

Biblioteka Główna i OINT
Politechniki Wrocławskiej



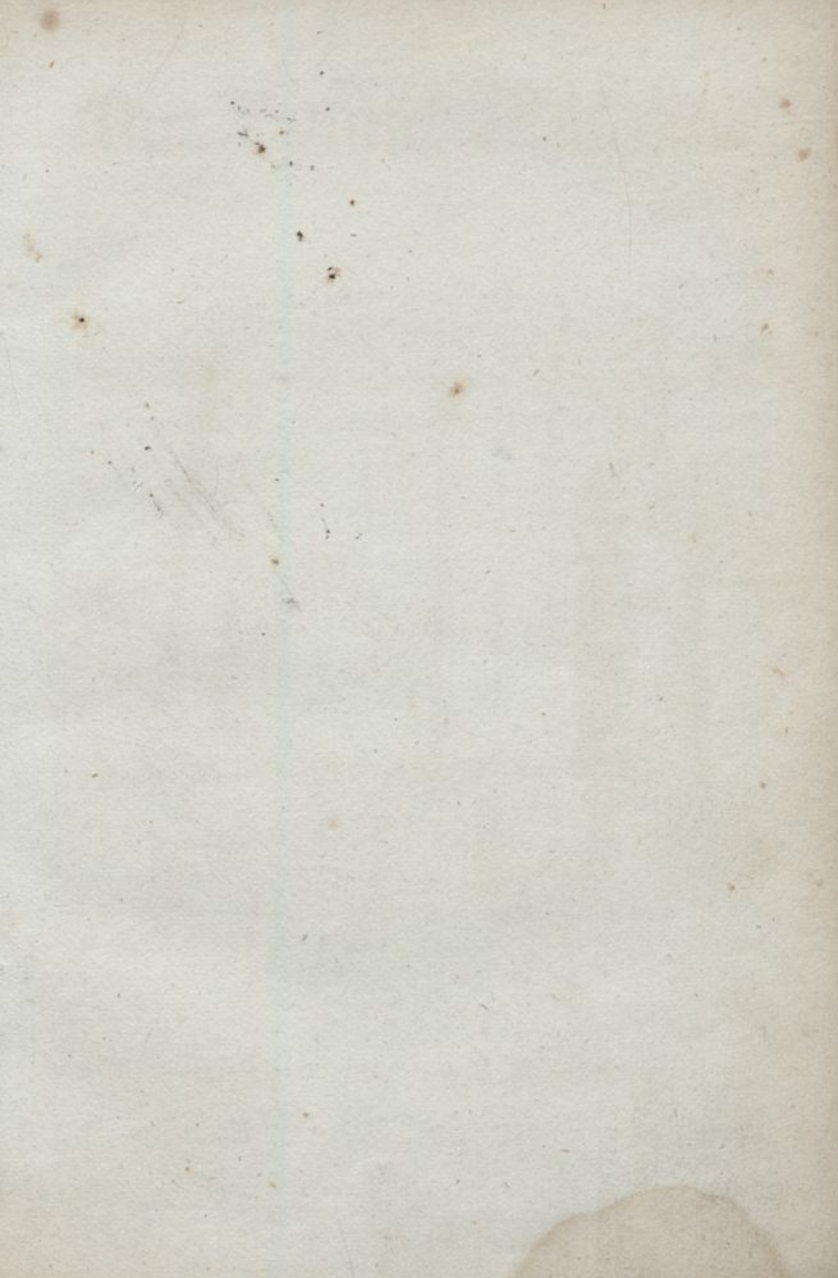
100100219277

~~I, B 586~~

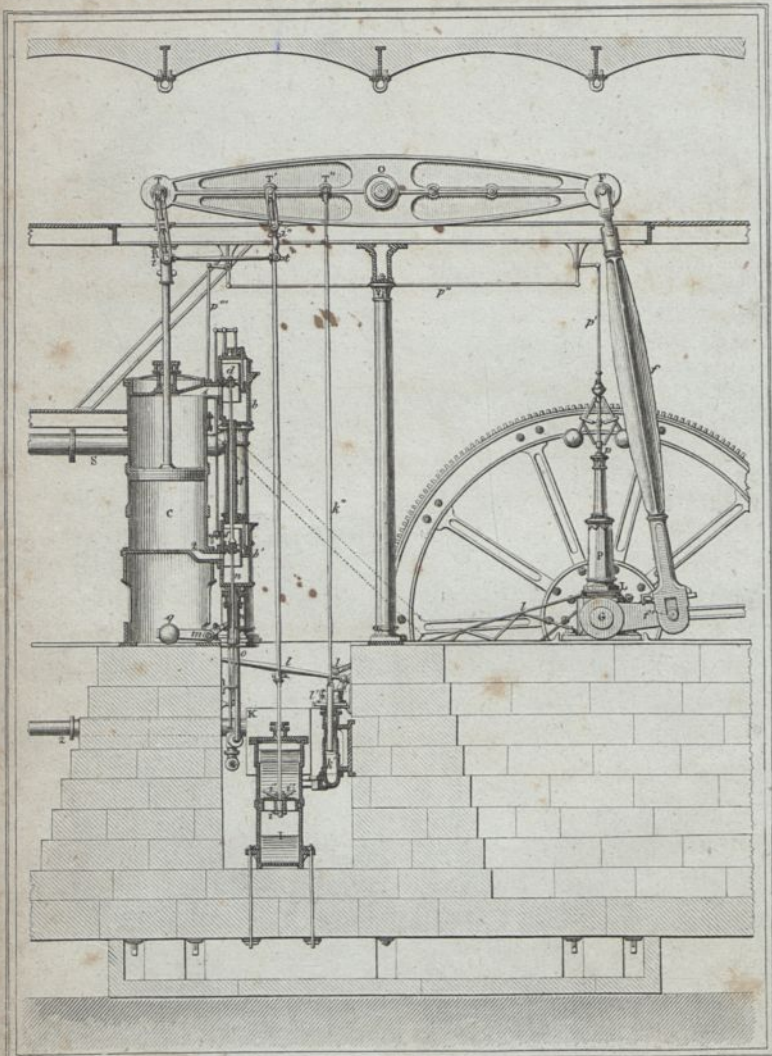
N 1651

kl

669.



Dampf - Maschine
von sechs Pferdekraft.



F Hübner gest.

Längen - Dur chschnitt.

946.
669

Die Dampf-Maschine.

Eine allgemein faßliche Darstellung der Einrichtung,
Wirkung und des Gebrauchs der Dampfmaschine, sowie
der allgemeinen Grundsätze, auf denen dieselbe beruht.

Aus dem Englischen des Dr. Lardner



frei bearbeitet

von

N. 1835 125
Dr. C. Schneitler,

Civil-Ingenieur,

und

Th. Wolff,

Techniker und Lehrer der Mathematik und Naturwissenschaften.

1933. 125

Leihgabe an die
Bibliothek der
Techn. Hochschule
Breslau

Berlin 1853.

Verlag von G. Behrend.

1933. A 1069

Die Dampf-Hilfsmaschine.

Eine allgemein lesbare Darstellung der
Richtung und des Fortschritts der Dampfmaschinen, sowie
der allgemeinen Grundsätze, auf denen dieselbe beruht.

aus dem Nachlass des Dr. Kuhn



351368 L1

Ino. 22620.

Leihgabe an die
Bibliothek der
Technischen Hochschule
Wrocław

Berlin 1878.

Verlag von G. Reimer

Vorrede.

Von allen Erfindungen der Neuzeit ist die der Dampfmaschine die wichtigste und folgenreichste gewesen. Sie hat einen mächtigen Einfluß nicht nur auf die Beziehungen der Staaten und Völker der Erde, sondern auch auf die Berufsthätigkeit und Verhältnisse der Einzelnen in so umfänglicher Weise geltend gemacht, daß sie neben der Buchdruckerkunst das bedeutendste Mittel des geistigen und materiellen Fortschrittes geworden ist. Verkehr und Handel haben durch die Dampfmaschine eine nie geahnte Ausbreitung, Industrie und Gewerbe eine täglich großartigere Entwicklung erhalten und selbst die Landwirthschaft wurde unmittelbar von dieser Entwicklung berührt und in den Kreis der materiellen Bewegung gezogen. Aber auch die geistigen und socialen Interessen des Lebens sind durch diese segensreiche Erfindung gefördert worden. Erst durch die Dampfmaschine ist es ermöglicht worden, daß ein großer Theil der menschlichen Arbeit den verschiedenartigsten Maschinen übertragen werden konnte, daß also der Mensch nicht mehr an Stelle der Maschinen gebraucht wird, sondern als denkendes Wesen die Kraft und Arbeit derselben leitete. Eisenbahnen und Dampfschiffahrt sind bedeutsame Hebel der Kultur und der Civilisation geworden.

Gegenüber so großartigen, in ihrer Allgemeinheit noch unermesslichen Folgen, welche die Erfindung der Dampfmaschine begleiten, erscheint es als eine Forderung der Zeit, daß das Wesen, die Einrichtung und der Gebrauch der Dampfmaschine, sowie die Grundsätze, auf denen ihre Construction und Wirksamkeit beruhen, in den weitesten Kreisen bekannt und verbreitet werde. Dies kann aber nicht durch gelehrte und umfang-

reiche, eigentlich technische Werke, an denen es nicht fehlt, geschehen, sondern nur durch ein übersichtlich und auch für den Laien faßlich geschriebenes Buch. An solchen Werken ist die deutsche Literatur überhaupt nicht reich, und namentlich besitzt sie noch keins über die Dampfmaschine, welches dieser Forderung entspräche. Ein vortreffliches Buch dieser Art ist hingegen das des Engländers Dr. Lardner*), welches sich durch seine gründliche und doch übersichtliche, klare und wahrhaft populäre Darstellung auszeichnet. Die Unterzeichneten haben es gern übernommen, dies Werk in Deutschland einzuführen und mit der Uebersetzung zugleich unter Berücksichtigung der deutschen Verhältnisse eine Bearbeitung zu verbinden. Diese erstreckte sich theils auf die Umwandlung der englischen Maaße und Gewichte in Preussisches Maaß und Gewicht und auf Umgestaltung der angehängten Tabellen und Aufgaben, theils bezweckte sie eine Erweiterung und Bervollständigung einzelner Kapitel, wobei wir uns jedoch bemüht haben, die Zusätze in eben so faßlicher Darstellung zu geben, wie die des Originals ist.

Der Zweck dieses kleinen Werkes besteht lediglich darin, Denen, welche lernen wollen, wie die Dampfmaschine diese vielgepriesenen Wunder von Leistungen vollbringt, hierzu bequeme Gelegenheit und Mittel zu bieten. Wir hoffen, daß die Einfachheit des Stils und der Ausdrucksweise, sowie der faßliche Plan des Werckchens diesen Zweck erreicht, und daß fast ein Jeder, der lesen gelernt hat, aus den folgenden Blättern lernen kann, wie es zugeht, daß die Dampfkraft in den Gewerben und Fabriken eine so große Rolle spielt.

Dr. **C. Schneitler**,
Civil-Ingenieur.

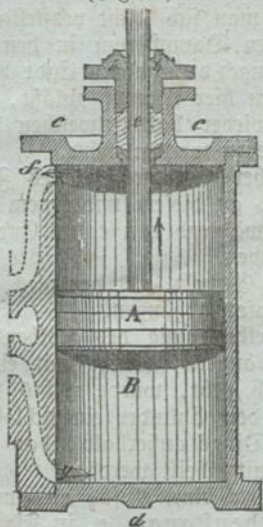
Th. Wolff,
Techniker u. Lehrer d. Mathematik
u. Naturwissenschaften.

*) A rudimentary treatise on the steam engine: for the use of beginners. London, 1848.

Kapitel 1.

Wie Dampf eine mechanische Wirkung hervorbringt.

1. Die Vorrichtung, durch welche Dampf dies bewirkt, ist fast immer ein Kolben, der sich in einem Cylinder bewegen kann. (Fig. 1).



Ein Cylinder (B. in Fig. 1.) ist eine Röhre, die aber im Verhältniß zu ihrer Länge viel weiter ist, als die Röhren gewöhnlich zu sein pflegen. So ist ein häufig vorkommendes Verhältniß für einen Cylinder 3 Fuß innere Weite auf 4 oder $4\frac{1}{2}$ Fuß Länge; doch kann dieses Verhältniß nach Umständen sehr veränderlich sein.

2. Der Kolben (A. in Fig. 1.) ist ein fester Stöpsel, welcher in das Innere des Cylinders so genau paßt, daß der Dampf nicht von einer Seite zur andern kann, aber doch auch

nicht so fest darin sitzt, daß er sich nicht ohne zu große Schwierigkeit den Cylinder entlang bewegen ließe.

3. Die Enden des Cylinders (c. und d. in Fig. 1.) sind durch Deckel fest verschlossen. Einer von diesen Deckeln ist mit dem Cylinder in einem Stück gegossen und bildet einen festen Theil desselben, der andere ist mit Schrauben und Bolzen daran befestigt und so genau aufgepaßt, daß kein Dampf durch die Fugen dringen kann.

4. An jedem Ende des Cylinders befindet sich eine kleine Oeffnung, (f. u. g. in Fig. 1.) die mit einem Stöpsel oder einer Klappe versehen ist, und durch welche man nach Belieben Dampf einströmen oder entweichen lassen kann.

5. Nun kann man sich leicht vorstellen, daß, wenn man an einem Ende einen Dampfstrom in den Cylinder eintreten läßt, er den Kolben nach dem andern Ende hinbläst (treibt), und daß, wenn man dann hier Dampf zuläßt, nachdem man den ersten Dampfstrom wieder hat entweichen lassen, der Kolben wiederum zurückgetrieben werden wird.

Können wir daher ein abwechselndes Zuströmen und Entweichen des Dampfs an diesem und jenem Ende bewirken, so wird der Kolben fortwährend von einem Ende zum andern hin- und hergetrieben werden.

Die Kraft oder Gewalt, mit der dies geschieht, wird von der Kraft des Dampfes abhängen.

6. Die Wechselbewegung des Kolbens von einem Ende des Cylinders zum andern, welche mit einer gewissen Kraft oder Gewalt vor sich geht, würde nichts Nützliches bewirken können, wenn sie in dem Cylinder eingeschlossen bliebe; sie muß daher irgend einem Dinge außerhalb, das etwa in Bewegung gesetzt werden soll, mitgetheilt werden.

7. Dies wird durch einen Aufsatz an eine Seite des Kolbens bewirkt, welcher Kolbenstange (e. in Fig. 1) genannt wird. Es ist das eine runde Stange, die im Mittelpunkte des Kolbens gut befestigt ist und durch ein Loch in der Mitte des Cylindendeckels geht, von dem ich schon gesagt habe, daß er mit Bolzen und Schrauben auf dem Cylinder befestigt ist. Die Stange muß in diesem Loche so dicht, wie der Kolben im Cylinder gehen, nämlich so, daß kein Dampf entweichen kann, und doch leicht genug, damit keine beträchtliche Kraft erforderlich ist, um sie darin zu schieben.

8. Es ist leicht einzusehen, daß zu diesem Zwecke die

innere Fläche des Cylinders und die Kolbenstange sehr genau gearbeitet werden müssen. Der Cylinders ist von Gußeisen, aber seine innere Fläche ist nach dem Gusse durch eine Bohrmaschine genau cylindrisch (rund) gemacht. Diese Maschine schabt alle Unebenheiten ab und giebt jedem Theile der inneren Fläche durch die ganze Länge des Cylinders eine vollkommen kreisförmige Gestalt mit genau demselben Durchmesser oder gleichmäßiger Weite.

9. Der Kolben, welcher auf beiden Seiten flach, ringsherum aber kreisförmig ist, so daß er in den Cylinders paßt, berührt diesen dampfdicht und kann sich doch frei in ihm bewegen. Es wird dies durch verschiedene Vorrichtungen möglich gemacht, welche ich später erwähnen werde. Für jetzt genügt es, wenn wir annehmen, daß die Mechanik uns gegenwärtig in den Stand setzt, Kolben und Cylinders mit solcher Genauigkeit herzustellen, daß kein Dampf zwischen beiden entweichen kann und die Bewegung fast ganz frei ist.

10. Die Kolbenstange, welche gleichfalls aus Eisen besteht, ist so abgedreht, daß sie ihrer ganzen Länge nach denselben Durchmesser oder dieselbe Dicke hat und überall genau rund ist. Das Loch im Cylindersdeckel, durch welches sie geht, ist mit einer in Del und Talg eingeweichten Packung von Hanf umgeben (s. Fig. 1), welche gegen die Kolbenstange gepreßt wird; auf diese Weise kann kein Dampf entweichen, während die Bewegung frei bleibt.

11. So nimmt also die Kolbenstange an der Wechselbewegung des Kolbens Theil, und theilt die Bewegung jedem außerhalb befindlichen Gegenstande mit, der damit in Verbindung gesetzt wird.

12. Die Bewegung, welche ursprünglich durch die Dampfkraft hervorgebracht wird, ist, wie wir gesehen haben, eine geradlinige Wechselbewegung vor- und rückwärts oder auf- und abwärts; vermöge einer unzähligen Menge wohlbekannter mechanischer Vorrichtungen kann man jedoch durch diese Wechselbewegung irgend eine andere verlangte Bewegung hervorbringen, also z. B. ein Rad in fortwährendem Umlauf erhalten, oder ein Gewicht in gerader Richtung heben. Dies wird später noch näher auseinandergesetzt werden; für jetzt halten wir fest, daß Dampf auf die angegebene Art eine Wechselbewegung hervorbringen kann.

Kapitel 2.

Was Dampf ist und welches seine Eigenschaften sind.

1. Ich habe oben gesagt, daß der Kolben im Cylinder vom Dampfe hin und her geblasen werde. Dieser Ausdruck zeigt die Aehnlichkeit des Dampfes mit der Luft. Der Dampf besitzt in der That eine Reihe ganz gleicher Eigenschaften, wie die Luft. Erhitzte Luft könnte ebensowohl als bewegende Kraft benutzt werden, wie Dampf, und wenn ihre Behandlung in anderer Hinsicht nicht schwieriger wäre, als die des Dampfes, so würden wir keinen Anlaß haben, zu Dampfmaschinen zu greifen, sondern blos Luftmaschinen anzuwenden. Wir werden daher gut thun, zuerst die gemeinsamen Eigenschaften der Luft und des Dampfes zu betrachten.

2. Die Luft ist eine elastische Flüssigkeit — ebenso der Dampf. Eine elastische Flüssigkeit ist eine solche, die in einen kleineren Raum zusammengedrückt oder gepreßt werden kann, und die wieder von selbst eine größere Ausdehnung annimmt, wenn sie Raum dazu hat.

3. Nicht alle Flüssigkeiten haben diese Eigenschaft; Wasser z. B. kann durch die größte Kraft, die wir zu erzeugen vermögen, in keinen (merklich) kleineren Raum zusammengedrückt werden, und es dehnt sich zu keinem größeren Rauminhalte aus, als sein anfänglicher war, wie viel Raum man ihm auch geben möge. Wenn Luft in einem Gefäß eingeschlossen ist, so drückt sie von selbst mit einer gewissen Kraft auf jeden Theil seiner Wände und strebt gewissermaßen es zu zersprengen. Das ist ihre Elasticität. Preßt man sie in ein Gefäß von dem halben Inhalte zusammen, so drückt sie auf jeden Theil seiner inneren Fläche mit der doppelten Kraft und verdoppelt man umgekehrt den Inhalt des Gefäßes, so dehnt sie sich von selbst aus und füllt es in allen seinen Theilen, drückt aber nur halb so stark auf jeden Theil seiner Wände. Kurz, wenn man die Luft auf den dritten, vierten, zehnten Theil ihres ursprünglichen Rauminhaltes zusammendrückt, so steigt ihre elastische Kraft oder Spannkraft auf das Drei-, Vier-, Zehnfache und läßt man sie sich auf das Drei-, Vier-, Zehnfache ausdehnen, so wird ihre Spannkraft oder ihr Druck in demselben Verhältnisse vermindert.

Diese Eigenschaften hat auch der Dampf; die erste wenigstens so lange, als die Zusammendrückung nicht gewisse Grenzen übersteigt, die wir später kennen lernen werden.

4. Die Luft ist eine unsichtbare Flüssigkeit — ebenso der Dampf. Es ist ein großer Irrthum, wenn man die trüben Dunstwolken, die man gleich weißem Rauche aus den Lokomotiven oder Dampfkeßeln kommen sieht, für Dampf hält; in dem Augenblick, wo der Dampf so weiß und wolkig wird, hört er auf, Dampf zu sein.

Diese nebelartigen Wolken bestehen aus Wassertheilchen, aber nicht aus Dampf. Wenn ein Glasgefäß mit reinem Dampf gefüllt wäre, so würde er eben so wenig sichtbar sein, wie die Luft.

Dampf ist in Luft verwandeltes Wasser.

5. Luft kann verschiedene Grade der Dichtigkeit haben — ebenso der Dampf. Bei beiden nimmt der Druck oder die Spannkraft (unter sonst gleichen Umständen) in gleichem Verhältnisse mit der Dichtigkeit zu.

6. Da nun Luft überall zugänglich und zu haben ist, so könnte man fragen, weshalb man sich ihrer nicht überall da als bewegender Kraft bedient, wo sich die Dampfkraft so mächtig bewiesen hat, zumal da die Erzeugung dieser letzteren so große Kosten und Schwierigkeiten verursacht, während Luft in unbegrenzter Menge überall und umsonst zu haben ist. Um dies zu beantworten, müssen wir die Eigenschaften betrachten, durch welche sich Dampf und Luft von einander unterscheiden.

Kapitel 3.

Wie Wasser in Dampf und Dampf wieder in Wasser verwandelt wird.

1. Wenn man Wasser irgend einer Wärmequelle aussetzt, so wird die erste und einleuchtende Wirkung sein, daß es heißer wird.

2. Dies Heißerwerden wird aber sehr bald aufhören. Man wird finden, daß, wenn das Wasser bis zu einem gewissen Punkte erhitzt ist, sein Wärmegrad (oder seine Temperatur) nicht mehr steigt; aber es fängt dann an weniger zu wer-

den, gewissermaßen zu verschwinden, und wenn die Einwirkung der Wärme fort dauert, so verschwindet es endlich ganz. Es ist in diesem Falle nach und nach in Dampf verwandelt worden, der in die umgebende Luft aufgestiegen ist und sich mit ihr vermischt hat.

3. Dies Entweichen des Dampfes kann man aber verhindern. Man verbinde zu dem Ende ein zweites Gefäß mit demjenigen, worin das Wasser erhitzt wird, so daß die äußere Luft nicht hinzutreten kann.

4. Der aus dem Wasser erzeugte Dampf kann in diesem Gefäß gesammelt werden, und wenn man ihn dann untersucht, so findet man, daß er, wie ich behauptet habe, alle mechanischen Eigenschaften der Luft besitzt.

Es leuchtet sonach ein, daß das flüssige Wasser in den elastisch flüssigen Dampf verwandelt wird, indem man ihm eine gewisse Menge Hitze oder Wärme mittheilt.

5. Eine der merkwürdigsten Veränderungen, welche das Wasser erleidet, indem es in den Dampfzustand übergeht, ist die ganz außerordentliche Veränderung seines Volums (d. h. des Raumes, welchen es einnimmt.)

6. Man hat gefunden, daß ein unter gewöhnlichen Umständen verdampftes Quart Wasser ungefähr 1700 Quart Dampf erzeugt. Dies Verhältniß ändert sich jedoch nach den Umständen, wie wir nun sehen werden.

7. Stellen wir uns auf dem Boden einer Röhre (B Fig. 2),

Fig. 2.



von einem Quadrat Zoll im Querschnitt, eine kleine Menge Wasser vor, der Einfachheit wegen wollen wir sagen einen Kubikzoll,

und dicht über diesem Wasser befindet sich ein Kolben (oder Piston). Der Kolben möge so eingerichtet sein, daß er auf das Wasser mit seiner unteren Fläche von einem Quadrat Zoll mit einer Kraft von 15 Pfund drücke, in welchem Falle wir den äußeren Druck der Luft ganz außer Acht lassen können, da dieser eben 15 Pfund auf den Quadrat Zoll beträgt. Denken wir uns nun eine Lampe unter den Boden der Röhre gesetzt, die das Wasser in derselben erhitzt, so wird sie für einige Zeit nur die Temperatur desselben erhöhen; wenn diese aber 100° (100 Grad) des hunderttheiligen Thermometers*) erreicht hat, fängt der Kolben an, in der Röhre (oder dem Cylinder) zu steigen, indem er einen anscheinend leeren Raum zwischen sich und dem Wasser läßt. Zu gleicher Zeit wird das Wasser weniger werden, und wenn die Lampe fortfährt zu wirken, wird der Kolben fortfahren, langsam zu steigen, das Wasser aber wird sich langsam vermindern, bis endlich alles Wasser verschwunden ist.

*) Thermometer heißt Wärmemesser. Man mißt den Wärmegrad in der Regel durch die Ausdehnung, welche die meisten Körper durch Erwärmung erleiden. Dies ist auch bei dem gewöhnlichsten Thermometer, dem Quecksilber-Thermometer, der Fall. Es besteht aus einer engen gläsernen Röhre, welche an einem Ende zu einer Kugel ausgeblasen ist. Diese und ein Theil der Röhre werden mit Quecksilber gefüllt, und dann wird auch das obere Ende der Röhre zugeschmolzen. Hierauf taucht man das Instrument in schmelzenden Schnee und bezeichnet den Punkt, bis zu welchem das Quecksilber sinkt, mit 0; es ist der Gefrierpunkt. Dann hält man die Röhre in siedendes Wasser oder in dessen Dämpfe; das Quecksilber steigt in der Röhre bis zu einem gewissen Punkte, wo es unverändert stehen bleibt; man bezeichnet auch diesen Punkt, (es ist der Siedepunkt), und schreibt die Zahl 100 oder 80 dabei, erstere beim hunderttheiligen Thermometer oder dem von Celsius, letztere beim Réaumur'schen Thermometer. Man theilt nun den Raum zwischen dem Null- und Siedepunkte in bezüglich 10° oder 80 gleiche Theile, und reißt diese Theilung entweder auf der Röhre selbst ein, oder trägt sie auf einen daran befestigten Streifen Papier oder ein Holzbrettchen auf und schreibt die entsprechenden Zahlen daneben. Die Zahl, bei welcher das obere Ende des Quecksilbers stehen bleibt, wenn man die Kugel in eine wärmere oder kältere Umgebung bringt, giebt den Wärmegrad derselben an. Nimmt man z. B. die Kugel eine Zeit lang in die Hand, so zeigt das Quecksilber bei einem hunderttheiligen Thermometer auf etwa 37°, bei einem achtzigtheiligen Thermometer auf ungefähr 30° und dieses ist die Blutwärme; man schreibt also: die Blutwärme des Menschen ist 37° C. oder 30° R. Im Winter zieht sich das Quecksilber oft weit unter 0° zusammen, man setzt dann der Zahl, welche den Abstand angiebt, ein — vor; so schreibt man also z. B.: den 17. Januar 1850, früh 6 Uhr, zeigte das Thermometer in Berlin — 20° C., und man sagt dann auch: es waren 20° C. Kälte.

8. Dann wird der Kolben so hoch gestiegen sein, daß der unter ihm im Cylinder befindliche Raum 1700 mal größer ist, als der, welchen das Wasser ursprünglich einnahm. Würde man diesen Raum, wie man ja könnte, durch Glas sehen, so würde er leer erscheinen, in der That aber würde er mit dem aus dem Wasser erzeugten Dampf gefüllt sein, der, wie die Luft, unsichtbar ist.

9. Wir haben in diesem Falle den Dampf unter einem Drucke von 15 Pfund entstehen lassen. Wir wollen uns nun das Ganze wieder in den ursprünglichen Stand gesetzt, den Kolben aber mit 30 Pfund belastet denken, oder mit 15 Pfund außer dem Druck der Luft, was zusammen 30 Pfund beträgt. Wenn man nun die Lampe wieder untersetzt, so wird das Wasser, ehe der Kolben zu steigen beginnt, nicht bis auf 100° (100° Grad) wie vorhin, erwärmt werden müssen, sondern bis auf 121° ; dann fängt der Kolben an zu steigen, wie vorhin und zwar so lange, bis alles Wasser verschwunden ist. Er wird sich jedoch jetzt nicht so hoch erheben, daß der unter ihm befindliche Raum 1700 mal so groß als das Volumen des angewandten Wassers ist, sondern der Dampf wird nur etwa halb so viel Raum, also ungefähr 850 mal den des Wassers einnehmen.

Kurz der Kolben kann mit einem größeren oder geringeren Druck, als wir angenommen haben, belastet werden; bei geringerem Drucke wird der aus dem Wasser erzeugte Dampf einen größeren, bei größerem Drucke einen geringeren Raum einnehmen. Ebenso wird die Temperatur, bei welcher das Wasser anfängt, sich in Dampf zu verwandeln, verschieden sein, und zwar höher bei größerem Drucke und niedriger bei geringerem Drucke.

10. Wenn der Druck verdoppelt wird, so wird der erzeugte Dampf nicht genau die doppelte Dichtigkeit haben, sie wird aber nicht viel von diesem Verhältnisse abweichen. Der Grund dieser Abweichung — gering wie sie ist — liegt darin, daß bei einer Erhöhung des Drucks sich auch die Temperatur des Dampfes erhöht, und die von dieser Erhöhung der Temperatur herrührende Volumvergrößerung bewirkt, daß die Dichtigkeit des Dampfes bei doppeltem Druck etwas kleiner als die doppelte ursprüngliche Dichtigkeit ist. Jedoch ist diese Abweichung so gering, daß wir sie außer Acht lassen und die einfache und faßliche Regel aufstellen können, daß die Dichtigkeit des Dampfes in gleichem Verhältnisse mit seinem Drucke steht, (d. h. bei 3, 4, 10fachem Drucke 3, 4, 10mal so groß ist).

11. Da es von großem Nutzen ist, sich die Zahl der Raumtheile zu merken, welche der Dampf eines Raumtheiles Wasser einnimmt, so stelle ich ein leicht zu behaltendes annäherndes Verhältniß auf. Ein Kubikfuß enthält 1728 Kubikzoll und wir sind für die meisten praktischen Zwecke der Wahrheit nahe genug, wenn wir annehmen, daß ein Kubikzoll Wasser, unter einem Drucke von 15 Pfund auf den Quadrat Zoll verdampft, einen Kubikfuß Dampf erzeugt. Diese Angabe ist so einfach und bestimmt, daß sie nicht vergessen werden kann.

12. Kennt man das Volum des Dampfes, welches unter dem angegebenen Drucke aus einer gegebenen Wassermenge entsteht, so kann man, mit genügender Genauigkeit für die Anwendung, nach dem schon aufgestellten Verhältnisse, das unter einem größeren oder geringeren Drucke erzeugte Dampfolum berechnen. Unter doppeltem Druck würde das Volum halb so groß, die Dichtigkeit und Spannkraft also doppelt so groß, unter dem halben Drucke das Volum doppelt so groß, Dichtigkeit und Spannkraft halb so groß sein. Wenn also Wasser unter einem Drucke von 30 Pfund siedet, so wird aus jedem Kubikzoll desselben nur ein halber Kubikfuß Dampf entstehen, siedet es unter 45 Pfund Druck auf den Quadrat Zoll, so erzeugt der Kubikzoll nur ein Drittel Kubikfuß Dampf; und in gleicher Weise, wenn ein Kubikzoll Wasser unter $7\frac{1}{2}$ Pfund Druck siedet, so bilden sich daraus 2 Kubikfuß Dampf, unter 5 Pfund Druck auf den Quadrat Zoll 3 Kubikfuß u. s. f.

13. Dies Verhältniß würde genau richtig sein, wenn nicht die Temperaturen, bei welchen das Wasser in diesen Fällen siedet, verschieden wären; aber wir können jetzt den hieraus entspringenden Unterschied oder Fehler außer Acht lassen.

14. Es mag noch einmal bemerkt werden, daß, wenn die äußere Luft auf das siedende Wasser wirkt, ihr ungefähr 15 Pfd. auf den Quadrat Zoll betragender Druck bei den oben angeführten Drucken mit eingerechnet werden muß. Unter $7\frac{1}{2}$ oder 5 Pfund Druck kann daher Wasser nur bei Ausschluß des Luftdrucks siedet, oder wenn etwa der Kolben durch ein Gegengewicht von $7\frac{1}{2}$ oder 10 Pfund für den Quadrat Zoll gehoben wird.

15. Nachdem wir so beschrieben haben, wie Wasser in Dampf verwandelt wird, wollen wir nun sehen, wie rückwärts Dampf in Wasser verwandelt wird.

Der Dampf, welcher in der beschriebenen Art aus dem Wasser erzeugt wird, hat dieselbe Temperatur, wie das Wasser, aus dem er entsteht. Diese Temperatur ist ihm nothwendig. In dem Augenblicke, wo man ihm einen Theil seiner Wärme entzieht, in demselben Augenblicke geht ein Theil desselben wieder in Wasser über, und setzt man die Abkühlung fort, so wird er ganz und gar wieder zu Wasser werden.

16. Stellen wir uns vor, daß in der schon als Beispiel gebrauchten Röhre (B Fig. 2) alles Wasser in Dampf verwandelt und der Kolben bis oben hin gestiegen ist; nun werde diese mit einem kalten Medium (d. h. Mittel), z. B. kalter Luft oder kaltem Wasser umgeben, nachdem die untergesetzte Lampe entfernt ist, so wird sich sogleich an der inneren Fläche der Röhre ein Thau bilden, und der Kolben wird anfangen herabzusteigen. Dieser Thau ist Wasser, welches sich wieder aus dem Dampf gebildet hat, und in kleinen Theilchen tropfbar flüssig geworden ist; tropfbar flüssig nennt man nämlich die nicht elastisch flüssigen Körper, weil sie Tropfen bilden. Der Kolben treibt bei seinem Niedergange die Thautropfschen vor sich her, und wenn er bei fortdauernder Abkühlung wieder in seine erste Stellung gelangt ist, so wird sich auch alles Wasser wieder auf dem Boden der Röhre eingefunden haben.

Der Dampf ist also in der That wieder in Wasser verwandelt.

17. Wie also durch Wärme Wasser in Dampf verwandelt wird, so kann durch Wärmeentziehung oder Abkühlung der Dampf wieder in Wasser verwandelt werden.

Dies ist eine der wichtigsten Eigenschaften, in denen sich der Dampf von der Luft unterscheidet. Kein bekannter Kältegrad ist fähig, die Luft in eine tropfbare Flüssigkeit zu verwandeln, obgleich man vermuthet, daß dies bei einem gewissen, aber mit den jetzt bekannten Mitteln nicht herstellbaren Kältegrade geschehen würde. Es giebt nämlich manche Luftarten, die man auf die erwähnte Weise hat tropfbar flüssig machen können, indessen mit der atmosphärischen Luft (d. h. der gewöhnlichen Luft, welche die Atmosphäre, d. h. die Lufthülle oder den Dunstkreis der Erde bildet) ist dies noch nicht gelungen.

18. Auch durch Zusammendrücken in einen kleineren Raum kann man Dampf wieder in Wasser verwandeln, Luft hingegen hat durch die größte Pressung bisher noch nicht tropfbar flüssig gemacht werden können. Denken wir uns unsere 1700 Ku-

hitzoll Dampf von 15 Pfund Spannung plötzlich mit 30 Pfund auf den Quadratzoll zusammengedrückt, so nehmen sie bloß die Hälfte oder 850 Kubitzoll Raum ein; aber die Wärme des Dampfes steigt zugleich durch die Zusammendrückung auf 121°. Entweicht nun aber ein Theil der Wärme durch die Wände des Gefäßes, und sinkt dadurch die Temperatur des Dampfes etwa wieder auf 100°, so geht auch die Hälfte desselben in Wasser über und der übrige Theil übt dann bloß noch 15 Pfd. Druck auf den Quadratzoll aus, wird also durch den mit 30 Pfd. belasteten Kolben weiter zusammengedrückt, verdichtet sich wieder theilweise zu Wasser und so fort, bis er gänzlich verschwunden ist, da Dampf von 100° unter einem Druck von mehr als 15 Pfund auf den Quadratzoll sich nicht bilden, also auch nicht bestehen kann.

19. Eben diese Eigenschaft des Dampfes, daß wir ihn wieder nach Belieben in Wasser verwandeln können, ist es, die uns in den Stand setzt, den Dampf in so ausgedehnter Weise zu mechanischen Zwecken zu benutzen, während die Luft in Ermangelung derselben nicht den gleichen mechanischen Nutzen hat.

Kapitel 4.

Wie groß der mechanische Effect ist, welchen die Verwandlung des Wassers in Dampf hervorbringt.

1. Die gewöhnlichste und allgemeinste Art, den mechanischen Effect (d. h. die mechanische Wirkung oder Leistungsfähigkeit) einer bewegenden Kraft anzugeben, ist die, daß man sagt, welches Gewicht sie auf eine gegebene Höhe, oder auf welche Höhe sie ein gegebenes Gewicht zu heben im Stande ist. Wenn also gesagt wird, daß dieses oder jenes mechanische Agens (d. h. diese oder jene bewegende Kraft) im Stande ist, 200 Etr. einen Fuß hoch zu heben, so haben wir von seiner Leistungsfähigkeit oder seinem mechanischen Effecte eine deutliche Vorstellung. Wie man sieht, lassen wir hierbei die Zeit ganz außer Acht; ob die Leistung in einer Minute oder einer Stunde vollendet wird, so ist sie schließlich dieselbe. Wir werden sie aber weiterhin auch in Beziehung auf die Zeit betrachten. Wir wollen nun folgende beiden Fragen untersuchen.

2. Wie groß ist der mechanische Effekt, welcher hervor gebracht wird, wenn eine gegebene Wassermenge, z. B. ein Kubitzoll, in Dampf verwandelt wird?

3. Welchen Einfluß hat auf diesen mechanischen Effekt der Druck, unter welchem das Wasser verdampft, wenn er überhaupt einen hat?

4. Gehen wir zu dem Ende auf unser Beispiel zurück. Es befinde sich auf den Boden einer Röhre (B. Fig. 2) von großer Länge ein Kubitzoll Wasser unmittelbar unter einem dicht schließenden Kolben, der mit 15 Pfund auf das Wasser drücke und einen Quadrat Zoll im Querschnitt habe. Der Kolben wird dann, wie wir wissen, sobald sich das Wasser durch Erhitzung in Dampf verwandelt, in die Höhe getrieben werden, um dem erzeugten Dampfe Platz zu machen. Nun ist der Raum, den der Dampf unter diesen Umständen erfordert, wie wir gesehen haben 1700mal so groß, als der des verdampften Wassers, und der Kolben muß also 1700 Zoll hoch gehen, wenn der Querschnitt des Cylinders einen Quadrat Zoll beträgt. Es wird daher das Gewicht von 15 Pfund 1700 Zoll hoch gehoben oder beinahe 142 Fuß. Der mechanische Effekt oder, wie man sagt, die Arbeit eines unter diesen Umständen verdampften Kubitzolls Wasser ist daher gleich 15 Pfund 142 Fuß hoch gehoben. 15 Pfd. 142 Fuß hoch gehoben sind aber gleich 142mal 15 Pfund einen Fuß hoch gehoben, oder 2130 Pfd. einen Fuß hoch gehoben; denn wenn wir unserer Röhre einen Querschnitt von 142 Quadrat Zoll geben und den Kolben dafür mit 142mal 15 Pfund belasten, so drückt auch auf jeden Quadrat Zoll ein Gewicht von 15 Pfund und unter jedem befindet sich der 142ste Theil der 1700 Kubitzoll Dampf, das sind 12 Kubitzoll; der Kolben wird also 12 Zoll oder einen Fuß hoch gehoben. Das Gewicht von 2130 Pfund beträgt nun nahezu eine Tonne oder 20 Ctr., und da es hier nicht auf den genauen Bruchwerth ankommt, so stellen wir die sehr einfache Angabe hin, die sich leicht behalten läßt:

5. Ein Kubitzoll Wasser bringt in Dampf verwandelt einen mechanischen Effekt oder eine bewegende Kraft hervor, die hinreicht, eine Tonne oder 20 Ctr. einen Fuß hoch zu heben.

6. Hier könnte man nun einwenden, daß wir das Wasser unter einem bestimmten Drucke und also auch bei einer bestimmten Temperatur haben verdampfen lassen; könnte daher nicht eine größere oder geringere bewegende Kraft entstehen,

wenn es unter anderem Drucke und bei anderer Temperatur in Dampf verwandelt würde?

7. Um dies festzustellen, wollen wir uns den Kolben mit 30 oder 45 Pfund statt mit 15 belastet denken. In diesem Falle würde er, wie wir schon gesehen haben, bei 30 Pfund Druck nur halb so hoch oder 71 Fuß, bei 45 Pfund Druck nur den dritten Theil so hoch oder $47\frac{1}{3}$ Fuß steigen; denn der erzeugte Dampf würde bei 30 Pfund Druck die doppelte oder bei 45 Pfund Druck die dreifache Dichte haben u. s. f. Nun ist aber 30 Pfund 71 Fuß oder 45 Pfund $47\frac{1}{3}$ Fuß gehoben genau so viel, als 15 Pfund 142 Fuß gehoben und dasselbe folgt, wenn wir irgend einen anderen Druck annehmen.

8. So ist also die oben aufgestellte Behauptung allgemein gültig, und es hängt demnach der mechanische Effect des Dampfes nicht von dem Drucke ab, unter welchem er entsteht, sondern beträgt immer 20 Etr. einen Fuß hoch gehoben für jeden verdampften Kubitzoll Wasser.

9. Hierbei muß man jedoch wohl beobachten, daß dies die ganze entwickelte bewegende Kraft ist, und man darf nicht annehmen, daß man mit jedem in einem Dampfkessel verdampften Kubitzoll Wasser wirklich 20 Etr. 1 Fuß hoch heben könne, weil ein beträchtlicher Theil der entwickelten Kraft durch die Reibung (des Kolbens im Cylinder sowohl, als anderer Maschinentheile) und durch andere Ursachen verzehrt wird, ehe der Nutzeffect oder die nützliche Arbeit hervorgebracht werden kann.

Kapitel 5.

Wie groß der mechanische Effect ist, welchen die Verwandlung des Dampfes in Wasser hervorbringt.

1. Stellen wir uns wieder unsere Röhre (B Fig. 3)

Fig. 3.



mit 1700 Kubitzoll Dampf gefüllt vor. Durch Abkühlung werde nun der Dampf wieder in Wasser verwandelt, oder wie man auch sagt, niedergeschlagen oder kondensirt; der Kolben werde aber oben irgend wie festgehalten, so wird nach einiger Zeit in der Röhre ein Kubitzoll Wasser sich gebildet haben, und die übrigen 1699 Kubitzoll werden weder Wasser noch Dampf enthalten, also ein leerer Raum oder ein Vacuum sein.

2. So kann man also durch Dampf und einen bloßen Temperaturwechsel das bewirken, was mittelst der Luftpumpe zu erreichen so viel Arbeit kostet. Es mag jedoch hierbei noch bemerkt werden, daß man durch Dampf eben so wenig einen vollkommen leeren Raum erhalten kann, als durch eine Luftpumpe; in der That würde in unserer Röhre auch nach der Abkühlung noch ein wenig Dampf, jedoch von sehr geringer Spannung und Dichtigkeit sein, und zwar desto weniger, je kälter die Röhre gehalten würde; und jedenfalls so wenig, daß wir denselben hier einstweilen außer Acht lassen können.

3. Wird nun der Kolben, nachdem das Wasser sich niedergeschlagen oder kondensirt hat, oder auch indem es dies thut, losgelassen, so wird er sich unter einem Drucke von 15 Pfund bis unten hin bewegen, oder es wird die bewegende Kraft zwar in umgekehrter Richtung wirken, aber eben so groß sein, als die, welche durch die Dampferzeugung hervorgebracht wurde. Wir können uns dies noch deutlicher machen, wenn wir den Kolben oben fest lassen, und uns dafür im unteren Ende der Röhre statt des Bodens einen mit 15 Pfund belasteten Kolben denken. Offenbar wird dieser jetzt so durch den Druck der Luft in die Höhe getrieben werden müssen, wie der Kolben im obern Ende durch den Dampf gehoben wurde, und es ist somit der mechanische Effect oder die bewegende Kraft, welche durch Kondensirung eines Kubitzußes Dampf erzeugt wird, gerade so groß, als der mechanische Effect eines aus einem Kubitzoll Wasser erzeugten Kubitzußes Dampf.

