

Datum:

Name: _____

Matr.-Nr.:

Seite:

Klausur TH1

Aufgabe:

Gewichtsanteile

<i>Stoff</i>	μ_i	R_i $\left[\frac{J}{kg \cdot K} \right]$	$R_i \cdot \mu_i$ $\left[\frac{J}{kg \cdot K} \right]$	$c_{pi} \Big $ $\left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$	$c_{pi} \Big $ $\left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$	$c_{pi} \Big $ $\left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$	$\mu_i \cdot c_{pi} \Big $ $\left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$
$R_m =$			$\left[\frac{J}{kg \cdot K} \right]$		$C_{pm} =$		$\left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$

$$c_{pi} \Big|_{t_1}^{t_2} = \frac{\left(c_{pi} \Big|_0^{t_2} \cdot t_2 - c_{pi} \Big|_0^{t_1} \cdot t_1 \right)}{t_2 - t_1}$$

$$c_v = c_p - R_m = \dots \frac{J}{kg \cdot K}$$

$$K = \frac{c_p}{c_v} = \dots$$

Datum:

Name:

Matr.-Nr.:

Seite:

Klausur TH1

Aufgabe:Volumenanteile

Stoff	r_i	M_i $\left[\frac{kg}{kmol} \right]$	$r_i \cdot M_i$ $\left[\frac{kg}{kmol} \right]$	μ_i $= \frac{r_i \cdot M_i}{M_m}$	$c_{pi} \Big _{t_1}$ $\left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$	$c_{pi} \Big _{t_2}$ $\left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$	$c_{pi} \Big _{t_3}$ $\left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$	$\mu_i \cdot c_{pi} \Big _{t_1}$ $\left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$

$$M_m = \boxed{\quad \quad \quad \left[\frac{kg}{kmol} \right]} \quad \sum (\mu_i \cdot c_{pi} \Big|_{t_1}) = c_{pm} = \boxed{\quad \quad \quad \left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right]}$$

$$c_{vm} = \boxed{\quad \quad \quad \left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right]}$$

$$\kappa = \boxed{\quad \quad \quad \left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right]}$$

$$c_{pi} \Big|_{t_1}^{t_2} = \frac{\left(c_{pi} \Big|_0^{t_2} \cdot t_2 - c_{pi} \Big|_0^{t_1} \cdot t_1 \right)}{t_2 - t_1}$$

$$R = \frac{\mathfrak{R}}{M_m} = \frac{8315 \frac{J}{kmol \cdot K}}{\dots \frac{kg}{kmol}} = \dots \frac{J}{kg \cdot K}$$

$$c_v = c_p - R_m = \dots \frac{J}{kg \cdot K} \quad \kappa = \frac{c_p}{c_v} = \dots$$

Datum:

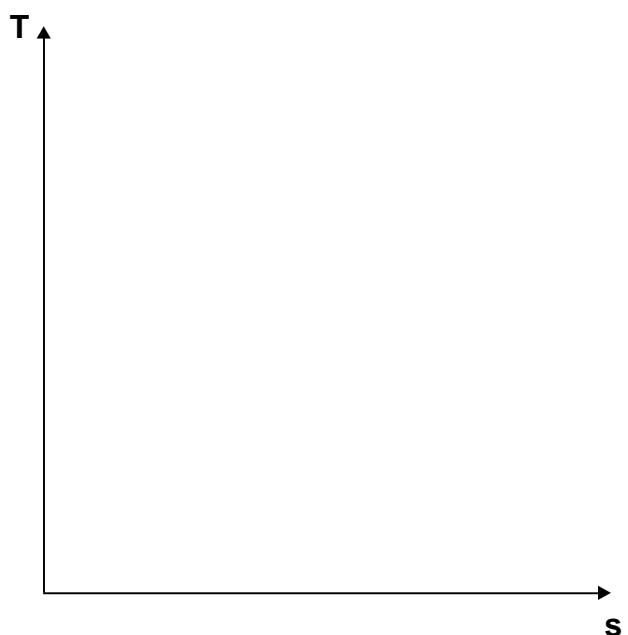
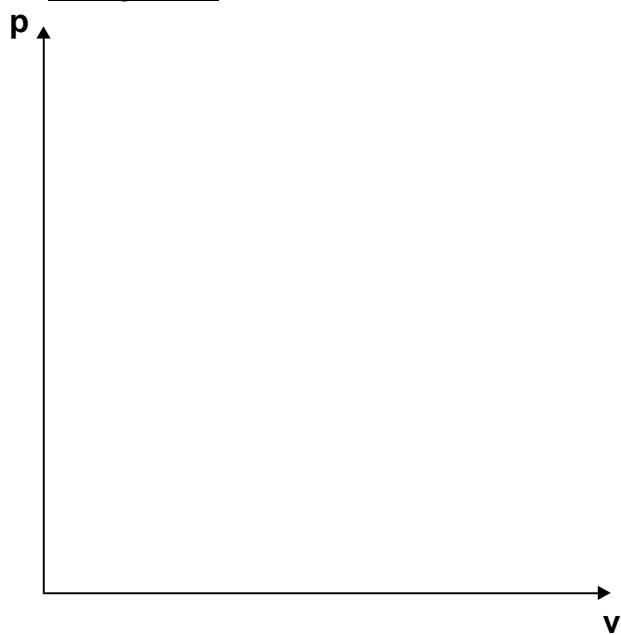
Name:

Matr.-Nr.:

Seite:

Klausur TH1

Aufgabe:



Datum:

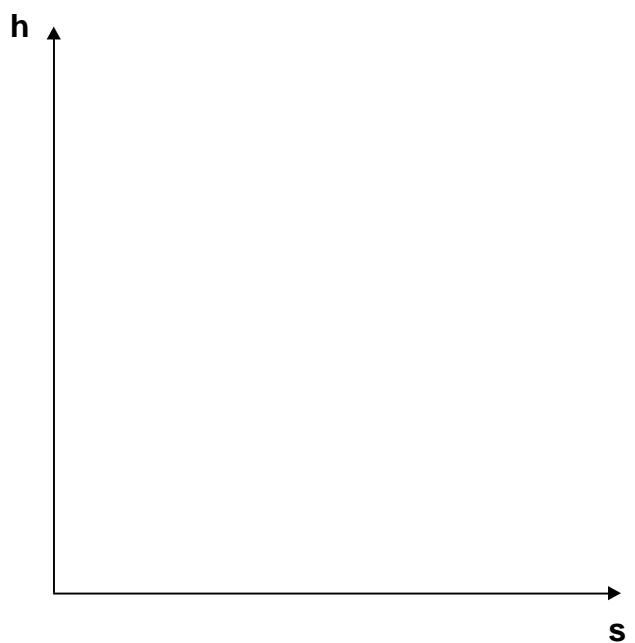
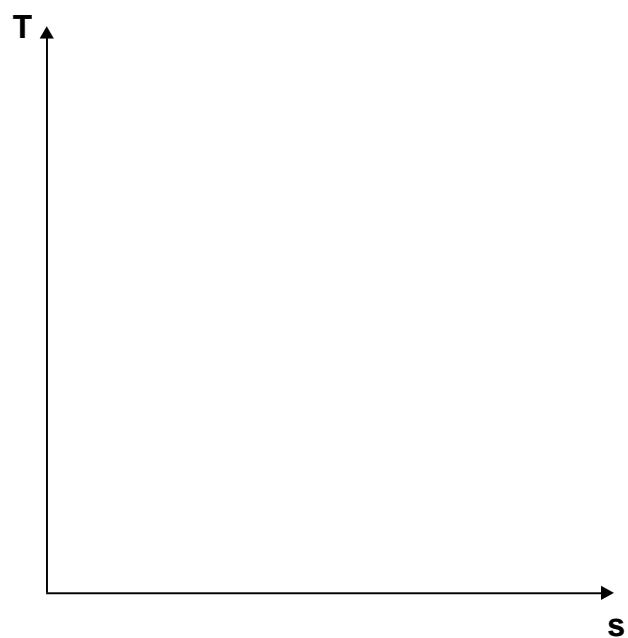
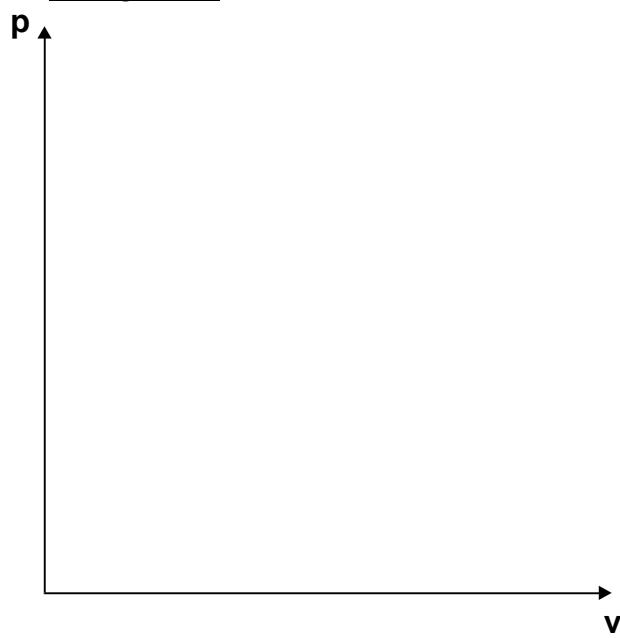
Name:

Matr.-Nr.:

Seite:

Klausur TH1

Aufgabe:



Datum:

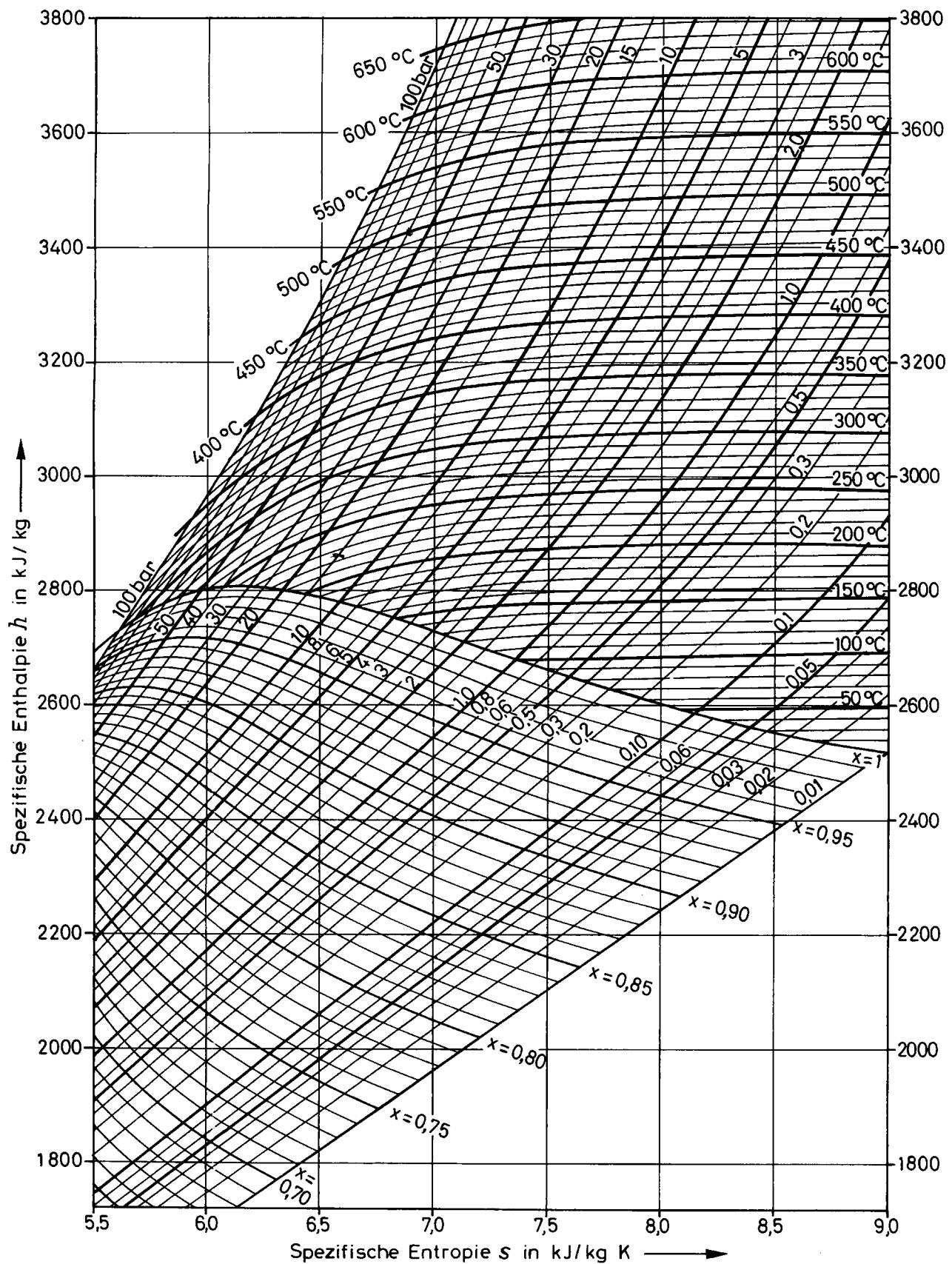
Name: _____

Matr.-Nr.:

Seite:

Klausur TH1

Aufgabe:



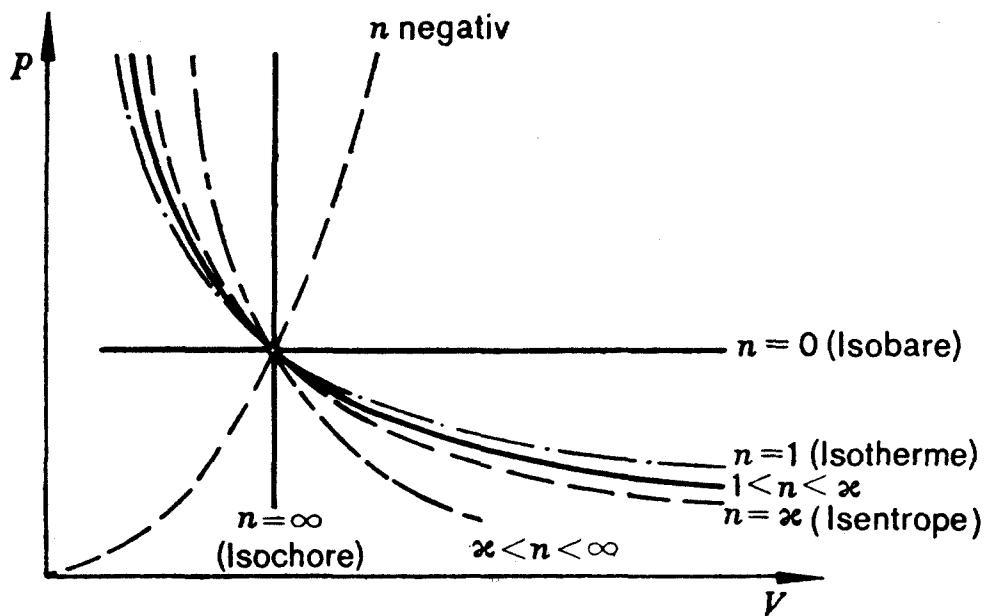
	ISOCHORE	ISOBARE	ISOHERME	ISENTROPE	POLYTROPE
p - V - Diagr.					
T, S - Diagr.					
Besonderh.	$V = \text{konstant}$ $V_1 = V_2$	$p = \text{konstant}$ $p_1 = p_2$	$t = \text{konstant}$ $T_1 = T_2$	$p \cdot V^\chi = \text{konst.}$	$p \cdot V^n = \text{konst}$ $-\infty < n$
Grundgleichungen	$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$	$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$	$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$	$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^\chi$ $\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\chi-1} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{\chi-1}{\chi}}$	$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^n$ $\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{n-1} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{n-1}{n}}$
Exponenten				$\chi = \frac{1}{1 - \frac{\ln(T_1/T_2)}{\ln(p_1/p_2)}}$ $\chi = 1 + \frac{\ln(T_1/T_2)}{\ln(V_2/V_1)}$ $\chi = \frac{\ln(p_1/p_2)}{\ln(V_2/V_1)}$	$n = \frac{1}{1 - \frac{\ln(T_1/T_2)}{\ln(p_1/p_2)}}$ $n = 1 + \frac{\ln(T_1/T_2)}{\ln(V_2/V_1)}$ $n = \frac{\ln(p_1/p_2)}{\ln(V_2/V_1)}$

