

*Klausur zur Vorlesung*

# Energiesysteme

*21. Februar 2008*

*14:00 – 16:00 Uhr*

Name, Vorname: \_\_\_\_\_

Fachrichtung: \_\_\_\_\_

Matrikelnummer: \_\_\_\_\_

<b>Aufgabenbereich</b>	<b>Punktzahl [%]</b>
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)**

Das Wasserkraftwerk Siesel ist ein Laufwasserkraftwerk an der Lenne in Plettenberg. Es wurde 1898 in Betrieb genommen. Inzwischen verfügt das Kraftwerk über drei Turbinen mit jeweils einem Schluckvermögen von  $10\text{m}^3/\text{s}$  und einer elektrischen Leistung von  $600\text{kW}$ . Die Nutzhöhe liegt bei  $9\text{m}$  ( $g = 9,81\text{m/s}^2$ , die Dichte des Wassers beträgt  $1000\text{kg/m}^3$ ).

- a) Berechnen Sie das Leistungsvermögen des Wassers.
- b) Wie groß ist der Gesamtwirkungsgrad der Anlage im Nennbetrieb?
- c) Der Gesamtwirkungsgrad des Kraftwerkes hängt vom Anlagentyp ab. Welcher Bereich ist hier realistisch?
- d) Welche Turbinenarten kommen hier normalerweise zum Einsatz?
- e) Nennen Sie die verschiedenen Arten von Wasserkraftwerken und beschreiben Sie die Aufgaben.

**Aufgabenbereich 1: Mechanische Energie**

Name, Vorname: \_\_\_\_\_

Name, Vorname: \_\_\_\_\_

Aufgabenbereich 1: Mechanische Energie	
--	--

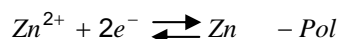
Name, Vorname: \_\_\_\_\_

<b>Aufgabenbereich 2: Chemische Energie</b>	Erreichte Punktzahl:  _____ %
---	-------------------------------------

**Aufgabe 1**

Die elektrochemischen Prinzipien einer Batterie sind mit denen der Brennstoffzelle identisch. Dies betrifft insbesondere die Zuordnung der Begriffe Kathode und Anode im Betrieb zum Plus-, bzw. Minuspol der Zelle, und die Richtung der Reaktionen an Plus- und Minuspol im Betrieb (z.B. als Taschenlampenbatterie). Ein wesentlicher Unterschied ist, dass bei der Brennstoffzelle die Reaktanden kontinuierlich zugeführt werden, während sie sich in einer Batterie mit der Zeit verbrauchen.

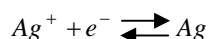
An einer Batterie, deren eine Elektrode aus einem Zn-Stab besteht, der in eine  $\text{ZnSO}_4$ -Lösung eintaucht, und deren andere Elektrode aus einem Cu-Stab besteht, der in eine  $\text{CuSO}_4$ -Lösung eintaucht, liegen bei Stromlosigkeit an den Elektroden folgende Gleichgewichte vor. Die Gleichgewichts-Zellspannung beträgt 1.1 V.



- In welche Richtung laufen die obigen Reaktionen ab, wenn mit der Batterie eine Taschenlampe betrieben wird? (Zuordnung Oxidation / Reduktion zu den Polen, oder Am ?-Pol scheidet sich ? ab / löst sich ? auf).
  - Ordnen Sie für diesen Fall die Begriffe Anode und Kathode zu.
  - Schreiben Sie die Zellreaktion auf.
  - Berechnen Sie aus der Grundgleichung der Elektrochemie die freie Reaktionsenthalpie für diese Reaktion. Hinweis: Faradaykonstante  $F = 96487 \text{ C/mol}$ .
- Anteil Aufgabe 1 an der Gesamtpunktzahl: 40%.

