Hilfsbuch

für

praktische Mechanik

zum Gebrauche

für

Artillerieoffiziere, Civil- und Militäringenieure,

die

wichtigsten Regeln und Formeln zur Beurtheilung und Entwerfung von Konstruktionen enthaltend.

Von

Arthur Morin,

Kapitän der Artillerie, ꝛc.

Aus dem Französischen übersetzt

von

C. Holtzmann,

Lehrer der Mathematik an der Großherzogl. polytechnischen Schule zu Karlsruhe.

L Bartning

Mit 58 Figuren.

Karlsruhe, 1838.

Druck und Verlag von Christian Theodor Groos.

Vorrede.

Herr Arthur Morin, Artillerie-Kapitän, bei uns durch seine Versuchsreihen über Reibung vortheilhaft bekannt, hat in dem kleinen Werke, dessen Uebertragung in unsere Muttersprache hier vorliegt, die Sätze und Formeln gesammelt, welche dem Maschinenbauer, der Gewißheit des Erfolgs seiner Konstruktionen haben will, jeden Augenblick unerläßlich sind. Er hat dabei die Formeln ohne Ableitung hingestellt, nur ihre jedesmalige Bedeutung angegeben und ihre Anwendung durch Beispiele erläutert, welche meist von ausgeführten Bauten hergenommen, und im Resultate mit der Beobachtung verglichen sind.

Diese praktischen Formeln und Regeln sind auf theoretische Betrachtungen gegründet, und in den Coefficienten nach vielfältigen, wohl überlegten Versuchen bestimmt. Dabei hat der Verfasser hauptsächlich die Vorlesungen von Poncelet über Maschinen an der Artillerie- und Ingenieurschule zu Metz, die Noten von Navier zu der architecture hydraulique von Belidor und dessen Vorlesungen an der Schule des ponts et des chaussées benutzt.

Die Regeln und Formeln über die Bewegung des Wassers und der Gase sind aus dem sechsten Theile des Curses von Poncelet und einigen spätern Mittheilungen desselben Gelehrten gezogen. Der Verfasser hat dazu einige Regeln über die Entleerung der Teiche gefügt, und einige Beispiele über Schifffahrtsschleußen dem Lehrbuche der Hydraulik von d'Aubuisson entlehnt.

Die Formeln zur Berechnung des Nutzeffekts der Wasserräder sind die, welche in dem siebenten Theile desselben Curses und in den Vorlesungen von Navier abgeleitet sind, nachdem darin die numerischen Coefficienten nach

Beobachtungen von Poncelet über die Räder mit krummen Schaufeln und nach den von dem Verfasser über Räder mit ebenen Schaufeln und Zellen angestellten und bekannt gemachten Beobachtungen bestimmt wurden.

Den Nutzeffekt der Dampfmaschinen geben Formeln von Poncelet mit aus der Erfahrung gezogenen Coefficienten; wobei der Verfasser den Wunsch ausspricht, daß durch neue Beobachtungen an ausgeführten Maschinen diese Coefficienten noch bestimmter festgesetzt werden möchten.

Morin hat die Erfahrungsresultate, welche de Pambonr über die Lokomotivmaschinen auf der Eisenbahn von Liverpool nach Manchester erhalten hat, mit den Resultaten der Theorie über Hochdruckmaschinen ohne Expansion und Kondensation verglichen, und hat daraus die gegebene praktische Formel zur Bestimmung des Nutzeffekts jener Maschinen innerhalb passender Grenzen der Geschwindigkeiten und der Ladungen abgeleitet.

Die von Watt und seinen Nachfolgern befolgten Regeln über die Konstruktion der Dampfmaschinen mit niederm Druck sind aus dem Werke über die Dampfmaschine von Farey übersetzt, dessen Fortsetzung ein wahrer Gewinn für die Fabrikation dieser Maschinen wäre.

Die praktischen Regeln zur Bestimmung des Gewichts und der Dimensionen der Schwungräder sind direkten Betrachtungen und der Beobachtung mehrerer Maschinen im Gange entnommen. In Bezug auf Dampfmaschinen entsprechen sie der Theorie von Navier und von Poncelet, wie der Praxis von Watt.

Hinsichtlich der Bewegungsmittheilungen sind die bekannten, von den Konstrukteuren befolgten Regeln mitgetheilt.

Die Erfahrungsresultate über die Reibung sind aus den Versuchsreihen des Verfassers aus den Jahren 1831, 1832, 1833 und 1834 zusammengestellt.

Zur Bestimmung der Dimensionen für die Haupttheile der Maschinen sind die Formeln aus den Vorlesungen von Navier genommen; dabei sind die numerischen Coefficienten, der besondern Bestimmung der Stücke gemäß, theils nach direkten Beobachtungen, theils nach den bei vorhandenen Maschinen gewählten Dimensionen abgeändert worden.

Zum Schlusse ist eine Reihe von Beobachtungsresultaten über den Nutzeffekt der lebenden Kräfte, der Wasserschöpfwerke, und über den Kraftaufwand zur Bewegung der Maschinen bei verschiedenen Fabrikationszweigen zusammengestellt.

Die vorliegende Uebersetzung selbst anlangend habe ich zu bemerken, daß ich nur wenige Aenderungen an den Formeln selbst angebracht habe, wo sich Fehler in diese eingeschlichen haben.

Der Verfasser hat den größten Theil der gegebenen Formeln in Regeln mit Vermeidung algebraischer Zeichen übersetzt. Dieß habe ich weggelassen, weil es für den, der nur mit den ersten Elementen der Mathematik bekannt ist, überflüssig ist, und weil solche, bei denen dieß nicht der Fall ist, die übersetzten Formeln in vielen Fällen doch nicht werden anwenden können, namentlich dann nicht, wenn in diesen von trigonometrischen Funktionen oder Logarithmen die Rede ist.

Gerne hätte ich dem metrischen Maße deutsches substituirt, und für dieses die Formeln umgeändert. Allein welches unter den deutschen? Besser in ganz Deutschland bekannt, als irgend ein deutsches, ist doch wohl das Metermaß, und so habe ich dieses, das ohnehin in seiner Anwendung das bequemste ist, beibehalten, um so mehr, als ja selbst die Regierungen bei allgemeineren Bestimmungen, wie z. B. bei der süddeutschen Münzkonvention, dieß thun.

Sollte ein Techniker, bei Anwendung dieses Buchs, sich eines andern Maßes bedienen wollen, so findet er am Ende einige Tabellen, welche zur Reduktion der Maße in das

Französische und umgekehrt dienen. Will derselbe dabei die Formeln selbst für sein Maß berechnen, so kann das in jedem Falle leicht geschehen, wozu ich Beispiele hersetze.

Erstes Beispiel. Die Formel in Nr. 92 soll für badisches Maß umgeändert werden.

Es sei

P die Kraft, welche das Wasser auf den äußern Radumfang überträgt, in badischen Pfunden;

v die Geschwindigkeit des äußern Radumfangs in badischen Fußen;

a der Winkel dieser Geschwindigkeit mit der Geschwindigkeit

V des Wassers bei seiner Ankunft auf dem Rade in badischen Fußen;

Q Kubikfuß, die zufließende Wassermenge in 1″;

h die Höhe des Eintrittspunktes über dem Tiefsten des Rades in Fußen.

Ist nun 1 bad. Pfund = α Kilogramm und

1 bad. Fuß = β Meter,

so sind

P Pfund = P . α Kilogramm.
v Fuß = v . β Meter.
V „ = V . β „
h „ = h . β „
Q Kubikfuß = Q . β^3 Kubikmeter.

Dieß in die Formel 92 substituirt, gibt:

$$P \alpha . v \beta = 799 Q \beta^3 \left[h \beta + \frac{(V \beta \cos a - v \beta) v \beta}{9{,}81} \right],$$

$$P v = \frac{799 . \beta^3}{\alpha} Q \left[h + \frac{(V \cos a - v) v}{9{,}81 : \beta} \right]$$

oder wegen $\alpha = 0{,}5$ und $\beta = 0{,}3$

$$P v = 43{,}1 Q \left[h + \frac{(V \cos a - v) v}{32{,}7} \right]$$

Diese Formel gibt den Nutzeffekt des Rades durch die Zahl der badischen Pfunde, welche das Rad in 1 Sekunde auf 1 Fuß erheben kann.

Zweites Beispiel. Die Formel Nr. 244 für preußisches Maß umzuändern.

Es sei

d der Durchmesser des Wellzapfens,
c die Länge desselben, beides in preußischen Zollen,
P der Druck auf den Zapfen in preußischen Pfunden.

Ferner sei 1 preußischer Fuß $= \beta$ Meter, und
1 preußisches Pfund $= \alpha$ Kilogramm;

dann sind

d preußische Zolle $= \frac{d}{12} \cdot \beta$ Meter.

c " " $= \frac{c}{12} \cdot \beta$ "

P " Pfunde $= P \cdot \alpha$ Kilogramm.

Dieß in die Formel Nr. 244 substituirt, gibt

$$\left(\frac{d}{12} \cdot \beta\right)^3 = \frac{P\,\alpha \cdot \frac{c}{12} \cdot \beta}{368125} \text{ und}$$

$$d^3 = \frac{Pc}{368125 \,.\, \beta^2 : (12^2 \,.\, \alpha)}$$

und wegen $\beta = 0{,}313854$ und
$\alpha = 0{,}46771$

$$d^3 = \frac{Pc}{538{,}40}$$

Nach Beibehaltung des französischen Maßes war es natürlich, auch die französische Bezeichnungsweise beizubehalten. Demnach bedeutet

$4^{m},23$	so viel als	4,23	Meter;
$0^{mm},024$	" " "	0,024	Millimeter;
$1^{mq},3825$	" " "	1,3825	Quadratmeter;
$0^{mc},304$	" " "	0,304	Kubikmeter;
$625^{k},3$	" " "	625,3	Kilogramm.

Hiernach werden die vorkommenden Bezeichnungen zu verstehen seyn.

Karlsruhe im März 1838.

Holtzmann.

Inhaltsanzeige.

Hilfsbuch für praktische Mechanik.

Definitionen und angenommene Bezeichnungen.

In allen Formeln und praktischen Regeln, welche dieses Buch gibt, legen wir den Worten und Zeichen den Sinn bei, welcher in den folgenden Definitionen und Annahmen angezeigt ist.

Einheiten der Maße.

Die linearen Dimensionen sind, wo nichts anderes bemerkt ist, in Metern zu verstehen, die Flächenmaße in Quadrat- und die Volumen in Kubikmetern. Die Einheit des Gewichts ist das Kilogramm. Die Zeiten werden gewöhnlich in Sekunden angegeben.

Kraft.

Die Kräfte, welche auf die Maschinen wirken, können in Gewichten gemessen werden. Als Einheit hierzu nehmen wir das Kilogramm an, und die Kräfte werden daher durch eine bestimmte Zahl von Kilogrammen ausgedrückt seyn. Der Buchstabe, welcher die Kraft in den Formeln bezeichnet wird häufig von dem Zeichen kil. begleitet seyn, um hieran zu erinnern.

Geschwindigkeit.

Die Geschwindigkeit eines Körpers ist der Raum, den er in 1 Sekunde durchlauft, wenn er sich gleichförmig bewegt. Ist seine Bewegung veränderlich, so ist die Geschwindigkeit in irgend einem Augenblick der Weg, den er in 1″ durchlaufen würde, wenn er sich von dem betrachteten Augenblick an gleichförmig weiter bewegte. Die Geschwindigkeit ist in Metern ausgedrückt und bezieht sich auf 1″.

Wege.

Die Wege der Angriffspunkte der Kräfte sind eben so in Metern ausgedrückt.

Größe der Wirkung oder der Arbeit.

Die Größe der Wirkung oder der Arbeit, welche eine Kraft geleistet hat, ist das Produkt aus der Größe dieser Kraft in ihren Weg, diesen in der Richtung der Kraft genommen. Die Größe der Wirkung oder der Arbeit wird ausgedrückt durch eine Anzahl Kilogramme auf 1^{m} erhoben und die Einheit der Arbeit ist $1^{kil.}$ auf 1^{m} erhoben, was man häufig in den Formeln dadurch anzeigt, daß man rechts über die Zahlen das Zeichen **km** wie einen Exponenten setzt.

Wird die Arbeit lange Zeit hindurch und periodisch durch die Wirkung der Kräfte hervorgebracht, so bezieht man sie, um zu große Zahlen zu vermeiden, auf eine bestimmte Periode, deren Dauer man gewöhnlich gleich einer Sekunde annimmt. Man sagt dann, die Größe der betrachteten Wirkung oder Arbeit ist gleich einer bestimmten Anzahl von Kilogrammen auf 1^{m} in $1''$ erhoben.

Pferdskraft.

Bei mächtigen Maschinen würden die Zahlen, welche auf diese Art die Größe der Wirkung oder der Arbeit in 1 Sekunde ausdrückten, noch sehr groß seyn. Diese Betrachtung und einige andere Umstände haben die Mechaniker veranlaßt, eine andere Einheit der Arbeit anzunehmen, welche man Pferdskraft nennt. Der gebräuchlichste Werth dieser Einheit ist 75 Kil. auf 1^{m} in $1''$ erhoben, und stimmt nahe zusammen mit dem, welchen Watt angenommen hat, und der 33000 Pfund **avoir du poids** auf 1 englischen Fuß in 1 Sekunde erhoben beträgt.

Da dieser Werth der Pferdskraft nicht von allen Praktikern gebraucht wird, so ist es wichtig, bei den Rechnungen und Verhandlungen den angenommenen genau zu bezeichnen.

Beschleunigung der Schwere.

Die Beschleunigung der Schwere oder die Geschwindigkeit, die schwere Körper im leeren Raume nach der ersten Sekunde ihres Falls erlangt haben, bezeichnen wir mit **g**; sie ist für unsere Gegenden gleich $9^{m},8088$.

Vom Ausfluß des Wassers.

Von der Wassermenge, welche in einer Sekunde durch eine Oeffnung fließt.

Zwei Fälle.

1. Beim Ausfluß des Wassers durch eine Oeffnung hat man zwei Fälle zu unterscheiden, welche gewöhnlich beim ersten Anblick leicht erkannt werden:

a) Die Wand ist so dünn im Verhältniß zu den Dimensionen der Oeffnung, daß sich der flüssige Strahl vollständig von den Seiten ablöst; man sagt hier die Zusammenziehung geschehe in einer dünnen Wand. Dieser Fall ist der häufigst vorkommende; er kommt vor überall, wo die kleinste Dimension der Oeffnung nicht kleiner ist als die Dicke der Wand oder der Schütze, durch welche das Wasser fließt, und wenn diese Dicke nicht über $0^m,05$ oder $0^m,06$ beträgt.

b) Die Dicke der Wand ist wenigstens ebenso oder $1^1/_2$ mal so groß als die kleinste Dimension der Oeffnung; die Wasserfäden nähern sich dann den Wänden und folgen diesen, so daß sie beim Austritt denselben anscheinend parallel laufen. Dieß ist namentlich der Fall, wenn die Oeffnung durch eine Ansatzröhre verlängert ist.

Mittlere Geschwindigkeit, mit der das Wasser durch eine Oeffnung in einer dünnen Wand fließt.

2. Im ersten Fall, wenn der Ausfluß in freier Luft geschieht, ist die mittlere Geschwindigkeit des Austritts des Wassers aus einer Oeffnung von kleinen Dimensionen gegen die des Behälters und gegen die Druckhöhe über ihrem Mittel nahezu gleich der Geschwindigkeit, welche dieser Druckhöhe zugehört.

Nennt man

H die Druckhöhe über dem Mittel der Oeffnung,

V die mittlere Geschwindigkeit des Ausflusses,

$g = 9^m,8088$,

so hat man

$$V = \sqrt{2gH} = 4,43 \,.\, \sqrt{H}$$

Diese Relation ist unter dem Namen der Torricellischen Formel bekannt.

Geschwindigkeitshöhe.

3. Aus dieser Formel erhält man die Relation

$$H = \frac{V^2}{2g} = \frac{V^2}{19,62}$$

welche die Höhe gibt, die einer bekannten Geschwindigkeit entspricht.

Tafel der Geschwindigkeitshöhen.

4. Die folgende Tafel gibt die Geschwindigkeiten und die zugehörigen Höhen von der Geschwindigkeit 0 bis zu der von $9^m,64$ in der Sekunde.

Tafel der zu verschiedenen Geschwindigkeiten gehörigen Höhen, beide in Metern ausgedrückt.

Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.
m	m	m	m	m	m	m	m
0,01	0,00001	0,15	0,00115	0,29	0,00429	0,43	0,00940
0,02	0,00002	0,16	0,00131	0,30	0,00459	0,44	0,00980
0,03	0,00005	0,17	0,00148	0,31	0,00490	0,45	0,01030
0,04	0,00009	0,18	0,00166	0,32	0,00522	0,46	0,0108
0,05	0,00013	0,19	0,00185	0,33	0,00555	0,47	0,0112
0,06	0,00019	0,20	0,00204	0,34	0,00589	0,48	0,0117
0,07	0,00026	0,21	0,00225	0,35	0,00624	0,49	0,0122
0,08	0,00034	0,22	0,00247	0,36	0,00660	0,50	0,0127
0,09	0,00043	0,23	0,00270	0,37	0,00697	0,51	0,0132
0,10	0,00051	0,24	0,00294	0,38	0,00735	0,52	0,0138
0,11	0,00062	0,25	0,00319	0,39	0,00775	0,53	0,0143
0,12	0,00074	0,26	0,00345	0,40	0,00816	0,54	0,0148
0,13	0,00087	0,27	0,00372	0,41	0,00860	0,55	0,0154
0,14	0,00101	0,28	0,00400	0,42	0,00900	0,56	0,0160

Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.
m	m	m	m	m	m	m	m
0,57	0,0165	1,01	0,0520	1,45	0,1072	1,89	0,1820
0,58	0,0171	1,02	0,0530	1,46	0,1086	1,90	0,1840
0,59	0,0177	1,03	0,0541	1,47	0,1101	1,91	0,1859
0,60	0,0184	1,04	0,0551	1,48	0,1116	1,92	0,1878
0,61	0,0190	1,05	0,0562	1,49	0,1131	1,93	0,1898
0,62	0,0196	1,06	0,0573	1,50	0,1147	1,94	0,1918
0,63	0,0202	1,07	0,0584	1,51	0,1162	1,95	0,1938
0,64	0,0209	1,08	0,0595	1,52	0,1177	1,96	0,1958
0,65	0,0215	1,09	0,0606	1,53	0,1193	1,97	0,1978
0,66	0,0222	1,10	0,0617	1,54	0,1209	1,98	0,1998
0,67	0,0229	1,11	0,0628	1,55	0,1225	1,99	0,2018
0,68	0,0236	1,12	0,0639	1,56	0,1241	2,00	0,2039
0,69	0,0243	1,13	0,0651	1,57	0,1257	2,01	0,2059
0,70	0,0250	1,14	0,0662	1,58	0,1273	2,02	0,2080
0,71	0,0257	1,15	0,0674	1,59	0,1289	2,03	0,2100
0,72	0,0264	1,16	0,0686	1,60	0,1305	2,04	0,2121
0,73	0,0272	1,17	0,0698	1,61	0,1321	2,05	0,2142
0,74	0,0279	1,18	0,0710	1,62	0,1337	2,06	0,2163
0,75	0,0287	1,19	0,0722	1,63	0,1354	2,07	0,2184
0,76	0,0295	1,20	0,0734	1,64	0,1371	2,08	0,2205
0,77	0,0302	1,21	0,0746	1,65	0,1388	2,09	0,2226
0,78	0,0310	1,22	0,0758	1,66	0,1405	2,10	0,2248
0,79	0,0318	1,23	0,0771	1,67	0,1422	2,11	0,2269
0,80	0,0326	1,24	0,0783	1,68	0,1440	2,12	0,2291
0,81	0,0334	1,25	0,0797	1,69	0,1456	2,13	0,2313
0,82	0,0343	1,26	0,0809	1,70	0,1473	2,14	0,2334
0,83	0,0351	1,27	0,0822	1,71	0,1490	2,15	0,2356
0,84	0,0360	1,28	0,0835	1,72	0,1508	2,16	0,2378
0,85	0,0368	1,29	0,0848	1,73	0,1525	2,17	0,2400
0,86	0,0377	1,30	0,0861	1,74	0,1543	2,18	0,2422
0,87	0,0386	1,31	0,0875	1,75	0,1561	2,19	0,2444
0,88	0,0395	1,32	0,0888	1,76	0,1579	2,20	0,2467
0,89	0,0404	1,33	0,0901	1,77	0,1597	2,21	0,2490
0,90	0,0413	1,34	0,0915	1,78	0,1615	2,22	0,2512
0,91	0,0422	1,35	0,0929	1,79	0,1633	2,23	0,2535
0,92	0,0431	1,36	0,0943	1,80	0,1651	2,24	0,2557
0,93	0,0441	1,37	0,0957	1,81	0,1670	2,25	0,2580
0,94	0,0450	1,38	0,0970	1,82	0,1688	2,26	0,2603
0,95	0,0460	1,39	0,0984	1,83	0,1707	2,27	0,2626
0,96	0,0470	1,40	0,0999	1,84	0,1726	2,28	0,2649
0,97	0,0480	1,41	0,1013	1,85	0,1745	2,29	0,2673
0,98	0,0490	1,42	0,1028	1,86	0,1763	2,30	0,2696
0,99	0,0500	1,43	0,1042	1,87	0,1782	2,31	0,2720
1,00	0,0510	1,44	0,1057	1,88	0,1801	2,32	0,2743

Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.
m	m	m	m	m	m	m	m
2,33	0,2767	2,77	0,3911	3,21	0,5252	3,65	0,6791
2,34	0,2791	2,78	0,3939	3,22	0,5285	3,66	0,6828
2,35	0,2815	2,79	0,3967	3,23	0,5318	3,67	0,6866
2,36	0,2839	2,80	0,3996	3,24	0,5351	3,68	0,6903
2,37	0,2863	2,81	0,4025	3,25	0,5384	3,69	0,6940
2,38	0,2887	2,82	0,4054	3,26	0,5417	3,70	0,6978
2,39	0,2911	2,83	0,4082	3,27	0,5450	3,71	0,7016
2,40	0,2936	2,84	0,4111	3,28	0,5484	3,72	0,7054
2,41	0,2960	2,85	0,4140	3,29	0,5517	3,73	0,7092
2,42	0,2985	2,86	0,4169	3,30	0,5551	3,74	0,7130
2,43	0,3010	2,87	0,4198	3,31	0,5585	3,75	0,7168
2,44	0,3034	2,88	0,4228	3,32	0,5618	3,76	0,7206
2,45	0,3060	2,89	0,4257	3,33	0,5652	3,77	0,7245
2,46	0,3085	2,90	0,4287	3,34	0,5686	3,78	0,7283
2,47	0,3110	2,91	0,4316	3,35	0,5721	3,79	0,7322
2,48	0,3135	2,92	0,4346	3,36	0,5755	3,80	0,7361
2,49	0,3160	2,93	0,4376	3,37	0,5789	3,81	0,7400
2,50	0,3186	2,94	0,4406	3,38	0,5823	3,82	0,7438
2,51	0,3211	2,95	0,4436	3,39	0,5858	3,83	0,7478
2,52	0,3237	2,96	0,4466	3,40	0,5893	3,84	0,7517
2,53	0,3263	2,97	0,4496	3,41	0,5927	3,85	0,7556
2,54	0,3289	2,98	0,4526	3,42	0,5962	3,86	0,7595
2,55	0,3315	2,99	0,4557	3,43	0,5997	3,87	0,7634
2,56	0,3341	3,00	0,4588	3,44	0,6032	3,88	0,7674
2,57	0,3367	3,01	0,4618	3,45	0,6067	3,89	0,7713
2,58	0,3393	3,02	0,4649	3,46	0,6102	3,90	0,7753
2,59	0,3419	3,03	0,4680	3,47	0,6138	3,91	0,7793
2,60	0,3446	3,04	0,4711	3,48	0,6173	3,92	0,7833
2,61	0,3472	3,05	0,4742	3,49	0,6209	3,93	0,7873
2,62	0,3499	3,06	0,4773	3,50	0,6244	3,94	0,7913
2,63	0,3526	3,07	0,4804	3,51	0,6280	3,95	0,7953
2,64	0,3553	3,08	0,4835	3,52	0,6316	3,96	0,7993
2,65	0,3580	3,09	0,4866	3,53	0,6352	3,97	0,8034
2,66	0,3607	3,10	0,4899	3,54	0,6388	3,98	0,8074
2,67	0,3634	3,11	0,4930	3,55	0,6424	3,99	0,8115
2,68	0,3661	3,12	0,4962	3,56	0,6460	4,00	0,8156
2,69	0,3688	3,13	0,4994	3,57	0,6497	4,01	0,8197
2,70	0,3716	3,14	0,5026	3,58	0,6533	4,02	0,8238
2,71	0,3744	3,15	0,5058	3,59	0,6569	4,03	0,8279
2,72	0,3771	3,16	0,5090	3,60	0,6606	4,04	0,8320
2,73	0,3799	3,17	0,5122	3,61	0,6643	4,05	0,8361
2,74	0,3827	3,18	0,5155	3,62	0,6680	4,06	0,8402
2,75	0,3855	3,19	0,5187	3,63	0,6717	4,07	0,8444
2,76	0,3883	3,20	0,5220	3,64	0,6754	4,08	0,8485

Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.
m	m	m	m	m	m	m	m
4,09	0,8527	4,53	1,0460	4,97	1,2591	5,41	1,4919
4,10	0,8569	4,54	1,0507	4,98	1,2642	5,42	1,4975
4,11	0,8611	4,55	1,0553	4,99	1,2693	5,43	1,5030
4,12	0,8653	4,56	1,0599	5,00	1,2744	5,44	1,5085
4,13	0,8695	4,57	1,0646	5,01	1,2795	5,45	1,5141
4,14	0,8737	4,58	1,0692	5,02	1,2846	5,46	1,5196
4,15	0,8779	4,59	1,0739	5,03	1,2897	5,47	1,5252
4,16	0,8821	4,60	1,0786	5,04	1,2948	5,48	1,5308
4,17	0,8864	4,61	1,0833	5,05	1,3000	5,49	1,5364
4,18	0,8906	4,62	1,0880	5,06	1,3051	5,50	1,5420
4,19	0,8949	4,63	1,0927	5,07	1,3103	5,51	1,5476
4,20	0,8992	4,64	1,0974	5,08	1,3155	5,52	1,5532
4,21	0,9035	4,65	1,1022	5,09	1,3206	5,53	1,5588
4,22	0,9078	4,66	1,1069	5,10	1,3258	5,54	1,5645
4,23	0,9121	4,67	1,1117	5,11	1,3311	5,55	1,5701
4,24	0,9164	4,68	1,1164	5,12	1,3363	5,56	1,5758
4,25	0,9207	4,69	1,1212	5,13	1,3415	5,57	1,5815
4,26	0,9251	4,70	1,1260	5,14	1,3467	5,58	1,5872
4,27	0,9294	4,71	1,1308	5,15	1,3520	5,59	1,5929
4,28	0,9337	4,72	1,1356	5,16	1,3572	5,60	1,5986
4,29	0,9381	4,73	1,1404	5,17	1,3625	5,61	1,6043
4,30	0,9425	4,74	1,1452	5,18	1,3678	5,62	1,6100
4,31	0,9469	4,75	1,1501	5,19	1,3730	5,63	1,6157
4,32	0,9513	4,76	1,1549	5,20	1,3784	5,64	1,6215
4,33	0,9557	4,77	1,1598	5,21	1,3837	5,65	1,6272
4,34	0,9601	4,78	1,1647	5,22	1,3890	5,66	1,6330
4,35	0,9646	4,79	1,1695	5,23	1,3943	5,67	1,6388
4,36	0,9690	4,80	1,1744	5,24	1,3996	5,68	1,6446
4,37	0,9734	4,81	1,1793	5,25	1,4050	5,69	1,6503
4,38	0,9779	4,82	1,1842	5,26	1,4103	5,70	1,6562
4,39	0,9823	4,83	1,1891	5,27	1,4157	5,71	1,6620
4,40	0,9869	4,84	1,1941	5,28	1,4211	5,72	1,6678
4,41	0,9913	4,85	1,1990	5,29	1,4265	5,73	1,6736
4,42	0,9958	4,86	1,2040	5,30	1,4319	5,74	1,6795
4,43	1,0003	4,87	1,2090	5,31	1,4373	5,75	1,6854
4,44	1,0048	4,88	1,2139	5,32	1,4427	5,76	1,6912
4,45	1,0094	4,89	1,2189	5,33	1,4481	5,77	1,6971
4,46	1,0140	4,90	1,2239	5,34	1,4535	5,78	1,7030
4,47	1,0185	4,91	1,2289	5,35	1,4590	5,79	1,7089
4,48	1,0231	4,92	1,2339	5,36	1,4645	5,80	1,7148
4,49	1,0276	4,93	1,2389	5,37	1,4699	5,81	1,7207
4,50	1,0322	4,94	1,2440	5,38	1,4754	5,82	1,7266
4,51	1,0368	4,95	1,2490	5,39	1,4809	5,83	1,7326
4,52	1,0414	4,96	1,2541	5,40	1,4864	5,84	1,7385

Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.
m	m	m	m	m	m	m	m
5,85	1,7445	6,29	2,0167	6,73	2,3088	7,17	2,6205
5,86	1,7505	6,30	2,0232	6,74	2,3156	7,18	2,6279
5,87	1,7564	6,31	2,0296	6,75	2,3225	7,19	2,6352
5,88	1,7624	6,32	2,0361	6,76	2,3294	7,20	2,6425
5,89	1,7684	6,33	2,0425	6,77	2,3363	7,21	2,6499
5,90	1,7744	6,34	2,0490	6,78	2,3432	7,22	2,6572
5,91	1,7805	6,35	2,0554	6,79	2,3501	7,23	2,6646
5,92	1,7865	6,36	2,0619	6,80	2,3571	7,24	2,6720
5,93	1,7925	6,37	2,0684	6,81	2,3640	7,25	2,6794
5,94	1,7986	6,38	2,0749	6,82	2,3709	7,26	2,6868
5,95	1,8046	6,39	2,0814	5,83	2,3779	7,27	2,6942
5,96	1,8107	6,40	2,0879	6,84	2,3849	7,28	2,7016
5,97	1,8168	6,41	2,0945	6,85	2,3919	7,29	2,7090
5,98	1,8229	6,42	2,1010	6,86	2,3989	7,30	2,7164
5,99	1,8290	6,43	2,1075	6,87	2,4059	7,31	2,7239
6,00	1,8351	6,44	2,1141	6,88	2,4129	7,32	2,7313
6,01	1,8412	6,45	2,1207	6,89	2,4199	7,33	2,7388
6,02	1,8473	6,46	2,1273	6,90	2,4269	7,34	2,7463
6,03	1,8535	6,47	2,1338	6,91	2,4339	7,35	2,7538
6,04	1,8596	6,48	2,1404	6,92	2,4410	7,36	2,7613
6,05	1 8658	6,49	2,1471	6,93	2,4481	7,37	2,7688
6,06	1,8720	6,50	2,1537	6,94	2,4551	7,38	2,7763
6,07	1,8782	6,51	2,1603	6,95	2,4622	7,39	2,7838
6,08	1,8843	6,52	2,1670	6,96	2,4693	7,40	2,7914
6,09	1,8905	6,53	2,1736	6,97	2,4764	7,41	2,7989
6,10	1,8968	6,54	2,1803	6,98	2,4835	7,42	2,8065
6,11	1,9030	6,55	2,1869	6,99	2,4906	7,43	2,8140
6,12	1,9092	6,56	2,1936	7,00	2,4978	7,44	2,8216
6,13	1,9155	6,57	2,2003	7,01	2,5049	7,45	2,8292
6,14	1,9217	6,58	2,2070	7,02	2,5121	7,46	2,8368
6,15	1,9280	6,59	2,2137	7,03	2,5192	7,47	2,8444
6,16	1,9343	6,60	2,2205	7,04	2,5264	7,48	2,8521
6,17	1,9405	6,61	2,2272	7,05	2,5336	7,49	2,8597
6,18	1,9468	6,62	2,2339	7,06	2,5408	7,50	2,8673
6,19	1,9531	6,63	2,2407	7,07	2,5480	7,51	2,8750
6,20	1,9595	6,64	2,2474	7,08	2,5552	7,52	2,8826
6,21	1,9658	6,65	2,2542	7,09	2,5624	7,53	2,8903
6,22	1,9721	6,66	2,2610	7,10	2,5696	7,54	2,8980
6,23	1,9785	6,67	2,2678	7,11	2,5769	7,55	2,9057
6,24	1,9848	6,68	2,2746	7,12	2,5841	7,56	2,9134
6,25	1,9912	6,69	2,2814	7,13	2,5914	7,57	2,9211
6,26	1,9976	6,70	2,2883	7,14	2,5987	7,58	2,9288
6,27	2,0039	6,71	2,2951	7,15	2,6060	7,59	2,9365
6,28	2,0103	6,72	2,3019	7,16	2,6132	7,60	2,9443

Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.
m	m	m	m	m	m	m	m
7,61	2,9520	8,05	3,3033	8,49	3,6743	8,93	4,0650
7,62	2,9598	8,06	3,3115	8,50	3,6829	8,94	4,0741
7,63	2,9676	8,07	3,3197	8,51	3,6916	8,95	4,0832
7,64	2,9754	8,08	3,3280	8,52	3,7003	8,96	4,0923
7,65	2,9832	8,09	3,3362	8,53	3,7090	8,97	4,1015
7,66	2,9910	8,10	3,3445	8,54	3,7177	8,98	4,1106
7,67	2,9988	8,11	3,3527	8,55	3,7264	8,99	4,1198
7,68	3,0066	8,12	3,3610	8,56	3,7351	9,00	4,1290
7,69	3,0144	8,13	3,3693	8,57	3,7438	9,01	4,1381
7,70	3,0223	8,14	3,3776	8,58	3,7526	9,02	4,1473
7,71	3,0301	8,15	3,3859	8,59	3,7613	9,03	4,1565
7,72	3,0380	8,16	3,3942	8,60	3,7701	9,04	4,1657
7,73	3,0459	8,17	3,4025	8,61	3,7789	9,05	4,1750
7,74	3,0538	8,18	3,4108	8,62	3,7876	9,06	4,1832
7,75	3,0617	8,19	3,4192	8,63	3,7964	9,07	4,1924
7,76	3,0696	8,20	3,4275	8,64	3,8052	9,08	4,2017
7,77	3,0775	8,21	3,4359	8,65	3,8141	9,09	4,2109
7,78	3,0854	8,22	3,4443	8,66	3,8229	9,10	4,2212
7,79	3,0933	8,23	3,4526	8,67	3,8317	9,11	4,2305
7,80	3,1013	8,24	3,4610	8,68	3,8405	9,12	4,2398
7,81	3,1092	8,25	3,4695	8,69	3,8494	9,13	4,2491
7,82	3,1172	8,26	3,4779	8,70	3,8583	9,14	4,2584
7,83	3,1252	8,27	3,4863	8,71	3,8671	9,15	4,2677
7,84	3,1332	8,28	3,4947	8,72	3,8760	9,16	4,2771
7,85	3,1412	8,29	3,5032	8,73	3,8849	9,17	4,2864
7,86	3,1492	8,30	3,5116	8,74	3,8938	9,18	4,2958
7,87	3,1572	8,31	3,5201	8,75	3,9028	9,19	4,3051
7,88	3,1652	8,32	3,5286	8,76	3,9117	9,20	4,3145
7,89	3,1733	8,33	3,5371	8,77	3,9206	9,21	4,3239
7,90	3,1813	8,34	3,5455	8,78	3,9295	9,22	4,3333
7,91	3,1894	8,35	3,5541	8,79	3,9385	9,23	4,3417
7,92	3,1974	8,36	3,5626	8,80	3,9475	9,34	4,3511
7,93	3,2055	8,37	3,5711	8,81	3,9565	9,25	4,3615
7,94	3,2136	8,38	3,5796	8,82	3,9654	9,26	4,3710
7,95	3,2217	8,39	3,5882	8,83	3,9744	9,27	4,3804
7,96	3,2298	8,40	3,5968	8,84	3,9834	9,28	4,3898
7,97	3,2380	8,41	3,6053	8,85	3,9925	9,29	4,3993
7,98	3,2461	8,42	3,6139	8,86	4,0015	9,30	4,4088
7,99	3,2542	8,43	3,6225	8,87	4,0105	9,31	4,4183
8,00	3,2624	8,44	3,6311	8,88	4,0196	9,32	4,4278
8,01	3,2705	8,45	3,6397	8,89	4,0286	9,33	4,4373
8,02	3,2787	8,46	3,6483	8,90	4,0377	9,34	4,4468
8,03	3,2869	8,47	3,6570	8,91	4,0468	9,35	4,4563
8,04	3,2951	8,48	3,6656	8,92	4,0559	9,36	4,4659

Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.
m	m	m	m	m	m	m	m
9,37	4,4754	9,44	4,5425	9,51	4,6102	9,58	4,6783
9,38	4,4850	9,45	4,5522	9,52	4,6199	9,59	4,6880
9,39	4,4945	9,46	4,5618	9,53	4,6296	9,60	4,6978
9,40	4,5041	9,47	4,5715	9,54	4,6393	9,61	4,7076
9,41	4,5137	9,48	4,5811	9,55	4,6490	9,62	4,7174
9,42	4,5233	9,49	4,5908	9,56	4,6588	9,63	4,7272
9,43	4,5329	9,50	4,6005	9,57	4,6685	9,64	4,7370

Mittlere Ausflußgeschwindigkeit im zweiten Falle.

5. Im zweiten Falle, wo die Oeffnung durch einen prismatischen oder cylindrischen Ansatz verlängert ist, der drei- oder viermal so lange ist, als die kleinste Dimension der Oeffnung, oder wo die Wand, durch welche das Wasser ausströmt, eine Dicke eben so oder 1½ mal so groß als die kleinste Dimension der Oeffnung hat, ist die Geschwindigkeit durch die Anwesenheit der Wände geändert, und in den gewöhnlichen Fällen gleich 0,82 von der, welche der Druckhöhe über dem Mittel der Oeffnung entspricht.

Darnach hat man die Regel:

Um die mittlere Ausflußgeschwindigkeit für eine Ansatzröhre zu haben, multiplizire man die Geschwindigkeit, welche zur Druckhöhe über der Mitte der Oeffnung gehört, mit 0,82.

Höhe, zu der sich ein Wasserstrahl erheben kann, der durch eine Ansatzröhre geht.

6. Hieraus folgt, daß die Höhe h′, zu der sich das Wasser in Folge dieser verminderten Geschwindigkeit erheben kann,

$$h' = \frac{(0{,}82\ V)^2}{2g} = \frac{0{,}67\ V^2}{2g} = 0{,}67\ H$$

ist.

Unterscheidung zwischen theoretischer und effektiver Ausflußmenge.

7. Man nennt theoretische Ausflußmenge bei einer Oeffnung die, welche man aus der Theorie der Bewegung der

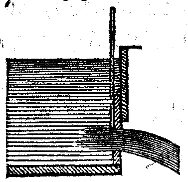
Flüssigkeiten in der Hypothese des Parallelismus der Schichten und ohne Berücksichtigung der Zusammenziehung des Strahls ableitet, und *effektive Ausflußmenge* die, welche in der That vorhanden ist, und welche man vor allem kennen lernen muß.

Wir geben zuerst die Formeln und Regeln an, zu denen die Theorie führt, um die erste zu berechnen, und werden später Mittel kennen lernen, um hieraus in den gewöhnlichsten Fällen der Praxis die effektive Ausflußmenge zu bestimmen.

Die gebräuchlichen Ausflußöffnungen können in drei Klassen getheilt werden.

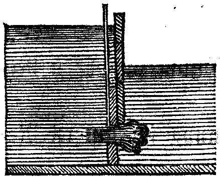
8. Zu dem Ende bemerken wir, daß man die in Gebrauch stehenden Oeffnungen in drei Klassen theilen kann, welche sind:

Fig. 1.



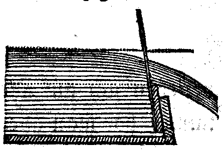
1. Die Oeffnungen, *welche in die freie Luft* münden (Fig. 1) und deren obere Seite unter dem Niveau des Reservoirs liegen.

Fig. 2.



2. Die Oeffnungen, welche in ein unteres Reservoir münden (Fig. 2), deren obere Seite zugleich unter dem Niveau des obern und des untern Reservoirs liegt. Man sagt dann die *Oeffnung sei untergetaucht*.

Fig. 3.



3. Die *Ueberfälle* (Fig. 3), bei denen das Wasser über eine Schütze oder einen Fachbaum fließt, und welche nur unten und auf den Seiten begrenzt sind.

Theoretische Ausflußmenge durch Oeffnungen mit Wasserdruck über der obern Seite; Oeffnungen, welche in die freie Luft münden.

9. Wir beschäftigen uns zuerst mit der Berechnung der Ausflußmenge für die beiden ersten Arten der Oeffnungen.

Nennen wir

L die Weite der Oeffnung,

E ihre Höhe,

H die Druckhöhe über dem Mittel der Oeffnung,

Q die theoretische Ausflußmenge in 1″,

so hat man

$$Q = LE\sqrt{2gH}$$

wo man $\sqrt{2gH}$ aus der Tabelle in Nr. 4 nehmen kann.

Beispiel.

Welches ist die theoretische Ausflußmenge in 1″ durch eine Oeffnung von $1^m,20$ Weite, $0^m,15$ Höhe bei einem Druck von $1^m,30$ über dem Mittel?

Die Fläche der Oeffnung $= 1,20 \times 0,15 = 0^{mq},180$, die mittlere Ausflußgeschwindigkeit $= 4,43 . \sqrt{1,30} = 5^m,05$ (Nr. 2): man hat daher die theoretische Ausflußmenge

$$Q = 0,180 \times 5,05 = 0^{mc},910.$$

Untergetauchte Oeffnungen.

10. Nennt man

L die Weite,

E die Höhe der Oeffnung,

H die Druckhöhe über der Sohle der Oeffnung im obern Reservoir,

h die Druckhöhe über der Sohle der Oeffnung im untern Reservoir und

Q die theoretische Ausflußmenge in 1″,

so hat man

$$Q = LE\sqrt{2g(H-h)}$$

Anmerkung. Die vorstehenden Regeln beziehen sich auf alle Oeffnungen, welches auch ihre Form sei; immer hat man aber für **LE** die Fläche der Oeffnung zu setzen.

Beispiel.

Welches ist die theoretische Ausflußmenge in einer Sekunde bei einer untergetauchten Oeffnung von $0^m,90$ Weite, $0^m,10$ Höhe, wenn das Niveau des obern Reservoirs $1^m,40$ über dem Niveau des untern steht?

Die Fläche der Oeffnung ist $0{,}90 \times 0{,}10 = 0^{mq}{,}09$, die mittlere Geschwindigkeit des Ausflusses $= 4{,}43 \cdot \sqrt{1{,}40} = 5^{m}{,}24$.

Die theoretische Ausflußmenge $Q = 0{,}09 \times 5{,}24 = 0^{mc}{,}4716$.

Effektive Ausflußmenge durch Oeffnungen, bei denen das Wasser über dem obern Rand steht.

11. Die effektive Ausflußmenge ist immer geringer als die theoretische, und ist um so mehr hiervon verschieden, je beträchtlicher die Wirkungen der Zusammenziehung sind. Da diese Wirkungen hauptsächlich von der Anordnung der Oeffnung in den Wänden des Reservoirs, von den Dimensionen der Oeffnung, von der Druckhöhe über derselben, und endlich in gewissen Fällen von dem Daseyn von Gerinnen, welche das Wasser nach seinem Austritt fortführen, abhängen, so wollen wir die Regeln anführen, die man in den wichtigsten Fällen, welche bei solchen Anlagen vorkommen, zu befolgen hat.

Die Zusammenziehung ist vollständig.

12. Ist die Oeffnung vom Boden und den Seitenwänden des Reservoirs um $1^1/_2$ bis 2 mal ihre kleinste Dimension entfernt, so strömen die flüssigen Faden von allen Seiten gegen sie, und die Zusammenziehung findet auf allen Seiten statt: man sagt dann sie sei vollständig.

Die Beobachtungen über den Ausfluß des Wassers sind hauptsächlich bezüglich auf diesen Fall angestellt worden. Die vollständigsten und genausten verdanken wir den Herrn Poncelet und Lesbros*).

Das Verhältniß der effektiven Ausflußmenge zur theoretischen ändert sich mit der kleinsten Dimension der Oeffnung und der Druckhöhe über ihrem obern Rand. Seine Werthe, welche diese geschickten Ingenieure bestimmt haben, sind in der folgenden

*) Expériences hydrauliques sur les lois de l'écoulement de l'eau entreprises à Metz, par MM. Poncelet et Lesbros, d'après les ordres du ministre de la guerre. — Paris; Bachelier, libraire. 1832.

Tabelle unter dem Namen Coefficienten der theoretischen Ausflußmenge aufgezeichnet. Diese Tabelle hat zwei Eingänge, der eine bezieht sich auf die Höhen der Oeffnungen, der andere auf die Druckhöhen über dem obern Rand.

Da Fälle vorkommen können, wo man genöthigt ist, den Wasserstand über der Oeffnung unmittelbar an dieser zu messen, wo er immer kleiner ist als dort wo das Wasser ruhig steht, so hat man in dieser Tabelle die Werthe des Coefffcienten gegeben:

1. Für den Fall, daß die Wasserstände an einem ruhigen Orte gemessen wurden, und

2. für den Fall, wo die Wasserstände unmittelbar an der Oeffnung gemessen wurden.

Tafel der Coefficienten der theoretischen Ausflußmenge für rechtwinkliche, vertikale Oeffnungen in dünnen Wänden, bei vollständiger Contraktion und Ausfluß des Wassers in die freie Luft. (Die Wasserstände sind bei einem Punkte im Reservoir gemessen, wo das Wasser vollkommen ruhig ist.)

Wasserstande über dem obern Rand der Oeffnung.	Coefficienten der theoretischen Ausflußmenge für Höhen der Oeffnungen von					
	$0^m,20.$	$0^m,10.$	$0^m,05.$	$0^m,03.$	$0^m,02.$	$0^m,01.$
m 0,000	"	"	"	"	"	"
0,005	"	"	"	"	"	0,705
0,010	"	"	0,607	0,630	0,660	0,701
0,015	"	0,593	0,612	0,632	0,660	0,697
0,020	0,572	0,596	0,615	0,634	0,659	0,694
0,030	0,578	0,600	0,620	0,638	0,659	0,688
0,040	0,582	0,603	0,623	0,640	0,658	0,683
0,050	0,585	0,605	0,625	0,640	0,658	0,679
0,060	0,587	0,607	0,627	0,640	0,657	0,676
0,070	0,588	0,609	0,628	0,639	0,656	0,673
0,080	0,589	0,610	0,629	0,638	0,656	0,670
0,090	0,591	0,610	0,629	0,637	0,655	0,668
0,100	0,592	0,611	0,030	0,637	0,654	0,666
0,120	0,593	0.612	0,630	0,636	0,653	0,663
0,140	0,595	0,613	0,630	0,635	0,651	0,660
0,160	0,596	0,614	0,631	0,634	0,650	0,658
0,180	0,597	0,615	0,630	0,634	0,649	0,657
0,200	0,598	0,615	0,630	0,633	0,648	0,655
0,250	0,599	0,616	0,630	0.632	0,646	0,653
0,300	0,600	0,616	0,629	0,632	0,644	0.650
0,400	0,602	0,617	0,628	0,631	0,642	0,647
0,500	0.603	0,617	0,628	0,630	0,640	0,644
0,600	0,604	0,617	0,627	0,630	0,638	0,642
0,700	0.604	0,616	0,627	0,629	0,637	0,640
0,800	0,605	0,616	0,627	0,629	0,636	0,637
0,900	0,605	0,615	0,626	0,628	0,634	0,635
1,000	0,605	0,615	0,626	0,628	0,633	0,632
1,100	0,604	0,614	0,625	0,627	0,631	0,629
1,200	0.604	0,614	0,624	0,626	0,628	0,626
1,300	0,603	0,613	0,622	0,624	0,625	0,622
1,400	0,603	0,612	0,621	0,622	0,622	0,618
1,500	0,602	0,611	0,620	0,620	0,619	0,615
1,600	0,602	0,611	0,618	0,618	0,617	0,613
1,700	0,602	0,610	0,617	0,616	0,615	0,612
1,800	0,601	0,609	0,615	0,615	0,614	0.612
1,900	0,601	0,608	0,614	0,613	0,612	0,611
2,000	0,601	0,607	0,613	0,612	0,612	0,611
3,000	0,601	0,603	0,606	0,608	0,610	0,609

Tafel der Coefficienten der theoretischen Ausflußmenge für rechtwinkliche, vertikale Oeffnungen in einer dünnen Wand, bei vollständiger Contraktion und Ausfluß in die freie Luft. (Die Wasserstände sind unmittelbar an der Schütze gemessen.)

Wasserstände über dem obern Rand der Oeffnung.	Coefficienten der theoretischen Ausflußmenge für Höhen der Oeffnungen von					
	0m,20.	0m,10.	0m,05.	0m,03.	0m,02.	0m,01.
m						
0,000	0,619	0,667	0,713	0,766	0,783	0,795
0,005	0,597	0,630	0,668	0,725	0,750	0,778
0,010	0,595	0,618	0,642	0,687	0,720	0,762
0,015	0,594	0,615	0,639	0,674	0,707	0,745
0,020	0,594	0,614	0,638	0,668	0,697	0,729
0,030	0,593	0,613	0,637	0,659	0,685	0,708
0,040	0,593	0,612	0,636	0,654	0,678	0,695
0,050	0,593	0,612	0,636	0,651	0,672	0,686
0,060	0,594	0,613	0,635	0,647	0,668	0,681
0,070	0,594	0,613	0,635	0,645	0,665	0,677
0,080	0,594	0,613	0,635	0,643	0,662	0,675
0,090	0,595	0,614	0,634	0,641	0,659	0,672
0,100	0,595	0,614	0,634	0,640	0,657	0,669
0,120	0,596	0,614	0,633	0,637	0,655	0,665
0,140	0,597	0,614	0,632	0,636	0,653	0,661
0,160	0,597	0,615	0,631	0,635	0,651	0,659
0,180	0,598	0,615	0,631	0,634	0,650	0,657
0,200	0,599	0,615	0,630	0,633	0,649	0,656
0,250	0,600	0,616	0,630	0,632	0,646	0,653
0,300	0,601	0,616	0,629	0,632	0,644	0,651
0,400	0,602	0,617	0,629	0,631	0,642	0,647
0,500	0,603	0,617	0,628	0,630	0,640	0,645
0,600	0,604	0,617	0,627	0,630	0,638	0,643
0,700	0,604	0,616	0,627	0,629	0,637	0,640
0,800	0,605	0,616	0,627	0,629	0,636	0,637
0,900	0,605	0,615	0,626	0,628	0,634	0,635
1,000	0,605	0,615	0,626	0,628	0,633	0,632
1,100	0,604	0,614	0,625	0,627	0,631	0,629
1,200	0,604	0,614	0,624	0,626	0,628	0,626
1,300	0,603	0,613	0,622	0,624	0,625	0,622
1,400	0,603	0,612	0,621	0,622	0,622	0,618
1,500	0,602	0,611	0,620	0,620	0,619	0,615
1,600	0,602	0,611	0,618	0,618	0,617	0,613
1,700	0,602	0,610	0,617	0,616	0,615	0,612
1,800	0,601	0,609	0,615	0,615	0,614	0,612
1,900	0,601	0,608	0,614	0,613	0,613	0,611
2,000	0,601	0,607	0,614	0,612	0,612	0,611
3,000	0,601	0,603	0,606	0,608	0,610	0,609

Regel zur Berechnung der effektiven Ausflußmenge bei vollständiger Contraktion.

13. Mit Hilfe dieser Tafel wird es leicht, die effektive Ausflußmenge für alle Oeffnungen, bei einem Wasserstand über dem obern Rand und bei vollständiger Contraktion zu berechnen.

Man hat folgende Regel zu befolgen:

Man suche in der Tafel unter Nr. 12 den Werth des Coefficienten der Ausflußmenge, welcher zu der gegebenen Oeffnung und dem gegebenen Wasserstand über dem obern Rand gehört, und multiplizire die gefundene Zahl mit der theoretischen Ausflußmenge, so ist das Produkt die effektive Ausflußmenge in 1″.

Diese Regel ist auf untergetauchte wie auf Oeffnungen anwendbar, die in die freie Luft münden.

Erstes Beispiel.

Welches ist die effektive Ausflußmenge durch eine Oeffnung von $0^m,10$ Höhe und $1^m,20$ Weite, bei $1^m,30$ Wasserstand über dem Mittel und Ausfluß in die freie Luft?

Die Geschwindigkeit, welche zu dem Wasserstand über dem Mittel gehört, ist (Regel unter Nr. 2 und Tafel unter Nr. 4)

$$4,43 \sqrt{1,30} = 5^m,05$$

Die Fläche der Oeffnung $= 1,20 \times 0,10 = 0^{mq},12$.

Die theoretische Ausflußmenge ist (Nr. 9) $0,12 \times 5,05 = 0^{mc},606$.

Die Tafel Nr. 12 gibt als Coefficienten in diesem Fall, wenn der Wasserstand an einem Ort gemessen wurde, wo das Wasser in Ruhe ist, die Zahl 0,614.

Die effektive Wassermenge ist daher, nach obiger Regel, $= 0,614 \times 0^{mc},606 = 0^{mc},372$.

Zweites Beispiel.

Welches ist die Wassermenge, welche in einer Sekunde durch eine untergetauchte Oeffnung von $0^m,10$ Höhe und $0^m,90$ Weite, bei einem Niveauunterschied von $1^m,40$ in beiden Reservoiren in der That ausfließt, wenn vollständige Contraktion statt findet?

Die zum Niveauunterschiede gehörige Geschwindigkeit ist $4{,}43 \cdot \sqrt{1{,}40} = 5^{m},24$ (Regel Nr. 2 und Tafel in Nr. 4).

Die Fläche der Mündung ist $0^{mq},09$.

Die theoretische Ausflußmenge für die Sekunde ist

$$0{,}09 \times 5{,}24 = 0^{mc},4716.$$

Die Tafel in Nr. 12 gibt als Coefficienten für diesen Fall, wenn der Niveauunterschied unmittelbar an der Schütze gemessen wurde, die Zahl 0,615.

Die effektive Ausflußmenge ist nun nach obiger Regel

$$0{,}615 \times 0^{mc},4716 = 0^{mc},2900.$$

Bemerkung über den Gebrauch dieser Tafeln und über die vorhergehende Regel.

14. Wenn die Höhe der Oeffnung oder der Wasserstand über dem obern Rande zwischen die in den Tafeln aufgenommenen Werthe fallen, so nimmt man für den Coefficienten das arithmetische Mittel zwischen den nächstliegenden.

Drittes Beispiel.

Welches ist die effektive Ausflußmenge in der Sekunde durch eine Oeffnung von $0^{m},18$ Höhe und $0^{m},80$ Weite bei einem Wasserstand von $1^{m},50$ über dem Mittel, gemessen an einem Ort, wo das Wasser unbewegt ist?

Die Geschwindigkeit, welche dem Wasserstand entspricht, ist (Regel unter Nr. 2 oder Tafel in Nr. 4)

$$4{,}43 \cdot \sqrt{1{,}50} = 5^{m},423$$

Die Fläche der Oeffnung ist

$$0{,}18 \times 0{,}80 = 0^{mq},144$$

Die theoretische Ausflußmenge ist (Regel in Nr. 9)

$$0{,}144 \times 5{,}423 = 0^{mc},781.$$

Die Höhe der Oeffnung liegt zwischen $0^{m},10$ und $0^{m},20$, der Coefficient ist daher das Mittel zwischen 0,602 und 0,611 oder 0,607.

Die effektive Ausflußmenge ist daher

$$0{,}607 \times 0^{mc},781 = 0^{mc},474.$$

Anmerkung. Ueberschreitet die Höhe der Oeffnung $0^{m},20$, so nimmt man als Coefficienten der

Ausflußmengeden, welcherder Oeffnung von $0^m,20$ Höhe entspricht.

Die Contraktion ist nicht vollständig.

15. Bildet eine von den Seiten der Oeffnung eine Verlängerung einer Seite des Reservoirs, so daß die Wasserfäden parallel mit dieser Wand austreten, so ist die Wirkung der Contraktion für diese Seite vermindert oder ganz aufgehoben. Man sagt dann, die Zusammenziehung finde nur an den drei andern Seiten statt. Dieß ist z. B. der Fall, wenn die Sohle der Oeffnung mit dem Boden des Reservoirs zusammenfällt. Dasselbe kann zu gleicher Zeit mit den andern Seiten der Fall seyn, und darnach hat man folgende Regel zu beobachten:

Um die effektive Ausflußmenge in der Sekunde für eine Oeffnung zu erhalten, bei der sich der Wasserstand über den obern Rand erhebt, und bei der die Zusammenziehung an einer oder mehreren Seiten nicht statt hat, multiplizire man den durch die Tafel in Nr. 12 gegebenen Coefficienten mit
1,035 wenn die Contraktion auf 3 Seiten statt findet
1,072 " " " " 2 " " "
1,125 " " " " 1 " " "
dann multiplizire man die theoretische Wassermenge durch den so erhaltenen Coefficienten, und das Produkt wird die effektive Wassermenge seyn.

Erstes Beispiel.

Welches ist die effektive Ausflußmenge für eine Oeffnung von $0^m,15$ Höhe und $1^m,20$ Weite, bei einem Wasserstand von $1^m,30$ über der Mitte, wenn das Wasser in die freie Luft ausströmt, und die Sohle der Oeffnung mit dem Boden des Reservoirs zusammenfällt?

Der Coefficient, wenn die Contraktion vollständig wäre, würde $\frac{0,603 + 0,631}{2} = 0,608$ seyn; da aber die Contraktion nur an 3 Seiten statt findet, so wird er

$$0,608 \times 1,035 = 0,630$$

Die theoretische Ausflußmenge ist

$$0{,}15 \times 1{,}20 \times 4{,}43 \,.\, \sqrt{1{,}30} = 0^{mc}{,}910$$

die effektive daher

$$0{,}630 \times 0^{mc}{,}910 = 0^{mc}{,}573.$$

Zweites Beispiel.

Welches ist bei derselben Oeffnung und demselben Wasserstand die Ausflußmenge, wenn noch eine der vertikalen Seiten in eine Verlängerung einer der Seiten des Reservoirs fällt?

Die Contraktion hat jetzt nur an 2 Seiten statt und der Coefficient der theoretischen Ausflußmenge ist daher

$$0{,}608 \times 1{,}072 = 0{,}652$$

und die effektive Ausflußmenge

$$0{,}652 \times 0^{mc}{,}910 = 0^{mc}{,}593.$$

Drittes Beispiel.

Wie groß ist unter denselben Umständen die Ausflußmenge, wenn noch die zweite vertikale Seite der Oeffnung mit der Wand des Reservoirs zusammenfällt?

Die Contraktion hat nun nur noch an einer Seite statt, der Coefficient ist daher

$$0{,}608 \times 1{,}125 = 0{,}684$$

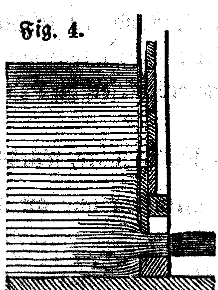
und die effektive Ausflußmenge

$$0{,}684 \times 0^{mc}{,}910 = 0^{mc}{,}623.$$

Schützen bei Schleusen.

16. Die Schützöffnungen bei Schleusen haben gewöhnlich ihre Sohle sehr nahe am Boden. Dort hat man die Regel:

Fig. 4.



Um die effektive Ausflußmenge zu erhalten, multiplizire man die theoretische mit 0,625.

Diese Regel ist auf untergetauchte wie auf Oeffnungen anwendbar, die in die freie Luft münden.

Beispiel.

Wie viel Wasser fließt in einer Sekunde durch eine Schützöffnung eines Schleusenthors, welche $0^m,50$ Höhe und $0^m,70$ Weite hat, in die freie Luft, wenn der Wasserstand $2^m,50$ über der Sohle beträgt?

Die theoretische Ausflußmenge ist nach der Regel der Nr. 9

$$0,50 \times 0,70 \times 4,43 \times \sqrt{2,25} = 2^{mc},325.$$

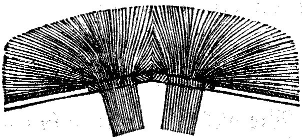
Die effektive daher

$$0,625 \times 2^{mc},325 = 1^{mc},455.$$

Nahe liegende Oeffnungen.

17. Sind zwei Schleusenthürchen zu gleicher Zeit offen (Fig. 5), wie bei den Thoren einer Schleusenkammer, so wird der Coefficient der Ausflußmenge kleiner und gleich 0,55. Diese Verminderung ist bei großen Schleusenöffnungen noch zu bemerken, selbst wenn sie 2 bis 3 Meter von einander entfernt liegen.

Fig. 5.



Beispiel.

Welches ist die effektive Ausflußmenge bei Oeffnungen, wie die vorhergehende, wenn diese um weniger als 3^m auseinander liegen?

Die theoretische Ausflußmenge ist

$$2 \times 2^{mc},325 = 4^{mc},650$$

und die effektive

$$0,55 \times 4^{mc},650 = 2^{mc},558.$$

Geneigte Schützen.

18. Sind beide Seiten der Oeffnung und ihre Sohle in der Verlängerung der Wände des Reservoirs und ist die Schütze überdieß geneigt, so ist der Coefficient der Ausflußmenge für

eine Neigung der Schütze von { 1 Grundlinie auf 2 Höhe 0,74
1 „ „ 1 „ 0,80

Diese Anordnung findet man gewöhnlich bei Wasserrädern mit krummen Schaufeln.

Es ist klar, daß hierbei die Höhe der Oeffnung vertikal oder genauer, rechtwinklich auf den Boden des Reservoirs gemessen werden muß.

Hieraus erhält man folgende Regel:

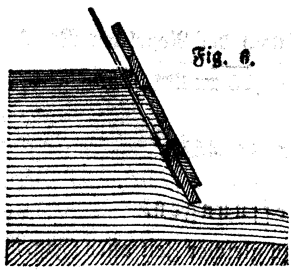


Fig. 6.

Um die effektive Ausflußmenge in einer Sekunde für eine Oeffnung, die um 1/2 (Fig. 6) oder 1/1 (Fig. 7) geneigt ist, und bei der die Contraktion nur an der obern Seite statt findet, multiplizire man die theoretische Ausflußmenge im ersten Fall mit 0,74, im zweiten mit 0,80.

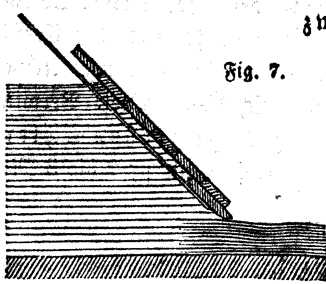


Fig. 7.

Erstes Beispiel.

Wie viel Wasser fließt in einer Sekunde durch eine Oeffnung von 1^m Weite und $0^m,20$ Höhe, wenn diese so geneigt ist, daß auf die Grundlinie 1 die Höhe 2 kommt, bei $1^m,50$ Wasserstand über der Sohle, wenn nur am obern Rand der Oeffnung Zusammenziehung statt findet?

