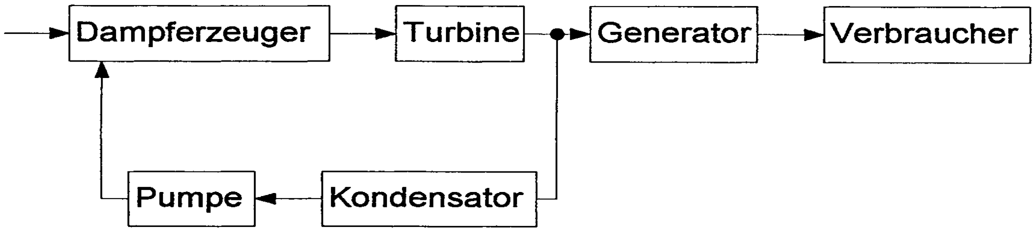
tgt HP 2003/04-3: Blockschaltbild eines Dampfkraftwerks:

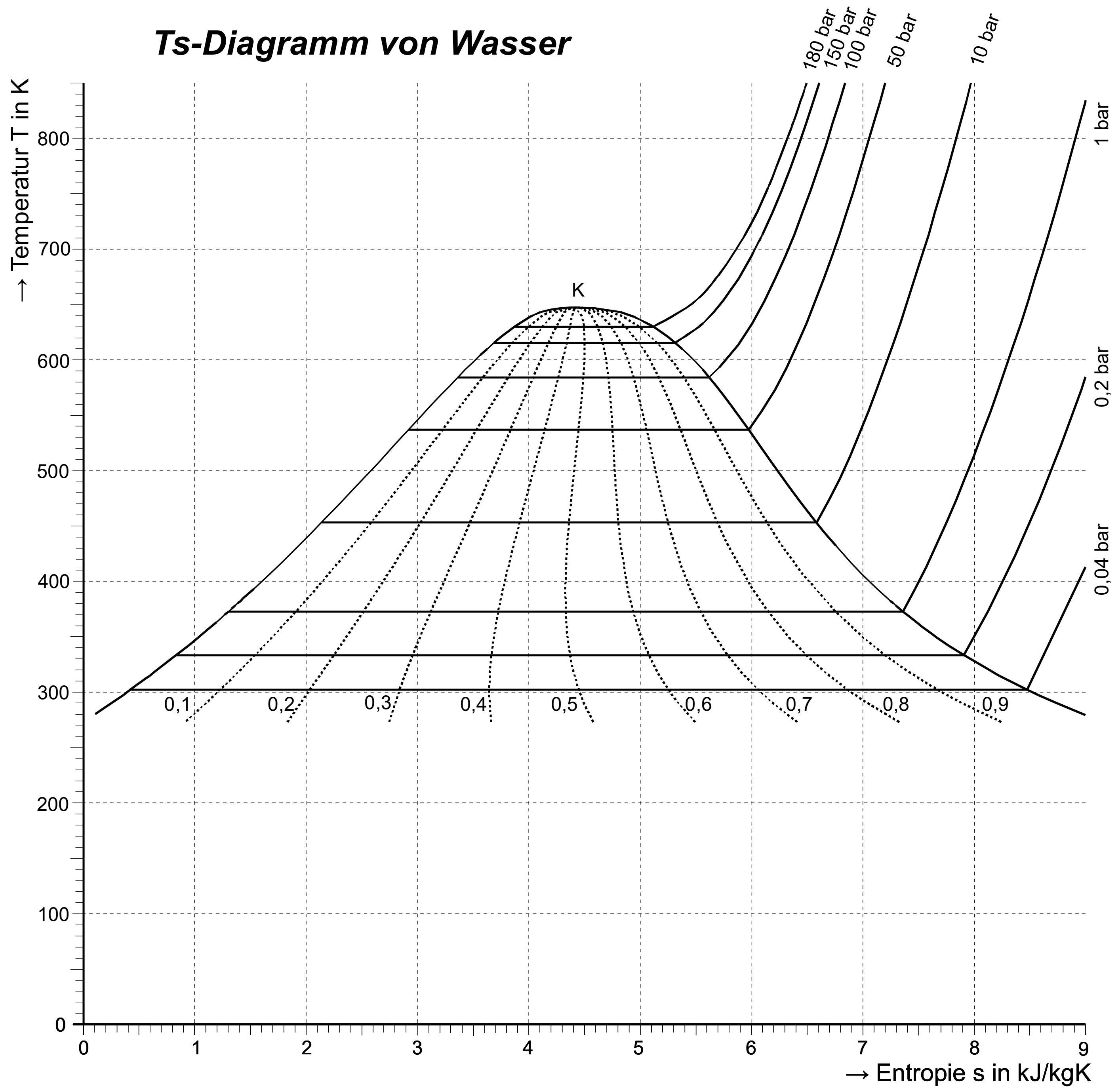


Teilaufgaben:		Punkte
1	Welche Energieformen werden den Bauteilen Dampferzeuger, Turbine, Generator und Verbraucher zugeführt ?	2,0
2	Vom Dampfprozess sind die folgenden Daten bekannt: Dampfdruck am Turbineneingang: p_{TE} = 180 bar Dampftemperatur am Turbineneingang: T_{TE} = 800 K Wassergehalt des Dampfes beim Turbinenaustritt: x = 10 % Kondensatordruck: p_{Kond} = 0,04 bar	
2.1	Stellen Sie den Dampfprozess im T-s-Diagramm des Arbeitsblattes dar.	2,0
2.2	Nummerieren Sie die charakteristischen Punkte im T-s-Diagramm, und erläutern Sie die Zustandsänderungen.	3,0
2.3	Berechnen Sie die zugeführte spezifische Wärme q_{zu}. Kennzeichnen Sie q_{zu} als Fläche im T-s-Diagramm.	4,0
2.4	Berechnen Sie die abgeführte Wärme spezifische Wärme q_{ab}. Kennzeichnen Sie q_{ab} als Fläche im T-s-Diagramm.	2,0
2.5	Wie groß ist der thermische Wirkungsgrad des Kraftwerkes ?	2,0
2.6	Durch eine Zwischenüberhitzung bei 50 bar auf 800 K kann der Wasseranteil des Dampfes am Turbinenausgang auf 5% verringert werden. Stellen Sie diesen Vorgang zusätzlich im T-s-Diagramm dar. Welche zwei Vorteile bietet die Zwischenüberhitzung ?	3,0
3	Im Kraftwerk treten die folgenden Verluste auf: Dampferzeuger: 9% — Dampfleitungen: 2% Turbine: 13% — Generator: 2% Eigenbedarf: 2% Der thermische Wirkungsgrad des Kraftwerkes mit Zwischenüberhitzung beträgt η_{th} = 38%.	
3.1	Berechnen Sie den Gesamtwirkungsgrad des Kraftwerkes.	2,5
3.2	Das Kraftwerk gibt eine Leistung von P_{ab} = 500 MW ab. Berechnen Sie den täglichen Bedarf an Steinkohle.	2,0

