

Tabelle 11.6. Stoffwerte von Gasen und Dämpfen ( $p = 1,013 \text{ bar}$ )

	$\vartheta$	$\rho$	$c_p$	$\lambda$	$10^6 \cdot \alpha$	$10^6 \cdot \eta^{-1}$
	$^{\circ}\text{C}$	$\text{kg}/\text{m}^3$	$\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	$\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$	$\text{m}^2/\text{s}$	$\frac{\text{kg}}{\text{s} \cdot \text{m}}$
<b>Reine anorganische Gase (Dämpfe)</b>						
Helium (He)	0	0.18	5200	0.143	153	19
Neon (Ne)	0	0.90	1030	0.046	50	30
Argon (Ar)	0	1.78	524	0.018	19.2	21
Wasserstoff (H <sub>2</sub> )	0	0.09	14050	0.171	13.6	8,4
Sauerstoff (O <sub>2</sub> )	0	1.43	909	0.024	18.4	19.2
Stickstoff (N <sub>2</sub> )	0	1.25	1038	0.024	18.5	16.6
Luft	0	1.29	1005	0.024	18.5	17.2
Chlor (Cl <sub>2</sub> )	0	3.17	473	0.0081	5.4	12.3
Kohlenmonoxid (CO)	0	1.25	1038	0.023	17.7	16.6
Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> )	0	1.96	816	0.015	9.3	13.7
Stickoxid (NO)	0	1.34	971	0.024	18.4	18
Schwefeldioxid (SO <sub>2</sub> )	0	2.86	586	0.0086	5.0	12
Wasserdampf (H <sub>2</sub> O)	100	0.598	2028	0.025	20.6	12
Ammoniak (NH <sub>3</sub> )	0	0.77	2056	0.022	14	9.3
<b>Reine organische Gase (Dämpfe)</b>						
Methan (CH <sub>4</sub> )	0	0.72	2165	0,030	19.2	10
Äthan (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	0	1.35	1650	0,018	8.1	8.6
Propan (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	0	2.01	1550	0,015	4.8	7.5
Äthylen (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	0	1.26	1460	0,017	9.2	9.4
Acetylen (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )	0	1.17	1616	0,018	9.5	9.6
<b>Fluorine (bei Sättigungsdruck)</b>						
Fluoren 11 (CFCl <sub>3</sub> )	0	2.48	549	0,0077	5.7	8,5
Fluoren 12 (CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> )	0	17.7	547	0,0097	1.0	9.9
Fluoren 13 (CF <sub>3</sub> Cl)	0	134	60	0,0115	0.14	13
Fluoren 22 (CHF <sub>2</sub> Cl)	0	21.5	636	0,0107	0.8	9.6
Fluoren 114 (CF <sub>2</sub> Cl · CF <sub>2</sub> Cl)	20	9.6	653	0,0109	1.7	11

$$\nu = \eta/\rho$$

Für ideale Gase bestehen zwischen der molaren Masse  $\bar{M}$ , der Dichte  $\rho_n$  im Normzustand, der Gaskonstanten  $R$ , der molaren Gaskonstanten  $\bar{R}$  und dem Normmolvolumen  $\bar{V}_n$  folgende Zusammenhänge:

$$p_n = \rho_n \cdot R \cdot T_n$$

$$p_n \cdot \bar{V}_n = \bar{R} \cdot T_n$$

$$R = \frac{\bar{R}}{\bar{M}}$$

$$V_n = \frac{1}{\rho_n} = \frac{\bar{V}_n}{\bar{M}}$$

mit den Normbedingungen:  $p_n = 101325 \text{ (Pa)}$   
 $T_n = 273.15 \text{ (K)}$

ist  $R \cdot \rho_n = \frac{p_n}{T_n} = 0.37095 \text{ kJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$

und:  $\bar{V}_n = \frac{\bar{R} \cdot T_n}{p_n} = \frac{\bar{R}}{0.37095} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{kmol}} \right)$

