

Klausur zur Vorlesung

Energiesysteme

*17. Februar 2010
14:00 – 16:00 Uhr*

Name, Vorname: _____

Fachrichtung: _____

Matrikelnummer: _____

Aufgabenbereich	Punktzahl [%]
1. Mechanische Energie	
2. Chemische Energie	
3. Nukleare Energieerzeugung	
4. Regenerative Energien	
5. Elektrische Energieversorgung	
6. Thermische Energie	
Gesamtergebnis [%] :	
Gesamtnote :	

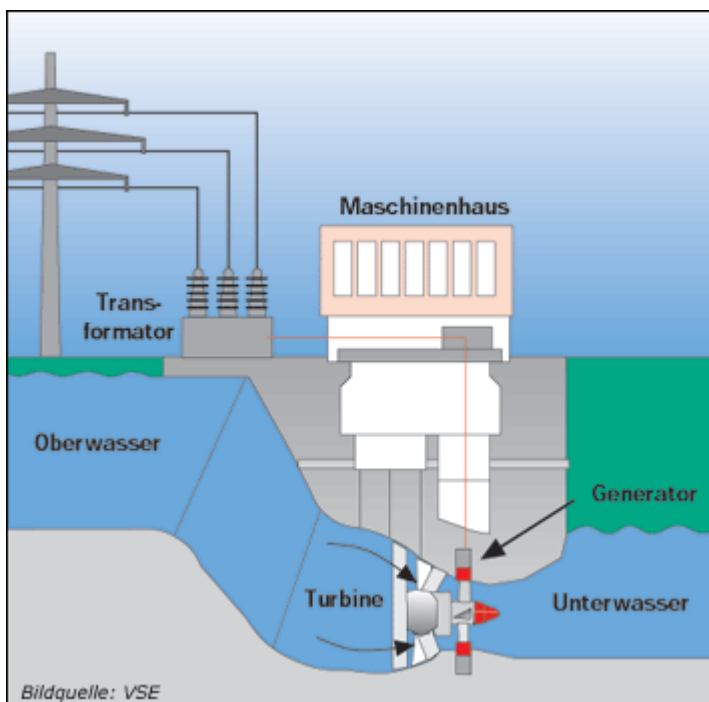
Name, Vorname: _____

Aufgabenbereich 1: Mechanische Energie	Erreichte Punktzahl:
	_____ %

Aufgabe 1 (Wasserkraft)

Laufwasserkraftwerke befinden sich oftmals an großen Flüssen. Die Fallhöhe des Wassers liegt im Bereich 10 – 20m.

Kanalbreite vor dem Kraftwerk: 55 m
 Kanaltiefe vor dem Kraftwerk: 10,5 m
 Fallhöhe des Wassers: 12 m
 Wirkungsgrad der Anlage: 85%
 Dichte des Wassers: 1000 kg/m³



- a) Warum eignen sich Laufwasserkraftwerke nicht zur Abdeckung der Spitzenlast? Welche Kraftwerke werden typischerweise zur Spitzenlastdeckung benutzt? (20%)
- b) Wie groß muss die Fließgeschwindigkeit des Wassers sein, damit eine elektrische Leistung von 250 MW verfügbar ist? (50%)
- c) Welches Drehmoment muss die Turbinenwelle übertragen, wenn die Turbinendrehzahl 300min^{-1} beträgt? (30%)

Name, Vorname: _____

Aufgabenbereich 1: Mechanische Energie	
---	--

Name, Vorname: _____

Aufgabenbereich 2: Chemische Energie	Erreichte Punktzahl:
	_____ %

Aufgabe 1 (50%)

