wasserkraft und Drehstromübertragung, Tiefsetzsteller

Punkte

Ausflug mit dem E-Bike

Ein E-Bike-Fahrer plant einen Ausflug und möchte das dargestellte Streckenprofil befahren. Die Daten des E-Bike-Akkus sind mit 300 Wh / 36 V angegeben.
Der Gesamtwirkungsgrad des Antriebs (Motor, Akku, Mechanik) beträgt 82 %.

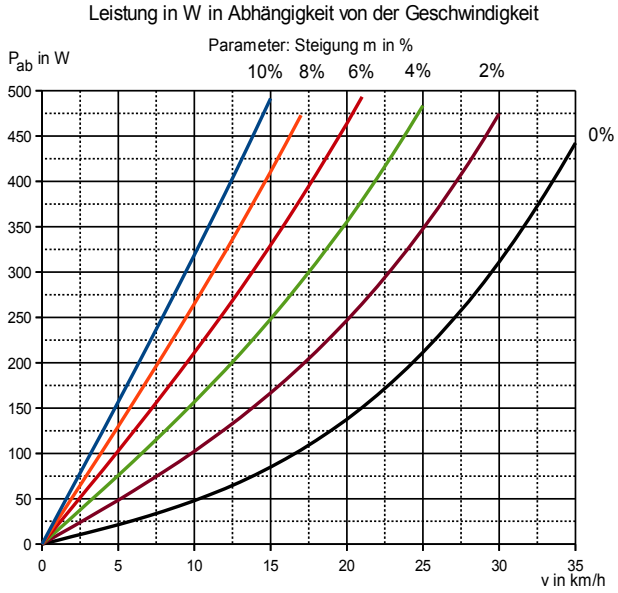


1.1 Leistungsermittlung

Die nebenstehende Kurvenschar P(v) dient zur Berechnung der aufzubringenden Leistung in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit für verschiedene Steigungen in %.

Die Kurven gelten für bestimmte Größen der Werte: Gesamtgewicht, Luftwiderstandsbeiwert, Haftreibungszahl.

Begründen Sie die Form der P(v)-Kurven. Geben Sie dazu an, welche 3 Kräfteanteile der Fahrer überwinden muss.



2

1.2 Fahrt auf der Ebene

3,5

Auf der Ebene möchte der Fahrer mit 10 % Tretunterstützung (Mensch 90 %, Motor 10 %) und einer Geschwindigkeit von 25 km/h fahren.

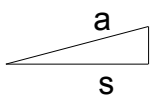
Lesen Sie aus dem Diagramm die benötigte Leistung ab und bestimmen Sie die Energiemenge, die dem Akku auf dieser Teilstrecke entnommen wird.

1.3 Bergfahrt

Die gesamte Steigung möchte der Fahrer mit 20 km/h bewältigen. Für die erste Steigung wählt er eine Tretunterstützung von 50 %, für die zweite Steigung 75 %.

1.3.1 Berechnen Sie die beiden Steigungen in %. 1

1.3.2 Ermittelnn Sie den notwendigen Energiebedarf. Reicht die Akkuladung für die Gesamtstrecke? 3



Verein-fachung: $s \approx a$

1.3.3 Berechnen Sie den maximal möglichen Unterstützungsgrad (10 %, 25 %, 50 %, 75 %) auf der letzten Steigung damit er höchstens 53 Wh verbraucht. (v = 20 km/h) 3

Wasserkraft und Drehstromübertragung

Der Windpark Baltic2 liefert für 2 Stunden eine Leistung von 250 MW und speist diese in das Verbundnetz ein. Ein 800 km entferntes Pumpspeicherkraftwerk nimmt die Energie ab, um das 510 m höher gelegene Speicherbecken zu befüllen. Die Übertragung erfolgt über 400 kV-Drehstrom-Freileitungen. Der Widerstand einer Leitung beträgt 0,1 mΩ pro Meter.

1.4 Übertragungsverluste

1.4.1 Berechnen Sie den Strom in einer Leitung. 1

1.4.2 Bestimmen Sie die gesamten ohm'schen Leiterverluste. 2

1.4.3 Ermitteln Sie, welche elektrische Leistung dem Pumpspeicherkraftwerk zur Verfügung steht, wenn nur die ohm'schen Leiterverluste berücksichtigt werden. 2

Stellen Sie weitere in der Praxis auftretende Verluste dar.

1.5 Energieaufnahme Pumpspeicherkraftwerk

Im Pumpspeicherkraftwerk werden 220 MWh elektrische Energie zum Befüllen des Speichersees verwendet.

Untersuchen Sie, um wie viel cm der Wasserstand des Speichersees ansteigt.
(Annahme: senkrechte Ufer) 3

Fallhöhe = Pumphöhe	h_f = 510 m
Rohrleitung	η_R = 0,96
Turbine	η_T = 0,93
Generator	η_G = 0,98
Pumpe	η_P = 0,95
Motor	η_M = 0,92
Fläche See	A = 2 km²

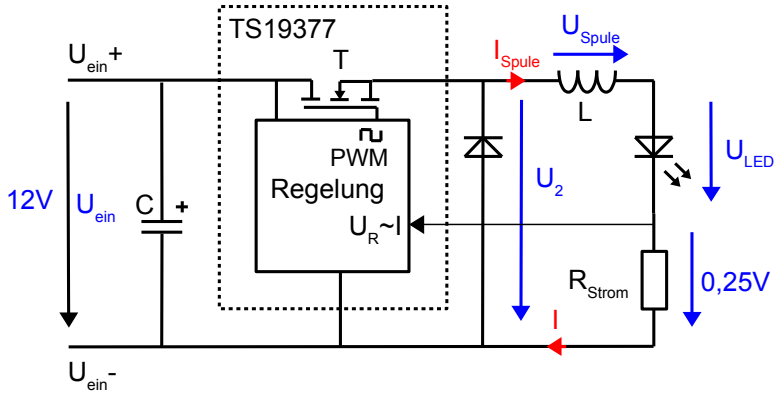
1.6 Energiesparende LED-Beleuchtung mit Tiefsetzsteller

Eine Hochleistungs-LEDs (U_F = 3,8 V, I_F = 1 A) wird über einen Vorwiderstand an einer Gleichspannung von 12 V betrieben.

1.6.1 Berechnen Sie den notwendigen Vorwiderstand und die an ihm auftretende Verlustleistung. 2

Zur Verringerung der Verluste wird ein Tiefsetzsteller-IC mit integriertem Transistor T eingesetzt. Ein PWM-Signal schaltet den Transistor. Die Regelung stellt den Tastgrad so ein, dass die Spannung am Widerstand R_{Strom} im Mittel 0,25 V beträgt. Wenn man einen Widerstand von 0,25 Ω einsetzt, wird auf diese Weise der Strom durch die LED auf I = 0,25 V / 0,25 Ω = 1 A konstant gehalten.

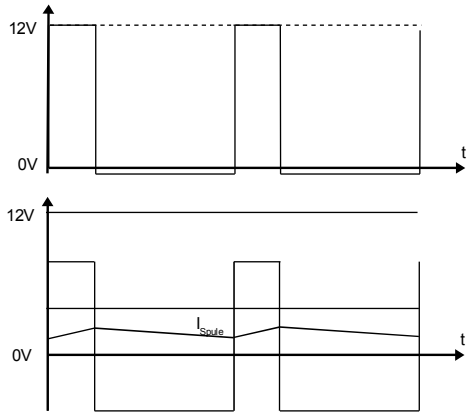
Der Transistor wird als idealer Schalter betrachtet. Der Spannungsabfall an der leitenden Diode beträgt in Durchlassrichtung 0,7 V.



1.6.2 Skizzieren Sie die wirksamen Stromkreise für die beiden Fälle leitender und sperrender Transistor T. 1,5

1.6.3 Erläutern Sie in Stichworten die Aufgabe der Spule und die Aufgabe der Diode bei sperrendem Transistor. 2

1.6.4 In den nebenstehenden, zusammen gehörenden Abbildungen sind außer dem Spulenstrom vier Spannungen dargestellt. Übertragen Sie die Diagramme auf Ihr Lösungsblatt und beschriften Sie die Spannungen mit U_{ein}, U_2, U_{LED} und U_{spule}. 1



1.6.5 Berechnen Sie die Spannungswerte, die U_{spule} annehmen kann. 1,5

1.6.6 Erläutern Sie, warum die Tiefsetzsteller-Schaltung mit PWM-gesteuertem Transistor energiesparender ist als die Schaltung mit LED-Vorwiderstand. 1,5

30

Punkte

2 Erweiterung und Sanierung eines Mehrfamilienhaus

Im Rahmen der Erweiterung eines Mehrfamilienhauses durch einen Anbau wird auch die Heizungsanlage erneuert.

Die Beheizung soll künftig mit einem gasgefeuerten Blockheizkraftwerk erfolgen, als zusätzlicher Wärmeerzeuger soll eine Gas-Brennwerttherme eingesetzt werden.

2.1 Blockheizkraftwerk

Das Blockheizkraftwerk soll passend zum künftigen Energiebedarf geplant werden. Der maximale Wärmebedarf beträgt 20 kW.

Die vom Energieberatungsbüro abgeschätzte Jahresdauerlinie ist auf dem Arbeitsblatt (s. Anlage 2.1) dargestellt.

Folgende Blockheizkraftwerke stehen zur Auswahl:

Fuchs1	$\dot{Q}_{th} = 4$ kW
Hase2	$\dot{Q}_{th} = 10$ kW
Variotherm	$\dot{Q}_{th} = 20$ kW

2.1.1 Erstellen Sie ein Blockschaltbild des Blockheizkraftwerks, in dem alle Energieformen dargestellt sind. — 2

2.1.2 Erläutern Sie, welche Informationen in der Jahresdauerlinie (Arbeitsblatt) dargestellt sind. — 1

2.1.3 Wählen Sie mit Hilfe der Jahresdauerlinie das passende Blockheizkraftwerk aus und begründen Sie Ihre Auswahl. Zeichnen Sie die Nutzwärme Q_{Nutz} in das Diagramm auf dem Arbeitsblatt ein und berechnen diese. — 4

2.1.4 Skizzieren und benennen Sie die Zustandsänderungen des Otto-Prozesses im p,V-Diagramm. Nummerieren Sie die Eckpunkte beginnend mit der Kompression. Kennzeichnen Sie die Nutzarbeit W_{Nutz} im Diagramm. — 4

2.2 Erdgas-Brennwertkessel

Als zusätzlicher Wärmeerzeuger wird ein Erdgas-Brennwertkessel mit einer thermischen Leistung von 18 kW und einem Wirkungsgrad η_i = 108 % vorgesehen.

2.2.1 Begründen Sie, warum der Wirkungsgrad größer als 100 % ist. 1

2.2.2 Ermitteln Sie den benötigten Gasvolumenstrom $\dot{V}_B$ bei maximalem Leistungsbedarf. 2

2.2.3 Stellen Sie die Reaktionsgleichung auf und ermitteln Sie den Taupunkt bei einer Luftüberschusszahl λ = 1,2. Keine lineare Interpolation erforderlich! 3

Annahmen:
- Erdgas besteht ausschließlich aus Methan (CH_4)
- Luftzusammensetzung: 80 % N_2, 20 % O_2
- Umgebungsluftdruck p_{amb} = 1 bar

2.2.4 Erläutern Sie, wie sich der Taupunkt bei zunehmendem Luftüberschuss ändert. 2

2.3 Anbau – Bauphysikalische Beurteilung

An das Mehrfamilienhaus wird angebaut. Die Mauern des neuen Anbaus werden aus Leichthochlochziegel erstellt.

Der Horizontalschnitt durch das Mauerwerk ist auf dem Arbeitsblatt (Anlage 2.1) abgebildet.

Angaben:

Bestehende Wand: Vollziegel, d = 17,5 cm, ρ = 1600 kg/m³

Wand Anbau: Leichthochlochziegel Typ W, d = 36,5 cm, ρ = 700 kg/m³

Außenputz: Kalk-Zementputz der Dicke d = 2 cm,

Innenputz: Gipsputz der Dicke d = 1,5 cm.

Außenlufttemperatur ϑ_e =-10°C, Raumlufttemperatur ϑ_i =20°C

2.3.1 Zeichnen Sie in den „Horizontalschnitt durch das Mauerwerk“ (s. Arbeitsblatt) den Verlauf der 17°C-Isotherme im Innenraum ein (nur qualitativ). 1

2.3.2 Bestimmen Sie den U-Wert der neuen Wand. 2

2.3.3 Die relative Luftfeuchte beträgt bei 20°C Wohnraumtemperatur 50 %. Bestimmen Sie die Taupunkttemperatur und ermitteln Sie, ob vor der Sanierung Tauwasser an der Oberfläche des Mauerwerks anfällt. 4

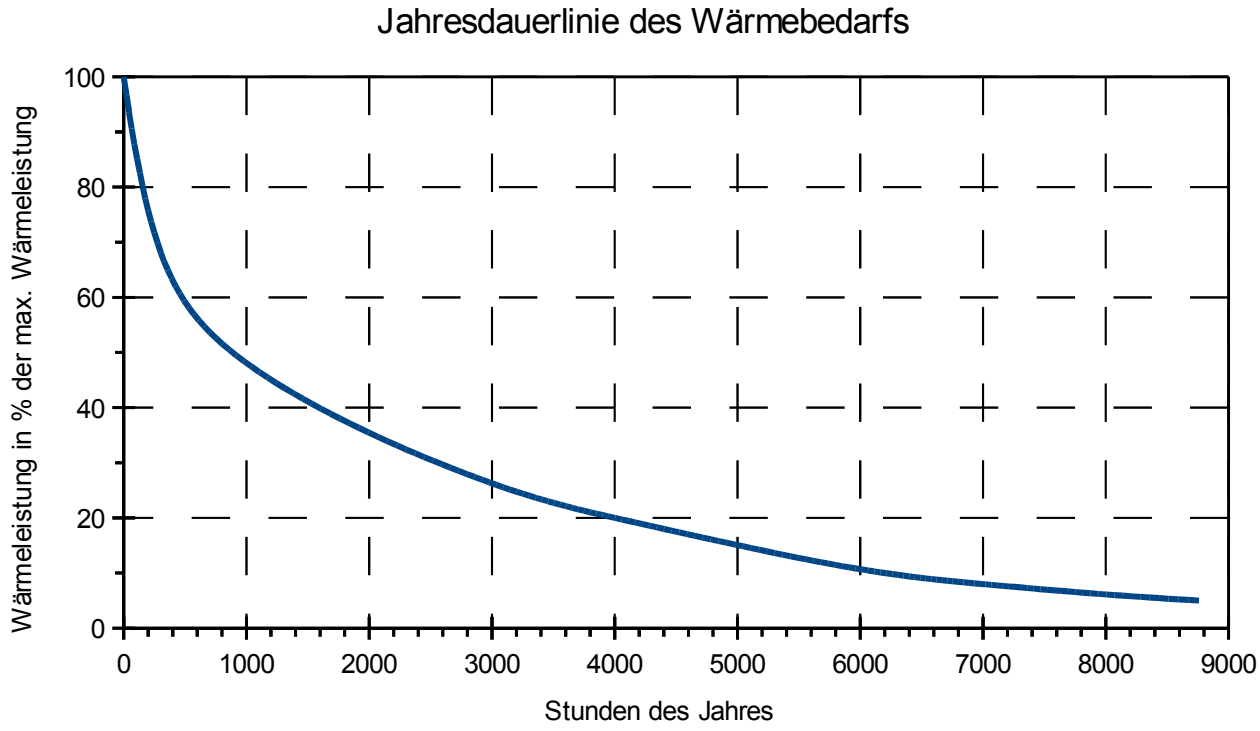
2.3.4 Der Altbau wird im Rahmen der Sanierung gedämmt und mit 2 cm Kalk-Zementputz verputzt. 4

Das neue Mauerwerk weist einen U-Wert von 0,51 W/(m²K) auf. Wie dick muss eine zusätzliche Außendämmung der WLG 035 auf dem alten Mauerwerk sein, damit derselbe U-Wert wie bei dem neuen Mauerwerk erreicht wird.

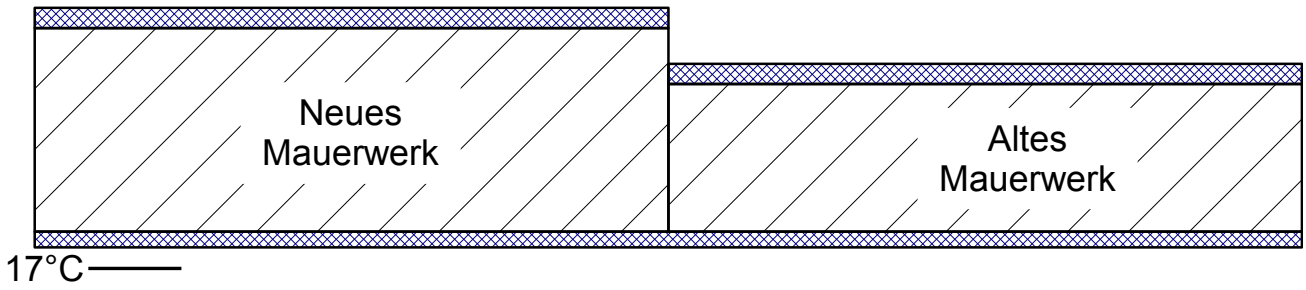
30

Arbeitsblatt

zu Aufgabe 2.1: Jahresdauerlinie nach Sanierung des Mehrfamilienhauses



Skizze zu Aufgabe 2.3: Horizontalschnitt durch das Mauerwerk



3 Dreifamilienhaus mit großer Fensterfläche

Punkte

Ein Dreifamilienhaus in Stuttgart hat ein Wohnzimmer mit großer nach Süden ausgerichteter Fensterfläche.

3.1 Sommerlicher Wärmeschutz

3.1.1 Skizzieren Sie auf dem Arbeitsblatt 1 eine geeignete feststehende bauliche Maßnahme in der Seitenansicht, die den sommerlichen Wärmeschutz gewährleistet und gleichzeitig passive Energiegewinne im Winter ermöglicht. — 2

Veranschaulichen Sie die Sommer- und die Wintersituation durch geeignete Darstellungen.

3.1.2 Zeichnen Sie auf dem Arbeitsblatt 1 in die Skizze der Scheibe das Energieflussdiagramm über den Querschnitt des abgebildeten Mehrscheibenglases. Geben Sie die direkte Transmission in % an. — 3

Annahme: Jede Glasscheibe absorbiert 12 % und reflektiert 13 % der Sonneneinstrahlung.

3.2 Kontrollierte Wohnraumlüftung

Für das gesamte Haus soll eine zentrale kontrollierte Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung nachgerüstet werden.

Die Raumabmessungen des mit einer kompletten Glasfassade versehenen Wohnzimmers sind: 8 m x 5 m x 2,5 m (L x B x H).

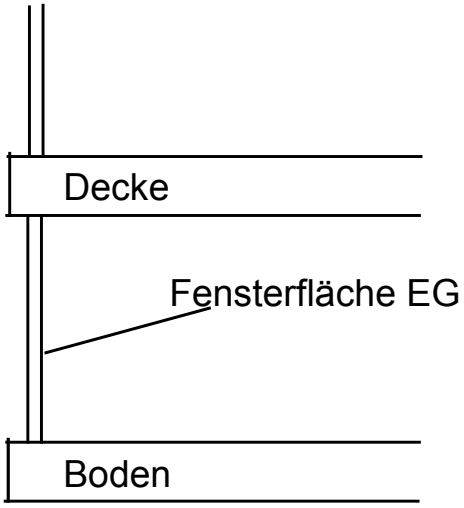
3.2.1 In welchen Räumen im Haus werden Zuluft- und Abluftöffnungen angeordnet? Begründen Sie Ihre Auswahl. — 2

3.2.2 Berechnen Sie den Luftvolumenstrom $\dot{V}_{zu}$ für das oben beschriebene Wohnzimmer bei einer Luftwechselzahl β = 0,7 1/h. — 1

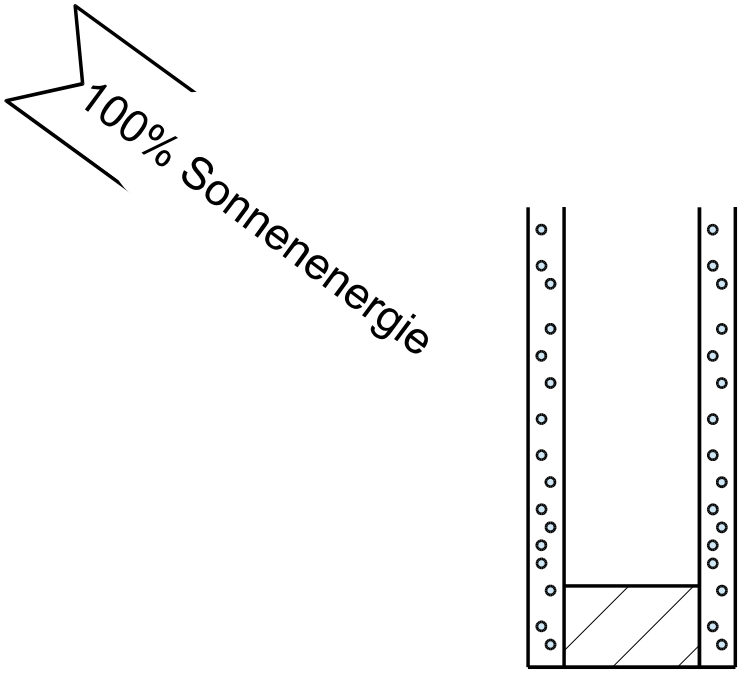
3.2.3 Die Raumluftgeschwindigkeit sollte in Wohnräumen weniger als 0,15 m/s betragen. Berechnen Sie die Mindestquerschnittsfläche der Abluftöffnung bei einem Abluftvolumenstrom von $\dot{V}_{ab}$ = 70 m³/h. — 2

Arbeitsblatt

zu Aufgabe 3.1.1



zu Aufgabe 3.1.2



Punkte

4 Solare Trinkwassererwärmung

4.1 Bivalenter Trinkwasserspeicher

Für einen Vierpersonenhaushalt soll der bivalente Trinkwasserspeicher ausgelegt werden. Der Warmwasserbedarf von zwei Tagen soll abdeckt werden. Die Speichertemperatur beträgt 60 °C, die Kaltwassertemperatur 10 °C. Der Warmwasserbedarf ist 40 Liter pro Person und Tag bei einer Temperatur ϑ_{WW} = 45 °C.

4.1.1 Begründen Sie, warum der Speicher den Warmwasserbedarf von zwei Tagen abdecken soll. 1

4.1.2 Erläutern Sie zwei Aspekte, die dafür sprechen, eine Speichertemperatur von 60 °C zu wählen. 4

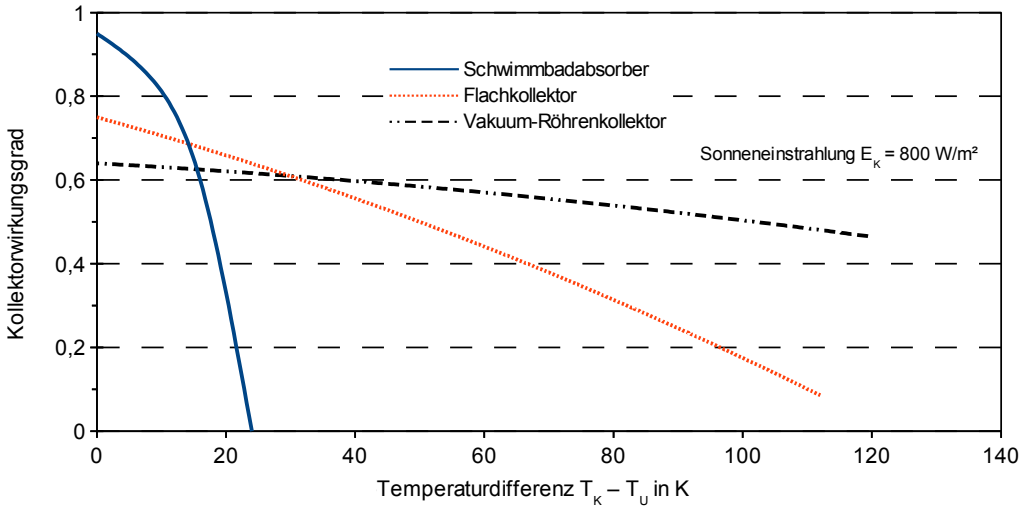
4.1.3 Skizzieren Sie den bivalenten Warmwasserspeicher mit Kalt- und Warmwasseranschluss und begründen Sie die Anordnung der Wärmetauscher und der Wasseranschlüsse. 5

4.1.4 Ermitteln Sie die erforderliche Speichergröße mit den angegebenen Randbedingungen. In Ihrer Überschlagsrechnung sollen Verluste z.B. durch Wärmeleitung nicht berücksichtigt werden. 4

4.2 Solarkollektor

Für die solare Trinkwassererwärmungsanlage soll der Kollektor passend ausgewählt werden.

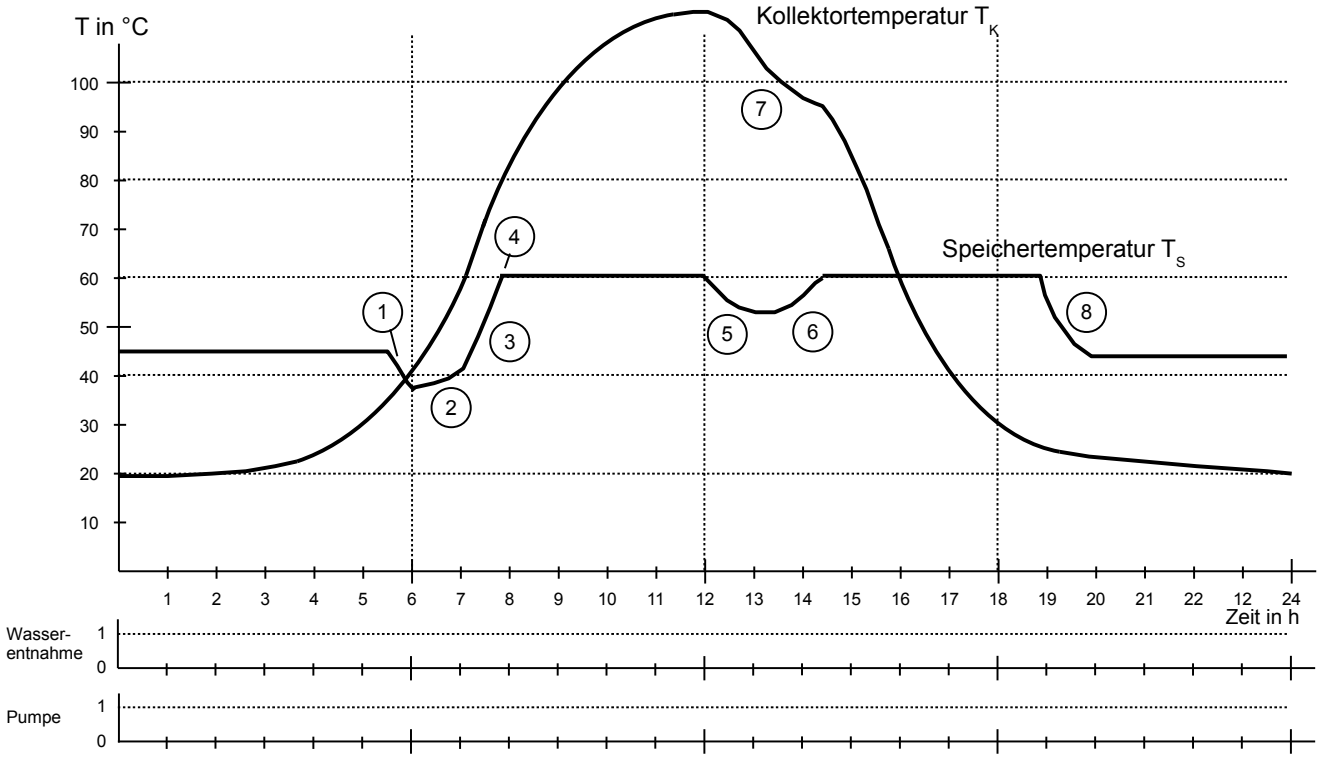
4.2.1 Wählen Sie mit Hilfe der Wirkungsgradkennlinien den Kollektortyp unter Berücksichtigung des Kosten-/Nutzenverhältnisses aus und begründen Sie Ihre Auswahl. 3



4.2.2 Der Kollektor ist 7 m² groß. Ermitteln Sie den Wärmeertrag des Kollektors bei einer Neigung von 45 ° und Südost-Ausrichtung (150 °) an einem durchschnittlichen Juni-Tag in Würzburg. Beurteilen Sie das Ergebnis. 3

Annahme: Kollektorwirkungsgrad η = 0,7

Arbeitsblatt zu Aufgabe 4.4



Arbeitszeit: 270 Minuten

Hilfsmittel: Formelsammlung Umwelttechnik,
Zugelassener Taschenrechner

Stoffgebiet Teil 1: Pflichtbereich

Aufgabe 1: Photovoltaik (3 Seiten)
Elektromobilität

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

Teil 2: Wahlbereich

Aufgabe 3: Elektro- und Hybridfahrzeuge (2 Seiten)
Abgasreinigung
Wind- und Wasserkraft

Aufgabe 4: Wärme erzeugen (3 Seiten)
Abgasreinigung
Steuern und regeln

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.

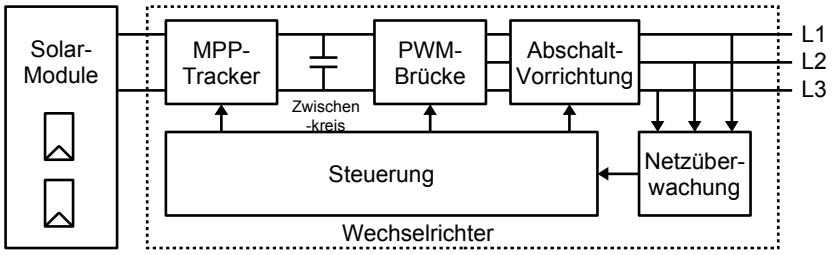
D

Punkte

1 Pflichtaufgabe

Photovoltaik

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 $U1_{PWM}$ auf dem Arbeitsblatt dargestellt ist. Eine nachgeschaltete Filterschaltung erzeugt eine analoge Spannung, indem sie näherungsweise die arithmetischen Mittelwerte der Ausgangsspannung $U1_{PWM}$ über die Zeiträume T bildet.

1.2.1 Skizzieren Sie auf dem Arbeitsblatt abschnittsweise die arithmetischen Mittelwerte der Spannung $U1_{PWM}$. 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: 3
0 V / 25 V / 27 V / 29,5 V / 31 V / 35 V / 36,6 V.
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_{0C}, 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/m²) 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.

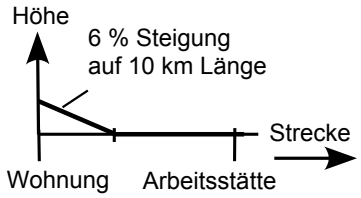
1.4.1 Bestimmen Sie die notwendige Anzahl der Module. Begründen Sie die Verschaltung der Module. 3

1.4.2 Ermitteln Sie die Nennleistung der Gesamtanlage und den Modulwirkungsgrad bei STC- oder NOCT-Bedingungen. 2

Elektromobilität: Effektive E-Bike-Nutzung

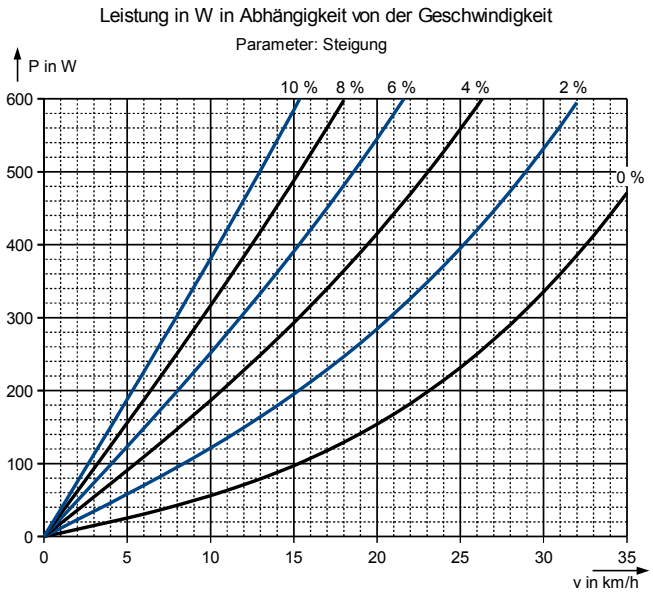
Als umweltschonende Alternative zum Auto soll für die tägliche Fahrt zur Arbeit ein E-Bike eingesetzt werden. Der Nutzer bewältigt auf seinen Fahrten das abgebildete Streckenprofil in beiden Richtungen.

