

A.1 Eigenschaften ausgewählter Brennstoffe

	Fettkohle	Flammkohle	Braunkohle	Diesel (Heizöl)	Benzin	
c	0,813	0,729	0,280	0,859	0,837	
h	0,045	0,047	0,020	0,135	0,143	
s	0,007	0,016	0,003	0,004	–	
o	0,040	0,088	0,101	0,002	0,020	
n	0,015	0,015	0,003	–	–	
w	0,035	0,040	0,555	–	–	
a	0,045	0,065	0,038	–	–	
l_{min}	10,7548	9,6883	3,4841	14,5199	14,4465	
m_R	11,7548	10,6883	4,4841	15,5199	15,4465	
m_{Rt}	11,2727	10,2003	3,7504	14,3139	14,1685	
x_{CO_2}	0,2544	0,2515	0,2308	0,2028	0,1985	
x_{H_2O}	0,0433	0,0433	0,1650	0,0777	0,0827	
x_{SO_2}	0,0012	0,0030	0,0013	0,0005	0,0000	
$x_{N_2^*}$	0,7011	0,7022	0,6029	0,7190	0,7187	
h_u	32,1	28,4	8,06	42,9	42,6	MJ/kg
h_o	33,2	29,5	9,85	45,8	45,7	MJ/kg
M	30,5865	30,2485	28,1775	29,0199	28,8755	kg/kmol
R	274,10	274,87	295,07	286,51	287,94	J/(kg K)

c, h, s, o, n, w, a sind Massenanteile von Kohlenstoff, Wasserstoff, Schwefel, Sauerstoff, Stickstoff, Wasser und Asche aus der Elementaranalyse.

Eigenschaften ausgewählter Brennstoffe (Fortsetzung)

	Erdgas		
	L	H	
r_{CH_4}	0,82	0,93	
$r_{C_2H_6}$	0,02	0,03	
$r_{C_3H_8}$	0,01	0,01	
$r_{C_4H_{10}}$	–	0,01	
r_{N_2}	0,14	0,01	
r_{CO_2}	0,01	0,01	
	8,399	9,9261	
n_R	9,4190	10,9661	
y_{CO_2}	0,09555	0,09757	
y_{H_2O}	0,18473	0,18603	
$y_{N_2^*}$	0,71972	0,71640	
x_{CO_2}	0,1513	0,1544	
x_{H_2O}	0,1197	0,1205	
$x_{N_2^*}$	0,7290	0,7251	
l_{min}	13,1058	16,3666	
h_u	38,1	47,6	MJ/kg
h_o	43,3	54,1	MJ/kg
R	299,12	298,92	J/(kg K)

r_{CH_4} Raumanteil der Komponente CH_4 usw.

Quelle [11.1, 11.2]

A.2 Zustandsgrößen stöchiometrischer Verbrennungsgase

Ohne Berücksichtigung der Dissoziation

Temp. °C	Benzin				Heizöl			
	c_p	\bar{c}_p	h	s_0	c_p	\bar{c}_p	h	s_0
0	1,0567	1,0567	206,91	0,3304	1,0515	1,0515	194,40	0,2988
10	1,0591	1,0579	217,49	0,3684	1,0539	1,0527	204,93	0,3367
20	1,0616	1,0592	228,09	0,4052	1,0564	1,0539	215,48	0,3733
30	1,0640	1,0604	238,72	0,4408	1,0588	1,0551	226,06	0,4088
40	1,0664	1,0616	249,37	0,4754	1,0613	1,0564	236,66	0,4432
50	1,0688	1,0628	260,05	0,5090	1,0637	1,0576	247,28	0,4766
60	1,0712	1,0640	270,75	0,5416	1,0662	1,0588	257,93	0,5090
70	1,0737	1,0652	281,47	0,5733	1,0686	1,0600	268,61	0,5406
80	1,0761	1,0664	292,22	0,6042	1,0711	1,0613	279,31	0,5713
90	1,0786	1,0676	302,99	0,6343	1,0736	1,0625	290,03	0,6013
100	1,0811	1,0688	313,79	0,6636	1,0761	1,0637	300,78	0,6305
120	1,0862	1,0713	335,46	0,7202	1,0812	1,0662	322,35	0,6868
140	1,0914	1,0738	357,24	0,7742	1,0864	1,0687	344,03	0,7406
160	1,0967	1,0763	379,12	0,8259	1,0918	1,0713	365,81	0,7920
180	1,1022	1,0789	401,11	0,8755	1,0973	1,0739	387,70	0,8414
200	1,1078	1,0815	423,21	0,9233	1,1029	1,0765	409,70	0,8890
220	1,1136	1,0841	445,42	0,9692	1,1087	1,0792	431,82	0,9347
240	1,1194	1,0868	467,75	1,0136	1,1146	1,0819	454,05	0,9789
260	1,1255	1,0896	490,20	1,0565	1,1206	1,0846	476,40	1,0217
280	1,1316	1,0924	512,77	1,0981	1,1267	1,0874	498,88	1,0630
300	1,1378	1,0952	535,46	1,1384	1,1329	1,0902	521,47	1,1032
350	1,1535	1,1024	592,74	1,2342	1,1486	1,0974	578,51	1,1986
400	1,1694	1,1098	650,81	1,3238	1,1645	1,1048	636,34	1,2878
450	1,1853	1,1173	709,68	1,4082	1,1803	1,1123	694,95	1,3718
500	1,2009	1,1249	769,34	1,4879	1,1958	1,1199	754,36	1,4512
600	1,2309	1,1401	890,94	1,6358	1,2257	1,1351	875,45	1,5985
700	1,2588	1,1551	1015,45	1,7708	1,2533	1,1500	999,42	1,7329
800	1,2841	1,1696	1142,61	1,8952	1,2784	1,1645	1126,03	1,8567
900	1,3070	1,1836	1272,19	2,0106	1,3010	1,1785	1255,02	1,9716
1000	1,3274	1,1970	1403,93	2,1183	1,3212	1,1918	1386,16	2,0789
1100	1,3457	1,2097	1537,60	2,2194	1,3393	1,2044	1519,20	2,1795
1200	1,3620	1,2217	1673,00	2,3146	1,3553	1,2163	1653,94	2,2742

