

Anhang A Stoffdaten

Tabelle A1.1: Eigenschaften von Wasser und Wasserdampf¹

Tabelle A1.1: Sättigungszustand (Temperaturtafel)

t	p	spez. Volumen		innere Energie		Enthalpie		Entropie				
$^{\circ}\text{C}$	kPa	v'	v''	u'	Δu_{sv}	u''	h'	Δh_{sv}	h''	s'	Δs_{sv}	s''
		m^3/kg		kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	$\text{kJ}/\text{kg K}$	$\text{kJ}/\text{kg K}$	$\text{kJ}/\text{kg K}$
0,01	0,6113	0,001000	206,14	0,00	2375,3	2375,3	0,01	2501,3	2501,4	0,0000	9,1562	9,1562
5	0,8721	0,001000	147,12	20,97	2361,3	2382,3	20,98	2489,6	2510,6	0,0761	8,9496	9,0257
10	1,2276	0,001000	106,38	42,00	2347,2	2389,2	42,01	2477,7	2519,8	0,1510	8,7498	8,9008
15	1,7051	0,001001	77,93	62,99	2333,1	2396,1	62,99	2465,9	2528,9	0,2245	8,5569	8,7814
20	2,3390	0,001002	57,79	83,95	2319,0	2402,9	83,96	2454,1	2538,1	0,2966	8,3706	8,6672
25	3,1690	0,001003	43,36	104,88	2304,9	2409,8	104,89	2442,3	2547,2	0,3674	8,1905	8,5580
30	4,2460	0,001004	32,89	125,78	2290,8	2416,6	125,79	2430,5	2556,3	0,4369	8,0164	8,4533
35	5,6280	0,001006	25,22	146,67	2276,7	2423,4	146,68	2418,6	2565,3	0,5053	7,8478	8,3531
40	7,3840	0,001008	19,52	167,56	2262,6	2430,1	167,57	2406,7	2574,3	0,5725	7,6845	8,2570
45	9,5930	0,001010	15,26	188,44	2248,4	2436,8	188,45	2394,8	2583,2	0,6387	7,5261	8,1648
50	12,3490	0,001012	12,03	209,32	2234,2	2443,5	209,33	2382,7	2592,1	0,7038	7,3725	8,0763
55	15,7580	0,001015	9,568	230,21	2219,9	2450,1	230,23	2370,7	2600,9	0,7679	7,2234	7,9913
60	19,9400	0,001017	7,671	251,11	2205,5	2456,6	251,13	2358,5	2609,6	0,8312	7,0784	7,9069
65	25,0300	0,001020	6,197	272,02	2191,1	2463,1	272,06	2346,2	2618,3	0,8935	6,9375	7,8310
70	31,1900	0,001023	5,042	292,95	2176,6	2469,6	292,98	2333,8	2626,8	0,9549	6,8004	7,7553
75	38,5800	0,001026	4,131	313,90	2162,0	2475,9	313,93	2321,4	2635,3	1,0155	6,6669	7,6824
80	47,3900	0,001029	3,407	334,86	2147,4	2482,2	334,91	2308,8	2643,7	1,0753	6,5369	7,6122
85	57,8300	0,001033	2,828	355,84	2132,6	2488,4	355,90	2296,0	2651,9	1,1343	6,4102	7,5445
90	70,1400	0,001036	2,361	376,85	2117,7	2494,5	376,92	2283,2	2660,1	1,1925	6,2866	7,4791
95	84,5500	0,001040	1,982	397,88	2102,7	2500,6	397,96	2270,2	2668,1	1,2500	6,1659	7,4159

Sättigungszustand (Temperaturtafel) (Fortsetzung)

t °C	p MPa	spez. Volumen		innere Energie		Enthalpie		Entropie				
		v' m ³ /kg	v'' m ³ /kg	u' kJ/kg	u'' kJ/kg	h' kJ/kg	h'' kJ/kg	s' kJ/kg K	s'' kJ/kg K			
100	0,10135	0,001044	1,6729	418,94	2087,6	2506,5	419,04	2257,0	2676,1	1,3069	6,0480	7,3549
105	0,12082	0,001048	1,4194	440,02	2072,3	2512,4	440,15	2243,7	2683,8	1,3630	5,9328	7,2958
110	0,14327	0,001052	1,2102	461,14	2057,0	2518,1	461,30	2230,2	2691,5	1,4185	5,8202	7,2387
115	0,16906	0,001056	1,0366	482,30	2041,4	2523,7	482,48	2216,5	2699,0	1,4734	5,7100	7,1833
120	0,19853	0,001060	0,8919	503,50	2025,8	2529,3	503,71	2202,6	2706,3	1,5276	5,6020	7,1296
125	0,2321	0,001065	0,7706	524,74	2009,9	2534,6	524,99	2188,5	2713,5	1,5813	5,4962	7,0775
130	0,2701	0,001070	0,6685	546,02	1993,9	2539,9	546,31	2174,2	2720,5	1,6344	5,3925	7,0269
135	0,3130	0,001075	0,5822	567,35	1977,7	2545,0	567,69	2159,6	2727,3	1,6870	5,2907	6,9777
140	0,3613	0,001080	0,5089	588,74	1961,3	2550,0	589,13	2144,7	2733,9	1,7391	5,1908	6,9299
145	0,4154	0,001085	0,4463	610,18	1944,7	2554,9	610,63	2129,6	2740,3	1,7907	5,0926	6,8833
150	0,4758	0,001091	0,3928	631,68	1927,9	2559,5	632,20	2114,3	2746,5	1,8418	4,9960	6,8379
155	0,5431	0,001096	0,3468	653,24	1910,8	2564,1	653,84	2098,6	2752,4	1,8925	4,9010	6,7935
160	0,6178	0,001102	0,3071	674,87	1893,5	2568,4	675,55	2082,6	2758,1	1,9427	4,8075	6,7502
165	0,7005	0,001108	0,2727	696,56	1876,0	2572,5	697,34	2066,2	2763,5	1,9925	4,7153	6,7078
170	0,7917	0,001114	0,2428	718,33	1858,1	2576,5	719,21	2049,5	2768,7	2,0419	4,6244	6,6663
175	0,8920	0,001121	0,2168	740,17	1840,0	2580,2	741,17	2032,4	2773,6	2,0909	4,5347	6,6256
180	1,0021	0,001127	0,19405	762,09	1821,6	2583,7	763,22	2015,0	2778,2	2,1396	4,4461	6,5857
185	1,1227	0,001134	0,17409	784,10	1802,9	2587,0	785,37	1997,1	2782,4	2,1879	4,3586	6,5465
190	1,2544	0,001141	0,15654	806,19	1783,8	2590,0	807,62	1978,8	2786,4	2,2359	4,2720	6,5079
195	1,3978	0,001149	0,14105	828,37	1764,4	2592,8	829,98	1960,0	2790,0	2,2835	4,1863	6,4698
200	1,5538	0,001157	0,12736	850,65	1744,7	2595,3	852,45	1940,7	2793,2	2,3309	4,1014	6,4323
205	1,7230	0,001164	0,11521	873,04	1724,5	2597,5	875,04	1921,0	2796,0	2,3780	4,0172	6,3952
210	1,9062	0,001173	0,10441	895,53	1703,9	2599,5	897,76	1900,7	2798,5	2,4248	3,9337	6,3585

Sättigungszustand (Temperaturtafel) (Fortsetzung)

t	p	spez. Volumen		innere Energie		Enthalpie		Entropie				
$^{\circ}\text{C}$	MPa	v'	v''	u'	Δu_{uv}	u''	h'	Δh_{v}	h''	s'	Δs_{sv}	s''
		m^3/kg		kJ/kg			kJ/kg			kJ/kg K		
215	2,1040	0,001181	0,09479	918,14	1682,9	2601,1	920,62	1879,9	2800,5	2,4714	3,8507	6,3221
220	2,3180	0,001190	0,08619	940,87	1661,5	2602,4	943,62	1858,5	2802,1	2,5178	3,7683	6,2861
225	2,5480	0,001199	0,07849	963,73	1639,6	2603,3	966,78	1836,5	2803,3	2,5639	3,6863	6,2503
230	2,7950	0,001209	0,07158	986,74	1617,2	2603,9	990,12	1813,8	2804,0	2,6099	3,6047	6,2146
235	3,0600	0,001219	0,06537	1009,89	1594,2	2604,1	1013,62	1790,5	2804,2	2,6558	3,5233	6,1791
240	3,3440	0,001229	0,05976	1033,21	1570,8	2604,0	1037,32	1766,5	2803,8	2,7015	3,4422	6,1437
245	3,6480	0,001240	0,05471	1056,71	1546,7	2603,4	1061,23	1741,7	2803,0	2,7472	3,3612	6,1083
250	3,9730	0,001251	0,05013	1080,39	1522,0	2602,4	1085,36	1716,2	2801,5	2,7927	3,2802	6,0730
255	4,3190	0,001263	0,04598	1104,28	1496,7	2600,9	1109,73	1689,8	2799,5	2,8383	3,1992	6,0375
260	4,6880	0,001276	0,04221	1128,39	1470,6	2599,0	1134,37	1662,5	2796,9	2,8838	3,1181	6,0019
265	5,0810	0,001289	0,03877	1152,74	1443,9	2596,6	1159,28	1634,4	2793,6	2,9294	3,0368	5,9662
270	5,4990	0,001302	0,03564	1177,36	1416,3	2593,7	1184,51	1605,2	2789,7	2,9751	2,9551	5,9301
275	5,9420	0,001317	0,03279	1202,25	1387,9	2590,2	1210,07	1574,9	2785,0	3,0208	2,8730	5,8938
280	6,4120	0,001332	0,03017	1227,46	1358,7	2586,1	1235,99	1543,6	2779,6	3,0668	2,7903	5,8571
285	6,9090	0,001348	0,02777	1253,00	1328,4	2581,4	1262,31	1511,0	2773,3	3,1130	2,7070	5,8199
290	7,4360	0,001366	0,02557	1278,92	1297,1	2576,0	1289,07	1477,1	2766,2	3,1594	2,6227	5,7821
295	7,9930	0,001384	0,02354	1305,20	1264,7	2569,9	1316,30	1441,8	2758,1	3,2062	2,5375	5,7437
300	8,5810	0,001404	0,02167	1332,00	1231,0	2563,0	1344,00	1404,9	2749,0	3,2534	2,4511	5,7045
305	9,2020	0,001425	0,019948	1359,30	1195,9	2555,2	1372,40	1366,4	2738,7	3,3010	2,3633	5,6643
310	9,8560	0,001447	0,018350	1387,10	1159,4	2546,4	1401,30	1326,0	2727,3	3,3493	2,2737	5,6230
315	10,547	0,001472	0,016867	1415,50	1121,1	2536,6	1431,00	1283,5	2714,5	3,3982	2,1821	5,5804
320	11,274	0,001499	0,015488	1444,60	1080,9	2525,5	1461,50	1238,6	2700,1	3,4480	2,0882	5,5362
330	12,845	0,001561	0,012996	1505,30	993,7	2498,9	1525,30	1140,6	2665,9	3,5507	1,8909	5,4417

Sättigungszustand (Temperaturtafel) (Fortsetzung)

t °C	p MPa	spez. Volumen		innere Energie		Enthalpie		Entropie				
		v' m ³ /kg	v'' m ³ /kg	u' kJ/kg	u'' kJ/kg	h' kJ/kg	h'' kJ/kg	s' kJ/kg K	s'' kJ/kg K			
340	14,586	0,001638	0,010797	1570,30	894,3	2464,6	1594,20	1027,9	2622,0	3,6594	1,6763	5,3357
350	16,513	0,001740	0,008813	1641,90	776,6	2418,4	1670,60	893,4	2563,9	3,7777	1,4335	5,2112
360	18,651	0,001893	0,006945	1725,20	626,3	2351,5	1760,50	720,5	2481,0	3,9147	1,1379	5,0526
370	21,030	0,002213	0,004925	1844,00	384,5	2228,5	1890,50	441,6	2332,1	4,1106	0,6865	4,7971
374,14	22,090	0,003155	0,003155	2029,60	0,0	2029,6	2099,30	0,0	2099,3	4,4298	0,0000	4,4298

¹ Die Eigenschaften von Wasser und Wasserdampf werden in unregelmäßigem Abstand durch neue Messungen und Korrekturen neu formuliert, Die hier aufgeführten Daten wurden übernommen von J.H. Keenan, F.G. Keyes, P.G. Hill und J.G. Moore: Steam-Tables John Wiley and Sons, 1978. Die Unterschiede zu anderen Tabellierungen sind für die Zwecke dieses Buches unbedeutend.

Tabelle A1.2: Sättigungszustand (Drucktafel)

p kPa	t °C	spez. Volumen		innere Energie		Enthalpie		Entropie				
		v' m ³ /kg	v'' m ³ /kg	u' kJ/kg	u'' kJ/kg	h' kJ/kg	h'' kJ/kg	s' kJ/kg K	s'' kJ/kg K			
0,6113	0,01	0,001000	206,14	0,00	2375,3	2375,3	0,01	2501,3	2501,4	0,0000	9,1562	9,1562
1,0	6,98	0,001000	129,21	29,30	2355,7	2385,0	29,30	2484,9	2514,2	0,1059	8,8697	8,9756
1,5	13,03	0,001001	87,98	54,71	2338,6	2393,3	54,71	2470,6	2525,3	0,1957	8,6322	8,8279
2,0	17,50	0,001001	67,00	73,48	2326,0	2399,5	73,48	2460,0	2533,5	0,2607	8,4629	8,7237
2,5	21,08	0,001002	54,25	88,48	2315,9	2404,4	88,49	2451,6	2540,0	0,3120	8,3311	8,6432
3,0	24,08	0,001003	45,67	101,04	2307,5	2408,5	101,05	2444,5	2545,5	0,3545	8,2231	8,5776
4,0	28,96	0,001004	34,80	121,45	2293,7	2415,2	121,46	2432,9	2554,4	0,4226	8,0520	8,4746
5,0	32,88	0,001005	28,19	137,81	2282,7	2420,5	137,82	2423,7	2561,5	0,4764	7,9187	8,3951
7,5	40,29	0,001008	19,24	168,78	2261,7	2430,5	168,79	2406,0	2574,8	0,5764	7,6750	8,2515
10,0	45,81	0,001010	14,67	191,82	2246,1	2437,9	191,83	2392,8	2584,7	0,6493	7,5009	8,1502
15,0	53,97	0,001014	10,02	225,92	2222,8	2448,7	225,94	2373,1	2599,1	0,7549	7,2536	8,0085
20,0	60,06	0,001017	7,649	251,38	2205,4	2456,7	251,40	2358,3	2609,7	0,8320	7,0766	7,9085
25,0	64,97	0,001020	6,204	271,90	2191,2	2463,1	271,93	2346,3	2618,2	0,8931	6,9383	7,8314
30,0	69,10	0,001022	5,229	289,20	2179,2	2468,4	289,23	2336,1	2625,3	0,9439	6,8247	7,7686
40,0	75,87	0,001027	3,993	317,53	2159,5	2477,0	317,58	2319,2	2636,8	1,0259	6,6441	7,6700

Sättigungszustand (Drucktafel) (Fortsetzung)

p MPa	t °C	spez. Volumen		innere Energie		Enthalpie		Entropie				
		v' m ³ /kg	v'' m ³ /kg	u' kJ/kg	u'' kJ/kg	h' kJ/kg	h'' kJ/kg	s' kJ/kg K	s'' kJ/kg K			
0,050	81,33	0,001030	3,240	340,44	2143,4	2483,9	340,49	2305,4	2645,9	1,0910	6,5029	7,5939
0,075	91,78	0,001037	2,217	384,31	2112,4	2496,7	384,39	2278,6	2663,0	1,2130	6,2434	7,4564
0,100	99,63	0,001043	1,6940	417,36	2088,7	2506,1	417,46	2258,0	2675,5	1,3026	6,0568	7,3594
0,125	105,99	0,001048	1,3749	444,19	2069,3	2513,5	444,32	2241,0	2685,4	1,3740	5,9104	7,2844
0,150	111,37	0,001053	1,1593	466,94	2052,7	2519,7	467,11	2226,5	2693,6	1,4336	5,7897	7,2233
0,175	116,06	0,001057	1,0036	486,80	2038,1	2524,9	486,99	2213,6	2700,6	1,4849	5,6868	7,1717
0,200	120,23	0,001061	0,8857	504,49	2025,0	2529,5	504,70	2201,9	2706,7	1,5301	5,5970	7,1271
0,225	124,00	0,001064	0,7933	520,47	2013,1	2533,6	520,72	2191,3	2712,1	1,5706	5,5173	7,0878
0,250	127,44	0,001067	0,7187	535,10	2002,1	2537,2	535,37	2181,5	2716,9	1,6072	5,4455	7,0527
0,275	130,60	0,001070	0,6573	548,59	1991,9	2540,5	548,89	2172,4	2721,3	1,6408	5,3801	7,0209
0,300	133,55	0,001073	0,6058	561,15	1982,4	2543,6	561,47	2163,8	2725,3	1,6718	5,3201	6,9919
0,325	136,30	0,001076	0,5620	572,90	1973,5	2546,4	573,25	2155,8	2729,0	1,7006	5,2646	6,9652
0,350	138,88	0,001079	0,5243	583,95	1965,0	2548,9	584,33	2148,1	2732,4	1,7275	5,2130	6,9405
0,375	141,32	0,001081	0,4914	594,40	1956,9	2551,3	594,81	2140,8	2735,6	1,7528	5,1647	6,9175
0,40	143,63	0,001084	0,4625	604,31	1949,3	2553,6	604,74	2133,8	2738,6	1,7766	5,1193	6,8959
0,45	147,93	0,001088	0,4140	622,77	1934,9	2557,6	623,25	2120,7	2743,9	1,8207	5,0359	6,8565
0,50	151,86	0,001093	0,3749	639,68	1921,6	2561,2	640,23	2108,5	2748,7	1,8607	4,9606	6,8213
0,55	155,48	0,001097	0,3427	655,32	1909,2	2564,5	655,93	2097,0	2753,0	1,8973	4,8920	6,7893
0,60	158,85	0,001101	0,3157	669,90	1897,5	2567,4	670,56	2086,3	2756,8	1,9312	4,8288	6,7600
0,65	162,01	0,001104	0,2927	683,56	1886,5	2570,1	684,28	2076,0	2760,3	1,9627	4,7703	6,7331
0,70	164,97	0,001108	0,2729	696,44	1876,1	2572,5	697,22	2066,3	2763,5	1,9922	4,7158	6,7080
0,75	167,78	0,001112	0,2556	708,64	1866,1	2574,7	709,47	2057,0	2766,4	2,0200	4,6647	6,6847
0,80	170,43	0,001115	0,2404	720,22	1856,6	2576,8	721,11	2048,0	2769,1	2,0462	4,6166	6,6628

Sättigungszustand (Drucktafel) (Fortsetzung)

p	t	spez. Volumen		innere Energie		Enthalpie		Entropie				
MPa	$^{\circ}\text{C}$	v'	v''	u'	Δu_{uv}	u''	h'	Δh_{bv}	h''	s'	Δs_{sv}	s''
		m^3/kg		kJ/kg			kJ/kg			kJ/kg K		
0,85	172,96	0,001118	0,2270	731,27	1847,4	2578,7	732,22	2039,4	2771,6	2,0710	4,5711	6,6421
0,90	175,38	0,001121	0,2150	741,83	1838,6	2580,5	742,83	2031,1	2773,9	2,0946	4,5280	6,6226
0,95	177,69	0,001124	0,2042	751,95	1830,2	2582,1	753,02	2023,1	2776,1	2,1172	4,4869	6,6041
1,00	179,91	0,001127	0,19444	761,68	1822,0	2583,6	762,81	2015,3	2778,1	2,1387	4,4478	6,5865
1,10	184,09	0,001133	0,17753	780,09	1806,3	2586,4	781,34	2000,4	2781,7	2,1792	4,3744	6,5536
1,20	187,99	0,001139	0,16333	797,29	1791,5	2588,8	798,65	1986,2	2784,8	2,2166	4,3067	6,5233
1,30	191,64	0,001144	0,15125	813,44	1777,5	2591,0	814,93	1972,7	2787,6	2,2515	4,2438	6,4953
1,40	195,07	0,001149	0,14084	828,70	1764,1	2592,8	830,30	1959,7	2790,0	2,2842	4,1850	6,4693
1,50	198,32	0,001154	0,13177	843,16	1751,3	2594,5	844,89	1947,3	2792,2	2,3150	4,1298	6,4448
1,75	205,76	0,001166	0,11349	876,46	1721,4	2597,8	878,50	1917,9	2796,4	2,3851	4,0044	6,3896
2,00	212,42	0,001177	0,09963	906,44	1693,8	2600,3	908,79	1890,7	2799,5	2,4474	3,8935	6,3409
2,25	218,45	0,001187	0,08875	933,83	1668,2	2602,0	936,49	1865,2	2801,7	2,5035	3,7937	6,2972
2,5	223,99	0,001197	0,07998	959,11	1644,0	2603,1	962,11	1841,0	2803,1	2,5547	3,7028	6,2575
3,0	233,90	0,001217	0,06668	1004,78	1599,3	2604,1	1008,42	1795,7	2804,2	2,6457	3,5412	6,1869
3,5	242,60	0,001235	0,05707	1045,43	1558,3	2603,7	1049,75	1753,7	2803,4	2,7253	3,4000	6,1253
4	250,40	0,001252	0,04978	1082,31	1520,0	2602,3	1087,31	1714,1	2801,4	2,7964	3,2737	6,0701
5	263,99	0,001286	0,03944	1147,81	1449,3	2597,1	1154,23	1640,1	2794,3	2,9202	3,0532	5,9734
6	275,64	0,001319	0,03244	1205,44	1384,3	2589,7	1213,35	1571,0	2784,3	3,0267	2,8625	5,8892
7	285,88	0,001351	0,02737	1257,55	1323,0	2580,5	1267,00	1505,1	2772,1	3,1211	2,6922	5,8133
8	295,06	0,001384	0,02352	1305,57	1264,2	2569,8	1316,64	1441,3	2758,0	3,2068	2,5364	5,7432
9	303,40	0,001418	0,02048	1350,51	1207,3	2557,8	1363,26	1378,9	2742,1	3,2858	2,3915	5,6772
10	311,06	0,001452	0,01803	1393,04	1151,4	2544,4	1407,56	1317,1	2724,7	3,3596	2,2544	5,6141
11	318,15	0,001489	0,01599	1433,70	1096,0	2529,8	1450,10	1255,5	2705,6	3,4295	2,1233	5,5527

Sättigungszustand (Drucktafel) (Fortsetzung)

p	t	spez., Volumen	innere Energie	Enthalpie	Entropie
MPa	$^{\circ}\text{C}$	v' m^3/kg	u' Δ_{uv} kJ/kg	h' Δ_{hv} kJ/kg	s' Δ_{sv} $\text{kJ}/\text{kg K}$
12	324,75	0,001527	1473,00	1491,30	3,4962
13	330,93	0,001567	1511,10	1531,50	3,5606
14	336,75	0,001611	1548,60	1571,10	3,6232
15	342,24	0,001658	1585,60	1610,50	3,6848
16	347,44	0,001711	1622,70	1650,10	3,7461
17	352,37	0,001770	1660,20	1690,30	3,8079
18	357,06	0,001840	1698,90	1732,00	3,8715
19	361,54	0,001924	1739,90	1776,50	3,9388
20	365,81	0,002036	1785,60	1826,30	4,0139
21	369,89	0,002207	1842,10	1888,40	4,1075
22	373,80	0,002742	1961,90	2022,20	4,3110
22,09	374,14	0,003155	2029,60	2099,30	4,4298