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. 2
Hinweis: X % Motorunterstützung bedeutet: Motor X %, Rest Mensch.

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

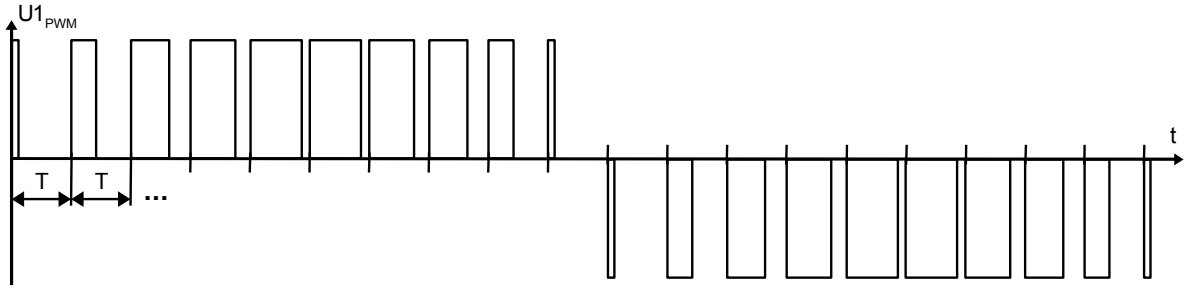
1.6.2 Berechnen Sie für beide Fälle die dem Akku entnommenen Energiemengen. 3

1.6.3 Diskutieren Sie die beiden Fälle hinsichtlich Fahrzeit, Akku-Energieverbrauch und der vom Fahrer aufgebrachten Energiemenge. 2

Σ 30

Arbeitsblatt

zu Aufgabe 1.2.1



2

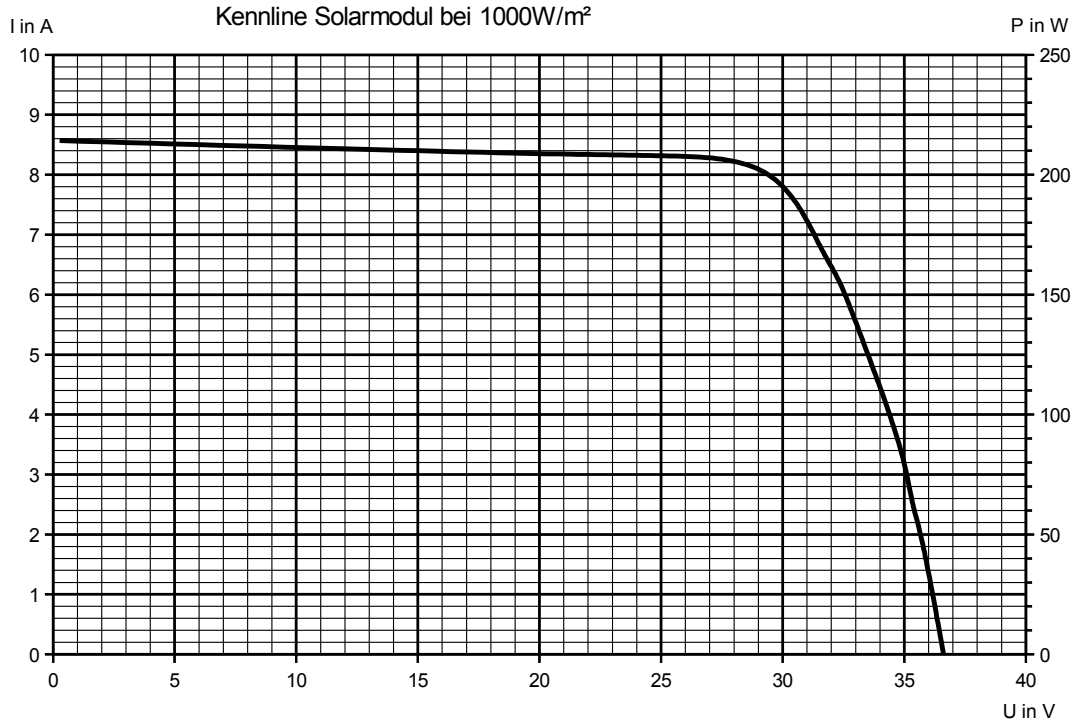
zu den Aufgaben 1.3.1 und 1.3.2 und 1.3.3

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_{0C}	36,6	34,2	V
Kurzschlussstrom	I_{SC}	8,66A	6,96	A

Standardtestbedingungen STC (Luftmasse AM 1,5, Einstrahlung 1000W/m², Zelltemperatur 25°C)
Nennbetriebstemperatur NOCT (800W/m², AM 1,5, Windlast 1m/s, Umgebungstemperatur 20°C)

3



2

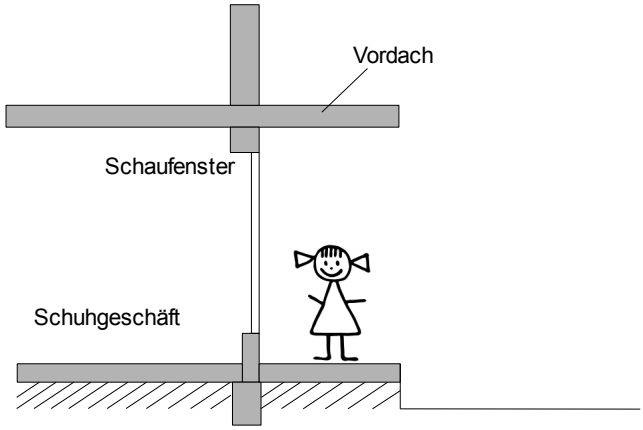
2

2 Pflichtaufgabe

2.1 Sanierung eines Wohn- und Geschäftshauses

Punkte

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 Raumluft ϑ_i beträgt 20 °C, die relative Luftfeuchte ist φ = 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: — 5

- Thermoöl
- Wasser
- Dampferzeuger / Überhitzer
- Kondensator

Erklären Sie die Funktionsweise der Anlage.

2.2.2 Von dem Dampfkraftprozess sind folgende Daten bekannt:

- Druck im Kondensator: p_{Kond} = 0,07 bar
- Druck im Dampferzeuger: p_{DE} = 28 bar
- Temperatur beim Turbineneintritt: ϑ_{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.

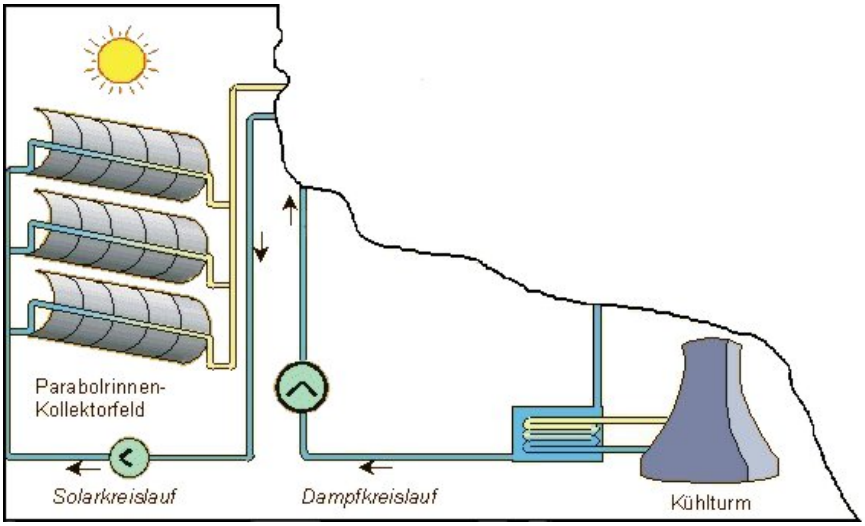
2.2.3 Ermitteln Sie mit Hilfe des T,s-Diagramms die im Dampferzeuger zugeführte und die im Kondensator abgeführte spezifische Wärmemenge q in kJ/kg näherungsweise. — 3

2.2.4 Berechnen Sie die spezifische Nutzarbeit w_{Nutz} und den thermischen Wirkungsgrad η_{th} des Prozesses. — 2

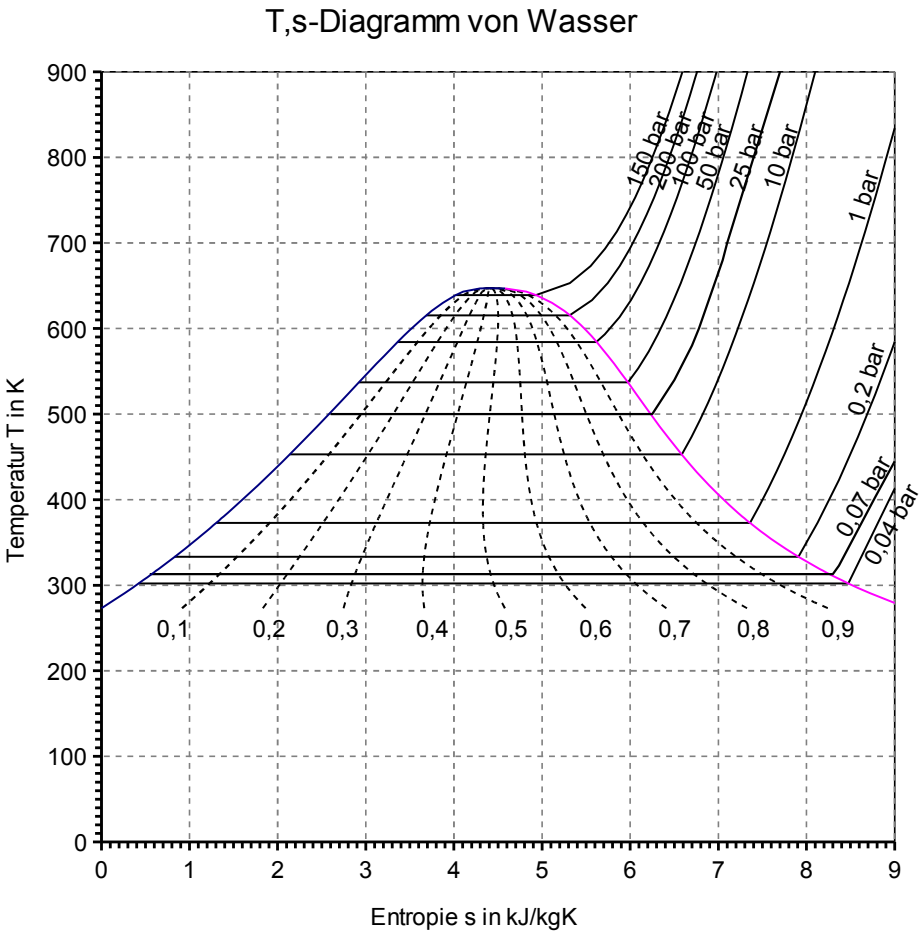
30

Arbeitsblatt

zu Aufgabe 2.2.1: Anlagenschaubild Solarthermisches Kraftwerk 5



zu Aufgabe 2.2.2: T,s-Diagramm 2



Punkte

3 Wahlaufgabe Windpumpspeicherkraftwerk und Hybrid-PKW

3.1 Pumpspeicherkraftwerk

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

Fallhöhe	h	=	250m
Durchfluss	$\dot{V}_p$	=	5,6 m³/s
Maximal speicherbare elektrische Arbeit	W_e	=	70 MWh
Volumen oberes Becken	V	=	160.000 m³

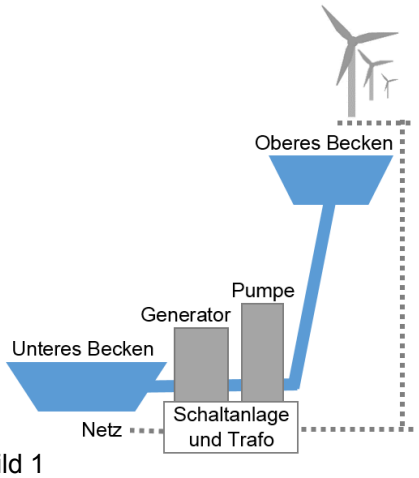


Bild 1

3.1.1 Berechnen Sie die im oberen Becken gespeicherte Arbeit W_{pot}. Diese kann über eine Turbine mit angeschlossenem 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 m
Gleitzahl Flügelprofil	E	→	∞
Flügelanzahl	Z	=	3
Nennwindgeschwindigkeit	v_n	=	11 m/s
Generatorleistung	P_e	=	4,5 MW
Wirkungsgrad Generator	η_g	=	0,95

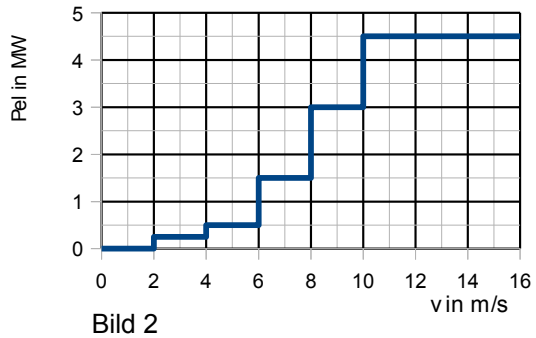


Bild 2

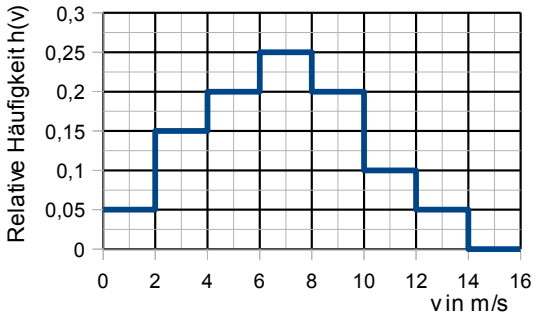


Bild 3

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 Bestimmten 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

30

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 $H_i = 4{,}5$ 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 $L_{min} = 5$ m³/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

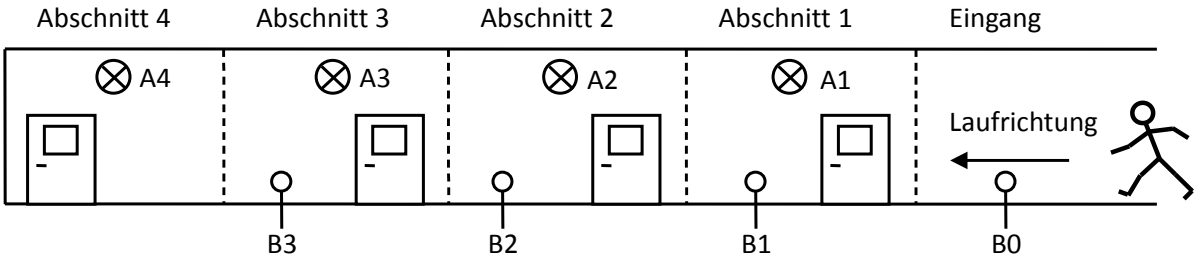
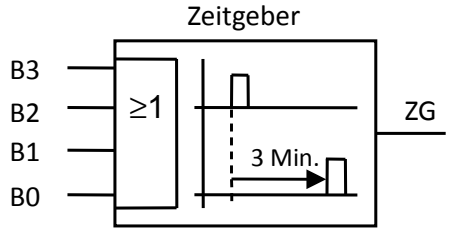


Bild 2: Verwendeter Zeitgeber-Baustein



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 — 5

Stellen Sie die Ablaufsteuerung als Zustandsdiagramm oder in GRAFCET dar.

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

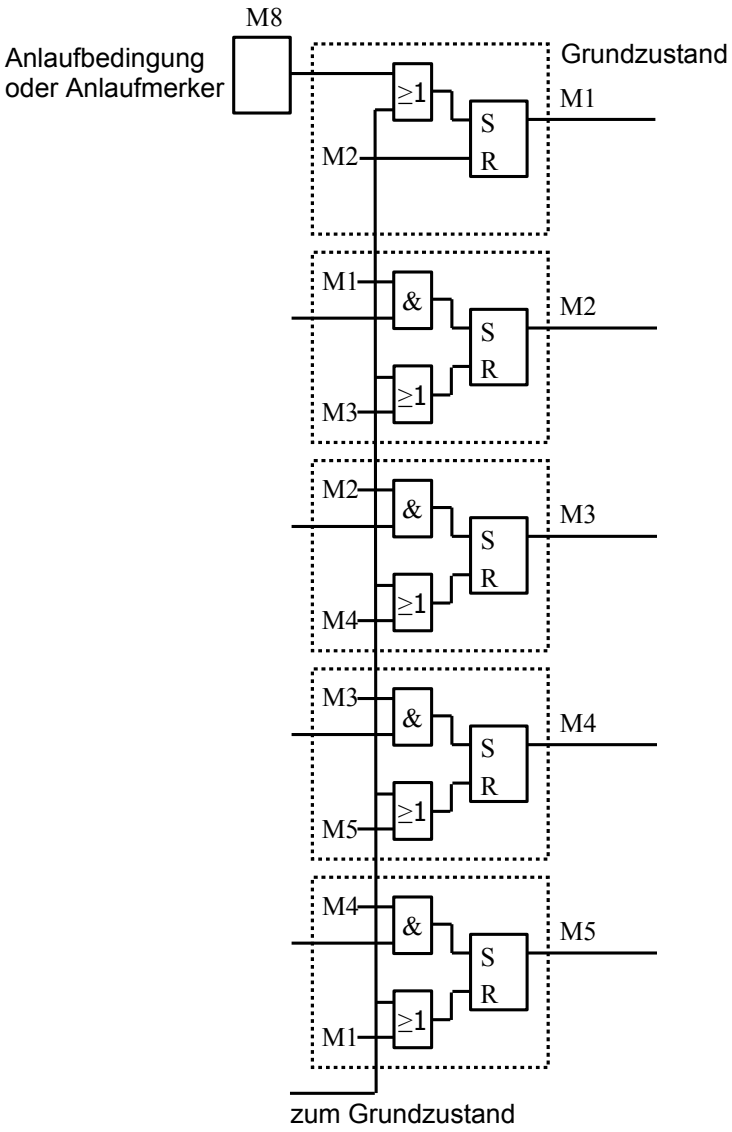
4.3.2 Schrittkette — 5

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

30

Arbeitsblatt

zu Aufgabe 4.3.2: Schrittkette 5



TG Umwelttechnik

2013/2014

Übung

Arbeitszeit: 270 Minuten

Stoffgebiet: Teil 1: Pflichtbereich

Aufgabe 1:	Wind- und Wasserkraft	(3 Seiten)
Aufgabe 2:	Wohnklima und Gebäudehülle Wärme erzeugen Abgasreinigung	(3 Seiten)

Teil 2: Wahlbereich

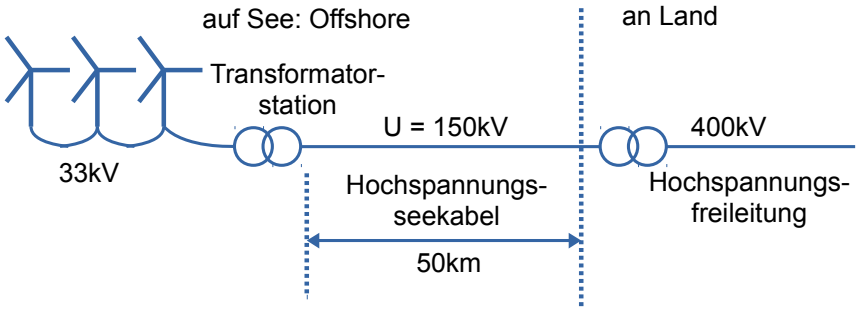
Aufgabe 3:	Wohnklima und Gebäudehülle Brennstoffzelle Steuern und regeln	(4 Seiten)
Aufgabe 4:	Wärme erzeugen Elektromobilität Photovoltaik Elektro- und Hybridfahrzeuge	(2 Seiten)

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:

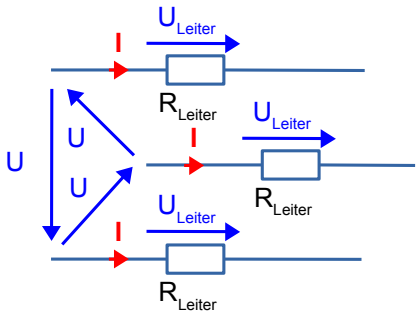
Leistung Windpark
P_{Nenn} = 100 MW

Widerstand eines 1 km langen Leiters des Seekabels: R_{Leiter} = 55,3 mΩ / km

Länge des Seekabels:
L = 50 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 φ = 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

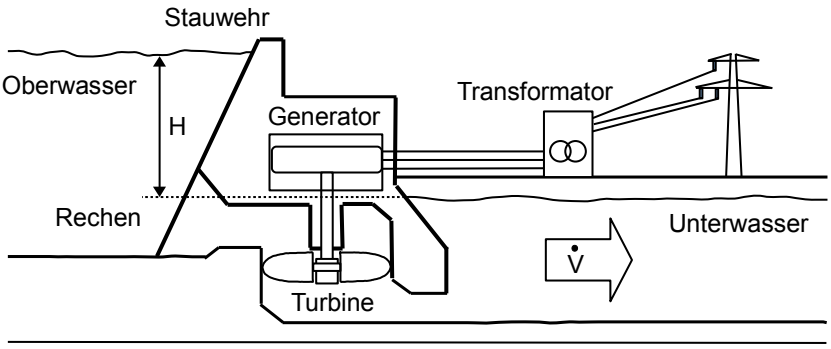
Bemessung eines Laufwasserkraftwerks

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

Turbine bei einem maximalen Durchfluss von 5 m³/s:
$\eta_{maxTurbine} = 0{,}9$



1.2 Niedrigwasser

Während der Winterzeit beträgt die Wasserdurchflußmenge $\dot{V} = 5\ m^3/s$. Die Fallhöhe beträgt 12,5 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 $\dot{V} = 16\,m^3/s$.
Die Fallhöhe beträgt 12 m.

Drei Verteilungen der Durchflussmenge auf die Maschinensätze werden verglichen: 5
a) $5\frac{m^3}{s}+5\frac{m^3}{s}+5\frac{m^3}{s}+1\frac{m^3}{s}$ b) $5\frac{m^3}{s}+5\frac{m^3}{s}+3\frac{m^3}{s}+3\frac{m^3}{s}$ c) $4\frac{m^3}{s}+4\frac{m^3}{s}+4\frac{m^3}{s}+4\frac{m^3}{s}$
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 m³/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.

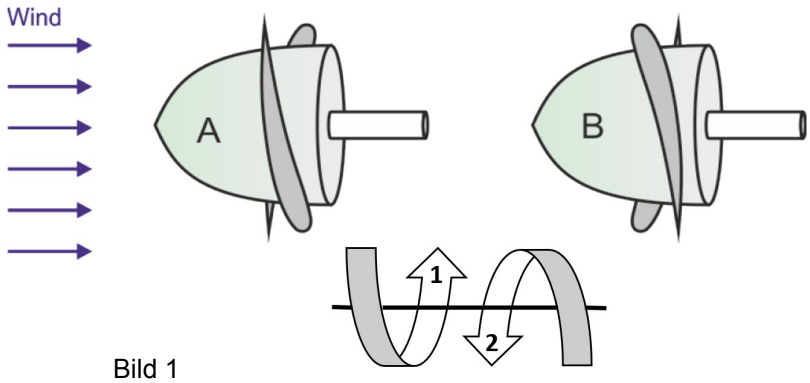


Bild 1

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

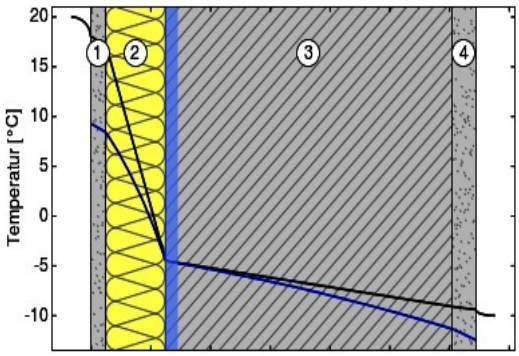
Punkte

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

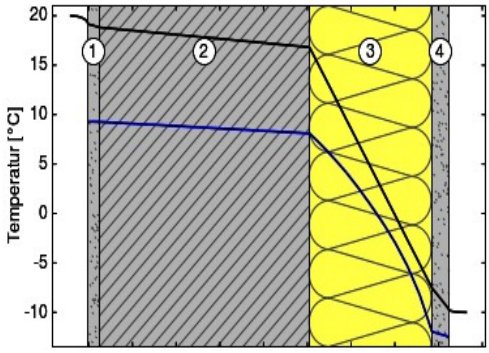
2.1.1 Erläutern Sie zwei bauliche Vorüberlegungen, die eingeplant werden können, um die Heizkosten in den Häusern des Feriendorfs möglichst gering zu halten — 2

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. — 2



Wandquerschnitt 1



Wandquerschnitt 2

Beschreibung A

Innen:	Gipskartonplatte d = 12,5 mm
Mauerwerk:	Kalksandstein (KS), ρ = 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), ρ = 1600 kg/m³, d = 24 cm
Außen:	Kalk-Zementputz, ρ = 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

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. — 3

2.1.5 Bestimmen Sie den U-Wert des Wandquerschnitts 2. — 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. — 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

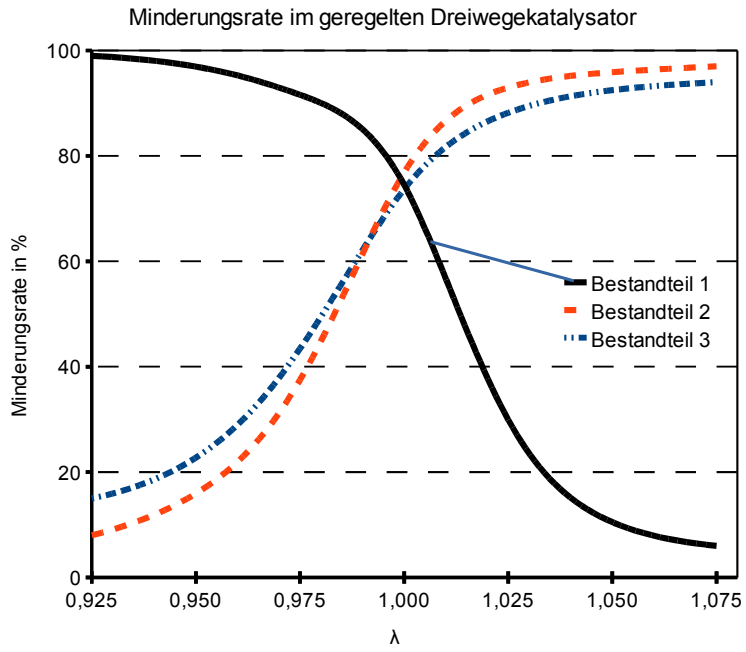
2.2.3 Die thermische Leistung des in Frage kommenden Blockheizkraftwerks ist $\dot{Q}_{th} = 45\ kW$, die elektrische Leistung $P_{el} = 25\ kW$. Ermitteln Sie den thermischen und den elektrischen Wirkungsgrad bei einem Gesamtwirkungsgrad von 88 %. 2

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



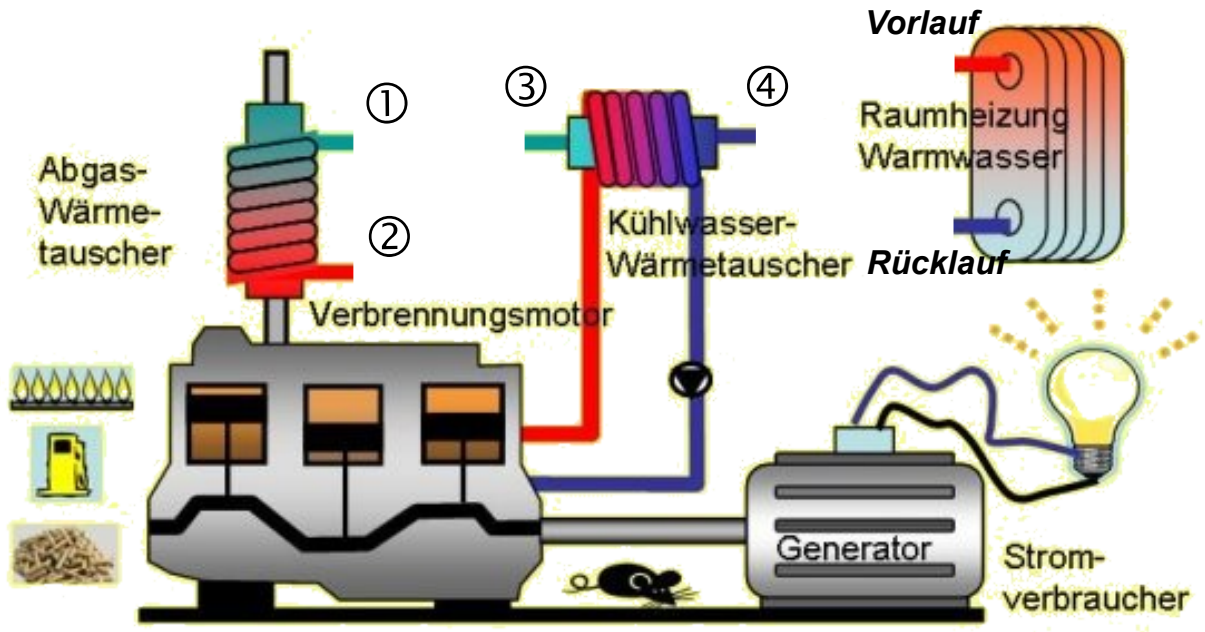
2.2.6 Benennen Sie die Phasen des idealen Kreisprozesses des Otto-Motors im p,V-Diagramm (Arbeitsblatt). 2

Kennzeichnen Sie die Wärmezufuhr und Wärmeabgabe.

