

**Beispiel.** Bei einer zum Vermahlen des Getreides benützten Windmühle betragen die 4 Flügelflächen zusammen 824 Quadratfuß; wie groß ist ihre Wirkung, wenn die Geschwindigkeit des Windes gegen die Flügel 20 Fuß beträgt?

Setzt man in der obigen Formel 1)  $F = 824$  und  $V = 20$ , so erhält man  $E = 3955$  Fußpfund oder nahe 9 Pferdekräfte.

## Sechstes Kapitel.

### *Von der bewegenden Kraft des Wasserdampfes.*

#### Wesentliche Eigenschaften des Wasserdampfes.

§. 470. Bekanntlich nimmt der unter dem gewöhnlichen Drucke der Atmosphäre gebildete Wasserdampf nahe einen 1700 Mal so großen Raum als das Wasser ein, aus welchem er entwickelt wurde; nennt man daher überhaupt das Dampfvolumen, in so fern er mit dem Volumen des Wassers, woraus ersteres erzeugt wurde, verglichen wird, sein relatives Volumen (um es von dem absoluten Volumen, welches der Dampf überhaupt einnimmt, zu unterscheiden), so ist in diesem Falle das relative Volumen des Dampfes 1700 Mal so groß als das Wasservolumen, woraus er sich gebildet hat.

§. 471. Betrachtet man den Dampf im Kessel oder Gefäße in dem Augenblicke als er sich gebildet hat und noch mit dem übrigen Wasser in Berührung steht, so findet man, daß einer und derselben Temperatur immer auch dieselbe Expansiv- oder Spannkraft des Dampfes, und umgekehrt zukömmt, so zwar, daß es nicht möglich ist die Temperatur des Dampfes zu erhöhen, ohne auch zugleich dessen Spannkraft zu steigern; in diesem Zustande befindet sich der Dampf im Maximum seiner Dichte, und es besteht dann zwischen der Temperatur und Spannkraft des Dampfes (von welchem man sagt, daß er gesättigt sey) eine bestimmte Abhängigkeit oder Relation.

§. 472. Wird dagegen der Dampf von dem Wasser, woraus er sich entwickelte, getrennt (oder wird alles im Kessel befindliche Wasser in Dampf verwandelt) und hierauf seine Temperatur noch weiter erhöht, so befindet er sich nicht mehr (da er keine Gelegenheit zur weitem Aufnahme von Wasser hat) im Maximum der Dichte, und es findet dabei

die vorhin für den gesättigten Dampf erwähnte constante Abhängigkeit zwischen der Temperatur und Spannkraft keinesweges mehr Statt.

Bei den folgenden Untersuchungen wird, wenn nicht ausdrücklich das Gegentheil erinnert wird, immer der mit Wasser in Berührung stehende, d. i. gesättigter Dampf vorausgesetzt oder verstanden.

§. 473. Die Abhängigkeit zwischen der Temperatur und Spannkraft des Dampfes wird bis zu einem Drucke von 4 Atmosphären sehr gut durch die folgende von *Tredgold* blofs empirisch aufgestellte Formel dargestellt, in welcher  $h$  die Höhe der Quecksilbersäule (diese bei Null Grad verstanden) in Wiener Fufs bezeichnet, welche die Dampfspannung bei der Temperatur von  $t^{\circ} C.$  misst; es ist nämlich:

$$h = \cdot 03163 \left( \frac{t + 75}{85} \right)^6 \dots (1.)$$

Für die höhern Dampfspannungen, und zwar von 4 bis 50 Atmosphären, entspricht die Formel:

$$h = 2\cdot 404 [2847 + \cdot 007153 t]^5 \dots (2.)$$

dabei gehen die directen Versuche von *Arago* und *Dulong* bis zu einem Drucke von 24 Atmosphären.

Will man den Dampfdruck auf eine gegebene Fläche  $F$  bestimmen, so darf man diese, in Quadratfufs ausgedrückt, nur mit der aus den vorigen Formeln berechneten Höhe  $h$ , und dann noch mit dem Gewichte von 1 Kubikfufs Quecksilber, nämlich (§. 439) mit 766·87 multipliciren, um den Druck in Pfunden zu erhalten; es ist nämlich dieser Druck:

$$P = 766\cdot 87 h F \dots (3.)$$

Beispiel 1. Es soll der Dampfdruck auf einen Theil der Kesselwand von 10 Quadratzoll bestimmt werden, wenn die Temperatur des Dampfes  $97\cdot 1^{\circ} R.$  beträgt.

Hier ist  $t = 97\cdot 1 \times \frac{5}{4} = 121\cdot 4$  und  $F = \frac{10}{144}$ , ferner aus Formel

$$1) h = 4\cdot 813, \text{ daher der gesuchte Druck } P = \frac{10}{144} \times 4\cdot 813 \times 766\cdot 87 = 256\cdot 32 \text{ Pfund.}$$

Der Druck auf 1 Quadratzoll beträgt demnach 25·632 Pfund, oder dieser ist, jenen von 1 Atmosphäre zu  $12\frac{1}{2}$  Pfund (bei 2·404 Fufs =  $\cdot 76^m$ , was die französischen Schriftsteller als mittlere Barometerhöhe annehmen, ist dieser Druck = 12·8 Pfund) auf den Quadratzoll angenommen, sehr nahe dem Drucke von 2 Atmosphären gleich.

Beispiel 2. Wie stark ist der Druck des Dampfes in Atmosphären ausgedrückt, bei einer Temperatur von  $215^{\circ} C.$ ?