Tabelle A1.3. Überhitzter Dampf

	$p = 0,01 \text{ MPa}, t_s = 45, 81^{\circ}\text{C}$	$p = 0,05 \text{ MPa}, t_s = 81, 33^{\circ}\text{C}$	$p = 0,10 \text{ MPa}, t_s = 99, 63^{\circ}\text{C}$
t	v'' u'' kJ/kg	v'' u'' kJ/kg	v'' u'' kJ/kg
	14,674	3,240	1,6940
	2437,9	2483,9	2506,1
	2584,7	2645,9	2675,5
	8,1502	7,5939	7,3594
$^{\circ}\text{C}$	h'' s kJ/kg	h'' s kJ/kg	h'' s kJ/kg
50	14,869	3,418	1,6958
100	17,196	2511,6	2506,7
150	19,512	2682,5	2676,2
200	21,825	2687,5	2676,4
	2587,9	2780,1	2776,4
	2783	2780,1	2776,4
	2661,3	2877,7	2875,3
	2879,5	2877,7	2875,3
	8,9038	8,158	7,8343

Überhitzer Dampf (Fortsetzung)

250	24,136	2736	2977,3	9,1002	4,82	2735	2976	8,3556	2,406	2733,7	2974,3	8,0333
300	26,445	2812,1	3076,5	9,2813	5,284	2811,3	3075,5	8,5373	2,639	2810,4	3074,3	8,2158
400	31,063	2968,9	3279,6	9,6077	6,209	2968,5	3278,9	8,8642	3,103	2967,9	3278,2	8,5435
500	35,679	3132,3	3489,1	9,8978	7,134	3132	3488,7	9,1546	3,565	3131,6	3488,1	8,8342
600	40,295	3302,5	3705,4	10,1608	8,057	3302,2	3705,1	9,4178	4,028	3301,9	3704,7	9,0976
700	44,911	3479,6	3928,7	10,4028	8,981	3479,4	3928,5	9,6599	4,49	3479,2	3928,2	9,3398
800	49,526	3663,8	4159	10,6281	9,904	3663,6	4158,9	9,8852	4,952	3663,5	4158,6	9,5652
900	54,141	3855	4396,4	10,8396	10,828	3854,9	4396,3	10,0967	5,414	3854,8	4396,1	9,7767
1000	58,757	4053	4640,6	11,0393	11,751	4052,9	4640,5	10,2964	5,875	4052,8	4640,3	9,9764
	$p = 0,2 \text{ MPa}, t_s = 120, 23^\circ\text{C}$											
	v''	u''	h''	s''	v''	u''	h''	s''	v''	u''	h''	s''
	0,8857	2529,5	2706,7	7,1272	0,6058	2543,6	2725,3	6,9919	0,4625	2553,6	2738,6	6,8959
t	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s
°C	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$
150	0,9596	2576,9	2768,8	7,2795	0,6339	2570,8	2761	7,0778	0,4708	2564,5	2752,8	6,9299
200	1,0803	2654,4	2870,5	7,5066	0,7163	2650,7	2865,6	7,3115	0,5342	2646,8	2860,5	7,1706
250	1,1988	2731,2	2971	7,7086	0,7964	2728,7	2967,6	7,5166	0,5951	2726,1	2964,2	7,3789
300	1,3162	2808,6	3071,8	7,8926	0,8753	2806,7	3069,3	7,7022	0,6548	2804,8	3066,8	7,5662
400	1,5493	2966,7	3276,6	8,2218	1,0315	2965,6	3275	8,033	0,7726	2964,4	3273,4	7,8985
500	1,7814	3130,8	3487,1	8,5133	1,1867	3130	3486	8,3251	0,8893	3129,2	3484,9	8,1913
600	2,013	3301,4	3704	8,777	1,3414	3300,8	3703,2	8,5892	1,0055	3300,2	3702,4	8,4558
700	2,244	3478,8	3927,6	9,0194	1,4957	3478,4	3927,1	8,8319	1,1215	3477,9	3926,5	8,6987
800	2,475	3663,1	4158,2	9,2449	1,6499	3662,9	4157,8	9,0576	1,2372	3662,4	4157,3	8,9244
900	2,706	3854,5	4395,8	9,4566	1,8041	3854,2	4395,4	9,2692	1,3529	3853,9	4395,1	9,1362
1000	2,937	4052,5	4640	9,6563	1,9581	4052,3	4639,7	9,469	1,4685	4052	4639,4	9,336
	$p = 0,4 \text{ MPa}, t_s = 143, 63^\circ\text{C}$											

Überhitzer Dampf (Fortsetzung)

		$p = 0,5 \text{ MPa}, t_s = 151,86^\circ\text{C}$				$p = 0,6 \text{ MPa}, t_s = 158,85^\circ\text{C}$				$p = 0,8 \text{ MPa}, t_s = 170,43^\circ\text{C}$			
		v''	u''	h''	s''	v''	u''	h''	s''	v''	u''	h''	s''
t	$^\circ\text{C}$	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$
200	200	0,4249	2642,9	2855,4	7,0592	0,352	2638,9	2850,1	6,9665	0,2608	2630,6	2839,3	6,8158
250	250	0,4744	2723,5	2960,7	7,2709	0,3938	2720,9	2957,2	7,1816	0,2931	2715,5	2950	7,0384
300	300	0,5226	2802,9	3064,2	7,4599	0,4344	2801	3061,6	7,3724	0,3241	2797,2	3056,5	7,2328
350	350	0,5701	2882,6	3167,7	7,6329	0,4742	2881,2	3165,7	7,5464	0,3544	2878,2	3161,7	7,4089
400	400	0,6173	2963,2	3271,9	7,7938	0,5137	2962,1	3270,3	7,7079	0,3834	2959,7	3267,1	7,5716
500	500	0,7109	3128,4	3483,9	8,0873	0,592	3127,6	3482,8	8,0021	0,4433	3126	3480,6	7,8673
600	600	0,8041	3299,6	3701,7	8,3522	0,6697	3299,1	3700,9	8,2674	0,5018	3297,9	3699,4	8,1333
700	700	0,8969	3477,5	3925,9	8,5952	0,7472	3477	3925,3	8,5107	0,5601	3476,2	3924,2	8,377
800	800	0,9896	3662,1	4156,9	8,8211	0,8245	3661,8	4156,5	8,7367	0,6181	3661,1	4155,6	8,6033
900	900	1,0822	3853,6	4394,7	9,0329	0,9017	3853,4	4394,4	8,9486	0,6761	3852,8	4393,7	8,8153
1000	1000	1,1747	4051,8	4639,1	9,2328	0,9788	4051,5	4638,8	9,1485	0,734	4051	4638,2	9,0153
		$p = 1,0 \text{ MPa}, t_s = 179,91^\circ\text{C}$				$p = 1,2 \text{ MPa}, t_s = 187,99^\circ\text{C}$				$p = 1,4 \text{ MPa}, t_s = 195,07^\circ\text{C}$			
		v''	u''	h''	s''	v''	u''	h''	s''	v''	u''	h''	s''
t	$^\circ\text{C}$	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$
200	200	0,206	2621,9	2827,9	6,694	0,1693	2612,8	2815,9	6,5898	0,14302	2603,1	2803,3	6,4975
250	250	0,2327	2709,9	2942,6	6,9247	0,19234	2704,2	2935	6,8294	0,1635	2698,3	2927,2	6,7467
300	300	0,2579	2793,2	3051,2	7,1229	0,2138	2789,2	3045,8	7,0317	0,18228	2785,2	3040,4	6,9534
350	350	0,2825	2875,2	3157,7	7,3011	0,2345	2872,2	3153,6	7,2121	0,2003	2869,2	3149,5	7,136

Überhitzer Dampf (Fortsetzung)

400	0,3066	2957,3	3263,9	7,4651	0,2548	2954,9	3260,7	7,3774	0,2178	2952,5	3257,5	7,3026
500	0,3541	3124,4	3478,5	7,7622	0,2946	3122,8	3476,3	7,6759	0,2521	3121,1	3474,1	7,6027
600	0,4011	3296,8	3697,9	8,029	0,3339	3295,6	3696,3	7,9435	0,286	3294,4	3694,8	7,871
700	0,4478	3475,3	3923,1	8,2731	0,3729	3474,4	3922	8,1881	0,3195	3473,6	3920,8	8,116
800	0,4943	3660,4	4154,7	8,4996	0,4118	3659,7	4153,8	8,4148	0,3528	3659	4153	8,3431
900	0,5407	3852,2	4392,9	8,7118	0,4505	3851,6	4392,2	8,6272	0,3861	3851,1	4391,5	8,5556
1000	0,5871	4050,5	4637,6	8,9119	0,4892	4050	4637	8,8274	0,4192	4049,5	4636,4	8,7559
$p = 1,6 \text{ MPa}, t_s = 201,41^\circ\text{C}$												
	v''	u''	h''	s''	v''	u''	h''	s''	v''	u''	h''	s''
	0,12380	2596,0	2794,0	6,4218	0,11042	2598,4	2797,1	6,3794	0,09963	2600,3	2799,5	6,3409
t	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s
$^\circ\text{C}$	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$
225	0,13287	2644,7	2857,3	6,5518	0,11673	2636,6	2846,7	6,4808	0,10377	2628,3	2835,8	6,4147
250	0,14184	2692,3	2919,2	6,6732	0,12497	2686	2911	6,6066	0,11144	2679,6	2902,5	6,5453
300	0,15862	2781,1	3034,8	6,8844	0,14021	2776,9	3029,2	6,8226	0,12547	2772,6	3023,5	6,7664
350	0,17456	2866,1	3145,4	7,0694	0,15457	2863	3141,2	7,01	0,13857	2859,8	3137	6,9563
400	0,19005	2950,1	3254,2	7,2374	0,16847	2947,7	3250,9	7,1794	0,1512	2945,2	3247,6	7,1271
500	0,2203	3119,5	3472	7,539	0,1955	3117,9	3469,8	7,4825	0,17568	3116,2	3467,6	7,4317
600	0,25	3293,3	3693,2	7,808	0,222	3292,1	3691,7	7,7523	0,1996	3290,9	3690,1	7,7024
700	0,2794	3472,7	3919,7	8,0535	0,2482	3471,8	3918,5	7,9983	0,2232	3470,9	3917,4	7,9487
800	0,3086	3658,3	4152,1	8,2808	0,2742	3657,6	4151,2	8,2258	0,2467	3657	4150,3	8,1765
900	0,3377	3850,5	4390,8	8,4935	0,3001	3849,9	4390,1	8,4386	0,27	3849,3	4389,4	8,3895
1000	0,3668	4049	4635,8	8,6938	0,326	4048,5	4635,2	8,6391	0,2933	4048	4634,6	8,5901
$p = 2,0 \text{ MPa}, t_s = 212,42^\circ\text{C}$												
	v''	u''	h''	s''	v''	u''	h''	s''	v''	u''	h''	s''
	0,12380	2596,0	2794,0	6,4218	0,11042	2598,4	2797,1	6,3794	0,09963	2600,3	2799,5	6,3409

Überhitzer Dampf (Fortsetzung)

		$p = 2,5 \text{ MPa}, t_s = 223,99^\circ\text{C}$				$p = 3,0 \text{ MPa}, t_s = 233,90^\circ\text{C}$				$p = 3,5 \text{ MPa}, t_s = 242,60^\circ\text{C}$			
		v''	u''	h''	s''	v''	u''	h''	s''	v''	u''	h''	s''
t	$^\circ\text{C}$	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$
225		0,08027	2605,6	2806,3	6,2639	0,07058	2644	2855,8	6,2872	0,05872	2623,7	2829,2	6,1749
250		0,087	2662,6	2880,1	6,4085	0,08114	2750,1	2993,5	6,539	0,06842	2738	2977,5	6,4461
300		0,0989	2761,6	3008,8	6,6438	0,09053	2843,7	3115,3	6,7428	0,07678	2835,3	3104	6,6579
350		0,10976	2851,9	3126,3	6,8403	0,09936	2932,8	3230,9	6,9212	0,08453	2926,4	3222,3	6,8405
400		0,1201	2939,1	3239,3	7,0148	0,10787	3020,4	3344	7,0834	0,09196	3015,3	3337,2	7,0052
450		0,13014	3025,5	3350,8	7,1746	0,11619	3108	3456,5	7,2338	0,09918	3103	3450,9	7,1572
500		0,13998	3112,1	3462,1	7,3234	0,13243	3285	3682,3	7,5085	0,11324	3282,1	3678,4	7,4339
600		0,1593	3288	3686,3	7,596	0,14838	3466,5	3911,7	7,7571	0,12699	3464,3	3908,8	7,6837
700		0,17832	3468,7	3914,5	7,8435	0,16414	3653,5	4145,9	7,9862	0,14056	3651,8	4143,7	7,9134
800		0,19716	3655,3	4148,2	8,072	0,1798	3846,5	4385,9	8,1999	0,15402	3845	4384,1	8,1276
900		0,2159	3847,9	4387,6	8,2853	0,19541	4045,4	4631,6	8,4009	0,16743	4044,1	4630,1	8,3288
1000		0,2346	4046,7	4633,1	8,4861								
		$p = 4,0 \text{ MPa}, t_s = 250,40^\circ\text{C}$				$p = 4,5 \text{ MPa}, t_s = 257,49^\circ\text{C}$				$p = 5,0 \text{ MPa}, t_s = 263,99^\circ\text{C}$			
		v''	u''	h''	s''	v''	u''	h''	s''	v''	u''	h''	s''
t	$^\circ\text{C}$	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$
275		0,04978	2602,3	2801,4	6,0701	0,04406	2600,1	2798,3	6,0198	0,03944	2597,1	2794,3	5,9734
300		0,05457	2667,9	2886,2	6,2285	0,0473	2650,3	2863,2	6,1401	0,04141	2631,3	2838,3	6,0544
350		0,05884	2725,3	2960,7	6,3615	0,05135	2712	2943,1	6,2828	0,04532	2698	2924,5	6,2084
350		0,06645	2826,7	3092,5	6,5821	0,0584	2817,8	3080,6	6,5131	0,05194	2808,7	3068,4	6,4493

Überhitzer Dampf (Fortsetzung)

400	0,07341	2919,9	3213,6	6,769	0,06475	2913,3	3204,7	6,7047	0,05781	2906,6	3195,7	6,6459
450	0,08002	3010,2	3330,3	6,9363	0,07074	3005	3323,3	6,8746	0,0633	2999,7	3316,2	6,8186
500	0,08643	3099,5	3445,3	7,0901	0,07651	3095,3	3439,6	7,0301	0,06857	3091	3433,8	6,9759
600	0,09885	3279,1	3674,4	7,3688	0,08765	3276	3670,5	7,311	0,07869	3273	3666,5	7,2589
700	0,11095	3462,1	3905,9	7,6198	0,09847	3459,9	3903	7,5631	0,08849	3457,6	3900,1	7,5122
800	0,12287	3650	4141,5	7,8502	0,10911	3648,3	4139,3	7,7942	0,09811	3646,6	4137,1	7,744
900	0,13469	3843,6	4382,3	8,0647	0,11965	3842,2	4380,6	8,0091	0,10762	3840,7	4378,8	7,9593
1000	0,14645	4042,9	4628,7	8,2662	0,13013	4041,6	4627,2	8,2108	0,11707	4040,4	4625,7	8,1612
	$p = 6,0 \text{ MPa}, t_s = 275, 64^\circ\text{C}$											
	v''	u''	h''	s''	v''	u''	h''	s''	v''	u''	h''	s''
	0,03244	2589,7	2784,3	5,8892	0,02737	2580,5	2772,1	5,8133	0,02352	2569,1	2758,0	5,7432
t	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s
$^\circ\text{C}$	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$
300	0,03616	2667,2	2884,2	6,0674	0,02947	2632,2	2838,4	5,9305	0,02426	2590,9	2785	5,7906
350	0,04223	2789,6	3043	6,3335	0,03524	2769,4	3016	6,2283	0,02995	2747,7	2987,3	6,1301
400	0,04739	2892,9	3177,2	6,5408	0,03993	2878,6	3158,1	6,4478	0,03432	2863,8	3138,3	6,3634
450	0,05214	2988,9	3301,8	6,7193	0,04416	2978	3287,1	6,6327	0,03817	2966,7	3272	6,5551
500	0,05665	3082,2	3422,2	6,8803	0,04814	3073,4	3410,3	6,7975	0,04175	3064,3	3398,3	6,724
550	0,06101	3174,6	3540,6	7,0288	0,05195	3167,2	3530,9	6,9486	0,04516	3159,8	3521	6,8778
600	0,06525	3266,9	3658,4	7,1677	0,05565	3260,7	3650,3	7,0894	0,04845	3254,4	3642	7,0206
700	0,07352	3453,1	3894,2	7,4234	0,06283	3448,5	3888,3	7,3476	0,05481	3443,9	3882,4	7,2812
800	0,0816	3643,1	4132,7	7,6566	0,06981	3639,5	4128,2	7,5822	0,06097	3636	4123,8	7,5173
900	0,08958	3837,8	4375,3	7,8727	0,07669	3835	4371,8	7,7991	0,06702	3832,1	4368,3	7,7351
1000	0,09749	4037,8	4622,7	8,0751	0,0835	4035,3	4619,8	8,002	0,07301	4032,8	4616,9	7,9384
	$p = 8,0 \text{ MPa}, t_s = 295, 06^\circ\text{C}$											
	v''	u''	h''	s''	v''	u''	h''	s''	v''	u''	h''	s''
	0,03244	2589,7	2784,3	5,8892	0,02737	2580,5	2772,1	5,8133	0,02352	2569,1	2758,0	5,7432
t	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s
$^\circ\text{C}$	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$

Überhitzer Dampf (Fortsetzung)

		$p = 9,0 \text{ MPa}, t_s = 303,40^\circ\text{C}$				$p = 10,0 \text{ MPa}, t_s = 311,06^\circ\text{C}$				$p = 12,5 \text{ MPa}, t_s = 327,89^\circ\text{C}$			
		v''	u''	h''	s''	v''	u''	h''	s''	v''	u''	h''	s''
t		m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$
325	°C	0,02327	2646,6	2856	5,8712	0,019861	2610,4	2809,1	5,7568	0,016126	2624,6	2826,2	5,7118
350		0,0258	2724,4	2956,6	6,0361	0,02242	2699,2	2923,4	5,9443	0,02	2789,3	3039,3	6,0417
400		0,02993	2848,4	3117,8	6,2854	0,02641	2832,4	3096,5	6,212	0,02299	2912,5	3199,8	6,2719
450		0,0335	2955,2	3256,6	6,4844	0,02975	2943,4	3240,9	6,419	0,0256	3021,7	3341,8	6,4618
500		0,03677	3055,2	3386,1	6,6576	0,03279	3045,8	3373,7	6,5966	0,02801	3125	3475,2	6,629
550		0,03987	3152,2	3511	6,8142	0,03564	3144,6	3500,9	6,7561	0,03029	3225,4	3604	6,781
600		0,04285	3248,1	3633,7	6,9589	0,03837	3241,7	3625,3	6,9029	0,03248	3324,4	3730,4	6,9218
650		0,04574	3343,6	3755,3	7,0943	0,04101	3338,2	3748,2	7,0398	0,0346	3422,9	3855,3	7,0536
700		0,04857	3439,3	3876,5	7,2221	0,04358	3434,7	3870,5	7,1687	0,03869	3620	4103,6	7,2965
800		0,05409	3632,5	4119,3	7,4596	0,04859	3628,9	4114,8	7,4077	0,04267	3819,1	4352,5	7,5182
900		0,0595	3829,2	4364,8	7,6783	0,05349	3826,3	4361,2	7,6272	0,04658	4021,6	4603,8	7,7237
1000		0,06485	4030,3	4614	7,8821	0,05832	4027,8	4611	7,8315	$p = 20,0 \text{ MPa}, t_s = 365,81^\circ\text{C}$			
		v''	u''	h''	s''	v''	u''	h''	s''	v''	u''	h''	s''
t		m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$
350	°C	0,010337	2453,3	2610,5	5,3098	0,007920	2390,2	2528,8	5,1419	0,005834	2293,0	2409,7	4,9269
400		0,01147	2520,4	2692,4	5,4421	v	u	h	s	v	u	h	s
450		0,015649	2740,7	2975,5	5,8811	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$
450		0,018445	2879,5	3156,2	6,1404	0,012447	2685	2902,9	5,7213	0,009942	2619,3	2818,1	5,554
						0,015174	2844,2	3109,7	6,0184	0,012695	2806,2	3060,1	5,9017

Überhitzer Dampf (Fortsetzung)

500	0,0208	2996,6	3308,6	6,3443	0,017358	2970,3	3274,1	6,2383	0,014768	2942,9	3238,2	6,1401
550	0,02293	3104,7	3448,6	6,5199	0,019288	3083,9	3421,4	6,423	0,016555	3062,4	3393,5	6,3348
600	0,02491	3208,6	3582,3	6,6776	0,02106	3191,5	3560,1	6,5866	0,018178	3174	3537,6	6,5048
650	0,0268	3310,3	3712,3	6,8224	0,02274	3296	3693,9	6,7357	0,019693	3281,4	3675,3	6,6582
700	0,02861	3410,9	3840,1	6,9572	0,02434	3398,7	3824,6	6,8736	0,02113	3386,4	3809	6,7993
800	0,0321	3610,9	4092,4	7,204	0,02738	3601,8	4081,1	7,1244	0,02385	3592,7	4069,7	7,0544
900	0,03546	3811,9	4343,8	7,4279	0,03031	3804,7	4335,1	7,3507	0,02645	3797,5	4326,4	7,283
1000	0,03875	4015,4	4596,6	7,6348	0,03316	4009,3	4589,5	7,5589	0,02897	4003,1	4582,5	7,4925
$p = 25,0 \text{ MPa}$												
t	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s
°C	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$
375	0,0019731	1798,7	1848	4,032	0,0017892	1737,8	1791,5	3,9305	0,0017003	1702,9	1762,4	3,8722
400	0,006004	2430,1	2580,2	5,1418	0,00279	2067,4	2151,1	4,4728	0,0021	1914,1	1987,6	4,2126
425	0,007881	2609,2	2806,3	5,4723	0,005303	2455,1	2614,2	5,1504	0,003428	2253,4	2373,4	4,7747
450	0,009162	2720,7	2949,7	5,6744	0,006735	2619,3	2821,4	5,4424	0,004961	2498,7	2672,4	5,1962
500	0,011123	2884,3	3162,4	5,9592	0,008678	2820,7	3081,1	5,7905	0,006927	2751,9	2994,4	5,6282
550	0,012724	3017,5	3335,6	6,1765	0,010168	2970,3	3275,4	6,0342	0,008345	2921	3213	5,9026
600	0,014137	3137,9	3491,4	6,3602	0,011446	3100,5	3443,9	6,2331	0,009527	3062	3395,3	6,1179
650	0,015433	3251,6	3637,4	6,5229	0,012596	3221	3598,9	6,4058	0,010575	3189,8	3559,9	6,301
700	0,016646	3361,3	3777,5	6,6707	0,013661	3335,8	3745,6	6,5606	0,011533	3309,8	3713,5	6,4631
800	0,018912	3574,3	4047,1	6,9345	0,015623	3555,5	4024,2	6,8332	0,013278	3536,7	4001,5	6,745
900	0,021045	3783	4309,1	7,168	0,017448	3768,5	4291,9	7,0718	0,014883	3754	4274,9	6,9886
1000	0,0231	3990	4568,5	7,3802	0,019196	3978,8	4554,7	7,2867	0,01641	3966,7	4541,1	7,2064
$p = 30,0 \text{ MPa}$												
t	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s
°C	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$
375	0,0019731	1798,7	1848	4,032	0,0017892	1737,8	1791,5	3,9305	0,0017003	1702,9	1762,4	3,8722
400	0,006004	2430,1	2580,2	5,1418	0,00279	2067,4	2151,1	4,4728	0,0021	1914,1	1987,6	4,2126
425	0,007881	2609,2	2806,3	5,4723	0,005303	2455,1	2614,2	5,1504	0,003428	2253,4	2373,4	4,7747
450	0,009162	2720,7	2949,7	5,6744	0,006735	2619,3	2821,4	5,4424	0,004961	2498,7	2672,4	5,1962
500	0,011123	2884,3	3162,4	5,9592	0,008678	2820,7	3081,1	5,7905	0,006927	2751,9	2994,4	5,6282
550	0,012724	3017,5	3335,6	6,1765	0,010168	2970,3	3275,4	6,0342	0,008345	2921	3213	5,9026
600	0,014137	3137,9	3491,4	6,3602	0,011446	3100,5	3443,9	6,2331	0,009527	3062	3395,3	6,1179
650	0,015433	3251,6	3637,4	6,5229	0,012596	3221	3598,9	6,4058	0,010575	3189,8	3559,9	6,301
700	0,016646	3361,3	3777,5	6,6707	0,013661	3335,8	3745,6	6,5606	0,011533	3309,8	3713,5	6,4631
800	0,018912	3574,3	4047,1	6,9345	0,015623	3555,5	4024,2	6,8332	0,013278	3536,7	4001,5	6,745
900	0,021045	3783	4309,1	7,168	0,017448	3768,5	4291,9	7,0718	0,014883	3754	4274,9	6,9886
1000	0,0231	3990	4568,5	7,3802	0,019196	3978,8	4554,7	7,2867	0,01641	3966,7	4541,1	7,2064
$p = 35,0 \text{ MPa}$												
t	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s
°C	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$