Zusammensetzung	c	h	s	o	n	w	a
Benzin	0,837	0,143	-	0,020	-	-	-
Heizöl	0,859	0,135	0,004	0,002	-	-	-

Die Stoffwerte gelten beim Druck von $p_0 = 1,01325$ bar.

Quelle [2.11 und 11.1]

A.11 Zustandsgrößen stöchiometrischer Verbrennungsgase (Fortsetzung)

Ohne Berücksichtigung der Dissoziation

Temp. °C	Steinkohle				Erdgas			
	c_p	\bar{c}_p	h	s_0	c_p	\bar{c}_p	h	s_0
0	0,9973	0,9973	85,56	0,0343	1,0115	1,0115	108,30	0,0838
10	1,0003	0,9988	95,55	0,0702	1,0145	1,0130	118,43	0,1202
20	1,0031	1,0003	105,56	0,1050	1,0174	1,0145	128,59	0,1555
30	1,0060	1,0017	115,61	0,1387	1,0202	1,0159	138,77	0,1897
40	1,0088	1,0031	125,68	0,1713	1,0231	1,0173	148,99	0,2228
50	1,0117	1,0046	135,79	0,2031	1,0259	1,0188	159,24	0,2550
60	1,0145	1,006	145,92	0,2340	1,0288	1,0202	169,51	0,2863
70	1,0173	1,0074	156,08	0,2640	1,0316	1,0216	179,81	0,3168
80	1,0201	1,0088	166,26	0,2933	1,0344	1,0230	190,14	0,3465
90	1,0228	1,0102	176,48	0,3218	1,0372	1,0245	200,50	0,3754
100	1,0256	1,0116	186,72	0,3496	1,0400	1,0259	210,89	0,4036
120	1,0312	1,0144	207,29	0,4033	1,0457	1,0287	231,74	0,4581
140	1,0368	1,0172	227,97	0,4546	1,0514	1,0315	252,71	0,5101
160	1,0425	1,0200	248,76	0,5038	1,0571	1,0344	273,80	0,5599
180	1,0483	1,0228	269,67	0,5510	1,0630	1,0372	295,00	0,6078
200	1,0542	1,0257	290,70	0,5964	1,0689	1,0401	316,32	0,6538
220	1,0601	1,0285	311,84	0,6401	1,0750	1,0430	337,75	0,6982
240	1,0662	1,0314	333,10	0,6824	1,0811	1,0459	359,32	0,7410
260	1,0723	1,0343	354,49	0,7233	1,0873	1,0489	381,00	0,7825
280	1,0784	1,0373	375,99	0,7629	1,0935	1,0518	402,81	0,8226
300	1,0846	1,0402	397,62	0,8013	1,0998	1,0548	424,74	0,8616
350	1,1002	1,0477	452,24	0,8926	1,1157	1,0624	480,13	0,9542
400	1,1158	1,0552	507,65	0,9782	1,1315	1,0700	536,31	1,0410
450	1,1312	1,0628	563,82	1,0587	1,1471	1,0777	593,27	1,1226
500	1,1462	1,0704	620,76	1,1348	1,1624	1,0854	651,01	1,1998
600	1,1745	1,0854	736,81	1,2759	1,1913	1,1007	768,71	1,3429
700	1,2003	1,100	855,57	1,4047	1,2176	1,1155	889,18	1,4735
800	1,2234	1,114	976,78	1,5232	1,2413	1,1298	1012,15	1,5938
900	1,2438	1,1273	1100,15	1,6331	1,2622	1,1434	1137,34	1,7053
1000	1,2617	1,1399	1225,45	1,7356	1,2808	1,1562	1264,51	1,8093
1100	1,2775	1,1517	1352,43	1,8316	1,2971	1,1683	1393,43	1,9068
1200	1,2914	1,1628	1480,89	1,9219	1,3115	1,1796	1523,87	1,9985