	ISOCHORE	ISOBARE	ISOTHERME	ISENTROPE	POLYTROPE
Wärme	$Q_{12} = U_2 - U_1$ $Q_{12} = m \cdot \int_{T_1}^{T_2} c_v \cdot dT$ $Q_{12} = m \cdot c_{vm} \Big _{T_1}^{T_2} \cdot (T_2 - T_1)$	$Q_{12} = H_2 - H_1$ $Q_{12} = m \cdot \int_{V_1}^{V_2} c_p \cdot dT$ $Q_{12} = m \cdot c_{pm} \Big _{T_1}^{T_2} \cdot (T_2 - T_1)$	$Q_{12} = We_{12}$	$Q_{12} = 0$	$Q_{12} = m \cdot c_{vm} \Big _{T_1}^{T_2} \cdot \frac{\chi - n}{n-1} \cdot (T_1 - T_2)$ $\frac{Q_{12}}{We_{12}} = \frac{\chi - n}{\chi - 1}$
Volumen-änderungs-Arbeit	$We_{12} = 0$	$We_{12} = m \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$ $We_{12} = p \cdot (V_2 - V_1)$ $We_{12} = m \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{p_1}{p_2}$ $We_{12} = p_1 \cdot V_1 \cdot \ln \frac{V_1}{V_2}$ $We_{12} = p_1 \cdot V_1 \cdot \ln \frac{p_2}{p_1}$ $We_{12} = \frac{m \cdot R \cdot T_1}{\chi - 1} \cdot \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\chi-1}{\chi}} \right]$ $We_{12} = \frac{p_1 \cdot V_1}{\chi - 1} \cdot \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\frac{\chi-1}{\chi}} \right]$ $We_{12} = \frac{p_1 \cdot V_1}{\chi - 1} \cdot \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right)$ $We_{12} = \frac{m \cdot R \cdot T_1}{\chi - 1} \cdot \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\chi-1}{\chi}} \right]$ $We_{12} = \frac{m \cdot R \cdot T_1}{\chi - 1} \cdot \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right)$ $We_{12} = \frac{m \cdot R \cdot T_1}{\chi - 1} \cdot (T_1 - T_2)$ $We_{12} = \frac{m}{n-1} \cdot (R \cdot T_1 - R \cdot T_2)$ $We_{12} = \frac{1}{n-1} \cdot (p_1 \cdot V_1 - p_2 \cdot V_2)$ $We_{12} = \frac{p_1 \cdot V_1}{R \cdot T_1} \cdot \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\frac{\chi-1}{\chi}} \right]$ $We_{12} = \frac{p_1 \cdot V_1}{n-1} \cdot \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\frac{\chi-1}{\chi}} \right]$ $We_{12} = \frac{p_1 \cdot V_1}{n-1} \cdot \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\chi-1}{\chi}} \right]$ $We_{12} = \frac{m \cdot R \cdot T_1}{\chi - 1} \cdot \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right)$ $We_{12} = \frac{m \cdot R \cdot T_1}{\chi - 1} \cdot (T_1 - T_2)$ $We_{12} = \frac{m}{\chi - 1} \cdot (R \cdot T_1 - R \cdot T_2)$ $We_{12} = \frac{1}{\chi - 1} \cdot (p_1 \cdot V_1 - p_2 \cdot V_2)$ $We_{12} = U_1 - U_2 = m \cdot \int_{T_1}^{T_2} c_v \cdot dT$ $We_{12} = m \cdot c_{vm} \Big _{T_1}^{T_2} \cdot (T_1 - T_2)$	$We_{12} = m \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{p_1}{p_2}$ $We_{12} = p_1 \cdot V_1 \cdot \ln \frac{p_1}{p_2}$ $We_{12} = \frac{p_1 \cdot V_1}{\chi - 1} \cdot \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right)$ $We_{12} = \frac{p_1 \cdot V_1}{\chi - 1} \cdot (T_1 - T_2)$ $We_{12} = \frac{m}{\chi - 1} \cdot (R \cdot T_1 - R \cdot T_2)$ $We_{12} = \frac{1}{\chi - 1} \cdot (p_1 \cdot V_1 - p_2 \cdot V_2)$ $We_{12} = U_1 - U_2 = m \cdot \int_{T_1}^{T_2} c_v \cdot dT$ $We_{12} = m \cdot c_{pm} \Big _{T_1}^{T_2} \cdot (T_1 - T_2)$	$We_{12} = m \cdot c_{vm} \Big _{T_1}^{T_2} \cdot \frac{\chi - n}{n-1} \cdot (T_1 - T_2)$ $\frac{Q_{12}}{We_{12}} = \frac{\chi - n}{\chi - 1}$	
Technische Arbeit	$W_{t12} = V \cdot (p_2 - p_1)$	$W_{t12} = 0$	$W_{t12} = We_{12} = Q_{12}$	$W_{t12} = \chi \cdot We_{12}$	$W_{t12} = n \cdot We_{12}$
Entropie	$S_2 - S_1 = m \cdot c_{vm} \Big _{T_1}^{T_2} \cdot \ln \frac{T_2}{T_1}$ $S_2 - S_1 = m \cdot c_{vm} \Big _{T_1}^{T_2} \cdot \ln \frac{p_2}{p_1}$	$S_2 - S_1 = m \cdot c_{pm} \Big _{T_1}^{T_2} \cdot \ln \frac{T_2}{T_1}$ $S_2 - S_1 = m \cdot c_{pm} \cdot \chi \cdot \ln \frac{T_2}{T_1}$ $S_2 - S_1 = m \cdot c_{pm} \Big _{T_1}^{T_2} \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$	$S_2 - S_1 = m \cdot R \cdot \ln \frac{p_1}{p_2}$ $S_2 - S_1 = R \cdot \ln \frac{V_1}{V_2}$	$S_2 - S_1 = 0$	$S_2 - S_1 = m \cdot c_{vm} \Big _{T_1}^{T_2} \cdot \frac{n - \chi}{n-1} \cdot \ln \frac{T_2}{T_1}$ $S_{12} = m \cdot c_v \cdot \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) + R \cdot \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$ $S_{12} = m \cdot c_v \cdot \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) + m \cdot R \cdot \ln \left(\frac{p_2}{p_1} \right)$

