



PRÜFUNGSKLAUSUR F'12

Energietechnik

10. März 2012

Prüfungsdauer: 2153 - Diplomstudiengang: 3 Stunden
21301 - Master-Studiengang: 2 Stunden

Bitte vollständig ausfüllen – eine Bearbeitung ist sonst nicht möglich!

Name, Vorname:

Matr.-Nr.:

Straße:

PLZ und Ort:

Geb.-Datum/-ort:

Im **Diplomstudiengang (Bearbeitungszeit 180 min)** sind alle Aufgaben vollständig zu bearbeiten –
im **Master-Studiengang (Bearbeitungszeit 120 min)** nur die Aufgabenteile [1a) – b), 2a) – d) und 3a) – f)] .

Aufgabe	1	2	3	Summe
Erreichbare Punkte	44 [28]	40 [28]	36 [24]	120 [80]
erreichte Punkte				

Datum

1. Prüfer

2. Prüfer

Note

Ein Dampfkraftwerk sei für eine elektrische Leistung von 800 MW ausgelegt. Die Speisepumpe sauge das Kondensat bei der dem Kondensatordruck $p_1 = 0,05$ bar entsprechenden Sättigungstemperatur T_1 an. Beim Kesseldruck von $p_2 = 200$ bar werde das Wasser erwärmt, verdampft und schließlich auf $T_3 = 530^\circ\text{C}$ überhitzt. Anschließend werde der Dampf in der Hochdruckturbine auf $p_4 = 50$ bar entspannt. Nach Zwischenüberhitzung des Dampfes auf $T_5 = 530^\circ\text{C}$ finde eine zweite Entspannung in der Niederdruckturbine von $p_5 = p_4$ auf den Kondensatordruck $p_6 = p_1$ statt. Die Pumpe und die Turbinen sollen als ideal und verlustlos angenommen werden.

- Skizzieren Sie den Prozess im h-s- und im T-s-Diagramm und berechnen Sie dazu alle notwendigen Zustandsgrößen!
- Berechnen Sie die prozentuale Aufteilung der im Kessel erzeugten Wärme auf das Vorwärmesystem, das Verdampfungssystem, das Überhitzer- und Zwischenüberhitzersystem! (Die Kennlinien können als stückweise linear angenommen werden!)

===== nur Diplomstudiengang =====

- Bestimmen Sie den thermischen Wirkungsgrad des Kreisprozesses und den Carnot-Faktor!
- Wie groß ist der Dampfmassenstrom?
- Bestimmen Sie den pro Stunde erforderlichen Steinkohleeinsatz, wenn der Kesselwirkungsgrad $\eta_K = 0,9$ beträgt. (Heizwert der Steinkohle: $8,1 \text{ kWh/kg}$)

Drucktafel für den Sättigungszustand (Auszüge)