Die theoretische Ausflußmenge ist

$$1 \times 0{,}20 \times 4{,}43 \times \sqrt{1{,}40} = 1^{mc},048$$

und die effektive

$$0{,}74 \times 1^{mc},048 = 0^{mc},776.$$

Zweites Beispiel.

Welches würde aber die effektive Ausflußmenge seyn, wenn bei derselben Oeffnung die Schütze um 1 auf 1 oder unter 45° geneigt wäre?

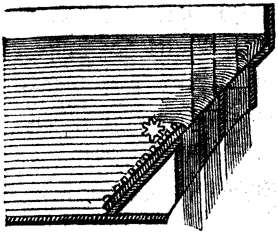
Die theoretische Ausflußmenge ist noch $1^{mc},048$
und die effektive nun

$$0{,}80 \times 1^{mc},048 = 0^{mc},838.$$

Oeffnungen mit Ansätzen, welche das Wasser in die Zellen der Wasserräder leiten.

19. Sind die Oeffnungen mit Ansätzen versehen, bestimmt, das Wasser in Zellen zu führen, wie man das häufig bei oberschlächtigen Wasserrädern ausführt, so erhält man die effektive Wassermenge durch folgende Regel:

Fig. 8.



Man berechne die theoretische Ausflußmenge für jede der Oeffnungen oder Ansätze, welche die Schütze frei läßt, wobei man für die Fläche den kleinsten Querschnitt des Ansatzes und für die Druckhöhe den Wasserstand über der Mitte dieses kleinsten Querschnittes nimmt; die theoretischen Ausflußmengen der verschiedenen Oeffnungen addire man, und multiplizire die Summe mit 0,75; das Resultat ist die effektive Ausflußmenge.

Beispiel.

Wie viel Wasser fließt in 1″ durch eine Oeffnung von 40° Neigung und $2^m,63$ Weite, welche aus drei Theilen zusammengesetzt ist, für welche man folgende Daten der Beobachtung hat?

	Breite.	Höhe.	Wasserstand über der Mitte	Theoretische Ausflußmenge
	m	m	m	mc
1. Oeffnung	2,63	0,070	0,120	0,282
2. „	2,63	0,070	0,260	0,411
3. „	2,63	0,045	0,346	0,308
Ganze theoretische Ausflußmenge				$1^{mc},001$

Die effektive Ausflußmenge ist $0,75 \times 1^{mc},001 = 0^{mc},751$.

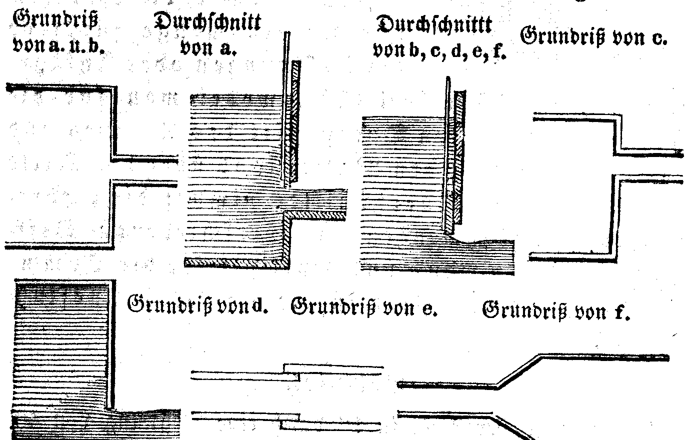
Oeffnungen mit einem Gerinne.

20. Die Ausflußöffnungen sind meistens mit einem mehr oder weniger geneigten Gerinne oder einem Kanal verbunden. Nach den Erfahrungen von Bossut und den neuern von Poncelet und Lesbros übt die Gegenwart des Gerinnes keinen bemerkenswerthen

Einfluß auf die Ausflußmenge aus, sobald der Wasserstand über dem Mittel nicht unter

0m,50 bis 0m,60	für Oeffnungen	von 0m,20 bis 0m,15	Höhe ist.
0m,30 „ 0m,40	„ „	„ 0m,10	
0m,20	„ „	„ 0m,05 und darunter.	

Selten nur ist der Wasserstand über dem Mittel der Oeffnung unter den angegebenen Grenzen; allein da dieß doch zuweilen vorkommt, so gibt die folgende Tafel den Werth des Coefficienten für die verschiedenen, in Fig. 9 angezeigten Anordnungen.



Höhe der Oeffnung.	Wasserstand über der Mitte der Oeffnung.	Coefficienten der Ausflußmengen für die Anordnungen a.	b.	c.	d.	e.	f.
0,20	0,40	0,591	0,580	0,582	0,577	0,603	0,597
	0,24	0,559	0,552	0,550*	0,548	0,576	0,573
	0,12	0,483	0,482	0,484	0,485	0,484	0,483*
0,10	0,16	0,590	0,580*	0,583*	0,585*	0,606*	0,604*
	0,11	0,562	0,560*	0,561*	0,562*	0,566*	0,564*
	0,09	0,523	0,522*	0,522*	0,517*	0,510*	0,510*
	0,06	0,464	0,463*	0,462*	0,462*	0,460*	0,460*
0,05	0,20	0,631	0,615	0,618*	0,622	0,636	0,628
	0,11	0,614	0,597	0,598	0,601	0,610	0,609
	0,05	0,495	0,493	0,486	0,490	0,462	0,501
	0,04	0,452	0,443	0,442*	0,442	0,417*	„
0,03	0,20	0,632	0,631*	0,632*	0,635	0,650*	0,651*
	0,06	0,627	0,605*	0,602*	0,607	0,572*	0,591*

Anmerkung. Die mit einem Stern (*) bezeichneten Zahlen sind durch Einschaltung gefunden.

Mit Hilfe dieser Werthe der Coefficienten für die Ausflußmenge ist es leicht bei kleinen Wasserständen für Oeffnungen, deren Anordnung einer der Zeichnungen analog ist, die effektive Ausflußmenge zu berechnen; man befolgt die Regel:

Man multiplizirt die theoretische Ausflußmenge, berechnet nach Nr. 9 oder Nr. 10, mit dem Coefficienten, den obige Tafel für diese Druckhöhe, Oeffnung und Anordnung gibt.

Für alle Zwischenfälle kann man mit genügender Annäherung von den nächstliegenden Coefficienten das arithmetische Mittel nehmen.

Beispiele.

Anordnung a. Welches ist die effektive Ausflußmenge in 1″ durch eine Oeffnung von $0^m,65$ Breite und $0^m,20$ Höhe bei einem Wasserstand von $0^m,24$ über der Mitte bei der Anordnung a?

Die theoretische Ausflußmenge (Nr. 9) ist

$$0{,}65 \times 0{,}20 \times 4{,}43 \times \sqrt{0{,}24} = 0^{mc},282.$$

Der Coefficient ist hier nach der vorhergehenden Tafel $= 0{,}559$. Die effektive Ausflußmenge ist

$$0{,}559 \times 0^{mc},282 = 0^{mc},158.$$

Anordnung b. Welches ist die effektive Ausflußmenge in 1″ durch eine Oeffnung von $0^m,80$ Weite, $0^m,10$ Höhe bei einer Druckhöhe von $0^m,09$ über der Mitte bei der Anordnung b?

Die theoretische Ausflußmenge

$$= 0{,}80 \times 0{,}10 \times 4{,}43 \sqrt{0{,}09} = 0^{mc},106.$$

Der Coefficient der Ausflußmenge ist 0,522.

Die effektive Ausflußmenge $= 0{,}522 \times 0^{mc},106 = 0^{mc},0554.$

Anordnung c. Welches ist die effektive Ausflußmenge in 1″ durch eine Oeffnung von $0^m,70$ Weite, $0^m,05$ Höhe bei einer Druckhöhe von $0^m,05$ über der Mitte und der Anordnung c?

Die theoretische Ausflußmenge

$$= 0{,}70 \times 0{,}05 \times 4{,}43 \times \sqrt{0{,}05} = 0^{mc},0348.$$

Der Coefficient $= 0{,}486$.

Die effektive Ausflußmenge

$$= 0{,}486 \times 0^{mc},0348 = 0^{mc},0168.$$

Anordnung d. Welches ist die wirkliche Ausflußmenge in 1'' durch eine Oeffnung von $0^m,55$ Weite, $0^m,15$ Höhe bei einer Druckhöhe von $0^m,12$ über der Mitte und bei der Anordnung d?

Die theoretische Ausflußmenge

$$= 0{,}55 \times 0{,}15 \times 4{,}43 \times \sqrt{0{,}12} = 0^{mc},1265.$$

Der Coefficient ist

$$\frac{0{,}485 + 0{,}562}{2} = 0{,}523.$$

Die effektive Ausflußmenge $= 0{,}523 \times 0^{mc},1265 = 0^{mc},0663.$

Anordnung e. Welches ist die effektive Ausflußmenge in 1'' durch eine Oeffnung von $1^m,10$ Weite und $0^m,10$ Höhe bei einer Druckhöhe von $0^m,11$ über der Mitte und der Anordnung e?

Die theoretische Ausflußmenge

$$= 1{,}10 \times 0{,}10 \times 4{,}43 \times \sqrt{0{,}11} = 0^{mc},161.$$

Der Coefficient $= 0{,}566.$

Die effektive Ausflußmenge $= 0{,}566 \times 0^{mc},161 = 0^{mc},0912.$

Anordnung f. Welches ist die effektive Ausflußmenge in 1'' durch eine Oeffnung von $0^m,90$ Weite und $0^m,20$ Höhe bei einer Druckhöhe von $0^m,12$ über der Mitte der Oeffnung und der Anordnung f?

Die theoretische Ausflußmenge

$$= 0{,}90 \times 0{,}20 \times 4{,}43 \times \sqrt{0{,}12} = 0^{mc},276.$$

Der Coefficient ist 0,483.

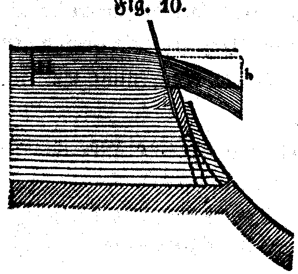
Die effektive Ausflußmenge $= 0{,}483 \times 0^{mc},276 = 0^{mc},1335.$

Wassermenge bei Ueberfällen.

21. Das Volumen Wasser, welches in 1'' durch einen Ueberfall fließt, erhält man mittelst folgender Formel

$$Q = mLH\sqrt{2gH}$$

Fig. 10.



in welcher

Q das Volumen in Kubikmetern ist,

L die Weite des Ueberfalls,

H die Höhe des Wasserspiegels im Reservoir über der Sohle des Ueberfalls oder über der herabgelassenen Schütze, über welche (Fig. 10) das Wasser fließt. Diese Höhe muß an einem Orte gemessen seyn, wo die Senkung des Wasserspiegels, welche bei dem Ueberfall eintritt, noch nicht merklich ist,

$2g = 19^m,62$,

m ein Coefficient, welcher nach den Erfahrungen von Poncelet und Lesbros folgende Werthe hat:

Werthe von H	$0^m,01$	$0^m,02$	$0^m,03$	$0^m,04$	$0^m,06$	$0^m,08$	$0^m,10$	$0^m,15$	$0^m,20$	$0^m,22$
Werthe von m	0,424	0,417	0,412	0,407	0,401	0,397	0,395	0,393	0,390	0,385

In den gewöhnlichen Fällen und in den Grenzen der Praxis kann man im Mittel $m = 0,405$ nehmen, so daß man die praktische Formel für die Wassermenge bei Ueberfällen

$$Q = 0,405 \; L H \sqrt{2gH} = 1,79 \, L H \sqrt{H} \text{ hat.}$$

Erstes Beispiel.

Welches ist die Wassermenge, welche man in 1″ durch einen Ueberfall von 10^m Weite erhält, dessen Sohle $0^m,20$ unter dem Wasserspiegel im Reservoir liegt?

Die vorstehende Formel gibt

$$Q = 0,390 \times 10 \times 0,20 \times 4,43 \times \sqrt{0,20} = 1^{mc},545.$$

Die praktische Regel

$$Q = 1,79 \times 10 \times 0,20 \times \sqrt{0,20} = 1^{mc},605.$$

Zweites Beispiel.

Wie viel Wasser fließt in 1″ über eine Schütze von 3^m Breite, welche einen Ueberfall bildet, und $0^m,15$ unter den Wasserspiegel im Reservoir gesenkt ist?

Die Formel gibt

$$Q = 0,393 \times 3 \times 0,15 \times 4,43 \times \sqrt{0,15} = 0^{mc},304.$$

Bemerkung über das Messen des Wasserstandes im Reservoir über der Sohle des Ueberfalls.

22. Bei Anwendung der angeführten Formel und Regel muß man, wie bereits in Nr. 21 gesagt wurde, die Höhe des Wasserspiegels im Reservoir über der untern Seite der Oeffnung an einem Ort messen, wo sich der Wasserspiegel noch nicht merklich gesenkt hat, was erfordert, daß das Reservoir in einer Entfernung von wenigstens 1^m von dem Ueberfall geöffnet werde, und daß man eine horizontale Linie ziehen könne.

Ist der Ueberfall weniger breit als das Reservoir, so ist das Niveau in den Winkeln zur Seite des Ueberfalls in gleicher Höhe wie in hinreichend großer Entfernung oberhalb. Es genügt daher die Höhe des Wassers über dem Fachbaum in diesen Punkten zu messen um **H** oder die Druckhöhe zu haben.

Der Ueberfall hat die nämliche Breite, wie der Zuleitungskanal.

23. Hat der Ueberfall dieselbe Breite wie der Kanal, welcher das Wasser zuführt, und ist die Tiefe dieses Kanals nahezu dem Wasserstand über dem Fachbaum gleich, so wird die Ausflußmenge größer, und der Coefficient mit dem man das Produkt $HL\sqrt{2gH}$ multiplizieren muß, wird im Mittel ungefähr 0,42.*)

Fall, wo man nur die Dicke der Wasserschichte messen kann, welche durch den Ueberfall fließt.

24. Ist das Reservoir bedeckt, oder kann man die Höhe des Niveaus im Reservoir über der Sohle des Ueberfalls nicht bestimmen, so muß man sich begnügen, die Dicke der Wasserschichte zu messen, welche über den Fachbaum fließt.

Hier mißt man nun diese Dicke unmittelbar über der innern Kante der Sohle oder Schütze (Fig. 10) und berechnet daraus die Höhe **H** des Niveaus im Reservoir über der Sohle der Oeffnung annähernd mit Hilfe der Relation

$H = 1{,}178\,h$, wenn die Breite des Ueberfalls $^4/_5$ von der des Reservoirs ist.
$H = 1{,}25\,h$, „ „ „ „ „ gleich ist der „ „

Dabei ist h die gemessene Dicke der Wasserschichte.

Beispiel.

Wie viel Wasser fällt in 1″ über einen Ueberfall von 5^m Breite, wenn das Wasser über der innern Kante des Ueberfalls $0^m,12$ hoch fließt?

Die Höhe des Wasserspiegels im Reservoir über der Sohle des Ueberfalls ist

$H = 1{,}25 \times 0^m{,}12 = 0^m{,}15$ und die Wassermenge in 1″

$$Q = 0{,}393 \times 5 \times 0{,}15 \times 4{,}43\sqrt{0{,}15} = 0^{mc}{,}507.$$

Ueberfälle mit Gerinnen.

25. Ist ein Ueberfall mit einem wenig geneigten Gerinne ver-

*) Expériences sur l'écoulement de l'eau par les déversoirs, faites au château d'eau de Toulouse, par M. Castel. Note de M. D'aubuisson, annales des mines, 3e série, tome IX, 2 livraison de 1836.

sehen, so ist die Abflußmenge eine andere, und zwar muß man dann, nach den Erfahrungen von Poncelet und Lesbros, das Produkt

$$L H \sqrt{2 g H}$$

durch folgende Zahlen multipliziren, je nach der Anordnung a, b, d, e, f in Fig. 9 unter Nr. 10.

Wasserstände über der Sohle.	Coefficienten von $L H \sqrt{2 g H}$				
	a.	b.	d.	e.	f.
m 0,21	0,319	0,324	0,322	0,324	0,336
0,15	0,314	0,313	0,314	"	"
0,10	0,305	0,303	0,303	0,308	0,315
0,06	0,283	0,281	0,280	0,271	0,287
0,04	0,272	0,259	0,257	0,246	0,260
0,03	0,227	0,227	"	"	"

Erstes Beispiel.

Anordnung a. Wie viel Wasser strömt in 1'' durch einen Ueberfall von $4^m,30$ Breite in ein Gerinne, das $^1/_{10}$ Neigung hat, und dessen Sohle $0^m,25$ unter dem Wasserspiegel des Reservoirs liegt?

Der entsprechende Coefficient ist 0,319 und die Wassermenge

$$Q = 0,319 \times 4,30 \times 0,25 \times 4,43 \times \sqrt{0,25} = 0^{mc},758.$$

Zweites Beispiel.

Anordnung d. Wie viel Wasser fließt in 1'' durch einen Ueberfall von $3^m,20$ Breite in ein Gerinne von der Neigung $^1/_{20}$, wenn die Sohle $0^m,10$ unter dem Wasserspiegel des Reservoirs liegt?

Der hier entsprechende Coefficient ist 0,303, die Wassermenge

$$0,303 \times 3,20 \times 0,10 \times 4,43 \sqrt{0,10} = 0^{mc},136.$$

Drittes Beispiel.

Anordnung f. Welche Wassermenge fließt in 1'' durch einen Ueberfall von 5^m Breite in ein Gerinne, dessen Sohle $0^m,20$ unter dem Niveau im Reservoir liegt?

Der Coefficient ist hierbei 0,336 und das ausströmende Volumen in 1 Sekunde

$$Q = 0,336 \times 5 \times 0,20 \times 4,43 \times \sqrt{0,20} = 0^{mc},665.$$

Bestimmungen der Wassermengen.

Einleitung.

26. Die vorstehenden Formeln und Regeln geben das beste Mittel, die Wassermenge eines Bachs zu bestimmen, wenn es möglich ist, sie anzuwenden, weil sie auf die Resultate genauer Versuche gegründet sind; allein man kann die Wassermenge zu bestimmen haben, welche ein Bach oder ein Kanal liefert, an dem kein Wehr oder keine regelmäßige Mündung vorhanden ist.

Bestimmungsart der alten Brunnenmeister. Wasserzoll.

27. Wenn die Brunnenmeister in früherer Zeit die Wassermenge einer nicht sehr bedeutenden Quelle bestimmen wollten, so wurde diese mit Holz gefaßt, worauf man in die Wände dieser Fassung in gleicher Höhe Löcher von 1″ Durchmesser bohrte, welche durch Stopfer geschlossen werden konnten. War dieß geschehen, so öffnete man so viele dieser Löcher, daß das Niveau sich eine Linie über dem obern Rand derselben konstant erhielt. In dieser Lage strömte durch alle Oeffnungen zusammen eben so viel Wasser aus, als die Quelle lieferte, und man schätzte die Wassermenge der Quelle nach der Anzahl der Löcher, welche man geöffnet hat. Daher rührt die Benennung **Wasserzoll**, den man zur Einheit der Vergleichung nahm.

Die Wassermenge, welche einem Wasserzoll entspricht, ist

in 24 Stunden	$19^{mc},1953$
„ 1 „	$0^{mc},7998$
„ 1 Minute	$0^{mc},01333$
„ 1 Sekunde	$0^{mc},0002222$

Man versteht unter **Wasserlinie**, den 144sten Theil des Wasserzolls und unter **Wasserpunkt**, den 144sten Theil der Wasserlinie.

Diese Art der Bestimmung ist schwierig und verschiedenen Arten von Fehlern ausgesetzt. Für alle kleinen Wassermengen ist es einfacher und genauer, das Wasser über einen Ueberfall gehen zu lassen, und die Wassermenge nach den in Nr. 21 und weiter gegebenen Formeln und Regeln zu berechnen.

Bestimmung der Wassermenge bei offenen Kanälen mit regelmäßigem Querschnitte.

28. Hat ein Kanal auf eine bestimmte Länge ein konstantes Gefälle und denselben Querschnitt, so gibt es zwei Mittel, seine Wassermenge zu bestimmen.

Das erste besteht darin, genau das Nivellement der Oberfläche des Wassers auf die größtmögliche Länge anzustellen, und den Querschnitt, den benetzten Umfang und die Länge des regelmäßigen, nivellirten Theils zu messen.

Dann hat man, wenn

L die ganze Länge des regelmäßigen Theils des Kanals,
H das Gefälle der Oberfläche des Wassers auf diese Länge **L**,
A die Fläche des Profils,
S der benetzte Perimeter oder Umfang des Profils,
U die mittlere Geschwindigkeit des Wassers bedeutet, nach den Erfahruugen mehrerer Ingenieure, wie sie **de Prony** zusammengefaßt hat,

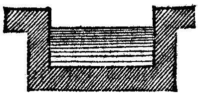
$$U = -0^m,072 + 56,86 \sqrt{\frac{AH}{SL}}$$

und die Wassermenge, welche der Kanal in 1″ liefert,

$$Q = AU$$

Beispiel.

Fig. 11.



Welches ist die mittlere Geschwindigkeit des Wassers in einem gemauerten, rechtwinklichen Kanal von 3^m Weite, $1^m,10$ Tiefe, 150^m Länge und einem Gefälle der Oberfläche von $0^m,075$ auf diese Länge?

Die Fläche des Profils $= 3 \times 1,10 = 3^{mq},30$.

Der benetzte Umfang $= 3^m + 2 \times 1^m,10 = 5^m,20$.

Ihr Quotient $= \frac{3,30}{5,20} = 0,634$.

Der Quotient des Gefälls durch die Länge $= \frac{0,075}{150} = \frac{1}{2000}$.

Die Quadratwurzel aus dem Produkte beider Quotienten

$$\sqrt{0,634 \times \frac{1}{2000}} = 0,0178$$

und die gesuchte Geschwindigkeit

$$= 56,86 \times 0,0178 - 0,072 = 0^m,943.$$

Damit findet man nun die Wassermenge in 1″

$$= 3,30 \times 0,943 = 3^{mc},12.$$

Verhältniß zwischen der mittlern und der Geschwindigkeit an der Oberfläche.

29. Kann man den Lauf des Wassers nicht auf eine große Strecke nivelliren, so mißt man die Geschwindigkeit an der Oberfläche im stärksten Strom, und bestimmt daraus die mittlere Geschwindigkeit mit Hilfe folgender Erfahrungen:

Geschwindigkeit an der Oberfläche	$0^{m},10$	$0^{m},50$	$1^{m},00$	$1^{m},50$	$2^{m},00$	$2^{m},50$	$3^{m},00$	$3^{m},50$	$4^{m},00$
Verhältniß der mittlern Geschwindigkeit zu der an der Oberfläche	0,760	0,786	0,812	0,832	0,848	0,862	0,873	0,883	0,891

Ist die Geschwindigkeit an der Oberfläche zwischen $0^{m},20$ und $1^{m},50$ enthalten, so kann man mit hinreichender Genauigkeit als Verhältniß der mittlern Geschwindigkeit zu der an der Oberfläche 0,80 nehmen.

Verfahren, die Geschwindigkeit an der Oberfläche zu messen.

30. Das einfachste und genaueste Mittel, die Geschwindigkeit an der Oberfläche zu messen, besteht in folgendem: man wirft in den Thalweg oder stärksten Strom einen oder mehrere Schwimmer von Buchenholz, die beinahe ganz untertauchen, und beobachtet mit Hilfe einer Sekundenuhr, wie viel Zeit diese brauchen, um einen gegebenen Raum zu durchlaufen, den man an einer regelmäßigen Stelle des Kanals so groß als möglich annimmt. Dividirt man den durchlaufenen Raum durch die Zeit, so hat man die Geschwindigkeit an der Oberfläche. Zu größerer Zuverläßigkeit wiederholt man die Versuche einigemal.

Man gebraucht zur Bestimmung der mittlern Geschwindigkeit des Wassers in einem Kanal oder Bach auch den Woltmannschen Strommesser, wobei man zuerst das Verhältniß der Geschwindigkeit der Flügel zu der des Wassers genau bestimmen muß, was einige Schwierigkeit hat. Man bringt das Instrument an verschiedene Stellen nach der Breite der Strömung und in verschiedene Tiefen, beobachtet dort die Geschwindigkeiten, und nimmt endlich für die mittlere Geschwindigkeit das arithmetische Mittel aus allen diesen Beobachtungen. Die Nothwendigkeit, mehrere Beobachtungen anzustellen, erlaubt nicht, dieses Instrument in Kanälen anzuwenden, deren Querschnitt nicht wenigstens ein Quadratmeter groß bei $0^m,20$ bis $0^m,30$ Tiefe ist.

Man muß überdieß darauf Acht haben, nur an Orten zu arbeiten, wo die ganze Masse des Wassers eine bedeutende Geschwindigkeit hat, und sich daher von Wehren, Ueberfällen, Stauungen rc. gehörig entfernt halten.

Welches Mittel man nun angewendet hat um die mittlere Geschwindigkeit zu erhalten, so findet man immer die Wassermenge, welche der Kanal gibt, nach der Regel in Nr. 28.

Geschwindigkeit des Wassers am Boden der Kanäle.

32. Die Geschwindigkeit des Wassers am Boden der Kanäle ist kleiner als die mittlere; es ist wichtig, daß sie nicht die Grenze erreiche, bei der das Wasser das Bett angreift. Man bestimmt sie nach der Formel $W = 2U - V$, in welcher

W die Geschwindigkeit am Boden bedeutet,
U die mittlere Geschwindigkeit,
V die Geschwindigkeit an der Oberfläche.

Beispiel.

Welches ist die Geschwindigkeit des Wassers am Boden eines Kanals, bei dem die mittlere Geschwindigkeit $0^m,35$ und die Geschwindigkeit an der Oberfläche $0^m,45$ ist.

Die Geschwindigkeit am Boden $= 2 \times 0,35 - 0,45 = 0^m,25$.

Grenze, welche die Geschwindigkeit des Wassers am Boden der Kanäle erreichen kann, ohne diese anzugreifen.

33.

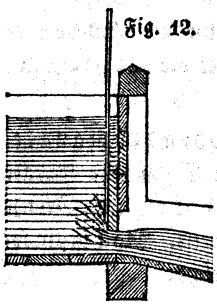
Beschaffenheit des Bodens.	Grenzen der Geschwindigkeit.
	m
Brauner Töpferthon	0,076
Fetter Thon	0,152
Sand	0,305
Kies	0,609
Abgerundete Kiesel	0,614
Eckige Steine	1,220
Conglomerate, Schiefer	1,520
Geschichtete Felsen	1,830
Ungeschichtete, harte Felsen	3,050

Geschwindigkeit des Wassers in Gerinnen.

Geschwindigkeit des Wassers im Anfange der Gerinne, welche an den Ausflußöffnungen angebracht sind.

34. Wenn schon ein Gerinne, das hinter einer Ausflußöffnung

Fig. 12.



angebracht ist, die Ausflußmenge in den gewöhnlichsten Fällen der Praxis nicht ändert, so vermindert es doch die Geschwindigkeit des Wassers nach seinem Austritt. Der Wasserstrahl breitet sich aus, und seine mittlere Geschwindigkeit wird kleiner. Man berechnet die Geschwindigkeit des Wassers hinter der Ausflußöffnung in einer Entfernung von 2 oder $1\frac{1}{2}$mal ihrer kleinsten Dimension nach der Formel:

$$U = \frac{\sqrt{2gH}}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{m} - 1\right)^2}}$$

wobei

U die gesuchte Geschwindigkeit bedeutet,
H die Druckhöhe über der Mitte der Ausflußöffnung,
$2g = 19^m,62$,
m der Coefficient der Ausflußmenge für diese Oeffnung.

Beispiel.

Welches ist die mittlere Geschwindigkeit des Wassers im Anfange eines Gerinnes, das an einer Ausflußöffnung angebracht ist, für welche der Coefficient der Ausflußmenge $= 0,64$ und die Druckhöhe über der Mitte derselben $1^m,10$ ist?

Man hat $\frac{1}{0,64} = 1,562$, $(1,562 - 1)^2 = 0,316$, $\sqrt{1 + 0,316} = 1,144$

Die Geschwindigkeit, welche der Druckhöhe $1^m,10$ zugehört $= 4^m,65$.

Die gesuchte Geschwindigkeit $= \frac{4,65}{1,144} = 4^m,07$.

Anmerkung. In der Mehrzahl der Anwendungen, wo die Zusammenziehung auf drei Seiten statt findet und wo die Druckhöhe groß ist, kann man mit hinreichender Genauigkeit folgende, einfachere Regel gebrauchen:

$$U = 0,85\sqrt{2gH} = 3,765\sqrt{H}$$

Beispiel.

Welches ist die Geschwindigkeit des Wassers im Anfange eines Gerinnes bei einer Ausflußöffnung, für welche der Coefficient der Ausflußöffnung 0,62 und die Druckhöhe über ihrer Mitte $0^m,90$ ist?

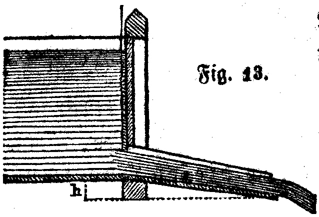
Die zur Druckhöhe gehörige Geschwindigkeit $= 4^m,20$.

Die gesuchte Geschwindigkeit $= 0,85 \times 4,20 = 3^m,58$.

Geschwindigkeit des Wassers am Ende des Gerinnes.

35. In den meisten Fällen ist das Gerinne, welches das Wasser von der Schütze zu dem Wasserrade führt, so kurz und sein Gefälle so stark, daß man den Widerstand der Wände desselben gegen die Bewegung vernachläßigen kann.

Fig. 13.



Dann hat man, wenn der Gerinnboden die Verlängerung der Sohle der Ausflußöffnung ist, und wenn man nennt

h das ganze Gefälle des Gerinnes von der Sohle der Ausflußöffnung bis zu seinem Ende,

u die Geschwindigkeit am Ende des Gerinnes,

U die mittlere Geschwindigkeit im Anfang des Gerinnes, wie in Nr. 34 berechnet,

$$u = \sqrt{U^2 + 2gh},$$

was sagt:

Um die Geschwindigkeit des Wassers am Ende eines kurzen Gerinnes, das an einer Ausflußöffnung angebracht ist, zu erhalten, addire man die Höhe, welche zur Geschwindigkeit im Anfange des Gerinnes (Nr. 34) gehört, zum ganzen Gefälle des Gerinnes, und nehme nach Nr. 2 oder aus der Tafel Nr. 4 die zu dieser Summe gehörige Geschwindigkeit, welche dann die gesuchte ist.

Beispiel.

Wie groß ist die Geschwindigkeit des Wassers am Ende eines

Gerinnes von $1^m,30$ Länge und $0^m,25$ Gefälle unter den Umständen des ersten Beispiels in Nr. 34?

Die Geschwindigkeit im Anfange des Gerinnes ist (Nr. 34) $= 4^m,07$
Dazu gehört die Geschwindigkeitshöhe $= 0^m,844$
Die Summe der Höhen $0^m,844 + 0^m,25$ $= 1^m,094$
Die Geschwindigkeit am Ende des Gerinnes
$4,43 \times \sqrt{1,094}$ $= 4^m,63$.

Gerinne von großer Länge.

36. Ist das Gerinne lang, so wird der Einfluß der Wände des Gerinnes merklich, die Geschwindigkeit ändert sich.

Das einfachste Mittel, hier die Geschwindigkeit am Ende des Gerinnes zu erhalten, besteht darin, dort ein Profil der Wasserschichte zu messen: dann hat man die gesuchte mittlere Geschwindigkeit, wenn man die Wassermenge, welche die Ausflußöffnung gibt, durch diesen Querschnitt dividirt.

Im Fall man das Ende des Gerinnes nicht aufdecken kann, bestimmt man die dortige mittlere Geschwindigkeit nach folgender Regel:

Man suche zuerst den Werth der mittlern Geschwindigkeit am Gerinnende nach Nr. 35, nenne diesen u,

Nehme dann das arithmetische Mittel zwischen u und der Geschwindigkeit U beim Gerinnanfange (Nr. 34), und suche dazu die Geschwindigkeitshöhe (Nr. 2 oder 4);

Nun dividire man die Ausflußmenge **Q** durch dieses arithmetische Mittel $\frac{u+U}{2}$, und man erhält den mittleren Querschnitt **A** der Wasserschichte im Gerinne, woraus man den benetzten Umfang **S** ableitet;

Ist dieß geschehen, so multiplizire man das Verhältniß des benetzten Umfangs **S** zum Querschnitt **A** mit 0,007 von der Länge **L** des Gerinnes, und mit dem Quadrate des arithmetischen Mittels $\frac{u+U}{2}$,

Addire das Quadrat von **U** zu dem der Geschwindigkeit, welche dem ganzen Gefälle h zugehört, ziehe davon das vorhergehende Produkt ab; dann ist die Quadratwurzel des Restes nahe genug, die mittlere Geschwindigkeit am Ende des Kanals.

Mit dieser Regel kommt folgende Formel überein:

$$U^1 = \sqrt{U^2 + 2gh - 0{,}007 \frac{SL}{A} \left(\frac{U+u}{2}\right)^2}$$

in welcher, außer den vorher gebrauchten Bezeichnungen, U^1 die Geschwindigkeit am Ende des Gerinnes bedeutet.

Beispiel.

Welches ist die Geschwindigkeit am Ende eines Gerinnes von 7^m Länge und $0^m,35$ ganzem Gefälle unter den Umständen des Beispiels in Nr. 34, wenn noch die Weite der Ausflußöffnung 1^m und ihre Höhe $0^m,25$ ist?

Man hat zuerst (Nr. 34) $U = 4^m,07$

$$u = \sqrt{(4{,}07)^2 + 19{,}62 \times 0{,}35} = \sqrt{23{,}46} = 4^m{,}842,$$

$$\frac{U+u}{2} = 4^m{,}456;$$

dann weil der Coefficient der Ausflußmenge $m = 0{,}64$

$$Q = 0{,}64 \times 1 \times 0{,}25 \times \sqrt{19{,}62 \times 1{,}10} = 0^{mc}{,}743,$$

$$\frac{Q}{\frac{U+u}{2}} = A = 0^{mq}{,}167,\ S = 1^m + 2 \times 0^m{,}167 = 1^m{,}334,$$

$$0{,}007 \times \frac{S}{A}\ L\ \left(\frac{U+u}{2}\right)^2 = 7{,}75$$

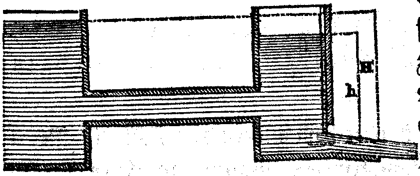
und $U^1 = \sqrt{(4{,}07)^2 + 19{,}62 \times 0{,}35 - 7{,}75} = 3^m{,}96.$

Sammelkästen.

Gefällverlust bei Sammelkästen.

37. Man gebraucht, um Wasser auf Räder zu führen, Leitröhren, welche, unter oder über dem Boden hingeführt, eine Verbindung zwischen dem Hauptreservoir und einem kleinern Sammelkasten herstellen. Dieser ist unmittelbar am

Fig. 14.



Rad aufgestellt, und gießt sein Wasser auf dieses mittelst einer gewöhnlichen Schütze. Diese Anordnung verursacht immer eine Differenz zwischen dem Niveau des Hauptbehälters und dem Niveau des Sammlers, also einen Gefällverlust, den man nach folgender Formel berechnen kann:

$$H - h = \frac{m'^2 a^2}{A^2}\left[\left(\frac{1}{m} - 1\right)^2 + 1 + 0{,}007 \frac{S}{A} L \right] h,$$

worin bedeutet:

H die Höhe des Niveaus im Hauptreservoir über der Mitte der Ausflußöffnung im Sammelkasten,

h dieselbe Höhe im kleinen Behälter,

m den Coefficienten der Ausflußmenge für den Anfang der Leitung,

$\mathbf{m^1}$ den Coefficienten für die Schützöffnung des Sammlers,

a die Größe der Ausflußöffnung des Sammlers,

A den Querschnitt des Wassers in der Leitung,

S den benetzten Umfang in der Leitung,

L die Länge dieser Leitung.

Beispiel.

Das Rad der Sägmühle unterhalb des Arsenals der Artillerie zu Metz erhält das Wasser aus einem solchen Sammler, für den man folgende Daten hat:

$m^1 = 0{,}67$, $m = 0{,}62$, $a = 0^{mq}{,}0682$, $A = 0^{mq}{,}25$
$L = 7^m{,}60$, $S = 2^m$, $h = 1^m{,}625$.

Die vorhergehende Formel gibt

$$H - h = 0^m{,}098.$$

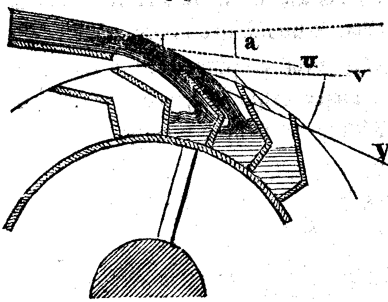
Diese Formel zeigt, daß man den Gebrauch dieser Sammler vermeiden müsse, und daß man, wo dieß nicht seyn kann, den Querschnitt des Kanals möglichst vergrößern, seine Länge aber vermindern muß.

Geschwindigkeit, mit der das Wasser auf das Rad kommt.

Zeichnung der Kurve, welche der mittlere Wasserfaden nach seinem Austritt aus dem Gerinne bildet.

38. Hat man in einem oder dem andern der Fälle in Nr. 35 und Nr. 36 die Geschwindigkeit des Wassers am Ende des Ge-

Fig. 15.



rinnes bestimmt, so ist es leicht, die Kurve zu zeichnen, welche der mittlere Wasserfaden nach seinem Austritt aus dem Gerinne bildet.

Bezeichnet man mit

u diese Geschwindigkeit, Nr. 35,

a den Winkel des Gerinnbodens mit der Horizontalebene,

so hat die Kurve des mittlern Wasserfadens die Gleichung

$$y = \frac{g\,x^2}{2\,u^2 \cos^2 a} + x \operatorname{tang} a$$

worin x die horizontalen Abscissen vom Mittel des Gerinnendes und y die vertikalen Ordinaten vom selben Punkte bedeuten.

Nimmt man für x nach und nach $0^m,1$, $0^m,2$, $0^m,3$ 2c. und berechnet die zugehörigen Werthe von y, so erhält man Punkte der gesuchten Kurve, die man dann durch eine krumme Linie verbindet.

Ist das Gerinne horizontal, so hat man

$$y = \frac{g\,x^2}{2\,u^2}$$

Ist die Ausflußöffnung ein Ueberfall, so erhält man die Geschwindigkeit des mittlern Fadens, wenn man sich erinnert, daß die Dicke der Wasserschichte über der Schütze nur ungefähr 0,80 von der Höhe **H** des Niveaus über diesem Punkte ist. Der mittlere Faden liegt dann etwa in 0,60 dieser Höhe unter dem Niveau, und die Geschwindigkeit desselben ist

$$u = \sqrt{19{,}62 \times 0{,}6\,H}$$

und nahezu horizontal. Man kann also in allen Fällen leicht die Parabel construiren, welche dieser mittlere Faden beschreibt.

Geschwindigkeit mit der das Wasser auf dem Rad, das unter das Gerinne gestellt ist, ankommt.

39. Im Punkte, in dem die Kurve des mittlern Fadens den äußern Umfang des Rades trifft, ziehe man eine Tangente an diese Parabel; sie gibt die Richtung der Geschwindigkeit an, mit

der das Wasser auf das Rad kommt. Dann addire man zur Geschwindigkeitshöhe von u (Nr. 2 und Tafel in Nr. 4) die Tiefe dieses Ankunftspunktes unter dem Anfange der Kurve. Die Geschwindigkeit, welche zu dieser Summe gehört, ist die Geschwindigkeit V, mit der das Wasser das Rad erreicht.

Beispiel.

Mit welcher Geschwindigkeit gelangt das Wasser auf ein Rad von $3^m,50$ Durchmesser, dessen Axe $0^m,25$ vor der Vertikalen liegt, welche durch das Ende des um $\frac{1}{12}$ geneigten Gerinnes geht? Man setzt voraus, dieses Ende liege $0^m,02$ über dem Rade, und die mittlere Geschwindigkeit der Wasserschichte von $0^m,10$ Dicke am Ende des Gerinnes sei 3^m in $1''$.

Wenn das Gerinne $\frac{1}{12}$ geneigt ist, so hat man

$$\text{tang } a = \frac{1}{12} = 0{,}083, \ \cos a = 0{,}995, \ u = 3^m$$

$$y = \frac{9{,}81\ x^2}{2\,(3 \times 0{,}995)^2} + 0{,}083\ x = 0{,}55\ x^2 + 0{,}083\ x$$

daraus leitet man für die Coordinaten der Kurve ab,

$$x = 0^m,100,\ 0^m,200,\ 0^m,300,\ 0^m,400,\ 0^m,500,\ 0^m,600$$
$$y = 0^m,014,\ 0^m,038,\ 0^m,074,\ 0^m,120,\ 0^m,178,\ 0^m,246.$$

Der Durchschnitt der so bestimmten Kurve mit dem Radumfang liegt ungefähr $0^m,07$ unter dem mittlern Punkte des Strahls am Ende des Gerinnes; die zur Geschwindigkeit 3^m gehörige Höhe ist $0^m,46$ und die ganze Druckhöhe daher $0^m,07 + 0^m,46 = 0^m,53$, zu welcher die Geschwindigkeit $3^m,23$ in $1''$ gehört, mit der das Wasser das Rad erreicht.

Errichtung von regelmäßigen Kanälen.

40. Die Kanäle vor oder hinter den Wasserwerken sollen so viel möglich regelmäßig seyn, d. h. sie sollen ein konstantes Gefälle, einen konstanten Querschnitt und eine konstante Geschwindigkeit des Wassers haben. Sind sie von Holz oder Mauerwerk, so sind ihre Wände vertikal; dann ist es zur Verminderung der Widerstände gut, die Tiefe gleich der halben Breite zu nehmen.

Für Kanäle in Erde oder Mauerwerk ausgeführt, nimmt man die Weite am Boden gewöhnlich gleich der vier- oder sechsfachen Tiefe.

Hat man aus Gründen, von der Lokalität und der Oeconomie geboten, die Dimensionen des Kanals bestimmt, so kennt man den Querschnitt **A** des Profils, den benetzten Umfang **S**. Ist dann **Q** das Volumen Wasser, was der Kanal liefern soll, so erhält man die mittlere Geschwindigkeit **U**, welche das Wasser erhalten muß.

$$U = \frac{Q}{A}$$

Diese Geschwindigkeit darf nicht so groß seyn, daß die nach Nr. 32 daraus berechnete Geschwindigkeit am Boden die in Nr. 33 angegebene Grenze für diese Art Boden überschreitet.

Das Gefälle **I** für den laufenden Meter, welches man dem Kanal geben muß, damit das Wasser in ihm diese Geschwindigkeit erhalte, wird gegeben durch die Formel

$$I = \frac{S}{A} U (0{,}0000444 + 0{,}000309\, U)$$

Das ganze Gefälle des Kanals wird dann **I L**, das Produkt aus dem so bestimmten Gefälle für einen Meter in die Länge des Kanals.

Beispiel.

Welches ist die mittlere Geschwindigkeit des Wassers in einem regelmäßigen, gezimmerten Kanal von der Weite $1^m,60$, in dem das Wasser die Tiefe $0^m,80$ hat, und der $0^{mc},800$ in $1''$ liefern soll?

Der Querschnitt des Wassers ist $A = 0{,}80 \times 1{,}60 = 1^{mq},28$.

Die mittlere Geschwindigkeit $U = \frac{0{,}800}{1{,}28} = 0^m,625$.

Der benetzte Umfang $S = 2 \times 0{,}80 + 1{,}60 = 3^m,20$.

Welches ist die Neigung für den laufenden Meter?

Man hat

$$I = \frac{3{,}20}{1{,}28} \times 0{,}625 (0{,}0000444 + 0{,}000309 \times 0{,}625) = 0^m,000373$$

Hat der Kanal 100 Meter Länge, so ist sein ganzes Gefälle

$$H = I L = 0^m,0373.$$

41. Bei gegrabenen Kanälen beträgt die Weite am Boden gewöhnlich vier= bis sechsmal so viel als die Tiefe.

Die Natur des Bodens oder der Bekleidung bestimmen die Böschung der Seitenwände, die Verwendung des Aushubs und Betrachtungen von der Lokalität hergenommen, begrenzen die Dimensionen und dienen dazu, sie festzusetzen. Man hat dann, wie im vorhergehenden Fall, den Querschnitt und den benetzten Umfang gegeben und bestimmt die mittlere Geschwindigkeit und die Neigung auf dieselbe Art.

Beispiel.

. Welches ist die mittlere Geschwindigkeit bei einem Kanal von 4^m Breite am Boden, von $0^m,70$ Tiefe, mit unter 45^0 geneigten Seitenwänden, der in der Sekunde $1^{mc},645$ Wasser zuführen soll?

Man hat

$$A = 0,70 \times \frac{4 + 5,4}{2} = 3^{mq},29$$

$$U = \frac{1,645}{3,29} = 0^m,50, \; S = 5^m,98.$$

Welches Gefälle muß man dem Kanal für den laufenden Meter geben?

$$I = \frac{5,98}{3,29} \times 0,50 \, (0,0000444 + 0,000309 \times 0,50) = 0^m,0001815.$$

Bestimmung der größten Geschwindigkeit, welche man bei einem Kanal annehmen darf.

42. Die Tafel in Nr. 33 gibt die größte Geschwindigkeit am Boden, welche dieser erträgt. Man weiß ferner, nach Nr. 29, daß in den gewöhnlichen Fällen der Praxis das Verhältniß der mittlern Geschwindigkeit zur Geschwindigkeit an der Oberfläche im Mittel 0,80 ist.

Hiernach berechnet man die größte mittlere Geschwindigkeit, welche man das Wasser in dem zu erbauenden Kanal annehmen lassen kann, nach der Formel

$$U = 1,33 \, W$$

wo W die Grenze der Geschwindigkeit des Wassers am Boden ist (Nr. 33).

Anwendung der Regeln in Nr. 40, 41 und 42 auf einen in Kies gegrabenen Kanal.

43. Welches darf die mittlere Geschwindiglеit des Wassers in einem gegrabenen Kanal seyn, dessen Boden aus Kies besteht?

Die Grenzgeschwindigkeit am Boden ist (Nr. 33) $0^m,609$ und daher die mittlere Geschwindigkeit im Kanal

$$U = 1,33 \times 0^m,609 = 0^m,81.$$

Nachdem so die mittlere Geschwindigkeit bestimmt ist, erhält man den Querschnitt des Kanals für eine gegebene Wassermenge Q

$$A = \frac{Q}{U}$$

Soll in unserm Beispeil der Kanal 2^{mc} Wasser in 1″ liefern, so hat man den Querschnitt

$$A = \frac{2}{0{,}81} = 2^{mq}{,}475.$$

Soll die Böschung der Seitenwände 45° betragen, und die Breite am Boden der fünffachen Tiefe gleich seyn, so hat man, wenn h die Tiefe des Kanals bedeutet,

$$A = 6\,h^2 = 2^{mq}{,}475$$

$$h = \sqrt{\frac{2{,}475}{6}} = 0^m{,}642$$

und folglich die Breite am Boden $= 3^m{,}21$ und die Breite an der Oberfläche 4,494, der benetzte Umfang $= 3{,}21 + 2\sqrt{2\,(0{,}642)^2}$ $= 5^m{,}03$.

Das Gefälle für den laufenden Meter wird dann

$$I = \frac{5{,}03}{2{,}475} \times 0{,}81\,(0{,}0000444 + 0{,}000309 \times 0{,}81) = 0^m{,}000485.$$

Bestimmung der Dimensionen des Kanals, wenn das Gefälle gegeben ist.

44. Ist das Gefälle des Kanals gegeben, so berechnet man die mittlere Geschwindigkeit, welche das Wasser annehmen kann, ohne die Ufer anzugreifen, nach der Regel in Nr. 42. Nennt man nun

h die Tiefe des Kanals,
b die Breite am Boden,
n das Verhältniß der Basis der Böschung zu ihrer Höhe,

so hat man die Breite am Boden durch die Formel

$$b = \frac{Q\,I}{U^2\,(0{,}0000444 + 0{,}000309\,U)} - 2\,h\sqrt{1+n^2}$$

Die Oertlichkeiten begrenzen oft die Tiefe, welche man dem Kanal geben kann, wodurch h bestimmt ist, und dann gibt diese Formel die Breite.

Ist die Tiefe des Kanals nicht a priori bestimmt, so nimmt man die Breite gleich der vier- bis sechsfachen Tiefe und aus der Formel erhält man dann die Tiefe.

Für Kanäle von Holz oder Mauerwerk hat man gewöhnlich $n = 0$, und dann gibt die Formel

$$b + 2h = \frac{Q\,I}{U^2\,(0{,}0000444 + 0{,}000309\,U)}$$

Für Kanäle mit trockener Seitenmauerung hat man gewöhnlich $n = 0{,}50$, und dann ist

$$b + 2{,}23\,h = \frac{Q\,I}{U^2\,(0{,}0000444 + 0{,}000309\,U)}$$

Für gegrabene Kanäle ohne besondere Bekleidung ist $n = 1$, und die Formel wird

$$b + 2{,}83\,h = \frac{Q\,I}{U^2\,(0{,}0000444 + 0{,}000309\,U)}$$

Bemerkung hinsichtlich der Pflanzen, welche in den Kanälen wachsen.

45. Um die Kanäle gleich ergiebig zu erhalten, muß man häufig die Pflanzen, welche in ihnen wachsen, abschneiden, indem diese durch ihre Oberfläche die Widerstände der Bewegung des Wassers sehr vermehren.

Wasserleitungsröhren.

Bestimmung der Wassermenge einer cylindrischen Wasserleitung.

46. Solche Röhren müssen durchaus gleichweit, ohne Verengerungen im Innern seyn. Man muß Biegungen möglichst vermeiden oder ihnen doch einen großen Krümmungshalbmesser geben. Hat man das letzte befolgt, so kann man den geringen Einfluß dieser Biegungen vernachläßigen.

Mündet eine solche Wasserleitung vom Durchmesser **D** in die freie Luft, so erhält man die mittlere Geschwindigkeit, mit der das Wasser in ihr strömt, für die Praxis hinreichend genau nach der von Hrn. **de Prony** angegebenen Formel

$$U = 26{,}44 \sqrt{\frac{D\,H}{L + 54\,D}}$$

in welcher bedeutet,

U die gesuchte mittlere Geschwindigkeit,
D den Durchmesser der Röhren,
H die Höhe des Niveaus im Reservoir über dem Mittel des Endes der Leitung,
L die Länge der Leitung.

Mündet die Leitung in ein unteres Behälter, wo ihre Oeffnung untergetaucht ist, so wird die Geschwindigkeit durch dieselbe Formel angegeben, wenn man darin für **H** den Höhenunterschied der Oberflächen des Wassers in beiden Reservoirs setzt.

Ist so die mittlere Geschwindigkeit in der Leitung gefunden, so erhält man die in 1″ gelieferte Wassermenge

$$Q = \frac{D^2 U}{1{,}273}$$

Beispiel.

Wie viel Wasser liefert eine Röhrenleitung von $0^m{,}10$ innerem Durchmesser, 50^m Länge, die in ein Reservoir mündet, dessen Niveau 4^m unter dem steht, aus dem die Leitung das Wasser abführt?

Man hat

$$U = 26{,}44 \sqrt{\frac{0{,}10 \times 4}{50 + 54 \times 0{,}10}} = 2^m{,}25$$

und die Wassermenge

$$Q = \frac{(0{,}10)^2 \times 2{,}25}{1{,}273} = 0^{mc}{,}0177.$$

Einrichtung einer Leitung, die eine gegebene Wassermenge zuführt.

47. Soll eine Leitung eingerichtet werden, die eine gegebene Wassermenge zuführen soll, so hat man die Formeln der vorhergehenden Nummer. Darin ist **Q** gegeben, **L** durch die Oertlichkeiten bestimmt, und es sind daher nur **U**, **D** und **H** unbestimmt.

Man kann nun eine der beiden folgenden Fragen zu beantworten haben:

Bestimmung des Durchmessers der Leitung.

48. a) Den Durchmesser einer Leitung zu bestimmen, welche bei der gegebenen Druckhöhe **H** des obern Niveaus über dem untern eine bestimmte Wassermenge **Q** in 1″ liefert.

Man hat die Formel

$$Q^2 L + 54\, D Q^2 = 431{,}39\, D^5 H$$

aus welcher man **D** durch successive Substitutionen probweise bestimmt.

Ist die Leitung sehr lang und der Durchmesser **D** klein gegen **L**, so kann man den Durchmesser nach der Formel

$$D = 0{,}297 \sqrt[5]{\frac{Q^2 L}{H}}$$

bestimmen.

Beispiel.

Wie groß muß der Durchmesser einer Röhrenleitung seyn, die $0^{mc},050$ Wasser in 1″ liefern soll, wenn sie 150^{m} lang ist, und das obere Niveau 6^{m} über dem untern steht?

Man hat

$$D = 0{,}297 \sqrt{\frac{(0{,}050)^2 \times 150}{6}} = 0^{m},171$$

Bemerkung. Dieselbe Regel ist auch dort anwendbar, wo das Wasser frei ausfließt, wenn man nur statt des Niveauunterschiedes den Wasserstand im Reservoir über der Mitte der Ausflußöffnung setzt.

Der durch diese Regel gegebene Durchmesser ist eine genäherte, aber etwas zu kleine Wurzel der genaueren Gleichung, durch welche die Auflösung dieser Gleichung erleichtert werden kann.

Berechnung der Höhe, zu der Wasser mittelst einer Röhrenleitung erhoben werden kann.

49. b) Die Höhe zu bestimmen, bis zu der sich das Wasser in einem Reservoir erhebt, in welches eine Leitung von gegebener Länge und gegebenem Durchmesser mündet, welche eine bestimmte Wassermenge liefern soll.

Ist **H** die Tiefe des Niveaus in diesem Reservoir unter dem Niveau des obern, so hat man

$$H = \frac{Q^2 (L + 54\,D)}{431{,}39\,D^5}$$

Beispiel.

Welches ist die Höhe des Niveaus im untern Reservoir unter dem Wasserstand im obern bei einer Wasserleitung von $0^{m},40$ Durchmesser und 100^{m} Länge, wenn diese $0^{mc},200$ Wasser in einer Sekunde liefern soll? Man hat

$$H = \frac{0{,}04\,(100 + 54 \times 0{,}40)}{431{,}39 \times (0{,}40)^5} = 1^{m},099.$$

Allgemeine Bemerkung über die Einrichtung von Röhrenleitungen.

50. Kann man bei Einrichtung einer großen Wasserleitung die Biegungen nicht vermeiden, oder ihnen keine großen Krümmungshalbmesser geben, und besonders dann, wenn bei den Röhrenverbindungen Unebenheiten im Innern entstehen, ist es klug, die zu liefernde Wassermenge in den Formeln um $^1/_4$ oder $^1/_3$ ihres Werthes größer anzunehmen.

Bestimmung des Drucks auf einen beliebigen Punkt der Röhrenleitung.

51. Häufig ist es von Wichtigkeit den Druck kennen zu lernen, welchen die Wände der Leitung auszuhalten haben, um hiernach die Dicke dieser Wand zu bestimmen. Dazu hat man die Gleichung

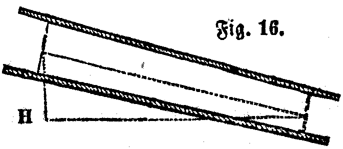


Fig. 16.

$$P' = P + 1000\,[H - (h' - h)]$$

worin

P' den gesuchten Druck auf 1^{mq} in Kilogrammen bedeutet,

P den Druck im Anfang oder einem bestimmten Punkte der Leitung,

H die Höhe des Punktes, wo der Druck P' ist, unter dem, wo er P ist,

h' und h die Geschwindigkeitshöhen für die Punkte, wo die Pressungen P' und P sind.

Diese Geschwindigkeiten sind leicht zu bestimmen; man dividirt die Wassermenge durch den jedesmaligen Querschnitt.

Hat die Leitung durchaus denselben Querschnitt, so hat man $h' = h$, und dann ist einfacher

$$P' = P + 1000\,H.$$

Beispiel.

Wie groß ist der Druck des Wassers auf 1^{mq} an einer Stelle, die 25^m unter dem obern, oben offenen Reservoir, in dem das Niveau mit dem Mittel des Anfangs der Leitung in einer Höhe liegt? Man hat

$P' = 10333 + 1000 \times 25 = 35333$ Kil. oder 3,42 Atmosphären (10333 ist der Druck einer Atmosphäre auf 1^{mq}).

Wassermenge bei einer Ausflußöffnung eines Behälters, in dem das Niveau sich während des Ausflusses ändert.

Fließt durch eine Oeffnung mehr Wasser, als zufließt, so senkt sich das Niveau und die Druckhöhe wird kleiner.

Man kann dann folgenden Weg einschlagen, um die in einer gegebenen Zeit ausgeflossene Wassermenge zu bestimmen.

Das Wasser steht über dem obern Rand der Oeffnung.

52. Man bringt einen vertikalen Stab in den Behälter und bemerkt an diesem nach gleichen Zeiträumen und in ungerader Anzahl die jedesmaligen Wasserstände. Ist dieß geschehen, und nennt man

L die Weite der Ausflußöffnung,

E die Höhe derselben,

m den Coefficienten für die Ausflußmenge, für den man das arithmetische Mittel aus den Werthen nimmt, die zur größten und der kleinsten beobachteten Druckhöhe gehören,

h_1, h_2, h_3, h_4, h_5 die Wasserstände nach vier gleichen Zeiträumen, je von der Dauer von t Sekunden,

Q die Ausflußmenge während der ganzen Dauer von 4 t Sekunden; so hat man

$$Q = 1,476\, m L E t\, [\sqrt{h_1} + \sqrt{h_5} + 4(\sqrt{h_2} + \sqrt{h_4}) + 2\sqrt{h_3}]$$

eine Formel, die mit folgender Regel übereinstimmt:

Um die Wassermenge zu erhalten, die in einer gegebenen Zeit durch eine Oeffnung fließt, wenn das Niveau über dem Höchsten der Oeffnung bleibt, aber sich ändert, und wenn man die Aenderungen des Niveaus auf gesagte Weise beobachtet hat,

Nehme man die Quadratwurzeln aus jeder Druckhöhe über dem Mittel der Oeffnung,

Addire zur Summe der größten und kleinsten viermal die Summe der Wurzeln der geraden Druckhöhen, der Ordnung der Beobachtungen nach, und zweimal die Summe der Wurzeln aus den ungeraden Druckhöhen,

Die Totalsumme multiplizire man mit der Zeit, die zwischen zwei Beobachtungen verfloß, mit der Größe der Oeffnung, mit dem Coefficienten der Ausflußmenge und mit 1,476.

Bemerkung. So wie hier die Regel ausgesprochen wurde, ist sie auf eine beliebige ungerade Anzahl von Beobachtungen, nach gleichen Intervallen angestellt, anwendbar. In den gewöhnlichen Fällen wird man mit fünf Höhen, wie sie die Formel annimmt, ausreichen.

Beispiel.

Wie viel Wasser fließt in 3′ durch eine Oeffnung von 1^m Weite und $0^m,30$ Höhe, wenn das Niveau nach und nach folgende Höhen über dem Mittel der Oeffnung hat.

Zeit	0″	45″	90″	135″	180″
Druckhöhen	$1{,}30^m$	$1{,}10^m$	$0{,}81^m$	$0{,}63^m$	$0{,}46^m$
Quadratwurzeln hieraus	1,138	1,047	0,900	0,794	0,678

Der Coefficient der Ausflußmenge ist $m = 0{,}603$, und nun nach obiger Regel

$$Q = 1{,}476 \times 0{,}603 \times 1 \times 0{,}30 \times 45 \left\{ \begin{array}{l} 1{,}138 + 0{,}678 + \\ + 4(1{,}047 + 0{,}794) \\ + 2 \times 0{,}900 \end{array} \right\} = 132^{mc}$$

Ueberfall.

53. Um die Wassermenge zu berechnen, welche in einer bestimmten Zeit durch einen Ueberfall fließt, wenn die Druckhöhe sich während des Ausflusses ändert, beobachte man, wie in der vorhergehenden Nummer gesagt wurde, die auf einander folgenden Höhen des Niveaus über der Sohle des Ueberfalls, immer nach gleichen Zeiten. Bedeutet dann

L die Weite des Ueberfalls,

$m = 0{,}405$, den mittleren Werth des Coefficienten der Wassermenge,

H_1, H_2, H_3, H_4, H_5, die auf einander folgenden beobachteten Höhen des Niveaus über der Sohle des Ueberfalls, je nach der Zeit **t**,

Q die Wassermenge, während der ganzen Zeit 4**t**, so hat man

$$Q = 0{,}598\,Lt\left[H_1\sqrt{H_1} + H_5\sqrt{H_5} + 4(H_2\sqrt{H_2} + H_4\sqrt{H_4}) + 2H_3\sqrt{H_3}\right]$$

Diese Formel läßt sich, wie die der vorhergehenden Nummer, auf jede ungerade Zahl von beobachteten Höhen ausdehnen.

Beispiel.

Wie viel Wasser geht in 20′ durch einen Ueberfall von 15^m Weite, wenn das Niveau nach und nach folgende Höhen über der Sohle des Ueberfalls hat?

Zeit	0″	300″	600″	900″	1200″
Höhe des Niveaus	1^m	$0^m,80$	$0^m,62$	$0^m,47$	$0^m,33$

Man hat zuerst

$$H\sqrt{H} = 1 \qquad 0{,}715 \qquad 0{,}487 \qquad 0{,}322 \qquad 0{,}189$$

Die Formel gibt nun

$$Q = 0{,}598 \times 15 \times 300 [1 + 0{,}189 + 4(0{,}715 + 0{,}322) + 2 \times 0{,}487] = 16982^{m.}$$

Bemerkung über das Messen der Niveauhöhen.

54. Kann man aus irgend einem Grunde die Höhen des Niveaus nicht in gleichen Zeitabständen messen, so konstruirt man die Kurve, deren Abscissen die seit dem Anfange der Beobachtung verflossenen Zeiten, und deren Ordinaten die beobachteten Druckhöhen sind. Nun theile man die ganze Dauer der Beobachtung in eine gerade Anzahl gleicher Theile, und messe die zu den Theilpunkten gehörigen Ordinaten; die Werthe dieser Ordinaten nimmt man nun für die Werthe von h und verfährt damit nach Nr. 52 oder 53.

Untergetauchte Oeffnungen.

55. Ist die Ausflußöffnung unter Wasser, so verfährt man auf dieselbe Art, wobei man zu gleicher Zeit die Wasserstände ober- und unterhalb der Mündung beobachtet.

Behält man die bisher gebrauchten Bezeichnungen bei, und nennt man H_1 und h_1, H_2 und h_2 ꝛc. die gleichzeitigen Wasserstände vor und hinter der Oeffnung im Anfang der Beobachtung, nach t, 2 t ꝛc. Sekunden; so erhält man die Ausflußmenge in der ganzen Zeit der Beobachtung nach der Formel

$$Q = 1{,}476 mLEt [\sqrt{H_1 - h_1} + \sqrt{H_5 - h_5} + 4(\sqrt{H_2 - h_2} + \sqrt{H_4 - h_4}) + 2\sqrt{H_3 - h_3}]$$

Beispiel.