4. Wir wollen bei obigem Beispiele noch etwas verweilen, um etwaige Bedenken zu beseitigen und die Begriffe immer mehr zu berichtigen. Wenn der Kubitzoll Wasser auf dem Boden der Röhre bis 100 Grad erhitzt ist und eben anfängt sich in Dampf zu verwandeln, so drückt dieser mit 15 Pfund von unten auf den Kolben, während die Luft von oben ebenfalls mit 15 Pfund drückt; es wird also noch keine

Bewegung stattfinden, sondern die Sache verhält sich gerade so, wie wenn ein Gewicht von 15 Pfund an einem Faden hängt, der über eine leicht bewegliche Rolle geht und auf der andern Seite ein Gegengewicht von 15 Pfund trägt. Es findet ein Gleichgewicht der Kräfte, und daher so lange Ruhe statt, bis beide Gewichte, oder in unserem Falle der von oben und unten gleich stark gedrückte Kolben, durch irgend eine hinzukommende Kraft in Bewegung gesetzt werden. Diese Kraft kann aber beliebig klein sein; der geringste Stoß, den man dem Gegengewicht nach unten giebt, reicht hin, es zum Sinken und das ursprüngliche Gewicht zum Steigen zu bringen, und diese Bewegung dauert, wenn sonst kein Widerstand vorhanden ist, so lange in unveränderter Geschwindigkeit fort, bis eins der Gewichte irgend wo angehalten wird. Heben wir also das Gegengewicht vom Boden etwa 5 Fuß auf und knüpfen es dann an den Faden, so wird es im Stande sein, durch sein Niedersinken ein gleiches Gewicht gleichfalls um 5 Fuß zu heben, d. h. ein zu irgend einer Höhe gehobenes Gewicht kann wiederum einen mechanischen Effect hervorbringen, der genau gleich dem mechanischen Effect seiner Erhebung ist. Es ist jedoch dazu, abgesehen von der Reibung und anderen Widerständen, erforderlich, daß Gewicht und Gegengewicht erst durch eine, wenn auch noch so kleine Kraft, in Bewegung gesetzt werden. Muß man nun nicht diese Kraft, mag sie auch noch so klein sein, von dem mechanischen Effecte in Abzug bringen? Nein! Denn ertheile ich z. B. anfänglich den Gewichten durch einen Stoß eine Geschwindigkeit von 1 oder $\frac{1}{2}$ oder $\frac{1}{4}$ Fuß in der Secunde, so kommen sie auch mit 1 oder $\frac{1}{2}$ oder $\frac{1}{4}$ Fuß Geschwindigkeit am Ende ihrer Bahn an, und können diese wieder ganz an andere Körper übertragen, so daß also von ihr nichts verloren geht. Diese oder irgend eine beliebige kleine Geschwindigkeit ist nur nöthig, damit der mechanische Effect überhaupt Gelegenheit habe, sich zu zeigen, oder zu entwickeln.

5. Um noch ein Beispiel zu geben, so weiß Jeder, daß das erste Anheben einer Last, oder das Anziehen eines Wagens mehr Kraft erfordert, als die fernere Fortbewegung. Auf ganz ebenem Wege bin ich etwa im Stande, einen Wagen 1000 Schritt weit mit gleichförmiger Geschwindigkeit zu ziehen, wenn er, wie man sagt, erst im Zuge ist, dazu aber muß mir vielleicht anfangs Jemand helfen. Dessenungeachtet darf ich sagen: ich

bin im Stande, einen so und so belasteten Wagen diese Strecke zu ziehen, denn, wenn ich, wie vorausgesetzt, mit derselben Geschwindigkeit ankomme, die der Wagen durch Hilfe eines Anderen im Anfange erhielt, so wird derselbe ja einem zweiten gleichen Wagen, auf den er etwa am Ende seines Weges stößt, einen ganz gleichen Anstoß geben und einer zweiten Person von derselben Kraft wie ich das Anziehen desselben möglich machen.

6. Ganz so verhält es sich auch mit unserem Kolben; wenn der sich entwickelnde Dampf erst gerade 15 Pfund Druck ausübt, so wird der Kolben, wenn er noch nicht in Bewegung ist, auch noch in Ruhe bleiben, man müßte ihm denn irgend einen noch so kleinen Anstoß geben; oder, wenn dies nicht geschieht, so wird durch die fortdauernde Erwärmung des Wassers der Dampf eine etwas größere Spannung als 15 Pfund auf den Quadratzoll annehmen, hierdurch dann den mit 15 Pfund drückenden Kolben in Bewegung setzen, zugleich aber seine Spannung oder seinen Druck, indem er sich ausdehnt, bis auf 15 Pfund vermindern und nun den Kolben so schnell vor sich her treiben, als sich durch Einwirkung der Lampe unten der zur Füllung der Röhre nöthige neue Dampf entwickeln kann.

7. Wird nun der Kolben oben festgehalten, der Dampf zu Wasser niedergeschlagen oder kondensirt und der Boden der Röhre freigelassen, welche, wie wir oben voraussetzten, aus einem ebenfalls mit 15 Pfund belasteten Kolben bestehen soll, so wird der Luftdruck denselben gerade in der Schwebe halten, aber der geringste Anstoß nach oben macht dann, daß er mit gleichförmiger Geschwindigkeit die 1700 Zoll steigt, welche sich zwischen ihm und dem oberen Kolben befinden, wobei wir annehmen, daß das niedergeschlagene Wasser auf irgend eine Weise verhindert wird, mit seinem Gewichte von etwa $1\frac{2}{3}$ Loth auf den Kolben zu drücken, oder daß dieser für sich nur 14 Pfund $30\frac{7}{8}$ Loth schwer sei, was auf dasselbe hinaus kommt. Wir haben hierbei gänzlich von der Reibung des Kolbens in der Röhre abgesehen, deren Ueberwindung einen Theil des mechanischen Effekts verzehrt, allein dies mußte geschehen, denn die erste Regel, um mit einer Sache in's Klare zu kommen ist, daß man sie für sich betrachte und Nebenumstände außer dem Spiele lasse.

Prägen wir uns also recht fest die beiden Resultate ein:

a. Ein Kubitzoll Wasser giebt einen Kubikfuß

Dampf von 15 Pfund Spannung und hebt daher 20 Ctr. einen Fuß hoch.

b. Durch Rückverwandlung dieses Dampfes in Wasser wird eine gleiche bewegende Kraft hervorgebracht.

Kapitel 6.

Wie viel Wärme nöthig ist, um Wasser in Dampf zu verwandeln.

1. Wir sagten am Ende des vorigen Kapitels, daß der Kolben in der Röhre so schnell steigen werde, als der zur Füllung des Raums nöthige Dampf sich aus dem Wasser entwickeln könne. Jeder weiß, daß dies um so schneller geschehen wird, je mehr Wärme die Lampe in einer bestimmten Zeit dem Boden der Röhre und somit dem Wasser mittheilt. Wir werden später sehen, wie viel Wasser mit einem Pfund Kohle verdampft werden kann; für jetzt wollen wir erst die Wärmemengen vergleichen, die erforderlich sind, kaltes Wasser zum Sieden zu bringen und wiederum siedendes Wasser in Dampf von derselben Temperatur zu verwandeln.

Denken wir uns, unsere Lampe brenne unter der Röhre ganz gleichförmig, so daß sie also dem Wasser in gleichen Zeiträumen genau gleichviel Wärme mittheile. Stellen wir uns ferner vor, unser Kubikzoll Wasser sei genau so kalt, daß er bei der geringsten weiteren Abkühlung eben anfangen würde zu gefrieren. Nun wollen wir uns die Zeit merken, welche von dem Augenblicke an vergeht, wo die Lampe anfängt zu wirken, bis zu dem Augenblick, wo das Wasser anfängt zu siedend, der Kolben also steigt; wir wollen einmal sagen, es sei eine Stunde oder eine Minute. Wiederum wollen wir dann die Zeit beobachten, die vergeht, bis alles Wasser in Dampf verwandelt ist. Wir werden dann finden, daß sie nahe $5\frac{1}{2}$ Stunden oder beziehlich $5\frac{1}{2}$ Minuten beträgt.

2. Hieraus folgt, daß $5\frac{1}{2}$ mal so viel Zeit erforderlich ist, um eine gegebene Menge siedenden Wassers in Dampf zu verwandeln, als um dieselbe Wassermenge vom Gefrierpunkte bis zum Siedepunkte zu erwärmen.

3. Dies ist eine Thatsache von so durchgreifender praktischer Wichtigkeit, daß sie dem Gedächtniß unauslöschlich eingepägt werden muß.

Aus ihr folgt, daß man $5\frac{1}{2}$ mal so viel Brennmaterial gebraucht, um siedendes Wasser in Dampf zu verwandeln, als erforderlich ist, um es vom Gefrierpunkte auf den Siedepunkt zu bringen.

4. Noch in anderer Hinsicht ist diese Thatsache merkwürdig und beachtenswerth.

Wenn man in den aus dem Wasser entstehenden Dampf ein Thermometer bringt, so zeigt es, daß der Dampf dieselbe Temperatur wie das siedende Wasser hat. So hat Wasser, das unter einem Druck von 15 Pfund auf den Quadratzoll siedet 100 Grad; ebensoviel hat der entstehende Dampf; Wasser, das unter 30 Pfund Druck siedet hat 121 Grad, desgleichen der Dampf von 30 Pfund Spannung, der sich daraus entwickelt, und so fort.

5. Was wird denn nun aus der außerordentlichen Wärmemenge, die dem siedenden Wasser fortwährend durch die Feuerung zugeführt wird? Wenn das Feuer im Stande war, das Wasser z. B. in einer Stunde um 100 Grad wärmer zu machen, so hätte dieses in den folgenden $5\frac{1}{2}$ Stunden noch um $5\frac{1}{2}$ mal 100° oder 550° wärmer werden, also eine Temperatur von 650° erreichen müssen, das ist ungefähr 250° mehr als die Temperatur rothglühenden Eisens — wäre es nämlich nicht in Dampf verwandelt worden. Hierbei hat aber gar keine Steigerung der Temperatur stattgefunden, da der Dampf, welcher in der That diese ganze außerordentliche Wärmemenge aufgenommen hat, nicht heißer geworden ist, als das Wasser gewesen war. Wo ist die Wärme nun und warum wird sie nicht vom Thermometer angezeigt?

6. Auf die erste Frage ist es leicht zu antworten, und wir haben sie schon beantwortet. Die Wärme steckt in dem Dampfe, wie wir gleich zeigen werden. Die zweite Frage aber reicht bis an die Grenzen der Wissenschaft und kann hier nicht beantwortet werden. Von der Wärme, die in dem Dampfe sitzt, und doch durch das Thermometer nicht angezeigt wird, sagt man, sie sei gebunden oder latent.

7. Mit diesem Worte aber müssen wir nicht glauben, mehr als einen Namen für diese unspürbare Wärme zu haben.

Ein Grund oder eine Erklärung dieser Unfühlbarkeit ist damit nicht gegeben.

8. Man sagt die Wärme wird dazu verwandt oder verbraucht, das Wasser aus dem tropfbar flüssigen in den luftförmigen Zustand zu versetzen und während sie das Wasser in diesem Zustande erhält, wird sie vom Thermometer nicht angezeigt. Dies ist aber wieder nur eine andere Art, die Thatsache auszusprechen und keine Erklärung derselben.

9. Ich sagte, 550° Wärme stecken in dem Dampfe, obgleich das Thermometer sie nicht anzeigt. Vielleicht könnte das schon dadurch als bewiesen gelten, daß das Feuer doch $5\frac{1}{2}$ mal so lange gleichförmige Wärme zugeführt hat, als um das Wasser um 100° zu erwärmen. Aber wir können es noch schlagender beweisen.

10. Man kann nämlich diese 550° Wärme wieder aus dem Dampfe gewinnen.

Ein Kubikfuß Dampf von 100° , der aus einem Kubitzoll Wasser entstanden ist, sei in einem verschlossenen Gefäße enthalten. Wenn nun $5\frac{1}{2}$ Kubitzoll Wasser von 0° eingespritzt werden, so werden diese den Dampf in Wasser verwandeln oder, technisch ausgedrückt, kondensiren, und es werden dann $6\frac{1}{2}$ Kubitzoll Wasser in dem Gefäß sein, nämlich die eingespritzten $5\frac{1}{2}$ Kubitzoll und der eine Kubitzoll, welcher in Dampfform darin war und einen Kubikfuß einnahm, aber jetzt zu nur einem Kubitzoll Wasser geworden ist. Diese $6\frac{1}{2}$ Kubitzoll Wasser werden nun aber eine Temperatur von 100° haben, d. h. dieselbe Temperatur, welche der eben kondensirte Dampf hatte.

Es hat also der Dampf, indem er zu Wasser von 100° wurde, die $5\frac{1}{2}$ Kubitzoll des eingespritzten Wassers von 0° bis 100° oder vom Gefrier- bis zum Siedepunkte erwärmt, während er selbst gerade in den Zustand wieder überging, aus dem er durch Hinzukommen von Wärme entstanden war. Die hierzu erforderliche Wärmemenge, welche, wie wir schon oben sagten, $5\frac{1}{2}$ so groß war, als die zur Erwärmung eines Kubitzolles Wasser von 0° auf 100° nöthige, hat nun auch richtig die $5\frac{1}{2}$ Kubitzoll Wasser von 0° auf 100° gebracht.

11. Es ist somit bewiesen, daß die in dem Dampfe enthaltene oder von ihm gebundene, durch das Thermometer nicht angezeigte, unfühlbare oder latente Wärme hinreicht, um sein $5\frac{1}{2}$ faches Gewicht Wasser vom Gefrier- bis auf den Siedepunkt zu bringen.

12. Dies ist ein für die Kosten der Dampfkraft wichtiges Resultat. Die von irgend einem Brennmaterial von gleichmäßiger Beschaffenheit gelieferte Hitze steht mit der Menge desselben in gleichem Verhältnisse. Man bedarf also $6\frac{1}{2}$ mal so viel Feuerung, um Wasser von 0° in Dampf zu verwandeln, als um es bloß bis zur Siedehitze zu bringen. Ist das Wasser etwa 25° warm, so braucht man bis zum Sieden seine Temperatur bloß um 75° zu steigern; um es dann zu verdampfen, müssen aber wieder 550° Wärme geliefert werden, zusammen also 625° oder $8\frac{1}{3}$ mal so viel, als dazu erforderlich sind, es zum Sieden zu bringen u. s. f.

13. Ich habe während dieser ganzen Auseinandersetzung angenommen, daß das Wasser unter dem gewöhnlichen Drucke von 15 Pfund auf den Quadratzoll verdampft worden sei; (wie z. B. auch in einem offenen Gefäße, da der Luftdruck so viel beträgt) man könnte daher fragen: was bei einer Verdampfung unter anderem Drucke und bei anderer Temperatur stattfinden würde? Könnte da die Verdampfung nicht vielleicht mit einer Ersparniß an Wärme und daher auch an Brennmaterial bewirkt werden? Das wäre in der That für die Kosten der Dampfkraft sehr wichtig.

14. Eine solche Ersparniß findet jedoch nicht Statt. Man hat gefunden, daß, unter welchem Drucke auch die Verdampfung vor sich gehe, dieselbe Zeit und Wärmemenge erforderlich ist, um durch dieselbe Feuerung dieselbe Wassermenge in Dampf zu verwandeln. Freilich wird eine längere Zeit vergehen und also mehr Wärme verbraucht werden, wenn das Wasser unter einem Drucke von 30 Pfund auf den Quadratzoll erst bis 121° erwärmt werden muß, ehe es sich in Dampf verwandelt. Die Dampfbildung geht dann aber desto schneller, weil der Dampf dann um so viel Grade weniger Wärme bindet. Die sogenannte latente oder gebundene Wärme ist bei größerem Druck um so viel Grad geringer, als die Siedehitze höher ist. Man drückt diese merkwürdige Thatsache in der Regel so aus, daß die Summe der gebundenen und freien (d. h. durch das Thermometer angezeigten) Wärme immer dieselbe sei, nämlich nahe zu 650° ; genauere Angaben schwanken zwischen 630 und 640° .

15. Verdampft also Wasser unter einem Drucke, daß sein Siedepunkt bei 150° ist, — und es würde dies bei einem Drucke von etwa 67 Pfund auf den Quadratzoll der Fall sein, — so ist die gebundene Wärme des Dampfes nur 500° ; wäre

der Siedepunkt bei 200° , wo der Druck 203 Pfund auf den Quadrat Zoll betragen müßte, so würde der Dampf nur 450° Wärme binden u. s. f.

16. Diese Erscheinung ist sehr merkwürdig; es steht aber fest, daß der Verbrauch an Brennmaterial gleich groß ist, bei welchem Drucke auch das Wasser in Dampf verwandelt wird.

Kapitel 7.

Wie Dampf durch seine Expansion oder Ausdehnung mechanische Kraft erzeugt.

1. Wir haben gesehen, wie ein Kolben mit einer bestimmten Kraft von einem Ende eines Cylinders zum andern getrieben wird, indem man Dampf einströmen läßt. Wir nehmen jetzt dabei an, daß der Dampf von einem Dampfkessel gleichförmig geliefert werde. Der Kolben rückt fort, weil der zuströmende Dampf mehr Raum erfordert, und wird also am Ende des Cylinders angelangt sein, wenn so viel Dampf, als den Cylinder füllt, in denselben eingetreten ist. Nun müssen wir wohl bemerken, daß diese Wirkung auch von jeder andern Flüssigkeit, z. B. von Wasser hervorgebracht werden würde, das unter demselben Druck und in genügender Menge in den Cylinder flösse. Der Dampf wirkt hier also nicht als elastischer flüssiger Körper, sondern als flüssiger Körper überhaupt, der mit einem gewissen Druck aus dem Kessel kommt.

2. Jetzt hingegen wollen wir eine Wirkung des Dampfes betrachten, die eine unelastische oder tropfbare Flüssigkeit nicht hervorbringen kann; eine Wirkung also, die der Dampf vermöge der Eigenschaften hat, welche ihm mit der gewöhnlichen Luft und anderen gasförmigen Körpern gemeinsam sind, die jedoch Wasser und andere tropfbare Flüssigkeiten nicht haben.

3. Stellen wir uns vor, daß der in den Cylinder strömende Dampf auf den Kolben irgend einen bestimmten Druck ausübe, z. B. von einem Centner, und zwar so lange, als überhaupt welcher eintritt; daß ferner, wenn der Kolben bis in die Mitte des Cylinders getrieben worden, plötzlich die Einströmungsöffnung geschlossen werde; was wird dann geschehen?

4. Der Kolben wird dann nicht länger durch frisch aus dem Kessel zuströmenden Dampf fortgetrieben, dessenungeachtet drückt der Dampf auf ihn vermöge seiner Spannung mit 1 Etr. Kraft und er muß daher fortfahren sich zu bewegen, vorausgesetzt, daß nicht von der andern Seite eine gleiche Kraft in entgegen-gesetztem Sinne wirke, wie wenn etwa der Druck der äußeren Luft auch im Ganzen 1 Etr. betrüge. Um hiervon absehen zu können wollen wir annehmen, daß auf der andern Seite des Kolbens ein luftleerer Raum oder ein Vacuum sei, was ja wie wir später sehen werden, in der Regel durch Kondensirung des vorher auf dieser Seite wirkenden Dampfes, wenigstens näherungsweise, bewirkt wird. Sowie nun der Kolben vorrückt, vermindert sich die Spannkraft des Dampfes, der sich dann mehr und mehr ausdehnt; und er wird daher auf den Kolben mit weniger als 1 Centner drücken, und zwar gerade so viel mal weniger, als der nun von ihm eingenommene Raum größer geworden ist. Kommt endlich der Kolben am Ende des Cylinders an, so füllt der Dampf den ganzen Cylinder, während er anfangs nur den halben füllte, und sein Druck auf den Kolben, der Anfangs einen Centner betrug, wird dann bloß gleich einem halben Centner sein.

5. Es ergibt sich hieraus, daß der Kolben durch die letzte Hälfte des Cylinders von einer beständig abnehmenden Kraft getrieben wird, die mit einem Centner anfängt und mit einem halben Centner aufhört.

6. Wenn wir im Stande wären den ganzen Betrag dieser bewegenden Kraft zu berechnen, so könnten wir also den mechanischen Effect angeben, welcher durch die Ausdehnungskraft oder Expansion des Dampfes in der zweiten Hälfte des Cylinders hervorgebracht wird.

7. Dem ersten Anscheine nach könnte man denken, daß der durchschnittliche Druck das Mittel zwischen dem ursprünglichen von 1 Etr. und dem Enddruck von $\frac{1}{2}$ Etr. sein müßte. Diese Annahme würde jedoch falsch sein. Richtig würde sie sein, wenn der Druck so abnähme, daß auch auf $\frac{3}{4}$ des Cylinders der Druck $\frac{3}{4}$ Etr. u. s. f. betrüge. Dies ist aber nicht der Fall; denn da der Dampf dann $1\frac{1}{2}$ oder $\frac{3}{2}$ mal das ursprüngliche Volumen hat, so ist sein Druck gleich $\frac{1}{1\frac{1}{2}} = \frac{2}{3}$ Etr., also kleiner als $\frac{3}{4}$ Etr. und nicht das Mittel von 1 Etr. und $\frac{1}{2}$ Etr.

8. Die höhere Mathematik, deren Kenntniß wir hier

nicht voraussetzen können, lehrt diesen durchschnittlichen Druck genau berechnen und giebt für unseren Fall $69\frac{1}{3}$ Pfund statt 75 Pfund, wobei wir den Centner zu 100 Pfund (Zollgewicht) rechnen.

9. Der mechanische Effect der Expansion des Dampfes ist somit für unseren Fall gleich $69\frac{1}{3}$ Pfund, gehoben auf die halbe Cylinderlänge. Wir sehen also, daß beinahe 75 Prozent zu dem ursprünglichen mechanischen Effecte hinzugekommen sind *).

10. Man kann nun fragen, ob die Anwendung dieses Principes der Expansion nicht eine Grenze finde. Es ist bekannt, daß die luftförmigen Körper einer unbegrenzten Ausdehnung fähig sind, und es könnte so scheinen, als ob auf diese Weise eine unbegrenzte Vermehrung des mechanischen Effectes zu erreichen sei; dies ist jedoch nicht der Fall und die Anwendung der Expansion findet in der Praxis sogar verhältnißmäßig sehr enge Grenzen.

11. Jedenfalls, das ist schon hier klar, muß der Druck des expandirten Dampfes noch so groß bleiben, daß er für sich nicht bloß die Reibung des Kolbens, sondern überhaupt alle Widerstände überwindet, die in der Maschinerie bis zu dem Punkte liegen, wo sie die nützliche Arbeit verrichtet; ist dies eben nur der Fall, so hat der Dampfdruck keinen Nutzeffect mehr zur Folge.

12. Wäre aber gar der Druck des expandirten Dampfes noch geringer, so würde zwar die Maschine noch eine kurze Zeit im Gange bleiben können, aber, auch wenn die Last, die sie etwa bewegen soll, abgehängt wäre, immer langsamer arbeiten und bald zur Ruhe kommen; und fände keine Trennung der bewegten Last von der Maschine Statt, so würde diese Last selbst ihre etwa schon erlangte Bewegung wieder an die Maschinenteile abgeben müssen, oder von der Höhe, auf welche sie gehoben wurde, wieder herabgezogen werden, wenn dies nicht sonst wie verhindert würde.

13. Wenn man das Princip der Expansion in ausgedehntem Maaße anwenden will, so muß man Dampf von hohem Drucke und großer Dichtigkeit anwenden; solcher Dampf kann

*) Der Verfasser hat hier die Verminderung der Spannung außer Acht gelassen, welche durch die Temperaturverminderung entsteht, die mit einer plötzlichen Ausdehnung luftförmiger Körper verbunden ist. Hierdurch wird der Zuwachs an mechanischem Effecte noch herabgedrückt. —

sich beträchtlich ausdehnen, ehe sein Druck so weit herabsinkt, daß er mit dem Widerstande der Maschine ins Gleichgewicht kommt.

14. Wenn Expansion stattfindet, so ändert sich der Druck auf den Kolben fortwährend. Nun wird es sich selten treffen, daß auch der Widerstand, den der Kolben besiegen muß, sich gerade in dem entsprechenden Verhältniß ändert, und es müßte also fast immer eine unregelmäßige Bewegung entstehen. Im Anfang, wo die treibende Kraft größer als der Widerstand ist, würde die Bewegung beschleunigt werden, gegen das Ende des Hubes hin aber würde sie wieder verzögert werden, weil der Widerstand dann größer wäre, als die treibende Kraft. Um diese Veränderungen und Schwankungen auszugleichen, sind viele sehr verschiedenartige mechanische Vorrichtungen angegeben worden.

15. Die am meisten angewandte und schönste von diesen ist das Schwungrad. Es ist dies ein schweres Rad von Metall, welches gut centrirt ist und sich mit wenig Reibung um seine Achse dreht, so daß nur eine geringe Kraft erforderlich ist, um es in gleichmäßiger Bewegung zu erhalten. Die veränderliche Wirkung des Kolbens wird nun auf dieses Rad übertragen. Wenn die treibende Kraft größer ist als der Widerstand der Last, so wird das Mehr auf das Rad übertragen, welches wegen seiner großen Masse nur wenig dadurch beschleunigt wird. Eine geringere Zunahme an Geschwindigkeit, die kaum bemerklich ist, verzehrt so zu sagen eine ungeheure bewegende Kraft, wie auch wiederum umgekehrt das Schwungrad einen ebenso großen mechanischen Effekt hervorbringen kann, ohne merklich an Geschwindigkeit zu verlieren. Dies geschieht nun eben, wenn der Dampfdruck auf den Kolben so gering wird, daß er für sich allein den Widerstand nicht überwinden würde und der im Anfang aufgenommene Ueberschuß ergänzt, was der treibenden Kraft am Ende fehlt.

16. So ist also das Schwungrad gewissermaßen ein Magazin von Kraft, welches dieses liefert oder auffammelt, je nachdem die Maschinerie es erfordert. Ist die bewegende Kraft zu groß, so nimmt es den Ueberschuß auf, wird sie zu klein, so erstattet es den aufgenommenen Ueberschuß zurück.

17. Es giebt allerdings einige Fälle, in denen die Natur der Arbeit, welche die Maschine zu verrichten hat, es gestattet, sich der Expansion ohne Anwendung eines Schwungrades zu be-

dienen. Wenn jedoch eine auch nur annähernd gleichmäßige Bewegung erfordert wird, so ist irgend eine ausgleichende Vorrichtung erforderlich.

18. Es giebt Expansionsmaschinen verschiedener Art, aber die bei Weitem gebräuchlichste Art und Weise, die Expansion wirken zu lassen, ist die oben beschriebene, nämlich, daß der Dampfzufluß an irgend einem Punkte vor Vollendung des Hubs abgeschnitten wird. Es geschieht dies zuweilen bei halbem Hub, zuweilen bei ein Drittel, zuweilen bei noch weit geringeren Theilen des Hubs.

Kapitel 8.

Wie ein Vacuum hervorgebracht wird, ohne das Gefäß abzukühlen, worin der Dampf enthalten ist.

1. Welche Kraft auch den Kolben treibe, so wird deren Wirkung offenbar vergrößert werden, wenn man im Stande ist, auf der Seite des Kolbens, nach der er sich bewegt, ein Vacuum oder einen leeren Raum hervorzubringen, und also den Gegendruck der Luft abzuhalten; auch dann noch, wenn dies nur theilweise gelingt, wird ein verhältnißmäßiger Kraftgewinn erreicht werden.

2. Wir haben schon gesehen, daß dies geschehen kann, wenn der Cylinder vorher mit Dampf gefüllt war, und dann der ihn füllende Dampf abgekühlt und dadurch kondensirt wird. Ein Kubikfuß Dampf von 15 Pfd. Spannung giebt nun niedergeschlagen einen Kubikzoll Wasser und für jeden Kubikfuß Dampf, der in dem Cylinder war, erhalten wir also einen Kubikfuß Vacuum weniger den einen Kubikzoll.

3. Hier begegnen wir aber einer praktischen Schwierigkeit, die lange ohne Lösung blieb. Wenn wir den Dampf im Cylinder durch Abkühlung niederschlagen, so kühlt sich der Cylinder auch mit ab, und wir müßten ihn also beim nächsten Hube wieder erwärmen, denn sonst würde sich erst so viel von dem einströmenden Dampfe kondensiren müssen, bis der Cylinder durch die beim Niederschlagen frei werdende gebundene Wärme wieder die Temperatur des Dampfes angenommen hätte. Ob wir nur den Cylinder jedesmal direkt aufs Neue erwär-

men, oder ihn so zu sagen mit dem sich kondensirenden Dampfe heizen, immer wird ein sehr großer Wärmeverbrauch stattfinden, da ja auch der heizende Dampf erst durch Wärme erzeugt werden muß, aber keine bewegende Kraft ausübt. In der That war die Dampfmaschine seit ihrer Erfindung in den ersten Jahren des vergangenen Jahrhunderts in der Form der sogenannten atmosphärischen Dampfmaschine mit diesem großen Uebelstande behaftet, bis Watt im Jahre 1763 die Aufgabe löste, den Dampf ohne Abkühlung des Cylinders zu kondensiren.

4. Wie alle große Erfindungen erscheint auch diese erstaunlich einfach, nun wir sie kennen, und man wundert sich nur, daß der menschliche Erfindungsgeist ein halbes Jahrhundert lang nicht darauf gekommen ist, obgleich er durch die Aussicht auf eine Belohnung angespornt werden konnte, die bei Watt ein fürstliches Vermögen war.

5. Zuerst erzeugte man im Cylinders ein Vacuum, indem man seine äußere Oberfläche abkühlte. Hierdurch wurde der Dampf nur langsam niedergeschlagen, und so mußte also auch die Bewegung der Maschine ungebührlich verzögert werden. Der Zufall führte auf ein weit schneller und kräftiger wirkendes Mittel.

Es war am Boden eines Cylinders gerade an einer Stelle ein Loch entstanden, wo das Kühlwasser mit ihm in Berührung war. Dieses wurde nun durch den Druck der äußeren Luft in einem Strahle durch das Loch gespritzt, und kondensirte den Dampf durch seine Berührung augenblicklich, so daß plötzlich das Vacuum entstand. Der ungewöhnlich schnelle Niedergang des Kolbens erregte Aufmerksamkeit; die Ursache wurde aufgefunden und man verließ von da ab die Methode, den Cylinders von Außen zu kühlen. Man brachte am Boden des Cylinders zwei Hähne oder Ventile an, durch deren einen man das Wasser zur gehörigen Zeit einspritzen ließ, während durch den andern das Wasser und der kondensirte Dampf abgelassen wurden. In dieser Weise wurden denn die Maschinen bis zu der Erfindung eingerichtet, die nebst vielen anderen Watt's Namen unsterblich gemacht hat.

6. Obgleich die Kondensation durch Einspritzen, wie wir schon erwähnt haben, den Vortheil der schnellen Wirkung hat, so wurde doch immer der Cylinders abgekühlt, und seine Wiedererwärmung kostete unnütz Brennmaterial. Im ersten Augen-

blicke zwar würde ein Wasserstrahl die Wände des Cylinders nicht wesentlich abkühlen, allein die in ihnen steckende Hitze würde unmittelbar einen Theil des Wassers wieder in Dampf verwandeln und so den entstandenen leeren Raum wieder füllen. Man mußte also nicht bloß so viel Wasser einspritzen, als zur Kondensirung des Dampfes genügt haben würde, sondern um auch die Cylinderrände auf mindestens 50° abzukühlen; und selbst bei dieser Temperatur bleibt noch ein Theil des Dampfes nicht kondensirt, was der Wirksamkeit der Maschine sehr hinderlich ist.

7. Watt's Erfindung bewirkte nicht bloß ein fast vollkommenes Vacuum, sondern that dies auch, ohne den Cylinders im Geringsten abzukühlen. Watt kam auf den Gedanken, in der Nähe des Cylinders ein anderes Gefäß anzubringen, das von kaltem Wasser umgeben war, und in welchem fortwährend ein Strahl kalten Wassers sprang. Dieser Gedanke lag in der That sehr nahe, da ja auch die Erzeugung des Dampfes schon in einem besonderen Gefäße bewirkt wurde. So oft nun der Dampf im Cylinders kondensirt werden sollte, stellte Watt durch einen Hahn oder ein Ventil eine Verbindung desselben mit diesem Gefäße her; sogleich fuhr dann der Dampf vermöge seiner Spannkraft hinein und wurde augenblicklich darin niedergeschlagen; während im Cylinders ein fast vollkommenes Vacuum, aber nicht die geringste Abkühlung entstand.

8. Das erwähnte in einem Kaltwasserbehälter befindliche Gefäß mit dem darin springenden Wasserstrahle wurde Kondensator genannt. Bei fortdauernder Wirksamkeit würde dieser Kondensator nicht bloß durch das eingespritzte und das Kondensationswasser nach einiger Zeit gefüllt werden, sondern es würde sich auch mehr oder weniger Luft darin ansammeln, welche in dem Speisewasser des Kessels enthalten war und beim Sieden sich entwickelte. Diese Luft würde vermöge ihrer Spannkraft dem Kolben im Cylinders entgegen wirken, und auch das Ueberströmen des Dampfes von dem Cylinders in den Kondensator verzögern. Allen diesen Uebelständen wurde durch eine Pumpe abgeholfen, die sowohl das Wasser als die Luft aus dem Kondensator schafft; es ist dies die sogenannte Luftpumpe.

9. Das Wasser, welches den Kondensator umgiebt, wird mit der Zeit warm und würde mithin die Kondensation nicht mehr gehörig bewirken, wenn es nicht durch kaltes ersetzt

würde. Dies wird durch eine zweite Pumpe bewirkt. Das von ihr gelieferte kalte Wasser sinkt wegen seines größeren Gewichtes im Kaltwasserbehälter nach unten, und das leichtere warm gewordene Wasser fließt durch eine nahe an der Oberfläche angebrachte Röhre fortwährend ab. Mit diesen Einrichtungen erreichte die Methode der getrennten Kondensation ihre Vollendung.

10. Durch diese Erfindung, im Verein mit einigen anderen, die weiter unten beschrieben werden sollen, wurde eine Ersparniß von etwa 75% an dem Brennmaterial erreicht, welches die früheren Dampfmaschinen bedurften. Watt und sein Genosse, Boulton, begnügten sich mit dem dritten Theile der bewirkten Ersparniß als Lohn für dies der Industrie gemachte Geschenk, und dies eine Drittel war genug, daß beide berühmte Männer ihren Nachkommen ein sehr bedeutendes Vermögen hinterlassen konnten.

Kapitel 9.

Wie der mechanische Effekt des Dampfes dadurch vermehrt werden kann, daß man ihm selbst unmittelbar Wärme mittheilt.

1. Bei allen gewöhnlichen Anwendungen der Dampfkraft wird die Wärme dem Wasser zugeführt, aus welchem der Dampf erzeugt wird. Man kann aber auch den Dampf selbst erhitzen, nachdem er vom Wasser getrennt ist, und dadurch in einem gewissen Verhältnisse seine Spannkraft und mechanische Wirkung steigern.

Manche haben geglaubt, daß die in dieser Art verwandte Wärme wirksamer sein möchte, als wenn man mit derselben Dampf aus Wasser erzeugt. Es mag daher wohl nützlich sein, hier zu erklären, in welchem Grade die mechanische Wirksamkeit des Dampfes auf diese Weise vermehrt werden kann.

2. Es ist eine merkwürdige Thatsache, daß alle Gase oder Luftarten sich durch Erwärmung in demselben Verhältnisse ausdehnen*). Man hat gefunden, daß diese Ausdehnung bei einer Erwärmung von 0 bis 100° oder überhaupt um 100°

*) Nach den neueren Untersuchungen von Magnus und Regnault ist dies nicht genau, aber doch nahezu der Fall.

gerade $\frac{3}{8}$ des ursprünglichen Volumens beträgt. Wenn man also einen Kubikfuß atmosphärischer Luft oder Stickluft oder Wasserstoffgas u. s. f. von 0° hätte und sie bis 100° erwärmt, so würden $1\frac{3}{8}$ Kubikfuß daraus werden, bei 200° $1\frac{1}{8}$ u. s. f., ebenso bei 50° nur $1\frac{3}{16}$ bei 25° $1\frac{3}{32}$ u. s. w.; oder wenn diese Luft in einem Gefäße eingeschlossen wäre, so daß sie sich nicht ausdehnen könnte und bei 0° auf eine Stelle desselben etwa mit 1 Pfd. drückte, so würde sie bei 100° mit $1\frac{3}{8}$ Pfd. bei 200° mit $1\frac{1}{8}$ Pfd., bei 50° mit $1\frac{3}{16}$ und bei 25° mit $1\frac{3}{32}$ Pfd. drücken.

3. Dies Gesetz gilt nun auch für die Dämpfe. Für jeden Grad, um den der Dampf, außer Berührung mit Wasser, erwärmt wird, steigt daher sein Druck um etwa $\frac{1}{3}\%$ und in demselben Verhältnisse wächst auch der mechanische Effect.

4. Es ist kaum nöthig zu erwähnen, daß man mit demselben Aufwande von Brennmaterial, der hierzu nöthig ist, auch eine vermehrte Dampfentwicklung aus dem Wasser erhalten und so ebenfalls den mechanischen Effect erhöhen könnte; ohne daher noch näher auf die Sache einzugehen, bemerken wir nur, daß der überhitzte Dampf, wie man ihn zu nennen pflegt, bis jetzt noch keine vortheilhafte Anwendung zum Betriebe von Maschinen gefunden hat, daß er hingegen zu anderen Zwecken neuerdings mit großem Erfolg benutzt worden ist.

Kapitel 10.

Wie der abwechselnde Dampfzuzug bewirkt wird und der Kolben eingerichtet ist.

1. Wir wissen schon, daß der Kolben in dem Cylinder hin und her getrieben werden muß, wenn man abwechselnd an den Enden des letzteren Dampfs ein- und ausströmen läßt. Wir wollen uns nun mit den Mitteln bekannt machen, durch welche das bewirkt wird.

2. Offenbar müssen an jedem Ende des Cylinders zwei Oeffnungen vorhanden sein, eine, durch welche der Dampf aus dem Kessel zuströmen und eine andere, durch welche er nach vollbrachter Wirkung wieder entweichen oder in den Condensator gelangen kann, wenn ein solcher vorhanden ist.

3. Diese beiden Oeffnungen müssen nun abwechselnd geöffnet und geschlossen werden, was sich auf sehr verschiedene Weise bewirken läßt. Es kann z. B. durch eine Art Stöpsel geschehen, die dampfdicht in die Oeffnungen passen. Sie sind gerade wie die Stöpsel einer Karaffe beschaffen, nur daß sie mehr kegelförmig oder abgesehägt sind, damit das Oeffnen und Schließen schneller Statt finde. Gewöhnlich sind sie von Messing oder Kanonenmetall und so eingeschliffen, daß sie vollkommen genau schließen. Man nennt diese Stöpsel Regelventile und zwar diejenigen, welche den Dampf zulassen, Dampfventile, die andern Ausflußventile oder Condensationsventile.

4. Haben wir nun eine solche Vorrichtung, die man Steuerung nennt, so ist der Gang der Maschine sehr einfach.

Obgleich der Cylinder nicht nothwendig aufrecht zu stehen braucht, was auch in der That häufig nicht der Fall ist, so wollen wir dies doch der bequemerer Erklärung wegen voraussetzen und dann die oberen und unteren Dampf- und Ausflußventile unterscheiden. Wir wollen ferner annehmen, der Kolben beginne seine Bewegung am oberen Ende des Cylinders, der unterhalb mit Dampf gefüllt sei und dessen Ventile wir uns zuerst als sämtlich geschlossen denken. Nun möge das obere Dampfventil zugleich mit dem unteren Ausflußventil geöffnet werden, so wird durch das obere Dampfventil Dampf einströmen, während der unter dem Kolben befindliche Dampf in den Condensator fährt und dort niedergeschlagen wird. Es ist mithin unter dem Kolben ein Vacuum und über ihm Dampf; dieser wird ihn also durch seinen Druck auf den Boden des Cylinders niedertreiben müssen.

5. Wenn er hier angekommen ist, mögen die beiden jetzt offenen Ventile geschlossen werden. Das obere Ende des Cylinders ist dann vom Kessel und das untere vom Condensator abgeschnitten. Nun werde aber gleichzeitig das obere Ausfluß-, sowie das untere Dampfventil geöffnet. Sogleich fährt der über dem Kolben vorhandene Dampf in den Condensator und aus dem Kessel tritt frischer Dampf unter den Kolben, der mithin wiederum bis zum Deckel des Cylinders steigen muß. Wenn also die Ventile auf diese Weise immer paarweise geöffnet und geschlossen werden, so wird auch der Kolben seine wiederkehrende Bewegung von einem Ende des Cylinders zum andern fortsetzen.

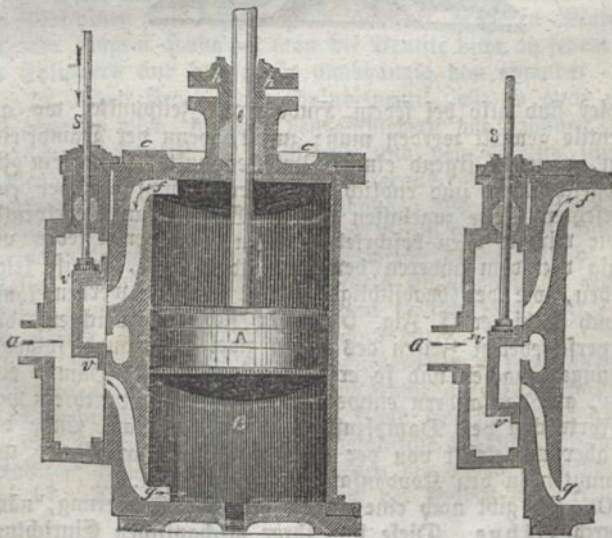
6. Bei den früheren Dampfmaschinen wurde dieses ab-

wechselnde Schließen und Öffnen der Ventile oder Hähne von einer dazu eigens angestellten Person verrichtet, und zwar wie jede fortdauernde Thätigkeit, die von dem Willen des Menschen abhängt, unregelmäßig. Man sah bald, daß man die Maschine selbst diese Verrichtung ausführen lassen könne und zwar mit der größten Sicherheit, Regelmäßigkeit und Genauigkeit. Es wird erzählt, daß ein unterrichteter Knabe, Namens Humphrey Potter, der Erfinder dieser Verbesserung gewesen sei, durch welche die Dampfmaschine zuerst eine selbst wirkende und sich selbst regulirende Maschine wurde.

7. Aus dem oben Gesagten sehen wir schon, daß eigentlich nur eine einfache Wechselbewegung der Ventile nöthig ist, obgleich deren 4 vorhanden sind; denn offenbar können diese sehr leicht so verbunden werden, daß sie von irgend einem Theile der Maschinerie in der verlangten Weise hin und her geschoben werden, indem immer gleichzeitig das obere Dampf- und untere Ausflußventil und umgekehrt das untere Dampf- und obere Ausflußventil beziehlich zu schließen und zu öffnen sind.

8. Oft wird die Verbindung zwischen den Enden des Cylinders und dem Kessel einerseits, so wie dem Condensator andererseits auf noch einfachere Weise, als durch die besprochenen Regelventile bewirkt.

Fig. 4.



Die beiden Oeffnungen f und g (Fig. 4) am Cylinderende gehen nämlich in ebene Flächen aus, über welche zwei gleitende Deckel v, v sich bewegen, die durch einen von dem einen Ende des Cylinders bis zum andern gehenden Stab oder eine Stange verbunden sind. Wenn nun diese Stange (s) auf und nieder bewegt wird, und die Deckel vorher richtig gestellt sind, so werden die Oeffnungen für den Dampf Abfluß und Zufluß paarweise in der Art zugedeckt oder geöffnet (wie in Fig. 4 I. und II. ersichtlich), daß die beschriebene Wirkung erreicht wird. Diese Vorrichtung nennt man Schieber oder Schieberventil.

9. Wenn der Dampf mit Expansion angewandt wird, indem der Zufluß vor vollendetem Hub abgeschnitten wird, so werden die Oeffnungen nicht gleichzeitig geöffnet und geschlossen. Das eine Dampfventil wird nämlich geschlossen, wenn der Kolben einen gewissen Theil seines Weges zurückgelegt hat, der andere aber erst nach Vollendung des Hubs geöffnet, um den Dampf zuzulassen.

Fig. 5.



Hier sind also bei jedem Hube drei Zeitpunkte, wo auf die Ventile gewirkt werden muß; zuerst, wenn der Dampf eingelassen, dann in irgend einem Zwischenpunkte, wenn sein Zufluß abgeschnitten, und endlich wenn der Dampf von der entgegengesetzten Seite zugelassen wird. Wenn man Regelventile hat, wie wir sie oben beschrieben haben, von denen jedes unabhängig von dem andern bewegt werden kann, so ist leicht einzusehen, wie der beabsichtigte Zweck erreicht werden kann; aber auch Schieber (s. Fig. 5) lassen sich so einrichten, daß sie zu verschiedenen Zeiten des Hubs zwei aufeinander folgende Bewegungen machen und so erst auf einer Seite Dampf einströmen, auf der andern entweichen lassen, dann durch ein weiteres Fortrücken den Dampfzufluß abschneiden, am Ende des Hubs aber umgekehrt von der anderen Seite Dampf ein- und den benutzten in den Kondensator strömen lassen.

10. Es gibt noch eine andere Art der Steuerung, nämlich durch Hähne. Diese sind ihrer mechanischen Einrichtung

nach dem gewöhnlichen Wasserhähnen ähnlich. Ein abgestumpfter metallener Ke gel dreht sich dampfdicht in einer entsprechenden Höhlung und hat zwei oder mehr Durchbohrungen, deren Oeffnungen durch Drehen auf die entsprechenden Oeffnungen des Hohlkegels, in welchem er sich dreht, gebracht oder davon entfernt werden können. So kann also Dampf gerade so in den Cylinder gelassen und wieder abgelassen werden, wie eine Flüssigkeit vermittelst eines gewöhnlichen Hahns aus einem Gefäße abgezapft wird.

11. Bei dieser Einrichtung muß man offenbar die zu beiden Cylindern gehörigen Oeffnungen des Dampf-Zu- und Abflusses an einem Punkte anbringen können; das hat aber auch keine Schwierigkeit. Man braucht nämlich nur von dem Punkte, wo sich der Hahn befindet, Röhren nach den Cylindern zu leiten, durch welche der Dampf ein- oder ausströmen kann. Allein diese Einrichtung hat den practischen Nachtheil, daß bei jedem Hub so viel Dampf als in diesen Canälen enthalten ist, unbenutzt verloren geht, insofern er nicht auf den Kolben gewirkt hat. Der so entstehende Verlust ist natürlich desto größer, je größer der Inhalt der Kanäle im Verhältniß zu dem Inhalte des Cylinders ist, und man wendet aus diesem sowie manchen anderen Gründen die Hähne nur bei kleinen Maschinen von kurzem Hube an; bei größeren Maschinen mit sehr langem Hube hat man die Ventile dicht an jedem Ende des Cylinders und bewegt sie unabhängig von einander.