Überhitzer Dampf (Fortsetzung)

t	p = 40,0 MPa					p = 50,0 MPa					p = 60,0 MPa				
	v	u	h	s		v	u	h	s		v	u	h	s	
°C	m ³ /kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$		m ³ /kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$		m ³ /kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$	
375	0,0016407	1677,1	1742,8	3,829		0,0015594	1638,6	1716,6	3,7639		0,0015028	1609,4	1699,5	3,7141	
400	0,0019077	1854,6	1930,9	4,1135		0,0017309	1788,1	1874,6	4,0031		0,0016335	1745,4	1843,4	3,9318	
425	0,002532	2096,9	2198,1	4,5029		0,002007	1959,7	2060	4,2734		0,0018165	1892,7	2001,7	4,1626	
450	0,003693	2365,1	2512,8	4,9459		0,002486	2159,6	2284	4,5884		0,002085	2053,9	2179	4,4121	
500	0,005622	2678,4	2903,3	5,47		0,003892	2525,5	2720,1	5,1726		0,002956	2390,6	2567,9	4,9321	
550	0,006984	2869,7	3149,1	5,7785		0,005118	2763,6	3019,5	5,5485		0,003956	2658,8	2896,2	5,3441	
600	0,008094	3022,6	3346,4	6,0114		0,006112	2942	3247,6	5,8178		0,004834	2861,1	3151,2	5,6452	
650	0,009063	3158	3520,6	6,2054		0,006966	3093,5	3441,8	6,0342		0,005595	3028,8	3364,5	5,8829	
700	0,009941	3283,6	3681,2	6,375		0,007727	3230,5	3616,8	6,2189		0,006272	3177,2	3553,5	6,0824	
800	0,011523	3517,8	3978,7	6,6662		0,009076	3479,8	3933,6	6,529		0,007459	3441,5	3889,1	6,4109	
900	0,012962	3739,4	4257,9	6,915		0,010283	3710,3	4224,4	6,7882		0,008508	3681	4191,5	6,6805	
1000	0,014324	3954,6	4527,6	7,1356		0,011411	3930,5	4501,1	7,0146		0,00948	3906,4	4475,2	6,9127	

Tabelle A1.4: Unterkühlte Flüssigkeit

t	p = 5,0 MPa, t _s = 263,99°C					p = 10,0 MPa, t _s = 311,06°C					p = 15,0 MPa, t _s = 342,24°C				
	v	u	h	s		v	u	h	s		v	u	h	s	
°C	m ³ /kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$		m ³ /kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$		m ³ /kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$	
0	0,0009977	0,04	5,04	0,0001		0,0009952	0,09	10,04	0,0002		0,0009928	0,15	0,15	0,0004	
20	0,0009995	83,65	88,65	0,2956		0,0009972	83,36	93,33	0,2945		0,000995	83,06	97,99	0,2934	
40	0,0010056	166,95	171,97	0,5705		0,0010034	166,35	176,38	0,5686		0,0010013	165,76	180,78	0,5666	

Unterkühlte Flüssigkeit (Fortsetzung)

60	0,0010149	250,23	255,3	0,8285	0,0010127	249,36	259,49	0,8258	0,0010105	248,51	263,67	0,8232
80	0,0010268	333,72	338,85	1,072	0,0010245	332,59	342,83	1,0688	0,0010222	331,48	346,81	1,0656
100	0,001041	417,52	422,72	1,303	0,0010385	416,12	426,5	1,2992	0,0010361	414,74	430,28	1,2955
120	0,0010576	501,8	507,09	1,5233	0,0010549	500,08	510,64	1,5189	0,0010522	498,4	514,19	1,5145
140	0,0010768	586,76	592,15	1,7343	0,0010737	584,68	595,42	1,7292	0,0010707	582,66	598,72	1,7242
160	0,0010988	672,62	678,12	1,9375	0,0010953	670,13	681,08	1,9317	0,0010918	667,71	684,09	1,926
180	0,001124	759,63	765,25	2,1341	0,0011199	756,65	767,84	2,1275	0,0011159	753,76	770,5	2,121
200	0,001153	848,1	853,9	2,3255	0,0011148	844,5	856	2,3178	0,0011433	841	858,2	2,3104
220	0,0011866	938,4	944,4	2,5128	0,0011805	934,1	945,9	2,5039	0,0011748	929,9	947,5	2,4953
240	0,0012264	1031,4	1037,5	2,6979	0,0012187	1026	1038,1	2,6872	0,0012114	1020,8	1039	2,6771
260	0,0012749	1127,9	1134,3	2,883	0,0012645	1121,1	1133,7	2,8699	0,001255	1114,6	1133,4	2,8576
280					0,0013216	1220,9	1234,1	3,0548	0,0013084	1212,5	1232,1	3,0393
300					0,0013972	1328,4	1342,3	3,2469	0,001377	1316,6	1337,3	3,226
320									0,0014724	1431,1	1453,2	3,4247
340									0,0016311	1567,5	1591,9	3,6546
										$p = 50,0 \text{ MPa}$		
										$p = 30,0 \text{ MPa}$		
										$p = 20,0 \text{ MPa}, t_s = 365, 81^\circ\text{C}$		
	v'	u'	h'	s'								
	0,002036	1785,6	1826,3	4,0139								
t	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s
$^\circ\text{C}$	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$	m^3/kg	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$
0	0,0009904	0,19	20,01	0,0004	0,0009856	0,25	29,82	0,0001	0,0009766	0,2	49,03	-0,0014
20	0,0009928	82,77	102,62	0,2923	0,0009886	82,17	111,84	0,2899	0,0009804	81	130,02	0,2848
40	0,0009992	165,17	185,16	0,5646	0,0009951	164,04	193,89	0,5607	0,0009872	161,86	211,21	0,5527
60	0,0010084	247,68	267,85	0,8206	0,0010042	246,06	276,19	0,8154	0,0009962	242,98	292,79	0,8052
80	0,0010199	330,4	350,8	1,0624	0,0010156	328,3	358,77	1,0561	0,0010073	324,34	374,7	1,044
100	0,0010337	413,39	434,06	1,2917	0,001029	410,78	441,66	1,2844	0,0010201	405,88	456,89	1,2703

Unterkühlte Flüssigkeit (Fortsetzung)

120	0,0010496	496,76	517,76	1,5102	0,0010445	493,59	524,93	1,5018	0,0010348	487,65	539,39	1,4857
140	0,0010678	580,69	602,04	1,7193	0,0010621	576,88	608,75	1,7098	0,0010515	569,77	622,35	1,6915
160	0,0010885	665,35	687,12	1,9204	0,0010821	660,82	693,28	1,9096	0,0010703	652,41	705,92	1,8891
180	0,001112	750,95	773,2	2,1147	0,0011047	745,59	778,73	2,1024	0,0010912	735,69	790,25	2,0794
200	0,0011388	837,7	860,5	2,3031	0,0011302	831,4	865,3	2,2893	0,0011146	819,7	875,5	2,2634
220	0,0011693	925,9	949,3	2,487	0,0011159	918,3	953,1	2,4711	0,0011408	904,7	961,7	2,4419
240	0,0012046	1016	1040	2,6674	0,0011192	1006,9	1042,6	2,649	0,0011702	990,7	1049,2	2,6158
260	0,0012462	1108,6	1133,5	2,8459	0,0012303	1097,4	1134,3	2,8243	0,0012034	1078,1	1138,2	2,786
280	0,0012965	1204,7	1230,6	3,0248	0,0012755	1190,7	1229	2,9986	0,0012415	1167,2	1229,3	2,9537
300	0,0013596	1306,1	1333,3	3,2071	0,0013304	1287,9	1327,8	3,1741	0,001286	1258,7	1323	3,12
320	0,0014437	1415,7	1444,6	3,3979	0,0013997	1390,7	1432,7	3,3539	0,0013388	1353,3	1420,2	3,2868
340	0,0015684	1539,7	1571	3,6075	0,001492	1501,7	1546,5	3,5426	0,0014032	1452	1522,1	3,4557
360	0,0018226	1702,8	1739,3	3,8772	0,0016265	1626,6	1675,4	3,7494	0,0014838	1556	1630,2	3,6291
380					0,0018691	1781,4	1837,5	4,0012	0,0015884	1667,2	1746,6	3,8101

Tabelle A1.5: Sublimationszustand

t	p	spez. Volumen	innere Energie		Enthalpie		Entropie		
$^{\circ}\text{C}$	kPa	$v^S \cdot 10^3$	u^S	Δu_S	h^S	Δh_S	h''	s^S	s''
		m^3/kg	kJ/kg		kJ/kg		kJ/kg K		
0,01	0,6113	1,0908	-333,4	2708,7	-333,4	2834,8	2501,4	-1,221	10,377
0	0,6108	1,0908	-333,43	2708,8	-333,43	2834,8	2501,3	-1,221	10,378
-2	0,5176	1,0904	-337,62	2710,2	-337,62	2835,3	2497,7	-1,237	10,456
-4	0,4375	1,0901	-341,78	2711,6	-341,78	2835,7	2494	-1,253	10,536
-6	0,3689	1,0898	-345,91	2712,9	-345,91	2836,2	2490,3	-1,268	10,616
-8	0,3102	1,0894	-350,02	2714,2	-350,02	2836,6	2486,6	-1,284	10,698
-10	0,2602	1,0891	-354,09	2715,5	-354,09	2837	2482,9	-1,299	10,781
-12	0,2176	1,0888	-358,14	2716,8	-358,14	2837,3	2479,2	-1,315	10,865
-14	0,1815	1,0884	-362,15	2718	-362,15	2837,6	2475,5	-1,331	10,95
-16	0,151	1,0881	-366,14	2719,2	-366,14	2837,9	2471,8	-1,346	11,036
-18	0,1252	1,0878	-370,1	2720,4	-370,1	2838,2	2468,1	-1,362	11,123
-20	0,1035	1,0874	-374,03	2721,6	-374,03	2838,4	2464,3	-1,377	11,212
-22	0,0853	1,0871	-377,93	2722,7	-377,93	2838,6	2460,6	-1,393	11,302
-24	0,0701	1,0868	-381,8	2723,7	-381,8	2838,7	2456,9	-1,408	11,394
-26	0,0574	1,0864	-385,64	2724,8	-385,64	2838,9	2453,2	-1,424	11,486
-28	0,0469	1,0861	-389,45	2725,8	-389,45	2839	2449,5	-1,439	11,58
-30	0,0381	1,0858	-393,23	2726,8	-393,23	2839	2445,8	-1,455	11,676
-32	0,0309	1,0854	-396,98	2727,8	-396,98	2839,1	2442,1	-1,471	11,773
-34	0,025	1,0851	-400,71	2728,7	-400,71	2839,1	2438,4	-1,486	11,872
-36	0,0201	1,0848	-404,4	2729,6	-404,4	2839,1	2434,7	-1,501	11,972
-38	0,0161	1,0844	-408,06	2730,5	-408,06	2839	2430,9	-1,517	12,073
-40	0,0129	1,0841	-411,7	2731,3	-411,7	2838,9	2427,2	-1,532	12,176

Tabelle A2 Daten ausgewählter Stoffe im Standardzustand

Tabelle A2.1. Wärmekapazität c_p^0 , Bildungsenthalpie $\Delta h^{f,0}$ und absolute Entropie s^0 ausgewählter Verbindungen im Standardzustand (25°C, 100 kPa)^{2,3}

Substanz	Formel	Zustand	M g/mol	c_p^0 J/mol K	$\Delta h^{f,0}$ kJ/mol	s^0 J/mol K
Argon	Ar	g	39,948	20,786	0	154,843
Graphit	C	s	12,011	8,527	0	5,795
Schwefel	S	s	32,064	22,64	0	31,8
Wasserstoff	H ₂	g	2,016	28,824	0	130,684
Salzsäure	HCl	g	36,461	29,1	-92,3	186,9
Sauerstoff	O ₂	g	31,999	29,355	0	205,142
Sauerstoff	O ₂	aq	31,999		-11,7	110,9
Stickstoff	N ₂	g	28,013	29,125	0	191,611
Wasser	H ₂ O	g	18,015	33,577	-241,827	188,833
Wasser	H ₂ O	l	18,015	75,29	-285,838	69,940
Kohlenmonoxid	CO	g	28,011	29,142	-110,529	197,653
Kohlendioxid	CO ₂	g	44,011	37,11	-393,522	213,795
Schwefeldioxid	SO ₂	g	64,063	39,87	-296,83	248,220
Schwefeldioxid	SO ₂	aq	64,063		-322,98	161,9
Schwefeltrioxid	SO ₃	g	80,062	50,67	-395,72	256,760
Schwefelsäure	H ₂ SO ₄	l	98,078	138,91	-813,99	156,9
Ammoniak	NH ₃	g	17,031	35,06	-46,11	192,45
Ammoniak	NH ₃	aq	17,031		-80,29	111,3
Methan	CH ₄	g	16,043	35,309	-74,873	186,256
Acetylen	C ₂ H ₂	g	26,038	43,93	226,731	200,958
Ethen	C ₂ H ₄	g	28,054	43,56	52,283	219,548
Ethan	C ₂ H ₆	g	30,07	52,63	-84,667	229,602
Propan	C ₃ H ₈	g	44,097	73,513	-103,847	270,019
Butan	C ₄ H ₁₀	g	58,124	96,748	-126,148	310,227
Oktan	C ₈ H ₁₈	g	114,23	188,866	-208,447	466,835
Oktan	C ₈ H ₁₈	l	114,23	249,707	-249,952	360,896
Ethanol	C ₂ H ₆ O	l	46,069	111,46	-276,72	160,7
Essigsäure	C ₂ H ₄ O ₂	l	60,053	124,3	-486,44	159,8
Ethylacetat	C ₄ H ₈ O ₂	l	88,107	167,4	-470,54	257,4
Pyrit	FeS ₂	s	119,97	62,17	-178,2	52,93
Hämatit	Fe ₂ O ₃	s	159,692	103,85	-824,2	87,40
Ammoniumchlorid	NH ₄ Cl	s	53,492	84,1	-314,4	94,60

Tabelle A2.2. Bildungsenthalpie $\Delta h^{f,0}$ und freie Bildungsenthalpie $\Delta g^{f,0}$ ausgewählter Ionen im Standardzustand (25°C, 100 kPa)^{2,3,4}

Ion	Formel	Zustand	M g/mol	$\Delta h^{f,0}$ kJ/mol	$\Delta g^{f,0}$ kJ/mol
Wasserstoff	H ⁺	aq	1,008	0	0
Chlor	Cl ⁻	aq	35,453	-167,169	-131,228
Ammonium	NH ₄ ⁺	aq	18,039	-132,51	-79,31
Hydrogensulfit	HSO ₃ ⁻	aq	81,07	-626,22	-527,73
Sulfit	SO ₃ ²⁻	aq	80,062	-635,5	-486,5
Sulfat	SO ₄ ²⁻	aq	96,062	-909,27	-744,53

² Quellen:

Wagman, D.D.; Evans, W.H.; Parker, V.B.; Schumm, R.H.; Hallow, I.; Bailey, S.M.; Churney, K.L.; Nutall, R.L.: NBS Tables of Chemical Thermodynamics Properties, J. Phys. Chem. Ref. Data, Vol. 11 (1982), Supplement No. 2.

Stull, D.R.; Westrum, E.F.; Sinke, G.C.: The Chemical Thermodynamics of Organic Compounds, John Wiley and Sons, New York 1969.

Chase, M.W.; Davies, C.A.; Downie, J.R.; Frurip, D.J.; McDonald, R.A.; Seyverod, A.N.: JANAF Thermochemical tables, Third Edition, Part I and II. J. Phys. Chem. Ref. Data, Vol. 14 (1985), Supplement No. 1.

³ Anmerkungen:

a) Zu der Angabe der Spalte 3 (Zustand) gehören die nachstehenden Standardzustände

g: reiner idealer Gaszustand bei T^0, p^0

l: reiner flüssiger Zustand bei T^0, p^0

s: reiner fester Zustand bei T^0, p^0

aq: ideal verdünnte wässrige Lösung bei der Modalität $m_i = 1$ bei T^0, p^0

b) Standardbildungsenthalpien $\Delta h^{f,0}$ werden in Energiebilanzen praktisch wie absolute Enthalpien im betrachteten Standardzustand behandelt

c) Die freie Standardbildungsenthalpie einer Komponente i $\Delta g_i^{f,0}$ ergibt sich aus $\Delta g_i^{f,0} = \Delta h_i^{f,0} - T^0 \Delta s_i^{f,0}$

⁴ Die Tabellenwerte für Ionen beruhen auf der Annahme, dass die Bildungsenthalpie und die Bildungsentropie des H⁺-Ions gleich null sind, Sie sind damit willkürlich, aber für praktische Rechnungen innerlich konsistent.

Tabelle A3 Enthalpie und Entropie einiger Stoffe im idealen Gaszustand in Abhängigkeit von der Temperatur⁵

$$h = [h(T) - h(25^\circ\text{C})]^\text{ig}; \quad s = s^\text{ig}(T, p^0 = 1 \text{ bar})$$

T	O ₂		N ₂		H ₂ O		CO		CO ₂	
	h kJ/mol	s J/mol K	h kJ/mol	s J/mol K	h kJ/mol	s J/mol K	h kJ/mol	s J/mol K	h kJ/mol	s J/mol K
100	-5,778	173,2	-5,77	159,7	-6,615	152,28	-5,77	165,74	-6,456	178,9
200	-2,866	193,38	-2,858	179,84	-3,28	175,38	-2,858	185,92	-3,414	199,87
298,15	0	205,03	0	191,5	0	188,72	0	197,54	0	213,69
300	0,054	205,21	0,18	191,68	0,063	188,93	0,054	197,72	0,067	213,92
400	3,029	213,76	2,971	200,07	3,452	198,67	2,975	206,12	4,008	225,22
500	6,088	220,59	5,912	206,63	6,92	206,41	5,929	212,72	8,314	234,92
600	9,247	226,35	8,891	212,07	10,498	212,39	8,941	218,2	12,916	243,2
700	12,502	231,36	11,937	216,76	14,184	218,61	12,021	222,95	17,761	250,66
800	15,841	235,81	15,046	220,91	17,991	223,69	15,175	227,16	22,815	257,41
900	19,246	239,83	18,263	224,65	21,924	228,32	18,397	230,96	28,033	263,56
1000	22,707	243,48	21,46	228,06	25,978	232,6	21,696	234,42	33,405	269,22
1100	26,217	246,82	24,757	231,2	30,167	236,58	25,033	237,61	38,894	274,45
1200	29,765	249,91	28,108	234,12	34,476	240,33	28,426	240,56	44,484	279,31
1300	33,351	252,78	31,501	236,83	38,903	243,68	31,865	243,32	50,158	283,85
1400	36,966	255,45	34,936	239,38	43,447	247,24	35,338	245,89	55,907	288,11
1500	40,61	257,97	38,405	241,77	47,944	250,45	38,848	248,31	61,714	292,11
1600	44,279	260,34	41,903	244,03	52,844	253,51	42,384	250,59	67,56	295,9
1700	47,97	262,58	45,43	246,17	57,684	256,45	45,94	252,75	73,492	299,48

⁵ JANAF Thermochemical Tables, Third Edition, Part I and II, J. Phys. Chem. Ref. Data, Vol. 14 (1985), Supplement No.1,

Enthalpie und Entropie einiger Stoffe im idealen Gaszustand in Abhängigkeit von der Temperatur (Fortsetzung)											
T	O_2		N_2		H_2O		CO		CO_2		
	h	s	h	s	h	s	h	s	h	s	
K	kJ/mol	$J/mol\ K$	kJ/mol	$J/mol\ K$	kJ/mol	$J/mol\ K$	kJ/mol	$J/mol\ K$	kJ/mol	$J/mol\ K$	
1800	51,651	264,7	48,982	248,2	62,609	259,26	49,522	254,8	79,442	302,88	
1900	55,434	266,73	52,551	250,13	67,613	261,97	53,124	256,74	85,429	306,12	
2000	59,199	268,65	56,141	251,97	72,689	264,57	56,739	258,6	91,939	309,21	
2100	62,986	270,5	59,748	253,73	77,831	267,08	60,375	260,37	97,5	312,16	
2200	66,902	272,28	63,371	255,41	83,036	269,5	64,019	262,06	103,575	314,99	
2300	70,634	273,98	67,007	257,03	88,295	271,84	67,676	263,69	109,671	317,7	
2400	74,492	275,63	70,651	258,58	93,604	274,1	71,346	265,25	115,788	320,3	
2500	78,375	277,21	74,312	260,07	98,964	276,29	75,023	266,76	121,926	322,81	
2600	82,274	278,74	77,981	261,51	104,37	278,41	78,718	268,2	128,085	325,22	
2700	86,199	280,22	81,659	262,9	109,814	280,46	82,407	269,59	134,256	327,55	
2800	90,144	281,65	85,345	264,24	115,295	282,46	86,114	270,94	140,444	329,8	
2900	94,111	283,05	89,036	265,54	120,813	284,39	89,025	272,25	146,645	332	
3000	98,098	284,4	92,738	266,79	126,361	286,28	93,341	273,51	152,862	334,08	

Enthalpie und Entropie einiger Stoffe im idealen Gaszustand in Abhängigkeit von der Temperatur (Fortsetzung)

T	H ₂		NH ₃		SO ₃		CH ₄		SO ₂	
	h	s	h	s	h	s	h	s	h	s
K	kJ/mol	J/mol K	kJ/mol	J/mol K	kJ/mol	J/mol K	kJ/mol	J/mol K	kJ/mol	J/mol K
100	-5,468	100,727	-6,737	155,84	-8,361	212,371	-6,698	149,5	-7,217	208,92
200	-2,774	119,412	-3,394	178,99	-4,577	238,259	-3,368	172,577	-3,736	232,92
298,15	0	130,68	0	192,774	0	256,769	0	186,251	0	248,1
300	0,053	130,858	0,066	192,995	0,094	257,083	0,066	186,472	0,075	248,35
400	2,959	139,216	3,781	203,663	5,53	272,674	3,861	197,356	4,251	260,37
500	5,882	145,737	7,819	212,659	11,58	286,152	8,2	207,014	8,757	270,38
600	8,811	151,077	12,188	220,615	18,107	298,041	13,13	215,987	13,544	279,1
700	11,749	155,606	16,872	227,829	24,997	308,655	18,635	224,461	18,548	286,81
800	14,702	159,548	21,853	234,476	32,16	318,217	24,675	232,518	23,719	293,72
900	17,676	163,051	27,113	240,669	39,531	326,896	31,205	240,205	29,024	299,96
1000	20,68	166,216	32,637	246,486	47,06	334,828	38,179	247,549	34,43	305,66
1100	23,719	169,112	38,406	251,983	54,714	342,122	45,549	254,57	39,915	310,88
1200	26,797	171,79	44,402	257,199	62,466	348,866	53,27	261,287	45,463	315,72
1300	29,918	174,288	50,609	262,166	70,296	355,133	61,302	267,714	51,07	320,2
1400	33,082	176,633	57,008	266,907	78,189	360,983	69,608	273,868	56,718	324,39
1500	36,29	178,846	63,582	271,442	86,135	366,465	78,153	279,763	62,404	329,31
1600	39,541	180,944	70,315	275,788	94,124	371,62	86,91	285,413	68,124	332
1700	42,835	182,94	77,193	279,957	102,149	376,485	95,853	290,834	73,873	335,49
1800	46,169	184,846	84,201	283,962	110,204	381,09	104,96	296,039	79,642	338,78
1900	49,541	186,669	91,328	287,815	118,286	385,459	114,212	301,041	85,437	341,92
2000	52,951	188,418	98,561	291,525	126,39	389,616	123,592	305,853	91,249	344,9
2100	56,397	190,099	105,891	295,101	134,513	393,579	133,087	310,485	97,081	347,74
2200	59,876	191,718	113,309	298,552	142,653	397,366	142,684	314,949	102,931	350,46