Der Druck auf einen Quadratzoll ist, da für  $t = 215$  aus der Formel 2)

$$h = 48\cdot349 \text{ folgt, wegen } F = \frac{1}{144} \text{ aus Formel 3) } P = \frac{766\cdot87}{144} \times 48\cdot349 =$$

257\cdot46 Pfund; rechnet man nun den Druck einer Atmosphäre zu  $12\frac{1}{2}$  Pf.

auf den Quadratzoll, so erhält man für den gesuchten Druck  $\frac{257\cdot46}{12\cdot75} = 20\frac{1}{2}$

Atmosphären; nimmt man dagegen die Höhe der Quecksilbersäule für 1 Atmosphäre mit 2\cdot4 Fufs in Rechnung, so ist der Druck einer Atmosphäre = 12\cdot78 Pfund und der gesuchte Druck = 20\cdot15 Atmosphären.

§. 474. Nach den Formeln 1, 2 und 3 des vorhergehenden Paragraphes können die nachstehenden Tabellen, welche hier einfach durch Übertragung und Reduction aus dem französischen Mafs- und Gewichtssystem gefunden wurden, berechnet werden.

Dampfspannung von  $-20^{\circ}$  bis  $100^{\circ}$  in Zollen der Quecksilbersäule und entsprechender Druck auf 1 Quadratzoll. (Wiener Mafs und Gewicht.)

Grade nach der 100theiligen Scala.	Dampfspannung in Wiener Zollen der Quecksilbersäule.	Dampfdruck auf 1 Wiener Quadratzoll.	Grade nach der 100theiligen Scala.	Dampfspannung in Wiener Zollen der Quecksilbersäule.	Dampfdruck auf 1 Wiener Quadratzoll.
$-20^{\circ}$	Zoll. 0\cdot051	Pfund. 0\cdot022	$14^{\circ}$	Zoll. 0\cdot459	Pfund. 0\cdot204
$-15$	0\cdot071	0\cdot032	15	0\cdot487	0\cdot211
$-10$	0\cdot100	0\cdot045	16	0\cdot517	0\cdot230
$-5$	0\cdot139	0\cdot062	17	0\cdot549	0\cdot244
0	0\cdot192	0\cdot085	18	0\cdot583	0\cdot259
1	0\cdot205	0\cdot092	19	0\cdot618	0\cdot275
2	0\cdot218	0\cdot097	20	0\cdot657	0\cdot291
3	0\cdot232	0\cdot104	21	0\cdot695	0\cdot310
4	0\cdot248	0\cdot110	22	0\cdot738	0\cdot328
5	0\cdot264	0\cdot116	23	0\cdot781	0\cdot348
6	0\cdot281	0\cdot125	24	0\cdot828	0\cdot368
7	0\cdot299	0\cdot133	25	0\cdot876	0\cdot389
8	0\cdot318	0\cdot141	26	0\cdot928	0\cdot414
9	0\cdot338	0\cdot151	27	0\cdot982	0\cdot437
10	0\cdot360	0\cdot160	28	1\cdot040	0\cdot463
11	0\cdot382	0\cdot170	29	1\cdot103	0\cdot491
12	0\cdot406	0\cdot181	30	1\cdot163	0\cdot518
13	0\cdot432	0\cdot192	31	1\cdot230	0\cdot545

Grade nach der 100thei- ligen Scala.	Dampfspan- nung in Wie- ner Zollen der Quecksilber- säule.	Dampfdruck auf 1 Wiener Quadratzoll.	Grade nach der 100thei- ligen Scala.	Dampfspan- nung in Wie- ner Zollen der Quecksilber- säule.	Dampfdruck auf 1 Wiener Quadratzoll.
	Zoll.	Pfund.		Zoll.	Pfund.
32°	1'301	0'576	67°	7'599	3'370
33	1'374	0'610	68	7'951	3'526
34	1'452	0'644	69	8'316	3'688
35	1'534	0'680	70	8'696	3'856
36	1'623	0'720	71	9'090	4'031
37	1'710	0'758	72	9'499	4'212
38	1'806	0'800	73	9'924	4'401
39	1'904	0'844	74	10'365	4'596
40	2'012	0'892	75	10'822	4'911
41	2'117	0'939	76	11'296	5'009
42	2'232	0'990	77	11'787	5'227
43	2'352	1'043	78	12'295	5'452
44	2'491	1'105	79	12'822	5'686
45	2'610	1'157	80	13'366	5'927
46	2'748	1'219	81	13'932	6'178
47	2'893	1'283	82	14'516	6'437
48	3'044	1'351	83	15'119	6'705
49	3'203	1'445	84	15'744	6'982
50	3'369	1'494	85	16'389	7'264
51	3'542	1'571	86	17'055	7'563
52	3'723	1'651	87	17'743	7'868
53	3'912	1'735	88	18'453	8'183
54	4'110	1'823	89	19'185	8'508
55	4'317	1'914	90	19'941	8'843
56	4'532	2'010	91	20'720	9'188
57	4'757	2'111	92	21'523	9'544
58	4'992	2'214	93	22'350	9'911
59	5'236	2'322	94	23'202	10'289
60	5'492	2'435	95	24'078	10'678
61	5'759	2'554	96	24'981	11'078
62	6'034	2'675	97	25'912	11'491
63	6'323	2'805	98	26'863	11'912
64	6'623	2'944	99	27'844	12'323
65	6'936	3'076	100	28'851	12'794
66	7'261	3'220			

Tafel für die Elasticität des Wasserdampfes in Wiener Fufs der Quecksilbersäule.