12. Das Ke gel- oder Spindelventil, wie es auch zuweilen genannt wird, hat vor den Schiebern und Hähnen einige Vorzüge; es bewirkt die Oeffnung und den Schluß schneller, ist weniger der Abnutzung und der daraus folgenden Undichtheit unterworfen und hat weniger Reibung. Wie oben bemerkt und wie schon der Name sagt, ist dieses Ventil kegelförmig und paßt in eine entsprechende Oeffnung, in welche es dampfdicht eingeschlossen ist. Der Winkel des Kegels ist gewöhnlich 45° ; ist nämlich der Ke gel spitzer, so klemmt er sich leicht fest, ist er aber flacher, so läßt er leicht Dampf durch.

13. Bei der Anwendung von Schiebern bewirkt man das dampfdichte Gegenliegen derselben gegen die Fläche, auf welcher sie gleiten, entweder durch eine Packung von Hanf, der mit Talg getränkt ist, oder durch eine sogenannte metallische Packung, indem eine metallische Fläche durch Federn gegen die andere gepreßt wird.

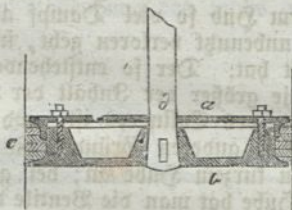
14. Die Kraft, mit welcher der Kolben arbeitet, hängt

sehr davon ab, daß er dampfdicht in den Cylinder paßt. Sobald irgend wie Dampf von einer Seite des Kolbens zur andern kann, so entsteht ein Kraftverlust. Zwar wird der nach der Seite des Vacuums entweichende Dampf schnell condensirt und kann daher dem Kolben keinen wesentlichen Widerstand leisten, allein es muß nicht nur ebensoviel frischer Dampf von dem Kessel geliefert und also mit Verbrauch von Brennmaterial erzeugt werden, sondern es ist auch um so mehr Kühlwasser erforderlich, oder das vorhandene wird stärker erwärmt und bewirkt daher kein so vollständiges Vacuum.

15. Man macht den Kolben entweder durch eine Hanf- oder metallische Packung dampfdicht.

Ein Kolben mit gewöhnlicher Hanfspackung oder Hanfliederung (Fig. 6.)

Fig. 6.

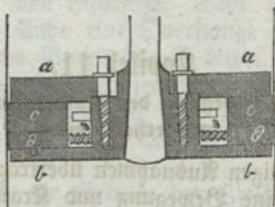


besteht aus zwei kreisförmigen metallischen Platten (a u. b), welche durch Schrauben (f f) mit einander verbunden sind. In dem Raume zwischen diesen Platten ist am Rande herum eine Höhlung (cc) gelassen, welche mit ungesponnenen Hanfzöpfen oder weichem Tau ausgefüllt wird. Diese Stoffe werden um den Kolben (d) gewunden und dann durch Zusammenschrauben der beiden Deckelplatten zu einer festen und gleichförmigen Masse zusammengedrückt. Diese Masse wird nun gegen die Wände des Cylinders gedrückt und mit geschmolzenem Talg schlüpfrig erhalten, welchen man durch einen Trichter in den Deckel des Cylinders einfließen läßt, der, um das Entweichen von Dampf zu vermeiden, mit einem Hahn versehen ist.

16. Die besten neueren und namentlich alle Hochdruck-

Maschinen sind jedoch in der Regel mit einer metallischen Packung oder Liderung versehen. (Fig. 7.)

Fig. 7.



Zwischen den beiden Platten (a und b), welche den Deckel und Boden des Kolbens bilden, ist eine Anzahl metallischer Ringe (c d), einer über dem anderen, so daß sie den Zwischenraum zwischen den Platten ausfüllen. Jeder Ring ist in drei oder vier Stücke getheilt, aber die Stellen, wo sie durchgeschnitten sind, liegen da, wo die übrigen Ringe nicht durchgeschnitten sind. Diese Ringstücke werden nun von der Mitte des Kolbens aus durch Federn (e) gegen die Cylinderfläche gedrückt und sowohl ihre Construction als die des Cylinders selbst ist jetzt zu einer solchen Vollkommenheit und Genauigkeit gediehen, daß ein vollkommen dampfdichter Schluß bewirkt wird; überdies leiden sie durch den Gebrauch nicht, sondern schleifen sich erst recht ein.

17. Wir haben bei den vorhergehenden Auseinandersetzungen immer angenommen, daß der Dampf an beiden Cylinderenden erst zugelassen wird, wenn der Kolben dort angelangt ist. Man hat jedoch gefunden, daß es gut ist, dies ein wenig vorher zu thun, damit nämlich der Stoß vermieden wird, der nothwendig bei einer plötzlichen Umkehrung der Bewegung, in welcher der Kolben nebst Kolbenstange und anderen Maschinenteilen begriffen sind, stattfinden müßte. Der vorher zugelassene Dampf wirkt nun gewissermaßen wie ein Kissen oder Polster, welches den Kolben aufnimmt.

18. Dieser Umstand, sowie verschiedene praktische Einzelheiten im Gange der Maschine, machen die rechtzeitige Oeffnung der Ventile zu einer sehr wichtigen Sache und es sind daher Einrich-

tungen getroffen, um den Augenblick des Dampfeintrittes mit der größten Sicherheit und Genauigkeit zu reguliren.

Kapitel 11.

Wie die Wechselbewegung der Kolbenstange dem Balancier mitgetheilt wird.

1. Mit wenigen Ausnahmen überträgt der Kolben in einer Dampfmaschine seine Bewegung und Kraft zunächst auf einen Schwengel, oder zweiarmligen Hebel den man Balancier zu nennen pflegt. Es ist dies ein starker, meistens wagerecht liegender Baum oder Hebel, welcher sich um eine feste Achse wie ein Wagballen wechselweise auf und nieder bewegt.

2. Nun ist leicht einzusehen, daß man nicht das Ende der Kolbenstange direct durch einen gewöhnlichen Bolzen mit dem einen Ende des Balanciers verbinden kann. Wir wissen nämlich, daß die Kolbenstange ein dicker eiserner Stab ist, daß sie sehr genau gearbeitet und sorgfältig geglättet sein muß, daß sie fest in der Mitte des Kolbens sitzt, und daß sie sich durch eine dampfdichte Stopfbüchse genau in gerader Linie auf und nieder bewegen muß. Nun kann sich zwar das Ende des Balanciers, der an einer wagerechten Achse sitzt, auch wechselweise auf und nieder bewegen, aber nicht in gerader Linie. Es beschreibt vielmehr einen Bogen und zwar einen Kreisbogen, dessen Mittelpunkt in der Achse liegt, um welche der Balancier sich dreht. Wenn man daher das Ende der Kolbenstange direct an dem Balancier befestigte, so würde sie gebogen werden und die Stopfbüchse verderben.

3. Es giebt verschiedene Mittel, um diese Schwierigkeit zu beseitigen, welche alle darin bestehen, daß zwischen das Ende der Kolbenstange und das Ende des Balanciers ein Zwischenstück oder ein Mechanismus eingeschaltet wird, welcher der Kolbenstange eine gradlinige, dem Balancier aber die Bewegung in einem Kreisbogen gestattet.

4. Das einfachste Mittel dieser Art ist eine Stange, welche mit einem Ende durch einen Bolzen an dem Ende der Kolbenstange, mit dem andern auf gleiche Weise an dem Ende des Balanciers beweglich befestigt ist. Hierbei würde jedoch noch immer auf das Ende der Kolbenstange ein Seitendruck oder ein

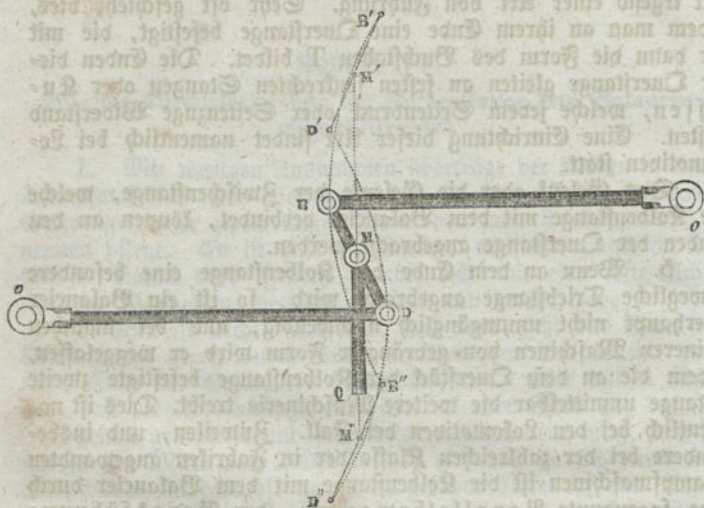
Seitenzug wirken, welcher sie aus ihrer geradlinigen Bahn zu bringen streben und eine sehr schnelle Ausnutzung der Stopfbüchse bewirken würde. Man versteht daher die Kolbenstange mit irgend einer Art von Führung. Sehr oft geschieht dies, indem man an ihrem Ende eine Querstange befestigt, die mit ihr dann die Form des Buchstaben T bildet. Die Enden dieser Querstange gleiten an festen senkrechten Stangen oder Kullissen, welche jedem Seitendruck oder Seitenzuge Widerstand leisten. Eine Einrichtung dieser Art findet namentlich bei Locomotiven statt.

Das Gelenk oder die Gelenke der Zwischenstange, welche die Kolbenstange mit dem Balancier verbindet, können an den Enden der Querstange angebracht werden.

5. Wenn an dem Ende der Kolbenstange eine besondere bewegliche Triebstange angebracht wird, so ist ein Balancier überhaupt nicht unumgänglich nothwendig, und bei manchen kleineren Maschinen von gedrängter Form wird er weggelassen, indem die an dem Querstück der Kolbenstange befestigte zweite Stange unmittelbar die weitere Maschinerie treibt. Dies ist namentlich bei den Locomotiven der Fall. Zuweilen, und insbesondere bei der zahlreichen Klasse der in Fabriken angewandten Dampfmaschinen ist die Kolbenstange mit dem Balancier durch eine sogenannte Parallelbewegung oder Geradföhrung verbunden. Eine solche besteht aus einer Zusammenstellung so verbundener und angeordneter Stangen, daß irgend ein Punkt auf ihnen sich geradlinig auf und niederbewegt, während das mit dem Balancier verbundene Gelenk seinen bogenförmigen Weg hin und her zurücklegt.

6. Es giebt eine große Anzahl von Vorrichtungen, welche dies mit genügender Genauigkeit für alle mechanischen Zwecke bewirken, aber diejenige, welche am meisten unter dem Namen des Parallelogramms oder der Parallelbewegung bekannt ist, und deren Erfindung wir dem berühmten Watt verdanken, ist dem Principe nach folgende: (Fig. 8.)

Fig. 8.



7. Es seien CB und OD zwei Stangen von gleicher Länge, welche sich um die festen Achsen C und O drehen können, so daß ihre Enden B und D beziehlich die Kreisbogen $B'B''$ und $D'DD''$ beschreiben, jedoch sei ihre Bewegung auf kleine Bogen beschränkt, und BD sei eine dritte Stange, welche mit den Enden der beiden erstgenannten durch Gelenke verbunden ist.

Wenn nun CB sich um seinen Mittelpunkt C in dem Bogen $B'B''$ hin und her bewegt, so muß OD gleichfalls in dem Bogen $D'D''$ hin und her gehen; die Mitte M der Stange BD hingegen wird in einer Linie $M'M''$ steigen und sich senken, die nicht merklich von einer senkrechten geraden Linie abweicht. Brächte man einen Stift in M an und hielte eine Tafel dahinter, so würde dieser eine gerade Linie darauf ziehen, sobald die Stangen in Bewegung gesetzt würden.

Stellt nun CB jetzt den Balancier der Maschine vor und sind OB und BD Stangen, welche auf die beschriebene Weise mit ihm verbunden sind, so wird der Punkt M sich mit der daran befindlichen Kolbenstange frei in einer senkrechten Linie au

und ab bewegen und zugleich das Ende B des Balancier's in Bewegung setzen.

8. Zu einer genauen Untersuchung der stattfindenden Bewegung würde die Anwendung mathematischer Lehrrätze erforderlich sein, auf die wir uns hier nicht einlassen können. Ich bemerke nur, daß der Punkt M sich in der That nicht ganz genau in gerader Linie bewegt; aber seine Abweichung von derselben ist innerhalb der Gränzen, in welchen die Bewegung des Balancier's und Kolbens stattfindet, so außerordentlich gering, daß sie in der Anwendung keine schädlichen Folgen hat.

9. Wir können uns die Wirkungsweise dieser Vorrichtung, ohne auf die Geometrie zurückzugehen, einigermaßen so deutlich machen. Wenn der Punkt B sich aufwärts nach B' hinbewegt, so wird das obere Ende der Stange BD ein wenig nach rechts, das untere Ende aber zu gleicher Zeit ein wenig nach links gezogen; eben das geschieht, wenn B nach B'' und zugleich D nach D'' heruntergeht. Nun sieht man leicht, daß wenn die Enden von BD so abwechselnd nach links und rechts bewegt werden, zwischen ihnen ein Punkt sein muß, der weder nach links noch nach rechts von der Senkrechten abweicht. Auf dieser einfachen Betrachtung nun beruht die Parallelbewegung.

10. In der praktischen Ausführung erscheint die Sache allerdings etwas verwickelter, da man bei derselben eine große Zahl von Stangen und Gelenken braucht, um die Vorrichtung nach dem angegebenen Prinzipie auf geeignete Weise herzustellen; dies thut jedoch dem Prinzipie selbst keinen Eintrag. Es ist also nun klar, wie der gradlinie Auf- und Niedergang der Kolbenstangen dem Balancier eine entsprechende Wechselbewegung ertheilt, die in einem Kreisbogen stattfindet.

11. Obgleich wir, wie man gewöhnlich zu thun pflegt, bei der Beschreibung der Einrichtungen angenommen haben, daß der Cylinder senkrecht stehe und der Balancier sich über der Kolbenstange befinde, so ist dies doch weder nothwendig noch immer der Fall. Zuweilen befindet sich der Balancier unter dem Cylinder, und die Stangen der Parallelbewegung oder die Treibstangen an dem Querstück der Kolbenstange und den Führungen sind so lang gemacht, daß sie an den Balancier reichen. Dies ist meistens bei den Schiffsmaschinen der Fall. Zuweilen liegt der Cylinder wagerecht, während der Balancier aufrecht steht, und in manchen Fällen hat man es sogar zweckmäßig gefunden, den Cylinder schief oder geneigt zu stellen. Alle

diese verschiedenen Anordnungen hängen nur von den Umständen ab, unter welchen die Maschine arbeiten soll, berühren aber das mechanische Prinzip durchaus nicht.

Kapitel 12.

Wie die Wechselbewegung des Balanciers einen fortwährenden Umlauf bewirkt.

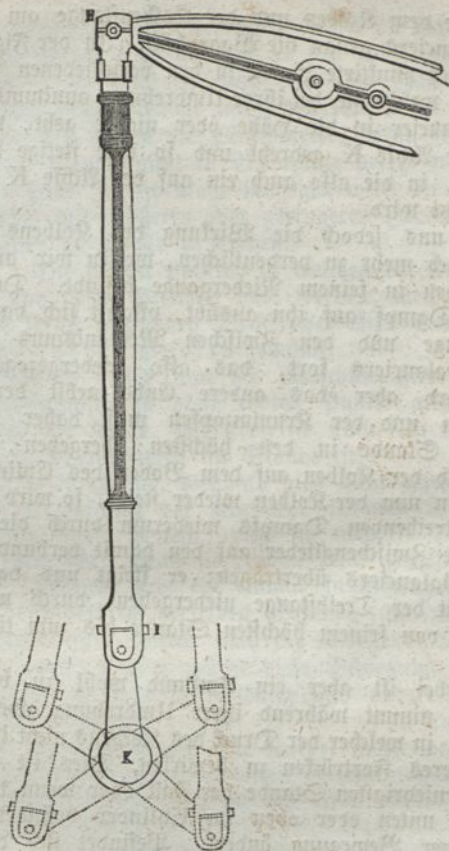
1. Von allen Arten der Bewegung wird am häufigsten ein fortwährender Umlauf oder eine stätige Rotation verlangt. Die verschiedenartigsten Maschinen in den Fabriken erhalten ihre Bewegung von einer umlaufenden Welle. Dampfschiffe werden durch Schaufelräder oder Schrauben getrieben, welche in beständiger Drehung erhalten werden müssen. Lokomotiven werden dadurch bewegt, daß ihre Räder durch die Kraft des Dampfes in fortwährende Umdrehung versetzt werden.

Es ist daher offenbar eine der ersten und wichtigsten Aufgaben für den Ingenieur, der mit den Dampfmaschinen zu thun hat, zu untersuchen, wie die Wechselbewegung der Kolbenstange oder des Balanciers einen beständigen Umlauf hervorbringen kann.

2. Die Vorrichtung mittelst welcher dies fast überall geschieht, ist die Treibstange (Lenkstange, Blümel-, Plehelstange,) und die Kurbel mit dem Krummzapfen.

Die Kurbel ist ein Arm, welcher von der Achse des Rades oder der Welle ausläuft, die gedreht werden soll, und die Drehung wird auf dieselbe Art bewirkt, wie bei einem Spinnrade, dem Rade eines Scheerenschleifers oder einem Haspel. (Fig. 9).

Fig. 9



K sei die Achse der zu bewegenden Welle und KI ein daran befestigter Arm oder Hebel. An diesem befindet sich in I ein Stift oder Zapfen, der Krummzapfen, vermittelst dessen die Treibstange mit der Kurbel verbunden ist. IH, die Treibstange, ist eine starke Eisenstange, die von dem Krummzapfen zu dem Ende des Balanciers geht und daran durch einen ähnlichen Zapfen oder Bolzen befestigt ist, ihr Gewicht ist so be-

stimmt, daß sie dem Kolben und der Kolbenstange am anderen Ende des Balancier's genau die Wage hält. (In der Figur 9 ist die Kurbel durch punktirte Linien in den verschiedenen Stellungen dargestellt, welche sie bei ihrer Umdrehung annimmt.) Sobald der Balancier in die Höhe oder nieder geht, wird die Kurbel um die Achse K gedreht und so eine stetige Rotation hervorgebracht, in die also auch ein auf der Achse K befestigtes Rad versetzt wird.

3. Um uns jedoch die Wirkung des Kolbens auf die Treibstange noch mehr zu verdeutlichen, wollen wir annehmen, daß er sich eben in seinem Niedergange befinde. Der Druck welchen der Dampf auf ihn ausübt, pflanzt sich dann durch die Kolbenstange und den Zwischen-Mechanismus auf das Ende des Balancier's fort, das also niedergezogen wird. Hierdurch wird aber das andere Ende nebst der Treibstange gehoben und der Krummzapfen muß daher aus seinem tiefsten Stande in den höchsten übergehen, den er erreicht, sobald der Kolben auf dem Boden des Cylinders ankommt. Wenn nun der Kolben wieder steigt, so wird die Kraft des ihn fortreibenden Dampf's wiederum durch die Kolbenstange und die Zwischenglieder auf den damit verbundenen Hebelarm des Balancier's übertragen; er steigt und das andere Ende muß mit der Treibstange niedergehen, durch welche der Krummzapfen von seinem höchsten Stande bis zum tiefsten bewegt wird.

4. Hierbei ist aber ein Umstand wohl zu beobachten. Diese Kurbel nimmt während ihrer Umdrehung zweimal eine Stellung ein, in welcher der Druck des Kolbens nicht im Stande ist, ihr weiteres Fortrücken zu bewirken. Dies ist bei ihrem höchsten und niedrigsten Stande der Fall oder wenn der Kolben sich beziehlich unten oder oben im Cylinders befindet und die Richtung seiner Bewegung ändert. Befindet sich der Kolben auf dem Boden des Cylinders, so steht der Krummzapfen gerade über der Achse; der Druck des Kolbens und der Treibstange preßt daher nur die Kurbel senkrecht gegen dieselbe und kann sie offenbar nicht zur Umdrehung bringen. Denken wir uns also die ganze Maschinerie in dieser Stellung in Ruhe, so kann der Dampf sie nicht in Bewegung setzen. Ebenso wenn der Kolben sich am Deckel des Cylinders befindet, und der Krummzapfen also seinen tiefsten Stand gerade unter der Achse annimmt, so wird der über den Kolben eintretende Dampf den

Krummzapfen gerade in die Höhe gegen die Achsen ziehen, aber ihn nicht drehen können, weil er sich dabei jetzt gerade wagrecht zur Seite bewegen muß, und ein Zug nach oben eine solche Bewegung offenbar nicht bewirken kann. Auch in dieser Stellung also würde die Maschinerie, wenn sie in Ruhe wäre, durch den Dampf nicht in Bewegung gesetzt werden können.

In jeder Zwischenlage hingegen wirkt die Treibstange auf die Kurbel mit größerer oder geringerer Hebelkraft und ist sie im Stande die Welle zu drehen.

5. Die beiden Punkte, in welchen der Krummzapfen seine höchste und tiefste Stellung hat, werden, weil in ihnen die bewegende Kraft nur einen Druck aber keine Bewegung erzeugen kann, die todten Punkte genannt.

Weshalb bleibt nun die Maschine nicht stehen, so oft der Krummzapfen in diese todten Punkte gelangt, in welcher die bewegende Kraft, wie groß sie auch sein möge, keine Bewegung hervorzubringen im Stande ist?

6. Der Grund, weshalb dies nicht geschieht, ist eine allgemeine Eigenschaft der Körper, die man Trägheit nennt, und welche darin besteht, daß sie niemals plötzlich aufhören, sich zu bewegen, wenn sie einmal eine gewisse Geschwindigkeit haben. Vielmehr geht ein einmal in Bewegung gesetzter Körper unverändert in derselben Richtung und mit derselben Geschwindigkeit fort, wenn auch die bewegende Kraft nicht mehr auf ihn wirkt, und er würde diese Bewegung in alle Ewigkeit beibehalten, wenn nicht Reibung und andere Widerstände ihn zur Ruhe brächten.

7. So also kommt die Kurbel nebst der Welle in dem todten Punkte mit einer gewissen Geschwindigkeit an, und vermöge dieser allein bewegt sie sich über diese bedenkliche Stellung hinweg.

8. Wäre jedoch die Geschwindigkeit, mit der die Kurbel in den todten Punkt kommt, sehr gering, so daß durch sie die Reibung, welche durch den Druck der Treibstange noch sehr vermehrt wird, in ihm selbst oder in großer Nähe desselben stehen bliebe, so würde allerdings der Dampfdruck sie nicht fortbewegen; und wenn gar, wie man dies an schwer gehenden Spinnrädern sehen kann, der Krummzapfen noch vor Erreichung des todten Punktes zum Stillstande käme, so würde er sogar beim Dampfwechsel von der Treibstange in umgekehrter Richtung zu dem eben verlassenen todten Punkte zurückgetrieben werden. Ein

Schwungrad hilft natürlich wegen der großen Kraft, welche darin aufgespeichert ist, über diese bösen Stellen hinweg, wenn es einmal in Bewegung ist.

9. Abgesehen von den todten Punkten jedoch sind noch andere Umstände in der Wirkungsweise der Treibstange und Kurbel, welche der näheren Betrachtung und Erläuterung bedürfen. Die bewegende Kraft des Kolbens wird durch Vermittelung des Balanciers in der Richtung der Treibstange auf die Kurbel übertragen. Wenn wir uns nun die oben gegebene Figur ansehen, welche die verschiedenen Stellungen der Treibstange und der Kurbel zeigt, so bemerken wir, daß erstere mit letzterer zweimal bei jeder Umdrehung einen rechten Winkel bildet, sonst aber immer schief gegen sie steht; und zwar weicht der Winkel, den sie bilden, desto mehr von einem Rechten ab, je näher der Krummzapfen dem todten Punkte kommt. Im oberen todten Punkte fällt die Kurbel in die Verlängerung der Treibstange, im unteren hingegen fällt sie mit deren unteren Ende zusammen, oder wird vielmehr von ihr verdeckt.

10. Offenbar wirkt nun die Treibstange auf die Kurbel am kräftigsten, wenn sie mit ihr in rechtem Winkel steht; je schief aber der Winkel ist, den sie mit einander einschließen, oder je näher der Krummzapfen den todten Punkten, desto mehr verliert der Druck oder Zug der Treibstangen von seiner Wirksamkeit, und zwar sehr rasch, so daß sie noch vor Erreichung des höchsten und tiefsten Standes schon fast ganz verschwindet; in diesen Stellungen selbst aber hört sie, wie wir schon gesehen haben, vollkommen auf. Bei jeder Umdrehung also ist die Wirkung der Treibstange auf die Kurbel einer regelmäßigen Veränderung unterworfen, sie erreicht zweimal einen größten Werth oder ein Maximum, und zweimal einen kleinsten Werth oder ein Minimum, indem sie ganz verschwindet.

11. Wenn nun auch die Trägheit der einmal in Bewegung gesetzten Maschinentheile das gänzliche Aufhören derselben verhindern mag, sobald der Krummzapfen in die todten Punkte gelangt, so reicht sie doch in der Regel nicht hin, die große Ungleichmäßigkeit der Bewegung zu verhüten, welche aus dem eben erwähnten Grunde entstehen würde.

Dies thut jedoch wiederum das Schwungrad, das wir schon beschrieben haben.

12. Das Schwungrad sitzt an derselben Achse K (Figur 9.), an welcher die Kurbel befestigt ist, und wird daher

mit dieser zugleich gedreht. Es ist genau um seinen Mittelpunkt balancirt oder in's Gleichgewicht gebracht und hat so wenig Reibung, daß es nur einen sehr geringen Theil der bewegenden Kraft verzehrt. Gewöhnlich hat es einen sehr großen Durchmesser und sein Kranz oder Umfang besteht aus einer sehr schweren Metallmasse, in der Regel aus Eisen. Diese wird nun durch die bewegende Kraft in Bewegung gesetzt; es geschieht das nur allmählig wenn die Maschine vorher still stand, weil die Masse des Schwungrades eben so groß ist, daß die bewegende Kraft ihr bei einmaliger Wirkung nur eine sehr geringe Geschwindigkeit zu ertheilen vermag; deshalb verliert sie auch, einmal im Schwung, nur sehr wenig davon, während die bewegende Kraft in den todten Punkten und deren Nähe gar nicht oder sehr wenig auf sie wirkt. Der Gang des Schwungrades ist daher folgender, wenn es einige Zeit nach dem Angehen der Maschine in vollen Zug oder Schwung gekommen ist:

13. Gesezt, es habe 30 Fuß Umfang und laufe in jeder Sekunde einmal oder in der Minute 60 mal um, so hat die in seinem Umfange befindliche Masse eine mittlere Geschwindigkeit von 30 Fuß, in der That aber bewegt sie sich während jeder Umdrehung zweimal etwas schneller und zweimal etwas langsamer. Wenn die Treibstange mit der Kurbel nahe zu einem rechten Winkel steht, so beschleunigt die bewegende Kraft die Bewegung etwa so, daß die Geschwindigkeit $30\frac{1}{2}$ Fuß in der Sekunde beträgt, wenn sie am größten ist, d. h. das Rad würde sich, wenn es so gleichmäßig fort ginge, nicht bloß einmal in der Sekunde umdrehen, sondern noch um den 60. Theil des Umkreises vorrücken, da $\frac{1}{2}$ Fuß der 60. Theil von 30 Fuß ist, oder es würde in einer Minute 61 Umdrehungen machen und zu 60 Umdrehungen nicht eine Minute oder 60 Sekunden, sondern bloß etwas mehr als 59 Sekunden nämlich $59\frac{1}{61}$ Sekunde gebrauchen. Nun aber verliert die Treibstange in der Nähe der todten Punkte ihre Wirksamkeit und die Geschwindigkeit wird daher durch die bewegende Kraft nicht nur nicht mehr vergrößert, sondern sie nimmt sogar wegen der Reibung und aller andern Widerstände, die das Schwungrad zu überwinden hat, etwa bis auf $29\frac{1}{2}$ Fuß ab; d. h. wenn die Drehung in dieser Art gleichförmig fort dauerte, würde die Masse im Umfange des Rades in einer Sekunde nicht den ganzen Umkreis von 30 Fuß, sondern $\frac{1}{2}$ Fuß, oder den 60. Theil weniger zurücklegen, also in einer Minute oder 60 Sekunden nur 59 mal umlaufen, oder

zu 60 Umläufen etwas mehr als 60 Sekunden, nämlich 61 und $\frac{1}{50}$ Sekunde gebrauchen. So hat also das Schwungrad in der That bald eine etwas größere bald eine etwas geringere Geschwindigkeit, aber diese weichen so wenig von der mittleren Geschwindigkeit ab, daß der Unterschied in den meisten Fällen fast unmerklich ist, und man hat es in der Gewalt, ihn durch Vermehrung der Masse des Schwungrades so klein zu machen, als man will.

14. Um uns letztere Behauptung noch deutlicher zu machen, müssen wir uns erinnern, daß die Geschwindigkeit, welche eine Kraft einem Körper mittheilt, genau im umgekehrten Verhältnisse seiner Masse steht, d. h. daß ein 2 mal, 3 mal, 10 mal so schwerer Körper durch dieselbe Kraft nur $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{10}$ der Geschwindigkeit erhält. Eine Kraft also, die einem Centner in einer Sekunde eine Geschwindigkeit von 10 Fuß ertheilen würde, kann 10 Ctr. in derselben Zeit nur eine Geschwindigkeit von einem Fuß geben. Die Masse im Kranze des Schwungrades ist nun eben so groß, daß der Druck oder Zug der Treibstange ihr während der Zeit, wenn sie nahe rechtwinklig zur Kurbel steht, nur wenig Geschwindigkeit ertheilen kann. Aber so gering auch diese Geschwindigkeit ist, so ist es wieder eine sehr große Masse, von der jeder Theil vermöge seiner Trägheit ein gewisses Bestreben sich fort zu bewegen, oder wie man auch sagt, ein gewisses Moment besitzt; und da nun auch alle Widerstände der Bewegung sich auf desto mehr Theile zu vertheilen haben, je größer die ganze Masse ist, so können sie auch dieselbe umgekehrt nur sehr wenig verzögern, während die bewegende Kraft unwirksam ist. Auf diese Weise wird es nun schon deutlicher sein, in wiefern wir oben das Schwungrad mit einem Magazin vergleichen konnten, in welchem bewegende Kraft aufgespeichert sei, und aus welchem die Maschine solche erhält, wenn die ursprünglich wirkende bewegende Kraft pausirt.

15. In manchen Schriften über die Dampfmaschine, deren Verfasser zwar vielleicht sehr anerkennungswerthe, praktische, aber unvollständige mathematische Kenntnisse haben, wird die Kurbel als eine sehr unvollkommene Vorrichtung dargestellt, welche wegen ihrer ungleichförmigen Wirkungsweise einen sehr großen Verlust an bewegender Kraft verursache.

Diese Behauptung ist aber gänzlich falsch. Man kann streng mathematisch beweisen, und der Beweis wird durch Versuche und die Erfahrung bestätigt, daß bei der Wirkung der

Kurbel und des Schwungrades auf keine andere Weise Kraft verloren geht, als durch die wohlbekannten und unvermeidlichen Ursachen der Reibung und des Luftwiderstandes.

16. Es ist zum Theil solchen falschen Vorstellungen zuzuschreiben, daß so viel schätzbare Erfindungsgabe in Versuchen verschwendet worden ist, eine rotirende Dampfmaschine zu construiren.

Eine rotirende Dampfmaschine ist eine solche, bei welcher die Dampfkraft unmittelbar, d. h. ohne die Zwischenglieder einer Treibstange, eines Balancier's u. s. w. den Umlauf einer Welle bewirkt. Wenn man eine solche Vorrichtung herstellen könnte, ohne daß wiederum aus manchen anderen Ursachen ein die erzielten Vortheile wieder mehr als aufwiegender Kraftverlust entstände, wie dies bisher noch immer der Fall gewesen ist, so würde sie unzweifelhaft manche Vorzüge haben; bis jetzt aber ist dies noch nicht gelungen, wieviel Scharfsinn und Kapital auch bereits auf Lösung dieser Aufgabe verwandt worden ist.

17. In manchen Fällen der Anwendung, wie z. B. bei den Lokomotiven, läßt sich nicht gut ein Schwungrad mit der Dampfmaschine verbinden; man sucht dann in der Regel eine einigermaßen gleichförmige Wirkung durch die Anwendung von zwei Cylindern zu erreichen, welche zwei Kurbeln, die an derselben Axe oder Welle befindlich sind, treiben. Diese Kurbeln stehen aber rechtwinklich gegen einander, so daß die eine Treibstange gerade am kräftigsten wirkt, wenn die andere durch die todten Punkte geht; und daß diese mehr und mehr zu wirken anfängt, wenn jene allmählig an Wirksamkeit verliert, indem sie sich einem todten Punkte nähert. Auf diese Weise ist denn die Summe ihrer Wirkungen in allen Stellungen nahe zu dieselbe.

Kapitel 13.

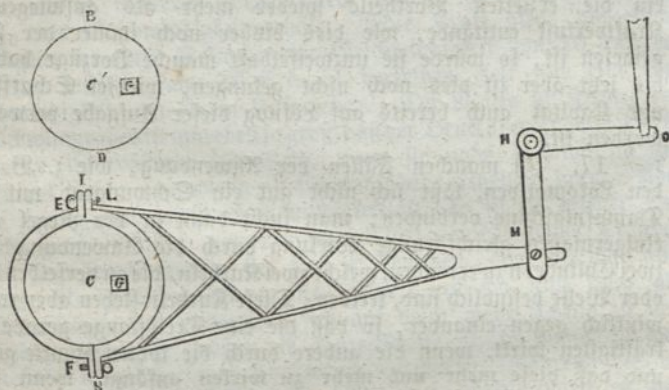
Wie die Dampfmaschine eine selbstwirkende Maschine wird.

1. Wir haben schon oben gesehen, daß dieser Zweck erreicht wird, wenn man die Maschine selbst zu gehöriger Zeit die Zufluß- und Ausflußventile öffnen läßt.

Bei den früheren Maschinen geschah dies vermittelst einer Stange, welche an dem Ende des Balancier befestigt war und

parallel oder gleichlaufend mit dem Cylinder niederging. An dieser Stange waren Stifte so angebracht, daß sie beim Auf- und Niedersteigen der Stange auf die Griffe oder Hebel an den Ventilen stießen und sie so beziehlich öffneten oder schlossen. Bei einigen größeren Wasserhebemaschinen hat man diese Einrichtung noch beibehalten. Schieber oder Hähne, die man bei den meisten Dampfmaschinen findet, werden aber in der Regel durch eine Vorrichtung bewegt, welche Excentrique oder excentrische Scheibe heißt. (Fig. 10.)

Fig. 10.



2. Eine kreisförmige Metallplatte BD dreht sich um einen festen Punkt G, der einen gewissen Abstand von ihrem Mittelpunkte C hat; dieser beschreibt also um G einen Kreis und befindet sich bald rechts bald links von diesem Punkte.

3. Um die Scheibe geht ein Ring FI, in welchem sie sich drehen kann; dieser nimmt an der Drehung keinen Theil, wird aber, wie der Mittelpunkt C der excentrischen Scheibe bald nach rechts, bald nach links geschoben, und sein ganzes Spiel geht durch einen Raum, welcher doppelt so groß ist, als der Abstand des Punktes C vom Drehungspunkte G. Nun ist aber ein gegliedertes wagerechtes Gestänge LMH an dem Ringe befestigt, dessen Endpunkt M sich also auch bei jeder Umdrehung der Scheibe um die doppelte Länge CG wagerecht hin und her bewegen muß; dieser überträgt nun endlich seine Bewegung

durch eine Hebelvorrichtung in bekannter Weise auf die Schieber oder Hähne.

Kapitel 14.

Wie der mechanische Effect ermittelt wird, welchen der Kolben ausübt.

1. Unter welchen Umständen auch die Maschine arbeite, so wird doch der Druck des Dampfes auf den Kolben nicht während der ganzen Länge des Hubs genau derselbe und noch viel weniger das Vacuum auf der andern Seite gleich vollständig sein.

Sobald das Ausflußventil geöffnet wird, fährt zwar der Dampf in den Condensator, aber er wird nicht ganz plötzlich niedergeschlagen, und es bleibt daher auch noch verdünnter Dampf in dem Cylinder, dessen Spannung in dem Maaße geringer wird, als der in den Condensator eingespritzte Wasserstrahl die Temperatur mehr und mehr erniedrigt.

2. Je schneller dies geschieht, desto mehr Kraft wird der Kolben ausüben können, der jedoch auch bei der besten Einrichtung schon einen Theil des Hubs gemacht hat, bevor der Dampf so weit kondensirt ist, daß annähernd ein leerer Raum entsteht. Der Kolben bewegt sich daher anfänglich gegen Dampf, der noch einigen Widerstand oder Gegendruck ausübt und also um ebensoviel den Dampfdruck von der anderen Seite aufhebt. Dieser Widerstand nimmt stufenweise ab und sinkt bis auf sein Minimum, d. h. seinen geringsten Betrag, wenn der Kolben eine gewisse Strecke fortgerückt ist; von da ab bleibt er sich nahezu gleich.

Wenn wir also den mechanischen Effect oder die Arbeit des Kolbens bestimmen wollen, müssen wir diesen Widerstand ermitteln und in Rechnung bringen.

3. Dies ist aber nicht Alles; der Dampf, welcher den Kolben treibt, hat selbst während des ganzen Hubs nicht gleiche Spannung. Am augenscheinlichsten ist dies der Fall, wenn er mit Expansion wirkt; er wird dann, wie wir schon wissen, an einem gewissen Punkte des Hubes abgeschnitten und wirkt von da ab mit stetig abnehmenden Drucke; aber auch, wenn das

Expansionsprinzip nicht angewandt wird, so wird der Dampf doch ebenfalls kurz vor Vollendung des Hubs abgesperrt.

4. Auch ist hier noch ein anderer Punkt zu beachten. Wir können mit Leichtigkeit den Druck des Dampfes oder seine Spannung im Kessel bestimmen; man würde aber sehr irren, wenn man annehmen wollte, das müsse auch der Dampfdruck im Cylinder sein. Indem nämlich der Dampf vom Kessel in den Cylinder geht, muß er durch stellenweis sehr enge Kanäle und wird dabei so zu sagen lang oder auseinander gezogen. In der That vermindert sich seine Dichtigkeit um etwas, bevor er in den Cylinder gelangt und wir müssen daher seinen Druck im Cylinder selbst beobachten, wenn wir denselben sicher kennen lernen wollen.

5. Wenn wir im Stande sind, bei jedem Stande des Kolbens den wahren Dampfdruck zu ermitteln, und ebenso den Druck des nicht kondensirten Dampfes, welcher dem Kolben entgegenwirkt, so haben wir bloß letzteren vom ersteren abzuziehen, um den jedesmaligen wirklich wirksamen Druck zu erhalten, und wir werden daraus den ganzen mechanischen Effect oder die ganze Arbeit des Kolbens berechnen können.

6. Unter den zahlreichen Erzeugnissen von Watt's fruchtbarem Geiste ist auch ein schönes kleines Instrument, welches zu diesem Zwecke dient, und von ihm Indicator genannt wurde. (Siehe Kapitel 27, Watt's „Indicator“). Es besteht aus einem Cylinder von Messing von 8 bis 12 Zoll Länge und etwas weniger als 2 Zoll innerem Durchmesser. Die Cylinderhöhle ist sehr genau gebohrt und es bewegt sich in ihr dampfdicht, aber mit sehr geringer Reibung ein kleiner Kolben. Dieser hat eine kleine Kolbenstange, welche durch einen über der Mitte des oben offenen Cylinders angebrachten Ring genau in der Richtung der Mittellinie oder Achse des Cylinders gehalten wird und von einer Spiralfeder umgeben ist, die mit einem Ende an dem Ringe, mit dem andern an dem Kolben sitzt. Das untere Ende des kleinen Cylinders steht mit dem Dampfcylinder in Verbindung. Wenn keine Kraft auf den Kolben wirkt, so befindet er sich in der Mitte des Cylinders und die Feder ist weder ausgedehnt noch zusammengedrückt, sondern befindet sich in natürlichem Zustande; wenn aber ein Druck auf den Kolben wirkt, so wird die Feder entweder zusammengedrückt oder ausgedehnt, bis ihre Spannung ihm das Gleichgewicht hält, und der Kolben nebst der Kolbenstange steigt oder senkt

sich um eine gewisse Länge, die nach den bekannten Eigenschaften der Federn dieser Art in gleichem Verhältnisse mit dem Drucke steht.

7. An dem obern Ende der kleinen Kolbenstange ist unter einem rechten Winkel ein Stift befestigt, der auf einer dahinter befestigten Tafel beim Auf- und Niedersteigen des Kolbens eine Linie zieht. Diese Tafel wird aber gleichzeitig selbst horizontal verschoben, und der Stift zieht daher auf ihr keine senkrechte, sondern eine auch nach der Seite hin vorrückende Linie, die um so steiler fällt oder steigt, je schneller im Verhältnisse zur Bewegung der Tafel der Stift vom Kolben heruntergezogen oder heraufgeschoben wird.

Wenn nun also in dem Ende des Cylinders der Maschine, mit welchem der Cylinder des Indicators in Verbindung steht, ein Dampfdruck von mehr als 15 Pfund auf den Quadratzoll oder von mehr als einer Atmosphäre stattfindet, so erhebt sich der Stift genau im Verhältnisse dieses Ueberschusses über seinen mittleren Stand und zieht auf der vorrückenden Tafel daher eine Linie, deren Punkte um so weiter von der wagerechten Linie absteigen, welche der Stift in seinem mittleren Stande beschreiben würde, je größer der Dampfdruck ist. Man erhält also von den Veränderungen, welche im Dampfdruck während des ganzen Hubes vorgehen durch die Hebungen und Senkungen der Linie ein treues Bild. Umgekehrt sinkt der Stift unter seinen mittleren Stand, sobald durch die Kondensation des Dampfes sein Druck geringer wird, als der der äußeren Luft, und die Abstände der von ihm gezogenen Linie von der Horizontalen geben den Grad an, bis zu welchem der Kondensator in jedem Augenblicke den Dampf niedergeschlagen hat. Aus diesen Angaben läßt sich nun der mechanische Effect der Kolbenbewegung finden; ich verweise aber in Bezug hierauf auf Kapitel 27, in welchem eine ausführliche Beschreibung und Erklärung des Watt'schen Indicators enthalten ist.

8. So sinnreich dieses Instrument ist, so erfüllt, es doch in sofern seinen Zweck nicht, als man von seinen Abgaben noch den Reibungswiderstand abziehen muß, welchen der Kolben und die Kolbenstange erleiden, wenn man den mechanischen Effect haben will, welcher von dem Ende der Kolbenstange auf die weitere Maschinerie übertragen wird. Sein Werth besteht vielmehr vorzugsweise darin, daß es unmittelbar die Wirkung des Kondensators anzeigt, und zwar sowohl bis zu welchem Grade

durch ihn der Dampf überhaupt niedergeschlagen wird, als auch namentlich, wie rasch oder bis zu welchem Punkte des Hubes dies geschieht. Man kann also nach den Angaben dieses Instruments bestimmen, ob noch mehr Wasser eingespritzt werden muß, oder ob die Wirksamkeit des Kondensators vielleicht durch ein anderes Hinderniß beeinträchtigt wird.

9. Um hingegen die bewegende Kraft zu bestimmen, welche das Ende der Kolbenstange wirklich ausübt, giebt es vielleicht kein anderes praktisches Mittel, als durch sie eine Wasserpumpe in Bewegung zu setzen und das Wasser zu messen, welches auf eine gewisse Höhe gehoben wird. Jeder andere Maaßstab ist trügerisch.

Kapitel 15.

Wie die zur Verdampfung des Wassers nöthige Wärme erzeugt wird.

1. Cylinder, Kolben, Balancier, Treibstange, Kurbel und Schwungrad sind, wie alle Theile einer jeden Maschine, nichts als Mittel, durch welche die bewegende Kraft übertragen und für gewisse Zwecke dienstbar gemacht wird. Sie können weder bewegende Kraft erzeugen, noch die ihnen mitgetheilte vermehren. Einmal in Ruhe bleiben sie in Ruhe, bis eine bewegende Kraft auf sie wirkt.

2. Die bewegende Kraft wird, wie wir schon wissen, bei der Dampfmaschine erzeugt, indem Wasser durch Wärme in Dampf verwandelt wird. Auch das Wasser kann hierbei eigentlich nur als Mittel angesehen werden, mit Hülfe dessen und an welchem die Wärme ihre mechanische Wirksamkeit entwickelt. Die Wärme ist also die fruchtbare Mutter jener mächtigen Kräfte, und es ist äußerst wichtig für die Anwendung, sich darüber eine vollständige Einsicht zu verschaffen, wie die Wärme am wirksamsten erzeugt, angewendet und ausgenutzt werden kann.

3. Wir müssen uns zu diesem Ende mit den Eigenschaften der Brennmaterialien, mit welchem geheizt wird und mit der Konstruktion der Feuerräume und Dampfkessel bekannt machen, von der die Mittheilung und Benutzung der Wärme abhängt.