30

Arbeitsblatt

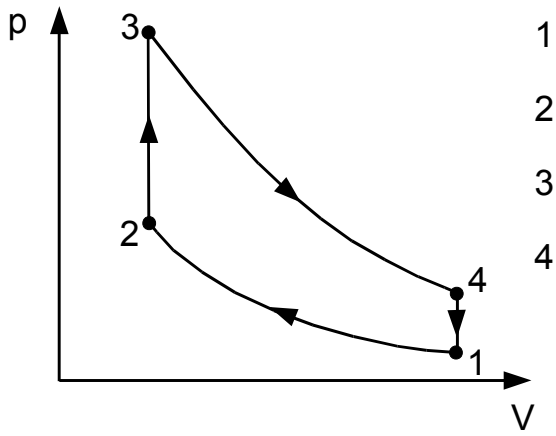
zu Aufgabe 2.2.2: Prinzipskizze BHKW



3

zu Aufgabe 2.2.6

2



1 → 2 _____

2 → 3 _____

3 → 4 _____

4 → 1 _____

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 m² bei einer Raumhöhe von 2,5 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

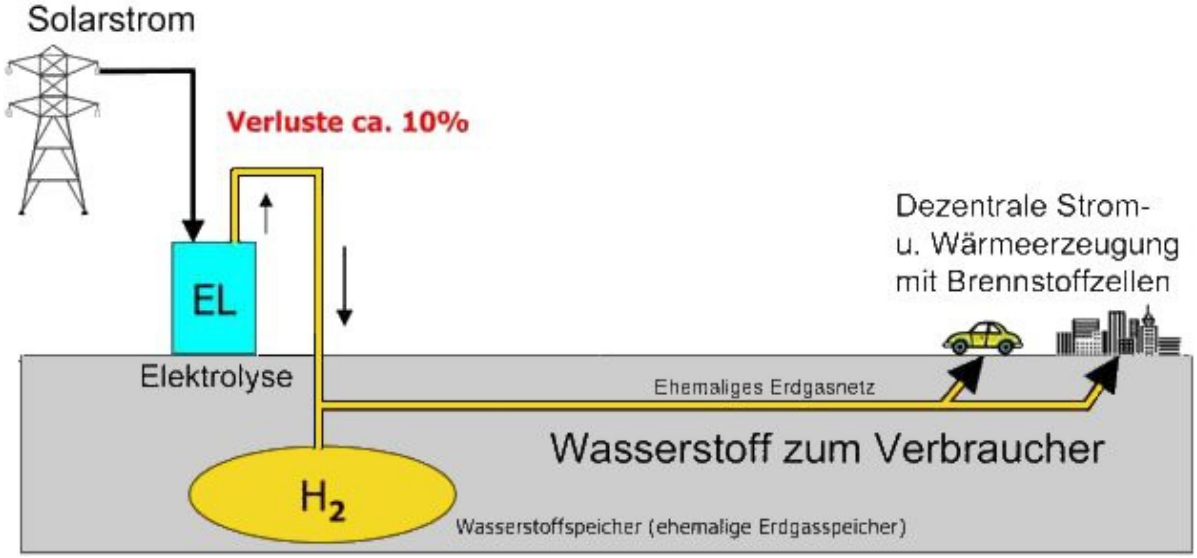
3.1.4 Dimensionieren Sie die minimal zulässige Außenluftmenge, die dem Einfamilienhaus in jeder Stunde zugeführt werden muss. 2

3.1.5 Beurteilen Sie, für wie viele Hausbewohner die Lüftungsanlage ausgelegt ist, wenn der Außenluftvolumenstrom 180 m³/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

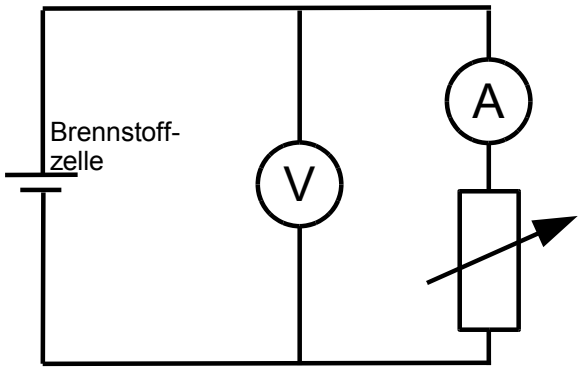


3.2.2 Skizzieren Sie den Aufbau einer PEM-Brennstoffzelle und geben Sie die Gesamtreaktionsgleichung an, die in dieser PEM Brennstoffzelle abläuft. 2

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

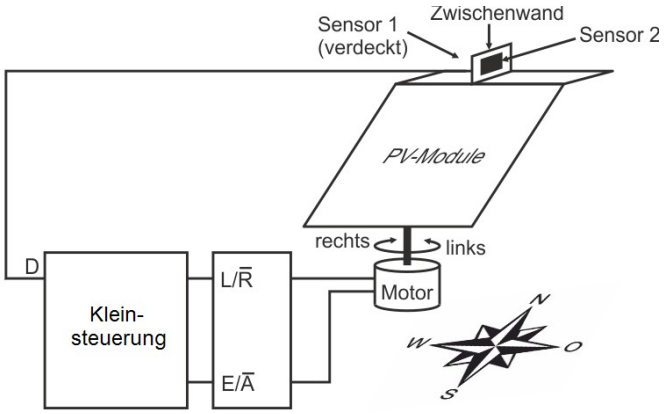


2

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 Kleinsteuerung 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 $D=\lvert U_{Sensor1}-U_{Sensor2}\rvert$	Analogsignal 0 ... 5 V
L/$\overline{R}$	Drehrichtungssignal der Motorelektronik	'1' = Linkslauf, '0' = Rechtslauf
E/$\overline{A}$	Einschaltsignal der Motorelektronik	'1' = Motor ein, '0' = Motor aus

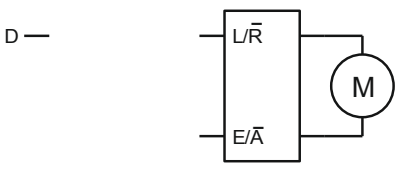
3.3.1 Nennen Sie die Führungsgröße (Sollwert), die Messgröße (Istwert), die Stellgröße und eine mögliche Störgröße des in der Abbildung dargestellten Regelkreises. 2

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

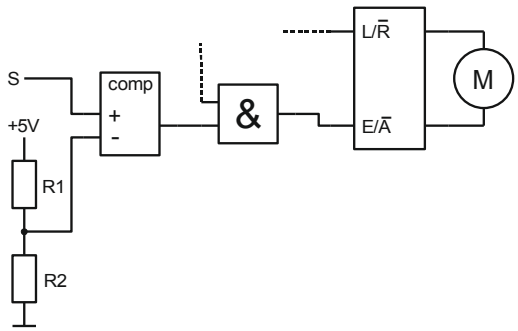
3.3.4 Entwickeln Sie die erforderliche Schaltung des Reglers, so dass die Nachführung in der unter 3.3.3 ermittelten Drehrichtung erfolgen kann. 2

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



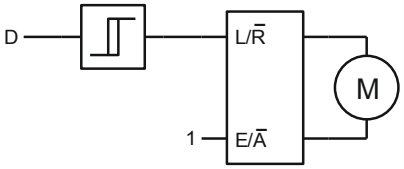
um einen Zweipunktregler mit Hysterese.

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. 1,5

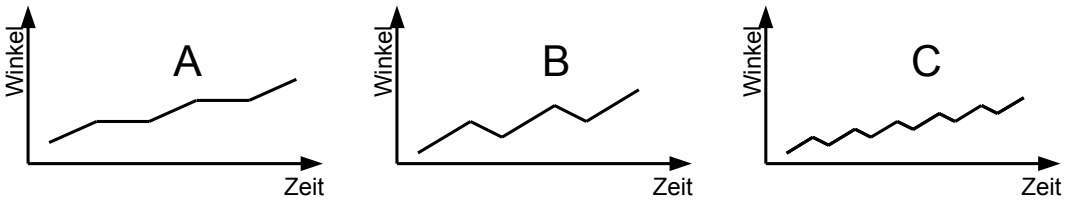


Dimensionieren Sie den Spannungsteiler so, dass sich die gewünschte Funktion ergibt und der Strom durch die beiden Widerstände 0,5 mA beträgt.

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



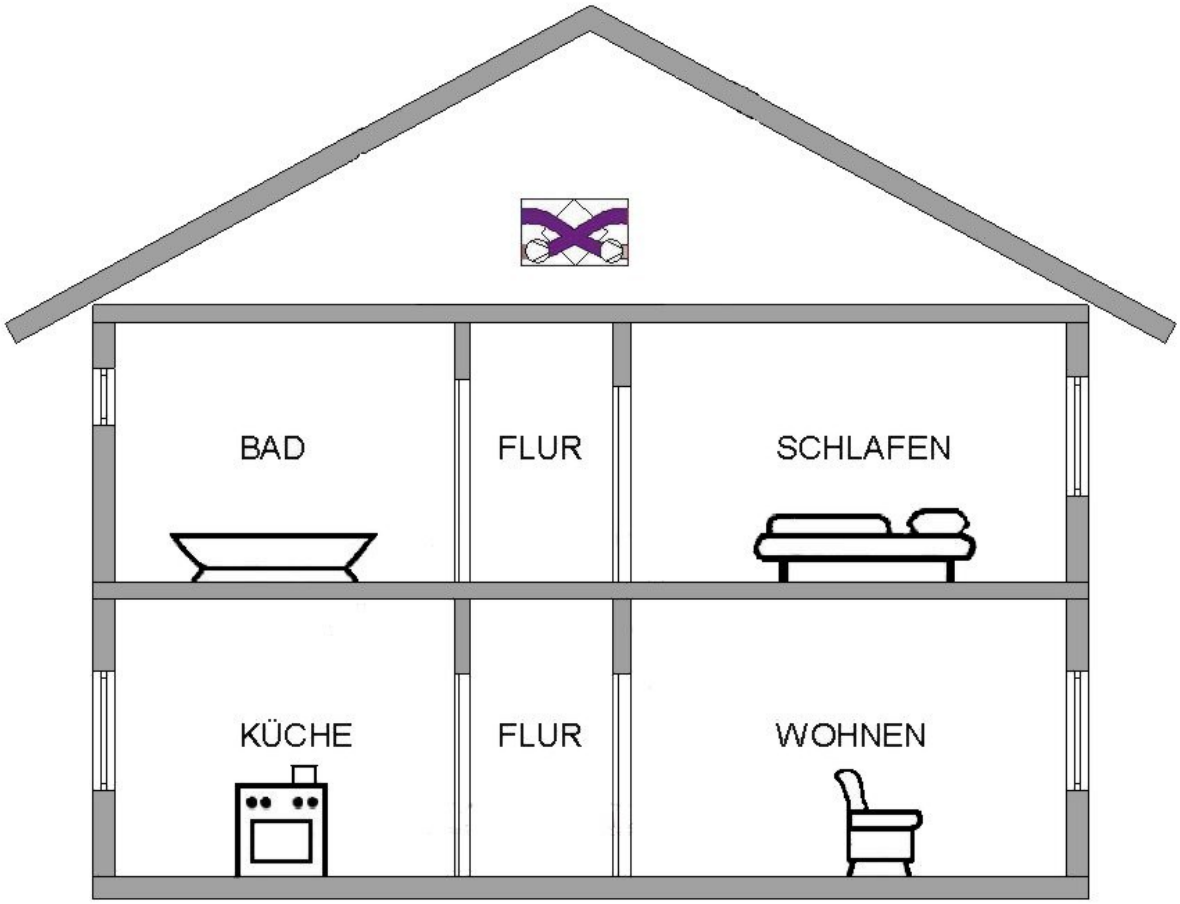
3.3.7 Nehmen Sie Stellung zu der Aussage: „Die Regelung mit zwei Drehrichtungen regelt störende Fremdeinwirkungen schneller aus, hat aber gleichzeitig einen höheren Eigenverbrauch als die Regelung mit einer Drehrichtung.“ 2

30

Arbeitsblatt

zu Aufgabe 3.1.1: Anlagenschema kontrollierte Wohnraumlüftung

3



4 Wahlaufgabe

Punkte

4.1 Wärmepumpe

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) Obere Einsatzgrenze Wärmequelle (Heizbetrieb)	-5°C 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 W/m^2; AM1,5; ϑ_{Zelle} = 25°C
NOCT Nominal Operating Cell Temperatur: S = 800 W/m^2; AM 1,5; ϑ_{Luft} = 20°C; v = 1m/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.

30

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 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 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 m/s.

allgemeine Daten:		Daten bei der Windgeschwindigkeit v = 9 m/s:	
Rotordurchmesser	d = 71 m	Drehzahl:	$n = 17\ min^{-1}$
Flügelzahl	z = 3	Generatorwirkungsgrad:	$\eta_G = 0{,}96$
		Generatorleistung:	$P_{el} = 830\ kW$

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 λ = 7 bei E → ∞ 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 λ = 7) 2

1.1.6 Bei einer Windgeschwindigkeit von $v_6 = 6$ m/s beträgt die Windleistung durch die Rotorfläche $P_6 = 513$ kW. Übertragen Sie die Tabelle auf Ihr Lösungsblatt und ermitteln Sie die fehlenden Windleistungen. 4

$v_0 = 0$ m/s	$v_3 = 3$ m/s	$v_6 = 6$ m/s	$v_9 = 9$ m/s	$v_{12} = 12$ m/s
P_0 =	P_3 =	$P_6 = 513$ 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 cm ≙ 500 kW; 1 cm ≙ 1 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. 2
Berechnen Sie die Masse, die in jeder Sekunde durch die Fläche des Rotors mit dem Rotordurchmesser d = 71 m strömt, wenn die Windgeschwindigkeit v = 9 m/s beträgt. (Hinweis: strömende Masse pro 1 Sekunde = Massenstrom $\dot{m}$)

Punkte

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/m², 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

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. — 1,5

1.2.3 Begründen Sie, aus wie vielen Modulen die Anlage besteht und wie diese elektrisch verschaltet sind. — 2,5

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. — 2

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 — 2

1.2.6 Beurteilen und begründen Sie, welcher der zur Auswahl stehenden Wechselrichter zum Betrieb der Anlage geeignet ist. — 2

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: — 1,5
- Stromfluss während der Zeit ti mit Farbe 1
- Stromfluss während der Zeit tp mit Farbe 2.

Hinweis: es muss ersichtlich sein, welcher Transistor oder welche Diode leitet.

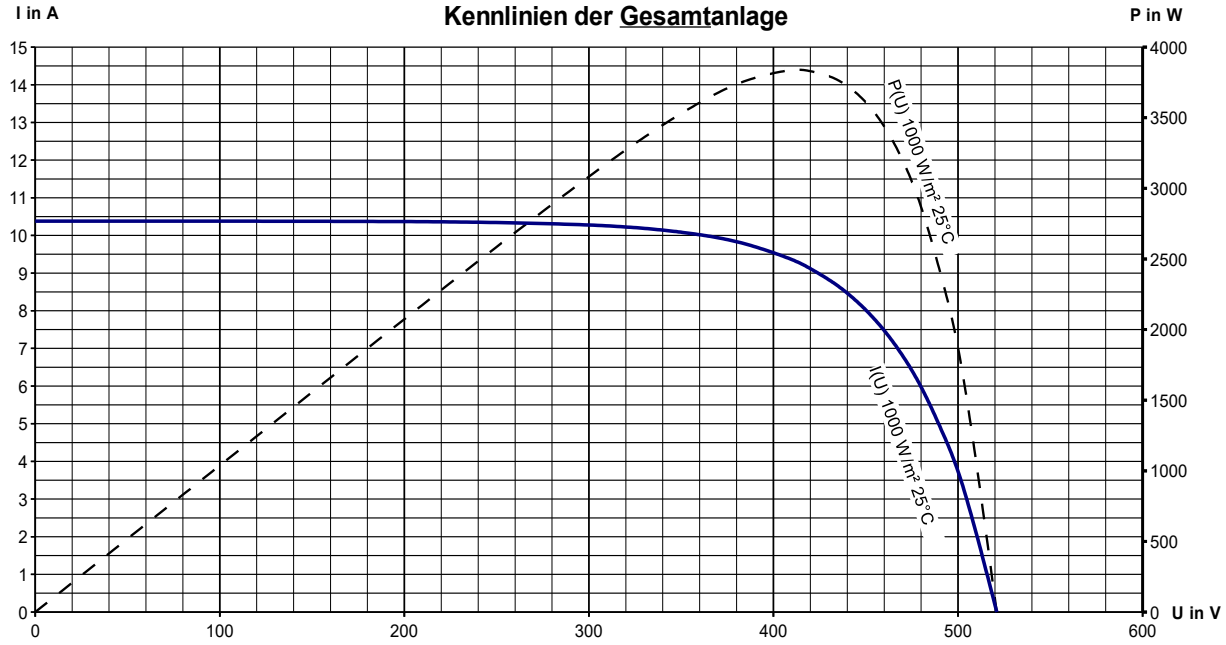
1.3.2 Erklären Sie die Aufgaben der Spulen L1, L2 und des Kondensators in Bild 2. — 1,5

30

Arbeitsblatt

Punkte

zu den Aufgaben 1.2:

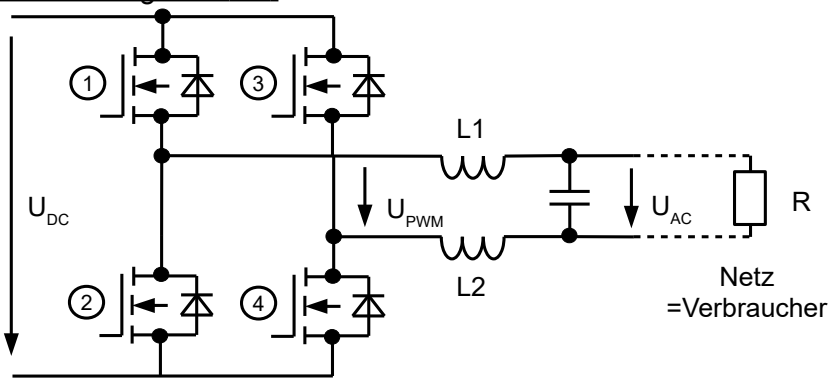


1,5

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

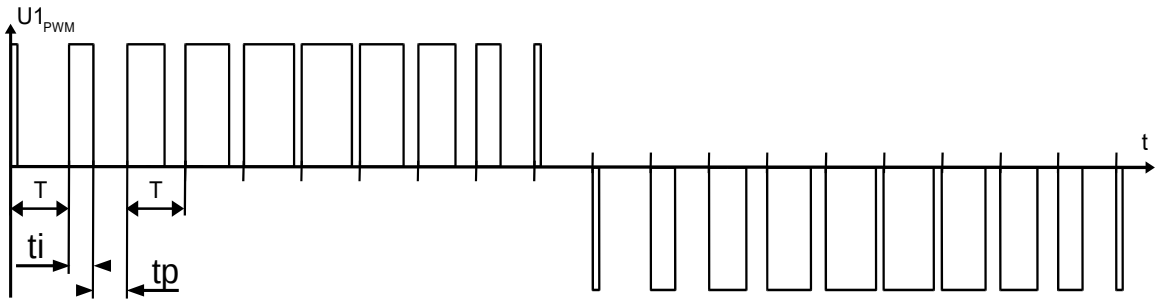


Bild 3: PWM-Signal

Punkte

2 Sanierung einer historischen Villa

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

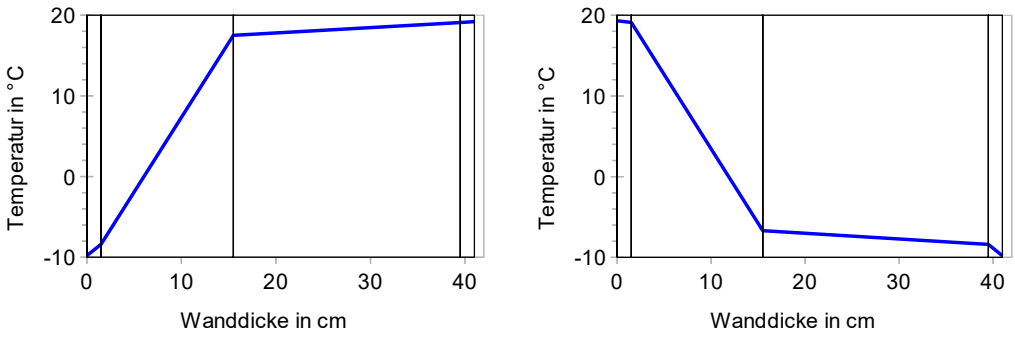
Verschiedene Experten schlagen unterschiedliche Sanierungsmaßnahmen vor.

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 cm
- Außenputz:	Wärmedämmputz 060	d = 1,5 cm
- Mauerwerk:	Hochlochklinker, 1800	d = 24 cm
- Dämmung	Mineralwolle	d = 14 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

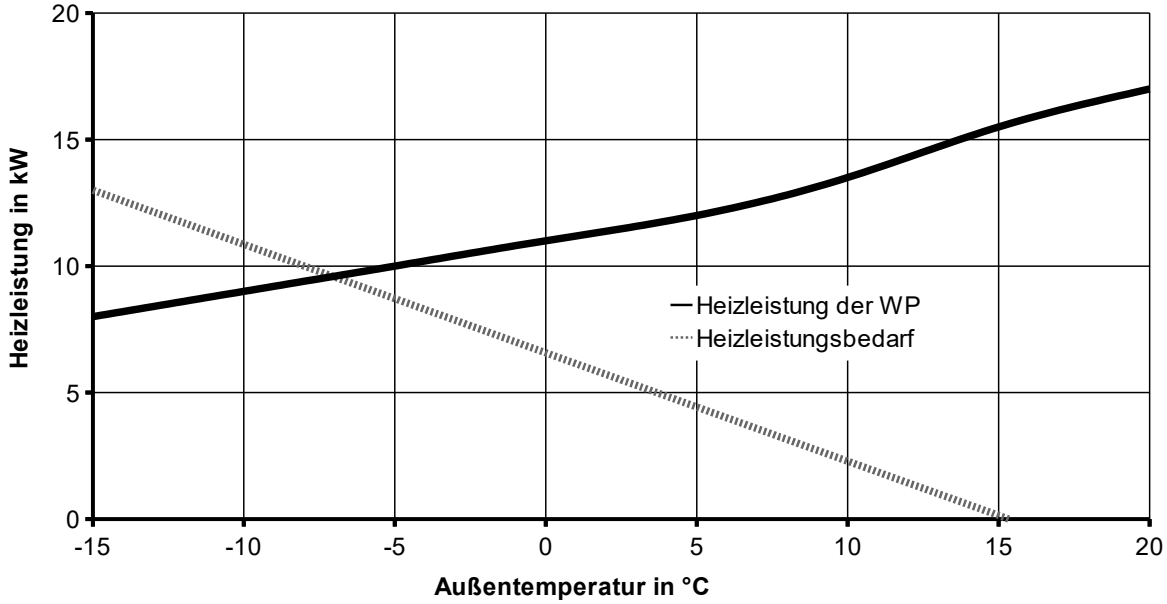
Der Experte des Elektrizitätsversorgers regt die Installation einer Wärmepumpe an. Die Heizkörper und -leitungen sollen weiter verwendet werden.

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 l zwischengespeichert. Die elektrische Leistung des Kompressors beträgt 0,5 kW, die Leistungsziffer ε ist 3,5. 3

Ermitteln Sie, wie lange die Wärmepumpe dazu benötigt, den Pufferspeicher von 15 °C auf 55 °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

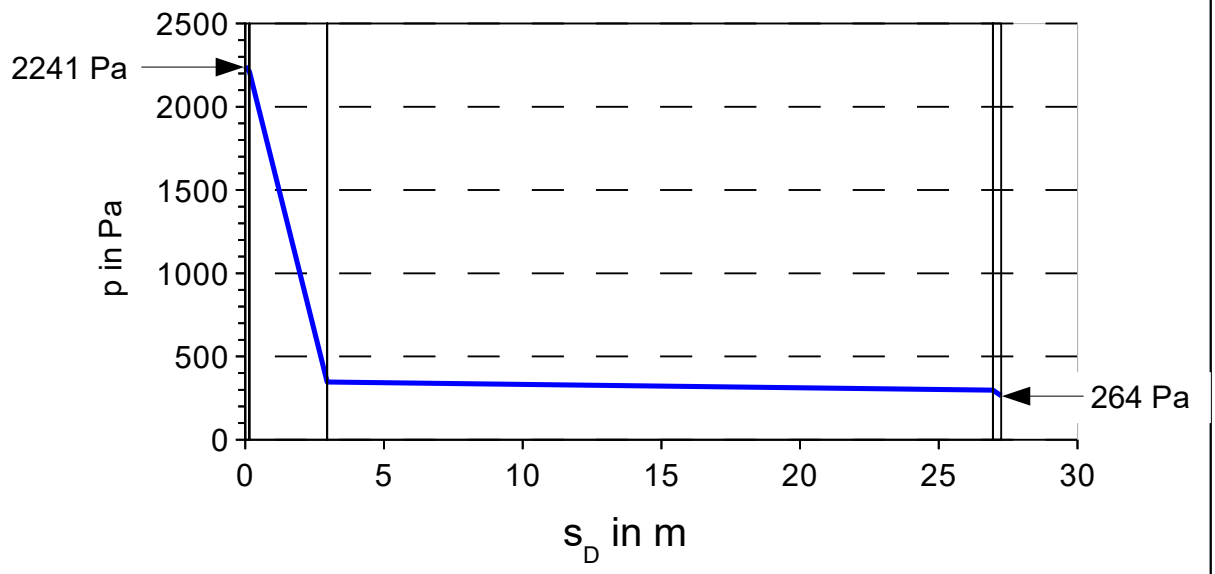
2.3.3 Das Brennstoffzellen-BHKW liefert in einer halben Stunde eine elektrische Arbeit von W_{el} = 4 kWh. Der elektrische Wirkungsgrad η_{el} beträgt 60 % (bezogen auf den Heizwert). Ermitteln Sie den für den Betrieb erforderlichen Gasvolumenstrom. 2

30

Arbeitsblatt Punkte

zu Aufgabe 2.1: Wärmedämmung des Gebäudes

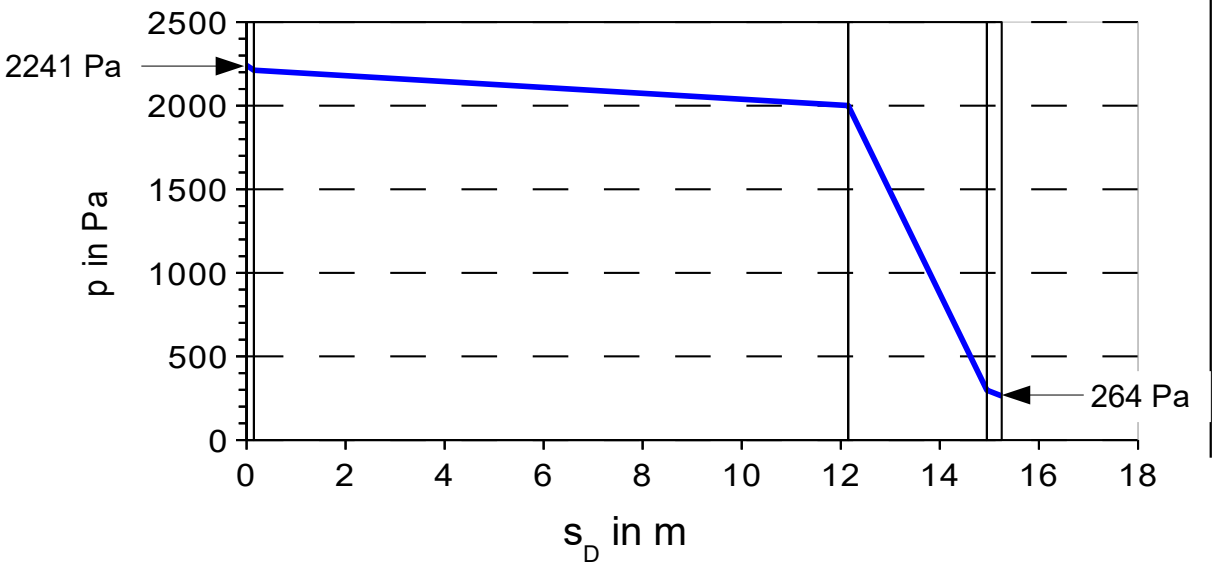
Glaser-Diagramm (1)



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.

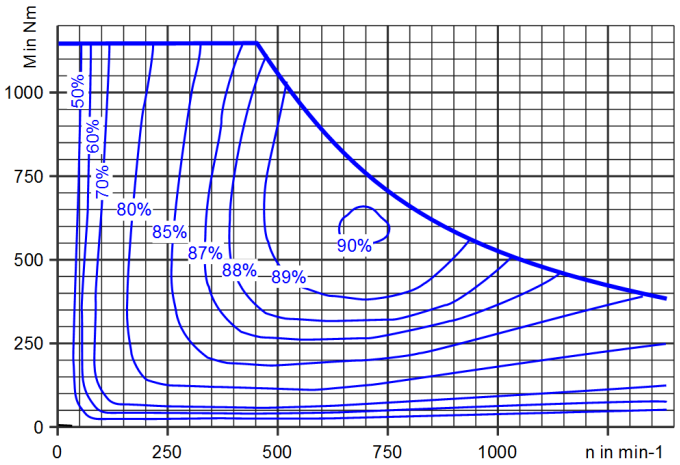


Bild 1: Wirkungsgrad-Kennlinienfeld

Weitere Daten:

Akku-Nennspannung U_A = 360 V
Akku-Nennenergie W_A = 20 kWh
Reifendurchmesser d = 653 mm

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 Nm und eine Drehzahl von n = 650 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 Verbrauchs-Kennlinienfeld des Ottomotors.

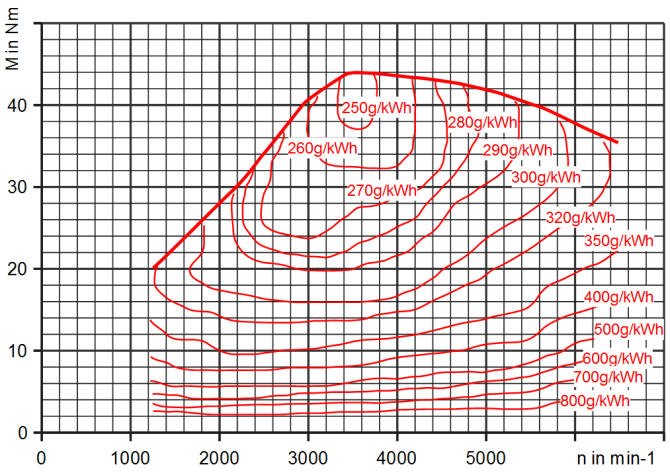


Bild 2: Verbrauchs-Kennlinienfeld

Weitere Angaben:

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

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

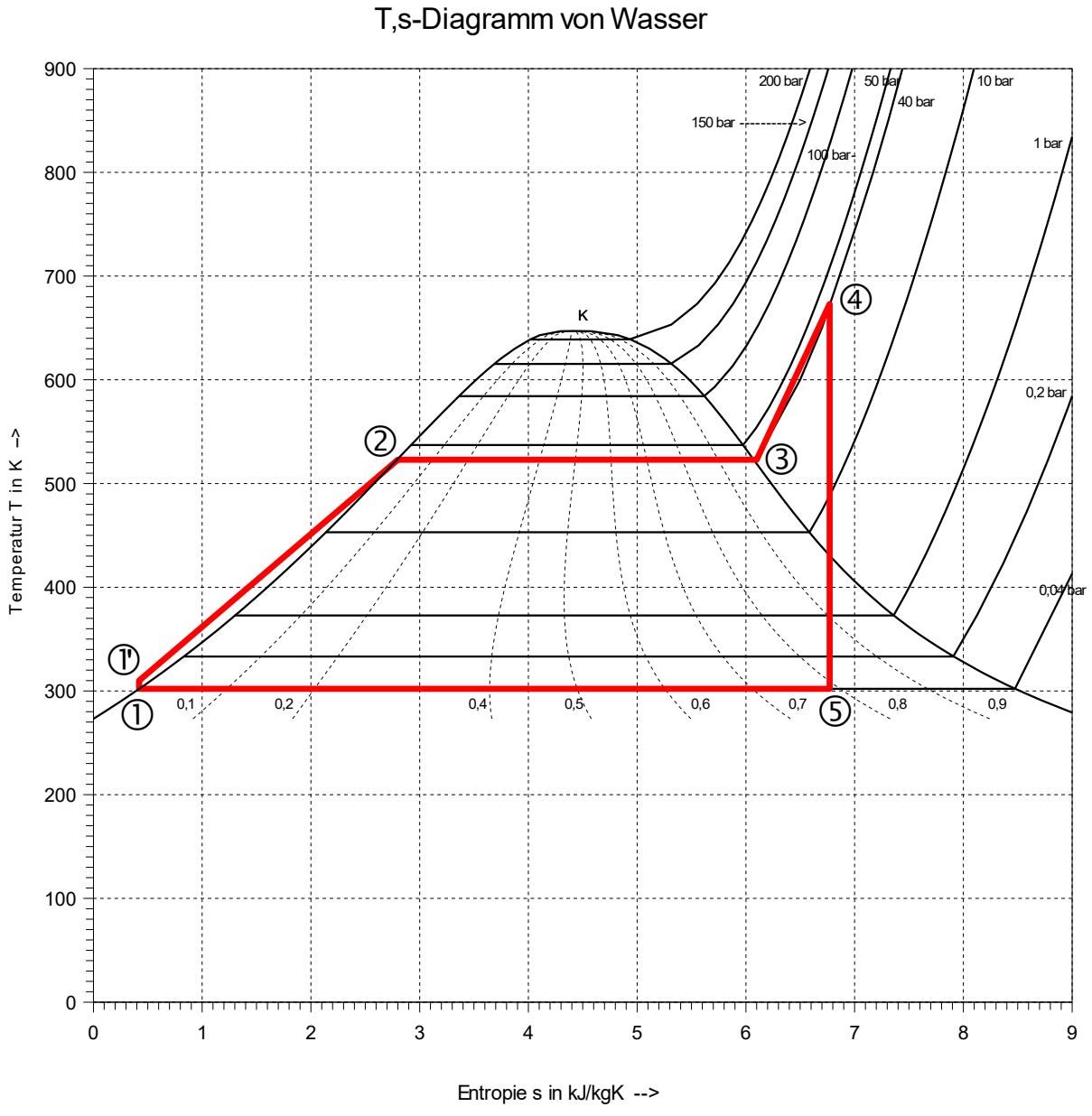
Die benötigte elektrische Energie kann auch in einem Müllheizkraftwerk erzeugt werden.