Elasticität des Dampfes in Atmosphären.		Höhe der Quecksilbersäule.	Entsprechende Temperatur in Centigraden.	Elasticität des Dampfes in Atmosphären.		Höhe der Quecksilbersäule.	Entsprechende Temperatur in Centigraden.
Atmosphären.	Fufs.			Atmosphären.	Fufs.		
1	2·40	100°		8	19·23	172·1°	
1½	3·61	112·2		9	21·64	177·1	
2	4·81	121·4		10	24·04	181·6	
2½	6·01	128·8		11	26·45	186·0	
3	7·21	135·1		12	28·85	190·0	
3½	8·41	140·6		13	31·25	193·7	
4	9·62	145·4		14	33·66	197·2	
4½	10·82	149·1		15	36·06	200·5	
5	12·02	153·1		16	38·47	203·6	
5½	13·22	153·8		17	40·87	206·6	
6	14·43	160·2		18	43·28	209·4	
6½	15·63	163·5		19	45·68	212·1	
7	16·83	166·5		20	48·08	214·7	
7½	18·03	169·4					

**§. 475. Unterschied zwischen Gasen und Dämpfen.** Ein wesentlicher Unterschied zwischen den Gasen und gesättigten Dämpfen besteht darin, dafs diese letztern weder dem *Mariotte'schen* (§. 437) noch *Gay-Lussac'schen* (§. 438) Gesetze folgen oder unterworfen sind; denn nach dem erstern müfste, wenn ein gewisses Dampfvolumen z. B. bis auf die Hälfte zusammengedrückt, und die Temperatur dabei nicht geändert würde, die Expansivkraft desselben auf das Doppelte steigen, während es doch bei dem gesättigten, d. i. mit Wasser in Berührung stehenden Dampf unmöglich ist, dessen Spannkraft zu steigern, ohne zugleich auch dessen Temperatur zu erhöhen; es bleibt im Gegentheile durch das Zusammendrücken des Dampfes dessen Expansivkraft ungeändert, während ein Theil desselben in tropfbares Wasser verwandelt, d. h. condensirt wird.

Nach dem zweiten der erwähnten Gesetze müfste, wenn man die Temperatur des Dampfes zunehmen, dessen Spannung dagegen ungeändert läfst, das Volumen desselben genau im Verhältnifs der Temperatur zunehmen, während es doch wieder unmöglich ist, die Spannung unverändert zu erhalten, wenn man die Temperatur des Dampfes zu oder

abnehmen läßt; im Gegentheil nimmt die Spannkraft des Dampfes nach dem oben angegebenen Gesetze (Formel 1 und 2, §. 473) mit der Temperatur in einem bestimmten Verhältnisse zu oder ab.

In Folge dieses oben erwähnten *Gay-Lussac'schen* Gesetzes dehnt sich das Volumen = 1 irgend eines Gases für jeden Grad der 100theiligen Scale um  $\cdot 00375$ , oder wenn man den neuern Versuchen mehr Glauben schenken will, um  $\cdot 00364$  bis  $\cdot 00367$  aus, folglich erhält man für den gesättigten Dampf, wenn man das Volumen  $v$  eines bestimmten Dampfgewichtes bestimmen will, welches von dem Drucke  $p'$  und der Temperatur  $t'$ , wobei dieses Gewicht das Volumen  $v'$  haben soll, auf den Druck  $p$  und die Temperatur  $t$  übergeht, auf folgende Weise:

Ginge der Dampf vom Drucke  $p'$  zu jenem  $p$  ohne Temperaturveränderung (die also =  $t'$  ist) über, so wäre nach dem *Mariotte'schen* Gesetze, wenn der Dampf dabei das Volumen  $V$  annimmt:  $V = v' \frac{p'}{p}$ ; geht aber jetzt die Temperatur  $t'$  in jene  $t$  über, so ist nach dem *Gay-Lussac'schen* Gesetze bei derselben Spannung  $p$ :

$$v = V \frac{1 + \cdot 00364 t'}{1 + \cdot 00364 t'}$$

d. i.:

$$v = v' \frac{p'}{p} \left( \frac{1 + \cdot 00364 t'}{1 + \cdot 00364 t'} \right) \dots (4.)$$

Kennt man also das Gesetz, nach welchem sich gleichzeitig die Temperatur  $t'$  und Spannung  $p'$  des Dampfes ändert, so kann man aus dieser Formel 4) die Änderung des relativen Volumens des Dampfes bestimmen. Da es nun bekannt ist, dafs unter dem mittlern Drucke der Atmosphäre, d. i. von  $p' = 12\cdot 8$  Pfund per Quadratzoll, und der Temperatur von  $t' = 100^{\circ} C.$  das relative Volumen  $v' = 1700$  ist, so hat man, wenn diese Werthe in der vorigen Gleichung 1) substituiert werden:

$$v = 15953 \left( \frac{1 + \cdot 00364 t'}{p} \right) \dots (5)$$

wobei  $p$  den Druck des Dampfes in Pfunden auf den Quadratzoll bezeichnet. (Für den Werth von  $p' = 12\cdot 794$  wird der vorige Factor nur  $15945\cdot 6$ .)

So wäre z. B. für  $t = 130$  nach den Formeln 2) und 3), §. 473, der Druck des Dampfes auf 1 Quadratzoll (wegen  $h = 6\cdot 3546$ )  $p = 33\cdot 84$  Pfund und damit aus der vorigen Formel 5) das relative Volumen desselben  $v = 694\cdot 49$ , d. h. der Dampf nimmt bei dieser Temperatur einen  $693\frac{1}{2}$  Mal so großen Raum (genauer  $693\cdot 627$ ) als das Wasser ein, woraus er entstanden ist, und welcher daher auch mit diesem Wasser dasselbe Gewicht besitzt. Nach der von *Pambour* berechneten Tabelle wird auf das Wiener Mafs und Ge-

wicht übertragen  $p = 33.5$  und  $r = 702$ ; eine so geringe Abweichung ist jedoch bei dieser Art von Berechnungen, wo einzelne Coefficienten mit mehr oder weniger Decimalstellen in Rechnung gebracht werden und das Übertragen der Mafs- und Gewichtssysteme nur näherungsweise Statt finden kann, erstlich sehr natürlich und dann auch ohne Bedeutung.

Anmerkung. Der vom Wasser getrennte und noch weiter erhitzte Dampf verhält sich dabei wie die Gase; dasselbe gilt auch, wenn dieser überhitzte Dampf wieder abgekühlt wird, jedoch nur bis zu dem Augenblicke, wo er wieder in tropfbares Wasser verwandelt, d. i. condensirt wird, von welchem Momente an er sich wieder im gesättigten Zustande oder im Maximum seiner Dichte befindet und dem vorigen Gesetze folgt.