Nutzarbeit

 $S \left[\frac{J}{K \cdot kg} \right]$

Z



B 2.9 Polytropen im p, V -Diagramm

$$\begin{array}{lll}
 \text{Isochore} & V = \text{konst.}, p^0 V = \text{konst.} \rightarrow p V^0 = p V^\infty = \text{konst.}; & n = \infty \\
 \text{Isobare} & p = \text{konst.} & \rightarrow p V^0 = \text{konst.}; \quad n = 0 \\
 \text{Isotherme} & p V = \text{konst.} & \rightarrow p V^1 = \text{konst.}; \quad n = 1 \\
 \text{Isentrope} & p V^\kappa = \text{konst.} & \rightarrow p V^\kappa = \text{konst.}; \quad n = \kappa
 \end{array}$$

T 2.1 Stoffwerte von Gasen*

* M , R_i , $C_{m,p}$ und c_p nach Stephan/Mayinger [6], für

Gas	Chemisches Symbol	Molares Normvolumen V_{mn} bei 0°C, 1,01325 bar	Molare Masse M	Spezielle Gaskonstante R_i
		$\frac{m^3}{kmol}$	$\frac{kg}{kmol}$	$\frac{J}{kg K}$
Helium	He	22,426	4,0026	2077,3
Argon	Ar	22,392	39,948	208,1
Wasserstoff	H ₂	22,428	2,0159	4124,5
Stickstoff	N ₂	22,403	28,0134	296,8
Sauerstoff	O ₂	22,392	31,9988	259,8
Luft (trocken)	—	22,400	28,953	287,2
Kohlenmonoxid	CO	22,400	28,0104	296,8
Kohlendioxid	CO ₂	22,261	44,0098	188,9
Schwefeldioxid	SO ₂	21,856	64,0588	129,8
Ammoniak	NH ₃	22,065	17,0305	488,2
Methan	CH ₄	22,360	16,043	518,3
Ethin (Acetylen)	C ₂ H ₂	22,226	26,038	319,3
Ethen (Ethylen)	C ₂ H ₄	22,245	28,053	296,4
Ethan	C ₂ H ₆	22,191	30,070	276,5

Helium nach Baehr [1]. V_{mn} und ρ_n nach DIN 1871 (5.80), $C_{m,v}$, c_v und κ nach Gl 2.21 und Gl 2.22 berechnet.

Dichte im Normzustand ρ_n bei 0°C, 1,01325 bar $\frac{kg}{m^3}$	Molare und spezifische Wärmekapazität bei 0°C und idealem Gaszustand				$\kappa = \frac{c_p}{c_v}$ bei 0°C und idealem Gaszustand	Gas
	$C_{m,p}$ $\frac{kJ}{kmol K}$	c_p $\frac{kJ}{kg K}$	$C_{m,v}$ $\frac{kJ}{kmol K}$	c_v $\frac{kJ}{kg K}$		
0,17848	20,7859	5,1931	12,4714	3,1158	1,667	Helium
1,7840	20,7858	0,5203	12,4713	0,3122	1,667	Argon
0,08988	28,6228	14,2003	20,3083	10,0758	1,409	Wasserstoff
1,2504	29,0967	1,0389	20,7823	0,7421	1,400	Stickstoff
1,4290	29,2722	0,9150	20,9578	0,6552	1,397	Sauerstoff
1,2930	29,0743	1,0043	20,7598	0,7171	1,401	Luft
1,2505	29,1242	1,0403	20,8097	0,7435	1,399	Kohlenmonoxid
1,9770	35,9336	0,8169	27,6191	0,6280	1,301	Kohlendioxid
2,9310	38,9666	0,6092	30,6521	0,4794	1,271	Schwefeldioxid
0,7718	35,0018	2,0557	26,6873	1,5675	1,312	Ammoniak
0,7175	34,5667	2,1562	26,2522	1,6379	1,316	Methan
1,1715	39,3536	1,5127	31,0391	1,1934	1,268	Ethin(Acetylen)
1,2611	45,1842	1,6119	36,8697	1,3155	1,225	Ethen(Ethylen)
1,3550	51,9556	1,7291	43,6411	1,4526	1,190	Ethan

T 2.2: Mittlere isobare molare und isobare spezifische Wärmekapazität von Gasen für den

Temp. in °C	H ₂		N ₂		O ₂		CO									
	$C_{mp} _{0^\circ C}^t$ kJ kmol K	$c_{pm} _{0^\circ C}^t$ kJ kg K	$C_{mp} _{0^\circ C}^t$ kJ kmol K	$c_{pm} _{0^\circ C}^t$ kJ kg K	$C_{mp} _{0^\circ C}^t$ kJ kmol K	$c_{pm} _{0^\circ C}^t$ kJ kg K	$C_{mp} _{0^\circ C}^t$ kJ kmol K	$c_{pm} _{0^\circ C}^t$ kJ kg K								
0	28,62	14,20	29,10	1,039	29,27	0,9150	29,12	1,040								
100	28,94	14,36	29,12	1,039	29,53	0,9227	29,16	1,041								
200	29,07	14,42	29,20	1,042	29,92	0,9351	29,29	1,046								
300	29,14	14,45	29,35	1,048	30,39	0,9496	29,50	1,053								
400	29,19	14,48	29,56	1,055	30,87	0,9646	29,77	1,063								
600	29,32	14,54	30,11	1,075	31,75	0,9922	30,41	1,086								
800	29,52	14,64	30,69	1,096	32,49	1,0154	31,05	1,109								
1000	29,79	14,78	31,25	1,116	33,11	1,0347	31,65	1,130								
1200	30,12	14,94	31,77	1,134	33,62	1,0508	32,17	1,149								
1400	30,47	15,12	32,22	1,150	34,07	1,0648	32,63	1,165								
1600	30,84	15,30	32,62	1,164	34,47	1,0772	33,03	1,179								
1800	31,21	15,48	32,97	1,177	34,83	1,0885	33,38	1,192								
2000	31,58	15,66	33,28	1,188	35,17	1,0990	33,69	1,203								
2200	31,93	15,84	33,55	1,198	35,48	1,1089	33,96	1,212								
2500	32,44	16,09	33,91	1,210	35,93	1,1229	34,31	1,225								
3000	33,22	16,48	34,40	1,228	36,62	1,1443	34,79	1,242								
M in $\frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$	2,0158		28,0134		31,9988		28,0104									
ϱ_n in $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	0,08988		1,2504		1,4290		1,2505									
Anmerkungen zu T 2.2:																
Isochore spezifische Wärmekapazität $c_{vm} _{0^\circ C}^t$ nach (Gl 2.21 a): $c_{vm} _{0^\circ C}^t = c_{pm} _{0^\circ C}^t - R_i$																
Isochore molare Wärmekapazität $C_{mv} _{0^\circ C}^t$ nach (Gl 2.21 b): $C_{mv} _{0^\circ C}^t = C_{mp} _{0^\circ C}^t - R_m$																
Mittelwert $\bar{c}_m _{0^\circ C}^t$ nach (Gl 2.22): $\bar{c}_m _{0^\circ C}^t = \frac{c_{pm} _{0^\circ C}^t}{c_{vm} _{0^\circ C}^t} = \frac{C_{mp} _{0^\circ C}^t}{C_{mv} _{0^\circ C}^t}$																

