

Klausur zur Vorlesung

Energiesysteme

25. Februar 2009

08:00 – 10:00 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)

Ein Laufwasserkraftwerk habe eine elektrische Leistung von 10MW. Machen Sie eine Abschätzung, ob diese Leistung aus der Abbremsung des Wassers resultieren kann. Folgende Annahmen sollen gelten:

Kanalbreite vor dem Kraftwerk: 25m

Kanaltiefe vor dem Kraftwerk: 4m

Wassergeschwindigkeit: 2m/s

 $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}(mv^2)$, Dichte des Wassers: 1000kg/m³

Gehen Sie weiterhin davon aus, dass etwa 50% dieser kinetischen Energie genutzt werden kann.

Aufgabe 2 (Wasserkraft)

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

- Warum eignen sich Laufwasserkraftwerke nicht zur Abdeckung der Spitzenlast?
- In einem Laufwasserkraftwerk ist der maximale Durchfluß 2040m³/s, die Fallhöhe des Wassers beträgt 16m. Berechnen Sie die maximal mögliche Leistung des Kraftwerks.
- Die tatsächliche Leistung des Kraftwerks ist 282MW. Wie groß ist der Wirkungsgrad der Anlage?

Aufgabe 3 (Wasserkraft)

Das **Walchenseekraftwerk** ist ein 1924 in Kochel am See in Betrieb genommenes Hochdruck-Speicherkraftwerk in Bayern. Es ist mit einer installierten Leistung von 124 MW bis heute eines der größten seiner Art in Deutschland. Das Speicherkraftwerk nutzt bei einem natürlichen Gefälle von gut 200m zwischen dem als „Oberbecken“ fungierenden Walchensee (802 m ü. NN) und dem „Unterbecken“ Kochelsee (599 m ü. NN) die Wasserkraft zur regenerativen Stromerzeugung. Über sechs ca. 450 Meter lange Rohrleitungen, die die beiden natürlichen „Becken“ verbinden, strömt das Wasser zu den Turbinen dieses Wasserkraftwerks: vier Pelton- und vier Francis-Turbinen.

Es gelten folgende Annahmen:

Höhendifferenz der Wasseroberflächen $h = 200\text{m}$ Fläche des Walchensees $A = 16\text{km}^2$ Mittlere Tiefe des Walchensees $t = 100\text{m}$

Name, Vorname: _____

Aufgabenbereich 1: Mechanische Energie	
---	--

- a) Berechnen Sie daraus die gesamte Lageenergie, die im Walchenseewasser steckt. Beachten Sie, dass nur der mittlere Höhenunterschied des Walchenseewassers zur Oberfläche zur Oberfläche des Kochelsees gerechnet werden darf.
- b) Wie lange könnte man Bayern mit dieser Energiereserve mit Elektrizität versorgen, wenn im Mittel dazu 4000MW elektrische Leistung benötigt werden. Der Wirkungsgrad des Walchenseekraftwerks soll mit 40% angenommen werden.

Name, Vorname: _____

Aufgabenbereich 1: Mechanische Energie	
--	--

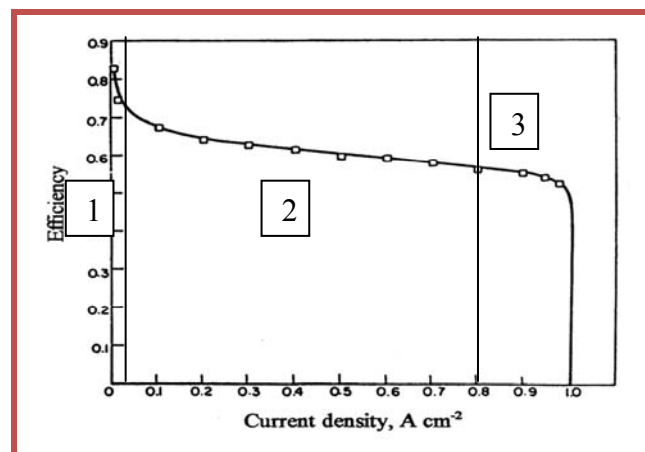
Name, Vorname: _____

Aufgabenbereich 2: Chemische Energie	Erreichte Punktzahl: _____ %
---	-------------------------------------