§. 476. In der nachstehenden, gegenwärtig von den französischen Physikern angenommenen und auf das Wiener Mafs und Gewicht reducirten Tabelle, bezeichnet  $t$  die Temperatur in Centigraden,  $p$  den Dampfdruck auf den Quadratzoll in Pfunden und  $v$  das relative Volumen des Dampfes.

$t$	$p$	$v$	$t$	$p$	$r$	$t$	$p$	$v$
0°	0.085	182323	23°	0.348	49487	46°	1.219	15185
1	0.092	174495	24	0.368	46877	47	1.283	14472
2	0.097	164332	25	0.389	44411	48	1.351	13809
3	0.104	154842	26	0.414	42084	49	1.445	13154
4	0.110	145886	27	0.437	39895	50	1.494	12546
5	0.116	137488	28	0.463	37838	51	1.571	11971
6	0.125	129587	29	0.491	35796	52	1.651	11424
7	0.133	122241	30	0.518	34041	53	1.735	10901
8	0.141	115305	31	0.545	32291	54	1.823	10410
9	0.151	108790	32	0.576	30650	55	1.914	9946
10	0.160	102670	33	0.610	29112	56	2.010	9501
11	0.170	99202	34	0.644	27636	57	2.111	9082
12	0.181	91564	35	0.680	26253	58	2.214	8680
13	0.192	86426	36	0.720	24897	59	2.322	8303
14	0.204	81686	37	0.758	23704	60	2.435	7937
15	0.211	77008	38	0.800	22513	61	2.554	7594
16	0.230	72913	39	0.844	21429	62	2.675	7267
17	0.244	68923	40	0.892	20343	63	2.805	6957
18	0.259	65201	41	0.939	19396	64	2.944	6662
19	0.275	61654	42	0.990	18459	65	3.076	6382
20	0.291	58224	43	1.043	17572	66	3.220	6114
21	0.310	55206	44	1.105	16805	67	3.370	5860
22	0.328	52260	45	1.157	15938	68	3.526	5619

$t$	$p$	$v$	$t$	$p$	$v$	$t$	$p$	$v$
69°	3·688	5386	80°	5·927	3462	91°	9·188	2304
70	3·856	5167	81	6·178	3331	92	9·544	2224
71	4·031	4957	82	6·437	3206	93	9·911	2148
72	4·212	4759	83	6·705	3087	94	10·289	2075
73	4·401	4569	84	6·982	2973	95	10·678	2005
74	4·596	4387	85	7·264	2864	96	11·078	1938
75	4·911	4204	86	7·563	2760	97	11·491	1873
76	5·009	4048	87	7·868	2660	98	11·912	1812
77	5·227	3891	88	8·183	2565	99	12·323	1751
78	5·452	3741	89	8·508	2474	100	12·794	1695
79	5·686	3599	90	8·843	2387			

Ferner ist auf dieselbe Weise die weitere Relation zwischen der Temperatur, in Centigraden, und dem relativen Volumen des Wasserdampfes:

$t$	$v$	$t$	$v$	$t$	$v$	$t$	$v$	$t$	$v$
106·6	1381	137·7	576	155·0	392	167·9	277	178·7	223
112·4	1169	140·4	538	156·7	356	169·4	269	179·9	217
117·1	1014	142·7	505	158·3	342	170·8	261	181·0	212
121·6	896	145·0	476	160·0	328	172·1	254	182·0	208
125·5	806	146·8	449	161·5	317	173·5	247	215·0	64
128·9	732	149·2	428	163·3	306	174·8	240		
132·2	671	151·2	407	164·8	296	176·1	234		
135·0	619	153·3	389	166·4	286	177·4	228		

In der nachstehenden von *Pambour* berechneten Tabelle bezeichnet  $p'$  den Druck des Dampfes in Kilogrammen auf den Quadratcentimeter,  $t$  die Temperatur des Dampfes in Centigraden und  $v$  das relative Volumen des Dampfes (gegen das Wasser, woraus er gebildet wurde).

$p'$	$t$	$v$	$p'$	$t$	$v$	$p'$	$t$	$v$
0·1	45·9	15019	0·7	89·2	2435	1·3	106·7	1375
0·2	59·6	7831	0·8	92·8	2152	1·4	109·0	1284
0·3	68·4	5358	0·9	94·4	1921	1·5	111·1	1205
0·4	75·1	4097	1·0	99·0	1751	1·6	113·0	1135
0·5	80·5	3329	1·1	101·8	1604	1·7	114·9	1074
0·6	5·2	2810	1·2	104·4	1480	1·8	116·7	1019



$p'$	$t$	$v$	$p'$	$t$	$v$	$p'$	$t$	$v$
1·9	118·4	969	4·1	144·6	479	6·3	160·9	324
2·0	120·1	925	4·2	145·3	468	6·4	161·5	319
2·1	121·7	884	4·3	146·1	459	6·5	162·1	315
2·2	123·2	847	4·4	147·0	449	6·6	162·8	311
2·3	124·6	813	4·5	147·8	440	6·7	163·4	306
2·4	126·1	782	4·6	148·7	431	6·8	164·0	302
2·5	127·4	754	4·7	149·5	423	6·9	164·6	298
2·6	128·7	727	4·8	150·3	415	7·0	165·2	294
2·7	130·0	702	4·9	151·1	407	7·1	165·7	290
2·8	131·2	679	5·0	151·8	400	7·2	166·3	287
2·9	132·4	658	5·1	152·6	393	7·3	166·9	283
3·0	133·6	638	5·2	153·3	386	7·4	167·5	280
3·1	134·7	619	5·3	154·1	379	7·5	168·0	277
3·2	135·8	601	5·4	154·8	373	7·6	168·6	273
3·3	136·9	584	5·5	155·5	366	7·7	169·1	270
3·4	137·9	569	5·6	156·2	360	7·8	169·7	267
3·5	138·9	554	5·7	156·9	355	7·9	170·2	264
3·6	139·9	540	5·8	157·6	349	8·0	170·7	261
3·7	140·9	526	5·9	158·3	344	8·5	173·3	247
3·8	141·8	514	6·0	158·9	339	9·0	175·7	234
3·9	142·8	502	6·1	159·6	334	9·5	178·1	223
4·0	143·7	490	6·2	160·3	329	10	180·3	213

Anmerkung. Der Druck von  $n$  Kilogrammen auf den Quadratcentimeter ist nahe genug gleich dem Drucke von  $12\cdot39 n$  Wiener Pfunde auf den Wiener Quadratzoll.