Tabelle 11.7 Stoffwerte von Gasen und Dämpfen in Abhängigkeit von der Temperatur

Stoff	$p$	$\vartheta$	$\rho$	$c_p$	$10^6 \cdot \nu$	$\lambda$	$Pr$	$10^{-6} \cdot \Delta h_v$
	bar	°C	kg/m <sup>3</sup>	$\frac{J}{kg \cdot K}$	m <sup>2</sup> /s	$\frac{W}{m \cdot K}$	-	J/kg
R 12 CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	0,05	-82,5	0,375	452	26,2	0,0055	0,8	0,180
	1,0	-30,6	6,08	535	1,86	0,0073	0,83	0,168
	3,0	-1,5	16,9	602	0,71	0,0082	0,82	0,156
	8,0	+32	43,3	710	0,32	0,0118	0,84	0,138
	14,0	+55,6	77,5	815	0,20	0,0146	0,87	0,122
R 22 CHF <sub>2</sub> Cl	0,021	-100	0,12	502	64	0,0069	0,55	0,268
	0,103	-80	0,563	610	15,4	0,0079	0,56	0,257
	0,375	-60	1,87	564	5,14	0,0085	0,63	0,246
	1,056	-40	4,87	589	2,15	0,0093	0,66	0,235
	2,46	-20	10,76	615	1,04	0,0100	0,69	0,221
	5,00	0	21,23	652	0,56	0,0106	0,73	0,208
	9,17	+20	38,76	698	0,33	0,0113	0,78	0,192
	15,49	+40	67,57	774	0,20	0,0120	0,86	0,164
24,5	+60	126,58	836	0,11	0,0127	0,91	0,137	
Ammoniak NH <sub>3</sub>	0,075	-75	0,0775	1960	88,5	0,0151	0,89	1,48
	0,41	-50	0,38	1960	20,1	0,0174	0,86	1,415
	4,29	0	3,45	2760	2,78	0,0220	1,19	1,265
	20,33	+50	15,75	3470	0,995	0,0336	1,63	1,055
Helium He $R = 2078 \frac{N \cdot m}{kg \cdot K}$	1,013	-100	0,276	5200	49,5	0,103	0,704	
		-50	0,214	5200	74,5	0,123	0,688	
		0	0,1785	5200	104	0,143	0,675	
		25	0,160	5200	121	0,152	0,675	
		100	0,128	5200	176	0,170	0,703	
Wasserstoff H <sub>2</sub> $R = 4125 \frac{N \cdot m}{kg \cdot K}$	1,013	-100	0,142	13000	43	0,116	0,684	
		-50	0,110	13600	66,4	0,146	0,680	
		0	0,0899	14050	93,5	0,175	0,677	
		25	0,0824	14350	108	0,190	0,672	
		100	0,0657	14400	157	0,224	0,663	
	200	0,0519	14400	233	0,266	0,654		
Kohlendioxid CO <sub>2</sub> $R = 189 \frac{N \cdot m}{kg \cdot K}$	1,013	0	1,977	815	7,0	0,015	0,751	
		25	1,81	845	8,2	0,0163	0,769	
		100	1,45	934	12,8	0,0221	0,784	
		200	1,14	1000	20,1	0,0291	0,790	
		300	0,941	1060	28,4	0,0360	0,790	

Tabelle 11.8 Stoffwerte von trockener Luft bei 1,013 bar

$\vartheta$	$\rho$	$c_p$	$\lambda$	$10^5 \cdot \eta$	$10^6 \cdot \nu$	$10^6 \cdot \alpha$	$Pr$
°C	kg/m <sup>3</sup>	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	$\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$	$\frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$	m <sup>2</sup> /s	m <sup>2</sup> /s	-
-150	2.869	1.026	0.0120	0.870	3.11	4.19	0.74
-100	2.040	1.009	0.0165	1.18	5.96	8.28	0.72
- 50	1.583	1.005	0.0206	1.47	9.55	13.4	0.715
0	1.293	1.005	0.0243	1.72	13.30	18.7	0.711
20	1.205	1.005	0.0257	1.82	15.11	21.4	0.713
40	1.128	1.009	0.0271	1.91	16.97	23.9	0.711
60	1.06	1.009	0.0285	2.00	18.90	26.7	0.709
80	1.000	1.009	0.0299	2.10	20.94	29.6	0.708
100	0.946	1.013	0.0314	2.18	23.06	32.8	0.704
120	0.898	1.013	0.0328	2.27	25.23	36.1	0.70
140	0.855	1.013	0.0343	2.35	27.55	39.7	0.694
160	0.815	1.017	0.0358	2.43	29.85	43.0	0.693
180	0.779	1.022	0.0372	2.51	32.29	46.7	0.69
200	0.746	1.026	0.0386	2.58	34.63	50.5	0.685
250	0.675	1.034	0.0421	2.78	41.17	60.3	0.68
300	0.616	1.047	0.0454	2.95	47.85	70.3	0.68
350	0.567	1.055	0.0485	3.12	55.05	81.1	0.68
400	0.525	1.068	0.0516	3.28	62.53	91.9	0.68
450	0.488	1.080	0.0543	3.44	70.54	103.1	0.685
500	0.457	1.093	0.0570	3.58	78.48	114.2	0.69
600	0.404	1.114	0.0621	3.86	95.57	138.2	0.69
700	0.363	1.135	0.0667	4.12	113.7	162.2	0.70
800	0.329	1.156	0.0706	4.37	132.8	185.8	0.715
900	0.301	1.172	0.0741	4.59	152.5	210	0.725
1000	0.277	1.185	0.0770	4.80	173	235	0.735

Bei vielen technischen Anwendungen kann man davon ausgehen, daß die Gase den Gesetzen für ideale Gase entsprechen.