Aufgabe 1

Die freie Reaktionsenthalpie $\Delta_R G$ der Verbrennungsreaktion von Methanol mit Sauerstoff zu Kohlendioxid und Wasser beträgt -706 kJ/mol und die Reaktionsenthalpie $\Delta_R H = -763 \text{ kJ/mol}$. Sie wollen Methanol als Brennstoff in einer Direktmethanol-Brennstoffzelle einsetzen. (40%)

- Welches ist der maximale Wirkungsgrad, den diese Brennstoffzelle erreichen kann?
- Die Zahl der in der Zellreaktion übertragenen Elektronen ist 6. Wie groß ist die Gleichgewichtszellspannung?
- Die folgende Abbildung zeigt den praktischen Wirkungsgrad einer Brennstoffzelle in Abhängigkeit von dem gelieferten Strom. Geben sie für jeden der Bereiche 1, 2, und 3 an, welche Eigenschaften, bzw. physikalischen Vorgänge (z.B. Überspannungsarten) in diesem Strombereich den Kurvenverlauf bestimmen.

**Aufgabe 2**

Die Gleichgewichtszellspannung einer bei $T = 1000 \text{ K}$ betriebenen Brennstoffzelle betrage $1,23 \text{ V}$. Wird der Zelle ein Strom von $0,0144 \text{ A/cm}^2$ entnommen, so wird eine Spannung von $1,0 \text{ V}$ gemessen. Wird der Zelle ein Strom von $0,147 \text{ A/cm}^2$ entnommen, wird eine Spannung von $0,8 \text{ V}$ gemessen. Nehmen Sie an, dass der ohmsche Widerstand des Elektrolyten und die Überspannungen der Anodenreaktion vernachlässigt werden können, und nur die Überspannungen an der Kathode von Bedeutung sind. (60%)

- Berechnen Sie die Überspannungen an der Kathode für die beiden Stromwerte.
- Geben Sie die Butler-Volmer-Gleichung und die im vorliegenden Fall anwendbare Näherung an. Begründen Sie die gemachten Vereinfachungen.

Name, Vorname: _____

Aufgabenbereich 2: Chemische Energie	
---	--

- c) Berechnen Sie die Austauschstromdichte für die Kathodenreaktion. (Hinweis: Setzen Sie die Werte aus a) für die Überspannungen und die zugehörigen Ströme jeweils in die Näherungsgleichung aus b) ein. Sie erhalten 2 Gleichungen mit 2 Unbekannten, die Sie lösen können. Berücksichtigen Sie die Vorzeichen für Überspannung und Ströme bei kathodischen Reaktionen).

Name, Vorname: _____

Aufgabenbereich 2: Chemische Energie	
--------------------------------------	--

Name, Vorname: _____

Aufgabenbereich 3: Nukleare Energie

Erreichte Punktzahl:

_____ %

Aufgabe 1

Erläutern Sie die Begriffe

- a) schnelle Neutronen
- b) langsame Neutronen
- c) prompte Neutronen
- d) verzögerte Neutronen
- e) Not- und Nachkühlsysteme

diversitäre Abschaltssysteme

Barrierenprinzip

Aufgabe 2:

Wieviele U-235 Kerne müssen gespalten werden, um die elektrische Energie von 1Ws zu erzeugen?

Geben Sie den Rechenweg an!