3.3.1	Im T,s-Diagramm (Arbeitsblatt) ist der Clausius-Rankine-Prozess des Müllheizkraftwerks dargestellt. Ordnen Sie den eingetragenen Vorgängen (1 → 1', 1' → 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
		30

Punkte

zu Aufgabe 3.2.1 und 3.2.2: T,s-Diagramm

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



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

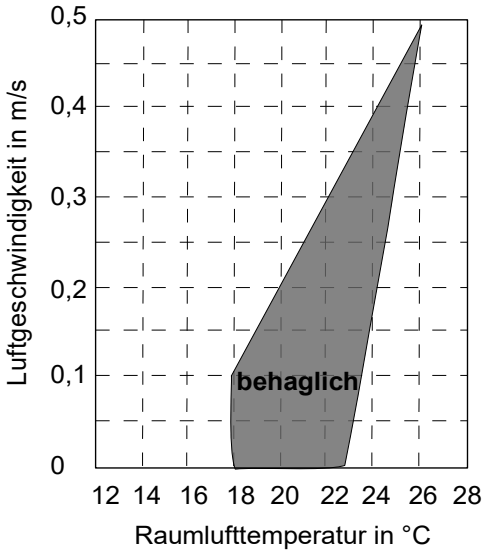
4.1.3 Ermitteln Sie die anfallende stündliche Kondensatmenge bei Nenn-Wärmebelastung und einer Abgastemperatur von 35 °C. 3

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 m³. Nachdem die ganze Familie geduscht hat, beträgt die Raumtemperatur 26 °C bei einer relativen Feuchte von 90 %. Die Luft in der übrigen Wohnung hat eine Temperatur von 20 °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 $\rho_{Luft} = 1{,}17$ kg/m³ mit der Badezimmerluft aus dem Raum transportiert werden müssen, damit die gleichen Luftbedingungen wie in der übrigen Wohnung herrschen (50 % relative Feuchte, 20 °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.

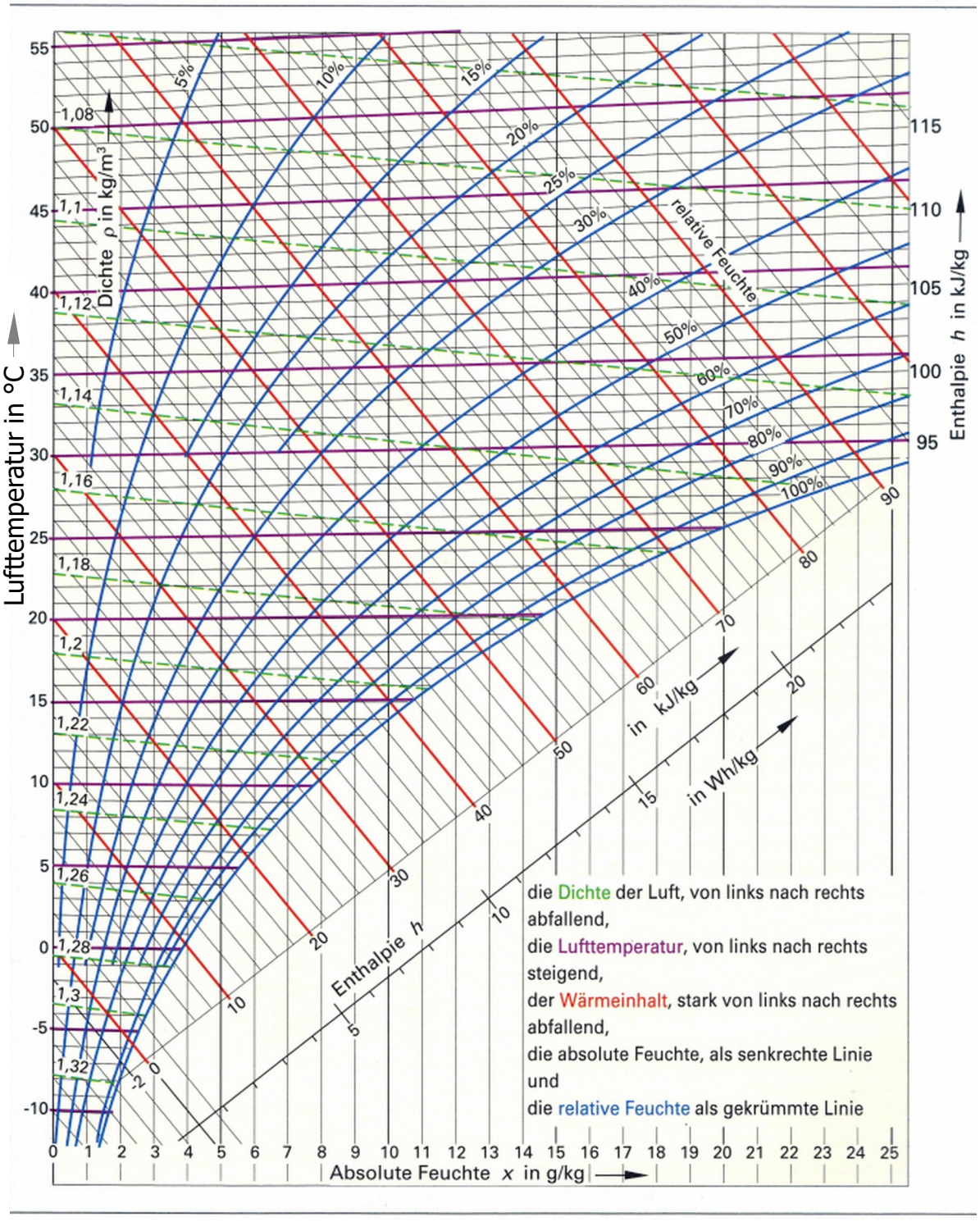
4.4.4 Skizzieren Sie den zeitlichen Verlauf der relativen Luftfeuchte während des Duschens über einen Zeitraum von 6 Minuten. Gehen Sie davon aus, dass der Lüfter zum ersten Mal nach ca. 2 Minuten anläuft und dann alle 90 s ein- bzw. ausgeschaltet wird. 3

30

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 Elektro- und Hybridfahrzeuge Photovoltaik-Ertragsberechnung	(2 Seiten)
Aufgabe 2:	Heizkraftwerk-Fernwärmeversorgung Brennwerttechnik Blockheizkraftwerk	(3 Seiten)

Teil 2: Wahlbereich

Aufgabe 3:	Steuerungstechnik Transistorbrücke Solarthermie	(4 Seiten)
Aufgabe 4:	Wohnraumlüftung Windkraft Bauphysik	(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).

1 Elektromobilität, Elektro- und Hybridfahrzeuge und Photovoltaik

Punkte

1.1 Selbstfahrendes Transportsystem

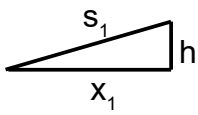
Um zwei Produktionsanlagen miteinander zu verbinden soll ein selbstfahrendes Transportsystem für kleine Lasten eingesetzt werden. Dieses Fahrzeug wird elektrisch betrieben und von einem Akkumulator mit Energie versorgt.

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

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

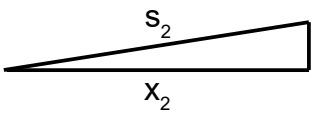
Fahrweg 1

Steigung m_1 = 10 %

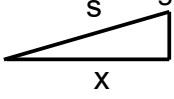


Fahrweg 2

Steigung m_2 = 5 %



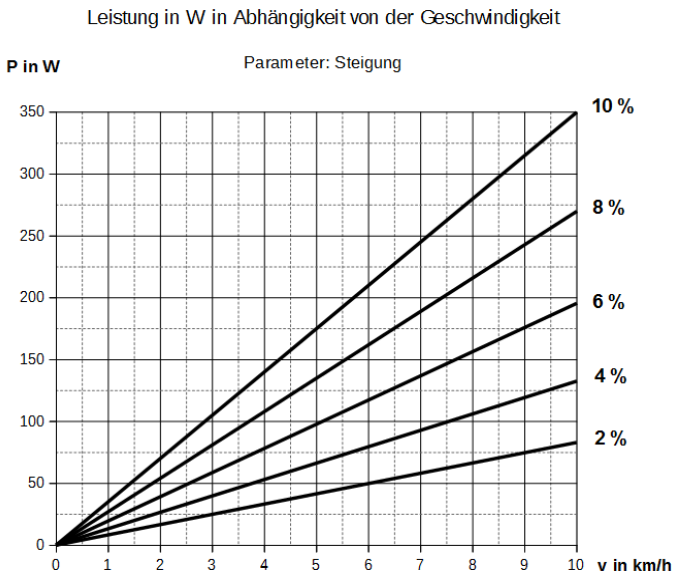
Vereinfachung x ≈ s



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. 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:
Gesamtfahrtdauer: t_{Weg2} = 297 s
ein Fahrweg: $t_{Fahrtdauer2}$ = 144 s
$P_{Antrieb2}$ = 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: $P_{Antrieb1}$ = 175 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

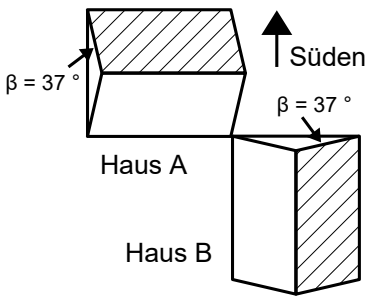
Das Gesamtvolumen des Motors beträgt 1,6 Liter, das Verdichtungsverhältnis 18 : 1.
Das Arbeitsgas soll näherungsweise als Luft angenommen werden.
Weitere Daten des idealisierten Dieselmotors:

	T [°C]	P [bar]	V [m^3]
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 η_{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

30

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

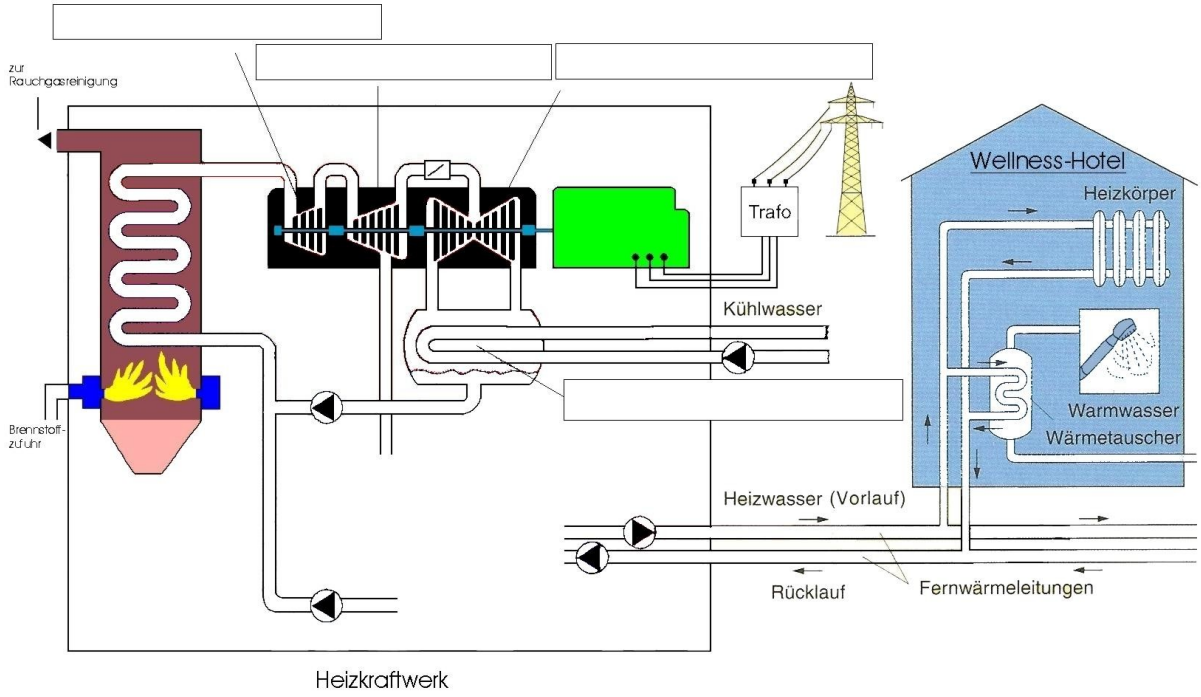
Tragen Sie eine mögliche Jahresdauerlinie für die Wohnsiedlung in das Diagramm (Arbeitsblatt) ein und begründen Sie den eingezeichneten Verlauf.

Vergleichen Sie die beiden Einsatzbereiche des Blockheizkraftwerks. Bewerten Sie, in welchem Fall das Blockheizkraftwerk wesentlich besser geeignet ist.

30

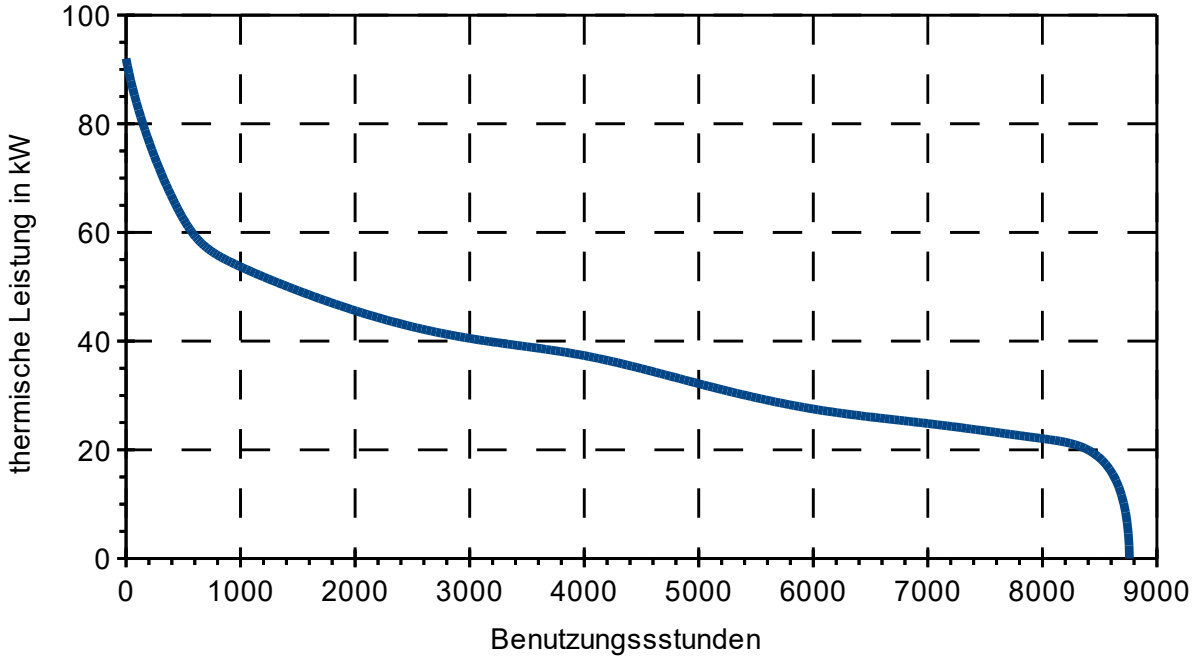
Arbeitsblatt

zu Aufgabe 2.1.1: Anlagenschema des Kohlekraftwerks



2

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

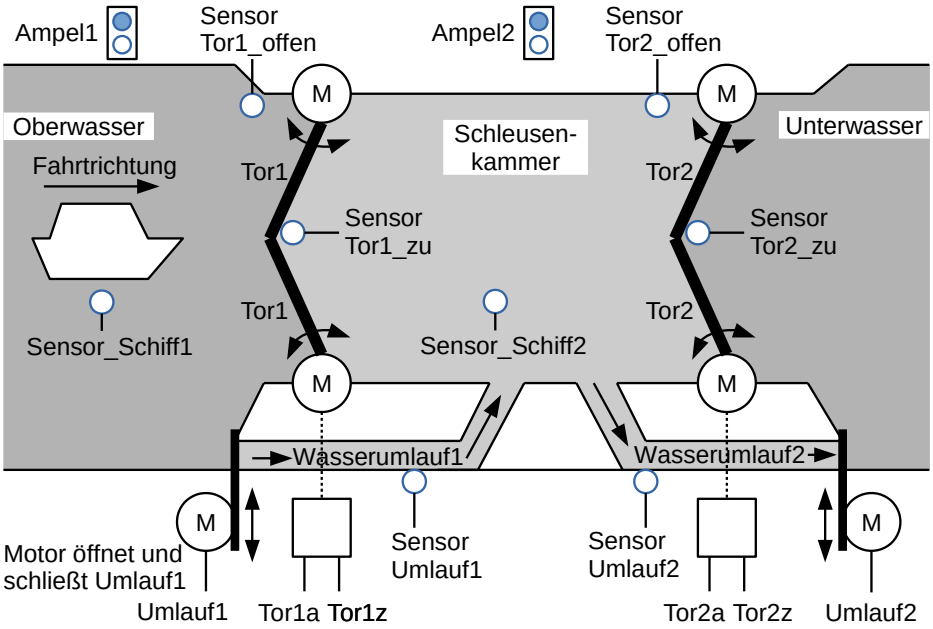


2

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 Schleusenkammer 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.

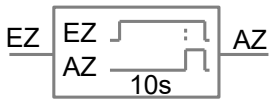
Weitere Schritte sind in der Aufgabe nicht gefragt.

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)			
Tor1a, Tor1z Tor2a, Tor2z	a	z	Funktion
	0	0	Tor unverändert
	0	1	Tor schließen (zu)
	1	0	Tor öffnen (auf)
	1	1	Tor unverändert
Umlauf1 Umlauf2	0: Umlauf zu, 1: Umlauf auf		
Ampel1 Ampel2	0: rot, 1: grün		

Punkte

3.1.1 **Ablaufdarstellung:** 6
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.

3.1.2 **Schrittkette:** 5
Vervollständigen Sie auf dem Arbeitsblatt den Funktionsplan der Schrittkette zur Ansteuerung der Ampeln und der Motoren der Schleuse.
Es steht als Zeitgeber die rechts gezeichnete Einschaltverzögerung zur Verfügung.



3.1.3 **Motoransteuerung für die Tore** 3
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 $U_M = + U_{Batt}$ und zum Schließen der Tore $U_M = - U_{Batt}$ sein. Vervollständigen Sie die Ansteuerung der Transistoren V1 bis V4 auf dem Arbeitsblatt.

3.1.4 **Freilaufdioden** 2
Erläutern Sie die Aufgabe der 4 Dioden der H-Brücken-Schaltung aus 3.1.3.

3.1.5 **PWM-Ansteuerung** 3
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.

3.2 Solarthermie-Anlage mit Heizungsunterstützung

Auf einem Garagendach wird eine Solarthermie-Anlage installiert, die neben der Trinkwassererwärmung auch Heizenergie bereitstellen soll.

3.2.1 Ergänzen Sie auf dem Arbeitsblatt 2 das Rohrsystem und die Wärmetauscher im Pufferspeicher. Die Trinkwassererwärmung findet über Rohr-Wärmetauscher statt. 4

Beschriften Sie den Heizungsvor- und Heizungsrücklauf sowie die Leitungen des kalten und warmen Trinkwassers.

Der Kollektor soll vor allem in der kalten Jahreszeit einen hohen Wärmeertrag liefern.

3.2.2 Wählen Sie eine geeignete Kollektorbauart und begründen Sie Ihre Auswahl. 2

3.2.3 Die Kollektoren sollen auf dem Flachdach der Garage aufgebaut werden. 3
Bestimmen Sie die Ausrichtung und den Neigungswinkel der Kollektoren und erläutern Sie den Zusammenhang zwischen Neigungswinkel und Wärmeertrag für die beschriebene Anwendung.

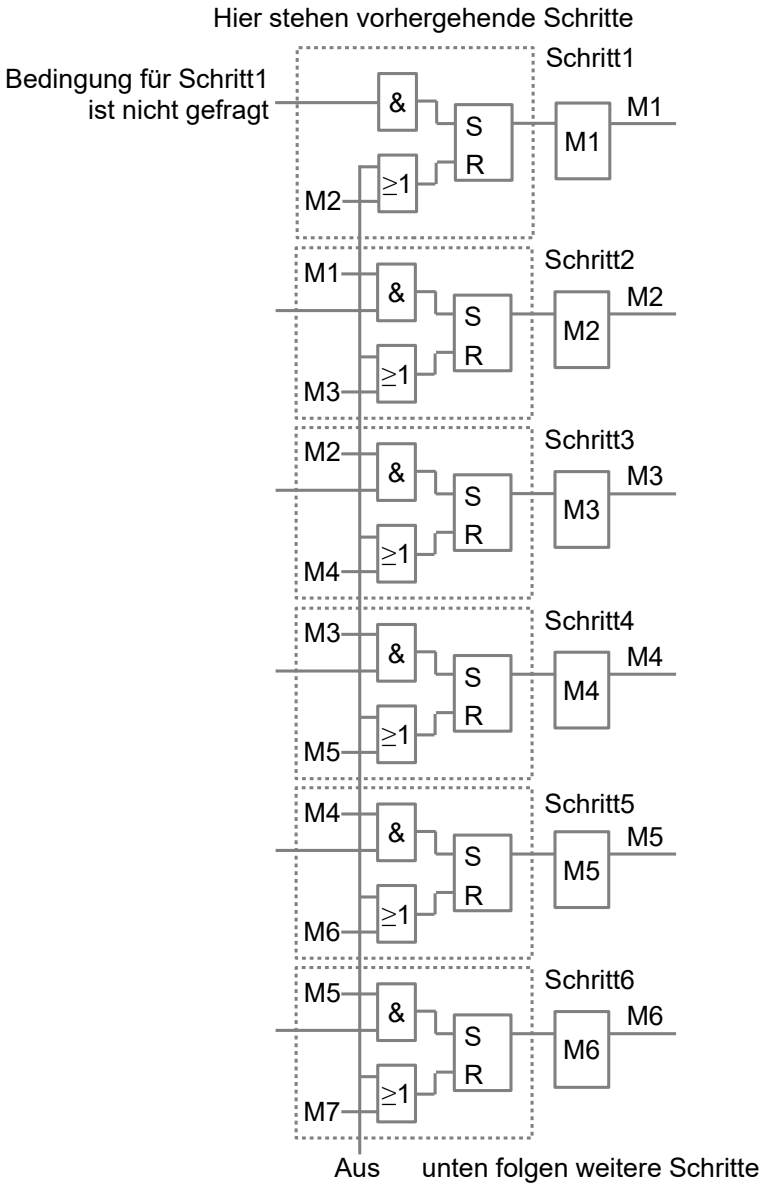
3.2.4 Aufgrund der Heizungsunterstützung wird die größtmögliche Kollektorfläche installiert. 2
Beurteilen Sie, welche Problematik sich dadurch für den Sommerbetrieb ergibt und erläutern Sie, durch welches Bauteil die Anlage in diesem Fall geschützt wird.

30

Arbeitsblatt 1

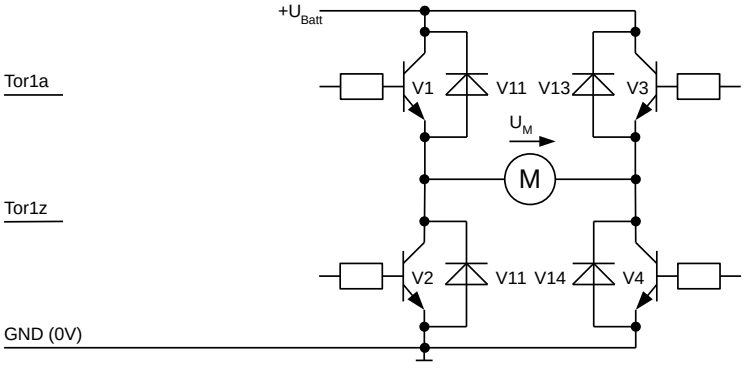
Punkte

Zu 3.1.2 Schrittkette



5

zu 3.1.3 Motoransteuerung für Tore

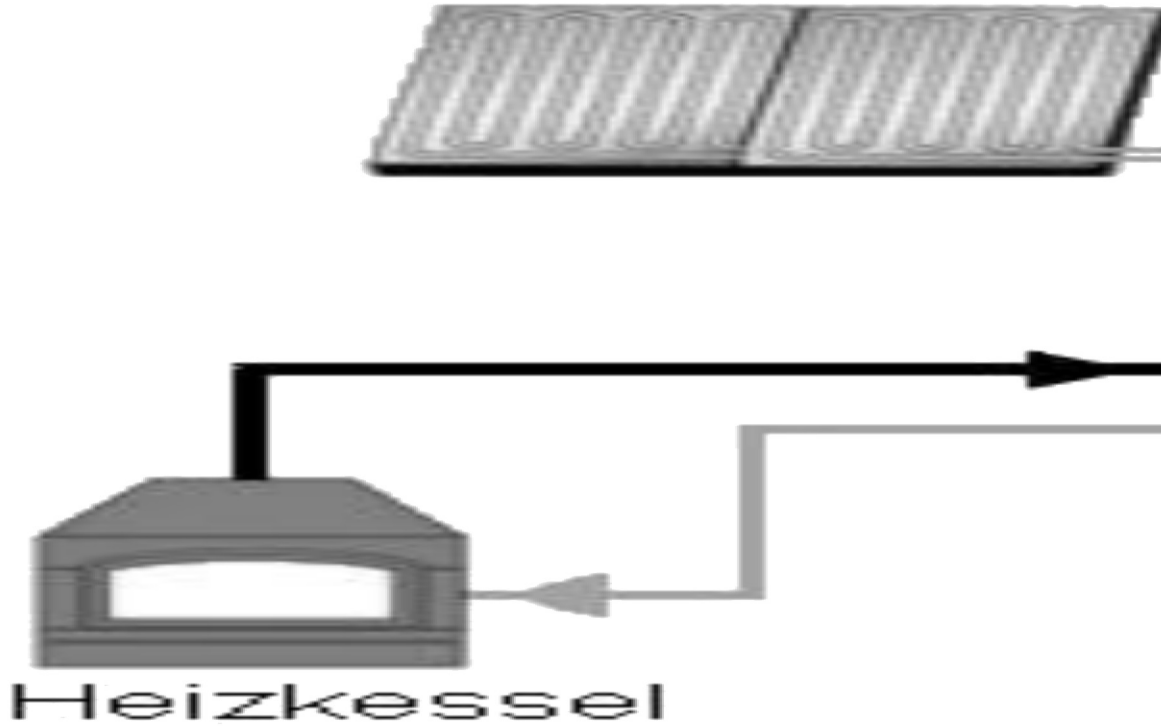


2

Arbeitsblatt 2

Punkte

zu 3.2.1 Anlagenschema einer Solaranlage



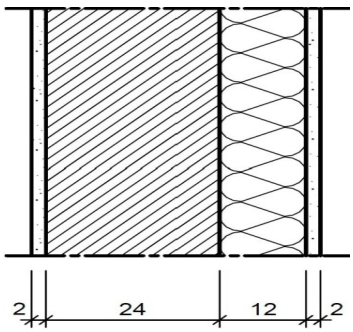
3

Punkte

4 Neubau eines Eigenheims

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

2

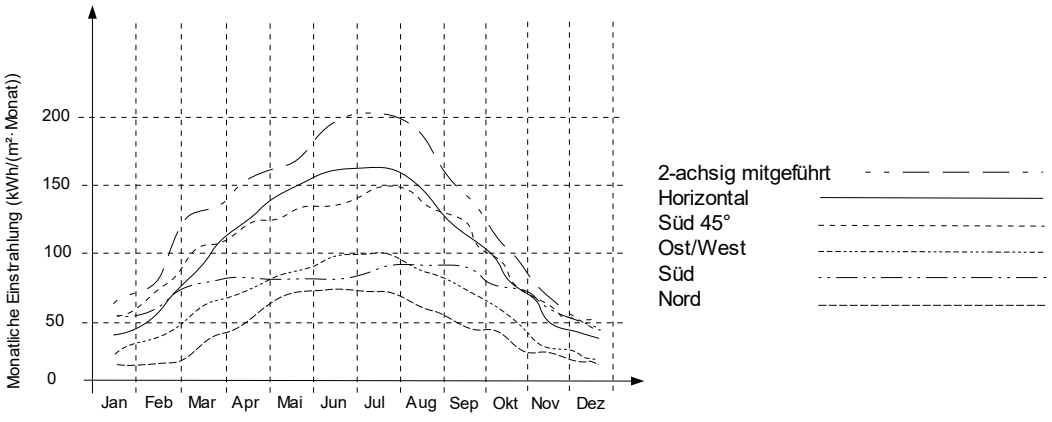
Herr Maier hat Bedenken gegenüber dem Wandaufbau, da er in der Zeitung über die Entsorgungsproblematik und Brennbarkeit von Polystyrol gelesen hat.

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 $U = 0{,}2 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ 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 m² Panoramafenster des Wohnzimmers nach Süden oder nach Norden ausrichten soll. Berechnen Sie überschlägig für den Monat Februar den solaren Energieeintrag der beiden Möglichkeiten.



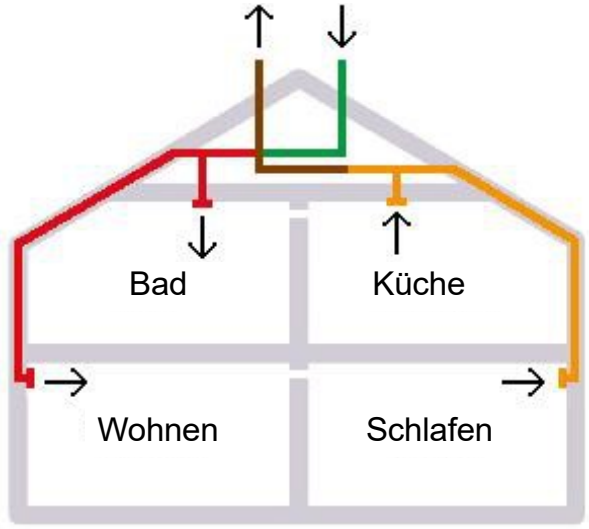
1

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 m², die lichte Raumhöhe ist 2,5 m.

Bestimmen Sie die Mindestzuluftmenge für das Haus bei einer Luftwechselrate von 0,5 $\frac{1}{h}$. 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 ϑ_a = -10 °C, Dichte ρ_{Luft} = 1,33 kg/m³) wird ein Volumen von 190 m³ Luft je Stunde ausgetauscht.

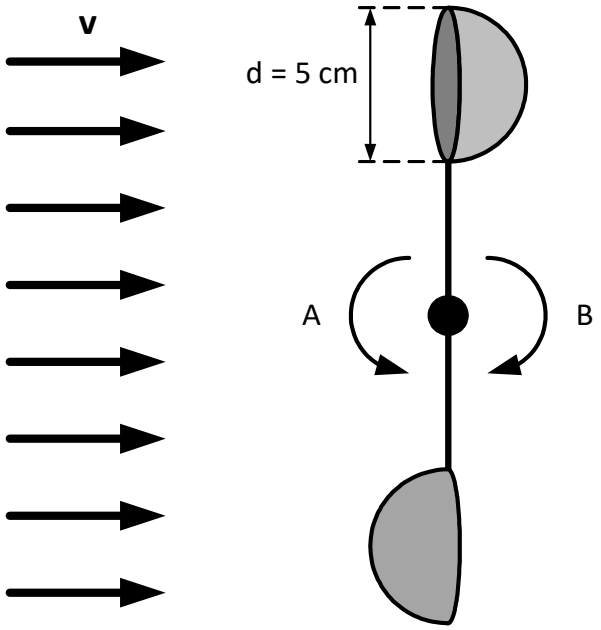
Berechnen Sie die Wärmemenge, die pro Stunde aufgewendet werden muss, um die Frischluft auf 20 °C zu erwärmen, wenn der Wärmetauscher des zentralen Lüftungsgeräts einen Wirkungsgrad η = 80 % aufweist. 2

4.2.5 Bestimmen Sie die pro kg Luft zu- bzw. abzuführende Wassermenge, wenn die angesaugte Luft (ϑ_a = -10 °C, φ = 60 %) auf eine Raumtemperatur von ϑ_i = 20 °C erwärmt wird und die relative Luftfeuchte φ = 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 mN und die Umfangsgeschwindigkeit $v_{Körper}$ = 1,94 m/s beträgt. 2

4.3.4 Ermitteln Sie die Schnelllaufzahl λ des Schalenkreuzanemometers und begründen Sie warum λ < 1 ist. 2

4.3.5 Begründen Sie, ob die Umfangsgeschwindigkeit $v_{Körper}$ des Anemometers größer oder kleiner wird, falls die beiden geöffneten Halbkugeln durch gefüllte Halbkugeln ersetzt werden. 2

30

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:	Wärmeerzeugung Wärmekraftwerke	(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.