4. Dampfessel werden ausschließlich entweder mit Steinkohlen oder durch Holzfeuerung geheizt. In Europa hat man fast nur Steinkohlenfeuerung, in Amerika hingegen nur in einigen Gegenden, wo Steinkohlen billig zu haben sind; sonst heizt man dort mit Holz.

5. Die Bestandtheile der Steinkohle sind hauptsächlich Kohle und eine Luftart oder ein Gas, welches Wasserstoff genannt wird, zufällig gemengt mit etwas Schwefel und einigen unverbrennlichen Stoffen.

6. Bei der Verbrennung verbinden sich die Kohle, der Wasserstoff und der Schwefel mit dem Sauerstoff der Luft, welche nämlich aus Sauerstoff und Stickstoff besteht. Es bilden sich dabei gewisse zusammengesetzte Luftarten, und es wird zugleich eine gewisse Menge Wärme entwickelt; die unverbrennlichen Stoffe aber fallen durch den Rost in den Aschkasten. Die Güte der Kohle hängt in gewissem Grade davon ab, daß die Menge der unverbrennlichen Stoffe, welche sie enthält, nur gering ist.

7. Verschiedene Kohlenarten haben auch einen verschiedenen Kohlenstoffgehalt; bei guten Kohlen beträgt er selten weniger als 75 Prozent, zuweilen beträchtlich mehr.

8. Der Wasserstoff scheint nicht als einfacher Stoff, sondern als schon mit einer gewissen Menge von Kohle verbunden, d. h. als Kohlenwasserstoff, in der Steinkohle enthalten zu sein. Dieser Kohlenwasserstoff ist das bekannte Leuchtgas, welches durch Erhitzung aus Steinkohlen entwickelt wird; letztere werden dabei in Kokes verwandelt, die aus dem zurückbleibenden Kohlenstoff und den anderen durch Hitze nicht auszutreibenden Bestandtheilen der Steinkohle bestehen und frei von Schwefel sind, der als Schwefelwasserstoffgas mit dem Leuchtgase fortgeht.

9. Auch von dem Kohlenwasserstoff oder Leuchtgase enthalten verschiedene Kohlenarten sehr verschiedene Mengen, weshalb manche mit mehr, manche mit weniger Flamme brennen und nicht alle sich zur Gasbereitung eignen. Das beste und am meisten leuchtende Gas geben die Backkohlen, d. h. diejenigen Sorten, welche in der Hitze zusammenbacken, weniger liefern die Sinter- und nie Sandkohlen; immer aber macht das Gewicht des Leuchtgases nur einen kleinen Theil des Gewichts der Steinkohle aus.

Keine Kohle brennt ohne Flamme und verwandelt sich dabei in ein Gas, welches Kohlen Säure genannt wird und aus Kohlenstoff und Sauerstoff besteht. Es entweicht bei seiner

Entstehung in sehr erhitztem Zustande und vermengt sich mit der Luft.

Man bemerkt allerdings bei brennenden Kokes und gut ausgeglühten Holzkohlen häufig eine blaßblaue Flamme, obgleich beide keine Gasarten enthalten. Diese blaue Flamme rührt von verbrennendem Kohlenoxydgas her, das nur halb so viel Sauerstoff als die Kohlensäure enthält und sich zwischen den Kohlen da bildet, wo nicht genug Luftzutritt zur Bildung von Kohlensäure ist. Kommt das Kohlenoxydgas nun nachher in seinem sehr erhitzten Zustande mit Luft in Berührung, so verbrennt es zu Kohlensäure, d. h. es nimmt dann noch einmal so viel Sauerstoff auf, als schon darin enthalten ist, und hierbei wird wieder eine sehr bedeutende Wärmemenge entwickelt. Bei mangelhaftem Luftzutritt kann aber auch viel Kohlenoxydgas unverbrannt mit fortgehen, und es tritt dann ein entsprechender Verlust an der Wärme ein, welche man vermittelst des Brennmaterials hätte erzeugen können.

10. So ist der Vorgang der Verbrennung im Allgemeinen beschaffen; um jedoch aus der Kenntniß desselben für die Anwendung Nutzen zu ziehen, müssen wir ihn noch etwas näher betrachten und namentlich mit einiger Genauigkeit und in Zahlen die Verhältnisse feststellen, in welchen die verschiedenen Stoffe dabei thätig sind.

11. Wir beginnen mit dem hauptsächlichsten Bestandtheil aller Brennmaterialien: der Kohle oder dem Kohlenstoff.

Dieser Stoff verbindet sich, wenn er bis zum Rothglühen erhitzt wird, mit dem in der Luft enthaltenen Sauerstoffgase und bildet damit, wie schon erwähnt, ein anderes Gas, das Kohlensäuregas. Indem diese Verbindung vor sich geht, wird eine große Menge Wärme entwickelt, die vorher in der Kohle und dem Sauerstoffgase gebunden war, und sich dadurch zeigt, daß sie 1. die anfangs nur rothglühende übrige Kohle weißglühend macht, und 2. die entstandene Kohlensäure und die umgebende Luft in hohem Grade erhitzt.

12. Die in den weißglühenden Kohlen enthaltene Wärme wird an die umgebenden Körper ganz in derselben Art abgestrahlt, wie sich Licht verbreitet, und daher von einem etwa darüber angebrachten Gefäße aufgenommen. Auch die Kohlensäure und Luft geben an die Körper, bei welchen sie vorbeistreichen, so lange Wärme ab, als sie noch heißer sind als diese.

13. Man hat gefunden, daß sich ein Pfund reinen Koh-

lenstoffs mit etwa $1\frac{1}{3}$ Pfund Sauerstoff verbindet, der bei gewöhnlicher Temperatur und gewöhnlichem Drucke ungefähr 15 Kubikfuß Raum einnimmt; es entstehen dabei ebenfalls 15 Kubikfuß Kohlensäure, vorausgesetzt nämlich, daß man diese unter demselben Drucke und bei derselben Temperaturmasse, also erst gehörig abkühle, da sie in dem erhitzten Zustande ihrer Entstehung ein bedeutend größeres Volum als bei gewöhnlicher Wärme hat. Ihr Gewicht beträgt natürlich $2\frac{1}{3}$ Pfund, nämlich so viel als ihre Bestandtheile zusammen wiegen.

14. Da jedoch die Verbrennung nicht in reinem Sauerstoffgas, sondern in gewöhnlicher Luft Statt findet, die nur zum kleineren Theile aus Sauerstoffgas besteht, so müssen wir auch weit mehr Luft haben, um 1 Pfund Kohlenstoff zu verbrennen.

15. Gewöhnliche Luft ist nur ein Gemenge aus 4 Raumtheilen Stickstoff und 1 Raumtheil Sauerstoff, d. h. 5 Kubikfuß Luft enthalten bloß einen Kubikfuß Sauerstoff; um daher 15 Kubikfuß Sauerstoff zu erhalten, müssen wir 5 mal 15 oder 75 Kubikfuß Luft haben.

16. Wenn nun aller Sauerstoff, der in der Luft enthalten ist, bei der Verbrennung sich mit dem Kohlenstoff verbände, so würden wir auf jedes Pfund des Letzteren 75 Kubikfuß Luft zuführen müssen, und die darin enthaltenen 15 Kubikfuß Sauerstoff würden mit der Kohle 15 Kubikfuß Kohlensäure bilden, die mit den 60 Kubikfuß Stickstoff oder Stickgas durch den Rauchfang entweichen; jedoch würde dieses Gasgemenge in dem erhitzten Zustande mehr als den doppelten Raum einnehmen.

17. Da sich nun in der Regel nicht aller Sauerstoff mit der Kohle verbindet, sondern ein beträchtlicher Theil unverbunden mit durch den Rauchfang geht, so bedarf man in der Praxis noch ansehnlich mehr Luft und muß danach sowohl die Weite des Rauchfanges als aller Züge und Luftkanäle, sowie die Gebläse einrichten, wenn solche angewandt werden.

18. Wasserstoffgas verbindet sich mit seinem achtfachen Gewichte Sauerstoff und bildet damit Wasser oder vielmehr Dampf, denn in diesen Zustand wird das Wasser durch die große Verbrennungshize versetzt.

19. Die kleine Menge Schwefel, welche in den meisten Kohlenarten enthalten ist, verbindet sich bei der Verbrennung mit dem Sauerstoff zu schwefliger Säure. Uebrigens ist dieser

Stoff in so geringer Menge vorhanden, daß seine Heizkraft nicht in Betrachtung kommt, aber er verdirbt die Kessel, und man darf diese daher nicht mit Kohlen heizen, die viel Schwefel enthalten.

20. Das Brennmaterial liegt auf einem Roste ausgebreitet, zwischen dessen Stäben die zur Verbrennung erforderliche Luft eintritt. Indem sie so durch das Brennmaterial hindurch streicht, findet der in ihr enthaltene Sauerstoff Gelegenheit, sich mit demselben zu verbinden. Die hierbei sich bildenden Gase nebst dem Stickstoff und dem noch unverbundenen Sauerstoff steigen, wie schon bemerkt, sehr erhitzt und somit ausgedehnt, in den oberen Theil des Feuerraums und den Rauchfang.

Je mehr sich Gase ausdehnen, desto leichter wird natürlich jeder Raumtheil derselben, denn wenn z. B. aus einem Kubikfuß zwei werden, so hat jeder derselben offenbar nur die Hälfte des Gewichts, was der eine wog. Die in dem Rauchfange enthaltene Luftsäule ist also bedeutend leichter als eine gleich hohe Säule der kalten äußeren Luft und steigt daher in demselben rasch in die Höhe, während von unten durch den Rost frische Luft nachdringt.

21. Der Stickstoff, welcher einen so großen Theil der atmosphärischen Luft ausmacht, trägt nichts zur Verbrennung bei und hat nur insofern einen Einfluß darauf, als er die Hestigkeit derselben, welche in reinem Sauerstoffgas stattfinden würde, vermindert, indem er einerseits einen großen Theil der entstehenden Wärme aufnimmt und dadurch das Brennmaterial abkühlt, andrerseits auch den schnellen Zutritt des Sauerstoffs verhindert und ihn gewissermaßen verdünnt. In letzterer Beziehung verhält er sich ähnlich zum Sauerstoff, wie etwa Wasser zu einer Säure, die man damit verdünnt: es hindert deren Wirksamkeit nicht, aber macht sie weniger heftig. In reinem Stickstoffgas kann kein Körper brennen und Thiere ersticken darin, daher sein Name.

22. Die Menge des Sauerstoffs, welcher unbenuzt mit durch den Rauchfang entweicht, richtet sich sehr nach der besseren oder schlechteren Einrichtung des Ofens und Rostes und der Beschaffenheit des Brennmaterials, und es ist daher die Zahl der für ein Pfund Kohle erforderlichen Kubikfüße Luft nicht genau anzugeben; doch kann man immer annehmen, daß statt 75 bei den gewöhnlichen Ofen nicht weniger als 180 Ku-

bilfuß erforderlich sind, so daß also mehr als die Hälfte des Sauerstoffs unverbunden bleibt.

23. Da die Luft mit beträchtlicher Geschwindigkeit durch die Zwischenräume des Brennmaterials streicht, so ist es nicht zu verwundern, daß sie einen Theil desselben, welcher sich als Staub, oder wenigstens in kleinen leichten Theilen darunter befindet, unverbraunt mit in die Höhe führt. Außerdem reißt auch das Leuchtgas kleine Kohlentheilchen mit sich fort, indem es sich aus den Steinkohlen entwickelt, und wird überdies, bevor oder indem es verbrennt, wieder in das leichter verbrennliche Wasserstoffgas und in fein zerkleinerte Kohle zerlegt. Von diesen Kohlentheilchen bleiben viele unverbraunt oder, chemisch ausgedrückt, unverbunden mit Sauerstoff, indem sie sich, noch ehe dies geschehen kann, wieder zu sehr abkühlen.

24. Dieses feine Pulver oder dieser Staub bildet das, was man Rauch nennt; die gasförmigen Erzeugnisse der Verbrennung haben nicht das trübe, wolkige oft sogar schwarze Aussehen des Dampfes, sondern sind vollkommen durchsichtig oder unsichtbar wie die Luft. Wenn also der Rauch unbrauchbarer Brennstoff ist, so findet ein desto größerer Verlust an letzterem Statt, je mehr Rauch durch den Schornstein entweicht. Abgesehen daher von der Rücksicht auf die Gesundheit der Nachbarn der Maschine, muß man schon aus Gründen der Sparsamkeit diesen verfliegenden Brennstoff, bevor er in den Rauchfang gelangt, zu verbrennen und somit nutzbar zu machen suchen.

25. Diesen Zweck hat man durch verschiedene Einrichtungen an den Defen zu erreichen gesucht, die man dann rauchverzehrende Defen zu nennen pflegt; ein sehr einfaches und nahe liegendes Mittel besteht aber in der Art die Heizung zu besorgen.

26. Folgende Einrichtung hat sich in dieser Hinsicht bei Watt zu Soho (Birmingham) vollkommen bewährt und ist überall als zweckmäßig anerkannt, wo die Heizer genügend beaufsichtigt wurden, um der Befolgung gewiß sein zu können.

27. Der Kofst senkt sich ein wenig nach hinten, so daß sich das Brennmaterial leichter zurückziehen läßt. Nun sei eine Kohlenschicht von gehöriger Dicke über seine ganze Fläche ausgebreitet und in lebhafter Verbrennung begriffen, so daß jeder Theil in heller Gluth ist; es wird sich dann kein Rauch zeigen. Jetzt öffnet der Heizer die Ofenthür, und macht, indem er die Kohlen nach hinten schiebt, vorn für frische Platz,

die er in nicht zu dicker Schicht ausbreitet. Sobald nun die Thür wieder geschlossen ist, fängt die Hitze an sogleich das Leuchtgas auszutreiben oder die Kohlen zu verkoken. Mit dem Gas werden von dem Zuge kleine Kohlentheilchen als Rauch fortgeführt, da sie aber die ganze Länge des Feuerraums bis zu den Zügen über die lebhaft brennenden Kohlen hinstreichen müssen, so werden sie vollständig verbrannt und es zeigt sich wiederum kein Rauch. Wenn die Kohlen vorn auf dem Roste vollkommen in Kokes verwandelt und roth glühend geworden sind, so wiederholt der Heizer seine Verrichtung wie oben erwähnt und man bedarf auf diese Weise keiner besonderen rauchverzehrenden Einrichtung.

28. Indessen ist bei dieser Art zu feuern ein sehr aufmerksamer und rühriger Heizer nöthig, da er oft frische Kohlen einbringen und sie sehr gleichmäßig auf den Rost vertheilen muß, und es ist im Allgemeinen schwierig, diese Leute hierzu fortwährend anzuhalten. Häufig lassen sie die Kohlen auf dem Roste fast niederbrennen und dann erst öffnen sie die Thür und häufen auf einmal von vorn bis hinten eine große Kohlenmenge im Feuerraume auf. Sobald dies geschieht, wird plötzlich eine außerordentliche Menge von schwarzem dicken Rauche entwickelt, der aus dem Schornsteine hervorquillt und sich erst verliert, wenn die Kohlen vollständig verkocht sind.

29. Wir dürfen jedoch nicht verschweigen, daß auch unser oben beschriebenes Verfahren der Heizung nicht ohne einige Nachtheile ist.

Statt in längeren Zeiträumen große Kohlenmengen schnell und ohne besondere Sorgfalt einzubringen, müssen ziemlich oft kleine Mengen eingebracht und sorgfältig auf dem Roste ausgebreitet werden; es ist also ein häufigeres und dabei nicht ganz kurzes Offenhalten der Thüren nöthig, und kalte Luft strömt über den Brennstoff hin, statt durch dessen Zwischenräume aufzusteigen. Dies sollte aber eigentlich nie stattfinden, weil dadurch dem Kessel Wärme entzogen wird.

30. Um diesem Uebelstande abzuhelpen, sind die rauchverzehrenden Defen sehr oft mit selbstwirkenden Heizvorrichtungen versehen. Sie streuen das von einer geeigneten Maschine genügend zerkleinerte Material mittelst eines Rumpfes auf den Rost, der sich nach Aufnahme seiner Ladung durch gewisse Vorrichtungen unter dem Rumpfe wegbewegt. Eine solche Vorrichtung sind z. B. die umlaufenden Roste. Indessen machen diese Vor-

richtungen nicht allein die Maschinerie zusammengesetzt, sind nicht allein kostspielig in der Anlage und häufig der Reparatur unterworfen, sondern es wird auch ein Theil der bewegenden Kraft der Maschine verbraucht, um sie im Gange zu erhalten. Diese Nachtheile muß man gegen diejenigen abwägen, welche ein gehörig bedienter gewöhnlicher Ofen hat. Jedoch habe ich an Orten, wo das Brennmaterial theuer ist, solche selbstwirkende Ofen oder Feuerungen Jahre lang mit vielem Vortheil in Thätigkeit gesehen.

31. Wenn die erhitzten Luftarten, sowie sie von dem Brennmaterial aufsteigen gleich in den Schornstein gelangten, so würden sie eine große Wärmemenge unbenuzt mit fortführen. Um dies zu verhindern, werden sie vorher durch Kanäle von größerer oder geringerer Länge in Berührung mit dem Kessel fortgeleitet, so daß sie erst einen Theil ihrer Hitze an das darin enthaltene Wasser abgeben. Man nennt diese Kanäle Züge; sie sind nach der Form, Größe und Bestimmung des Dampfkessels sehr verschieden eingerichtet. Zuweilen gehen die Züge durch den Kessel hindurch, zuweilen gehen sie um ihn herum, in welchem Falle ihre äußere Bekleidung aus Backsteinen besteht, die als schlechte Wärmeleiter wenig Wärme nach Außen durchlassen.

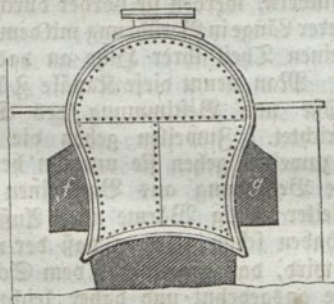
32. Wir haben schon gesehen, daß der nöthige Luftzufluß dadurch bewirkt wird, daß die Luft in dem Schornsteine, welche durch die Wärme ausgedehnt und daher leichter geworden ist, eben wegen ihres geringeren Gewichts in die Höhe steigt, so daß unten frische Luft nachströmen kann. Wenn daher nicht etwa auf andere Weise für den gehörigen Zug gesorgt ist, so kann nicht alle bei der Verbrennung entwickelte Wärme zur Verdampfung des Wassers im Kessel angewandt werden, sondern ein Theil derselben dient zur Erhaltung des Zuges; je geringer dieser Theil ist, desto mehr Brennmaterial wird erspart, und er kann desto geringer sein, je höher der Schornstein ist. Im Durchschnitt jedoch kann man annehmen, daß die Luft mit nicht mehr als 300 Grad in denselben treten darf. Bei Lokomotiven, die keinen Schornstein haben können, deren Feuerung aber einen sehr starken Zug erfordert, wird dieser durch einen Dampfstrom bewirkt, der aufwärts in den Schornstein gerichtet ist und die Luft aus den Zügen mit fortreißt.

33. Die Form der Dampfkessel hängt zwar von ihrer Bestimmung ab, muß aber jedenfalls so eingerichtet werden, daß die Verbrennungshitze möglichst ausgenutzt d. h. mit Aus-

nahme des Theiles, welcher zur Erhaltung des Zuges erforderlich ist, nur zur Dampferzeugung verwendet wird. Die gewöhnlichsten Kessel sind die cylindrischen oder Walzenkessel und die wagen- oder kofferförmigen, die Kofferkessel. Die cylindrischen Kessel sind in der Regel im Verhältniß zu ihrem Durchmesser ziemlich lang und an den Enden gewölbt; dies erhöht ihre Festigkeit in hohem Grade, in manchen Fällen haben sie jedoch auch flache Boden.

34. Die Kofferkessel ähneln, wie ihr Name sagt, der Form nach einem Koffer, (Fig. 11.)

Fig. 11.



sie sind oben halbrund gewölbt, an den Seiten entweder flach oder ein wenig konkav oder eingedrückt (siehe Kapitel 27). Der Feuerraum befindet sich an einem Ende desselben und hat einen Theil des gewölbten Bodens als Decke; von hier aus geht die Flamme und erhitzte Luft unter dem Kessel entlang, an dessen Ende sie an den konkaven Seitenwänden hin rings um den Kessel geleitet wird. So wird also die von den Kohlen ausgestrahlte Wärme unmittelbar von dem Boden des Kessels aufgenommen und dem Wasser mitgetheilt, während die erhitzte Luft dreimal die ganze Kessellänge zurücklegt und dabei den größten Theil ihrer Wärme abgibt.

35. Der Feuerraum der cylindrischen oder Walzenkessel
(Fig. 12.)

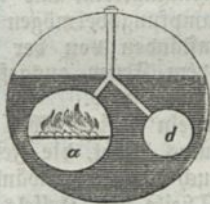
Fig. 12.



ist in der Regel inwendig in einer weiten Röhre angebracht, die sich durch die ganze Länge desselben erstreckt. An einem Ende befindet sich der Kofst und der übrige Theil derselben bildet einen Zug. Bei dieser Einrichtung wird alle Wärme, die von den Kohlen und selbst von dem Aschenkasten ausstrahlt, dem Wasser mitgetheilt. Die erhitze Luft wird dann von dem hinteren Ende des Kessels, ähnlich wie bei den Kofferkesseln, noch in Zügen um den Cylinder herumgeführt.

36. Zuweilen gehen mehrere Züge durch den Kessel, in welchem die Luft, bevor sie in den Schornstein gelangt, hin und her geleitet wird. (Fig. 13.)

Fig. 13.



Solche innere Züge haben den Vortheil, daß auch der Theil

der Wärme dem Wasser mitgetheilt wird, welcher bei äußeren Zügen durch das Mauerwerk verloren geht.

37. Bei einigen Kesseln befindet sich der Kofst an einem Ende, die Flamme und erhitzte Luft aber werden nicht von einem, sondern von drei oder vier röhrenförmigen Zügen aufgenommen. Am weitesten ist diese Zertheilung der Züge bei den Lokomotivkesseln getrieben, durch welche 100 bis 200 Züge oder Röhren von nicht mehr als zwei Zoll Durchmesser der Länge nach gehen und die Flammen und erhitzte Luft in eine Menge dünner Fäden spalten, so daß diese ihre Wärme auf einer verhältnißmäßig kurzen Strecke an das Wasser abgeben müssen. Hierdurch wird es unnöthig, die Züge hin und her zu leiten.

38. Nach einer anderen Einrichtung treten die Flammen und die erhitzten Luftarten aus dem Feuerraume in eine Anzahl enger aufrechter Zellen, die durch die Länge des Kessels neben einander herlaufen, und über ihnen befindet sich eine zweite Zellenreihe, durch welche die Luft zurückgeleitet wird. In dieser Art sind in der Regel die Schiffskessel eingerichtet.

39. Vielsache Züge haben den doppelten Nachtheil, daß sie die Kosten des Kessels vergrößern und seine Haltbarkeit vermindern. Man bedient sich ihrer deshalb nur da, wo die Umstände einen bedeutenden Umfang und ein großes Gewicht des Kessels nicht gestatten, wie bei den Lokomotiven und Schiffsmaschinen. Bei stehenden Maschinen kann man auf einfachere Weise, nämlich durch bloße Vergrößerung des Kessels ein größeres Verdampfungsvermögen desselben bewirken.

Die beiden Zwecke, die man zugleich zu erreichen streben muß, die sich aber in gewissem Maaße ausschließen, sind: Ersparniß an Brennumaterial und rasche Verdampfung.

40. Das Verdampfungsvermögen eines Kessels hängt unter sonst gleichen Umständen von der Größe der Heizfläche ab, deren unmittelbar dem Feuer ausgesetzter Theil insbesondere Feuerfläche genannt wird.

41. Bei Kofferkesseln ist der Theil des Bodens, welcher die Decke des Feuerraums bildet, die Feuerfläche, bei Walzenkesseln hingegen sind auch die Seitenwände und selbst der Boden des Feuerraums Theile des Kessels und enthalten Wasser, so daß sie als Theile der Feuerfläche zu betrachten sind.

42. Die Fläche der Züge ist in der Regel beträchtlich größer als die eigentliche Feuerfläche, damit die erhitzten Luftarten so

weit abgekühlt werden, als dies unter Erhaltung des nöthigen Zuges geschehen kann.

43. Wie auch die Züge eingerichtet und angebracht sind, so müssen sie doch immer unter dem Wasserspiegel im Kessel sein, weil sonst die Kesselwände überhitzt werden würden. Dampf nimmt nur langsam Wärme auf, und so könnte das Metall rothglühend werden, während der Dampf eine vergleichungsweise niedrige Temperatur behielte. So heißes Metall verliert aber den größten Theil seiner Festigkeit, und der Kessel würde also durch den Dampfdruck gesprengt werden.

44. Wie schon erwähnt, muß darauf gesehen werden, daß alle durch die Verbrennung erzeugte Wärme nur zur Verwandlung des Wassers in Dampf verbraucht wird, mit Ausnahme des zur Erhaltung des Zuges erforderlichen Theils derselben. Man muß also auch möglichst verhindern, daß der Kessel die aufgenommene Wärme wieder theilweis nach Außen abgibt. Dies geschieht, indem man ihn mit einem schlechten Wärmeleiter, d. h. einem Stoffe umgiebt, welcher die Wärme nicht durchläßt, oder doch nur sehr langsam fortpflanzt.

45. Einer der wirksamsten Stoffe dieser Art sind gewöhnliche Sägespäne und man bedient sich ihrer deshalb fast in allen Fällen, in welchen die Umstände es gestatten. Man umkleidet den Kessel nebst allem Zubehör mit einem dicken Ueberzuge, der mit Sägespänen ausgestopft ist und dies erfüllt seinen Zweck so vollständig, daß es im Kesselhause einer Cornwaller Maschine oft kühler als irgend sonst wo ist.*)

46. Schiffsmaschinen so wie manche andere erhalten mit Vortheil einen Filzüberzug; auch Hanf, Wolle und andere faserige Stoffe sind anwendbar.

47. Die Lokomotivkessel werden mit Holz verkleidet, welches ebenfalls die Wärme nicht besonders leitet; auch die Cylinder großer stehender Dampfmaschinen erhalten häufig eine Decke von Holz. Die Dampfzuleitungsröhren und andere Theile der Maschinen, welche Dampf enthalten, werden mit Berg oder ähnlichen Stoffen umwickelt. Auf diese Weise kann der Wärmeverlust nach Außen fast ganz verhindert werden.

*) In Cornwall sind nämlich sehr zahlreiche und tiefe Bergwerke, aus denen die Grubenwasser durch außerordentlich große und auf möglichste Brennmaterialersparniß eingerichtete Dampfmaschinen gehoben werden. Diese Maschinen bilden wegen ihrer Einrichtung eine eigene Klasse der Dampfmaschinen.

48. Wenn Brennmaterial angewandt wird, welches mit wenig Flamme brennt, wie manche Steinkohlensorten (Sandkohle) und die Kokes, so wird die Hauptwirkung durch die strahlende Wärme und eine vergleichungsweise geringe Wirkung durch die erhitzte Luft hervorgebracht. Deshalb muß die Feuerfläche einen großen Theil der gesammten Heizfläche bilden. Da aber die Feuerfläche im Verhältniß zu ihrer Ausdehnung immer wirksamer als die Fläche der Züge ist, so leidet sie auch durch die starke Erhitzung mehr. Man könnte freilich sagen, daß das Metall keine höhere Temperatur, als das Wasser inwendig annehmen könne und daß also, da die ganze Wassermasse im Innern eine gleichmäßige Temperatur annehmen muß, die Feuerfläche nicht über den Wärmegrad der ganzen Masse erhitzt werden könne. Dies würde (nahezu) richtig sein, wenn die Kesselfeuerung eine recht gemäßigte wäre, das Brennmaterial nur sehr allmählig verzehrt und die Hitze langsam entwickelt würde, so daß auf keinen Theil des Kessels eine heftige Einwirkung stattfände. Dies ist z. B. bei den Kornwaller Kesseln und Feuerungen der Fall, bei denen es auf Raumersparniß nicht ankommt und die Brennmaterial-Ersparniß bis zur äußersten Grenze getrieben ist; in anderen Fällen aber müssen diese Vortheile geopfert und es muß eine so heftige Verbrennung unterhalten werden, daß die Feuerfläche viel heißer als das sie bespülende Wasser und die Fläche der Züge wird. Die Dampsentwicklung ist dann an der Feuerfläche so stürmisch und die Dampfblasen bilden sich so zahlreich, daß das Wasser nicht in fortwährender Berührung mit dem Metalle ist und während dieser Zeit ist es der Ueberhitzung ausgesetzt. Zwar kühlt das Wasser immer wieder, wenn die Dampfblasen entweichen, das Metall einigermaßen ab, allein es entstehen auch fast augenblicklich neue Dampfblasen, und man findet daher, daß z. B. die Lokomotiv- und zuweilen auch die Schiffsdampfessel weit schneller an der Heizfläche als in den Zügen schlecht werden oder sich „ausbrennen“

Kapitel 16.

Wie der nöthige Zug für die Feuerung eines Dampfkessels bewirkt wird.

1. Das gewöhnliche Mittel zu diesem Zwecke ist ein Schornstein.

Wenn die Verbrennungs-Producte durch einen Schornstein von genügender Höhe gehen, so hat die so gebildete senkrechte Säule von erhitzter Luft ein gewisses Bestreben zu schwimmen oder in die Atmosphäre aufzusteigen, welches mit dem Unterschied ihres Gewichtes und des Gewichtes einer gleich hohen Säule gewöhnlicher kalter Luft zunimmt und in gleichem Verhältnisse steht. Dieser Unterschied wird um so größer sein, je größer und höher die Säule ist, vorausgesetzt, daß jeder Theil derselben für sich leichter ist als eine gleiche Raummenge gewöhnlicher Luft, und ein Schornstein muß daher um so höher sein, einen je lebhafteren Zug man dadurch erzeugen will.

2. Bei stationären, d. h. stehenden Maschinen, wie sie beim Fabrik- und Gewerbsbetriebe angewendet werden, kann man in der Regel einen Schornstein von jeder beliebigen Höhe haben, bei andern zahlreichen Anwendungen der Dampfkraft hingegen, wie z. B. bei allen beweglichen (transportablen) Maschinen, sind hohe Schornsteine nicht zulässig.

3. Es ist nicht nothwendig, daß der Schornstein sich unmittelbar über oder dicht neben der Feuerung befinde, er kann vielmehr in beträchtlicher Entfernung davon sein, wenn nur genügend weite Luftkanäle dahin leiten. In Fabriken kommt es häufig vor, daß die Dampfkessel und ihre Feuerungen vorhandener Umstände wegen ziemlich weit vom Schornsteine entfernt sind.

4. Sehr kurz müssen namentlich die Schornsteine der Lokomotiven sein, so daß sie für sich allein den erforderlichen Zug nicht bewirken würden; auch Dampfschiffe können nur einen verhältnißmäßig niedrigen Schornstein haben.

5. In solchen Fällen müssen entweder die bei der Verbrennung entstehenden Lustarten sehr heiß entweichen, um durch ihre starke Ausdehnung und ihr geringes Gewicht die mangelnde Höhe der aufsteigenden Säule zu ersetzen, oder es müssen an-

dere Mittel zur Erzeugung des nothwendigen Zuges angewandt werden.

6. Zuweilen wird an der Stelle, wo die Züge in den Schornstein münden, ein Windrad oder ein Ventilator angebracht, durch dessen Umdrehung die Luft um desto schneller im Schornsteine in die Höhe getrieben wird, je schneller er sich dreht. Ein solcher Ventilator wird durch die Maschine selbst getrieben, welche also so viel an bewegender Kraft verliert, als der Ventilator zu seiner Umdrehung erfordert. Die zur Erzeugung dieser Dampfkraft nöthige Wärmemenge ist aber häufig viel geringer als die, welche man unbenutzt mit entweichen lassen müßte, um dadurch einen eben so starken Zug hervorzu bringen, und dann ist also ein Ventilator immer sehr vortheilhaft; im umgekehrten Falle würde er, abgesehen von seinen Kosten, nachtheilig sein.

7. Bei Lokomotiven bedient man sich eines anderen Hilfsmittels, welches überall bei Hochdruckkesseln anwendbar ist. Man läßt nämlich einen Theil des Dampfs durch ein aufwärts gerichtetes Blasrohr stoßweise oder auch selbst in einem beständigen Strome in den Schornstein hinaufblasen, und hierdurch wird in der That ein starker Luftzug erzeugt; doch ist es offenbar auch hierbei nöthig, einen Theil der Dampfkraft zu opfern.

Kapitel 17.

Wie die mechanische Leistung des Brennstoffs geschätzt und ausgedrückt wird.

1. Wir haben schon oben gesehen, daß der mechanische Effect oder die Arbeit einer Dampfmaschine, zu welchem Zwecke sie auch dienen möge, immer durch ein gewisses Gewicht, gehoben auf eine gewisse Höhe ausgedrückt werden kann.

2. Mag eine Maschine ein Mühlrad treiben oder ein Schiff fortbewegen oder einen Wagen ziehen; der Widerstand, den sie im Angriffspunkte findet, kann jedenfalls durch ein gewisses Gewicht dargestellt oder ersetzt werden.

Wenn z. B. eine Lokomotive eine Reihe von Wagen zieht, so sieht man leicht, daß die Spannung oder der Zug in der Kette, wodurch sie mit den Wagen verbunden ist, ganz ebenso

beschaffen ist, als wenn an dieser Kette ein gewisses Gewicht hinge. Ebenso ist es bei jeder anderen Beschaffenheit des Widerstandes, den die bewegende Kraft findet und bei jeder anderen Art, in der sie ihre Wirkung ausübt.

3. Bei der Abschätzung des mechanischen Effects oder der Arbeit einer Maschine kommt neben der Größe des Widerstandes auch noch der Raum oder Weg in Betracht, auf dem die bewegende Kraft ihn überwindet; da nun der Widerstand immer einem gewissen Gewichte gleichgesetzt werden kann, so kann man auch die Arbeit jedesmal durch eine gewisse Anzahl Pfund, eine gewisse Anzahl Fuß gehoben, oder eine so viel mal größere Anzahl Pfund, einen Fuß hoch gehoben, ausdrücken.

4. Durch Verbrennung einer gewissen Menge von Kohlen wird eine gewisse Wärmemenge erzeugt, die im Stande ist, eine gewisse Menge Wasser in Dampf zu verwandeln und so einen bestimmten mechanischen Effect hervorzubringen.

Wenn alle von einem Pfunde Steinkohle oder Kokes entwickelte Wärme zur Dampferzeugung verwendet werden könnte, so würde sie etwa 12 Pfund Wasser von 50° in Dampf verwandeln. Nun enthält ein Pfund Wasser 26 Kubitzoll, und 12 Pfund sind daher 312 Kubitzoll; ein Kubitzoll Wasser kann aber, in Dampf verwandelt, 20 Ctr. oder 2200 Pfd. einen Fuß hoch heben, und dieser Effect wird beinahe noch einmal durch die Kondensirung des Dampfes bewirkt, so daß wir 4000 Pfund einen Fuß hoch gehoben oder 4000 Fußpfund als den mechanischen Effect oder die Arbeit von 1 Kubitzoll verdampften Wassers ansehen können. Findet zugleich eine starke Expansion Statt, so erhöht sich diese Zahl auf mindestens 6000 Fußpfund, und von einem Pfunde oder 26 Kubitzoll verdampften Wassers würden demnach 26 mal 6000 = 156,000 Pfund einen Fuß hoch gehoben werden können, so daß ein Pfund Kohle, wenn es 12 Pfund Wasser von 50° in Dampf verwandelte, eine bewegende Kraft von 12 mal 156,000 = 1,872,000 Fußpfund erzeugen würde.

5. Dieser Effect wird jedoch bei weitem nicht erreicht, weil ein Theil der Verbrennungswärme nicht zur Dampferzeugung verwendet wird, so daß 1 Pfund Steinkohle höchstens 9 bis 10 Pfund Wasser von 50° verdampft; weil ferner ein Theil des erzeugten Dampfes ohne nützliche Leistung durch die Ventile entweicht oder in den Dampfleitungen und im Cylinder

durch Abkühlung niedergeschlagen wird, welcher Verlust allerdings bei richtiger Behandlung der Maschine sehr gering, aber doch nicht ganz zu vermeiden ist; und weil endlich ein Theil der bewegenden Kraft durch die Kolbenreibung und andere Widerstände in der Maschine selbst verzehrt wird.

6. Der Theil der vom Brennmaterial erzeugten bewegenden Kraft, welcher nach Abzug aller dieser Verluste übrig bleibt und an dem arbeitenden Punkte, d. h. an dem Punkte zur Wirksamkeit gelangt, wo die Maschine die ihr übertragene Arbeit verrichtet, dieser Theil der bewegenden Kraft heißt die nützliche Arbeit, Nutzleistung, ökonomische Leistung oder der ökonomische Effekt des Brennstoffes oder auch der Maschine, insofern die Größe dieser Leistung von der Einrichtung der Maschine abhängt.

7. Man kann die Dampfmaschinen nach ihrer ökonomischen Leistung in drei Klassen theilen, nämlich 1) die Cornwaller Maschinen, die ihren Namen von den in Cornwall üblichen, hauptsächlich zur Hebung der Grubenwasser dienenden Maschinen haben, bei denen die Brennmaterialersparniß bis zur äußersten Gränze getrieben ist. 2) Die stehenden Maschinen, wie sie in Fabriken üblich sind; zu dieser Klasse mögen auch die Schiffsmaschinen mit gerechnet werden. 3) Die Lokomotiv-Maschinen für Eisenbahnen.

8. Bei den Cornwaller Maschinen, über welche die genauesten Beobachtungen in Bezug auf den Verbrauch an Brennmaterial und den mechanischen Effekt angestellt sind, will man in einzelnen Fällen mit einem Bushel Kohlen 125 Millionen Pfund einen Fuß hoch gehoben haben, was für 1 Pfund Kohle 1,330,000 Fußpfund nützlicher Leistung geben würde, wenn 1 Bushel Kohlen zu 94 Pfund gerechnet wird. Von Manchen wird diese Leistung bezweifelt, und sie ist jedenfalls eine außerordentliche, aber 900,000 bis 1 Million Fußpfund für 1 Pfund Kohle sind bei Maschinen dieser Art nicht ungewöhnlich, und das ist bei weitem mehr als alle anderen Dampfmaschinen leisten.

9. Bei den gewöhnlichen stationären oder stehenden Maschinen der zweiten Klasse kann man die durchschnittliche ökonomische Leistung eines Pfundes Kohle in runder Zahl auf etwa 250,000 Fußpfund abgeben, was also nur den vierten Theil der ökonomischen Leistung der Cornwaller Maschinen beträgt, und bei Lokomotiven ist sie natürlich noch geringer; bei

diesen Maschinen ist jedoch die Ersparniß von Brennmaterial eine untergeordnete Rücksicht, so daß es nicht nöthig erscheint, hier näher darauf einzugehen.

10. Die Größe der ökonomischen Leistung wird bei den Cornwaller Maschinen durch verschiedene Einrichtungen ermöglicht, von denen einige, wie z. B. die sorgfältige Vermeidung aller Wärmeverluste durch Ausstrahlung schon erwähnt sind. Die Kessel sind im Verhältniß zu der von ihnen erzeugten Dampfkraft außerordentlich groß, der inwendig angebrachte Koft ebenfalls, die Verbrennung geht sehr langsam vor sich, die Heizfläche ist sehr ausgedehnt und die erhitzte Luft gelangt nicht eher in den Schornstein bis sie ihre Wärme möglichst vollständig an den Kessel abgegeben hat; das Brennmaterial aus den besten Kohlen bestehend, wird mit außerordentlicher Sorgfalt im Feuer raume ausgebreitet und geschürt, so daß die Verbrennung vollständig ist, und überdies wird Dampf von Afachem Luftdruck angewandt, so daß eine ausgedehnte Expansion stattfinden kann.

11. Bei der Abschätzung des ökonomischen Effekts der in Fabriken gebräuchlichen stationären Dampfmaschinen müssen wir bemerken, daß, theils wegen der Schwierigkeiten, welche diese hat, theils wegen Nachlässigkeit der Besitzer, nur sehr ungenaue Angaben darüber vorhanden sind. Wenn eine Maschine wie dies in Cornwall fast immer der Fall ist, unmittelbar zum Heben von Wasser oder von anderen Lasten angewandt wird, so kann man leicht ihren mechanischen Effekt beobachten; wenn sie aber Spinnmaschinen, Webstühle oder Druckpressen treibt, so ist es nicht so leicht, ihre Wirkung auf eine gewisse Anzahl Pfund, so und so hoch gehoben, zurückzuführen. Bei Lokomotiven ist diese Schwierigkeit nicht vorhanden, dessen ungeachtet aber sind erst in neuerer Zeit genauere Versuche gemacht worden.

Kapitel 18.

Wie die Kraft einer Maschine geschätzt und ausgedrückt wird.

1. Die ökonomische Leistung ist, wie wir gesehen haben, der bei einer Maschine durch eine gewisse Menge Brennstoff im arbeitenden Punkte hervorgebrachte mechanische Effekt ohne Rücksicht auf

die Zeit, in welcher er hervorgebracht wird. Ob also eine Maschine mit einem Pfunde Kohlen in einer Minute oder in einer Stunde 1 Million Pfund hebt, ihr ökonomischer Effekt ist in beiden Fällen derselbe; die Kraft der Maschine hingegen würde sehr verschieden sein.

2. Die Kraft einer Maschine wird nach ihrer Leistung in einer gegebenen Zeit gemessen.

Als die Dampfmaschinen zuerst in Gebrauch kamen, ersetzten sie in der Regel eine Anzahl von Pferden, die vorher dieselbe Arbeit verrichten mußten, und es war daher nicht bloß natürlich, sondern sogar nothwendig, ihre mechanische Leistung durch die Anzahl der Pferde auszudrücken, welche durch sie erspart werden sollten. So entstand der jetzt allgemein übliche Ausdruck Pferdekraft. Anfangs hatte dieser Ausdruck nur eine unbestimmte Bedeutung und wurde von den Fabrikanten und Kapitalisten ganz buchstäblich so verstanden, daß die Maschine die Arbeit einer gewissen Anzahl von Pferden übernehmen könne. Nachdem jedoch die Dampfmaschine den Pferdebetrieb gänzlich verdrängt hatte und es nöthig wurde, ihre Leistung genauer auszudrücken, legte Watt dem Worte Pferdekraft, statt diese Bezeichnungsweise ganz zu verlassen, die willkürliche aber bestimmte Bedeutung bei, die es bis jetzt behalten hat. Demnach bedeutet eine Pferdekraft einen mechanischen Effekt von 33000 Fußpfund in der Minute oder von 550 Fußpfund in der Secunde, indem ein solches gedachtes Pferd im Stande sein soll, in einer Secunde 550 Pfund einen Fuß hoch zu heben. Diese Zahl gilt für englisches Fußmaaß und englisches Gewicht; da nun sowohl der englische Fuß als das englische Pfund kleiner als die entsprechenden preussischen Maaße sind, so erhält man in diesen eine kleinere Zahl und zwar ungefähr 510 Pfund.

3. Es ist also eine Maschine von 10 Pferdekraft eine solche, welche in der Sekunde 5500, in der Minute 330000 oder in der Stunde nahe 20 Millionen Pfund einen Fuß hoch zu heben im Stande ist.

4. Wenn man von einer Dampfmaschine sagt, sie habe so oder so viel Pferdekraft, so muß dies von dem regelmäßigen Gange derselben verstanden werden, bei welchem also die Feuerung in gewöhnlicher Weise besorgt wird und weder eine ungewöhnlich starke noch ungewöhnlich geringe Verdampfung stattfindet. Eine Maschine von 100 Pferdekraft kann bei sehr star-

ter Heizung einen weit größeren Effekt hervorbringen, als ihr Name anzeigt, und umgekehrt kann man sie, wie dies auch häufig geschieht, bei schwacher Feuerung mit beträchtlich geringerer Kraft arbeiten lassen.

Kapitel 19.

Welche Größe der Kessel und die Feuerung für eine Maschine von gegebener Kraft haben müssen.

1. Die technischen Regeln, welche von den Ingenieuren über die Verhältnisse von Maschinen, die eine bestimmte Kraft haben sollen, gegeben werden, sind im Allgemeinen nur auf die zweite oben erwähnte Klasse anwendbar, nämlich auf die Maschinen, wie sie in der Regel zum Fabrikbetriebe und zur Dampfschiffahrt angewandt werden.

2. Die Cornwaller Maschinen einerseits und die Lokomotiven andererseits machen ihrer Natur nach Ausnahmen von der allgemeinen Regel und bilden die äußersten Grenzfälle, zwischen denen alle übrigen Arten der Dampfmaschinen ihrer Einrichtung und Wirkungsweise nach liegen. Bei jenen werden zur Erzeugung einer bestimmten Kraft weit größere Abmessungen gestattet und wird nur eine langsame Feuerung unterhalten, bei diesen ist der Raum, worin eine bestimmte Kraft erzeugt werden soll, im Gegentheile außerordentlich klein und die Feuerung muß daher sehr kräftig sein.

Was wir daher im Folgenden aufstellen, bezieht sich nur auf die zweite und gewissermaßen mittlere Klasse der Dampfmaschinen.