Wie viel Wasser fließt in 5′ durch die beiden Schützen einer Schleuse, von denen jede $0^m,70$ Weite und $0^m,60$ Höhe hat, wenn die Wasserstände vor und hinter der Schleuse nach und nach folgende Höhen haben?

Zeit		0″	75″	150″	225″	300″
Werthe von	H	$2^m,00$	$1^m,75$	$1^m,33$	$1^m,13$	$0^m,94$
	h	0,65	0,75	0,83	0,89	0,94

Daraus hat man

Werthe von H-h	$1^m,35$	$1^m,00$	$0^m,500$	$0^m,24$	0^m
Werthe von $\sqrt{H-h}$	1,16	1,00	0,706	0,49	0

Für die nahe beisammen liegenden Schützöffnungen in Schleusen hat man (Nr. 17) $m = 0,55$, und daher nach der Formel

$$Q = 1,476 \times 2 \times 0,55 \times 0,70 \times 0,60 \times 75 \left\{ \begin{matrix} 1,16 + 0 + 4(1,00 + 0,49) \\ + 2 \times 0,706 \end{matrix} \right\} = 432^{mc}$$

Oeffnung, die zuerst frei und später unter Wasser steht.

56. Gießt die Oeffnung das Wasser zuerst in die freie Luft und erhebt sich dieses später hinter ihr, so berechnet man zuerst die Wassermenge, welche in der ersten Zeit ausfloß, nach Nr. 13 oder 52, und addirt dazu die Wassermenge, welche in der Zeit ausfloß, wo die Oeffnung im Hinterwasser stand, welche man nach Nr. 55 berechnet.

Die Bestimmung der Kurve, welche die Wasserstände bilden, wie in Nr. 54, wird hier sehr nützlich seyn.

Beispiel.

Wie viel Wasser fließt in 7′ durch eine Oeffnung von $0^m,75$ Weite und $0^m,60$ Höhe, bei einem gleichbleibenden Wasserstand von $1^m,50$ über der Mitte der Ausflußöffnung, welche in den ersten 3′ frei ist, und für welche die Druckhöhen über ihrer Mitte im Hinterwasser nach und nach folgende Werthe annehmen.

Verflossene Zeit	180″	240″	300″	360″	420″
Druckhöhen	$0^m,30$	$0^m,61$	$0^m,85$	$1^m,15$	$1^m,50$

In der ersten Periode, wo die Oeffnung nicht untergetaucht ist, ist die Wassermenge nach Nr. 13 und weiter

$$Q = 0,601 \times 0^m,75 \times 0^m,60 \sqrt{19,62 \times 1,50} \times 180 = 265^{mc}$$

Für die zweite Periode hat man zuerst

Werthe von H-h	$1^m,200$	$0^m,890$	$0^m,650$	$0^m,305$	0^m
Werthe von $\sqrt{H-h}$	1,095	0,944	0,806	0,592	0

und folglich

$$Q = 1{,}476 \times 0{,}601 \times 0{,}75 \times 0{,}60 \times 60\,(1{,}095 + 6{,}144 + 1{,}612) = 212^{mc}$$

Die ganze Wassermenge in 7′ ist daher

$$Q = 265 + 212 = 477^{mc}$$

Bestimmung der Wassermenge durch Beobachtung an einer Ausflußöffnung, vor welcher das Niveau sich ändert.

57. Oft braucht man lange Zeit, eine Ausflußöffnung so zu reguliren, daß alles Wasser des Bachs durchströmt und das Niveau konstant bleibt, wo man dann die Wassermenge nach den Regeln in Nr. 13 und weiter bestimmen könnte. Kann man diesen Gleichgewichtszustand nicht abwarten, so kann man auf folgende Art verfahren:

Man öffnet die Schütze so weit, daß mehr Wasser durchfließt als der Bach liefert, und folglich das Niveau sich senkt. Man beobachtet nun die Wasserstände in gleichen Intervallen, und berechnet das während der ganzen Zeit ausgeströmte Wasser nach den Formeln in Nr. 52 und weiter.

Nun schließt man schnell die Schütze, und beobachtet, wie viel Zeit verfließt, bis das Wasser wieder dasselbe Niveau erreicht, das es im Anfang der Operation hatte.

Bedeutet jetzt

Q die Wassermenge, welche während des Offenseyns der Schütze ausströmt,

t die Dauer dieses Ausströmens in Sekunden,

t^1 die Zeit, welche verfloß bis das ursprüngliche Niveau wieder hergestellt war,

X die Wassermenge, welche die Quelle in 1″ liefert, so hat man

$$X = \frac{Q}{t + t^1}$$

Dieß entspricht der Regel:

Man berechne die Wassermenge, welche in einer bestimmten Zeit ausfließt, während das Niveau sich senkt, nach den Regeln in Nr. 52 und weiter, und dividire dieses Volumen durch die Zeit des Ausströmens, vermehrt um die Zeit, welche man bedurfte, um das ursprüngliche Niveau wieder herzustellen. Der Quotient ist das Produkt des Bachs in 1''.

Beispiel.

In dem Fall des Beispiels in Nr. 52 erreiche der Wasserspiegel in 2' nach Schließung der Schütze seinen ursprünglichen Stand wieder; wie viel Wasser liefert der Bach?

Man hat $Q = 132^{mc}$, $t = 180''$ und $t^1 = 120''$, folglich die Wassermenge des Bachs

$$X = \frac{132}{180 + 120} = 0^{mc},440 \text{ in } 1''.$$

Erforderliche Zeit, um eine Schifffahrtsschleuse oder einen Teich zu entleeren.

58. Sind die obern Schleusenthore geschlossen und ist kein Zufluß vorhanden, so gibt folgende Formel die Zeit, welche erfordert wird, um eine Schleusenkammer bis zu einem bestimmten Niveau zu entleeren. Dabei ist vorausgesetzt, daß das Wasser in die freie Luft ausfließt.

$$t = \frac{0{,}451\ A}{m\ a} \left(\sqrt{H} - \sqrt{h}\right)$$

Hier bedeutet

t die gesuchte Dauer der Senkung des Niveaus in Secunden,

A die konstante Größe der Oberfläche des Wassers in der Schleusenkammer,

a die Größe der Ausflußöffnung,

m der Contraktionscoefficient, bei Schleusen gewöhnlich gleich 0,625, wenn nur eine Schütze aufgezogen ist, und gleich 0,550, wenn zwei nahe liegende auf sind,

H und h die Höhen der Wasserstände im Anfange und am Ende der Beobachtung.

Beispiel.

In welcher Zeit entleert sich eine Schleusenkammer, für welche man folgende Daten hat:

$A = 220^{mq}$, $H = 1^m,20$, $h = 0^m,30$, $a = 1^{mq},20$ für zwei nahe beisammen liegende Oeffnungen, $m = 0{,}55$.

Die vorstehende Regel gibt

$$t = \frac{0{,}451 \times 220}{0{,}550 \times 1{,}2} \left(\sqrt{1{,}20} - \sqrt{0{,}30}\right) = 82'' = 1'\ 22''$$

Ein Teich hat Zufluß während seiner Entleerung.

59. Fließt Wasser in das Bassin, während sich dieses entleert, und ist

Q die Größe dieses Zuflusses in 1″, so ist bei den vorhergehenden Bezeichnungen

$$t = \frac{0{,}451\ A}{m a}\left(\sqrt{H} - \sqrt{h}\right) + \frac{0{,}235\ A\ Q}{m^2\ a^2} \log \frac{m a \sqrt{2gH} - Q}{m a \sqrt{2gH} - Q}$$

Beispiel.

In welcher Zeit entleert sich ein Teich von 10 Hektaren oder 100000^{mq} Oberfläche durch eine Oeffnung von $1^m,30$ Weite und $0^m,60$ Höhe, wenn die Druckhöhe über dem Mittel dieser Oeffnung im Anfang 2^m und beim Schlusse $0^m,40$ ist, und wenn in der Sekunde $0^{mc},100$ Wasser zufließt?

Ohne Zufluß wäre die Zeit der Entleerung

$$\frac{0{,}451 \times 100000}{0{,}60 \times 1{,}3 \times 0{,}6}\left(\sqrt{2} - \sqrt{0{,}4}\right) = 75263'' = 1251'\,3'' = 20^h\ 51'\,3''$$

Das zweite Glied, oder die Vermehrung der Dauer wegen des Zuflusses ist

$$\frac{0{,}235 . 100000 . 0{,}100}{(0{,}60 . 1{,}30 . 0{,}60)^2} \log \frac{0{,}60 . 1{,}30 . 0{,}60 \sqrt{19{,}62 . 2} - 0{,}100}{0{,}60 . 1{,}30 . 0{,}60 \sqrt{19{,}62 . 0{,}4} - 0{,}100} = 3960''$$

Die Dauer der Entleerung ist daher $21^h\ 57'\ 3''$

Bemerkung über die Wirkung des Zuflusses.

60. Gewöhnlich sind die Zuflüsse bei Teichen so schwach, daß man die durch sie hervorgebrachte Verlängerung der Entleerung vernachläßigen kann.

Dauer der Entleerung durch einen Ueberfall.

61. Die Spühlschleusen entleeren sich häufig durch Ueberfälle.

Ist hierbei der Zufluß nur unbedeutend, so hat man für die Zeit der Entleerung

$$t = \frac{1{,}114\ A}{L} . \frac{\sqrt{H} - \sqrt{h}}{\sqrt{Hh}}$$

wobei

A die konstante oder mittlere Oberfläche des Behälters bedeutet,

L die Weite des Ueberfalls,

H und **h** die Höhen des Niveaus über dem Fachbaum des Ueberfalls im Anfang und beim Ende des Abflusses.

Anmerkung. Bei Anwendung dieser Regel darf man **h** am Ende der Entleerung nie $= 0$ setzen; setzt man **h** wenigstens $= 0^m,05$, so erhält man die Zeit der Senkung des Wasserspiegels bis beinahe zum Fachbaum herab.

Beispiel.

In welcher Zeit entleert sich eine Spühlschleuse bei folgenden Daten:

$$\mathbf{A} = 28000^{mq},\ \mathbf{H} = 1^m,50,\ \mathbf{h} = 0^m,10,\ \mathbf{L} = 12^m.$$

Die Formel gibt

$$t = \frac{1,114 \times 28000}{12} \cdot \frac{\sqrt{1,50} - \sqrt{0,10}}{\sqrt{1,5 \times 0,1}} = 6084'' = 101' \, 24''$$

Es steht das Wasser zuerst über den obern Rand der Oeffnung und sinkt dann unter diesen herab.

62. Steht das Wasser zuerst über den obern Rand der Oeffnung, und sinkt es nach und nach unter diesen herab, so berechnet man zuerst die Zeit des Ausflusses vom Beginn bis die Oeffnung ein Ueberfall wird, und dann die Dauer der Senkung des Wasserspiegels von diesem Zeitpunkte an, bis sie ihre untere Grenze erreicht hat.

Bemerkung hinsichtlich der Bassins, bei denen die Größe des Wasserspiegels veränderlich ist.

63. Aendert sich die Größe des Wasserspiegels während der Entleerung, so theilt man die ganze Höhe der Senkung desselben in mehrere Theile, so daß man für jeden solchen Theil die Größe des Wasserspiegels als konstant annehmen kann, und berechnet nun nach und nach die Zeit der Senkung von einer Höhe zur andern, und addirt endlich alle diese einzelnen Zeiten zusammen.

Verfahren bei beabsichtigter Entleerung eines Teiches.

64. Sollen Teiche entleert werden, so muß man die Ausflußöffnungen so bestimmen, daß das Ausströmen möglichst bald vollendet ist, und doch die tiefer liegenden Orte vor Ueberschwemmung gesichert sind.

Man verfährt hierbei, wie folgt:

Nachdem man das Nivellement, die Länge und das mittlere Profil des Abführungskanals oder des Baches aufgenommen hat, berechnet man nach den Regeln und Formeln in Nr. 28 und weiter die Wassermenge, welche der bis oben volle Kanal ableiten kann.

Nun nimmt man die Breite der Ausflußöffnung nahe zu der des Kanals gleich an, wenn diese Dimension nicht zu groß wird, legt die Sohle der Oeffnung ungefähr in die Höhe des Kanalbodens und des Grabens im Teich, theilt die ganze Höhe, um welche das Niveau sich senken soll, in gleiche Theile von $0^m,10$ bis $0^m,20$ Größe bei sehr großen Teichen und von $0^m,30$ bis $0^m,50$ ungefähr bei kleinen, und bestimmt für jeden dieser Theile die mittlere Größe des Wasserspiegels.

Nun hat man

$$E = \frac{Q}{m L \sqrt{2 g H}}$$

wo die Bezeichnungen dieselben sind wie in Nr. 13.

Hiermit berechnet man annähernd, wie weit die Schütze für den größten Wasserstand bei jeder einzelnen Schichte geöffnet werden muß, damit die in 1″ ausfließende Wassermenge der gleich sei, welche der Kanal abführen kann.

Diese Formel sagt:

Um die jedesmalige Höhe der Schützenöffnung zu berechnen, multiplizire man die Geschwindigkeit, welche dem entsprechenden Wasserstand über der Sohle der Oeffnung entspricht, mit der Weite dieser Oeffnung und dem Contraktionscoefficienten;

Dann dividire man mit diesem Produkte in die Wassermenge, welche der Kanal in 1″ ableiten kann, und der Quotient ist die gesuchte Höhe.

Das durch die so aufgezogene Schütze fließende Wasser wird immer etwas weniger seyn, als der Kanal aufnehmen kann.

Nach Nr. 58 und 60 berechnet man die Dauer der Entleerung, und ist diese größer, als durch die Umstände erlaubt ist, so muß man den Ableitungskanal erweitern.

Beispiel.

Der Ableitungskanal bei einem Teich von 200 Hektaren Oberfläche hat eine Weite von $2^m,20$ und mittlere Tiefe von 1^m. Das Gefälle des Betts beträgt 2^m auf 1800^m Länge oder $0^m,0011$ auf den Meter.

Die Formel in Nr. 28 gibt die mittlere Geschwindigkeit des Wassers

$$U = -0{,}072 + 56{,}86 \sqrt{\frac{2{,}20 \times 1 \times 2}{4{,}20 \times 1800}} = 1^m{,}288$$

und für die Wassermenge, welche in 1″ abfließen kann

$$Q = 2{,}20 \times 1{,}288 = 2^{mc}{,}83.$$

Bei der Anordnung der Ausflußöffnung kann m = 0,62 gesetzt werden. Theilt man nun das Wasser in dem Teich in Schichten von $0^m{,}15$ Dicke und rechnet man die Höhen der Schützöffnungen nach der vorstehenden Regel bis zu dem Augenblick, wo der Wasserspiegel den obern Rand der Oeffnung erreicht, so erhält man

Höhen des Niveaus über der Sohle der Oeffnung.	Größen der mittlern Oberflächen.	Erhebung der Schütze oder Höhe der Ausflußöffnung.	Druckhöhen über dem Mittel der Ausflußöffnung. H	h	Dauer der Entleerung der einzelnen Schichten. In Sekunden.	In Tagen.
m m	mq	m	m	m	″	
3,10 bis 2,95	2000000	0,531	2,835	2,685	64000	0,741
2,95 „ 2,80	2000000	0,544	2,678	2,528	65500	0,755
2,80 „ 2,65	2000000	0,558	2,521	2,371	67800	0,785
2,65 „ 2,50	2000000	0,573	2,364	2,214	72700	0,842
2,50 „ 2,35	2000000	0,590	2,205	2,055	75700	0,876
2,35 „ 2,20	2000000	0,609	2,046	1,896	78700	0,911
2,20 „ 2,05	2000000	0,630	1,885	1,735	81500	0,941
2,05 „ 1,90	1995000	0,652	1,724	1,574	85700	0,992
1,90 „ 1,75	1990000	0,672	1,564	1,414	88200	1,021
1,75 „ 1,60	1985000	0,707	1,397	1,247	93900	1,087
1,60 „ 1,45	1980000	0,739	1,231	1,081	99400	1,150
1,45 „ 1,30	1972000	0,775	1,063	0,913	107700	1,248
1,30 „ 1,15	1964000	0,822	0,889	0,739	117000	1,355
1,15 „ 1,10	1960000	0,872	0,714	0,560	41300	0,479

Dauer der Senkung des Wasserspiegels von $3^m{,}10$ bis $1^m{,}10$ über der Sohle . . . . 13,173 Tage.

Hat das Niveau die Höhe $1^m{,}10$ über dem Fachbaum erreicht, so wird die Ausflußöffnung ein Ueberfall. Berechnet man nun nach der Formel in Nr. 61 die Dauer des Ausflusses für Schichten von $0^m{,}15$ Dicke bis zur Höhe von $0^m{,}35$ über dem Fachbaum, was ungefähr dem Boden der Cünette entspricht, und wo man den Teich als leer ansehen kann, so hat man

Druckhöhen über der Sohle des Ueberfalls welche entsprechen dem obern Niveau. H	dem untern Niveau. h	Mittlere Größe des Wasserspiegels.	Dauer der Entleerung einer Schichte. In Sekunden.	In Tagen.
$1^{m},10$ bis	$0^{m},95$	1900000^{mq}	$136000''$	1,572
0,95 „	0,80	1400000	129500	1,520
0,80 „	0,65	900000	112800	1,309
0,65 „	0,50	400000	70500	0,817
0,50 „	0,35	15000	41700	0,525

Dauer der Senkung des Wasserspiegels von $1^{m},10$ bis $0^{m},35$ über der Sohle 5,743

Die ganze Dauer der Entleerung dieses Teiches ist also gleich
$$13{,}173 + 5{,}743 = 18{,}916 \text{ Tagen.}$$

Dieß Beispiel bezieht sich auf die Entleerung eines Teiches, deren Dauer durch Beschluß des königlichen Gerichtshofes zu Colmar auf drei Wochen, in Folge eines langen und kostspieligen Prozesses, festgesetzt war, den man hätte vermeiden können, wenn man gleich von Anfang das hier befolgte Verfahren eingeschlagen hätte.

Größe der Senkung des Wasserspiegels in einer gegebenen Zeit.

65. Will man die Senkung des Wasserspiegels berechnen, welche in einer bestimmten Zeit, bei einem prismatischen Bassin erfolgt, wenn kein Zufluß vorhanden ist, so kann dieß für oben geschlossene Oeffnungen nach der Formel

$$H - h = \frac{t\,m\,a}{A}\sqrt{2gH} - 4{,}904\,\frac{t^2\,m^2\,a^2}{A^2}$$

geschehen, wo alle Bezeichnungen aus Nr. 58 bekannt sind. Sie sagt:

Man multiplizire die Größe der Ausflußöffnung mit dem Contraktionscoefficienten und der Zeit des Ausflusses, und dividire das Produkt durch die Größe des Wasserspiegels,

Diesen Quotienten multiplizire man mit der Geschwindigkeit, welche der anfänglichen Druckhöhe über dem Mittel der Oeffnung zugehört, Denselben Quotienten erhebe man ins Quadrat, und multiplizire dieß mit 4,904:

Endlich ziehe man das letzte Produkt vom ersten ab, und der Rest ist die gesuchte Senkung.

Beispiel.

Um wie viel senkt sich der Wasserspiegel in einer prismatischen Schleusenkammer von 250^{mq} Querschnitt in 2′ oder 120″, wenn das Wasser durch zwei Oeffnungen von $0^{mq},30$ Größe, bei einer ursprünglichen Druckhöhe von $1^{m},80$ über dem Mittel der Oeffnungen ausfließt?

Der Coefficient m ist bei zwei benachbarten Oeffnungen $=0,55$. Man hat daher

$$\frac{t\,m\,a}{A} = \frac{120 \times 0{,}55 \times 2 \times 0{,}30}{250} = 0{,}1584$$

und die Formel gibt

$$H - h = 0{,}1584 \times 5{,}95 - (0{,}1584)^2 \times 4{,}904 = 0^{m},819.$$

Ueberfälle.

66. Bei Ueberfällen berechnet man die Senkung des Wasserspiegels in einer gegebenen Zeit nach der Formel

$$H - h = H \left\{ 1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{t \,.\, 0{,}202\, L \sqrt{2 g H}}{A}\right)^2} \right\}$$

in welcher die Bezeichnungen der Nr. 61 gebraucht sind.

Beispiel.

Wie weit senkt sich der Wasserspiegel in 1 Stunde oder 3600″, wenn die Oberfläche 250000^{mq} hat, und der Ausfluß durch einen Ueberfall von 12^{m} Weite bei einer anfänglichen Druckhöhe von $1^{m},80$ statt findet?

Die Formel gibt

$$H\text{-}h = 1^{m},80 \left\{ 1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{3600 \,.\, 0{,}202 \,.\, 12 \sqrt{19{,}62 \,.\, 1{,}80}}{250000}\right)^2} \right\} = 0^{m},563$$

Bemerkung hinsichtlich der Bassins, deren horizontale Querschnitte nicht gleich groß sind.

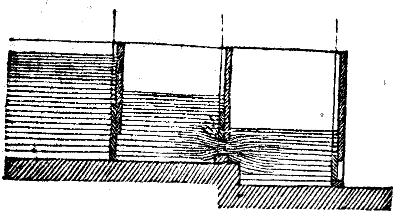
67. Aendert sich die Größe des Wasserspiegels während des Ausflusses merklich, so muß man dessen Dauer in eine hinreichende

Zahl kleinerer Zeiträume theilen, für welche einzeln man die Größen des Wasserspiegels als konstant ansehen kann.

Erforderliche Zeit zur Füllung einer Schleusenkammer; doppelte Schifffahrtsschleusen.

68. Bei den doppelten Schifffahrtsschleusen entleert sich die obere in die untere Kammer, ohne daß Zufluß vorhanden wäre. Dabei berechnet man die Zeit, welche vergeht bis in beiden Bassins das Wasser gleich hoch steht, nach folgenden Regeln:

Fig. 17.



Vom Anfang an untergetauchte Ausflußöffnung.

69. Ist die Schützenöffnung von Anfang an unter Wasser, und bedeuten:

A und A^1 die konstanten Flächenräume der obern und untern Kammer,

H^1 und h^1 die Niveauhöhen über dem Mittel der Ausflußöffnung im Ober- und Unterwasser,

a die Größe der Oeffnung oder beider Oeffnungen zusammen, wenn zwei vorhanden sind,

m den Contraktionscoefficienten (Nr. 21 und weiter);

so hat man die Zeit, nach welcher beide Wasserspiegel in eine Ebene fallen

$$t = \frac{0{,}451\, A\, A^1}{m a \sqrt{A + A^1}} \sqrt{H^1 - h^1}$$

Beispiel.

Für die doppelte Bayardschleuse in Toulouse ist folgendes gegeben:

$A = 205^{mq}$, $A^1 = 215^{mq}$, $a = 1^{mq},249$, $m = 0{,}55$, $H^1 = 4^m,14$, $h = 0^m,24$

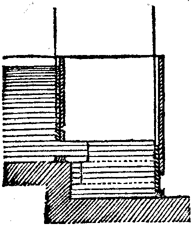
Die Formel gibt

$$t = \frac{0{,}451 \times 205 \times 215}{0{,}55 \times 1{,}249 \sqrt{205 + 215}} \cdot \sqrt{4{,}14 - 0{,}24} = 137'' = 2'\,17''$$

Die direkte Beobachtung gab $2'\,29''$; die Differenz rührt von der Zeit her, die man braucht, die Schützen aufzuziehen. (D'Aubuisson traité d'hydraulique, Seite 99.)

Die Schützenöffnung steht nicht von Anfang an unter Wasser.

Fig. 18.



70. Steht die Schützöffnung nicht von Anfang an im Hinterwasser, liegt sogar das Niveau in der untern Kammer, wenn die Schütze aufgezogen wird, noch unter der Sohle der Schützöffnung, so berechnet man die Zeit, welche von da verfließt bis die Oeffnung bis zur Mitte im Hinterwasser steht, nach der Formel

$$t = \frac{0{,}451 \sqrt{A}}{m\,a}\left[\sqrt{A H^1} - \sqrt{A H^1 - A^1 (h^1 + h)}\right]$$

worin A, A^1, H^1, m und a dasselbe bedeuten was bisher,

h^1 aber die Tiefe des Wasserspiegels in der untern Kammer unter dem Fachbaum der Schütze,

h die halbe Höhe der Schützenöffnung.

Die Zeit, welche nun noch zur vollständigen Füllung der untern Kammer erfordert wird, rechnet man nach Nr. 68.

Beispiel.

In wie viel Zeit hebt sich bei der Bayardschleuse der untere Wasserspiegel von $0^m{,}30$ unter der Mitte der Schützenöffnung bis zu dieser Mitte?

Die Höhe der Schützenöffnung ist $0^m{,}70$ und daher $h + h^1 = 0^m{,}65$.

Die Formel gibt

$$t = \frac{0{,}451 \sqrt{205}}{0{,}55 \times 1{,}249}\left(\sqrt{205 \times 4{,}14} - \sqrt{205 \times 4{,}14 - 215 \times 0{,}65}\right) = 23'',6$$

Erforderliche Zeit zur Füllung einer Schleusenkammer aus einem Reservoir mit gleichbleibendem Niveau.

71. Bleibt das füllende Reservoir in gleicher Höhe voll Wasser, und ist die Oeffnung im Anfang nicht untergetaucht, so berechnet

man die erforderliche Zeit der Füllung der Schleusenkammer bis zur Mitte der Ausflußöffnung nach der Formel

$$t = \frac{A\,h^1}{m\,a\sqrt{2gH}}$$

wo **A** die Größe des Wasserspiegels in der Schleusenkammer bedeutet,

h^1 die anfängliche Tiefe des Niveaus in dieser unter der Mitte der Schützenöffnung,

H die konstante Höhe des Wasserstandes im Reservoir über dieser Mitte,

m, **a** dasselbe, was bisher.

Nun berechnet man weiter die Zeit, welche man noch braucht, um die Schleusenkammer bis zur Höhe des Wassers im Reservoir zu füllen, nach der Formel:

$$t = \frac{0{,}451\,A}{m\,a}\sqrt{H}$$

Beispiel.

In welcher Zeit füllt sich eine Schleusenkammer, in der das Niveau zuerst in der Höhe des Fachbaums der Schütze, die auf $0^m{,}65$ aufgezogen ist, liegt, wenn dieses sich bis zu $2^m{,}25$, der konstanten Höhe des Oberwassers über der Mitte der Schützöffnung, heben soll?

Es sei

$$A = 325^{mq},\ a = 1^{mq}{,}258,\ m = 0{,}55.$$

Man hat zuerst die Zeit, in der das Wasser bis zur Mitte der Schützöffnung steigt,

$$t = \frac{325 \times 0{,}325}{0{,}55 \times 1{,}258\sqrt{19{,}62 \times 2{,}25}} = 23''$$

und die Zeit von da bis beide Niveaus gleich hoch stehen,

$$t = \frac{0{,}451\,.\,325}{0{,}55 \times 1{,}258}\sqrt{2{,}25} = 317''$$

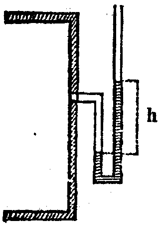
die ganze Dauer der Füllung ist daher

$$23 + 317 = 340'' = 5'\,40''.$$

Bewegung und Ausfluß der Gase.

Maß der Spannung der Gase und Dämpfe.

Fig. 19.



72. Um das Gasvolumen zu berechnen, das durch eine gegebene Oeffnung ausströmt, muß man die Spannung dieses Gases kennen. Dazu wendet man eine Röhre, in Form eines umgekehrten Hebers gebogen (Fig. 19) an, in welche man bei schwachem Druck Wasser, bei stärkerem Quecksilber gießt.

Nennt man nun

P den Druck des Gases in dem Gefäße, an welchem das Manometer angebracht ist, auf ein Quadratcentimeter,

p den Druck der äußern Luft auf ein Quadratcentimeter,

h die Höhe der Flüssigkeitssäule, welche den Unterschied dieser Pressungen mißt in Metern,

so hat man

$$P - p = 0^{\text{kil.}},1\ h, \text{ bei Wasser, und}$$
$$P - p = 1^{\text{kil.}},3598\ h \text{ bei Quecksilber.}$$

Der atmosphärische Druck ist im Mittel gleich dem einer Quecksilbersäule von $0^{\text{m}},76$ Höhe und daher gleich

$$1,3598 \times 0,76 = 1^{\text{kil.}},0333 \text{ für den Quadratcentimeter.}$$

Den Druck im Innern des Behälters hat man nun

$$P = 1^{\text{kil.}},0333 + 0^{\text{kil.}},1\ h \text{ bei Wasser und}$$
$$P = 1^{\text{kil.}},0333 + (1^{\text{kil.}},3598) \times h \text{ bei Quecksilber.}$$

Beispiel.

Wie groß ist der Druck der Luft bei einem Gebläse, wenn das Quecksilbermanometer eine Niveaudifferenz von $0^{\text{m}},06$ zeigt?

Der innere Druck auf ein Quadratcentimeter ist

$$P = 1^{\text{kil.}},0333 + 1^{\text{kil}},3598 \times 0,06 = 1^{\text{kil.}},1149.$$

Der Ueberschuß des innern Drucks über den äußern aber

$$0^{\text{kil.}},0816.$$

Werthe der Spannungen in Atmosphären.

73. Es ist gebräuchlich, die Spannungen der Gase und noch

mehr, die der Dämpfe, mit dem Druck der Atmosphäre zu vergleichen, welche man dann als Einheit annimmt.

Theilt man den Werth des Dampfdruckes in Kilogrammen, wie man ihn durch die obige Formel erhält, durch 1,0333 oder die Höhe der Quecksilbersäule, welche die Spannung mißt, durch 0,76, so gibt beidemal der Quotient den Druck in Atmospären.

Beispiel.

Die Spannung des Dampfes in einem Kessel ist durch die Quecksilbersäule von $1^m,90$ gemessen; der Ueberschuß seines Druckes über den der Atmosphäre ist daher

$\frac{1,90}{0,76} = 2,5$ Atmosphären, und der Druck des Dampfes auf die Wände des Kessels

$$= 2,5 + 1 = 3,5 \text{ Atmosphären.}$$

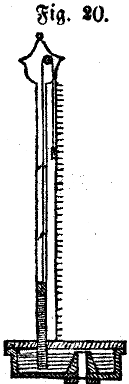
Druck auf eine gegebene Oberfläche.

74. Kennt man den Druck des Gases auf ein Quadratcentimeter, so hat man diesen nur mit der Zahl der Quadratcentimeter zu multiplizieren, welche in der gegebenen Oberfläche enthalten sind, um den vollständigen Druck auf diese zu haben.

So erhält man den Druck auf den Quadratmeter, wenn man den auf den Quadratcentimeter 10000 mal nimmt.

Im Beispiel in Nr. 72 ist der Ueberschuß des innern Drucks über den äußern auf ein Quadratmeter $= 10000 \times 0^{kil.},0816 = 816$ Kilogramm.

Fig. 20.



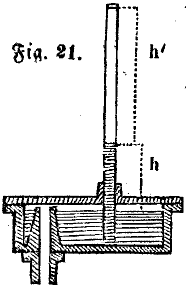
Gefäßmanometer.

75. Oft braucht man bei Dampfkesseln, um die Spannung der Dämpfe zu messen, Manometer, bei welchen das Quecksilber sich in einer langen eisernen Röhre (Fig. 20) mehrere Meter hoch erheben kann, womit sich dann Pressungen von mehreren Atmosphären bestimmen lassen. Ein Schwimmer hängt an einem Faden, der über eine Rolle geht und an dessen anderm Ende ein Zeiger hängt, welcher an einem Maßstab die Höhe des Quecksilbers und damit die Spannung des Dampfes angibt.

Manometer für hohen Druck.

76. Das gewöhnlich bei Dampfmaschinen gebrauchte Manometer besteht bekanntlich in einer oben geschlossenen Röhre, welche unten in ein Gefäß, das Quecksilber enthält, getaucht ist (Fig. 21).

Fig. 21.



Das Instrument ist gewöhnlich so eingerichtet, daß bei 10° Temperatur und dem mittlern atmosphärischen Druck die Quecksilbersäule in der Röhre mit dem Quecksilber in dem Gefäß im Niveau steht.

Nennt man nun

p' den Druck der Luft, bei dem das Instrument eingetheilt wurde, gewöhnlich $1^{kil},0333$;

t' die Temperatur zur nämlichen Zeit; sie kann gewöhnlich gleich 10° angenommen werden;

t die Temperatur in der Kammer, in der das Manometer aufgestellt ist;

h' die Höhe, welche die Luft bei der Beobachtung in der Röhre einnimmt;

h die Höhe, auf welche das Quecksilber in der Röhre über das Niveau in dem Gefäße gestiegen ist;

x die Pressung der in der Röhre comprimirten Luft; dann hat man zuerst

$$x = \frac{h + h'}{h'} \cdot \frac{1 + 0{,}00375\, t'}{1 + 0{,}00375\, t} \cdot p',$$

und den Druck P des Gases oder Dampfes auf 1 Quadratcentimeter

$$P = x + 1^{kil},3598\, h.$$

Anmerkung. Schwimmt in der Röhre eine kleine Wassersäule über dem Quecksilber, so muß man das Gewicht dieser Wassersäule zu dem des Quecksilbers addiren. Außerdem muß man die Pressung der Luft in der Röhre um die Spannung der Wasserdämpfe von der Temperatur t der Kammer (Nr. 158) vermehren.

Beispiel.

Wie groß ist der Druck des Dampfes in einem Kessel, bei dem das Manometer folgende Anzeigen gibt?

$$h = 0^m,16,\; h' = 0^m,30,\; t' = 10^0,\; t = 30^0$$

Die erste Formel gibt

$$x = \frac{0,46}{0,30} \times \frac{1 + 0,00375 \times 10}{1 + 0,00375 \times 30} \times 1,0333 = 1^{kil},475$$

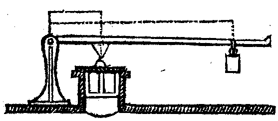
und die zweite

$$P = 1^{kil},475 + 1,3598 \times 0,16 = 1^{kil},692.$$

Bestimmung des Dampfdrucks mit Hilfe der Sicherheitsventile.

77. Hat man kein Manometer, so kann man durch Beobachtung der Sicherheitsventile im Augenblicke, wo der Druck des Dampfes und das Läufergewicht am Hebel an ihnen im Gleichgewicht sind, den Dampfdruck bestimmen; das Mittel ist aber ungenau.

Fig. 22.



Nennt man

q das Gewicht des Läufers am Hebel,
o die innere Oberfläche des Ventils in Quadratcentimetern,
r den Radius der Axe des Hebels,
f den Reibungscoefficient für diese Axe und ihre Lager,
l die horizontale Entfernung des Mittelpunkts des Dampfdrucks auf das Ventil von dem Mittelpunkte der Axe des Hebels,
L die analoge Entfernung für das Laufgewicht.
$p = 1^{kil},0333$ oder den Druck einer Atmosphäre,

so hat man den Dampfdruck in dem Kessel auf 1 Quadratcentimeter

$$P = p + \frac{q\,(L - fr.)}{o\,(l + fr.)}$$

Fast immer wird man hierbei die Reibung vernachlässigen können; dann hat man

$$P = p + \frac{q\,L}{o\,l}$$

Beispiel.

Die innere Fläche eines Sicherheitsventils sei 12 Quadratcentimeter, und

$q = 6^{kil}$, $L = 0^m,45$, $l = 0^m,08$, so hat man
$P = 1,033 + 2,812 = 3^{kil},845$.

Mit Berücksichtigung der Reibung, wenn $f = 0,08$ und $r = 0^m,005$ ist, hätte man erhalten
$P = 1,033 + 2,795 = 3^{kil},828$; $0^{kil},017$ weniger als oben.

Dichte des Dampfes.

78. Aus der Pressung und der Temperatur eines Gases oder von Dampf läßt sich leicht dessen Dichte oder das Gewicht eines Kubikmeters desselben ableiten. Man hat

für atmosphärische Luft $\quad d = \frac{1,2572\,P}{1 + 0,00375\,t}$

und für Wasserdampf $\quad d = \frac{0,7827\,P}{1 + 0,00375\,t}$

was mit folgender Regel übereinstimmt:

Um das Gewicht eines Kubikmeters Luft oder Wasser zu berechnen, multiplizire man die Pressung auf 1 Quadratcentimeter in Kilogramm für Luft mit 1,2572, für Wasserdampf mit 0,7827, und dividire das Produkt durch 0,00375 mal die Temperatur mehr 1.

Beispiel.

Welches ist die Dichte der Luft bei der Temperatur 10° und dem Druck $P = 1^{kil},115$?

Die Formel gibt $d = 1^{kil},350$.

Mittlere Geschwindigkeit mit der Gas oder Dampf ausströmt.

79. Kennt man durch die Beobachtung des Manometers den Ueberschuß $P - p$ des Druckes eines Gases in einem Behälter über den Druck in einem andern Behälter, in welchen jenes ausströmt, oder über den Druck der Atmosphäre, wenn der Ausfluß in freie Luft statt hat, so erhält man die Ausflußgeschwindigkeit nach der Formel:

$$V = \sqrt{2g\,\frac{P - p}{d}}$$

worin

$g = 9^m,8088$,

$\left.\begin{array}{l}P \text{ der innere Druck}\\ p \text{ der äußere Druck}\end{array}\right\}$ auf 1 Quadratmeter,

d das Gewicht eines Kubikmeters des Gases (Nr. 78) ist.

Bedient man sich des Quecksilbermanometers, so kann man diese Formel durch folgende ersetzen

$$V = \sqrt{2g\frac{13598}{d}h} = \sqrt{\frac{266760\,h}{d}},$$

was sagt:

Um die Geschwindigkeit zu bestimmen, mit der ein Gas aus einem Behälter ausströmt, multiplizire man die Höhe der Quecksilbersäule in Metern, welche die Differenz des innern und äußern Drucks mißt, mit 266760 und dividire das Produkt durch die Dichte des Gases, nach Nr. 78 bestimmt; die Quadratwurzel aus diesem Quotienten ist das Gesuchte.

Anmerkung. Diese Regel ist nur anwendbar, wenn der innere Druck den äußern nicht mehr als um $^1/_4$ oder $^1/_5$ überschreitet, wie dieß gewöhnlich der Fall ist.

Beispiel.

Mit welcher Geschwindigkeit strömt die Luft aus einer Leitung, in welcher der innere Druck den äußern um $0^m,06$ Quecksilberdruckhöhe überschreitet, bei der Temperatur 10^o?

Man findet zuerst nach der Regel in Nr. 78 $d = 1^{kil},350$ und obige Formel gibt dann

$$V = 108^m,8.$$

Luftvolum, das durch eine gegebene Oeffnung ausströmt.

80. Die theoretische Ausflußmenge, oder das Volum Luft, welches ausströmen würde, wenn keine Contraktion statt fände, erhält man nach der Formel:

$$Q = A\,V,$$

in welcher bedeutet:

A die Größe der Ausflußöffnung in Quadratmetern,

V die Geschwindigkeit in Metern.

Um die effektive Ausflußmenge zu erhalten, muß man die theoretische multipliziren, mit

0,61 bei völliger Contraktion,

0,84 wenn die Oeffnung mit einer cylindrischen Ansatzröhre versehen ist,

0,96 wenn die Oeffnung das Ende einer conischen Düse ist, welche sich rückwärts bis zur Weite der Leitung vergrößert, wie dieß gewöhnlich der Fall ist.

Beispiel.

Wie viel Luft strömt durch die Düse eines Gebläses für einen Eisenhochofen, wenn der Durchmesser der Düse $0^m,034$ beträgt, die Pressung des Windes gleich $0^m,06$ Quecksilberhöhe und die Temperatur 10^o ist?

Die Formel in Nr. 79 gibt die Ausflußgeschwindigkeit

$$V = 108^m,8 \text{ in } 1''.$$

Die Luftmenge in 1 Sekunde ist daher

$$Q = 0,96 \times 0,00091 \times 180,8 = 0^{mc},095.$$

Fall, in dem man die Pressung weit von der Düse entfernt beobachtet hat.

81. Hat man die Pressung an einem weit von der Ausflußöffnung weggelegenen Punkte beobachtet, so daß man die Widerstände der Wände nicht vernachlässigen kann, so gibt folgende Formel die Geschwindigkeit in der Ausflußöffnung, unter der Voraussetzung, daß in der Leitung keine Verengerung vorkomme.

$$V = \sqrt{\left(\frac{2\,g\,(P-p)}{d\left(1+\frac{0,0252\,L\,m^2\,D'^4}{D^5}\right)}\right)} = \sqrt{\left(\frac{266760\,h}{d\left(1+\frac{0,0252\,L m^2\,D'^4}{D^5}\right)}\right)}$$

in welcher

$P-p$ den Ueberschuß des innern Drucks über den äußern für Quadratmeter bedeutet: er ist gleich $13598\,h$, wo h die am Manometer beobachtete Höhe der Quecksilbersäule ist,

d das Gewicht eines Kubikmeters der Luft von der Pressung P,

L die Länge der Leitung in Metern,

D den Durchmesser der Leitung in Metern,

D' den Durchmesser der Ausflußöffnung in Metern,

m den Contraktionscoefficienten für diese Oeffnung (Nr. 80).

Beispiel.

Welche Luftmenge fließt durch eine Oeffnung von $0^m,06$ Durchmesser am Ende einer Leitung von $0^m,25$ Durchmesser und 100^m Länge, wenn die Pressung des Windes im Anfange der Leitung durch die Höhe einer Quecksilbersäule von $0^m,06$ Höhe angegeben ist?

Die Formel gibt

$$V = \sqrt{\left(\frac{266760 \times 0{,}06}{1{,}350\left(1 + \frac{0{,}0252 \,.\, 100 \,.\, (0{,}96)^2\,(0{,}06)^4}{(0{,}25)^5}\right)}\right)} = 107^m{,}1.$$

Die Ausflußmenge in 1'' ergibt sich nun nach Nr. 80:

$$Q = 0{,}96 \times 0{,}7854\,(0{,}06)^2 \times 107{,}1 = 0^{mc}{,}290.$$

Die Beobachtung der Pressung geschah in einem Reservoir, aus dem die Leitung fortgeht.

82. Ist das Manometer an einem Reservoir angebracht, aus dem das Gas durch eine Leitung fortströmt, so berechnet man die Geschwindigkeit am Ende dieser Leitung nach der Formel

$$V = \sqrt{\left(\frac{266760\,h}{d\left\{1 + \frac{m^2 D'^4}{D^4}\left[\left(\frac{1}{m'} - 1\right)^2 + \frac{0{,}0252\,L}{D}\right]\right\}}\right)}$$

worin die Bezeichnungen der vorhergehenden Nummer beibehalten wurden, und

m' den Contraktionscoefficienten für den Anfang der Leitung bedeutet, der gewöhnlich $= 0{,}61$ ist.

Beispiel.

Wenn die Daten des vorhergehenden Beispiels beibehalten werden, aber die Pressung in einem Reservoir gemessen wurde; wie groß ist dann die Ausflußmenge?

Nimmt man für den Contraktionscoefficienten beim Anfang der Leitung $m' = 0{,}61$, so findet man

$$V = 107^m{,}03$$

woraus hervorgeht, daß der Unterschied unbedeutend ist, wenn man einmal die Pressung in der Leitung, das anderemal im Reservoir mißt.

Bemerkungen über die Errichtung von Gasleitungen.

83. Die vorstehenden Formeln zeigen, was man bei Aufstellung von Gasleitungen zu befolgen hat. Man soll:

1) Den Leitungen möglichst große Durchmesser geben. Für die Hauptleitungen ist passend

$$D = 0^m{,}30 \text{ bis } 0^m{,}40$$

und für die Nebenleitungen

$$D = 0^m{,}20 \text{ bis } 0^m{,}25$$

2) Die ganze Länge der Leitungen möglichst klein nehmen.

3) Alle Verengerungen und Einbiegungen in den Leitungen vermeiden.

4) Alle Uebergänge, seien sie beim Anfange der Leitung oder bei den Hahnen zur Vertheilung, so anzuordnen, daß die Contraktion möglichst gering wird.

5) Unnöthige Aenderungen in der Richtung der Leitung vermeiden, und bei unvermeidlichen die Biegungen rund machen.

Von der Kraft des strömenden Wassers.

84. Das ganze Gefälle des Wassers bei einer Anlage nennt man die Höhe des Wasserspiegels im obern Reservoir über dem Wasserspiegel in dem Ableitungskanal.

Die Kraft eines Wasserlaufs, oder die Größe der absoluten Arbeit, welche er liefert, ist das Produkt aus dem Gewichte seiner Wassermenge in das ganze Gefälle.

Nennt man nun immer

Q die Wassermenge in Kubikmetern,

H das ganze Gefälle in Metern,

so ist die absolute Arbeit oder die Kraft des Wasserlaufs gegeben durch

$$1000\ Q\ H^{km},$$

oder in Pferdekräften von 75^{km} ausgedrückt

$$N = \frac{1000\ Q\,H}{75}$$

wo **N** die Anzahl der Pferdekräfte bedeutet.

Beispiel.

Welches ist die absolute Kraft eines Wasserlaufs der $0^{mc},450$ in der Sekunde liefert und ein ganzes Gefälle von $5^{m},25$ hat?

Die absolute Kraft ist

$$1000 \times 0{,}450 \times 5{,}25 = 2362^{\mathrm{km}}{,}5$$

$$\text{oder} = \frac{2362{,}5}{75} = 31{,}5 \text{ Pferdekräften.}$$

Diese absolute Kraft des strömenden Wassers, welche seinen Kaufwerth bedingt, muß in der Jahrszeit bestimmt werden, wo die Wasser ihre mittlere Höhe haben.

Wasserräder.

Regeln zur Bestimmung des Nutzeffekts eines aufgestellten Rades.

Klassifikation der verschiedenen im Gebrauch stehenden Räder.

85. Die gewöhnlich im Gebrauch stehenden Räder theilen sich in folgende Klassen:

1) Unterschlächtige Räder in Gerinnen mit ebenen Schaufeln.

2) Kropfräder, bei denen nicht das ganze Gefälle zum Kropf verwendet ist.

3) Kropfräder mit Ueberfallsschützen.

4) Unterschlächtige Räder mit gekrümmten Schaufeln und geneigter Schütze, nach Poncelet.

5) Oberschlächtige, Zellenräder.

6) Räder in unbegrenztem Wasser; Schiffmühlräder.

7) Turbinen.

Angenommene Bezeichnungen.

86. Im Folgenden bezeichnen wir immer mit:

Q die Wassermenge in 1″, ausgedrückt in Kubikmetern.

V die Geschwindigkeit, mit der der mittlere Strahl auf dem Rade anlangt (Nr. 35 und Nr. 39).

v die Geschwindigkeit des äußern Radumfangs.

a den Winkel, den beide Geschwindigkeiten mit einander machen;

dieser Winkel ist in der Regel leicht dadurch zu bestimmen, daß man an die Kurve, in welcher der mittlere Strahl zum Rad gelangt und an den Radumfang dort, wo beide Kurven sich treffen, Tangenten zieht.

P die mittlere Kraft, welche das Wasser auf den äußern Radumfang überträgt; es ist dieß das Gewicht, welches das Rad erheben könnte, wenn jenes an einer um diesen Umfang geschlagenen Schnur hienge.

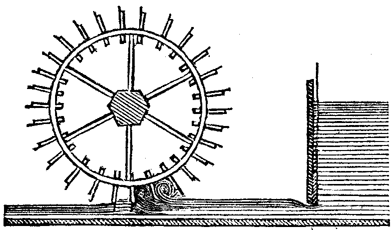
h die Höhe, um welche das Wasser von seinem Eintritt ins Rad bis zum tiefsten Punkte des Rades sinkt, also die Höhe des Eintrittspunktes über diesem tiefsten Punkte des Rades.

Nun ist das Produkt **P v** aus dem Gewicht, welches das Rad an seinem Umfang erheben könnte, in den Weg **v**, um den dieses in 1″ erhoben würde, der Nutzeffekt oder die auf den Umfang des Rades fortgepflanzte Arbeit.

Unterschlächtige Räder mit ebenen Schaufeln.

87. Diese Räder trifft man oft in alten Mühlen, wo sie in Gerinnen von Holz oder gehauenen Steinen gehen, in welchen ihre Schaufeln wenigstens einen Spielraum von $0^{m},03$ bis $0^{m},04$ haben. Die Schütze steht vertikal und ist oft sehr weit vom Rade entfernt.

Fig. 23.



Unter diesen Umständen ist der Nutzeffekt oder die auf das Rad übertragene Arbeit durch folgende aus den Erfahrungen von Bossut und von Smeaton abgeleitete Formel gegeben

$$P\,v = 61\,Q\,(V - v)\,v^{km}$$

worin man die Geschwindigkeit **V** nach den Regeln in Nr. 35 und weiter bestimmt.

Beispiel.

Ein Rad dieser Konstruktion hat $0^{mc},500$ Wasser in der Sekunde, dieses kommt mit $4^{m},50$ Geschwindigkeit auf das Rad, die Geschwindigkeit des äußern Radumfangs ist $2^{m},50$; welches ist der Nutzeffekt dieses Rades?

Er ist

$$Pv = 61 \times 0{,}500\ (4{,}50 - 2{,}50) \times 2{,}50 = 152^{km},5$$

oder ungefähr 2 Pferdekräfte.

Verhältniß des Nutzeffekts und der absoluten Arbeit des Wassers.

88. Wäre die Schütze nahe bei dem Rad, und hätten die Gerinnwände nur unbedeutenden Einfluß auf die Geschwindigkeit des Wassers, so würde das ganze Gefälle die zu $4^m,50$ gehörige Geschwindigkeitshöhe oder ungefähr $1^m,03$ (Nr. 3) seyn, und die absolute Arbeit des Wassers wäre daher

$$1000 \times 0{,}500 \times 103 = 515^{km}$$

oder 6,87 Pferdskräfte.

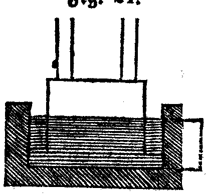
Das Verhältniß des Nutzeffekts zur absoluten Arbeit ist daher nur $\frac{152{,}5}{515} = 0{,}297$. Diese Räder pflanzen also nur etwa 0,3 der absoluten Arbeit des Wassers fort.

Ueberschreitet der Spielraum der Schaufeln im Gerinne $0^m,04$, so wird der Nutzeffekt noch geringer und steigt nur bis zu 0,25 von der absoluten Arbeit des Wassers.

Die Schaufeln haben einen bedeutenden Spielraum.

89. Ist der Spielraum bedeutend größer als der angegebene, so kann man vorstehende Erfahrungsformel nicht mehr anwenden, und man muß folgenden Weg einschlagen, um den Nutzeffekt des Rades zu erhalten.

Fig. 24.



Kennt man die Wassermenge nach Nr. 34 und weiter und die Geschwindigkeit V, mit der das Wasser beim Rade anlangt, und nennt man

L die Weite des Gerinnes,

x die Dicke der Wasserschichte im Gerinne, an dem Orte, wo sie das Rad erreicht;

so hat man

$$Q = VLx \text{ und } x = \frac{Q}{VL}$$

Aus der Zeichnung und aus den Dimensionen der Schaufeln bestimmt man nun die Tiefe bis zu der jede Schaufel untergetaucht ist, und berechnet die Größe a der eingetauchten Fläche der Schaufeln. Damit erhält man den Nutzeffekt des Rades nach der Formel

$$Pv = 76{,}45\, a\, V\, (V - v)\, v^{km},$$

Beispiel.

Bei einem Rade mit ebenen Schaufeln, das in seinem Gerinne einen Spielranm von $0^m{,}10$ auf jeder Seite und von $0^m{,}06$ am Boden hat, ist

$Q = 0^{mc}{,}600$, $V = 5^m{,}50$, $v = 3^m$,

$L = 1^m$, Weite des Gerinnes und

$l = 0^m{,}8$, Breite der Schaufeln.

Welches ist der Nutzeffekt?

Man hat zuerst

$$x = \frac{Q}{VL} = \frac{0{,}600}{5{,}5 \times 1} = 0^m{,}109$$

$$a = 0{,}80\,(0{,}109 - 0{,}06) = 0^{mq}{,}0392$$

$Pv = 76{,}45 \times 0{,}0392 \times 5{,}50\ (5{,}50 - 3)\ 3 = 124^{km} = 1{,}65$ Pferdekräfte.

Ist hierbei die Schütze nahe bei dem Rade, so daß kein Geschwindigkeitsverlust im Gerinne statt hat, so ist das ganze Gefälle nahe die zur Geschwindigkeit $5^m{,}50$ gehörige oder $1^m{,}54$ und die absolute Kraft des Wassers ungefähr

$$1000 \times 0{,}600 \times 1{,}54 = 924^{km}.$$

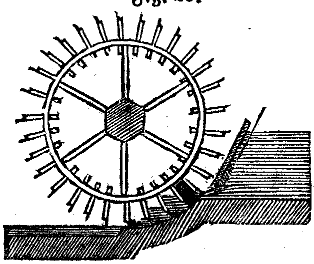
Das Verhältniß des Nutzeffekts zur absoluten Arbeit des Wassers also nur

$$\frac{124}{924} = 0{,}134 = \frac{1}{7{,}46}$$

Räder mit unvollständigem Kropf.

90. Man sieht häufig sorgfältig ausgeführte Räder mit einem Kropf, der einen Theil des Gefälles einnimmt, mit sehr wenig Spielraum darin, und gewöhnlich mit einem Boden.

Fig. 25.



Das Wasser wirkt in diesen Rädern zuerst durch den Stoß bei seiner Ankunft mit der Geschwindigkeit V, dann durch das Herabsinken durch die Höhe h. Vor der Schützöffnung steht hierbei das Wasser immer in größerer oder geringerer Höhe über dem obern Rand derselben.

So oft die Wassermenge, welche in das Rad tritt, nicht $^2/_3$ der Capacität der Zellen, und die Geschwindigkeit des Rades die des zuströmenden Wassers nicht überschreitet, gibt folgende Formel den Nutzeffekt des Rades wenigstens bis auf $^1/_{20}$ genau*)

$$Pv = 750\,Q\left[h + \frac{(V\cos a - v)\,v}{9{,}81}\right]^{km}$$

Die Bezeichnungen in Nr. 85.

Erstes Beispiel.

Rad in der Gießerei zu Toulouse. Man hat

$Q = 0^{mc},604$, $h = 0^{m},422$, $a = 0$, $V = 5^{m},47$, $v = 3^{m},04$.

Die Formel gibt den Nutzeffekt

$$Pv = 750 \times 0{,}604\left[0{,}422 + \frac{(5{,}47 - 3{,}04)\,3{,}04}{9{,}81}\right] = 532^{km}$$

Die direkte Beobachtung mit dem Bremsdynamometer gab 504^{km}.

Zweites Beispiel.

Für das Rad der Trockenanstalt in der Pulverfabrik zu Metz hat man

$Q = 0^{mc},215$, $h = 0^{m},414$, $a = 0$, $V = 2^{m},696$, $v = 1^{m},616$.

Die Formel gibt den Nutzeffekt

$$Pv = 750 \times 0{,}215\left[0{,}414 + \frac{2{,}696 - 1{,}616}{9{,}81} \times 1{,}616\right] = 955^{km}.$$

Das Dynamometer zeigte 963^{km}.

Drittes Beispiel.

Bei dem Rad eines Hammers in der Gewehrfabrik zu Chatellerault hat man

$Q = 0^{mc},441$, $h = 1^{m},28$, $\cos a = 0{,}90$, $V = 2^{m},77$, $v = 1^{m},025$.

Die Formel gibt den Nutzeffekt

$$Pv = 750 \times 0{,}441\left[1{,}28 + \frac{2{,}493 - 1{,}025}{9{,}81} \times 1{,}025\right] = 475^{km}.$$

Der Versuch mit dem Dynamometer gab 460^{km}.

---

*) Expériences sur les roues hydrauliques, par M. A. Morin, Capitel 1, 2, 3, 4 und 5. Metz 1836. A Paris, chez L. Mathias, libraire.

Viertes Beispiel.

Bei dem Rade zum Zermahlen der Materialien für die Glashütte zu Baccarat (Meurthe) ist

$Q = 0^{mc},392, h = 1^{m},40, a = 50^{0}, V \cos a = 1^{m},985, v = 1^{m},375.$

Die Formel gibt den Nutzeffekt

$$Pv = 750 \times 0,392 \left[1,40 + \frac{1,985 - 1,375}{9,81} \times 1,375 \right] = 438^{km}.$$

Der Versuch mit dem Dynamometer hat dasselbe Resultat gegeben.

Vergleichung des Nutzeffekts und der absoluten Arbeit.

91. Die Vergleichung des Nutzeffektes und der absoluten Arbeit des Wassers zeigt, daß das Verhältniß dieser beiden Größen ist, für

das Rad in der Gießerei zu Toulouse, wo die Höhe h nur etwa $^1/_4$ des ganzen Gefälls war . . . 0,40 bis 0,45

das Rad der Trockenanstalt in der Pulverfabrik zu Metz, wo h $^2/_5$ des ganzen Gefälls war . . . 0,42 bis 0,49

das Rad der Waffenfabrik zu Chatellerault, wo h etwa $^2/_3$ des ganzen Gefälls war 0,47

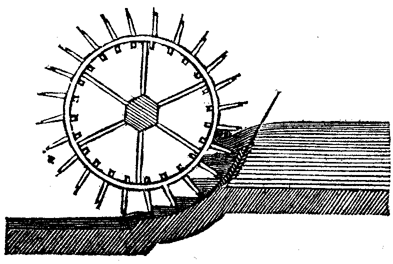
das Rad der Mühlen zu Baccarat, wo h $^3/_4$ des ganzen Gefälls betrug . . . . 0,55.

Daraus sieht man, wie diese Räder einen um so größern Theil der Arbeit des Wassers zu Nutze machen, je näher bei seinem Niveau dasselbe ins Rad tritt.

Vollständige Kropfräder mit ebenen Schaufeln und mit Ueberfallsschützen.

92. Die besten Räder mit ebenen Schaufeln sind die auf die ganze Höhe des Gefälls mit einem guten Kropf versehenen, in dem die Schaufeln nur einige Millimeter Spielraum haben, und in welche das Wasser über einen Ueberfall eintritt.

Fig. 26.



So oft das Wasser, welches eine Zelle aufnimmt, diese nicht über die Hälfte oder $^2/_3$ füllt, und die Geschwindigkeit des Radumfangs die des eintretenden Wassers nicht sehr überschreitet, gibt folgende Erfahrungsformel bis auf $^1/_{20}$ wenigstens genau den Nutzeffekt

$$\mathbf{P\,v} = 799\,\mathbf{Q}\left[\mathbf{h} + \frac{(\mathbf{V}\cos\mathbf{a} - \mathbf{v})\,\mathbf{v}}{9{,}81}\right]^{\mathrm{km}}$$

Diese Formel zeigt den Vortheil, den es gewährt, eine Ueberfallschütze anzuwenden; noch deutlicher geht dieser aber hervor, wenn man den Nutzeffekt mit der absoluten Arbeit des Wassers vergleicht; das Verhältniß beider steigt hier bis zu 0,75, während es für die vorhergehenden Räder höchstens 0,55 war.*)

Beispiel.

Welches ist der Nutzeffekt des Rades mit ebenen Schaufeln in der Glasschleiferei zu Baccarat unter folgenden Umständen?

Weite des Ueberfalls	$3^{\mathrm{m}},90$
Höhe des Niveaus im Reservoir über der Schütze .	$0^{\mathrm{m}},175$
Daraus erhält man die Wassermenge **Q**	$0^{\mathrm{mc}},493$
Ganzes Gefälle	$2^{\mathrm{m}},056$

Ferner hat man

$$\mathbf{h} = 1^{\mathrm{m}},935,\ \mathbf{V}\cos\mathbf{a} = 1^{\mathrm{m}},033,\ \mathbf{v} = 0^{\mathrm{m}},728.$$

Daraus findet man den Nutzeffekt

$$\mathbf{P\,v} = 799 \times 0{,}493\left[1{,}935 + \frac{1{,}033 - 0{,}728}{9{,}81} \times 0{,}728\right] = 772^{\mathrm{km}}.$$

Der direkte Versuch mit dem Dynamometer gab 748^{km}.

Die absolute Arbeit des Wassers ist gleich $1000 \times 0{,}493 \times 2{,}056 = 1013^{\mathrm{km}}$ und das Verhältniß des Nutzeffekts dazu $= \frac{748}{1013} = 0{,}738$.

Beispiel.

Bei dem Rad der Mühlen in der Glashütte zu Baccarat war $\mathbf{Q} = 0^{\mathrm{mc}},419$, $\mathbf{h} = 1^{\mathrm{m}},48$, $\mathbf{V}\cos\mathbf{a} = 0^{\mathrm{m}},985$, $\mathbf{v} = 1^{\mathrm{m}},621$. Damit findet man den Nutzeffekt

$$\mathbf{P\,v} = 799 \times 0{,}419\left(1{,}48 - \frac{1{,}621 - 0{,}985}{9{,}81} \times 1{,}621\right) = 461^{\mathrm{km}}.$$

Der Versuch mit dem Dynamometer gab 458^{km}.

Das ganze Gefälle ist $1^{\mathrm{m}},623$, daher die absolute Arbeit des Wassers $1000 \times 0{,}419 \times 1{,}623 = 681^{\mathrm{km}}$

---

*) Man sehe das angeführte Memoire, Kapitel 4 und 5, Seite 42 bis 65.

und das Verhältniß des Nutzeffekts zur absoluten Arbeit des Wassers ist

$$0{,}673$$

während dasselbe Rad, wenn es das Wasser durch eine Schützöffnung mit Wasserdruck über ihr erhielt, nur 0,55 der Gesammtarbeit des Wassers zu Nutzen macht.

Anmerkung. Bei Anwendung der Formeln dieser und der vorhergehenden Nummer kann, wie im letzten Beispiel, die Zuflußgeschwindigkeit des Wassers kleiner seyn als die Geschwindigkeit des Rades, wo dann der Ausdruck $\frac{V \cos a - v}{9{,}81} \cdot v$ subtraktiv wird.

Berechnung der Wassermenge in jeder Zelle.

93. Um das Volum Wasser q zu berechnen, das jede Zelle aufnimmt, hat man

$$q = \frac{Q e}{v}$$

wo e die Entfernung der Schaufeln auf dem äußern Radumfange bedeutet.

Beispiel.

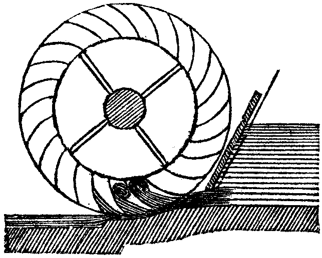
Wie viel Wasser nimmt jede Zelle des Rades der Mühlen zu Baccarat im Falle des zweiten Beispiels in Nr. 92 auf?

Die Entfernung der Schaufeln ist	$0^m{,}398$
Die Wassermenge in 1″ war	$Q = 0^{mc}{,}419$
Die Geschwindigkeit des Radumfangs . . .	$v = 1^m{,}621$
Die Wassermenge in 1 Zelle daher $= \frac{0{,}398}{1{,}621} \times 0{,}419$	$= 0^{mc}{,}103$
Die Capacität der Zellen aber ist	$0^{mc}{,}493$

so daß diese also nicht zum vierten Theile gefüllt werden.

Räder mit gekrümmten Schaufeln.

Fig. 27.