Enthalpie und Entropie einiger Stoffe im idealen Gaszustand in Abhängigkeit von der Temperatur (Fortsetzung)

T	H_2		NH_3		SO_3		CH_4		SO_2	
	h	s	h	s	h	s	h	s	h	s
K	kJ/mol	$J/mol\ K$	kJ/mol	$J/mol\ K$	kJ/mol	$J/mol\ K$	kJ/mol	$J/mol\ K$	kJ/mol	$J/mol\ K$
2300	63,387	193,278	120,805	301,884	150,807	400,99	152,371	319,255	108,792	353,07
2400	66,928	194,785	128,372	305,104	158,975	404,466	162,141	323,413	114,671	355,57
2500	70,498	196,243	136,005	308,22	167,154	407,805	171,984	327,431	120,562	357,97
2600	74,096	197,654	143,695	311,236	175,343	411,017	181,893	331,317	126,461	360,29
2700	77,72	199,021	151,438	314,158	183,541	414,111	191,862	335,08	132,378	362,52
2800	81,369	200,349	159,228	316,991	191,748	417,096	201,885	338,725	138,302	364,68
2900	85,043	201,638	167,062	319,74	199,961	419,978	211,958	342,26	144,239	366,76
3000	88,74	202,891	174,933	322,409	208,182	422,765	222,076	345,69	150,185	368,78

Tabelle A4 Tabelle A4 Dichte bei 20°C, Heizwert und Brennwert, sowie Zusammensetzung einiger flüssiger Brennstoffe⁶

Brennstoff	ρ kg/dm ³	w_C %	w_{H_2} %	w_S %	H_u MJ/kg	H_o MJ/kg
Heizöl EL	0,86	86	13	1	42	45
Heizöl S	0,99	85	11	4	40	41
Benzin	0,76	85	15	0	42	47
Dieselmkraftstoff	0,87	87	13	0	42	45
Kerosin	0,81	85,5	14,5	0	41	43

Tabelle A5 Tabelle A5 Heizwert und Brennwert, sowie Zusammensetzung einiger fester Brennstoffe⁶

Brennstoff	Zusammensetzung des wasser- und aschefreien Brennstoffs in Massenteilen (%)					Wasser- und Aschegehalt im Verwendungszustand in Massenteilen (%)		Mittlerer Heizwert und Brennwert im Verwendungszustand (MJ/kg)	
	w_C	w_{H_2}	w_{O_2}	w_{N_2}	w_S	w_W	w_A	H_u	H_o
Holz (lufttrocken)	50	6	44	-	-	12...25	0,2...0,8	15	17
Braunkohle	68	6	23	1	2	40...65	2...24	8	10
Steinkohle (Gasflammkohle)	82	5,2	10	1,3	1,5	2...5	2...10	32	34

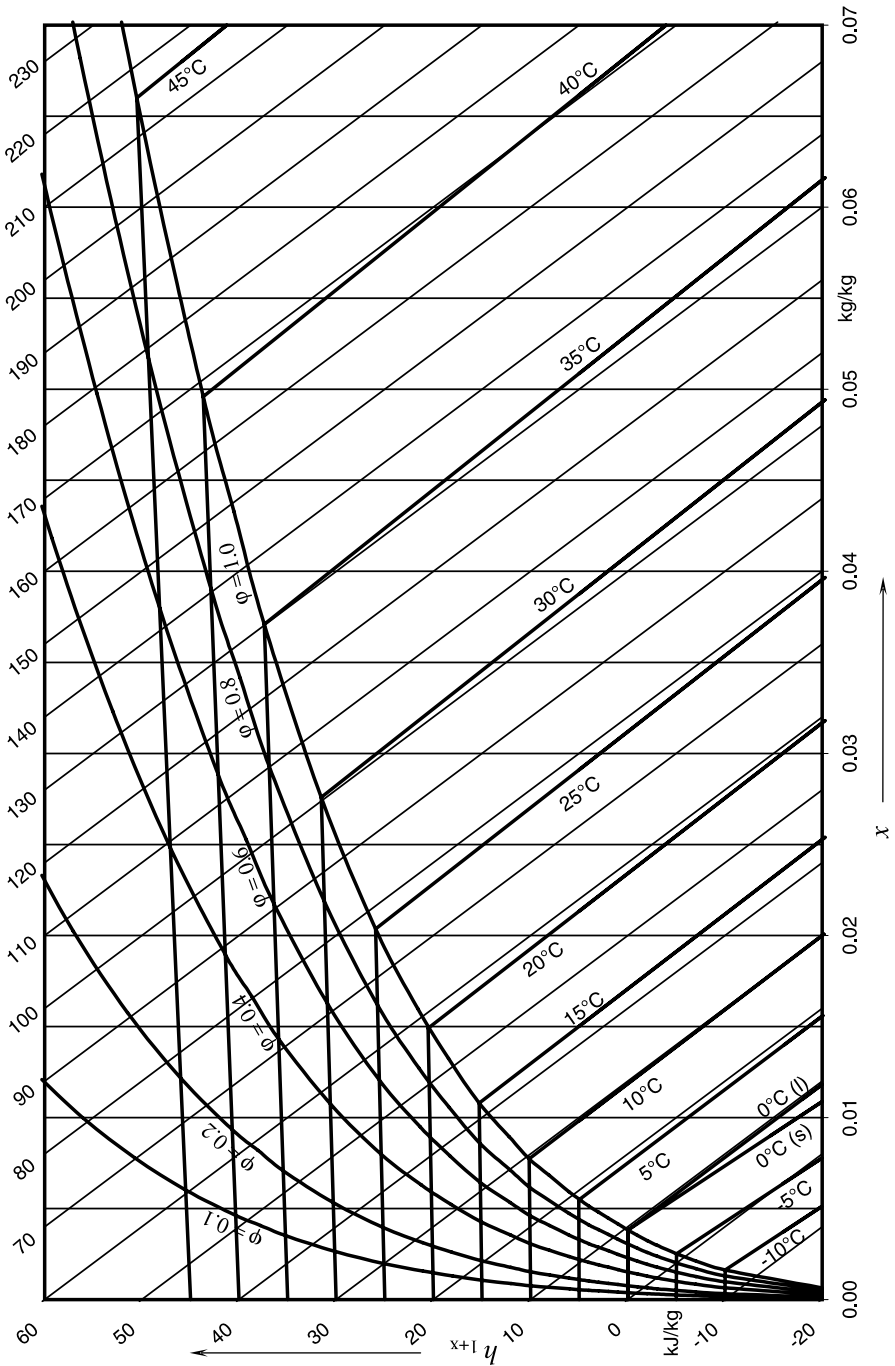
⁶ Beitz, W.; Küttner, K.H.; (Hrsg.): Dubbel Taschenbuch für den Maschinenbau 14. Aufl.; Berlin:Springer

Tabelle A6 Heizwert und Brennwert einiger chemischer Verbindungen bei $t^0 = 25^\circ\text{C}^7$

Brennstoff	Formel	Zustand	Heizwert kJ/mol	Brennwert kJ/mol
Graphit	C	s	393,51	393,51
Schwefel	S	s	296,83	296,83
Eisen	Fe	s	412,1	412,1
Wasserstoff	H ₂	g	241,82	285,83
Kohlenmonoxid	CO	g	282,98	282,98
Ammoniak	NH ₃	g	316,63	382,65
Methan	CH ₄	g	802,34	890,36
Propan	C ₃ H ₈	g	2043,9	2219,9
Methanol	CH ₄ O	l	638,5	726,5
Ethanol	C ₂ H ₆ O	l	1235,81	1370,84
Benzol	C ₆ H ₆	l	3037,5	3169,5
Heptan	C ₇ H ₁₆	l	4465	4817

⁷ berechnet aus Standardbildungsenthalpien

Abbildung A1 h_{1+x}, x -Diagramm für feuchte Luft



Anhang B Wichtige Formeln

B1 Stoffmodelle für Reinstoffe

Ideales Gas

$$pV = nRT \quad , \quad R = 8,315 \frac{\text{J}}{\text{mol K}}$$

$$h^{\text{ig}}(T_2) - h^{\text{ig}}(T_1) = \int_{T_1}^{T_2} c_p^{\text{ig}} dT$$

$$u^{\text{ig}}(T_2) - u^{\text{ig}}(T_1) = \int_{T_1}^{T_2} c_v^{\text{ig}} dT$$

$$s^{\text{ig}}(T_2, p_2) - s^{\text{ig}}(T_1, p_1) = \int_{T_1}^{T_2} \frac{c_p^{\text{ig}}}{T} dT - R \ln \frac{p_2}{p_1}$$

$$s^{\text{ig}}(T_2, v_2) - s^{\text{ig}}(T_1, v_1) = \int_{T_1}^{T_2} \frac{c_v^{\text{ig}}}{T} dT + R \ln \frac{v_2}{v_1}$$

$$c_p^{\text{ig}} - c_v^{\text{ig}} = R$$

Ideale Flüssigkeit

$$v^{\text{if}} = \text{const.}$$

$$c_p^{\text{ig}} - c_v^{\text{ig}} = c^{\text{if}}$$

$$h^{\text{if}}(T_2, p_2) - h^{\text{if}}(T_1, p_1) = \int_{T_1}^{T_2} c^{\text{if}} dT + v^{\text{if}}(p_2 - p_1)$$

$$u^{\text{if}}(T_2) - u^{\text{if}}(T_1) = \int_{T_1}^{T_2} c^{\text{if}} dT$$

$$s^{\text{if}}(T_2) - s^{\text{if}}(T_1) = \int_{T_1}^{T_2} \frac{c^{\text{if}}}{T} dT$$

Reales Fluid

Dampf tafeln: $v(T, p); h(T, p); s(T, p)$

Zustandsdiagramme: h, s -Bild; T, s -Bild

Nassdampf: $z = z' + x(z'' - z')$

B2 Stoffmodelle für Gemische**Maße für die Zusammensetzung**

Massenanteil: $w_k = m_k/m$

Stoffmengenanteil: $x_k = n_k/n$

Partialdruck: $p_k = x_k p$

Volumenanteil: $\varphi_k = V_k/V$

$$w_k = \frac{x_k M_k}{\sum x_i M_i}$$

$$x_k = \frac{w_k/M_k}{\sum w_i/M_i}$$

Allgemeine Mischungsformeln

$$z(T, p, \{x_j\}) = \sum x_i z_i$$

mit

$z_i = z_i(T, p, \{x_j\})$: partielle molare Zustandsgröße z

$$z(T, p, \{w_j\}) = \sum w_i z_i$$

mit

$z_i = z_i(T, p, \{w_j\})$: partielle spezifische Zustandsgröße z

$$M = \sum x_i M_i ; 1/M = \sum w_i/M_i$$

Ideales Gasgemisch

$$v_i^{\text{ig}} = v_{0i}^{\text{ig}}(T, p)$$

$$h_i^{\text{ig}} = h_{0i}^{\text{ig}}(T) \text{ mit } h_{0i}^{\text{ig}}(T) = \Delta h_i^{\text{f},0}(\text{g}) + h_{0i}^{\text{ig}}(T) - h_{0i}^{\text{ig}}(T^0)$$

$\Delta h_i^{\text{f},0}(\text{g})$: Standardbildungsenthalpie im Gaszustand, vgl. Tab. A2.1

$$u_i^{\text{ig}} = u_{0i}^{\text{ig}}(T) \text{ mit } u_{0i}^{\text{ig}}(T) = \Delta h_{0i}^{\text{ig}}(T) - RT$$

$$s_i^{\text{ig}} = s_{0i}^{\text{ig}}(T, p) - R \ln x_i : \text{ partielle molare Entropie}$$

mit

$$s_i^{\text{ig}} = s_{0i}^{\text{ig}}(T, p) - \frac{R}{M_i} \ln x_i : \text{ partielle spezifische Entropie}$$

Hierbei gilt

$$s_{0i}^{\text{ig}}(T, p) = s_i^0(\text{g}) + s_{0i}^{\text{ig}}(T, p) - s_{0i}^{\text{ig}}(T^0, p^0) = s_{0i}^{\text{ig}}(T, p^0) - R \ln \frac{p}{p^0}$$

$s_i^0(\text{g})$: Standardentropie im Gaszustand vgl. Tab. A2.1

$s_{0i}^{\text{ig}}(T, p^0)$: Idealgasentropie, vgl. Tab. Tabelle A3

Ideale Lösung

$$v_i^{\text{il}} = v_{0i}^1(T, p)$$

$$h_i^{\text{il}} = h_{0i}^1(T, p) \text{ mit } h_{0i}^1(T) = \Delta h_i^{\text{f},0}(\text{l}) + h_{0i}^1(T, p) - h_{0i}^1(T^0, p^0)$$

$\Delta h_i^{\text{f},0}(\text{l})$: Standardbildungsenthalpie im flüssigen Zustand, vgl. Tab. A2.1

$$u_i^{\text{il}} = u_{0i}^{\text{il}}(T) \text{ mit } u_{0i}^{\text{il}}(T) = \Delta h_{0i}^{\text{il}}(T) - RT$$

$$s_i^{\text{il}} = s_{0i}^1(T, p) - R \ln x_i : \text{ partielle molare Entropie}$$

mit

$$s_i^{\text{il}} = s_{0i}^1(T, p) - \frac{R}{M_i} \ln x_i : \text{ partielle spezifische Entropie}$$

Hierbei gilt

$$s_{0i}^1(T, p) = s_i^0(\text{l}) + s_{0i}^1(T, p) - s_{0i}^1(T^0, p^0)$$

$s_i^0(\text{l})$: Standardentropie im flüssigen Zustand vgl. Tab. A2.1

Ideal verdünnte Lösung

$$v_i^{\text{ivl}} = v_i^\infty(T, p) = v^*$$

$$h_i^{\text{ivl}} = h_i^\infty(T, p) = h_i^* = \Delta h_i^{\text{f},0} (*)$$

$\Delta h_i^{\text{f},0} (*)$: Standardbildungsenthalpie im Zustand der ideal verdünnten Lösung, vgl. Tab. A2.1

$$s_i^{\text{ivl}} = s_i^* - R \ln x_i$$

s_i^* : Standardentropie im Zustand der ideal verdünnten Lösung, vgl. Tab. A2.1

Ideales Gas-/Dampf-Gemisch: Feuchte Luft

Index W: Wasser

Index L: trockene Luft

Index $1+x$: 1 kg trockene Luft + x kg Wasser

Partialdruck $p_W = \frac{x p}{0,622+x}$

Wasserbeladung $x = \frac{m_W}{m_L} = 0,622 \frac{p_W}{p-p_W} = 0,622 \frac{p_{sW}(T)}{p/\varphi - p_{sW}(T)}$

relative Feuchte $\varphi = \frac{p_W}{p_{sW}(T)} = \frac{x}{0,622+x} \cdot \frac{p}{p_{sW}(T)}$

ungesättigte feuchte Luft

$$v_{1+x}/(\text{m}^3/\text{kg}) = (0,287 + x \cdot 0,462) \frac{T/\text{K}}{100p/\text{bar}};$$

$$h_{1+x}/(\text{kJ}/\text{kg}) = t + x(2500 + 1,86t)$$

$$s_{1+x}/(\text{kJ}/\text{kg K}) = \ln \frac{T}{273,15} - 0,287 \ln \frac{p_L}{1} + x \left(\frac{2500}{273,16} + 1,87 \ln \frac{T}{273,16} - 0,462 \ln \frac{p_W}{0,006113} \right)$$

gesättigte feuchte Luft und flüssiges Wasser ($t > 0^\circ\text{C}$)

$$h_{1+x}/(\text{kJ}/\text{kg}) = t + x_s(2500 + 1,86t) + (x - x_s)4,18t$$

$$\begin{aligned}
 s_{1+x}/(\text{kJ/kg K}) &= \ln \frac{T}{273,15} - 0,287 \ln \frac{p_L}{1} \\
 &+ x_s \left(\frac{2500}{273,16} + 1,87 \ln \frac{T}{273,16} - 0,462 \ln \frac{p_W}{0,006113} \right) \\
 &+ (x - x_s) 4,18 \ln \frac{T}{273,16}
 \end{aligned}$$

gesättigte feuchte Luft + Eis ($t < 0^\circ\text{C}$)

$$h_{1+x}/(\text{kJ/kg}) = t + x_s(2500 + 1,86t) + (x - x_s)(2,05t - 333)$$

$$\begin{aligned}
 s_{1+x}/(\text{kJ/kg K}) &= \ln \frac{T}{273,15} - 0,287 \ln \frac{p_L}{1} \\
 &+ x_s \left(\frac{2500}{273,16} + 1,87 \ln \frac{T}{273,16} - 0,462 \ln \frac{p_W}{0,006113} \right) \\
 &+ (x - x_s) \left(2,05 \ln \frac{T}{273,16} - \frac{333}{273,16} \right)
 \end{aligned}$$

B3 Stoffmodelle für Phasen- und Reaktionsgleichgewichte

Verdampfungsgleichgewicht in idealen binären Systemen: (Raoult'sches Gesetz)

$$x_i'' p = x_i' p_{s0i}(T)$$

$$p = p_{s01}(T) + x_2' [p_{s02}(T) - p_{s01}(T)] \quad (\text{Siedelinie})$$

$$p = \frac{p_{s01}(T)}{1 - x_2'' [1 - p_{s01}(T)/p_{s02}(T)]} ; \quad x_2'' = x_2' \frac{p_{s02}(T)}{p} \quad (\text{Taulinie})$$

$$\alpha^{\text{is}} = \frac{p_{s02}(T)}{p_{s01}(T)} \quad (\text{relative Flüchtigkeit})$$

Reaktionsgleichgewicht in idealen Gasen:

$$K(T) = \prod_i x_i^{\nu_i} \left(\frac{p}{p^0} \right)^{\Delta\nu}, \quad \Delta\nu = \sum \nu_i$$

$$-RT \ln K(T) = \sum_i \nu_i \mu_{0i}^{\text{ig}}(T, p^0)$$

Reaktionsgleichgewicht in idealen Lösungen:

$$K(T) = \prod_i x_i^{\nu_i}$$

$$-RT \ln K(T) = \sum_i \nu_i \mu_{0i}^{\text{if}}(T)$$

allgemein:

$$x_i = \frac{n_i^{(0)} + \nu_i \xi}{n^{(0)} + \Delta \nu \xi}$$

B4 Berechnung der Enthalpie und Entropie aus der thermischen Zustandsgleichung $p = p(T, v)$

Aus

$$a = u - Ts$$

bzw.

$$da = -s dT - p dv$$

folgt

$$s(T, v) = - \left(\frac{\partial a}{\partial T} \right)_v$$

$$p(T, v) = - \left(\frac{\partial a}{\partial v} \right)_T .$$

Mit

$$\begin{aligned} a^{\text{res}}(T, v) &= a(T, v) - a^{\text{ig}}(T, v) \\ &= a(T, v) - a(T, v = \infty) - [a^{\text{ig}}(T, v) - a^{\text{ig}}(T, v = \infty)] \\ &= - \int_{\infty}^v p dv - \left[- \int_{\infty}^v p^{\text{ig}} dv \right] \\ &= - \int_{\infty}^v \left[p(T, v) - \frac{RT}{v} \right] dv . \end{aligned}$$

findet man für die Differenz der Entropie bei T, v und bei T^0, v^0 im idealen Gaszustand

$$\begin{aligned}
s(T, v) - s^{\text{ig}}(T^0, v^0) &= s(T, v) - s^{\text{ig}}(T^0, v^0) + s^{\text{ig}}(T, v) - s^{\text{ig}}(T^0, v^0) \\
&= s^{\text{res}}(T, v) + s^{\text{ig}}(T, v) - s^{\text{ig}}(T^0, v^0) \\
&= - \left(\frac{\partial a^{\text{res}}}{\partial T} \right)_v + s^{\text{ig}}(T, v) - s^{\text{ig}}(T^0, v^0) \\
&= \int_{\infty}^v \left[\left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v - \frac{R}{v} \right] dv + \int_{T^0}^T c_v^{\text{ig}} dT + R \ln \frac{v}{v^0} .
\end{aligned}$$

Entsprechend gilt für die innere Energie mit $u(T, v) = a - T(\partial a / \partial T)_v$

$$\begin{aligned}
u(T, v) - u^{\text{ig}}(T^0, v^0) &= u^{\text{res}}(T, v) + u^{\text{ig}}(T, v) - u^{\text{ig}}(T^0, v^0) \\
&= a^{\text{res}} - T \left(\frac{\partial a^{\text{res}}}{\partial T} \right)_v + u^{\text{ig}}(T, v) - u^{\text{ig}}(T^0, v^0) \\
&= \int_{\infty}^v \left[T \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v - p \right] dv + \int_{T^0}^T c_v^{\text{ig}} dT .
\end{aligned}$$

Die Enthalpie folgt aus $h = u + pv$. Wenn nicht das Volumen v sondern der Druck p vorgegeben ist, wird aus der thermischen Zustandsgleichung zunächst zu p, T das Wertepaar v, T ermittelt.