p	t	v'	v''	h'	h''	r	s'	s''
bar	°C	$\frac{m^3}{kg}$	$\frac{m^3}{kg}$	$\frac{kJ}{kg}$	$\frac{kJ}{kg}$	$\frac{kJ}{kg}$	$\frac{kJ}{kg \cdot K}$	$\frac{kJ}{kg \cdot K}$
0.010	6.9828	0.0010001	129.20	29.34	2514.4	2485.0	0.1060	8.9767
0.015	13.036	0.0010006	87.98	54.71	2525.5	2470.7	0.1957	8.9288
0.020	17.513	0.0010012	57.01	73.46	2533.6	2460.2	0.2607	8.7246
0.025	21.096	0.0010020	45.26	88.45	2540.2	2451.7	0.3119	8.6440
0.030	24.100	0.0010027	38.47	101.00	2545.6	2444.6	0.3544	8.5785
0.035	26.694	0.0010033	33.48	111.95	2550.4	2438.5	0.3907	8.5232
0.040	28.983	0.0010040	30.80	121.41	2554.5	2433.1	0.4225	8.4755
0.045	31.035	0.0010046	28.81	129.99	2558.2	2428.2	0.4507	8.4335
0.050	32.898	0.0010052	27.19	137.77	2561.6	2423.8	0.4763	8.3960
0.060	36.183	0.0010064	23.74	151.50	2567.5	2416.0	0.5209	8.3312
0.070	39.025	0.0010074	20.53	163.38	2572.6	2409.2	0.5591	8.2767
0.080	41.534	0.0010084	18.10	173.86	2577.1	2403.2	0.5925	8.2296
0.090	43.787	0.0010094	16.20	183.28	2581.1	2397.9	0.6224	8.1881
0.10	45.833	0.0010102	14.67	191.83	2584.8	2392.9	0.6493	8.1511
0.12	49.449	0.0010119	12.38	206.94	2591.2	2384.3	0.6963	8.0872
0.14	52.574	0.0010133	10.69	220.02	2596.7	2376.7	0.7367	8.0334
0.16	55.341	0.0010147	9.433	231.59	2601.6	2370.0	0.7721	7.9869
0.18	57.826	0.0010160	8.445	241.99	2605.9	2363.9	0.8036	7.9460
0.20	60.086	0.0010172	7.650	251.45	2609.9	2358.4	0.8321	7.9094
0.22	62.162	0.0010183	6.995	260.14	2613.5	2353.3	0.8581	7.8764
0.24	64.082	0.0010194	6.447	268.18	2616.8	2348.6	0.8820	7.8464
0.26	65.871	0.0010204	5.980	275.67	2619.9	2344.2	0.9041	7.8188
0.28	67.547	0.0010214	5.579	282.69	2622.7	2340.0	0.9248	7.7933
0.30	69.124	0.0010223	5.229	289.30	2625.4	2336.1	0.9441	7.7695
0.32	70.615	0.0010232	4.922	295.55	2628.0	2332.4	0.9623	7.7474
0.34	72.028	0.0010241	4.650	301.48	2630.4	2328.9	0.9795	7.7266
0.36	73.374	0.0010249	4.408	307.12	2632.6	2325.5	0.9958	7.7070
0.38	74.658	0.0010257	4.190	312.50	2634.8	2322.3	1.0113	7.6884
0.40	75.886	0.0010265	3.993	317.65	2636.9	2319.2	1.0261	7.6709
0.50	81.345	0.0010301	3.240	340.56	2646.0	2305.4	1.0912	7.5947
0.60	85.964	0.0010333	2.732	359.93	2653.6	2293.6	1.1454	7.5327
0.70	89.253	0.0010361	2.365	376.77	2660.1	2283.3	1.1921	7.4804
0.80	91.512	0.0010387	2.087	391.72	2665.8	2274.0	1.2330	7.4352
0.90	92.713	0.0010412	1.869	405.21	2670.9	2265.6	1.2694	7.3954
1.0	99.832	0.0010434	1.694	417.51	2675.4	2257.9	1.3027	7.3598
1.1	102.32	0.0010455	1.549	428.84	2679.6	2250.8	1.3330	7.3277
1.2	104.81	0.0010476	1.428	439.36	2683.4	2244.1	1.3609	7.2984
1.3	107.13	0.0010495	1.325	449.19	2687.0	2237.8	1.3868	7.2715
1.4	109.32	0.0010513	1.236	458.42	2690.3	2231.9	1.4109	7.2465
1.5	111.37	0.0010530	1.159	467.13	2693.4	2226.2	1.4336	7.2234
1.6	113.32	0.0010547	1.091	475.38	2696.2	2220.9	1.4550	7.2017
1.7	115.17	0.0010563	1.031	483.22	2698.9	2215.7	1.4752	7.1813
1.8	116.93	0.0010579	0.9772	490.70	2701.5	2210.8	1.4944	7.1622
1.9	118.62	0.0010594	0.9290	497.85	2704.0	2206.1	1.5127	7.1440
2.0	120.23	0.0010608	0.8854	504.70	2706.3	2201.6	1.5301	7.1266
2.2	123.27	0.0010636	0.8098	517.62	2710.6	2193.0	1.5627	7.0949
2.4	126.09	0.0010663	0.7455	529.64	2714.5	2184.9	1.5929	7.0657
2.6	128.73	0.0010688	0.6925	540.87	2718.2	2177.3	1.6209	7.0389
2.8	131.20	0.0010712	0.6460	551.44	2721.5	2170.1	1.6471	7.0140
3.0	133.54	0.0010735	0.6058	561.43	2724.7	2163.2	1.6715	6.9909
3.2	135.75	0.0010757	0.5700	570.90	2727.6	2156.7	1.6948	6.9693
3.4	137.86	0.0010779	0.5385	579.92	2730.3	2150.4	1.7168	6.9489
3.6	139.86	0.0010799	0.5103	588.53	2732.9	2144.4	1.7376	6.9297
3.8	141.78	0.0010819	0.4851	596.77	2735.3	2138.6	1.7574	6.9116
4.0	143.62	0.0010839	0.4622	604.67	2737.6	2133.0	1.7764	6.8943
4.2	145.39	0.0010858	0.4415	612.27	2739.8	2127.5	1.7945	6.8779
4.4	147.09	0.0010875	0.4226	619.60	2741.9	2122.3	1.8120	6.8623