94. Man verdankt die Theorie und die Anordnung dieser Räder Poncelet. Sind die Schaufeln gut gekrümmt, hoch genug, daß das Wasser nicht über sie hinauf steigt, beträgt der Spielraum im Gerinne höchstens 1 Centimeter, so hat man den Beobachtungen zufolge für Gefälle von $1^m{,}50$

und darüber und Schutzöffnungen von $0^m,08$ bis $0^m,12$ Höhe, die praktische Formel*)

$$Pv = 132{,}5\,Q\,(V - v)\,v^{km}$$

und für Gefälle von $1^m,30$ und darunter mit Oeffnungen von $0^m,20$ bis $0^m,30$ Höhe, die praktische Formel

$$Pv = 153\,Q\,(V - v)\,v^{km}$$

Die Bezeichnungen siehe in Nr. 86.

Ist die Schütze vertikal statt geneigt, sind die Schaufeln nicht im besten Zustande, so vermindert sich der Nutzeffekt bedeutend und wird im ersten Falle nur ungefähr

$$Pv - 102\,Q\,(V - v)\,v^{km}.$$

Erstes Beispiel.

Bei einem Rad mit gekrümmten Schaufeln hat man:

Die Druckhöhe über der Mitte der Schützöffnung	$1^m,50$
Weite der Oeffnung	$1^m,10$
Vertikale Höhe der Oeffnung	$0^m,12$
Neigung der Schütze	45^0
Geschwindigkeit des Wassers am Rade . . .	$V = 5^m,43$
Geschwindigkeit des Radumfangs	$v = 2^m,75$

Nach der Regel in Nr. 18 ist die Wassermenge

$$Q = 0{,}80 \times 1{,}10 \times 0{,}12 \sqrt{19{,}62 \times 1{,}50} = 0^{mc},573.$$

Der Nutzeffekt

$$Pv = 132{,}5 \times 0{,}573 \times (5{,}43 - 2{,}75) \times 2{,}75 = 561^{km}.$$

Das ganze Gefälle ist hierbei ungefähr $1^m,65$, daher die absolute Arbeit des Wassers 945^{km} und das Verhältniß des Nutzeffekts zur absoluten Arbeit des Wassers

$$\frac{561}{945} = 0{,}594.$$

Zweites Beispiel.

Welches ist der Nutzeffekt eines Rades mit krummen Schaufeln, wenn

---

*) Deuxième Mémoire sur les roues à aubes courbes, par M. Poncelet, Metz 1827. Bei Anwendung dieser Regeln muß man sich überzeugen, daß die Konstruktion des Rades und namentlich des Gerinnes in der That die von Poncelet angegebene ist, und sich nicht durch oberflächliche Betrachtung der Schaufeln irre führen lassen.

Die Druckhöhe über dem Mittel der Schützöffnung . 1^{m}
Die Weite dieser Oeffnung . . . . 0^{m},95
Die vertikale Höhe derselben . . . . 0^{m},25
Die Neigung der Schütze . . . . 1 auf 1
ist.

Die Wassermenge in 1'' ist nach Nr. 18

$$Q = 0{,}80 \times 0{,}95 \times 0{,}25 \sqrt{19{,}62 \times 1} = 0^{mc},843$$

Die Geschwindigkeit des zufließenden Wassers . $V = 4^{m},43$
Die Geschwindigkeit des Radumfangs . . . . $v = 2^{m},30$
Der gesuchte Nutzeffekt ist nun

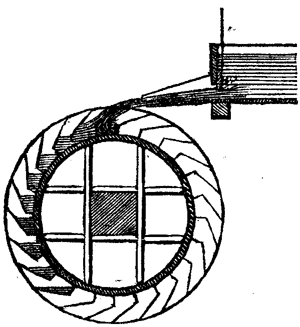
$$P\,v = 153 \times 0{,}843\,(4{,}43 - 2{,}30) \times 2{,}30 = 628^{km}.$$

Das ganze Gefälle ist ungefähr 1^{m},25, daher die absolute Arbeit des Wassers . . . . 1055^{km}
und das Verhältniß des Nutzeffekts zu dieser Arbeit . . . . $= \frac{628}{1055} = 0{,}596.$

Oberschlächtige Wasserräder.

95. Diese Räder erhalten ihr Wasser von oben durch ein Gerinne oder an der Seite durch eine geneigte Schütze. Wir unterscheiden für die Berechnung des Nutzeffektes dieser Räder zwei Fälle:

Fig. 28.



1) Das Rad hat am Umfange höchstens 2^{m} Geschwindigkeit, wenn es nur 2^{m} Durchmesser hat oder nur 2^{m},5 Geschwindigkeit, wenn es größer ist. Die Zellen sind nicht über halb voll, was man leicht nach Nr. 93 ersehen kann.

2) Das Rad ist klein, hat eine Geschwindigkeit von mehr als 2^{m} am Umfang; die Zellen sind über halb voll und die Centrifugalkraft beschleunigt das Ausgießen des Wassers, was schon in bedeutender Höhe beginnt.

Oberschlächtige Räder mit geringer Geschwindigkeit; die Schaufeln sind nicht über halb voll.

96. Der erste Fall ist der allgemeinere; bei ihm ist der Nutz-

effekt nach zahlreichen Versuchen*) auf 1/20 genau durch die Formel

$$Pv = 780\,Q\,h + 102\,Q\,(V \cos a - v)\,v$$

gegeben, wo wieder die Bezeichnungen der Nr. 86 gebraucht sind.

Erstes Beispiel.

Für das Rad der Herrn N. Schlumberger et Comp. zu Gebweiler hat man folgende Daten:

Wassermenge in 1″	$Q = 0^{mc},383$
Geschwindigkeit des zufließenden Wassers . .	$V = 2^{m},13$
Geschwindigkeit des Radumfangs	$v = 1^{m},22$
Cos a	$= 1$
Höhe des Einfallspunktes über dem Tiefsten des Rades	$h = 6^{m},452$

Damit findet man den Nutzeffekt

$$Pv = 780 \times 0,383 \times 6,452 + 102 \times 0,383\,(2,13 - 1,22) \times 1,22 = 1960^{km}$$

oder 26,1 Pferdekräfte.**)

Das ganze Gefälle ist	$7^{m},78$
und folglich die absolute Arbeit des Wassers . . .	2626^{km}

das Verhältniß des Nutzeffekts zur Arbeit des Wassers 0,74.

Zweites Beispiel.

Bei dem Rad der Mühle zu Senelles in der Nähe von Longwy ist

die Wassermenge für die Sekunde	$0^{mc},135$
die Ankunftsgeschwindigkeit des Wassers auf dem Rade	$2^{m},67$
die Geschwindigkeit des Radumfangs . . .	$1^{m},70$
der Winkel beider Geschwindigkeiten	$a = 36°$
die Höhe über dem Tiefsten des Rades, in welcher der mittlere Strahl den Radumfang trifft .	$h = 3^{m},425$

Damit findet man den Nutzeffekt

$$Pv = 780 \times 0,135 \times 3,425 + 102 \times 0,135 \times (2,67 \times 0,809 - 1,70) \times 1,70 = 374^{km}$$

oder ungefähr 5 Pferdekräften gleich.

Das ganze Gefälle beträgt $3^{m},84$, die absolute Arbeit des Wassers also: $1000 \times 0,135 \times 3,84 = 519^{km}$

*) Expériences sur les roues hydrauliques, chap. 6, 7, 8 und 9.

**) Dieses Rad kann die Kraft von ungefähr 48 Pferden fortpflanzen, dann sind aber die Zellen zu voll und das Verhältniß des Nutzeffekts zur absoluten Arbeit des Wassers ist höchstens noch 0,60.

und daher das Verhältniß des Nutzeffekts zur absoluten Arbeit des Wassers

$$\frac{374}{519} = 0{,}72.$$

Drittes Beispiel.

In der Nadelfabrik zu Fleur-Moulin (Moselle) ist ein Rad für das man hat

die Wassermenge . . . . $Q = 0^{me},1215$
die Geschwindigkeit, mit der das Wasser den Radumfang erreicht . . . . $V = 2^{m},36$
die Umfangsgeschwindigkeit des Rades . . . $v = 1^{m},24$
der Winkel beider Geschwindigkeiten nahe . . $= 0$
die Höhe, in der das Wasser einfällt . . . $h = 2^{m},28$

Daraus findet man den Nutzeffekt

$$Pv = 780 \times 0{,}1215 \times 2{,}28 + 102 \times 0{,}1215\,(2{,}36 - 1{,}24) \times 1{,}24 = 232^{km}$$

oder = 3,09 Pferdekräften.

Das ganze Gefälle ist $2^{m},56$, die absolute Arbeit des Wassers

$$1000 \times 0{,}1215 \times 2{,}56 = 310^{km},$$

und das Verhältniß des Nutzeffekts zur absoluten Arbeit

$$\frac{232}{310} = 0{,}748.$$

Die gegebenen Beispiele sind direkte Erfahrungen, die mit Hilfe des Dynamometers erhalten wurden.*)

Die Zellen sind über halb voll.

97. Die Formel der vorhergehenden Nummer findet bei großen Wasserrädern noch Anwendung, wenn die Zellen dieser bis zu $^2/_3$ ihrer Capacität gefüllt sind, nur muß man dann den Coefficienten 780 im ersten Gliede mit 650 vertauschen.

Beispiel.

Bei dem Wasserrade in der Spinnerei der Herrn N. Schlumberger et Comp. zu Gebweiler (Haut-Rhin) ist

die Wassermenge . . . . $Q = 0^{me},766$
die Geschwindigkeit, mit der das Wasser aufs Rad kommt . . . . $V = 3^{m},01$

---

*) Expériences sur les roues hydrauliques, chap. 6, 7, 8 des angeführten Mémoire.

die Geschwindigkeit des Radumfangs . . . $v = 1^m,50$
der Winkel dieser beiden Geschwindigkeiten . $a = 0$
die Höhe, in der das Wasser einfällt . . . $h = 7^m,08$
Damit findet man

$$Pv = 650 \times 0{,}766 \times 7{,}08 + 102 \times 0{,}766\,(3{,}01 - 1{,}50) \times 1{,}50 = 3687^{km}$$

Das ganze Gefälle beträgt $7^m,77$, die absolute Arbeit des Wassers ist 5951 und daher das Verhältniß des Nutzeffekts zu dieser Arbeit

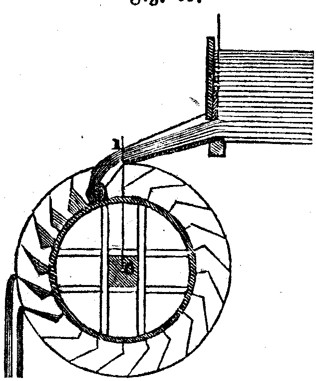
$$\frac{3687}{5951} = 0{,}621,$$

während dieß Verhältniß 0,71 ist, wenn die Schaufeln nur zur Hälfte gefüllt werden.

Wasserräder mit großer Geschwindigkeit, oder die Zellen sind über $^2/_3$ ihrer Capacität gefüllt.

98. Sind die Räder klein, ist ihre Geschwindigkeit am Umfange dabei größer als 2^m oder sind die Zellen über $^2/_3$ gefüllt, so beschleunigt die Centrifugalkraft das Ausgießen des Wassers in bedeutendem Grade, der von den Verhältnissen der Geschwindigkeiten und der Dimensionen abhängt, und dann findet obige Formel keine Anwendung mehr.

Fig. 29.



Dieser Fall kommt oft bei Hammerwerken, Sägmühlen u. s. w. vor; dabei muß man die Formeln von Poncelet, welche directe Versuche als entsprechend gezeigt haben*), zu Hilfe nehmen. Durch die Wirkung der Schwere und die Centrifugalkraft nimmt das Wasser in den Schaufeln eine cylindrische Oberfläche an, deren Axe der des Rades parallel ist und in der Vertikalebene durch die Axe des Rades in der Entfernung **CI** von dieser liegt. Es ist

$$CI = \frac{894{,}6}{n^2},$$

*) Man sehe die **Expériences sur les roues hydrauliques, chap. 9.**

wo n die Anzahl der Umdrehungen des Rades in 1′ bedeutet.

Beispiel.

In welcher Höhe liegt der Mittelpunkt der Krümmung der Wasseroberflächen in den Zellen über der Axe des Rades der Hütte **de la Renardière** zu Framont, wenn dieses 24,25 Umdrehungen in 1′ macht?

Man hat

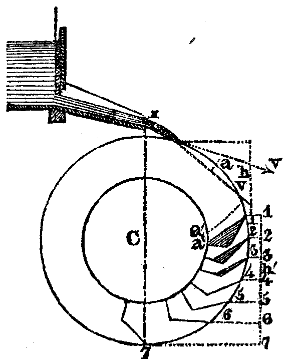
$$Cl = \frac{894{,}6}{(24{,}25)^2} = 1^m{,}51.$$

Dieser Mittelpunkt befindet sich daher hierbei sehr nahe beim Umfang des Rades, der nur $1^m{,}37$ Halbmesser hat.

Bestimmung der Höhe, in welcher die Schaufeln auszugießen anfangen.

99. Hat man auf diese Art den Mittelpunkt der Krümmung der Oberflächen bestimmt, so beschreibe man von hieraus Kreisbögen, welche durch die Ränder der Zellen gehen; hat man dann nach Nr. 93 die Wassermenge berechnet, welche jede Zelle aufnimmt, so vergleiche man diese mit dem Volum, was sie enthalten kann, wenn sie ungefähr in die Höhe der Axe des Rades gekommen ist, was leicht ist, da man nur die Entfernung beider Radkränze mit den Größen des Profils multipliziren darf.

Fig. 30.



Man sieht so leicht, bei welcher Zelle ungefähr das Ausgießen anfangen muß, und suche dann diese Lage durch Probiren noch genauer.

Nutzeffekt eines solchen Rades.

100. Ist dieß geschehen, so nenne man

h die Höhe, in welcher der mittlere Wasserstrahl den Radumfang trifft über dem Rand der Zelle a″, die auszugießen beginnt,

h′ die Höhe dieses Randes über dem Tiefsten des Rades,

q die Wassermenge, welche jede Zelle nach Nr. 93 aufnehmen soll, theile die Höhe h' in eine gerade Anzahl gleicher Theile in den Punkten 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 (Fig. 30), durch diese Punkte ziehe man Horizontale nach dem Radumfang, zeichne die innern Profile der Zellen, deren oberer Rand in diesen Höhen liegt, und beschreibe die Bögen $I_1, I_2, I_3, \ldots I_7$, welche die Wasseroberflächen begrenzen.

Nun berechne man die Wassermengen, welche in den Zellen in diesen verschiedenen Lagen enthalten sind, sie seien

$$q_1,\ q_2,\ q_3,\ q_4,\ q_5,\ q_6,\ q_7.$$

Ist dieß geschehen, so ist der Nutzeffekt durch folgende Formel gegeben, welche von Poncelet aufgestellt wurde und welche sich durch Versuche mit dem Hammerrade der Hütte de la Renardière zu Framont *) bewährt hat.

$$Pv = 1000k \left\{ qh + \frac{h'}{3m}[q_1 + 4(q_2 + q_4 + q_6 + ..) + 2(q_3 + q_5 + ..)] \right\} +$$
$$+ 102\, Q\, (V \cos a - v)\, v$$

in welcher k die Zahl der Schaufeln bedeutet, die in 1'' vor der Einflußöffnung vorübergehen und die man findet, wenn man die Geschwindigkeit v des Radumfangs durch die Entfernung e der Schaufeln von einander dividirt; m ist die Zahl der gleichen Theile in h'.

Beispiel.

Bei dem Rad in der Hütte de la Renardière zu Framont hat man

$$Q = 0^{mc},380,\ n = 24{,}25$$
$$Cl = \frac{894{,}6}{(24{,}25)^2} = 1^m,51,\ h = 1^m,44,\ h' = 1^m,30.$$

Theilt man h' nur in 4 gleiche Theile, so hat man

$$q = q_1 = 0^m,047,\ q_2 = 0^{mc},027,\ q_3 = q_4 = q_5 = 0$$
$$V = 5^m,04,\ \cos a = 0{,}98,\ v = 3^m,478.$$

Das Rad hat 20 Zellen und 8,083 gehen also in jeder Sekunde vor dem Gerinne vorbei.

Die Formel gibt den Nutzeffekt

$$Pv = \left\{ \begin{array}{l} 1000 \times 8{,}083 \left[0{,}047 \times 1{,}44 + \frac{1{,}30}{12}(0{,}047 + 4 \times 0{,}027) \right] \\ + 102 \times 0{,}380\,(5{,}04 \times 0{,}98 - 3{,}478) \times 3{,}478 \end{array} \right\} = 876^{km},3$$

oder gleich 11,7 Pferdekräften.

---

*) Die angeführten Expériences sur les roues hydrauliques, chap. 9.

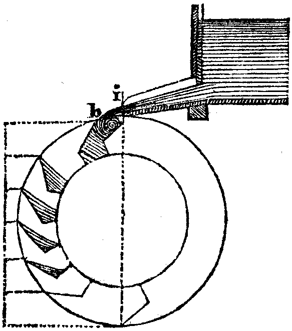
Das Rad kann nicht alles Wasser aufnehmen.

101. Auf den Hütten kommen Räder vor, die so schnell gehen, und auf welche man eine solche Masse Wasser fallen läßt, daß davon ein Theil nicht im Rad aufgenommen werden kann, und dort ist es schwierig, den Nutzeffekt zu bestimmen.

Bei derselben Bezeichnung, wie in der vorhergehenden Nummer, hat man jedoch als hinreichende Näherung die Formel

$$\mathrm{Pv} = 1000\,\mathrm{k} \left\{ \frac{\mathrm{h}'}{3\,\mathrm{m}} \left[\mathrm{q} + 4(\mathrm{q}_2 + \mathrm{q}_4 + \mathrm{q}_6 + ..) + 2(\mathrm{q}_3 + \mathrm{q}_5 + ..) \right] \right\} +$$
$$+ 102\,\mathrm{kq}\,(\mathrm{V} \cos \mathrm{a} - \mathrm{v})\,\mathrm{v}$$

Fig. 31.



Um das Volum Wasser q zu bestimmen, welches die erste Zelle aufnimmt, muß man wieder den Kreisbogen mit dem Halbmesser **Ib** beschreiben, und das Profil rechnen, welches durch diesen Bogen und die Seiten der Zelle begrenzt ist, endlich dieses mit der Weite der Zellen multipliziren.

Schiffmühlenräder.

102. Der Nutzeffekt der Schiffmühlenräder im unbegrenzten Wasser wird gewöhnlich nach folgender Formel berechnet:

$$\mathrm{Pv} = 147{,}5\,\mathrm{A}\,(\mathrm{V} - \mathrm{v})^2\,\mathrm{v}$$

worin

A die Größe der Vertikalprojektion der eingetauchten Schaufeln,
V die Geschwindigkeit des Wassers an der Oberfläche,
v die Geschwindigkeit der Mitte jener Projektion bedeutet.

Beispiel.

Für ein Schiffmühlenrad in der Rhone hat man
die eingetauchte Fläche der vertikalen Schaufeln $\mathrm{A} = 2^{\mathrm{mq}},08$
die Geschwindigkeit des Wassers an der Oberfläche $\mathrm{V} = 2^{\mathrm{m}},00$
die Geschwindigkeit der Mitte des eingetauchten Theils der vertikalen Schaufeln . . . . . . $\mathrm{v} = 1^{\mathrm{m}},00$

Die Formel gibt für den Nutzeffekt dieses Rades

$$\mathrm{Pv} = 147{,}5 \times 2{,}08 \times 1 = 307^{\mathrm{km}}.$$

Andere Formel für diese Räder.

103. Poncelet hat eine andere Formel aufgestellt, die auf schärfere Betrachtungen gegründet ist als die vorhergehenden, und welche sich mit großer Genauigkeit an die Resultate von siebenzehn Beobachtungen anschließt, die Bossut angestellt hat.

Diese Formel ist

$$\mathbf{P\,v} = 80\,\mathbf{A\,V}\,(\mathbf{V} - \mathbf{v})\,\mathbf{v},$$

wobei die Bezeichnungen dieselben sind wie die vorhergehenden.

Beispiel.

Für das in der vorhergehenden Nummer angeführte Rad erhält man hier

$$\mathbf{P\,v} = 80 \times 2{,}08 \times 2 \times 1 \times 1 = 333^{\text{km}}.$$

Man sieht, daß beide Formeln in den gewöhnlichen Grenzen der Praxis ungefähr auf $^1/_{12}$ übereinstimmen. Doch wäre es zu wünschen, daß direkte Versuche über diesen Gegenstand angestellt würden.

Turbinen.

104. Unter Turbinen versteht man gewöhnlich Räder mit vertikaler Axe, deren ebene oder gekrümmte Schaufeln durch einen Wasserstrahl bewegt werden, der innen ein- und an dem Umfang austritt oder umgekehrt.

Die ältesten bekannten Turbinen sind die, welche in den Alpen und den Pyrenäen, in den Mühlen zu Basacle, den Mühlen der Minimen zu Toulouse und in denen zu Metz im Gebrauch stehen.

Diese Räder sind gewöhnlich in schlecht erbauten und schlecht erhaltenen Anlagen aufgestellt, und es ist sehr schwer, eine bestimmte Regel zu geben, ihren Nutzeffekt zu bestimmen, da nur sehr wenige direkte Versuche über sie angestellt wurden; allein da sie beinahe immer zum Mahlen des Getreides verwendet sind, mit Mahlsteinen von $1^{\text{m}},70$ bis 2^{m} Durchmesser, so kann man aus der Beobachtung der Menge des in 1″ gemahlenen Getreides auf ihre Kraft schließen. Man weiß, daß bei dieser Art zu mahlen, der rohsten von allen, ein Kilogramm Getreide

$$7000 \text{ bis } 7600^{\text{km}}$$

braucht, und man erhält daher die disponible Arbeit des Rades, wenn man die Zahl der in 1″ gemahlenen Kilogramme Getreide mit 7000 bis 7600 multiplizirt.

Turbinen nach Fourneyron.

105. In den letzten Jahren hat Fourneyron Turbinen konstruirt, die sehr wenig Raum einnehmen, wenig Gewicht haben, sich unter Wasser bewegen, und nach den neuesten Versuchen*) einen Nutzeffekt geben

für Gefälle von 2^m	0,60 bis 0,65	von der absoluten Arbeit
für kleinere Gefälle	0,65 „ 0,75	des Wassers.

Diese Resultate wurden mit einem Rade erhalten, das zuweilen $1^m,10$ bis $1^m,75$ unter das Niveau des Hinterwassers getaucht war, und für welches das disponible Gefälle 2^m bis ungefähr $2^m,30$ war.

Bis vollständigere Versuche erlauben eine praktische Formel für diese Räder aufzustellen, kann man sich der Regel bedienen:

Man multiplizire das Gewicht der Wassermenge mit dem ganzen Gefälle und nehme von diesem Produkte

0,60 bis 0,65 für Gefälle von 2^m und

0,65 bis 0,75 für kleinere Gefälle;

das Resultat ist der Nutzeffekt.

Diese Regel ist anwendbar, wenn die Zahl n sich nicht viel von dem Werthe

$$n = \frac{5{,}82\ V}{R},$$

entfernt, wo

V die Geschwindigkeit ist, welche dem disponibeln Gefälle zugehört,

R der innere Halbmesser des Rades,

n die Zahl der Umdrehungen in 1′.

---

*) Compte rendu des séances de l'Académie des sciences, Nr. 13 année 1836, Nr. 9 année 1837.

Neuerdings hat der Verfasser eine hinreichend große Reihe von Versuchen an einer von Fourneyron zu Moussey bei Senones, im Departement der Vogesen, erbauten Turbine angestellt. Der Effekt dieser Turbine stieg bei dem Gefälle von $7^m,55$ und darüber bis zu 0,70 der absoluten Arbeit des Wassers, und dabei konnte die Geschwindigkeit des Rades von 240 bis 140 Umläufe in 1′ variiren, ohne daß der Nutzeffekt sich um mehr als $^1/_{12}$ oder $^1/_{15}$ von seinem Maximum entfernte.

Kraft, in irgend einer gegebenen Entfernung von der Axe des Rades.

106. Hat man nach irgend einer der Regeln der Nrn. 87 bis 105 den Nutzeffekt berechnet, so findet man die mittlere Kraft, welche das Rad in irgend einer Entfernung von der Axe ausüben kann, wenn man den Nutzeffekt durch die Geschwindigkeit des betrachteten Punktes dividirt.

Erbauung von Wasserrädern.

Schützen.

107. Um den Verlust an Geschwindigkeit oder lebendiger Kraft möglichst zu vermindern, den immer die Gerinne herbeiführen, welche das Wasser von der Schütze zum Rad leiten, muß man die Schütze so nahe ans Rad stellen als möglich, und sie so stellen, daß die Kontraktion möglichst gering wird. Zu dem Ende legt man bei Oeffnungen mit Wasser über dem obern Rand die Sohle und Seiten in die Verlängerungen des Bodens und der Seitenwände des Reservoirs, oder schließt sie an diese in sanften Krümmungen an, und neigt die Schütze.

Zuleitungskanal oder Reservoir.

108. Das Reservoir oder der Zuleitungskanal soll so groß seyn, als es die Oertlichkeit und die Oekonomie gestattet; ist man hierin beschränkt, so soll sein Querschnitt wenigstens 10 bis 12mal der größten Schützenöffnung gleich seyn.

Gefälle des Gerinnes.

109. Dem Gerinne zwischen der Schütze und dem Rade gibt man ein Gefälle von $^1/_{12}$ bis $^1/_{15}$, wenn es sehr kurz ist; wenn es aber länger ist, so wird es nach den Formeln in Nr. 35 und weiter bestimmt.

Spielraum des Rades.

110. Soll das Rad in einem cylindrischen Gerinne gehen, so ist es gut, dieß von gehauenen Steinen auszuführen und dem Rade an den Seiten und dem Boden nur einen Spielraum von 4 bis 5 Millimetern zu geben.

Risch im Gerinne.

111. In diesem Fall bringt man dann $0^m,20$ hinter der Vertikalen durch die Axe des Rades einen Abfall oder ein Risch von $0^m,20$ bis $0^m,25$ Tiefe im Gerinne an, um den Abfluß des Wassers zu erleichtern.

Erweiterung des Ableitungskanals.

112. Wo es thunlich, gibt man dem Kanal, welcher das Wasser nach seiner Wirkung auf das Rad ableitet, eine größere Weite als dem Gerinne.

Sind alle diese Anordnungen getroffen, so schreitet man zur Anordnung des Rades nach folgenden Regeln.

Kropfrad mit ebenen Schaufeln.

113. Die Erfahrung, wie die Theorie hat gezeigt, daß diese Räder kräftiger wirken, wenn sie das Wasser durch einen Ueberfall erhalten; man wird daher eine Ueberfallschütze anwenden, und diese so nahe als möglich an das Rad legen. Der Halbmesser des Rades darf nie kleiner als die ganze Gefällhöhe seyn; sonst aber kann man ihn je nach den Umständen und der Zahl der Umdrehungen, welche man in 1′ erhalten will, wählen.

Die Schütze senkt man $0^m,20$ bis $0^m,25$ unter den Wasserspiegel im Reservoir. Ist diese Senkung festgesetzt, so bestimmt man den Ort, in welchem der mittlere Wasserfaden das Rad trifft (Nr. 37).

Dann mißt man die Höhe **h** dieses Ortes über dem Tiefsten des Rades.

Die Geschwindigkeit V, mit der das Wasser beim Rad ankommt, ist die, welche zu der Höhe des Oberwasserspiegels über diesem Punkte gehört; ihre Richtung und den Winkel **a**, welchen diese mit dem Radumfang macht, bestimmt man nach Nr. 38.

Die Geschwindigkeit v des Rades kann in den Grenzen $v = 0,30\,V$ und $v = V$ ohne Uebelstand liegen; für die bessere Aufnahme des Wassers im Rade ist es jedoch gut, es so zu wählen, daß es in den Grenzen

$$v = 0,50\,V \text{ und } v = 0,70\,V$$

liegt.

Nach diesem hat man in der praktischen Formel (Nr. 92) für Kropfräder

$$P v = 799\, Q \left[h + \frac{(V \cos a - v)}{9{,}81} v \right]$$

die Größen h, V, v und cos a, und es bleibt nur die Wassermenge Q oder der Nutzeffekt Pv zu bestimmen.

Bei den Anwendungen können nun zwei Fälle vorkommen: im ersten ist der Nutzeffekt oder die Kraft, welche das Rad fortpflanzen soll, gegeben, und die erforderliche Wassermenge in 1″ ist zu bestimmen.

Im zweiten ist die Wassermenge, welche man benutzen kann, gegeben, und man will die Kraft oder den Nutzeffekt des Rades bestimmen.

Ein Kropfrad von gegebener Kraft anzuordnen.

114. Im ersten Fall, wo der Nutzeffekt gegeben ist, berechnet man die erforderliche Wassermenge nach der Formel

$$Q = \frac{P v}{799\, Q \left[h + \frac{V \cos a - v}{9{,}81} \times v \right]} \text{ Kubikmeter.}$$

Da man eine Ueberfallschütze hat, so ist die Wassermenge in 1″

$$Q = m L H \sqrt{2 g H}$$

nach Nr. 21, wobei H nach Nr. 113 zwischen $0^m{,}20$ und $0^m{,}25$ zu nehmen, und also $m = 0{,}390$ ist.

Da hier Q, m, H und g bekannt sind, so hat man nur L zu bestimmen, was nach der Formel

$$L = \frac{Q}{0{,}390\, H \sqrt{2 g H}}$$

geschieht.

Breite des Rades.

115. Zur Breite des Rades nimmt man diese Weite der Ausflußöffnung und gibt auf jeder Seite etwa $0^m{,}05$ zu.

116. Anmerkung. Die vorhergehenden Vorschriften führen zuweilen zu einer Breite, welche man in der Ausführung nicht anwenden kann, weil das Rad überhaupt zu breit würde, oder weil die Oertlichkeiten eine solche Breite nicht gestatten. Im Allgemeinen macht man die Räder nicht breiter als 5 bis 6^m, obwohl man zuweilen Räder von 8 und 9^m Breite sieht.

In diesem Fall vermehrt man die Höhe **H**, legt also die Schütze tiefer bis auf $0^m,30$ und selbst $0^m,35$ unter den Oberwasserspiegel, was eine geringere Breite gibt.

Dimensionen der Schaufeln.

117. Die Schaufeln stellt man $0^m,30$ bis $0^m,40$ an dem äußern Radumfang aus einander, in die Richtung des Halbmessers, wodurch die Verbindungen erleichtert werden. Es ist unnöthig, sie gegen den Halbmesser zu neigen, um beim Eintritt des Wassers den Stoß zu vermeiden, denn man kann hierdurch den Verlust an bewegender Kraft beim Eintritt des Wassers nicht umgehen, der übrigens unbedeutend ist.

Bei sehr hohen Schützöffnungen muß man die Schaufeln wohl $0^m,45$ bis $0^m,50$ weit von einander stellen, was übrigens als obere Grenze hierfür angesehen werden kann.

Der Halbmesser des Rades ist, wie in Nr. 113 gesagt wurde, durch Betrachtungen, die der zu erbauenden Anlage angehören, bestimmt; die Zahl der Schaufeln muß eine ganze und überdieß der leichtern Verbindung wegen durch die Zahl der Radarme theilbar seyn; man wird daher unter den Zahlen, welche dieser Bedingung entsprechen, die wählen, welche für die Schaufeln die gehörige Entfernung gibt.

Für die gewöhnlichen Fälle theilt man demnach den Radumfang durch 0,35 und nimmt für die Zahl der Schaufeln die nächste ganze, welche durch die Zahl der Radarme theilbar ist.

Man weiß, daß man zwischen dem Boden der Zelle und der Schaufel, welche darüber steht, einen Spielraum von $0^m,03$ bis $0^m,05$ lassen muß, um die Luft hinaus zu lassen.

Bemerkung hinsichtlich der Capacität der Zellen.

118. Sind die Zahl und die Dimensionen der Zellen so bestimmt, so kann man leicht ihre Capacität berechnen, welche dem Produkte aus der Länge der Schaufeln in die Größe des Trapezes, das aus zwei auf einander folgenden Schaufeln und dem Boden gebildet wird, gleich ist. Man versichert sich dann nach Nr. 93, daß bei der Geschwindigkeit v, oder bei der kleinsten, welche das Rad erhalten kann, die Zellen nicht über die Hälfte oder $^2/_3$ gefüllt

sind, was für den guten Effekt des Rades durchaus erfordert wird (Nr. 92).

Zweiter Fall. Die Wassermenge ist gegeben.

119. Man verfährt im zweiten Fall ganz nach den eben gegebenen Regeln, und berechnet zuletzt nach Nr. 92 den Nutzeffekt des Rades.

Räder mit gekrümmten Schaufeln.

120. Hat man das ganze Gefälle bestimmt, und das Risch im Gerinne nach Nr. 111 angeordnet, so bestimmt man nach den jedesmaligen Umständen und der Anzahl der gewünschten Umdrehungen in 1′, nach Nr. 130, den Halbmesser des Rades.

Dann verfährt man nach folgenden, von Poncelet in seinem schönen Memoire gegebenen Regeln.

Profil des Gerinnes.

121. Vom Centrum des Rades aus, mit dem um höchstens ein Centimeter vermehrten Halbmesser des äußern Umfangs, beschreibe man an der untern Seite einen kleinen Kreisbogen, auf dem man hinter der Axe des Rades eine Länge von $0^m,20$ ungefähr nimmt; dort kommt der Anfang des Risches hin.

Gegen das Oberwasser hin ziehe man an diesen Bogen eine Tangente, die $^1/_{12}$ geneigt ist.

Nun ziehe man eine Linie unter 45° oder 60° geneigt, wie es die Lokalität gestattet, in einer Entfernung von $0^m,06$ oder $0^m,10$ von dem äußern Radumfang. Diese gibt die Richtung der Schützenwand, welche aus Pfosten von $0^m,05$ Dicke oder aus einer gußeisernen Platte gebildet ist.

Einschnitte für die Radkränze.

122. Zwischen dem tiefsten Punkte des Rades und der Schütze sollen die Radkränze in die Seitenwände des Gerinnes eingelassen seyn, wo sie höchstens $0^m,01$ Spielraum haben. Diese rund ausgeschnittenen Seitenwände sollen ungefähr $0^m,10$ über die größte Höhe der Schützenöffnung hinaufgehen.

Neigung der Schütze.

123. Die Schütze bewegt sich, parallel mit der Schützenwand, in Falzen, welche in den Griessäulen angebracht sind.

Der Boden und die vertikalen Seitenwände des Reservoirs schließen sich an die Ausflußöffnung durch sanfte Krümmungen und gerade Wände an, um auf diesen drei Seiten die Kontraktion zu vermeiden.

Höhe der Schützöffnung.

124. Die Schütze soll 0m,20 bis 0m,25 hoch aufgezogen werden, wenn hierdurch die Breite des Rades nicht zu klein wird.

Bei sehr mächtigen Rädern kann diese Höhe, vertikal auf das Gerinne gemessen, ohne Uebelstand 0m,30 und darüber betragen.

Breite der Kränze.

125. Die Breite der Radkränze soll wenigstens $^1/_8$ des Wasserstands über dem Fachbaum der Schütze seyn.

Zeichnung der Schaufeln.

126. Ist die Schütze auf die angenommene Höhe aufgezogen, so ziehe man durch ihren untern Rand eine Parallele zum Gerinnboden. In dem Punkte, wo diese Linie die äußere Peripherie des Rades trifft, errichte man auf sie eine Rechtwinkliche, in welcher man den Mittelpunkt der Krümmung der Schaufeln 0m,05 bis 0m,10 innerhalb des innern Umfangs des Radkranzes nimmt.

Von diesem Mittelpunkte ziehe man durch den Punkt, wo die Oberfläche des Wassers dem Rad begegnet, einen Kreisbogen, so gibt dieser die Form der Schaufel.

Zahl der Schaufeln.

127. Die Entfernung der Schaufeln am Radumfang soll 0m,20 bis 0m,25 und ungefähr der Höhe der Schützöffnung gleich, ihre Zahl durch die Zahl der Radarme theilbar seyn. Man wird also den Radumfang durch 0,25 theilen, und die nächste ganze, durch die Anzahl der Radarme theilbare Zahl für die Zahl der Schaufeln nehmen.

Geschwindigkeit, mit der das Wasser an das Rad kommt.

128. Die Geschwindigkeit, mit der das Wasser das Rad erreicht, ist nahezu gleich der, welche der Druckhöhe über der Mitte der Schützöffnung zukommt, wenn diese und das Gerinne, wie in Nr. 121 und weiter gesagt wurde, angelegt sind.

Geschwindigkeit des Radumfangs.

129. Die Geschwindigkeit des Radumfangs soll nach den Erfahrungen von Poncelet gleich 0,55 von der Geschwindigkeit des Wassers seyn.

Halbmesser des Rades.

130. Kennt man die Geschwindigkeit des Radumfangs, und nennt man

n die Anzahl der Umdrehungen des Rades in 1′,
R den Radius der äußern Peripherie des Rades, so hat man

$$R = 9{,}549 \frac{v}{n}.$$

Bei Anwendung dieser Formel ist es gut, die Zahl **n** der Radumgänge so zu bestimmen, daß der Halbmesser des Rades nicht unter 1^m bis $1^m,20$ und nicht über 2^m bis $2^m,50$ ausfällt.

Anordnung eines Poncelet-Rades von gegebener Kraft.

131. Sind der Nutzeffekt, den das Rad liefern soll, gegeben, **V** und **v**, die Geschwindigkeiten des Wassers und des Rades nach den obigen Vorschriften bestimmt, so berechnet man die Wassermenge, welche das Rad in 1″ erhalten muß nach der Formel

$$Q = 0{,}00754 \frac{P}{V - v},$$

für Gefälle vou $1^m,50$ und darüber, und Schützöffnungen von $0^m,08$ bis $0^m,12$ Höhe, oder nach der Formel

$$Q = 0{,}00654 \frac{P}{V - v},$$

für kleinere Gefälle und Schützöffnungen von $0^m,15$ und darüber.

Ueber die Bedeutung der Buchstaben siehe Nr. 86.

Weite der Schützöffnung.

132. Kennt man das Volum Wasser, das in 1″ auf das Rad fließen soll und die Höhe **E** der Schützöffnung, so rechnet man die Breite nach der Formel

$$L = \frac{Q}{0{,}75 E \sqrt{2 g H}},$$

für Schützen unter 1 Grundlinie auf 2 Höhe geneigt, und nach der Formel

$$L = \frac{Q}{0{,}80\,E\sqrt{2gH}}$$

wenn die Neigung der Schütze 1 auf 1 beträgt.

Innere Weite des Rades.

133. Die beiden Radkränze stellt man im Lichten um $0^m,05$ bis $0^m,10$ weiter aus einander als die Schützöffnung weit ist.

Für ein Poncelet-Rad ist die Wassermenge gegeben.

134. In diesem Fall wählt man die Höhe der Schützöffnung, berechnet nach Nr. 132 die Weite derselben, und ordnet das Gerinne und das Rad nach den gegebenen Vorschriften ein. Dann hat man noch den Nutzeffekt des Rades nach Nr. 94 zu berechnen.

Oberschlächtige Räder. — Anordnung der Schütze.

135. Man hat zwei Arten, die Schütze bei oberschlächtigen Rädern anzuordnen, je nachdem der Wasserstand im Reservoir nahezu konstant oder veränderlich ist, und nach andern Betrachtungen.

Für Gefälle, bei denen das Niveau nicht um mehr als $0^m,20$ und $0^m,30$ sich ändert, kann man das Wasser über den Gipfel des Rades gehen lassen. Man verfährt dann wie folgt:

Kennt man den größten und kleinsten Wasserstand im Reservoir, so konstruirt man für die mittlere Höhe des Wassers.

Die Ausflußöffnung wird vertikal, ihre Sohle legt man für die Gefälle

$2{,}60^m$	bis	3^m	in	eine Höhe	von	$0{,}50^m$
3	„	4	—	—	—	0,60
4	„	6	—	—	—	0,70
6	„	7	—	—	—	0,80
7	„	8	—	—	—	0,90

unter den mittlern Wasserstand, und verbindet sie wie die Seiten der Oeffnung durch sanfte Krümmungen mit den Wänden des Reservoir.

Von dieser Sohle aus führt ein Gerinne, dessen Breite, der der Ausflußöffnung gleich, später bestimmt wird, mit einer Neigung von $^1/_{12}$ das Wasser auf das Rad. Man gibt ihm, wo man kann nur 1^m oder $1^m,50$ Länge.

Unter diesem Gerinne läßt man zwischen ihm und dem Rade einen Spielraum von $0^m,01$.

Nun ziehe man vom ganzen Gefälle den Wasserstand über der Sohle der Schütze, das Gefälle des Gerinnes und den Zwischenraum zwischen Rad und Gerinne ab, der Rest ist der Durchmesser des Rades.

Die Unterlagen des Kanalendes oder des Reservoirs legt man so, daß die Schütze so nahe als möglich an den Scheitel des Rades kommt und das Gerinne möglichst kurz wird; man wendet dazu häufig gußeiserne Träger an.

Aufzug der Schütze.

136. In den gewöhnlichen Fällen kann man die Höhe der Schützöffnung mit $0^m,10$ begrenzen, wenn damit die Breite des Rades nicht zu groß wird.

Zahl und Form der Zellen.

137. Die Entfernung der Zellen am Umfange soll zwischen $0^m,30$ und $0^m,40$ liegen, und ihre Zahl soll theilbar durch die Zahl der Radarme seyn. Man theilt daher den äußern Radumfang durch $0^m,35$ und nimmt für die Zahl der Zellen die nächstliegende ganze und durch die Anzahl der Radarme theilbare Zahl.

Den Radkränzen gibt man die Entfernung der Zellen zur Breite.

Für sehr mächtige Räder kann man, um die Breite zu vermindern, die Zellen $0^m,50$ weit aus einander stellen und die Radkränze $0^m,50$ breit machen.

Man theilt den äußern Umfang in so viel gleiche Theile als man Zellen hat, und zieht durch die Theilpunkte Radien. Dann zieht man mitten zwischen den beiden Begrenzungskreisen der Radkränze einen dritten, so sind die innen abgeschnittenen Theile der Radien die Lagen und Größen der Riegelschaufeln. Die Stoßschaufeln richtet man von den Riegelschaufeln nach den vorhergehenden Theilpunkten in der äußern Peripherie.

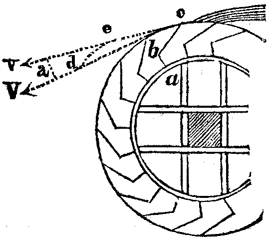
Sollen die Schaufeln von Blech seyn, so rundet man den Winkel in der Mitte ab.

Bestimmung der Geschwindigkeit des Radumfangs.

138. Damit das Wasser nicht auf die äußere Seite der Stoß-

schaufel komme, wo es verspritzen würde, verfährt man, wie folgt: Man bestimmt nach den Regeln in Nr. 38 und 39 den Punkt **c**, in welchem das Wasser das Rad trifft, die Geschwindigkeit des Wassers in diesem Punkte und ihre Richtung, und trage in dieser Richtung nach irgend einem Maßstab diese Geschwindigkeit von **c** nach **d** auf. Nun verzeichne man die Schaufel **a b c**, und ziehe durch **d** eine Linie **d e** parallel mit der Stoßschaufel **b c**; die Tangente **c e** an den Radumfang gibt dann nach demselben Maßstab die Geschwindigkeit, welche das Rad im höchsten Fall haben darf. Die gewöhnlich gebrauchte Geschwindigkeit nimmt man dann etwas kleiner.

Fig. 32.



Bei hölzernen Rädern darf diese Geschwindigkeit nie unter 1^m bis $1^m,2$ herabgehen, um die Uebelstände zu vermeiden, welche die ungleiche Vertheilung des Gewichts um die Axe herbeiführen würde.

Höhe, welche das Wasser im Rad durchlauft.

139. Die Höhe **h**, welche das Wasser auf dem Rade durchlauft, ist in diesem Fall dem Durchmesser des Rades gleich.

Wassermenge für ein Rad von gegebener Kraft.

140. Um einen bestimmten Nutzeffekt hervorzubringen, muß man ein Volum Wasser auf das Rad fließen lassen, was durch die Formel

$$Q = \frac{P v}{780\, h + 102\, (V \cos a - v)\, v}$$ Kubikmeter gegeben ist.

Breite der Schützöffnung.

141. Die Weite der Schützöffnung, nach Nr. 135 angeordnet, findet man nach der Formel

$$L = \frac{Q}{0{,}70\, E \sqrt{2 g H}}$$

Breite des Rades.

142. Die Weite der Schützöffnung vermehre man um $0^m,10$, um die Entfernung beider Radkränze zu erhalten.

Schütze, welche dem Rad das Wasser unterhalb des Scheitels zuführt.

143. Ist der Wasserstand im Reservoir um mehr als $0^m,25$ bis $0^m,30$ veränderlich, oder verlangen lokale Gründe, daß sich das Rad nach derselben Seite hindreht, wohin das Wasser fließt, so muß man die Schütze auf folgende Art anordnen, welche auch bei größeren Gefällen als von 4^m angewendet werden kann, und welche in Nr. 19 betrachtet und in Fig. 8 dargestellt ist.

Der mittlere Wasserstrahl soll dabei den äußern Radumfang 30° über der Horizontalen durch das Centrum oder 60° vom Scheitel entfernt, erreichen.

Andererseits ist es zweckdienlich, wenn das Wasser bei seinem Eintritte in das Rad eine Geschwindigkeit von ungefähr 3^m hat; nach diesem muß der Punkt, in welchem der mittlere Strahl des obern Ansatzes das Rad erreicht, wenigstens $0^m,46$ unter dem Oberwasserspiegel liegen.

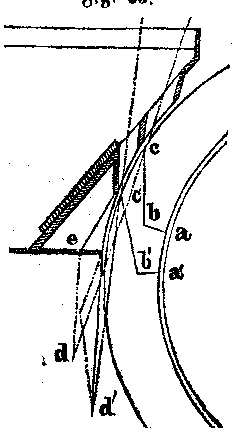
Halbmesser des Rades.

144. Die Höhe **h**, welche das Wasser im Rade durchläuft, ist gleich dem um $0^m,46$ verminderten ganzen Gefälle, und der Halbmesser **R** des Rades gegeben durch die Formel

$$\mathbf{R} = \frac{h}{1 + \sin 30^\circ} = \frac{h}{1,50}.$$

Richtung der Einflußansätze.

Fig. 33.



145. Um beim Eintritte des Wassers in die Zellen Stöße auf die äußere Seite der Stoßschaufeln zu vermeiden, muß man den Schienen, welche dem einfließenden Wasser die Richtung geben, eine zweckdienliche Stellung geben. Dieß kann auf folgende Art geschehen.

Im Punkte **c**, wo das Wasser auf das Rad kommt, ziehe man eine Tangente an dessen Umfang und verzeichne die Schaufel **cba**. Nun nehme man die Geschwindigkeit v des Rades $= 0,66$ von der $\mathbf{V} = 3^m$ des Wassers, und trage nach irgend einem

Maßstabe die Geschwindigkeit v von c nach e auf; in e ziehe man eine Parallele ed zu der Setzschaufel bc. Nun beschreibe man von c aus mit dem Radius $V = 3^m$ einen Kreisbogen, der die Linie ed in d trifft, ziehe ce und verlängere diese rückwärts; diese Linie ist die Richtung des mittlern Strahls.

Rechts und links von dieser Linie in $0^m,05$ Entfernung ziehe man Parallellinien zu ihr; sie geben die Lage der Schienen, welche das Wasser zum Rad führen sollen.

Die Geschwindigkeit $v = 0{,}66\,V$ ist die größte, welche das Rad annehmen kann.

Da der Wasserspiegel sich weit unter den mittlern Stand senken kann, so bringt man eine andere Oeffnung an, welche das Wasser etwas weiter unten in das Rad leitet.

Nehmen wir z. B. an, das Niveau habe sich um $0^m,25$ gesenkt, so sucht man nun, wie vorhin, die Richtung, welche man dem mittlern Strahl geben muß, damit er, $0^m,46$ unter dem gesunkenen Wasserspiegel auf dem Rade anlangend, ohne Stoß eintritt.

Hat man die eben angegebene Konstruktion für diesen Fall wiederholt, so zieht man wieder parallel mit dem mittlern Strahl in $0^m,05$ Entfernung auf jeder Seite die Leitschienen für diese zweite Oeffnung.

Die inneren Leitschienen dieser beiden Oeffnungen werden nahezu zusammenfallen, und man wird deßhalb für beide nur eine nehmen, der man die mittlere Richtung beider gibt.

Kann sich das Niveau noch weiter senken, so setzt man voraus, es sei noch ferner $0^m,30$ gefallen, und bestimmt wieder für $V = 3^m$, $v = 0{,}66\,V = 2^m$ eine dritte Oeffnung.

Hat man so die Richtungen der Leitschienen bestimmt, so begrenzt man sie unten durch einen Kreisbogen in $0^m,01$ Entfernung vom Radumfang und oben durch eine schiefe Ebene, welche $0^m,15$ bis $0^m,20$ vom Radumfang absteht, und dem ersten und dritten Ansatz ungefähr gleiche Länge gibt.

Diese Ebene bestimmt die Richtung der Falzen, in welchen sich die Schütze bewegt, welche das Wasser in die eine oder die andere der Oeffnungen läßt.

Diese Ansatzöffnungen und den ganzen vordern Theil des Zuleitungsgrabens stellt man am besten aus Gußeisen her; ist die

Schütze gleichfalls gegossen, so bringt man sie mit einem Gegengewichte ins Gleichgewicht, so daß man beim Aufziehen nur die Reibung zu überwinden hat.

Weite der Einflußöffnungen.

146. Hat man ein Rad von gegebener Kraft zu erbauen, so versucht man zuerst die Wassermenge, und damit die Weite der Schützöffnungen so festzusetzen, daß nur eine auf einmal offen seyn muß.

Zu diesem Ende berechnet man zuerst die Wassermenge, welche man durch die obere Oeffnung fließen lassen muß, um den bestimmten Nutzeffekt **Pv** zu erhalten nach der Formel in Nr. 140, für welche man **V**, **v**, **a** und **h** kennt; damit rechnet man dann die Weite **L** der Schützöffnung nach der Formel

$$L = \frac{Q}{0{,}75\, E \sqrt{2gH}}$$

in welcher

E die Entfernung der beiden Leitschienen in der obern Einflußöffnung bedeutet, und

H den mittleren Wasserstand über dem obern Rand dieser Oeffnung.

Ist die so gefundene Weite nicht groß, so behält man sie als Weite der Schützöffnung bei; ist sie aber zu groß ausgefallen, so nimmt man an, es sei die folgende Oeffnung noch zum Theil oder ganz geöffnet, und erhält dann die Weite der Oeffnungen nach der Formel:

$$L = \frac{Q}{0{,}75(E \sqrt{2gH} + E' \sqrt{2gH'})}$$

wo

E' die Rechtwinkliche vom obern Rand der Schütze auf die Scheidewand beider Oeffnungen und

H' die Höhe des Wasserspiegels über der Mitte dieser Rechtwinklichen bedeutet.

Innere Weite des Rades.

147. Die lichte Entfernung beider Radkränze wird um $0^m{,}05$ bis $0^m{,}10$ größer als diese Weite.

Bemerkung hinsichtlich der Capacität der Schaufeln.

148. In allen Fällen muß man sich nach Nr. 93 überzeugen,

daß bei der bestimmten Geschwindigkeit des Rades und der Wassermenge die Zellen höchstens halb voll werden.

Schiffmühlenräder.

149. Den Schaufeln gibt man $^1/_4$ oder $^1/_5$ des Radhalbmessers zur Höhe, die zwischen $0^m,35$ und $0^m,80$ liegen soll; ihre äußere Entfernung soll ihrer Höhe gleich seyn.

Der obere Rand derselben soll unter den Wasserspiegel um eine bestimmte Größe getaucht seyn, die von der Tiefe des Stroms abhängt und für die Mühlen auf der Rhone bis zu $0^m,50$ steigt.

Es ist vortheilhaft, an den äußern Rändern der Schaufeln diese mit Leisten von $0^m,05$ bis $0^m,10$ zu versehen.

Navier räth an, die Schaufeln unter ungefähr 30° gegen den Radius stromaufwärts zu neigen, wenn das Rad um $^1/_4$ bis $^1/_5$ seines Halbmessers eingetaucht ist und um 15°, wenn das Rad bis zu $^1/_3$ eingetaucht ist, was nicht überschritten werden darf.

Die Geschwindigkeit V des Wassers an der Oberfläche ist bekannt; die Geschwindigkeit v des Mittels der Schaufeln soll $=0,4\,V$ seyn.

Nennt man E die Höhe der Schaufeln, so kann man ihre Breite nach der Formel

$$L = \frac{P\,v}{147,5\,E\,(V-v)^2\,v}$$

bestimmen.

Beispiel.

Wie breit müssen die Schaufeln eines Schiffmühlenrades seyn, was eine Arbeit von 600^{km} in 1″ liefern soll und für das ist:

die Höhe der Schaufeln . . . . $E=0^m,80$
die Geschwindigkeit des Flusses . . . . $V=1^m,80$
die Geschwindigkeit der Mitte der Schaufeln $v=0,4\,V=0^m,72$

Die Formel gibt

$$L = \frac{600}{147,5 \times 0,80\,(1,80-0,72)^2 \times 0,72} = 6^m,058.$$

Vergleichung der verschiedenen Wasserräder.

Vor- und Nachtheile der Räder mit ebenen Schaufeln.

150. Die vollständigen Kropfräder geben bei genauer Ausführung, abgesehen von der Reibung an den Zapfen, einen Nutzeffekt von 0,70 bis 0,75 der absoluten Arbeit des Wassers.

Sie können, ohne daß ihr Nutzeffekt sich weit von seinem Maximum entfernt, mit sehr verschiedenen Geschwindigkeiten gehen, nämlich mit allen von der Geschwindigkeit des zufließenden Wassers bis zu der, bei welcher sich die Zellen auf $^2/_3$ füllen.

Sie sind hauptsächlich passend bei Gefällen von $1^m,30$ bis zu $2^m,50$.

Da ihr Radius wenigstens dem Gefälle gleich seyn muß, so werden sie bei Gefällen über $2^m,50$ sehr groß und folglich schwerfällig.

Ihre Nachtheile sind, zuweilen sehr breit zu werden, was die Oertlichkeiten oder die Schwierigkeiten der Konstruktion nicht erlauben, und in Wasser, was bedeutend über ihre Schaufeln heraufsteigt, nicht gehen zu können.

Vor- und Nachtheile der oberschlächtigen Räder.

151. Die Vortheile dieser Räder sind dieselben, wie bei den Kropfrädern; sie geben gleichfalls einen Nutzeffekt von 0,70 von der absoluten Arbeit des Wassers.

Sie eignen sich besonders für große Gefälle über 3^m, und da sie kein genau anschließendes Kropfgerinne brauchen, so sind sie weniger kostspielig.

Da das Wasser in der Regel mit einer Geschwindigkeit von $2^m,50$ bis 3^m wenigstens aufs Rad kommen soll, so können sie bei großem Gefälle eine sehr bedeutende Kraft ausüben, ohne sehr breit zu seyn.

Sie können noch gehen, wenn sie bis über die Kranzhöhe im Hinterwasser stehen.

Vor- und Nachtheile der Poncelet-Räder.

152. Die Poncelet-Räder geben einen Nutzeffekt von 0,65 der Arbeit des Wassers, wenn das Gefälle unter $1^m,50$ ist und 0,50 bis 0,60 für größere Gefälle.

Sie können mit bedeutender Geschwindigkeit gehen, wodurch man bei ihnen eine bedeutendere Anzahl der Umgänge in 1′ erhält, als bei den andern Systemen.

Ihre Breite, die der Schützöffnung und des Gerinnes ist bei gleicher Kraft hier kleiner als bei den Kropfrädern, was ihre Konstruktion ökonomischer, ihr Gewicht kleiner macht und erlaubt sie in Lokalitäten aufzustellen, wo Kropfräder keinen Raum finden würden.

Sie können im Wasser bis zur Kranzhöhe oder bis zu $^1/_3$ des Gefälls gehen, was sie sehr werthvoll für Orte macht, die Ueberschwemmungen ausgesetzt sind.

Ihr Nachtheil ist, daß sie nicht mit einer Geschwindigkeit gehen können, welche merklich kleiner ist als die dem Maximum des Effekts entsprechende, ohne bedeutend im Nutzeffekt abzunehmen.

Sie sind hauptsächlich anwendbar für kleine Gefälle von $1^m,50$ und darunter.

Vortheile der Turbinen.

153. Die Turbinen im Allgemeinen und besonders die von Fourneyron sind viel leichter, als andere Wasserräder, sie können sehr bedeutende, wie sehr kleine Gefälle benutzen, gehen vollständig untergetaucht, pflanzen unmittelbar durch ihre Axe eine sehr große Geschwindigkeit fort, und geben Nutzeffekte von 0,60 bis 0,75 von der absoluten Arbeit des Wassers. Ihre Geschwindigkeit kann sehr bedeutend abgeändert werden, ohne daß der Effekt sich weit von seinem Maximum entfernt.

Sie scheinen besonders zweckdienlich in den Fällen, wo die Räder in bedeutender Höhe ins Hinterwasser kommen können, und für Gefälle über 10 bis 12^m, wo ihre Erbauungskosten bedeutend geringer sind, als die der oberschlächtigen Räder, welche überdieß bestimmte Dimensionen nicht überschreiten können.

Windräder.

154. Die am meisten gebrauchten Windräder haben vier rechtwinkliche Flügel, welche windschiefe Flächen bilden, bei denen die der Rotationsaxe nächstliegende Sprosse einen Winkel von etwa 18°, die entfernteste einen Winkel von etwa 70 mit der Ebene der Bewegung macht. Man nennt diese Windräder holländische.

Häufig sind die Windflügel auch trapezförmig.

In Ebenen neigt man die Rotationsaxe unter 8 bis 15° gegen den Horizont.

Mittel, die Geschwindigkeit des Windes zu bestimmen.

155. Die Geschwindigkeit V des Windes kann man durch Beobachtung leichter Körper erhalten, welche in der Höhe des Rades in der Luft fliegen, wie z. B. einer Flaumfeder, der Rauch aus einem Schornstein u. dgl.

Smeaton gibt an, man erhalte diese Geschwindigkeit, wenn man die Geschwindigkeit der leer gehenden Windflügel an ihren äußersten Enden durch vier dividire.

Arbeit des Windrades.

156. Nennt man O die Oberfläche eines der vier Flügel, so erhält man den Nutzeffekt des Windrades nach den Erfahrungen von Coulomb und von Smeaton nach der praktischen Formel:

$$P v = 0{,}13\, O V^3 \text{ kil. met.}$$

Darin soll für das Maximum des Effekts die Geschwindigkeit des äußersten Endes der Flügel $v = 2{,}6\, V$ seyn.

Beispiel.

Welches ist der Nutzeffekt eines holländischen Windrades, für das ist:

Die Länge der Flügel	$10^m{,}40$
Die Breite	$1^m{,}95$
Die Oberfläche eines Flügels	$20^{mq}{,}28$
Die Geschwindigkeit des Windes in 1″	$6^m{,}50$
Die Geschwindigkeit am äußern Flügelende . . .	$16^m{,}85$

Man erhält

$$P v = 0{,}13 \times 20{,}28 \times (6{,}50)^3 = 726^{km} = 9{,}70 \text{ Pferdekräfte.}$$

Dampfmaschinen.

Erfahrungsresultate über den Dampf.

Abhängigkeit der Spannung des Dampfes von seiner Temperatur.

157. Ehe wir die Regeln geben, nach denen man den Nutzeffekt der Dampfmaschinen berechnen kann, zeigen wir die Art, wie mehrere zu jener Berechnung erforderliche Daten zu bestimmen sind.

Die Pressung oder Spannung des Dampfes berechnet sich wie die der Gase, wozu verschiedene Wege in Nr. 72 und weiter angegeben sind.

Steht der Dampf fortwährend in Verbindung mit dem Kessel, in dem er erzeugt wird, so hängt seine Spannung nur von seiner Temperatur ab, welche nach den Versuchen von Arago und Dulong*) durch

$$p = 1^{k},033\,(0{,}2847 + 0{,}007153\,t)^{5}$$

ausgedrückt ist, wo

p den Druck auf 1 Quadratcentimeter und

t die Temperatur in Graden der 100theiligen Scale bedeutet.

Beispiel.

Welche Spannung hat Dampf von $128^{0},8$?

Man hat

$$p = 1{,}033\,(0{,}2847 + 0{,}007153 \times 128{,}8)^{5} = 1{,}033 \times 2{,}551 = 2^{kil},635$$

Die Erfahrung gab $p = 2^{kil},582$.

158. Die vorstehende Berechnung kann man durch folgende von diesen berühmten Physikern aufgestellte Tafel umgehen.

*) Annales de physique et de chimie; 1830.

Tafel der Elasticitäten des Wasserdampfs und der zugehörigen Temperaturen, von 1 bis 24 Atmosphären nach der Beobachtung, von da bis zu 50 Atmosphären nach der Rechnung.

Elasticität des Dampfes in Atmosphären.	Quecksilbersäule von 0°, welche die Elasticität mißt.	Temperatur nach dem 100-theiligen Quecksilberthermometer.	Druck auf ein Quadratcentimeter in Kilogrammen.	Elasticität des Dampfes in Atmosphären.	Quecksilbersäule von 0°, welche die Elasticität mißt.	Temperatur nach dem 100-theiligen Quecksilberthermometer.	Druck auf ein Quadratcentimeter in Kilogrammen.
"	0,0013	—20,0	0,0018	4½	3,42	149,06	4,648
"	0,0019	—15,0	0,0026	5	3,80	153,08	5,165
"	0,0026	—10,0	0,0036	5½	4,18	156,80	5,681
"	0,0036	— 5,0	0,0050	6	4,56	160,20	6,198
"	0,0050	0,0	0,0069	6½	4,94	163,48	6,714
"	0,0069	5,0	0,0094	7	5,32	166,50	7,231
"	0,0095	10,0	0,0129	7½	5,70	169,37	7,747
"	0,0128	15,0	0,0170	8	6,08	172,10	8,264
"	0,0173	20,0	0,0235	9	6,84	177,10	9,297
"	0,0231	25,0	0,0314	10	7,60	181,60	10,335
"	0,0306	30,0	0,0418	11	8,36	186,03	11,363
"	0,0404	35,0	0,0549	12	9,12	190,00	12,396
"	0,0530	40,0	0,0720	13	9,88	193,70	13,429
"	0,0687	45,0	0,0934	14	10,64	197,19	14,462
"	0,0887	50,0	0,1205	15	11,40	200,48	15,495
"	0,1137	55,0	0,1544	16	12,16	203,60	16,528
"	0,1447	60,0	0,1965	17	12,92	206,57	17,561
"	0,1827	65,0	0,2482	18	13,68	209,40	18,594
"	0,2290	70,0	0,3112	19	14,44	212,10	19,627
"	0,2831	75,0	0,3963	20	15,20	214,70	20,660
"	0,3521	80,0	0,4783	21	15,96	217,20	21,693
"	0,4317	85,0	0,5865	22	16,72	219,60	22,726
"	0,5253	90,0	0,7136	23	17,48	221,90	23,759
"	0,6343	95,0	0,8617	24	18,24	224,20	24,792
1	0,7600	100,0	1,0335				
1½	1,1400	112,2	1,5490	25	19,00	226,30	25,825
2	1,5200	121,4	2,0660	30	22,80	236,20	30,990
2½	1,9000	128,8	2,5820	35	26,60	244,85	36,155
3	2,2800	135,1	3,0990	40	30,40	252,55	41,320
3½	2,6600	140,6	3,6150	45	34,20	259,52	46,485
4	3,0400	145,4*	4,1320	50	38,00	265,89	51,650

*) Die Temperaturen, welche den Spannungen von 1 bis zu 4 Atmosphären entsprechen, sind nach der Formel von Tredgold berechnet, welche sich hier den Beobachtungen besser anschließt als die andere.