Name, Vorname: _____

Aufgabenbereich 3: Nukleare Energie	
--	--

Name, Vorname: _____

Aufgabenbereich 4: Regenerative Energie

Erreichte Punktzahl:

_____ %

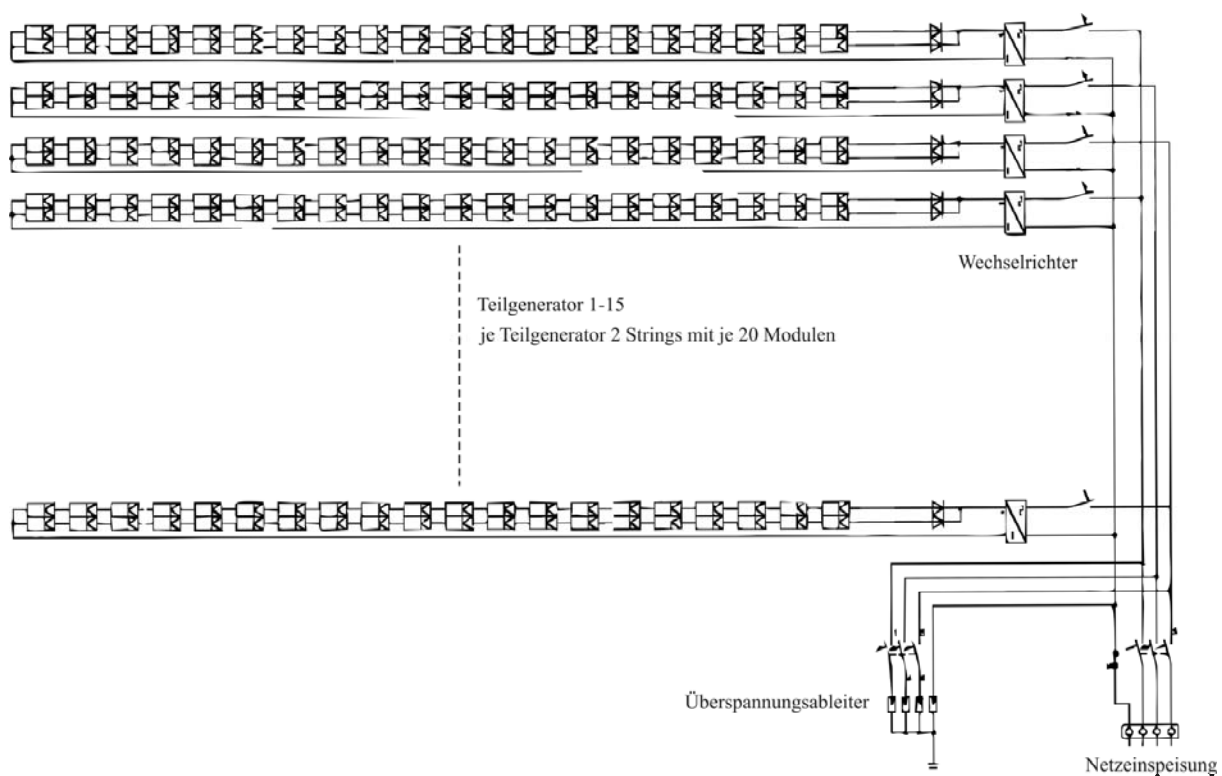
Aufgabe 1 (Windenergie)

Seit September 2002 läuft bei Magdeburg die derzeit größte Windkraftanlage der Firma Enercon. Der Rotor mit einem Durchmesser $D = 102\text{m}$ ist auf einem 120m hohen Mast angeordnet. Die Nennleistung wird mit $P_{W,Nenn} = 4,5\text{MW}$ angegeben.

- Welche Windgeschwindigkeit c ist nötig, um die Nennleistung zu erreichen? Der Leistungsbeiwert nach BETZ betrage $c_P = 0,5$ (statt des theoretisch maximalen Wertes von etwa $0,6$), der Gesamtwirkungsgrad der Turbine 70% , die Luftdichte $1,2\text{ kg/m}^3$.
- Wenn man (sehr optimistisch) annimmt, dass die Anlage $T = 8000$ Stunden pro Jahr die Nennleistung an das elektrische Netz liefert, wie viele Haushalte mit 2400kWh Jahresverbrauch kann die Windkraftanlage versorgen?