4.6	148.73	0.0010894	0.4053	626.67	2743.9	2117.2	1.8287	6.8473
4.8	150.31	0.0010911	0.3894	633.50	2745.7	2112.2	1.8448	6.8330
5.0	151.84	0.0010928	0.3747	640.12	2747.5	2107.4	1.8604	6.8192
5.2	153.34	0.0010944	0.3611	646.54	2749.2	2102.8	1.8755	6.8057
5.4	154.80	0.0010959	0.3485	652.77	2750.8	2098.4	1.8901	6.7925
5.6	156.23	0.0010973	0.3368	658.82	2752.3	2094.1	1.9042	6.7796
5.8	157.63	0.0010986	0.3259	664.69	2753.7	2089.9	1.9178	6.7670
6.0	159.00	0.0010998	0.3157	670.39	2755.0	2085.8	1.9309	6.7547
6.2	160.34	0.0011010	0.3061	675.92	2756.2	2081.8	1.9435	6.7427
6.4	161.65	0.0011021	0.2971	681.28	2757.3	2077.9	1.9556	6.7308
6.6	162.93	0.0011031	0.2886	686.48	2758.3	2074.1	1.9672	6.7191
6.8	164.18	0.0011041	0.2806	691.52	2759.2	2070.4	1.9783	6.7076
7.0	165.40	0.0011050	0.2730	696.41	2760.1	2066.8	1.9889	6.6962
7.2	166.59	0.0011059	0.2658	701.15	2760.9	2063.3	1.9990	6.6850
7.4	167.75	0.0011067	0.2590	705.74	2761.6	2059.9	2.0087	6.6740
7.6	168.88	0.0011075	0.2525	710.19	2762.3	2056.6	2.0180	6.6631
7.8	169.98	0.0011082	0.2463	714.50	2762.9	2053.4	2.0269	6.6524
8.0	171.05	0.0011089	0.2403	718.67	2763.4	2050.3	2.0354	6.6418
8.2	172.09	0.0011095	0.2346	722.71	2763.9	2047.3	2.0435	6.6314
8.4	173.10	0.0011101	0.2291	726.62	2764.3	2044.4	2.0512	6.6211
8.6	174.08	0.0011106	0.2238	730.40	2764.7	2041.5	2.0585	6.6110
8.8	175.03	0.0011111	0.2187	734.05	2765.0	2038.7	2.0654	6.6010
9.0	175.95	0.0011115	0.2138	737.57	2765.3	2036.0	2.0719	6.5911
9.2	176.84	0.0011119	0.2090	741.07	2765.5	2033.4	2.0780	6.5814
9.4	177.70	0.0011123	0.2044	744.44	2765.7	2030.8	2.0837	6.5718
9.6	178.53	0.0011126	0.1999	747.69	2765.8	2028.3	2.0890	6.5624
9.8	179.33	0.0011129	0.1955	750.82	2765.9	2025.8	2.0939	6.5531
10.0	180.10	0.0011131	0.1912	753.84	2765.9	2023.4	2.0984	6.5440
10.2	180.84	0.0011133	0.1870	756.74	2765.9	2021.0	2.1026	6.5350
10.4	181.55	0.0011134	0.1829	759.53	2765.8	2018.7	2.1064	6.5261
10.6	182.23	0.0011135	0.1789	762.21	2765.7	2016.4	2.1100	6.5173
10.8	182.88	0.0011135	0.1750	764.78	2765.5	2014.2	2.1133	6.5086
11.0	183.50	0.0011135	0.1712	767.24	2765.3	2012.0	2.1163	6.5000
11.2	184.09	0.0011134	0.1675	769.59	2765.1	2009.9	2.1190	6.4915
11.4	184.65	0.0011133	0.1639	771.83	2764.8	2007.8	2.1215	6.4831
11.6	185.18	0.0011131	0.1604	773.96	2764.5	2005.8	2.1238	6.4748
11.8	185.68	0.0011129	0.1570	775.98	2764.2	2003.8	2.1258	6.4665
12.0	186.15	0.0011127	0.1537	777.90	2763.9	2001.8	2.1276	6.4583
12.2	186.59	0.0011124	0.1505	779.72	2763.5	1999.9	2.1291	6.4502
12.4	187.00	0.0011121	0.1474	781.44	2763.1	1998.0	2.1304	6.4422
12.6	187.38	0.0011117	0.1444	783.06	2762.6	1996.2	2.1315	6.4343
12.8	187.73	0.0011113	0.1415	784.58	2762.1	1994.4	2.1324	6.4264
13.0	188.05	0.0011109	0.1387	786.00	2761.6	1992.7	2.1331	6.4186
13.2	188.34	0.0011104	0.1360	787.32	2761.0	1991.0	2.1337	6.4109
13.4	188.60	0.0011099	0.1334	788.54	2760.4	1989.4	2.1341	6.4033
13.6	188.83	0.0011093	0.1309	789.67	2760.0	1987.8	2.1343	6.3958
13.8	189.03	0.0011087	0.1285	790.71	2759.5	1986.3	2.1344	6.3883
14.0	189.20	0.0011081	0.1262	791.66	2759.0	1984.8	2.1343	6.3809
14.2	189.34	0.0011074	0.1240	792.52	2758.5	1983.4	2.1341	6.3735
14.4	189.45	0.0011067	0.1219	793.29	2758.0	1982.0	2.1338	6.3662
14.6	189.53	0.0011060	0.1199	794.00	2757.5	1980.6	2.1334	6.3590
14.8	189.58	0.0011052	0.1180	794.62	2757.0	1979.3	2.1329	6.3518
15.0	189.60	0.0011044	0.1162	795.17	2756.5	1978.0	2.1323	6.3447
15.2	189.59	0.0011035	0.1145	795.64	2756.0	1976.8	2.1316	6.3376
15.4	189.55	0.0011026	0.1129	796.04	2755.5	1975.6	2.1308	6.3306
15.6	189.48	0.0011016	0.1114	796.37	2755.0	1974.5	2.1300	6.3236
15.8	189.38	0.0011006	0.1100	796.63	2754.5	1973.4	2.1291	6.3166
16.0	189.25	0.0010995	0.1087	796.82	2754.0	1972.4	2.1281	6.3096
16.2	189.09	0.0010983	0.1075	796.94	2753.5	1971.4	2.1270</	