Gewicht eines Kubikmeters Wasserdampf von gegebener Temperatur.

159. Das Gewicht eines Kubikmeters Wasserdampf, oder seine Dichte bei der Temperatur t°, welcher der Druck p auf den Quadratcentimeter entspricht, wird durch die Formel in Nr. 78

$$d = \frac{0{,}7827}{1 + 0{,}00375\,t}\,p.$$

Beispiel.

Wie viel wiegt ein Kubikmeter Dampf von 2,5 Atmosphären Spannung?

Nach der vorhergehenden Tafel ist hierbei $t = 128^\circ{,}8$, $p = 2^{\text{kil}}{,}582$, daher

$$d = \frac{0{,}7827}{1 + 0{,}00375 \times 128{,}8} \times 2{,}582 = 1^{\text{kil}}{,}363.$$

Gewicht eines gegebenen Volums Dampf.

160. Das Gewicht q eines gegebenen Volums v Wasserdampf von der Temperatur t und der Pressung p findet man

$$q = dv^{\text{kil}}.$$

Volum eines gegebenen Gewichts Dampf.

161. Umgekehrt hat man das Volum des Dampfes, wenn sein Gewicht, seine Spannung und Temperatur gegeben sind, durch die Formel

$$V = \frac{q}{d} = 1{,}2777\,q \times \frac{1 + 0{,}00375\,t}{p}.$$

Beispiel.

Welchen Raum nehmen $1^{\text{kil}}{,}5$ Wasserdampf von der Temperatur $128^\circ{,}8$ und der Spannung 2,5 Atmosphären ein?

Aus der Tafel hat man $p = 2^{\text{kil}}{,}582$ und also

$$V = 1{,}2777 \times 1{,}50 \times \frac{1 + 0{,}00375 \times 128{,}8}{2{,}582} = 1^{\text{mc}}{,}10.$$

Wärmeeinheit.

162. Um Wärmemengen unter sich zu vergleichen nimmt man, nach Clement, als Einheit die Wärmemenge an, welche erforderlich ist, die Temperatur **eines** Kilogramms Wasser um einen Grad C zu erhöhen. Man nennt diese Einheit Calorie.

Beispiel.

Wie viel Calorien braucht man um 25 Liter Wasser um 125 Grad zu erwärmen?

Ein Liter Wasser wiegt 1^{kil}; man hat daher die Zahl der erforderlichen Calorien

$$25 \times 125 = 3125 \text{ Calorien.}$$

Wärmemenge, welche beim Verbrennen verschiedener Brennmaterialien frei wird.

163. Die Wärmemengen, welche beim Verbrennen von 1^{kil} mehrerer Brennstoffe frei wird, sind mit Hilfe des Calorimeters von Lavoisier bestimmt worden; sie sind in folgender Tafel aufgezeichnet.

Wärmemenge von 1^{kil} des Brennmaterials entbunden.

Art des Brennstoffs.	Wärmemenge in Calorien.	Bemerkungen.
Trockene Holzkohle . . .	7050	Gleichgültig, von welcher Art.
Gewöhnliche Holzkohle . .	6000	0,20 Wasser enthaltend.
Reine Coaks	7050	
Steinkohle erster Qualität .	7050	0,02 Asche.
„ zweiter „ .	6345	0,10 „
„ dritter „ .	5932	0,20 „
Am Feuer getrocknetes Holz	3666	Gleichgültig, welche Art; 0,52 Kohle.
Lufttrockenes Holz . . .	2945	0,20 Wasser enthaltend.
Gewöhnlicher Torf . . .	1500	
Torf bester Art	3000	Erfahrungen von Garnier.

Die Erfahrung zeigt aber, daß die best eingerichteten Feuerungen nur 0,55 bis 0,64 der entwickelten Wärme zu Nutzen bringen, wornach es nun leicht ist, die Wärmemenge zu bestimmen, welche eine bestimmte Zahl Kilogramme eines Brennmaterials wirksam entwickeln.

Wärmemenge im Wasserdampf.

164. Die Wärmemenge, welche in 9 Kilogramm Wasserdampf von der Temperatur t enthalten sind, ist

$$q\ (550 + t)\ \text{Calorien.*)}$$

Beispiel.

Wie viel Wärme ist in 6 kil. Dampf von 120° enthalten?

Man findet

$$6 \times (550 + 120) = 4020\ \text{Calorien.}$$

Erforderliches Brennmaterial zu einer gegebenen Menge Dampf.

165. Die Menge Brennmaterial, welche man verbrennen muß, um ein gegebenes Gewicht q Dampf von der Temperatur t aus Wasser von der Temperatur t′ zu erhalten, findet man gleich

$$q \times \frac{(550 + t - t')}{n}\ \text{kil.},$$

wobei n die Zahl der Wärmeeinheiten ist, welche man in einem guten Herde aus dem Brennmaterial nutzbringend erhält (Nr. 163).

Beispiel.

Wie viel Steinkohlen der besten Art braucht man, um aus Wasser von 15° 10 Kilogramm Dampf von 135° zu erhalten?

Nimmt man an, in dem gebrauchten Herde würden 0,60 der entwickelten Wärme gewonnen, so gibt die Formel

$$10 \times \frac{(550 + 135 - 15)}{0{,}60 \times 7050} = 1{,}58\ \text{Kilogramm.}$$

Menge des Injektionswassers.

166. Das Gewicht q′ Wasser von der Temperatur t′, was man mit einem gegebenen Gewicht q Dampf von der Temperatur t mischen muß, um Wasser von der Temperatur t″ zu erhalten, ist gegeben durch die Formel

$$q' = \frac{q\ (550 + t - t'')}{t'' - t'}.$$

---

*) Die gewöhnlichere Annahme ist

$$650\ q,$$

unabhängig von t, wonach sich die folgenden Formeln etwas ändern.

Beispiel.

Wie viel Wasser von 12° muß in den Kondensator einer Maschine von niederm Druck eingespritzt werden, um 7 kil. Dampf von 100° zu kondensiren und bis auf 35° abzukühlen?

Die Formel gibt

$$q' = \frac{7\,(550 + 100 - 35)}{35 - 12} = 187^{\text{kil}} \text{ oder Liter.}$$

Dampfmenge, welche eine gegebene Menge Wasser um eine gegebene Anzahl Grade erwärmt.

167. Das Gewicht Dampf q von der Temperatur t, welches in Wasser vom Gewichte q' und der Temperatur t' kondensirt werden muß, um der Mischung die Temperatur t'' mitzutheilen, wird gefunden nach der Formel

$$q = \frac{q'\,(t'' - t')}{550 + t - t''} \text{ Kilogramm.}$$

Beispiel.

Wie viel Dampf von 130° braucht man, um 2 Kubikmeter oder 2000 Kilogramm Wasser von 12° in einer Färbebütte auf 55° zu erwärmen?

$$q = \frac{2000\,(55 - 12)}{550 + 130 - 12} = 129 \text{ Kilogramm ungefähr.}$$

Nutzeffekt der Dampfmaschinen.

168. Man gibt gewöhnlich den Nutzeffekt der Dampfmaschinen nach **Pferdekräften** an, welche man auf **75 Kilogramm, in 1 Sekunde auf 1 Meter erhoben**, festgesetzt hat.

Zuweilen vergleicht man auch die Menge der verbrannten Kohle mit der hervorgebrachten Arbeit.

Wir werden Regeln zu beiden Vergleichungen geben.

Watt'sche Maschinen mit niederem Drucke.

169. Die Kraft einer Maschine von niederm Druck nach Watt'scher Konstruktion, ist in Pferdskräften gleich

$$K n \times 2{,}222\, p v \left(1 - \frac{p'}{p}\right),$$

wobei ist

p der Druck des Dampfes im Kessel auf ein Quadratcentimeter,

v der Raum, den der Kolbeu bei einem Aufgang durchlauft, in Kubikmetern,

p′ der Dampfdruck im Kondensator (er wird gewöhnlich aus der Temperatur des Wassers im Kondensator nach der Formel in Nr. 157 oder der Tabelle in Nr. 158 erhalten),

n die Zahl der einfachen Kolbengänge in 1′,

K ein konstanter Coefficient, dessen Werth in der folgenden Tabelle zu finden ist, und welcher abhängt von der Kraft der Maschine, der Vollkommenheit ihrer Ausführung und ihrem Zustand besserer oder geringerer Unterhaltung.

Kraft der Maschinen in Pferdekräften.	Werthe des Coefficienten	
	gute Erhaltung.	mittlere Erhaltung.
4 bis 8	0,50	0,42
10 „ 20	0,56	0,47
30 „ 50	0,60	0,54
60 „ 100	0,65	0,60

Beispiel.

Welche Kraft hat eine Maschine von niederm Druck, sehr gut erhalten, für welche man hat:

Druck des Dampfes in dem Kessel . . . . . $p = 1^k,033$
Druck im Kondensator . . . . $p' = 0^k,055$
Raum den der Kolben durchlauft . . . . . $v = 0^{mc},922$
Zahl der Kolbengänge in 1′ . . . . $n = 38$

Die Kraft der Maschine ist die von

$$2{,}222 \times 1{,}033 \times 0{,}922 \times 38 \left(1 - \frac{0{,}055}{1{,}033}\right) \times 0{,}60 = 46 \text{ Pferdekräften.}$$

Bei mittlerer Unterhaltung der Maschine hat sie nur die Kraft von 41 Pferden.

Größe der Arbeit für ein Kilogramm Steinkohlen.

170. Die Arbeit, welche man durch das Verbrennen von

einem Kilogramm Steinkohlen bei diesen Maschinen erhält, ist gleich

$$K \times 45038925 \frac{1 + 0{,}00375\, t}{550 + t - t'} \left(1 - \frac{p'}{p}\right)^{km'},$$

in welcher außer den Bezeichnungen der vorhergehenden Nummer noch

t die Temperatur des Dampfes im Kessel in 100theiligen Graden bedeutet,

t' die Temperatur des Speisewassers, welches gewöhnlich die des Kondensators ist.

Mit für die Praxis hinreichender Genauigkeit kann man für diese Arbeit auch setzen

$$100000\, K \left(1 - \frac{p'}{p}\right)^{km} *)$$

Beispiel.

Welches ist die Arbeit, welche ein Kilogramm Steinkohlen bei einer Dampfmaschine von niederm Druck, die sehr gut bedient ist, hervorbringt?

Der Druck des Dampfes in dem Kessel.	$1^{kil},291$
Temperatur dort	107°
Druck des Dampfes in dem Kondensator	$0^{kil},055$
Temperatur dort	35°

Die gesuchte Arbeit ist dann

$$0{,}56 \times 45038925 \times \frac{1 + 0{,}00375 \times 107}{550 + 107 - 35} \left(1 - \frac{0{,}055}{1{,}291}\right) = 54497^{km}$$

Die vereinfachte Formel gibt . . . . 53614^{km}

Kraft der Maschinen mit Absperrung und Kondensation.

171. Für Maschinen mit Absperrung und Kondensation, wie auch die Absperrung geschieht, die Maschine habe 1, 2 oder 3 Cylinder, erhält man die Zahl der Pferdekräfte nach der Formel

$$K n \times 2{,}222\, p v \left(1 + 2{,}303 \log\left(\frac{p}{p_1}\right) - \frac{p'}{p_1}\right)$$

*) Diese Vereinfachung rührt daher, daß der Faktor $\frac{1 + 0{,}00375\, t}{550 + t - t'}$ für 1 bis 10 Atmosphären Druck, was man gewöhnlich nicht überschreitet, sich nur wenig ändert, und als mittlern Werth 0,00222 hat.

in welcher

n die Zahl der einfachen Kolbengänge in 1 Minute bedeutet,

p den Druck des Dampfes in dem Kessel,

p_1 den Druck des Dampfes nach der Expansion,

p' den Druck im Kondensator, seiner Temperatur entsprechend,

v das Volum, welches der Kolben während des Einströmens des Dampfes durchlauft,

K einen Coefficienten, welcher von der Kraft der Maschine und dem Zustande ihrer Unterhaltung abhängt, und dessen Werthe nach den hierher gehörigen Erfahrungen in folgender Tabelle aufgestellt sind:

Zahl der Pferdekräfte.	Werthe des Coefficienten für Maschinen in gutem Zustand.	Werthe des Coefficienten für Maschinen in mittlerem Zustand.	Bemerkungen.
4 bis 8	0,33	0,30	
10 „ 20	0,42	0,35	Versuche zu Douay vom Jahr 1828.*)
20 „ 40	0,50	0,42	Versuche von Prony.**)
60 „ 100	0,60	0,55	Verhältniß in den Gruben von Cornwallis.

Man kann mit hinreichender Genauigkeit den Gebrauch der Logarithmentafeln umgehen, wenn man setzt

$$2{,}303 \log \frac{p}{p_1} = \frac{1}{6}\left[\frac{p}{p_1} + \frac{8\,(p - p_1)}{p + p_1} - \frac{p_1}{p}\right]$$

Beispiel.

Welche Kraft hat eine Maschine mit Absperrung und Kondensation bei gewöhnlicher Unterhaltung unter folgenden Umständen?

Druck des Dampfes in dem Kessel $p = 3^{\text{atm}},5 = 3^{\text{k}},615$

Druck nach der Expansion $p_1 = \frac{1}{4}\,p = 0^{\text{atm}},875 = 0^{\text{k}},9037$

Druck im Kondensator . . . . $p' = 0^{\text{k}},055$

*) Mémorial de l'artillerie, troisième numéro.

**) Journal des mines, douzième volume.

Volum Dampf von dem Druck p, das bei jedem Kolbengang in den Cylinder tritt . . $v = 0^{mc},050$

Zahl der einfachen Kolbengänge in 1′ . . . . $n = 40$

Die Formel gibt

$$40 \times 2{,}222 \times 3{,}615 \times 0{,}050 \left(1 + 2{,}303 \log 4 - \frac{0{,}055}{0{,}9037}\right) \times 0{,}35 =$$

13,07 Pferdekräfte.

Arbeit von einem Kilogramm Steinkohlen bei Maschinen mit Absperrung und Kondensation.

172. Die Arbeit, welche man bei diesen Maschinen durch Verbrennen von einem Kilogramm Steinkohlen erhält, ergibt sich

$$= K \times 45038925 \times \frac{1 + 0{,}00375\, t}{550 + t - t'} \left(1 + 2{,}303 \log \frac{p}{p_1} - \frac{p'}{p_1}\right)^{km}$$

worin alle Bezeichnungen bekannt sind.

Diese Formel kann man auch durch die einfachere und hinreichend genaue

$$100000\, K \left(1 + 2{,}303 \log \frac{p}{p_1} - \frac{p'}{p_1}\right)^{km}$$

ersetzen.

Beispiel.

Welche Arbeit erlangt man mit einem Kilogramm Steinkohlen durch eine Maschine mit Absperrung und Kondensation, die sehr gut erhalten ist, unter folgenden Umständen:

Druck des Dampfes in dem Kessel $p = 3^{atm},25 = 3^{k},37$

Druck des Dampfes nach der Absperrung . . . . $p_1 = \frac{1}{4} p = 0^{atm},813 = 0,^{k}843$

Druck des Dampfes im Kondensator $p' = 0^{k},055$

Temperatur des Dampfes im Kessel $t = 137^{0}$

Temperatur des Speisewassers $t' = 35^{0}$

Die vorstehende Formel gibt

$$45038925 \cdot \frac{1 + 0{,}00375 \cdot 137}{550 + 137 - 35} \left(1 + 2{,}303 \log 4 - \frac{0{,}055}{0{,}843}\right) \times 0{,}42 = 101788^{km}$$

Die vereinfachte Formel gibt 97700^{km}.

Bemerkung über den Gebrauch vorstehender Formeln.

173. Vorstehende Formeln sind nur anwendbar, wenn der Hahnen, welcher die Verbindung zwischen dem Kessel und dem Cylinder herstellt, ganz offen ist, so daß der Dampfdruck im Kessel und in dem Cylinder nur unbedeutend verschieden ist.

Man muß sich ferner überzeugen, daß der Kolben keinen Dampf durchläßt, was man leicht durch folgendes Verfahren untersuchen kann. Man stellt die Maschine still, öffnet den Dampfhahnen einige Augenblicke und sieht, ob bei fortwährendem Stillstehen der Maschine die Temperatur im Kondensator nicht steigt. Ob die Verbindungen Dampf durchlassen, erkennt man durch aufmerksame Betrachtung.

Dampfmaschinen zu Ausschöpfungen angewendet.

174. Sind die Dampfmaschinen zu Ausschöpfungen verwendet, so verursachen die passiven Widerstände, die Unterbrechungen der Arbeit, und die Verluste in den Pumpen, im Nutzeffekte der Maschinen, wenn dieser durch das Produkt aus dem Gewichte des gehobenen Wassers in die Höhe der Förderung gemessen wird, einen bedeutenden Ausfall, welcher durch die geringe Sorgfalt, mit der hier gewöhnlich die Maschinen unterhalten werden, sich noch vergrößert.

Nach zahlreichen Beobachtungen kann man die gewöhnlich in diesem Fall erhaltene Arbeit für verschiedene Arten von Maschinen nach folgender Tabelle schätzen.

System der Konstruktion der Maschinen.	Namen des Konstrukteurs.	Angebliche Zahl der Pferdekräfte.	Effekt für ein Kilogramm Steinkohlen.	Verbrannte Steinkohlen für jede Pferdekraft in einer Stunde.	Mittlere Spannung des Dampfes.	Bemerkungen.
Newcomen	„	44	21000 km	13 kil	1,15 atm	Mittleres Resultat von 4 Maschinen.
Watt, einfach wirkend . .	Const. Perier	80	38900	6,94	1,25	Pumpe von Chaillot.
		24	37715	7,10	1,15	Pumpe von Gros-Caillou.
Watt, doppelt wirkend . .	Watt, Boulton	70	36776	7,30	1,25	Mittleres Resultat von 8 Maschinen zu Anzin
Woolf . .	Edwards .	10—12	32970*	8,18	3,50	Mittlerer Effekt von 21 Maschinen zu Anzin.

*) Dieß Resultat, das weit unter dem gut bedienter Maschinen bleibt, zeigt, wie nothwendig es sei, in Gruben die einfachsten und größten Maschinen anzuwenden.

Hochdruckmaschinen mit Absperrung, ohne Kondensation; Pferdekräfte.

175. Die Zahl der Pferdekräfte dieser Maschinen ist durch die Formel

$$K n \times 2{,}222\, p v \left(1 + 2{,}303 \log \frac{p}{p_1} - \frac{1}{p_1}\right)$$

gegeben, in welcher die Buchstaben dieselben Bedeutungen haben wie vorhin (Nr. 171), und worin man setzt

für Maschinen in sehr gutem Zustande . . . . $K = 0{,}40$
" " in gewöhnlich gutem Zustande . . $K = 0{,}35$

Beispiel.

Welche Kraft hat eine Hochdruckmaschine mit Absperrung und ohne Kondensation bei gewöhnlich guter Unterhaltung unter folgenden Umständen:

Dampfdruck in dem Kessel . .	$p = \overset{atm}{6} = \overset{kil.}{6{,}199}$
Dampfdruck nach der Expansion	$p_1 = {}^1/_6\, p = 1 = 1{,}033$
Dampfvolum, das bei jedem Kolbengang in den Cylinder strömt	$v = 0^{mc}{,}020$
Zahl der einfachen Kolbengänge in 1 Minute	$n = 44.$

Die Formel gibt die Kraft der Maschine

$$= 0{,}35 \times 44 \times 2{,}222 \times 6{,}199 \times 0{,}020 \left(1 + 2{,}303 \log 6 - \frac{1}{1{,}033}\right) = 7{,}75 \text{ Pferdekräfte.}$$

Arbeit von einem Kilogramm Steinkohlen.

176. Die Arbeit, welche man bei diesen Maschinen von einem Kilogramm Steinkohlen erhält, ist gegeben durch die Formel

$$K \times 45038925 \, \frac{1 + 0{,}00375\, t}{550 + t - t'} \left(1 + 2{,}303 \log \frac{p}{p_1} - \frac{1}{p_1}\right)^{km}$$

Die Buchstaben haben wieder dieselbe Bedeutung wie früher, und K erhält die in der vorhergehenden Nummer angezeigten Werthe.

Für die Praxis hinreichend genau kann man für diesen Ausdruck setzen

$$100000\, K \left(1 + 2{,}303 \log \frac{p}{p_1} - \frac{1}{p_1}\right)$$

Beispiel.

Welche Arbeit wird in einer Maschine mit Absperrung ohne

Kondensation, in gewöhnlichem Zustande der Erhaltung, unter den unten angegebenen Umständen von 1 Kilogramm Kohle erhalten?

Dampfdruck im Kessel . . . $p = 5^{atm} = 5^{kil},156$

Druck nach der Expansion . . $p_1 = \frac{1}{5} p = 1^{atm} = 1^{kil},033$

Temperatur des Dampfes im Kessel $t = 153^{\circ},08$

Temperatur des Speisewassers $t' = 15^{\circ}$

Die erste Formel gibt 58551^{km}.

Die zweite, einfachere 57435^{km}.

Kraft der fixen Hochdruckmaschinen ohne Absperrung und Kondensation.

177. Die Zahl der Pferdekräfte für diese Maschinen erhält man nach der Formel

$$K n \times 2{,}222\, v\, (p - 1{,}033).$$

Bezeichnungen wie bisher; für K nimmt man die Werthe aus Nummer 169.

Beispiel.

Bei einer Hochdruckmaschine ohne Absperrung und Kondensation, die sehr gut bedient ist, hat man

$$p = 5^{atm} = 5^{kil},166, \; v = 0^{mc},1965, \; n = 50.$$

Die Zahl der Pferdekräfte ist daher

$$0{,}60 \times 50 \times 2{,}222 \times 0{,}1965 \times 4{,}133 = 54.$$

Arbeit für ein Kilogramm Steinkohlen.

178. Die Arbeit für ein Kilogramm Steinkohlen wird durch die Formel

$$K \,.\, 45038925 \frac{1 + 0{,}00375\, t}{550 + t - t'} \left(1 - \frac{1{,}033}{p}\right)$$

oder durch die einfachere, hinreichend genaue

$$100000\, K \left(1 - \frac{1{,}033}{p}\right)$$

gegeben, wo man wieder K aus Nr. 169 nimmt.

Anmerkung. Man hat nicht genug Erfahrungen über diese Maschinen, um den Coefficienten K mit wünschenswerther Genauigkeit angeben zu können; die Formeln geben Näherungswerthe.

Nutzeffekt der Lokomotiven.

179. In den Lokomotiven, bei denen der Kolben die Bewegung

direkt auf die Räder fortpflanzt, ohne die Zwischenmittel eines Balanciers, eines Parallelogrammes und eines Schwungrades, und welche gewöhnlich sehr gut ausgeführt sind, ist die Anwendung des Dampfes von hohem Drucke, ohne Absperrung und ohne Kondensation, viel vortheilhafter als in den vorhergehenden Maschinen, vorausgesetzt, daß diese Lokomotivmaschinen nicht zu schnell gehen und gehörig belastet sind.

Dann kann man ihren Nutzeffekt nach der Formel

$$\frac{n}{60} \times 8190 \text{ v } (p - 1{,}033)^{km}$$

berechnen.

De Pambour hat durch zahlreiche Beobachtungen gefunden, daß der Widerstand gegen den Zug auf einer gut erhaltenen horizontalen Eisenbahn, bei gut geschmierten Rädern, im Mittel gleich $3^k{,}59$ für die Tonne Ladung, das Gewicht des Wagens eingerechnet, sei.

Da in obiger Formel implicit auf die passiven Widerstände der Maschine und auf den der Luft bei Geschwindigkeiten bis zu 8 bis 9 Meter in der Sekunde Rücksicht genommen ist, so kann man damit die Ladung ableiten, welche eine Lokomotivmaschine auf einer horizontalen Bahn mit einer Geschwindigkeit, die nicht über 12 bis 15 Kilometer in der Stunde steigt, führen kann.

Ist die Ladung gering, 50 bis 60 Tonnen und darunter, so vermindert sich der Nutzeffekt schnell bei wachsender Geschwindigkeit; man berechnet ihn dann mit hinreichender Genauigkeit, wenn man den Coefficienten 8190, welcher dem Fall entspricht, daß die auf den Horizont reduzirte Last 170 Tonnen und darüber beträgt, durch folgende Multiplikatoren ersetzt:

Geschw. in Kilomet. in der Stunde	14,4	18,0	21,6	25,2	28,8	36,0	39,6
Coefficienten	7600	7300	6100	5200	4600	4000	3600

Anmerkung. Diese Regel ist nur anwendbar, wenn der Hahnen gänzlich geöffnet ist, und wenn sein Durchmesser dem der Dampfröhre gleich und 1/4 bis 1/3 von dem des Cylinders beträgt.

Bei diesen Maschinen, wenn sie vollkommen gut bedient, mit innerem Feuerherd und Circulationsröhren hergestellt, und die Cylinder in allen Dampfröhren fortwährend erhitzt sind, beträgt der Aufwand an Brennmaterial 6 bis 7 Kilogramm der besten Coaks für jede Pferdekraft in einer Stunde.

Zusammenstellung der vorstehenden praktischen Regeln.

180. Geht man die vorstehenden Resultate durch, so sieht man, wie bei guten Oefen, welche 6 bis 7 Kilogramm Dampf für jedes Kilogramm Steinkohlen geben, die Resultate der verschiedenen Systeme von Dampfmaschinen in folgender Art zusammengestellt werden können:

System der Maschinen.	Nutzeffekt für ein Kilogramm verbrannter Steinkohlen. Gute Bedienung.	Gewöhnliche Bedienung.	Verbrannte Kohlen für jede Pferdekraft und die Stunde.
Mit niederm Druck, Watt'sche Maschinen ohne Absperrung und mit Kondensation	54000 km	45000	5 bis 6 kil
Hoher Druck mit Absperrung und Kondensation	108000	90000	2,5 bis 3 kil, mei[illegible] aber 4
Hoher Druck mit Absperrung ohne Kondensation.	93000	55000	4 bis 5
Hoher Druck ohne Absperrung und ohne Kondensation, feststehend	27000	21480	8 bis 10

Wir fügen hieran einige allgemeine Betrachtungen über die Vor- und Nachtheile der verschiedenen Systeme von Dampfmaschinen.

Vergleichung der verschiedenen Systeme von Dampfmaschinen.

Vor- und Nachtheile der Maschinen mit niederm Druck.

181. Die Maschinen mit niederm Druck haben folgende Vorzüge: Ihre Konstruktion ist einfacher als die der andern; sie haben nur einen Kolben, und die durch die Reibung aufgezehrte Arbeit ist bei ihnen geringer als bei den Maschinen mit zwei Cylindern.

Da die Spannung geringer ist, so entweicht weniger Dampf, und in dieser Beziehung sind sie leichter zu unterhalten.

Die Gefahren oder noch mehr die Folgen der Explosionen sind hier minder bedeutend, weil der Dampf nur selten den atmosphärischen Druck weit übersteigt.

Ihre Uebelstände sind, daß sie bei gleicher Kraft größere Dimensionen erhalten und folglich mehr wiegen, daß sie mehr Kohlen brauchen als die Maschinen mit Absperrung und Kondensation.

Sie erfordern wenigstens 0^{mc},780 Wasser für jede Pferdekraft in der Stunde für die Kondensation und Dampferzeugung.

Vor- und Nachtheile der Maschinen mit Absperrung und Kondensation.

182. Die Maschinen mit Absperrung und Kondensation haben den Vortheil, im Mittel $1/3$ Brennmaterial weniger zu brauchen, als die Maschinen mit niederm Drucke.

Ihre Nachtheile sind, der zusammengesetztere Mechanismus ihrer Ventile, gewöhnlich der Gebrauch von zwei Kolben, die Nothwendigkeit größerer Aufmerksamkeit auf die Verbindungen, welche um so leichter den Dampf entweichen lassen, je höher die Spannung im Kessel ist und je länger die Absperrung dauert.

Sie erfordern wenigstens 0^{mc},295 Wasser für die Pferdekraft in einer Stunde zur Kondensation und Dampfbildung.

Vor- und Nachtheile der Maschinen mit Absperrung und ohne Kondensation.

183. Die Hochdruckmaschinen mit Absperrung, ohne Kondensation haben folgende Vorzüge:

Sie erfordern nur das Wasser zur Dampfbildung.

Bei gleicher Kraft ist ihr Gewicht und ihr Volumen kleiner als bei den vorhergehenden.

Ihre Nachtheile sind, mehr Kohlen zu brauchen als die Hochdruckmaschinen mit Absperrung und Kondensation, mehr Aufmerksamkeit auf die Verbindungen und die Unterhaltung zu erfordern, um Dampfverlust zu vermeiden, der um so bedeutender ist, je höher die Spannung im Kessel ist; Dampf von wenigstens 4 bis 5 Atmosphären Druck zu verlangen, da der Verlust an Kraft durch das Ausströmen des Dampfes in die Luft um so bedeutender ist, je geringer die Spannung im Kessel. Daher rührt dann eine größere Gefahr der Zerstörung bei Explosionen.

Vor- und Nachtheile der Hochdruckmaschinen ohne Absperrung und ohne Kondensation.

184. Die Hochdruckmaschinen ohne Absperrung und ohne Kondensation haben nur den Vortheil, weniger Gewicht zu haben und weniger Raum einzunehmen, als die Maschinen der andern Systeme.

Ihre Nachtheile sind, viel mehr Kohlen zu verzehren; viel Aufmerksamkeit auf die Verbindungen und die Bedienung zu erfordern; gefährlich in den Folgen der Explosionen zu seyn.

Folgerungen über die Wahl eines Systems.

185. Aus dieser Zusammenstellung folgt, wie uns dünkt:

1) Daß man bei Anstalten, wo das Brennmaterial nicht theuer ist, Maschinen mit niederm Drucke vorziehen könne.

2) Daß dort, wo das Brennmaterial theuer ist, und wo man Sorgfalt auf die Unterhaltung der Maschinen verwenden kann, man Maschinen mit Absperrung und Kondensation anwenden soll.

3) Daß auf Dampfschiffen, wenn man gute Arbeiter zur Bedienung der Maschinen hat, es Vortheile in der Beladung des Schiffes gewähren kann, Hochdruckmaschinen mit Absperrung und ohne Kondensation anzuwenden.

4) Daß bei Lokomotivmaschinen die Bedingungen des kleinsten Gewichtes und Raumes zu dem Gebrauche der Hochdruckmaschinen mit oder ohne Ausdehnung und ohne Kondensation führen.

Wir haben in vorstehender Vergleichung keine Rücksicht auf die größere oder geringere Regelmäßigkeit im Gange der Maschinen genommen, weil man durch das Schwungrad die Mittel hat, den erforderlichen Grad von Regelmäßigkeit zu erhalten.

Verhältnisse der Kessel, Oefen, Roste ꝛc.

186. Wir glauben, diesem Kapitel einige praktische Regeln anfügen zu müssen, welche die berühmtesten englischen Konstrukteure über die Verhältnisse der verschiedenen Theile des Apparats zur Dampferzeugung befolgen. Wir entnehmen diese aus der Abhandlung über die Dampfmaschinen von Farey, welcher sie sowohl aus den von Watt gegebenen und befolgten Regeln, als aus der Beobachtung der von andern Ingenieuren befolgten, abgeleitet hat.

Kessel.

Die Heizfläche der Kessel bei Maschinen mit niederm Druck soll seyn

$1^{mq},395$ bis $1^{mq},674$ für jede Pferdkraft der Maschinen oder

1^{mq} Heizfläche um zu verdampfen $\begin{cases} 0^{mc},000635 \text{ Wasser in } 1' \\ 0^{mc},038 \quad \text{in 1 Stunde.} \end{cases}$

1^{mq} Heizfläche um zu erzeugen $1^{mc},021$

Dampf von 1 Atmosphäre ungefähr in 1 Minute.

Die ganze Oberfläche des Rostes im Feuerherde soll seyn

$0^{mq},062$ bis $0^{mq},077$ für jede Pferdkraft der Maschine oder

1^{mq} um in 1 Stunde 68^{k} Steinkohlen der besten Art zu verbrennen.

Clement gibt an, man verbrenne nur 40^{kil} auf 1^{mq}, was sich ohne Zweifel auf Steinkohlen von mittlerer Qualität bezieht.

Bei Holz muß man 1^{mq} Rostfläche für 80 Kilogramm Holz nehmen.

Die leeren Zwischenräume müssen bei Steinkohlen etwa $^1/_7$ der ganzen Rostfläche ausmachen; bei Holz $^1/_4$.

Die Schichte Steinkohlen auf dem Roste soll $0^{m},05$ bis höchstens $0^{m},06$ dick seyn.

Die ganze Länge des Rostes soll etwa $^1/_3$ der Länge des Kessels seyn.

Die freie Fläche von dem Roste bis zum Mittel des concaven Kesselbodens soll $0^{m},48$ bis $0^{m},60$ seyn; an den Rändern nur $0^{m},28$ bis $0^{m},36$.

Die Brücke am Roste soll $0^{m},33$ bis $0^{m},38$ vom Mittel des Kesselbodens entfernt seyn oder $0^{m},15$ bis $0^{m},22$ über den Rost sich erheben, und für die Flamme einen Durchgang lassen, der $^1/_3$ der Rostfläche groß ist.

Der Querschnitt der Züge soll $^1/_5$ der Rostfläche seyn..

Der Querschnitt der Esse $^1/_6$ der Rostfläche.

Die Höhe der Essen ändert sich von 18 bis zu 36 Metern.

Nach einer polizeilichen Verordnung vom 25. Mai 1828 sind die Stärken der Kesselwände von Eisenblech, welches jetzt die gebräuchlichsten sind, durch die Formel

$$e = 0{,}018\, d\, (n - 1) + 3 \text{ Millimeter}$$

bestimmt, worin

e die Dicke des Metalls in Millimetern bedeutet,
d den innern Durchmesser in Centimetern,
n die Zahl der Atmosphären, welche den stärksten Druck anzeigt, den die Maschine ertragen soll.

Die Resultate dieser Formel sind in folgender Tabelle berechnet:

Tafel zur Bestimmung der Wandstärken bei Dampfkesseln aus Eisenblech.

Durchmesser des Kessels.	Druck des Dampfes in Atmosphären.						
	2	3	4	5	6	7	8
Centimeter.	Millim.	Millim.	Millim.	Millim.	Millim.	Millim.	Millim.
50	3,90	4,80	5,70	6,60	7,50	8,40	9,30
55	3,99	4,98	5,97	6,96	7,95	8,94	9,93
60	4,08	5,16	6,24	7,32	8,40	9,48	10,56
65	4,17	5,34	6,51	7,68	8,85	10,02	11,19
70	4,26	5,52	6,78	8,04	9,30	10,56	11,82
75	4,35	5,70	7,05	8,40	9,75	11,10	12,45
80	4,44	5,88	7,32	8,76	10,20	11,64	13,08
85	4,53	6,06	7,59	9,12	10,65	12,18	13,71
90	4,62	6,24	7,86	9,48	11,10	12,72	14,34
95	4,71	6,42	8,13	9,84	11,55	13,26	14,97
100	4,80	6,60	8,40	10,20	12,00	13,80	15,60

Einfluß der Form des Kessels.

187. Die Form der Kessel und ihre Anordnung scheint keinen so großen Einfluß zu haben, als man gewöhnlich zu glauben versucht ist.

Die Watt'schen, sogenannten Wagenkessel, die Kessel von Woolf, mit cylindrischen Kochröhren von Eisenblech, die von Stephenson, mit inliegendem Feuerherd und Röhren zur Circulation der Flamme, liefern alle ungefähr 6 Kilogramm Dampf mit 1 Kilogramm verbrannter Steinkohle.

Ist die Kohle sehr gut, und das Feuer sehr gut bedient, so kann man bis zu 7 Kilogramm Dampf mit 1 Kilogramm Steinkohle erhalten.

Die Kessel mit Kochröhren bieten bei geringerem Volum und geringeren Kosten eine größere Heizfläche als die Watt'schen dar.

In der nämlichen Beziehung haben die Kessel mit innerer Feuerung und Circulationsröhren Vortheile vor den beiden andern Arten.

Praktische Regeln von Watt für die Konstruktion der Dampfmaschinen.

188. Die nachstehenden Regeln für Maschinen von niederm Druck, schließen sich an die von Watt und seinen Nachfolgern gebrauchten Verhältnisse an; wir haben es für nützlich erachtet, sie hier aufzuzählen. Wir bemerken aber dabei, daß sie weislich für ziemlich schlecht unterhaltene Maschinen berechnet sind, und daß so proportionirte Maschinen eine größere Kraft ausüben können, als die, für welche sie verkauft wurden.

Dampfcylinder.

Der Durchmesser **D** des Dampfcylinders wird in Metern nach folgender Formel erhalten:

$$D = \sqrt{\frac{0{,}1986\, n}{v}}$$

wobei **n** die Zahl der Pferdekräfte der Maschine, und
v die Geschindigkeit des Kolbens in Metern bedeutet.

Kolben.

Die Länge des Kolbenhubs soll zwischen 3 und 2mal den Durchmesser des Cylinders enthalten seyn; die Geschwindigkeit des Kolbens soll seyn

$0{,}90^{m}$	bis	1^{m}	in 1″	für	Maschinen	von	4	bis	20	Pferdekräfte.
1,00	„	1,20	„	„	„	„	20	„	30	„
1,20	„	1,25	„	„	„	„	30	„	60	„
1,25	„	1,30	„	„	„	„	60	„	100	„

Folgende Tafel enthält die Resultate dieser Regeln, verglichen mit den von Watt gebrauchten Dimensionen.

Pferdekräfte.	Kolbenhub.	Geschwindigkeit des Kolbens.	Durchmesser des Cylinders nach der Formel.	Durchmesser des Cylinders gegeben von Watt.	Zahl der Kolbenhübe oder der Umdrehungen des Schwungrads in 1'.
	m	m	m	m	
4	0,914	0,884	0,300	0,305	29,0
6	1,068	0,960	0,352	0,355	27,0
8	1,200	0,975	0,404	0,407	24,0
10	1,220	1,015	0,441	0,444	25,0
12	1,220	1,015	0,484	0,483	25,0
14	1,220	1,015	0,528	0,522	25,0
16	1,416	1,086	0,541	0,552	23,0
18	1,416	1,086	0,574	0,585	23,0
20	1,520	1,090	0,604	0,602	21,5
22	1,520	1,090	0,633	0,635	21,5
24	1,520	1,090	0,661	0,661	21,5
26	1,678	1,118	0,680	0,680	20,0
28	1,678	1,118	0,706	0,705	20,0
30	1,800	1,140	0,712	0,718	19,0
36	1,800	1,140	0,772	0,784	19,0
40	2,135	1,244	0,802	0,800	17,5
45	2,135	1,244	0,850	0,847	17,5
50	2,135	1,244	0,896	0,893	17,5
60	2,135	1,244	0,982	0,978	17,5
70	2,440	1,300	1,033	1,036	16,0
80	2,440	1,300	1,105	1,105	16,0
90	2,440	1,300	1,172	1,172	16,0
100	2,440	1,300	1,235	1,232	16,0

Aufwand von Dampf.

Die Menge Dampf von atmosphärischem Druck, welche man zu 1 Pferdskraft braucht, ist $0^{mc},935$ in der Minute.

Anmerkung. Die Formel in Nr. 169 würde nur $0^{mc},738$ geben; der Ueberschuß, welchen die Watt'sche Regel gibt, dient dazu, den Dampfverlust durch das Entweichen und durch die Kondensation in den Leitröhren, bei schlecht bedienten Maschinen, zu ersetzen.

Volum Wasser zu verdampfen.

Das Volum Wasser, das verdampft werden muß, ist hiernach
$0^{mc},00055$ in 1' für jede Pferdskraft, oder
$0^{mc},0330$ in 1 Stunde.

Dampfröhre.

Der Durchmesser der Röhre, welche den Dampf vom Kessel zum Cylinder führt, soll $1/5$ von dem des Cylinders seyn; ihr Querschnitt beträgt daher $1/25$ von der Kolbenfläche.

Zuleitungsventil.

Die Fläche dieses Ventils soll

$0^{mq},000507$ für jede Pferdskraft seyn.

Auslaßventil.

Die Fläche des Ventils, durch das der Dampf in den Kondensator tritt, soll $0^{mq},000768$ für jede Pferdskraft betragen.

Diese Ventile sollen sich vollständig öffnen, und die Röhren, welche an ihnen enden, etwas weiter seyn.

Luftpumpe.

Der Durchmesser dieser Pumpe beträgt $2/3$ von dem des Cylinders. Der Kolbenhub ist die Hälfte vom Hub des Dampfkolbens. Die freie Durchgangsfläche bei ihren Ventilen soll $1/4$ von dem Querschnitt der Luftpumpe oder $1/9$ von der Fläche des Dampfkolbens seyn.

Kaltwasserpumpe.

Der Raum, den der Kolben dieser Pumpe bei einem einfachen Gang beschreibt, soll $1/24$ bis $1/18$ vom Inhalte des Dampfcylinders seyn.

Anmerkung. Findet sich das zu hebende Wasser in geringer Tiefe, so daß man nicht fürchten muß, die Maschine zu überladen, oder wenn diese zuweilen über den Nennwerth ihrer Kraft arbeiten muß, so ist es gut, diese Proportion etwas zu vergrößern.

Injectionshahnen.

Die gewöhnliche Oeffnung dieses Hahnens soll $0^{mq},0000322$ für die Pferdskraft seyn, doch soll er so groß seyn, daß man ihn bis zu $0^{mq},000043$ für jede Pferdskraft öffnen kann.

Speisebehälter.

Der Wasserspiegel im Speisebehälter soll $2^{m},44$ über der Oberfläche des Wassers im Kessel stehen.

Sicherheitsventil.

Die Fläche dieses Ventils soll $0^{mq},0004056$ für jede Pferdskraft betragen; der Druck auf diese Ventile soll $0^{kil},91$ für jede Pferdskraft seyn.

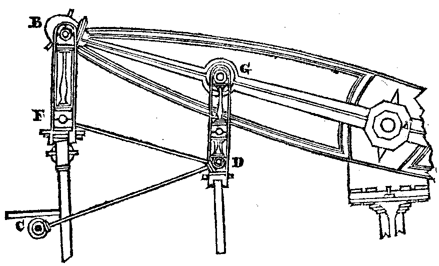
Balancier.

Die horizontale Entfernung zwischen dem Mittelpunkte des Kolbens und der Axe der Kurbel soll dem dreimaligen Kolbenhub gleich seyn.

Die Entfernung zwischen den Axen an beiden Enden des Balanciers soll 3,0825mal so groß seyn als der Kolbenhub.

Parallelogramm.

Fig. 34.



Die Axe **G** soll in der Mitte des halben Balanciers **A B** liegen. Die Länge der Bügel **B F** und **G D** soll ½ bis $^3/_7$ von dem Kolbenhub seyn.

Watt stellte den Mittelpunkt der Stange **C D** in die Vertikale durch die Axe des Kolbens in die Höhe der halben Sehne des von **D** beschriebenen Bogens.

Die vier Bügel des Parallelogramms sollen einen Gesammtquerschnitt von $^1/_{144}$ der Fläche des Kolbens haben; die Schienen, aus denen sie gebildet sind, haben in der Breite $^1/_{12}$ vom Durchmesser des Kolbens, in der Dicke $^1/_{48}$. Die Axen, um welche die Bügel gehen, sollen einen Querschnitt von $^1/_{262}$ der Kolbenfläche oder einen Durchmesser von 0,0526 von dem des Kolbens haben.

Kolbenstange.

Die Kolbenstange von Schmiedeisen soll einen Durchmesser gleich $^1/_{10}$ des Kolbendurchmessers haben. Dieß entspricht einer Belastung von 98^k höchstens auf den Quadratcentimeter.

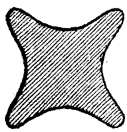
Für große Maschinen kann man ihn schwächer machen.

Kurbelstange.

Die Kurbelstange soll dreimal so lang seyn als der Kolbenhub oder sechsmal so groß als die Länge der Kurbel.

Der Querschnitt der gußeisernen Stange soll $^1/_{28}$ von der Kolbenfläche betragen, was höchstens 35^k Belastung auf 1 Quadratcentimeter Querschnitt beträgt. Diese Stange hat Rippen und zeigt in der Mitte den Querschnitt Fig. 35. Die Seiten des umschriebenen Quadrats sind gleich $^1/_{20}$ der Länge der Stange.

Fig. 35.



Die Enden der Kurbelstange haben $^1/_{35}$ von der Kolbenfläche zum Querschnitt, was eine größte Belastung von ungefähr 44^k für den Quadratcentimer gibt.

Schwungrad.

Der Durchmesser des Schwungrades soll 3 bis 4mal so groß als der Kolbenhub seyn, wenn es auf der Axe der Kurbel angebracht ist. Sein Gewicht wird nach Nr. 190 bestimmt.

Schwungräder.

Zweck der Schwungräder.

189. Schwungräder haben den Zweck, die Bewegung der Maschinen gleichförmig zu machen, und die periodischen Veränderungen ihrer Geschwindigkeiten in genügende Grenzen einzuschließen.

Man soll sie also nur in folgenden drei Fällen anwenden:

1) Wenn die bewegende Kraft eine periodisch sich ändernde Geschwindigkeit hat, wie bei den Dampfmaschinen, den durch Menschen bewegten Kurbeln u. dgl.

2) Wenn der Widerstand, die Last, periodisch veränderlich ist, oder nur nach Unterbrechungen wirkt, wie bei den Walz- und Hammerwerken, den Sägmühlen 2c.

3) Wenn Kraft und Last zugleich veränderlich oder intermittirend sind.

Das Schwungrad soll man so nahe als möglich an den Maschinentheil bringen, dessen Bewegung veränderlich ist.

Der Grad der Gleichförmigkeit, den das Schwungrad hervorbringen soll, hängt von dem Zweck ab, von der Natur der gebrauchten Werkzeuge, der zu erhaltenden Produkte 2c.

Um die Aufgabe der Anordnung von Schwungrädern zu erleichtern, vernachläßigt man gewöhnlich den regulirenden Einfluß der Arme, und bestimmt nur das Gewicht, das man dem Ring geben muß.

Nennt man

a die Breite des Rings, parallel mit der Axe der Umdrehung,

b seine Dicke, nach dem Radius gemessen,

R den Radius bis in die Mitte des Rings,

so ist das Gewicht des gußeisernen Rings

$$P = 45239\, a\, b\, R.$$

Oertliche Betrachtungen, und Betrachtungen der Maschine insbesondere, dienen gewöhnlich, den Radius des Schwungrads zu bestimmen, den wir in den folgenden Formeln als bekannt voraussetzen; aber darauf wollen wir hier aufmerksam machen, daß man ihn so groß als möglich machen soll, ohne jedoch eine Grenze zu überschreiten, bei welcher die Geschwindigkeit am Umfange so groß würde, daß die Centrifugalkraft gefährlich wäre. Diese Geschwindigkeit kann bis zu 25 bis 30 Meter in der Sekunde steigen, ohne aber darüber hinaus zu gehen.

Schwungräder bei Dampfmaschinen.

190. Bei Dampfmaschinen mit niederm Drucke und Hochdruckmaschinen mit Absperrung und Kondensation bestimmt man das Schwungrad nach der Formel:

$$P V^2 = \frac{4645\, n}{m} N$$

in welcher bedeutet:

P das Gewicht des Rings,

V die Geschwindigkeit des mittleren Kreises,

m die Zahl der Umdrehungen in 1 Minute,

N die Zahl der Pferdekräfte der Maschinen,

n eine Zahl, welche mit dem gewünschten Grad von Gleichförmigkeit sich ändert; man nimmt

n = 20 bis 25 für Dampfmaschinen, bei denen eine große Gleichförmigkeit nicht erfordert wird, wie bei solchen, die zur Bewegung von Mahl- und Sägmühlen, Pumpen 2c. benutzt werden.

n = 35 bis 40 bei Spinnereien, wo man Garn von Nr. 40 bis 60 fabrizirt.

n = 50 bis 60 für Spinnereien, in denen man sehr feine Garne herstellt.

Beispiel.

In der Spinnerei zu Logelbach, bei Colmar, hat die Dampfmaschine von niederm Druck und 40 Pferdekräften ein Schwungrad, das 18 bis 20 Umdrehungen in 1 Minute macht.

Die gesponnenen Garne sind von den Nummern 40 bis 60.

Der mittlere Durchmesser des Schwungrades hat $6^m,10$, die Geschwindigkeit in diesem Kreise ist daher bei 19 Umdrehungen

$$\frac{3,14 \times 6,10 \times 19}{60} = 6^m,06.$$

Die Formel gibt nun das Gewicht des Schwungrings, wenn man $\mathbf{N} = 35$ nimmt

$$\mathbf{P} = \frac{4645 \times 35 \times 40}{19\,(6,06)^2} = 9320^k.$$

Die Erbauer, Watt und Boulton, haben genommen

$$\mathbf{P} = 9450^k.$$

Schwungrad bei einem Stirnhammer.

191. Die Stirnhämmer thun gewöhnlich 70 bis 80 Schläge in 1′, und ihr Gewicht, das des Helms inbegriffen, wechselt zwischen 3000 und 4900 Kilogramm.

Man berechnet das Gewicht des Schwungrings, der auf die Daumenwelle zu bringen ist, nach folgenden Formeln:

$$\text{Hämmer von} \begin{cases} 3000 \text{ bis } 3500^{\text{kil}} \;\ldots\ldots\ldots & \mathbf{P} = \dfrac{20000}{\mathbf{R}^2} \\ 4000 \text{ bis } 4900^{\text{kil}} \;\ldots\ldots\ldots & \mathbf{P} = \dfrac{30000}{\mathbf{R}^2} \end{cases}$$

R ist der mittlere Radius des Schwungrings in Metern.

Beispiel.

Ein Hammer wiegt mit seinem Helm 3165 Kilogramm; auf seiner Daumenwelle ist ein Schwungrad von $2^m,15$ mittlerem Radius angebracht, wie schwer muß der Schwungring seyn?

Die Formel gibt

$$\mathbf{P} = \frac{20000}{(2,15)^2} = 4329^{\text{kil}}.$$

Bei dem Stirnhammer zu Framont, der mit hinreichender Gleichförmigkeit geht, ist ein Schwungrad von $2^m,15$ Radius und nur 4230 kil. Gewicht angebracht.

Schwungrad für einen Aufwerfhammer mit Vorgelege.

192. Die Aufwerfhämmer wiegen mit Einschluß des Helms und der Hülse 600 bis 800 Kilogramm; sie thun gewöhnlich bei ihrer größten Geschwindigkeit 100 bis 110 Schläge in 1′.

Man berechnet das Gewicht des Schwungrings auf der Daumenwelle nach der Formel

$$P = \frac{15000}{R^2}$$

Beispiel.

Wie schwer muß ein Schwungring seyn, der auf die Daumenwelle eines Aufwerfhammers gebracht werden soll, wenn sein Radius $= 1^m,65$ ist?

Die Formel gibt

$$P = \frac{15000}{(1,65)^2} = 5514^{kil}.$$

Bei dem Hammer der Neumühle zu Moyeuvre wiegt der Schwungring etwa 5150 Kilogramm bei dem angegebenen Radius.

Schwungrad für einen Schwanzhammer mit Vorgelege.

193. Man gebraucht in den Schmieden Schwanzhämmer von verschiedener Größe, je nach dem Zweck, für den sie bestimmt sind. Sie thun gewöhnlich 150 bis 200 Schläge in der Minute.

Man bestimmt das Gewicht des Schwungrings, der auf die Daumenwelle kommt, nach der Formel

$$\text{Schwanzhämmer von} \left\{ \begin{array}{ll} 500^{kil} \;\ldots\ldots\ldots & P = \frac{9000}{R^2} \\ 360^{kil} \;\ldots\ldots\ldots & P = \frac{6000}{R^2} \end{array} \right.$$

In den Gewichten der Hämmer sind die der Helme, der Hülsen und so fort inbegriffen.

Beispiel.

Für einen Hammer von 360 Kilogramm erhält man hiernach bei dem mittlern Radius $= 1^m,50$, das Gewicht des Schwungrings

$$P = \frac{6000}{(1,50)^2} = 2666^{kil}.$$

Schwungrad bei einer Sägmühle.

194. Bei Sägen mit einem Blatt, zum Zerschneiden dicker Hölzer bestimmt, welche 80 bis 90 Schnitte in 1′ machen, genügt es, das Gewicht des Schwungrads, das auf der Are der Kurbel angebracht wird, nach folgender Formel zu bestimmen.

$$P = \frac{30000}{V^2}$$

wo V die mittlere Geschwindigkeit der Mitte des Rings bedeutet.

Dieses Gewicht kann in zwei Räder, welche auf beiden Seiten des Gatters angebracht sind, vertheilt werden.

Man muß ferner an den Schwungring in der Verlängerung des Kurbelarms ein Eisen- oder Bleigewicht anhängen, welches als Gegengewicht des Sägegatters dient. Handelt es sich um eine Säge mit einem Blatt, wo das Gatter höchstens 400 Kilogramm wiegt, so kann man dieß Gegengewicht hinreichend genau nach der Formel

$$p = \frac{65}{r} \text{ Kilogramm bestimmen,}$$

wo p die Größe des Gegengewichts, und
r die Entfernung seines Schwerpunkts von der Are des Schwungrads bedeutet.

Beispiel.

Eine Säge mit einem Blatt thut 88 Schnitte in 1′; es soll ein Schwungrad von $0^m,76$ Radius angebracht werden, wie schwer muß dieses werden?

Man hat

$$V = \frac{88}{60}\, 6{,}28 \times 0{,}76 = 7^m{,}02$$

und die Formel gibt

$$P = \frac{30000}{49{,}28} = 606^{\text{kil}}.$$

Die beiden Schwungräder einer vor 10 oder 12 Jahren in Metz erbauten Sägmühle, welche mit aller wünschenswerthen Gleichförmigkeit geht, wiegen nur 512 Kilogramm. Allein gewöhnlich nimmt man diese Schwungräder stärker, und wir glauben nicht, daß unsere Formel zu übertriebenen Resultaten führe.

Das Gegengewicht in dem mittlern Umfang des Schwungrads, dem Krummzapfen gegenüber, wird nach obiger Formel gleich

$$p = \frac{65}{0{,}70} = 85^{kil}.$$

Bemerkungen über Sägen mit mehreren Blättern.

195. Sollen die Gatter mehrere Blätter aufnehmen, so können das Schwungrad und das Gegengewicht um so leichter seyn, je mehr Blätter da sind. Allein da die Säge nothwendig zuweilen nur mit einem Blatt schneiden muß, so ist es passend, das Schwungrad in allen Fällen nach der vorhergehenden Nummer zu bestimmen.

Walzwerke für große Blech- und Eisenwaaren.

196. Für diese Anstalten, bestimmt man das Gewicht des Schwungrings nach der Formel

$$P = \frac{130000\,N\,K}{m\,V^2}$$

in welcher bedeutet:

P das gesuchte Gewicht,

N die Zahl der Pferdekräfte, welche vom Beweger auf die Welle des Schwungrads fortgepflanzt wird,

V die mittlere Geschwindigkeit der Mitte des Schwungrings,

m die Zahl der Umläufe in 1 Minute,

K ein Coefficient. Man nimmt

K = 20 für Maschinen von 80 bis 100 Pferdekräften, welche zu gleicher Zeit 6 bis 8 Cylinderpaare zu Blech- oder Eisenwaaren umtreiben.

K = 25 für Maschinen von 60 Pferdekräften, welche 4 bis 6 Cylinderpaare zu Stabeisen umtreiben.

K = 80 für Maschinen von 30 bis 40 Pferden, welche nur ein Cylinderpaar zu dickem Blech oder zwei zu Feineisen bewegen.

Erstes Beispiel.

Eine Maschine von 60 Pferdekräften bewegt 6 Paar Cylinder zu Stabeisen; es soll unter folgenden Umständen das Gewicht des Schwungrings angegeben werden.

Durchmesser des Schwungsrings . . . . . $5^m{,}84$

Zahl der Umläufe des Schwungrads und der Walzen in 1′ . . . . $m = 60$

Geschwindigkeit der Mitte des Schwungrings . $V = 18^m{,}4$

Die Formel gibt, wenn man $K = 25$ setzt

$$P = \frac{130000 \times 60 \times 25}{60\ (18{,}4)^2} = 9557^{kil}.$$

Die Dimensionen und die Geschwindigkeit dieses Beispiels sind die des Eisenwerks von Fourchambault, wo die Maschine bewegt

4 Paar Präparirwalzen,
4 „ Fertigmacher, } für Grobeisen,
4 Paar Präparirwalzen,
4 „ Fertigmacher, } für Kleineisen,

von denen ungefähr 6 zu gleicher Zeit im Gange sind. Das Schwungrad wiegt nur 8000 Kilogramm.

Zweites Beispiel.

Bei einer Eisenhütte treibt ein Wasserrad von 36 Pferdekräften ein Walzenpaar für Grobeisen und eines für Feineisen; wie schwer muß der Schwungring seyn?

Durchmesser des Schwungrades	9^m
Zahl der Umläufe des Rades und der Cylinder in 1′	60

Geschwindigkeit der mittlern Peripherie des Rings $V = 28^m,26$.

Die Formel gibt

$$P = \frac{130000 \times 36 \times 80}{60 \times (28{,}26)^2} = 8120^{kil}.$$

Eine Hütte hat unter denselben Umständen einen Schwungring von 9000 Kilogramm; allein es ist zu glauben, daß dieser unnöthig schwer sei.

Anmerkung. Man begreift leicht, wie das Schwungrad um so leichter seyn kann, je kräftiger der Beweger ist, vorausgesetzt, daß von der Zahl der Cylinderpaare nur eines oder zwei zugleich arbeiten.

Die vorstehende Formel kann auch angewendet werden, wenn die Maschine abwechselnd ein Cylinderpaar und einen Stirnhammer bewegt.

Bemerkung über den Gebrauch dieser Formel.

197. Die vorstehenden Werthe von K passen für Walzwerke, die durch Dampfmaschinen, oberschlächtige oder durch mittelschlächtige Wasserräder bewegt werden; ist das bewegende Rad aber eines mit ebenen Schaufeln oder ein Poncelet-Rad, das sehr schnell geht, so kann man K etwas kleiner nehmen.

Von den wichtigsten Arten der Mittheilung der Bewegung.

Von Schnüren und Riemen.

198. Man bedient sich zur Fortpflanzung der Bewegung von einer Rotationsaxe zur andern davon entfernten häufig schwarzer, lederner Riemen, die über Rollen oder Trommeln gehen. Die Theorie und Erfahrung*) zeigen:

1) Sind diese Riemen gehörig gespannt, so gleiten sie nicht, und pflanzen die Geschwindigkeit in einem konstanten Verhältnisse, im umgekehrten von dem der Durchmesser beider Trommeln fort.

2) Bei der Fortpflanzung der Bewegung von einer Axe zur andern durch Seile oder Riemen ohne Ende ist die Summe der Spannungen beider Seilstücke konstant, um was das ziehende Stück mehr gespannt wird, um so viel wird das andere schlaffer, so daß die Summe der Spannungen beider Seilstücke dieselbe wie in Ruhe ist.

3) Die Kraft T, welche erfordert wird um einen Riemen von der Spannung t im gezogenen Stück über eine Trommel oder ein Seil im Schnurlauf einer Rolle gleiten zu machen, ist durch die Formel

$$\log. T = \log. t + 0{,}434\, f\, \frac{S'}{R}$$

gegeben, in welcher die Logarithmen die gewöhnlichen sind, und in der f den Reibungscoefficient für den Riemen auf der Rolle bedeutet, welcher, Versuchen zufolge, gleich
0,47 für gewöhnlich fette Riemen auf hölzernen Trommeln ist,
0,50 für neue Riemen auf hölzernen Trommeln,

*) Expériences sur le frottement des axes de rotation, et les variations de tension et le frottement des courroies de transmission du mouvement etc.; faites à Metz en 1834, par A. Morin, capitaine d'artillerie.

0,28 für gewöhnlich fette Riemen auf gußeisernen Rollen,
0,38 für feuchte Riemen auf gußeisernen Rollen,
0,50 für Hanfseile auf hölzernen Rollen oder Trommeln ist.
S' ist der umschlungene Bogen der Trommel oder Rolle, und
R der Halbmesser desselben.

Anmerkung. Diese Formel zeigt, wie es unnütz ist, den Halbmesser der Rollen unmäßig zu vergrößern um das Gleiten der Riemen zu hindern.

Beispiel.

Welche Spannung muß das ziehende Stück eines ledernen Riemens haben, welcher die halbe Peripherie einer hölzernen Trommel von $0^m,35$ Halbmesser umspannt, um den gezogenen Theil, der eine Spannung von 50 Kilogramm hat, gleiten zu machen?

Die Formel gibt

$$\log. T = \log. 50 + 0{,}434 \times 0{,}47 \times 3{,}14 = 2{,}33947$$

und folglich $T = 218^{kil},5$.

4) Der Widerstand, den ein Riemen dem Gleiten entgegensetzt, ist unabhängig von seiner Breite, und es gewährt keine Vortheile, diese weiter zu vergrößern, als der Festigkeit des Riemens wegen erforderlich ist (siehe Nr. 233).

Regeln zur Einrichtung einer Transmission mittelst Seilen und Riemen.

199. Um eine Bewegungsfortpflanzung durch Schnüre oder Riemen ohne Ende anzuordnen, muß man zuerst die Größe der Arbeit bestimmen, welche auf die Rolle oder Trommel fortgepflanzt werden soll. Dividirt man diese durch die Geschwindigkeit, welche der Umfang dieser Trommel annehmen soll, so erhält man die Kraft **Q**, welche durch den Riemen fortgepflanzt werden soll oder einen genäherten Werth des Unterschieds der Spannungen **T** und **t** und man hat also

$$T - t = Q.$$

Man berechnet dann den kleinsten Werth, den man der Spannung **t** des gezogenen Stücks geben kann nach der Formel

$$t = \frac{Q}{2{,}718^{\frac{fS}{R}} - 1}$$

Bei dieser Berechnung nimmt man für Q den größten Werth, den die Kraft erreichen kann, wobei man die Reibungen, welche von andern Kräften, als den Spannungen T und t herrühren, berücksichtigt, und vermehrt den so erhaltenen Werth von t wenigstens um $^1/_{10}$, um sicher zu seyn, daß bei den zufälligen Aenderungen in dem Widerstande oder der Spannung der Riemen nicht auf der Rolle gleite, wie auch um die Vernachläßigung der Reibung, welche von der Spannung herrührt, zu kompensiren.

Kennt man t, so erhält man die größere der beiden Spannungen nach der Formel

$$T = Q + t,$$

und folglich die Summe beider Spannungen $T + t$, deren Hälfte die Spannung jedes der beiden Riemenstücke im Zustande der Ruhe ist.

Beispiel.