Aufgabe 2 (Photovoltaik)

Im März 2000 wurde eine netzgekoppelte Photovoltaikanlage auf dem Baugebäude der Fachhochschule Lübeck errichtet. Aufgebaut ist die Anlage mit 600 Solarmodulen des Typs BP585L des Herstellers BP-Solar. Die erzeugte Energie wird über 15 „Strang-Wechselrichter“ an das öffentliche Stromnetz abgegeben. An jedem Wechselrichter sind zwei parallel geschaltete Stränge mit jeweils 20 Modulen.



Name, Vorname: _____

Aufgabenbereich 4: Regenerative Energien	
---	--

Das Solarmodul besitzt folgende Daten:

Silizium-Material:	monokristallin	Anzahl der Zellen:	36
Nennstrom:	4,72A	Kurzschlußstrom:	5A
Nennspannung:	18V	Leerlaufspannung:	22V
Wirkungsgrad:	13,7%	Länge:	1183mm
Breite:	525mm		

- Berechnen Sie die Leistung eines Moduls im optimalen Betriebspunkt.
- Für welche maximale Eingangsspannung, welchen maximalen Eingangsstrom und welche maximale Leistung muß jeweils ein Strang-Wechselrichter ausgelegt werden?
- Welche Leistungseinspeisung in das öffentliche Netz ist für die gesamte Anlage zu erwarten, wenn von einer Strahlungsdichte von $G = 800\text{W/m}^2$ und $G = 1000\text{W/m}^2$ ausgegangen wird? (Der Wechselrichterwirkungsgrad liege bei 98%)
- Welchen Zweck erfüllen die Bypassdioden in jedem Modul?
- In der obigen Abbildung sind Strangdioden zu erkennen. Diese früher üblichen Strangdioden können heute meist entfallen, da ihre Schutzwirkung gering ist. Welchen wesentlichen Nachteil besitzen diese Strangdioden?

Name, Vorname: _____

Aufgabenbereich 4: Regenerative Energien	
--	--

Name, Vorname: _____

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

Aufgabe 1

Es sei eine Drehstrom-Freileitung von 300km Länge mit folgenden Betriebseigenschaften gegeben:

- Widerstandsbelag $R' = 0,1\Omega/\text{km}$
- Leitwertbelag $G' = 0$
- Induktivitätsbelag $L' = 1\text{mH}/\text{km}$
- Kapazitätsbelag $C' = 10\text{nF}/\text{km}$
- Netzfrequenz $f = 50\text{Hz}$
- Länge der Leitung: 300km

Die Strangspannung soll am Ende der Leitung 110kV betragen bei einer entnommenen Wirkleistung von 10MW je Strang und einem $\cos\varphi$ von 0,85 induktiv.

- a) Bestimmen Sie den Wellenwiderstand der Leitung nach Betrag und Phase! (20%)
- b) Wie groß muss die Spannung am Anfang der Leitung sein (Betrag und Phase)? (20%)

Hinweis:

$$\sinh \gamma l = 0,047 + j5,27 \cdot 10^{-3}$$

$$\cosh \gamma l = 1,001$$

- c) Zeichnen Sie Strom und Spannung am Ende der Leitung und die Spannung am Anfang der Leitung in ein Zeigerdiagramm (Maßstab: 10kV/cm und 20A/cm)! (20%)

Hinweis: Legen Sie den Zeiger von \underline{U}_2 als Bezugszeiger in die reelle Achse!

Sollten Sie aus Teil b) kein Ergebnis für \underline{U}_1 erhalten, benutzen Sie $\underline{U}_1 = 115 \cdot 10^3 \text{V} \cdot e^{-j5^\circ}$!