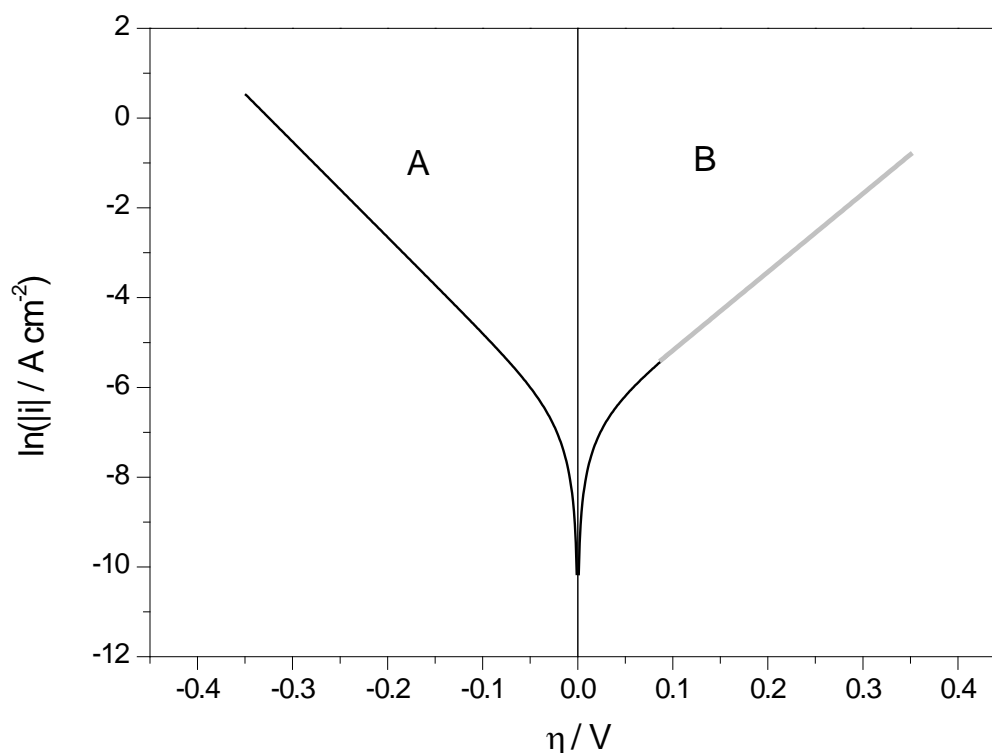
Gegeben sei eine SOFC mit H₂-Luft-Betrieb. Die mittlere Stromdichte \bar{j} beträgt 0.25 A cm⁻².

Berechnen Sie für einen aus 20 quadratischen Zellen mit einer Fläche von 40 cm² bestehenden Stack die folgenden Größen:

- die Leistung des Stacks für $U = 0.7$ V,
 - den benötigten H₂-Durchfluss J_{H_2} (in cm³/s bei 25 °C) bei einer maximalen Brenngasausnutzung von 63 %,
 - den benötigten Luftstrom J_{Luft} (in cm³/s bei 25 °C)
- Hinweis: Faradaykonstante $F = 96487$ As/mol.

Aufgabe 2

Bei der elektrochemischen Charakterisierung einer Batterielektrode erhalten Sie den in der Abbildung gezeigten graphischen Zusammenhang zwischen dem natürlichen Logarithmus der Stromdichte und der Überspannung η an dieser Elektrode. Die Temperatur beträgt 300 K.



Name, Vorname: _____

Aufgabenbereich 2: Chemische Energie	
---	--

a) Die allgemeine Reaktionsgleichung laute: $\text{Red} \xrightleftharpoons[\text{Reduktion}]{\text{Oxidation}} \text{Ox} + e^-$.

Am Gleichgewicht ($\eta = 0$) läuft die Reaktion von links nach rechts (Teilreaktion der Oxidation) genauso schnell ab wie von rechts nach links (Teilreaktion der Reduktion). Welche Teilreaktion dominiert im Bereich A, und welche im Bereich B der Abbildung?

b) Geben Sie die Gleichung (Namen und Formel) an, die die in der Abbildung gezeigte Kurve beschreibt (Hinweis: Konzentrationsterme vernachlässigen).

c) In dem grau dargestellten Kurvenabschnitt im Bereich B hängt $\ln|i|$ näherungsweise linear von η ab: $\ln|i| = n + m \cdot \eta$. Welche Näherung können Sie in diesem Kurvenabschnitt in der Gleichung aus b) einführen? Welche Ausdrücke ergeben sich dann für n und m ?

d) Folgende Werte werden in dem grau dargestellten Kurvenabschnitt im Bereich B gemessen:

η	$\ln i $
0.15	-4.30
0.2	-3.427

Berechnen Sie die Austauschstromdichte für die elektrochemische Reaktion!