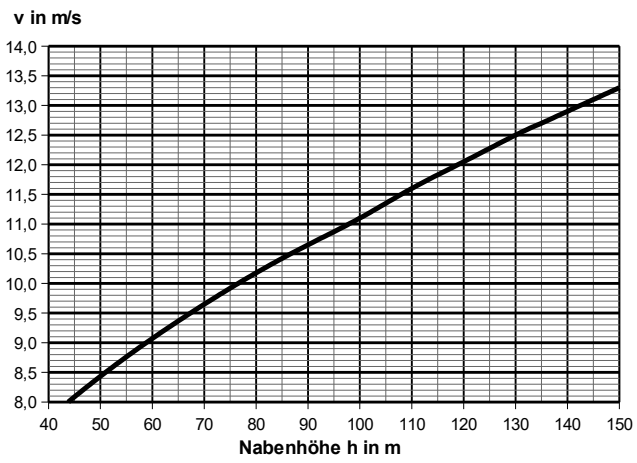
Daten der Windkraftanlagen

Alte Windkraftanlage WKA_1 aus dem Jahr 2000:

Nennleistung P_{N1} = 1,5 MW
Leistungsbeiwert c_p = 0,5 bei λ = 7
Nabenhöhe h_1 = 100 m
Rotordurchmesser d_1 = 70 m
Generatorwirkungsgrad η_G = 96 %

Neue Windkraftanlage WKA_2 aus dem Jahr 2015:

Leistungsbeiwert c_p = 0,5 bei λ = 7
Nabenhöhe h_2 = 135 m
Rotordurchmesser d_2 = 127 m
Generatorwirkungsgrad η_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 WKA_1 eine elektrische Nennleistung von P_{N1} = 1,5 MW ergibt. — 2

1.1.2 Aus dem Diagramm ist abzulesen, dass am ausgewählten Standort bei einer Nabenhöhe von h_1 = 100 m die Windgeschwindigkeit v = 11,1 m/s beträgt. Weisen Sie diesen Wert rechnerisch mit Hilfe der Anlagendaten der WKA_1 nach. — 1,5

1.1.3 Berechnen Sie die elektrische Nennleistung P_{N2}, für die die neue WKA_2 ausgelegt werden muss. — 2,5

1.1.4 Durch die größere Nabenhöhe und durch die längeren Rotorblätter hat die neue WKA_2 die fünffache Leistung der WKA_1. Begründen Sie, welche der beiden Abmessungsänderungen den größeren Einfluss auf die Leistungssteigerung hat. — 2,5

1.1.5 Berechnen Sie sowohl für die alte WKA_1 als auch für die neue WKA_2 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 MW).
Mit dem Netzbetreiber wurde eine Vergütung von 8,8 ct/kWh vereinbart.

1.1.6 Berechnen Sie den Jahresertrag der WKA_2 in kWh und die Vergütung in Euro. Ermitteln Sie die Anzahl der 4-Personenhaushalte, die man 1 Jahr lang mit der WKA_2 versorgen könnte, wenn ein Haushalt 4600 kWh im Jahr verbraucht. — 2

1.1.7 Nehmen Sie Stellung zu der Aussage: Mit der neuen WKA_2 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 $\beta = 37\ °$ 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 $W_{Jahr\text{-}ideal}$, dass die Nennleistung der gesamten Photovoltaik-Anlage ungefähr $P_{nenn} = 10{,}8$ MW beträgt.	2
1.2.3	Berechnen Sie die Nennleistung <u>eines Moduls</u> bei Standard-Test-Bedingungen ($P_{Sonne} = 1000$ W pro m²) 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

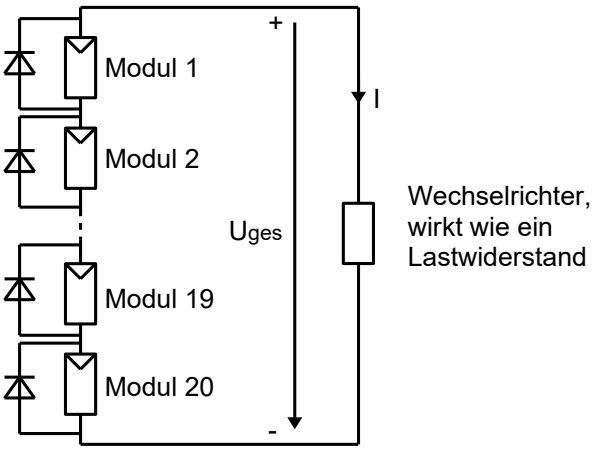
Die Kennlinie 1a auf dem Arbeitsblatt stellt die I(U)-Kennlinie <u>eines Strings</u> dar, Kennlinie 1b die P(U)-Kennlinie eines Strings. Alle Kennlinien gelten bei Standard-Test-Bedingungen STC.

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/m² ohne Verschattung und geben Sie die ungefähren Werte der Leerlaufspannung und des Kurzschlussstromes an	2,5
		30

Arbeitsblatt

Punkte

zur Aufgabe 1.2.4

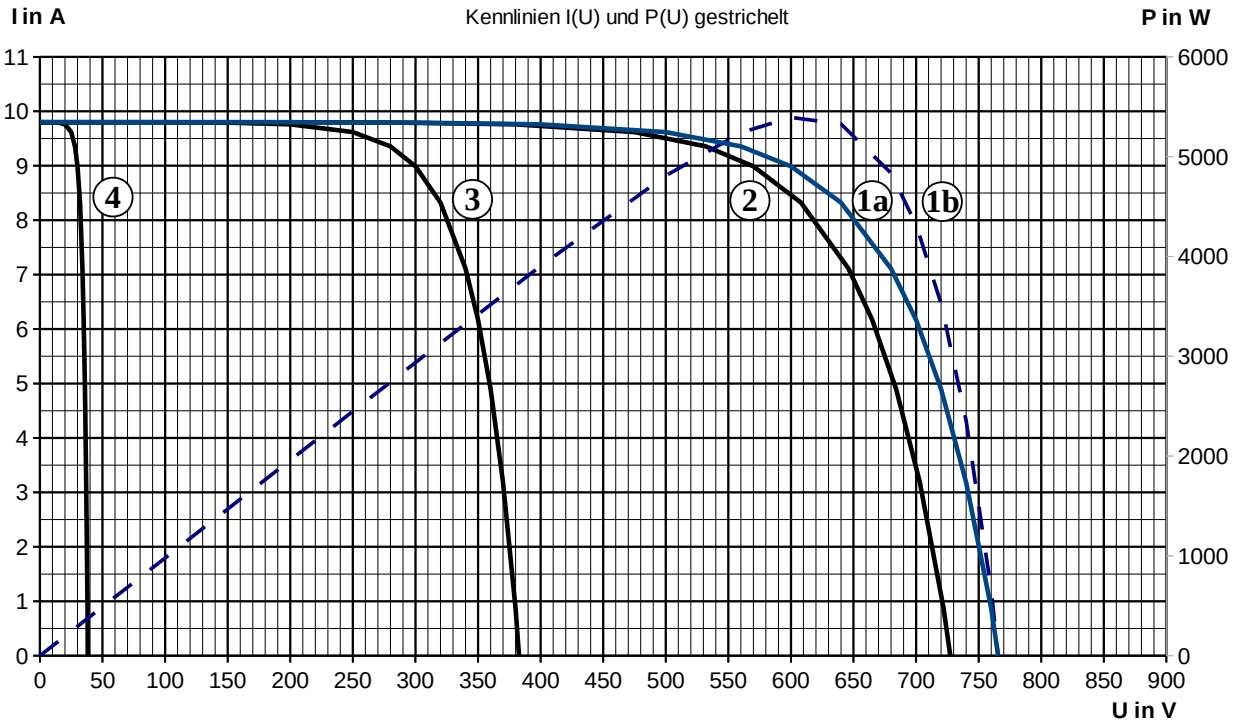


20 Module mit je einer Bypassdiode

(1)

zu den Aufgaben 1.2.5, 1.2.6, 1.2.7

(2,5)



30

Punkte

2 Wärme erzeugen, Wärmekraftwerke

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

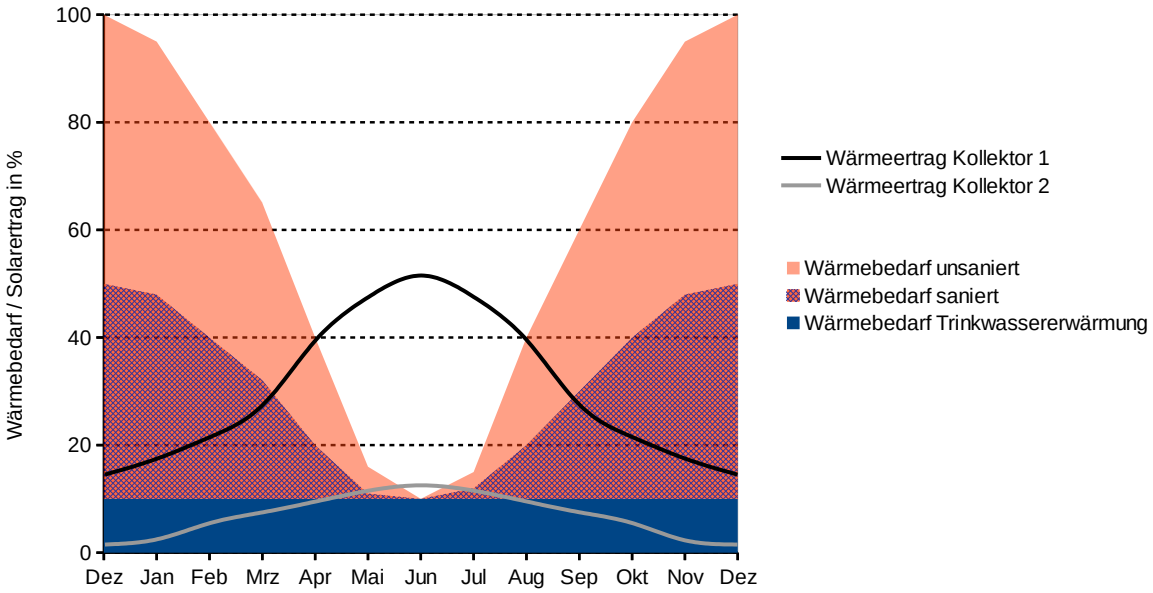


Abbildung 1: Wärmebedarf und -ertrag

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. 4

Dabei gelten folgende Annahmen:

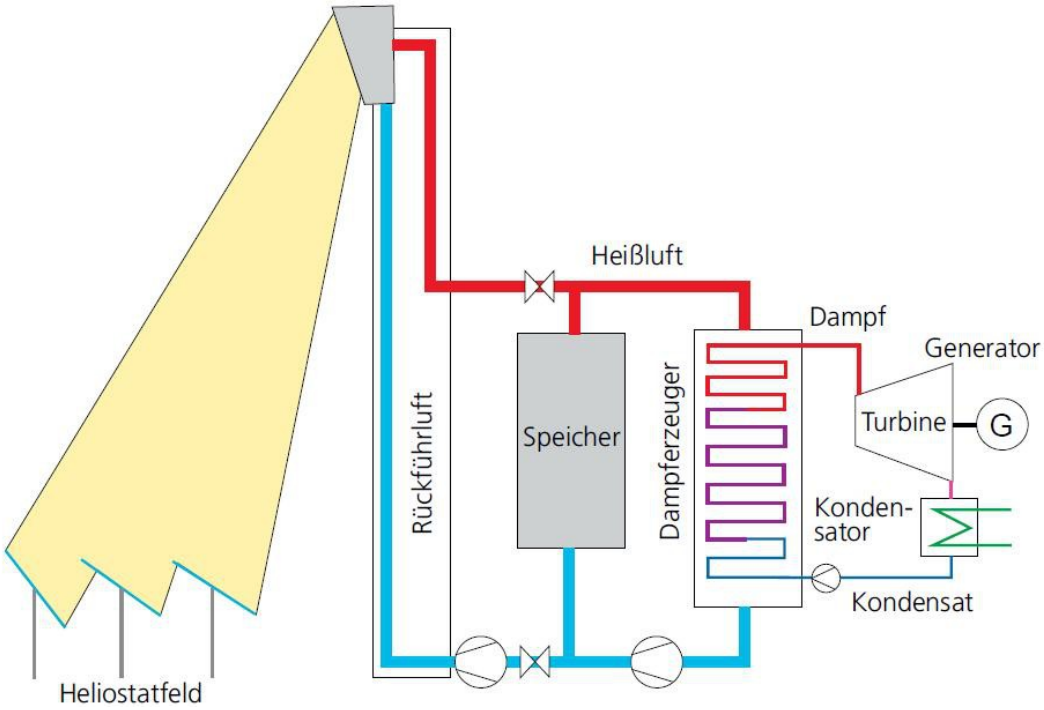
- Die Zusammensetzung der Luft wird vereinfacht mit 80 % Stickstoff und 20 % Sauerstoff angenommen.
- Flüssiggas soll näherungsweise als Propan (C_3H_8) betrachtet werden.
- Der Umgebungsdruck p_{amb} ist 1,0 bar.

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 Solarthermische 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 Speisewasserpumpe 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

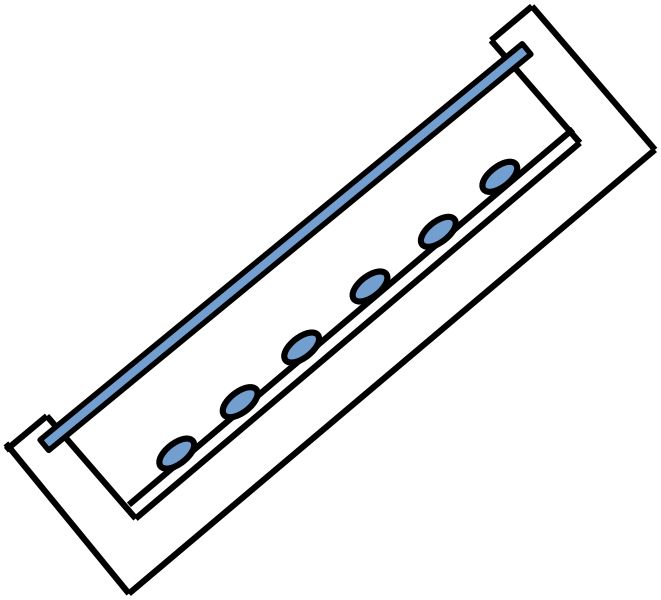
30

Arbeitsblatt

zur Aufgabe 2.1.2

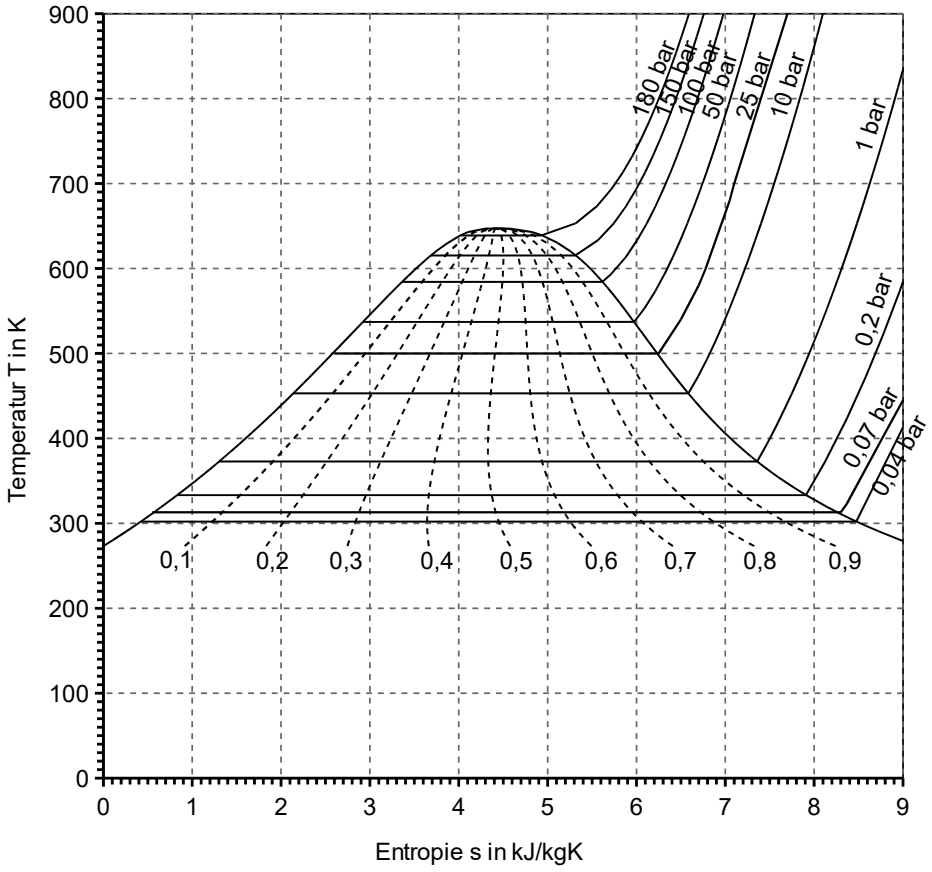
Punkte

(3)



zur Aufgabe 2.3

T,s-Diagramm von Wasser



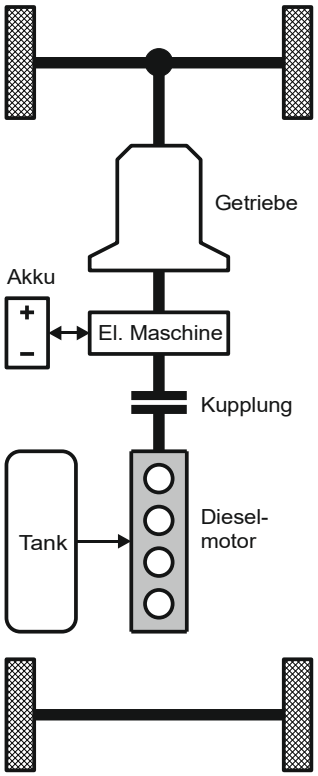
3 Paralleles Hybridfahrzeug

3.1 Hybridantrieb

Ein Hybridfahrzeug enthält einen Verbrennungsmotor und eine elektrische Maschine.

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

(a) Gleichförmige Fahrt geradeaus mit 40 km/h. Die Antriebskraft beträgt 220 N.

(b) Gleichförmige Fahrt geradeaus mit 130 km/h. Die Antriebskraft beträgt 720 N.

(c) 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_{mech} = 2,44 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 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 Dieselkreisprozess 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 Diesel-Vergleichsprozesses.

3.2.4 Berechnen Sie die Leistung des Dieselmotors bei der Nenndrehzahl n_N = 4000 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.

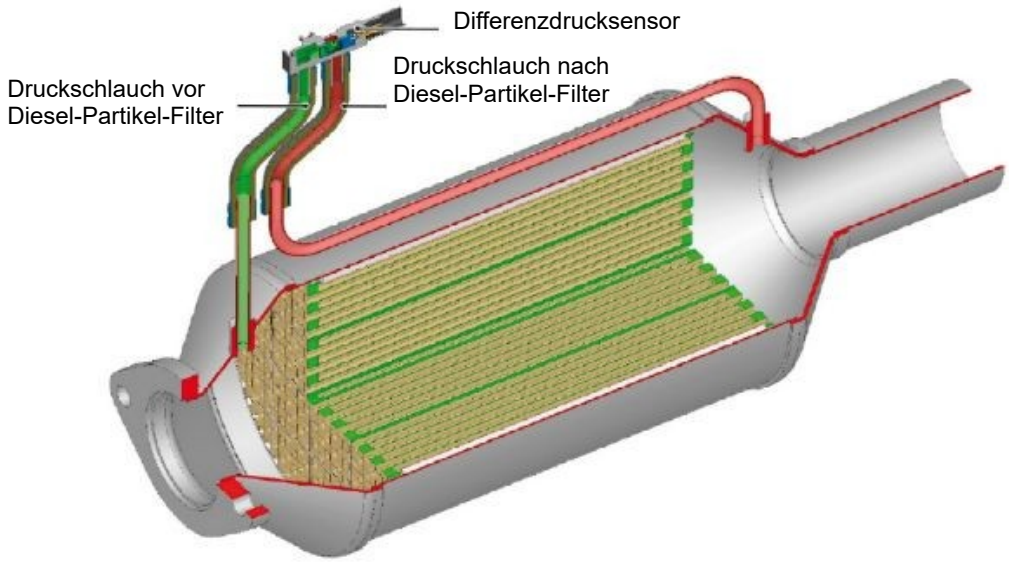
3.3.1 Erklären Sie die Funktionsweise der auf dem Arbeitsblatt abgebildeten Fahrzeug-Klimaanlage. Beginnen Sie Ihre Beschreibung mit dem Kompressor. Zeichnen Sie in die Abbildung (siehe Arbeitsblatt) die Fließrichtung des Kältemittels mit Pfeilen ein. 3

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

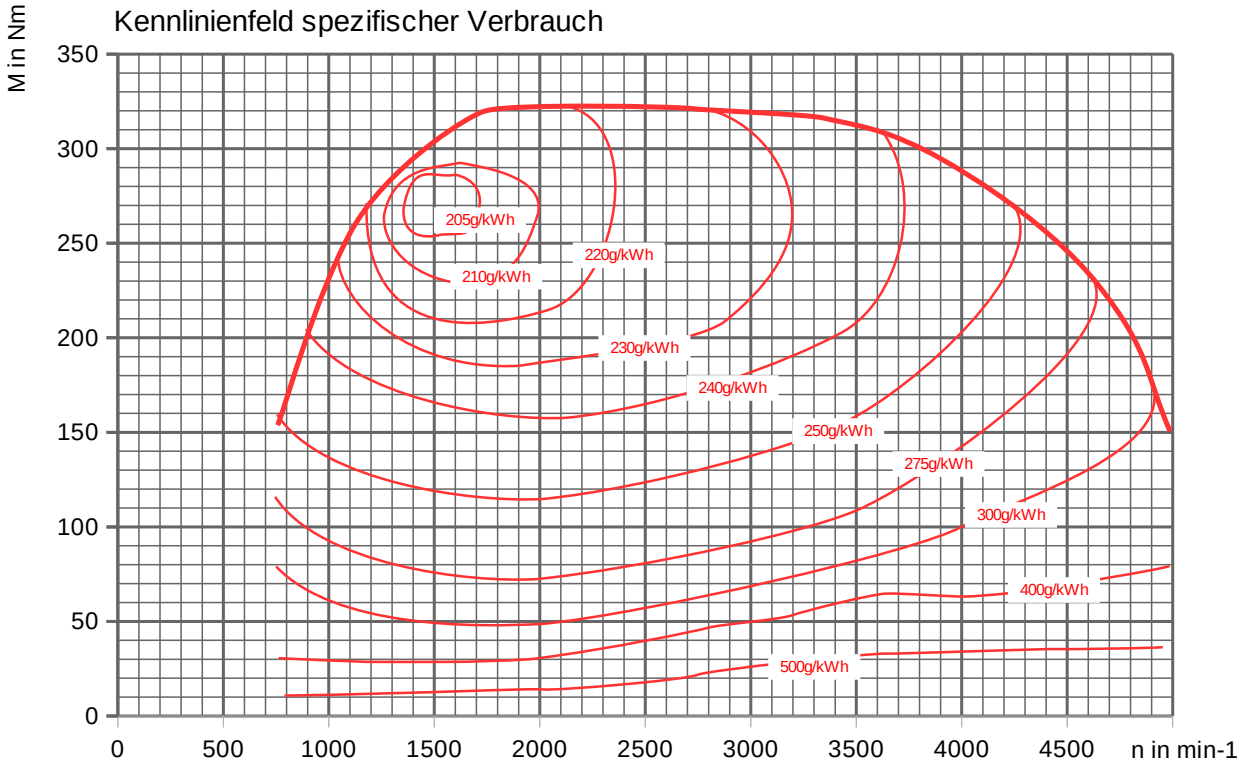
An einem Dieselpartikelfilter ist ein Differenzdrucksensor angebracht (siehe Abbildung unten). Erklären Sie die Wirkungsweise des Partikelfilters und die sich daraus ableitende Funktion des Differenzdrucksensors.
Erklären Sie eine Regenerationsmöglichkeit des Dieselpartikelfilters.



30

Arbeitsblatt

zu Aufgabe 3.1.5, 3.1.6 und 3.1.7: Kennlinienfeld Dieselmotor

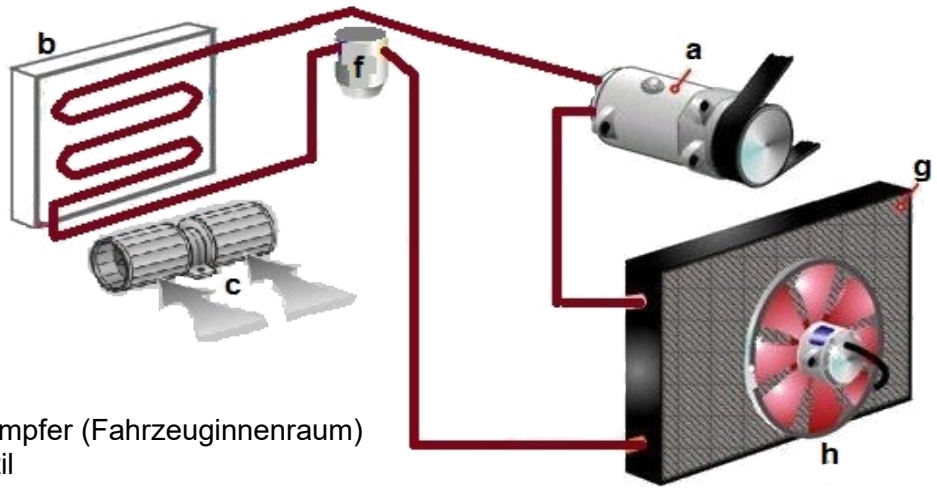


(3)

(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° 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°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° 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 W/(m²K)
nach der Sanierung: U = 0,20 W/(m²K).

Der neue Außenputz kann vernachlässigt werden.

4.1.6 Die sanierten Außenwände haben eine Gesamtfläche von 200 m². 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 Cent/kWh. 3

Bei der Sanierung sollen große Fensterflächen in das Haus eingebaut werden. Dafür werden bestehende Fenster erweitert und zu großen Fensterflächen zusammengefasst. 1

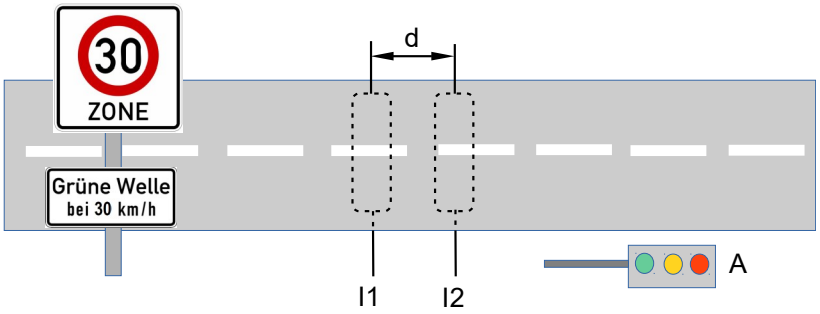
4.1.7 Erläutern Sie die sinnvolle Ausrichtung solch großer Fensterflächen. 1

4.1.8 Nennen Sie zwei bauphysikalische Nachteile einer solchen Sanierungsmaßnahme 2

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. 2

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 Kleinsteuerung 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. 1

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 Tv 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. 2

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

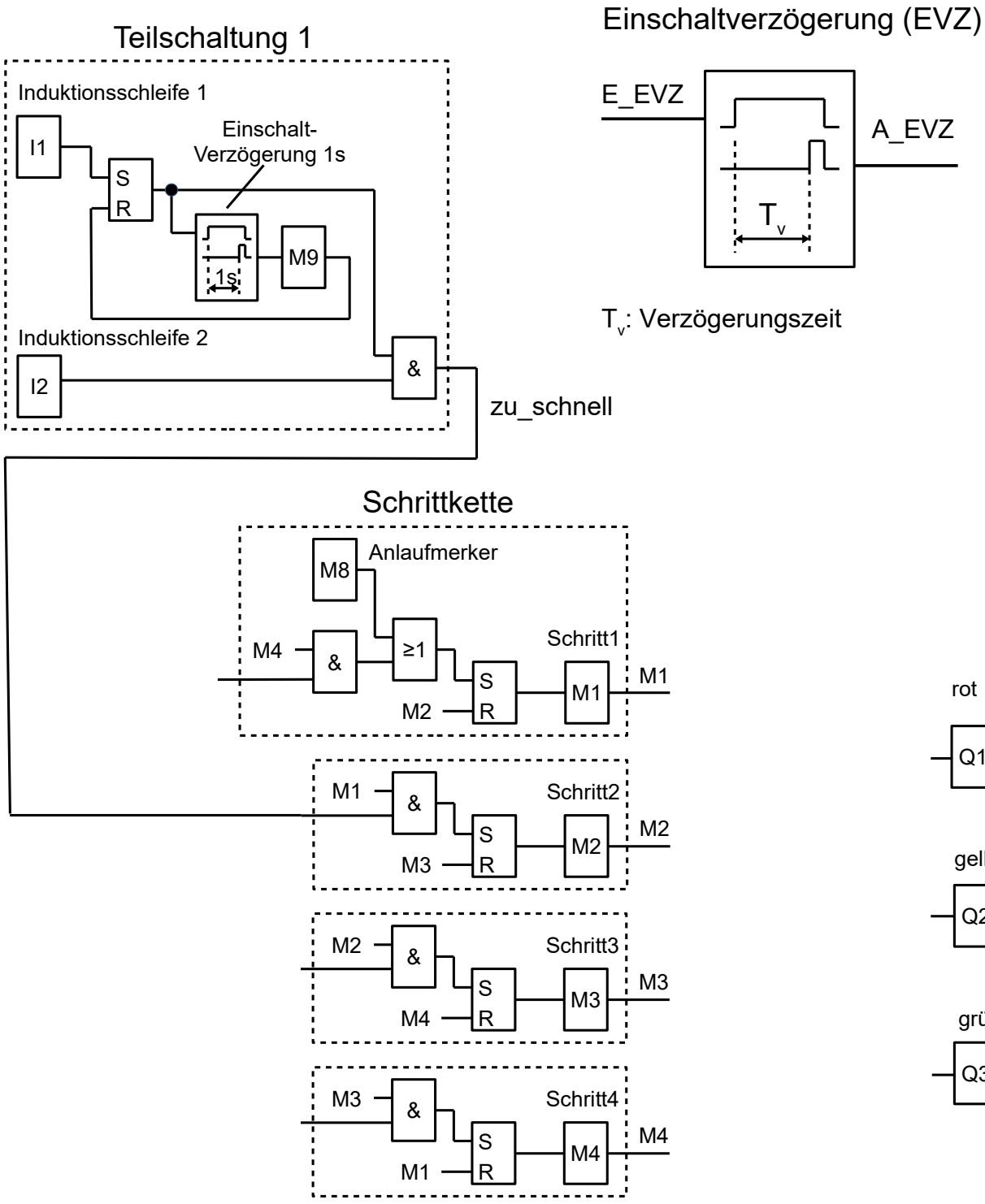
4.2.4 Ergänzen Sie die fehlenden Verbindungen und Bauteile der Schrittkette auf dem Arbeitsblatt. Es stehen weitere Ein- und Ausschaltverzögerungen mit frei wählbarer Verzögerungszeit zur Verfügung. 3

30

Arbeitsblatt

Punkte

Zu den Aufgaben 4.2.2 und 4.2.4



(2)

(3)

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 Peltonturbinen mit Generatoren zur Energieumwandlung eingesetzt. Jede Peltonturbine hat 6 Düsen mit einem Durchmesser von jeweils d_D = 12 cm. Jede Turbine ist an ein Druckrohr (Durchmesser d_R = 2,2 m) angeschlossen, in dem jeweils ein Volumenstrom von $\dot{V} = 8\ m^3/s$ fließt. Insgesamt ergibt sich bei Volllast eine elektrische Leistung von P_{elekt} = 45 MW.