3. Als wir die durch Verdampfung von Wasser erzeugte bewegende Kraft berechneten, sahen wir, daß ein Kubikzoll Wasser, in Dampf verwandelt, nahe 20 Ctr. oder 2200 Pfd. einen Fuß hoch heben könne, und es würden demnach 1000 Kubikzoll über 2 Millionen Pfund einen Fuß hoch heben können, wobei noch nicht einmal die Wirkung der Expansion und Kondensation mitgerechnet ist. Die Verfertiger von Dampfkesseln schlagen aber, und mit Recht, die zur eigentlich nützlichen Wirkung gelangende bewegende Kraft noch bedeutend geringer an. 2 Mil-

tionen Pfund, in einer Stunde einen Fuß gehoben, sind die Leistung einer Pferdekraft; auf eine solche rechnen die Verfertiger der Kessel, wie wir oben sahen, nicht 1000 Kubitzoll, sondern 1728 Kubitzoll oder einen Kubikfuß in der Stunde verdampften Wassers.

4. Diese Annahme darf freilich auch nicht einmal als annähernd richtig angesehen werden; jedenfalls sind die Verluste bei jeder einigermaßen gut abgewarteten Maschine beträchtlich geringer, als danach der Fall sein müßte. Aber der Fehler liegt auf der guten Seite, denn es ist besser, wenn der Kessel mehr Dampf, als erforderlich ist, erzeugen kann, als wenn der Maschine der Dampf ausgeht. Ein Kessel, dessen Verdampfungsvermögen größer als nöthig ist, kann immer ohne Schaden um so viel schwächer geheizt werden, wenn aber seine Leistung durch heftiges Feuer über sein eigentliches Vermögen gesteigert werden muß, so entsteht sowohl Verlust an Brennstoff als Gefahr. Man muß daher nicht glauben, daß die Maschinenbauer diese Regel aus Unwissenheit annehmen. Obgleich sie im Allgemeinen keine genaue und wissenschaftliche Kenntniß von der zur Bewegung der Maschine erforderlichen Kraft und den vorkommenden Dampfverlusten haben, so wissen sie nichts desto weniger sehr wohl, daß sie letztere höher, als ihr wirklicher Betrag ist, anschlagen, und in Ermangelung einer genauen Wissenschaft thun sie offenbar recht daran.

5. Für jede Pferdekraft also, welche die Maschine ausüben soll, erhält der Kessel eine Verdampfungskraft von stündlich 1 Kubikfuß Wasser.

Wird daher der Ausdruck Pferdekraft auf Dampfkessel angewandt, so bedeutet er die Anzahl der Kubikfüße Wasser, welche darin binnen einer Stunde bei regelmäßiger Heizung in Dampf verwandelt werden können. So ist ein Kessel von 50 Pferdekraft ein solcher, der bei gewöhnlicher Feuerung stündlich 50 Kubikfuß Wasser verdampfen kann.

6. Die für eine bestimmte stündliche Dampfmenge anzunehmende Größe des Kofsts und Ausdehnung der Heizfläche bleibt sich bei verschiedenen Maschinen und nach dem Gebrauche verschiedener Maschinenbauer nicht gleich; aber es giebt doch für die gewöhnlichen Fabrikmaschinen gewisse Durchschnittsregeln, die es nützlich ist sich als Anhaltspunkte zu merken.

7. So nimmt man in der Regel an, daß für jede Pferdekraft ein Quadratfuß Kofstfläche vorhanden sein müsse. Dem-

nach wird also stündlich auf einem Quadratfuß Kofstfläche so viel Brennstoff verzehrt, als zur Verdampfung eines Kubikfußes Wasser erforderlich ist.

8. Die Ausdehnung der Heizfläche wird im Durchschnitt zu 15 Quadratfuß auf die Pferdekraft angenommen, wobei die gesammte Heizfläche, mithin sowohl die Feuerfläche, als die der Züge in Rechnung zu bringen ist. Ein 50pferdiger Dampfkessel muß demnach 750 Quadratfuß Heizfläche haben.

9. Von diesen Durchschnittsregeln weichen, wie schon bemerkt, die einzelnen Dampfkessel und Feuerungen der Maschinen, welche wir jetzt eben besonders im Auge haben, mehr oder weniger ab; auf die beiden äußersten Klassen der Dampfmaschinen aber, nämlich die Cornwaller einerseits und die Lokomotiven anderseits sind sie gänzlich unanwendbar. Für Hochdruckmaschinen kann man 10 Quadratfuß Heizfläche, für solche ohne Condensation 13 Quadratfuß, für Niederdruckmaschinen 14 Quadratfuß Heizfläche auf jede Pferdekraft annehmen.

10. Bei den Cornwaller Maschinen findet auf den Kofsten eine langsame Verbrennung statt, und obgleich der Brennstoff darauf in einer weit dickeren Schicht liegt, so ist doch die Hitze von einer gleichen Fläche beträchtlich geringer als bei gewöhnlichen Dampfkesseln. Daher wird für eine bestimmte zu liefernde Dampfmenge ein mindestens doppelt so großer Kofst gemacht, und wir finden so zwei Quadratfuß Kofstfläche für jeden stündlich verdampften Kubikfuß Wasser. Da nun ferner die Feuerung bei diesen Kesseln weniger heftig als bei den gewöhnlichen auf die Heizfläche wirkt, so muß auch wieder das Verhältniß dieser letzteren zur Kofstfläche ein größeres sein, und man hat daher in der Regel 2 bis $2\frac{1}{2}$ mal 15 Quadratfuß Heizfläche auf einen Quadratfuß Kofstfläche oder 4 bis 5 mal 15 Quadratfuß auf einen Kubikfuß stündlich zu verdampfenden Wassers. Es wird dies durch eine größere Länge der Züge möglich, welche bei einem Cornwaller Kessel 150 und mehr Fuß ist, wenn sie bei einem gewöhnlichen Kofferkessel 60 Fuß beträgt. Diese Umstände werden genügen, um zugleich die verschiedene Wirkungsweise und Einrichtung dieser beiden Dampfkesselarten zu zeigen.

11. Die Lokomotivkessel anderseits verdampfen auf einen Quadratfuß Kofstfläche im Durchschnitt nicht einen, sondern 8 Kubikfuß in der Stunde, also 16 mal so viel als ein Cornwaller Kessel. Die Verbrennungshitze im Feuerraum der Lo-

lokomotive muß daher außerordentlich viel heftiger sein, und ich selbst habe gesehen, daß eine Anzahl neuer Roststangen während einer Fahrt von 6 deutschen Meilen theilweis geschmolzen und unbrauchbar geworden war. Der Glanz der brennenden Kohlen ist zuweilen im Feuerraum so stark und blendend, daß er dem Auge denselben Schmerz verursacht wie der Glanz der Sonne.

12. Die Cornwaller Dampfkessel, welche nach dem Obigen in Bezug auf die Art des Betriebes und ihre Wirkungen den geraden Gegensatz gegen die Lokomotiven bilden, sind ihnen nichtsdestoweniger der Form nach sehr ähnlich. Beide sind cylindrisch und beide haben metallene Züge oder Feuerröhren, welche den Kessel der Länge nach durchstreichen. Bei den Cornwaller Kesseln sind diese Röhren von Eisen und beträchtlichem Durchmesser, bei den Lokomotiven sehr eng und von Messing. Der Durchmesser der Cornwaller Kessel beträgt etwa $\frac{1}{6}$ ihrer Länge. Wo sehr große Kraft erforderlich ist, hat es sich als vortheilhaft erwiesen, lieber 2 oder mehr Kessel, statt eines mit größerem Durchmesser zu construiren. Man findet sie sehr häufig von 30 bis 40 Fuß Länge und 6 bis 7 Fuß Durchmesser. Die Lokomotivkessel haben in der Regel eine Länge von 8 bis 10 Fuß und einen Durchmesser von $3\frac{1}{2}$ bis $4\frac{1}{2}$ Fuß.

13. Die meisten Angaben über den Verbrauch an Brennmaterial enthalten das Gewicht der stündlich für die Pferdekraft verbrauchten Kohle; so lange aber nicht feststeht, ob die wirkliche Arbeitskraft der Maschine mit der Anzahl der ihr beigelegten Pferdekraft übereinstimmt, leiten dergleichen Angaben zu falschen Schlüssen. In der Regel rechnet man bei stationären und Schiffsmaschinen, wenn sie mit voller Kraft arbeiten, stündlich 10 Pfund Kohle auf die Pferdekraft. Der Kohlenverbrauch ist aber unzweifelhaft geringer, wenn die Maschinen gehörig construirt sind und sorgsam abgewartet werden; für gut gehaltene Maschinen sind 7 bis 8 Pfund ein sehr gewöhnlicher Verbrauch. Die Cornwaller Maschinen hingegen bedürfen stündlich wenig mehr als 5 Pfund auf die Pferdekraft.

Kapitel 20.

Welche Größe der Cylinder und die übrigen Maschinentheile für eine bestimmte Kraft der Maschine haben müssen.

1. Die Regeln, welche von den Maschinenbauern und Ingenieuren in Bezug auf diesen Punkt gegeben werden, sind außerordentlich unbestimmt, unsicher und willkürlich. Eigentlich hat da jeder Maschinenbauer seine eigenen Regeln, die er für unfehlbar hält, als wenn diese mechanische Aufgabe eine so strenge und beweisbare Lösung zuließe, wie eine Aufgabe aus der gemeinen Geometrie.

2. Man sieht leicht, daß die Größe des Cylinders und Kolbens, welche erforderlich ist, um eine bestimmte Arbeitskraft zu erzeugen, davon abhängt, welchen Druck der Dampf nach seinem Eintritte in den Cylinder ausübt, mit welcher Geschwindigkeit der Kolben getrieben wird, in welchem Grade auf der anderen Seite des Kolbens ein Vacuum hergestellt und in welcher Ausdehnung das Prinzip der Expansion angewendet wird. Mehrentheils jedoch hat man die Rechnung in Bezug auf Niederdruckmaschinen angestellt, d. h. solche Maschinen, in denen der Druck des Dampfes den der Atmosphäre um nicht mehr als 4 oder 5 Pfund auf den Quadratzoll übersteigt und man nimmt dabei die mittlere Geschwindigkeit des Kolbens zu durchschnittlich 200 Fuß in der Minute oder $3\frac{1}{3}$ Fuß in der Sekunde an. Unter diesen Bedingungen und bei einem gehörig wirkenden Condensator rechnet man auf jede Pferdekraft der Maschine 22 Quadratzoll Kolbenfläche, und man erhält also umgekehrt unter den angegebenen Voraussetzungen die Zahl der Pferdekräfte einer Maschine, wenn man die Kolbenfläche in Quadratzollen ausgedrückt durch 22 dividirt, oder, was nahezu dasselbe ist, die Zahl der Zolle des Kolbendurchmessers mit sich selbst multiplicirt und die so erhaltene Zahl durch 28 dividirt. Soll wiederum die Größe des Kolbens für eine Maschine von bestimmter Kraft gefunden werden, so multiplicirt man nur die Zahl ihrer Pferdekräfte mit 28 und sucht die Quadratwurzel, welche dann den Kolbendurchmesser in Quadratzollen angiebt.

3. Wie schon bemerkt, gelten diese Regeln nur für die vorausgesetzte Kolbengeschwindigkeit und Dampfspannung; überhaupt führt die Bezeichnung der Kraft oder mechanischen Leistungs-

fähigkeit einer Maschine in Pferdekraften häufig zu sehr falschen Folgerungen und wird daher in neuerer Zeit von den Ingenieuren und Männern der Wissenschaft mehr und mehr verlassen. Bei Lokomotiven bedient man sich dieser Bezeichnungsweise ganz und gar nicht und auch bei den Cornwaller Maschinen ist sie nicht mehr üblich.

4. Das Verhältniß des Cylinderdurchmessers zu seiner Länge oder seinem Hube ist nach der besonderen Bestimmung der Maschine sehr verschieden. Bei Schiffsmaschinen z. B., bei denen der Cylinder senkrecht steht und die nach oben nur einen beschränkten Raum haben, ist der Hub nur wenig größer als der Durchmesser des Cylinders, während er bei stationären Maschinen oft noch einmal so groß ist.

5. Die Größe der Luftpumpe, des Condensators und der übrigen Maschinentheile steht zu der des Cylinders in einem gewissem Verhältnisse, von welchem die Maschinenbauer nur wenig abweichen. So hat die Luftpumpe in der Regel den halben Hub und die halbe Kolbenfläche des Cylinderkolbens, und sie faßt daher ein Viertel von dem Inhalte des Cylinders; einige Ingenieure behaupten indeß, daß eine größere Luftpumpe die Leistung der Maschine erhöhe.

Kapitel 21.

Wie der innere Zustand des Kessels und der Maschine äußerlich erkennbar gemacht wird.

1. Damit der Maschinist den Kessel und die Maschine in wirksamem Gange erhalten könne, muß er beständig von ihrem inneren Zustande unterrichtet sein. Hierzu dienen verschiedene Vorrichtungen.

2. Vor allen Dingen muß der Maschinist zu jeder Zeit wissen, ob die richtige Wassermenge im Kessel ist. Sänke der Wasserstand bis unter die Züge, so würde der Kessel an den unbedeckten Stellen überhitzt, ja sogar rothglühend werden können und wegen der daraus folgenden geringeren Festigkeit dieser Stellen Gefahr laufen zu bersten. Steigt wiederum das Wasser im Kessel zu hoch, so wird der Dampfraum zu klein, und es werden bei jedem Kol-

benhube von dem Dampfe Wassertheilchen durch die Dampf-
röhre mit in den Cylinder gerissen, wodurch Wärme verloren
geht und andere Nachtheile entstehen. Die älteste und einfachste
Vorrichtung, um den Wasserstand zu erkennen, sind die Pro-
birhähne. (Siehe Kapitel 27.) Es sind dies zwei am obern
Ende mit Hähnen versehene Röhren, welche in den Kessel
gehen und in dessen Wand oder Decke eingeschraubt und ver-
tittet sind; das untere Ende der einen befindet sich ein wenig
über, das der anderen ein wenig unter der Oberfläche des
Wassers, sofern dies seinen richtigen Stand hat, und es muß
daher, wenn man die Hähne öffnet, aus ersterer Dampf, aus
letzterer Wasser entweichen. Wenn hingegen aus ersterer Was-
ser kommt, ist der Kessel zu voll, und wenn letztere Dampf
ausströmen läßt, so ist zu wenig Wasser im Kessel. So lange
dies nicht der Fall ist, hat das Wasser (ungefähr) seinen rich-
gen Stand.

3. Bei Kesseln, in denen eine heftige Verdampfung statt-
findet, geben die Probirhähne wegen der Wallungen des Was-
sers zuweilen kein sicheres Zeichen, und man bedient sich daher
einer anderen Vorrichtung, sei es allein oder in Verbindung
mit ihnen.

In einem gläsernen Kessel würde man den Stand des
Wassers immer sehen können; und da man keinen aus Glas
bestehenden Kessel haben kann, so könnte wenigstens eine starke
Glasplatte in eine Seitenwand oder an dem Ende des Kessels
in der Höhe des Wasserspiegels eingelassen werden, an welcher
man diesen dann erkennen könnte; allein auch diese Beobachtung
würde wegen der heftigen Wallung des Wassers unsicher wer-
den. Der Zweck wird aber durch das Wasserstandglas hin-
länglich erreicht (Siehe Kapitel 27 unter dieser Unterschrift).
Es ist dies eine starke gläserne Röhre, welche senkrecht neben
dem Kessel angebracht ist und durch zwei wagerechte metallene
Röhren oben und unten mit dem Innern des Kessels in Ver-
bindung steht. In diese gläserne Röhre tritt nun aus dem
Kessel von unten Wasser von oben Dampf ein, und es muß
daher nach den bekannten Gesetzen der Wasserstand in derselben
gerade so hoch wie im Kessel sein, während die heftigste Wal-
lung des Kesselwassers nur ein geringes Schwanken des Was-
sers in der Röhre bewirkt.

Um das Ausströmen des heißen Wassers und Dampfes
aus dem Kessel zu verhüten, wenn die gläserne Röhre zufällig

zerbrochen werden sollte, werden gewöhnlich die beiden wasserrechten Verbindungsrohren mit Hähnen versehen, vermittelst deren man sie nach Belieben schließen kann. Wenn der Maschinist den Wasserstand im Kessel wissen will, so öffnet er beide Hähne; zu anderer Zeit aber ist es besser, sie geschlossen zu halten. Ein Wasserstandglas hat vor Probirhähnen den Vorzug, daß es die Höhe des Wasserspiegels im Kessel genau anzeigt, so daß man auch den Grad der Abweichung vom richtigen Stande erkennen kann.

4. Eine zweite Vorrichtung zu demselben Zwecke besteht in einem Schwimmer. Es ist dies ein Metall- oder Blechgefäß, an welchem eine dampfdicht durch den Deckel des Kessels gehende Stange befestigt ist. So wie die Oberfläche des Wassers in dem Kessel steigt oder fällt, hebt oder senkt sich zugleich der Schwimmer und schiebt die Stange entweder in die Höhe, oder zieht sie weiter in den Kessel hinein. Man kann nun an dieser einen Zeiger anbringen, der auf einer Theilung den Stand des Wassers anzeigt. Wie vermittelst des Schwimmers selbst die gehörige Speisung von Niederdruckkesseln bewirkt werden kann, ist in dem folgenden Kapitel näher beschrieben.

5. Zuweilen bedient man sich auch einer anderen Vorrichtung, welche in einer durch den Deckel des Kessels gehenden Röhre besteht, die bis zu dem tiefsten zulässigen Stande in das Kesselwasser taucht und oben mit einer Dampfpfeife versehen ist. So lange nun das Wasser über dem unteren Ende der Röhre steht, wird kein Dampf entweichen können, sondern er wird nur durch seinen Druck eine Wassersäule von der Höhe in der Röhre gehoben halten, daß ihr Druck mit dem der äußeren Luft zusammengenommen dem des Dampfes gleich ist; sobald aber das Wasser bis an das untere Ende der Röhre sinkt, so fährt der Dampf hindurch und giebt, indem er durch die Dampfpfeife bläst, ein hörbares Zeichen von dem im Kessel herrschenden Wassermangel. Das Pfeifen dauert so lange fort, bis dem Wassermangel abgeholfen ist, und die Nachlässigkeit des Maschinisten wird nicht leicht so groß sein, daß er das Instrument längere Zeit Zeugniß davon geben lassen sollte.

Bei Hochdruckkesseln würde die Röhre der Dampfpfeife sehr lang sein müssen, wenn nicht das Wasser durch den Druck des Dampfes oben hinausgetrieben werden sollte, und man

kann daher diese Vorrichtung nur bei Niederdruckkesseln anwenden.

6. Damit der Dampfdruck oder die Dampfspannung im Kessel nicht über eine gewisse Grenze hinaus zunehmen könne, muß an demselben ein Sicherheitsventil angebracht sein.

Es ist dies ein gewöhnliches konisches oder Kegelveil, das oben auf dem Kessel angebracht ist, sich nach außen öffnet und dampfdicht schließen muß. Dieses Ventil wird nun mit so viel Gewicht belastet, daß es geschlossen bleibt, so lange der Dampf keine zu hohe Spannung erreicht, sich aber sofort öffnet, wenn dies geschieht. Wenn z. B., wie dies in der Regel bei Niederdruckmaschinen der Fall ist, der Ueberdruck des Dampfes nicht über 6 Pfund auf den Quadratzoll steigen soll, und die Fläche des Ventils etwa 3 Quadratzoll beträgt, so muß es mit 3 mal 6 = 18 Pfund belastet werden. Sobald dann der Dampfdruck etwa bis $6\frac{1}{3}$ Pfund über den der äußeren Luft auf den Quadratzoll stiege, würde er von innen mit 3 mal $6\frac{1}{3}$ = 19 Pfund auf das Ventil wirken und also das Ventil mit seiner Belastung von nur 18 Pfund heben, und es würde nun so lange Dampf ausströmen, bis sein Ueberdruck wieder nur 6 Pfund oder etwas weniger auf den Quadratzoll betrüge, wo dann das Ventil sich wieder schließen würde. Statt das Gewicht unmittelbar auf das Ventil drücken zu lassen, wendet man in der Regel einen Hebel an, vermittelst dessen man mit einem kleineren Gewichte den verlangten Druck hervorbringen kann.

7. Das Sicherheitsventil zeigt nur an, ob der Dampfdruck eine gewisse Grenze übersteigt oder nicht, giebt aber sonst kein bestimmtes Maß des vorhandenen Drucks; dies thut das Quecksilbervisir (s. Kapitel 27 unter der Ueberschrift „Quecksilbervisir für Niederdruckkessel.“). Das Quecksilbervisir besteht aus einer heberförmigen Röhre mit gleichen Schenkeln, die halb mit Quecksilber gefüllt sind, und von denen einer mit dem Dampfraum des Kessels in Verbindung steht, der andere aber nach außen hin gegen die Luft offen ist. Gewöhnlich ist die Verbindungsrohre mit dem Kessel mit einem Hahn versehen, um sie nach Belieben öffnen und abschließen zu können. Wenn dieser Hahn offen ist und der Dampfdruck im Kessel gerade 15 Pfund auf den Quadratzoll beträgt, so steht das Quecksilber in beiden Schenkeln gleich hoch, denn auch der Luftdruck von außen ist nahe 15 Pfund auf den Quadratzoll; ist aber

der Dampfdruck im Kessel geringer oder größer als der Atmosphärendruck, so wird dieser Unterschied durch den Unterschied des Quecksilberstandes in den beiden Schenkeln genau angezeigt. Hätte z. B. der Dampf im Kessel $7\frac{1}{2}$ Pfund Ueberdruck, so wäre dies die Hälfte des atmosphärischen Drucks, der 15 Pfund beträgt. Durch den Druck einer Atmosphäre wird aber eine Quecksilberssäule 28 Zoll hoch gehoben, durch den halben Druck also um 14 Zoll, und das Quecksilber wird daher im äußeren Schenkel 14 Zoll höher stehen, als in dem anderen mit dem Dampfraume in Verbindung stehenden; oder, da das Quecksilber in diesem so viel sinkt, als es in jenem steigt, wird es in dem äußeren Schenkel 7 Zoll über, in dem anderen 7 Zoll unter dem anfänglichen Stande sich befinden. Umgekehrt also kann man auch aus diesem Stande des Quecksilbers auf den Dampfdruck im Kessel schließen und man sieht leicht, daß das Quecksilber für jedes Pfund Ueberdruck um beinahe einen Zoll, oder genauer um $\frac{14}{15}$ Zoll im äußeren Schenkel steigt.

Wenn die Röhre von Glas wäre, so könnte man den Quecksilberstand unmittelbar sehen; da aber eine solche leicht zerbrechlich ist, so macht man sie in der Regel aus Eisen und läßt auf dem Quecksilber im äußeren Schenkel einen Schwimmer ruhen, der vermittelst eines daran befestigten und oben aus der Röhre hervorragenden Stabes den Stand des Quecksilbers an einer Theilung oder Scala anzeigt.

8. Ein solches Quecksilbervisir wird auch zuweilen mit der Dampfrohre möglichst nahe am Cylinder verbunden, um daraus den Druck des Dampfes am Cylinder erkennen zu können, welcher dem im Kessel herrschenden durchaus nicht gleich zu sein braucht. Der Dampf findet nämlich auf seinem Wege durch die Dampfrohre mannigfachen Widerstand und verliert dadurch von seiner Spannung mehr oder weniger, und wenn die Drosselklappe (siehe das folgende Kapitel) beinahe geschlossen ist, kann der Druck im Kessel viel höher als im Cylinder sein.

Es ist daher trüglisch, die Kraft der Maschine zu berechnen, indem man den Druck des Dampfes im Kessel mit dem Flächeninhalte und der Geschwindigkeit des Kolbens multiplicirt, wie dies häufig geschieht. Man mag sich vielmehr zu dem Zwecke des schon beschriebenen Indicators bedienen, durch welchen sich der durchschnittliche Dampfdruck im Cylinder bestimmen

läßt; oder, wenn man die Wassermenge kennt, welche als Dampf in den Cylinder gelangt, kann man den mechanischen Effect oder die Arbeit des Kolbens berechnen, ohne den Dampfdruck und selbst die Kolbenfläche zu wissen; jedoch muß auch in diesem Falle der Gegendruck des nicht vollständig condensirten Dampfes in Abrechnung gebracht werden.

9. Für Hochdruckkessel, in welchen der Dampf 40 bis 50 Pfund oder selbst noch mehr Ueberdruck auf den Quadratzoll ausübt, erhält das Quecksilbervisir eine beträchtliche Höhe; dessenungeachtet kann man es bei stehenden Maschinen immer anbringen und sollte dies auch thun, da kein anderes Instrument den Dampfdruck so sicher und genau anzeigt; bei Locomotivkesseln hingegen, bei welchen eine so lange Quecksilbersäule nicht gut zulässig ist, bedient man sich zur Messung desselben einer Art von Feder- oder Ziehwaage, die mit dem Sicherheitsventile verbunden ist (s. Kapitel 27 unter „Federventil“).

10. In der Regel werden die Dampfessel und zwar insbesondere die Hochdruckkessel mit zwei Sicherheitsventilen versehen, von denen eins dem Maschinisten unzugänglich ist. Hierdurch wird der Gefahr vorgebeugt, welche sowohl entstehen würde, wenn etwa, wie das zuweilen geschieht, das Sicherheitsventil eingeroset wäre oder sich sonst festgeklemmt hätte, als auch wenn der Maschinist es übermäßig belastete.

11. Wenn die Heizung des Kessels eingestellt wird, so condensirt sich der in ihm enthaltene Dampf in kurzer Zeit, und es würde also ein Vacuum darin entstehen. Damit nun nicht der Druck der äußeren Luft den Kessel zusammendrücke, wird zuweilen ein nach innen aufgehendes Sicherheitsventil, das sogenannte Luftventil, daran angebracht, welches durch den Druck der Luft geöffnet wird, sobald der Dampfdruck im Kessel geringer als dieser wird, sonst aber durch den Ueberdruck des Dampfes geschlossen gehalten wird.

12. Um die Maschine in gutem Gange zu erhalten, muß man zu jeder Zeit wissen, in welchem Grade das Vacuum im Condensator hergestellt wird. Dies zeigt eine Barometerprobe an, welche mit dem Condensator verbunden wird und an keiner kondensirenden Dampfmaschine fehlen darf (s. Kap. 27 unter 7“ Barometerprobe“).

In einer Barometerrohre wird nämlich, wie bekannt, das Quecksilber durch den Druck der äußeren Luft ungefähr 28 Zoll hoch gehoben, wenn der Raum über dem Quecksilber vollkommen luftleer ist; enthielte dieser Luft von der halben oder von $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{7}$ der Dichtigkeit der äußeren Luft, so würde das Queck-

silber auch nur 14 oder beziehlich 21 oder 24 Zoll hoch stehen, indem dann die Hälfte oder $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{7}$ des Luftdrucks durch den Gegendruck von innen aufgehoben würde. Der Stand des Quecksilbers ist daher ein genaues Maaß des Grades der Verdünnung oder des Vacuums, welches über demselben stattfindet, und wenn also eine Barometeröhre mit ihrem oberen Ende in den Condensator ausläuft, und das darin enthaltene Quecksilber etwa nur 27 Zoll hoch steht, so wissen wir, daß die uncondensirten Dämpfe und die Luft im Condensator einen Gegendruck von $\frac{1}{28}$ des Drucks der äußeren Luft ausüben, was auf den Quadrat Zoll $\frac{15}{28}$ oder ungefähr $\frac{1}{2}$ Pfund ausmachen würde.

13. Wie weit die Condensirung des Dampfes mit Vortheil getrieben werden kann, hängt von verschiedenen Umständen ab; dahin gehören die ursprüngliche Temperatur des Kühlwassers, die Höhe, bis zu welcher es gehoben werden muß, und die Spannung, mit welcher der Dampf im Cylinder arbeitet. Bei sehr hoch gespannten Dämpfen würde die Kaltwasserpumpe mehr bewegende Kraft verzehren können, als durch die Condensation gewonnen würde, bei Dämpfen von niedrigem und mittlerem Druck hingegen kann es vortheilhaft sein, ein Vacuum von nur 2 oder gar 1 Zoll zu erzeugen, d. h. den Gegendruck im Condensator auf nur $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{28}$ des Luftdrucks herabzubringen, obgleich man in diesem Falle natürlich eine große Menge Kühlwasser gebraucht, dessen Herbeischaffung durch die Kaltwasserpumpe einen verhältnißmäßigen Theil der bewegenden Kraft der Maschine in Anspruch nimmt.

14. Wenn der Condensator nicht nach Wunsche wirkt, so kann das verschiedene Ursachen haben. Entweder wird der Dampf nicht genügend condensirt, was sich gleichzeitig dadurch verräth, daß der Condensator heißer als gewöhnlich ist, und es muß dann mehr Wasser eingespritzt werden, wenn nicht etwa eine Undichtheit des Kolbens im Cylinder daran Schuld ist, oder es kommt zu viel Wasser in den Condensator, wodurch zwar eine sehr vollständige Kühlung und Condensirung bewirkt, aber zugleich auch mehr Luft aus dem Wasser entwickelt wird, als die Luftpumpe bewältigen kann. Es ist daher sehr wichtig, daß der Einspritzhahn richtig gestellt wird, und er ist zu diesem Ende mit einem Griff und einer Theilung versehen, nach welcher man ihn anders stellen oder dieselbe Oeffnung wiederherstellen kann, wenn eine Verrückung stattgefunden haben sollte.

Kapitel 22.

Wie die Dampferzeugung und der Gang der Maschine regulirt wird.

1. Wenn die Arbeit, welche die Dampfmaschine verrichtet, immer gleich viel Kraft erforderte, so würde auch der Dampf gleichmäßig im Kessel erzeugt und gleichmäßig dem Cylinder zugeführt werden müssen, und da die Stärke der Verdampfung im Kessel von der Lebhaftigkeit der Verbrennung unter demselben, diese aber wieder von dem Luftzufluß oder dem Zuge abhängt, so würde eine vollkommen gleichmäßig arbeitende Maschine einen unveränderlichen Zug im Schornsteine, eine unveränderliche Dampferzeugung im Kessel und eine unveränderliche Zuleitung des Dampfes aus dem letzteren in den Cylinder erfordern.

2. Nun ist aber die zu verrichtende Arbeit in der Regel der Art, daß sie bald mehr bald weniger bewegende Kraft in Anspruch nimmt, und es muß daher zunächst der Dampfzufluß in den Cylinder nach Bedürfniß vermehrt oder vermindert werden können. Dies geschieht mittelst der Drosselklappe, welche in der Dampfrohre angebracht ist (s. Figur 14 in Nr. 11 dieses Kapitels). Die Drosselklappe ist einer gewöhnlichen Ofenklappe in Form und Wirkung ähnlich und läßt je nach ihrer Stellung, entweder den Dampf aus dem Kessel frei in den Cylinder strömen oder sperrt ihn mehr oder weniger ab.

3. Wenn dies Letztere geschieht, so muß sich offenbar nach und nach der Dampf im Kessel ansammeln und verdichten, d. h. eine höhere Spannung annehmen, da ja die Dampferzeugung nur von der Wärmemenge abhängt, welche dem Kessel von der Feuerung mitgetheilt wird. Die Verengung oder theilweise Absperrung der Dampfrohre wird daher bald nichts mehr nützen, indem wieder ebenso viel Dampf, nur dichter und in einen kleineren Raum zusammengedrückt durchgeht. Wird dann noch weiter abgesperrt, so nimmt auch die Dampfspannung im Kessel aufs Neue zu, so daß sich endlich das Sicherheitsventil öffnet und der überflüssige Dampf herausbläst. Dieser Vorgang würde sich von Zeit zu Zeit wiederholen müssen und so einen beträchtlichen Verlust an Dampf oder, was dasselbe ist, an Brennstoff verursachen können, wenn nicht die Verdampfung im Kessel bis auf den Betrag der erforderlichen

Dampfmenge ermäßigt würde. Die Verdampfung hängt aber, wie schon oben bemerkt, von der mehr oder minder lebhaften Verbrennung im Feuerraume, diese wieder von dem stärkeren oder schwächeren Luftzuge ab, und wenn man daher diesen durch eine Klappe oder einen Schieber mehr oder weniger abschneidet, so wird bald eine entsprechende Verminderung der Dampferzeugung im Kessel eintreten. Der Schieber oder das Register wird in der Regel am Ende der Züge nahe am Rauchfange, besser aber noch, wo die Luft unter den Rost tritt, angebracht und gleicht einem Schütz oder Fallladen. Wenn er niedergelassen wird, hört der Zug gänzlich auf und das Feuer erlischt, wird er ganz aufgezogen, so erreicht der Zug seine größte Stärke und zwischen diesen beiden Stellungen kann man den Luftkanal durch ihn in jedem beliebigen Verhältnisse verengen oder erweitern und so den Luftzug nach Bedürfnis steigern oder schwächen.

4. Man kann sich nun leicht vorstellen, wie ein Wärter diese beiden Vorrichtungen dem jedesmaligen Bedürfnisse der Maschine gemäß zu stellen hat. Wenn der Widerstand, welchen die Maschine bei Verrichtung ihrer Arbeit findet, sich plötzlich mindert, so wird die Drosselklappe theilweis geschlossen, wodurch sofort der Dampfdruck im Cylinder geringer wird; zu gleicher Zeit aber wird auch durch theilweises Niederlassen des Registers der Zug und somit die Verbrennung in entsprechendem Maße geschwächt, wodurch nach einiger Zeit auch die Dampferzeugung nachläßt. Umgekehrt, wenn die Maschine mehr Widerstand findet, so wird durch weiteres Oeffnen der Drosselklappe sofort ein vermehrter Dampfzufluß in den Cylinder bewirkt, und damit ein solcher nachhaltig stattfinden könne, durch gleichzeitiges Heben des Registers der Zug und damit allmählig die Verdampfung vermehrt.

5. Bei dieser Gelegenheit wird zugleich klar, wie wichtig es ist, daß der Dampfraum im Kessel, sowie die Menge des darin enthaltenen Wassers nicht zu gering sei. Wenn nämlich das Register anders gestellt wird, so ändert sich zwar der Luftzufluß fast augenblicklich, nicht aber die Hitze im Feuerraume und den Zügen, sondern die erhitzte Luft, und die vorher heller glühenden Kohlen geben bei vermindertem Luftzuge nur allmählig ihre Wärme an den Kessel ab oder erlangen bei vermehrtem Luftzuge erst allmählig eine höhere Temperatur. Wäre nun der Dampfraum klein, so würde nicht allein viel Wasser

mit fortgerissen werden, sondern es würde sich auch bei einer vermehrten Absperrung des Abflusses der Dampf schnell bis zur Hebung des Sicherheitsventiles spannen und ausblasen, bei weiterer Oeffnung der Drosselklappe aber schnell abfließen und dann dem Cylinder ausgehen; in einem großen Dampf- raume hingegen hat viel abgesperrter Dampf Platz, ehe die Spannung sich bedeutend erhöht und ebenso kann viel Dampf ohne eine große Verminderung derselben daraus abfließen, so daß er einem Speicher oder Vorrathshause gleicht, welches dazu dient, dem zeitweiligen Mangel mit früherem Ueberflusse abzuhelpfen.

6. Diese Wirkung eines großen Dampfraumes wird durch einen beträchtlichen Vorrath an Kesselwasser kräftig unterstützt. Sobald nämlich die Spannung des Dampfes steigt, erhöht sich auch der Siedepunkt des Kesselwassers und dieses muß daher erst in seiner ganzen Masse um so viel mehr erwärmt werden, bevor sich neuer Dampf bilden kann; je größer diese also ist, desto mehr Wärme muß es vorher auch aufnehmen, und desto geringer wird also auch die Vermehrung der Dampfspannung sein, welche nach theilweiser Sperrung der Drosselklappe und des Zuges in Folge der noch in den Kohlen, Umfassungsmauern, der erhitzten Luft u. s. w. vorhandenen größeren Hitze eintritt. Umgekehrt, wenn die Drosselklappe weiter geöffnet wird und der Dampf schneller abfließt, so bildet sich aus dem heißen Kesselwasser bei sinkendem Dampfdruck sofort so viel neuer Dampf, bis es sich durch diese Dampfentwicklung eben selbst auf den Siedepunkt abgekühlt hat, welcher dem herrschenden niedrigeren Dampfdrucke entspricht, je größer daher seine Masse ist, desto eher ist es vermöge der früher aufgenommenen Wärme im Stande, so lange den gesteigerten Dampfbedarf zu liefern, bis der vermehrte Luftzug, welcher durch das gleichzeitig mit dem Oeffnen der Drosselklappe vorgenommene Aufziehen des Registers hervorgebracht wird, die Verbrennung allmählig wieder lebhafter angefaßt hat, so daß nun der erforderliche Dampf durch die stärkere Heizung des Kessels geliefert wird.

7. Uebrigens ist ein nicht zu geringer Vorrath an Kesselwasser auch noch aus anderen Gründen sehr wichtig. Da nämlich die Speisung wohl nie ganz gleichmäßig erfolgt, so sind die Schwankungen des Wasserstandes im Kessel desto bedeutender, je weniger Wasser er enthält, und desto veränderlicher ist also auch die Größe der von demselben bedeckten

Kesselfläche. Bei vermindertem Dampfdruck, wo sich, wie oben bemerkt, aus dem Kesselwasser schnell Dampf entwickelt, und bei gleichzeitig niedrigem Wasserstande könnten daher Stellen der Kesselwände bloß werden, welche der unmittelbaren Wirkung des Feuers und somit der Ueberhitzung ausgesetzt sind. Ein noch größerer Uebelstand aber würden vielleicht bei zu geringem Vorrathe die großen Schwankungen in der Temperatur des Kesselwassers sein, welche bei jeder Ungleichmäßigkeit der Speisung eintreten müßten und eine außerordentlich unregelmäßige Dampfentwicklung, ja unter Umständen sogar die Condensirung des schon gebildeten Dampfes zur Folge haben würden. Man pflegt daher Niederdruckkessel so einzurichten, daß sie so viel Wasser enthalten, wie sie erst in mehreren (4 bis 6) Stunden verdampfen. Lokomotiven können allerdings einen solchen Vorrath nicht fassen.

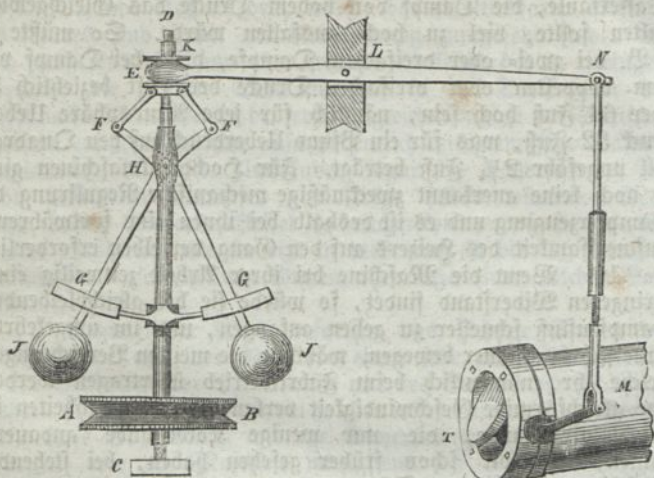
8. Begreiflicher Weise erfordert das richtige Stellen der Drosselklappe und des Registers einen sehr aufmerksamen und in der Schätzung der Bedürfnisse und des Ganges der Maschine geübten Wärter, und selbst ein solcher würde niemals im Stande sein, diese Vorrichtung mit der Sicherheit und Genauigkeit zu besorgen, wie die Maschine wenigstens bei Niederdruckkesseln, vermöge sehr einfacher und sinnreicher Vorrichtungen es selbst thun kann.

6. Denken wir uns eine Röhre in den Deckel des Kessels eingelassen, deren unteres Ende bis unter den Wasserspiegel reicht (s. Kap. 27 unter „Dampfkessel nebst Zubehör“), so wird der Dampf eine Wassersäule in derselben aufsteigen machen, deren Höhe sich mit dem Druck desselben ändert. In der Röhre befindet sich ein Schwimmer, der von der Wassersäule getragen wird und mit ihr steigt und fällt. An dem Schwimmer ist eine Kette befestigt, die über eine oder mehrere Rollen läuft und an ihrem anderen Ende den Schieber oder das Register trägt. Wenn nun die Dampfspannung im Kessel nachläßt, so sinkt die Wassersäule in der Röhre und mit ihr der Schwimmer, welcher dann durch sein Gewicht das Register in die Höhe zieht, so daß der Luftzug und somit die Verbrennung gesteigert wird; nimmt hingegen die Spannung des Dampfes im Kessel zu, so steigt auch die Wassersäule mit dem Schwimmer und das Register sinkt durch sein Gewicht und sperrt den Luftzug mehr und mehr ab, wodurch das Feuer in entsprechendem Grade gedämpft wird.

Man nennt diese Einrichtung das selbstwirkende oder selbstthätige Register. Es ist dieses Register, wie man leicht sieht, nur bei Niederdruckmaschinen anwendbar, weil eine Wassersäule, die Dampf von hohem Drucke das Gleichgewicht halten sollte, viel zu hoch ausfallen würde. So müßte sie z. B. bei zwei- oder dreifachem Dampfe, d. h. bei Dampf von dem doppelten oder dreifachen Drucke der Luft beziehlich 32 oder 64 Fuß hoch sein, nämlich für jede Atmosphäre Ueberdruck 32 Fuß, was für ein Pfund Ueberdruck auf den Quadratzoll ungefähr $2\frac{1}{4}$ Fuß beträgt. Für Hochdruckmaschinen giebt es noch keine anerkannt zweckmäßige mechanische Regulirung der Dampferzeugung und es ist deshalb bei ihnen eine fortwährende Aufmerksamkeit des Heizers auf den Gang derselben erforderlich.

10. Wenn die Maschine bei ihrer Arbeit zeitweilig einen geringeren Widerstand findet, so würde sie bei gleichbleibendem Dampfzufluß schneller zu gehen anfangen, und im umgekehrten Falle sich langsamer bewegen, während die meisten Verrichtungen, welche ihr, namentlich beim Fabrikbetrieb übertragen werden, eine gleichförmige Geschwindigkeit verlangen. Ungleichheiten im Arbeitswiderstande, die nur wenige Kolbenhube andauern, können, wie wir schon früher gesehen haben, bei stehenden Maschinen durch das Schwungrad ausgeglichen werden; vermehrt oder vermindert sich aber die zu leistende Arbeit auf längere Zeit, so ist es nöthig, das Feuer demgemäß zu verstärken oder zu dämpfen. Da nun hierdurch die Dampferzeugung nicht so schnell geändert wird, daß das Schwungrad so lange eine hinlängliche Gleichförmigkeit der Bewegung erhalten könnte, so ist noch eine Vorrichtung erforderlich, wodurch einstweilen und rasch genug der Dampfzufluß dem Bedürfnisse gemäß regulirt werden kann; eine solche ist, wie wir gesehen haben, eben die Drosselklappe und diese kann vermittelst des von Watt angegebenen Centrifugalregulators oder Governors durch die Maschine selbst gestellt werden. (S. Fig. 14.)

Fig. 14.



11. Zwei schwere Kugeln J. J. sind vermittelst zweier gleich langen Stangen HG in eine senkrechte Spindel CD eingelenkt. So lange diese in Ruhe ist, hängen die Kugeln an ihr fast senkrecht herab, wird sie aber durch einen über die Rolle AB und die Welle des Schwungrades gehenden Laufriemen (oder auch durch ein ebenfalls von der Maschine getriebenes Räderwerk) in Drehung versetzt, so entfernen sie sich desto mehr von ihr, je schneller sie umläuft, und zwar wird durch eine geringe Vermehrung der Geschwindigkeit ein bedeutend größerer Ausschlag der Kugeln bewirkt. Sobald nun die Kugeln steigen oder sich senken, ziehen sie durch zwei bei F in die Stangen HG und in ähnlicher Art in die Hülse E eingelenkte Stangen diese letztere auf der Spindel herab oder schieben sie hinauf, und bewegen dadurch den die Hülse mit dem einem gabel- oder ringsförmigen Ende K umschließenden Hebel KLN, dessen anderes Ende N mit Hülse einer oder mehrerer Zwischenstangen oder Hebel die Drosselklappe T mehr schließt oder weiter öffnet.

12. Allerdings genügt diese sinnreiche Vorrichtung ihrem Zwecke nur innerhalb enger Grenzen, d. h. sie ist nicht im Stande, die Maschine in gleichförmigem Gange zu erhalten, wenn die Vermehrung oder Verminderung des Arbeitswiderstandes sehr beträchtlich ist. Dessenungeachtet reicht sie für die einstweilige Ausgleichung solcher Unterschiede, wie sie in der Regel bei den von Dampfmaschinen zu verrichtenden Arbeiten vorkommen, vollkommen aus, und überdies kann man sie durch Verkürzung oder Verlängerung der Stange MN dem durchschnittlichen Arbeitswiderstande entsprechend stellen oder adjustiren, wenn sich dieser auf längere Zeit merklich ändern sollte.

13. Wir haben schon oben (unter 7) gesehen, wie nothwendig eine regelmäßige Speisung des Kessels ist. Da nun das Wasser im Kessel in dem Verhältnisse der von der Maschine geleisteten Arbeit und der lebhafteren oder langsameren Verbrennung unter dem Kessel steht, so liegt es nahe, nach einer selbstthätigen oder selbstwirkenden Speisevorrichtung nach Art der bereits beschriebenen Regulatoren für die Heizung des Kessels und den Dampfzufluß in den Cylinder zu suchen. Es ist schon auseinandergesetzt worden, wie ein im Kessel befindlicher Schwimmer eine mit einem Zeiger versehene Stange hebt oder hinabzieht und so immer den Wasserstand im Kessel anzeigt.