B5 Materiemengenbilanzen

Allgemein:

$$\begin{aligned}
\frac{dm(\tau)}{d\tau} &= \dot{m}_e(\tau) - \dot{m}_a(\tau) \\
\dot{m}_e &= \sum_i \dot{m}_{i,e} ; \quad \dot{m}_a = \sum_j \dot{m}_{j,a}
\end{aligned}$$

Stationärer Fließprozess:

$$\dot{m}_e = \dot{m}_a$$

Stationärer Fließprozess mit thermischen Stoffumwandlungen:

$$\dot{n}_{i,\text{ein}} = \dot{n}_{i,\text{aus}} , \quad \dot{m}_{i,\text{ein}} = \dot{m}_{i,\text{aus}}$$

Chemische Stoffumwandlungen

Bruttoreaktionsgleichung: $\sum \nu_i A_i = 0$

Reaktionslaufzahl: $n_i = n_i^{(0)} + \nu_i \xi$

Umsatz: $U_i = \frac{n_i^{(0)} - n_i}{n_i^{(0)}}$

B6 Energiebilanzen

Geschlossenes System:

$$\frac{dU(\tau)}{d\tau} = \dot{Q}(\tau) + P(\tau)$$

Zustandsänderung im Zeitintervall $\Delta\tau$ von 1 \rightarrow 2

$$U_2 - U_1 = Q_{12} + W_{12}$$

Offenes System:

$$\dot{Q}(\tau) + P_t(\tau) = \frac{dU(\tau)}{d\tau} + \dot{m}_a(\tau) \dot{h}_a(\tau) - \dot{m}_e(\tau) \dot{h}_e(\tau)$$

Zustandsänderung im Zeitintervall $\Delta\tau$ von 1 \rightarrow 2

$$Q_{12} + W_{12} = U_2 - U_1 + \dot{m}_{a,\Delta\tau}(\tau) h_{a,m} - \dot{m}_{e,\Delta\tau}(\tau) h_{e,m}$$

$h_{a,m}; h_{e,m}$: Zeitliche Mittelwerte am Austritt und Eintritt

Stationärer Fließprozess:

$$\dot{Q} + P_t = \dot{H}_{\text{aus}} - \dot{H}_{\text{ein}}$$

Bei Berücksichtigung der äußeren Energien:

Addition von $(\frac{1}{2}c^2 + gz)_i$ zur Enthalpie des Stoffstroms i

Kreisprozesse:

$$\sum \left[\dot{Q}_{ik} + (P_{ik})_t \right] = 0$$

B7 Arbeit und Wärme bei quasistatischer Zustandsänderung

$$(w_{12})_K = (w_{12})_K^{\text{rev}} + \varphi_{12}$$

$$(w_{12})_K^{\text{rev}} = (w_{12})_V^{\text{rev}} = - \int p dv$$

$$(w_{12})_t = (w_{12})_t^{\text{rev}} + \varphi_{12}$$

$$(w_{12})_t^{\text{rev}} = \int_1^2 v dp + \frac{1}{2} (c_2^2 - c_1^2) + g(z_2 - z_2)$$

$$q_{12}^{\text{rev}} = \int_1^2 T ds$$

$$q_{12} + \varphi_{12} = \int_1^2 T ds$$

B8 Isentrope und polytrope Zustandsänderungen idealer Gase

$$\kappa = c_p^{\text{ig}} / c_v^{\text{ig}} ; R = c_p^{\text{ig}} - c_v^{\text{ig}}$$

$$p_1 v_1^\kappa = p_2 v_2^\kappa$$

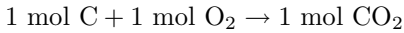
$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^{\kappa-1}$$

polytrop: $\kappa \rightarrow n$

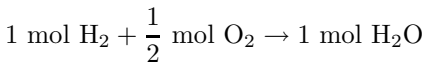
B9 Verbrennung

$$1 \text{ mol Luft} = 0,21 \text{ mol O}_2 + 0,79 \text{ mol N}_2$$

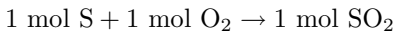
$$1 \text{ kg Luft} = 0,232 \text{ kg O}_2 + 0,768 \text{ kg N}_2$$



$$1 \text{ kg C} + 2,664 \text{ kg O}_2 \rightarrow 3,664 \text{ kg CO}_2$$



$$1 \text{ kg H}_2 + 7,936 \text{ kg O}_2 \rightarrow 8,936 \text{ kg H}_2\text{O}$$



$$1 \text{ kg S} + 0,998 \text{ kg O}_2 \rightarrow 1,998 \text{ kg SO}_2$$

Luftverhältnis:

$$\lambda = \frac{l}{l_{\min}}$$

Kondensatmenge im Rauchgas:

$$k = \frac{(x_{\text{W}}^{\text{V}} - x_{\text{W,s}}^{\text{V}})v}{1 - x_{\text{W,s}}^{\text{V}}}$$

Heizwert (spezifisch oder molar)

$$\begin{aligned} H_{\text{u}}(t_0) &= h_{\text{B}}(t_0) + lh_{\text{L}}(t_0) - vh_{\text{V}}(t_0) \\ &= -\Delta h_{\text{R}}(t_0) \end{aligned}$$

Wasser gasförmig, Verbrennung vollständig

B10 Beiträge zur irreversiblen Entropieproduktion

Wärmetransfer: $ds^{\text{irr}} = dq \frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2}$

Arbeitstransfer: $ds^{\text{irr}} = -\frac{dv}{T}(p_2 - p_1)$

Strömung mit Druckverlust: $ds^{\text{irr}} = -\frac{v}{T}dp$

Mischungsprozess in idealen Mischungen: $\Delta s^{\text{irr}} = -R \sum x_i \ln x_i$

adiabate Prozesse: $\Delta s^{\text{irr}} = \Delta s$

B11 Wirkungsgrade

Isentroper Verdichterwirkungsgrad: $\eta_{SV} = (w_{12})_t^{\text{rev}} / (w_{12})_t$

Isentroper Turbinenwirkungsgrad: $\eta_{ST} = (w_{12})_t / (w_{12})_t^{\text{rev}}$

$(w_{12})_t$ und $(w_{12})_t^{\text{rev}}$: Spezifische technische Arbeit zwischen den Drücken p_1 und p_2 ausgehend vom selben Zustand 1

Polytroper Verdichterwirkungsgrad: $\eta_{PV} = \int_1^2 v dp / (h_2 - h_1)$

Polytroper Turbinenwirkungsgrad: $\eta_{PT} = (h_2 - h_1) / \int_1^2 v dp$

Thermischer Wirkungsgrad: $\eta_{th} = |P_t| / \dot{Q}$

Kesselwirkungsgrad: $\eta_K = |\dot{Q}| / \dot{m}_B H_u$

Leistungszahl (Wärmepumpe): $\varepsilon = \dot{Q} / |P_t|$

Leistungszahl (Kältemaschine): $\varepsilon_0 = \dot{Q}_0 / P_t$

B12 Exergieformeln

Exergie eines Wärmestroms: $\dot{E}_Q = (1 - \frac{T_u}{T}) \dot{Q}$

Exergie eines Enthalpiestromes: $\dot{E}_h = \dot{m} [(h - h_u) - T_u (s - s_u)]$

Exergie einer inneren Energie: $\dot{E}_u = m [(u - u_u) - T_u (s - s_u) - p_u (v_u - v)]$

Exergieverlust: $\Delta \dot{E}_V = T_u \Delta \dot{S}_{\text{irr}} = \dot{E}_{zu} - \dot{E}_{ab}$

Exergetischer Wirkungsgrad: $\xi = 1 - \Delta \dot{E}_V / \dot{E}_{zu}$

Anhang C Einheiten

Tabelle C1.1. Basiseinheiten des Internationalen Einheitensystems

Größenart	Einheit(Zeichen)	Definition
Länge	Meter(m)	Länge der Strecke, die Licht im Vakuum während der Dauer von $1/299792458$ Sekunden durchläuft
Masse	Kilogramm(kg)	Masse des internationalen Kilogrammprototyps
Stoffmenge	Mol(mol)	Stoffmenge eines Systems bestimmter Zusammensetzung, das aus ebenso vielen Teilchen besteht, wie Atome in $(12/1000)$ kg des Nuklids ^{12}C enthalten sind.
Zeit	Sekunde(s)	$9\,192\,631\,770$ fache Periodendauer der dem Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstrukturniveaus des Grundzustands von Atomen des Nuklids ^{133}Cs entsprechenden Strahlung
Temperatur	Kelvin(K)	$273,16$ ter Teil der thermodynamischen Temperatur des Tripelpunktes von Wasser

Tabelle C1.2. Einige abgeleitete Einheiten des Internationalen Einheitensystems

Größenart	Einheit (Zeichen)	Definitionsgleichung
Kraft	Newton(N)	$1\text{ N} = 1\text{ kg m s}^{-2}$
Druck	Pascal(Pa)	$1\text{ Pa} = 1\text{ Nm}^{-2} = 1\text{ kg m}^{-1}\text{ s}^{-2}$
Energie	Joule(J)	$1\text{ J} = 1\text{ Nm} = 1\text{ kg m}^2\text{ s}^{-2}$
Leistung	Watt(W)	$1\text{ W} = 1\text{ J/s} = 1\text{ kg m}^2\text{ s}^{-3}$

Tabelle C1.3. Vorsilben und Kurzzeichen für dezimale Vielfache und Teile von Einheiten

Vorsilbe	Kurzzeichen	Zehnerpotenz	Vorsilbe	Kurzzeichen	Zehnerpotenz
Exa -	(E)	10^{18}	Dezi -	(d)	10^{-1}
Peta -	(P)	10^{15}	Zenti -	(c)	10^{-2}
Tera -	(T)	10^{12}	Milli -	(m)	10^{-3}
Giga -	(G)	10^9	Mikro -	(μ)	10^{-6}
Mega -	(M)	10^6	Nano -	(n)	10^{-9}
Kilo -	(k)	10^3	Piko -	(p)	10^{-12}
Hekto -	(h)	10^2	Femto -	(f)	10^{-15}
Deka -	(da)	10^1	Atto -	(a)	10^{-18}

Tabelle C1.4. Umrechnungsfaktoren anderer Einheitensysteme

Größenart	Einheit(Zeichen)	Umrechnungsgleichung
Zeit	Minute(min)	1 min = 60 s
	Stunde(h)	1 h = 60 min = 3600 s
Kraft	Dyn(dyn)	1 dyn = 10^{-5} N = 1 g cm s ⁻²
	Kilopond(kp)	1 kp = 9,80665 N
Druck	Bar(bar)	1 bar = 10^5 Nm ⁻² = 10^5 Pa
	techn. Atmosphäre(at)	1 at = 98066,5 Pa
	phys. Atmosphäre(atm)	1 atm = 101325 Pa
	Torr(Torr)	1 Torr = 133,3224 Pa
	Meter-Wassersäule(mWS)	1 mWS = 9806,65 Pa
	Milimeter-Quecksilbersäule(mmHg)	1 mmHg = 133,3224 Pa
Energie	Erg(erg)	1 erg = 10^{-7} J
	Kilopondmeter(mkp)	1 mkp = 9,80665 J
	Kilowattstunde(kWh)	1 kWh = $3,6 \cdot 10^6$ J
	Kalorie(cal)	1 cal = 4,1855 J
	Steinkohleeinheiten(kgSKE)	1 kgSKE = $29,308 \cdot 10^6$ J
Leistung	Pferdestärke(PS)	1 PS = 735,498 W

Anhang D Antworten auf die Kontrollfragen

Kapitel 1

- 1.1 Energietechnik umfasst die Erzeugung gewünschter Energieformen aus den natürlichen Energiespeichern der Erde sowie die Umwandlungen in andere. Verfahrenstechnik umfasst die Erzeugung gewünschter Stoffformen aus den natürlichen Materiespeichern der Erde sowie die Umwandlung in andere.
- 1.2 Wärme und Arbeit
- 1.3 Verluste in den Kraftwerken und Verbrennungsmotoren
- 1.4 Gemeinsam: Wärme und Arbeit treten bei energetischen Wechselwirkungen zwischen zwei Objekten in Erscheinung.
Unterschied: Wärme tritt bei Temperaturunterschieden auf, jede andere energetische Wechselwirkung ist Arbeit.
- 1.5 a) Gesetz der Energieerhaltung
b) Gesetz von der Unsymmetrie der Energieumwandlungen
- 1.6 Umwandlung von Arbeit in Wärme durch Reibungseffekte
Umwandlung von chemischer Energie eines Brennstoffs in Wärme
- 1.7 physikalische Stoffumwandlungen: chemische Verbindungen bleiben erhalten
chemische Stoffumwandlungen: aus den ursprünglich vorhandenen chemischen Verbindungen werden neue gebildet
- 1.8 physikalische Stoffumwandlungen, die durch Temperatur- und Druckänderungen in Gasen und Flüssigkeiten herbeigeführt werden
- 1.9 a) Gesetz der Massenerhaltung
b) Gesetz der Unsymmetrie der Stoffumwandlungen
- 1.10 durch die Stöchiometrie, d.h. die Elementenerhaltung
- 1.11 Vermischung von Reinstoffen
Umwandlung von Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser

- 1.12 a) Definition des thermodynamischen Systems
 b) Beschreibung des Systems als fluide Phase
 c) Untersuchung idealisierter Prozesse dieser fluiden Phasen
- 1.13 geschlossenes System: kein Massentransfer über die Systemgrenzen (Kontrollmasse)
- 1.14 durch die Befreiung von allen apparativen Details
- 1.15 Homogene Materiemenge mit örtlich konstanten Werten von Temperatur, Druck und Zusammensetzung
- 1.16 Unterteilung in Strömungsrichtung in differenziell dicke Scheiben, die ihrerseits als Phasen modelliert werden, d.h. mit Phasenwerten für die Temperatur, die Geschwindigkeit, die Zusammensetzung etc., vgl. Abb. 1.19
- 1.17 örtlich konstante Eigenschaften einer Phase
- 1.18 quasistatische Zustandsänderung: zeitlich und örtlich kontinuierliche Folge von Zuständen in einer Phase, die durch Zustandsgrößen beschrieben sind
 nicht-statische Zustandsänderungen: kein Vorliegen von Phasen, keine Beschreibung durch Zustandsgrößen möglich
- 1.19 Zustandsgrößen: Temperatur, Druck
- 1.20 Die Zustandsänderung ist ein Teil einer Prozessbeschreibung. Hinzu kommen die technischen sowie sonstigen inneren und äußeren Bedingungen, unter denen die Zustandsänderung abläuft.

Kapitel 2

- 2.1 $M_{\text{H}_2\text{S}} = 34,08 \text{ kg/kmol}$
- 2.2 Stoffmenge von $6,022 \dots \cdot 10^{23}$ Einzelteilchen eines Systems
- 2.3 Molmasse

- 2.4 Verhältnis der Materiemenge einer Komponente zur Materiemenge des Gemisches ohne diese Komponente
- 2.5 Sammelbegriff für spezifische bzw. molare Zustandsgrößen. Hängen nicht von der Größe des Systems ab. Beispiel v =spezifisches (molares) Volumen
- 2.6 thermodynamisch: Zustandsgröße, die zwei Phasen im mechanischen Gleichgewicht gemeinsam haben
mechanisch: Verhältnis von Kraft zu Fläche, beide normal zueinander
- 2.7 Maß für die mittlere kinetische Energie der Moleküle pro Volumen
- 2.8 Gemeinsame Eigenschaft zweier Phasen im thermischen Gleichgewicht
- 2.9 Stehen zwei Systeme A und B im thermischen Gleichgewicht mit einem dritten System C, so stehen sie auch untereinander im thermischen Gleichgewicht. Die jeweils gemeinsame Zustandsgröße, d.h. die Temperatur, kann also für jedes System, unabhängig von seiner Art und seinem Ort, durch ein Thermometer bei Einstellung des thermischen Gleichgewichts gemessen werden.
- 2.10 weil sie einen physikalisch willkürlichen Nullpunkt hat und damit nur Temperaturdifferenzen beschreiben kann
- 2.11 Tripelpunkttemperatur des Wassers
- 2.12 Nein, zum Tripelpunkt eines reinen Stoffes gehören eindeutig bestimmte Werte von Temperatur und Druck.
- 2.13 a) gibt absolute Temperatur an
b) unabhängig von der Gasart
- 2.14 Maß für die mittlere kinetische Energie der Moleküle
- 2.15 vgl. Abb. 2.5 sowie die Ausführungen des Abschnitts 2.2.1
- 2.16 vgl. Abb. 2.9 sowie die Ausführungen im Abschnitt 2.2.2
- 2.17 Keine, da am kritischen Punkt beide Zustände zusammentreffen.
- 2.18 Zusammensetzung und Temperatur bleiben nicht konstant

- 2.19 a) bleibt konstant
b) nimmt zu

2.20 vgl. Abb. 2.28

2.21 Verdampfung: Dampfdruck = Druck in der Gasphase = Gesamtdruck

Verdunstung: Dampfdruck ist nur ein kleiner Teil der Drucke in der Gasphase.

2.22 diejenige Temperatur, bei deren Unterschreitung ein flüssiges Gemisch in zwei flüssige Phasen zerfällt

2.23 ein spezieller Systemzustand bei Schmelzen und Erstarren in Gemischen, in dem 2 feste Phasen mit einer Lösung im Gleichgewicht stehen

2.24 Elementenbilanz in Form bestimmter Moleküle, keine Aussage über den Reaktionsweg

2.25 vgl. Abb. 2.16

2.26 vgl. Abb. 2.15

2.27 $(pV)^{\text{ig}} = nRT$; die einzelnen Moleküle sind unabhängig voneinander

2.28 $v^{\text{if}} = \text{const.}$

2.29 $z = \sum x_i z_i$

$z_i = z_i(T, p, \{x_j\}) =$ partielle molare Zustandsgröße Z der Komponente i

2.30 Wert der Größe, die ihr im Gemisch zugeordnet ist. In der Regel unterschiedlich vom entsprechenden Reinstoffwert;

$$Z = \sum n_i z_i$$

2.31 Ein Gemisch, in dem sich jede Komponente k so verhält, als würde sie das zur Verfügung stehende Volumen allein ausfüllen, mit dem Partialdruck

$$p_k^{\text{ig}} = x_k p = n_k \frac{RT}{V}$$

2.32 $p_W = p_{sW}(t_T)$

2.33 ein ideales Gasgemisch aus einer Komponente Gas G (kann aus mehreren gasförmigen Stoffen bestehen) und einer Komponente Dampf D (kondensiert als reine Flüssigkeit aus)

$$p_D = p_{sD}(t)$$

2.34 $x = \frac{M_D}{M_G} \frac{p_{sD}(t)}{p/\varphi - p_{sD}(t)}$

2.35 $t_T = 14, 26^\circ\text{C}$

2.36 113 mg NO₂/mol Abgas

2.37 $v_i^{\text{il}}(T, p) = v_{0i}^1(T, p)$

Moleküle der unterschiedlichen Komponenten haben (nahezu) identische Eigenschaften. Damit unterscheiden sich die Wechselwirkungen von Molekülen der Komponente i mit Nachbarmolekülen nicht von der entsprechenden Wechselwirkungen in einem Reinstoff.

2.38 $\Delta v^M = v - x_1 v_{01} - x_2 v_{02} = v^E$

2.39 $v_i^{\text{ivL}} = v_i^*(T, p) = v_i^\infty(T, p)$

Es gibt keine Wechselwirkungen zwischen Molekülen der Komponente i , nur solche zwischen den Molekülen der Komponente i und denen des Lösungsmittels.

2.40 $v_i = v_i^*(T, p)$

Molares Volumen, das durch formale Extrapolation des molaren Gemischvolumens im Bereich der ideal verdünnten Lösung auf $x_i = 1$ entsteht. Dieser Wert existiert nicht real, es ist ein hypothetischer Wert, d.h. eine reine Rechengröße

Kapitel 3

3.1 vgl. Abb. B 3.2.1

3.2 $m' = 4 \text{ kg/s}$, $w'_A = 0,2$

3.3 $\text{C}_8\text{H}_{18} + 12,5 \text{ O}_2 \rightarrow 8 \text{ CO}_2 + 9 \text{ H}_2\text{O}$

- 3.4 die Masse, die Stoffmenge ändert sich im Allgemeinen
- 3.5 $\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}, \text{O}_2, \text{N}_2$
- 3.6 $\rho_1 c_1 A_1 = \rho_2 c_2 A_2$
- 3.7 drei
- 3.8 durch die Gleichgewichtsbeziehung, z.B. die relative Flüchtigkeit
- 3.9 Reaktionen mit vollständigem Umsatz, d.h. Ablauf in einer Richtung und bis zum verschwinden mindestens eines Eduktstoffes
- 3.10 vollständiger Reaktionsablauf und Erreichen der höchsten Oxidationsstufen aller oxidierbarer Eduktstoffe
- 3.11 $n_j = n_j^{(0)} + \nu_j \xi$; ξ reduziert die unbekannt Stoffmengen einer Bruttoreaktionsgleichung auf nur eine Unbekannte
- 3.12 aus dem Stoffmengenanteil einer Komponente im Produktgemisch
- 3.13 Anzahl der unbekannt Stoffmengenanteile = Anzahl der Elemente (ist nicht immer ausreichend!)

Kapitel 4

- 4.1 $H_u(t^0) = - \sum \nu_i \Delta h_i^{\text{f},0}$
 $= \Delta h_{\text{CH}_4}^{\text{f},0} - \Delta h_{\text{CO}_2}^{\text{f},0} - 2\Delta h_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{f},0} = 802303 \text{ kJ/kmol}$
- 4.2 20 MWh
- 4.3 gar nicht
- 4.4 $n_{\text{Mot}} = 52974$
- 4.5 $\Delta h^{\text{R}} = -412,1 \text{ kJ/mol}$
- 4.6 $(W_{12})_{\text{K}} = (W_{12})_{\text{V}} + \text{energetische Reibungsverluste in den mechanischen Bauteilen}$

$$4.7 \quad (W_{12})_t = \int_1^2 v dp$$

4.8 ja, durch Abfuhr von Arbeit

$$4.9 \quad \Delta H = \Delta H_{\text{therm}} + \Delta H_{\text{chem}}$$

$$4.10 \quad c_W = 4,17 \text{ kJ/kg K}$$

$$4.11 \quad H_o - H_u = 1587 \text{ kJ/kg}$$

4.12 null

4.13 nein

4.14 ja, die Temperatur sinkt

$$4.15 \quad t_k = 15^\circ\text{C}$$

4.16 bei adiabater Zustandsänderung, weil die damit verbundene Temperaturerhöhung das Volumen vergrößert

4.17 Enthalpiedifferenz bei einer Bildungsreaktion, d.h. der Bildung einer Verbindung aus den Elementen, bei Standardbedingungen; stimmt die willkürlichen Nullpunkenthalpien der Verbindungen in einer chemischen Reaktion aufeinander ab

4.18 Kalte Luft von außen wird bei konstanter Wasserbeladung aufgeheizt. Damit nimmt die relative Feuchte ab.

4.19 Nein, überschüssiger Sauerstoff und Stickstoff heben sich aus der Enthalpiedifferenz heraus.

4.20 Ausschluss von Reibungseffekten, d.h. Berechnung der Mindestarbeit

$$4.21 \quad (W_{12})_W = (W_{12})_t + \text{energetische Reibungsverluste in den mechanischen Bauteilen}$$

4.22 Energieinhalt einer Materiemenge, der über ihre kinetische und potenzielle Energie hinausgeht

4.23 Summe aus den kinetischen und potenziellen Energien der inkohärenten Molekülbewegungen in einem Fluid

- 4.24 durch Änderung der thermischen Zustandsgrößen $T, V, \{x_j\}$
- 4.25 potenzielle Energie der Bindungen, die die Atome in den Molekülen zusammenhalten
- 4.26 $H = U + pV$
- Enthalpie ist über die potenzielle und kinetische Energie hinausgehende Energie eines Stoffstromes, die er beim Überschreiten der Systemgrenzen transferiert.
- 4.27 Energieform, die bei Transfer über die Systemgrenzen unter Einfluss einer Temperaturdifferenz in Erscheinung tritt
- 4.28 Wärmeleitung, konvektiver Wärmeübergang
- 4.29 weil eine isotherme Druckänderung in idealen Gasen nicht mit einer Enthalpieänderung verbunden ist
- 4.30 $c_p^{\text{ig}} - c_v^{\text{ig}} = R$
- 4.31 $c_p^{\text{if}} = c_v^{\text{if}} = c^{\text{if}}$
- 4.32 $h_i^{\text{ig}} = h_{0i}^{\text{ig}}, u_i^{\text{ig}} = u_{0i}^{\text{ig}}$
- 4.33 $h_L^{\text{ig}}(0^\circ\text{C}) = 0, h_W^{\text{ig}}(0^\circ\text{C}) = 0$
- 4.34 $h_i^{\text{il}} = h_{0i}^{\text{il}}, u_i^{\text{il}} = u_{0i}^{\text{il}}$
- 4.35 $\Delta h^{\text{M}} = h(T, p, \{x_i\}) - \sum x_i h_{0i}^{\text{l}}(T, p) = h^{\text{E}}$
- 4.36 sie erwärmen sich
- 4.37 $h_i^{\text{ivl}} = h_i^\infty$ als der partiellen Enthalpie der Lösung bei unendlicher Verdünnung
- 4.38 $\Delta h^{\text{L}} = \Delta h_i^{\text{f},0}(\text{aq}) - \Delta h_i^{\text{f},0}(\text{g})$
- 4.39 aus der Differenz der Bildungsenthalpien der beteiligten Komponenten
- 4.40 der Heizwert
- 4.41 aus der Differenz der Heizwerte der beteiligten Komponenten
- 4.42 ja

Kapitel 5

- 5.1 Durch Reibungs- und Verwirbelungsvorgänge entwertete Energie
1. Reibung zwischen mechanischen Bauteilen einer Maschine
 2. Entspannung eines Fluidstroms in einer Drossel
 3. Rühren einer Flüssigkeit
 4. Joulesche Wärmeentwicklung in einem stromdurchflossenen Leiter

5.2 es wird keine Entropie produziert

5.3 ja, bei Wärmeabgabe: $Q = -T_m \Delta S$

5.4 nein, da kein Energie- und Massentransfer möglich

5.5 $d_i S \geq 0$

5.6 für einen reversiblen Prozess

- 5.7
1. Wärmetransfer über eine Temperaturdifferenz
 2. Chemische Reaktion, z.B. Verbrennung
 3. Vermischung von Stoffströmen

5.8 $t_m = 34,76^\circ\text{C}$

5.9 nein

$$5.10 \quad Q_{12}^{\text{rev}} = \int_1^2 T dS$$

5.11 $d_i S = 0$: Prozess vollständig thermodynamisch berechenbar

5.12 Sie laufen in Richtung steigender Entropie ab und erreichen den Endzustand, das Gleichgewicht, im Zustand maximaler Entropie.