- d) Zur Kompensation der induktiven Blindleistung des Verbrauchers soll am Leitungsende eine Kondensatorgruppe installiert werden. Bestimmen Sie die benötigte Kapazität! (10%)
- e) Wie verändert sich qualitativ die Eingangsspannung \underline{U}_1 ? Machen Sie qualitative Angaben im Vergleich zum Ergebnis von Teil b). (10%)

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

Name, Vorname: _____

Aufgabenbereich 5: Elektrische Energieversorgung	
---	--

f) Die verwendete Leitung besitzt weiterhin folgende Materialeigenschaften:

$$\mu_r = 1,05 \text{ und } \varepsilon_r = 3,5, \quad c_{\text{Vakuum}} = 300000 \text{ km/s}$$

Wie lang darf die Leitung sein, damit Sie als „elektrisch kurze“ Leitung behandelt werden kann?
(10%)

Aufgabe 2:

Erläutern Sie, warum es zu in der elektrischen Energieversorgung zu einer Frequenzabsenkung am Tag und einer Frequenzerhöhung in der Nacht kommen kann!
(10%)

Name, Vorname: _____

Aufgabenbereich 5: Elektrische Energieversorgung	
--	--

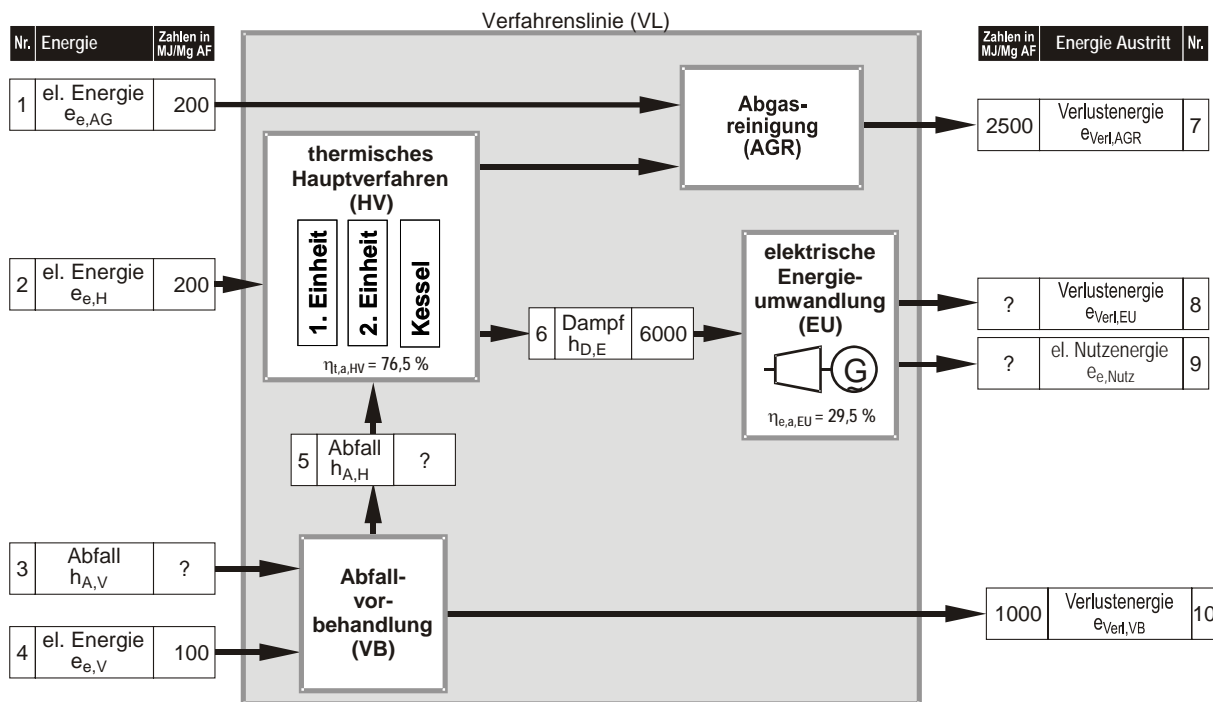
Name, Vorname: _____

Aufgabenbereich 6: Thermische Energie

Erreichte Punktzahl:

_____ %

Aufgabe 1:



In der oben skizzierten Verfahrenslinie (VL) zur thermischen Behandlung von Hausmüll wird der Abfall (Nr. 3) zunächst einer Vorbehandlung zugeführt. In dem anschließenden thermischen Hauptverfahren (HV) entstehen Dampf (Nr. 6) und Abgas.