Wenn man nun diese Stange so mit dem Wasserbehälter in Verbindung setzt, daß sie beim Sinken ein Ventil öffnet, durch welches dann Wasser in den Kessel strömt, beim Steigen aber dieses Ventil schließt, so wird man offenbar den beabsichtigten Zweck erreichen. Eine solche Einrichtung hat man nun mit vollkommenem Erfolge angewandt, und sie bildet das, was man selbstthätige Speisung nennt. An der Schwimmerstange wird eine Schnur oder Kette befestigt und mit dem Ende eines Hebels verbunden, der ein auf dem Boden des Wasserbehälters angebrachtes Ventil öffnet oder schließt. Von diesem Ventile aus geht eine Röhre in den Kessel bis unter den Wasserspiegel, und durch diese läuft also so lange Wasser zu, bis das Ventil beim Steigen des Schwimmers sich wieder schließt. Es versteht sich, daß der Wasserbehälter eine der Dampfspannung im Kessel angemessene Höhe über demselben haben muß, damit nicht das Wasser vom Dampfe durch die Röhre aus dem Kessel hinausgetrieben werden könne.

14. Wir müssen das eben Gesagte noch etwas genauer ausdrücken. Streng genommen wird sich nämlich das Ventil, — wenn sonst die ganze Einrichtung einen leichten und sicheren Gang hat — nicht bald öffnen bald schließen, sondern der Schwimmer wird eine Mittelstellung einnehmen, vermöge deren er das Ventil nur gerade soweit offen hält, daß genau so viel Wasser zufließt, als verdunstet wird und daß also bei gleichmäßiger Verdunstung das Wasser fortwährend denselben Stand behält.

15. Leider ist diese Einrichtung nur bei Niederdruckkesseln anwendbar, weil bei hochgepanntem Dampfe der Wasserbehälter zu hoch, nämlich je 32 Fuß für jede Atmosphäre oder für je 15 Pfund Ueberdruck auf den Quadratzoll, angebracht werden müßte. Bei Hochdruckkesseln bewirkt man daher die Speisung durch Druckpumpen, die sogenannten Speisepumpen, welche durch die Maschinen selbst in Gang gesetzt werden. Ihre Größe und die Zahl ihrer Kolbenspiele richtet sich nach der durchschnittlichen Verdunstung des Kessels, so daß sie soviel Wasser in den Kessel treiben, als im Dampfzustande in den Cylinder geht. Da sich aber diese Dampfmenge hauptsächlich wegen der Veränderlichkeit des Arbeitswiderstandes nicht genau bestimmen läßt, so muß es der Maschinist mittelst irgend einer Vorrichtung in der Gewalt haben, die Speisepumpen nach Erforderniß in oder außer Thätigkeit zu setzen. Es bietet sich hierzu ein sehr leichtes und naheliegendes Mittel dar, das ich mich jedoch nicht erinnere, praktisch angewandt gesehen zu haben. Man könnte nämlich die Schwimmerstange so mit dem Pumpgestänge in Verbindung setzen, daß dieses bei steigendem Wasserstande im Kessel ausgelöst, bei sinkendem aber wieder eingehängt würde.

16. Gewöhnlich wird das Condensationswasser, welches durch die Luftpumpe aus dem Condensator entfernt wird, als Speisewasser benutzt. Dieses ist nämlich ziemlich warm, und man erspart also damit so viel Brennmaterial als nothwendig gewesen sein würde, um kaltes Speisewasser bis zu dem Grade des Condensationswassers zu erwärmen. Bei manchen Maschinen hat man auch sogenannte Vorwärmer, in denen das Speisewasser, bevor es in den Kessel kommt, erst eine gewisse Temperatur erlangt. Die Speisung des Kessels mit warmem Wasser hat namentlich auch noch den Vortheil, daß dadurch einer plötz-

lichen Abkühlung des Kesselwassers vorgebeugt wird, wodurch möglicher Weise ein Theil des schon gebildeten Dampfes wieder kondensirt und somit die Dampfspannung schnell sehr vermindert werden könnte.

Kapitel 23.

Wie die Dampfmaschine für Pumpwerke eingerichtet wird.

1. Wir haben bisher angenommen, daß der Kolben im Cylinder durch Dampf sowohl vorwärts als zurückgetrieben werde, indem wechselweise auf der Seite, nach der er sich bewegt, ein Vacuum erzeugt wurde. Wenn jedoch eine gewöhnliche Pumpe von der Dampfmaschine in Bewegung gesetzt werden soll, so bedarf es bloß einer Kraft zur Hebung des Pumpgestänges, da ihr Niedergang durch ihr eigenes Gewicht bewirkt wird. Ist daher die Kolbenstange mit einem Balancier verbunden, so braucht der Kolben bloß bei seinem Niedergange durch Dampf getrieben zu werden, so daß das Pumpgestänge am anderen Ende des Balanciers gehoben wird. Der Kolben wird dann wieder durch den Zug des sinkenden Gestänges allein gehoben. Bei Maschinen für Pumpwerke wird daher nur über den Kolben Dampf gelassen und zugleich unter demselben ein Vacuum erzeugt. Solche Maschinen nennt man „einfach wirkende“ im Gegensatz zu den „doppelt wirkenden“, bei welchen der Dampf wechselweise von beiden Seiten des Kolbens wirkt.

2. Die einfach wirkende Maschine ist also dem Principe nach von der im früheren beschriebenen durchaus nicht verschieden. Am oberen Ende des Cylinders befindet sich ein Ventil, durch welches beim Anfang seines Niedergangs Dampf über den Kolben gelassen wird; durch ein anderes Ventil steht der untere Theil des Cylinders mit dem Condensator in Verbindung und der Kolben wird daher gerade wie bei einer doppelt wirkenden Maschine im Cylinder hinabgetrieben. Wenn der Kolben aber auf dem Boden des Cylinders angekommen ist, so wird durch ein Ventil eine Communication zwischen dem oberen und unteren Raume des Cylinders hergestellt und der vorher von oben pressende Dampf drückt also nun von beiden

Seiten gleichmäßig auf den Kolben. Er steigt daher, ohne einen anderen Widerstand als den der Reibung, durch das Gewicht des Gestänges in die Höhe, der Dampf wird im Condensator niedergeschlagen und das Kolbenspiel beginnt von Neuem.

3. Diese einfach wirkenden Maschinen sind allein für Pumpwerke und solche Arbeiten geeignet, bei denen nur eine mit Unterbrechung nach einer Richtung wirkende Kraft erforderlich ist. Die doppelt wirkende Maschine hingegen kann ebenfalls zum Pumpen angewandt werden, wenn man sie mit einer doppelt wirkenden Pumpe in Verbindung setzt, von denen mancherlei Arten bekannt sind.

Die merkwürdigsten Beispiele der Anwendung der Dampfmaschine zum Pumpen finden sich in den Bergwerksbezirken von Cornwall, wo Maschinen von ungeheurer Größe zur Entwässerung der Gruben angewandt werden. Es sind dies die größten Maschinen der Welt. Man findet Cylinder von 8 bis 9 Fuß Durchmesser. Das Prinzip der Expansion kann hier ohne Beschränkung angewandt werden, da Regelmäßigkeit der Bewegung nicht erforderlich ist. Man wendet Dampf von 50 Pfund Ueberdruck auf den Quadratzoll an und sperrt ihn bei $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{12}$ des Hubes ab, so daß der übrige Theil des Hubes durch die bloße Expansion des Dampfes bewirkt wird.

Kapitel 24.

Von der atmosphärischen Dampfmaschine.

1. Die sogenannte atmosphärische Maschine, welche durch die verbesserte Dampfmaschine des berühmten Watt verdrängt wurde, bestand aus einem Cylinder mit Kolben, Balancier und Pumpengestänge von ähnlicher Einrichtung wie bei der eben beschriebenen einfach wirkenden Dampfmaschine. Der Unterschied lag lediglich darin, daß, während durch Condensirung des Dampfes unter dem Kolben im Cylinder ein Vacuum erzeugt wurde, dieser nicht durch Dampfdruck, sondern durch den Druck der Luft, welche in den oben offenen Cylinder eintreten konnte, niedergetrieben wurde. Der Dampf wurde also

nicht unmittelbar als bewegende Kraft angewandt, sondern mittelbar, indem durch ihn unter dem Kolben ein Vacuum erzeugt wurde und so der Luftdruck zur Wirkung kommen konnte.

2. Diese Einrichtung hat im Vergleich zu der einfach wirkenden Maschine viele Mängel, denen eben durch Watt's Erfindung so wirksam abgeholfen wurde. Wenn der Kolben niederging, so kühlte die Luft das obere Cylinderende ab, und sobald das Gestänge den Cylinder wieder in die Höhe zog, wurde daher ein größerer oder geringerer Theil des eintretenden Dampfes an den kalten Cylinderwänden niedergeschlagen, so daß also ein entsprechender Verlust an Brennmaterial entstand. Ein zweiter Wärmeverlust entstand durch die Einspritzung des kalten Wassers in den Cylinder selbst, wenn der den Cylinder füllende Dampf condensirt werden sollte, um ein wiederholtes Kolbenspiel hervorzubringen, wie wir dies schon oben (Kap. 8) gesehen haben; diesen Uebelstand jedoch hat man nicht dem Prinzip der atmosphärischen Maschine zuzuschreiben, wie er denn auch wirklich nach Watt's Erfindung durch Verbindung eines besondern Condensators mit dem Cylinder vermieden wird. Der Abkühlung des Cylinders durch die Luft wird hingegen hierdurch nicht abgeholfen.

3. Nun wird aber durch Anwendung der atmosphärischen Luft auf diese Weise nichts gewonnen. Derselbe Dampf, vermittelst dessen das Vacuum unter dem Kolben hergestellt wird, kann ja vorher angewandt werden, um den Kolben niederzudrücken, und wir verbrauchen daher nicht mehr Dampf, wenn wir die atmosphärische Luft absperren, als wenn wir uns ihrer als bewegender Kraft bedienen.

4. Indessen spricht doch ein Umstand zu Gunsten der atmosphärischen Maschine, der wichtig genug ist, um diese Maschine in Gegenden beizubehalten, in denen das Brennmaterial sehr billig ist. Sie ist nämlich viel einfacher und billiger zu konstruiren und bedarf nicht so vieler Ausbesserungen als die gewöhnlichen Maschinen. So bedarf sie keiner Stopfbüchse, keiner Geradföhrung und keiner Dampfzu- und Abflußventile am oberen Cylinderende. Dies sind aber doch nur geringe Vorzüge, die täglich mit der Verminderung der Konstruktionskosten für die Dampfmaschinen mehr schwinden.

Kapitel 25.

Von den Maschinen ohne Condensation.

1. Wenn man die Vortheile, welche die Condensation gewährt, genauer abzuschätzen sucht, so findet man, daß dabei mancherlei Umstände in Gegenrechnung zu stellen sind und daß es daher in manchen Fällen vortheilhafter sein kann, die Dampfkraft ohne die Hülfe eines Vacuums auf der anderen Seite arbeiten zu lassen. Der Condensations-Apparat ist kostspielig, schwer und nimmt viel Raum ein und verbraucht überdies einen beträchtlichen Theil der bewegenden Kraft. Der Condensator erfordert eine Kaltwasserkammer (Cisterne), die fortwährend mit kaltem Wasser gespeist werden muß, damit der Condensator gehörig untergetaucht und kühl gehalten wird. Dazu ist eine Pumpe erforderlich, die sogenannte Kaltwasserpumpe, welche durch die Maschine in Bewegung gesetzt werden muß. Die Luft und das Wasser, welche sich im Condensator ansammeln würden, müssen beständig durch die Luftpumpe fortgeschafft werden, welche ebenfalls einen Theil der Kraft der Maschine erfordert. In vielen Fällen nun ist es unmöglich, der Dampfmaschine eine genügende Menge kalten Wassers zuzuführen, oder der Condensator nebst der Luft und Kaltwasserpumpe würde zu schwer und zu umfangreich werden. Unter solchen Umständen wendet man Maschinen ohne Condensation, oder wie man auch häufig, obwohl nicht ganz richtig sagt, Hochdruckmaschinen an. Bei diesen wird Dampf von mehr Spannung als der einer Atmosphäre auf der einen Seite des Kolbens in den Cylinder gelassen, während das andere Ende des Cylinders in freier Verbindung mit der Luft steht; der Kolben wird also mit einer Kraft, welche dem Ueberschuß des Dampfdrucks über den Druck der Atmosphäre, den Reibungs-Widerstand und andere Widerstände gleich ist, vorwärts und nach vollendetem Hub zurückgetrieben, indem dann durch eine der schon beschriebenen Vorrichtungen das mit Dampf gefüllte Ende des Cylinders mit der Luft, (statt früher mit dem Condensator), das andere mit dem Kessel in Verbindung gesetzt wird.

2. Je größer die Spannung des angewandten Dampfes bei solchen Maschinen ist, ein desto geringerer Theil seiner

bewegenden Kraft geht durch den Gegendruck der Luft verloren, sie ist daher bei allen nicht kondensirenden Maschinen bedeutend höher als die der Luft und als bei Maschinen mit Condensation nothwendig ist. Aus diesem Umstande erklärt sich der Gebrauch des Ausdruckes „Hochdruckmaschine“ zur Bezeichnung nicht kondensirender Maschinen; diese Bezeichnung ist aber nicht richtig, insofern ja oft Dampf von gleich hohem Drucke in Maschinen mit Condensation angewandt wird; ein Beispiel davon sind die Cornwaller Maschinen, die mit einer Dampfspannung von 50 Pfund und mehr auf den Quadratzoll arbeiten, wie wir oben (Kapitel 23. 3) angeführt haben. Die Hochdruckmaschinen bestehen somit aus zwei Klassen, nämlich aus denen mit und aus denen ohne Condensation. Am besten theilt man die Dampfmaschinen in Maschinen mit und Maschinen ohne Condensation ein; letztere sind immer Hochdruckmaschinen, erstere aber theils Hoch-, theils Niederdruckmaschinen.

3. Die Grenze zwischen Hoch- und Niederdruckmaschinen ist sehr unbestimmt; jedenfalls aber nennt man Niederdruckmaschinen diejenigen, bei welchen das Sicherheitsventil mit nicht mehr als 4 bis 6 Pfund auf den Quadratzoll belastet ist, Hochdruckmaschinen aber in der Regel solche, bei denen das Sicherheitsventil mit 20 oder mehr Pfund auf den Quadratzoll belastet ist. In den Vereinigten Staaten wird hochdrückender Dampf weit häufiger als bei uns angewandt und ein Ueberdruck von 20 Pfund auf den Quadratzoll würde dort kaum Hochdruck genannt werden. Es ist dies begreiflich, wenn man weiß, daß dort häufig Dampf von 120 bis 150 Pfund Druck auf den Quadratzoll angewandt wird.

4. Weshalb bei Locomotiven keine Condensation stattfindet, ist leicht einzusehen. Die übliche Dampfspannung beträgt bei ihnen 40—50 Pfund auf den Quadratzoll. Der nach vollendeter Wirkung aus dem Cylinder entweichende Dampf fährt in den Schornstein hinauf und ersetzt so die Wirkung eines Gebläses oder eines hohen Schornsteins, der hier nicht zulässig ist.

Kapitel 26.

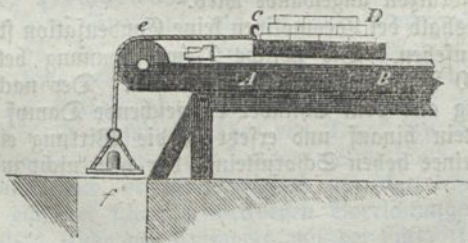
Welche Grenzen der Druck des Dampfes im Cylinder hat und wie davon die Geschwindigkeit des Kolbens abhängt.

1. Man nimmt häufig aber irriger Weise an, daß man den Druck, welchen der Dampf auf den Kolben ausübt, durch Vermehrung oder Verminderung des Dampfdrucks im Kessel beliebig steigern oder vermindern könne. Eine kurze Erinnerung an einige allgemeine Grundsätze der Mechanik wird genügen, um diesen Irrthum zu berichtigen.

Es ist ein feststehender Grundsatz, daß ein Körper, der der Bewegung einen gewissen Widerstand leistet, aber durch eine Kraft getrieben wird, deren Druck jenem Widerstande genau gleich ist, nur entweder in Ruhe oder in dem Zustande einer gleichförmigen Bewegung sein kann. Dieser Grundsatz läßt sich umkehren. Der Zustand der Ruhe sowohl als der der gleichförmigen Bewegung setzen voraus, daß auf den betreffenden Körper Kräfte wirken, die unter sich im Gleichgewichte sind; wenn er also in Bewegung ist, so müssen die ihn antreibenden Kräfte genau so groß wie der Widerstand sein, der ihnen entgegengesetzt wird.

2. Gesezt es befinde sich ein Körper CD (s. Fig. 15)

Fig. 15.



auf einer wagerechten Ebene AB, und es wirke auf ihn in wagerechter Richtung eine Kraft, z. B. ein über eine Rolle geleitetes

tes Gewicht F , so wissen wir aus Erfahrung, daß er der Fortbewegung durch diese Kraft einen größeren oder geringeren Widerstand entgegensetzt, je nachdem die Fläche, auf welcher er ruht, rauher oder glatter ist. Es ist dies der sogenannte Reibungs-Widerstand. Vergrößert man nun die Kraft F allmählig durch Zulegung kleiner Gewichte, so findet man bald eine Grenze, an welcher jede weitere Vergrößerung der Kraft F eine Bewegung des Körpers CD zur Folge hat. Das Gewicht, bei welchem CD eben noch in Ruhe bleibt, bewirkt dann offenbar einen Zug, der genau so groß ist, als der größte Reibungswiderstand, welchen der Körper unter diesen Umständen äußern kann. Wenn man nun dem Körper CD , z. B. durch einen Stoß, eine gewisse Geschwindigkeit ertheilt, so findet man, daß er sich gleichförmig bewegt, d. h., daß er in jeder Sekunde eine gleiche Strecke vorrückt, sobald das Gewicht F dem gefundenen Reibungswiderstande gleich ist. Wird hingegen das Gewicht F größer gemacht als dieser Widerstand, so wird der Körper CD in jeder Sekunde genau um so viel beschleunigt, d. h. seine Geschwindigkeit nimmt in jeder Sekunde genau so viel zu, wie er vermöge eben dieses Gewichts in einer Sekunde erhält, wenn er vorher in Ruhe war. Umgekehrt wird das treibende Gewicht kleiner gemacht als der Reibungswiderstand, so verliert der Körper allmählig seine Geschwindigkeit, und zwar wird er in jeder Sekunde um gleich viel verzögert.

3. Was wir hier an unserem besonderen Beispiele sahen, gilt nun allgemein:

1) Eine beschleunigte Bewegung ist jedesmal Folge davon, daß die bewegende Kraft größer ist, als der Widerstand, den der bewegte Körper leistet, und umgekehrt ist letzteres der Fall, so muß nothwendig eine beschleunigte Bewegung eintreten.

2) Eine verzögerte Bewegung findet Statt, sobald die bewegende Kraft kleiner ist, als sämtliche Widerstände und umgekehrt.

3) Wenn die bewegende Kraft genau gleich dem Widerstande des Körpers ist, so findet eine gleichförmige Bewegung oder Ruhe Statt. Hierin ist natürlich auch der Fall eingeschlossen, daß überhaupt keine Kräfte auf einen Körper wirken, in welchem Falle er in Ruhe bleibt, wenn er in Ruhe ist, und in gleichförmiger Bewegung bleibt, wenn er in Bewegung ist. Man nennt diese allgemeine Eigenschaft der Körper ihre Trägheit oder ihr Beharrungsvermögen.

4. Ist, wie in dem oben besprochenen Falle des Schwungrades, die bewegende Kraft bald größer bald kleiner, als der zu überwindende Widerstand, so entsteht nach dem Vorhergehenden eine abwechselnd beschleunigte und verzögerte Bewegung. Wenn daher die bewegende Kraft regelmäßig um eben so viel größer als der Widerstand wird, wie sie in entsprechenden Zeiten kleiner als dieser ist, so wird der bewegte Körper immer abwechselnd genau um so viel beschleunigt, als zu anderen Zeiten verzögert, und legt daher einen Weg zurück, als hätte er eine mittlere Geschwindigkeit, welche dem Mittelwerthe der bewegenden Kraft entspricht, und dieser Mittelwerth ist dann genau gleich dem Widerstande des bewegten Körpers. Ist er größer, so muß offenbar auch die mittlere Geschwindigkeit des Körpers allmählig größer werden, im umgekehrten Falle aber mehr und mehr abnehmen.

5. Diese Grundlehren der Mechanik sind nicht neu und Jedem wohl bekannt, der sich wissenschaftlich mit ihr beschäftigt hat; nach der unter Praktikern und Ingenieuren üblichen Redeweise jedoch und nach der Art, wie sie häufig Berechnungen und Schlüsse aufstellen, scheint es, daß diese Sätze von ihnen nicht immer gehörig beachtet werden.

Wenden wir sie jetzt auf den Fall der Dampfmaschine an.

Hier ist der Kolben im Cylinder der bewegte Körper, der Kessel ist die Quelle der bewegenden Kraft. Der Einfachheit halber können wir uns vorstellen, der Kolben bewegt sich fortwährend nach einer Richtung, statt daß er wechselweise von einem Cylinder zu dem andern geht.

Nun folgt aus der eben gegebenen Auseinandersetzung, daß, wenn die Bewegung des Kolbens im Cylinder gleichförmig ist, der Dampfdruck, welcher ihn treibt, schlechterdings weder größer noch kleiner sein kann als der Widerstand, welchen der Kolben leistet. Mag das Sicherheitsventil nach Belieben belastet werden, mag man den Zustand des Kessels in jeder erdenklichen Art verändern, so ist doch genau der Dampfdruck im Cylinder dem Widerstande des Kolbens gleich, so lange dieser sich gleichförmig bewegt. Das ist so gewiß, wie irgend ein Satz der Geometrie.

6. Aber dann, möchte Jemand einwenden, wären wir gar nicht im Stande den Dampfdruck im Kessel zu ändern, da der Widerstand des Kolbens mit der Quelle der bewegenden Kraft in gar keinem Zusammenhange steht.

Es ist in einem früheren Kapitel auseinandergesetzt, daß der Dampfdruck im Kessel zwar niemals kleiner, aber wohl um ein Beliebigeres größer als in dem Cylinder sein kann. Die Wirkung der Drosselklappe erklärt dies; jemehr sie den Dampfzufluß abschneidet, indem sie die Dampfrohre versperret, um destomehr übersteigt die Dampfspannung im Kessel die im Cylinder herrschende. Andererseits giebt es auch eine Grenze für den Dampfdruck im Kessel, die er nicht überschreiten kann. Diese wird offenbar durch die Belastung des Sicherheitsventils bestimmt. Ist der Dampfdruck auf das Sicherheitsventil größer als seine Belastung, so wird es geöffnet, und es entweicht so lange Dampf, bis das Gleichgewicht wieder hergestellt ist.

Der Widerstand des Kolbens und die Belastung des Sicherheitsventils bestimmen also die beiden Grenzen, innerhalb deren nothwendig der Dampfdruck im Kessel liegen muß. Er kann pro Quadratzoll nicht geringer sein als der Widerstand, den der Kolben pro Quadratzoll leistet, und nicht größer als die Belastung des Sicherheitsventils pro Quadratzoll.

7. Nun muß bei dem gewöhnlichen Gange der Maschine die Bewegung in der Regel gleichförmig sein. Eine Beschleunigung oder Verzögerung darf nur ausnahmsweise vorkommen. So ist die Bewegung der Maschine eine beschleunigte, wenn sie zuerst angelassen wird, wo alle Theile erst nach und nach durch die bewegende Kraft ihre gewöhnliche und richtige Geschwindigkeit erhalten können. Umgekehrt, wenn die Maschine angehalten wird, so verzögern die Widerstände allmählig ihre Bewegung bis zum vollständigen Stillstande; in der Zwischenzeit hingegen muß der Gang ein gleichförmiger sein.

Freilich werden der Kolben und die anderen Maschinentheile, welche eine Wechselbewegung haben, an jedem Ende ihres Weges, bevor sie ihre Richtung ändern, verzögert und dann wieder zu Anfang des Rückganges beschleunigt, und diese Verzögerung und Beschleunigung würde sehr merklich sein, wenn nicht das Schwungrad wäre. Dieses überwiegt, wie schon früher bemerkt, sowohl durch sein Gewicht, als durch die Geschwindigkeit, mit der sich sein Kranz bewegt, den Einfluß der übrigen Maschinentheile so sehr, daß seine Bewegung durch sie nur um ein sehr geringes beschleunigt oder verzögert wird; aus diesem Grunde konnten wir vorhin von der ungleichförmigen Wechselbewegung des Kolbens absehen und von einer gleichförmigen

migen Bewegung desselben reden, die nur insofern vorhanden ist, als er (bei regelmäßigem Gange der Maschine) in jeder Minute gleich viel Spiele macht.

8. Auch wenn der Dampf vor vollendetem Hube abgeschnitten und also Expansion angewandt wird, ist es wieder das Schwungrad, welches die ungleichmäßige Wirkung der bewegenden Kraft ausgleicht. In diesem Falle ist beim Beginn des Hubs und so lange der Dampf frei zuströmt, sein Druck größer als der Widerstand des Kolbens, und dieser wird also beschleunigt; nach eingetretener Absperrung hingegen verliert der Dampf durch seine Ausdehnung allmählig an Spannkraft, und sein Druck auf den Kolben wird daher dem Widerstande desselben nach und nach gleich und gegen Ende des Hubs sogar kleiner, so daß der Kolben dann eine verzögerte Bewegung annimmt. Diese Beschleunigung und Verzögerung des Kolbens wird nun vermittelt der Kolbenstange des Balanciers und der Triebstange auf das Schwungrad übertragen, dessen Geschwindigkeit aber wegen seiner großen Masse in der kurzen Zeit eines Hubes nur kaum merklich vermehrt und vermindert wird, und welches rückwärts wieder die Kolbengeschwindigkeit bestimmt. Ist daher der mittlere oder durchschnittliche Dampfdruck auf dem Kolben genau gleich dem gesammten Widerstande der Maschinerie, so verliert das Schwungrad gegen Ende eines jeden Hubes gerade so viel an Geschwindigkeit, als es im Anfange gewann, und seine durchschnittliche Geschwindigkeit bleibt sich gleich, wie auch die des Kolbens, während eine allmähliche Zunahme oder Abnahme seiner Geschwindigkeit stattfindet, wenn es im Anfange eines jeden Hubes mehr oder weniger beschleunigt, als am Ende desselben verzögert wird.

9. Wir wissen nun, daß der Kolben bei einem mittleren Dampfdruck, welcher dem durchschnittlichen Widerstande, den er bei seiner Bewegung findet, gleich ist, in jeder Minute gleich viel Spiele macht, aber es bleibt noch die zweite wichtige Frage, wie viel Spiele er in der Minute machen wird.

Offenbar hängt dies davon ab, wie viel Dampf von dem erforderlichen Drucke der Kessel in einer gegebenen Zeit zu liefern vermag.

Angenommen, der Kolben mache in der Minute 30 Doppelhube von 3 Fuß, so legt er in dieser Zeit 30 mal einen Weg von 6 Fuß, d. h. 180 Fuß, zurück, und es muß aus dem Kessel in derselben Zeit so viel Dampf kommen, daß er einen

Cylinder von 180 Fuß Länge und der innern Weite des Cylinders der Maschine füllen könnte. Gesezt ferner, die Kolbenfläche habe 5 Quadratfuß Flächeninhalt, so werden 180 mal 5, d. i. 900 Kubikfuß Dampf pro Minute oder 900 mal 60, d. i. 54,000 Kubikfuß Dampf pro Stunde erforderlich sein. Ist nun der mittlere Widerstand des Kolbens auf den Quadratzoll etwa gleich 15 Pfund (was auf den ganzen Kolben von 5 Quadratfuß oder 5 mal 144 Quadratzoll gleich 720 Quadratzoll 10800 Pfund machen würde), so muß auch der Dampf einen Druck von 15 Pfund auf den Quadratzoll ausüben. Nun sind aber 1700 Kubikfuß Dampf von 15 Pfund Druck gleich einem Kubikfuß Wasser; es müssen also so viel Kubikfuß Wasser in der Stunde verdampft werden, so viel mal 1700 in 54,000 enthalten ist. Die Division ergiebt nahezu die Zahl 32 und der Kessel muß also nach der früher angegebenen Regel ein Kessel für 32 Pferdekraft sein. Verdampft der Kessel in der Stunde bloß 16 Kubikfuß Wasser, so könnte auch der Kolben in der Minute nur die Hälfte der Spiele, also nur 15 Doppelhube machen; denn angenommen auch, die Maschine sei in einem rascheren Gange, so würde der aus dem Kessel nachströmende Dampf sich ausdehnen müssen, um den hinter dem Kolben leer bleibenden Raum auszufüllen, hierdurch aber an Spannung verlieren, so daß er also mit weniger als 15 Pfund auf jeden Quadratzoll des Kolbens drückte. Die Folge hiervon würde aber, wie wir wissen, eine Verzögerung des Ganges der Maschine sein, weil der zu überwindende Widerstand, wie angenommen, 15 Pfund auf jeden Quadratzoll der Kolbenfläche beträgt und diese Verzögerung würde so lange dauern, bis der nachströmende Dampf dem Widerstande das Gleichgewicht hielte, d. h. bis der Kolben keinen größeren Raum hinter sich leer läßt, als der Kessel mit Dampf von der gehörigen Spannung füllen kann. Dies ist aber erst der Fall, wenn der Kolben gerade halb so viel Spiele macht, als er vorher bei doppelter Verdampfungskraft des Kessels machte. Genau dasselbe finden wir, wenn wir annehmen wollten, der Kolben könne langsamer gehen, als vom Kessel der nöthige Dampf nachgeliefert werden kann. Gesezt, dies sei der Fall (und ist z. B. beim Anlassen der Maschine immer der Fall), so nimmt der Dampf sofort eine höhere Spannung an, sein Druck auf den Kolben wird also größer, als der von diesem geleistete Widerstand, und die Folge ist

eine Beschleunigung des Ganges der Maschine, bis der Dampfdruck genau seinem Widerstande gleich ist.

Man kann sich bei Berechnungen, wie die obige war, mit Vortheil folgender Tabellen bedienen.

Tabelle I. Größe der Kolbenfläche.

Durchmesser in Zollen.	Flächeninhalt in Q.-Zollen.	Durchmesser in Zollen.	Flächeninhalt in Q.-Zollen.	Durchmesser in Zollen.	Flächeninhalt in Q.-Zollen.
1	0.785	4 $\frac{1}{2}$	15.904	8	50.265
1 $\frac{1}{8}$	0.994	4 $\frac{5}{8}$	16.800	8 $\frac{1}{8}$	51.848
1 $\frac{1}{4}$	1.227	4 $\frac{3}{4}$	17.720	8 $\frac{1}{4}$	53.456
1 $\frac{3}{8}$	1.484	4 $\frac{7}{8}$	18.665	8 $\frac{3}{8}$	55.088
1 $\frac{1}{2}$	1.767	5	19.635	8 $\frac{1}{2}$	56.745
1 $\frac{5}{8}$	2.073	5 $\frac{1}{8}$	20.629	8 $\frac{5}{8}$	58.426
1 $\frac{3}{4}$	2.405	5 $\frac{1}{4}$	21.647	8 $\frac{3}{4}$	60.132
1 $\frac{7}{8}$	2.761	5 $\frac{3}{8}$	22.690	8 $\frac{7}{8}$	61.862
2	3.141	5 $\frac{1}{2}$	23.758	9	63.617
2 $\frac{1}{8}$	3.546	5 $\frac{5}{8}$	24.850	9 $\frac{1}{8}$	65.396
2 $\frac{1}{4}$	3.976	5 $\frac{3}{4}$	25.967	9 $\frac{1}{4}$	67.200
2 $\frac{3}{8}$	4.430	5 $\frac{7}{8}$	27.108	9 $\frac{3}{8}$	69.029
2 $\frac{1}{2}$	4.908	6	28.274	9 $\frac{1}{2}$	70.882
2 $\frac{5}{8}$	5.411	6 $\frac{1}{8}$	29.464	9 $\frac{5}{8}$	72.759
2 $\frac{3}{4}$	5.939	6 $\frac{1}{4}$	30.679	9 $\frac{3}{4}$	74.662
2 $\frac{7}{8}$	6.491	6 $\frac{3}{8}$	31.919	9 $\frac{7}{8}$	76.588
3	7.068	6 $\frac{1}{2}$	33.183	10	78.540
3 $\frac{1}{8}$	7.669	6 $\frac{5}{8}$	34.471	10 $\frac{1}{8}$	80.515
3 $\frac{1}{4}$	8.295	6 $\frac{3}{4}$	35.784	10 $\frac{1}{4}$	82.516
3 $\frac{3}{8}$	8.946	6 $\frac{7}{8}$	37.122	10 $\frac{3}{8}$	84.540
3 $\frac{1}{2}$	9.621	7	38.484	10 $\frac{1}{2}$	86.590
3 $\frac{5}{8}$	10.320	7 $\frac{1}{8}$	39.871	10 $\frac{5}{8}$	88.664
3 $\frac{3}{4}$	11.014	7 $\frac{1}{4}$	41.282	10 $\frac{3}{4}$	90.762
3 $\frac{7}{8}$	11.793	7 $\frac{3}{8}$	42.718	10 $\frac{7}{8}$	92.885
4	12.566	7 $\frac{1}{2}$	44.178	11	95.033
4 $\frac{1}{8}$	13.364	7 $\frac{5}{8}$	45.663	11 $\frac{1}{8}$	97.205
4 $\frac{1}{4}$	14.186	7 $\frac{3}{4}$	47.173	11 $\frac{1}{4}$	99.402
4 $\frac{3}{8}$	15.033	7 $\frac{7}{8}$	48.707	11 $\frac{3}{8}$	101.62

Durchmesser in Zollen.	Flächeninhalt in Q.-Zollen.	Durchmesser in Zollen.	Flächeninhalt in Q.-Zollen.	Durchmesser in Zollen.	Flächeninhalt in Q.-Zollen.
11 $\frac{1}{2}$	103.86	15 $\frac{3}{4}$	194.82	20	314.16
11 $\frac{5}{8}$	106.13	15 $\frac{7}{8}$	197.93	20 $\frac{1}{8}$	318.09
11 $\frac{3}{4}$	108.43	16	201.06	20 $\frac{1}{4}$	322.06
11 $\frac{7}{8}$	110.75	16 $\frac{1}{8}$	204.21	20 $\frac{3}{8}$	326.05
12	113.09	16 $\frac{1}{4}$	207.39	20 $\frac{1}{2}$	330.06
12 $\frac{1}{8}$	115.46	16 $\frac{3}{8}$	210.59	20 $\frac{5}{8}$	334.10
12 $\frac{1}{4}$	117.85	16 $\frac{1}{2}$	213.82	20 $\frac{3}{4}$	338.16
12 $\frac{3}{8}$	120.27	16 $\frac{5}{8}$	217.07	20 $\frac{7}{8}$	342.25
12 $\frac{1}{2}$	122.71	16 $\frac{3}{4}$	220.35	21	346.36
12 $\frac{5}{8}$	125.18	16 $\frac{7}{8}$	223.65	21 $\frac{1}{8}$	350.49
12 $\frac{3}{4}$	127.67	17	226.98	21 $\frac{1}{4}$	354.65
12 $\frac{7}{8}$	130.19	17 $\frac{1}{8}$	230.33	21 $\frac{3}{8}$	358.84
13	132.73	17 $\frac{1}{4}$	233.70	21 $\frac{1}{2}$	363.05
13 $\frac{1}{8}$	135.29	17 $\frac{3}{8}$	237.10	21 $\frac{5}{8}$	367.28
13 $\frac{1}{4}$	137.88	17 $\frac{1}{2}$	240.52	21 $\frac{3}{4}$	371.54
13 $\frac{3}{8}$	140.50	17 $\frac{5}{8}$	243.97	21 $\frac{7}{8}$	375.82
13 $\frac{1}{2}$	143.13	17 $\frac{3}{4}$	247.45	22	380.13
13 $\frac{5}{8}$	145.80	17 $\frac{7}{8}$	250.94	22 $\frac{1}{8}$	384.46
13 $\frac{3}{4}$	148.48	18	254.46	22 $\frac{1}{4}$	388.82
13 $\frac{7}{8}$	151.20	18 $\frac{1}{8}$	258.01	22 $\frac{3}{8}$	393.20
14	153.93	18 $\frac{1}{4}$	261.58	22 $\frac{1}{2}$	397.60
14 $\frac{1}{8}$	156.69	18 $\frac{3}{8}$	265.18	22 $\frac{5}{8}$	402.03
14 $\frac{1}{4}$	159.48	18 $\frac{1}{2}$	268.80	22 $\frac{3}{4}$	406.49
14 $\frac{3}{8}$	162.29	18 $\frac{5}{8}$	272.44	22 $\frac{7}{8}$	410.97
14 $\frac{1}{2}$	165.13	18 $\frac{3}{4}$	276.11	23	415.47
14 $\frac{5}{8}$	167.98	18 $\frac{7}{8}$	279.81	23 $\frac{1}{8}$	420.00
14 $\frac{3}{4}$	170.87	19	283.52	23 $\frac{1}{4}$	424.55
14 $\frac{7}{8}$	173.78	19 $\frac{1}{8}$	287.27	23 $\frac{3}{8}$	429.13
15	176.71	19 $\frac{1}{4}$	291.03	23 $\frac{1}{2}$	433.73
15 $\frac{1}{8}$	179.67	19 $\frac{3}{8}$	294.83	23 $\frac{5}{8}$	438.36
15 $\frac{1}{4}$	182.65	19 $\frac{1}{2}$	298.64	23 $\frac{3}{4}$	443.01
15 $\frac{3}{8}$	185.66	19 $\frac{5}{8}$	302.48	23 $\frac{7}{8}$	447.69
15 $\frac{1}{2}$	188.69	19 $\frac{3}{4}$	306.35	24	452.39
15 $\frac{5}{8}$	191.74	19 $\frac{7}{8}$	310.24	24 $\frac{1}{8}$	457.11

Durchmesser in Zollen.	Flächeninhalt in Q.-Zollen.	Durchmesser in Zollen.	Flächeninhalt in Q.-Zollen.	Durchmesser in Zollen.	Flächeninhalt in Q.-Zollen.
24 ¹ / ₄	461.86	28 ¹ / ₂	637.94	32 ³ / ₄	842.39
24 ³ / ₈	466.63	28 ⁵ / ₈	643.54	32 ⁷ / ₈	848.83
24 ¹ / ₂	471.43	28 ³ / ₄	649.18	33	855.30
24 ⁵ / ₈	476.25	28 ⁷ / ₈	654.83	33 ¹ / ₈	861.79
24 ³ / ₄	481.10	29	660.52	33 ¹ / ₄	868.30
24 ⁷ / ₈	485.97	29 ¹ / ₈	666.22	33 ³ / ₈	874.84
25	490.87	29 ¹ / ₄	671.95	33 ¹ / ₂	881.41
25 ¹ / ₈	495.79	29 ³ / ₈	677.71	33 ⁵ / ₈	888.00
25 ¹ / ₄	500.74	29 ¹ / ₂	683.49	33 ³ / ₄	894.61
25 ³ / ₈	505.71	29 ⁵ / ₈	689.29	33 ⁷ / ₈	901.25
25 ¹ / ₂	510.70	29 ³ / ₄	695.12	34	907.92
25 ⁵ / ₈	515.72	29 ⁷ / ₈	700.98	34 ¹ / ₈	914.61
25 ³ / ₄	520.76	30	706.86	34 ¹ / ₄	921.32
25 ⁷ / ₈	525.83	30 ¹ / ₈	712.76	34 ³ / ₈	928.06
26	530.93	30 ¹ / ₄	718.69	34 ¹ / ₂	934.82
26 ¹ / ₈	536.04	30 ³ / ₈	724.64	34 ⁵ / ₈	941.60
26 ¹ / ₄	541.16	30 ¹ / ₂	730.61	34 ³ / ₄	948.41
26 ³ / ₈	546.35	30 ⁵ / ₈	736.61	34 ⁷ / ₈	955.25
26 ¹ / ₂	551.54	30 ³ / ₄	742.64	35	962.11
26 ⁵ / ₈	556.76	30 ⁷ / ₈	748.69	35 ¹ / ₈	968.99
26 ³ / ₄	562.00	31	754.76	35 ¹ / ₄	975.90
26 ⁷ / ₈	567.26	31 ¹ / ₈	760.86	35 ³ / ₈	982.84
27	572.55	31 ¹ / ₄	766.99	35 ¹ / ₂	989.80
27 ¹ / ₈	577.87	31 ³ / ₈	773.14	35 ⁵ / ₈	996.78
27 ¹ / ₄	583.20	31 ¹ / ₂	779.31	35 ³ / ₄	1003.7
27 ³ / ₈	588.57	31 ⁵ / ₈	785.51	35 ⁷ / ₈	1010.8
27 ¹ / ₂	593.95	31 ³ / ₄	791.73	36	1017.8
27 ⁵ / ₈	599.37	31 ⁷ / ₈	797.97	36 ¹ / ₈	1024.9
27 ³ / ₄	604.80	32	804.24	36 ¹ / ₄	1032.0
27 ⁷ / ₈	610.26	32 ¹ / ₈	810.54	36 ³ / ₈	1039.1
28	615.75	32 ¹ / ₄	816.86	36 ¹ / ₂	1046.3
28 ¹ / ₈	621.26	32 ³ / ₈	823.21	36 ⁵ / ₈	1053.5
28 ¹ / ₄	626.79	32 ¹ / ₂	829.57	36 ³ / ₄	1060.7
28 ³ / ₈	632.35	32 ⁵ / ₈	835.97	36 ⁷ / ₈	1067.9

Durchmesser in Zollen.	Flächeninhalt in Q.-Zollen.	Durchmesser in Zollen.	Flächeninhalt in Q.-Zollen.	Durchmesser in Zollen.	Flächeninhalt in Q.-Zollen.
37	1075.2	41 $\frac{1}{4}$	1336.4	45 $\frac{1}{2}$	1625.9
37 $\frac{1}{8}$	1082.4	41 $\frac{3}{8}$	1344.5	45 $\frac{5}{8}$	1634.9
37 $\frac{1}{4}$	1089.7	41 $\frac{1}{2}$	1352.6	45 $\frac{3}{4}$	1643.8
37 $\frac{3}{8}$	1097.1	41 $\frac{5}{8}$	1360.8	45 $\frac{7}{8}$	1652.8
37 $\frac{1}{2}$	1104.4	41 $\frac{3}{4}$	1369.0	46	1661.9
37 $\frac{5}{8}$	1111.8	41 $\frac{7}{8}$	1377.2	46 $\frac{1}{8}$	1670.9
37 $\frac{3}{4}$	1119.2	42	1385.4	46 $\frac{1}{4}$	1680.0
37 $\frac{7}{8}$	1126.6	42 $\frac{1}{8}$	1393.7	46 $\frac{3}{8}$	1689.1
38	1134.1	42 $\frac{1}{4}$	1401.9	46 $\frac{1}{2}$	1698.2
38 $\frac{1}{8}$	1141.5	42 $\frac{3}{8}$	1410.2	46 $\frac{5}{8}$	1707.3
38 $\frac{1}{4}$	1149.0	42 $\frac{1}{2}$	1418.6	46 $\frac{3}{4}$	1716.5
38 $\frac{3}{8}$	1156.6	42 $\frac{5}{8}$	1426.9	46 $\frac{7}{8}$	1725.7
38 $\frac{1}{2}$	1164.1	42 $\frac{3}{4}$	1435.3	47	1734.9
38 $\frac{5}{8}$	1171.7	42 $\frac{7}{8}$	1443.7	47 $\frac{1}{8}$	1744.1
38 $\frac{3}{4}$	1179.3	43	1452.2	47 $\frac{1}{4}$	1753.7
38 $\frac{7}{8}$	1186.9	43 $\frac{1}{8}$	1460.6	47 $\frac{3}{8}$	1762.0
39	1194.5	43 $\frac{1}{4}$	1469.1	47 $\frac{1}{2}$	1772.4
39 $\frac{1}{8}$	1202.2	43 $\frac{3}{8}$	1477.6	47 $\frac{5}{8}$	1781.3
39 $\frac{1}{4}$	1209.9	43 $\frac{1}{2}$	1486.1	47 $\frac{3}{4}$	1790.7
39 $\frac{3}{8}$	1217.6	43 $\frac{5}{8}$	1494.7	47 $\frac{7}{8}$	1800.1
39 $\frac{1}{2}$	1225.4	43 $\frac{3}{4}$	1503.3	48	1809.5
39 $\frac{5}{8}$	1233.1	43 $\frac{7}{8}$	1511.9	48 $\frac{1}{8}$	1818.9
39 $\frac{3}{4}$	1240.9	44	1520.5	48 $\frac{1}{4}$	1828.4
39 $\frac{7}{8}$	1248.7	44 $\frac{1}{8}$	1529.1	48 $\frac{3}{8}$	1837.9
40	1256.5	44 $\frac{1}{4}$	1537.8	48 $\frac{1}{2}$	1847.4
40 $\frac{1}{8}$	1264.5	44 $\frac{3}{8}$	1546.5	48 $\frac{5}{8}$	1856.9
40 $\frac{1}{4}$	1272.3	44 $\frac{1}{2}$	1555.2	48 $\frac{3}{4}$	1866.5
40 $\frac{3}{8}$	1280.3	44 $\frac{5}{8}$	1564.0	48 $\frac{7}{8}$	1876.1
40 $\frac{1}{2}$	1288.2	44 $\frac{3}{4}$	1572.8	49	1885.7
40 $\frac{5}{8}$	1296.2	44 $\frac{7}{8}$	1581.6	49 $\frac{1}{8}$	1895.3
40 $\frac{3}{4}$	1304.2	45	1590.4	49 $\frac{1}{4}$	1905.0
40 $\frac{7}{8}$	1312.2	45 $\frac{1}{8}$	1599.2	49 $\frac{3}{8}$	1914.7
41	1320.2	45 $\frac{1}{4}$	1608.1	49 $\frac{1}{2}$	1924.4
41 $\frac{1}{8}$	1328.3	45 $\frac{3}{8}$	1617.0	49 $\frac{5}{8}$	1934.1