Zusammensetzung
Steinkohle c 0,813 h 0,045 s 0,007 o 0,040 n 0,015 w 0,035 a 0,045

Erdgas $r_{CH_4} = 0,82$ $r_{C_2H_6} = 0,02$ $r_{CO_2} = 0,01$ $r_{C_3H_8} = 0,01$ $r_{N_2} = 0,14$

Die Stoffwerte gelten beim Druck von $p_0 = 1,01325$ bar.

Quelle [2.11 und 11.1]

A.2.1 Absolute Entropie s^0 stöchiometrischer Rauchgase

ϑ	Steinkohle	Gasöl	Benzin	Erdgas L
°C	Fettkohle kJ/(kg K)	Heizöl EL, Diesel		
0	0,1657	0,5095	0,5528	0,8789
20	0,2371	0,5839	0,6276	0,9566
40	0,3041	0,6538	0,6979	1,0294
60	0,3673	0,7197	0,7640	1,0980
80	0,4272	0,7820	0,8266	1,1628
100	0,4840	0,8411	0,8860	1,2243
150	0,6151	0,9772	1,0228	1,3656
200	0,7331	1,0996	1,1457	1,4925
250	0,8407	1,2111	1,2577	1,6081
300	0,9399	1,3138	1,3608	1,7144
350	1,0321	1,4092	1,4566	1,8131
400	1,1184	1,4985	1,5463	1,9054
450	1,1997	1,5825	1,6306	1,9923
500	1,2765	1,6619	1,7104	2,0744
600	1,4190	1,8092	1,8583	2,2266
700	1,5489	1,9436	1,9932	2,3657
800	1,6686	2,0674	2,1176	2,4938
900	1,7796	2,1823	2,2330	2,6128
1 000	1,8830	2,2895	2,3408	2,7240
1 100	1,9800	2,3901	2,4418	2,8284
1 200	2,0712	2,4849	2,5370	2,9268
1 300	2,1572	2,5743	2,6270	3,0199
1 400	2,2387	2,6591	2,7122	3,1081
1 500	2,3161	2,7397	2,7932	3,1921
1 600	2,3897	2,8165	2,8704	3,2721
1 700	2,4599	2,8898	2,9440	3,3486
1 800	2,5270	2,9599	3,0145	3,4218
1 900	2,5913	3,0270	3,0821	3,4919
2 000	2,6530	3,0915	3,1469	3,5594
2 100	2,7122	3,1535	3,2092	3,6242
2 200	2,7692	3,2132	3,2693	3,6867
2 300	2,8241	3,2707	3,3271	3,7469

Zusammensetzung	c	h	s	o	n	w	a
Heizöl	0,859	0,135	0,004	0,002	–	–	–
Steinkohle	0,813	0,045	0,007	0,040	0,015	0,035	0,045
Benzin	0,837	0,143	–	0,02	–	–	–
Erdgas	$r_{CH_4} = 0,82$	$r_{C_2H_6} = 0,02$	$r_{CO_2} = 0,01$		$r_{C_3H_8} = 0,01$		$r_{N_2} = 0,14$

Quelle [11.1]