Um eine gußeiserne Rolle von $0^m,30$ Durchmesser ist um den halben Umfang ein lederner Riemen geschlagen, der die Kraft 35 Kilogramm fortpflanzen soll; welches sind die kleinsten Spannungen, die die einzelnen Stücke zu ertragen haben.

Die Formel gibt

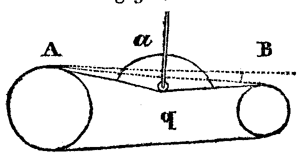
$$t = \frac{35}{2{,}718^{\,0,28 \times 3,14} - 1} = 24^{kil},84.$$

Für diese Spannung muß man $27^k,32$ nehmen; dann wird die Spannung des ziehenden Stücks $T = 62^k,32$. Die Spannung beider Riemenstücke in der Ruhe ist nun $44^k,82$.

Spannungsrollen.

200. Um die Spannung des Riemens in Ruhe konstant zu erhalten, und um dieser den eben berechneten Werth zu geben, wendet man Spannungsrollen an.

Fig. 36.



Das Gewicht q dieser Rollen berechnet man beiläufig nach der Formel

$$q = \frac{2\,T \cos a}{\cos b}$$

worin ist

a die Hälfte des stumpfen Winkels, den beide Stücke des Riemens, auf dem die Rolle liegt, mit einander bilden, und den man sich **a priori** geben kann;

b der Winkel, welchen die Linie **AB** mit der Horizontalen macht.

Dem Riemen gibt man dann eine solche Länge, daß er in der Ruhe nur die angenommene Einbiegung annimmt, und dann wird die Tension **T** sehr nahe den oben berechneten Werth annehmen.

Außerdem behält man sich vor, durch die bekannten Mittel die Wirkung des Gewichts der Rolle nach Belieben zu vergrößern oder zu vermindern.

Anmerkung. Ist die Anordnung der Rollen so, daß die Spannungsrolle nicht vertikal wirken kann, so kann man durch eine zweckmäßige Hebelverbindung ihrer Wirkung die erforderliche Richtung geben, und dann berechnet man den Druck q, welchen sie rechtwinklich auf die Linie **AB** ausüben soll, nach obiger Regel, wobei man den Winkel $b = 0$, also seinen Cosinus $= 1$ setzt.

Beispiel.

Im vorhergehenden Beispiel sei der Winkel $a = 85^\circ$, und die Neigung der Linie $AB = 10^\circ$, wie schwer muß die Rolle seyn?

Die Formel gibt

$$q = 89{,}64 \times \frac{0{,}0872}{0{,}9848} = 7^{kil}{,}93.$$

Wir schließen dieß Kapitel von den Riemen mit der Bemerkung, daß sie ohne Gefahr, und mit der Sicherheit, daß sie lange gehen, Spannungen von $0^k{,}25$ für den Quadratmillimeter Querschnitte ertragen können.

Damit läßt sich die Breite der Riemen rechnen, wenn man die Dicke des anzuwendenden Leders kennt.

Die Rollen, über welche lederne Riemen gehen, sollen eine Convexität von ungefähr $^1/_{10}$ ihrer Breite haben.

Vom Räderwerke.

Formeln zur Bestimmung der Halbmesser der Räder.

201. Die gezahnten Räder dienen dazu, die Kreisbewegung von einer Axe auf eine andere in einem konstanten Verhältnisse, das man **a priori** kennt, fortzupflanzen; dazu bestimmt man zuerst zwei Kreise, deren Radien im umgekehrten Verhältnisse der Zahlen der Umläufe stehen, die jedes Rad machen soll.

Nennt man

R den Radius des einen Kreises,

R' den Radius des andern,

n die Zahl der Umläufe, welche der Kreis vom Radius **R'** bei jedem Umlauf des Kreises vom Radius **R** machen soll, so hat man

$$R = n R'.$$

Gibt man sich nun einen der Radien, so ist hiernach der andere bestimmt.

Ist die Entfernung beider Axen gegeben $= d$, so hat man

$$d = R + R'$$

und man rechnet nun die Radien nach den Formeln

$$R = \frac{n d}{n + 1}, \quad R = \frac{d}{n + 1}$$

Definitionen.

202. Die so bestimmten Kreise nennt man die Theilrisse. Sie dienen als Grundlage der Verzeichnung.

Die Dicke der Zähne mißt man auf dem Umfange dieser Kreise.

Die Länge der Zähne ist ihre Dimension in der Richtung der Rotationsaxe.

Die Summe der Dicke eines Zahns und des folgenden Zwischenraums oder die Entfernung zweier Zähne von Mitte zu Mitte nennt man die Theilung des Rades.

Den Theil eines Zahns, welcher über den Theilriß hinaus reicht, nennt man den Kopf.

Druck, den ein Zahn auszuhalten hat.

203. Theilt man die Arbeit, welche ein Rad fortpflanzen soll, durch die Geschwindigkeit seines Theilrisses, so hat man den Druck, welchen die Zähne zu erleiden haben.

Diese Berechnung muß für die größt mögliche Arbeit, wo die Maschine unter der größten Belastung geht, angestellt werden.

Kennt man den Druck **P**, den ein Zahn zu erleiden hat, so berechnet man die Dicke **b**, welche man den Zähnen geben muß, nach den Formeln in Nr. 261.

Ihre Länge parallel zur Axe wird nach den Regeln der nämlichen Nummer bestimmt.

Der Ausschnitt zwischen zwei Zähnen soll der um 1/10 bis 1/15 vermehrten Dicke der Zähne gleich seyn, je nach dem Grade der Genauigkeit in der Ausführung.

Die Theilung **a** des Rades ergibt sich, wenn die Zähne von demselben Stoff sind

$$\mathbf{a} = 2{,}1\,\mathbf{b} \text{ oder } \mathbf{a} = 2{,}067\,\mathbf{b},$$

je nach der minder oder mehr genauen Ausführung, und

$$\mathbf{a} = \mathbf{b} + 1{,}1\,\mathbf{b}' \text{ oder } \mathbf{a} = \mathbf{b} + 1{,}067\,\mathbf{b}',$$

wenn die Zähne von verschiedenen Stoffen sind, wo dann

b die Dicke des Zahns beim Rade und **b'** die Zahndicke beim Getriebe ist.

Anmerkung. Der leichtern und wohlfeilern Ausführung wegen rechnet man zuweilen nur die Dicke der hölzernen Zähne und nimmt die der gußeisernen dieser gleich.

Anzahl der Zähne.

204. Nennt man

m die Zahl der Zähne des Rades, dessen Theilriß den Radius **R** hat,

m' die Zahl der Zähne des Rades, dessen Theilriß den Radius **R'** hat,

so hat man

$$\mathbf{m} = \frac{2\pi\mathbf{R}}{\mathbf{a}} = \frac{6{,}28\,\mathbf{R}}{\mathbf{a}} \text{ und } \mathbf{m}' = \frac{\mathbf{m}}{\mathbf{n}}$$

Beinahe immer werden die so erhaltenen Zahlen aus einer ganzen und einem Bruch bestehen, und da man überdieß der Symetrie wegen gerne hat, daß die Zahl der Zähne durch die Zahl der Radarme theilbar sei, so nimmt man für **m** die der gefundenen nächstliegende kleinere Zahl, welche zugleich durch die Zahl der Arme und durch die Zahl **n** des Verhältnisses der Halbmesser des Rades und des Getriebes theilbar ist.

Hierdurch wird die Theilung und damit die Dicke und Stärke der Zähne etwas größer, als oben berechnet wurde.

Wir fügen hierzu noch die Bemerkung, daß es der guten Ausführung wegen zweckmäßig ist, dem Getriebe, wo möglich wenigstens 8 Zähne zu geben.

Beispiel.

Ein Zahnrad soll ein Getriebe umtreiben, so daß dieß vier Umdrehungen macht, während jenes eine. Die Entfernung der

Axen ist 3^m. Die Arbeit, welche das Rad fortpflanzen soll ist 1025^{km} in $1''$, wobei es 8 Umdrehungen in der Minute macht.

Man hat

$$n = 4, R = \frac{nd}{n+1} = \frac{4 \times 3}{5} = 2^m,40,$$

$$R' = \frac{3}{5} = 0^m,60.$$

Die Geschwindigkeit im Theilriß ist $= \frac{6,28 \times 2,40 \times 8}{60} = 2^m,010$.

Der Druck, den die Zähne aushalten müssen $= \frac{1025}{2,010} = 510^{kil}$.

Sind die Zähne von hartem Holze, so erhält man nach Nr. 261 für ihre Dicke

$$b = 0,143 \sqrt{510} = 3,23 \text{ Centimeter.}$$

Die Zähne des Getriebes von Gußeisen erhalten die Dicke (Nr. 261)

$$b' = 0,105 \sqrt{510} = 2,37 \text{ Centimeter.}$$

Die Theilung wird hiernach

$$a = b + 1,067\, b' = 5,76 \text{ Centimeter,}$$

wenn die Verzahnung mit Sorgfalt ausgeführt wird.

Für die Zahl der Zähne des Rades erhält man

$$m = \frac{2\pi R}{a} = \frac{15,10}{0,0576} = 262.$$

Gibt man dem Rade 8 Arme, so nimmt man hierfür $m = 256$, welches zugleich durch 8 und durch $n = 4$ theilbar ist, wo dann auf jeden Arm 32 Zähne kommen.

Das Getriebe ist in einem, höchstens zwei Stücken gegossen, so daß man $m' = 64$ nehmen kann. Daraus erhält man nun

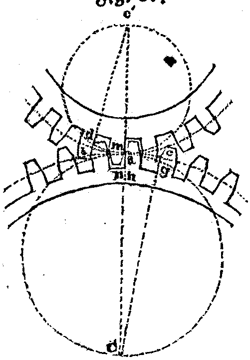
$$a = \frac{2\pi R}{m} = \frac{15,1}{256} = 5,89 \text{ Centimeter.}$$

Praktische Verzeichnung der Zähne.

205. Sind die Radien der Theilrisse und die Theilung bestimmt, so theilt man die Theilrisse in so viele gleiche Theile, als sie Zähne erhalten sollen, von dem Punkt **a** aus, in welchem sich beide Kreise berühren, und bemerkt auf diesen Rissen die Dicke jedes Zahnes.

Durch den ersten Theilpunkt **b** des Kreises **c'a** des Getriebs, der von **a** um die Theilung entfernt liegt, ziehe man den Radius

Fig. 37.



c′ b, welcher den Kreis vom Durchmesser c′a in einem Punkte d durchschneiden wird. Man verbindet nun d mit dem ersten Theilpunkt b′ des Kreises ca durch eine gerade Linie db′, in deren Mitte man eine Rechtwinkliche auf sie errichtet, welche den Kreis des Halbmessers ca in irgend einem Punkte durchschneiden wird. Diesen Punkt nimmt man sofort als den Mittelpunkt der Krümmung des Zahnkopfes, welche mit der Entfernung dieses Punktes von b′ und d beschrieben wird.

Ist der Radius des Kreises, den man der Epicycloide substituirt, auf diese Art bestimmt, so beschreibt man damit alle Zähne des Rades auf beiden Seiten.

206. Vom Punkt c, als Mittelpunkt, aus beschreibe man einen Kreis durch d, welcher die Zahnköpfe begrenzt, so daß einer aus dem Eingriff tritt, wenn der folgende in die Verbindungslinie ec′ der Mittelpunkte tritt.

207. Den innern Theil des Zahns begrenzt man auf beiden Seiten durch nach c gezogene Radien.

208. Die Zähne des Getriebs werden ganz auf dieselbe Art verzeichnet, wie die des Rades; man muß nur den Kreis c′ als Theilriß des Rades und den Kreis c als Theilriß des Getriebs betrachten und dann ganz nach den in 205, 206 und 207 gegebenen Vorschriften verfahren.

Die Kreise cd und c′g durchschneiden die Linie cc′ in Punkten, von welchen man bis n gegen c und bis m gegen c′ 0^m,008 und 0^m,10 ungefähr aufträgt.

Durch die Punkte n und m ziehe man die Kreise cn und c′m, welche die Zähne nach innen begrenzen.

Die Seiten der Zähne verbindet man mit diesem Kreise gewöhnlich durch eine kleine Krümmung, um den scharfen einspringenden Winkel zu vermeiden.

Bemerkungen über die von Praktikern gewöhnlich gebrauchten Konstruktionen.

209. Die Praktiker substituiren gleichfalls der Epicycloide den

Kreis, wobei sie den Radius entweder gleich oder gleich $^3/_4$ der Theilung nehmen.

Diese Methode fällt nahe mit der angegebenen zusammen, und kann ohne Nachtheil für diese genommen werden, so oft die Radien der Räder nicht sehr verschieden, und die Zähne nicht sehr dick sind. Für sehr kleine Getriebe mit dicken Zähnen, die von großen Rädern umgetrieben werden, ist es besser die hier angegebene Methode zu befolgen.

Modifikation, welche man bei sehr kleinen Getrieben und starkem Drucke eintreten lassen muß.

210. Ist das Getrieb sehr klein und der Druck stark, so werden nach der angegebenen Konstruktion die Zähne am Kopfe zu dünn. Dann muß man darauf verzichten, immer zwei Zähne im Eingriff zu haben, und für die Bögen **ab** und **ae**, welche während des Eingriffs beschrieben werden, nur $^3/_4$ der Theilung nehmen. Fallen auch hier noch die Zähne am Kopfe zu schwach aus, wird die Stärke am Kopfe kleiner als die Hälfte der Zahndicke, so fängt man von neuem an und nimmt **ab** und **ae** gleich der halben Theilung.

Anmerkung. Im Vorstehenden ist immer nur die Rede von Getrieben, welche von Rädern bewegt werden, und nicht von Trillingen, weil der Gebrauch dieser fehlerhaft ist und verlassen werden soll.

Modifikation für große Getriebe bei schwachem Druck.

211. Sind im Gegentheil die Räder groß, und ist der Druck klein genug, so kann man die Bogen **ab** und **ae** größer, etwa $= 1^1/_2$mal der Theilung nehmen, wo dann mehrere Zähne zugleich im Eingriff sind.

Grenze der ganzen Höhe der Zähne.

212. In allen Fällen soll der Zahn nicht über 1,5mal seine Dicke über den Kranz, der ihn trägt, hervorragen.

Inneres Getriebe.

213. Geht das Getriebe im Rade, so bleiben die Krümmungen der Zähne des Rades und die geraden Seiten der Zähne des Ge-

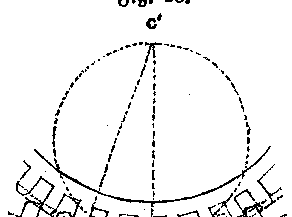
triebs wie in Nr. 205; aber die geraden Seiten der Zähne des Rades und die Krümmungen der Zähne des Getriebes müssen anders werden.

Die Kurve hierzu sollte eigentlich die Epicycloide seyn, welche durch einen Punkt des Theilrisses des Rades erzeugt wird, wenn dieser außen auf dem Theilrisse des Getriebes rollt; man ersetzt diese durch einen Kreisbogen, welcher zum Radius die Sehne der Theilung des Getriebs hat.

Die gerade Seite des Zahns am Rade würde sich dann auf den einzelnen Punkt reduziren, welcher die Epicycloide des Getriebzahns beschrieben hätte. Der Zahn des Rades würde dann vor der Mittelpunktslinie **c c′** immer mit demselben Punkte im Angriff seyn, wodurch er sich um so schneller abschleifen würde, als diese Art von Räderwerk gewöhnlich zur Fortpflanzung der Bewegung von Wasserrädern gebraucht wird, wo Rad und Getriebe immer naß und die Reibung groß ist.

In den gewöhnlichen Fällen, wo man Acht gehabt hat, das Getriebe nicht zu klein zu machen, und wo der Druck nicht zu groß ist, ist es möglich und vorzuziehen, den Eingriff vor der Mittelpunktslinie gar nicht statt finden zu lassen, und auf folgende Art zu verfahren:

Fig. 38.



Ist **a c′** die Mittelpunktslinie und **a** der Berührungspunkt beider Kreise, so trage man auf diese Kreise Bogen gleich der zweimaligen Theilung; an das Ende dieses Bogens ziehe man einen Radius, welcher den Kreis vom Durchmesser **c′ a = R′** durchschneidet.

Diesen Durchschnittspunkt verbinde man mit dem Ende des Bogens im Theilrisse des Rades durch eine gerade Linie, auf welche man in ihrer Mitte eine Rechtwinkliche errichtet, deren Durchschnittspunkt mit dem Theilriß **c a** der Mittelpunkt der Krümmung des Radzahns ist.

Die gerade Seite des Getriebzahns wird nach dem Mittelpunkt **c′** gezogen. Aus dem Mittelpunkt des Rades ziehe man, wie in

Nr. 206, einen Kreis, welcher die Köpfe der Zähne so abschneidet, daß ein Zahn aus dem Eingriff kommt, wenn der zweite vorhergehende die Mittellinie erreicht.

Die benützte Länge der geraden Seite des Getriebzahns ist hiermit bestimmt; allein es ist nothwendig, ihn nach außen vom Theilkreis c′a um $0^m,03$ bis $0^m,05$ zu verlängern, wobei man diese Verlängerungen in Kreisbögen mit dem Radius der Theilung krümmt.

Die Zähne an dem Rad läßt man gleichfalls nach dem Radius so weit als erforderlich zurückgehen.

Sind die Höhen der Zähne so bestimmt, so gibt man den leeren Zwischenräumen eine solche Tiefe, daß die Zähne in ihnen noch einen Spielraum von $0^m,008$ bis $0^m,010$ haben.

Abänderung für kleine Getriebe bei großem Drucke.

214. Bei kleinen Getrieben können die Zähne nach dieser Konstruktion an dem Kopfe zu dünne werden. Dann verzichtet man auf das stete Eingreifen zweier Zähne, und nimmt die Bögen nur gleich $1\frac{1}{2}$mal, oder wenn es seyn muß nur gleich 1mal der Theilung. Dieser Fall kommt nur selten vor.

Die auf diese Art konstruirten Verzahnungen können nur gebraucht werden, wenn das Rad das Getriebe umtreibt.

Getrieb und gezahnte Stange.

215. Um die Zähne eines Getriebs zu konstruiren, das eine gezahnte Stange bewegen soll, muß man zuerst die Höhe bestimmen, auf welche die Stange bei einer Umdrehung gehoben werden soll.

Nennt man

h diese Höhe,

r den Halbmesser des Theilkreises für das Getriebe, so hat man

$$r = \frac{h}{2\pi}$$

Aus dem Widerstande, den die gezahnte Stange dem Getriebe entgegensetzt, berechnet man die Dicke b des Getriebzahns, woraus die Theilung a und dann die Zahl m der Zähne des Getriebs

$$m = \frac{2\pi r}{a}$$

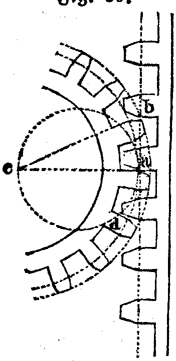
sich ergibt.

Für m nimmt man die nächst kleinere ganze Zahl, woraus man rückwärts wieder die Theilung etwas größer als vorhin bestimmt.

Ist dieß geschehen, so windet man einen Faden um den Theilkreis und zieht mit einem Stift, der an seinem Ende angebracht ist, indem man den Faden abwickelt, die Evolvente des Kreises, welche die Krümmung beider Seiten des Zahnkopfs am Getriebe gibt.

Innerhalb des Theilkreises setzt man den Zahn nach den Radien fort: Um die nutzbringende Höhe des Zahns zu bestimmen, so daß der Eingriff in einer gegebenen Entfernung aufhöre, für welche man zuerst die Theilung nimmt, so trägt man auf die Berührungslinie eine Länge a b der Theilung gleich, und zieht vom Mittelpunkte c aus mit dem Radius cb einen Kreis, welcher die Höhe der Zähne begrenzt.

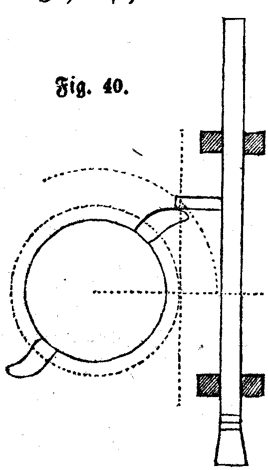
Fig. 39.



Die Krümmung der Zähne der Stange beschreibt man hinreichend genau mit der Theilung als Halbmesser, und nimmt sie so hoch, daß der vor ca liegende Zahn noch bis an den über ca als Durchmesser beschriebenen Kreis nach d geht. Diese Zähne sind, wie die des Rades, symmetrisch und ihre geraden Seiten rechtwinklich auf die Richtung der Bewegung.

Ueber die Tiefe des leeren Zwischenraums und die ganze Höhe des Zahns sehe man Nr. 208 und 212.

Fig. 40.



Hebedaumen für Stampfer.

216. Die Hebedaumen für Stampfer werden eben so verzeichnet, wie die Zähne eines Getriebs, das eine gezahnte Stange bewegt; allein hier hat man noch die Bedingung, daß der Stampfer nach der Erhebung Zeit habe, zurückzufallen, ehe der nächste Daumen ankommt, um ihn neu zu erheben.

Nennt man

h die Hubhöhe des Stampfers, die gegeben ist, m die Zahl der Daumen, welche bei einem Umlauf der Welle denselben Stampfer erheben,

n die Zahl der Umdrehungen der Daumenwelle in 1′,

$t = \frac{60}{n} =$ der Dauer eines Umlaufs,

r den Halbmesser des Theilrisses; so ist

die Dauer von einer Erhebung zur andern $= \frac{t}{m} = \frac{60}{mn}$.

Weil aber die passiven Widerstände das Niedersinken etwas verzögern können, so nimmt man nur $^5/_6$ dieser Zeit, als zur Bewegung erforderlich an, damit ja die Hebelatten nicht auf die Daumen fallen.

Setzt man

$$\frac{5}{6}\frac{t}{m} = t',$$

so kann man nun den Halbmesser r nach der Formel

$$r = \frac{60\,h}{\left(t' - \sqrt{\frac{2\,h}{9{,}81}}\right) 6{,}28 . n} \text{ berechnen.}$$

Es bringt keinen Nachtheil, den Radius etwas größer zu nehmen.

Beispiel.

Wie groß muß wenigstens der abzuwickelnde Kreis für die Daumen bei einer Stampfmühle seyn, wenn

$$h = 0^m{,}40,\ m = 2,\ n = 25 \text{ ist?}$$

Es ist

$$t' = \frac{5}{6} . \frac{60}{2 \times 25} = 1''{,}00$$

und

$$r = \frac{60 \times 0{,}40}{\left(1{,}00 - \sqrt{\frac{2 \times 0{,}40}{9{,}81}}\right) 6{,}28 \times 25} = 0^m{,}213.$$

Der gewöhnlich angenommene Radius ist etwa das Doppelte von diesem.

Man zieht nun einen Kreis mit diesem Radius, und begrenzt die Länge der Kurve, wie in der vorhergehenden Nummer angegeben wurde, indem man auf die Tangente eine Länge gleich der Hubhöhe trägt, und vom Mittelpunkt der Daumenwelle aus einen Kreis durch den so bestimmten Punkt zieht.

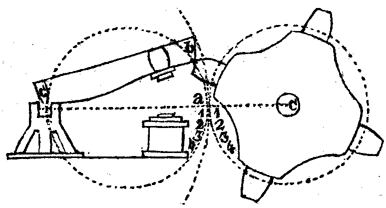
Das übrige der Verzeichnung hat keine Schwierigkeiten.

Epicycloidische Daumen zur Hervorbringung einer unterbrochenen Kreisbewegung.

217. Zur Erhebung der Hämmer in Walkmühlen, der Stirnhämmer &c. braucht man epicycloidische Daumen.

Zuerst bestimmt man die Höhe der Erhebung, den Bogen, während dessen der Eingriff statt findet. Dann nimmt man für

Fig. 41.



den Theilkreis der Daumen einen Radius nach den gebräuchlichen Proportionen und so an, daß der Hammer zum Herabfallen Zeit hat, ehe der nächste Daum ihn ergreift.

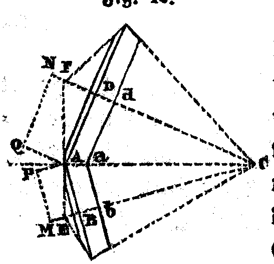
Nun ziehe man den Theilriß **ca** der Daumen, den Kreis vom Radius **c′a** und den vom Durchmesser **c′a**. Auf den letzten Kreis und auf den Kreis **ca** trage man von **a** aus gleiche Theile nach 1, 2, 3, 4, 5. Von den Theilpunkten 1, 2, 3, 4, 5 auf dem Kreise **ca** ziehe man Kreisbögen mit Radien gleich den Sehnen **1a**, **2a**, **3a**, &c. des Kreises vom Durchmesser **c′a**. Die Durchschnitte dieser Kreisbögen geben die Epicycloide der Daumen.

Von **a** nach **b** auf dem Kreise vom Halbmesser **c′a** trage man den Bogen, durch den der Eingriff statt finden soll; ziehe **c′ b**, was den Kreis über dem Durchmesser **c′a** schneidet; durch diesen Durchschnittspunkt endlich von **c** als Mittelpunkt einen Kreis, welcher die Daumen begrenzt.

Da hier keine rückgängige Bewegung statt finden kann, so ist Symmetrie der Daumen nicht erforderlich.

Konische Räder.

Fig. 42.



218. Ist der Winkel gegeben, den beide Rotationsaxen mit einander bilden, so errichte man in beliebigen Punkten seiner Schenkel **CM** und **CN** Rechtwinkliche, welche unter sich im Verhältnisse der Winkelgeschwindigkeiten oder der Zahl der Umläufe stehen. Durch die Endpunkte **P** und **Q** dieser Rechtwink-

lichen ziehe man zwei Parallelen **PA** und **QA** zu den Linien **MC** und **NC**. Die Linie **CA** theilt nun den Winkel **MCN** in zwei Theile, so daß die Kegel, welche diese Linie zur Erzeugenden und zu Axen die Linien **CM** und **CN** hätten, auf einander mit den gegebenen Winkelgeschwindigkeiten rollen würden.

Nennt man

R den Halbmesser des Rades, und

R' den Halbmesser des Getriebs,

n das Verhältniß der Winkelgeschwindigkeiten oder der Umläufe,

so hat man $R = n R'$,

woraus der eine Radius gefunden wird, sobald der andere angenommen ist.

Man berechnet nun die Dicke und Länge der Zähne, wie dieß in Nr. 261 angegeben ist, und bestimmt damit die Theilung.

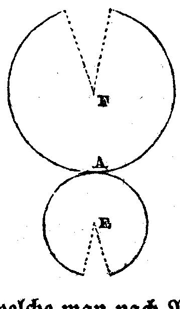
Dividirt man nun die Peripherie $2\pi R$ durch die Theilung **a**, so findet man die Zahl **m** der Zähne des Rades, wofür man die nächst kleinere ganze Zahl nimmt, welche zu gleicher Zeit durch die Zahl der Radarme und durch das Verhältniß **n** der Geschwindigkeiten theilbar ist. Hierdurch erhält man einen neuen Werth der Theilung $= \frac{2\pi R}{m}$, der etwas größer ist als der obige.

Nun erhält man die Zahl der Zähne des Getriebs $m' = \frac{m}{n}$.

Die Länge der Zähne trägt man von **A** nach **a** auf die Linie **AC** und fällt die Rechtwinklichen **ab** und **ad**, welches die Radien zweier neuen Kreise sind.

Im Punkte **A** errichte man auf die Linie **AC** eine Rechtwinkliche, deren Durchschnitte **E** und **F** mit den Axen **BC** und **DC** die Spitzen zweier neuen konischen Flächen geben, welche auf den ersten rechtwinklich, und die Stirnflächen der Zähne sind.

Fig. 43.



Nun wickelt man die Kegel, deren Spitzen in **E** und **F** sind, auf. Die Kreise **AB** und **AD**, welche ihre Grundflächen sind, berühren sich in **A** in der Aufwicklung; sie betrachtet man als die Theilkreise einer ebenen Verzahnung, welche man nach Nr. 205 verzeichnet.

Die Zeichnung einiger solcher Zähne macht man auf ein dünnes, biegsames Blech, schneidet die Zähne aus, und legt dieses dann als Lehre auf die Stirnfläche des fraglichen Rades, und zeichnet nach ihr die Zähne auf diese.

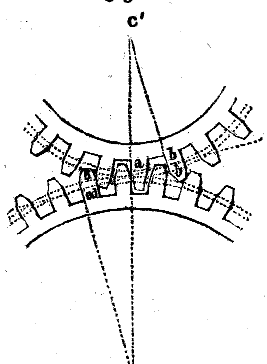
Dieselben Operationen wiederholt man für die innere Stirnfläche in **a**.

Sind die Tracen so auf beide Stirnflächen übergetragen, daß sie genau korrespondiren, so zieht man die geraden Linien von einem zum homologen Punkt, und arbeitet hiernach die Zähne aus.

Räderwerk mit Kreisevolventen.

219. Soll ein Rad mehrere Getriebe von verschiedenen Durchmessern umtreiben, so entspricht die Verzahnung nach der Epicycloide und das dafür in Nr. 205 angegebene praktische Verfahren, nicht mehr für alle Getriebe der Bedingung, die Geschwindigkeit in einem konstanten Verhältnisse fortzupflanzen. Hier thut man gut, ein Räderwerk mit Zähnen nach der Evolvente, wie folgt, zu konstruiren.

Fig. 44.



Man bestimmt die Halbmesser der Theilkreise, die Dicke und Länge der Zähne, die Theilung nach Nr. 201 und Nr. 204.

Ist dieß geschehen, und will man, daß der Eingriff vor und nach der Mittelpunktslinie in der Länge der Theilung statt finde, so trage man von **a** aus auf den Theilkreis des Getriebs einen Bogen **a b** der Theilung gleich und ziehe den Radius **c′ b**. Von **a** aus fälle man eine Rechtwinkliche auf **c′ b** und vom Punkt **c** eine Parallele **c e** zu **c′ b**. Von den Mittelpunkten **c** und **c′** ziehe man Kreise, welche beide die Linie **a e** tangiren, und rolle auf diese Kreise Fäden mit Stiften an ihren Enden. Diese wickle man dann ab, so zeichnen die Stifte die Krümmungen der Zähne.

Von **c** aus beschreibe man einen Kreis durch den Fußpunkt, der von **a** auf **c′ b** gefällten Rechtwinklichen; er begrenzt die Zähne des Rades.

Die Kurve des Getriebzahns ziehe man in der Entfernung der Theilung von der Mittelpunktslinie; sie wird die Linie **a e** durchschneiden. Durch diesen Durchschnittspunkt ziehe man von **c'** aus einen Kreis, welcher die Zähne des Getriebs begrenzt.

Die geraden Seiten der Zähne sind Radien; sie gehen $0^m,008$ bis $0^m,10$ über die Begrenzungskreise nach innen.

Abänderung für kleine Getriebe bei großem Druck.

220. Wenn in Folge einer großen Verschiedenheit der Radien **R** und **R'** und einer bedeutenden Dicke der Zähne, die Bedingung den Eingriff vor und hinter der Mittelpunktslinie eine Länge gleich der Theilung hindurch statt finden zu lassen, zu Zähnen führen würde, welche zu lang und am Kopfe zu schwach wären, so würde man die Zähne erst in einer Entfernung von $^3/_4$ oder $^1/_2$ der Theilung eingreifen lassen.

221. Die Verzahnungen nach Kreisevolventen ist in derselben Art bei konischen Rädern anwendbar.

Schraube ohne Ende und Getriebe.

222. Um die Verzahnung einer Schraube ohne Ende, die ein Getriebe bewegt, zu zeichnen, bestimmt man zuerst die Dicke der Zähne und die Theilung nach der Größe des Drucks mit Hilfe der Formeln in Nr. 261.

Die Höhe eines Schraubengangs muß der Theilung des Getriebs gleich seyn; und da dann das Rad um die Theilung sich dreht, wenn die Schraube einen Umgang macht, so läßt sich der Halbmesser des Getriebs so berechnen, daß dieses einen Umlauf während einer gegebenen Zahl Umläufe der Schraube macht.

Es sei **n** diese Zahl, so ist der Radius des Getriebs

$$R = \frac{n\,a}{6{,}28},$$

wo **a** die Theilung des Rades bedeutet.

Die Höhe des Schraubengangs ist bekannt; damit erhält man den Halbmesser des Kerns der Spindel nach den praktischen Regeln in Nr. 286.

$$r = \frac{5}{2}\,a.$$

Die gerade Linie, welhe den Theilriß der Schraube vorstellt, muß der Axe der Schraube parallel und in einer Entfernung = $\frac{11}{10}$ r von ihr seyn.

Nun zeichnet man das Profil der Zähne des Getriebs und der Schraubengänge wie für ein Getriebe, das einen Kammbaum bewegt, Nr. 215.

Die Schraube ist so völlig bestimmt.

Die Zähne des Getriebs müssen gegen seine Axe eben so geneigt seyn, wie die Schraubengänge gegen die Axe der Schraube. Hat man zu dem Ende das Profil der Zähne auf beide Stirnflächen getragen, so biegt man eine gerade Linie von dem einen Ende des Zahns auf dem Cylinder zum homologen Punkte des vorhergehenden Zahns in der Richtung der Bewegung; und indem man so fort geht, wie man die Zähne des Modells aushöhlt, erhält man die windische Fläche der Zähne.

Von der Reibung.

223. Man unterscheidet zwei Arten von Reibung, die eine ist der Widerstand gegen das Gleiten eines Körpers auf einem andern, die andere, der Widerstand gegen das Rollen. Man nennt die erste die **gleitende**, die zweite Art die **rollende Reibung**.

Zahlreiche Versuche*) mit allen Körpern, die bei Maschinen und Bauten verwendet werden, unter Presungen, wie die, welche im praktischen Leben vorkommen, mit allengebräuchlichen Schmieren, haben gezeigt, daß die gleitende Reibung

1) unabhängig ist von der Geschwindigkeit der Bewegung,

2) unabhängig von der Ausdehnung der Berührungsfläche,

3) proportional der Pressung in einen Verhältnisse, das für dieselben Körper in denselben Zuständen, aber verschieden von einem zum andern ist.

*) Nouvelles expériences sur le frottement, faites à Metz en 1831, 1832, 1833, imprimées par l'ordre de l'Académie des sciences. — 1834, chez Bachelier, libraire à Paris.

Die Erfahrung hat ferner gezeigt, daß die Reibung, wenn die Körper einige Zeit in Berührung waren, wie eine Schütze in ihren Falzen, im Anfang, wo man Bewegung herstellen will, viel größer ist, als wenn sie schon in Bewegung sind. Man muß daher zwei Fälle unterscheiden. 1) Die Körper waren einige Zeit in Berührung, und 2) die Körper sind in Bewegung auf einander.

Die Werthe des Verhältnisses der Reibung zum Druck für einen wie für den andern Fall sind für alle bei Maschinen in Gebrauch stehenden Körper in folgenden Tafeln aufgezeichnet.

Erste Tafel. — Reibung ebener Flächen, welche einige Zeit in Berührung standen.

Angabe der reibenden Flächen.	Lage der Fasern.	Zustand der Oberflächen.	Reibungs-coefficient.
Eiche auf Eiche	parallel	ohne Schmiere	0,62
	"	mit trockener Seife	0,44
	rechtwinklich	ohne Schmiere	0,54
	"	mit Wasser befeuchtet	0,71
	Hirn auf platt liegendem	ohne Schmiere	0,43
Eiche auf Ulme	parallel	"	0,38
Ulme auf Eiche	"	"	0,69
	"	mit trockener Seife	0,41
	rechtwinklich	ohne Schmiere	0,57
Esche, Tanne, Buche, Vogelbeer auf Eiche	parallel	"	0,53
Gegerbtes Leder auf Eiche . .	das Leder platt liegend	"	0,61
	das Leder auf der Kante	"	0,43
		mit Wass. befeuchtet	0,79
Schwarze lederne Riemen auf ebenen Eichenfläch	parallel	ohne Schmiere	0,74
Schwarze lederne Riemen auf einer eichenen Trommel	rechtwinklich	"	0,47
Ungesponnener Hanf auf Eice	parallel	"	0,50
	"	mit Wasser	0,87
Hanfseil auf Eiche	"	ohne Schmiere	0,80
Eisen auf Eiche	"	"	0,62
	"	mit Wasser	0,65

Angabe der reibenden Flächen.	Lage der Fasern.	Zustand der Oberflächen.	Reibungs-coefficient.
Gußeisen auf Eiche	parallel	mit Wasser	0,65
Gelbguß auf Eiche.	"	ohne Schmiere	0,62
Rindsleder bei Kolben auf Gußeisen	platt oder auf der Kante	mit Wasser	0,62
		mit Oel, Seife oder Schweinefett	0,12
Lederne Riemen auf gußeisernen Rollen	platt liegend	ohne Schmiere	0,28
		mit Wasser	0,38
Gußeisen auf Gußeisen . . .	"	ohne Schmiere	0,16[1]
Schmiedeisen auf Gußeisen . .	"	"	0,19
Eiche, Ulme, Weißbuche, Eisen, Gußeisen und Bronze, zwei und zwei eines auf dem andern	"	mit Talg	0,10[2]
		mit Oel oder Schweinefett	0,15[3]
Rogenstein auf Rogenstein . .	"	ohne Schmiere	0,74
Muschelkalk auf Rogenstein. .	"	"	0,75
Backstein auf Rogenstein. . .	"	"	0,67
Eichen auf Rogenstein . . .	auf dem Hirn	"	0,63
Schmiedeisen auf Rogenstein .	"	"	0,49
Muschelkalk auf Muschelkalk. .	"	"	0,70
Rogenstein auf Muschelkalk. .	"	"	0,75
Backstein auf Muschelkalk . .	"	"	0,67
Schmiedeisen auf Muschelkalk .	"	"	0,42
Eiche auf Muschelkalk. . . .	"	"	0,64
Rogenstein auf Rogenstein . .	"	mit Mörtel aus drei Theilen feinem Sand und ein Theil hydraulischem Kalk	0,74[4]

224. Da die Versuche gezeigt haben, daß eine sehr schwache Erschütterung die Trennung der Oberlächen und Bewegung herbeiführen könne, wenn die Kraft nur wenig über die steigt, welche zur Ueberwindung der Reibung während der Bewegung erfordert wird, so darf man sich bei allen Anwendungen auf die Stabilität von Konstruktionen, die Erschütterungen ausgesetzt sind, nicht dieser, sondern der folgenden Tafel bedienen.

1. Die Oberflächen wenig fett. — 2. Die Berührung dauerte nicht lange genug um die Schmiere hinaus zu drücken. – 3. Die Berührung dauerte lange genug die Schmiere weg zu drücken und einen nur wenig fettigen Zustand herbei zu führen. — 4. Nach einer Berührung von 10′ bis 15′.

225. Zweite Tafel. — Reibung ebener Flächen, die sich auf einander bewegen.

Angabe der reibenden Flächen.	Lage der Fasern.	Zustand der Oberflächen.	Reibungs-coefficient.
Eiche auf Eiche	parallel	ohne Schmiere	0,48
	"	mit trockener Seife	0,16
	rechtwinklich	ohne Schmiere	0,34
	"	mit Wasser	0,25
	Hirnholz auf den Fasern	ohne Schmiere	0,19
Ulme auf Eiche	parallel	"	0,43
	rechtwinklich	"	0,45
	parallel	"	0,25
Esche, Tanne, Buche, wilder Birnbaum und Vogelbeer auf Eiche	"	"	0,36—0,40
Schmiedeisen auf Eiche . . .	"	"	0,62
		mit Wasser	0,26
		mit trockener Seife	0,21
Gußeisen auf Eiche	"	ohne Schmiere	0,49
		mit Wasser	0,22
		mit trockener Seife	0,19
Gelbguß auf Eiche	"	ohne Schmiere	0,62
Schmiedeisen auf Ulme . . .	"	"	0,25
Gußeisen auf Ulme	"	"	0,20
Lederne Riemen auf Eiche . .	"	"	0,27
Gegerbtes Leder auf Eiche . .	platt oder auf der Kante	"	0,30—0,35
		mit Wasser	0,29
Gegerbtes Leder auf Gußeisen oder Bronze	platt oder auf der Kante	ohne Schmiere	0,56
		mit Wasser	0,36
		fett und mit Wasser	0,23
		mit Oel geschmiert	0,15
Ungesponnener Hanf oder Hanfseile	parallel	ohne Schmiere	0,52
	rechtwinklich	naß	0,33
Eiche und Ulme auf Gußeisen .	parallel	ohne Schmiere	0,38
Wilder Birnbaum auf Gußeisen	"	"	0,44
Schmiedeisen auf Schmiedeisen	"	"	0,44[1]

1. Die Oberflächen greifen sich ohne Schmiere an.

Angabe der reibenden Flächen.	Lage der Fasern.	Zustand der Oberflächen.	Reibungscoefficient.
Schmiedeisen auf Gußeisen und Bronze.	parallel	ohne Schmiere	0,18[1]
Gußeisen auf Gußeisen und Bronze	„	„	0,15[2]
Bronze auf Bronze . . .	„	„	0,20
Bronze auf Gußeisen . . .	„	„	0,22
Bronze auf Schmiedeisen .	„	„	0,16[2]
Eiche, Ulme, Weißbuche, wilder Birnbaum, Gußeisen, Schmiedeisen, Stahl und Bronze eines auf dem andern oder sich selbst	„	auf gewöhnliche Art geschmiert mit Talg Schweinefett, Oel, Wagenschmiere ꝛc.	0,07-0,08[2]
		nur wenig fettes Anfühlen	0,15
Rogenstein auf Rogenstein. .	„	ohne Schmiere	0,64
Muschelkalk „ „ . .	„	„	0,67
Backstein „ „ . .	„	„	0,65
Eiche „ „ . .	auf dem Hirn	„	0,38
Schmiedeisen „ „ . .	parallel	„	0,38
Muschelkalk auf Muschelkalk .	„	„	0,69
Rogenstein „ „ . .	„	„	0,65
Backstein „ „ . .	„	„	0,60
Eiche „ „ . .	auf dem Hirn	„	0,38
Schmiedeisen „ „ . .	parallel	„	0,24
	„	naß	0,30

226. **Dritte Tafel. — Reibung von Zapfen, die sich in Lagern bewegen.**

Angabe der Oberflächen.	Zustand der Oberflächen.	Reibungscoefficient, wenn die Schmiere erneuert wird,	
		auf gewöhnliche Art.	ununterbrochen.
Zapfen von Gußeisen auf Lagern von Gußeisen	geschmiert mit Olivenöl, Schweinefett, Talg oder Schweinefett mit Graphit	0,07—0,08	0,054
	mit denselben Schmieren, naß	0,08	„
	mit Asphalt.	0,054	„
	fettig	0,14	„
	fettig und naß	0,14	„

1. Die Oberflächen waren noch wenig fett. — 2. Ist die Schmiere fortwährend erneuert und gleichförmig vertheilt, so kann dieß Verhältniß bis zu 0,05 herabsinken.

Angabe der Oberflächen.	Zustand der Oberflächen.	Reibungscoefficient, wenn die Schmiere erneuert wird, auf gewöhnliche Art.	ununterbrochen.
Zapfen von Gußeisen auf Lagern von Bronze	geschmiert mit Olivenöl, Schweinefett, Talg oder Schweinefett mit Graphit	0,07—0,08	0,054
	fettig	0,16	"
	fettig und naß	0,16	"
	sehr wenig fettig	0,19	"
	ohne Schmiere	0,18	"
Zapfen von Gußeisen auf Lagern von Franzosenholz.	geschmiert mit Oel oder Schweinefett	"	0,090
	fettig von Oel oder Schweinefett	0,10	"
	fettig von Schweinefett und Graphit	0,14	"
Zapfen von Schmiedeeisen auf gußeisernen Lagern	geschmiert mit Olivenöl, Talg, Schweinefett oder Schweinefett und Graphit	0,07—0,08	0,054
Zapfen von Schmiedeeisen auf Lagern von Bronze	geschmiert mit Olivenöl, Schweinefett oder Talg.	0,07—0,08	0,054
	geschmiert mit fester Wagenschmiere	0,09	"
	fett und naß.	0,19	"
	sehr wenig fett	0,25	"
Schmiedeiserne Zapfen auf Lagern von Franzosenholz	geschmiert mit Oel oder Schweinefett	0,11	"
	fett.	0,19	"
Zapfen von Bronze auf Lagern von Bronze	geschmiert mit Oel	0,10	"
	geschmiert mit Schweinefett. .	0,09	"
Zapfen von Bronze auf Lagern von Gußeisen	geschmiert mit Oel oder Talg .	"	0,045 bis 0,052
Zapfen von Franzosenholz auf Lagern von Gußeisen	geschmiert mit Schweinefett .	0,12	"
	fett.	0,15	"
Zapfen von Franzosenholz auf Lagern von Franzosenholz	geschmiert mit Schweinefett .	"	0,07

Gebrauch vorstehender Tafeln.

227. Kennt man die Pressung mit der Oberflächen einer Materie in gegebenem Zustande auf einander gedrückt werden, so erhält

man die Reibung, welche sich dem Gleiten der Flächen über einander widersetzt, wenn man jene Pressung mit dem aus den Tafeln für diesen Fall genommenen Reibungscoefficienten multiplizirt.

Erstes Beispiel.

Welche Kraft ist erforderlich, um eine Schütze von Eichenholz von 1^m Breite, $0^m,05$ Stärke und $0^m,35$ Höhe aufzuziehen, welche eine Oeffnung von $0^m,30$ Höhe verschließt, über deren Mitte das Wasser $1^m,50$ hoch steht?

Die Aufziehstange ist von Eichenholz und hat $0^m,08$ Stärke, $0^m,12$ Breite und $2^m,30$ Höhe, wovon $1^m,60$ unter Wasser getaucht sind.

Die vom Wasser gedrückte Oberfläche ist gleich $1 \times 0,35 = 0^{mq},35$.

Die Höhe der Wassersäule, welche über ihrer Mitte steht, ist $1^m,50$, und daher der Druck auf die Schütze gleich

$$0,35 \times 1,50 \times 1000 = 525 \text{ kil.}$$

Die Reibung, welche im Anfang, wo die Schütze sich zu bewegen anfängt, zu überwinden ist, hat man (Tafel Nr. 223) gleich $0,71 \times 525^k = 373^k$.

Das Gewicht der Schütze und des eingetauchten Theils der Aufziehstange ist nahe gleich dem Gewichte des verdrängten Wassers. Das Gewicht des nicht eingetauchten Theils der Aufziehstange ist gleich $900 \times 0,08 \times 0,12 \times 0,7 = 6^k,05$.

Die zum Aufziehen der Schütze erforderliche Kraft ist daher für den Beginn der Bewegung

$$= 373 + 6 = 379^k.$$

Hat die Bewegung begonnen, so ist die Kraft zur Ueberwindung der Reibung nur noch

$$0,25 \times 525 = 131^k,25.$$

Zweites Beispiel.

Welches ist die erforderliche Kraft zum Aufziehen einer Schütze von Gußeisen von 3^m Breite, $0^m,45$ Höhe, welche eine Oeffnung von $0^m,40$ Höhe, unter 40^o geneigt, schließt, wenn die Mitte der Schütze $0^m,60$ tief untergetaucht ist?

(Durch ein Gegengewicht ist das Gewicht der Schütze im Gleichgewicht gehalten, und man hat nur die Reibung der Schütze in ihren Falzen zu überwinden.)

Die durch das Wasser gedrückte Fläche beträgt $3 \times 0{,}45 = 1^{mq},35$. Die Höhe des Wasserspiegels über der Mitte dieser Fläche ist $0^m,60$, daher der Druck des Wassers auf die Schütze

$$= 0{,}60 \times 1{,}35 \times 1000 = 810 \text{ Kilogramm.}$$

Die Reibung im Anfange der Bewegung (Tafel in Nr. 223)

$$0{,}314 \times 810 = 251 \text{ Kilogramm.}$$

Drittes Beispiel.

Wie groß ist die Reibung bei einem Sägengatter von Gußeisen, 50 Kilogramm schwer, das sich auf Bahnen von Bronze bewegt, wenn Schweinefett als Schmiere gebraucht ist, während der Bewegung?

Die Reibung ist (Tafel in Nr. 225)

$$0{,}07 \times 50 = 3^k,50.$$

Wären die Oberflächen nur fettig, so würde die Reibung

$$0{,}14 \times 50 = 7^k \text{ betragen.}$$

Größe der Arbeit, welche durch die Reibung zweier ebenen Flächen aufgezehrt wird.

228. Die Größe der Arbeit, welche zur Ueberwindung der Reibung verwendet wird, wenn zwei ebene Flächen sich durch eine gegebene Länge über einander fortschieben, erhält man, wenn man die Größe der Reibung mit dem Weg multiplizirt, durch den die eine Fläche über die andere gleitet.

Beispiel.

Wie groß ist die wegen der Reibung verlorene Arbeit für jeden Hingang des Sägegatters im vorhergehenden Beispiel?

Die Schublänge sei $0^m,65$, so ist diese verlorene Arbeit

$$= 0{,}14 \times 50 \times 0{,}65 = 4^{km},55,$$

und hat man 100 Stöße in 1′, so ist die verlorene Arbeit in 1″

$$\frac{4{,}55 \times 100}{60} = 7^{km},58.$$

Größe der durch die Reibung der Zapfen verlornen Arbeit.

229. Die Größe der durch Zapfenreibung in 1″ verlornen Arbeit ist $6{,}28\, n f N r$,

wo N der Druck auf die Lager, der vom Gewichte der Welle und und ihrer Räder, der Kraft und dem Widerstand herrührt,
r der Radius des Zapfens,
n die Zahl der Umdrehungen in 1″,
f der Reibungscoefficient nach Tafel 3 ist.

Erstes Beispiel.

Welche Arbeit geht durch die Zapfenreibung bei einem Wasserrade in 1 Sekunde verloren, wenn der Druck der Zapfen auf die Lager 12000 Kilogramm beträgt?

Der Halbmesser der Zapfen soll $0^m,10$ seyn; sie sollen von Gußeisen seyn und in bronzenen Lagern laufen.

Das Rad macht 5 Umdrehungen in 1′.

Die Zapfenreibung ist (Tafel in Nr. 226)

$$0{,}06 \times 12000 = 840 \text{ Kilogramm},$$

daher die in 1″ verlorne Arbeit

$$6{,}28 \times \frac{5}{60} \times 840 \times 0{,}10 = 44^{km}.$$

Zweites Beispiel.

Wie viel Arbeit geht bei einem Wasserrade, dessen Nutzeffekt 3514^{km} oder 48,2 Pferdekräfte ist, durch die Reibung verloren?

Der Durchmesser des Rades ist $= 9^m,40$.

Die Kraft, welche das Wasser am Umfang des Rades von oben nach unten ausübt, geht vertikal und ist gleich 1372 Kilogramm.

Der Widerstand des Getriebs von unten nach oben ist auch ungefähr $= 1372$ Kilogramm.

Das Gewicht des Rades ist	25000^k
Das Gewicht des Wassers im Rade	1480^k
Der Radius der gußeisernen Zapfen auf Bronzelagern mit Schweinefett geschmiert, ist	$0^m,118$
Die Geschwindigkeit des Radumfangs ist	$2^m,63$

Aus diesen Angaben geht hervor, daß sich der Druck, welcher von der Kraft des Wassers und der, welcher von dem Widerstande herrührt, gegenseitig aufheben.

Der Druck auf die Lager ist daher gleich

$$25000 + 1480 = 26480^k.$$

Die Reibung (Tafel in Nr. 226)

$$0{,}08 \times 26480 = 2118^k{,}40$$

und der in 1 Sekunde durchlaufene Weg

$$2{,}63 \times \frac{0{,}118}{4{,}70} = 0^m{,}0682.$$

Daher die verlorene Arbeit in 1″

$$2118{,}40 \times 0{,}0682 = 144^{km}{,}4,$$

oder ungefähr 2 Pferdekräfte.

Drittes Beispiel.

Welche Arbeit geht bei dem Wasserrade des Walzwerks zu Framont durch die Zapfenreibung verloren?

Der Halbmesser des Rades ist	$4^m{,}57$
Die Geschwindigkeit des Radumfangs	$2^m{,}30$
Der Nutzeffekt	4500^{km}
Der vertikale Druck des Räderwerks von oben nach unten	2930^k
Das Gewicht des Wassers in den Schaufeln ungefähr	5500^k
Das Gewicht des Rades nebst Zugehör	86687^k

Die Zapfen sind von Gußeisen und bewegen sich auf Lagern von Bronze mit Talgschmiere.

Der Radius der Zapfen	$0^m{,}21$

Der Druck auf die Zapfen ist

$$86687 + 5500 - 2930 = 89257.$$

Die Zapfenreibung beträgt daher

$$0{,}08 \times 89257 = 7140^k.$$

Der Weg, den ein Punkt am Umfang des Zapfens in 1″ durchlauft

$$= 2{,}30 \times \frac{0{,}21}{4{,}57} = 0^m{,}106,$$

und die verlorne Arbeit in 1″

$$7140 \times 0{,}106 = 756^{km}{,}8 = 10{,}25 \text{ Pferdekräften.}$$

Verlorne Arbeit bei stehenden Zapfen.

230. Die wegen der Reibung bei stehenden Zapfen verlorne Arbeit ist $\quad 4{,}19\, n f N r$ in 1″.

Dabei sind die Bezeichnungen dieselben, wie in Nr. 229, nur ist der Reibungscoefficient f aus der Tafel 225 zu nehmen.

Beispiel.

Eine vertikale Welle steht auf einem Stahlzapfen, der sich auf einem Lager von Bronze dreht. Die Belastung des Zapfens beträgt 3400 Kilogramm, der Halbmesser $0^{m},03$, und es geschehen 18 Umdrehungen in 1'; wie viel Arbeit geht durch die Reibung verloren?

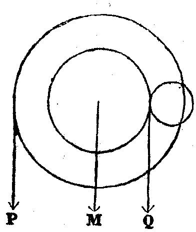
Die Formel gibt

$$4{,}19 \times \frac{18}{60} \times 0{,}07 \times 3400 \times 0{,}03 = 9^{km},15.$$

Bestimmung des Drucks auf eine Rotationsaxe.

231. Bei der Bestimmung des Drucks auf eine Rotationsaxe oder einen stehenden Zapfen können mehrere Fälle vorkommen.

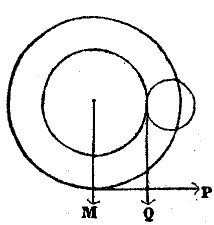
Fig. 45.



1) Wirken alle Kräfte vertikal (Fig. 45), so addirt man das Gewicht **M** der Welle mit Zubehör zu den Kräften, welche von oben nach unten wirken und zieht davon die Summe **Q** der Kräfte, welche von unten nach oben wirken, ab.

Bei Wasserrädern kann man in der Regel das Gewicht des Wassers gegen das des Rades vernachläßigen, und nur die Kraft **P**, welche sie an ihrem Umfange ausüben und den Widerstand des ersten Getriebs berücksichtigen.

Fig. 46.



2) Sind vertikale und horizontale Kräfte vorhanden, deren gesonderte Summen **A** und **B** seien, das Gewicht der Welle inbegriffen, so ist der Druck gleich

$$0{,}96\,\mathbf{A} + 0{,}4\,\mathbf{B},$$

wo **A** die größere Summe bedeutet, auf $^1/_{25}$ genau; oder gleich

$$0{,}83\,(\mathbf{A} + \mathbf{B}) \text{ auf } {}^1/_6 \text{ genau.}$$

Diese Annäherung ist immer groß genug.

3) Hat man geneigte Kräfte, so zerlege man diese in horizontale und vertikale, und verfahre dann wie im zweiten Fall.

4) Wird in Folge der Richtung und Größe der Kräfte einer der Zapfen von unten nach oben und der andere von oben nach unten

gedrückt, so berechne man den Druck auf jeden einzelnen nach den gegebenen Vorschriften.

Dieser Fall kommt selten vor, und soll so viel wie möglich bei Konstruktionen vermieden werden.

Festigkeit der Materialien.

Praktische Formeln.

Formeln zur Bestimmung der Dimensionen verschiedener Maschinentheile.

In den folgenden Tabellen und Formeln sind die Resultate direkter Versuche und der Praxis gesammelt, welche zur Berechnung der Dimensionen der Hauptheile bei Konstruktionen und Maschinen gebraucht werden.

Die Formeln, welche wir mittheilen, sind die aus der Theorie der Festigkeit der Materialien abgeleiteten; allein bei der Wahl der Coefficienten, bezüglich auf den Bruch, haben wir uns durch besondere Betrachtung der Bestimmung jedes Stücks, wie durch die Vergleichung der von den geschicktesten Ingenieuren bei Bauten, die Solidität und Leichtigkeit vereinen, angewandten Dimensionen leiten lassen.

Die Beispiele zur Anwendung der Formeln zeigen, daß die aus ihnen erhaltenen Resultate in allen Fällen sich mit der zu wünschenden Näherung an die Verhältnisse anschließen, welche die Erfahrung als zweckmäßig erkannt hat.

Feste Körper, dem Zusammendrücken ausgesetzt, wie Säulen, Pfeiler, Pfähle ꝛc.

232. Zahl der Kilogramme, mit denen man sicher jedes Quadratcentimeter des Querschnitts belasten darf.

Bezeichnung des Körpers.	Verhältniß der Länge zur kleinsten Dimension.				
	unter 12	12	24	48	60
	kil	kil	kil	kil	kil
Starke Eiche	30,0	25,0	15,0	5,0	2,5
Schwache Eiche	19,0	8,4	5,6	"	"
Rothtanne	37,5	31,0	18,7	7,5	"
Weißtanne	9,7	8,2	4,9	"	"
Schmiedeisen.	1000,0	835,0	500,0	167,0	84,0
Gußeisen	2000,0	1670,0	1000,0	333,0	167,0
Basalt	200,0	"	"	"	"
Harter Granit	70,0	"	"	"	"
Gewöhnlicher Granit.	40,0	"	"	"	"
Harter Marmor	100,0	"	"	"	"
Weißer geaderter Marmor . . .	30,0	"	"	"	"
Harter Sandstein	90,0	"	"	"	"
Weicher Sandstein	0,4	"	"	"	"
Sehr harter Backstein	12,0	"	"	"	"
Gewöhnlicher Backstein	4,0	"	"	"	"
Sehr harter Kalkstein	50,0	"	"	"	"
Gewöhnlicher Kalkstein	30,0	"	"	"	"
Gewöhnlicher Kalkstein von geringerer Gattung	2,3	"	"	"	"
Alabaster	6,0	"	"	"	"
Guter Mörtel von 18 Monaten .	4,0	"	"	"	"
Gewöhnlicher Mörtel von 18 Monaten	2,5	"	"	"	"

Erstes Beispiel.

Eine Baute, deren Gewicht 15000000^k ist, soll auf eingerammte Pfähle gegründet werden. Die Pfähle sind von starkem Eichenholz, und haben 0^m,30 Durchmesser und 3^m,60 Länge. Wie viele braucht man?

Da die Pfähle seitwärts von dem Erdreich gehalten werden, so können sie jedenfalls mit 30 Kilogramm für den Quadratcentimeter belastet werden, und einer kann daher tragen

$$0{,}785 \times (30)^2 \times 30 = 21200^{kil}.$$

Man bedarf also $\frac{15000000}{21200} = 710$ Pfähle ungefähr, welche man so vertheilt, daß auf alle so viel wie möglich gleiche Last kommt.

Zweites Beispiel.

Dasselbe Werk soll auf Beton von gutem hydraulischem Mörtel gegründet werden; wie groß muß die Fläche seyn, in welcher es auf dem Beton ruht?

Nach der nebenstehenden Tafel hat man

$$\frac{15000000}{40000} = 375^{mq}$$

wobei vorausgesetzt, daß die Last gleichförmig vertheilt ist.

Wäre dem nicht so, so würde man für jeden Theil der Gründung eine besondere Rechnung anstellen.

Feste Körper, einem Zug nach der Länge ausgesetzt.

233. Zahl der Kilogramme, welche jeder Quadratcentimeter des Querschnitts mit Sicherheit tragen kann.

Bezeichnung der Körper.	Zug nach der Länge.
Starke Eiche	196^k
Schwache Eiche	140
Tanne *)	167
Esche	240
Buche	160
Buchs	280

*) Der Seitenzusammenhang der Fasern ist bei der Tanne nur $41^k{,}5$ für den Quadratcentimeter; in dieser Richtung darf man sie daher nur mit 8 Kilogramm belasten.

Bezeichnung der Körper.	Zug nach der Länge.
Birnbaum	138^k
Pappel	25
Schmiedeisen in dünnen Stücken, Drath erster Qualität	1000
Schmiedeisen in gewöhnlichen Dimensionen	650
Schmiedeisen von $0^m,06$ Dicke und darüber	400
Eisenblech in der Richtung des Walzens	700
Eisenblech rechtwinklich auf die Richtung des Walzens	600
Gewöhnliche Kette von Eisen	2000
Gestanzte Ketten	3000
Graues Gußeisen (wenn es keinen Stößen ausgesetzt ist)	350
Kanonenmetall	120
Gehämmertes Kupfer	123
Gegossenes Kupfer	66
Feiner Gelbguß	62
Gegossenes Zinn	16
Gegossenes Blei	6
Trocknes Hanfseil	125
Nasses Seil	82
Getheertes Seil	95
Lederner Riemen	25
Sehr harter Backstein	2
Kalkstein	6
Alabaster	0,40
Beton oder guter Mörtel von 18 Monaten	0,90
Gewöhnlicher Mörtel von 18 Monaten	0,30

Erstes Beispiel.

Eine Kolbenstange von starkem Eichenholz soll 7000 Kilogramm heben; wie groß muß die Seite des quadratischen Querschnitts seyn?

Nach der Tafel findet man den Querschnitt

$$\frac{7000}{196} = 35{,}7 \text{ Quadratcentimeter},$$

und daraus die gesuchte Seite $= 0^m,06$ etwa.

Zweites Beispiel.

Eine gewöhnliche Kette soll eine Spannung von 1500 Kilogramm aushalten. Welchen Durchmesser muß das Rundeisen, aus dem sie angefertigt werden soll, haben?

Der Durchmesser ist

$$d = \sqrt{\frac{1500}{2000 \times 0{,}7854}} = 0{,}98 \text{ Centimeter etwa.}$$

Drittes Beispiel.

Ein lederner Riemen von $0^m,003$ Dicke soll eine Spannung von 125 Kilogramm ertragen; wie breit muß er seyn?

Man findet diese Breite gleich

$$\frac{125}{25 \times 0{,}3} = 16{,}65 \text{ Centimeter.}$$

Erforderliche Kraft um Holzschrauben auszureißen.

234. Holzschrauben von $0^m,050$ Länge, $0^m,0056$ äußerem Durchmesser und $0^m,0028$ im Kern, die mit 12 Gängen in Brettern von $0^m,027$ Dicke stecken, können mit Sicherheit folgende Gewichte tragen:

Im Tannenholz	35^k
„ Eichenholz	68
„ trockenem Eschenholz	71
„ Ulmenholz	59

Feste Körper, einer Biegung durch Kräfte, rechtwinklich auf die Länge ausgesetzt.

235. Bei der Berechnung der Dimensionen solcher Körper, die Biegungen ausgesetzt sind, muß man unterscheiden, ob eine bestimmte Biegung zuläßig ist, oder ob diese verschwindend klein seyn soll.