5.13 $S = k \ln W$

W = atomistisches Chaos = Zahl der atomistischen Zustände, die zu einem festen thermodynamischen Zustand gehören

5.14 durch die Fundamentalgleichung, z.B.

$$dS = \frac{dU}{T} + \frac{p}{T} dV$$

5.15 $S^{\text{ig}}(V) - S^{\text{ig}}(V^0) = nR \ln(V/V^0)$

ja, weil $W \sim V$

5.16 ja

5.17 $s = \sum x_i s_i$

5.18 $s \approx 1 \text{ kJ/kg K}$

5.19 $s_i^{\text{il}} = s_{0i}^{\text{if}} - R \ln x_i$

5.20 $\Delta s = 5,1168 \text{ kJ/kg K}$

5.21 $(\Delta s)_M^{\text{irr,ig}} = -R[n_1 \ln x_1 + n_2 \ln x_2]$

5.22 $S(0 \text{ K}) =$ für einen Reinstoff im Zustand des perfekten Kristalls

5.23 Bildung eines heißen Verbrennungsgases aus kalter Luft und der chemischen inneren Energie des Brennstoffs \rightarrow Chaosproduktion

5.24 thermomechanischer Anteil: $e_{h,0i}^{\text{t,m}} = (h_{0i} - h_{0i,u}) - T_u(s_{0i} - s_{0i,u})$

stofflicher Anteil: $e_{h,0i}^{\text{S}} = (h_{0i} - h_{0i,u}) - T_u(s_{0i} - s_{0i,u})$

chemischer Anteil: $e_{h,0i}^{\text{C}}$: aus Exergiebilanz einer chemischen Reaktion, an der außer i nur im Umgebungsmodell berücksichtigte Komponenten teilnehmen

5.25 $\Delta \dot{E}_V = T_u \dot{S}_i$

5.26 $\xi = 1 - T_u/T = 0,068$

5.27 $de_V = \int \frac{T_u}{T} d\varphi$

5.28 $W_{t, \max} = E_2 - E_1 = \eta_C Q = 2,6 \cdot 10^{10} \text{ kJ}$

5.29 $W_{\max} = E_Q = 26,8 \text{ kJ}$

5.30 unbeschränkt in andere Energieformen umwandelbare Energie, z.B. Arbeit

5.31 Dissipation, Wärmetransfer

Kapitel 6

$$6.1 \quad \eta_{\text{ST}} = \frac{h_2 - h_1}{h_{2'} - h_1}, \text{ mit } h_{2'} = h(p_2, s_2 = s_1)$$

$$\eta_{\text{PT}} = \frac{h_2 - h_1}{\int_1^2 v dp}$$

Der polytrope Wirkungsgrad vergleicht die abgegebenen Arbeiten zwischen denselben Zustandspunkten 1 und 2 und ist für eine polytrope Zustandsänderung eine Konstante, d.h. z.B. unabhängig vom Druckverhältnis. Beides trifft für den isentropen Wirkungsgrad nicht zu.

$$6.2 \quad P_{t, \max} = \dot{G}_2 - \dot{G}_1; \quad G = H - TS$$

$$6.3 \quad \varepsilon^{\text{rev}} = 7,95$$

$$6.4 \quad \text{nein, da } \dot{Q} = \dot{Q}_0 + P_{\text{el}}$$

$$6.5 \quad \text{nein, da } 10^5/800 > 4 \cdot 10^4/400$$

6.6 Carnot-Prozess: isotherme Wärmezufuhr
Clausius-Rankine-Prozess: isobare Wärmezufuhr

6.7 Die Temperatur sinkt.

6.8 vgl. Abb. B 6.12.1

$$6.9 \quad \eta_{\text{th}}^{\text{rev}} = \left(1 - \frac{T_0}{T_m}\right)$$

T_0 = Temperatur der Wärmeabgabe

T_m = mittlere Temperatur der Wärmeaufnahme

$$6.10 \quad \xi \approx \eta_{\text{th}} \text{ für } H_u \approx e_B \text{ und } \eta_K \approx 1$$

6.11 oberhalb des kritischen Punktes

$$6.12 \quad \eta_{\text{th}}^{\text{rev}} = 0,4378$$

$$6.13 \quad W_{12}^{\text{rev}} = 6,7583 \text{ kJ/mol}; \quad q_{12}^{\text{rev}} = -6,7583 \text{ kJ/mol}$$

6.14 Dampferzeuger

6.15 Anlage zur gleichzeitigen Erzeugung von Arbeit und Wärme

6.16 Zwischenüberhitzung, regenerative Speisewasservorwärmung

6.17 nein, wäre mit Abnahme der Entropie verbunden

6.18 vgl. Abb. B 6.8.1

Kapitel 7

- 7.1 a) $p = p_{s0i}(T)$;
 b) $p = x_1 p_{s01}(T) + x_2 p_{s02}(T)$
 c) $p = p_{N_2} + p_{s, H_2O}(T)$

7.2 vgl. Abb. B 7.2.3 mit $B \rightarrow 1$

$$7.3 \mu_i^{\text{il}} = \mu_{0i}^{\text{l}} + RT \ln x_i$$

7.4 Komponente 1

7.5 nach der linken Seite, weil dort die geringere Stoffmenge steht

7.6 vgl. Abb. 7.19 oder Abb. B 7.8.2

7.7 vgl. Abb. 7.26

$$7.8 T^{(1)} = T^{(2)} ; p^{(1)} = p^{(2)} ; \mu_i^{(1)} = \mu_i^{(2)} \text{ für alle } i$$

7.9 zur Eduktseite

$$7.10 x_2^{\text{I}} = x_2^{\text{G}} p / H_2(T, p)$$

Die Löslichkeit einer gasförmigen Komponente 2 in einer Flüssigkeit ist ihrem Partialdruck proportional.

$$7.11 H^{\text{E}} = 0 ; S^{\text{E}} = -n R \sum x_i \ln x_i$$

$$7.12 a_i^{\text{il}} = x_i$$

$$7.13 T^{\alpha} = T^{\beta} ; p^{\alpha} = p^{\beta} ; \mu^{\alpha} = \mu^{\beta}$$

7.14 das chemische Potenzial

$$7.15 \mu_i = h_i - T s_i$$

7.16 tiefste erreichbare Temperatur t_K des Wassers bei adiabater Verdunstung in einen ungesättigten Luftstrom

7.17 eine Anordnung, bei der die ausströmende Stoffströme miteinander im stofflichen Gleichgewicht stehen

7.18 ein Reaktor, der die Edukte ins Reaktionsgleichgewicht überführt

Anhang E Ergebnisse der Aufgaben

Kapitel 2

2.1 $w_{\text{Benz}} = 0,4588$

$w_{\text{Tol}} = 0,5412$

2.2 $w_{\text{N}_2} = 0,5347, \quad x_{\text{N}_2} = 0,196$

$w_{\text{O}_2} = 0,2475, \quad x_{\text{O}_2} = 0,0794$

$w_{\text{H}_2} = 0,1386, \quad x_{\text{H}_2} = 0,7061$

$w_{\text{CO}_2} = 0,0792, \quad x_{\text{CO}_2} = 0,0185$

2.3 a) $n_{\text{O}_2} = 0,064065 \text{ kmol}$

b) $v = 0,1873 \text{ m}^3/\text{kmol}$

$v = 5,854 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$

$\rho = 170,823 \text{ kg/m}^3$

2.4 $\rho_{\text{Oel}} = 781,25 \text{ kg/m}^3$

2.5 a) $p_g = 1,0223 \text{ bar}$

$p_{\text{Ue}} = 0,0173 \text{ bar}$

b) $\Delta z = 146,4 \text{ mm}$

2.6 $\Theta_2^{\text{ig}} = 1202,7 \text{ K}$

2.7 $15^\circ\text{C} = 59^\circ\text{F}$

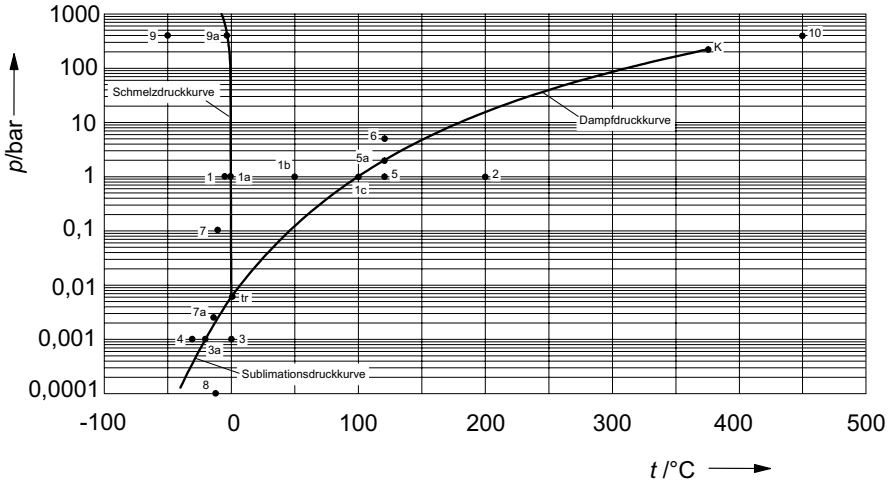
$100^\circ\text{F} = 37,8^\circ\text{C}$

2.8 a) $V_1 = 9,638 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$

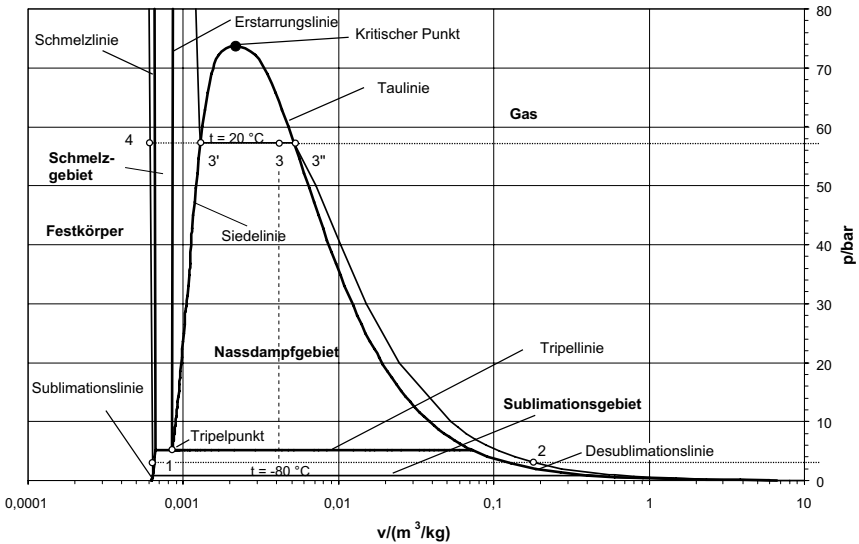
b)

Zustand	p/bar	T/K	$v/(\text{m}^3/\text{mol})$
1	1	323,15	0,027
2	2	323,15	0,0135
3	2,91	473,15	0,0135
4	1	473,15	0,039

- 2.9 a) $t_k = 374,14^\circ\text{C}$, $p_k = 220,9 \text{ bar}$
 $t_{tr} = 0,01^\circ\text{C}$, $p_{tr} = 0,0061 \text{ bar}$
 b)



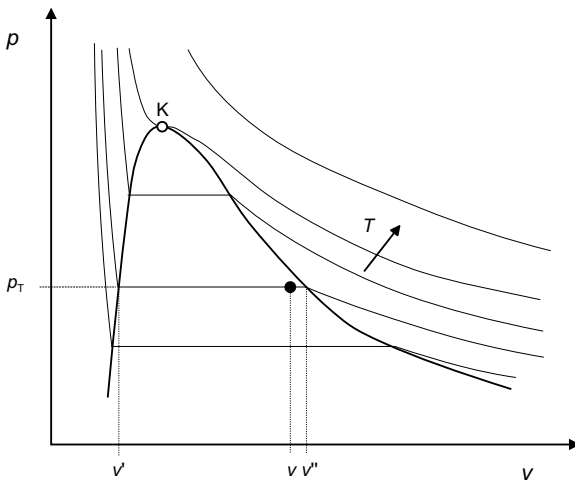
- 2.10 a), b)



Zustand	p/bar	$T/^\circ\text{C}$	$v/(\text{m}^3/\text{kg})$
1	4	-80	0,00063
c) 2	4	20	0,12
3	58	20	0,004
4	58	-80	0,00061

$$m''_3/\dot{m}'_3 = 4$$

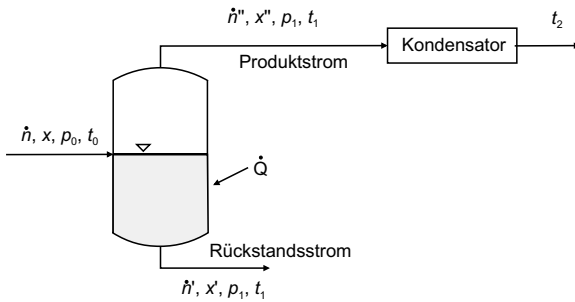
2.11 a)



b) $\dot{m}'' = 9,5 \text{ kg/s}$, $\dot{m}' = 0,5 \text{ kg/s}$

c) $\dot{V} = 139,37 \text{ m}^3/\text{s}$

2.12 a)



b) $t_s = 61^\circ\text{C}$

c) $x'_2 = 0,32, x''_2 = 0,66$
 $\dot{m}' = 223,69 \text{ kg/h}, \dot{m}'' = 126,22 \text{ kg/h}$

d) $t_2 = 54^\circ\text{C}$

2.13 a) $p_{01} = 40 \text{ kPa}$ (Toluol), $p_{02} = 101 \text{ kPa}$ (Benzol)

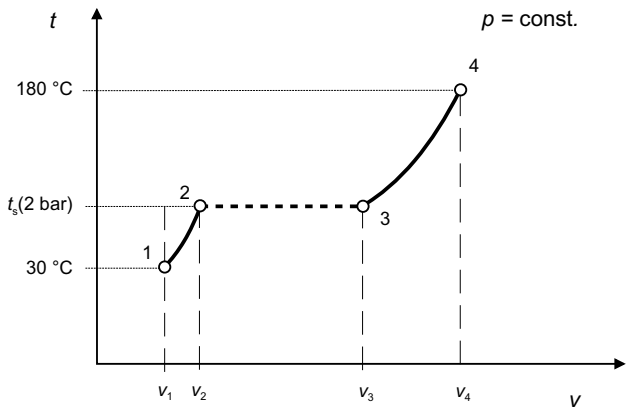
b) $x'(65 \text{ kPa}) = 0,4, x''(65 \text{ kPa}) = 0,63$

c) $n' = 5,65 \text{ mol}, n'' = 4,35 \text{ mol}$

2.14 $M = 18 \text{ g/mol}$

2.15 $\dot{V}_1 = 228,8 \text{ m}^3/\text{h}$

2.16 a)



b)

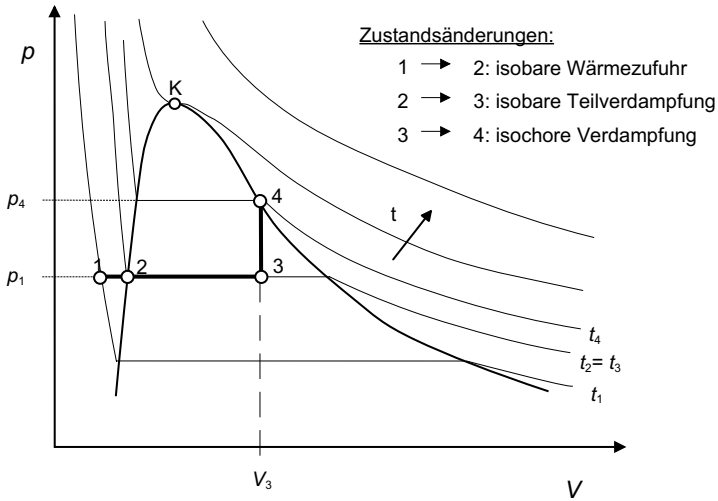
$p_1 = 2 \text{ bar}, t_1 = 30^\circ\text{C}, v_1 = 0,001004 \text{ m}^3/\text{kg}$

$p_2 = 2 \text{ bar}, t_2 = 120,23^\circ\text{C}, v_2 = 0,001061 \text{ m}^3/\text{kg}$

$p_3 = 2 \text{ bar}, t_3 = 120,23^\circ\text{C}, v_3 = 0,8857 \text{ m}^3/\text{kg}$

$p_4 = 2 \text{ bar}, t_4 = 180^\circ\text{C}, v_4 = 1,032 \text{ m}^3/\text{kg}$

2.17 a)



b) $t_2 = 126,06^\circ\text{C}$

c) $x_3 = 0,6675$, $m_3'' = 66,75\text{ g}$, $m_3' = 33,25\text{ g}$

d) $p_4 = 3,68\text{ bar}$, $v_4 = 0,5\text{ m}^3/\text{kg}$, $t_4 = 140,68^\circ\text{C}$

2.18 a) $\dot{m}'' = 0,03\text{ kg/s}$, $\dot{m}' = 0,07\text{ kg/s}$

b) $\dot{V} = 0,02898\text{ m}^3/\text{s}$

2.19 $p_{\text{N}_2} = 0,2352\text{ bar}$, $p_{\text{O}_2} = 0,0953\text{ bar}$,

$p_{\text{H}_2} = 0,8473\text{ bar}$, $p_{\text{CO}_2} = 0,0222\text{ bar}$

2.20 $p_{\text{sW}}(t_{\text{T}}) = 2,3961\text{ kPa}$, $t_{\text{T}} = 20,14^\circ\text{C}$

2.21 a) $\rho = 0,8092$, $p_{\text{W}} = 0,018927\text{ bar}$

b) $m_{\text{L}} = 17,485\text{ kg}$, $m_{\text{W}} = 0,209\text{ kg}$, $m = 17,694\text{ kg}$

2.22 a) 2 Phasen

b) $m_W = 87,6 \text{ g}$

c) $V = 1,05841255 \text{ m}^3$

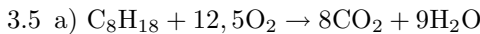
Kapitel 3

3.1 $\dot{m}_W^l = 938,9 \text{ g/h}$, $\dot{m}_W^g = 308 \text{ g/h}$

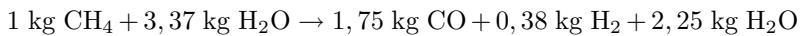
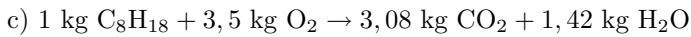
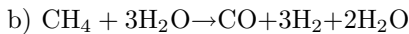
3.2 $\dot{n}' = 79,38 \text{ mol/h}$, $x'_2 = 0,0649$, $x'_1 = 0,9351$

3.3 $\dot{m}_W = 89,19 \text{ kg/h}$

3.4 $X^G = 0,005263$, $X^L = 0,30243$



$$\nu_{\text{C}_8\text{H}_{18}} = -1, \nu_{\text{O}_2} = -12,5, \nu_{\text{CO}_2} = 8, \nu_{\text{H}_2\text{O}} = 9$$

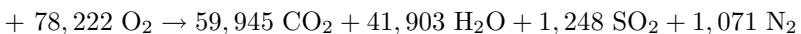
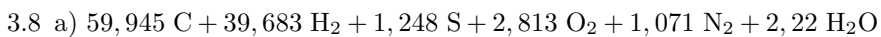


3.6 $p_{sW}(t_T) = 12,081 \text{ kPa}$, $t_T = 49,21^\circ\text{C}$

$$x_{\text{CO}_2}^V = 0,0805, x_{\text{O}_2}^V = 0,0564, x_W^V = 0,1208, x_{\text{N}_2}^V = 0,7423$$

3.7 $l = 10,6071 \text{ mol L/mol B}$

$$x_{\text{CO}_2}^V = 0,0934, x_{\text{O}_2}^V = 0,0175, x_W^V = 0,1635, x_{\text{N}_2}^V = 0,7256$$



$$o_{\min} = 78,222 \text{ mol O}_2/\text{kg B}$$

$$\text{b) } l_{\min} = 372,486 \text{ mol L/kg B, } l = 446,983 \text{ mol L/kg B}$$

$$59,945 \text{ C} + 39,683 \text{ H}_2 + 1,248 \text{ S} + 2,813 \text{ O}_2 + 1,071 \text{ N}_2 + 2,2 \text{ H}_2\text{O}$$

$$+ 446,983 \cdot (0,21 \text{ O}_2 + 0,79 \text{ N}_2) \rightarrow 59,945 \text{ CO}_2 + 41,903 \text{ H}_2\text{O}$$

$$+ 1,248 \text{ SO}_2 + 15,644 \text{ O}_2 + 354,188 \text{ N}_2$$

$$\text{c) } x_{\text{CO}_2}^{\text{V}} = 0,1268, x_{\text{O}_2}^{\text{V}} = 0,0331, x_{\text{W}}^{\text{V}} = 0,0886$$

$$x_{\text{N}_2}^{\text{V}} = 0,7489, x_{\text{SO}_2}^{\text{V}} = 0,0026$$

$$3.9 \quad x_{\text{H}_2} = 0,4286, x_{\text{N}_2} = 0,5, x_{\text{NH}_3} = 0,0714$$

$$3.10 \quad \dot{n}_{\text{CO}_2} = 0,13 \text{ mol/s, } \dot{n}_{\text{H}_2\text{O}} = 0,87 \text{ mol/s}$$

$$\dot{n}_{\text{CO}} = 0,87 \text{ mol/s, } \dot{n}_{\text{H}_2} = 3,13 \text{ mol/s}$$