Name, Vorname: _____

Aufgabenbereich 2: Chemische Energie	
---	--

Name, Vorname: _____

Aufgabenbereich 3: Nukleare Energie	Erreichte Punktzahl: _____ %
--	-------------------------------------

Aufgabe 1:

Erläutern Sie die Begriffe

- a) verzögerte Neutronen
- b) Barrierenprinzip!

Aufgabe 2:

Wie lange kann ein Leichtwasserreaktor mit einer thermischen Leistung von 3000MW maximal betrieben werden, wenn 1 kg U235 vollständig gespalten werden? Der Rechengang ist anzugeben.

Lochschmidtsche Zahl $L = 6,02 \cdot 10^{23}$ $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As}$

Name, Vorname: _____

Aufgabenbereich 3: Nukleare Energie	
-------------------------------------	--

Name, Vorname: _____

Aufgabenbereich 4: Regenerative Energie	Erreichte Punktzahl: _____ %
---	-------------------------------------

Aufgabe 1 (Photovoltaik) (50%)

Eine Photovoltaik-Anlage soll ein Ferienhaus mit elektrischer Energie versorgen. Der einzusetzende Wechselrichter verträgt auf der Gleichstromseite (Eingangsseite) eine Spannung zwischen 250 und 350 Vdc. Das einzusetzende PV-Modul weist folgende technische Daten auf:

- Zelltyp:	Mono-Si
- MPP-Leistung P_{MPP} :	36 Wp
- Nennstrom I_N :	2 A
- Nennspannung U_N :	18 V
- Kurzschlussstrom I_K :	2,2 A
- Leerlaufspannung U_0 :	21,4 V (bei 25 °C)
- Temp. Spannungskoeff. a_U :	-0,34 %/°C
- Modulwirkungsgrad η :	9,5 %
- Modul-Fläche A:	0,4 m ²
- Strom-Proportionalitätskonstante m:	2,2 10 ⁻³ m ² /V

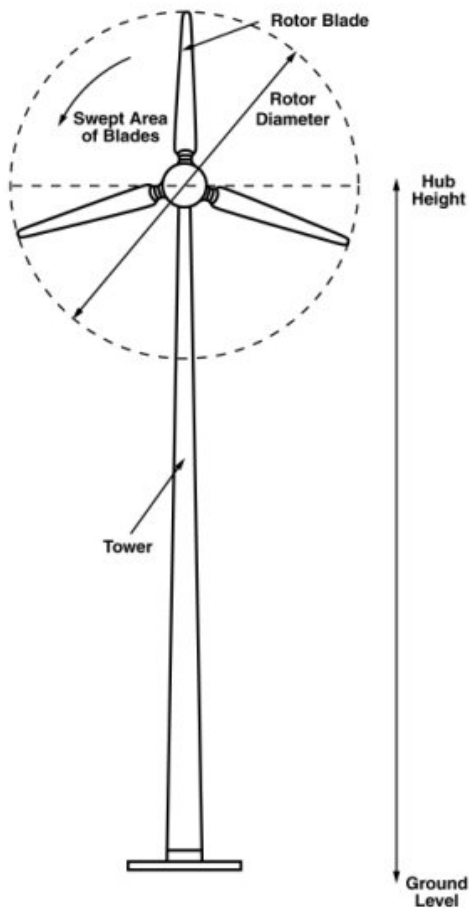
- Wie viele Module werden benötigt, wenn der Spitzenverbrauch des Ferienhauses von 5 kW ab einer Strahlungsdichte von 600 W/m² direkt von der Photovoltaik-Anlage gedeckt werden soll? Der Einfluss der Umgebungstemperatur auf die Spannung (Leerlaufspannung) soll vernachlässigt werden. Der Wechselrichterwirkungsgrad beträgt 98%
- Wie viele Module sind minimal und maximal in Reihe zu schalten, um den Wechselrichter in seinem erlaubten Spannungsbereich zu betreiben?
- Auf welchen maximalen Strom muss der Wechselrichter ausgelegt sein?
- Zeichnen Sie die Strom-Spannungskennlinie einer beleuchteten und unbeleuchteten Solarzelle und kennzeichnen Sie die Leerlaufspannung, den Kurzschlussstrom und den Punkt maximaler Leistung!