Die Balken und gewöhnlichen Träger sind im ersten Fall; die Wellen der Wasserräder oder des Räderwerks, der Zahnräder, die Zapfen ꝛc. gehören zum zweiten, und hiernach müssen die numerischen Coefficienten gewählt werden.

Der Körper ist am einen Ende befestigt.

236. In den folgenden Formeln nennen wir

P den Druck auf den Körper, rechtwinklich auf seine Länge,

c die Länge des nicht befestigten Theils bis zu dem Angriffspunkt des Drucks **P**, oder dessen Hebelsarm,

p das Gewicht des laufenden Meters in Kilogrammen,

a die Breite des Körpers, horizontal und rechtwinklich auf die Länge gemessen,
b die Dicke desselben in der Richtung der Kraft P,
d den Durchmesser des Körpers, wenn er cylindrisch ist.

Die Gewichte und Belastungen sind in Kilogrammen, die Dimensionen in Metern zu verstehen.

Prismen am einen Ende befestigt; mit Rücksicht auf das Gewicht des Körpers.

237. Die Dimensionen ergeben sich mit Hülfe folgender Formeln für

Gußeisen . . . . $ab^2 = \frac{\left(P + \frac{pc}{2}\right)c}{1250000}$

Schmiedeisen . . . . $ab^2 = \frac{\left(P + \frac{pc}{2}\right)c}{1000000}$

Eichen- oder Tannenholz . . $ab^2 = \frac{\left(P + \frac{pc}{2}\right)c}{100000}$

Das Gewicht des Körpers ist nicht berücksichtigt.

238. Kann man das Gewicht des Körpers vernachläßigen, so wendet man folgende Formeln an

für Gußeisen . . . . $ab^2 = \frac{Pc}{1250000}$

" Schmiedeisen . . . . $ab^2 = \frac{Pc}{1000000}$

" Eichen- oder Tannenholz . . . . $ab^2 = \frac{Pc}{100000}$

Gleichförmig vertheilte Belastung.

239. Ist die Belastung auf die ganze Länge des Körpers gleichförmig vertheilt, so nenne man p das eigene Gewicht des Körpers für den laufenden Meter mehr der Belastung auf diese Länge, und rechne dann nach folgenden Formeln:

für Gußeisen . . . . $ab^2 = \frac{pc^2}{2500000}$

" Schmiedeisen . . . . $ab^2 = \frac{pc^2}{2000000}$

" Eichen- und Tannenholz . . . . $ab^2 = \frac{pc^2}{200000}$

Anmerkung. Man sieht, daß diese Formeln für Schmiedeeisen viel stärkere Dimensionen geben als für Gußeisen, was daher rührt, daß das Schmiedeisen weit biegsamer ist als Gußeisen, und man die Träger keine zu große Biegungen annehmen lassen darf. Sind die Stücke Stößen ausgesetzt, so muß man jederzeit das Schmiedeisen dem Guß vorziehen.

Verhältniß zwischen Breite und Dicke.

240. Man kann bei Anwendung dieser Formeln ein Verhältniß zwischen Breite und Dicke annehmen.

Für Balken hat die Erfahrung als passend das Verhältniß der Breite zur Dicke wie 5 zu 7 gezeigt; man hat dann $\mathbf{a} = {}^5/_7\, \mathbf{b}$, und folglich die Formel, welche die Höhe eines am einen Ende befestigten und am andern belasteten Balkens gibt,

$$\mathbf{b}^3 = \frac{\mathrm{Pc}}{71429}$$

Beispiel.

Welche Dimensionen muß man einem am einem Ende eingemauerten Balken geben, welcher am andern 750 Kilogramm tragen soll, wenn die Länge desselben $1^{\mathrm{m}},75$ beträgt?

Die letzte Formel gibt

$$\mathbf{b}^3 = \frac{750 \times 1{,}75}{71429} = 0{,}0184;\ \mathbf{b} = 0^{\mathrm{m}},264, \text{ und } \mathbf{a} = 0^{\mathrm{m}},189.$$

Allgemeine Bemerkung über das Gewicht der Körper.

241. Will man das eigene Gewicht des Körpers in Rechnung ziehen, dessen Dimensionen noch nicht bekannt sind, so berechnet man zuerst diese Dimensionen indem man das Gewicht vernachläßigt, bestimmt hiernach das Gewicht des Körpers, und berechnet nun wieder die Dimensionen, welche derselbe erhalten muß, wobei man die Hälfte des gefundenen Gewichts zu der Belastung addirt.

Nach dieser Bemerkung, welche überall Anwendung findet, wo das eigene Gewicht des Körpers in Betracht kommt, begnügen wir uns in Zukunft, nur immer die äußere Belastung **P** in Rechnung zu ziehen.

Der Querschnitt des Prisma's ist ein Quadrat.

242. Ist der Querschnitt ein Quadrat, so hat man $a = b$, und die Formeln werden, für

Gußeisen . . . . $b^3 = \frac{Pc}{1250000}$

Schmiedeisen . . . . $b^3 = \frac{Pc}{1000000}$

Eichen= und Tannenholz. . . . . . . $b^3 = \frac{Pc}{100000}$

Der Querschnitt ist ein Kreis.

243. Ist der Körper ein Cylinder vom Durchmesser d so hat man, für

Gußeisen . . . . $d^3 = \frac{Pc}{736250}$

Schmiedeisen . . . . $d^3 = \frac{Pc}{589050}$

Eichenholz . . . . $d^3 = \frac{Pc}{58905}$

Formel für die Zapfen der Wasserräder.

244. Für die Zapfen der Wasserräder, welche keine merkliche Biegung erleiden dürfen, welche naß werden, und sich durch den feinen Sand, den das Wasser mit sich führt, abnützen, nimmt man, bei Gußeisen

$$d^3 = \frac{Pc}{368125}$$

Gewöhnlich macht man noch $c = d$, wo dann

$$d^2 = \frac{P}{368125} \text{ ist.}$$

Erstes Beispiel.

Das Rad in Gebweiler (Nr. 96) wiegt 25000 Kilogramm, es kann $5^{me},500$ Wasser halten, die ganze Belastung beider Zapfen ist daher gleich 30500 Kilogramm, und jeder trägt 15250 Kilogramm. Die Länge des Zapfens ist seinem Durchmesser gleich.

Die Formel gibt $d = 0^m,235$, der englische Erbauer nahm $d = 0^m,236$; das Rad geht seit 9 bis 10 Jahren.

Zweites Beispiel.

Das Rad in der Spinnerei von Logelbach bei Colmar wiegt 44000 Kilogramm, jeder Zapfen trägt also 22000 Kilogramm. Man hat $c = d$.

Die Formel gibt

$$d = 0^m,244$$

und das Rad, das seit 11 Jahren geht, hat

$$d = 0^m,216.$$

Zapfen von Wellen, die Stöße erleiden.

245. Dieselbe Formel gibt auch die Stärke der Zapfen für Wellen, die Stößen ausgesetzt sind, wie die der Hämmer, Stampfwerke, Pochen ꝛc.

Gut geschmierte Zapfen.

246. Für die Wellen zur Fortpflanzung der Bewegung, deren Zapfen gut geschmiert sind, und sich weniger abnützen, als die der Wasserräder, hat man

bei Gußeisen . . . . $d^3 = \frac{Pc}{560000}$

„ Schmiedeisen . . . . $d^3 = \frac{Pc}{450000}$

Axen der Fuhrwerke.

247. Die Nothwendigkeit, bei Fuhrwerken die durch die Axenreibung verlorne Arbeit so viel wie möglich zu vermindern, hat dazu geführt, für diese Zapfen folgende Formel anzunehmen, die weit geringere Dimensionen gibt.

Axen von Schmiedeisen . . . . $d^3 = \frac{Pc}{700000}$

Man wird hierbei beobachten, daß man zu diesen Axen das beste Eisen nimmt.

Folgende Tafel enthält die Dimensionen, welche die besten Wagenbauer in England anwenden, und zeigt, daß unsere Formel diese so genau als möglich wiedergibt.

Art des Fuhrwerks.	Zahl der Räder.	Belastung jedes Zapfens.	Länge der Zapfen.	Durchmesser am dicken Ende.	am dünnen Ende.	mittlerer.	Berechnet nach der Formel.
		kil	m	centim.	centim.	centim.	centim.
Tilbury	2	104,5	0,30	3,8	3,2	3,50	3,6
Cabriolet	2	296,0	0,23	4,1	3,5	3,80	4,6
Trotschke	4	235,0	0,20	4,1	3,5	3,80	4,1
Char-à-banc....	4	248,0	0,23	4,5	3,8	4,20	4,5
Landauer	4	400,0	0,23	5,1	3,8	4,50	5,3
Eilwagen	4	382,0	0,28	5,7	4,1	4,90	5,6
Karren	2	609,0	0,29	6,4	3,4	4,90	6,3
Wagen	4	1015,0	0,33	7,6	6,4	7,00	7,8
Güterwagen	4	1420,0	0,33	8,6	6,9	7,75	8,4

Von den Körpern gleichen Widerstands, die an einem Ende befestigt sind.

248. Um das Gewicht der Träger zu vermindern, kann man diesen in der Richtung ihrer Länge eine parabolische Form geben, wodurch sie in allen ihren Punkten dieselbe Festigkeit erhalten.

Das Längenprofil ist dann gewöhnlich eine halbe Parabel, deren Axe oben oder unten liegt, oder eine ganze Parabel.

Die Höhe und Breite des Körpers am befestigten Ende bestimmt sich noch durch die Formeln in Nr. 237 und weiter, und dann bestimmt man das Profil des Körpers oder die Parabel nach der Gleichung

$$y^2 = \frac{b^2}{c} x,$$

wo

x die Abscissen der Parabel, vom Punkt der Belastung gerechnet, vorstellt, und

y die verticalen Ordinaten.

Fig. 47.

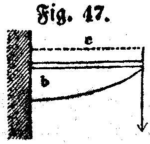
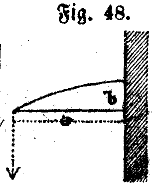
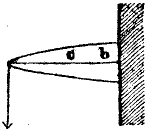


Fig. 48.



Erhält der Körper die Form einer halben Parabel, so werden die Ordinaten y von der Axe der Parabel bis zur Kurve gemessen (Fig. 47 und Fig. 48).

Fig. 49.



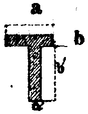
Soll die Form eine ganze Parabel seyn, so mißt man die Ordinaten von einem Schenkel der Linie zum andern (Fig. 49).

Man wendet diese Form hauptsächlich bei Tragsteinen an, die an ihrem Ende belastet sind oder Balkone unterstützen ꝛc.

Am einen Ende befestigte Körper mit Rippen.

249. Hat der am einen Ende befestigte Körper das Profil (Fig. 50), so hat man für Gußeisen

Fig. 50.



$$ab^2 + a'b'^2 = \frac{Pc}{1250000}$$

worin die 4 Größen a, b, a', b', zu bestimmen sind, und wo man also nach Belieben Verhältnisse annehmen kann.

Nimmt man z. B.

$$a' = b, \; b' = 5a', \; a = b',$$

so wird die obige Formel

$$b'^3 = \frac{Pc}{300000}$$

Form der Träger.

250. Dieses Profil eignet sich besonders für Console, Träger ꝛc. und kann häufig mit dem parabolischen Längenprofil (Nr. 248) combinirt werden.

Man berechnet dann die Dimensionen am befestigten Ende, läßt der obern Platte dieselbe Dicke und Breite in der ganzen Länge und gibt der Rippe nach der Länge die Form einer Parabel, nach der Formel

$$y^2 = \frac{b'^2}{c} x$$

wie in Nr. 248.

Beispiel.

Welche Dimensionen, und welches Längenprofil soll hiernach ein Träger von Gußeisen erhalten, der in der Entfernung 1ᵐ von dem eingemauerten Theil 800 Kilogramm tragen soll?

Behält man die in Nr. 249 angenommenen Verhältnisse bei, so hat man zuerst

$$b'^3 = \frac{800 \times 1}{300000} = 0{,}00266,$$

woraus

$$b' = 0^m{,}1385$$
$$a' = b = 0^m{,}0277$$
$$a = b' = 0^m{,}1385.$$

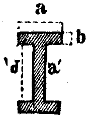
Nun gibt die Gleichung für das Längenprofil nach und nach für die Entfernungen

vom äußern Ende .	$0^m{,}05$	$0^m{,}10$	$0^m{,}20$	$0^m{,}30$	$0^m{,}40$	$0^m{,}60$	$0^m{,}80$
die Höhen	0,031	0,044	0,062	0,076	0,088	0,107	0,124

Anderes Profil.

251. Hat der Körper den Querschnitt (Fig. 51), so hat man

Fig. 51.



$$a'b'^2 + 2ab^2 = \frac{Pc}{1250000}$$

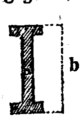
und bei den Verhältnissen in Nr. 249

$$b'^3 = \frac{Pc}{350000}$$

Balanciers.

252. Diesen Querschnitt gibt man den Balanciers der Dampfmaschinen, Gebläse, Pumpen ꝛc., allein mit andern Verhältnissen; gewöhnlich ist hier die ganze Höhe in der Mitte gleich der 12fachen Dicke des Körpers des Balanciers.

Fig. 52.



Die Rippen oben und unten haben eine Breite gleich $^1/_4$ der Höhe in der Mitte oder gleich der 3maligen Dicke des Balanciers und ihre Dicke ist dieser Dicke gleich. Ihr Hauptzweck ist, Seitenbiegungen des Balanciers zu verhindern. Vernachläßigt man ihre Wirkung, so hat man für die Dimensionen des Balanciers

bei Gußeisen . . . . $ab^2 = \frac{Pc}{625000}$

„ Holz . . . . $ab^2 = \frac{Pc}{50000}$

wobei bedeutet

a die Dicke des Balanciers, welche in der ganzen Länge dieselbe ist,

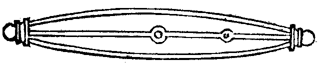
b die Höhe in der Mitte oder an der Rotationsaxe,
c die halbe Länge nach Nr. 188 proportionirt,
P den größten Druck, welchen der Balancier zu ertragen hat.

Behält man das Verhältniß der Dicke zur Höhe gleich $^1/_{12}$ bei, so erhält man

für Gußeisen . . . . $b^3 = \frac{Pc}{52000}$

und für Holz . . . . $b^3 = \frac{Pc}{4166}$

Fig. 53.



Das Längenprofil sollte nun nach Nr. 248 parabolisch seyn; allein gewöhnlich nimmt man die Höhe an den Enden gleich $^1/_8$ der Höhe in der Mitte, und läßt durch die so bestimmten Punkte Kreisbögen gehen, welche die obere und untere Begrenzung des Wagbalkens geben.

Um endlich die Schwächung, welche das Durchbohren der Löcher für die Zapfen des Parallelogrames und der verschiedenen Stangen hervorbringt, zu compensiren, läßt man nach der Mittellinie des ganzen Balanciers eine Rippe von denselben Dimensionen, wie die oben und unten, hinlaufen.

Diese Regel ist die von Watt und Boulton befolgte.

Beispiel.

Es sollen die Dimensionen des Balanciers für eine Dampfmaschine mit niederm Druck angegeben werden. Der Durchmesser des Cylinders $= 0^m,90$, der Kolbenhub $= 1^m,82$?

Die ganze Länge des Balanciers wird (Nr. 188)

$$3{,}0825 \times 1^m{,}82 = 5^m{,}610 = 2c$$

also $$c = 2^m{,}805.$$

Der Druck, den der Kolben auszuhalten hat, wenn man annimmt, der Dampf habe die Spannung von 1,25 Atmosphäre

$$12910 \times 0{,}785 \times (0{,}90)^2 = 8220^{kil}$$

Die Formel gibt damit

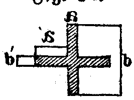
$$b^3 = \frac{8220 \times 2{,}805}{52000} = 0{,}443$$

$$b = 0^m{,}763.$$

Dieß Beispiel bezieht sich auf die Dampfmaschine der Spinnerei zu Logelbach, welche von Watt und Boulton construirt ist. Der Balancier hat die hier berechnete Länge und und eine Höhe von $0^m,75$.

Zwei Rippen verstärken den Balken.

Fig. 54.



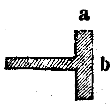
253. Hat das Profil die Form (Fig. 54), so hat man für Gußeisen

$$\frac{Pc}{1250000} = ab^2 + 2a'b'^2.$$

Gegossene Arme der Wasserräder.

254. Für die Arme von Gußeisen bei Wasserrädern ist das

Fig. 55.



nebenstehende Profil sehr passend. Die Kraft des Wassers wirkt in der Richtung der Dicke **b**, und die immer schwachen Rippen haben hauptsächlich den Zweck, eine Biegung der Arme, ein Ausweichen rechtwinklich auf die Richtung des Drucks **P** zu vermeiden. Man rechnet deßhalb nach der Formel

$$ab^2 = \frac{Pc}{1250000}$$

worin man $a = \frac{1}{5}\,b$ nehmen kann, was dann

$$b^3 = \frac{Pc}{250000} \text{ gibt,}$$

oder wenn man $a = \frac{1}{6}\,b$ setzt

$$b^3 = \frac{Pc}{208000}$$

Beispiel.

255. Die Kraft des Rades in der Glashütte zu Baccarat (siehe die oben citirten expériences sur les roues hydrauliques, Seite 49) ist im Maximum 20 Pferdekräfte bei der gewöhnlichen Geschwindigkeit der äußern Peripherie von $1^m,50$ in der Secunde.

Der äußere Halbmesser des Rades ist . . . . $2^m,48$
Die Länge der Radarme . . . . $2^m,03$
Es sind 4 Systeme von Aermen angebracht.

Man hat daher

$$P = \frac{1}{4} \times \frac{20 \times 75}{1{,}50} \times \frac{2{,}48}{2{,}03} = 305^{k}{,}0$$

und für $a = \frac{1}{5}\ b$

$$b^3 = \frac{305{,}0 \times 2{,}03}{250000} = \frac{619{,}2}{250000} = 0{,}00248$$

$$b = 0{,}135.$$

Der Construkteur nahm $b = 0^{m}{,}114$.

Dieses Rad geht schon 16 bis 18 Jahre.

Verhältnisse der Rippen für die Arme von Wasserrädern.

256. Ist die Rippe auf beiden Seiten angebracht, so nimmt man $a' = 1{,}5a$ und $b' = 0{,}66a$.

Ist nur auf einer Seite eine Rippe, was in gewissen Fällen passend ist, wie bei Ponceleträdern oder bei oberschlächtigen Rädern mit gegossenen Backen, um das Gehen im Gerinne zu erleichtern, so nimmt man

$$b' = 0{,}66a \text{ und } a' = 3a \text{ oder } 4a.$$

Für sehr breite Räder, wo die Schaufeln sich biegen und die Kränze und damit die Radarme sich nähern könnten, ist es zweckmäßig, diese Rippen stärker zu machen.

Die Arme können am Umfang schwächer seyn.

257. Die so bestimmte Dicke b der Arme ist die, welche sie nahe bei der Axe haben müssen; am Ende oder am Radumfang ist es hinreichend, wenn sie $\frac{4}{5}$ so dick, in der Richtung des Drucks, sind, als an der Axe.

Die Breite a bleibt durchaus dieselbe.

Regeln zur Bestimmung des Drucks, den jeder Arm des Wasserrads tragen muß.

258. Die Größe des Drucks P am Ende des Armes bestimmt man aus der Größe der fortgepflanzten Arbeit und der Geschwindigkeit des Radumfangs (Nr. 106).

Hat man mehrere Systeme von Armen, so verbreitet sich der Druck über diese nahezu gleichmäßig. Man theilt also die Kraft des Wassers am Umfang des Rades durch die Zahl der Armsysteme, und der Quotient gibt den Werth des Drucks **P**, den jeder Radarm auszuhalten hat.

Arme der Zahnräder.

259. Für die Arme gußeiserner Zahnräder nimmt man noch immer die Formel $ab^2 = \frac{Pc}{1250000}$, und vernachläßigt die Wirkung der Rippe, die sehr dünn genommen wird, und nur den Zweck hat, eine Seitenbiegung zu verhindern.

Man setzt dann $b = 5{,}5a$ und hat damit die Formel

$$b^3 = \frac{Pc}{230000}$$

Diese Dimension gibt man dem Arm nahe an der Axe, und läßt sie gegen den Kranz bis auf $^4/_5$ hiervon abnehmen, während die Breite dieselbe bleibt.

Bringt man auf beiden Seiten Rippen an, so schließen sich diese auf beiden Seiten an den Ring an und man nimmt

$$b' = 0{,}5a.$$

Ist die Rippe nur auf einer Seite angebracht, wie immer bei conischen Rädern, so ist sie wieder bündig mit dem Rand des Kranzes und man nimmt $b' = 0{,}5a$.

Diese Rippe wird in allen Fällen gegen die Axe um $^1/_5$ breiter gemacht als am Kranze.

Beispiel.

260. Zahnrad der Spinnerei zu Gebweiler. Das Wasserrad trägt auf die erste Welle im Maximum die Kraft von 49,4 Pferden bei der Geschwindigkeit $1^m{,}54$ am äußern Umfang über. Das innere Getriebe hat den Halbmesser $0^m{,}89$, das Zahnrad auf dieser Welle $2^m{,}63$.

Man hat daher

$$P = \frac{49{,}4 \times 75}{1{,}54} \times \frac{0{,}89}{2{,}63} = 814^{kil}$$

und $$b^3 = \frac{814 \times 2{,}63}{230000} = 0{,}093$$

woher $$b = 0^m{,}210 \text{ und } a = 0^m{,}038.$$

Der englische Erbauer nahm $b = 0^m{,}21$ und $a = 0^m{,}047$.

Dieses Rad geht seit 9 oder 10 Jahren.

Zähne des Räderwerks.

261. Wir nennen
a die Breite der Zähne parallel mit der Are des Rades,
b ihre Dicke auf dem Umfang des Theilrisses gemessen,
S die ganze Höhe des Zahns über dem Kranz.

Alle diese Dimensionen drücken wir in Centimetern aus, und nehmen für auf gewöhnliche Art geschmierte Räder, wenn die Geschwindigkeit im Theilriß nicht mehr als $1^m,50$ beträgt,

$$a = 4\,b.$$

Wenn die Geschwindigkeit größer ist . . . . . . $a = 5\,b$

Wenn das Räderwerk gewöhnlich naß ist . . . . $a = 6\,b$

Die Zähne sollen nicht weiter als um . . . . $S = 1{,}5\,b$
über den Kranz vortreten.

Nach diesen Annahmen (Nr. 212) hat man nun für die Dicke der Zähne im Theilriß

bei Gußeisen . . . . $b = 0{,}105\,\sqrt{P}$

„ Bronze und Messing . . . . $b = 0{,}131\,\sqrt{P}$

„ hartem Holz, wie Weißbuchen, Wurzeln
vom Birnbaum oder Vogelbeerbaum ꝛc. $b = 0{,}145\,\sqrt{P}$

Der Raum zwischen den Zähnen wird

für nachgeschnittene, sehr gut ausgeführte Räder $\left(1+\frac{1}{15}\right)b = 1{,}076\,b$

für nicht nachgeschnittene Räder . . . $\left(1+\frac{1}{10}\right)b = 1{,}10\,b$

Kranz und Arme der Zahnräder.

262. Für gußeiserne Zahnräder soll die Dicke des Kranzes $^2/_3$ von der Dicke der Zähne seyn; dann ist es zweckmäßig, ihn durch eine Rippe innen zu verstärken, deren Dicke und Vorsprung der Dicke des Rings gleich sind.

Für Räder mit Zähnen von Holz gibt man dem Ring, in dem die Zähne befestigt sind, die um die Dicke der Zähne vergrößerte Breite derselben.

Die Dicke dieses Rings in der Richtung des Halbmessers nimmt man der Zahndicke gleich.

Das Zapfenloch hat in der Richtung der Peripherie eine Breite, welche durch die verlängerten Seiten des Zahns bestimmt wird. Sein Längenprofil in der Richtung der Are ist ein Trapez, dessen

Grundlinie am äußern Umfang des Kranzes gleich der Breite des Zahnes ist, und welches sich nach innen um die Zahndicke verengert.

Man gibt gewöhnlich den Rädern

von 1^m,30 und darunter	. . . .	4 Arme,
„ 1^m,30 bis 2^m,50	. . . .	6 „
„ 2^m,50 „ 5^m,00	. . . .	8 „
„ 5^m,00 „ 7^m,00	. . . .	10 „

Für sehr leichte und schwache Räder nimmt man gewöhnlich mehr Arme, um dem Kranz beim Abkühlen seine Form zu erhalten.

Allgemeine Bemerkung über die untere Grenze der Dicken.

263. Bei Anwendung der Formel in Nr. 253 bis 261 wird man bemerken, daß man für Räder, die nur geringe Kräfte fortpflanzen, und welche zugleich ziemlich groß sind, zu Metallstärken geführt wird, welche sicher groß genug wären, um jenen Kräften zu widerstehen, welche sich aber beim Gusse nicht ausführen lassen. Die untern Grenzen, welche man in solchen Fällen annehmen muß, hängen von der Art des Gußeisens ab, und unter sie hinab darf man sich nicht durch Betrachtung der wirksamen Kräfte führen lassen.

Erstes Beispiel.

264. Rad mit gußeisernen Zähnen, am Kranze des Rades der Spinnerei zu Logelbach. Das Rad hat 25 Pferdekräfte bei einer Geschwindigkeit des Umfangs von 1^m,30 in 1″; man hat also

$$P = \frac{25 \times 75}{1{,}30} = \frac{1875}{1{,}30} = 1443^{\text{kil}}.$$

Die Formel in Nr. 261 gibt

$$b = 4{,}02 \text{ Centim. und } a = 6\,b = 24{,}1 \text{ Centim.},$$

da die Zähne naß sind.

Der englische Konstrukteur hat

$$b = 3{,}7 \text{ und } a = 26{,}0 \text{ Centim. gemacht.}$$

Dieses Rad geht seit 11 Jahren.

Zweites Beispiel.

Zahnrad in der Glashütte zu Baccarat. Das Rad hat höchstens 20 Pferdekräfte mit der Geschwindigkeit von 1^m,50 am Umfang; sein Halbmesser ist $2^m,003$, der des Rades mit Zähnen von Holz ist $1^m,815$. Man hat daher

$$P = \frac{20 \times 75}{1,50} \times \frac{2,003}{1,851} = 1103^{kil}.$$

Die Formel gibt

$$b = 4,8 \text{ Centim.}, \; a = 4b = 19,2 \text{ Centim.}$$

Der englische Erbauer nahm

$$b = 4,8 \text{ Centim.}, \; a = 19,5 \text{ Centim.}$$

Nach langem Gebrauch haben sich die Zähne so weit abgenützt, daß jetzt $b = 4,1$ Centim. ist, und noch thun sie ihre Dienste.

Drittes Beispiel.

266. Rad mit hölzernen Zähnen in der Spinnerei zu Gebweiler. Dieses Rad pflanzt 49,4 Pferdekräfte bei einer Geschwindigkeit von $4^m,55$ an der Peripherie fort.

Der Druck im Theilriß ist

$$\frac{49,4 \times 75}{4,55} = 814^k.$$

Die Formel gibt

$$b = 4,14 \text{ Centim. und } a = 5b = 20,70 \text{ Centim.}$$

Der Konstrukteur nahm

$$b = 3,96 \text{ und } a = 20 \text{ Centim.}$$

Dieses Rad geht seit 10 Jahren.

Körper, frei auf zwei Stützen liegend.

267. In den folgenden Formeln bezeichnen wir mit

2P die Belastung oder den Druck auf den Körper, rechtwinklich auf seine Länge,

2c die Entfernung der Stützen,

p, a, b, d behalten dieselben Bedeutungen wie bisher (Nr. 236).

Prismatische Körper, mit Rücksicht auf das eigene Gewicht.

268. Die Dimensionen des Querschnitts bestimmen sich nach folgenden Formeln,

für Gußeisen . . . . $ab^2 = \dfrac{\left(P + \frac{pc}{2}\right)c}{1250000}$

für Schmiedeisen . . . . . . $ab^2 = \frac{\left(P + \frac{pc}{2}\right) c}{1000000}$

„ Eichen- oder Tannenholz . $ab^2 = \frac{\left(P + \frac{pc}{2}\right) c}{100000}$

Mit Vernachläßigung des eigenen Gewichts.

269. Kann man das eigene Gewicht vernachläßigen, so wendet man folgende Formeln an: für

Gußeisen . . . . $ab^2 = \frac{Pc}{1250000}$

Schmiedeisen . . . . $ab^2 = \frac{Pc}{1000000}$

Eichen- oder Tannenholz . . . . $ab^2 = \frac{Pc}{100000}$

Die Belastung ist gleichförmig vertheilt.

270. Ist die Belastung gleichförmig auf die ganze Länge des Körpers vertheilt, so addirt man sie zum eigenen Gewicht des Körpers, und nennt p was hiervon auf den laufenden Meter kommt; dann hat man für

Gußeisen . . . . $ab^2 = \frac{pc^2}{2500000}$

Schmiedeisen . . . . $ab^2 = \frac{pc^2}{2000000}$

Eichen- und Tannenholz . . . . $ab^2 = \frac{pc^2}{200000}$

Anmerkung. Es gelten hier noch die Bemerkungen in den Nummern 240 und 241 über die einzuführenden Verhältnisse zwischen a und b, und über den Gang, welchen man einschlagen kann, um das eigene Gewicht des zu bestimmenden Körpers in Rechnung zu ziehen.

Der Querschnitt ist ein Quadrat.

271. Ist der Querschnitt ein Quadrat, so wendet man folgende Formeln an:

Liegt die Last in der Mitte des Stabs,

$$b^3 = \frac{Pc}{k}$$

Liegt die Last um l und l' von den beiden Stützen entfernt

$$b^3 = \frac{P l l'}{k c}$$

Ist die Last gleich vertheilt auf 2 Punkte, jeder um l von einer Stütze entfernt,

$$b^3 = \frac{P l}{k}$$

Die Last ist über die Länge 2c', deren Mitte von den Stützen um l und l' entfernt ist, verbreitet,

$$b^3 = \frac{P\left(\frac{l l'}{c} - \frac{c'}{2}\right)}{k}$$

k ist ein Divisor, der bei diesem Querschnitt

für Gußeisen	. . . .	= 1250000
„ Schmiedeisen	. . . .	= 1000000
„ Eichen- und Tannenholz	. . .	= 100000 ist.

Der Querschnitt ist ein Kreis.

272. Ist der Querschnitt ein Kreis vom Durchmesser b, so setze man in denselben Formeln (Nr. 271) für k bei

Gußeisen	. . . .	736250
Schmiedeisen	. . . .	589050
Eichen- und Tannenholz	. . . .	58905

Wellbäume.

273. Da die Rotationsaxen der Maschinen häufig Stöße erleiden, und nur sehr geringe Biegungen annehmen dürfen, so nimmt man hier folgende Werthe für k bei quadratischem Querschnitt,

für Gußeisen	. . . .	$k = 625000$
„ Schmiedeisen	. . . .	$k = 500000$
„ Eichen- und Tannenholz	. . .	$k = 50000$

Bei Wellen mit kreisförmigem Querschnitt vom Durchmesser b,

für Gußeisen	. . . .	$k = 368000$
„ Schmiedeisen	. . . .	$k = 295000$
„ Eichen- und Tannenholz	. . .	$k = 29500$

Erstes Beispiel.

274. Ein quadratischer Wellbaum von Gußeisen soll in seiner Mitte eine Last von 4000 Kilogramm tragen.

Die Länge der Welle ist 3^m, und die Formel gibt

$$b^3 = \frac{2000 \times 1{,}50}{625000} = 0{,}0048 \text{ und } b = 0^m{,}1685.$$

Wäre die Welle cylindrisch, so hätte man

$$d^3 = \frac{2000 \times 1{,}50}{368000} = 0{,}00815 \text{ und } d = 0^m{,}201.$$

Wirkt diese Last in einem Punkte, der 2^m vom einen und 1^m vom andern Lager entfernt wäre, so erhält man für die cylindrische Welle

$$d^3 = \frac{2000 \times 2 \times 1}{368000 \times 1{,}50} = 0{,}00723 \text{ und } d = 0^m{,}1935.$$

Sollte eine Welle aus Eichenholz angefertigt werden, welche diese Last in der Mitte tragen soll, so erhielte man

$$d^3 = \frac{2000 \times 1{,}50}{29500} = 0{,}1017 \text{ und } d = 0^m{,}469.$$

Ist aber dieselbe Last zu gleichen Theilen in 2 Punkte vertheilt, die je $0^m{,}55$ von den Lagern entfernt sind, so findet man die Stärke der quadratischen gußeisernen Welle

$$b^3 = \frac{2000 \times 0{,}55}{625000} = 0{,}00176 \text{ und } b = 0^m{,}1205,$$

für die cylindrische gußeiserne Welle,

$$d^3 = \frac{2000 \times 0{,}55}{368000} = 0{,}00299 \text{ und } d = 0^m{,}144.$$

Ist die Last in 3 Punkten auf die Länge $1^m{,}20$ vertheilt, dessen Mitte $1^m{,}10$ von dem einen und $1^m{,}90$ von dem andern Lager entfernt ist, so hat man für den quadratischen Balken

$$b^3 = \frac{2000\left(\frac{1{,}10 \times 1{,}90}{1{,}50} - 0{,}30\right)}{625000} = 0{,}0035 \text{ und } b = 0^m{,}152$$

und für die cylindrische Welle

$$d^3 = \frac{2000\left(\frac{1{,}10 \times 1{,}90}{1{,}50} - 0{,}30\right)}{368000} = 0{,}00594 \text{ und } d = 0^m{,}181.$$

Zweites Beispiel.

Ein achtkantiger Wellbaum soll ein Wasserrad von 15000 Kilogramm Gewicht tragen. Diese Last ist über die Länge $2c' = 4^m{,}5$ verbreitet, deren Mitte von den Lagern um $3^m{,}25$ und $3^m{,}55$ entfernt ist.

Die Formel gibt für Eichenholz

$$d = 0^m{,}832$$

für Gußeisen $d = 0^m{,}358.$

Drittes Beispiel.

Das Wasserrad der Schleiferei zu Baccarat wiegt 13500 Kilogramm, sein Gewicht ist auf die Länge $2c' = 3^m{,}13$ vertheilt, deren Mitte $2^m{,}20$ von jedem Lager entfernt ist. Die Welle ist achtkantig von Gußeisen.

Die Formel gibt

$$d = 0^m{,}295.$$

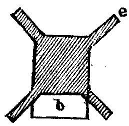
Der Konstrukteur nahm

$$d = 0^m{,}250.$$

Dieses Rad geht seit nahe 20 Jahren.

Der Querschnitt hat einen quadratischen Kern mit Rippen.

Fig. 56.



275. Der Theil der Welle zwischen den Punkten, in denen die Last ruht, ist gewöhnlich schwächer als diese Theile, aber durch Rippen verstärkt.

Nennt man nun

b die Seite des Quadrats,

b′ die ganze Breite der Rippen, gemessen von außen bis wieder nach außen,

e die Stärke der Rippen,

so hat man in den Formeln (Nr. 271)

$$\frac{b^4 + (b'^3 - b^3)\,e + (b' - b)\,e^3}{b'} \quad \text{für } b^3$$

und für k, da hier nur von Gußeisen die Rede seyn kann, 1250000 zu setzen.

Passende Verhältnisse.

276. Zur Bestimmung von b, b′ und e ist es zweckmäßig, ein einfaches Verhältniß zwischen diesen Größen einzuführen; so z. B. setze man

$$b' = 3\,b,\ e = \frac{1}{3}\,b.$$

Dann erhält man für b^3 die Formeln in Nr. 271, in denen man, für Gußeisen, $k = 4059000$ setzt.

Beispiele.

Ein quadratischer Wellbaum von Gußeisen mit Rippen in den eben angegebenen Verhältnissen, von 4^m Länge soll 10000 Kilogramm tragen.

Liegt die Last in der Mitte, so hat man

$$b^3 = \frac{5000 \times 2}{4059000} = 0{,}00246,$$

und

$$b = 0^m{,}135,\ e = 0^m{,}045,\ b' = 0^m{,}405.$$

Liegt die Last $1^m{,}50$ und $2^m{,}50$ vom andern Lager entfernt, so erhält man

$$b^3 = \frac{5000 \times \frac{1{,}50 \times 2{,}50}{2}}{4059000} = 0{,}00231,$$

woher

$$b = 0^m{,}132,\ e = 0^m{,}044,\ b' = 0^m{,}396.$$

Ist die Last auf 2 Punkte in gleicher Entfernung $0^m{,}60$ von den Lagern vertheilt, so hat man

$$b^3 = \frac{5000 \times 0{,}60}{4059000} = 0{,}000738,$$

$$b = 0^m{,}0903,\ e = 0^m{,}0301,\ b' = 0^m{,}2709.$$

Ist die Last auf 4 Punkte über die Länge $2c' = 2^m{,}80$ vertheilt, deren Mitte von den Lagern um $1^m{,}95$ und $2^m{,}05$ entfernt ist, so hat man

$$b^3 = \frac{5000\left(\frac{1{,}95 \times 2{,}05}{2} - 0{,}70\right)}{4059000} = 0{,}00160,$$

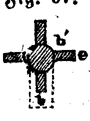
woraus man

$$b = 0^m{,}117,\ e = 0^m{,}039,\ b' = 0^m{,}351 \text{ erhält.}$$

Anmerkung. Gewöhnlich sind gerippte Wellen nur in zwei Punkten belastet.

Gerippte cylindrische Welle.

Fig. 57.



277. Mit den Bezeichnungen der vorhergehenden Nummer hat man in den Formeln der Nr. 271

$$\frac{0{,}589\, b^4 + (b'^3 - b^3)\, e + (b' - b)\, e^3}{b'} \text{ für } b^3$$

und 1250000 für k zu setzen.

Passende Verhältnisse.

278. Nimmt man an

$b' = 3b,\ e = \frac{1}{3}b$, so hat man für b^3 die Formeln in Nr. 271, wo man $k = 3885000$ setzen muß.

Beispiel.

Das Rad in der Spinnerei der Hrn. Schlumberger et Comp. zu Gebweiler wiegt mit dem Wasser, das es aufnehmen kann, 30500 Kilogramm. Sein Gewicht ist zu gleichen Theilen auf zwei Punkte vertheilt, welche $0^m,65$ von den Lagern entfernt sind. Man hat daher

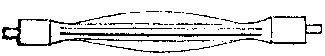
$$P = 15250^k,\ l = 0^m,65 \text{ und damit } b = 0,1365.$$

Der Erbauer, ein Engländer, nahm $b = 0^m,1336$, die Rippen haben die angegebenen Verhältnisse.

Bemerkungen hinsichtlich der Theile der Welle, an denen die Verbindungen geschehen.

279. Bei Anwendung vorstehender Formeln ist zu bemerken, daß der leichtern Verbindung wegen der Theil, auf dem die Last ruht, nicht gerippt wird, sondern ein quadratisches, cylindrisches oder polygonales Profil erhält.

Fig. 58.



Die Dimensionen desselben berechnet man nach den Nrn. 273 und 274. Dann schließt man diesen Theil an den Kern und die Rippen durch eine Pyramide oder einen Kegel und durch Abrundungen an.

Beispiel.

Bei dem Rade der Hrn. Schlumberger et Comp. (letztes Beispiel) ist der Theil, an dem die Verbindungen statt finden, cylindrisch. Man erhält für ihn

$$d^3 = \frac{15250 \times 0,65}{368000} = 0,0269 \text{ und } d = 0^m,299.$$

Der Konstrukteur machte $d = 0^m,258$ nur, allein dieser Theil der Welle trägt 4 kleine Rippen, welche den Keilen zum Feststellen der Hülsen als Leiter dienen, und diese verstärken ihn etwas.

Hohle cylindrische Wellen von Gußeisen.

280. Um leichtere Wellen zu erhalten, nimmt man sie hohl gegossen.

Nennt man **d** den äußern Durchmesser und **d'** den innern, so hat man in den Formeln Nr. 271

$$d^3 - d'^3 \text{ für } b^3 \text{ und}$$
$$k = 368000 \text{ zu setzen.}$$

Allgemein hierbei angenommene Verhältnisse.

281. Es ist gebräuchlich, den innern Durchmesser gleich $^3/_5$ des äußern zu machen, so daß die Wanddicke $= {}^1/_5$ des äußern Durchmessers wird. Dann hat man für d^3 die Formeln Nr. 271, wo $k = 288512$ gesetzt werden muß.

Beispiel.

Eine Hammerradwelle in der Waffenfabrik zu Chatellerault trägt in einer Länge von $2c' = 2^m$, das Gewicht des Rades $= 2P = 21017^k$; die Mitte des belasteten Theils ist $1^m,55$ und $2^m,06$ von den Lagern entfernt, es ist also $2c = 3^m,61$.

Die Formel gibt

$$d^3 = \frac{10508\left(\frac{1,55 \times 2,06}{1,805} - 0,50\right)}{288512} = 0,0462,$$

und $d = 0^m,358$, die Eisenstärke $0^m,0736$.

Körper, die an beiden Enden befestigt sind.

282. Ist ein Körper an beiden Enden unbeweglich befestigt, so ist seine Festigkeit zweimal so groß, als wenn er frei aufliegen würde, und man wendet daher für alle in Nr. 267 bis 281 angegebenen Formen dieselben Formeln an, setzt aber für **P** statt der halben Last die ganze **2P**.

Körper, die der Drehung ausgesetzt sind.

283. Wellen, welche die Bewegung fortpflanzen, sind zuweilen dem Bruch durch Drehung ausgesetzt.

Man berechnet die Dimensionen, welche sie erhalten müssen, um der Drehung zu widerstehen, für Guß- oder Schmiedeisen nach den Formeln:

bei quadratischem Querschnitt . . . . $b^3 = \frac{PR}{382000}$

„ kreisförmigem „ . . . . $d^3 = \frac{PR}{635000}$

Darin bedeutet

P die Kraft, welche den Körper zu drehen sucht,

R den Hebelarm derselben,

b die Seite des quadratischen Querschnitts,

d den Durchmesser des Querschnitts oder den Durchmesser des eingeschriebenen Kreises.

Bemerkung über die Wellen zur Fortpflanzung der Bewegung.

284. Soll man die Dimensionen einer langen Welle, die zur Fortpflanzung der Bewegung dient, angeben, so berechnet man sie zuerst nach Nr. 273 und weiter und dann nach der vorstehenden, auf Drehung bezüglichen Nummer, und nimmt als definitive Dimension das größte beider Resultate.

Röhren mit innerem Druck.

285. Die Stärke der Gas- oder Wasserleitungsröhren rechnet man nach folgenden Formeln:

Röhren von Gußeisen . . . $e = 0{,}0007\,nd + 0{,}01$

„ „ Schmiedeisen . . $e = 0{,}0005\,nd + 0{,}003$

„ „ Blei . . . . . . $e = 0{,}005\,nd + 0{,}0045$

„ „ Holz . . . . . . $e = 0{,}833\,nd + 0{,}027$

„ „ natürlichen Steinen $e = 0{,}05\,nd$

„ „ künstlichen „ $e = 0{,}10\,nd$

Darin bedeutet

d den innern Durchmesser,

e die Dicke der Röhrenwand,

n die Zahl der Atmosphären Druck auf die Röhrenwand.

Man weiß, Nr. 186, daß für die Wandstärke der Kessel der Dampfmaschinen, welche von dem Feuer angegriffen werden, durch eine königliche Ordonnanz eine besondere Regel aufgestellt ist.

Verhältnisse und Dimensionen der Schrauben.

286. Bei Bauten sollen die Schrauben zum Zusammenhalten folgende Verhältnisse erhalten:

Der Kern der Spindel soll höchstens $2^{kil},80$ Spannung auf den Quadratmillimeter erleiden.

Ist

P die Belastung der Schraube,
d der innere Durchmesser in Millimetern,
so hat man

$$d = 0{,}674 \sqrt{P}$$

Den äußern Durchmesser macht man gleich $^{6}/_{5}$ **d**, so daß die Tiefe des Gewindes $^{1}/_{10}$ **d** beträgt.

Die Höhe des Schraubengangs nimmt man $= {}^{1}/_{5}$ **d**.

Wird die Mutter nicht oft aufgeschraubt, so wird ihre Dicke dem äußern Durchmesser der Spindel gleich; sie enthält dann sechs Umgänge.

Muß oft aufgeschraubt werden, so macht man die Mutter $1^{1}/_{3}$mal so dick, als der äußere Durchmesser der Spindel groß ist, oder $^{8}/_{5}$ **d**.

Diese Verhältnisse passen eben so auf dreieckige wie auf viereckige Schrauben.

Stärke der Widerlager für halbkreisförmige Gewölbe.

287. Die Dicke, welche man den Widerlagern halbkreisförmiger Gewölbe zu geben hat, findet man in folgender Tafel *).

Durchmesser der Bögen.	Dicke des Schlußsteins.	Dicke der Widerlager bei einer Höhe von								
		0^m	1^m	2^m	3^m	4^m	5^m	6^m	7^m	8^m
m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
1	0,36	0,36	0,47	0,56	0,61	0,64	0,67	0,70	0,73	0,76
2	0,40	0,40	0,61	0,74	0,82	0,87	0,92	0,95	0,98	1,00
3	0,43	0,43	0,70	0,84	0,97	1,04	1,10	1,16	1,19	1,21
4	0,46	0,48	0,79	0,97	1,10	1,20	1,25	1,30	1,35	1,39
5	0,49	0,55	0,89	1,08	1,22	1,34	1,40	1,47	1,51	1,56
6	0,53	0,64	1,00	1,18	1,35	1,48	1,57	1,66	1,72	1,76
7	0,56	0,72	1,09	1,29	1,45	1,60	1,70	1,78	1,87	1,92
8	0,59	0,83	1,19	1,39	1,57	1,72	1,85	1,95	2,04	2,10
9	0,63	0,91	1,26	1,49	1,69	1,84	1,97	2,09	2,19	2,25
10	0,67	1,00	1,36	1,59	1,81	1,96	2,10	2,23	2,33	2,41
11	0,70	1,10	1,45	1,69	1,92	2,08	2,23	2,35	2,47	2,55
12	0,74	1,19	1,54	1,78	2,01	2,19	2,34	2,48	2,60	2,69
13	0,77	1,28	1,63	1,87	2,12	2,29	2,45	2,60	2,73	2,82
14	0,80	1,37	1,73	1,96	2,22	2,39	2,57	2,71	2,84	2,94
15	0,84	1,46	1,82	2,04	2,30	2,49	2,66	2,82	2,96	3,06
16	0,88	1,56	1,92	2,14	2,39	2,59	2,78	2,93	3,08	3,17
17	0,92	1,66	2,02	2,23	2,48	2,69	2,89	3,05	3,18	3,28
18	0,96	1,76	2,11	2,33	2,58	2,79	3,00	3,15	3,29	3,39
19	1,00	1,86	2,20	2,42	2,68	2,89	3,09	3,24	3,39	3,50
20	1,04	1,96	2,30	2,50	2,78	2,99	3,19	3,34	3,50	3,61
25	1,20	2,40	2,72	2,97	3,21	3,47	3,68	3,89	4,05	4,18
30	1,36	2,85	3,13	3,38	3,62	3,87	4,12	4,35	4,54	4,71
35	1,53	3,28	3,58	3,82	4,08	4,35	4,58	4,82	5,03	5,22
40	1,69	3,70	3,99	4,26	4,54	4,81	5,05	5,29	5,51	5,72
45	1,86	4,10	4,41	4,70	4,98	5,26	5,71	5,76	5,99	6,22
50	2,06	4,52	4,82	5,12	5,40	5,70	5,97	6,23	6,47	6,72
55	2,25	4,94	5,25	5,54	5,88	6,14	6,44	6,71	6,96	6,73

*) Diese und die 2 folgenden Tafeln sind aus dem **Récueil de tables à l'usage des ingénieurs**, des verstorbenen **Génieys** entlehnt.

Stärke der Widerlager für ein um 1/3 gedrücktes Gewölbe.

288. Die Dicken, welche man den Widerlagern dieser Gewölbe zu geben hat, findet man in folgender Tafel.

Spannweite.	Dicke im Schlußstein.	Dicke der Widerlager bei einer Höhe derselben von								
		0m	1m	2m	3m	4m	5m	6m	7m	8m
m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
1	0,38	"	0,53	0,63	0,67	0,71	0,73	0,75	0,78	0,81
2	0,43	"	0,76	0,90	0,95	1,00	1,03	1,06	1,10	1,14
3	0,50	"	0,90	1,08	1,20	1,29	1,34	1,39	1,42	1,45
4	0,56	0,58	1,07	1,28	1,42	1,53	1,59	1,64	1,68	1,72
5	0,61	"	1,20	1,49	1,63	1,75	1,82	1,88	1,94	1,99
6	0,67	"	1,30	1,60	1,80	1,95	2,05	2,10	2,18	2,24
7	0,70	"	1,41	1,74	1,99	2,12	2,24	2,33	2,42	2,50
8	0,73	"	1,51	1,89	2,12	2,29	2,43	2,54	2,66	2,73
9	0,79	"	1,58	2,00	2,26	2,47	2,60	2,72	2,85	2,95
10	0,84	"	1,68	2,14	2,40	2,62	2,80	2,94	3,07	3,18
11	0,90	"	1,76	2,26	2,54	2,79	2,99	3,12	3,26	3,37
12	0,95	"	1,84	2,39	2,69	2,96	3,13	3,29	3,45	3,56
13	1,00	"	1,95	2,52	2,83	3,11	3,30	3,49	3,62	3,77
14	1,05	"	2,04	2,63	2,98	3,26	3,47	3,62	3,78	3,92
15	1,10	"	2,15	2,76	3,10	3,39	3,61	3,80	3,97	4,10
16	1,15	"	2,25	2,90	3,18	3,49	3,73	3,92	4,10	4,24
17	1,20	"	2,42	3,01	3,32	3,63	3,89	4,08	4,27	4,44
18	1,25	"	2,51	3,13	3,48	3,75	4,00	4,23	4,42	4,58
19	1,30	"	2,65	3,24	3,59	3,87	4,13	4,37	4,57	4,72
20	1,35	"	2,77	3,35	3,72	4,00	4,25	4,50	4,70	4,90
25	1,60	"	3,33	3,90	4,28	4,59	4,86	5,13	5,35	5,58
30	1,85	"	3,89	4,45	4,85	5,17	5,47	5,75	6,00	6,26
35	2,08	"	4,45	5,00	5,41	5,76	6,07	6,38	6,65	6,94
40	2,35	"	5,02	5,55	5,97	6,34	6,68	7,00	7,30	7,63
45	2,58	"	5,58	6,10	6,54	6,93	7,29	7,63	7,94	8,31
50	2,83	"	6,14	6,65	7,10	7,51	7,89	8,25	8,59	8,99
55	3,11	6,15	6,70	7,20	7,66	8,10	8,50	8,88	9,24	9,57
80	4,36	"	"	"	"	11,04	"	"	"	"
100	5,03	"	"	"	"	13,02	"	"	"	"

Bemerkung über den Gebrauch vorstehender Tafeln.

289. Die vorstehenden Tafeln sind aus denen abgeleitet, die Sganzin in seinem Kurs der Konstruktionen gegeben hat; sie sind auf decimale Dimensionen durch die Methode der graphischen Interpolation zurückgeführt, was hinreichend genau ist.

Wie die Originaltafeln, geben sie die Dimensionen fürs Gleichgewicht unter der Voraussetzung, daß das Gewölbe bis zur äußern Gewölblinie hintermauert sei, und daß die Höhe der Widerlager von der Gründung bis zum Anfange des Gewölbes gemessen sei. Die Dimensionen, welche sie geben, müssen daher, um eine hinreichende Stabilität zu erhalten, in der Dicke vermehrt werden, nämlich: bei kleinen Halbkreisbögen nur mit 2 Vorsprüngen von $0^m,06$, jeder: bei Bögen mit Spannweiten über 12^m, außer den Vorsprüngen mit $0^m,16$, und bei großen Bögen mit $0^m,33$ bis $0^m,50$ im schlimmsten Fall. Wird das Gewölbe noch $0^m,41$ höher belastet, als hier angenommen, so muß man die Dicke der Widerlager noch weiter vermehren, und zwar um $0^m,18$ bei kleinen, $0^m,10$ bei mittlern und $0^m,06$ bei großen Bögen.

Für auf $^1/_3$ gedrückte Bögen muß man der Dicke der Widerlager noch $0^m,27$ bei kleinen, $0^m,20$ bei mittleren und $0^m,16$ bei großen Bögen zusetzen, wenn sie $0^m,41$ hoch über die äußere Gewölblinie belastet sind.

Stärke der Futtermauern.

290. Man nimmt die Dicken der Futtermauern aus folgender Tafel:

	Gewöhnliche Gartenerde, 1110 Kil. der Kubikmeter.	Thonige Erde, 1240 Kil. der Kubikmeter.	Erde mit großen Kieseln, 1650 Kil. der Kubikm.	Erde mit kleinen Kieseln, 1460 Kil. der Kubikm.	Sand, 1343 Kil. der Kubikmeter.	Schutt, Gerölle 2c., 1750 Kil. der Kubikmeter.	Letten, 1578 Kil. der Kubikmeter.	Bemerkungen.
Mauer von Backsteinen, der Kubikmeter wiegt 1750 Kilogramm	$x = 0,16h$	$x = 0,17h$	$x = 0,19h$	$x = 0,19h$	$x = 0,33h$	$x = 0,24h$	$x = 0,54h$	In dieser Tafel bedeutet h die Höhe der Mauer und x die gleichförmige Dicke, die man ihr geben muß, wenn sie mit dem Erddruck im Gleichgewicht seyn soll. Die Erde geht bis ins obere Niveau der Mauer.
Mauer aus Bruchsteinen, der Kubikmeter wiegt 2160 Kilogramm	$x = 0,15h$	$x = 0,16h$	$x = 0,17h$	$x = 0,17h$	$x = 0,30h$	$x = 0,22h$	$x = 0,49h$	
Mauer aus gehauenen Steinen, der Kubikmeter wiegt 2715 Kil.	$x = 0,13h$	$x = 0,14h$	$x = 0,16h$	$x = 0,15h$	$x = 0,26h$	$x = 0,17h$	$x = 0,44h$	
Mauer aus Geröllen, der Kubikmeter wiegt 2362 Kilogramm .	$x = 0,14h$	$x = 0,15h$	$x = 0,17h$	$x = 0,16h$	$x = 0,30h$	$x = 0,21h$	$x = 0,47h$	
Mauer aus Backsteinen und Bruchsteinen, der Kubikmeter wiegt 1955 Kilogramm	$x = 0,16h$	$x = 0,17h$	$x = 0,18h$	$x = 0,18h$	$x = 0,32h$	$x = 0,23h$	$x = 0,51h$	
Mauer von Backsteinen	$x' = 0,12h$	$x' = 0,13h$	$x' = 0,15h$	$x' = 0,15h$	$x' = 0,29h$	$x' = 0,19h$	$x' = 0,50h$	In dieser Tafel ist vorausgesetzt, die Mauer erhalte eine Böschung von $\frac{1}{2}$ h, und x' sei die obere Dicke derselben.
" " Bruchsteinen . . .	$x' = 0,10h$	$x' = 0,11h$	$x' = 0,14h$	$x' = 0,13h$	$x' = 0,26h$	$x' = 0,17h$	$x' = 0,44h$	
" " gehauenen Steinen .	$x' = 0,08h$	$x' = 0,09h$	$x' = 0,11h$	$x' = 0,11h$	$x' = 0,23h$	$x' = 0,14h$	$x' = 0,39h$	
" " Geröllen	$x' = 0,09h$	$x' = 0,10h$	$x' = 0,12h$	$x' = 0,12h$	$x' = 0,25h$	$x' = 0,15h$	$x' = 0,42h$	
" " Back- u. Bruchsteinen	$x' = 0,11h$	$x' = 0,12h$	$x' = 0,14h$	$x' = 0,14h$	$x' = 0,28h$	$x' = 0,18h$	$x' = 0,47h$	
Trockne Mauer, der Kubikmeter wiegt 1460 Kilogramm . . .	$x' = 0,22h$	$x' = 0,24h$	$x' = 0,26h$	$x' = 0,26h$	$x' = 0,37h$	" "	" "	

Beobachtungsresultate über den Nutzeffekt der Maschinen.

In den folgenden Tafeln sind verschiedene Resultate über den Nutzeffekt der Menschen und Thiere, der Wasserschöpfapparate und über die Menge der Arbeit, welche von den bewegenden Maschinentheilen auf die Maschinen für verschiedene Fabrikationen übertragen werden muß, zusammengestellt. Diese Resultate sind weder so zahlreich, noch so vollständig als wünschenswerth erscheint; allein wenn die Offiziere und Ingenieure, welche dieses Buch lesen, ihre eigenen Beobachtungen über die zur Berechnung verschiedener Anlagen erforderlichen Daten dem Verfasser mittheilen wollten, so würde er dadurch in den Stand gesetzt, diese Tafeln zu vervollständigen und den Praktikern nützlicher zu machen.

291. Erfahrungsresultate über die Größe der Arbeit, welche der Mensch und die Thiere liefern können.

Art der Arbeit.	Erhobenes Gewicht oder mittlere Kraft.	Geschwindigkeit oder Weg in der Sekunde.	Arbeit in der Sekunde.	Tägliche Arbeitszeit.	Größe der Arbeit in 1 Tag.
Vertikale Erhebung von Gewichten.	kil	m	km	h	km
Ein Mensch steigt eine sanfte Stiege oder eine Treppe ohne Last hinauf, er erhebt nur sein eigen Gewicht	65	0,15	9,75	8	280800
Ein Arbeiter zieht ein Gewicht an einem Seil über eine Rolle in die Höhe; das andere Seilende sinkt leer abwärts	18	0,20	3,60	6	77760
Ein Arbeiter hebt Gewicht frei mit der Hand in die Höhe. . . .	20	0,17	3,40	6	73440
Ein Arbeiter trägt Gewicht auf seinen Schultern über ein Gerüste oder eine Treppe und geht leer zurück	65	0,04	2,60	6	56160
Ein Arbeiter führt Materialien mit einem Schiebkarren über eine 1/12 steigende Anfahrt und geht leer zurück	60	0,02	1,20	10	43200
Ein Arbeiter hebt Erde mit der Schaufel auf die mittlere Höhe $1^m,60$	2,7	0,40	1,08	10	38880
Wirkung bei Maschinen.					
Ein Arbeiter an einem Spill- oder in einem Laufrad.					
1° im Niveau der Axe	60	0,15	9,00	8	259200
2° im untern Theil des Rades, unter 24°.	12	0,70	8,40	8	251120
Ein Arbeiter geht drückend oder ziehend horizontal	12	0,60	7,20	8	207360
Ein Arbeiter dreht eine Kurbel .	8	0,75	6,00	8	172800
Ein Arbeiter abwechselnd vertikal auf- und abdrückend	5	1,10	5,50	8	158400
Ein Pferd an einem gewöhnlichen Fuhrwerk, im Schritt . . .	70	0,90	63,00	10	2168000
Ein Pferd am Göpel, im Schritt gehend	45	0,90	40,50	8	1166400
Ebenso, im Trab	30	2,00	60,00	4,5	972400
Ein Ochs am Göpel, im Schritt	65	0,60	39,00	8	1123200
Ein Maulesel am Göpel, im Schritt	30	0,90	27,00	8	777600
Ein Esel am Göpel, im Schritt .	14	0,80	11,60	8	334080

292. Erfahrungsresultate über den Nutzeffekt des Menschen und der Thiere bei horizontaler Fortschaffung von Lasten.

Art der Fortschaffung.	Fortgeschafftes Gewicht.	Geschwindigkeit, oder Weg in der Sekunde.	Nutzeffekt in der Sekunde, oder auf 1 Meter fortgeschaffte Kil.	Tägliche Arbeitszeit.	Nutzeffekt im Tage.
	kil	m	km		
Ein Mann geht auf einem horizontalen Weg ohne Last, bewegt nur sein eigenes Gewicht . .	65	1,50	97,5	10,0	3510000
Ein Arbeiter führt Materialien in einem kleinen zweiräderigen Karren, und geht leer zurück .	100	0,50	50,0	10,0	1800000
Ein Arbeiter führt Materialien in einem Schiebkarren, und geht leer zurück um neue Lasten zu holen	60	0,50	30,0	10,0	1080000
Ein Reisender trägt eine Last auf dem Rücken	40	0,75	30,0	7,0	756000
Ein Arbeiter trägt Materialien auf dem Rücken, und geht leer zurück um neue zu holen . . .	65	0,50	32,5	6,0	702000
Ein Arbeiter trägt auf einer Bahre und geht leer zurück um neue Lasten zu holen	50	0,33	16,5	10,0	594000
Ein Pferd zieht einen Karren im Schritt, bei fortwährender Belastung	700	1,10	770,0	10,0	27720000
Ein Pferd an einem Fuhrwerk im Trab, bei fortwährender Belastung	350	2,20	770,0	4,5	12474000
Ein Pferd schafft Lasten auf einem Karren fort, geht leer zurück um neue zu holen	700	0,60	420,0	10,0	15120000
Ein Pferd trägt auf dem Rücken und geht im Schritt	120	1,10	132,0	10,0	4752000
Ein Pferd auf dem Rücken belastet im Trab	80	2,20	176,0	7,0	4435000

293. Erfahrungsresultate über den Nutzeffekt bei verschiedenen Arten Wasser zu heben.

Anmerkung. Der Nutzeffekt ist durch das Produkt aus dem Gewichte der gehobenen Wassermenge in die Förderungshöhe ausgedrückt.

Art der Erhebung.	Nutzeffekt.	Verhältniß des Nutzeffekts zur Arbeit der bewegenden Kraft.
	km	
Ein Mann mit einem leichten Eimer, bei achtstündiger Arbeit	46000	
Ein Mann mit einer gewöhnlichen Wurfschaufel, achtstündige Arbeit	48000	
Schwungschaufeln. Ein Mann arbeitet 8 Stunden	120000	
Eimer an einem Hebel. Ein Mann arbeitet 8 Stunden, der Brunnen hat 2 — 3m Tiefe . . .	60000	
4 — 5m Tiefe . . .	70000	
Eimer an einem Seil über einer Rolle. Ein Mann arbeitet 8 Stunden.	77000	
Sehr tiefer Brunnen. Ein Seil über einer Welle mit Schwungrad und Kurbel. Ein Mann arbeitet 8 Stunden	170000	
Göpel in 8 Stunden,		
ein Mann.	200000	
ein Pferd oder Maulesel	1166000	
ein Ochs	1120000	
ein Esel	334000	
Schaufelwerk, in 8 Stunden Arbeitszeit,		
ein Mann an einer Kurbel, die nicht über 30 Umdrehungen in einer Minute machen darf . . .	68000	
ein Pferd	449000	0,38
Die Geschwindigkeit der Schaufeln darf nicht über 1m,50 in 1′ betragen.		
Paternosterwerk, 8 Stunden Arbeit,		
ein Mann an der Kurbel.	115000	
ein Pferd	647000	
Noria von Gateau verbessert.		
Das Verhältniß des Nutzeffekts zum Kraftaufwand ändert sich mit der Höhe, in welcher die Maschine das Wasser ausgießt.		