**Aufgabe 2**

Eine Silberelektrode taucht bei einer Temperatur von  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  in eine Silbernitratlösung mit der Konzentration  $c(\text{Ag}^+) = 0.001 \text{ mol/l}$  ein. Die Elektrodenreaktion lautet:



- Schreiben Sie die Nernstgleichung für das Elektrodenpotential für diese Elektrodenreaktion auf. Hinweis:  $a(\text{Ag}) = 1$ .
- Das Standardelektrodenpotential für diese Reaktion beträgt  $0.7996 \text{ V}$ . Berechnen Sie das Elektrodenpotential für die Konzentration von  $0.001 \text{ mol/l}$ .
- Die Austauschstromdichte  $i_0$  beträgt  $0.15 \text{ A cm}^{-2}$ , und der Durchtrittsfaktor  $\alpha = 0.65$ . Berechnen Sie näherungsweise die (positive) Überspannung, die nötig ist, damit sich das Silber mit einer Stromdichte

Name, Vorname: \_\_\_\_\_

<b>Aufgabenbereich 2: Chemische Energie</b>	
---	--

$i$  von  $2 \text{ A/cm}^2$  auflöst. Vernachlässigen Sie die Konzentrationsterme in der Butler-Volmer-Gleichung (analog zu dem Vorgehen in der Übung).

Anteil Aufgabe 2 an der Gesamtpunktzahl: 60%.

Name, Vorname: \_\_\_\_\_

<b>Aufgabenbereich 2: Chemische Energie</b>	
---	--

Name, Vorname: \_\_\_\_\_

<b>Aufgabenbereich 3: Nukleare Energie</b>	Erreichte Punktzahl:  _____ %
--	-------------------------------------

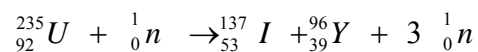
**Aufgabe 1:**

Erläutern Sie die Begriffe

- a) verzögerte Neutronen
- b) diversitäre Abschaltssysteme
- c) Barrierenprinzip

**Aufgabe 2:**

Zu berechnen ist die freigesetzte Energie [MeV] für die Spaltungsreaktion



mit:	Nuklid	Masse [u]	
	$U_{235}$	235,044	
	$I_{137}$	136,921	
	$Y_{96}$	95,891	
	$n$		1,009

Atomare Masseneinheit: u

Energieäquivalent der Masseneinheit: 932,7 MeV



Name, Vorname: \_\_\_\_\_

<b>Aufgabenbereich 3: Nukleare Energie</b>	
--	--

Name, Vorname: \_\_\_\_\_

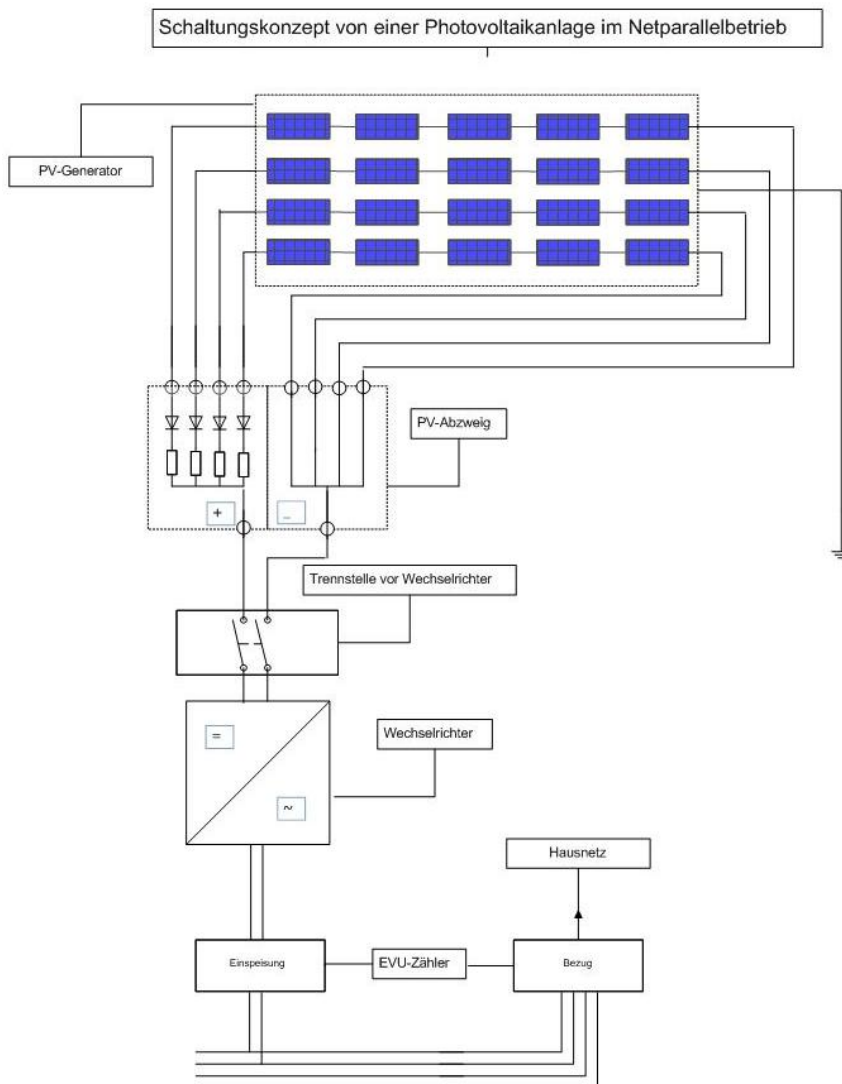
## Aufgabenbereich 4: Regenerative Energie