Name, Vorname: _____

Aufgabenbereich 4: Regenerative Energien	
---	--

Aufgabe 2 (Windkraft) (50%)

Der Rotordurchmesser einer Windturbine zur Stromerzeugung beträgt $D = 96$ m. Der Leistungsbeiwert nach BETZ betrage $c_p = 0,5$, der Gesamtwirkungsgrad (einschließlich Generatorwirkungsgrad) der Turbine 70%, die Luftdichte $1,2 \text{ kg/m}^3$.



- a. Welche elektrische Leistung hat die Turbine bei einer konstanten Windgeschwindigkeit von 11 m/s ?
- b. Wenn man annimmt, dass die Windgeschwindigkeit am Aufstellort der Turbine
 - 200 h pro Jahr: 11 m/s
 - 3000 h pro Jahr: 8 m/s
 - 3000 h pro Jahr: $4,5 \text{ m/s}$
 - Reststunden des Jahres: 0 m/s

beträgt, wie viele Haushalte mit 2400 kWh Jahresverbrauch könnte theoretisch (d.h. im Schnitt) die Windkraftanlage versorgen?

Name, Vorname: _____

Aufgabenbereich 4: Regenerative Energien	
---	--

Name, Vorname: _____

Aufgabenbereich 5: Elektrische Energie	Erreichte Punktzahl: _____ %
--	-------------------------------------

Aufgabe 1

- An der Strombörse EEX sind seit 2008 auch negative Strompreise möglich. Wie können diese zustande kommen? (10%)
- Erklären Sie die Begriffe **Dämpfungsmaß** und **Phasenmaß** einer elektrischen Leitung anschaulich! (10%)
- Welche Bedeutung hat der Querleitwert einer elektrischen Leitung und welche Eigenschaft besitzt eine Leitung mit $G'=0$? (10%)
- Erläutern Sie die Begriffe **Erdungsschalter**, **Leistungsschalter**, **Lastschalter** und **Trenner!** (20%)

Aufgabe 2

Es sei eine Drehstrom-Freileitung von 700km Länge mit folgenden Betriebseigenschaften gegeben:

- Widerstandsbelag $R' = 0,15\Omega/\text{km}$ $\mu_r = 1,08$
- Leitwertbelag $G' = 0,2\mu\text{S}/\text{km}$ $\epsilon_r = 3,3$
- Induktivitätsbelag $L' = 1\text{mH}/\text{km}$ $c_{\text{Vakuum}} = 300000\text{km}/\text{s}$
- Kapazitätsbelag $C' = 8\text{nF}/\text{km}$
- Netzfrequenz $f = 60\text{Hz}$

- Wie lang darf die Leitung maximal werden, damit sie als „elektrisch kurz“ bezeichnet werden darf? (15%)
- Bestimmen Sie den Wellenwiderstand der Leitung nach Betrag und Phase! (25%)
- Bestimmen Sie den Wellenwiderstand für den verlustlosen Fall! (10%)

Hinweis: Notieren Sie die Zwischenergebnisse und überprüfen Sie Ihre Ergebnisse auf Konsistenz!!!