Art der Erhebung.	Nutzeffekt.	Verhältniß des Nutzeffekts zur Arbeit der bewegenden Kraft.
	mk	
Für Höhen von 1^m ist er gleich	. . .	0,48
" " " 2^m " " "	. . .	0,57
" " " 3^m " " "	. . .	0,63
" " " 4^m " " "	. . .	0,66
" " " 6^m " " "	. . .	0,70
Noria von Burel, achtstündige Arbeit,		
ein Pferd	671000	
ein Esel	334000	0,58
Chinesisches Rad, durch Menschen auf einem Tretrad in der Höhe der Axe bewegt; ein Mann in 8 Stunden	144864	0,58
Das Wasser wird wenigstens 0^m,50 bis 0^m,60 über das Niveau des Reservoirs erhoben.		
Schöpfrad (à tympan) durch Menschen in einem Laufrad bewegt; ein Mann in 8 Stunden Arbeitszeit	211000	0,80
Eimer-Rad	"	0,60
Rad mit ebenen Schaufeln in einem kreisförmigen Gerinne, **Flashwheel** genannt	. . .	0,70
Archimedische Schnecke, in 8 Stunden ein Mann	100000	0,70—0,75
Der äußere Durchmesser ist gewöhnlich $^1/_{12}$ der Länge der Schraube, der Durchmesser der Spindel ist $^1/_3$ des äußern Durchmessers. Sie soll 3 ganze Schraubengänge haben, die mit der Axe einen Winkel von 67 bis 70° machen. Die vortheilhafteste Neigung der Schraubenaxe gegen den Horizont liegt zwischen 30 und 45°.		
Hydraulischer Widder. Die Resultate dieser Maschine hat Eytelwein mit vieler Sorgfalt beobachtet; sie sind in folgender Tafel enthalten.		

Anzahl der Schläge des Sperrventils.	Ausgeflossene Wassermenge.	Höhe des Falls.	Absolute Kraft des Wassers.	Erhobene Wassermenge.	Förderungshöhe.	Nutzeffekt.	Verhältniß des Nutzeffekts zur Arbeit des Wassers.
	Liter	m	km	Liter	m	km	
66	48,4	3,066	148,0	15,40	8,02	123,5	0,835
54	63,5	3,099	196,5	17,42	9,86	172,0	0,875
50	54,6	3,027	165,0	11,92	11,78	140,3	0,851
52	37,1	2,437	90,2	7,67	9,86	75,6	0,840
45	49,8	2,661	135,0	9,52	11,78	112,0	0,830
42	45,1	2,262	102,0	6,82	11,78	80,3	0,787
36	40,4	1,843	74,4	4,78	11,78	56,3	0,755
26	23,8	1,386	33,0	2,25	9,86	22,2	0,667
31	36,6	1,543	56,4	3,20	11,76	37,6	0,667
23	50,5	1,255	63,4	2,95	11,78	34,7	0,547
17	49,1	0,915	44,8	2,18	9,81	21,4	0,477
15	56,1	0,981	55,0	1,65	11,78	19,4	0,353
14	54,8	0,758	41,6	1,00	11,78	11,8	0,284
10	44,6	0,601	26,8	0,41	11,78	4,8	0,179

Eytelwein gibt folgende Verhältnisse als die für die Konstruktion hydraulischer Widder passendsten an.

Die Länge der Leitröhre soll der Steighöhe mehr dem doppelten Werth des Verhältnisses des Falls u. der Förderungshöhe gleich seyn.

Der Durchmesser dieser Röhre soll 1,7mal die Quadratwurzel aus dem Volum der verbrauchten Wassermenge seyn; was damit übereinstimmt, dem Wasser eine Geschwindigkeit von $1^m,82$ in der Sekunde zu lassen; der Durchmesser der Steigröhre soll der Hälfte des Durchmessers der Leitröhre gleich seyn. Die Steigröhre soll oben nicht umgebogen seyn.

Die beiden Ventile sollen möglichst nahe beisammen liegen. Im Allgemeinen sind Scheibenventile den Klappen vorzuziehen, doch kann man diese bei Röhren von $0^m,30$ Durchmesser und darüber anwenden.

Die Oeffnung des Sperrventils soll dem Querschnitt der Leitröhre gleich seyn. Das Steigventil soll die nämliche Oberfläche haben. Diese Ventile sollen möglichst leicht seyn.

Es ist hinreichend, wenn der Windkessel an Inhalt der Leitröhre gleich ist.

Bewegende Maschinen und angewendete Apparate.	Nutzeffekt.	Verhältniß des Nutzeffekts zur Arbeit der bewegenden Kraft.
Wassersäulmaschinen von Reichenbach. .	km —	0,50
Kunstsätze in den Gruben.		
Resultat von 8 Maschinen mit niederm Druck zu Anzin und der Pumpe zu Gros-Caillou	—	0,66
Anmerkung. Man nimmt hier für die entwickelte Arbeit der Kraft die, welche die Maschine zu Nutzen bringt, und es ist zu bemerken, daß lange Steigröhren bedeutende Verluste herbeiführen.		
Pumpe auf der Saline zu Dieuze.		
Der Nutzeffekt des Wasserrades ist. . . 228^{km} Der Nutzeffekt der Pumpe . . . . . 115^{km}	. . . . .	0,523
Die erhobene Wassermenge nimmt $^4/_5$ des vom Kolben durchlaufenen Raums ein.		
Die Länge der Leitröhren für das süße Wasser ist 361^m und ihr Durchmesser 0^m,06.		
Die Länge der Röhren für die Soole ist 636^m und ihr Durchmesser 0^m,106.		
Die Soole wird nur auf 16 bis 18^m Höhe gefördert.		

Bei Anordnung von Pumpen hat man folgende Regeln zu beobachten:

Die Geschwindigkeit der Kolben soll zwischen 0^m,16 und 0^m,25 in der Sekunde betragen.

Die Oeffnung der Ventile soll ungefähr die Hälfte des Stiefelquerschnitts seyn.

Die Durchmesser der Saugröhre und der Leitröhre sollen = $^2/_3$ vom Durchmesser des Stiefels seyn.

Der Kolbenhub bei großen Pumpen soll 1^m bis 1^m,50 seyn.

Der schädliche Raum soll so klein als möglich seyn.

Bei gut erhaltenen Pumpen vermindern die Verluste durch das schlechte Schließen und wegen der Dauer des Schließens der Klappen die geförderte Wassermenge gewöhnlich auf $^4/_5$ von der aus dem Querschnitt des Kolbens und seinem Gang berechneten.

294. Erfahrungsresultate über die Maschinen bei verschiedenen Fabrikationszweigen.

Art der Maschinen und allgemeine Daten.	Größe der Arbeit der bewegenden Maschine *)	Kraft der bewegenden Maschine nach Pferden.
Mahlmühlen.	km	
Alte französische Mühle zu Senelles bei Longwy.		
Durchmesser der Mühlsteine . . . . . 1,^{m}78		
Zahl der Umdrehungen der Steine in 1′ . 70		
Die Steine waren frisch gehauen, das Mahlen sehr beschleunigt, zur Bereitung der Lebensmittel für den Krieg bestimmt; die Produkte gebeutelt.		
Quantität des in 1 Stunde erhaltenen Mehls 118^{k},50	252	3,34
Englische Mühle zu Lonjau bei Metz.		
Durchmesser der Steine . . . . . . 1^{m},30		
Zahl der Umläufe der Steine in 1′ . . 80 bis 100		
Gewicht der Mühlsteine . . . . . . 1000^{kil}		
Quantität des in 1 Stunde von einem Gang erhaltenen Mehls . . . . 100^{kil}		
Bewegte Maschinen { zwei Mahlgänge . . . . ein Bürstenbeutelwerk . . . ein Tarare	637	8,50
Englische Mühle zu Regret bei Verdun.		
Durchmesser der Mühlsteine . . . . . 1^{m},30		
Zahl der Umläufe in 1′ 90		
Mehlquantum in 1 Stunde bei einem Mahlgang 100^{kil}		
Bewegte Maschinen. — Zwei Mahlgänge	422	5,64
Nebenmaschinen in der Getreidemühle zu Regret bei Verdun.		
Thätige Maschinen { zwei Bürsten, ein Tarare.		
Gebeuteltes Mehl in 24 Stunden durch ein Beutelwerk . . . . 750^{kil}	486	6,50
Nudelfabrik zu Ars bei Metz.		
Durchmesser des vertikalen Mühlsteins { außen 1^{m},70 innen 1^{m},60		
Umläufe in 1′ 4		
Gewicht des in 1 Stunde bereiteten Teigs . 35^{kil}	221	2,95

*) Es ist ohne Zweifel überflüssig, zu bemerken, daß unter der Arbeit der bewegenden Maschine ihr Nutzeffekt verstanden sei. So ist es bei einem Wasserrade die wirklich fortgepflanzte Arbeit (Nr. 85 bis 106), bei einer Dampfmaschine, die auf die Welle des Schwungrads fortgepflanzte (Nr. 169 bis 180).

Art der Maschinen und allgemeine Daten.	Größe der Arbeit der bewegenden Maschine.	Kraft der bewegenden Maschine nach Pferden.
	km	
Sägmühlen.		
Säge der Mühle mit drei Gängen zu Metz mit Krummzapfen und Schwungrädern.		
Die Bewegung wird der Welle des Krummzapfens durch einen Riemen mitgetheilt.		
Gewicht des Gatters 383kil		
Erste Beobachtung. Das gesägte Holz ist trockne Eiche von 0m,222 Höhe.		
Zahl der Sägblätter 1		
Zahl der Schnitte in 1′ 88		
Schnittfläche in 1′ 0mq,0488	249	3,33
Zweite Beobachtung. Dasselbe Holz.		
Zahl der Sägblätter 4		
Zahl der Schnitte jeder Säge 79		
Schnittfläche in 1′ 0mq,161 oder für jedes Blatt 0mq,04025	277	3,70
Dritte Beobachtung. Das geschnittene Holz ist vor vier Jahren gefällte Eiche, und von 0m,315 Höhe.		
Zahl der Sägblätter 4		
Zahl der Schnitte jedes Blatts in 1′ . . 90		
Schnittfläche in 1′ 0mq,131 oder für jedes Blatt 0mq,033	337	4,50
Vierte Beobachtung. Das geschnittene Holz ist eine vor einem Jahr gefällte Buche, cylindrisch von 0m,60 mittlerem Durchmesser.		
Zahl der Sägblätter 1		
Zahl der Schnitte in 1′. 88		
Schnittfläche in 1′ 0mq,090	225	3,00
Bei den vorstehenden Beobachtungen machte die gewalzte Stahlsäge einen Schnitt von 0m,004 Breite.		
Diese Resultate zeigen, wie wenig mehr Kraft erfordert wird, wenn man statt eines, mehrere Sägenblätter einsetzt; was von dem bedeutenden Gewichte des Gatters herrührt.		
Circularsäge in der Mühle mit drei Gängen zu Metz.		
Durchmesser der Säge 0m,70		
Erste Beobachtung. Ein Jahr gefälltes Eichenholz von 0m,222 Höhe.		

Art der Maschinen und allgemeine Daten.	Größe der Arbeit der bewegenden Maschine.	Kraft der bewegenden Maschine nach Pferden.
	km	
Zahl der Umläufe der Säge in 1′ . . . 266		
Schnittfläche in 1′. . . . . $0^{mq},18$	266	3,55
Zweite Beobachtung. Tannene Bretter, trocken, $0^{m},25$ breit und $0^{m},027$ dick.		
Zahl der Umläufe in 1′ 244		
Schnittfläche in 1′. . . . . $0^{mq},75$	552	7,35
Anmerkung. Hieraus sieht man, wie eine Circularsäge bei kleinem Holz wenigstens so viel ausführt, als vier vertikale Sägen in derselben Zeit und bei derselben Kraft.		
Man wird bemerken, daß bei diesen Angaben die Schnittfläche das Produkt aus der Höhe des Holzes in die gesägte Länge ist, und nicht die Summe der beiden erhaltenen Flächen, was man gewöhnlich beim Verkauf des Holzes angibt.		
Furniersäge.		
Länge des Sägenhubs . . . . $1^{m},20$		
Dicke { des Holzblattes . . . . . $0^{m},00033$		
Dicke { des Sägenschnitts . . . . $0^{m},00060$		
Länge der Zähne für Acajou und andere kostbare Hölzer . . . . $0^{m},005$		
Zwischenraum zwischen den Zähnen nach der Länge der Säge . . . . $0^{m},010$		
Größe, um welche das Holz nach jedem Schnitte fortschreitet . . $0^{m},0005$ bis $0^{m},0010$		
Zahl der Schnitte in 1′ 180		
Schnittfläche in 1^{h} (beide Flächen gerechnet) 10^{mq}	50	0,66
Maschinen zum Rauhen der Tücher.		
Manufaktur zu Sedan; Etablissement *de la Vierge.*		
Zahl der Rauhmaschinen, durch eine Dampfmaschine betrieben 50	1500	20,00
Zahl der Maschinen für jede Pferdskraft . . 2,46		
Drei Pferde an einem Göpel treiben vier Rauhmaschinen	100—120	1,33—1,6
Vier Menschen an einer Kurbel treiben eine Rauhmaschine	24	0,33

Art der Maschinen und allgemeine Daten.	Größe der Arbeit der bewegenden Maschine.	Kraft der bewegenden Maschine nach Pferden.
	km	
Etablissement der Esplanade zu Sedan.*)		
Zahl der Rauhmaschinen, die durch eine Dampfmaschine getrieben werden 19	536	7,15
Zahl der Maschinen auf eine Pferdskraft . . 2,66		
Mechanische Baumwollenweberei zu Broque (*Vosges*).		
Anzahl und Art der vom Rad getriebenen Maschinen.		
Webstühle 260		
Maschinen zum Appretiren 15		
Bobbinetstühle 5		
Scheermaschinen 8		
Kleine Pumpen 6	1500	20,00
Produkt in einem Monat . . . . 86400 Meter	1800	24,00
Zahl der Webstühle mit Nebenmaschinen auf eine Pferdskraft 12		
Baumwollenspinnerei.		
Zu Logelbach bei Colmar.		
Anzahl und Art der vom Wasserrad bewegten Maschinen.		
Spinnmaschinen mit 320 bis 400 Spindeln 80		
Carden 86		
Bänke, mit 88 Spindeln jede 8		
Grobspindelbänke 6		
Streckbänke 5		
Summe aller Spindeln von Nr. 26 bis 30 28000	3535	47,25
Anzahl der Spindeln, welche mit den Nebenmaschinen von 1 Pferdskraft getrieben werden 593		
Zu Rothau (*Vosges*).		
Zahl der Spindeln, welche nebst den zugehörigen Maschinen von dem Rad getrieben werden 11000	2193	29,20
Zahl der Spindeln von Nr. 28 bis 60 auf eine Pferdskraft 377		
Anmerkung. In diesem Etablissement sind die Bewegungsmittheilungen nicht zweckmäßig eingerichtet.		
Zu Schirmeck (*Vosges*).		
Zahl und Art der vom Rad bewegten Maschinen.		

*) Diese und die vorhergehende Beobachtung ist von Poncelet.

Art der Maschinen und allgemeine Daten.		Größe der Arbeit der bewegenden Maschine.	Kraft der bewegenden Maschine nach Pferden.
		km	
Doppelte Carden	10		
Einfache Carden	46		
Wattenmaschinen	5		
Laternenbänke	5		
Feinspindelbänke	3		
Feinspinnmaschinen	60		
Summe aller Spindeln von Nr. 36 bis 80	14634	2100	28,00
Zahl der Spindeln von Nr. 36 bis 80, welche nebst den zugehörigen Maschinen von einer Pferdskraft bewegt werden	520		
Zu Senones (*Vosges*).			
Zahl der Spindeln von Nr. 40 bis 50, welche mit den zugehörigen Maschinen von dem Rade bewegt werden	15600	2060	27,40
Auf eine Pferdskraft kommen	547		
Zu Mühlhausen.			
Zahl der mit den zugehörigen Maschinen bewegten Spindeln	12800	1875	25,00
Auf eine Pferdskraft kommen	512		
Zu Massevaux (*Haut-Rhin*).			
Bewegte Maschinen.			
Feinspindeln	13000		
Webstühle	25		
Maschinen zum Appretiren	25		
Spindeln der Bobbinetstühle	1450	2250	30,00
Anmerkung. Rechnet man 500 Spindeln auf die Pferdskraft, so braucht man für 13000 Spindeln . . . 16 Pferdekräfte für 25 Webstühle und 2 Appreturmaschinen, welche hierzu erfordert werden . . . 2 " so blieben für die 23 andern Appreturmaschinen . . . 7 " Summe . 25			
Daraus erhält man für 1 Pferdskraft . . . Appreturmaschinen.	3,28		
Zu Gebweiler (*Haut-Rhin*).			
Zahl der mit den zugehörigen Maschinen vom Wasser-			

Art der Maschinen und allgemeine Daten.	Größe der Arbeit der bewegenden Maschine.	Kraft der bewegenden Maschine nach Pferden.
	km	
rad bewegten Spindeln (die Hälfte spinnt Nr. 30 bis 50, die andern 50 bis 100) 23000	3600	48,00
Davon kommen auf 1 Pferdskraft 480		
Anmerkung. Treibt in dieser Fabrik das Rad alle Mittheiler der Bewegung, so ist sein Nutzeffekt 1110^{km} oder 14,8 Pferdskräfte. — Die Pferdskraft überwindet also die passiven Widerstände von 1554 Spindeln und den zugehörigen Maschinen oder die passiven Widerstände von 500 Spindeln erfordern 0,322 Pferdkräfte zu ihrer Ueberwindung.		
Aus allen diesen Resultaten kann man schließen, daß die Pferdskraft von 75^{km} bewegen kann		
450 bis 500 Spindeln mit den zugehörigen Maschinen.		
12 Webstühle.		
3,28 Appreturmaschinen.		
Papiermühlen.		
Papiermühle mit Stampfern zu Ars bei Metz.		
Gewicht der Stampfer . . . . 110^{kil}		
Entfernung ihres Schwerpunkts von der Rotationsaxe . . . . 1^{m},25		
Erhebung des Schwerpunkts beim Hub . 0^{m},088		
Zahl der Stampfer 16		
Zahl der Hübe in 1′ { für jeden Stampfer 55		
Zahl der Hübe in 1′ { für alle Stampfer 880		
Gewicht der in 12 Stunden von einem Stampfer zertheilten Lumpen . . . . 15^{k}		
Gewicht des in 12 Stunden produzirten Zeugs 10^{k}	202	2,70
Nutzeffekt, der jedem Hub eines Stampfers entspricht $110 \times 0{,}088 = 9^{km}{,}68$		
Arbeit der bewegenden Maschine hierzu $\frac{202 \times 60}{880} = 13^{km}{,}79$		
Holländer zur Bereitung der Papiermasse zu Ars.		
Zahl der bewegten Holländer 2		
Zahl der Umläufe in 1′ 220		
Gewicht der zerrissenen Lumpen in 12 Stunden 240^{k}	336	4,48
Das Zeug ist von mittlerer Qualität.		

Art der Maschinen und allgemeine Daten.	Größe der Arbeit der bewegenden Maschine.	Kraft der bewegenden Maschine nach Pferden.
	km	
Andere Holländer zu Ars.		
Zahl der Holländer 2		
Zahl ihrer Umläufe in 1′ 220		
Gewicht der verarbeiteten Lumpen 200 bis 225kil	415	5,54
Zu Vasselonne (*Bas-Rhin*).		
Ein Holländer bereitet 216 Kilogramm Zeug von mittlerer Qualität in 24 Stunden	413	5,50
Zahl der bewegten Cylinder { ein Grobarbeiter, ein Feinmacher } 2		
Glasfabrikation.		
Mühlen für die Mennige zu Baccarat (*Meurthe*).		
Zahl der Mahlfässer 3		
Umläufe der vertikalen Wellen in 1′ { bei dem ersten Faß . 20; " " zweiten " . 25; " " dritten " . 40 }	403	5,28
Vertikale Mühlsteine zum Zerkleinern der Erden und Tiegelbruchstücke.		
Durchmesser } der Mühlsteine von Granit, aus den Vogesen { . . . $1^{m},13$		
Dicke } der Mühlsteine von Granit, aus den Vogesen { . . . $0^{m},43$		
Gewicht } der Mühlsteine von Granit, aus den Vogesen { . . . 1120kil		
Entfernung der mittlern Ebene der Mühlsteine vom vertikalen Wellbaum . . . $1^{m},20$		
Zahl der Umläufe der Welle der Mühlsteine in 1′ 7,50	135	1,92
Produkte:		
Bruchstücke aus alten Tiegeln, sogenannte Hafenschalen; man gibt in 12 Stunden 6 bis 8mal auf, wovon man jedesmal 145k feinen Sand erhält, zusammen 870 bis 1160kil		
Trockne fette Erde ungefähr 3000kil		
Glasschleiferei zu Baccarat.		
Erste Beobachtung. Großes mittelschlächtiges Rad.		
Durch das Rad bewegte Maschinen:		
Drehbänke zum Schleifen der Krystallgläser . 170		
Drehbänke zur Herstellung der Mühlsteine . 5		
Metalldrehbänke 2		
Zahl der durch eine Pferdskraft bewegten Drehstühle 9,5	1320	17,90

Art der Maschinen und allgemeine Daten.	Größe der Arbeit der bewegenden Maschine.	Kraft der bewegenden Maschine nach Pferden.
	km	
Rad mit gekrümmten Schaufeln.		
Zahl der Drehstühle zum Schleifen, welche das Rad treibt 90	800	10,00
Zahl der Drehstühle auf jede Pferdskraft . . 9		
Bohrerei von Bronzekanonen; Dampfmaschine der Gießerei von Douai.		
Zahl der Umläufe der Kanonen in 1′ 10 bis 12 höchstens		
Zahl der durch die Maschine bewegten Bänke 4	900	12,00
Wasserrad der Gießerei zu Toulouse.		
Zahl der durch das Rad bewegten Bänke . . 4	900—975	12—13
Göpel der Gießerei zu Straßburg.		
Vier Pferde an einem Göpel bedienen eine Bank .	160—200 höchstens	2,14—2,67
Man beobachtet, daß die Pferde beim Vorbohren und andern härtern Arbeiten langsamer gehen und sehr ermüden.		
Bohrerei für Kanonen aus Gußeisen zu Ruelle in der Nähe von Angouleme.		
Für eine Bank	150—225	2—3
Bohrbank für die Cylinder zu Dampfmaschinen und Gebläsen	150—225	2—3
Schleiferei zur Herstellung großer Sägen und grober Quincaillerie.		
Maschinen vom Rad bewegt, und Angaben.		

Bezeichnung der Schleifsteine.	Zahl.	Durchmesser	Zahl der Umläufe in 1′.
		m	
Schleifsteine für große Sägen	2	2—2,10	72
Schleifsteine für Werkzeuge	2	2,00	72
Kleiner Schleifstein .	1	1,50	204
Polirsteine für die Sägen	2	1,30	476
Kleine Polirsteine für die Werkzeuge . .	4	0,60—0,80	700—600

Ein Gebläse für ein Raffinirfeuer, zu 1,50 Pferdskräften geschätzt	900	12

Art der Maschinen und allgemeine Daten.	Größe der Arbeit der bewegenden Maschine.	Kraft der bewegenden Maschine nach Pferden.
	km	
Schleiferei für Nadeln, zu Paris, zu Fleur-Moulin (Mosel).		
Zahl der bewegten Schleifsteine 8	318	4,25
Waschrad in den Indienne-Fabriken.		
Durchmesser des Cylinders . . . . . . 2^m		
Länge . . . . $0^m,80$		
Zahl der Umläufe des Waschrads in 1′ . 25		
Zahl der Waschräder in Thätigkeit . . . 2	236	3,15
Oelmühle in Moulins bei Metz.		
Gewicht der Mühlsteine . . . . 3000^k		
Zahl der Umläufe des vertikalen Baums in 1′ 6		
Gewicht der immer nach 10′ aufgegebenen Samen . . . . 25^k		
Gewicht des in 1 Tag zerriebenen Samens 1500		
Produkt an Oel in 12 Stunden 600	205	2,72
Oelmühle mit einem Göpel für ein Pferd, das neun Stunden täglich arbeitet, und mit einem andern abwechselt.		
Produkt in 18 Stunden: 3 Tonnen von 98^{kil} oder . . . . 294^{kil}	40	0,53
Zahl der Umdrehungen der vertikalen Welle in 1′ . . . . 4 bis 5		
Eisenhütten.		
Pochwerk zu Moyeuvre.		
Zahl der Stämpel in 3 Abtheilungen . . 44		
Gewicht eines Stämpels . . . . 85^{kil}		
Hubhöhe des Stämpels . . . . $0^m,33$		
Zahl der Hübe jedes Stämpels bei einer Umdrehung der Daumenwelle 3		
Zahl der Umläufe der Daumenwelle in 1′ . 9,933		
Zahl der Hübe in 1′ 1786	840	11,20
Zahl der Hübe jedes Stämpels in 1′ . . 40,6		
Effekt für jeden Stämpelhub $85 \times 0{,}33 = 28^{km}$		
Arbeit, die hierzu von der bewegenden Maschine fortgeleitet werden muß . $\frac{840}{44} \times \frac{60}{40{,}6} = 33^{km},7$		

Art der Maschinen und allgemeine Daten.	Größe der Arbeit der bewegenden Maschine.	Kraft der bewegenden Maschine nach Pferden.
	km	
Doppeltes Pochwerk beim Hochofen zu Hayange.		
Zahl der Stämpel 32		
Gewicht eines Stämpels . . . . 80^k		
Hubhöhe . . . . $0^m,295$		
Zahl der Hübe für jeden Stämpel in 1′ . . 50	698	23,60
Nutzeffekt bei jedem Hub . $20 \times 0{,}295 = 23^{km},6$		
Arbeit des Bewegers hierzu $\frac{698}{32} \times \frac{60}{50} = 26^{km},2$		
Das Produkt eines Stämpels in 24 Stunden an gepochten Materien ist an Erz . . . . . 2500^k		
Kalksteine . . 2500		
kleinen Kieseln . 250		
Schlacken . . 1500		
Wassertrommelgebläse.		
Sind die Röhren nicht übermäßig lang, so ist der Nutzeffekt — durch die Hälfte der lebendigen Kraft der bewegten Luft gemessen — 1/10 der absoluten Kraft des Wassers.		
Der Durchmesser der Einfallröhren, die gewöhnlich vertikal sind, ist im Lichten $0^m,20$ bis $0^m,25$ bei einer Höhe derselben von wenigstens 7 bis 8^m.		
Die obere Oeffnung, der Trichter, hat $0^m,12$ bis $0^m,16$ Durchmesser.		
Die Luftsauglöcher unterhalb des Trichters sind an Zahl 4, von oben nach unten gerichtet, und haben $0^m,10$ bis $0^m,15$ Länge.		
Gebläse mit zwei Cylindern, das zwei Hochöfen von 12 bis 13^m Höhe und einen Cupolofen bedient. Bei kalter Luft.		
Durchmesser der Kolben . . . . $1^m,746$		
Hubhöhe . . . . 2^m		
Zahl der Hin- und Hergänge eines Kolbens in 1′ 10,50		
Geschwindigkeit der Kolben in 1″ . . . $0^m,35$		
Mittlere Pressung des Windes in Höhen der Quecksilbersäule { in den Cylindern $0^m,063$		
Mittlere Pressung des Windes in Höhen der Quecksilbersäule { bei den Düsen . $0^m,059$		

Art der Maschinen und allgemeine Daten.	Größe der Arbeit der bewegenden Maschine.	Kraft der bewegenden Maschine nach Pferden.
	km	
Durchmesser der Formen: 1ster Ofen mit 2 Formen von $0^{m},060$		
2ter „ „ 2 „ „ $0^{m},054$		
Cupolofen mit 1 Form von $0^{m},058$		
Luftmenge in 1″: 1ster Ofen . . . . . . $0^{mc},588$		
2ter „ . . . . . . $0^{mc},475$		
Cupolofen . . . . . $0^{mc},129$		
Summe $1^{mc},192$		
Von den Kolben durchlaufener Raum $2 \times \frac{0,7854\ (1,746)^2 \times 2 \times 10,50}{60} = 1^{mc},68$		
Verhältniß der ausgeblasenen Luftmenge zu dem von den Kolben durchlaufenen Raum $\frac{1,192}{1,680} = 0,707 = \frac{5}{7}$	1736	23,17
Arbeit des Rades für jeden Hochofen	775	10,30
Für den Cupolofen	186	2,48
Dieselbe Maschine mit warmer Luft.		
Drei Hochöfen von 13 bis 14^{m} Höhe.		
Durchmesser der Formen . . . $0^{m},07$ bis $0^{m},08$		
Temperatur der Luft nahe bei den Formen 200^{0}		
Pressung der Luft bei den Formen in Höhe einer Quecksilbersäule . . . . $0^{m},050$		
Luftmenge, welche durch die beiden Röhren in jeden Ofen kommt: von der Temperatur 200^{0} $1^{mc},148$		
„ „ „ 10^{0} $0^{mc},685$		
Produkt dieser Oefen in einem Monat, ein Hochofen mit Coaks betrieben . . . 120000^{kil}	1858	24,60
mit Holzkohlen betrieben . . 160000		
Arbeit des Rades für jeden Ofen	620	8,20
Gebläse des Hochofens zu Framont (Vogesen) mit einem Cylinder und kalter Luft.		
Höhe des Ofens . . . . $9^{m},10$		
Pressung der Luft in der Nähe der Formen Quecksilberhöhe . . . . $0^{m},049$		
Durchmesser der Form . . . . $0^{m},08$		
Luftmenge, die in 1″ in den Ofen kommt . $0^{mc},462$	600	8,00
Durchmesser des Kolbens . . . . $1^{m},31$		
Hubhöhe . . . . $0^{m},79$		

Art der Maschinen und allgemeine Daten.	Größe der Arbeit der bewegenden Maschine.	Kraft der bewegenden Maschine nach Pferden.
	km	
Geschwindigkeit desselben 0m,479		
Vom Kolben durchlaufener Raum . . . 0mc,645		
Verhältniß der ausgeblasenen Luftmenge zu dem vom Kolben durchlaufenen Raum . . . . $\frac{0,462}{0,645} = 0,718$		
Gebläse des Hochofens zu Grand-Fontaine bei Framont (Vogesen) mit einem Cylinder und warmer Luft.		
Durchmesser des Cylinders 1m,30		
Kolbenhub 1m,34		
Geschwindigkeit des Kolbens 0m,64		
Durchmesser der Düse 0m,08		
Temperatur nahe bei der Düse . . . . 206°		
Druck des Windes über den der Atmosphäre in Quecksilberhöhe { nahe bei der Düse 0m,032; in dem Cylinder . 0m,065		
Luftmenge von 206°, welche in 1″ in den Ofen kommt 0mc,512		
Diese reduzirt auf 15° und den atmosphärischen Druck 0mc,317	583	7,80
Höhe des Ofens; er wird mit Holzkohlen betrieben 9m,10		
Vom Kolben durchlaufener Raum . . . 0m,852		
Verhältniß der in den Ofen geblasenen Luftmenge zu diesem Raum . . $\frac{0,317}{0,852} = 0,372$		
Produkt des Ofens in 1 Monat 60000 bis 70000kil		
Gebläse der großen Schmiede zu Framont (Vogesen), das vier Feineisenfeuer bedient.		
Durchmesser des Cylinders 1m,30		
Kolbenhub 1m,382		
Geschwindigkeit des Kolbens 0m,578		
Pressung des Windes bei der Düse . . . 0m,04		
Durchmesser der Düsen (eine bei jedem Feuer) 0m,0347		
Luftmenge, welche in 1″ in jedes Feuer kommt 0mc,079	675	9,00

Art der Maschinen und allgemeine Daten.	Größe der Arbeit der bewegenden Maschine.	Kraft der bewegenden Maschine nach Pferden.
	km	
Luftmenge, welche in 1″ in alle vier Feuer kommt . . . . $0^{mc},316$		
Vom Kolben durchlaufener Raum . . . $0^{mc},756$		
Verhältniß der Luftmenge hierzu $\frac{0{,}316}{0{,}756} = 0{,}417$		
Arbeit des Bewegers für jedes Feuer	169	2,25
Gebläse mit einem Cylinder zu Moulin-Neuf, bei Moyeuvre. Es bedient zwei Feineisen- und ein Schmiedfeuer.		
Durchmesser des Cylinders . . . . . $0^{m},86$		
Kolbenhub . . . . $1^{m},30$		
Zahl der Kolbenhübe in 1′ 23		
Geschwindigkeit des Kolbens in 1″ . . . $0^{m},498$		
Durchmesser der Düsen (zwei bei jedem Feuer) . . . . $0^{m},021$		
Pressung des Windes in der Leitung nahe bei den Düsen, Quecksilberhöhe . . . $0^{m},048$		
Luftmenge in 1″ { für die beiden Feineisenfeuer durch vier Düsen . . . . $0^{mc},1212$		
Luftmenge in 1″ { für das Schmiedfeuer durch eine Düse . . . . $0^{mc},0303$		
Zusammen $0^{mc},1515$		
Vom Kolben in 1″ durchlaufener Raum $0^{mc},298$		
Verhältniß der ausgeblasenen Luftmenge hierzu . . . . $\frac{0{,}1515}{0{,}298} = 0{,}508$	430	5,75
Arbeit des Bewegers für jedes Feineisenfeuer . .	172	2,30
für das Schmiedfeuer . . .	86	1,15
Stirnhammer zu Framont (Vogesen).		
Gewicht des Hammers mit Helm . . . 2800^{k}		
Hubhöhe des Mittels der Bahn über dem geschmiedeten Stück . . . . . $0^{m},32$ bis $0^{m},36$		
Entfernung des Schwerpunkts von der Rotationsaxe . . . . $0^{m},935$		
Zahl der Schläge in 1′ 75	2250	30,00
Stirnhammer zu Moyeuvre (Mosel).		
Gesammtgewicht des Hammers . . . . 4900^{k}		

Art der Maschinen und allgemeine Daten.	Größe der Arbeit der bewegenden Maschine.	Kraft der bewegenden Maschine nach Pferden.
	km	
Hubhöhe des Hammers über dem zu schmiedenden Stück . . . . 0m,22 bis 0m,25		
Zahl der Schläge in 1′ 75	2800	37,25
Aufwerfhammer zu Framont (Vogesen).		
Gewichte: Hammer 325k		
Hülse 152		
Helm 198		
eiserne Reife 21		
Zusammen 696k		
Hubhöhe des Hammers, von der Mitte der Bahn bis zu dem zu schmiedenden Barren gemessen 0m,45		
Entfernung des Schwerpunkts von der Rotationsaxe 1m,80		
Zahl der Schläge in 1′ 90	750	10,00
100	900	12,00
Schwanzhämmer der Hütte zu Framont (Vogesen).		
Gewichte: Hammer 84k		
Hülse 177		
Helm 210		
Eisenwerk 39		
Zusammen 510k		
Entfernung des Schwerpunktes von der Axe der Zapfen 0m,51		
Hubhöhe des Hammers (wie oben) . . . 0m,25		
Zahl der Schläge in 1′ 135	480	6,40
150	565	7,54
Schwanzhammer für Stahl, für die Fabrikation der Sensen, Sägblätter ꝛc.		
Gewicht des Hammers allein 40k		
Hubhöhe des Hammers 0m,18		
Zahl der Schläge in 1′ 324	448	5,90
Produkt in einem Monat: Stahl . . . 3000k		

Art der Maschinen und allgemeine Daten.	Größe der Arbeit der bewegenden Maschine.	Kraft der bewegenden Maschine nach Pferden.
Walzwerke für die Eisenfabrikation.	km	
Hütte zu Fourchambault. Zahl der thätigen Cylinderpaare: 4 Präparirwalzen, 4 Fertigmacher für starkes Eisen; 3 Schweißwalzen, 3 Fertigmacher für Kleineisen. Zahl der Umläufe in 1′: bei den großen Cylindern 60; „ „ kleinen „ 140 Produkt in einem Monat . . . . . 600000k Diese Walzwerke gehören zu 20 Puddel- und Schweißfeuern, von denen immer einige in Ausbesserung sind.	3750-4500	50—60
Geriefte Walzen. Ein Gerüste mit zwei Walzen zum Schweißen und zwei Walzen zum Fertigmacheu. Zahl der Umdrehungen der Cylinder in 1′ . 60 Zahl der Oefen, welche hierdurch bedient werden: zum Puddeln 5 bis 6; „ Schweißen 2 Produkte der 5 Puddelöfen in einem Monat 300000k „ „ 2 Schweißöfen 300000	2500-2800	33—37
Blechwalzwerke. Zwei Walzwerken zu kleinen Blechen. Zahl der Umläufe in 1′ . . . . 50 Produkt in einem Monat 60000k	1875-2250	25—30

Maschinen.	Dauer der Arbeit.	Produkte.	Verschiedene Angaben.	Größe der Arbeit des Bewegers.	Bewegende Kraft in Pferden.
				km	
		Pulverfabriken.			
Pulverfabrik zu Angouleme.	h				
Zwei Mahlfässer für das Kleinen des Schwefels u. der Kohle.	12	Jagdpulver, 50 kil. der binären Mischung. Stückpulver, 195 kil. dieser Mischung.	Zahl der Umläufe der Fässer in 1' 25; Länge der Fässer 1m,20; Durchmesser 1m,20	615	8,20
Zwei Fässer zum Kleinen des Gemenges aus Salpeter und Kohle.	12	Jagdpulver, 251 kil. hiervon. Stückpulver, 525 kil. hiervon.			
Zwei Mengtonnen für die 3fache Verbindung, mit Kugeln.	12	Jagdpulver, 100 kil.	Zahl der Umläufe in 1' 25; Länge der Fässer 1m,20; Durchmesser 1m,20	218	2,90
Ein Paar gußeiserne Mühlsteine in messingenen Kränzen, zur Bereitung der Kuchen zu Jagdpulver.	10	Jagdpulver, 300 kil. Kuchen.		411	5,49
Zwei cannelirte Walzen, um diese Kuchen in Staub zu verwandeln.	10	300 kil. Staub.			
Ein Walzwerk, um diesen Staub in Kuchen zu drükken. Eine Kuchenbreche.	10	Jagdpulver, 700 kil. Kuchen.		132	1,76
Vier cannelirte Walzen, um die zerschlagenen Kuchen zu körnen.	10	Jagdpulver, 300 kil.		327	4,36
Zwei Polirfässer.	12	400 kil. polirte Körner.	Zahl der Umdrehungen in 1' 20 bis 25	293	3,90

Maschinen.	Dauer der Arbeit.	Produkte.	Verschiedene Angaben.	Größe der Arbeit des Bewegers.	Bewegende Kraft in Pferden.
	h			km	
Zwei Mengtonnen für die 3fache Verbindung, mit Kugeln.	12	Geschützpulver, 240 kil. in 2 Schichten zu 120 kil.		271	3,62
Zwei Tonnen, um diese Verbindung in runde Körner zu verwandeln.	10	Geschützpulver, 720 kil. Körner.		474	6,32
Trockenanstalt mit Ventilator.	12	2000 kil.		256	3,42
Pulverfabrik von Bouchet.					
Zwei Mengtonnen für die 3fache Verbindung.	12	Jagdpulver, 100 kil.		225	3,00
Ein Paar kleine Mühlsteine.	12	Jagdpulver, 150 kil.	Die Welle macht 14 Umdrehungen in 1'. Die Steine sind cylindrisch. Ihr Durchmesser = 1m,50 Ihre Dicke am Rand = 0m,50 Ihr Gewicht = 500 k. Ihre Entfernung = 1m,02	162	4,16
Ein Paar große Mühlsteine.	2	Geschützpulver, 50 kil.	Die Welle macht höchstens 8 Umdrehungen in 1'. Das Gewicht der Steine ist 2500 k.	220	2,93
Ein Walzwerk um Kuchen zu bilden.	10	Jagdpulver, 700 kil. Kuchen.		111	1,48
Stampfmühle.	11	Geschützpulver, 10 kil. für jeden Stämpel.	Zahl der Stämpel 12 Gewicht „ „ 42 k. Hubhöhe 0m,40 Zahl der Schläge jedes Stämpels in 1' 56	276	3,68
Pulverfabrik von Esquerdes.					
Zwei Mühlsteine.		Jagdpulver. Man gibt jedesmal 20 kil. auf. Die Dauer der Operation ändert sich mit der Qualität des Pulvers.	Die Welle macht 10 Umgänge in 1'. Durchmesser der Steine 1m,80 Dicke der Steine 0m,45 Gewicht „ „ 5500 k.	464	6,18

Maschinen.	Dauer der Arbeit.	Produkte.	Verschiedene Angaben.	Größe der Arbeit des Bewegers.	Bewegende Kraft in Pferden.
	h			km	
Pulverfabrik zu Metz.					
Stampfmühle von St. Pierre.	11 24	Jeder Stämpel 10 kil. Geschützpulver. Jagdpulver 8,33 k.	Gewicht d. Stämpel 40k. Hubhöhe 0m,413 Zahl der Schläge jedes Stämpels in 1' 55 Zahl der Stämpel 24	685	9,14
Mühle von St. Barbe.	11 24	Kriegspulver 10 k. Jagdpulver 8,33 k.	Gewicht d. Stämpel 40k. Hubhöhe 0m,413 Zahl der Schläge jedes Stämpels in 1' 55		
			Zahl der thätigen Stämpel. 12	268	3,57
			Zahl der thätigen Stämpel. 18	445	5,91
			Zahl der thätigen Stämpel. 24	590	7,87
Zwei Polirtonnen.	24	Jagdpulver, 100 kil. für jede Tonne.	Zahl der Umgänge in 1' 20 bis 27	157	2,10
Trockenanstalt.	12	Geschützpulver, 900 kil.	Zwei Ventilatoren, jeder mit 4 Flügeln. Breite der Flügel 0m,48 Länge „ „ 2m,00 Zahl der Umgänge in 1' 150 Aufwand an Steinkohle in 12 Stunden 900 kil. Druck des Windes auf 1 Quadratcentimeter. kil. 0,0005 bis 0,0006	140	1,87

Waffenfabrik von Chatellerault.

Art der Maschinen und allgemeine Daten.		
Hammer, um die doppelten Kolben für die Läufe der Infanteriegewehre zu schmieden.		
Gewicht des Hammers	135^k	
„ „ Helms	190	
„ der Hülse	93	
„ „ eisernen Reife	39	
Zusammen . .	457^k	

Art der Maschinen und Daten.	Arbeit des Bewegers.	Kraft des Bewegers in Pferden.
	km	
Ganze Länge des Helms 3m,85		
Entfernung der Hülsenaxe { vom Mittel der Bahn 2m,15		
{ vom Schwanzring . 0m,97		
Hubhöhe des Mittels der Bahn 0m,30		
Zahl der Schläge in 1′ 202	1070	14,26
Erzeugniß. Ein Schmiedmeister und sein Gehülfe fertigen in einem Monat 800 solche Kolben an.		
Anmerkung. Das Rad wiegt 21017 Kilogramm; dieses bedeutende Gewicht, das der Daumenwelle und die übermäßig starken Zapfen verursachen einen bedeutenden Verlust an Arbeit durch die Reibung. Ein Versuch mit der Bremse hat gezeigt, daß die Daumenwelle nur die Arbeit 785km oder 10,50 Pferdskräfte fortpflanzt; hiernach kann man für einen Hammer mit Vorgelege, bei passenderen Verhältnissen, die von der bewegenden Maschine fortzupflanzende Arbeit höchstens zu 900km oder 12 Pferdskräften annehmen.		
Schwanzhammer zum Ausstrecken der Platinen zu den Läufen, nachdem die unter dem obigen Hammer erhaltenen Kolben in 2 Theile zerschnitten sind.		
Gewicht des Hammers 55k		
" " Helms 176		
" der Hülse 99		
" des Schwanzrings 32		
Zusammen . . 362k		
Ganze Länge des Helms 2m,85		
Entfernung der Hülsenaxe { vom Mittel der Bahn 1m,77		
{ vom Schwanzring . 0m,87		
Hub des Mittels der Bahn 0m,15		
Zahl der Schläge in 1′ 210	322	4,30
Anmerkung. Die Arbeit ist durch dieselben Ursachen wie bei der obigen Maschine vermindert; der Versuch mit der Bremse zeigte, daß die Daumenwelle nur 296km,5 oder 3,95 Pferdskräfte fortpflanze. Man kann daher für eine gutproportionirte Maschine 300km oder 4 Pferdskräfte rechnen.		

Art der Maschinen und Daten.		Arbeit des Bewegers.	Kraft des Bewegers in Pferden.
		km	
Schwanzhammer zum Raffiniren des Stahls.			
Gewicht des Hammers	55k		
„ „ Helms	176		
„ der Hülse	99		
„ des Schwanzrings	32		
Zusammen	362k		
Ganze Länge des Helms	2m,82		
Entfernung der Hülsenaxe vom Mittel der Bahn	1m,71		
Entfernung der Hülsenaxe von Schwanzring	0m,85		
Hubhöhe des Mittels der Bahn	0m,25		
Zahl der Schläge in 1′	244	568	7,49
Anmerkung. Der Versuch mit der Bremse hat gezeigt, daß die auf die Daumenwelle fortgepflanzte Arbeit nur 388km oder 5,15 Pferdskräfte betrage. Für eine zweckmäßig angeordnete Maschine genügt es hiernach, daß der Beweger eine Arbeit von 450km oder 6 Pferdskräften fortpflanze; damit der Hammer 244 Schläge in 1′ thue.			
Derselbe Hammer zum Schmieden der Schloßtheile.			
Zahl der Schläge in 1′	348	1119	15,80
Der Versuch mit der Bremse zeigte hier an der Daumenwelle nur die Arbeit 780km oder 10,4 Pferdskräfte. Daraus läßt sich schließen, daß eine wohlgebaute Maschine nur 900km oder 12 Pferdskräfte vom Beweger fortgepflanzte Arbeit erfordere.			
Erzeugniß. Der Hammer zum Stahlraffiniren bedient 2 Feuer, und liefert in einem Monat 1600 Stahlkolben zu Säbelklingen für die leichte Kavallerie, Modell von 1822, von denen eine 0k,90 wiegt.			
Gebläse, das die Schmied- und Raffinirfeuer bedient.			
Zahl der durch die Maschine bedienten Feuer	6		
Druck des Windes in der Nähe der Düsen, in Kilogramm auf 1 Quadratcentimeter	0k,05		
Durchmesser der Düsen	0m,03		
Zahl derselben	6		

Art der Maschinen und Daten.	Arbeit des Bewegers.	Kraft des Bewegers in Pferden.
	km	
Luftmenge, die in 1″ durch eine Düse geht . . $0^{mc},061$		
Gesammte Luftmenge durch alle Düsen in 1″ . $0^{mc},366$		
Wassermenge, welche in 1′ auf $5^{m},14$ gehoben wird . . . . $0^{mc},121$	725	9,68
Die Erhebung des Wassers consumirt etwa 185^{km} der Arbeit des Bewegers. Es bleiben also noch für die 6 Feuer 540^{km} oder für jedes	90	1,20
Das Rad ist sehr schwerfällig, und das Gebläse für eine bedeutend größere Anzahl Feuer bestimmt, und es ist anzunehmen, daß bei zweckmäßigem Verhältniß **eine** Pferdskraft für jedes Schmied- oder Raffinirfeuer hinreiche.		
Schleifmühlen für die Läufe.		
Mühlsteine, Durchmesser . . . . 2^{m}		
„ Dicke . . . . $0^{m},32$		
„ Gewicht . . . . 2100^{k}		
Ist der Durchmesser der Schleifsteine nur noch 1^{m}, so wirft man sie ab. Ein Mühlstein kann 1100 bis 1500 Läufe abschleifen.		
Zahl der Umläufe in 1′. 183		
Erzeugniß. Ein Arbeiter schleift in 10 Stunden 35 Läufe.		
Zahl der wirksamen Mühlsteine 2	773	10,38
Bohrbänke für die Flintenläufe.		
Zahl der Umläufe der Bohrer in 1′ 328		
Zahl der gebrauchten Bänke 12	588	7,84
Erzeugniß in 1 Monat: gebohrte Läufe zu Infanterieflinten 1000		
Drehstühle und verschiedene andere Maschinen.		
Zahl der vom Rad bewegten Maschinen:		
Drehstühle für die Läufe 2		
Maschinen, um 4 Läufe zugleich zu poliren . . 1		
„ „ die Schloßtheile zu durchbohren . 4		
„ „ den Hahn „ „ . . . 1 } 12	657	8,69
Drehstühle für die Bajonetten 2		
Kleiner Schleifstein für die Werkzeuge 1		
Bohrer für die Dillen 1		

Art der Maschinen und Daten.	Arbeit des Bewegers.	Kraft des Bewegers in Pferden.
	km	
Man hat außerdem noch eine andere Maschine zum Durchbohren der Hahnen, und eine zum Durchbohren der Schloßtheile, welche mit obigen abwechseln.		
Erzeugniß. Diese Maschinen bearbeiten, was zu den 1000 gebohrten und geschliffenen Läufen gehört.		
Anmerkung. Die angegebenen Größen der Arbeit sind die, welche man unmittelbar auf die Axen der angegebenen Maschinen übertragen muß.		
Treibt das Wasserrad die ganze Fabrik, so ist sein Nutzeffekt	2420	32,20
Die passiven Widerstände des Rades und die Stücke, welche man den Beobachtungen nicht unterwerfen konnte, consumirten hiernach eine Kraft von 5,1 Pferden ungefähr.		
Walzwerke für die Bleche zu den Kürassen.		
Cylinder, Durchmesser . . . . $0^m,378$		
" Länge . . . . $0^m,735$		
" Gewicht . . . . $900^{kil.}$		
" Zahl der Umläufe in 1′ 22,5		
Schwungrad, äußerer Durchmesser . . . $3^m,910$		
" Gewicht des Kranzes . . . $6720^{kil.}$		
" Zahl der Umläufe in 1′ . . 87		
Erzeugniß. In 10 Stunden walzt man 40 Platten aus. Jeder Kolben erhält 4 Hitzen und geht ungefähr 30 mal durch die Walzen	812	10,80
Anmerkung. Dieses Rad scheint etwas zu schwach für dieses Walzwerk zu seyn; sein Gang verlangsamert sich bei dem Durchgang der Stäbe, und es scheint zweckmäßig, die Walzen schneller, wenigstens 30 mal in der Minute umgehen zu lassen. Hiernach müßte man ein Rad von etwa 18 Pferdskräften haben.		

Resultate der Erfahrung und Rechnung über die Dampfwagen auf der Eisenbahn zwischen Liverpool und Manchester.

295. Die Erfahrungsresultate der nachfolgenden Tabelle sind der Abhandlung über die Locomotiv-Dampfmaschinen des Herrn **de Pambour** entnommen; sie sind verglichen mit den Resultaten der Formel

$$10000 \frac{n}{60} v (p - 1{,}0333)$$

in welcher bedeutet:

p — 1,033 den Ueberschuß des Dampfdrucks in dem Kessel über den Druck der Atmosphäre, welchen man zuweilen den effektiven Druck nennt, auf 1 Quadratcentimeter bezogen;

v den vom Kolben bei einem Hub durchlaufenen Raum,

n die Zahl der einfachen Wege des Kolbens in 1′.

Es ist hierbei zu bemerken, daß bei gut construirten Dampfwagen der Durchmesser der Dampfröhre gewöhnlich $^1/_3$ bis $^1/_4$ von dem des Kolbens ist, daß der Querschnitt des regulirenden Dampfhahnen gleich dem dieser Röhre ist, und daß obige Formel nur dann anwendbar ist, wenn dieser Hahnen vollkommen geöffnet ist.

Die wichtigsten Dimensionen der beobachteten Maschinen sind folgende:

Namen der Maschinen.	Durchmesser des Cylinders.	Kolbenhub.	Durchmesser des Rades.	Heizfläche			Durchmesser der Dampfröhre.	Gewicht.
				Herd.	Röhren.	Zusammen.		
	m	m	m	mq	mq	mq	m	Tonnen.
Vulcan . . .	0,279	0,406	1,525	3,205	28,557	31,762	0,089	8,47
Fury	0,279	0,406	1,525	3,056	28,557	31,613	0,089	8,33
Leeds	0,279	0,406	1,525	3,214	28,557	32,082	0,089	7,18
Vesta	0,283	0,406	1,525	4,273	23,789	28,062	0,083	8,85
Atlas	0,305	0,406	1,525	5,301	20,240	25,541	0,083	11,58

Anmerkung. Bei dem Atlas sind die Vorderräder mit den Hinterrädern durch Verbindungsstangen gekuppelt.

Ferner hat man zu bemerken, daß die in folgender Tafel enthaltenen Beobachtungen sich auf die stärkste Belastung der Dampfwagen beziehen, und daß man nur auf ähnliche Fälle Folgerungen daraus ziehen könne.

Die Uebereinstimmung der verschiedenen Werthe des Verhältnisses zwischen dem Nutzeffekt und dem aus der Theorie abgeleiteten Effekte, zeigt, daß man in den angegebenen Grenzen der in Nr. 179 angegebenen praktischen Formel

$$\frac{n}{60}\, 8190.v\ (p - 1{,}033)$$

sich bedienen könne, um den Nutzeffekt der Locomotiv-Maschinen zu berechnen, so oft die Ladung für Maschinen von der oben gegebenen Größe 170 Tonnen und darüber beträgt. — Ist dagegen die Ladung nur 60 Tonnen und darunter, so muß man die Formel auf die in Nr. 179 angegebene Art abändern.

Nutzeffekt der Lokomotivdampfmaschinen auf der Eisenbahn zwischen Liverpool und Manchester, nach Beobachtungen, und verglichen mit den Resululten der Formel $10000 \frac{nv}{60}(p-1{,}033)$.

Namen der Maschinen.	Tag der Beobachtungen.	Ladung der Maschine auf den Horizont reduzirt in Tonnen von 1000 kil.	Widerstand gegen den Zug, 3 kil. 59 für die Tonne Ladung.	Geschwindigkeit des Transportes: Kilometer stündlich.	Geschwindigkeit des Transportes: Meter in 1″.	Nutzeffekt nach den Beobachtungen: in kil. m. in 1″.	Nutzeffekt nach den Beobachtungen: in Pferdskräften.	Ueberschuß des Dampfdrucks im Kessel über den der Atmosphäre auf 1 Quadratcentimeter. p — 1,033.	Zahl der einfachen Kolbengänge in 1″ $\frac{n}{60}$	Theoretischer Nutzeffekt: in kil. m.	Theoretischer Nutzeffekt: in Pferdskräften.	Verhältniß des Nutzeffekts zum theoretischen.
	1834.	Tonnen.	kil	Kilometer	m	km		kil		km		
Vulkan	22. Juli ...	191	687	18,37	5,110	3520	46,7	4,05	4,260	4300	57,4	0,810
	22. „ ...	189	679	30,17	8,810	5980	79,7	4,05	7,360	7420	99,0	0,797
Fury	24. „ ...	248	891	37,46	10,400	9270	123,5	4,61	8,690	9980	133,0	0,925
	4. August .	160	668	21,45	5,980	4000	53,3	3,87	4,980	4780	63,7	0,835
Leeds	15. „ ...	171	615	16,09	4,470	2750	36,7	3,41	3,730	3170	42,3	0,868
Vesta	16. „ ...	192	690	4,83	1,340	1139	15,2	3,98	1,130	1146	15,3	0,808
	16. „ ...	186	668	5,23	1,450	1267	16,9	4,08	1,208	1270	16,9	0,764
Atlas	23. Juli ...	244	878	12,87	3,570	3440	45,9	3,87	2,776	3440	45,8	0,907
	23. „ ...	199	716	14,85	4,125	3875	51,7	3,76	3,450	3850	51,3	0,769
	23. „ ...	202	726	9,65	2,680	2480	33,1	3,87	2,235	2575	34,3	0,756
	31. „ ...	206	740	12,07	3,340	2990	40,0	3,58	2,782	2980	39,5	0,830
	4. August .	223	803	6,03	1,670	1810	24,1	4,34	1,391	1805	24,1	0,743
											Mittel ..	0,819

Mittelwerthe der specifischen Gewichte.

Namen der Körper.	Specifisches Gewicht.	Namen der Körper.	Specifisches Gewicht.
Wasser	1,00	Glas, weißes	2,94
Quecksilber	13,58	Ahorn	0,70
Blei	11,34	Birke	0,74
Zinn	7,29	Birnbaum	0,69
Kupfer	8,94	Buche (Rothbuche)	0,77
Zink	7,02	Eiche	0,91
Messing	8,15	„ , durchnäßt	0,99
Gußeisen	7,25	Fichte und Tanne	0,60
Schmiedeisen	7,72	„ „ „ durchnäßt	0,72
Stahl	7,75	Föhre	0,76
Kalkstein	2,6	Lerche	0,56
Marmor	2,8	Linde	0,58
Sandstein	2,4	Mahagoni	0,80
Granit	2,7	Pockholz (Guajac)	1,30
Mauerziegel	2,0	Weißbuche	0,75
Porzellan	2,3	Kork	0,24
Glas, grünes	2,64		

Tafel der neuen französischen Maße.

Namen.	Werth.
Wegmaße.	
Myriameter	10000 Meter.
Kilometer	1000 "
Decameter	10 "
Meter	Die Grundeinheit der Maße und Gewichte; der 10000000ste Theil des Quadranten eines Erdmeridians.
Längenmaße.	
Decimeter	0,1 Meter.
Centimeter	0,01 "
Millimeter	0,001 "
Feldmaße.	
Hectare	10000 Quadratmeter.
Are	100 "
Centiare	1 "
Hohlmaße.	
Kiloliter	1 Kubikmeter oder 1000 Kubikdecimeter.
Hectoliter	100 Kubikdecimeter.
Decaliter	10 "
Liter	1 "
Deciliter	0,1 "
Holzmaße.	
Ster	1 Kubikmeter.
Decister	0,1 "
Gewichte.	
Millier	1000 Kilogr. (Schiffstonne).
Centner	100 Kilogramm.
Kilogramm	Gewicht eines Kubikdecimeters Wasser von der Temperatur 4° C.
Hectogramm	0,1 Kilogramm.
Decagramm	0,01 "
Gramm	0,001 "
Decigramm	0,0001 "

Reduktion des preußischen Maßes in französisches, und umgekehrt.

Verwandlung der Fuße, Zolle und Linien in Meter.

Fuß.	Meter.	Fuß.	Meter.	Zoll.	Meter.	Linien.	Meter.
1	0,3139	40	12,5542	1	0,02615	1	0,00218
2	0,6277	50	15,6927	2	0,05232	2	0,00436
3	0,9416	60	18,8312	3	0,07846	3	0,00654
4	1,2554	70	21,9698	4	0,10462	4	0,00872
5	1,5693	80	25,1083	5	0,13077	5	0,01090
6	1,8831	90	28,2469	6	0,15693	6	0,01308
7	2,1970	100	313,854	7	0,18308	7	0,01526
8	2,5108	200	627,708	8	0,20924	8	0,01744
9	2,8247	300	941,562	9	0,23539	9	0,01962
10	3,1385	400	1255,416	10	0,26154	10	0,02179
20	6,2771	500	1569,270	11	0,28780	11	0,02397
30	9,4156	600	1883,124	12	0,31385	12	0,02615

Verwandlung der Meter in Fuße, Zolle und Linien.

Meter.	Fuß.	Zoll.	Linien.	Meter.	Fuß.	Zoll.	Linien.
0,001	—	—	0,46	0,1	—	3	9,88
0,002	—	—	0,92	0,2	—	7	7,76
0,003	—	—	1,38	0,3	—	11	5,64
0,004	—	—	1,84	0,4	1	3	3,52
0,005	—	—	2,29	0,5	1	7	1,41
0,006	—	—	2,75	0,6	1	10	11,29
0,007	—	—	3,21	0,7	2	2	9,17
0,008	—	—	3,67	0,8	2	6	7,05
0,009	—	—	4,13	0,9	2	10	4,93
0,01	—	—	4,59	1	3	2	2,8
0,02	—	—	9,18	2	6	4	5,6
0,03	—	1	1,76	3	9	6	8,4
0,04	—	1	6,35	4	12	8	11,2
0,05	—	1	10,94	5	15	11	2,1
0,06	—	2	3,53	6	19	1	4,9
0,07	—	2	8,12	7	22	3	7,7
0,08	—	3	0,70	8	25	5	10,5
0,09	—	3	5,29	9	28	8	1,3
10m	31	10	4	60m	191	2	1
20	63	8	8	70	223	0	5
30	95	7	0	80	254	10	9
40	127	5	4	90	286	9	1
50	159	3	8	100	318	7	5

Verwandlung der Quadratfuße in Quadratmeter, und umgekehrt.

Quadratfuß.	Quadratmeter.	Quadratmeter.	Quadratfuß.
1	0,09850	1	10,152
2	0,19700	2	20,304
3	0,28551	3	30,456
4	0,39401	4	40,608
5	0,49251	5	50,761
6	0,59102	6	60,913
7	0,68952	7	71,065
8	0,78802	8	81,217
9	0,88653	9	91,369
10	0,98501	10	101,521

Verwandlung der Kubikfuße in Kubikmeter, und umgekehrt.

Kubikfuß.	Kubikmeter.	Kubikmeter.	Kubikfuß.
1	0,030916	1	32,347
2	0,061831	2	64,693
3	0,092747	3	97,040
4	0,123663	4	129,386
5	0,154578	5	161,733
6	0,185494	6	194,080
7	0,216410	7	226,426
8	0,247326	8	258,773
9	0,278241	9	291,119
10	0,309157	10	323,466

Reduktion der Pfunde in Kilogramme, und umgekehrt.

Pfund.	Kilogramm.	Kilogramm.	Pfund.
1	0,46771	1	2,1381
2	0,93541	2	4,2763
3	1,40312	3	6,2144
4	1,87083	4	8,5525
5	2,33854	5	10,6907
6	2,80624	6	12,8288
7	3,27395	7	14,9669
8	3,74166	8	17,1050
9	4,20936	9	19,2432
10	4,67707	10	21,3813

Die **Pferdskraft** von 75km ist gleich 510 Pfund auf 1 Fuß in 1 Sekunde erhoben.

Ein Kubikfuß Wasser wiegt 66 Pfund.

Tabelle zur Vergleichung mehrerer Maße und Gewichte.

Ort.	1 Fuß gleich.	1 Quadratfuß.	1 Kubikfuß.	1 Pfund.	1 Kubikfuß Wasser wiegt.	Eine Pferdskraft von 75km.	Werthe von g.
	Meter.	Quadratmeter.	Kubikmeter.	Kilogramm.	Pfund.	Pfund auf 1 Fuß.	Fuß.
Baden *) . . .	0,300000	0,090000	0,02700	0,50000	54,0	500	32,70
Baiern	0,291859	0,085184	0,02486	0,56001	44,4	459	33,61
Braunschweig .	0,285362	0,081430	0,02324	0,46745	49,7	562	34,37
Cassel	0,284911	0,081174	0,02313	0,48405	47,8	544	34,42
Darmstadt . . .	0,250000	0,062500	0,01563	0,50000	31,25	600	39,24
Dresden	0,283260	0,080236	0,02273	0,46693	48,7	567	34,91
Hannover . . .	0,291995	0,085261	0,02489	0,48960	50,8	525	33,59
London	0,304795	0,092900	0,02832	0,45341	62,4	543	32,18
Paris	0,324840	0,105500	0,03428	0,48951	70,0	472	30,20
Preußen	0,313854	0,098503	0,03092	0,46771	66,0	510	31,25
Wien	0,316103	0,099947	0,03159	0,56001	56,4	424	31,03
Würtemberg . .	0,286490	0,082077	0,02351	0,46992	50,0	557	34,24

*) Das nämliche Maß und Gewicht ist das neue schweizerische.