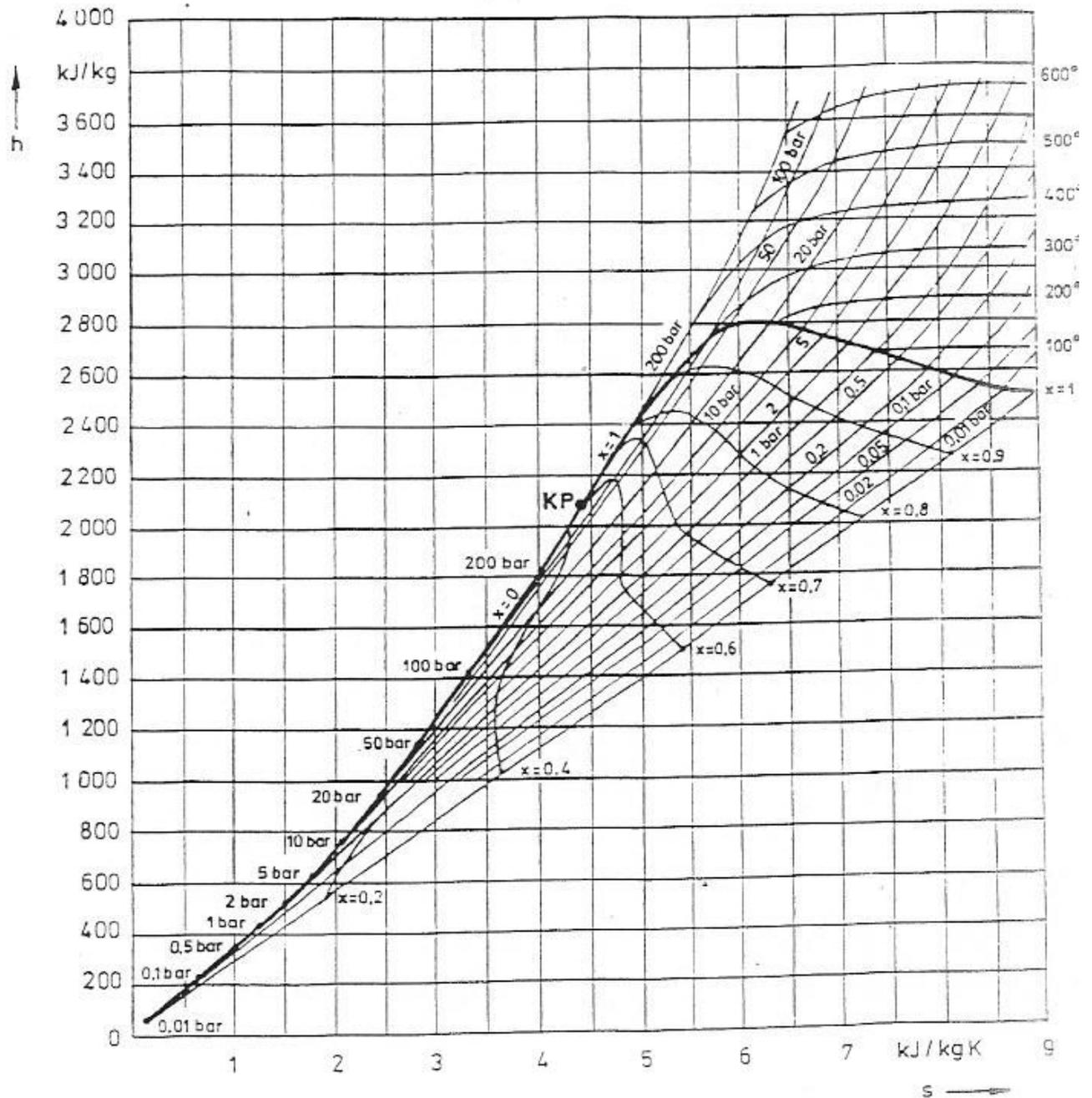


Bild 4.5
h-s-Diagramm für Wasser

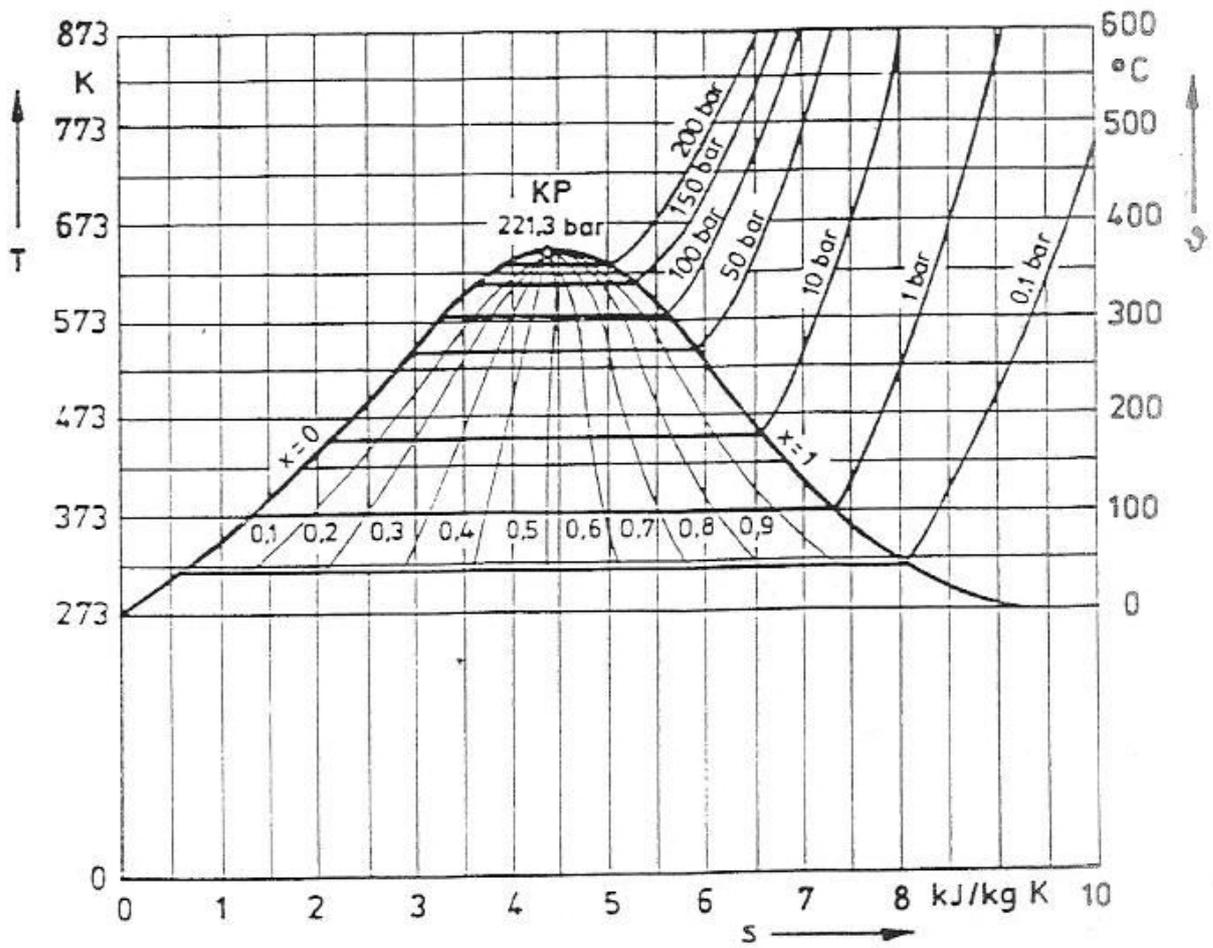


Bild 4.2
T-s-Diagramm für Wasser

Aufgabe 2:**Synchronmaschine**

Ein Synchronmotor soll auf ein Drehstromnetz synchronisiert zugeschaltet werden. Beim Zuschalten eile die Polradspannung dem Vektor der Netzspannung jedoch um einen Fehlerwinkel von $0^\circ 45'$ voraus. Netz- und Polradspannung seien betragsmäßig gleich.

Die im Zuschaltmoment wirksame Reaktanz von Maschine und Netz betrage $X = 0,95 \Omega$.

Netzdaten: $400 \text{ V} / 50 \text{ Hz}$

Maschinendaten: $I_N = 350 \text{ A}$

$\varphi_N = 20^\circ$ (induktiv)

$X_d = 0,7 \Omega$

$p = 2$

- a) Wie groß ist der im ersten Moment fließende Strom?
- b) Berechnen Sie das dabei entwickelte Drehmoment!
- c) Bilden Sie das Verhältnis von dem im Aufgabenteil b) berechneten Drehmoment zum Nenndrehmoment!
- d) Zeichnen Sie das Zeigerdiagramm für den Nennbetrieb!