1.1.1 Berechnen Sie die Fließgeschwindigkeit des Wassers in km/h in einer Düse der Peltonturbine und die Fließgeschwindigkeit in einem Druckrohr in km/h. 3

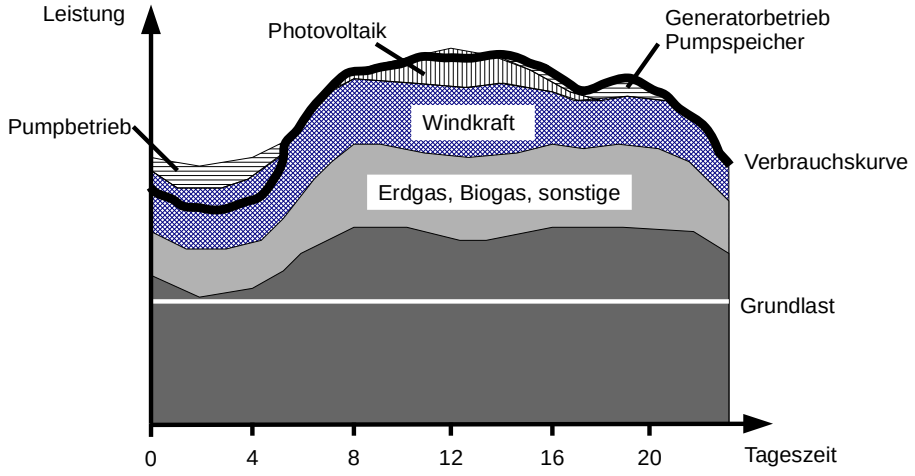
1.1.2 Ermitteln Sie die hydraulische Leistung P_{hydro} des strömenden Wassers durch die beiden Druckrohre. Berechnen Sie den Gesamtwirkungsgrad des Kraftwerks. 2

1.1.3 Berechnen Sie, wie viel Liter Wasser sich in einem gefüllten Druckrohr befinden, welches eine Länge von l_R = 526 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 Volllast liefern? 2

1.1.5 Untersuchen Sie, welche Turbinenart alternativ zur Peltonturbine 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.



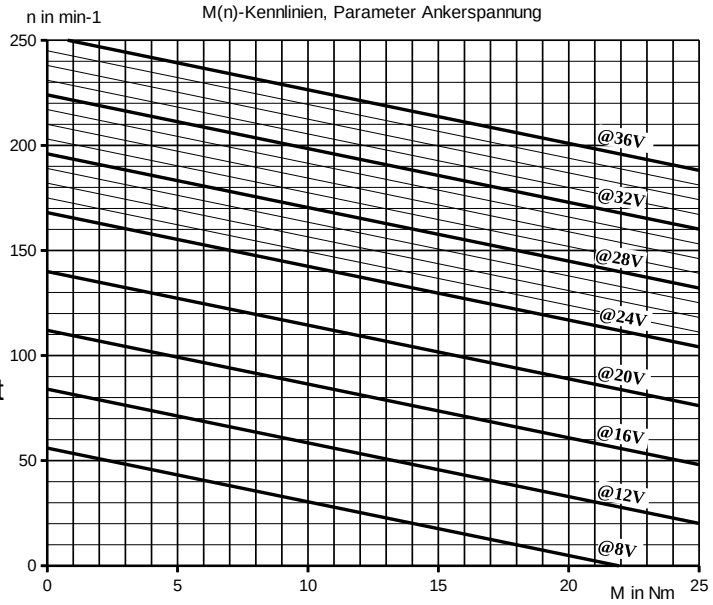
1.1.6 Beurteilen Sie die Notwendigkeit von Pumpspeicherkraftwerken für eine funktionierende Energieversorgung im Verbundnetz anhand der Grafik. Erklären Sie, wie sich der Einsatz von Pumpspeicherkraftwerken geändert hat, seit das Erneuerbare-Energien-Gesetz die vorrangige Nutzung der regenerativen Energien 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 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 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 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 W, M = 16,7 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 Ω 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 W/(m²K) gefordert. 3

Ermitteln Sie, ob die Wand diese Anforderungen erfüllt.

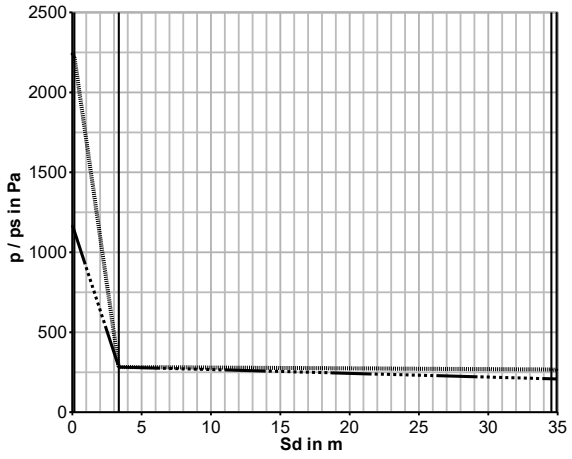
Erläutern Sie ausführlich die Bedeutung des U-Werts.

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

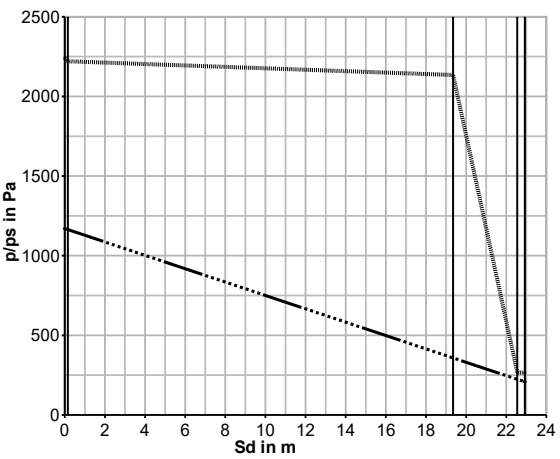
Bei der Untersuchung des Wandquerschnitts werden zwei verschiedene Varianten betrachtet.

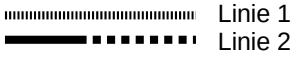
Die Wasserdampfdiffusion während der Tauperiode bei Standardbedingungen ist für beide Wandquerschnitte unten dargestellt.

Wandquerschnitt 1



Wandquerschnitt 2





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. 2

Bestimmen Sie den Außenluftvolumenstrom, der bei β = 1,0 1/h von der Anlage geleistet werden muss und erklären Sie den Begriff „Luftwechselrate β“.

2.2.3 Bei einer Veranstaltung im Sommer beträgt die Lufttemperatur im Aufenthaltsraum 28° C bei einer relativen Luftfeuchte φ = 60 %. Die kontrollierte Wohnraumlüftung fällt aus, nachdem sie 30 % der Raumluft durch Außenluft (22°C und φ = 40 %) ersetzt hat. 2

Bestimmen Sie die Temperatur und relative Luftfeuchte der nun im Veranstaltungsraum vorhandenen Luft und dokumentieren Sie Ihren Lösungsweg auf dem Arbeitsblatt.

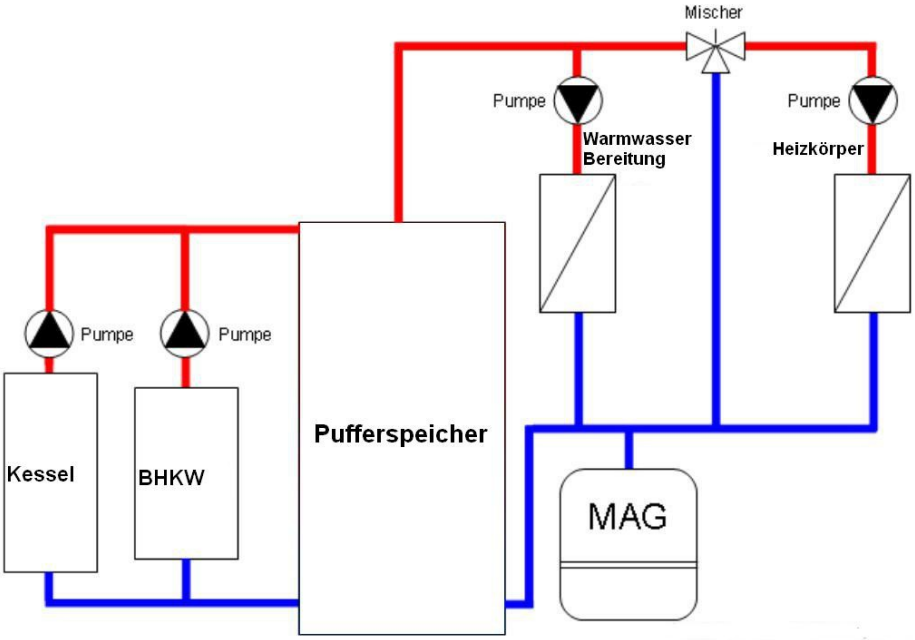
2.2.4 Im Winterbetrieb wird die Wärme der Abluft an die kalte Außenluft über einen Wärmetauscher übertragen, bevor sie als Zuluft in den Raum eintritt. 3

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 Φ = 0,6.

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

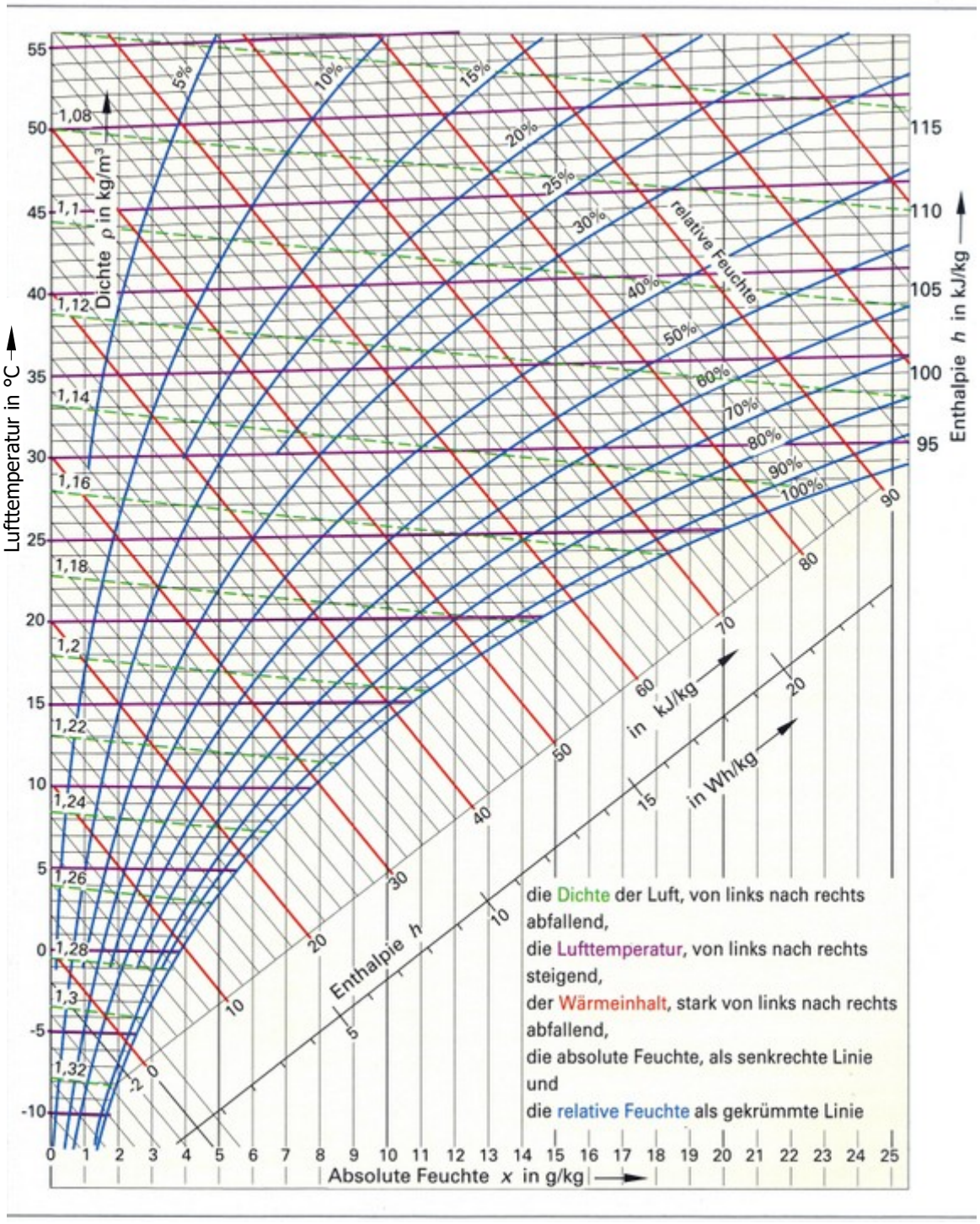
30

Arbeitsblatt

zur Aufgabe 2.2.3

Punkte

(2)



Punkte

3 Photovoltaik, Brennstoffzelle, Abwasser, Windkraft

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.

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

Daten der verwendeten Photovoltaik-Module:

	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/m² 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 Eingangspannungen 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

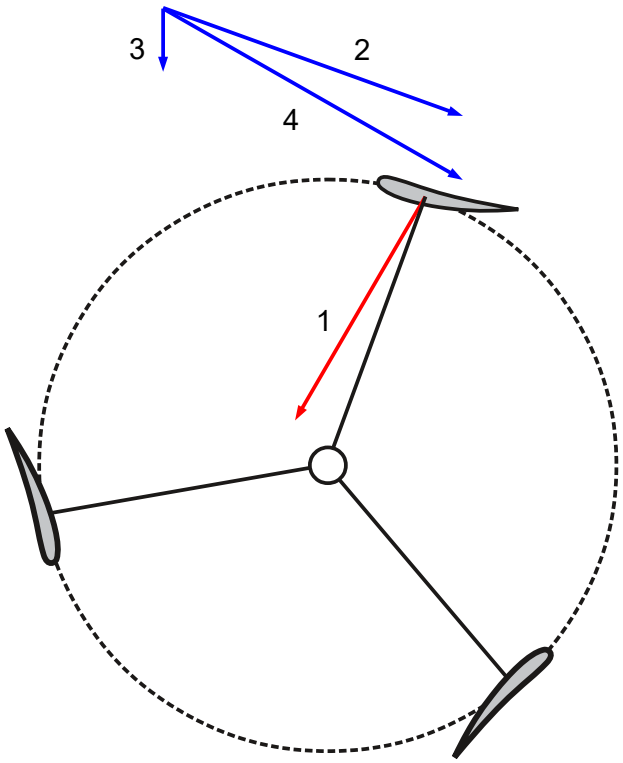
3.2.1 Beschreiben Sie die Wirkungsweise einer PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell). Geben Sie dabei auch die drei ablaufenden Reaktionsgleichungen an. (Anode, Kathode und Gesamtreaktion) 4

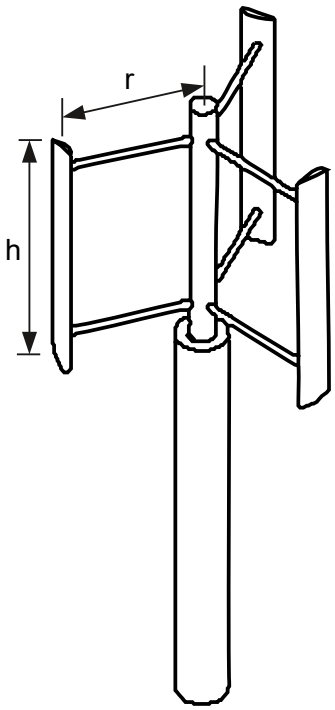
3.2.2 Im Zusammenhang mit Brennstoffzellen wird häufig der Begriff „Stack“ verwendet. Erklären Sie, welcher technische Sachverhalt hinter diesen Begriff steht und begründen Sie, weshalb in der Brennstoffzellenpraxis diese „Stacks“ meist unverzichtbar sind. 2

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 m, h = 3 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.

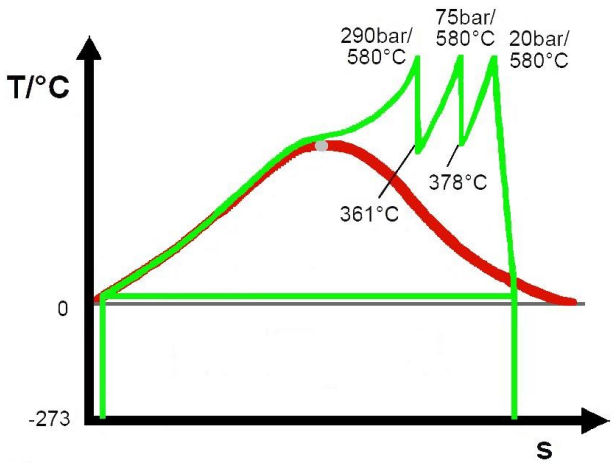


Abb. 1: T,s-Diagramm

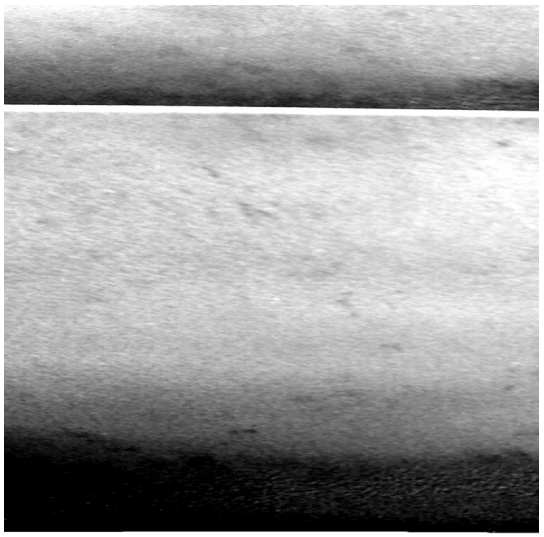


Abb. 2: ausgetauschte Turbinenschaufeln

4.1.1 Ergänzen Sie die fehlenden Baugruppen in dem Anlagenschaubild (Arbeitsblatt 1). 3

Kennzeichnen Sie die Stellen, an denen dem trockenen Heißdampf Energie zugeführt wird.

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 $q_{ab} = -2280$ kJ/kg. Am Kondensatoreingang beträgt die Entropie $s_7 = 8$ kJ/kgK und am Ausgang $s_1 = 0{,}4$ 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 (NH_3) als Reduktionsmittel. Erstellen Sie die Reaktionsgleichung für die Entfernung von NO. Als zusätzlicher Reaktionspartner wird Sauerstoff benötigt. 3

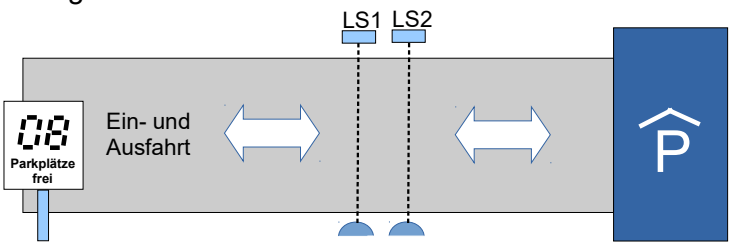
Ermitteln Sie den stündlichen Ammoniakbedarf, wenn die NO-Rohgaskonzentration 1000 mg/m³ beträgt. Der Rauchgasvolumenstrom ist 1 500 000 m³/h.

Angaben: $M(NO) = 30 \frac{kg}{kmol}$, $M(NH_3) = 14 \frac{kg}{kmol}$.

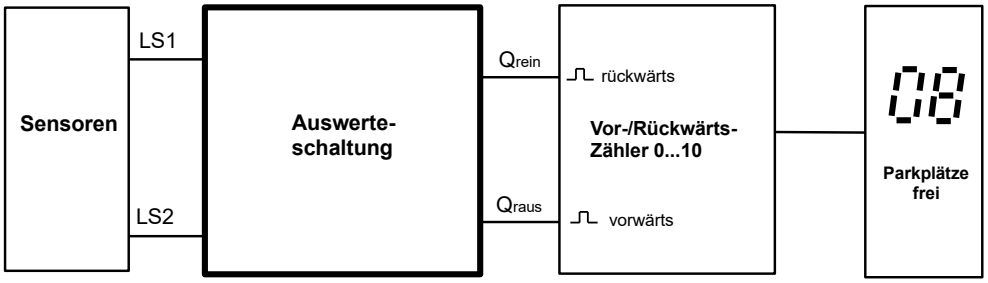
Damit kein Ammoniak im gereinigten Abgas verbleibt, wird nur 90 % der theoretisch (stöchiometrisch) erforderlichen Ammoniak-Menge in den Abgasstrom eingebracht.

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.

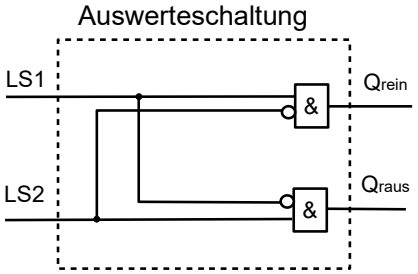


Die Abbildung unten zeigt das Blockschaltbild der Steuerung. Gehen Sie davon aus, dass sich im Bereich der Lichtschranken immer nur ein Fahrzeug befindet und ein Fahrzeug den Lichtschrankenbereich immer vollständig verlässt.



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_{rein}=1). FF_{raus} kann nun nicht mehr gesetzt werden. Bei der Ausfahrt wird FF_{raus} in gleicherweise durch LS2 gesetzt (Q_{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 Lichtschrankenbereich die eindeutige Fahrtrichtung eines Fahrzeugs (Q_{rein}=1 bzw. Q_{raus}=1).

Nach der vollständigen Durchfahrt des Fahrzeugs durch die Lichtschranken wird FF_{rein} bzw. FF_{raus} zurückgesetzt (Q_{rein}=0 bzw. Q_{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 Zähleingänge $E_{rück}$ 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.

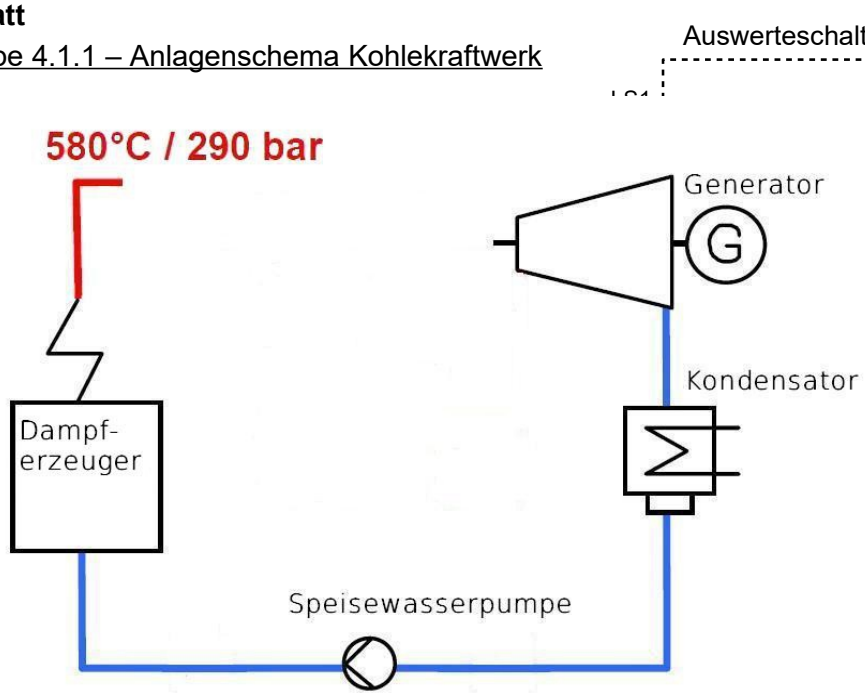
4.3.5 Ermitteln Sie alle auftretenden Eingangskombinationen (LS1, LS2, LS3) bei der Einfahrt bzw. der Ausfahrt eines Fahrzeugs. 2
Begründen Sie, weshalb keine eindeutige Fahrtrichtungserkennung durch kombinatorische Auswertung der Eingangskombinationen (LS1, LS2, LS3) möglich ist.

30

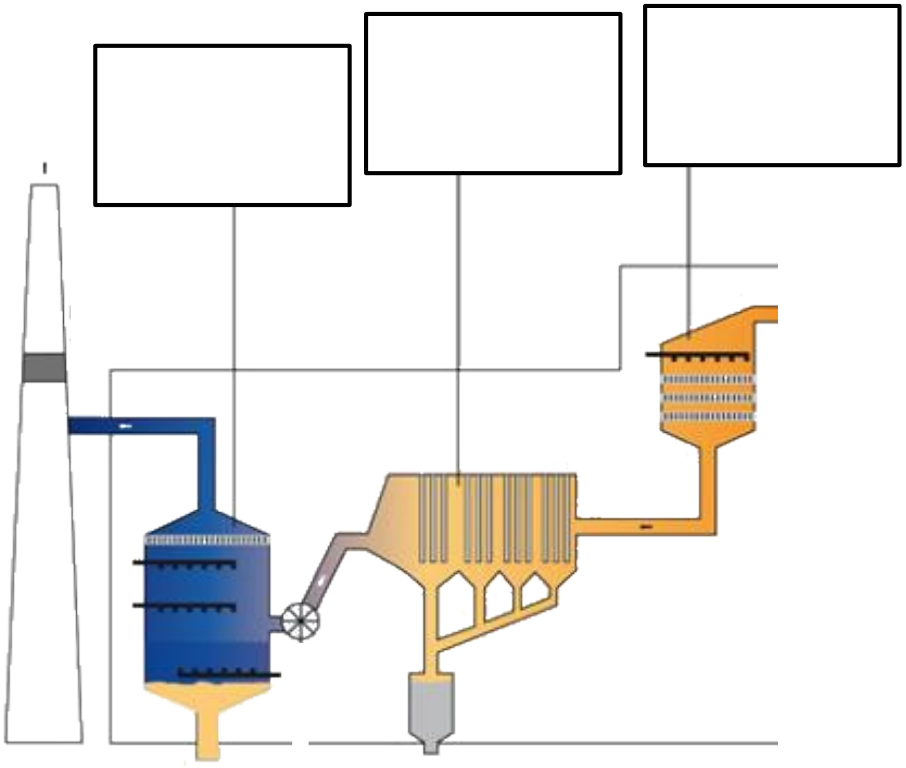
Arbeitsblatt

Punkte

Zur Aufgabe 4.1.1 – Anlagenschema Kohlekraftwerk (3)



zur Aufgabe 4.2.1 - Rauchgasreinigung – Fließbild (3)

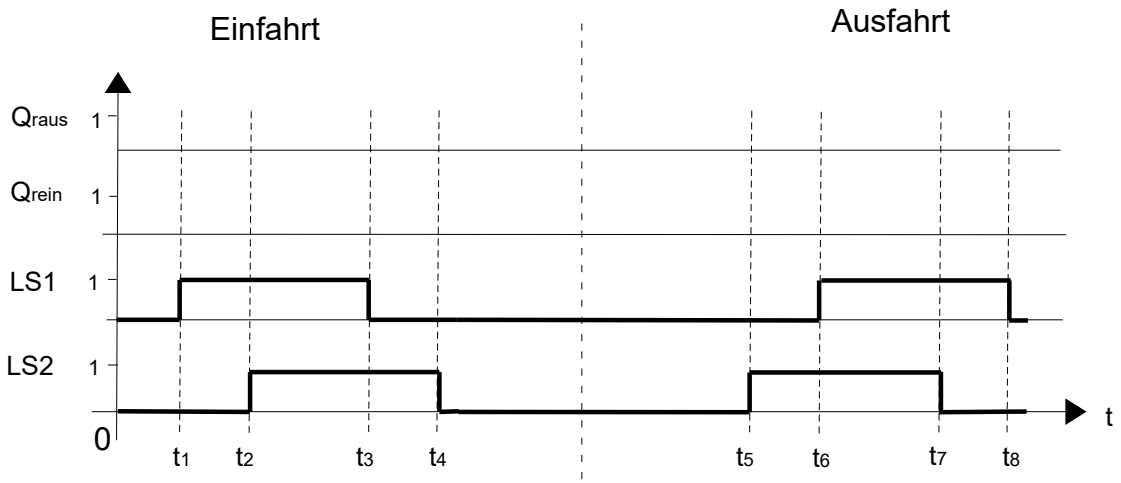


Arbeitsblatt

Punkte

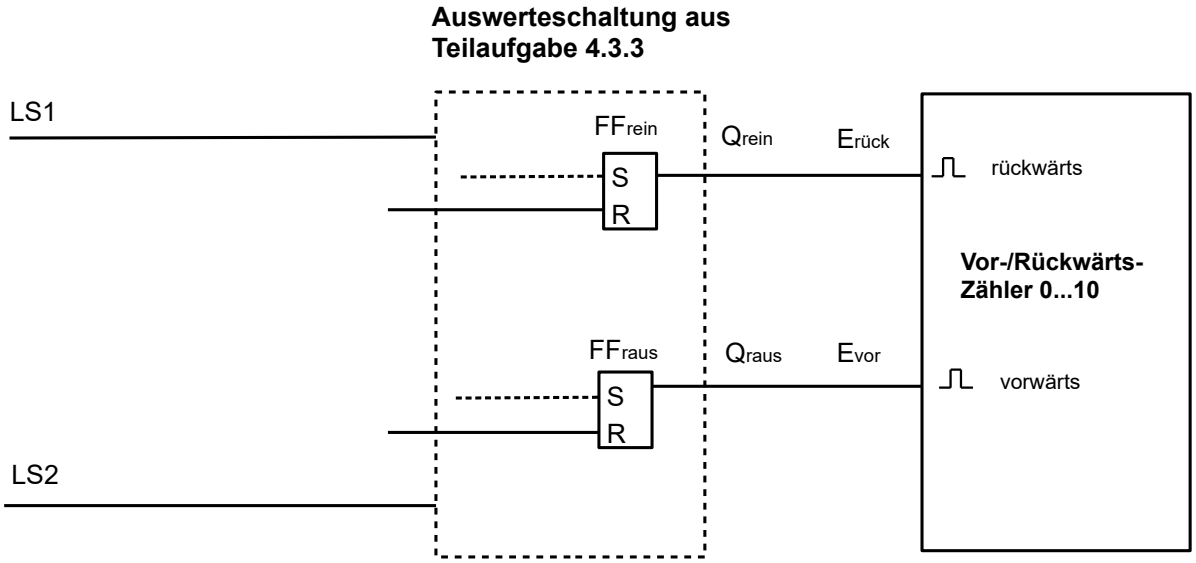
zur Aufgabe 4.3.1

(3)



zur Aufgabe 4.3.4

(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.

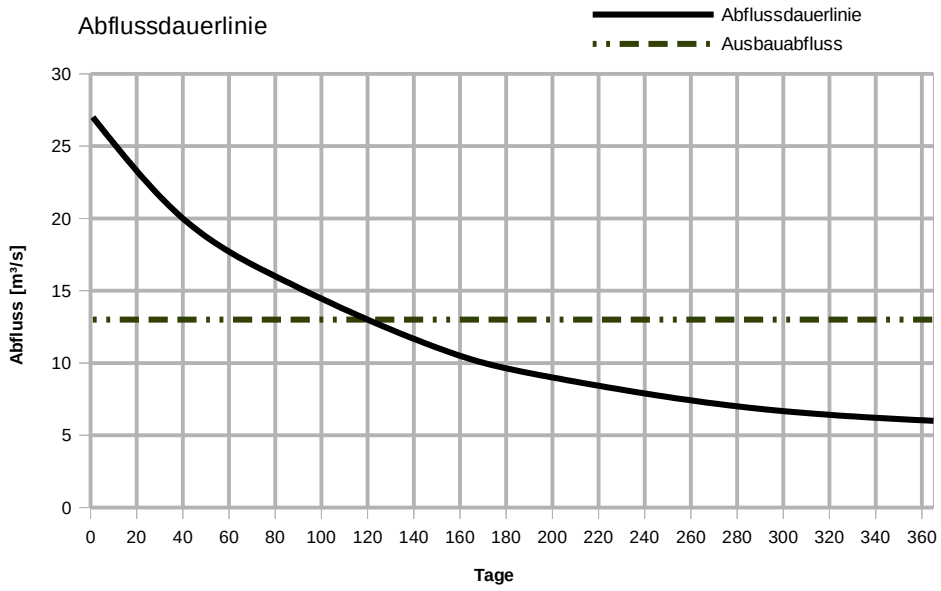
Sie sind verpflichtet, die Vollständigkeit des Aufgabensatzes umgehend zu überprüfen und fehlende Seiten der Aufsicht führenden Lehrkraft anzuzeigen. Jede Aufgabe ist mit einem neuen Blatt zu beginnen. Bei Verstößen gegen die angemessene Darstellungsform kann ein Punkteabzug erfolgen.