Temp. in °C	ideal Gaszustand ¹		$C_{mp} _{0^\circ C}^t$ in $\frac{\text{kJ}}{\text{kmol K}}$		$c_{pm} _{0^\circ C}^t$ in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$			
	$C_{mp} _{0^\circ C}^t$ kJ kmol K	$c_{pm} _{0^\circ C}^t$ kJ kg K	$C_{mp} _{0^\circ C}^t$ kJ kmol K	$c_{pm} _{0^\circ C}^t$ kJ kg K	$C_{mp} _{0^\circ C}^t$ kJ kmol K	$c_{pm} _{0^\circ C}^t$ kJ kg K		
0	33,47	1,858	35,93	0,8169	38,97	0,6092	29,07	1,004
100	33,71	1,871	38,17	0,8673	40,71	0,6355	29,15	1,007
200	34,08	1,892	40,13	0,9118	42,43	0,6624	29,30	1,012
300	34,54	1,917	41,83	0,9505	43,99	0,6868	29,52	1,019
400	35,05	1,945	43,33	0,9846	45,35	0,7079	29,79	1,029
600	36,15	2,007	45,85	1,0417	47,55	0,7423	30,41	1,050
800	37,34	2,073	47,86	1,0875	49,20	0,7680	31,03	1,071
1000	38,56	2,140	49,50	1,1248	50,47	0,7879	31,60	1,091
1200	39,76	2,207	50,85	1,1555	51,49	0,8038	32,11	1,109
1400	40,91	2,271	51,98	1,1811	52,31	0,8167	32,57	1,124
1600	42,00	2,332	52,93	1,2027	53,00	0,8273	32,97	1,138
1800	43,03	2,388	53,74	1,2211	53,59	0,8365	33,32	1,150
2000	43,97	2,441	54,44	1,2370	54,09	0,8444	33,64	1,161
2200	44,86	2,490	55,06	1,2510	54,54	0,8514	33,93	1,171
2500	46,07	2,557	55,85	1,2690	55,13	0,8606	34,31	1,185
3000	47,82	2,654	56,91	1,2932	55,95	0,8734	34,84	1,203
M in $\frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$	18,0152		44,0098		64,059		28,963	
ϱ_n in $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	0,8038		1,9770		2,9310		1,2930	

T 5.4 Wasserdampftafel, Sättigungszustand (Drucktafel)¹

p bar	t °C	v' m ³ /kg	v'' m ³ /kg	h' kJ/kg	h'' kJ/kg	r kJ/kg	s' kJ/kg K	s'' kJ/kg K
0,0061	0	0,0010002	206,3	-0,04	2501,6	2501,6	-0,0002	9,1577
0,01	6,98	0,0010001	129,20	29,34	2514,4	2485,0	0,1060	8,9767
0,02	17,51	0,0010012	67,01	73,46	2533,6	2460,3	0,2607	8,7246
0,03	24,10	0,0010027	45,67	101,00	2545,6	2444,6	0,3544	8,5785
0,04	28,98	0,0010040	34,80	121,41	2554,5	2433,1	0,4225	8,4755
0,05	32,90	0,0010052	28,19	137,77	2561,6	2423,8	0,4763	8,3960
0,06	36,18	0,0010064	23,74	151,50	2567,5	2416,0	0,5209	8,3312
0,07	39,03	0,0010074	20,53	163,38	2572,6	2409,2	0,5591	8,2767
0,08	41,53	0,0010084	18,10	173,86	2577,1	2403,2	0,5925	8,2296
0,09	43,79	0,0010094	16,20	183,28	2581,1	2397,9	0,6224	8,1881
0,1	45,83	0,0010101	14,67	191,83	2584,8	2392,9	0,6493	8,1511
0,2	60,09	0,0010172	7,650	251,45	2609,9	2358,4	0,8321	7,9094
0,3	69,12	0,0010223	5,229	289,30	2625,4	2336,1	0,9441	7,7695
0,4	75,89	0,0010265	3,993	317,65	2636,9	2319,2	1,0261	7,6709
0,5	81,35	0,0010301	3,240	340,56	2646,0	2305,4	1,0912	7,5947
0,6	85,95	0,0010333	2,732	359,93	2653,6	2293,6	1,1454	7,5327
0,7	89,96	0,0010361	2,365	376,77	2660,1	2283,3	1,1921	7,4804
0,8	93,51	0,0010387	2,087	391,72	2665,8	2274,0	1,2330	7,4352
0,9	96,71	0,0010412	1,869	405,21	2670,9	2265,6	1,2696	7,3954
1,0	99,63	0,0010434	1,694	417,51	2675,4	2257,9	1,3027	7,3598
1,1	102,32	0,0010455	1,549	428,84	2679,6	2250,8	1,3330	7,3277
1,2	104,81	0,0010476	1,428	439,36	2683,4	2244,1	1,3609	7,2984
1,3	107,13	0,0010495	1,325	449,19	2687,0	2237,8	1,3868	7,2715
1,4	109,32	0,0010513	1,236	458,42	2690,3	2231,9	1,4109	7,2465
1,5	111,37	0,0010530	1,159	467,13	2693,4	2226,2	1,4336	7,2234
2,0	120,23	0,0010608	0,8854	504,70	2706,3	2201,6	1,5301	7,1268
3,0	133,54	0,0010735	0,6056	561,43	2724,7	2163,2	1,6716	6,9909
4,0	143,62	0,0010839	0,4622	604,67	2737,6	2133,0	1,7764	6,8943
6,0	158,84	0,0011009	0,3155	670,42	2755,5	2085,0	1,9308	6,7575
8,0	170,41	0,0011150	0,2403	720,94	2767,5	2046,5	2,0457	6,6594
10	179,88	0,0011274	0,1943	762,6	2776,2	2013,6	2,1382	6,5828
15	198,29	0,0011539	0,1317	844,7	2789,9	1945,2	2,3145	6,4406
20	212,37	0,0011766	0,0995	908,6	2797,2	1888,6	2,4469	6,3367
30	233,84	0,0012163	0,0666	1007,4	2802,3	1793,9	2,6455	6,1837
40	250,33	0,0012521	0,0498	1087,4	2800,3	1712,9	2,7965	6,0685
50	263,91	0,0012858	0,0394	1154,5	2794,2	1639,7	2,9206	5,9735
60	275,55	0,0013187	0,0324	1213,7	2785,0	1517,3	3,0273	5,8908
70	285,79	0,0013513	0,0274	1267,4	2773,5	1506,0	3,1219	5,8162
80	294,97	0,0013842	0,0235	1317,1	2759,9	1442,8	3,2076	5,7471
90	303,31	0,0014118	0,0205	1363,7	2744,6	1380,9	3,2867	5,6820
100	310,96	0,001453	0,0180	1408,0	2727,7	1319,7	3,3605	5,6198
110	318,05	0,001489	0,0160	1450,6	2709,3	1258,7	3,4304	5,5595
120	324,65	0,001527	0,0143	1491,8	2689,2	1197,4	3,4972	5,5002
130	330,83	0,001567	0,0128	1532,0	2667,0	1135,0	3,5616	5,4408
140	336,64	0,001611	0,0115	1571,6	2642,4	1070,7	3,6242	5,3803
150	342,13	0,001658	0,0103	1611,0	2615,0	1004,0	3,6859	5,3178
160	347,34	0,001710	0,0093	1650,5	2584,9	934,3	3,7471	5,2531
180	356,96	0,001840	0,0075	1734,8	2513,9	779,1	3,8765	5,1128
200	365,70	0,002037	0,0059	1826,5	2418,4	591,9	4,0149	4,9412
210	369,78	0,002202	0,0050	1886,3	2347,6	461,3	4,1048	4,8223
220	373,69	0,002671	0,0037	2011,1	2195,6	184,5	4,2947	4,5799
221,2	374,15		0,00317		2107,4	0	4,429	

¹ Auszug aus den Wasserdampftafeln [18]. Bei Berechnung von h'' nach Gl 5.10 ($h'' = h' + r$) treten gegenüber den Tabellenwerten z.T. rundungsbedingte Abweichungen auf. Temperaturtafel s. T 6.1.