Name, Vorname: _____

Aufgabenbereich 5: Elektrische Energie	
---	--

Name, Vorname: _____

Aufgabenbereich 5: Elektrische Energie	
--	--

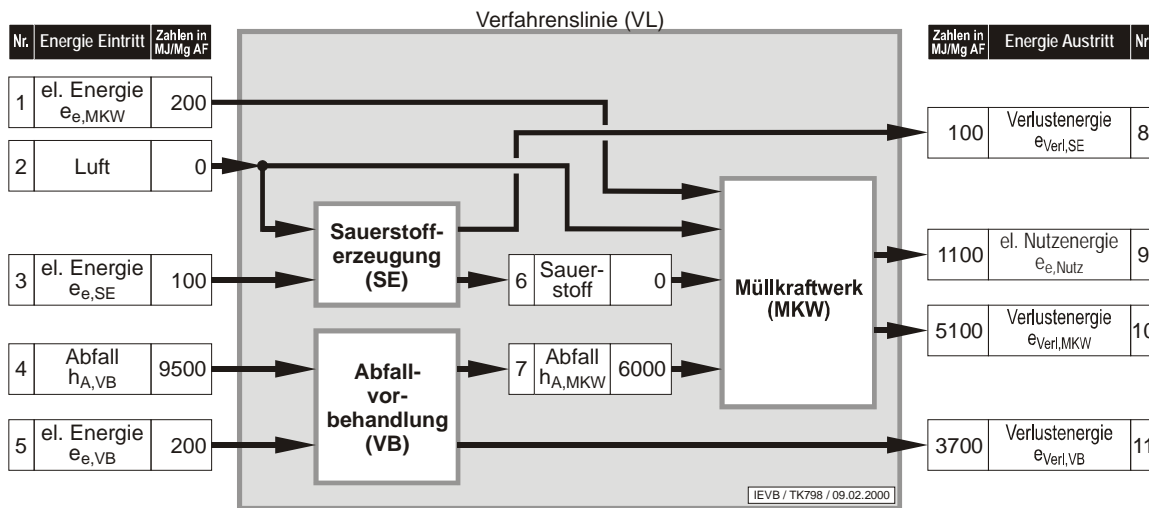
Name, Vorname: _____

Aufgabenbereich 6: Thermische Energie

Erreichte Punktzahl:

_____ %

Aufgabe 1:



Zur Behandlung von Hausmüll wurde eine Verfahrenslinie (VL) entwickelt, deren Energiebilanz vereinfacht im Bild oben dargestellt ist. Dabei wird der Abfall (Nr.4) einem Vorbehandlungsprozeß (VB) zugeführt. Anschließend wird die verbleibende Restfraktion (Nr. 7) in einem Müllkraftwerk (MKW) verbrannt. Die Verbrennung erfolgt mit Sauerstoffanreicherung der Verbrennungsluft, wobei für die externe Erzeugung des Sauerstoffes (SE) elektrische Energie (Nr. 3) aufgewandt werden muß. Das Müllkraftwerk und die Vorbehandlung erfordern ebenfalls elektrische Zusatzenergie (Nr.1 und Nr.5). Die nach der thermischen Behandlung verbleibende Abfallenergie wird als elektrische Nutzenergie (Nr.9) dem öffentlichen Versorgungsnetz zugeführt.

- Bilden Sie den elektrischen Anlagenwirkungsgrad des MKW und der VL.
- Bilden Sie den elektrischen Primärwirkungsgrad der VL, wenn die elektrische Zusatzenergie (Nr. 1, Nr. 3 und Nr. 5) in einem externen Kraftwerk mit einem elektrischen Nettoprimärwirkungsgrad von 35 % erzeugt wird.
- Bilden Sie den elektrischen Nettoprimärwirkungsgrad der gesamten VL.

Name, Vorname: _____

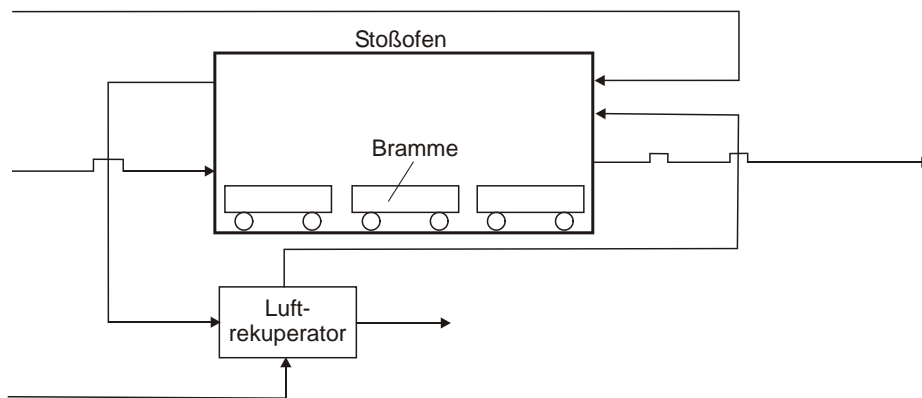
Aufgabenbereich 6: Thermische Energie	
--	--