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

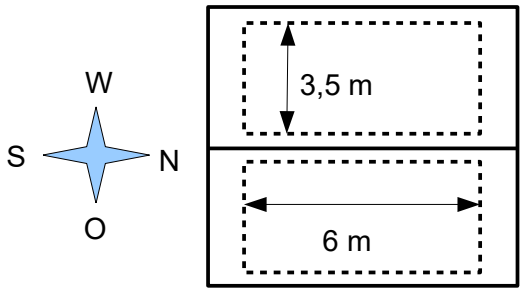
1.1.5 Die Abflussmenge betrage nun 10 m³/s. Durch große Regenfälle steigt die Abflussmenge kontinuierlich bis zum doppelten Wert an. Analysieren Sie die sich ergebenden Pegelstände und die Leistung des Laufwasserkraftwerks. Dokumentieren Sie deren Verlauf. 2

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.

Dachausrichtung:



Die Solarmodule haben folgende Daten:

STC Bedingungen (E = 1000 W/m²; 25°C) Modulabmessungen: 1600 mm x 1000 mm			
Nennleistung	Wp	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 W/m² mit einem Solarmessgerät. Bei dieser Bestrahlungsstärke liefert ein Modul die Nennspannung U_{MPP} = 28 V und die Nennleistung P_{MPP} = 112 W.

1.2.6 Skizzieren Sie in das Diagramm auf dem Arbeitsblatt die I(U)-Kennlinie bei einer Sonneneinstrahlung von E = 500 W/m² und lesen Sie den Wert der Leerlaufspannung U_{OC500} ab. 3

1.2.7 Ermitteln Sie den Wirkungsgrad eines Moduls bei E = 500 W/m². 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 β = 37° 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. 1

Beschreiben Sie eine Möglichkeit, wie der Wechselrichter die Leistung der Anlage drosseln kann.

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. 1

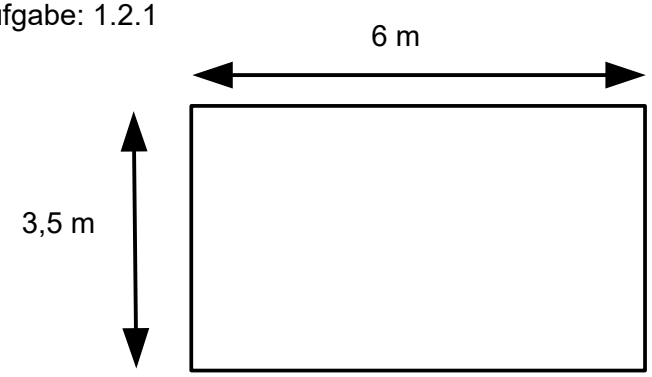
Gehen Sie dabei von einer Nennleistung der Gesamtanlage von $P_N = 5{,}76$ kWp aus.

30

Arbeitsblatt

Punkte

zur Aufgabe: 1.2.1



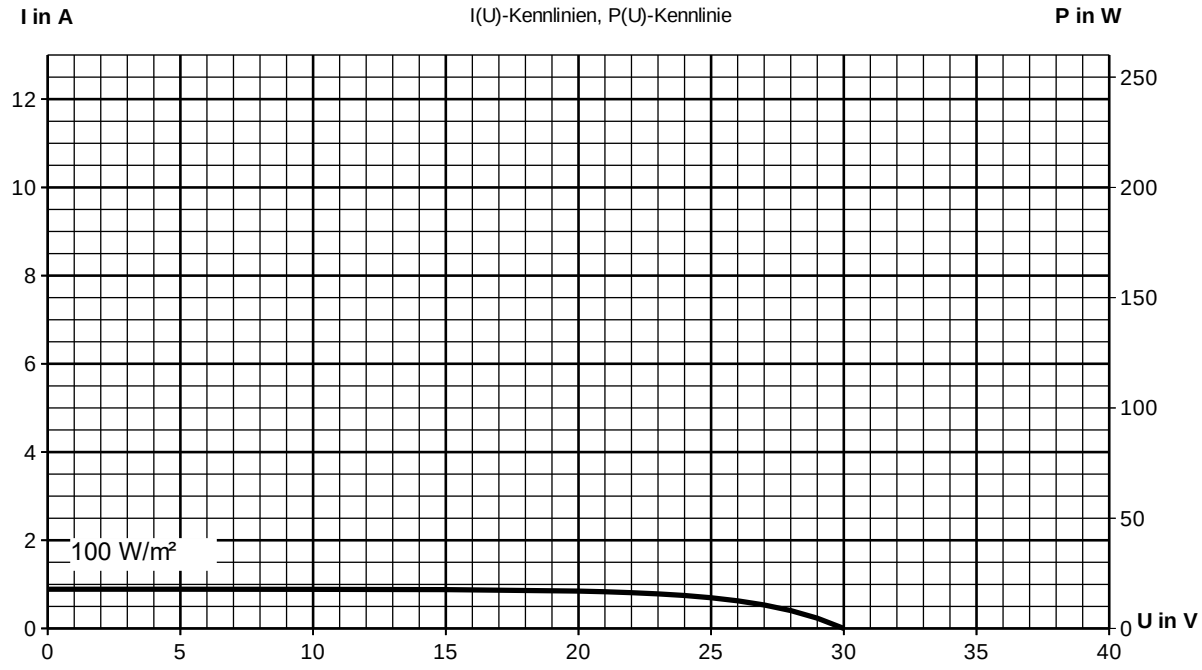
(1)

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)

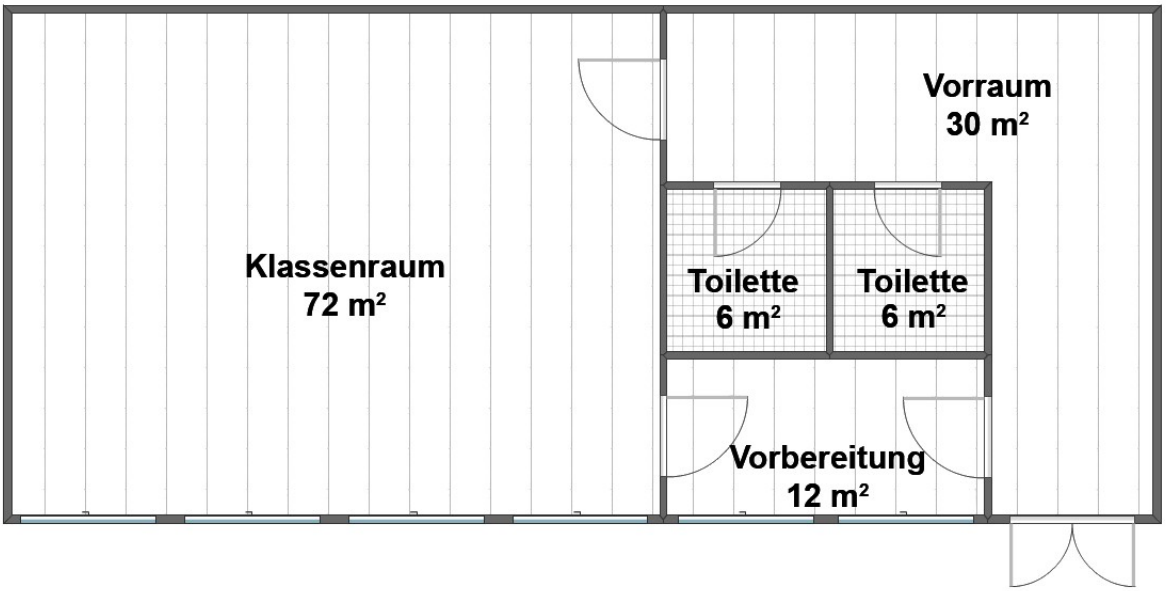
2 Pflichtaufgaben zu Solarthermie, kontrollierter Wohnraumlüftung und Gebäudehülle

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.

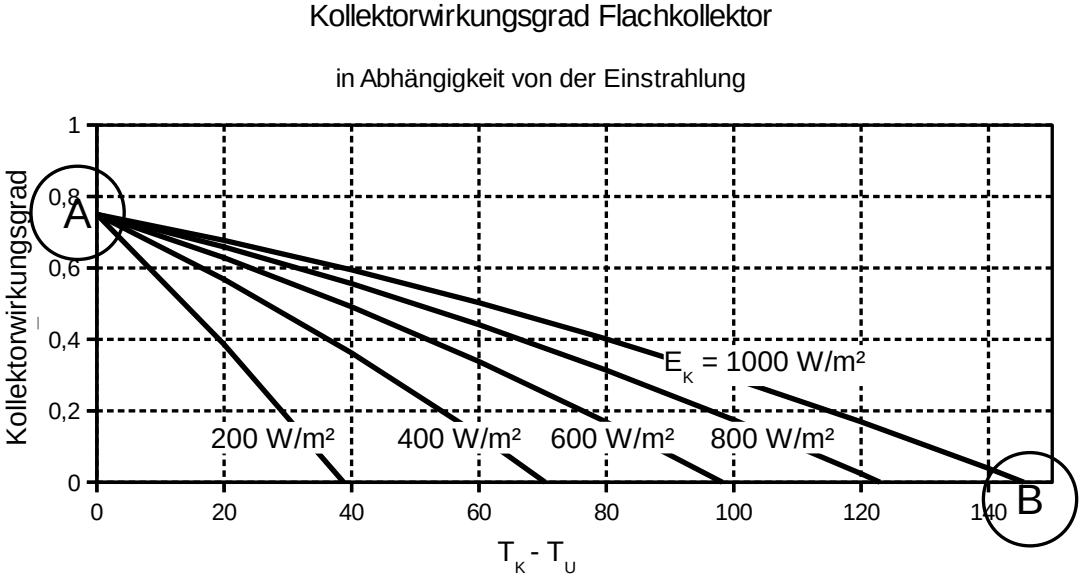
2.1.1 Vervollständigen Sie auf dem Arbeitsblatt den grundsätzlichen Aufbau dieser solarthermischen Anlage zur Warmwassererzeugung und benennen Sie alle Anlagenteile. — 3

Auf die Darstellung der Solarkreisregelung kann verzichtet werden.

2.1.2 Der verantwortliche Architekt behauptet: „Vakuum-Röhrenkollektoren sind generell die besseren Kollektoren zur solaren Wärmegewinnung“. 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 ϑ_{KW} = 10 °C.

Dimensionieren Sie die Größe des Speichers, wenn eine Vorhaltezeit von 2 Tagen und eine Warmwassertemperatur im Speicher von ϑ_{WW} = 60 °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 L
Anlagenwirkungsgrad	η_{Anl} = 0,55
Aufstellwinkel	α = 30°
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: $\vartheta_{au} = -5\ °C$

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

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

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

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/m³)	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 $\vartheta_i = 20\ °C$ und eine relative Luftfeuchte von 65 % gemessen. 4

Bestimmen Sie die nächtliche Außenlufttemperatur unterhalb der das Tauwasser anfällt.

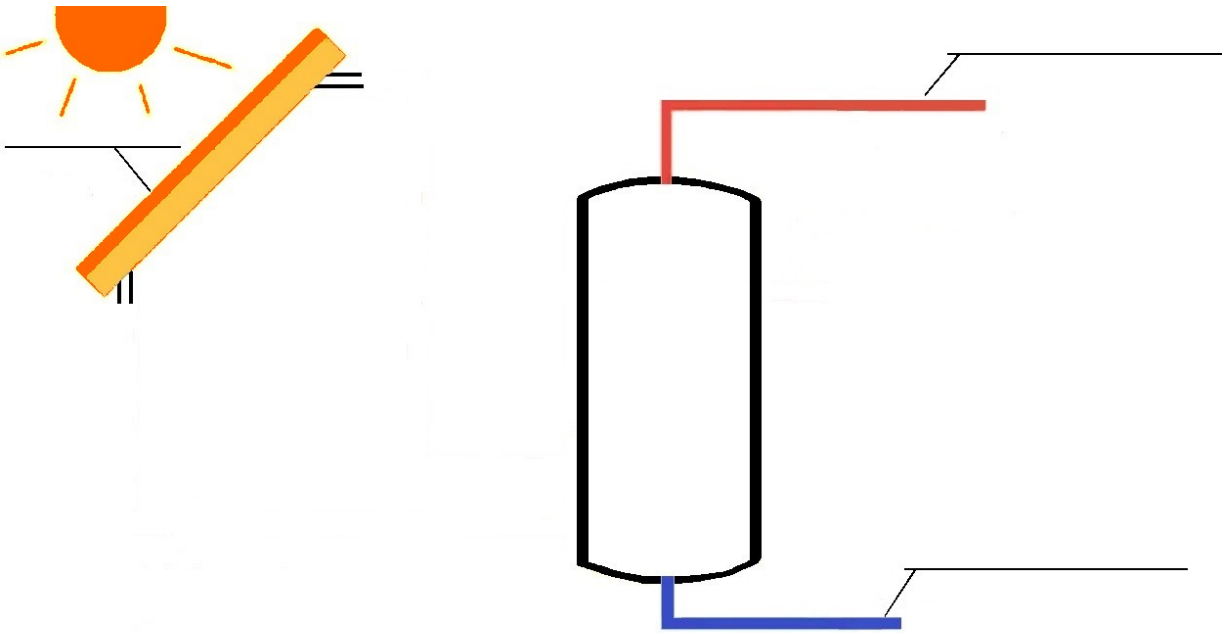
2.3.3 Begründen Sie, warum es an sonnig-heißen Sommertagen im Container sehr warm werden kann. 2

30

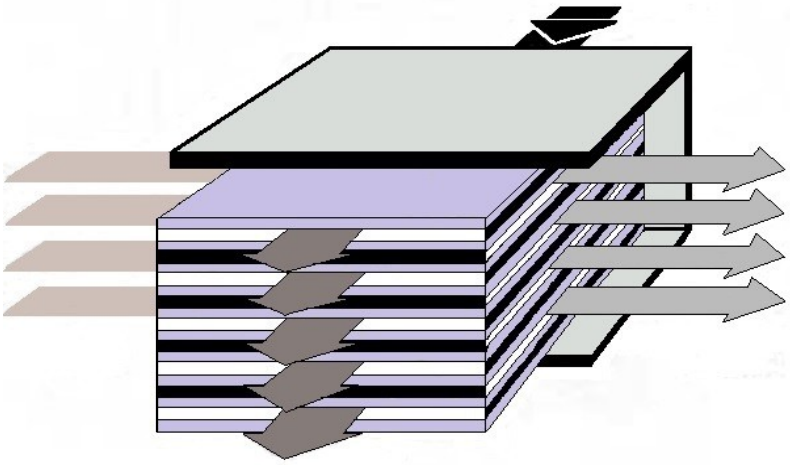
Arbeitsblatt

Punkte

zur Aufgabe 2.1.1: (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 Volllastkennlinie 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: 2

- Die maximal mögliche Motorleistung und die Drehzahl, bei der diese abgegeben wird.
- Die Motorleistung im Verbrauchsoptimum.

3.1.2 Überprüfen Sie für einen beispielhaften Punkt, ob Volllastkennlinie und Leistungsverlauf zusammen passen. Markieren Sie diesen Punkt auf dem Arbeitsblatt. 2

3.1.3 Beurteilen Sie die folgenden Aussagen: 2

- Die Konstantleistungs-Hyperbeln sind bei verschiedenen Motoren gleich.
- Der Schnittpunkt von Volllastkennlinie und Leistungsverlauf hat keine Bedeutung.

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 Verbauch ca. 4,27 L / 100 km beträgt. Rechnen Sie mit $\rho_{Kraftstoff}$ = 0,82 kg / L. 3

Eine Elektrische Maschine (P_{Nenn} = 40 kW) wird parallel zum Dieselmotor wahlweise als Motor oder als Generator zum Aufladen eines Akkumulators (W_{Akku} = 4 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 $\rho_{Kraftstoff}$ = 0,82 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.

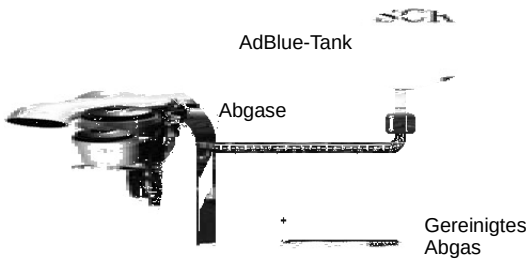
Die Verbrennung in einem Dieselmotor läuft unter sehr hohen Drücken und Temperaturen ab. Diese werden unter anderem durch einen Luftüberschuss von über 50 % erreicht.

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

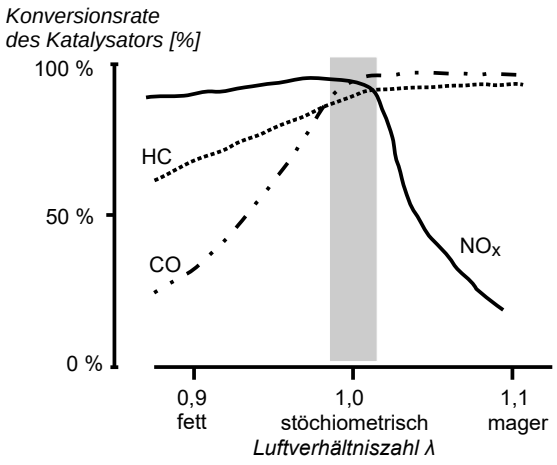
In einem SCR-Katalysator werden Dieselabgase unter Zugabe von Ammoniak (NH_3) mit Luftüberschuss entstickt. Dieser wird aus einer Harnstofflösung (AdBlue) gewonnen.



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

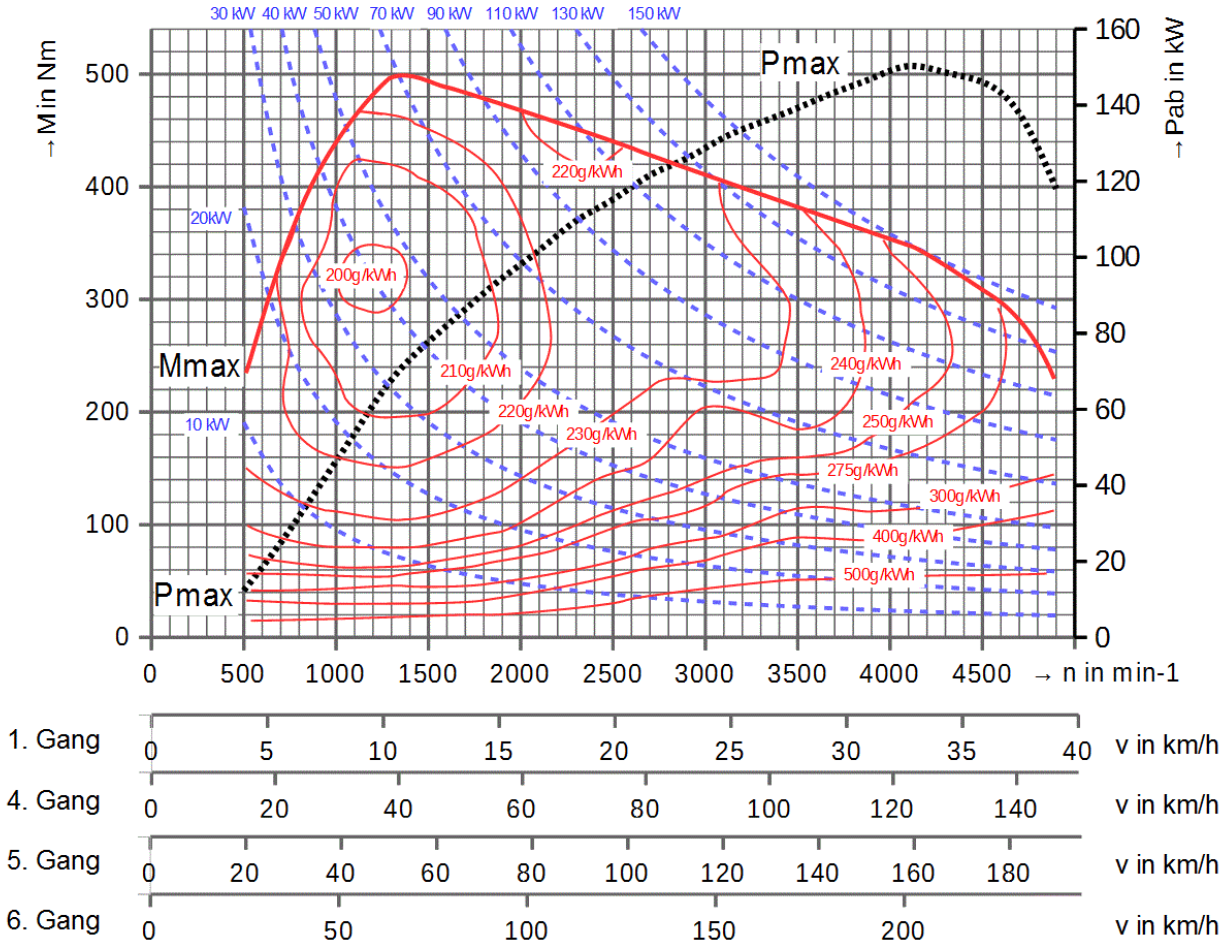
30

Arbeitsblatt

zu den Aufgaben 3.1.2, 3.1.4, 3.1.6

Punkte

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

(2)

(2)

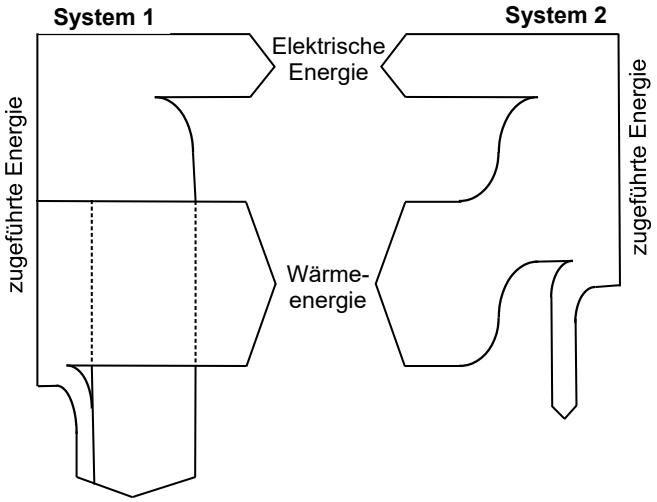
(2)

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 bar
Temperatur am Turbineneingang: ϑ_{TE} = 527 °C
Druck am Kondensator: p_{Kond} = 0,07 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 kJ/kg. Berechnen Sie den Wert der vorhandenen Entropie am Turbinenaustritt und vervollständigen Sie den Kreisprozess im T,s-Diagramm. — 4

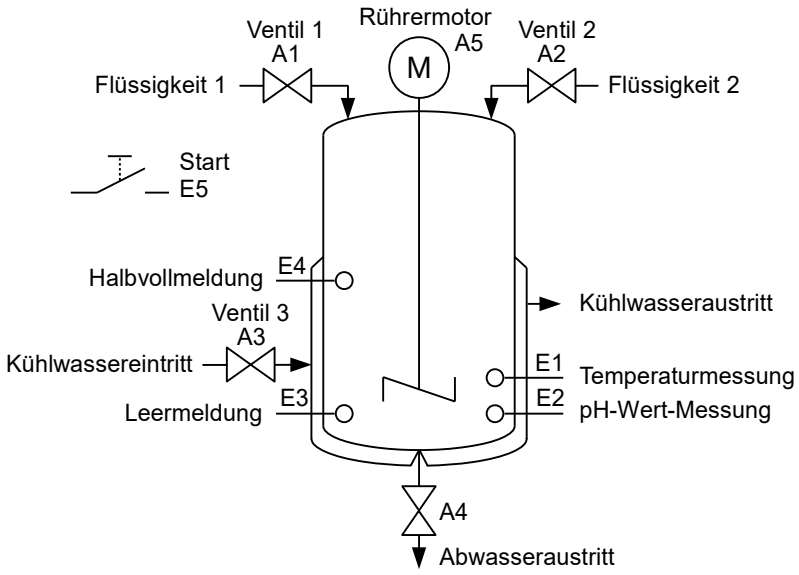
4.2.3 Beurteilen Sie, ob der aus der Turbine austretende Wasserdampf noch zur Fernwärmeauskopplung genutzt werden kann. — 2

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 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 ≤ 33°C
	E2	PH-Wert-Messung	E2 = 1 wenn pH-Wert ≥ 7
	E3	Leermeldung	E3 = 0 wenn leer
	E4	Halbvollmeldung	E4 = 1 wenn Füllhöhe ≥ 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

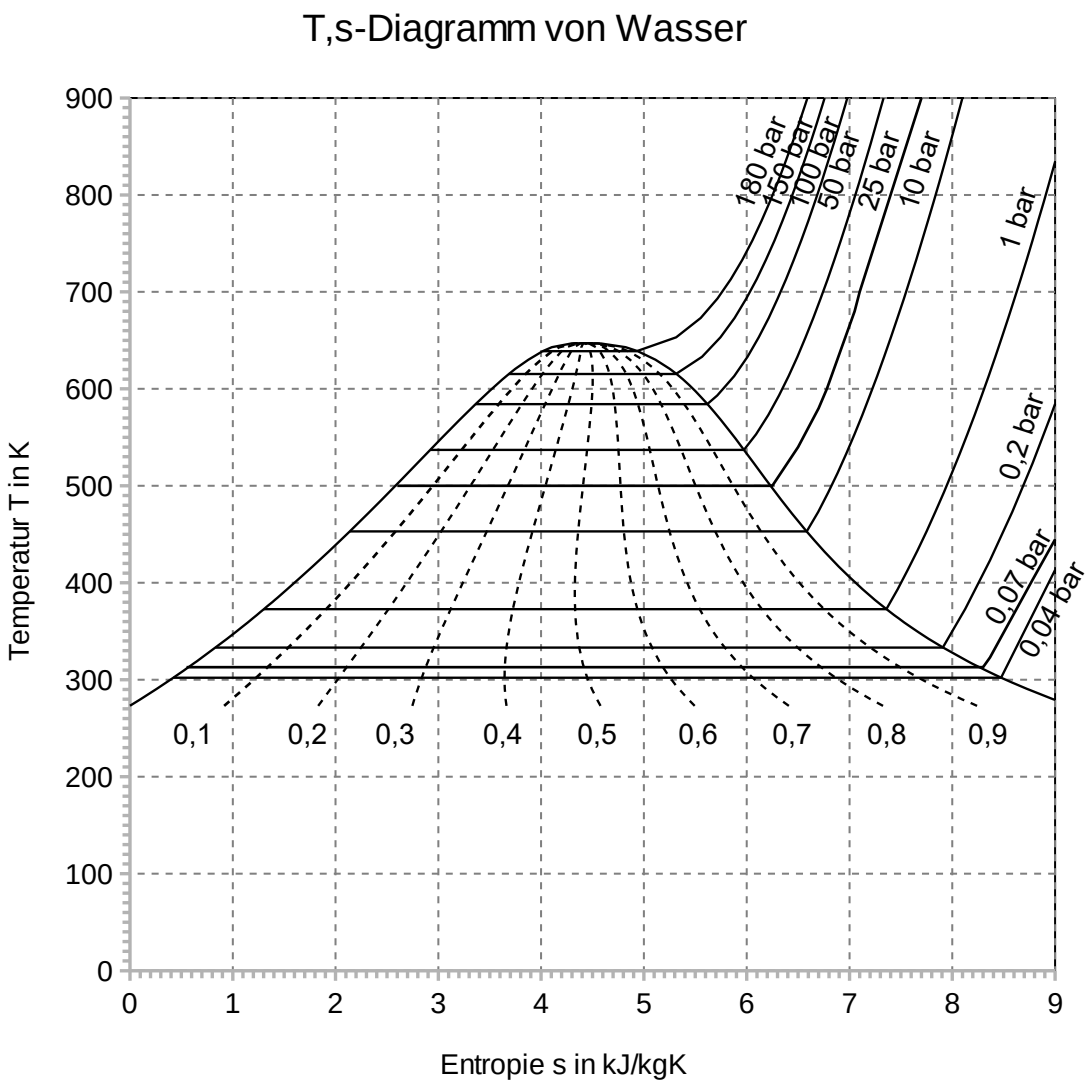
zu den Aufgaben 4.2.1, 4.2.2, 4.2.4:

Punkte

(3)

(4)

(4)



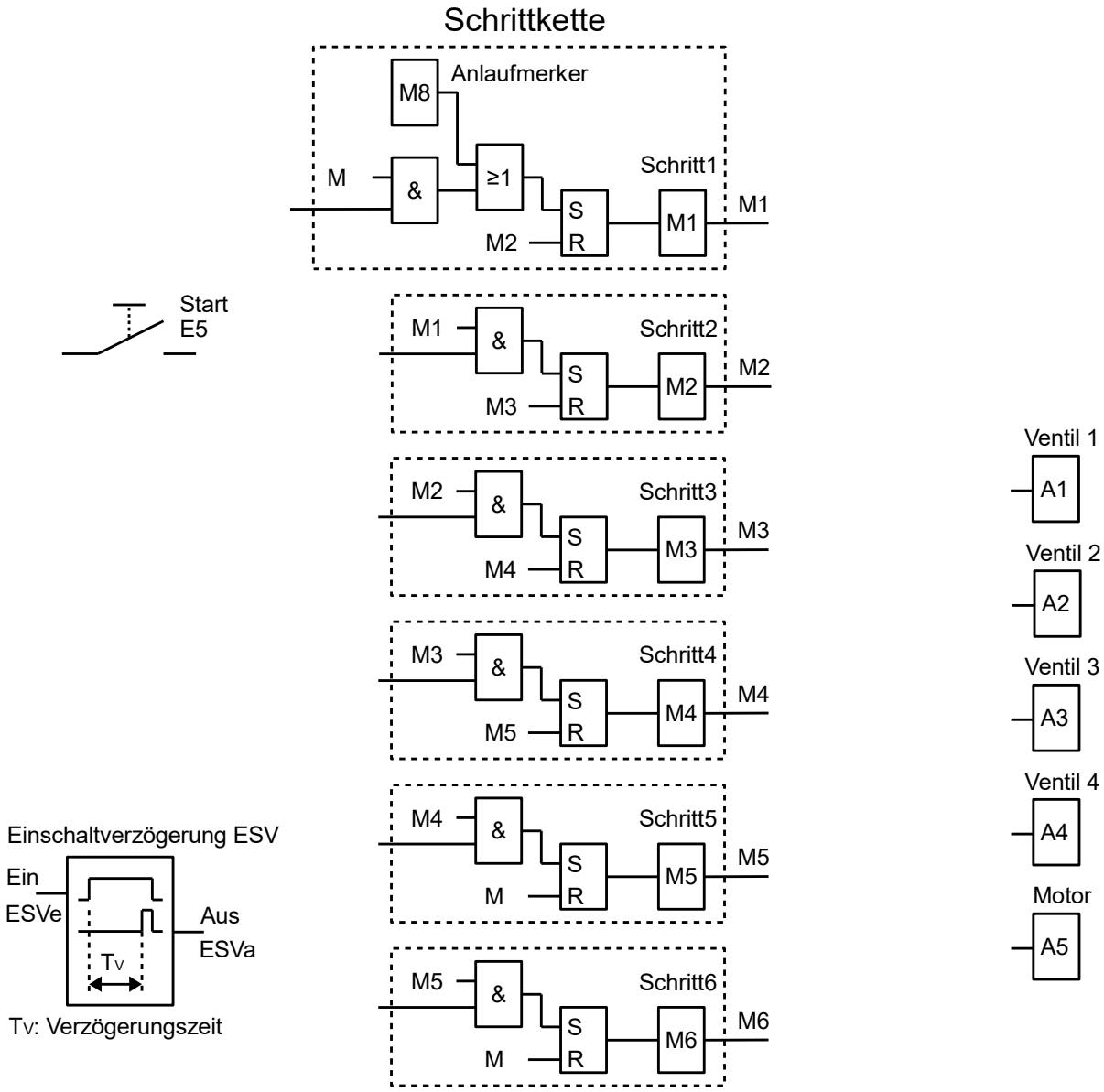
Arbeitsblatt 2

zur Aufgabe 4.3.2 :

Punkte

(4)

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



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

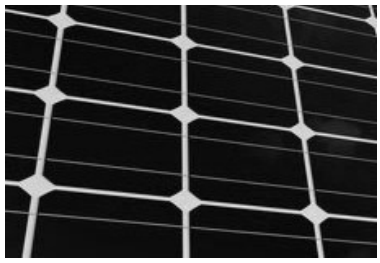
1.1 Solaranlage in Kleingartenanlage

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 E2. 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_{wind} = 12 m/s:
P_{elekt} = 600 W, n = 300 min^{-1}