T 5.5 Wasserdampftafel, überhitzter Dampf¹T 5.5 Wasserdampftabelle, überhitzter Dampf (Fortsetzung)¹

p bar	t °C	v m^3/kg	h kJ/kg	kJ/kg K	t °C	v m^3/kg	h kJ/kg	kJ/kg K	t °C	v m^3/kg	h kJ/kg	kJ/kg K
0,2	100	8,585	2686,3	8,1261	350	14,374	3177,1	9,1303	10	200	0,2059	2826,8
	150	9,748	2782,3	8,3676	400	15,529	3279,4	9,2882		250	0,2327	2943,0
	200	10,907	2879,2	8,5839	450	16,684	3383,4	9,4372		300	0,2580	3025,1
	250	12,064	2977,1	8,7806	500	17,838	3489,3	9,5784		350	0,2824	3158,5
	300	13,219	3076,4	8,9618	600	20,146	3705,4	9,8416		400	0,3065	3264,4
0,4	100	4,279	2683,8	7,8009	350	7,185	3176,8	8,8100	15	200	0,1324	2794,7
	150	4,866	2780,9	8,0450	400	7,763	3279,1	8,9680		250	0,1520	2923,5
	200	5,448	2878,2	8,2625	450	8,340	3383,1	9,1170		300	0,1697	3038,9
	250	6,028	2976,5	8,4598	500	8,918	3488,8	9,2583		350	0,1865	3148,7
	300	6,607	3075,9	8,6413	600	10,07	3705,3	9,5216		400	0,2029	3256,6
0,6	100	2,844	2681,3	7,6085	350	4,788	3176,4	8,6224	20	250	0,1114	2902,4
	150	3,228	2779,4	7,8551	400	5,174	3278,8	8,7806		300	0,1255	3025,0
	200	3,628	2877,3	8,0738	450	5,559	3382,9	8,9296		350	0,1386	3138,6
	250	4,016	2975,4	8,2718	500	5,944	3488,6	9,0701		400	0,1511	3248,7
	300	4,402	3075,4	8,4536	600	6,714	3705,1	9,3343		450	0,1634	3357,8
1,0	100	1,696	2676,2	7,3618	350	2,871	3175,6	8,3858	30	250	0,0755	2854,8
	150	1,936	2776,3	7,6137	400	3,102	3278,2	8,5442		300	0,0816	2995,1
	200	2,172	2875,4	7,8349	450	3,334	3382,4	8,6939		350	0,0953	3117,5
	250	2,406	2974,5	8,0342	500	3,565	3488,1	8,8348		400	0,09931	3232,5
	300	2,639	3074,5	8,2166	600	4,028	3704,8	9,0982		450	0,10779	3344,6
1,2	100	1,611	2774,8	7,5267	400	2,585	3277,9	8,4597	40	300	0,05883	2962,0
	150	1,808	2874,4	7,7492	450	2,778	3382,1	8,6090		350	0,06645	3095,1
	200	2,004	2973,9	7,9491	500	2,971	3487,9	8,7505		400	0,07338	3215,7
	250	2,198	3074,0	8,1319	550	3,163	3595,4	8,8852		500	0,07996	3331,2
	300	2,391	3175,3	8,3012	600	3,356	3704,6	9,0140		350	0,08634	3445,0
1,5	100	1,285	2772,5	7,4194	400	2,067	3277,5	8,3562	60	300	0,03614	2885,0
	150	1,444	2872,9	7,6439	450	2,222	3381,7	8,5056		350	0,04222	3045,8
	200	1,601	2972,9	7,8447	500	2,376	3487,6	8,6472		400	0,04738	3180,1
	250	1,757	3073,3	8,0280	550	2,530	3595,1	8,7819		500	0,05210	3303,5
	300	1,912	3174,7	8,1976	600	2,684	3704,4	8,9108		350	0,05659	3422,2
2,0	100	0,9595	2768,5	7,2794	400	1,549	3276,7	8,2226	80	300	0,02426	2786,8
	150	1,080	2870,5	7,5072	450	1,665	3381,1	8,3722		350	0,02995	2989,9
	200	1,199	2971,2	7,7096	500	1,781	3487,0	8,5139		400	0,03431	3141,6
	250	1,316	3072,1	7,8937	550	1,897	3594,7	8,6487		500	0,03814	3274,3
	300	1,433	3173,8	8,0638	600	2,013	3704,0	8,7776		350	0,04170	3398,8
4,0	100	0,4707	2752,0	6,9285	400	0,7725	3273,6	7,8994	100	350	0,02242	2925,8
	150	0,5343	2860,4	7,1708	450	0,8369	3378,5	8,0497		400	0,02641	3099,9
	200	0,5952	2964,5	7,3800	500	0,8892	3484,9	8,1919		450	0,02974	3243,6
	250	0,6549	3067,2	7,5675	550	0,9474	3592,8	8,3271		500	0,03276	3374,6
	300	0,7139	3170,0	7,7395	600	1,0054	3702,3	8,4563		550	0,03560	3499,8
6,0	100	0,3520	2849,7	6,9662	450	0,5528	3376,0	7,8600	150	350	0,01146	2694,8
	150	0,3939	2957,6	7,1829	500	0,5918	3482,7	8,0027		400	0,01566	2979,1
	200	0,4344	3062,3	7,3740	550	0,6308	3590,9	8,1383		450	0,01845	3159,7
	250	0,4742	3166,2	7,5479	600	0,6696	3700,7	8,2678		500	0,02080	3310,4
	300	0,5136	3270,6	7,7090	650	0,7084	3812,1	8,3919		550	0,02291	3448,3
8,0	100	0,2608	2838,6	6,8148	450	0,4337	3373,4	7,7246	200	400	0,00995	2820,5
	150	0,2932	2950,4	7,0397	500	0,4432	3480,5	7,8678		450	0,01271	3064,3
	200	0,3241	3057,3	7,2348	550	0,4725	3589,0	8,0038		500	0,01477	3241,1
	250	0,3543	3162,4	7,4107	600	0,5017	3699,1	8,1336		550	0,01655	3394,1
	300	0,3842	3267,5	7,5729	650	0,5309	3810,7	8,2579		600	0,01816	3535,5

¹ Auszug aus den Wasserdampftafeln [18].