Aufgabe 2:

Zur Erwärmung von Stahlbrammen (Gut „G“) von $\vartheta_{G,1} = 600 \text{ °C}$ auf $\vartheta_{G,2} = 1250 \text{ °C}$ wird ein Kokereigasvolumenstrom von $\dot{V}_{KG} = 42000 \text{ m}^3/\text{h}$ in einem als adiabat zu betrachtenden Ofen verbrannt, durch den ein Gutmassenstrom $\dot{m}_G = 450 \text{ t/h}$ transportiert wird. Die Verbrennungsluft wird in einem Rekuperator von $\vartheta_{L,1} = 20 \text{ °C}$ auf $\vartheta_{L,2} = 500 \text{ °C}$ vorgewärmt, während die sensible Enthalpie des Kokereigases vernachlässigt werden kann. Untenstehende Skizze zeigt ein Schema der Anlage.

benötigte Angaben:

$\psi_{H_2,KG}$	0,54 $\text{m}^3 \text{H}_2 / \text{m}^3 \text{KG}$	$c_{p,L}$	1,37 $\text{kJ} / (\text{m}^3 \cdot \text{K})$
$\psi_{CH_4,KG}$	0,25 $\text{m}^3 \text{CH}_4 / \text{m}^3 \text{KG}$	$c_{p,AG}$	1,5 $\text{kJ} / (\text{m}^3 \cdot \text{K})$
$\psi_{CO_2,KG}$	0,02 $\text{m}^3 \text{CO}_2 / \text{m}^3 \text{KG}$	c_G	0,7 $\text{kJ} / (\text{kg} \cdot \text{K})$
$\psi_{N_2,KG}$	0,19 $\text{m}^3 \text{N}_2 / \text{m}^3 \text{KG}$	$\psi_{N_2,L}$	0,79 $\text{m}^3 \text{N}_2 / \text{m}^3 \text{L}$
$h_{u,KG}$	16 $\text{MJ} / \text{m}^3 \text{KG}$	$\psi_{O_2,L}$	0,21 $\text{m}^3 \text{O}_2 / \text{m}^3 \text{L}$
$a_{f,KG,\lambda = 1,3}$	5,5 $\text{m}^3 \text{AG} / \text{m}^3 \text{KG}$		



- a) Bestimmen Sie den Mindestsauerstoffbedarf $o_{\min} [\text{m}^3 \text{O}_2 / \text{m}^3 \text{KG}]$ sowie den Mindestluftbedarf $l_{\min} [\text{m}^3 \text{Luft} / \text{m}^3 \text{KG}]$ für die Verbrennung des Kokereigases.
- b) Ergänzen Sie die Skizze mit allen relevanten Enthalpieströmen (nur Symbole, keine Zahlen) sowie den entsprechenden Temperaturen (Symbole und, soweit vorgegeben, Zahlen).
- c) Bestimmen Sie die sich einstellende kalorische Verbrennungstemperatur ϑ_{kal} , wenn die Verbrennung bei einer Luftzahl $\lambda = 1,3$ abläuft.
- d) Bestimmen Sie den an das Gut übertragenen Wärmestrom \dot{Q}_G .

Name, Vorname: _____

Aufgabenbereich 6: Thermische Energie	
--	--

- e) Bestimmen Sie den Gesamtwirkungsgrad $\eta_{\text{ges,L}}$ des Luftrekuperators, wenn das Abgas mit der Temperatur $\vartheta_{\text{AG}} = 1100 \text{ }^\circ\text{C}$ in den Rekuperator eintritt.

Name, Vorname: _____

Aufgabenbereich 6: Thermische Energie	
--	--