===== nur Diplomstudiengang =====

- e) Welche Leistung kann die Maschine als Phasenschieber ($\vartheta = 0^\circ$) theoretisch maximal aufnehmen bzw. abgeben?

Aufgabe 3:**Asynchronmaschine**

Ein 6-poliger Drehstrom-Asynchronmotor mit Schleifring habe folgende Daten:

$$f_N = 50 \text{ Hz}$$

$$U_N = U_\Delta = 400 \text{ V}$$

$$P_N = 50 \text{ kW}$$

$$n_N = 980 \text{ min}^{-1}$$

- a) Wie groß ist die Drehfelddrehzahl?
- b) Wie groß ist das Nenndrehmoment?
- c) Wie groß ist der Läuferstrom im Nennbetrieb?
- d) Wie groß ist der auf den Ständer bezogene Läuferstrom im Nennbetrieb?
- e) Welche Leistung wird im Nennbetrieb im Läufer in Wärme umgesetzt?
- f) Wie groß ist die Drehfeldleistung im Nennbetrieb?

===== nur Diplomstudiengang =====

- g) Zur Drehzahlstellung wird an die Schleifringe ein Frequenzumrichter angeschlossen. Wie müssen f_2 und U_2 eingestellt werden, damit die Maschine eine Leerlaufdrehzahl von 800 min^{-1} annimmt?