Zustandsänderung	Isobar = p = const	isochor = V = const	Isotherm T = const	Isentrop $s = \text{const}$	Isenthalp $h = \text{const}$
	<ul style="list-style-type: none"> -Kondensator -Verdampfer -Überhitzer 	<ul style="list-style-type: none"> -Dampfkessel viel Wasser wenig Dampf Wenig Wasser viel Dampf 	gut funktionierende Dampfturbinen	<ul style="list-style-type: none"> -Dampfturbine expandiert -Kompressor komprimiert -plötzliche Vol.-Änderung 	<ul style="list-style-type: none"> -Drosselung -Strömungsverluste
V-Diagramm					
T, S-Diagramm					
h, s-Diagramm					
Volumenänderungsarbeit	$w_{12} = p \cdot (v' - v) \cdot (x_2 - x_1)$ $w_{12} = p \cdot (v_2 - v_1)$ $x = \text{Dampfanteil}$	$w_{12} = 0$ $u_1 = h_1 - p_1 \cdot v$ $u_2 = h_2 - p_2 \cdot v$	$w_{12} = p \cdot (v'' - v') \cdot (x_2 - x_1)$ $w_{12} = p \cdot (v_2 - v_1)$	$w_{12} = u_1 - u_2$ $w_t = h_1 - h_2$	$w_{12} = 0$
Wärme	$q_{12} = T \cdot (s_2 - s_1)$ $q_{12} = r \cdot (x_2 - x_1)$ $q_{12} = h_2 - h_1$	$q_{12} = u_2 - u_1$ $q_{12} = m \cdot (h_2 - h_1)$ $q_{12} = m \cdot (h_2 - h_1)$ innerer Energie	$q_{12} = T \cdot (s_2 - s_1)$ $q_{12} = r \cdot (x_2 - x_1)$ $q_{12} = h_2 - h_1$ Enthalpie	$q_{12} = 0$ $\lambda = 1,135 \text{ Nebelmfp}$ $\lambda = 1,3 \text{ üblich. Dampf}$	$q_{12} = 0$
Technische Arbeit	$w_{112} = 0$	$w_{112} = v \cdot (p_2 - p_1)$	$w_{112} = 0$	$w_{112} = h_1 - h_2$	$w_{112} = 0$
Dampfgehalt = x	$h = h_1 + x \cdot r = h_1 + x(h'' - h')$ $r = \text{Vedampfungswärme}$	$x_2 = \frac{v_1 - v_2}{v_2 - v_1} \quad ; \quad v_1 = \frac{V}{m}$ $v_1 = \text{spez. Volumen Dampfkessel}$		$x = \frac{s_1 - s_2}{s_2 - s_1}$ $x_2 = \frac{s_1 - s_2}{s_2 - s_1} + x \cdot (s_2 - s_1)$ (Abdampfgehalt)	$x = \frac{h_1 - h'}{h'' - h'}$
Wärmeleistung	$P_{12} = (u_2 + x_2 \cdot h_2) - (u_1 + x_1 \cdot h_1)$			$P = \dot{m}_D \cdot (h_1 - h_2)$	

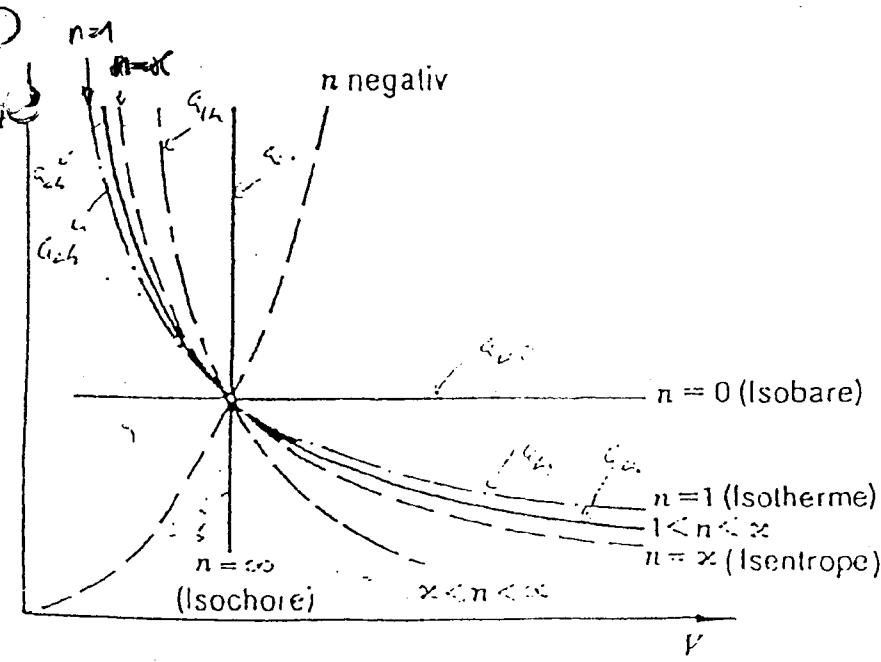
Drosselung (Druck wird verringert, Tbl. 1.11 con.)

Drosselung des Idealgases $T = \text{const.}$	$H_1 = H_2 = \text{const}$	Enthalpie H bleibt gleich
Entropieänderung $T = \text{const.}$	$S_2 - S_1 = m \cdot R \cdot \ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right) = -mR\ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right)$	es geht keine Wärmeenergie zu einem
Drosselung des Realgases $T_1 = T_2$	$H_1 = H_2 = \text{const}$	
Entleeren des Behälters	$U_1 - U_2 = p_b \cdot (V_2 - V_1)$ $u_1 - u_2 = p_b \cdot (v_2 - v_1)$ $u_1 - u_2 = c_{\text{vm}} \cdot (T_1 - T_2)$ $v = \frac{R \cdot T}{p}$	

Der Dampf

Dampfgehalt	$x = \frac{m_0}{m_0 + m_w} = \frac{m_0}{m_{\text{ges}}}$ m ₀ und m _w siehe Massenbilanz nächste Seite	$x = \frac{m_0}{m_0 + m_w}$ m_0 m_w	Dampfgehalt des Naßdampfs Masse an Dampf Masse an Wasser
Verdampfungswärme	$r = h'' - h'$ $r = (u'' - u') + p \cdot (v'' - v')$	r h' h'' u' u'' v' v'' p	Verdampfungswärme T 5.4 Enthalpie siedende Fl. T 5.4 Enthalpie Sattdampf T 5.4 innere Energie sied. Flüssigkeit innere Energie Sattdampf spez. Vol. sied. Flüssigkeit T 5.4 spez. Vol. Sattdampf T 5.4 Druck
spez. Volumen Naßdampf	$v_x = v' + x \cdot (v'' - v')$ $x = \frac{v - v'}{v'' - v'}$	v_x v' v'' x	spez. Vol. Naßdampf spez. Vol. sied. Flüssigkeit T 5.4 spez. Vol. Sattdampf T 5.4 Dampfgehalt des Naßdampfs
spez. Enthalpie des Naßdampfs	$h_x = h' + x \cdot (h'' - h')$ $h_x = u + p \cdot v$ $h_x = h' + x \cdot r$ $T_b \text{ : 5.4 } \quad S. 456$	h_x h' h'' x p v u r	spez. Enthalpie Naßdampf spez. Enthalpie sied. Fl. T 5.4 spez. Enthalpie Sattdampf T 5.4 Dampfgehalt des Naßdampfs Druck spez. Volumen spez. innere Energie Verdampfungswärme
spez. Entropie des Naßdampfs	$s_x = s' + x \cdot (s'' - s')$ $x = \frac{s_x - s'}{s'' - s'}$	s_x s' s'' x	spez. Entropie Naßdampf spez. Entropie sied. Fl. T 5.4 spez. Entropie Sattdampf T 5.4 Dampfgehalt des Naßdampfs
spez. Innere Energie des Naßdampfs	$u_x = u' + x \cdot (u'' - u')$ $u_x = h' + x \cdot \frac{(h'' - h')}{h} - p \cdot \underbrace{[v' + x \cdot (v'' - v')]}_v$ $u_x = h - p \cdot v$ $U = h \cdot m - p \cdot V$ In: Energie	u_x u' u'' x p	spez. in. Energie Naßdampf spez. in. Energie sied. Fl. T 5.4 spez. in. Energie Sattdampf T 5.4 Dampfgehalt des Naßdampfs Druck
Wärmeleistung	$\dot{Q} = \dot{m} \cdot q$	\dot{Q} \dot{m} q	Wärmeleistung Massenstrom spez. Wärme auf Masse bez.
Volumenstrom	$\dot{V} = \dot{m} \cdot v$ $\dot{V} = A \cdot \bar{c}$	\dot{V} \dot{m} v A \bar{c}	Volumenstrom Massenstrom spez. Volumen Fläche Rohrdurchmesser mittlere Geschw.
spez. Volumen	$v = \frac{V}{m} \quad \Rightarrow \quad V = m \cdot v$	v V m	spez. Volumen Volumen Masse