Durchmesser in Zollen.	Flächeninhalt in Q.-Zollen.	Durchmesser in Zollen.	Flächeninhalt in Q.-Zollen.	Durchmesser in Zollen.	Flächeninhalt in Q.-Zollen.
49 ³ / ₄	1943.9	54	2290.2	58 ¹ / ₄	2664.9
49 ⁷ / ₈	1953.6	54 ¹ / ₈	2300.8	58 ³ / ₈	2676.3
50	1963.5	54 ¹ / ₄	2311.4	58 ¹ / ₂	2687.8
50 ¹ / ₈	1973.3	54 ³ / ₈	2322.1	58 ⁵ / ₈	2699.3
50 ¹ / ₄	1983.1	54 ¹ / ₂	2332.8	58 ³ / ₄	2710.8
50 ³ / ₈	1993.0	54 ⁵ / ₈	2343.5	58 ⁷ / ₈	2722.4
50 ¹ / ₂	2002.9	54 ³ / ₄	2354.2	59	2733.9
50 ⁵ / ₈	2012.8	54 ⁷ / ₈	2365.0	59 ¹ / ₈	2745.5
50 ³ / ₄	2022.8	55	2375.8	59 ¹ / ₄	2757.1
50 ⁷ / ₈	2032.8	55 ¹ / ₈	2386.6	59 ³ / ₈	2768.8
51	2042.8	55 ¹ / ₄	2397.4	59 ¹ / ₂	2780.5
51 ¹ / ₈	2052.8	55 ³ / ₈	2408.3	59 ⁵ / ₈	2792.2
51 ¹ / ₄	2062.9	55 ¹ / ₂	2419.2	59 ³ / ₄	2803.9
51 ³ / ₈	2072.9	55 ⁵ / ₈	2430.1	59 ⁷ / ₈	2815.6
51 ¹ / ₂	2083.0	55 ³ / ₄	2441.0	60	2827.4
51 ⁵ / ₈	2093.2	55 ⁷ / ₈	2452.0	60 ¹ / ₈	2839.2
51 ³ / ₄	2103.3	56	2463.0	60 ¹ / ₄	2851.0
51 ⁷ / ₈	2113.5	56 ¹ / ₈	2474.0	60 ³ / ₈	2862.8
52	2123.7	56 ¹ / ₄	2485.0	60 ¹ / ₂	2874.7
52 ¹ / ₈	2133.9	56 ³ / ₈	2496.1	60 ⁵ / ₈	2886.6
52 ¹ / ₄	2144.1	56 ¹ / ₂	2507.1	60 ³ / ₄	2898.5
52 ³ / ₈	2154.4	56 ⁵ / ₈	2518.2	60 ⁷ / ₈	2910.5
52 ¹ / ₂	2164.7	56 ³ / ₄	2529.4	61	2922.4
52 ⁵ / ₈	2175.0	56 ⁷ / ₈	2540.5	61 ¹ / ₈	2934.4
52 ³ / ₄	2185.4	57	2551.7	61 ¹ / ₄	2946.4
52 ⁷ / ₈	2195.7	57 ¹ / ₈	2562.9	61 ³ / ₈	2958.5
53	2206.1	57 ¹ / ₄	2574.1	61 ¹ / ₂	2970.5
53 ¹ / ₈	2216.6	57 ³ / ₈	2585.4	61 ⁵ / ₈	2982.6
53 ¹ / ₄	2227.0	57 ¹ / ₂	2596.7	61 ³ / ₄	2994.7
53 ³ / ₈	2237.5	57 ⁵ / ₈	2608.0	61 ⁷ / ₈	3006.9
53 ¹ / ₂	2248.0	57 ³ / ₄	2619.3	62	3019.0
53 ⁵ / ₈	2258.5	57 ⁷ / ₈	2630.7	62 ¹ / ₈	3031.2
53 ³ / ₄	2269.0	58	2642.0	62 ¹ / ₄	3043.4
53 ⁷ / ₈	2279.6	58 ¹ / ₈	2653.4	62 ³ / ₈	3055.7

Durchmesser in Zollen.	Flächeninhalt in Q.-Zollen.	Durchmesser in Zollen.	Flächeninhalt in Q.-Zollen.	Durchmesser in Zollen.	Flächeninhalt in Q.-Zollen.
62 $\frac{1}{2}$	3067.9	66 $\frac{3}{4}$	3499.3	71	3959.2
62 $\frac{5}{8}$	3080.2	66 $\frac{7}{8}$	3512.5	71 $\frac{1}{8}$	3973.1
62 $\frac{3}{4}$	3092.5	67	3525.6	71 $\frac{1}{4}$	3987.1
62 $\frac{7}{8}$	3104.8	67 $\frac{1}{8}$	3538.8	71 $\frac{3}{8}$	4001.1
63	3117.2	67 $\frac{1}{4}$	3552.0	71 $\frac{1}{2}$	4015.1
63 $\frac{1}{8}$	3129.6	67 $\frac{3}{8}$	3565.2	71 $\frac{5}{8}$	4029.2
63 $\frac{1}{4}$	3142.0	67 $\frac{1}{2}$	3578.4	71 $\frac{3}{4}$	4043.2
63 $\frac{7}{8}$	3154.4	67 $\frac{5}{8}$	3591.7	71 $\frac{7}{8}$	4067.3
63 $\frac{1}{2}$	3166.9	67 $\frac{3}{4}$	3605.0	72	4071.5
63 $\frac{5}{8}$	3179.4	67 $\frac{7}{8}$	3618.3	72 $\frac{1}{8}$	4085.6
63 $\frac{3}{4}$	3191.9	68	3631.6	72 $\frac{1}{4}$	4099.8
63 $\frac{7}{8}$	3204.4	68 $\frac{1}{8}$	3645.0	72 $\frac{3}{8}$	4114.0
64	3216.9	68 $\frac{1}{4}$	3658.4	72 $\frac{1}{2}$	4128.2
64 $\frac{1}{8}$	3229.5	68 $\frac{5}{8}$	3671.8	72 $\frac{5}{8}$	4142.5
64 $\frac{1}{4}$	3242.1	68 $\frac{1}{2}$	3685.2	72 $\frac{3}{4}$	4116.7
64 $\frac{3}{8}$	3254.8	68 $\frac{5}{8}$	3698.7	72 $\frac{7}{8}$	4171.0
64 $\frac{1}{2}$	3267.4	68 $\frac{3}{4}$	3712.2	73	4185.3
64 $\frac{5}{8}$	3280.1	68 $\frac{7}{8}$	3725.7	73 $\frac{1}{8}$	4199.7
64 $\frac{3}{4}$	3292.8	69	3739.2	73 $\frac{1}{4}$	4214.1
64 $\frac{7}{8}$	3305.5	69 $\frac{1}{8}$	3752.8	73 $\frac{3}{8}$	4228.5
65	3318.3	69 $\frac{1}{4}$	3766.4	73 $\frac{1}{2}$	4242.9
65 $\frac{1}{8}$	3331.0	69 $\frac{5}{8}$	3780.0	73 $\frac{5}{8}$	4257.3
65 $\frac{1}{4}$	3343.8	69 $\frac{1}{2}$	3793.6	73 $\frac{3}{4}$	4271.8
65 $\frac{3}{8}$	3356.7	69 $\frac{5}{8}$	3807.3	73 $\frac{7}{8}$	4286.3
65 $\frac{1}{2}$	3369.5	69 $\frac{3}{4}$	3821.0	74	4300.8
65 $\frac{5}{8}$	3382.4	69 $\frac{7}{8}$	3834.7	74 $\frac{1}{8}$	4315.3
65 $\frac{3}{4}$	3395.3	70	3848.4	74 $\frac{1}{4}$	4329.9
65 $\frac{7}{8}$	3408.2	70 $\frac{1}{8}$	3862.2	74 $\frac{3}{8}$	4344.5
66	3421.2	70 $\frac{1}{4}$	3875.9	74 $\frac{1}{2}$	4359.1
66 $\frac{1}{8}$	3434.1	70 $\frac{3}{8}$	3889.8	74 $\frac{5}{8}$	4373.8
66 $\frac{1}{4}$	3447.1	70 $\frac{1}{2}$	3903.6	74 $\frac{3}{4}$	4388.4
66 $\frac{3}{8}$	3460.1	70 $\frac{5}{8}$	3917.4	74 $\frac{7}{8}$	4403.1
66 $\frac{1}{2}$	3473.2	70 $\frac{3}{4}$	3931.3	75	4417.8
66 $\frac{5}{8}$	3486.3	70 $\frac{7}{8}$	3945.2	75 $\frac{1}{8}$	4432.6

Durchmesser in Zollen.	Flächeninhalt in Q.-Zollen.	Durchmesser in Zollen.	Flächeninhalt in Q.-Zollen.	Durchmesser in Zollen.	Flächeninhalt in Q.-Zollen.
75 $\frac{1}{4}$	4447.3	79 $\frac{1}{2}$	4963.9	83 $\frac{3}{4}$	5508.8
75 $\frac{3}{8}$	4462.1	79 $\frac{5}{8}$	4979.5	83 $\frac{7}{8}$	5525.3
75 $\frac{1}{2}$	4476.9	79 $\frac{3}{4}$	4995.1	84	5541.7
75 $\frac{5}{8}$	4491.8	79 $\frac{7}{8}$	5010.8	84 $\frac{1}{8}$	5558.2
75 $\frac{3}{4}$	4506.6	80	5026.5	84 $\frac{1}{4}$	5574.8
75 $\frac{7}{8}$	4521.5	80 $\frac{1}{8}$	5042.2	84 $\frac{3}{8}$	5591.3
76	4536.4	80 $\frac{1}{4}$	5058.0	84 $\frac{1}{2}$	5607.9
76 $\frac{1}{8}$	4551.4	80 $\frac{3}{8}$	5073.7	84 $\frac{5}{8}$	5624.5
76 $\frac{1}{4}$	4566.3	80 $\frac{1}{2}$	5089.5	84 $\frac{3}{4}$	5641.1
76 $\frac{3}{8}$	4581.3	80 $\frac{5}{8}$	5105.4	84 $\frac{7}{8}$	5657.8
76 $\frac{1}{2}$	4596.3	80 $\frac{3}{4}$	5121.2	85	5674.5
76 $\frac{5}{8}$	4611.3	80 $\frac{7}{8}$	5137.1	85 $\frac{1}{8}$	5691.2
76 $\frac{3}{4}$	4626.4	81	5153.0	85 $\frac{1}{4}$	5707.9
76 $\frac{7}{8}$	4641.5	81 $\frac{1}{8}$	5168.9	85 $\frac{3}{8}$	5724.6
77	4656.6	81 $\frac{1}{4}$	5184.8	85 $\frac{1}{2}$	5741.4
77 $\frac{1}{8}$	4671.7	81 $\frac{3}{8}$	5200.8	85 $\frac{5}{8}$	5758.2
77 $\frac{1}{4}$	4686.9	81 $\frac{1}{2}$	5216.8	85 $\frac{3}{4}$	5775.0
77 $\frac{3}{8}$	4702.1	81 $\frac{5}{8}$	5232.8	85 $\frac{7}{8}$	5791.9
77 $\frac{1}{2}$	4717.3	81 $\frac{3}{4}$	5248.8	86	5808.8
77 $\frac{5}{8}$	4732.5	81 $\frac{7}{8}$	5264.9	86 $\frac{1}{8}$	5825.7
77 $\frac{3}{4}$	4747.7	82	5281.0	86 $\frac{1}{4}$	5842.6
77 $\frac{7}{8}$	4763.9	82 $\frac{1}{8}$	5297.1	86 $\frac{3}{8}$	5859.5
78	4778.3	82 $\frac{1}{4}$	5313.2	86 $\frac{1}{2}$	5876.5
78 $\frac{1}{8}$	4793.7	82 $\frac{3}{8}$	5329.4	86 $\frac{5}{8}$	5893.5
78 $\frac{1}{4}$	4809.0	82 $\frac{1}{2}$	5345.6	86 $\frac{3}{4}$	5910.5
78 $\frac{3}{8}$	4824.4	82 $\frac{5}{8}$	5361.8	86 $\frac{7}{8}$	5927.6
78 $\frac{1}{2}$	4839.8	82 $\frac{3}{4}$	5378.0	87	5944.6
78 $\frac{5}{8}$	4855.2	82 $\frac{7}{8}$	5394.3	87 $\frac{1}{8}$	5961.7
78 $\frac{3}{4}$	4870.7	83	5410.6	87 $\frac{1}{4}$	5978.9
78 $\frac{7}{8}$	4886.1	83 $\frac{1}{8}$	5426.9	87 $\frac{3}{8}$	5996.0
79	4901.6	83 $\frac{1}{4}$	5443.2	87 $\frac{1}{2}$	6013.2
79 $\frac{1}{8}$	4917.2	83 $\frac{3}{8}$	5459.6	87 $\frac{5}{8}$	6030.4
79 $\frac{1}{4}$	4932.7	83 $\frac{1}{2}$	5476.0	87 $\frac{3}{4}$	6047.6
79 $\frac{3}{8}$	4948.3	83 $\frac{5}{8}$	5492.4	87 $\frac{7}{8}$	6064.8

Durchmesser in Zollen.	Flächeninhalt in Q.-Zollen.	Durchmesser in Zollen.	Flächeninhalt in Q.-Zollen.	Durchmesser in Zollen.	Flächeninhalt in Q.-Zollen.
88	6082.1	92 $\frac{1}{8}$	6665.7	96 $\frac{1}{4}$	7275.9
88 $\frac{1}{8}$	6099.4	92 $\frac{1}{4}$	6683.8	96 $\frac{3}{8}$	7294.9
88 $\frac{1}{4}$	6116.7	92 $\frac{3}{8}$	6701.9	96 $\frac{1}{2}$	7313.8
88 $\frac{3}{8}$	6134.0	92 $\frac{1}{2}$	6720.0	96 $\frac{5}{8}$	7332.8
88 $\frac{1}{2}$	6151.4	92 $\frac{5}{8}$	6738.2	96 $\frac{3}{4}$	7351.7
88 $\frac{5}{8}$	6168.8	92 $\frac{3}{4}$	6756.4	96 $\frac{7}{8}$	7370.7
88 $\frac{3}{4}$	6186.2	92 $\frac{7}{8}$	6776.4	97	7389.8
88 $\frac{7}{8}$	6203.6	93	6792.9	97 $\frac{1}{8}$	7408.8
89	6221.1	93 $\frac{1}{8}$	6811.1	97 $\frac{1}{4}$	7427.9
89 $\frac{1}{8}$	6238.6	93 $\frac{1}{4}$	6829.4	97 $\frac{3}{8}$	7447.0
89 $\frac{1}{4}$	6256.1	93 $\frac{3}{8}$	6847.8	97 $\frac{1}{2}$	7466.2
89 $\frac{3}{8}$	6273.6	93 $\frac{1}{2}$	6866.1	97 $\frac{5}{8}$	7485.3
89 $\frac{1}{2}$	6291.2	93 $\frac{5}{8}$	6884.5	97 $\frac{3}{4}$	7504.5
89 $\frac{5}{8}$	6308.8	93 $\frac{3}{4}$	6902.9	97 $\frac{7}{8}$	7523.7
89 $\frac{3}{4}$	6326.4	93 $\frac{7}{8}$	6921.3	98	7542.9
89 $\frac{7}{8}$	6344.0	94	6939.7	98 $\frac{1}{8}$	7562.2
90	6361.7	94 $\frac{1}{8}$	6958.2	98 $\frac{1}{4}$	7581.5
90 $\frac{1}{8}$	6379.4	94 $\frac{1}{4}$	6976.7	98 $\frac{3}{8}$	7600.8
90 $\frac{1}{4}$	6397.1	94 $\frac{3}{8}$	6995.2	98 $\frac{1}{2}$	7620.1
90 $\frac{3}{8}$	6414.8	94 $\frac{1}{2}$	7013.8	98 $\frac{5}{8}$	7639.4
90 $\frac{1}{2}$	6432.6	94 $\frac{5}{8}$	7032.3	98 $\frac{3}{4}$	7658.8
90 $\frac{5}{8}$	6450.4	94 $\frac{3}{4}$	7050.9	98 $\frac{7}{8}$	7678.2
90 $\frac{3}{4}$	6468.2	94 $\frac{7}{8}$	7069.5	99	7697.7
90 $\frac{7}{8}$	6486.0	95	7088.2	99 $\frac{1}{8}$	7717.1
91	6503.8	95 $\frac{1}{8}$	7106.9	99 $\frac{1}{4}$	7736.6
91 $\frac{1}{8}$	6521.7	95 $\frac{1}{4}$	7125.5	99 $\frac{3}{8}$	7756.1
91 $\frac{1}{4}$	6539.6	95 $\frac{3}{8}$	7144.3	99 $\frac{1}{2}$	7775.6
91 $\frac{3}{8}$	6557.6	95 $\frac{1}{2}$	7163.0	99 $\frac{5}{8}$	7795.2
91 $\frac{1}{2}$	6575.5	95 $\frac{5}{8}$	7181.8	99 $\frac{3}{4}$	7814.7
91 $\frac{5}{8}$	6593.5	95 $\frac{3}{4}$	7200.5	99 $\frac{7}{8}$	7834.3
91 $\frac{3}{4}$	6611.5	95 $\frac{7}{8}$	7219.4	100	7854.0
91 $\frac{7}{8}$	6629.5	96	7238.2		
92	6647.6	96 $\frac{1}{8}$	7257.1		

Bermitteltst dieser Tabelle findet man unmittelbar die Kolbenfläche in Quadrat Zoll, wenn sein Durchmesser in Zoll gegeben ist.

Aufgabe 1. Gegeben der Durchmesser des Kolbens in Zoll, seinen Inhalt in Quadratfuß zu finden.

Auflösung. Man suche in Tabelle I. die Kolbenfläche in Quadrat Zoll und dividire die gefundene Zahl durch 144. Ein Quadratfuß hat nämlich 144 Quadrat Zoll, und die Kolbenfläche hat also so viel Quadratfuß, so viel mal 144 Quadrat Zoll sie hat.

Beispiel: Wie viel Quadratfuß Fläche hat ein Kolben von $86\frac{3}{4}$ Zoll Durchmesser?

Aus Tabelle I. ersehen wir, daß die Kolbenfläche 5910.5 Quadrat Zoll hat; wenn wir diese Zahl mit 144 dividiren

$$\begin{array}{r}
 144 : 5910.5 \mid 41.04 \\
 \underline{576} \\
 150 \\
 \underline{144} \\
 6.50 \\
 \underline{5.76} \\
 74
 \end{array}$$

so erhalten wir 41.04 und dies ist die Kolbenfläche in Quadratfuß.

Aufgabe 2. Gegeben der Durchmesser des Kolbens in Zoll und seine Geschwindigkeit pro Minute in Fuß, die Dampfmenge in Kubikfuß zu finden, die stündlich durch den Cylinder geht.

Auflösung. Nach Aufgabe 1 finden wir die Kolbenfläche in Quadratfuß. Diese mit der Kolbengeschwindigkeit pro Minute multiplicirt, giebt die Zahl der Kubikfuß Dampf, die in der Minute durch den Cylinder gehen. Diese Zahl muß dann noch 60 Mal genommen werden, da eine Stunde 60 Minuten hat.

Beispiel: Ein Kolben von 50 Zoll Durchmesser legt in der Minute 180 Fuß zurück, wie viel Kubikfuß Dampf gehen stündlich durch den Cylinder?

Nach Aufgabe 1 finden wir, daß die Kolbenfläche 1963.5 Quadrat Zoll hat, dies durch 144 dividirt giebt 13.64 Quadratfuß. Es gehen daher in der Minute 13.64 mal 180 = 2455,2 Ku-

bissfuß und in der Stunde 2455.2 mal 60 = 147312 Kubissfuß Dampf durch den Cylinder. —

In der folgenden Tafel II. giebt die erste Spalte den Dampfdruck in Atmosphären und die zweite Spalte die Zahl der Kubissfüße Dampf an, welche unter diesem Druck aus einem Kubissfuß Wasser entstehen. Will man den Dampfdruck in Pfunden auf den Quadratzoll haben, so braucht man den in Atmosphären gegebenen Druck bloß mit 15 zu multipliciren, da eine Atmosphäre mit 15 Pfund auf den Quadratzoll drückt.

Tabelle II.

Dampfdruck in Atmosphären.	Zahl der bei die- sem Druck aus einem Kubissfuß Wasser entste- henden Kubit- fuß Dampf.	Dampfdruck in Atmosphären.	Zahl der bei die- sem Druck aus einem Kubissfuß Wasser entste- henden Kubit- fuß Dampf.	Dampfdruck in Atmosphären.	Zahl der bei die- sem Druck aus einem Kubissfuß Wasser entste- henden Kubit- fuß Dampf.
0,0	2,1	873	4,2	457
0,1	8954	2,2	835	4,3	447
0,2	6121	2,3	801	4,4	438
0,3	4650	2,4	769	4,5	429
0,4	3749	2,5	740	4,6	420
0,5	3141	2,6	713	4,7	412
0,6	2702	2,7	689	4,8	403
0,7	2371	2,8	664	4,9	396
0,8	2112	2,9	642	5,0	388
0,9	1904	3,0	621	5,1	381
1,0	1734	3,1	602	5,2	374
1,1	1591	3,2	584	5,3	367
1,2	1470	3,3	566	5,4	361
1,3	1366	3,4	550	5,5	355
1,4	1276	3,5	535	5,6	349
1,5	1197	3,6	528	5,7	343
1,6	1127	3,7	515	5,8	337
1,7	1065	3,8	503	5,9	332
1,8	1010	3,9	490	6,0	326
1,9	960	4,0	479	6,1	321
2,0	914	4,1	467	6,2	316

Dampfdruck in Atmosphären.	Zahl der bei die- sem Druck aus einem Kubikfuß Wasser entste- henden Kubit- fuß Dampf.	Dampfdruck in Atmosphären.	Zahl der bei die- sem Druck aus einem Kubikfuß Wasser entste- henden Kubit- fuß Dampf.	Dampfdruck in Atmosphären.	Zahl der bei die- sem Druck aus einem Kubikfuß Wasser entste- henden Kubit- fuß Dampf.
6,3	312	9,6	208	12,9	156
6,4	307	9,7	206	13,0	154
6,5	302	9,8	204	13,1	153
6,6	298	9,9	202	13,2	152
6,7	294	10,0	200	13,3	151
6,8	290	10,1	198	13,4	150
6,9	286	10,2	196	13,5	149
7,0	282	10,3	194	13,6	148
7,1	278	10,4	192	13,7	147
7,2	274	10,5	190	13,8	146
7,3	271	10,6	188	13,9	145
7,4	267	10,7	187	14,0	144
7,5	264	10,8	185	14,1	143
7,6	260	10,9	184	14,2	142
7,7	257	11,0	182	14,3	141
7,8	254	11,1	180	14,4	140
7,9	251	11,2	178	14,5	139
8,0	248	11,3	177	14,5	138
8,1	245	11,4	175	14,7	137
8,2	242	11,5	174	14,8	136
8,3	239	11,6	172	14,9	135
8,4	236	11,7	171	15,0	134
8,5	234	11,8	169	15,1	133
8,6	231	11,9	168	15,2	133
8,7	228	12,0	167	15,3	132
8,8	226	12,1	166	15,4	131
8,9	223	12,2	164	15,5	130
9,0	221	12,3	163	15,6	129
9,1	219	12,4	162	15,7	128
9,2	216	12,5	161	15,8	128
9,3	214	12,6	159	15,9	127
9,4	212	12,7	158		
9,5	210	12,8	157		

Mit Hülfe der vorstehenden beiden Tafeln sind wir im Stande, eine Menge sehr nützlicher praktischer Aufgaben zu lösen, welche die Grundsätze, die in diesem Buche entwickelt sind, noch mehr verdeutlichen und geläufig machen werden.

Bei allen Aufgaben setzen wir voraus, daß die Maschine in regelmäßigem und gleichförmigen Gange sei, und daß daher der mittlere Druck des Dampfes auf den Kolben den gesammten Widerständen gleich ist.

Aufgabe 3. Gegeben: für wie viel Pferdekraft der Kessel ist, der (mittlere) Dampfdruck im Cylinder und die (mittlere) Kolbengeschwindigkeit; den Durchmesser zu finden.

Auflösung. Man suche in Tafel II. den Dampfdruck auf, der, wenn er in Pfunden auf den Quadratzoll gegeben ist, erst mit 15 dividirt werden muß, um ihn in Atmosphären auszudrücken; die nebenstehende Zahl giebt dann die der Kubikfuß Dampf an, welche aus einem Kubikfuß Wasser unter diesem Drucke entstehen. Diese Zahl mit der Zahl der Pferdekraft multiplicirt, giebt die Zahl der Kubikfuß Dampf, die stündlich durch den Cylinder gehen, und der 60ste Theil sind also die Kubikfuß Dampf, die in der Minute hindurchgehen. Wenn man nun letztere Zahl durch die Geschwindigkeit des Kolbens (in Fuß ausgedrückt) dividirt, so erhält man die Kolbenfläche in Quadratzußen, und das 144fache hiervon giebt deren Inhalt in Quadratzollen. Diese oder die nächste Zahl suche man in der zweiten Spalte der Tafel I. auf, so ist die entsprechende Zahl der ersten Spalte der gesuchte Kolbendurchmesser.

Beispiel. Ein Kessel verdampft stündlich 55 Kubikfuß Wasser. Der Dampfdruck im Cylinder beträgt 21 Pfund auf den Quadratzoll; wie groß muß man den Durchmesser des Kolbens machen, wenn seine mittlere Geschwindigkeit 200 Fuß in der Minute ist?

Auflösung. 21 Pfund auf den Quadratzoll sind $2\frac{1}{15}$ gleich $1\frac{1}{15} = 1\frac{2}{5} = 1.4$ Atmosphären. Unter diesem Drucke giebt ein Kubikfuß Wasser nach Tabelle II 1276 Kubikfuß Dampf. Dies mit 55, als der Zahl der verdampften Kubikfuß Wasser, multiplicirt

$$\begin{array}{r} 1276 \\ \times 55 \\ \hline 6380 \\ 6380 \\ \hline \end{array}$$

ergiebt: 70180 Kubikfuß Dampf in der

Stunde, also in der Minute den 60sten Theil

$$60 : 70180 \mid 1169$$

60

101

60

418

360

580

540

40

sage 1170 Kubikfuß.

Hiervon ist der 200ste Theil

$$200 : 1170 \mid 5.85$$

100

170

160

100

5.85 und das ist die Kolbenfläche in Quadratzollen. Multipliziert mit 144 giebt dies

5.85

144

2340

2340

585

842.40

842.40 Quadratzoll. In Tabelle I. finden wir der Zahl 842.39 gegenüber $32\frac{3}{4}$ Zoll und dies ist also sehr genau der gesuchte Durchmesser des Kolbens.

Aufgabe 4. Gegeben: der Durchmesser des Kolbens in Zollen, der Gesamtwiderstand, den er der bewegenden Kraft entgegensezt und seine Geschwindigkeit; die Zahl der Pferdekräfte zu bestimmen.

Auflösung. Man bestimme aus Tabelle I. die Kolbenfläche in Quadratzollen und dividire hierdurch den in Pfunden ausgedrückten Gesamtwiderstand, so erhält man den Widerstand auf jeden Quadratzoll der Kolbenfläche in Pfunden, und der 15te Theil davon giebt den nöthigen Dampfdruck in Atmosphären. Diesen suche man in Tafel II. auf, so giebt die neben-

stehende Zahl die Kubikfuß Dampf, welche bei diesem Druck aus einem Kubizoll Wasser entstehen. Nun berechne man nach Aufgabe 2. aus der Fläche und Geschwindigkeit des Kolbens den Dampfverbrauch in der Minute und Stunde, und dividire letztere Zahl durch die, wie oben erwähnt, aus Tabelle II entnommene Zahl, so erhält man die Zahl der Kubikfuß Wasser, die stündlich verdampft werden, oder die Zahl der Pferdekkräfte der Maschine.

Beispiel: Wie viel Kubikfuß Dampf muß der Kessel stündlich verdampfen, um einen 34zölligen Kolben mit einer Geschwindigkeit von 200 Fuß in der Minute, gegen einen durchschnittlichen Widerstand von 18000 Pfund zu treiben?

Der Zahl 34 gegenüber finden wir in Tabelle I die Zahl 907.92. Hiermit in 18000 dividirt

$$\begin{array}{r}
 907.92 : 18000.00 \mid 19.82 \\
 \underline{9079 \ 2} \\
 892080 \\
 \underline{817128} \\
 749520 \\
 \underline{726336} \\
 231840 \\
 \underline{181584}
 \end{array}$$

ergiebt sich als Druck auf jeden Quadrat Zoll 19.82 Pfund. Davon der 15te Theil

$$\begin{array}{r}
 15 : 19.82 \mid 1.32 \\
 \underline{15} \\
 48 \\
 \underline{45} \\
 32 \\
 \underline{30} \\
 2
 \end{array}$$

gibt 1.32, sage 1.3 Atmosphären, unter welchem Drucke sich nach Tabelle II. aus einem Kubikfuß Wasser 1366 Kubikfuß Dampf bilden. Nun ist die Kolbenfläche nach Aufgabe 2

$$\begin{array}{r}
 144 : 907.92 \mid 6.305 \\
 \underline{864} \\
 439 \\
 \underline{432} \\
 720 \\
 \underline{720}
 \end{array}$$

6.305 Quadratfuß,

das 200 fache = 1261 giebt den Dampfverbrauch in der Minute, und dies noch einmal mit 60 multiplicirt, ist gleich 75660, den Dampfverbrauch pro Stunde in Kubikfuß. Da aber zu je 1281 Kubikfuß Dampf, wie vorher gefunden, ein Kubikfuß Wasser verdampft werden muß, so giebt die Division mit dieser Zahl

$$\begin{array}{r} 1281 : 75660 \mid 59.07 \\ \underline{6405} \\ 11610 \\ \underline{11529} \\ 8100 \end{array}$$

die Anzahl der stündlich zu verdampfenden Kubikfuß Wasser, nämlich ungefähr 59 Kubikfuß, und die Maschine arbeitet also mit 59 Pferdekraft.

Aufgabe 5. Gegeben: die Zahl der stündlich vom Kessel verdampften Kubikfüße Wasser, der Durchmesser und die Geschwindigkeit des Kolbens; den auf ihn wirkenden (mittleren) Dampfdruck oder, was dasselbe ist, den auf ihn wirkenden Widerstand zu finden.

Auflösung. Man suche nach Aufgabe 1 und 2 die stündlich durch den Cylinder fließende Dampfmenge und dividire diese (in Kubikfüßen ausgedrückt), durch die stündlich verdampften Kubikfüße Wasser, so erhält man den aus einem Kubikfuß Wasser entstehenden Dampf in Kubikfüßen. Diese oder die nächste Zahl suche man in Tabelle II. auf, so giebt die nebenstehende Zahl den Dampfdruck in Atmosphären, oder mit 15 multiplicirt in Pfunden auf den Quadratzoll. Die gefundene Zahl mit der ganzen Kolbenfläche (in Quadratzollen) multiplicirt giebt endlich den gesammten Dampfdruck oder den Gesamtwiderstand, welchen der Kolben erleidet.

Beispiel: Welchen Widerstand kann ein 35 zölliger Kolben mit 200 Fuß Geschwindigkeit und bei 55 Pferdekraft überwinden?

Nach Aufgabe 1 und 2 finden wir die Fläche des 35 zölligen Kolbens 962.11 Quadratzoll = 6.68 Quadratfuß; durch Multiplikation mit 200 = 1336 als Dampfverbrauch in der Minute, und durch nochmalige Multiplikation mit 60 = 80160 als Dampfverbrauch in der Stunde in Kubikfüßen. Diese Zahl wird durch 55 als die Zahl der stündlich verdampften Kubikfuß Wasser dividirt und man erhält den Quotienten 1457.5 als

Zahl der aus einem Kubikfuß Wasser entstehenden Kubikfüße Dampf. Nach Tabelle II entspricht dies nahezu einem Dampfdrucke von 1.2 Atmosphären oder 15 Mal genommen, von 18 Pfunden auf den Quadrat Zoll, was auf die ganze Kolbenfläche einen Druck von 17318 Pfund ergibt.

Aufgabe 6. Gegeben: die stündlich verdampfte Wassermenge, der Dampfdruck im Cylinder und der Durchmesser des Kolbens; seine Geschwindigkeit zu bestimmen.

Auflösung. Man suche in Tabelle II den gegebenen Dampfdruck, so giebt die entsprechende Zahl mit der Zahl der stündlich verdampften Kubikfüße Wasser multiplicirt, den stündlich, und der 60ste Theil hiervon, den in der Minute durch den Cylinder gehenden Dampf in Kubikfüßen. Letztere Zahl dividire man durch die nach Aufgabe 1 in Quadratfüßen ausgedrückte Kolbenfläche, so ist der Quotient die gesuchte Kolbengeschwindigkeit.

Beispiel. Mit welcher Geschwindigkeit bewegt sich ein Kolben von 35 Zoll Durchmesser gegen einen Widerstand von $22\frac{1}{2}$ Pfund pro Quadrat Zoll der Kolbenfläche, wenn der Kessel stündlich 56 Kubikfuß Wasser verdampft?

$22\frac{1}{2}$ Pfund Druck auf den Quadrat Zoll sind $1\frac{1}{2}$ oder 1.5 Atmosphären, und bei diesem Druck liefert nach Tabelle II ein Kubikfuß Wasser 1197 Kubikfuß Dampf; 56 Kubikfuß liefern also $56 \text{ mal } 1197 = 67032$ Kubikfuß. Der 60ste Theil hiervon ist 1117.2 Kubikfuß, und so viel Dampf geht also in der Minute durch den Cylinder. Nach Aufgabe 1 finden wir die Kolbenfläche gleich 6.68 Quadratfuß und hiermit in 1117.2 dividirt, ergibt sich 167.2 Fuß als die gesuchte Geschwindigkeit des Kolbens.

Kapitel 27.

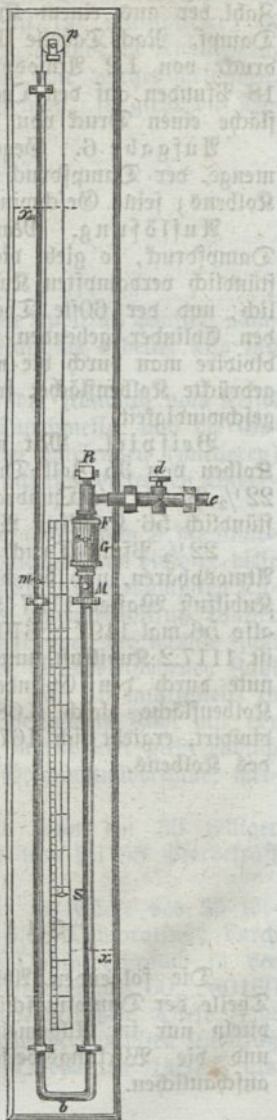
Illustrationen.

Die folgenden Abbildungen und Beschreibungen einzelner Theile der Dampfmaschinen, welche in den vorhergehenden Kapiteln nur im Allgemeinen erklärt wurden, werden den Bau und die Wirkungsweise dieser Maschinen noch mehr veranschaulichen.

1. Das Quecksilbermanometer für Niederdruckkessel.

Die nebenstehende Fig. 16 stellt dieses Instrument dar. c ist eine Röhre, welche nach dem Dampfraum des Kessels führt; d ein Hahn, um die Verbindung mit demselben nach Belieben herstellen und unterbrechen zu können. M b m ist eine heberförmige eiserne Röhre, die hoch genug für eine dem Ueberdruck des Dampfes das Gleichgewicht haltende Quecksilbersäule sein muß.

Bei M und m sind zwei kleine durch Schrauben verschließbare Oeffnungen. Man gießt durch eine Oeffnung bei R Quecksilber in die Röhre, bis es aus M und m ausfließt; dann verschließt man diese Oeffnungen sowie auch R, nachdem man noch etwas Wasser auf die Oberfläche des Quecksilbers bei M hat einschießen lassen. In den längeren Schenkel wird ein Schwimmer eingelassen und daran ein Faden befestigt, dessen anderes über die Rolle p geleitetes Ende einen kleinen Zeiger S trägt, der auf einer Scala spielt. Wenn nun der Hahn d geöffnet wird, so strömt vom Kessel aus Dampf in die Röhre und drückt bei G auf die Oberfläche der Flüssigkeit; die Quecksilbersäule wird also in dem Schenkel M b bis zu irgend einem Punkte x, niedergedrückt, und in dem längeren Schenkel bis zu einem andern Punkte x_1 gehoben, der soviel über m als x, in dem kürzeren Schenkel unter M liegt.



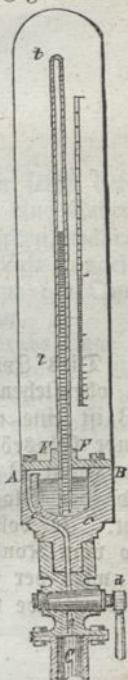
Das Quecksilber hebt bei seinem Steigen in dem längeren Schenkel den Schwimmer, dessen Gegengewicht S also sinken muß, und nun ist die Scala so eingerichtet, daß sie die Höhe der Quecksilbersäule von x_1 bis x_{11} anzeigt, welche dem Ueberdruck des Dampfes im Kessel über den Druck der Luft von außen das Gleichgewicht hält. Da eine Quecksilbersäule von 28 Zoll Höhe einen Druck von ungefähr 15 Pfund ausübt, also eine Quecksilbersäule von 2 Zoll Höhe mit $1\frac{5}{14} = 1\frac{1}{14}$ Pfund drückt, so kann man, wo es nicht auf Genauigkeit ankommt, für je 2 Zoll Unterschied in dem Stande des Quecksilbers in beiden Schenkeln, ein Pfund Ueberdruck des Dampfes im Kessel annehmen.

2. Das Quecksilbermanometer für Hochdruckkessel.

Für hochgespannte Dämpfe würde das eben beschriebene Instrument sehr groß sein müssen und daher unbequem werden. Man wendet daher bei Hochdruckkesseln eine andere Art von Manometern an, deren Einrichtung Figur 17 veranschaulicht.

Figur 17.

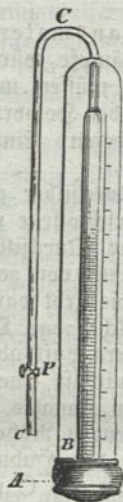
AB ist ein mit Quecksilber gefülltes Gefäß und t eine oben geschlossene und mit der untern Oeffnung in das Quecksilber tauchende Glasröhre, welche Luft von gewöhnlicher Spannung enthält. Sie geht dampfdicht durch den Deckel FF , welcher das Quecksilbergefäß AB von der äußern Luft abschließt. Dieses steht hingegen vermittelst eines durch den Hahn d verschließbaren Kanales ee mit der zum Dampfkessel führenden Röhre C in Verbindung. Wenn nun der Hahn d geöffnet wird, so drückt der durch C und e einströmende Dampf auf die Oberfläche des Quecksilbers in AB und treibt in die Glasröhre t eine Quecksilbersäule, welche die darin enthaltene Luft so weit zusammenpreßt, daß ihr Druck, vermehrt um den Druck der gegebenen Quecksilbersäule, gleich dem Dampfdruck im Kessel ist. Wir wissen, daß Luft, die auf die Hälfte oder ein Drittheil ihres ursprünglichen Volums zusammengedrückt ist, doppelt oder dreimal so stark drückt als vorher; wäre daher nach Zulassung des Dam-



pfes der lusterfüllte Raum am obern Ende der Glasröhre nur etwa $\frac{1}{3}$ des ursprünglichen, so hätte der Dampf eine Spannung von 5 Atmosphären und außerdem noch so viel mal $\frac{1}{2}$ Pfund, als die Quecksilbersäule Zolle hoch ist, da, wie wir gesehen haben, ein Zoll Quecksilber mit ungefähr $\frac{1}{2}$ Pfund auf den Quadratzoll drückt.

3. Die Barometerprobe.

Fig. 18.

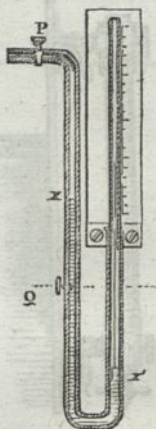


Dies Instrument wird auf verschiedene Weise construirt. In obenstehender Figur 18 enthält das Gefäß A Quecksilber, BB ist eine mit ihrem untern Ende in das Quecksilber tauchende Glasröhre, und CC eine heberförmig gebogene, durch den Hahn P verschließbare Röhre, durch welche das obere Ende der Glasröhre BB mit dem Kondensator in Verbindung steht. Je vollkommener nun die Kondensation ist, je weniger also vom Kondensator aus ein Gegendruck stattfindet, desto näher wird der Stand des Quecksilbers dem gewöhnlichen Barometerstande von 28 Zoll kommen, und die Zahl der Zolle,

um welche es unter diesem Punkte steht, giebt die Spannung der im Condensator befindlichen Dämpfe der Luft an.

Die folgende Figur (Fig. 19) stellt eine andere Form die-

Figur 19.

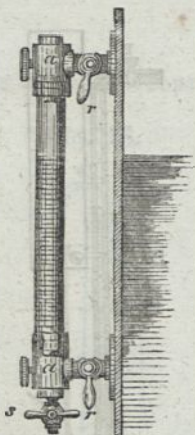


ser Vorrichtung dar, bei welcher das Barometer selbst heberförmig ist. Vermittelt des Hahnes P kann der eine Schenkel mit dem Condensator in Verbindung gebracht werden, während der andere oben offen und der Einwirkung der Luft ausgesetzt ist. Ein Schwimmer nebst Scale giebt den Stand des Quecksilbers ganz wie bei dem Quecksilbermanometer an.

Man kann auch eine eigentliche Barometerprobe, wie sie bei Luftpumpen gebräuchlich ist, mit dem Condensator in Verbindung setzen, wo der äußere Schenkel oben geschlossen ist, und die Höhe, bis zu welcher das Quecksilber steigt, die Spannung der Dämpfe und Luft im Condensator an giebt. Eine solche Vorrichtung kann genau die Form des oben beschriebenen Manometers für Hochdruckkessel haben, nur daß die Glasröhre luftleer sein muß.

4. Das Wasserstandsglas.

Figur 20.

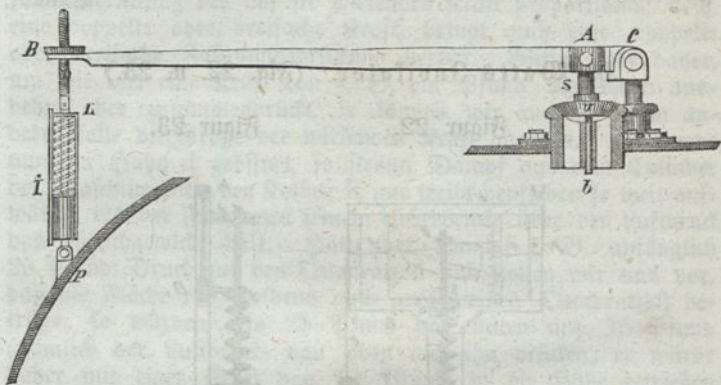


Die Fig. 20 stellt das schon früher beschriebene Wasserstandsglas vor. Die in die Hülfsen *a a* eingelassene, an beiden Enden offene Glasröhre kann vermittelst der Hähne *r r* oben mit dem Dampf- raume, und unten mit dem Wasserraume des Kessels in Verbindung gesetzt werden. Wenn also beide Hähne offen sind, tritt von oben Dampf und von unten Wasser in die Glasröhre, und die Oberfläche des Wassers nimmt folglich in der Röhre denselben Stand an, wie im Kessel. Zwei Zeichen, die auf der Röhre eingerissen sind, geben den höchsten und tiefsten erlaubten Wasserstand an, und zwischen diesen beiden Punkten muß also die Oberfläche des Wassers bei richtiger Wartung des Kessels immer erhalten werden.

Der Hahn *s*, am untern Ende der Röhre, dient zum Ablassen des Wassers aus der Röhre.

5. Das Federventil für Hochdruckkessel. (Fig. 21.)

Figur 21.