Musterlösung Aufgabe 1:

a)

P	p / bar	ϑ / °C	T / K	h / (kJ/kg)	s / (kJ/kgK)	Erläuterung
1	0,05	32,9	306	<u>137,77</u>	<u>0,25</u>	Die Kondensation endet bei x=0 (Flüssigkeit) und verläuft entlang der Horizontalen im T-s-Diagramm und entlang der Isobaren im h-s-Diagramm; Temperatur wie unter Punkt 8, s. Tabelle bei p=0,05 bar => h' und s'
2	200	<u>32,9</u>	<u>306</u>	<u>137,77</u>	<u>0,25</u>	Fluid wird als inkompressibel angenommen: keine Enthalpieerhöhung mit dem Druck: Punkte 1 und 2 sind näherungsweise identisch
3.1	200	<u>365,7</u>	<u>639</u>	<u>1826,5</u>	<u>4,01</u>	T-s-Diagramm: Erwärmung bei x=0 bis zum Siedepunkt, T, h' und s' aus Tabelle bei p=200 bar; h-s-Diagramm: Erwärmung bis zum „Abzweig“ der Isothermen von der Siedelinie
3.2	200	365,7	639	<u>2418,4</u>	<u>4,94</u>	T-s-Diagramm: Verdampfung bis x=1; h-s-Diagramm: Verdampfung bis zum „Abzweig“ der 365,7-°C-Isothermen, h' und s' aus Tabelle bei p=200 bar
3.3	200	530	803	<u>3400</u>	<u>6,25</u>	h-s-Diagramm: Überhitzung bis 530 °C, Schnittpunkt der (geschätzten) 530°C-Isothermen mit der 200bar-Isobaren => h, s; T-s-Diagramm: Überhitzung entlang der 200bar-Isobaren, auch hier kann s abgelesen werden
4	50	<u>340</u>	<u>613</u>	<u>3000</u>	6,25	h-s-Diagramm: ideale Entspannung entlang der Isentropen bis p=50 bar => T, h
5	50	530	803	<u>3500</u>	<u>7,2</u>	h-s-Diagramm: erneute Überhitzung bis zum Schnittpunkt der 530°C-Isothermen mit der 50bar-Isobaren => h, s; T-s-Diagramm: Überhitzung entlang der 50bar-Isobaren, auch hier kann s abgelesen werden
6	0,05	<u>32,9</u>	<u>306</u>	2200	7,2	ideale Entspannung entlang der Isentropen, h-s-Diagramm: Schnittpunkt der Isentropen mit der 0,05bar-Isobaren => h, (x ca. 0,84); T-s-Diagramm: Schnittpunkt der Isentropen mit der Isothermen bei „Sättigungstemperatur“ für p=0,05 bar (aus Tabelle)

- b) Die dem Kreisprozess zugeführte Wärme verteilt sich zunächst auf den Gesamtübergang von 2 nach 3.3 im Kessel und von 4 nach 5 im Zwischenüberhitzer:

$$q_{zu} = q_{zu1} + q_{zu2} = (h_{3,3} - h_2) + (h_5 - h_4)$$

$$q_{zu} = (3400 - 137,77) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + (3500 - 3000) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 3262,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 500 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \approx 3762 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Die Wärmezufuhr im Kessel kann aufgeteilt werden in:

$$q_{zu1} = q_{VW} + q_{Verd} + q_{\dot{U}H}$$

$$q_{VW} = q_{3,1} - q_2 = 1826,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 137,77 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \approx 1689 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$q_{Verd} = q_{3,2} - q_{3,1} = 2418,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 1826,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \approx 592 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$q_{\dot{U}H} = q_{3,3} - q_{3,2} = 3400 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 2418,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \approx 982 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

prozentual:

$$\frac{q_{VW}}{q_{zu}} = \frac{1689 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{3762 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = \underline{\underline{44,9\%}} \quad , \quad \frac{q_{Verd}}{q_{zu}} = \frac{592 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{3762 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = \underline{\underline{15,7\%}}$$

$$\frac{q_{\dot{U}H}}{q_{zu}} = \frac{982 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{3762 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = \underline{\underline{26,1\%}} \quad , \quad \frac{q_{Z\dot{U}H}}{q_{zu}} = \frac{q_{zu22}}{q_{zu}} \cdot \frac{500 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{3762 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = \underline{\underline{13,3\%}}$$

Hier kann unmittelbar und durchgehend mit den spezifischen Wärmemengen gerechnet werden, weil alle Komponenten vom selben Massenstrom durchsetzt werden.

Anmerkung: Die Anteile aus Vorwärmer, Verdampfer und Überhitzer können auch aus den Enthalpiedifferenzen berechnet werden.

$$c) \quad \eta_c = 1 - \frac{T_U}{T_O} = 1 - \frac{306 \text{ K}}{803 \text{ K}} = \underline{\underline{62\%}}$$

$$\eta_{th} = \frac{P_{Nutz}}{Q_{zu}} = \frac{w_t}{q_{zu}} = \frac{w_{HD} + w_{ND}}{q_{zu}} = \frac{(h_{3,3} - h_4) + (h_5 - h_6)}{q_{zu}} = \frac{400 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 1300 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{3762 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = \underline{\underline{45\%}}$$

$$d) \quad P_{mech} = P_{Nutz} = 800 \text{ MW} = \dot{m} \cdot w_t \Rightarrow \quad \dot{m} = \frac{800 \text{ MW}}{1700 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 470 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$e) \quad \dot{m}_{Kohle} = \frac{Q_{zu}}{P_{Kessel}} = \frac{q_{zu} \cdot \dot{m}}{\eta_{Kessel} \cdot 8,1 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}} = \frac{3762 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 470 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{0,9 \cdot 8,1 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}} = \underline{\underline{242 \frac{\text{t}}{\text{h}}}}$$

Hier ist mit P_{Kessel} die auf die Masse bezogene Gesamtheizleistung des Kessels gemeint.