Kapitel 4

$$4.1 \quad (W_{12})_{\text{Rbg}} = -124,6 \text{ J}$$

$$4.2 \quad (W_{12})_{\text{K}} = -15 \text{ kJ}$$

$$4.3 \quad M_{\text{d}} = 16,37 \text{ Nm}$$

$$4.4 \quad \dot{U} - \dot{U}_0 = 249,45 \text{ J/s, } \dot{H} - \dot{H}_0 = 415,75 \text{ J/s}$$

$$\dot{E}_{\text{a}} - \dot{E}_{\text{a},0} = 0,2394 \text{ J/s, } \dot{E} - \dot{E}_0 = 415,99 \text{ J/s}$$

$$4.5 \quad \dot{Q}/A = 25,2 \text{ W/m}^2$$

$$4.6 \quad \dot{H}_{\text{a}} - \dot{H}_{\text{e}} = -269,34 \text{ MW}$$

$$4.7 \quad \dot{H}_2 - \dot{H}_1 = -2,773 \text{ MW}$$

$$4.8 \quad \dot{m}_L = 4,227 \text{ kg/s}, \quad \Delta \dot{m}_W = 0,0672 \text{ kg/s}$$

$$4.9 \quad \Delta \dot{H} = 19,51 \text{ kW}$$

$$4.10 \text{ a) } \dot{n}_{\text{CO}_2}^{(2)} = 0,13 \text{ mol/s}, \quad \dot{n}_{\text{H}_2\text{O}}^{(2)} = 0,87 \text{ mol/s}$$

$$\dot{n}_{\text{CO}}^{(2)} = 0,87 \text{ mol/s}, \quad \dot{n}_{\text{H}_2}^{(2)} = 3,13 \text{ mol/s}$$

$$\text{b) } \Delta \dot{H} = 328,425 \text{ kW}$$

$$4.11 \text{ a) } x_{\text{CO}_2}^V = 0,0922, \quad x_{\text{W}}^V = 0,0831, \quad x_{\text{SO}_2}^V = 0,0004$$

$$x_{\text{O}_2}^V = 0,0671, \quad x_{\text{N}_2}^V = 0,7572$$

$$\text{b) } t_{\text{ad}} = 1550,8^\circ\text{C}$$

$$4.12 \text{ a) } x_{\text{CO}_2}^V = 0,097357, \quad x_{\text{H}_2\text{O}}^V = 0,144678$$

$$x_{\text{O}_2}^V = 0,032157, \quad x_{\text{N}_2}^V = 0,725808$$

$$\text{b) } T_{V2} = 309,99 \text{ K}, \quad \Delta \dot{H} = -2,655 \text{ MW}$$

$$4.13 \text{ a) } m_1 = 0,2571 \text{ kg}$$

$$\text{b) } \Delta m_{12} = 0,2233 \text{ kg}$$

$$\text{c) } T_1 = 453,06 \text{ K}, \quad U_1 = 664,24 \text{ kJ}, \quad T_2 = 372,78 \text{ K}, \quad U_2 = 75,73 \text{ kJ}$$

$$4.14 \text{ a) } \varphi_1 = 0,914$$

$$\text{b) } \dot{m}_L = 1,0372 \text{ kg/s}$$

$$\text{c) } \Delta \dot{m}_W = 31,116 \text{ g/s}$$

$$\text{d) } t_2 = 20,04^\circ\text{C}$$

$$e) \Delta \dot{H} = -101,39 \text{ kW}$$

$$4.15 \text{ a) } \text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}, l_{\min} = 9,524 \text{ mol L/mol B}$$

$$b) \lambda = 3,491$$

$$4.16 \text{ a) } H_{u,\text{H}_2}(25^\circ\text{C}) = 241,827 \text{ kJ/mol}, H_{u,\text{CH}_4}(25^\circ\text{C}) = 802,303 \text{ kJ/mol}$$

$$H_{u,\text{C}_2\text{H}_4}(25^\circ\text{C}) = 1322,981 \text{ kJ/mol}, H_{u,\text{Gem.}}(25^\circ\text{C}) = 541,48 \text{ kJ/mol}$$

$$b) x_{\text{H}_2}^{\text{B}} + x_{\text{CH}_4}^{\text{B}} + x_{\text{C}_2\text{H}_4}^{\text{B}} + x_{\text{N}_2}^{\text{B}} + o_{\min} \text{O}_2$$

$$\rightarrow (x_{\text{CH}_4}^{\text{B}} + 2 \cdot x_{\text{C}_2\text{H}_4}^{\text{B}}) \text{CO}_2 + (x_{\text{H}_2}^{\text{B}} + 2 \cdot x_{\text{CH}_4}^{\text{B}} + 2 \cdot x_{\text{C}_2\text{H}_4}^{\text{B}}) \text{H}_2\text{O} + x_{\text{N}_2}^{\text{B}} \text{N}_2$$

$$l = 6,7309 \text{ mol L/mol B}, v = 7,4814 \text{ mol V/mol B}$$

$$x_{\text{CO}_2}^{\text{V}} = 0,0722, x_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{V}} = 0,1992, x_{\text{O}_2}^{\text{V}} = 0,0172, x_{\text{N}_2}^{\text{V}} = 0,7114$$

$$c) k = 0,8546 \text{ mol W/mol B}$$

$$d) \dot{H}_{\text{aus}} - \dot{H}_{\text{ein}} = -573,22 \text{ kW}$$

$$4.17 \text{ a) } T_2 = 565,79 \text{ K}$$

$$b) (P_{12})_t = 11,11 \text{ kW}$$

$$4.18 (w_{12})_t = -296,6 \text{ kJ/kg}, (w_{34})_t = -964,7 \text{ kJ/kg}, q_{23} = 476,2 \text{ kJ/kg}$$

$$4.19 \text{ a) } \varphi_2 = 0,00146$$

$$b) (P_{12})_t = 437,54 \text{ kW}$$

$$c) \dot{m}_5 = 3,926 \text{ g/s}$$

$$d) \dot{Q}_{23} = -426,771 \text{ kW}$$

$$4.20 \text{ a) } (P_{12})_t = -58,945 \text{ MW}$$

$$b) \dot{Q}_{23} = -102,534 \text{ MW}, \dot{m}_k = 1226,5 \text{ kg/s}$$

c) $\dot{Q}_{41} = 160,579 \text{ MW}$

d) $\eta_{th} = 0,3615$

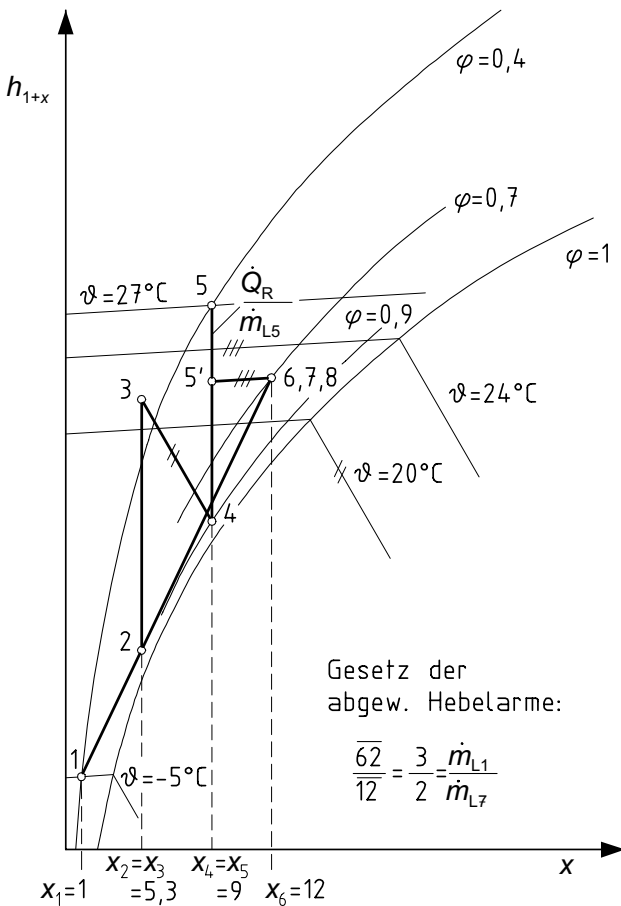
4.21 a) $t_1 = 19,01^\circ\text{C}$

b) $\dot{m} = 0,8118 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}$

c) $(P_{12})_t = 96,41 \text{ W}$

d) $\varepsilon_0 = 1,245$

4.22 a)



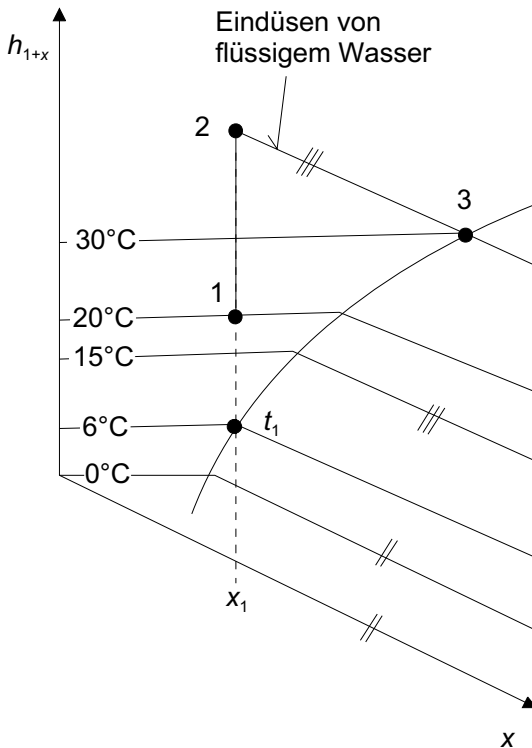
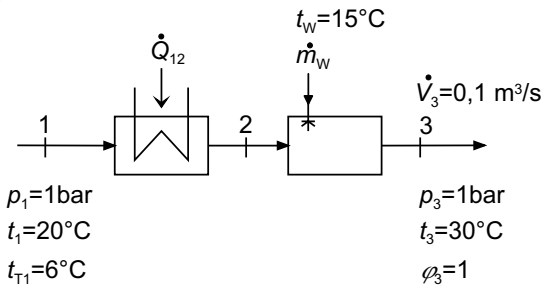
b) $x_6 = 0,0118 \text{ kg/kg}$

c) $\dot{m}_D = 11,2 \text{ kg/h}$

d) $\dot{Q}_{23} = 18,6 \text{ kW}$, $\dot{m}_W = 14,4 \text{ kg/h}$

e) $\dot{Q}_{45} = 14,7 \text{ kW}$

4.23 a)



b) $t_2 = 83,5^\circ\text{C}$, $\dot{Q}_{12} = 7,1 \text{ kW}$

c) $p_{\text{SD}} = 1,564 \text{ bar}$

4.24 a) $\lambda = 1,255$, $\dot{n}_{\text{CO}_2}^{\text{V}} = 0,105 \text{ kmol/h}$, $\dot{n}_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{V}} = 0,205 \text{ kmol/h}$

$\dot{n}_{\text{O}_2}^{\text{V}} = 0,053 \text{ kmol/h}$, $\dot{n}_{\text{N}_2}^{\text{V}} = 0,98 \text{ kmol/h}$

b) $\dot{n}_{\text{H}_2\text{O},\text{fl}} = 0,1677 \text{ kmol/h}$

c) $\dot{Q}_{\text{H}} = -25 \text{ kW}$

4.25 a)

Zustand	p/bar	$t/^\circ\text{C}$	x	$h_{1+x}/(\text{kJ/kg})$
1	1	35	0,0293	110,16
2	0,8	17	0,0156	56,49
3	1	20,7	0,0156	60,3
4	1	85,21	0,0156	126,68
5	1	30	0,0276	100,54
6	1	50	0,0308	129,86

b) $\dot{m}_{\text{W12}} = 14,8 \text{ g/s}$, $\dot{m}_{\text{WB}} = 8,82 \text{ g/s}$

$\dot{Q}_{12} = -56,91 \text{ kW}$, $\dot{Q}_{34} = -71,69 \text{ kW}$

$\dot{Q}_{\text{A}} = -14,32 \text{ kW}$, $\dot{Q}_{\text{V}} = -6,62 \text{ kW}$

4.26 a) $M_{\text{EG}} = 16,113 \text{ g/mol}$, $H_{\text{u,EG}} = 805,3 \text{ kJ/kg}$, $\dot{n}_{\text{EG}} = 107,5 \text{ mol/s}$

b) $T_{\text{V}} = 1437,61 \text{ K}$

4.27 Methan: $m_{\text{CO}_2}/H_{\text{u}} = 0,1976 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}$

Heizöl: $m_{\text{CO}_2}/H_{\text{u}} = 0,2701 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}$

Steinkohle: $m_{\text{CO}_2}/H_{\text{u}} = 0,341 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}$

Zustand	Enthalpie/(kJ/kg)	Dampfgehalt
1	1706,7	1
2	1942,7	
3	1758,2	1
4	1978,2	
5	673,2	0
6	512,074	
7	512,074	0,14
8	673,2	0,144

4.28 a)

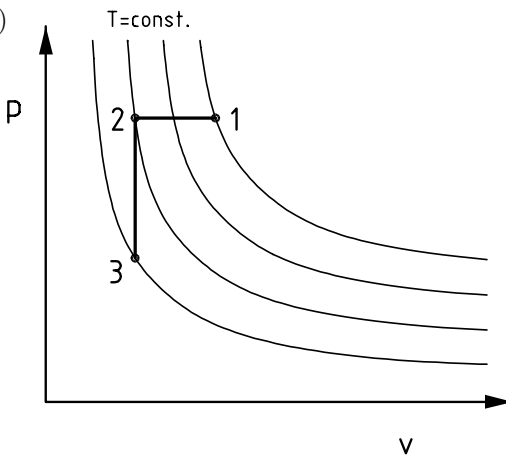
b) $\dot{m}_1 = 0,08371 \text{ kg/s}$

c) $\dot{m}_8 = 0,02667 \text{ kg/s}$

d) $\varepsilon_0 = 2,271$

Kapitel 5

5.1 a)



b) $T_2 = 325 \text{ K}, p_3 = 3,63 \text{ bar}$

c) $(W_{12})_{\text{V}}^{\text{rev}} = 240 \text{ kJ}, (W_{23})_{\text{V}}^{\text{rev}} = 0$

d) $Q_{12} = -839,5 \text{ kJ}, Q_{23} = -55,33 \text{ kJ}$

5.2 a) $(W_{12})_{\text{V}}^{\text{rev}} = -45,81 \text{ kJ}$

b) $(W_{12})_{\text{K}} = -15 \text{ kJ}$

c) $\Phi_{12} = 30,81 \text{ kJ}$

5.3 a) $(w_{12})_{\text{t}} = 200 \text{ kJ/kg}$, $q_{12} = -200 \text{ kJ/kg}$

b) $\varphi_{12} = 32,7 \text{ kJ/kg}$

5.4 $\Phi_{12} = 720 \text{ kJ}$, $T_2 = 480 \text{ K}$

5.5 a) $(W_{12})_{\text{K}} = 10 \text{ kJ}$

b) $(W_{12})_{\text{V}}^{\text{rev}} = 6,931 \text{ kJ}$, $Q_{12} = -6,931 \text{ kJ}$

c) $S_2 - S_1 = -23,1 \text{ J/K}$, $(\Delta S_{12})^{\text{irr}} = 10,23 \text{ J/K}$

5.6 Nein

5.7 a) $Q_{12} = -94,25 \text{ kJ}$

b) $S_2 - S_1 = 0$

c) $0,316 \text{ kJ/K}$

5.8 a) $\dot{S}_{i12} = 32 \text{ W/K}$

b) $\dot{S}_{\text{i,ges}} = 54,9 \text{ W/K}$

c) $(\Delta \dot{S})_{\Delta T}^{\text{irr}} = 22,9 \text{ W/K}$

5.9 a) $S_{\text{i}} = 3,25 \text{ kJ/K}$

b) $S_{\text{i}} = 5,08 \text{ kJ/K}$

5.10 a) $(w_{12})_t = -220 \text{ kJ/kg}$

b) $T_2 = 353,88 \text{ K}$

c) $s_2 - s_1 = 0,18 \text{ kJ/kg}$

d) Nein

5.11 a) $\dot{S}_2 - \dot{S}_1 = -707,57 \text{ kW/K}$

b) $\dot{S}_i = 103,88 \text{ kW/K}$

5.12 $\dot{S}_i = 21,577 \text{ W/K}$

5.13 a) $e_{h,B}^c = 44618 \frac{\text{kJ}}{\text{kg B}}$

b) $\Delta \dot{E}_V = 30,60 \text{ MW}$

c) $T_m = 202,86^\circ\text{C}$

Kapitel 6

6.1 a) $\dot{m} = 0,02187 \text{ kg/s}$

b) $(P_{12})_t = 0,462 \text{ W}$

c) $c_3 = 7,6 \text{ m/s}, T_3 = 342,76 \text{ K}$

d) $c_4 = 17,1 \text{ m/s}, T_4 = 342,64 \text{ K}$

6.2 a) $(w_{12})_t^{\text{rev}} = 4824,14 \text{ J/mol}$

b) $(w_{12})_t^{\text{rev}} = 6453 \text{ J/mol}$

6.3 a) $h_1 = 3000,9 \text{ kJ/kg}, s_1 = 7,0311 \text{ kJ/kg K} = s_2, h_2 = 2552,66 \text{ kJ/kg}$

b) $\dot{m} = 1,295 \text{ kg/s}$

$$\text{c) } c_2 = 946,88 \text{ m/s}$$

$$\text{6.4 } T_{m,12} = 370,32 \text{ K für Wasser}$$

$$T_{m,12} = 376,0 \text{ K für Luft}$$

$$\text{6.5 a) } h_1 = 3000 \text{ kJ/kg, } s_1 = 7,07 \text{ kJ/kg K} = s_2, h_2 = 2560 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{b) } x_2 = 0,95$$

$$\text{6.6 a) } (P_{23})_t = -8290,2 \text{ kW}$$

$$\text{b) } \dot{Q}_{30} = -14111,6 \text{ kW}$$

$$\text{c) } (P_{01})_t = 40,1 \text{ kW}$$

$$\text{d) } \eta_{\text{th}} = 0,369 = \eta_{\text{C}}$$

$$\text{6.7 a) } T_1 = 455,08 \text{ K}$$

$$\text{b) } \dot{m}_{\text{L}} = 35,75 \text{ kg/s}$$

$$\text{c) } \dot{Q}_{30} = -16154 \text{ kW}$$

$$\text{d) } T_{m,12} = 739,49 \text{ K, } T_{m,30} = 476,36 \text{ K}$$

$$\text{e) } \eta_{\text{th}} = 0,356$$

$$\text{6.8 a) } \eta_{\text{th}} = 0,5902$$

$$\text{b) } |w_{\text{V}}| = 826,28 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\text{c) } T_3^* - T_3 = -91,6 \text{ K}$$

$$\text{d) } \eta_{\text{th}}^* = 0,5311$$

$$\text{6.9 a) } \dot{m} = 71,91 \text{ g/s}$$

$$\text{b) } (P_{12})_t = 2,918 \text{ kW, } \dot{Q}_{41} = 9,745 \text{ kW}$$

c) $\varepsilon^{\text{rev}} = 5,321$

d) $(P_{12^*})_t = 3,439 \text{ kW}$, $\dot{Q}_{0^*} = 8,561 \text{ kW}$

e) $\varepsilon^* = 3,489$

6.10 $\dot{Q}_{12} = 0$, $(P_{12})_t = 17,2 \text{ kW}$, $\dot{Q}_{23} = -17,2 \text{ kW} = -(P_{12})_t$

$\dot{Q}_{34} = -11,9 \text{ kW}$, $\dot{Q}_{16} = 11,9 \text{ kW}$, $(P_{45})_t = -6,8 \text{ kW}$

$\dot{Q}_{56} = 6,8 \text{ kW} = -(P_{45})_t$, $\varepsilon_0 = 0,654$

6.11 a) $(P_{23})_t = 144,68 \text{ MW}$, $\eta_{\text{ST}} = 0,8561$

b) $\dot{Q}_{30} = -263 \text{ MW}$

c) $(P_{01})_t = 1,676 \text{ MW}$, $\eta_{\text{SP}} = 0,7539$

d) $\eta_{\text{th}} = 35,22 \%$

6.12 a) $m' = 53,609 \text{ kg}$, $m'' = 5,957 \text{ kg}$

b) $c_2 = 552,07 \text{ m/s}$

c) $m^* = 0,178 \text{ kg}$

6.13 a) $x_4 = 0,888$, $q_{41} = -2170,67 \text{ kJ/kg}$

b) $(P_{34})_t = -93,049 \text{ MW}$

c) $p_{4^*} = 5,628 \text{ kPa}$, $q_{4^*1^*} = -2203,85 \text{ kJ/kg}$

d) $\dot{m}^* = 24,62 \text{ kg/s}$, $P_t^* = -43,869 \text{ MW}$

6.14 a) $\dot{m} = 53 \text{ kg/s}$

b) $(P_{23})_t = -155,49 \text{ MW}$, $(P_{45})_t = -213,951 \text{ MW}$

c) $\dot{Q}_{56} = -586,669 \text{ MW}$, $|\dot{Q}_{\text{VW}}| = 116,237 \text{ MW}$

d) $\eta_{sT} = 0,9366$

e) $\eta_{th} = 0,3864$

f) $\dot{m}_B = 132,8 \text{ kg/s}$

g) $(P_{67})_t = 1,24 \text{ MW}, (P_{9\ 10})_t = 0,264 \text{ MW}$

6.15 a) $Q = 128,807 \text{ MJ}, \dot{Q}_0 = 8,945 \text{ kW}$

b) $T_1 = 273,15 \text{ K}, p_1 = 0,4981 \text{ MPa}, h_1 = 476,9 \text{ kJ/kg}$

$s_1 = 2,997 \text{ kJ/(kg K)}$

$T_2 = 359,59 \text{ K}, p_2 = 2,427 \text{ MPa}, h_2 = 517,7 \text{ kJ/kg}$

$s_2 = 3,019 \text{ kJ/(kg K)}$

$T_3 = 333,15 \text{ K}, p_3 = 2,427 \text{ MPa}, h_3 = 349,7 \text{ kJ/kg}$

$s_3 = 2,519 \text{ kJ/(kg K)}$

$T_4 = 273,15 \text{ K}, p_4 = 0,4981 \text{ MPa}, h_4 = 349,7 \text{ kJ/kg}$

$s_4 = 2,531 \text{ kJ/(kg K)}$

c) $(P_{12})_t = 2,856 \text{ kW}$

d) $\varepsilon_0 = 3,132, \eta_{S,KM} = 0,711$

e) $\dot{m}_B = 5,04 \text{ l/d}$

6.16 a) $n_{V1} = 1,87, n_{V2} = 1,87, n_T = 1,56$

b) $q_{12} = q_{34} = q_{56} = 0, q_{23} = -440,3 \text{ kJ/kg},$

$q_{45} = 3859,1 \text{ kJ/kg}, q_{61} = -2434,6 \text{ kJ/kg}$

c) $(w_V)_t = 880,6 \text{ kJ/kg}$

d) $(w_{56})_t = -1864,8 \text{ kJ/kg}, w_t = -984,2 \text{ kJ/kg}$

e) $\eta_{th} = 0,255$

$$f) \eta_{PV_{12}} = 0,86, \eta_{PV_{34}} = 0,86, \eta_{PT_{56}} = 0,89$$

$$\eta_{SV_{12}} = 0,85, \eta_{SV_{34}} = 0,85, \eta_{ST_{56}} = 0,91$$

$$g) (w_{12})_t^{\text{rev}} = 379,6 \text{ kJ/kg}, (w_{34})_t^{\text{rev}} = 379,6 \text{ kJ/kg},$$

$$(w_{56})_t^{\text{rev}} = -2049,23 \text{ kJ/kg}$$

$$\varphi_{V_{12}} = \varphi_{V_{34}} = 60,7 \text{ kJ/kg}, \varphi_{T_{56}} = 184,43 \text{ kJ/kg}$$

$$6.17 \text{ a) } \eta_{\text{th}} = 0,602$$

$$b) p_2 = 22,61 \text{ bar}, T_2 = 861,95 \text{ K}$$

$$c) q_{23} = 1286 \text{ kJ/kg}$$

$$d) p_3 = 70,82 \text{ bar}, p_4 = 2,819 \text{ bar}, T_4 = 1074,9 \text{ K}$$

$$e) n_k = 1,30, n_e = 1,55$$

$$f) T_{2r} = 686,3 \text{ K}, T_{3r} = 2853 \text{ K}, T_{4r} = 803,9 \text{ K}$$

$$g) q_{12r} = -79 \text{ kJ/kg}$$

$$6.18 \text{ a) } \zeta = 0,341$$

$$b) \zeta = 0,309$$

Kapitel 7

$$7.1 \text{ a) } t_s = 76,33^\circ\text{C}$$

$$b) x'_2 = 0,267, x'_1 = 0,733$$

$$x''_2 = 0,5761, x''_1 = 0,4239, \dot{n}'' = 0,7538 \text{ mol/s}$$

$$7.2 \text{ a) } T = 80 \text{ K}$$

$$b) \dot{n}''/\dot{n}_F = 0,5923$$

c) $p_1 = 1,155 \text{ bar}$

7.3 a) $x_{\text{C}_2\text{H}_4} = 0,6657, x_{\text{H}_2\text{O}} = 0,3315, x_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} = 0,0028$

b) $p = 47,748 \text{ bar}$

7.4 a) $x_{\text{NO}_2} = 0,42166, x_{\text{N}_2\text{O}_4} = 0,57834$

b) $x_{\text{NO}_2} = 0,1032, x_{\text{N}_2\text{O}_4} = 0,0346, x_{\text{Ar}} = 0,8622$