§. 477. Da zwischen der Temperatur  $t$  und dem Drucke  $p$  des Dampfes eine gewisse Abhängigkeit besteht, so dürfte man nur, um das relative Volumen  $v$  direct durch den Druck  $p$  auszudrücken, aus der vorigen Gleichung 5) und der obigen (§. 473) 1 oder 2,  $t$  eliminiren; allein da darin eine eigene Schwierigkeit liegt, so behilft man sich mit Näherungsformeln, von denen die beiden folgenden für die gewöhnlich bei Dampfmaschinen vorkommenden Fälle hinreichend genau sind; die eine für Dampfspannungen bis 1, selbst auch noch 2 Atmosphären anwendbar, ist:

$$v = \frac{10000}{\cdot4227 + 2\cdot257 n} \dots (1) \quad \text{oder} \quad v = \frac{10000}{\cdot4227 + \cdot00296 p} \dots (2)$$

oder auch:

$$v = \frac{10000}{\cdot4227 + \cdot42624 p'} \dots (3)$$

dabei bezeichnet  $h$  die Höhe der Quecksilbersäule in Fufs, welche den Dampfdruck misst oder damit im Gleichgewichte steht,  $p$  den Druck auf den Quadratfufs, und  $p'$  jenen auf den Quadratzoll, und zwar immer in W. P f u n d e n.

Die folgende Formel gilt für höhere Spannungen, und gibt

$$v = \frac{10000}{1.421 + .00264 p} \dots (4 \quad \text{oder} \quad v = \frac{10000}{1.421 + .38016 p'} \dots (5)$$

wobei wieder  $p$  den Dampfdruck auf 1 Quadratfufs,  $p'$  jenen auf 1 Quadratzoll (in Pfunden) bezeichnet.

§. 478. Die Dichte des Wasserdampfes gegen jene des Wassers bei  $0^{\circ}$  verglichen, erhält man aus der Formel  $d = \frac{.00081 p}{2.404 (1 + a)}$  (s, wobei  $p$  die Spannkraft des Dampfes in Fufs der Quecksilbersäule und  $a$  den Ausdehnungscoefficienten für die Luft oder Gase (für die Temperaturzunahme von  $1^{\circ}$  C.) bezeichnet.

Nimmt man  $a = .00364$ , so wird z. B. für den Druck von 1 Atmosphäre, wofür nach Obigem  $p = 2.404$  und  $t = 100$  ist, sofort  $d = .0005938$ .

Für eine Spannkraft von 50 Atmosphären wäre  $p = 50 \times 2.404$  und

$t = 266$ , folglich  $d = \frac{.00081 \times 50}{1.968} = .02058$ ; dagegen, wenn man

mit Andern  $a = .00375$  nimmt, wird  $d = .02033$ , woraus überhaupt hervorgeht, dafs die Dichte des Dampfes mit seiner Expansivkraft zunimmt.

§. 479. Die zur Dampfbildung nöthige Wärme. Wird Wasser in einem offenen Gefäfse erhitzt, so steigt die Temperatur desselben unter dem mittleren Luftdrucke allmähig bis  $80^{\circ}$  R. oder  $100^{\circ}$  C., und fängt bei diesem Temperaturgrade zu sieden an. Von diesem Augenblicke an, in welchem das Sieden eintritt, bringt alle auch noch so intensiv zugeführte Wärme in dem Wasser keine Temperaturerhöhung mehr hervor, sondern diese wird blofs zur Änderung des Aggregatzustandes (der tropfbaren Flüssigkeit in Dampf) verwendet. Genaue Versuche haben gelehrt, dafs wenn man die Wärmemenge, welche nöthig ist, um die Temperatur einer bestimmten Wassermenge um  $1^{\circ}$  C. zu erhöhen, mit  $a$ , also jene Wärme, welche erforderlich ist, das Wasser von  $0$  bis  $100^{\circ}$  zu erhitzen oder in offenen Gefäfsen zum Sieden zu bringen, mit  $100 a$  bezeichnet, sofort dieser bereits auf  $100^{\circ}$  erhitzten Wassermenge noch 540, oder nach neuern Versuchen 550  $a$  Wärme zugeführt werden müsse, um dieselbe gänzlich in Dampf zu

verwandeln, welcher dabei auf dem Thermometer ebenfalls nur  $100^{\circ}\text{C}$ . zeigt.

Man nennt daher die  $100 a$  die freie, sensible (am Thermometer wahrnehmbare), und die  $550 a$  die gebundene, latente (am Thermometer nicht wahrnehmbare) Wärme.

Es enthält also z. B. 1 Pfund Dampf von  $100^{\circ}\text{C}$ .  $6\frac{1}{2}$  Mal (d. i.  $650 a$ ) so viel Wärme als 1 Pfund siedehesses Wasser (bei  $100^{\circ}$ ), oder es kann 1 Pfund Dampf von  $100^{\circ}\text{C}$ .  $5\frac{1}{2}$  Pfund eiskaltes Wasser (von  $0^{\circ}$ ), wenn er in diesem condensirt wird, bis auf  $100^{\circ}\text{C}$ . erhitzen, wodurch dann mit dem condensirten Dampf zusammen  $6\frac{1}{2}$  Pfund Wasser von  $100^{\circ}\text{C}$ . entstehen.