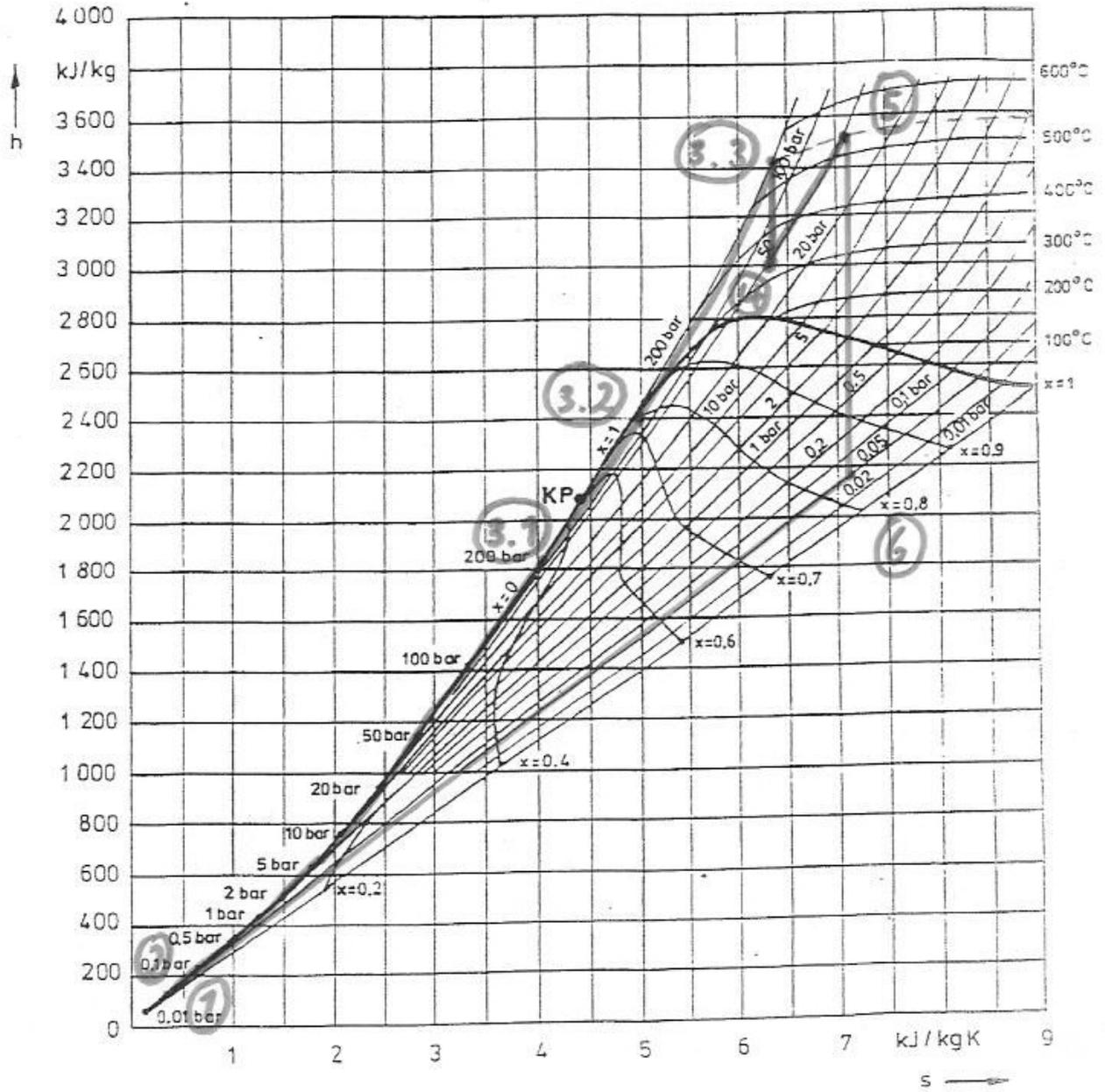


Bild 4.5
h-s-Diagramm für Wasser

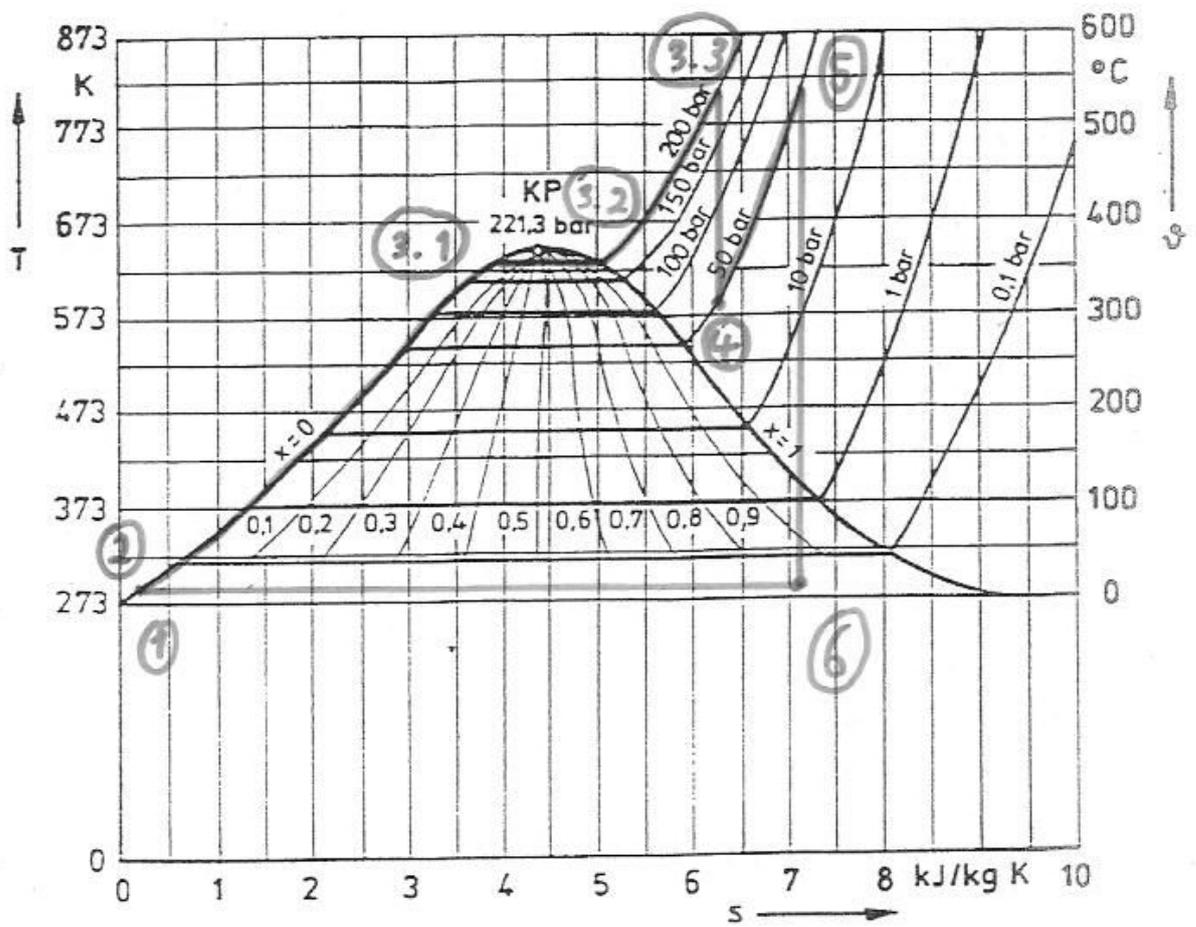


Bild 4.2
T-s-Diagramm für Wasser

Musterlösung Aufgabe 3:

a) $n_d = \frac{f_n}{p} = \frac{50 \text{ Hz}}{3} = \frac{3000 \text{ min}^{-1}}{3} = \underline{\underline{1000 \text{ min}^{-1}}}$

b) P_N ist mechanische Leistung (Motorbetrieb):

$$P_N = M_N \cdot \Omega_N \quad \Rightarrow \quad M_N = \frac{P_N}{\Omega_N} = \frac{50 \text{ kW}}{2\pi \cdot n_N} = \frac{50 \text{ kW}}{2\pi \cdot \frac{980}{60} \text{ s}^{-1}} = \underline{\underline{487,2 \text{ Nm}}}$$

c) Da keine weitere Angabe gemacht ist, kann mit dem Übersetzungsverhältnis 1:1 gerechnet werden:

$$I_{r,N} = \frac{P_N}{\sqrt{3} \cdot U_N} = \frac{50 \text{ kW}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V}} = \underline{\underline{72,17 \text{ A}}}$$

d) Mit derselben Annahme wie oben vereinfacht sich

$$\eta = \frac{P_{mech}}{P_\delta} \quad \text{zu} \quad \eta_N = \frac{I'_{r,N}}{I_{s,N}} = 1 - s_N = 1 - \frac{n_0 - n_N}{n_0} = \frac{n_N}{n_0} = \frac{980 \text{ min}^{-1}}{1000 \text{ min}^{-1}} = \underline{\underline{98 \%}}$$