Alle Teilaufgaben sind unabhängig voneinander lösbar. Σ = 22,5

Arbeitsblatt

zu den Aufgaben 2.2, 2.3, 2.4 und 2.6



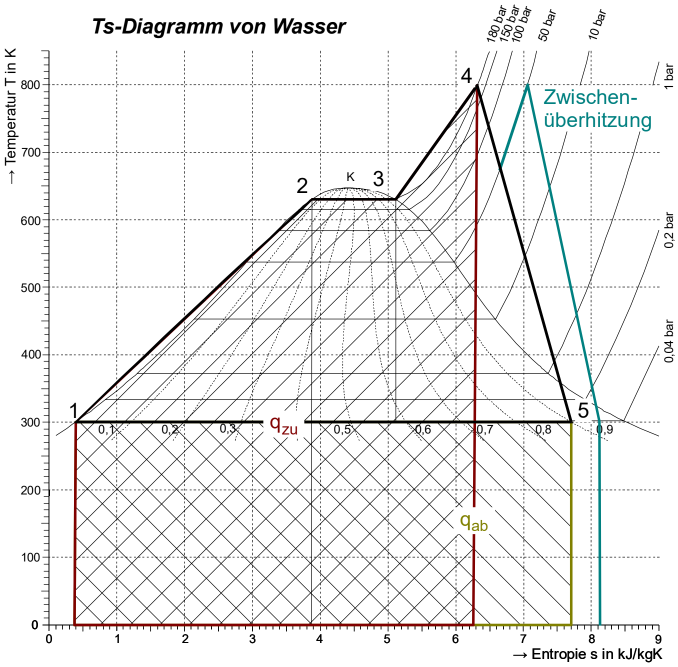
Lösungsvorschlag

Teilaufgaben: Punkte

1	Chemische Energie	→ Dampferzeuger	2,0	
	Thermische Energie	→ Turbine		
	Mechanische Energie	→ Generator		
	Elektrische Energie	→ Verbraucher		

2

2.1 T,s-Diagramm: 2,0



2.2 1: Die Speisewasserpumpe bringt das Wasser auf 180 bar 3,0
1 – 2: Wasser wird erhitzt und bleibt wegen des Druckes flüssig
2 – 3: Wasser verdampft bei konstanter Temperatur, die vom Druck 180 bar abhängt.
3 – 4: Wasserdampf wird bei konstantem Druck weiter erhitzt (überhitzt)
4 – 5: Wasserdampf gibt in der Turbine seinen Druck ab, 10% des Wasserdampfes kondensiert
5 – 1: Dem Wasser wird Wärme entzogen und es kondensiert

T,s-Diagramm (Wasserdampfprozess mit Zwischenüberhitzung)

2.3 4,0

$$q_{12}=\frac{T_1+T_2}{2}\cdot(s_2-s_1)=\frac{300+630}{2}K\cdot(3{,}9-0{,}4)\frac{kJ}{kgK}=1627{,}5\frac{kJ}{kg}$$

$$q_{23}=\frac{T_2+T_3}{2}\cdot(s_3-s_2)=\frac{630+630}{2}K\cdot(5{,}1-3{,}9)\frac{kJ}{kgK}=756\frac{kJ}{kg}$$

$$q_{34}=\frac{T_3+T_4}{2}\cdot(s_4-s_3)=\frac{630+800}{2}K\cdot(6{,}3-5{,}1)\frac{kJ}{kgK}=858\frac{kJ}{kg}$$

$$q_{zu}=q_{12}+q_{23}+q_{34}=(1627{,}5+756+858)\frac{kJ}{kg}=3241{,}5\frac{kJ}{kg}$$

Dampfprozess im T,s-Diagramm (Wasser)

2.4 2,0

$$q_{ab}=q_{51}=\frac{T_5+T_1}{2}\cdot(s_1-s_5)=\frac{300+300}{2}K\cdot(0{,}4-7{,}8)\frac{kJ}{kgK}=-2220\frac{kJ}{kg}$$

2.5 2,0

$$\eta_{therm}=\frac{w_{Nutz}}{q_{zu}}=\frac{q_{zu}+q_{ab}}{q_{zu}}=\frac{3241{,}5\,kJ/kg-2220\,kJ/kg}{3241{,}5\,kJ/kg}=0{,}315=31{,}5\,\%$$

2.6 Vorgang siehe T,s-Diagramm. Vorteile: 3,0
1) Vergrößerung der Nutzarbeit ohne höhere Temperatur
2) Senkung des Anteil flüssigen Wassers
Beide Maßnahmen entlasten das Material der Turbine.