A.3 Zustandsgrößen dissoziierten Verbrennungsgases des Heizöls

Unter Berücksichtigung der Dissoziation; Luftverhältnis $\lambda = 1,2$

Druck	p_0	3 bar	10 bar	50 bar	n. d.	p_0	3 bar	10 bar	50 bar	n. d.
ϑ	c_p in					h in				
°C	J/(kg K)					J/kg				
0	1,0440	1,0440	1,0440	1,0440	1,0440	163,76	163,76	163,76	163,76	163,76
20	1,0482	1,0482	1,0482	1,0482	1,0482	184,68	184,68	184,68	184,68	184,68
40	1,0525	1,0525	1,0525	1,0525	1,0525	205,69	205,69	205,69	205,69	205,69
60	1,0568	1,0568	1,0568	1,0568	1,0568	226,78	226,78	226,78	226,78	226,78
80	1,0612	1,0612	1,0612	1,0612	1,0612	247,96	247,96	247,96	247,96	247,96
100	1,0658	1,0658	1,0658	1,0658	1,0658	269,23	269,23	269,23	269,23	269,23
150	1,0777	1,0777	1,0777	1,0777	1,0777	322,81	322,81	322,81	322,81	322,81
200	1,0906	1,0906	1,0906	1,0906	1,0906	377,02	377,02	377,02	377,02	377,02
250	1,1044	1,1044	1,1044	1,1044	1,1044	431,89	431,89	431,89	431,89	431,89
300	1,1190	1,1190	1,1190	1,1190	1,1190	487,47	487,47	487,47	487,47	487,47
350	1,1341	1,1341	1,1341	1,1341	1,1341	543,80	543,80	543,80	543,80	543,80
400	1,1493	1,1493	1,1493	1,1493	1,1493	600,88	600,88	600,88	600,88	600,88
450	1,1646	1,1646	1,1646	1,1646	1,1645	658,73	658,73	658,73	658,73	658,73
500	1,1796	1,1796	1,1796	1,1796	1,1795	717,34	717,34	717,34	717,34	717,33
600	1,2084	1,2084	1,2084	1,2084	1,2083	836,75	836,75	836,75	836,75	836,74
700	1,2351	1,2351	1,2351	1,2351	1,2348	958,94	958,94	958,94	958,94	958,91
800	1,2597	1,2597	1,2597	1,2597	1,2589	1083,70	1083,70	1083,70	1083,70	1083,62
900	1,2821	1,2821	1,2821	1,2821	1,2805	1210,81	1210,81	1210,81	1210,80	1210,61
1000	1,3029	1,3028	1,3027	1,3026	1,2997	1340,07	1340,06	1340,06	1340,05	1339,64
1100	1,3223	1,3221	1,3219	1,3217	1,3169	1471,34	1471,32	1471,30	1471,28	1470,48
1200	1,3413	1,3406	1,3401	1,3396	1,3322	1604,52	1604,45	1604,40	1604,35	1602,95
1300	1,3609	1,3592	1,3579	1,3569	1,3458	1739,62	1739,44	1739,30	1739,18	1736,86
1400	1,3832	1,3792	1,3764	1,3740	1,3579	1876,78	1876,34	1876,00	1875,72	1872,06
1500	1,4116	1,4028	1,3967	1,3918	1,3688	2016,45	2015,39	2014,63	2014,00	2008,40
1600	1,4522	1,4336	1,4209	1,4113	1,3786	2159,50	2157,13	2155,45	2154,13	2145,78
1700	1,5142	1,4771	1,4523	1,4339	1,3875	2307,58	2302,51	2299,02	2296,34	2284,10
1800	1,6117	1,5416	1,4954	1,4619	1,3956	2463,47	2453,19	2446,25	2441,05	2423,26
1900	1,7646	1,6387	1,5566	1,4982	1,4029	2631,65	2611,81	2598,61	2588,93	2563,19
2000	1,9985	1,7836	1,6445	1,5467	1,4096	2818,77	2782,30	2758,29	2740,98	2703,82
2100	2,3451	1,9953	1,7696	1,6120	1,4157	3034,14	2970,24	2928,42	2898,61	2845,09
2200	2,8390	2,2957	1,9443	1,7001	1,4214	3289,88	3183,03	3113,19	3063,77	2986,94
2300	3,5142	2,7077	2,1826	1,8174	1,4266	3600,44	3429,93	3317,98	3238,95	3129,35
2400	4,3963	3,2529	2,4986	1,9710	1,4314	3981,19	3721,64	3549,29	3427,27	3272,25
2500	5,4941	3,9473	2,9054	2,1680	1,4359	4445,74	4069,31	3814,52	3632,43	3415,61
2600	6,7900	4,7962	3,4126	2,4153	1,4400	5002,32	4482,99	4121,37	3858,65	3559,41
2700	8,2350	5,7898	4,0246	2,7183	1,4439	5650,00	4969,43	4477,04	4110,42	3703,61

n. d. nicht dissoziiert

Zusammensetzung des Rauchgases					
	N_2	O_2	CO_2	SO_2	Ar
Molanteile	0,73977	0,03308	0,12580	0,00032	0,00885
Massenanteile	0,71457	0,03649	0,17083	0,00043	0,01219

Zusammensetzung des Heizöls:					
	c	h	s	O	
	0,859	0,135	0,004	0,002	