Enthalpie Wasser	$h_w = c_w \cdot t_w$	$c_w = 4,2$	h_w Enthalpie Wasser c_w spez. Wärmekap. Wasser t_w Temperatur Wasser	kJ/kg
Massenbilanz	$m_{ges} = m_D + m_w$		m_{ges} Gesamtmasse m_D Masse Dampf m_w Masse Wasser	kg kg kg
Masse des Dampfanteils	$m_D = \frac{V_D}{V''} ; m_D = x \cdot m_{ges}$		m_D Masse des Dampfanteils V_D Volumen des Dampfanteils V'' spez. Völ. Satt dampf T 5,4	kg m³ m³/kg
Masse des Siedewasseranteils	$m_w = \frac{V_w}{V'}$		m_w Masse des Siedewasseranteils V_w Volumen des Siedewasseranteils V' spez. Völ. Siedewasser T 5,4	kg m³ m³/kg
Enthalpiebilanz	$h'' \cdot (m_D + m_w) = m_D \cdot h_D + m_w \cdot h_w$		m_{ges} Gesamtmasse m_D Masse Dampf m_w Masse Wasser h'' Enthalpie Endzustand Satt dampf h_D Enthalpie Dampf h_w Enthalpie Wasser	kg kg kg kJ/kg kJ/kg kJ/kg
$p = \text{const}$	$m_D = \frac{m_w \cdot (h_w - h'')}{(h'' - h_D)}$		$Q_{Üb}$ Wärmeleistung Überhitzer m_D Massenstrom Satt dampf h_x Enthalpie Endzustand bei Temp. x h'' Enthalpie Satt dampf	kW kg/s kJ/kg kJ/kg
Überhitzer bekommt vom Kessel Satt dampf und muß dann daraus überhitzter Dampf machen	$\dot{Q}_{Üb} = \dot{m}_D \cdot (h_x - h'')$			
Kessel bekommt Siedewasser von der Speisepumpe, daraus wird Satt dampf für den Überhitzer gemacht	$\dot{Q}_{Ke} = \dot{m}_D \cdot (h'' - h')$ $= \dot{m}_D \cdot w_{tr}$		Q_{Ke} Wärmeleistung Kessel m_D Massenstrom Siedewasser h' Enthalpie Siedewasser h'' Enthalpie Satt dampf	kW kg/s kJ/kg kJ/kg
Dampfstrom	\dot{m}_D [kg/s]			
vollständige Kondensation	d.h. nur noch Siedewasser vorhanden			
Frisch dampfdaten sind	Druck und Temperatur			
Dampfzustand ist	Druck und Temperatur			
Kondensatmenge	\dot{m}_w [kg/h]			



Polytropen im p, V-Diagramm

Isochore pV^∞ $n=\infty$
 Isobare pV^0 $n=0$
 Isotherme pV^1 $n=1$
 Isentrope pV^κ $n=\kappa$

TH 1 - 6 -

Themengebiet	Formeln	Bemerkungen
spezifische Wärmekapazität	$c_{vm} = c_{pm} - R$ $\kappa = \frac{c_{pm}}{c_{vm}}$ $c_{pm} _{t_1}^{t_2} = \frac{c_{pm} _0^{t_2} t_2 - c_{pm} _0^{t_1} t_1}{(t_2 - t_1)}$	c_{vm} = isochore spez. Wärmekapazität c_{pm} = isobare spez. Wärmekapazität κ = Isentropenexponent
Mischungstemperatur	$T_m = \frac{m_a c_{va} T_a + m_b c_{vb} T_b + m_c c_{vc} T_c}{m_a c_{va} + m_b c_{vb} + m_c c_{vc}}$	a, b, c = Gase
ideales Gas	$pV = mRT$ $\rho = \frac{m}{V}$ $v = \frac{V}{m}$	$R_D = 461,5 \frac{J}{kg}$ $R_L = 287,2 \frac{J}{kg}$
Leistung	$P = \dot{m} \cdot w_t$ $P = \dot{m} \cdot \Delta h$	
Volumenänderungsarbeit	$W_{e12} = \int_1^2 p(V) dV$ $w_{e12} = \int_1^2 p(v) dv$	beim Kreisprozess zw. 2 Isochoren Fläche über der x-Achse im p,v-Diagr.
technische Arbeit	$W_{t12} = \int_1^2 V(p) dp$ $w_{t12} = \int_1^2 v(p) dp$ $W_{t12} = H_1 - H_2 + Q_{12}$ $w_{t12} = h_1 - h_2 + q_{12}$	beim Kreisprozess zw. 2 Isobaren Fläche über der y-Achse im p,v-Diagr.
Wärmeenergie	$Q_{t12} = \int_{t_1}^{t_2} C(t) dt$ $q_{t12} = \int_{t_1}^{t_2} c(t) dt = c_m _{t_1}^{t_2} (t_2 - t_1)$	
thermischer Wirkungsgrad	$\eta_{th} = \frac{ w_k }{q_{zu}} = \frac{\sum w_t}{q_{zu}} = \frac{\sum w_e}{q_{zu}} = \frac{\sum q}{q_{zu}}$ $\eta_{th} \stackrel{i.a.}{<} 1 - \frac{T_{\min}}{T_{\max}}$	Nicht verwechseln mit Carnot-Prozess!
Carnot-Prozess	$\eta_{car} = \eta_{th} = 1 - \frac{T_{\min}}{T_{\max}} = \frac{ w_{car} }{q_{zu}}$ $w_{car} = \sum q_{isotherm} = q_{zu} \left(1 - \frac{T_{\min}}{T_{\max}} \right)$	= Kreisprozess zwischen 2 Isothermen und 2 Isentropen η_{car} = Carnot-Faktor = maximal möglicher thermischer Wirkungsgrad
Massen(-strom)-bilanz	$H = H_1 + H_2 \Rightarrow \dot{m}h = \dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2$ mit $\dot{m} = \dot{m}_1 + \dot{m}_2$	= Glgs.-System mit 2 Glgn.!
innere Energie	$u_1 - u_2 = p_2(v_2 - v_1)$ mit $u_1 - u_2 = c_{vm}(T_1 - T_2)$	
spezifische Nassdampf-Enthalpie	$h_i = h'_i + x_i(h''_i - h'_i) \Rightarrow x_i = \frac{h_i - h'_i}{h''_i - h'_i}$	
spezifische Nassdampf-Entropie	$s_i = s'_i + x_i(s''_i - s'_i) \Rightarrow x_i = \frac{s_i - s'_i}{s''_i - s'_i}$	
spezifisches Nassdampf-Volumen	$v_i = v'_i + x_i(v''_i - v'_i) \Rightarrow x_i = \frac{v_i - v'_i}{v''_i - v'_i}$	
spezifische innere Nassdampf-Energie	$u_i = u'_i + x_i(u''_i - u'_i) \Rightarrow x_i = \frac{u_i - u'_i}{u''_i - u'_i}$	
spezifische Verdampfungswärme	$r = \int_1^2 T(s) ds = T_s(s'' - s')$	T_s = Siedetemperatur
spezifische (Überhitzungs-) Energie und Entropie	$q_{(ub)} = \int_1^2 T(s) ds$ $\Delta s = \int_1^2 \frac{dq}{T} \Rightarrow s_{(ub)}(T) = c_p \cdot \ln \frac{T}{T_s} + s''$	T_s = Siedetemperatur gilt auch für andere ideale Gase!
spezifische Wärmezufuhr	$q_{12} = u_2 - u_1 \Rightarrow q_{12} = (h_2 - p_2 v_2) - (h_1 - p_1 v_1)$	$[h] = \frac{J}{kg}$ $[p] = Pa$ z.B. Druckerhöhung bei überh. Dampf