e) $P_{vr,N} = \frac{P_{mech,N}}{\eta_N} \cdot s_N = \frac{50 \text{ kW}}{0,98} \cdot 0,02 = \underline{\underline{1,02 \text{ kW}}}$

f) $P_{\delta,N} = \frac{P_{mech,N}}{\eta_N} = \frac{50 \text{ kW}}{0,98} \cdot 0,02 = \underline{\underline{51,02 \text{ kW}}}$

g) Das durch den Läufer erzeugte „Gegenfeld“ muss mit der Differenzdrehzahl

$$\Delta n = n_d - n'_d = (1000 - 800) \text{ min}^{-1} = 200 \text{ min}^{-1}$$

$$\text{umlaufen: } f'_2 = \Delta n \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = \underline{\underline{3\frac{1}{3} \text{ Hz}}}$$

Wie bei der „Parallelverschiebung der Grundkennlinie (Typ 4)“ muss nach Gln. (17.30) und (17.31) für Spannung und Frequenz gelten:

$$\frac{U_2}{f_2} = \text{const} \quad \Rightarrow \quad U'_2 = \frac{U_2}{f_2} \cdot f'_2 = 400 \text{ V} \cdot \frac{3\frac{1}{3} \text{ Hz}}{16\frac{2}{3} \text{ Hz}} = 400 \text{ V} \cdot \frac{200}{1000} = \underline{\underline{80 \text{ V}}}$$