§. 480. Den neuesten Versuchen und Beobachtungen zufolge darf man mit großer Wahrscheinlichkeit annehmen, daß die im vorigen Paragraphe erwähnte gesammte Wärmemenge  $650 a$  nicht bloß dem Dampfe von  $100^{\circ}\text{C}$ . — wofür also die latente Wärme =  $550 a$  ist — sondern überhaupt jedem Dampfe von was immer für einer Spannung und Temperatur zukömmt, und demnach constant ist, so, daß also der Gehalt an latenter Wärme abnimmt, wenn die sensible Wärme, d. i. die Temperatur des Dampfes zunimmt; es kann also nach dieser Hypothese ein Dampf von  $200^{\circ}$  Temperatur nur  $450 a$  latenter Wärme enthalten.

Dehnt sich der bei irgend einer Temperatur erzeugte Wasserdampf in einen größern Raum aus, ohne an seine äußere Umgebung Wärme abzugeben oder von dieser zu erhalten; so nimmt in Folge dieser Ausdehnung seine Temperatur, wie es bei allen Gasen der Fall ist, ab; nach den zahlreichen Versuchen nun von *Pambour* behält der Dampf jedoch bei dieser Temperaturabnahme fortwährend die dieser niedrigern Temperatur entsprechende Spannkraft und Dichte, so, daß er sich fortwährend im Maximum seiner Dichte befindet, was sofort die Richtigkeit dieses schon von *Watt* und *Clement* behaupteten Gesetzes beweist.

Um also z. B. 1 Pfund Wasser von  $0^{\circ}$  in Dampf zu verwandeln (welcher also auch 1 Pfund im Gewicht haben wird), wird immer dieselbe Wärmemenge  $650 a$  erforderlich seyn; besitzt das Wasser bereits die Temperatur von z. B.  $30$  oder  $60^{\circ}$ , so wird nur eine Wärmemenge von beziehungsweise  $620 a$  und  $590 a$  erforderlich seyn, u. s. w.

Nach einer andern (u. A. von *Southern* aufgestellten) Hypothese wäre jedoch nicht die gesammte, sondern bloß die latente Wärmemenge constant und =  $550 a$ , so, daß z. B. Dampf von  $200^{\circ}$  Temperatur eine Wärmemenge =  $200 a + 550 a = 750 a$  enthielte.

§. 481. **Condensirung des Dampfes.** Werden die (dem Gewichte nach ausgedrückten) Wassermengen  $M$  und  $m$  von der Temperatur  $t$  und  $t'$  zusammengemischt, so ist (vorausgesetzt, daß

dabei kein Wärmeverlust Statt findet) die Temperatur  $T$  der Mischung durch die Relation  $(M + m)T = Mt + m t'$  gegeben oder zu bestimmen.

Kommt nun statt der Wassermenge  $m$  eben so viel Dampf (gleichgiltig von welcher Temperatur) in die Mischung, so muß man, da er so viel Wärme enthält, daß er die Wassermasse  $m$  von  $0^\circ$  bis  $650^\circ$  C. erhitzen könnte (nach der zweiten Ansicht  $550 + T$ , wenn  $T$  die Temperatur des Dampfes ist), sofort  $t' = 650$  setzen, so daß also für die Mischung des Dampfes mit Wasser die Relation besteht:

$$(M + m)T = Mt + 650m \dots (x)$$

Beispiel 1. Will man z. B. 1000 Pfund (nicht ganz 10 Eimer, nämlich  $395\frac{1}{2}$  Mafs) eiskaltes Wasser zum Sieden, also von  $0^\circ$  auf die Temperatur von  $100^\circ$  C. bringen, so bedarf man hiezu, wegen  $M = 1000$ ,  $t = 0$  und  $T = 100$ , einer Dampfmenge von  $m = \frac{1000 \times 100}{550} = 181.82$  Pfund.

Beispiel 2. Soll dagegen die Wassermasse  $M$  gefunden werden, welche bei einer Temperatur von  $12^\circ$  nöthig ist, um 1 Pfund Dampf dergestalt zu condensiren, daß das durch die Condensation entstehende Wasser die Temperatur von  $38^\circ$  erhält; so hat man aus der vorigen Relation x) zuerst allgemein:

$$M = \frac{650 - T}{T - t} \dots (z)$$

und für das vorliegende Beispiel wegen  $t = 12$  und  $T = 38$ , sofort

$$M = \frac{612}{26}, \text{ d. i. nahe } 23.5 \text{ Pfund.}$$

Hätte das Wasser bloß  $5^\circ$  Wärme, so würde man nur  $\frac{612}{33} = 18.6$  Pf. Wasser nöthig haben.

Soll dagegen die Mischung die nämliche Temperatur von  $100^\circ$  beibehalten, so muß  $M = \frac{550}{88} = 6\frac{1}{4}$  Pfund seyn. Für  $t = 0$  endlich wird, wie es seyn soll,  $M = \frac{550}{100} = 5\frac{1}{2}$  Pfund.

**§. 482. Geschwindigkeit des ausströmenden Dampfes.** Um die Geschwindigkeit  $v$  zu finden, mit welcher der Wasserdampf aus einer Öffnung in den leeren Raum strömen würde, darf man nur die Höhe der mit der Spannkraft des betreffenden Dampfes im Gleichgewichte stehenden Dampfsäule  $h$  und damit  $v$  aus der Formel (§. 448)  $v = \sqrt{2gh}$  bestimmen. So ist z. B. der unter dem mittleren Luftdrucke von 2.4 Fufs Quecksilbersäule erzeugte Dampf nahe 1700 Mal leichter als Wasser, folglich  $1700 \times 13.598$ , d. i. nahe

23117 Mal leichter als Quecksilber, so, daß also die Dampfsäule  $2.4 \times 23117 = 55481$  Fufs hoch seyn müßte, um durch ihren Druck den Dampf auf dieselbe Dichte zusammenzudrücken, die er unten den genannten Umständen wirklich besitzt. Dieser Dampf würde daher mit der Geschwindigkeit  $v = \sqrt{(62 \times 55481)} = 1855$  Fufs ausströmen.