Erreichte Punktzahl:

\_\_\_\_\_ %

### Aufgabe 1 (Photovoltaik)

Die unten stehende Abbildung zeigt das Schaltungskonzept einer Photovoltaikanlage im Netzparallelbetrieb mit 20 Modulen.



Ein Solarmodul besitzt folgende Daten:

Silizium-Material:	monokristallin
Nennstrom:	4,9A
Nennspannung:	18V
Wirkungsgrad:	11,7%

Anzahl der Zellen:	36
Kurzschlußstrom:	5,2A
Leerlaufspannung:	22V

Name, Vorname: \_\_\_\_\_

<b>Aufgabenbereich 4: Regenerative Energien</b>	
---	--

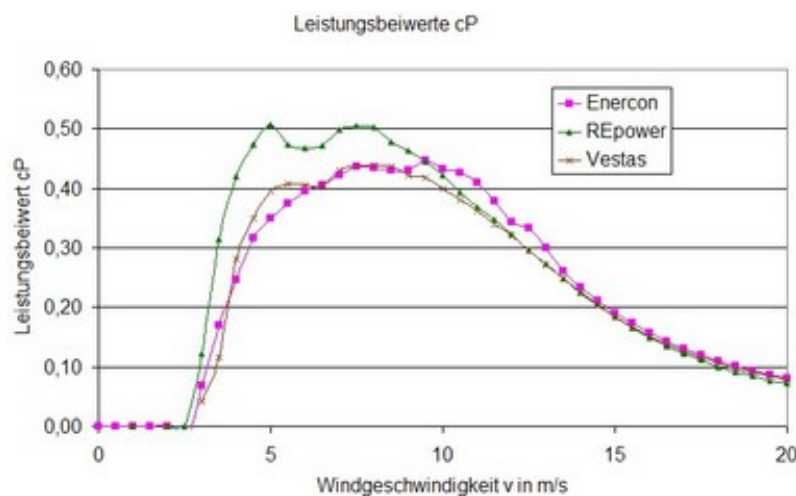
Länge: 1285mm

Breite: 625mm

- a) Berechnen Sie die Leistung eines Moduls im optimalen Betriebspunkt.
- b) Für welche maximale Eingangsspannung, welchen maximalen Eingangsstrom und welche maximale Leistung muß der Wechselrichter ausgelegt werden?
- c) 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%)
- d) Welchen Zweck erfüllen die Bypassdioden in jedem Modul?
- e) 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?

**Aufgabe 2**

Auf der unten dargestellten Abbildung sind die Leistungsbeiwerte verschiedener Windkraftanlagen der 600 kW-Klasse in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit dargestellt. Der Leistungsbeiwert nimmt ab der Anschlaggeschwindigkeit sehr schnell zu, erreicht sein Optimum für eine Windgeschwindigkeit von 7,5 bis 9,5 m/s und nimmt danach langsam bis zur Abschaltgeschwindigkeit ab.



Name, Vorname: \_\_\_\_\_

<b>Aufgabenbereich 4: Regenerative Energien</b>	
---	--

Unter 3 m/s ist der Leistungsbeiwert null, weil die Anlage ausgeschaltet ist. Bei geringerer Windgeschwindigkeit ist der Leistungsbeiwert niedrig, weil nicht sehr viel Energie zu Verfügung steht.