7.5 a) $\varphi_1 = 0,8, \varphi_2 = 0,0141, x_1 = 0,00622 = x_2$

b) $\dot{m}_{\text{L}} = 0,5076 \text{ kg/s}$

c) $\dot{Q}_{12} = 41,08 \text{ kW}$

d) $\dot{m}_{\text{W}} = 46,24 \text{ g/s}$

7.6 a) $\eta_{\text{th}} = 0,49$

b) $\dot{m}_{\text{L}} = 31421 \text{ kg/s}, \dot{m}_{\text{FW}} = 298,9 \text{ kg/s}$

c) $1 > n_{\text{S}} > 2$

d) $t_{\text{k}} = 6,36^\circ\text{C}$

7.7 a) $K = 312,061$

b) $\xi = 0,6892 \text{ kmol/s}, x_{\text{CH}_4} = 0,071, x_{\text{H}_2\text{O}} = 0,2994$

$x_{\text{H}_2} = 0,4722, x_{\text{CO}} = 0,1574$

c) $U_{\text{CH}_4} = 0,6892$

d) $\dot{Q}_{\text{R}} = 156,206 \text{ MW}$

7.8 $x_{\text{CO}} = 0,00273, x_{\text{H}_2\text{O}} = 0,36403, x_{\text{CO}_2} = 0,11371$

$$x_{\text{H}_2} = 0,39282, x_{\text{N}_2} = 0,12671$$

7.9 a) $p_{\text{W}}^{\text{is}} = 96,283 \text{ kPa}$

b) $t_{\text{S}} = 101,33^\circ\text{C}$

7.10 $x_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} = 0,4832, x_{\text{H}_2\text{O}} = 0,4832, x_{\text{H}_2} = 0,0224, x_{\text{CO}} = 0,0112$

7.11 a) $\dot{Q}_{\text{DE}} = 14,894 \text{ MW}$

b) $\dot{m}_{\text{BH}_u} = 15,678 \text{ MW}$

c) $\dot{Q}_{\text{AKM}} = -32,894 \text{ MW}$

d) $t_{\text{k}} = 21,52^\circ\text{C}, \dot{m}_{\text{KW}} = 508,36 \text{ kg/s}, \dot{m}_{\text{W}} = 12,41 \text{ kg/s}$

7.12 a) $x_{\text{CH}_3\text{OH}} = 0,29915, x_{\text{H}_2} = 0,46723, x_{\text{CO}} = 0,23362$

$$U_{\text{CO}} = 0,5615, U_{\text{H}_2} = 0,5615$$

b) $p = 64,356 \text{ bar}$

Sachverzeichnis

- Abgasverlust, 238, 351, 374, 376, 401
- Abhitzekessel, 372
- Abkühlung, 165
- Absorber, 499
- Absorption, 74, 215, 462, 499
- Absorptionsgleichgewicht, 462
- Absorptionswärme, 500
- Abwärme, 5, 243, 260, 293
- Affinität, 446
- Aktivität, 459
- Aktivitätskoeffizient, 459, 467
- Analyse, exergetische, 326, 355, 404
- Anergie, 313
- Anzapfdampf, 364
- Arbeit, 2, 148, 152, 347
 - einer Oberfläche, 294
 - elektrische, 282, 294
 - mechanische, 148
 - technische, 157, 271
- Arbeitsprozesse, 337, 410
- Ausdampfprozess, instationärer, 122, 207
- Ausgleichsprozess, 25, 431, 443
- Ausgleichsprozesse, 431, 446
- Ausnutzungsgrad, 374
- Ausströmungsprozess, 187
- Avogadro-Zahl, 35, 287

- Bar, 39
- Befeuchtung, 195
- Beladung, 36, 96, 190, 500
- Beladungsdiagramm, 506
- Benzin, 572
- Bewertung
 - exergetische, 323
 - isentrope, 410
 - polytrope, 418
- Bildungsenthalpie, 214, 223
- Bildungsreaktion, 223
- Billardkugelmodell, 33, 158
- „Black Box“, 24

- Blockheizkraftwerk, 240
- Boltzmann-Konstante, 287
- Boltzmannsche Entropieformel, 289
- Braunkohle, 572
- Brennkammer, 366
- Brennstoffzelle, 6, 311, 327
- Brennwert, 231, 572, 573
- Brennwertkessel, 94, 229
- Bruttoreaktion, 80
- Bruttoreaktionsgleichung, 81, 127, 133, 140
- Bruttoreaktionsgleichungen
 - für Verbrennungsprozesse, 127

- Carnot-Faktor, 350
- Carnot-Prozess, 349, 394
- „Carnotisierung“, 362
- Celsius-Skala, 43, 49
- Chaos, atomistisches, 286, 328
- Clausius-Rankine-Prozess, 351, 352

- Dampf
 - gesättigter, 60
 - überhitzter, 84
- Dampf-Wärmepumpenprozess, 395
- Dampfdruck, 56, 84, 453
- Dampfdruckdiagramm, 55, 69, 453
- Dampfdruckkurve, 55, 193
 - atomistische Interpretation, 56
 - technische Bedeutung, 57
- Dampferzeuger, 82, 238, 375
- Dampfgehalt, 59
- Dampfkältemaschine, 394, 417
- Dampfkraftanlage, 57, 184, 352, 371
- Dampfspaltung, 133
- Dampftafel, 84, 179, 299, 547
- Dampfturbine, 180, 412
- Destillation, 71, 120
 - absatzweise, 122, 206
 - stetige, 71
- Desublimation, 61
- Diesel-Motor, 388

- Diffusor, 16, 381, 416
- Diffusorwirkungsgrad
 - isentroper, 416
- Dissipation, 264, 269, 278, 282, 291, 419
- Dissoziation, 36, 228, 233, 474
- Drossel, 171, 175, 326, 416
- Druck, 38
 - atomistische Interpretation, 40
 - mechanische Definition, 39
 - thermodynamische Definition, 432
- Druckmessung, 39
- Düse, 342, 382, 415
- Düsenwirkungsgrad, isentroper, 416

- Edukte, 81
- Elektrolyte, 35, 212
- Elementaranalyse, 130
- Elementarreaktionen, 81
- Elementenbilanz, 81, 140
- Elementenerhaltung, 7, 127, 225
- Elementenvorrat, 8
- Endenergie, 2
- Endnässe, 357
- Energie, 147
 - chemischer Anteil, 219
 - freie, 337, 449
 - innere, 157
 - – Abhängigkeit von der Temperatur, 176
 - – Abhängigkeit von der Zusammensetzung, 189
 - – Abhängigkeit von Druck und Volumen, 179
 - – atomistische Interpretation, 158
 - – chemischer Anteil, 160
 - – fühlbare, 160
 - – idealer Flüssigkeiten, 178
 - – idealer Gas/Dampf-Gemische, 190
 - – idealer Gase, 176
 - – idealer Gasgemische, 189
 - – idealer Lösungen, 201
 - – im Nassdampfgebiet, 180
 - – latente, 160
 - – partielle molare, 189
 - – partielle spezifische, 189
 - – physikalischer Anteil, 160
 - – thermischer Anteil, 160
 - kinetische, 148, 162, 313, 381, 415
 - mechanische, 148
 - potenzielle, 148, 161, 313
 - thermochemische, 158
- Energiebilanz, 147
 - mechanische, 151
 - Energiebilanzgleichungen, 165
 - geschlossene Systeme, 165
 - instationäre Prozesse, 165
 - Kreisprozesse, 173
 - stationäre Fließprozesse, 169
- Energiedurchsatz, 242
- Energieentwertung, 260, 312
- Energieerhaltungssatz, 4, 147
- Energieflussbild, 242
- Energiefunktion, 295
- Energienutzung, rationale, 323
- Energiequalität, 147, 311
- Energieströme, Vorzeichen, 153, 163, 170, 377, 392
- Enthalpie
 - Abhängigkeit von der Zusammensetzung, 189
 - feuchter Luft, 191
 - freie, 338, 448
 - ideal verdünnter Lösungen, 213
 - idealer Flüssigkeiten, 178
 - idealer Gas/Dampf-Gemische, 190
 - idealer Gase, 176
 - idealer Gasgemische, 189
 - idealer Lösungen, 201
 - im Nassdampfgebiet, 179
 - partielle molare, 189, 190, 201, 213
 - partielle spezifische, 189
- Enthalpiedifferenz, 219
 - chemischer Anteil, 219
 - thermischer Anteil, 219
- Enthalpiestrom, 243
- Entmischung, 76
- Entmischungstemperatur, 76
- Entnahmedampf, 363
- Entropie, 262
 - absolute, 308
 - als Zustandsgrößen, 293
 - atomistische Interpretation, 286
 - fester Stoffe, 320
 - ideal verdünnter Lösungen, 306
 - idealer Flüssigkeiten, 299
 - idealer Gas/Dampf-Gemische, 304
 - idealer Gase, 298
 - idealer Gasgemische, 300
 - idealer Lösungen, 306
 - im Nassdampfgebiet, 299
 - partielle molare, 301, 307
 - partielle spezifische, 301
 - und Energiequalität, 311
 - und Ordnung, 286
 - und Temperatur, 295
 - und Wärme, 278

- Verknüpfung mit Dissipation, 279
- Entropiebilanz, 259, 262, 303
- und 2. Hauptsatz, 290
- Entropiedifferenz
 - bei chemischen Zustandsänderungen, 308
 - bei Verbrennung, 309
- Entropieexport, 292, 304
- Entropiefluss, 291
- Entropieimport, 292
- Entropienullpunkt, 308
- Entropieproduktion, 291, 293
 - atomistische Interpretation, 286
 - bei Arbeitstransfer, 284
 - bei Dissipation, 283
 - bei Mischung, 302, 306
 - bei Verbrennung, 311
 - bei Wärmetransfer, 284
 - und 2. Hauptsatz, 290
 - und Energieentwertung, 323
 - und Richtungssinn, 290
 - und thermodynamisches Gleichgewicht, 290
- Entropiestrom, 292
- Entropietransfer, 290
- Entspannungsdestillation, 203
- Entwertung, 259
 - der Energie, 260, 312, 323
- Erstarrungslinie, 78
- Exergie, 313
 - chemische, 319
 - der Enthalpie, 315
 - der Wärme, 316
 - eines Stoffstromes, 313
 - partielle molare, 320
 - stoffliche, 317
 - thermomechanischer Anteil, 315
 - von Brennstoffen, 322
- Exergiebilanz, 319, 323, 324
- Exergieverlust, 322–324, 356, 363, 371
 - bei der Wärmebereitstellung, 392
 - bei Kraft-Wärme-Kopplung, 406
 - durch Verbrennung, 326
 - durch Wärmeübertragung, 326
 - eines Dampfkraftprozesses, 324
 - eines Kessels, 325
- Exzessenthalpie, 209, 216
 - freie, 460
- Exzessentropie, 306
- Exzessvolumen, 100

- Fahrenheit, 49
- Fernwärme, 22

- Feuchte
 - absolute, 97
 - relative, 97, 194
- Feuchtigkeitsmessung, 494
- Fließprozesse
 - stationäre, 169
- Flüchtigkeit
 - relative, 70, 120, 124, 204, 456
- Fluid, 60
- Flüssigkeit
 - ideale, 84, 178, 299
 - siedende, 59
 - unterkühlte, 84
- Frischdampf, 356
- Fundamentalfunktion, 294, 446
- Fundamentalgleichung, 294, 441
 - Gibbssche, 442

- Gas
 - ideales, 85, 176, 298
- Gas/Dampf-Gemisch, 93, 190, 304
 - gesättigtes, 93
- Gas/Dampf-Kraftwerk, 371
- Gasgemisch
 - ideales, 90, 189, 301
- Gasgesetz
 - ideales, 86
- Gaskältemaschine, 398
- Gaskonstante
 - allgemeine, 46, 287
- Gaslöslichkeit, 462, 499
- Gasströmung
 - adiabate, 341
- Gasthermometer
 - ideales, 44, 295
- Gasturbine, 52, 366, 372
 - geschlossene, 367
 - offene, 366
- Gegenstrom, 475
- Gegenstromapparat, 502
- Gemische, 65
 - chemische Eigenschaften, 80
 - Schmelzen und Erstarren, 78
 - Stoffmodelle, 88
 - thermische Eigenschaften, 66
 - Verdampfung und Kondensation, 66
 - Verdunstung und Absorption, 74
- Gesamtwirkungsgrad, 401
- Gewicht, 34
- Gibbs-Potenzial, 448
- Gibbssche Fundamentalgleichung, 442
- Gichtgas, 140, 534
- Gleichgewicht

- chemisches, 82, 317, 435, 445, 451, 469
- mechanisches, 38, 432
- stoffliches, 317, 433, 451
- thermisches, 42, 432, 476
- thermodynamisches, 431, 439
- Gleichgewichtsdiagramm, 454
- Gleichgewichtskonstante, 470, 527, 532
- Gleichgewichtsprozess, 290, 452, 475
- Gleichgewichtsstufe, 496, 501, 513
- Gleichgewichtszustand, 25
- Gleichstrom, 475
- Gramm, 34
- Hauptsatz
 - dritter, 309
 - erster, 147
 - nullter, 43
 - zweiter, 290, 440, 444, 449, 478, 489
- Hebelgesetz, 65, 70, 77, 197
- Heizkessel, 309
- Heizkraftwerk, 22, 242
- Heizöl, 130, 572
- Heizwert, 230, 234, 238, 572, 573
- Helmholtz-Potenzial, 448
- Henry-Koeffizient, 464, 501
- Henrysche Gesetz, 465, 501
- Hochdruckturbine, 184, 358, 412
- Hochofenprozess, 12, 140, 235, 534
- Holz, 572
- Impuls, 40, 150
- Impulsstrom, 382
- Intensitätsgröße, 441
- Ionen, 35, 37, 212, 306, 474
- Isentropenexponenten, 340
- Joule, 148
- Joule-Prozess, 367, 373, 413
 - thermischer Wirkungsgrad, 370
- Kälteleistung, 392
- Kältemaschine, 58, 394, 396, 417
- Kältemittel, 58
- Kühlgrenze, 494
- Kanalströmungen
 - isentrope, 341
- Kelvin, 46, 297
- Kessel, 325
- Kesseldruck, 357
- Kesselwirkungsgrad, 240, 351
- Kilogramm, 34
- Kilomol, 35
- Kilopascal, 39
- Kolben-Nutzarbeit, 156
- Kolbenarbeit, 153, 262
- Kolbenmotor, 51, 388
- Kolbenpumpe, 153
- Kolbenverdichtungsanlage, 15
- Kombi-Kraftwerk, 371
- Kondensation, 53
- Kondensator, 17
- Kontinuitätsgleichung, 116, 336
- Kontrollmasse, 14
- Kontrollvolumen, 17
- Konventionstrocknung, 491
- Kraft, 39
- Kraft-Wärme-Kopplung, 400
 - Brennstoffeinsparung, 402
- Kraftfeld
 - konservatives, 151
- Kraftwerk, 9
- Kreisprozess, 173
- Kristall
 - perfekter, 308
- Kühlgrenze, 493
- Kühlschrank, 58
- Kühlturm, 497
- Legendre-Transformation, 447
- Leistung, 157
- Leistungszahl, 175, 392
- Liquidus-Linie, 78
- Lösung
 - ideal verdünnte, 102, 213, 306
 - ideale, 99, 201, 306
- Lösungsenthalpie, 217
- Lösungsmittel, 499
- Luft
 - feuchte, 94, 191, 305
- Luftpumpe, 14
- Luftverhältnis, 128
- Lufterlegung, 119
- Manometer, 39
- Masse, 34
- Massenanteil, 36
- Massenbilanz, 115, 131
- Massenerhaltung, 115
- Massenflussbild, 118
- Massenwirkungsgesetz, 470
- Materiemenge, 34
- McCabe-Thiele-Diagramm, 519
- Megapascal, 39
- Mindestluftbedarf, 128
- Mindestsauerstoffbedarf, 128
- Mischkristalle, 80

- Mischungsenthalpie, 209
- Mischungsentropie, 302
- Mischungslücke, 76
- Mischungsvolumen, 100
- Mischungszustand, 197
- Mitteltemperatur
 - thermodynamische, 317, 354, 394
- Modellvorstellungen, 14
- Mol, 35
- Molalität, 214, 466, 474
- Molekülmodell, 33, 158
- Molmasse, 35
- Molzahl, 35
- Motor, 5, 25, 52

- Nassdampfgebiet, 59, 179, 300, 343
- Nebel, 195
- Nebelisotherme, 195, 199
- Newton, 39
- Niederdruckturbine, 184, 358
- Normierung
 - unsymmetrisch, 104, 504
- Normkubikmeter, 86
- Nullpunkt
 - der Energie, 148, 158, 223
 - der Entropie, 308
 - der Temperatur, 308
- Nutzarbeit, 156
- Nutzenergie, 2

- Ordnung, 286
- Otto-Motor, 51, 388
- Otto-Prozess, 52, 388
 - thermischer Wirkungsgrad, 390

- Partialdruck, 90, 93, 189, 301
- Pascal, 39
- Phase, 14, 33, 208, 263
- Phasendruck, 27
- Phasengeschwindigkeit, 164
- Phasentemperatur, 27, 163
- Phasenwerte, 27, 169
- „Pinch“, 479
- Polytropenexponent, 420
- Polytropenverhältnis, 419
- Potenzial
 - chemisches, 435, 440
 - mechanisches, 314, 437
 - thermisches, 314, 437
 - thermodynamisches, 294, 448
- Primärenergie, 2
- Prozess, 29
 - isentroper, 339
 - polytroper, 420
 - reversibler, 263, 272, 276, 291, 335
- Prozessgröße, 149
- Prozesskälte, 392
- Prozesswärme, 2, 392
- Punkt
 - kritischer, 60, 343

- Quenche, 200, 493

- Rankine, 47, 297
- Raoult'sches Gesetz, 453, 467
- Raumwärme, 2, 392
- Rayleigh-Gleichung, 124
- Reaktion
 - unvollständige, 133
 - vollständige, 127
- Reaktionsenthalpie, 470
 - freie, 470
- Reaktionsgleichgewicht, 82, 446, 469
 - Druckeinfluss, 471
 - Einfluss inerter Stoffe, 526
 - Temperatureinfluss, 470
- Reaktionslaufzahl, 133, 445
- Reibung, 152, 154, 278, 285
- Reinstoffe, 50
 - Stoffmodelle, 84
- Rektifikation, 510
- Rektifizierkolonne, 19, 512
- Richtungssinn
 - spontaner, 8
- Rücklaufverhältnis, 517, 519

- Sättigung, 74, 93, 489
- Sankey-Diagramm, 242
- Saunabad, 495
- Schmelzdiagramm, 78
- Schmelzdruckkurve, 62
- Schmelzenthalpie, 192
- Schmelzgebiet, 63
- Schubkraft, 382
- Sekunde, 38
- Siedediagramm, 67
- Siedelinie, 68
- Soliduslinie, 78
- Speisewasservorwärmung
 - regenerative, 361, 362
- Standardbildungsenthalpie, 223, 229
 - freie, 465
- Standardbildungsreaktion, 223
- Standardzustand, 223
- Steinkohle, 131, 572
- Stöchiometrie, 81
- Stöchiometrie, 7
- Stoffmenge, 34

- Stoffmengenanteil, 36
- Stoffumwandlungen, 1, 6, 431
 - chemische, 7, 126, 526
 - thermische, 7, 118, 475
- Strahltriebwerk, 53, 381
- Stromausbeute, 401
- Stromeinbuße, 401
- Stromkennzahl, 401
- Strömungsarbeit, 419
- Strömungsprozess, 336
 - adiabater, 341
- Stufenmodell, 502
- Stufenzahl, 506, 519, 530
- Sublimation, 61
- Sublimationsdruckkurve, 61
- Sublimationsgebiet, 61, 71
- Sublimationslinie, 64
- System
 - einfaches, 294
 - ideales, 452
 - thermodynamisches, 14
- Systemgrenzen, 14, 282

- Taulinie, 68
- Taupunkt, 94
- Teilverdampfung, 120, 510
- Temperatur, 42
 - absolute, 295
 - atomistische Interpretation, 50
 - empirische, 44, 295
 - thermodynamische, 47, 295
 - und Entropie, 295
- Temperaturmessung, 42
- Temperaturskala
 - absolute, 45
 - empirische, 44
 - internationale, 49
- Thermometer, 42
- Trennkaskade, 510
- Tripellinie, 64
- Tripelpunkt, 46, 60
- Trocknung, 74, 125, 193, 491
- Turbinenwirkungsgrad
 - isentroper, 412
 - polytroper, 419

- Umgebung, 14, 312
- Umgebungsmodell, 317
- Umsatz, 82, 127, 135, 529
- Umsatzwirkungsgrad, 540
- Unsymmetrie, 6, 259
 - atomistische Interpretation, 287
 - von Energieumwandlungen, 278

- von Stoffumwandlungen, 259
- Verbrennung, 127, 229, 233, 309
 - kalte, 311
 - unvollständige, 133
 - vollständige, 127
- Verbrennungsmotor, 388
- Verbrennungstemperatur
 - adiabate, 233
- Verdampfung, 53, 66
 - atomistische Interpretation, 76
- Verdampfungsenthalpie, 179
- Verdampfungsgleichgewicht, 56, 66, 452
- Verdichter, 15
- Verdichteranlage, 15
- Verdichtewirkungsgrad
 - isentroper, 412
 - polytroper, 419
- Verdunstungskühlung, 493, 496
- Verdunstungsprozess, 489
- Vermischung, 162, 196, 202
- Verschiebearbeit, 161
- Verwirbelung, 30, 277, 285
- Volumen, 38
 - einer ideal verdünnten Lösung, 103
 - einer idealen Flüssigkeit, 87
 - eines idealen Gas/Dampfgemisches, 97
 - eines idealen Gasgemisches, 90
 - molares, 38
 - partielles molares, 88, 91, 103
 - partielles spezifisches, 88
 - spezifisches, 38
- Volumenänderungsarbeit, 157, 268
- Vortrieb, 382
- Vorwärmer, 364

- Wärme, 2, 162, 278
- Wärmeausbeute, 402
- Wärmedurchgang, 164
- Wärmedurchgangskoeffizient, 164, 166
- Wärmekapazität, isobare, 177
 - idealer Flüssigkeiten, 178
 - im idealen Gaszustand, 177
 - mittlere, 179, 191
- Wärmekapazität, isochore, 176
 - idealer Flüssigkeiten, 178
 - mittlere, 179
- Wärmekraftmaschine, 347
- Wärmeleitfähigkeit, 163
- Wärmeleitung, 163
- Wärmepumpe, 59, 392, 417
- Wärmespeicher, 166

Wärmetransfer, 280, 283
Wärmeübergangskoeffizient, 164
Wärmeübertrager, 17, 475
Wärmeübertragung, 475
– konvektive, 163
Waschmittel, 499
Wasserbeladung, 96
Wasserkraftwerk, 171
Wechselwirkungskräfte, 160, 201
Wellenarbeit, 156, 270
Wirkungsgrad, 174, 401
– elektrischer, 401
– exergetischer, 323
– isentroper, 412
– polytroper, 418
– thermischer, 174

Zeit, 150
Zusammensetzung, 36

Zustand
– atomistischer, 286
– makroskopischer, 286
– thermodynamischer, 286
Zustandsänderung, 29
– isentrope, 339
– nicht-statische, 30
– polytrope, 272
– quasistatische, 29, 263
Zustandsfläche
– thermische, 50
Zustandsgleichung, 84
– thermische, 50, 84, 179
Zustandsgröße, 25
– extensive, 38
– partielle molare, 90
– thermische, 34
Zwischenüberhitzung, 357