§. 483. Ist allgemein  $D$  die Dichte des Dampfes gegen das Wasser genommen, also  $\frac{D}{13.598}$  jene gegen das Quecksilber, so ist, wenn die Spannkraft des Dampfes mit einer Quecksilbersäule von  $h$  Fufs im Gleichgewichte steht, die Höhe der gleichgeltenden Dampfsäule:

$$h : \frac{D}{13.598} = \frac{13.598 h}{D},$$

folglich die Geschwindigkeit:

$$v = \sqrt{\left(2g \frac{13.598 h}{D}\right)} = 29.036 \sqrt{\frac{h}{D}} \dots (m)$$

Für das vorige Beispiel wäre  $h = 2.4$  und nahe genug (§. 478, s)  $D = .000589$ , und damit  $v = 1853\frac{1}{2}$  Fufs.

§. 484. Strömt endlich Dampf von einem höhern Druck (als jenem einer Atmosphäre) in die Atmosphäre aus, so darf man in der vorigen Formel nur  $h - b$  statt  $h$  setzen, wenn  $b$  die Barometerhöhe für den atmosphärischen Druck bezeichnet; es ist dann für diesen Fall:

$$v = 29.036 \sqrt{\frac{h - b}{D}} \dots (n)$$

Hat der Dampf z. B. eine Temperatur von  $85^\circ \text{R.}$ , so ist wegen  $t = 106\frac{1}{4}^\circ \text{C.}$  nach der obigen Formel (§. 473, 2.) sehr nahe  $h = 3$  und (§. 478)  $D = .0007239$ , also bei dem mittleren Luftdrucke  $h - b = 3 - 2.4 = .6$ , und damit aus der vorigen Formel n):  $v = 830.34$  Fufs.

Anmerkung. Bei dem Ausströmen des Dampfes aus Öffnungen muß man ebenfalls wieder auf den Contractioncoefficienten  $n$  Rücksicht nehmen; den hierüber angestellten Versuchen zufolge kann man  $n = .72$  bis  $.8$  setzen, so, daß allgemein

$$v = 29.036 n \sqrt{\frac{h - b}{D}} \dots (3)$$

oder wenn man für  $n$  das Mittel von den angegebenen Zahlen nimmt, auch

$$v = 22.938 \sqrt{\frac{h - b}{D}} \dots (4)$$

wird.

**§. 485. Heizkraft verschiedener Brennmaterialien.** Um den Dampf aus dem Wasser zu entwickeln, muß der Dampfkessel auf eine zweckmäßige Weise mit einem Ofen oder Feuerraume, in welchem durch Verbrennung des Brennstoffes die nöthige Hitze erzeugt wird, in Verbindung stehen. Weil aber bei Dampfmaschinen die Kosten der Dampfkraft hauptsächlich aus dem Aufwande an Brennmaterialen erwachsen, so ist es von besonderer Wichtigkeit, daß nicht nur der Heizapparat die zweckmäßigste Einrichtung erhalte, sondern daß man auch wisse, in welchem Verhältnisse die Heizkraft der verschiedenen Brennstoffe zu einander stehen.

Den hierüber angestellten Versuchen zufolge entwickelt ein und derselbe Brennstoff, wenn er jedesmal von derselben Beschaffenheit ist, unter allen Umständen (ob er nämlich langsam oder schnell, mit viel oder wenig Sauerstoff verbrennt u. s. w.) auch dieselbe Quantität von Wärme, d. h. die Heizkraft oder Erwärmungsfähigkeit eines und desselben Brennstoffes ist unter allen Umständen constant.

**§. 486.** Nimmt man jene Wärmemenge, welche im Stande ist die Temperatur von 1 Pfund Wasser um  $1^{\circ}$  zu erhöhen, zur Einheit, so kann man die Heizkraft der verschiedenen Brennmaterialien durch die Anzahl solcher Wärmeeinheiten ausdrücken, welche durch 1 Pfund des betreffenden Brennstoffes entwickelt werden, oder was dasselbe ist, durch die Zahlen, welche angeben, wie viele Pfunde Wasser durch das Verbrennen von 1 Pfund des betreffenden Materiales um  $1^{\circ}\text{C}$ . erwärmt werden können.

So hat man z. B. für die Heizkraft des vollkommen, nämlich künstlich ausgetrockneten Holzes (übrigens einerlei, ob hartes oder weiches) die Mittelzahl 3600 gefunden. Für frisch gefälltes, welches gewöhnlich über 40, und für lufttrockenes Holz, welches noch von 20 bis 25 Procent Feuchtigkeit enthält, ist die Heizkraft verhältnißmäßig geringer.

**§. 487.** Da übrigens ein kohlenstoffhaltiges Brennmaterial, wie z. B. das Holz, beim Verbrennen immer nur in so ferne Wärme oder Hitze entwickelt, als sich dessen Kohlenstoff mit dem Sauerstoff der Luft verbindet, die atmosphärische Luft aber nur einen bestimmten Theil von Sauerstoff (auf 1 Pfund atmosphärische Luft kommen  $\cdot 23$  Pf., auf 1 Kubikfuß Luft  $\cdot 21$  Kubikfuß Sauerstoff) enthält, so muß auch dem im Feuerherde verbrennenden Brennstoffe eine bestimmte Menge Luft zugeführt werden. Braucht man z. B. zur vollständigen Verbrennung von 1 Pf. Kohle  $2\cdot 63$  Pf. Sauerstoff, so muß man diesem Pfund Kohle schon

$\frac{2.65}{.23} = 10.1$  Pf. atmosphärische Luft zuführen; da diese jedoch dabei ungefähr nur zur Hälfte zersetzt wird, indem die andere Hälfte unverändert und bloß erhitzt fortgeht, so wird man dieser Kohle (von 1 Pf. im Gewicht) schon nahe 20 Pf. oder bei 300 Kubikfuß Luft zu ihrer vollständigen Verbrennung zuführen müssen.