- a) Unter der Annahme, daß die Drehzahl konstant für den gesamten Arbeitsbereich bleibt, ist die abgegebene elektrische Leistung bei einer Windgeschwindigkeit von 5m/s und 7,5m/s für alle drei Fabrikate zu berechnen. Die Anlage der Firma Enercon ist getriebelos.

Daten der Anlagen:

Windrotor-Radius:	$R = 44\text{m}$
Rotorumfanggeschwindigkeit:	$u = 70\text{m/s}$
Wirkungsgrad des Getriebes:	$\eta_G = 0,95$
Wirkungsgrad der Asynchronmaschine:	$\eta_M = 0,98$
Luftdichte:	$\rho_L = 1,229\text{kg/m}^3$

Der Windenergiekonverter der Firma Vestas wird mit einem Asynchronmotor bei einer Generatordrehzahl von 1540 U/min betrieben.

- b) Berechnen Sie die notwendige Getriebeübersetzung.
- c) Welcher maximale Leistungsbeiwert  $c_p$  wird als das Betz'sche Optimum bezeichnet?

Name, Vorname: \_\_\_\_\_

<b>Aufgabenbereich 4: Regenerative Energien</b>	
---	--

Name, Vorname: \_\_\_\_\_

<b>Aufgabenbereich 4: Regenerative Energien</b>	
---	--

Name, Vorname: \_\_\_\_\_

<b>Aufgabenbereich 5: Elektrische Energie</b>	Erreichte Punktzahl:  _____ %
---	-------------------------------------

**Aufgabe 1**

Es sei eine Drehstrom-Freileitung von 500km Länge mit folgenden Betriebseigenschaften gegeben:

- Widerstandsbelag  $R' = 0,1\Omega/\text{km}$
- Leitwertbelag  $G' = 0,1\mu\text{S}/\text{km}$
- Induktivitätsbelag  $L' = 1\text{mH}/\text{km}$
- Kapazitätsbelag  $C' = 11\text{nF}/\text{km}$
- Netzfrequenz  $f = 50\text{Hz}$
- Länge der Leitung: 500km

Die Sternspannung soll am Ende der Leitung 100kV betragen bei einer entnommenen Wirkleistung von 10MW je Phase und einem  $\cos\varphi$  von 0,8 induktiv.

a) Wie groß muss die Spannung am Anfang der Leitung sein (Betrag und Phase)? (60%)

Hinweis:

$$\sinh \gamma l = 0,075 + j0,504$$

$$\cosh \gamma l = 0,868 + j0,045$$

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

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

**Aufgabe 2**

- a) Warum werden Energieversorgungsnetze als Konstantspannungsnetze und nicht als Konstantstromnetze betrieben? (5%)
- b) Lässt sich ein Kabel mit natürlicher Leistung betreiben? Begründen Sie Ihre Antwort! (5%)
- c) Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungen haben im Vergleich zur herkömmlichen Hochspannungs-Drehstrom-Übertragung viele Vorteile. Warum werden nicht auch in anderen Spannungsebenen Gleichstrom-Übertragungen verwendet? (10%)