Generatorwirkungsgrad: η_{Gen} = 0,85

1.3.1	Die Windkraftanlage hat eine Nennleistung von 600 W. Die Kühlschranke 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_{elekt} (v_{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
		30

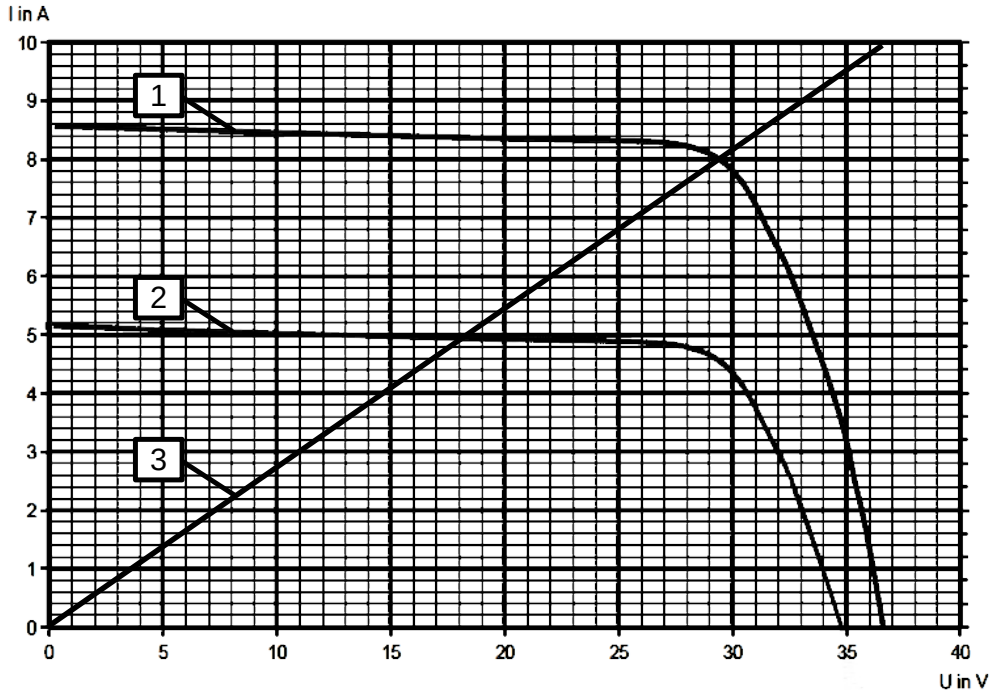
Arbeitsblatt Punkte

zu den Aufgaben 1.1.1, 1.1.4, 1.1.5:

Kennlinie 1: Solarmodul bei Standard-Test-Bedingungen STC, E = 1000 W/m² (2)

Kennlinie 2: Solarmodul bei unbekannter Einstrahlung E_2 bei 25 °C (2)

Kennlinie 3: Hüttenbeleuchtungsanlage (Leuchtmittel mit Vorschaltgerät) (5)

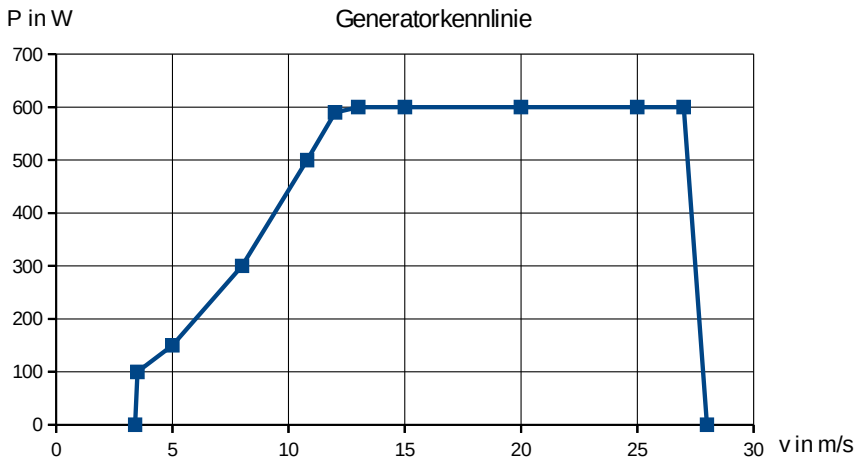


(2)

zu den Aufgaben 1.3.1, 1.3.4:

(2,5)

P_{elekt} (v_{wind}) des Windgenerators

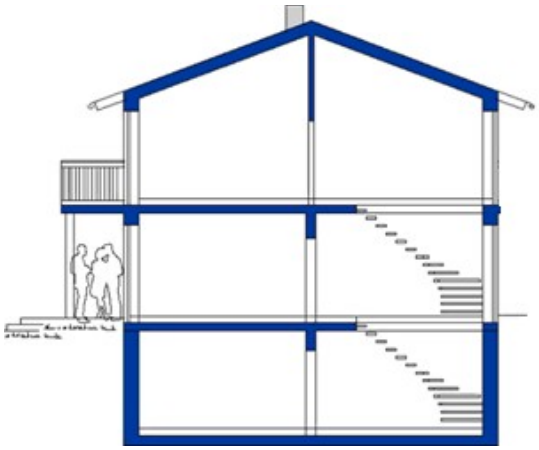


2 Wärmeschutz und BHKW

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 $U_{Fenster}$ = 0,6 W/(m²·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 ΔT = 30 K zwischen Wohnraum- und Außenlufttemperatur.
Die solare Einstrahlung auf die Fensterscheibe beträgt zu diesem Zeitpunkt 300 W/m². 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 cm)
Mauerwerk:	Kalksandstein, Rohdichteklasse 1000 (d = 30 cm)
Außendämmung:	Polystyrolplatten (EPS) WLG 032
Außenputz:	Wärmedämmputz WLG 060 (d = 2 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_{Wand} = 0,15 W/(m²·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.

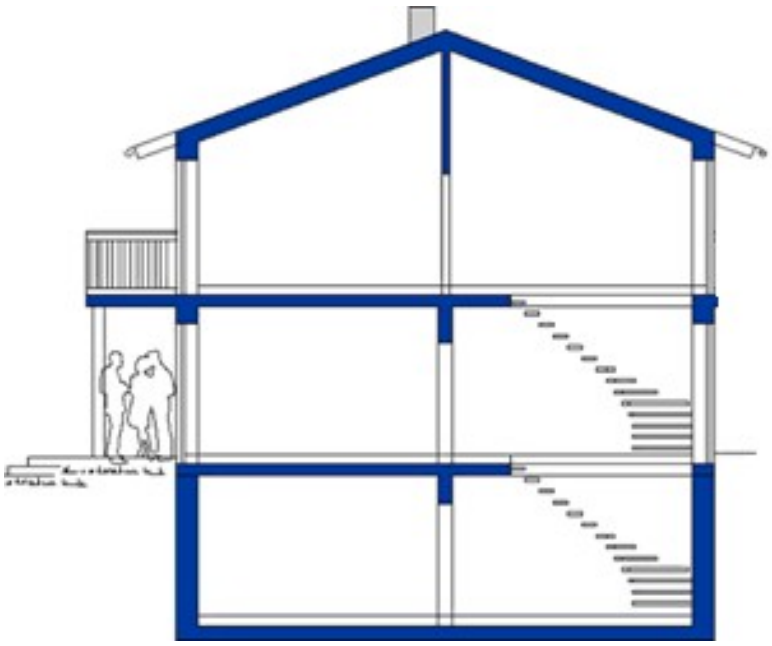
Hinweis: 1 Monat hat 30 Tage

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 m³, 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

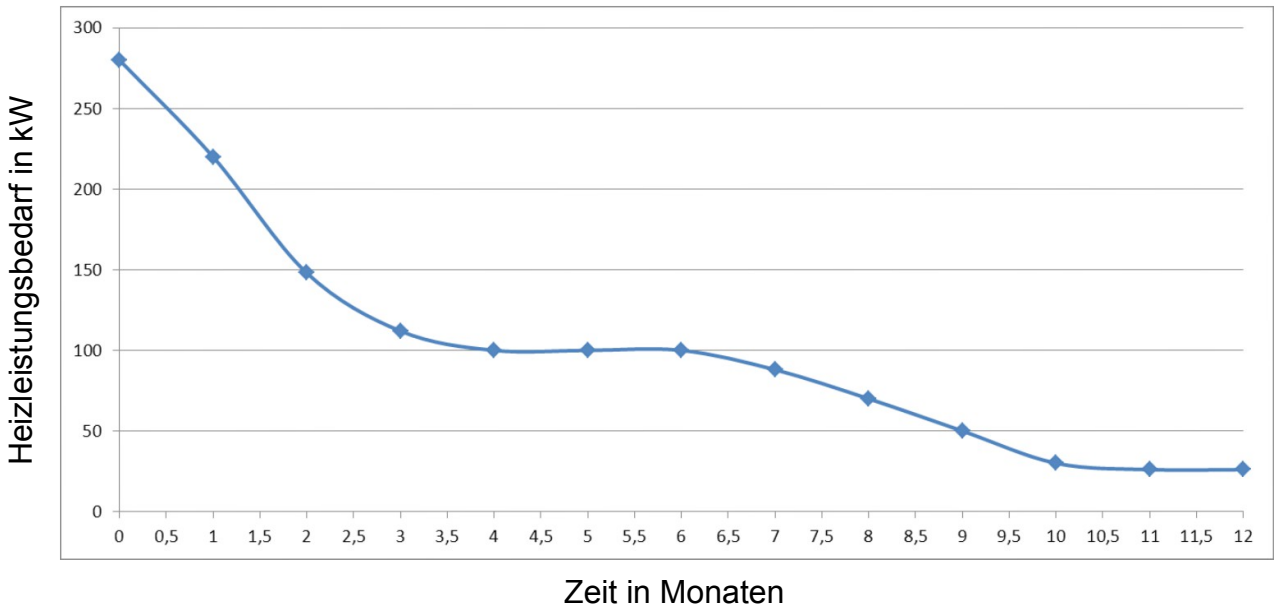
Punkte

zu Aufgabe 2.1.2



(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 $U_{KL,max}$ (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

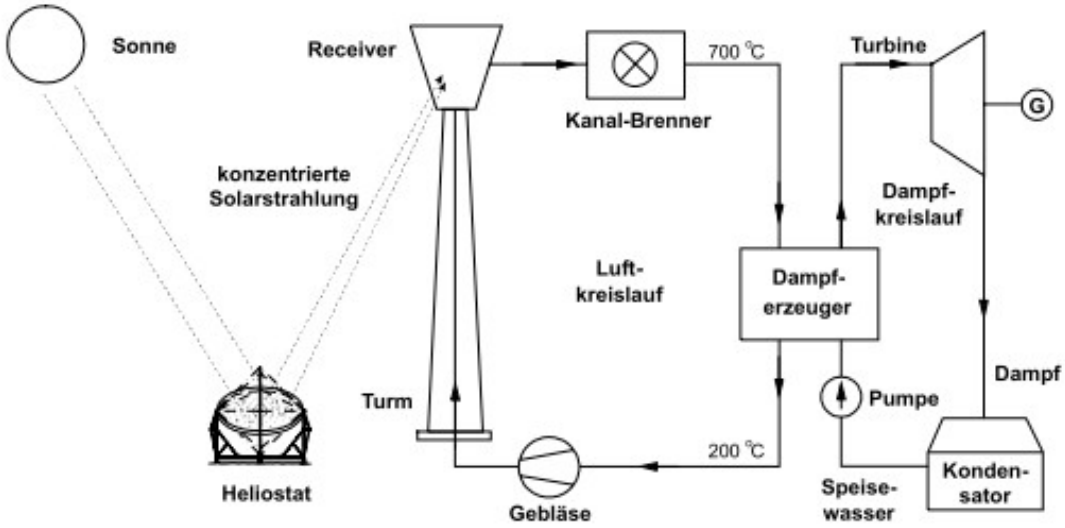
3.1.7 Begründen Sie, weshalb hier das PWM-Prinzip zur Reduzierung der Batteriespannung eingesetzt wird und nicht ein Vorwiderstand. 2

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 min^{-1}. Die vom Motor abgegebene Leistung beträgt P_{mech} = 36,7 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 %. 4

Die Betriebsdauer des Kraftwerks beträgt im Durchschnitt 10 Stunden pro Tag.

Im Receiver (η_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.

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. 2

Zeichnen Sie den Dampfkreisprozess im T,s-Diagramm (s. Arbeitsblatt) ein.

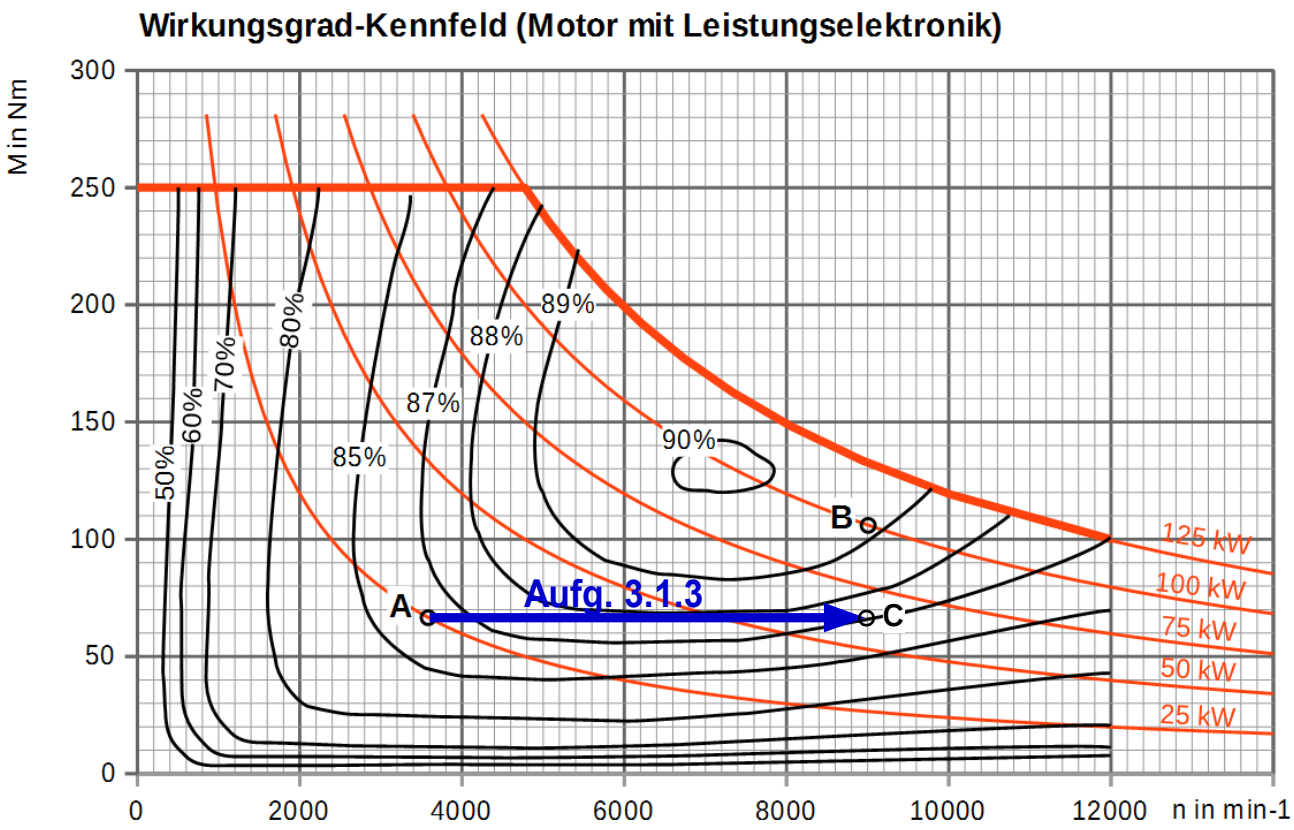
3.2.3 Bei ungünstiger Wetterlage reicht die Solarenergiemenge häufig nur dazu, das Wasser im Dampferzeuger auf Siedetemperatur zu erwärmen und einen Anteil von 50 % zu verdampfen. 4
Die für die vollständige Verdampfung und die anschließende Überhitzung des Wasserdampfes benötigte Wärmeenergie wird dann 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.

30

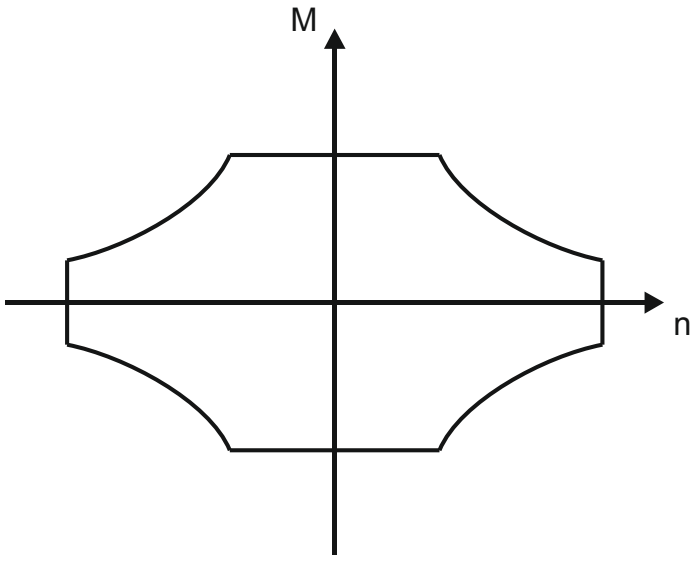
Arbeitsblatt

zu Aufgabe 3.1.1 bis 3.1.5, 3.1.8:

3.1.2: (2)



zu Aufgabe 3.1.9: (2)



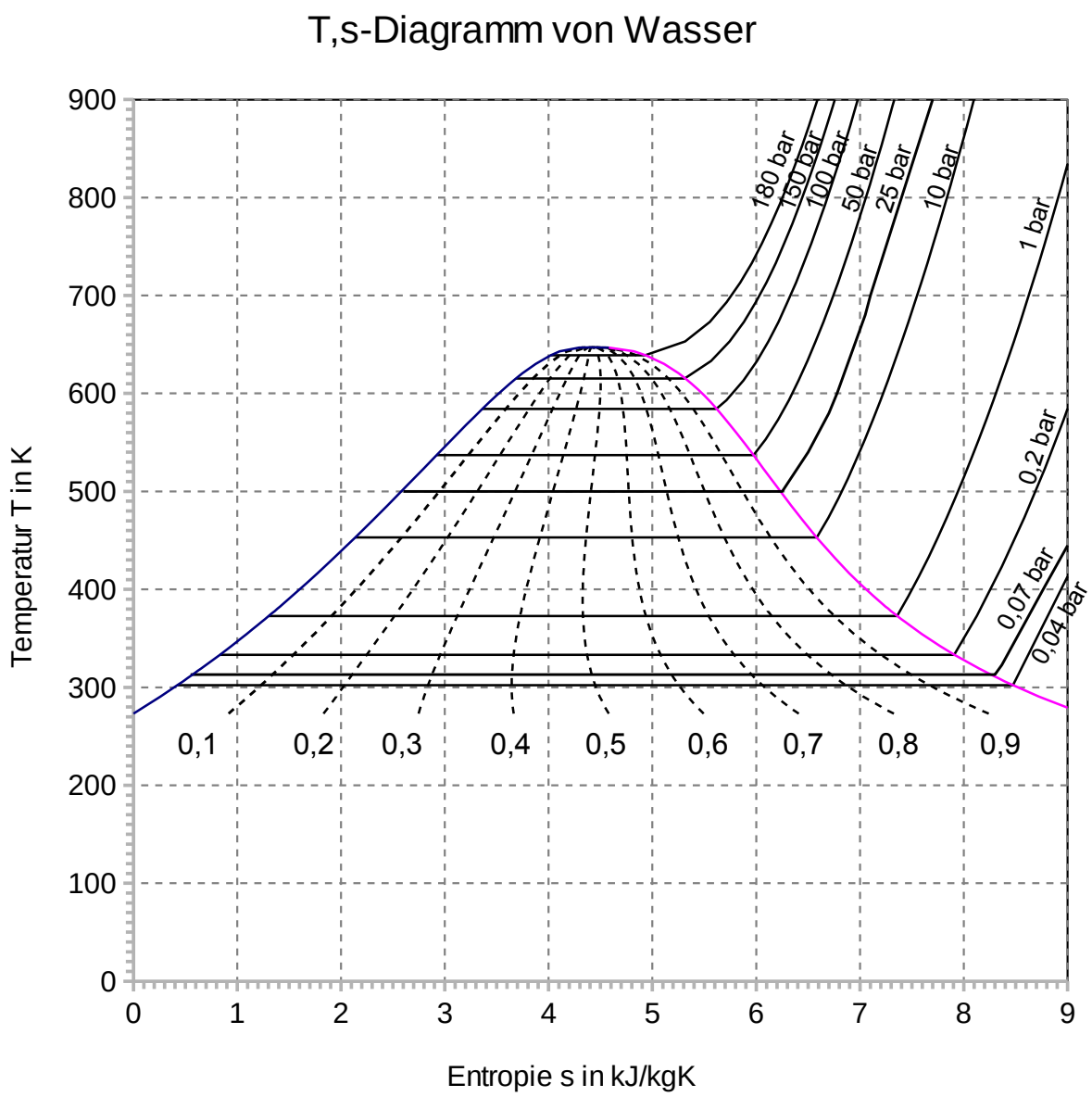
Arbeitsblatt

Punkte

zu Aufgabe 3.2.2und 3.2.3:

(2)

(4)



4 Wahlaufgabe zum Wohnklima, zur Wärmepumpe als Klimaanlage und zur Temperaturregelung

Punkte

4.1 Multi-Split-Klimaanlage / Wärmepumpe

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.

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. — 4

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. — 2

4.1.3 Für das Klimagerät ist eine Heizleistung von 4,0 kW und eine Kühlleistung von 3,5 kW angegeben. — 2

Begründen Sie die Differenz in den Leistungsangaben mit Hilfe eines (nicht maßstäblichen) Energieflussdiagramms.

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 ß. — 3

Erläutern Sie die Aussage der beiden Kennwerte. Begründen Sie, welcher besser für den Vergleich unterschiedlicher Geräte besser geeignet ist.

4.2 Gebäudeklimatisierung

Die Multi-Split-Klimaanlage dient zur Klimatisierung des Bürogebäudes.

An einem Sommertag wird Raumluft mit einer Temperatur $\vartheta = 28\ °C$ und einer relativen Feuchte $\varphi = 60\ \%$ angesaugt und in der Klimaanlage auf $\vartheta = 5\ °C$ abgekühlt.

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. — 4

4.2.2 Ermitteln Sie die Temperatur und die relative Luftfeuchte, wenn die Hälfte der Raumluft durch die Klimaanlage wie oben beschrieben abgekühlt wurde. — 3

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. — 2
Vergleichen Sie beide Möglichkeiten hinsichtlich der Behaglichkeit.

4.3 Temperaturregelung

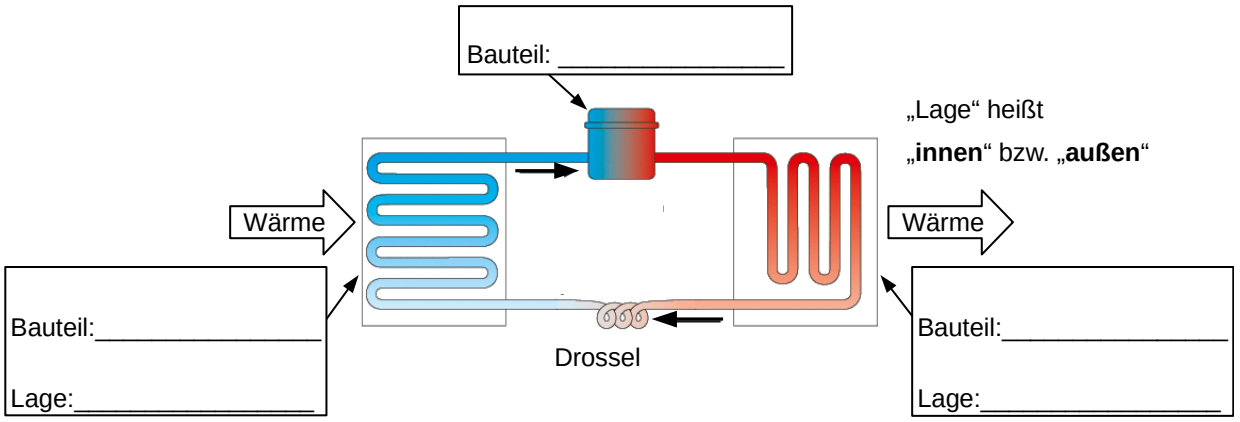
Ein Raum wird über die Klimaanlage auf eine gewünschte Temperatur geregelt. Der Regler schaltet die Heizen-Funktion der Klimaanlage direkt mit der Netzspannung U = 230 V ein bzw. aus. Die Grafik auf dem Arbeitsblatt zeigt die Sprungantwort der Strecke und den Temperaturverlauf mit Regelung.

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:

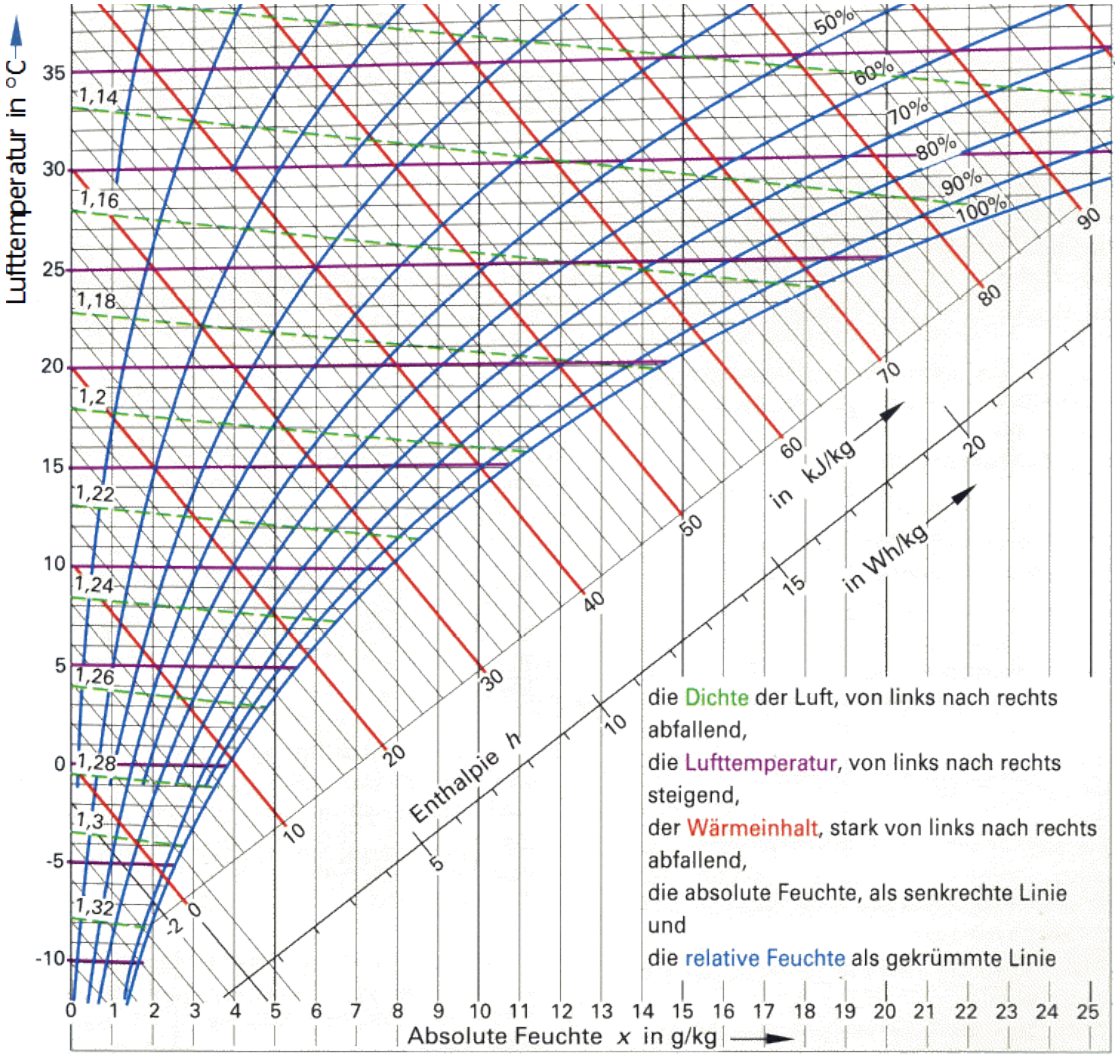
Punkte



(4)

zu Aufgabe
4.2.1, 4.2.2 4.2.3:

(4)

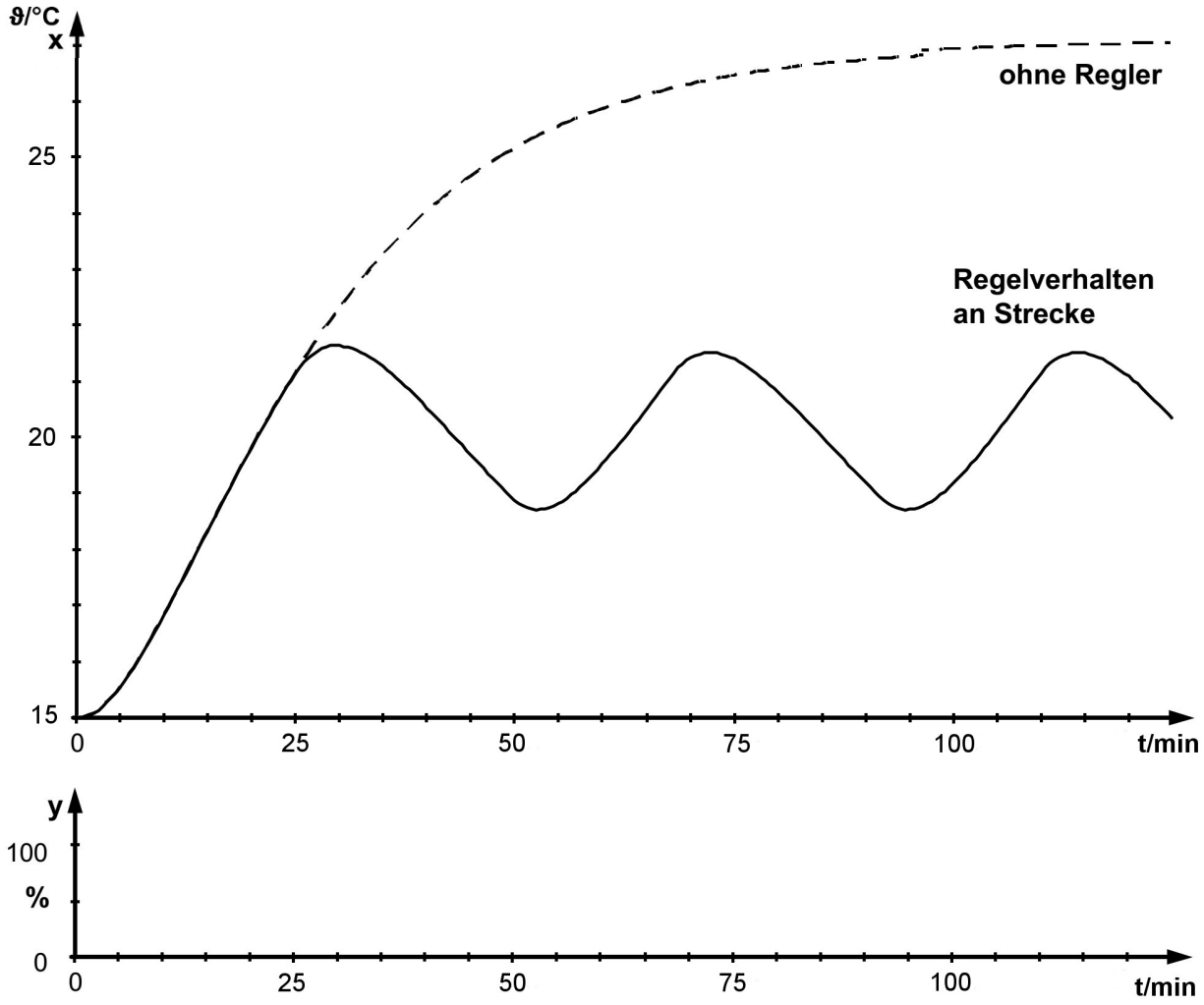


(3)

(2)

Arbeitsblatt

zu Aufgabe 4.3: Temperaturregelung



(2)
(2)
(2)
(2)