Der Dampf treibt über eine Turbine einen Generator (EU) zur Erzeugung elektrischer Nutzenergie (Nr. 9) an. Das Abgas wird in einer nachgeschalteten Abgasreinigungsanlage (AGR) von Schadstoffen befreit.

Sämtliche berechneten Energien sind auf die nächste Hunderterstelle aufzurunden!

- Berechnen Sie $h_{A,HV}$, wenn der thermische Anlagenwirkungsgrad des thermischen Hauptverfahrens (HV) $\eta_{t,a,HV} = 76,5\%$ beträgt. Wie groß ist $h_{A,VB}$?
- Wie groß ist die elektrische Nutzenergie $e_{e,Nutz}$, wenn der elektrische Anlagenwirkungsgrad der Anlage zur elektrischen Energieumwandlung (EU) $\eta_{e,a,EU} = 29,5\%$ beträgt?
- Bilden Sie den elektrischen Anlagenwirkungsgrad $\eta_{e,a,VL}$ der Verfahrenslinie (VL).

Name, Vorname: _____

Aufgabenbereich 6: Thermische Energie	
--	--

- d) Der elektrische Primärwirkungsgrad der VL beträgt $\eta_{e,p,VL} = 17,6 \%$. Mit welchem elektrischen Nettoprimärwirkungsgrad $\eta_{e,n,KW}$ arbeitet das externe Kraftwerk zur Erzeugung der elektrischen Zusatzenergien (Nr. 1, Nr. 2 und Nr. 4)?
- e) Bilden Sie den elektrischen Nettoprimärwirkungsgrad $\eta_{e,n,VL}$ der Verfahrenslinie (VL).

Aufgabe 2:

In einem Stahlwerk wird durch Blasen mit Sauerstoff in Konvertern aus Roheisen Rohstahl erzeugt. Aus den Konvertern wird der Rohstahl zur weiteren Behandlung in Pfannen gefüllt. Diese Pfannen werden vor dem Füllen mit dem beim Blasprozeß anfallenden Konvertergas (KG), welches im wesentlichen aus CO, CO₂ und N₂ besteht, aufgeheizt.

benötigte Angaben (Hinweis: sämtliche angegebene Werte werden benötigt!):

M_{O_2}	32	kg / kmol
M_C	12	kg / kmol
$\xi_{CO,KG}$	0,605	Ma.-%
$\xi_{O_2,Luft}$	0,232	Ma.-%
$h_{u,KG}$	6115	kJ / kg
$c_{p,A} \Big _0^{\vartheta_A}$	1,35	kJ / (kg·K)
ρ_{KG}	1,371	kg / m ³ (i.N.)

- a) Berechnen Sie den Mindestsauerstoffbedarf O_{min} [kg O₂ / kg KG] sowie den Mindestluftbedarf L_{min} [kg Luft / kg KG] für die Verbrennung des Konvertergases.
- b) Die sich einstellende kalorische Verbrennungstemperatur ϑ_{kal} beträgt 1520 °C. Bei welcher Luftzahl λ läuft die Verbrennung ab? Bei der Berechnung seien sensible Energien von Konvertergas und Luft vernachlässigbar.
- c) Wie groß ist die spezifische Abgasmenge A [kg A / kg KG] unter diesen Bedingungen? (Wenn Sie die Luftzahl unter Aufgabenpunkt „b)“ nicht berechnen konnten, nehmen Sie $\lambda_2 = 1,5$ an!)
- d) Der gesamte übertragene Wärmestrom \dot{Q}_{ges} - zusammengesetzt aus dem an die Pfanne übertragenen Wärmestrom sowie dem Verlustwärmestrom an die Umgebung - beläuft sich auf 400 kW. Die sich einstellende Bilanztemperatur ϑ_{Bz} beträgt 1250 °C. Berechnen Sie den eingesetzten Konvertergasvolumenstrom \dot{V}_{KG} [m³(i.N.) KG / h].

Name, Vorname: _____

Aufgabenbereich 6: Thermische Energie	
---------------------------------------	--

Name, Vorname: _____

Aufgabenbereich 6: Thermische Energie	
--	--