Name, Vorname: \_\_\_\_\_

Aufgabenbereich 5: Elektrische Energieversorgung	
--	--



Name, Vorname: \_\_\_\_\_

Aufgabenbereich 5: Elektrische Energieversorgung	
--	--

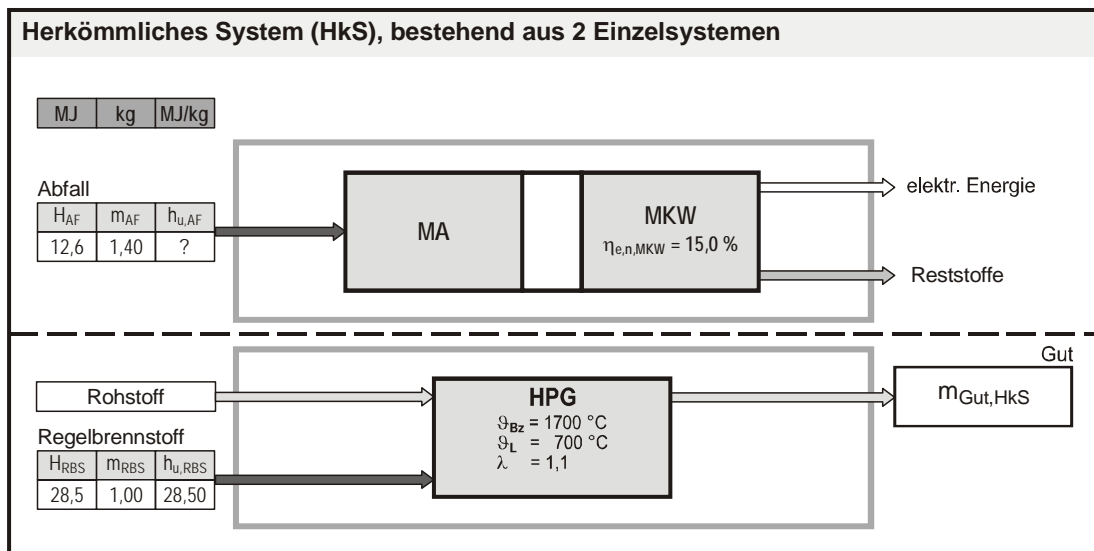
Name, Vorname: \_\_\_\_\_

## Aufgabenbereich 6: Thermische Energie

Erreichte Punktzahl:

\_\_\_\_\_ %

## Aufgabe 1:



Obiges Bild zeigt ein sog. herkömmliches System, bestehend aus den 2 Einzelsystemen „Müllkraftwerk“ (MKW) und „Hochtemperaturprozeß zur Produktion von Grundstoffen“ (HPG). Dem eigentlichen MKW ist eine Grobzerkleinerung (mechanische Aufbereitung MA) vorgeschaltet. Bestimmen Sie mit Hilfe der im Bild angegebenen Werte sowie untenstehender Größen

- den elektrischen Anlagenwirkungsgrad  $\eta_{e,a,MKW}$  in [%] des Müllkraftwerkes, wenn sich die erforderliche elektrische Zusatzenergie auf  $e_{e,zus} = 0,4 \text{ MJ/kg}$  beläuft (Hinweis: Bestimmen Sie zunächst den elektrischen Nettonutzen  $e_{e,n}$  sowie den elektrischen Bruttonutzen  $e_{e,Nutz}$ !)
- den elektrischen Primärwirkungsgrad  $\eta_{e,p,MKW}$  in [%] des Müllkraftwerkes, wenn  $e_{e,zus}$  in einem externen Kraftwerk mit einem elektrischen Nettoprimärwirkungsgrad von  $\eta_{e,n,KW} = 34\%$  erzeugt wird
- den Mindestluftbedarf  $L_{min,RBS}$  in [kg Luft/ kg RBS] des Regelbrennstoffes, welcher im HPG zum Einsatz kommt (vereinfachende Annahme: die einzig brennbare Komponente des RBS sei Kohlenstoff)
- die sich bei der eingestellten Luftzahl  $\lambda$  ergebende kalorische Verbrennungstemperatur  $\vartheta_{kal}$  in [°C] des HPG
- den auf das Gut übertragenen Wärmestrom  $\dot{Q}_{Gut}$  in [MW] bei einem eingesetzten Brennstoffmassenstrom  $\dot{m}_{BS} = 13 \text{ t/h}$  (Annahme: adiabater Ofen!)