§. 488. Mit Rücksicht auf diese Umstände enthält die nachstehende Tabelle, die aus den verlässlichsten Versuchen abgeleiteten Mittelzahlen, wobei gleiche Gewichte der genannten Brennmaterialien die nebenstehenden Wärmeeinheiten erzeugen.

Namen des Brennstoffes:	Heizkraft in Wärmeeinheiten:	Heizkraft, jene des Kohlenstoffes = 1 gesetzt:	Nöthiges Volumen an kalter Luft, um 1 Pf. des Brennstoffes zu verbrennen:
Holz, ganz trocken (gedarrt)	3500—3600	·46	120 Kubikfuß.
„ lufttrocken (20% Feuchtigkeit) . . . . .	2600—2700	·35	96 „
Torf, lufttrocken . . . . .	2500—3500	·33—·38	160 „
Braunkohle . . . . .	4000—5000	·50—·70	„
Steinkohle, gute . . . . .	6000—6600	·77	320 „
Kokes . . . . .	6500—7000	·90	266 „
Holzkohle (Schwarz-) . . . . .	6500—7500	·96	290 „
„ (Roth-) . . . . .	5200—5800	·74	— „
Torfkohle . . . . .	5800—6400		234 „
Reine Kohle (Kohlenstoff) . . . . .	7800	1	— „
Wasserstoff . . . . .	23600—34800*)	3·03	— „

Anmerkung. 1. Nach vielfältigen Beobachtungen kann bei Anwendung von Kesseln aus Eisenblech und eines gut construirten Ofens 1 Pf. Steinkohle, je nach ihrer geringern oder bessern Beschaffenheit, von 4 bis 7 Pf. kaltes Wasser verdampfen; eben so können, im Durchschnitte genommen, 1 Pf. gutes lufttrockenes Holz  $2\frac{3}{4}$  Pf., 1 Pf. Holzkohlen 6 Pf., 1 Pf. Torf erster Qualität 2·7 Pf., geprefster Torf 4 Pf., und 1 Pf. getrocknete Gerberlohe 2 Pfund Dampf erzeugen.

Nach *Tredgold's* Angabe bedarf man, bei Annahme eines Wärmeverlustes von 10 Procent, um 1 Kubikfuß (eiskaltes ?) Wasser in Dampf zu ver-

\*) Dieser von allen frühern abweichende und gegen den absoluten Wärmeeffect des Kohlenstoffes nicht 3, sondern nahe  $4\frac{1}{2}$  Mal so große Werth ist aus den letzten Arbeiten von *Dulong* abgeleitet; nach diesen erhalten Kohlenoxyd, Kohlenwasserstoff und ölbildendes Gas die Zahlen: 2466, 13260 und 12000. Die Richtigkeit dieser Zahlen bedarf jedoch noch der Bestätigung.

wandeln, 8'22 Pf. backende Steinkohlen, 10'83 Staffordshire - Kohlen, 9 Pf. Kokes, in verschlossenen Räumen erzeugt, 13'6 Pf. trockenes Eichenholz, was auf das Wiener Mafs und Gewicht reducirt, die Zahlen 7'4, 9'7, 8'1 und 12'3 Pf. gibt.

Anmerkung. 2. Da gleiche Gewichte verschiedener Holzgattungen bei gleichem Austrocknungsgrade, ziemlich nahe die gleiche Heizkraft besitzen, so mufs diese auf das Volumen des Holzes bezogen, im umgekehrten Verhältnifs der Dichte oder des specifischen Gewichtes stehen. So hat z. B. lufttrockenes Weifsbuchenhholz das specifische Gewicht (als Durchschnittszahl) 77 und Pappelholz jenes 39, so dafs ersteres nahe 2 Mal so dicht ist; es wird daher auch 1 Kubikfufs Weifsbuchenhholz nahe die zweifache Heizkraft von 1 Kubikfufs Pappelholz besitzen. (Man sehe auch die Zusätze.)

## Siebentes Kapitel.

### *Von den Dampfmaschinen.*

§. 489. **Erklärung.** Um den Wasserdampf als bewegende Kraft zu benützen, läfst man ihn allgemein und am vortheilhaftesten durch den Druck wirken; je nachdem er dabei auf einen oder mehrere Flügel, die sich in einem luftdicht verschlossenen cylindrischen Gehäuse im Kreise continuirlich nach einerlei Richtung bewegen, oder wie bei der Wassersäulenmaschine (§. 412) auf einen cylindrischen Kolben mit oscillirender (d. i. auf- und ab, oder hin- und hergehender) Bewegung wirkt, erhält man eine Rotations- oder eine Cylinder-(Kolben-) Maschine.

Hier sollen nur die letztern als die allgemein verbreiteten in Kürze erörtert werden.

§. 490. **Eintheilung der Kolbenmaschinen.** Benützt man zur Bewegung der Dampfmaschine niedere, mittlere oder hochgespannte Dämpfe (beziehungsweise von beiläufig, da hier eine scharfe Begrenzung weder möglich noch nothwendig ist,  $\frac{1}{5}$  bis  $\frac{1}{2}$ , von  $\frac{1}{2}$  bis 3 und von 3 bis 10 und mehr Atmosphären über den Luftdruck), so erhält man die sogenannten Niederdruck-, Mitteldruck- und Hochdruckmaschinen.

Läfst man den Dampf immer nur von einer Seite auf den Kolben wirken, so, dafs die rückgängige Bewegung desselben durch den Druck