Soweit diese Bedingungen vorliegen, können die spez. Wärmekapazität und die Enthalpie als druckunabhängig betrachtet werden.

$\eta$  ist nur ganz schwach druckabhängig ( $\nu = \eta/\rho$  bei von 1,013 bar abweichendem Druck); auch  $\lambda$  ist nur schwach druckabhängig

$$\beta = \frac{1}{T}, \quad \rho = 1,293 \cdot \frac{273}{T} \cdot \frac{p}{1,013} \text{ (kg/m}^3\text{)}, \quad p = \text{Absolutdruck in bar}$$

Kritische Zustandsgrößen:

$$p_{\text{krit}} = 37.66 \text{ bar}; \quad \vartheta_{\text{krit}} = -140.63 \text{ }^\circ\text{C}; \quad T_{\text{krit}} = 132.52 \text{ K}; \quad \rho_{\text{krit}} = 313 \text{ kg/m}^3;$$

$$\text{Molmasse: } \bar{M} = 28.96 \text{ kg/kmol}$$

Tabelle 11.9 Stoffwerte von Wasser bei 0,981 bar bzw. beim Sättigungsdruck

$\theta$	$p$	$\rho$	$c$	$\lambda$	$10^3 \cdot \beta$	$10^3 \cdot \eta$	$10^6 \cdot \nu$	$10^6 \cdot a$	$Pr$
°C	bar	kg/m <sup>3</sup>	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	$\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$	1/K	$\frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$	m <sup>2</sup> /s	m <sup>2</sup> /s	–
0	0.9807	999.8	4.218	0.552	-0.07	1.792	1.792	0.131	13.67
10		999.7	4.192	0.578	+0.088	1.307	1.307	0.138	9.47
20		998.2	4.182	0.598	0.206	1.002	1.004	0.143	7.01
30		995.7	4.178	0.614	0.303	0.797	0.801	0.148	5.43
40		992.2	4.178	0.628	0.385	0.653	0.658	0.151	4.35
50		988.0	4.181	0.641	0.457	0.548	0.554	0.155	3.57
60		983.2	4.181	0.652	0.523	0.467	0.475	0.158	3.00
70		977.8	4.190	0.661	0.585	0.404	0.413	0.161	2.56
80		971.8	4.196	0.669	0.643	0.355	0.365	0.164	2.23
90		965.3	4.205	0.676	0.698	0.315	0.326	0.166	1.96
100	1.0132	958.4	4.216	0.682	0.752	0.282	0.295	0.169	1.75
120	1.9854	943.1	4.245	0.686	0.860	0.235	0.2485	0.171	1.45
140	3.6136	926.1	4.287	0.684	0.957	0.199	0.215	0.172	1.25
160	6.1804	907.4	4.324	0.682	1.098	0.172	0.1890	0.173	1.09
180	10.027	886.9	4.409	0.676	1.233	0.151	0.1697	0.172	0.98
200	15.550	864.7	4.497	0.666	1.392	0.136	0.1579	0.171	0.92
220	23.202	840.3	4.610	0.653	1.597	0.125	0.1488	0.168	0.88
240	33.480	813.6	4.760	0.636	1.862	0.116	0.1420	0.164	0.87
260	46.491	784.0	4.978	0.612	2.21	0.107	0.1365	0.157	0.87
280	64.191	750.7	5.309	0.581	2.70	0.0994	0.1325	0.145	0.91
300	85.917	712.5	5.86	0.541	3.46	0.0935	0.1298	0.129	1.00
320	112.89	667.0	6.62	0.491	4.60	0.0856	0.1282	0.111	1.15
340	146.08	609.5	8.37	0.430	8.25	0.0775	0.1272	0.0844	1.5
360	186.74	524.5	13.4	0.349		0.0683	0.1306	0.0500	2.6
374.2	221.24	326	$\infty$	0.209	$\infty$	0.0506	0.155	0	$\infty$