Name, Vorname: \_\_\_\_\_

$$\xi_{C,RBS} = 0,80 \text{ kg C / kg RBS}$$

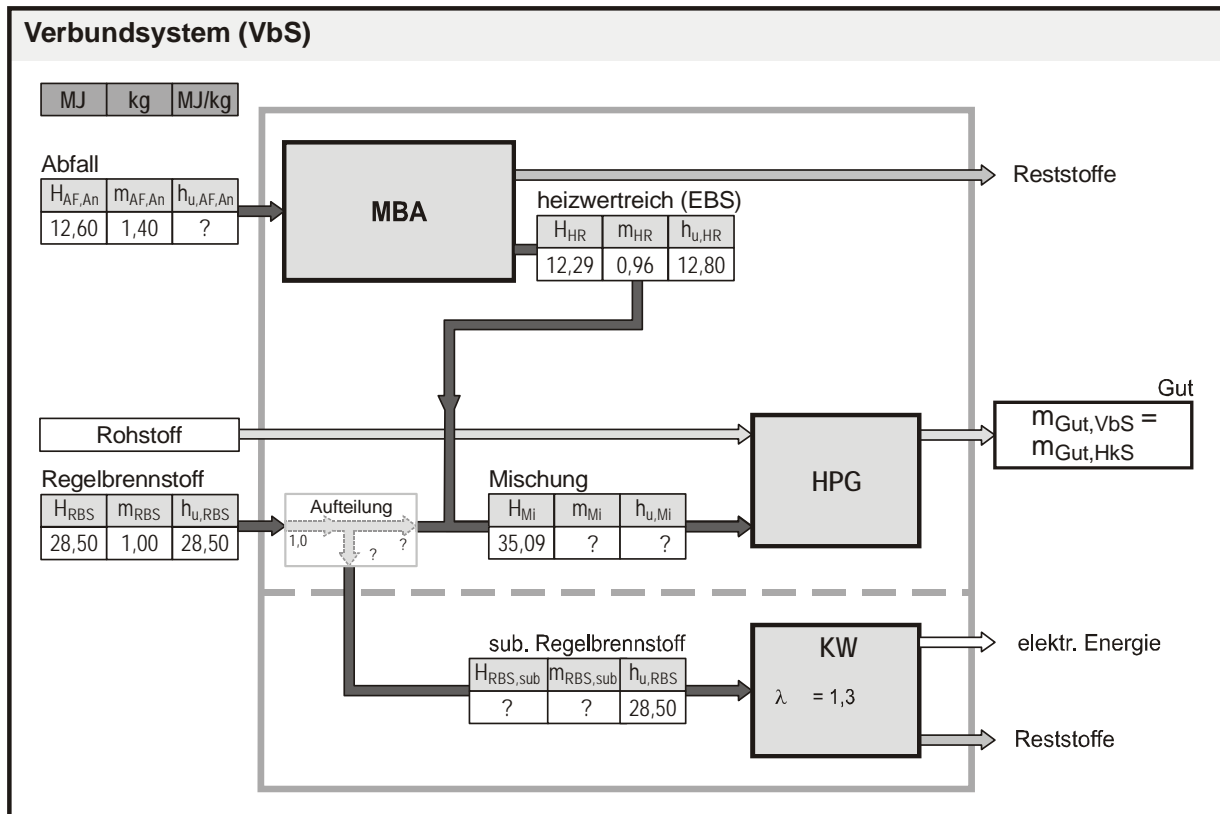
$$\xi_{O_2,Luft} = 0,232 \text{ kg O}_2 / \text{kg Luft}$$

$$M_O = 16 \text{ kg / kmol}$$

$$M_C = 12 \text{ kg / kmol}$$

$$c_{p,AG} = 1,30 \text{ kJ / (kg}\cdot\text{K)}$$

$$c_{p,L} = 1,1 \text{ kJ / (kg}\cdot\text{K)}$$

**Aufgabe 2:**

Der in Aufgabe 1 vorgestellte Hochtemperaturprozeß zur Produktion von Grundstoffen (HPG) ist in ein sog. Verbundsystem eingebunden, wie im Bild oben schematisch dargestellt.

Hierbei wird der Abfallstoff (AF) zunächst einer mechanisch-biologischen Aufbereitung (MBA) unterzogen. Die daraus entstehende heizwertreiche Fraktion (HR), der Ersatzbrennstoff (EBS), wird dann in Mischung mit dem Regelbrennstoff (RBS) im HPG eingesetzt, während der substituierte Anteil des RBS in einem konventionellen Kraftwerk (KW) zur Energieerzeugung verfeuert wird.

- Welches Substitutionsmassenverhältnis **Y** liegt vor?
- Wie groß ist das Energieaustauschverhältnis **EA** im HPG?
- Wie groß ist der feuerungstechnische Wirkungsgrad  $\eta_F$  des KW, wenn die Abgasaustritts-temperatur  $\vartheta_{AG}$  **350 °C** beträgt?

**Hinweis: Die Aufgabe 2 kann unabhängig von Aufgabe 1 gelöst werden!**

$$c_{p,AG} = 1,35 \text{ kJ / (kg}\cdot\text{K)}$$

$$L_{min,RBS} = 8,5 \text{ kg L / kg BS}$$

Name, Vorname: \_\_\_\_\_

<b>Aufgabenbereich 6: Thermische Energie</b>	
--	--

Name, Vorname: \_\_\_\_\_

<b>Aufgabenbereich 6: Thermische Energie</b>	
--	--