3

3.1 $\eta_{ges}=\eta_{DE}\cdot\eta_{DL}\cdot\eta_T\cdot\eta_G\cdot\eta_{EB}\cdot\eta_{therm}$ 2,5

$=(1-9\%)\cdot(1-2\%)\cdot(1-13\%)\cdot(1-2\%)\cdot(1-2\%)\cdot 38\%$

$=0{,}91\cdot 0{,}98\cdot 0{,}87\cdot 0{,}98\cdot 0{,}98\cdot 0{,}38=0{,}283=28{,}3\%$

Man kann auch annehmen, dass im thermischen Wirkungsgrad W_{Nutz} (= mechanische Energie) / q_{zu} (= Wärmeinhalt des Dampfes) die Verluste der Dampfleitungen enthalten sind und η_{ges} ohne η_{DL} berechnen.

3.2 Für die Aufgabe wird der Heizwert von Steinkohle benötigt. Man findet ihn im Tabellenbuch unter dem Stichwort „Heizwert“ H_u oder in der Formelsammlung Energietechnik als Steinkohleeinheit SKE. Letztere wird verwendet, um den Energieinhalt von Kohle verschiedener Herkunft und anderer Primärenergieträger zu vergleichen und ist der Heizwert einer bestimmten Steinkohlesorte bezogen auf ein Kilogramm (kgSKE) oder eine Tonne (tSKE). 2,0

Lösungsmöglichkeit 1

Es geht direkt mit der Leistung (= Energiestrom) $P=\frac{W}{t}$, sie entspricht dem Wärmestrom $\Phi=\dot{Q}=\frac{Q}{t}$ und kann per H_u in Massenstrom $\dot{m}=\frac{m}{t}$ umgerechnet werden:

$$\frac{P_{ab}}{\eta_{ges}}=P_{zu}=\frac{W_{zu}}{t}=\frac{Q_{zu}}{t}=\frac{m\cdot H_u}{t} \quad\rightarrow\quad m=\frac{P_{ab}\cdot t}{\eta_{ges}\cdot H_u}$$

Den Tagesbedarf erhält man mit t=24 Stunden:

$$m_{Steinkohle}=\frac{P_{ab}\cdot t}{\eta\cdot H_u}=\frac{500\,MW\cdot 24\text{h}}{0{,}283\cdot 30\,MJ/kg}=5087\,t$$

Lösungsmöglichkeit 2

Leistung ist Energiemenge pro Zeiteinheit. Wer Probleme mit dem Begriff Leistung hat, kann auch mit der Energie rechnen, die innerhalb des geforderten Zeitraumes anfällt, in diesem Fall 1 Tag. Diesen Lösungsweg sollte man deutlich machen:

„Alle Berechnungen beziehen sich auf einen Tag:“

$$W_{ab}=P_{ab}\cdot 1\,Tag=500\,MW\cdot 24\,h=12000\,MWh$$
$$=12000\,MW\cdot 3600\,s=43{,}2\cdot 10^{12}\,J$$

ist die elektrische Energie, die das Kraftwerk pro Tag abgibt. Da die Erzeugung der elektrischen Energie aus Wärme nicht verlustfrei geschieht, muss die benötigte Wärmemenge ermittelt werden:

$$\eta_{ges}=\frac{W_{ab}}{Q_{zu}} \quad\rightarrow\quad Q_{zu}=\frac{W_{ab}}{\eta_{ges}}=\frac{43{,}2\cdot 10^{12}\,J}{0{,}283}=152{,}6\cdot 10^{12}\,J$$

ist die Wärmeenergie, die pro Tag ins Kraftwerk gesteckt werden muss. Der Heizwert H_u sagt aus, welche Masse Kohle dafür benötigt wird:

$$H_{u(Steinkohle)}=\frac{Q_{zu}}{m_{Steinkohle}} \quad\rightarrow$$

$$m_{Sk}=\frac{Q_{zu}}{H_{uSk}}=\frac{152{,}6\cdot 10^{12}\,J}{\frac{30\,MJ}{kg}}=\frac{152{,}6\cdot 10^{12}\,J}{30\cdot 10^6\,J}\cdot kg=5087\,t$$

oder mit der Steinkohleeinheit SKE statt H_u

$$H_{u(Steinkohle)} = \frac{Q_{zu}}{m_{Steinkohle}} \rightarrow$$

$$m_{Sk} = \frac{Q_{zu}}{SKE} = \frac{152{,}6 \cdot 10^{12}\,J}{\frac{2{,}93 \cdot 10^{10}\,J}{t}} = 5207\,t$$

erhält man den Tagesbedarf von Steinkohle für dieses Kraftwerk.

Lösungsmöglichkeit 3

Die Aufgabe kann sogar mit einer Reihe von Dreisätzen gelöst werden
(Ich sehe schon die Stirn runzelnden Kollegen :-):

Leistung P_{ab} = 500 MW bedeutet:
Das Kraftwerk liefert 500 MJ elektrische Energie in 1 Sekunde.
Wie viel elektr. Energie liefert es an einem Tag?

$$500\,MJ \;\Leftrightarrow\; 1\,Sekunde$$
$$x? \;\Leftrightarrow\; 1\,Tag$$

$$x = \frac{500\,MJ}{1\mathrm{s}} \cdot 1\mathrm{Tag} = \frac{500\,MJ \cdot 24 \cdot 3600\mathrm{s}}{1\mathrm{s}} = 43{,}2 \cdot 10^6\,MJ$$

Wirkungsgrad η_{ges} = 0,283 bedeutet:
Das Kraftwerk wandelt 1 MJ Wärmeenergie in 0,283 MJ elektrische Energie um.
Wie viel Wärmeenergie benötigt es für 43,2·10⁶ MJ?

$$1\,MJ \;\Leftrightarrow\; 0{,}283\,MJ$$
$$x? \;\Leftrightarrow\; 43{,}2 \cdot 10^6\,MJ$$

$$x = \frac{1\,MJ}{0{,}283\,MJ} \cdot 43{,}2 \cdot 10^6\,MJ = 152{,}65 \cdot 10^6\,MJ$$

Heizwert H_u = 30 MJ/kg bedeutet:
1 kg Steinkohle liefert 30 MJ Wärmeenergie.
Wie viel Steinkohle wird für $152{,}6 \cdot 10^6$ MJ Wärmeenergie benötigt?

$$1\,kg \;\Leftrightarrow\; 30\,MJ$$
$$x? \;\Leftrightarrow\; 152{,}65 \cdot 10^6\,MJ$$

$$x = \frac{1\,kg}{30\,MJ} \cdot 152{,}65 \cdot 10^6\,MJ = 5{,}1 \cdot 10^6\,kg = 5100\,t$$

oder:

Steinkohleeinheit tSKE = $2{,}93 \cdot 10^{10}$ J bedeutet:
1 t Steinkohle liefert $2{,}93 \cdot 10^{10}$J Wärmeenergie.
Wie viel Steinkohle wird für $152{,}6 \cdot 10^6$ MJ Wärmeenergie benötigt?

$$1\,t \;\Leftrightarrow\; 2{,}93 \cdot 10^{10}\,J$$
$$x? \;\Leftrightarrow\; 152{,}65 \cdot 10^6\,MJ$$

$$x = \frac{1\,t}{2{,}93 \cdot 10^{10}\,J} \cdot 152{,}65 \cdot 10^6\,MJ = 5{,}2 \cdot 10^3\,t = 5200\,t$$

Der letzte Wert ist der Tagesbedarf an Steinkohle für das Kraftwerk in der Aufgabe.

Alle Teilaufgaben sind unabhängig voneinander lösbar. $\Sigma = 22{,}5$