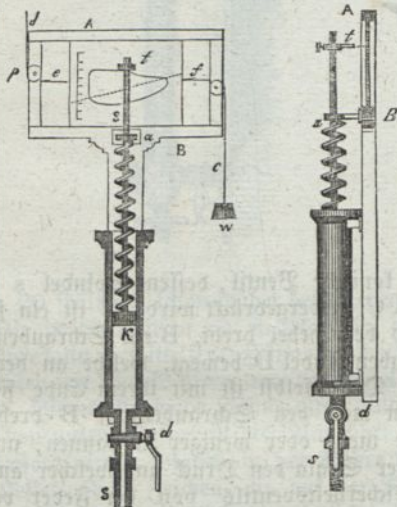
v ist das konische Ventil, dessen Spindel s bei A, durch den Hebel B A C niedergedrückt wird. C ist ein fester Bolzen, um welchen sich der Hebel dreht, B ein Schraubenkopf, der sich auf der Schraubenspindel D bewegt, welche an der Federwaage L befestigt ist. Diese selbst ist mit ihrem Ende sicher in P befestigt. Indem man den Schraubenkopf B dreht, kann man die Federwaage mehr oder weniger anspannen, und ein Zeiger J giebt auf einer Scala den Druck an, welcher auf jeden Quadratzoll des Sicherheitsventils von der Feder vermittelst des Hebels B A C ausgeübt wird. Je länger der Hebelsarm BC im Verhältniß zu A C ist, einen desto größeren Druck kann man durch die Feder auf das Ventil ausüben. So lange der Dampfdruck im Kessel geringer ist, als der von außen auf das Ventil wirkende Druck, muß offenbar das Ventil geschlossen bleiben, und erst, wenn er über diesen steigt, hebt es sich und läßt Dampf entweichen, gerade wie bei dem gewöhnlichen Sicherheitsventil. Man kann sich dieser Vorrichtung auch bedienen, um die Dampfspannung im Kessel zu messen, indem man die Schraube B so weit löset, bis der Dampf das Ventil zu

heben anfängt und die Zahl auf der Scala abliest. Wegen der ziemlich veränderlichen Spannkraft der Federn, ist jedoch von dieser Vorrichtung keine große Genauigkeit zu erwarten, und ihre Anwendung ist daher hauptsächlich auf Lokomotiven beschränkt, bei welchen eine Belastung des Ventils durch Gewichte nicht gut thunlich ist.

6. Watts Indikator. (Fig. 22. u. 23.)

Figur 22.

Figur 23.

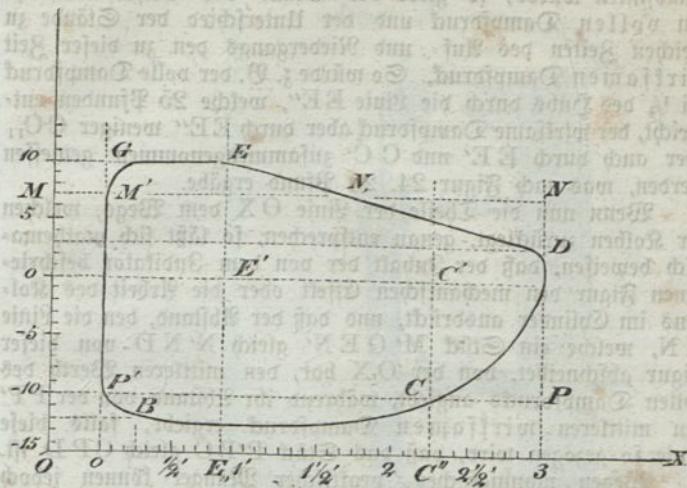


Von diesem kleinen schon beschriebenen Instrumente, stellt Fig. 22 eine Vorder- und Fig. 23 eine Seitenansicht dar. Der an dem Kolben K befestigte Stab S spielt in einer Hülse a. Bei t ist der Halter des Stifts. Bei s ist ein Schraubengewinde, mit welchem das Instrument in den Deckel des Cylinders eingeschraubt wird. d ist ein Hahn, vermittelst dessen man den Indikator nach Belieben mit dem Cylinder in Ver-

bindung setzen oder davon absperren kann. Das untere Ende der die Stange S umgebenden Spiralfeder ist an dem Kolben K und das obere an der Hülse a befestigt. Wenn also der Kolben steigt, so wird die Feder zusammengedrückt und wenn er fällt, so wird sie ausgedehnt, und nach den bekannten Eigenschaften dieser Art von Federn ist ihre Ausdehnung oder Zusammendrückung der auf sie wirkenden Kraft proportional, d. h. eine doppelte oder dreifache Kraft, bringt auch eine doppelte oder dreifache Zusammendrückung hervor. Wissen wir daher, um wie viel eine Kraft von z. B. ein Pfund die Feder ausdehnt oder zusammendrückt, so können wir auch in jedem andern Falle die Größe der wirkenden Kraft angeben. Es werde nun der Hahn d geöffnet, so strömt Dampf aus dem Cylinder der Maschine unter den Kolben K und treibt denselben so weit aufwärts, bis der Federdruck seinem Ueberdrucke über den Luftdruck das Gleichgewicht hält. Hätte der Dampf z. B. anfänglich 25 Pfund Druck auf den Quadratzoll und stellen wir uns vor, daß die Fläche des Kolbens auch gerade einen Quadratzoll betrage, so würden also 25 Pfund von unten und 15 Pfund (nämlich der Luftdruck) von oben auf ihn drücken; er würde daher mit einer Kraft von 10 Pfund in die Höhe getrieben und die Feder würde 10 mal so viel zusammengedrückt werden, als wenn nur Dampf von 16 Pfund Druck, d. h. 1 Pfund Ueberdruck von unten wirke. Ebenso wird der Kolben K mit dem Ueberschuß des Luftdrucks über den Druck der noch nicht kondensirten Dämpfe hinabgedrückt werden, sobald die Verbindung mit dem Condensator hergestellt wird. Spielte nun das obere Ende der Kolbenstange auf einer Scala, von der etwa jeder Theil ein Pfund Ueberdruck anzeigte, so würde es geradezu in jedem Augenblicke des Kolbenniederganges den Ueberdruck des Dampfes über den der Luft, und in jedem Augenblicke des Kolbenaufgangs den Ueberdruck der Luft über den Dampfdruck angeben. Offenbar findet aber unter dem Kolben in dem Hauptcylinder die Veränderung in der Dampfspannung gerade in derselben Art statt, wie über demselben, und der Ueberdruck der Luft, der bei dem Aufgange des Kolbens vom Indicator angezeigt wird, entspricht daher dem Ueberdruck der Luft über die Dampfspannung auf der unteren Seite des Kolbens. Es zeige nun z. B. der Indicator, wenn der Kolben bei seinem Aufsteigen $\frac{1}{4}$ des Hubs zurückgelegt hat, 10 Pfund Ueberdruck der Luft, also 5 Pfund Dampfspannung, so wird

auch auf der untern Seite des Kolbens die Dampffspannung 5 Pfund betragen, wenn der Kolben bei seinem Niedergang $\frac{1}{4}$ seines Weges zurückgelegt hat. Gesezt nun, der Indicator zeige dann 10 Pfd Ueberdruck des Dampfes, so ist der wahre Dampfdruck in diesem Augenblicke von der oberen Kolbenseite 10 und 15 Pfd = 25 Pfund, und der Gegendruck der nicht condensirten Dämpfe von unten 5 Pfund, der wirksame Dampfdruck also 25 weniger 5 Pfund = 20 Pfund pro Quadrat Zoll. Dasselbe würde man aber auch durch Addiren des Luft- und Dampfüberdrucks von je 10 Pfund zu den entsprechenden Zeiten erhalten haben, und man erfährt also den wirksamen Dampfdruck in irgend einem Punkte des Hubs, wenn man die entsprechenden Angaben des Indicators für einen Auf- und Niedergang des Kolbens im Cylinder addirt. Da jedoch der Kolben des Indicators fortwährend in rascher Wechselbewegung ist, so wird es schwer sein, seinen jedesmaligen Stand richtig abzulesen, oder gar die Geschwindigkeit mit der er sich in jedem Punkte bewegt zu bestimmen. Vermittelt einer sinnreichen Vorrichtung notirt nun die Maschine selbst das Spiel des Indicators. AB (Fig. 24) ist ein kleiner Rahmen, dessen Höhe etwas größer als die Entfernung des höchsten und niedrigsten Indicatorstandes ist. In ihm bewegt sich wagerecht eine mit Papier überzogene kleine Tafel, indem sie vermittelt einer um die Rolle p geführten und an einem der wechselweise auf- und niedersteigenden Maschinentheile befestigten Schnur nach links und durch das Gegengewicht W wieder beim Niedergang des betreffenden Maschinentheils nach rechts gezogen wird. Auf dieser Tafel zeichnet nun ein bei t angebrachter Stift seinen jedesmaligen Stand an und beschreibt daher eine zusammenhängende Linie, welche, wenn Expansion Statt findet, ungefähr die umstehende Form (Figur 24) hat.

Figur 24.



Der Zeiger hat seinen tiefsten Stand in B, bevor noch der Kolben im Cylinder seinen höchsten Stand erreicht hat, weil schon vor ganz vollendetem Hub Dampf auf die andere Seite des Kolbens gelassen zu werden pflegt, der gewissermaßen als Polster dient. Dann nimmt die Dampfspannung fast plötzlich ihren größten Werth an, und der Zeiger des Indicators geht fast senkrecht nach G hinauf und bewegt sich dann fast parallel bis E, wo, auf $\frac{1}{4}$ des Hubs, der Dampf abgesperrt wird, und die Dampfspannung also fortwährend abnimmt. Wenn der Stift in D ist, wird die Verbindung mit dem Condensator hergestellt und sein Stand sinkt, während sich das Papier zurückbewegt, schnell bis C, wo schon fast vollständige Kondensation, soweit sie überhaupt stattfindet, eingetreten ist, so daß die Dampfspannung von C bis B, wo das Spiel von Neuem beginnt, nur noch wenig abnimmt. Wie schon erwähnt, zeigt der Stand des Stifts über der durch den Theilpunkt 0 gezogenen und mit O X parallel gezogenen Linie den Ueberdruck des Dampfes über den der Luft, der Stand unter derselben den Ueberdruck der Luft über den nicht vollständig kondensirten Dampf an. Ist also die O X so gezogen, daß der Zeiger bei einer ganz vollständigen Kondensation bis zu ihr

hinabsinken würde, so giebt der Stand des Stifts über ihr den vollen Dampfdruck und der Unterschied der Stände zu gleichen Zeiten des Auf- und Niedergangs den zu dieser Zeit wirksamen Dampfdruck. So würde z. B. der volle Dampfdruck bei $\frac{1}{4}$ des Hubs durch die Linie EE'' , welche 25 Pfunden entspricht, der wirksame Dampfdruck aber durch EE'' weniger CC_{11} , oder auch durch EE' und CC' zusammengenommen gemessen werden, was nach Figur 24. 20 Pfund ergäbe.

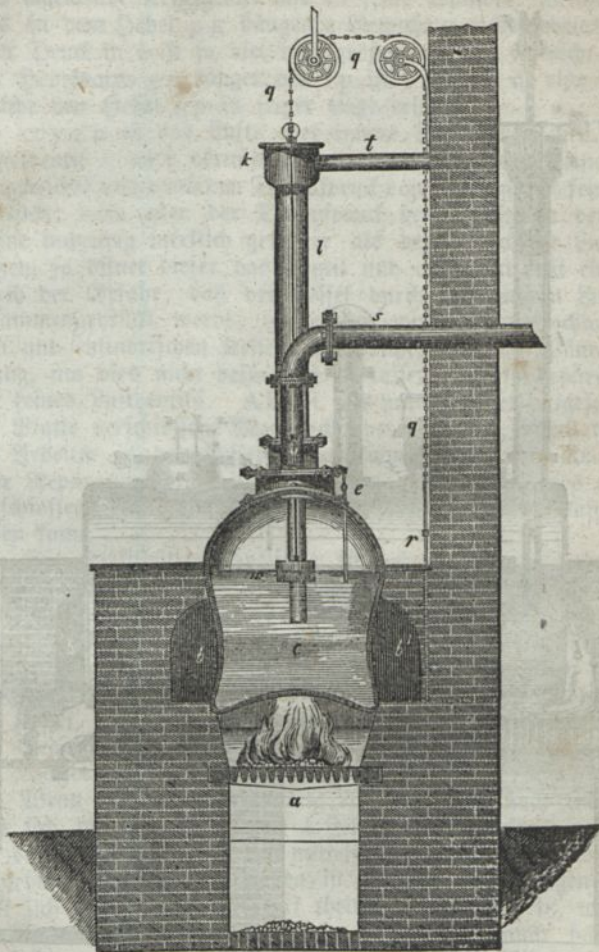
Wenn nun die Theile der Linie OX dem Wege, welchen der Kolben zurücklegt, genau entsprechen, so läßt sich mathematisch beweisen, daß der Inhalt der von dem Indikator beschriebenen Figur den mechanischen Effect oder die Arbeit des Kolbens im Cylinder ausdrückt, und daß der Abstand, den die Linie MN , welche ein Stück $M'GEN'$ gleich $N'ND$ von dieser Figur abschneidet, von der OX hat, den mittleren Werth des vollen Dampfdrucks angiebt, während ihr Abstand von der PP' den mittleren wirksamen Dampfdruck ergiebt, falls diese Linie so gezogen wird, daß das Stück $P'BC$ gleich CPD ist.

Wegen mannigfacher, praktischer Mängel können jedoch diese Angaben des Instruments nicht als vollkommen genau angesehen werden, und sein Hauptwerth besteht darin, daß es über den Grad der Condensation und darüber, ob sie genug eintritt, Aufschluß giebt.

Kessel nebst Zubehör. (Fig. 25. 26.)

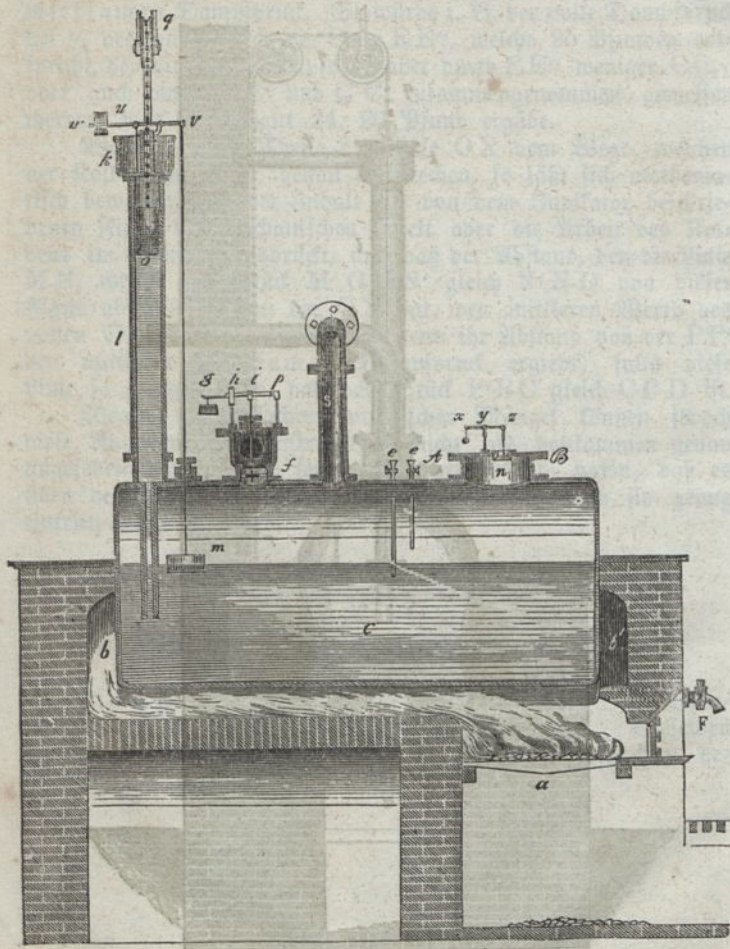
Figur 25 stellt einen Koffer- oder Wagenkessel im Querschnitt und Figur 26 im Längendurchschnitt dar. Dieselben Theile sind in beiden Figuren mit denselben Buchstaben bezeichnet.

Figur 25.



a ist der Kessel, auf welchem das Schmelzmaterial liegt, b sind die
 c die um den Kessel laufenden Röhren; c die Feuerzylinder;

Figur 26.



a ist der Kofst, auf welchen das Brennmaterial liegt; b und b' die um den Kessel laufenden Züge; e e, die Probirhähne;

s die Dampfleitungsröhre, welche vom Kessel nach dem Cylinder geht; g h i p f ist das Sicherheitsventil und zwar ist f das eigentliche Regelventil und f i seine Spindel, welche durch das an dem Hebel p g hängende Gewicht g niedergedrückt wird. Der Druck in i ist so viel mal größer als das Gewicht g, als der Hebelsarm gp länger als i p ist. Bei h ist eine Gabel, welche den Hebel gp in seiner Lage erhält.

x y z n ist das Luft- oder innere Sicherheitsventil. Das Regelventil n wird vermittelt des in x hängenden kleinen Gegengewichts und durch den Dampfdruck von innen gegen sein Lager gedrückt; wird aber der Dampfdruck beim Abstellen der Maschine inwendig merklich geringer als der Druck der Luft von außen, so öffnet dieser das Ventil und es strömt Luft ein, wodurch der Gefahr, daß der Kessel durch den äußern Luftdruck zusammengedrückt werde, vorgebeugt wird. Bei Hochdruckkesseln und cylindrischen Kesseln überhaupt, sind die Wände stark genug, um dies nicht besünchten zu lassen, und sie bedürfen daher keines Luftventils. AB ist das mittelst einer aufgeschraubten Platte verschlossene Mannloch oder Fahrloch, durch welches ein Arbeiter in den Kessel steigen kann, wenn eine Reinigung oder Reparatur nöthig ist. F ist das mittelst eines Hahns verschlossene Ausblaserohr, durch welches man das Wasser ablassen kann.

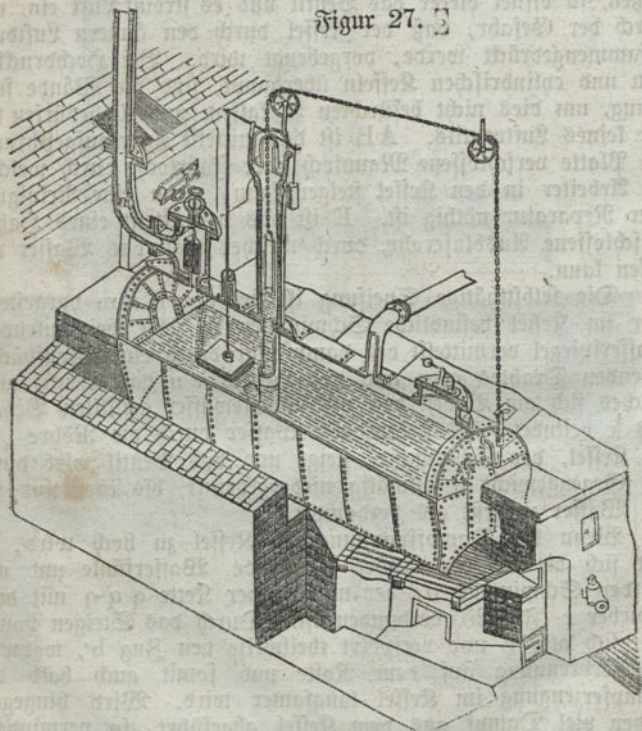
Die selbstthätige Speisung ist bei w u k v m dargestellt. Der im Kessel befindliche Schwimmer m zieht bei sinkendem Wasserspiegel mittelst des dampfdrucht durch eine Stopfbüchse gehenden Drahtes m v und des Hebels v u das Ventil auf, welches sich am Boden des mit Speisewasser gefüllten Behälters k befindet. Es strömt also Wasser durch die Röhre l in den Kessel, der Schwimmer steigt und das Ventil wird durch das Gegengewicht w allmählig niedergedrückt, bis eben nur so viel Wasser zufließt als verdampft.

Wenn die Dampfspannung im Kessel zu hoch wird, so hebt sich die in der Röhre l stehende Wassersäule und mit ihr der Schwimmer o, der mittelst der Kette q q q mit dem Schieber r (Fig. 25) verbunden ist. Durch das Steigen von o senkt sich also r und versperrt theilweise den Zug b', wodurch die Verbrennung auf dem Roste und somit auch bald die Dampferzeugung im Kessel langsamer wird. Wird hingegen wieder viel Dampf aus dem Kessel abgeführt, so vermindert sich seine Spannung, die Wassersäule in l und der Schwimmer

o fallen und letzterer bewirkt durch das Aufziehen des Schiebers r eine lebhaftere Verbrennung und schnellere Dampferzeugung.

Alle die beschriebenen Einrichtungen werden durch die folgende perspektivische Abbildung (Fig. 27) eines Kofferkessels noch mehr veranschaulicht werden. Der Kofst und ein Theil der Züge sind durch Hinwegnahme eines Theils der Mauern sichtbar gemacht und man sieht auch das Innere des Kessels, indem die eine Hälfte des halbcylindrischen Daches weggeschnitten ist. V ist ein Sicherheitsventil mit direkter Belastung (ohne Hebel) und die Röhre R leitet den daraus entweichenden Dampf in das Speisewasser, so daß die zu seiner Erzeugung verwendete Wärme nicht verloren geht.

Figur 27.]



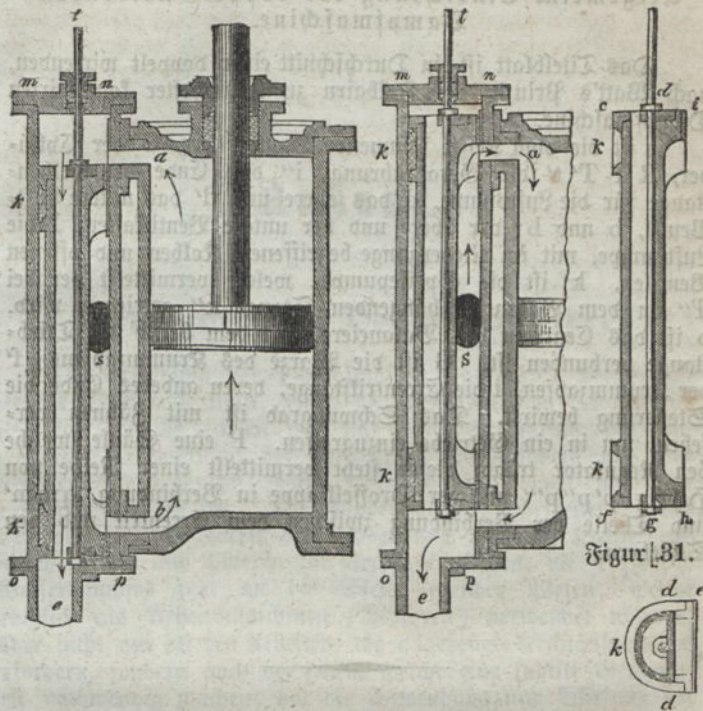
Die Schieberventile.

Die beigegefügtten Abbildungen (Fig. 28, 29, 30, 31),

Figur 28.

Figur 29.

Figur 30.



stellen einige der üblichsten Schieberventile dar. Figur 28 ist ein Durchschnitt des Cylinders, Kolbens und Schiebers. S ist die Mündung der Dampfrohre und e die zum Condensator führende Röhre; die Anordnung kann aber auch umgekehrt sein. t ist die Schieberstange, welche durch eine Stopfbüchse geht. Figur 30 stellt den Schieber allein im Längendurchschnitt und Figur 31 im Querschnitt dar, von dessen Form er den Namen D-Schieber erhalten hat. In Fig. 28 ist der Kolben im Aufsteigen, in Figur 29 im Niedergange begriffen, und die Pfeile deuten den Weg, auf welchen der Dampf in den Cylinder und Condensator gelangt, an. kk sind dampfdichte Liderungen, welche sich gegen den halbcylindrischen Schieberkasten legen.

Allgemeine Einrichtung der doppelt wirkenden Dampfmaschine.

Das Titelblatt ist ein Durchschnitt einer doppelt wirkenden, nach Watt's Prinzip von Fairbairn zu Manchester konstruirten Dampfmaschine.

s ist die vom Kessel kommende Dampfrohre, C der Cylinder, R T T' t' die Geradsführung, i'' das Ende der Kolbenstange für die Luftpumpe, d das obere und d' das untere Luftventil, b und b' der obere und der untere Ventilkasten, I die Luftpumpe, mit im Niedergange begriffenem Kolben und offenen Ventilen. k' ist die Speisepumpe, welche vermittelt der bei T'' an dem Balancier hängenden Stange k'' getrieben wird. o ist das Centrum des Balanciers, mit dem bei F die Triebstange verbunden ist. G ist die Wurze des Krummzapfens, f' der Krummzapfen, l die Excentrikstange, deren anderes Ende die Steuerung bewirkt. Das Schwungrad ist mit Zähnen versehen, um in ein Getriebe einzugreifen. P eine Säule, welche den Regulator trägt; dieser steht vermittelt einer Reihe von Hebeln p'p''p''' mit der Drosselklappe in Verbindung, qm m' sind Theile der Verbindung zwischen dem Excentrik und den Schiebern.

Anhang.

Geschichte der Dampfmaschine.

Die Erfindung der Dampfmaschine bezeichnet, ebenso wie die der Buchdruckerkunst, einen neuen Abschnitt in der Kulturgeschichte der Menschheit und mit ihrer Einführung hat eine großartige Entwicklung der Industrie, des Handels und des Weltverkehrs begonnen, deren weitreichende Folgen noch gar nicht zu ermessen sind. Die Ausdehnung und Erweiterung des Verkehrs bedingte zuerst die Anwendung größerer Kräfte, als den Menschen und Thieren zur Verfügung stehen; die Kraft des Wasserdampfes trat an die Stelle lebender Wesen, welche lediglich als Arbeitsmaschinen (Motoren) verwendet wurden. Aber nicht nur bei den Arbeiten, die ungeheurere Kraftäußerungen erfordern, sondern auch bei jenen, welche eine subtile Genauigkeit nothwendig machen, hat die Anwendung und Wirkung der Dampfmaschine gleich bewundernswerthe Erfolge gehabt; man hat die Dampfmaschine nicht nur zum Fortbewegen von Lasten, Wagen und Schiffen, zu Wasserpumpen, Mühlen, in Berg- und Hüttenwerken, in Brauereien, Fabriken, und in allen den Fällen, wo jede andere Kraft nicht ausreichte, angewandt, sondern man hat ihr auch bei Münzwerken, Dreh-, Bohr- und Spinnmaschinen, bei Webstühlen, in Druckereien u. s. w. die Stelle eines Motors übertragen. Es ist daher gewiß nicht ohne Interesse, die Geschichte dieser überaus wichtigen Erfindung näher kennen zu lernen.

Der erste Versuch zur Benutzung des Dampfes um eine Bewegung hervorzubringen und die ersten Angaben der Con-

struction der Dampfmaschine fällt in die Zeit des 17ten Jahrhunderts. Schon vorher kannte man die Kraft und Entstehung des Dampfes, ohne mit Hülfe derselben eine mechanische Wirkung, eine fortdauernde Bewegung erzeugen zu können. In letzterer Beziehung war es nämlich nöthig, die große Kraft des Dampfes nicht nur erzeugen, sondern auch wieder vernichten oder den Dampf verdichten zu können.

Die erste bestimmte Idee dieser Art wurde von Dionysius Papin, der zu Marburg in Hessen lebte, ausgesprochen. Derselbe hatte bereits seit 1680 viele Versuche über die Wirkung eingeschlossener Dämpfe angestellt, auch den noch heute nach ihm benannten Digestor (Papinianischen Topf), so wie das so hochwichtige Sicherheits-Ventil erfunden, als er später auf den Gedanken kam, den Dampf in einem Cylinder auf eine Art Kolben wirken zu lassen. Er bedeckte nämlich den Boden eines Cylinders mit einer Schicht Wasser, verwandelte letzteres in Dampf, indem er den Cylinder über Feuer setzte und trieb so den Kolben in die Höhe. Durch Entfernung des Feuers, oder des Cylinders von letzterem, bewirkte er eine Verdichtung des Dampfes, so daß die atmosphärische Luft auf den Kolben des offenen Cylinders wirken und diesen herabdrücken konnte. Ungefähr um dieselbe Zeit war ein englischer Kapitain Savery auf dieselben Gedanken gekommen und hatte bereits mehrere Maschinen wirklich ausgeführt, als er 1696 eine Beschreibung derselben heraus gab. Papin dagegen beschrieb 1707 in einem Werke: „Art und Weise, durch die Kraft des Feuers Wasser zu heben,“ das in Cassel erschien, eine vollständige Hochdruckdampfmaschine.

Welchem der beiden genannten Männer die Priorität der Erfindung gebührt, möchte schwer zu entscheiden sein, vielmehr wird man annehmen müssen, daß sie von beiden zugleich gemacht wurde. So viel weiß man aber, daß Papin vor Savery seine Maschine nie anwandte und letzterem also die Erbauung der ersten Dampfmaschine im Großen gebührt. Savery machte hierbei von Papins Sicherheitsventil Gebrauch und brachte noch einige Verbesserungen an seiner Dampfmaschine an; sie behielt jedoch, so sinnreich sie auch konstruirt war, einige unverkennbare Uebelstände, denn sie verbrauchte nicht nur eine außerordentliche Menge von Brennmaterial, sondern war auch in großen Dimensionen sehr schwierig zu

konstruiren und man konnte mit derselben das Wasser nur auf eine geringe Höhe heben.

Von vielen Seiten beschäftigte man sich mit der Vervollkommnung der Savery'schen Maschine und suchte namentlich Papins erste Idee einer Kolbenmaschine an jener zu verwirklichen. Vollständig gelang dieses zuerst zwei Engländern, einem Eisenschmidt Thomas Newcomen und einem Glaser John Cowley und sie sind in der That als diejenigen zu betrachten, denen man die Einführung der mit Kolben wirkenden Dampfmaschinen zu verdanken hat. Da Savery vermöge eines Patentes das alleinige Recht besaß, durch Verdichtung des Dampfes einen luftverdünnten Raum zu erzeugen, so verbanden sich Newcomen und Cowley mit ihm, indem sie 1705 ein Patent nahmen, „um unter den Kolben geführten Dampf zu kondensiren und eine abwechselnde Bewegung durch seine Verbindung mit einem Hebel hervorzubringen.“

Die Einrichtung dieser, nach Newcomen oder auch „atmosphärische“ genannten Maschine gewährte nicht allein den Vortheil, daß, wenn man mit derselben Wasser heben wollte, der Dampf damit gar nicht in Berührung kam, sondern daß mit ihr zugleich die Möglichkeit zur Hervorbringung jeder Bewegung gegeben war und deshalb alle bis auf den heutigen Tag erfundenen Dampfmaschinen mit Kolben als aus dieser hervorgegangen zu betrachten sind. Sie wurde von einem Knaben, Humphry Potter, welcher die Bewegung der Hähne und des Dampfschiebers zu beaufsichtigen hatte, noch dahin verbessert, daß er das Mittel erfand, diesen Dienst von der Maschine selbst verrichten zu lassen.

Ungeachtet dieser Verbesserung war die Newcomensche Maschine in vielen Beziehungen noch sehr unvollkommen, wohin namentlich die Kondensation des Dampfes im Cylinder gerechnet werden mußte, indem hierdurch nicht nur ein sehr beträchtlicher Theil Wärme verloren ging, sondern im Cylinder auch nie eine vollständige Abkühlung erreicht werden konnte. Alle Bemühungen, die man anwandte, um diese Grundfehler der neuen Dampfmaschine zu heben, blieben fruchtlos und ihre Einrichtungen während beinahe 70 Jahren dieselben.

Im Jahre 1764 baute der geniale Watt (1736 zu Greenock in Schottland geboren) das Modell einer Newcomenschen Maschine, fügte jedoch einen besonderen Condensator hinzu. Von hier ab datirt sich die Vervollkommnung der Dampf-

maschine zu einem solchen Grade, daß man selbst bis auf den heutigen Tag nicht im Stande gewesen ist, größere und wesentliche Verbesserungen in den Haupttheilen der Maschine zu machen. Mit vollem Rechte betrachtet man daher Watt als den zweiten Erfinder, oder besser als den eigentlichen Schöpfer der Dampfmaschine von der Form und Einrichtung, wie wir sie jetzt beinahe in allen Zweigen der Industrie haben.

Watt's wesentliche Verbesserungen bestanden in Folgendem:

- 1) brachte er einen sogenannten Condensator in Anwendung, und verband auch hiermit die Luftpumpe;
- 2) schloß er den bisher immer oberhalb offenen Cylinder durch eine Platte, brachte in der Mitte derselben eine kreisrunde Oeffnung für den Durchgang der Kolbenstange an und dichtete erstere mit Hilfe der sogenannten Stopfbüchse, wodurch die Wirkung des Atmosphärendruckes ganz weg fiel;
- 3) erfand er den Krummzapfen und die excentrische Scheibe, wodurch die geradlinigte Bewegung der Maschine in eine kreisförmige umgesetzt werden konnte; auch soll er das Schwungrad eingeführt haben;
- 4) gab er zuerst das s. g. Parallelogramm oder eine sinnreiche rahmenförmige Verbindung von kurzen Eisenstangen an, wodurch die Kolbenstange möglichst senkrecht geführt wird;
- 5) führte er das Centrifugalpendel (Regulator) ein, um den Dampfzufluß aus dem Kessel zur Maschine nach Umständen zu reguliren, brachte ferner Manometer und andere Indicatoren an, um in Kessel, Cylinder und Condensator die Dampfspannung messen zu können;
- 6) verbesserte er Kessel und Ofeneinrichtung, so daß das Brennmaterial weit nutzbarer als früher verwandt wurde.

Außer diesen Verbesserungen wies Watt auch schon auf den Nutzen hin, welchen Dampfmaschinen gewähren würden, wenn man den Dampfzufluß absperre, ehe der Kolben seinen ganzen Weg im Cylinder zurückgelegt hat, so daß er auch als Erfinder der Dampfmaschine mit Abspernung oder Expansion zu betrachten ist.

Watt's erste Maschinen waren solche, bei denen der

Dampf nur den Niedergang des Kolbens erzeugte, oder einfach wirkende, der Ausgang aber hervorgebracht wurde, daß man, wenn der Kolben den Boden des Cylinders erreicht hatte, den Dampfzufluß absperrete, und den vorher eingeführten Dampf dann über und unter den Kolben treten ließ, der Druck zu beiden Seiten sich also aufhob. Ein am andern Ende des Balancier's angebrachtes Gegengewicht, nebst dem daselbst zum Wasserheben befindlichen Pumpengestänge, konnte daher das Aufsteigen des Kolbens leicht bewirken.

So zweckmäßig die einfach wirkende Watt'sche Maschine für das Heben von Wasser und Salzsoolen selbst heute noch ist, so beinahe unbrauchbar wird dieselbe zur Verrichtung anderer mechanischer Arbeiten. Die meisten industriellen Zwecke machen das Umsetzen der geradlinigen Kolbenbewegung in eine kreisförmige nothwendig, was bei der einfach wirkenden Maschine zwar möglich ist, aber, wenn die erzeugte Bewegung eine sehr gleichförmige sein soll, nur dann erreicht werden kann, wenn man eine außerordentliche große träge Masse (das Schwungrad) mit in die Kreisbewegung versetzt. Um aber eine solche Masse zu bewegen, muß der Maschine eine Menge Kraft verloren gehen, die sonst auf Nutzarbeit hätte verwandt werden können.

Watt's Genie erkannte diese Uebelstände bald, und sie führten ihn zur Erfindung der doppelwirkenden Dampfmaschine. Bei dieser bewirkt der Dampf sowohl das Auf- als Niedergehen des Kolbens, das Gegengewicht wird ganz unnöthig und das Schwungrad, welches man wegen einer gleichförmigen Kreisbewegung anzubringen hat, kann von weit geringerem Gewichte sein. Im Jahr 1782 erhielt Watt ein Patent auf die doppelwirkende Maschine, und von dieser Zeit an tritt die Dampfmaschine als für alle industrielle Zwecke brauchbar auf.

Nach der Erfindung der doppelwirkenden Dampfmaschine mußte man leicht auf die Idee kommen, auch solche Maschinen zu konstruiren, wo der gebrauchte Dampf nicht kondensirt, sondern entweder in die atmosphärische Luft getrieben oder zu andern technischen Zwecken verwandt werden konnte. Da bei solchen Maschinen der Dampf, wenn er eine mechanische Wirkung erzeugen soll, natürlich eine höhere Spannung besitzen muß, als die der atmosphärischen Luft ist, bei den Watt'schen Maschinen diese Spannung aber nur selten die einer Atmosphäre

erreichte, so pflegte man die ohne Condensation arbeitenden Maschinen gewöhnlich Hochdruckmaschinen zu nennen. Die Benennung ist jedoch für den heutigen Standpunkt der Mechanik nicht mehr richtig, da man auch Watt'sche Maschinen mit einer Dampfspannung arbeiten läßt, welche die der Atmosphäre oft weit übertrifft, ja von einer guten Maschine wohl auch verlangt, daß sie bald mit Niederdruck (unter einer Atmosphäre Spannung), bald mit Hochdruck arbeiten kann.

Mehrfach hat man auch versucht, sogenannte Hochdruckmaschinen mit Niederdruckmaschinen zu verbinden und dabei zugleich von der Absperrung oder Expansion Gebrauch zu machen. Arthur Woolf führte diese Idee im Jahre 1804 praktisch aus und seine Maschine ist als Repräsentant des Expansionsystems zu betrachten. Sie wurde noch mehrfach verbessert und ihr Prinzip auch auf eincylindrige Maschinen angewandt, bei denen jedoch dann hohe und weite Dampfzylinder, große Kessel und starke Schwungräder nöthig werden. Besonders vortheilhaft wendet man die Expansion bei einfach wirkenden Watt'schen Maschinen oder überhaupt bei solchen an, die zum Heben von Wasser oder Salzfoole bestimmt sind.

Zu den neueren Verbesserungen der Dampfmaschine gehört ferner diejenige Construction, durch welche während der Bewegung des Kolbens der ganze Dampfzylinder eine schwingende Bewegung annimmt und die man deshalb oscillirende Dampfmaschinen genannt hat. Bei ihnen ist die ganze Maschine ungemein vereinfacht, so daß eine solche von 6 Pferdekraft nur einen Raum von 3 Quadratfuß Grundfläche bei 6' Höhe einnimmt. Die oscillirenden Dampfmaschinen sind weit weniger Reparaturen unterworfen, als andere; sie erweisen sich am Vortheilhaftesten dann, wenn man ihren Cylindern und Zubehör möglichst wenig Masse giebt, eine Bedingung, welche sich nur durch Anwendung hochgespannter Dämpfe und bei Maschinen von geringen Kräften erfüllen läßt. —

In der neuesten Zeit sind zahllose Verbesserungen, Abänderungen und Umgestaltungen in den Constructionen der Dampfmaschinen nach diesen verschiedenen Systemen angeregt und zum Theil ausgeführt worden, so daß eine Geschichte dieser Versuche den hier gegebenen Raum weit überschreiten müßte. In England hält man jetzt die Doppeltzylinder-Expansions-Maschine von Sims, mit liegenden Cylindern, für die beste der vorhandenen Constructionen. —

Es bleibt hier nun noch übrig, die Geschichte der Anwendung der Dampfmaschinen zur Bewegung von Räderfahrwerken kurz anzuführen. Die erste Idee zu dieser Benutzung der Dampfmaschine hatte zuerst Dr. Robinson in Glasgow (1759), Watt verfolgte 1769 dieselbe, ebenso 1786 der geniale A. Evans in Nordamerika, indeß war von einer wirklichen Ausführung bei keinem derselben die Rede. Erst 1802 brachten die Engländer Trevithik und Vivian einen eigentlichen Dampfswagen zu Stande, der auf einer Eisenbahn eine Last von 10 Tonnen mit der Geschwindigkeit von 5 engl. Meilen in der Stunde fortzuziehen vermochte. Indefß scheint dieser Dampfswagen besondere Mängel gehabt zu haben, da eine eigentliche Anwendung desselben nicht eintrat, wozu aber auch wohl das Vorurtheil beigetragen haben mochte, daß man meinte, die Reibung der Räder auf einer glatten Bahn sei nicht groß genug, um ein bloßes Gleiten derselben, ein Drehen auf der Stelle, zu verhindern und größere Lasten damit fortzuziehen. In den Jahren 1811—13 wurden verschiedene Dampfswagen nach anderen Prinzipien, ohne besonderen Erfolg konstruirt, bis man endlich auf das erste und einfachste Prinzip wieder zurück kam, indem man erkannte, daß die Reibung der Räder des Dampfagens hinreichend sei, um Lasten fortzuziehen, sobald nämlich nur letztere oder der Fortbewegung sich entgegensehende Widerstand die erstere nicht überschreitet.

Im Jahre 1814 konstruirte der Engländer Stephenson den ersten brauchbaren, auf das ebenerwähnte Prinzip sich stützenden Dampfswagen für die Stockton-Darlington-Bahn und gab damit zugleich die Anregung zu allen ferneren ähnlichen Ausführungen. Alle diese Dampfswagen hielt man indeß nur für Gütertransporte geeignet, indem sie in der That, hinsichtlich der für Personentransporte nothwendigen Schnelligkeit noch sehr viel zu wünschen übrig ließen. So kam es denn, daß man selbst noch 1829 nach Herstellung der Liverpool-Manchester-Bahn unentschieden war, ob man, da Pferde wegen des großen Verkehrs auf dieser Bahn nicht ausreichten, feststehende oder lokomotive Dampfmaschinen zum Betriebe wählen sollte. In Folge der Hinneigung zu letzteren schrieb man eine Prämie für die beste Art von Dampfswagen aus, die auch im October 1829 nach den Wettfahrten verschiedener Maschinen die des obengenannten Stephenson gewann. Na-

mentlich war es außer anderen günstigen Umständen der von Stephenson angebrachte Kessel mit 25 Röhren von 3 Zoll Weite, welcher seine Maschine auszeichnete, indem durch diese Anordnung eine alle früheren Kesselkonstruktionen übertreffende Verdampfungsfähigkeit und durch dieselbe eine bedeutende Geschwindigkeit erzeugt werden konnte. Mit der Maschine von Stephenson nahm das ganze Eisenbahnwesen eine völlig veränderte Tendenz und Gestalt an und erreichte nach und nach seine gegenwärtige Bedeutsamkeit.

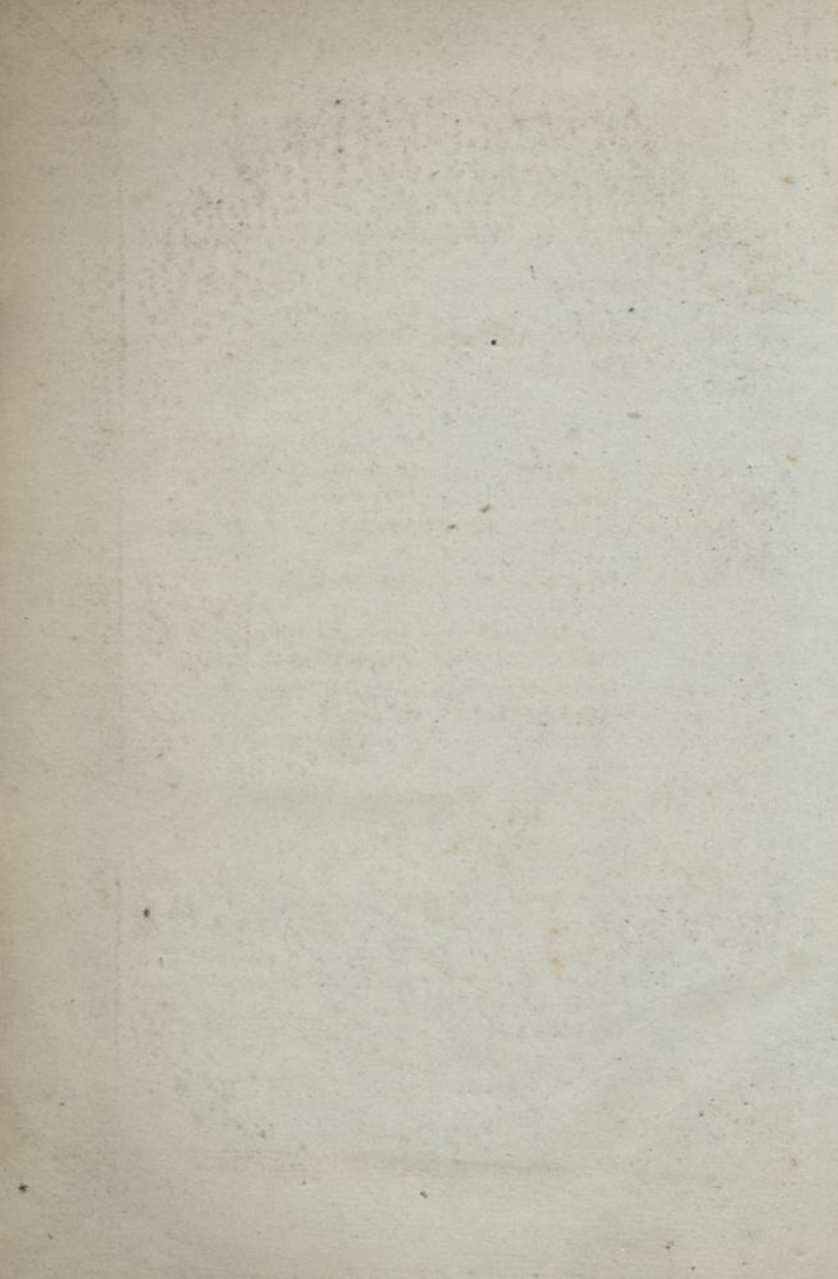
Nach Stephenson erfuhren die Dampfwagen noch mancherlei Verbesserungen, wohin namentlich vervollkommnete Vorrichtungen zum Rück- und Vorwärtsfahren und das Anbringen des dritten Räderpaares gehört, wodurch die ganze Masse der Wagen mehr Stabilität, der Kessel eine größere Ausdehnung, also auch reichlichere Dampferzeugung und die ganze Last des Wagens eine zweckmäßige Vertheilung hat. Der Mechaniker Norris in Philadelphia hat insbesondere vertheilhaftete Constructionen von Dampfwagen erfunden. — In neuester Zeit wetteifern englische und deutsche Maschinenbauer in der Herstellung guter Lokomotiven und es kann unbedingt ausgesprochen werden, daß England in dieser Hinsicht keine wesentlichen Vorzüge mehr hat.

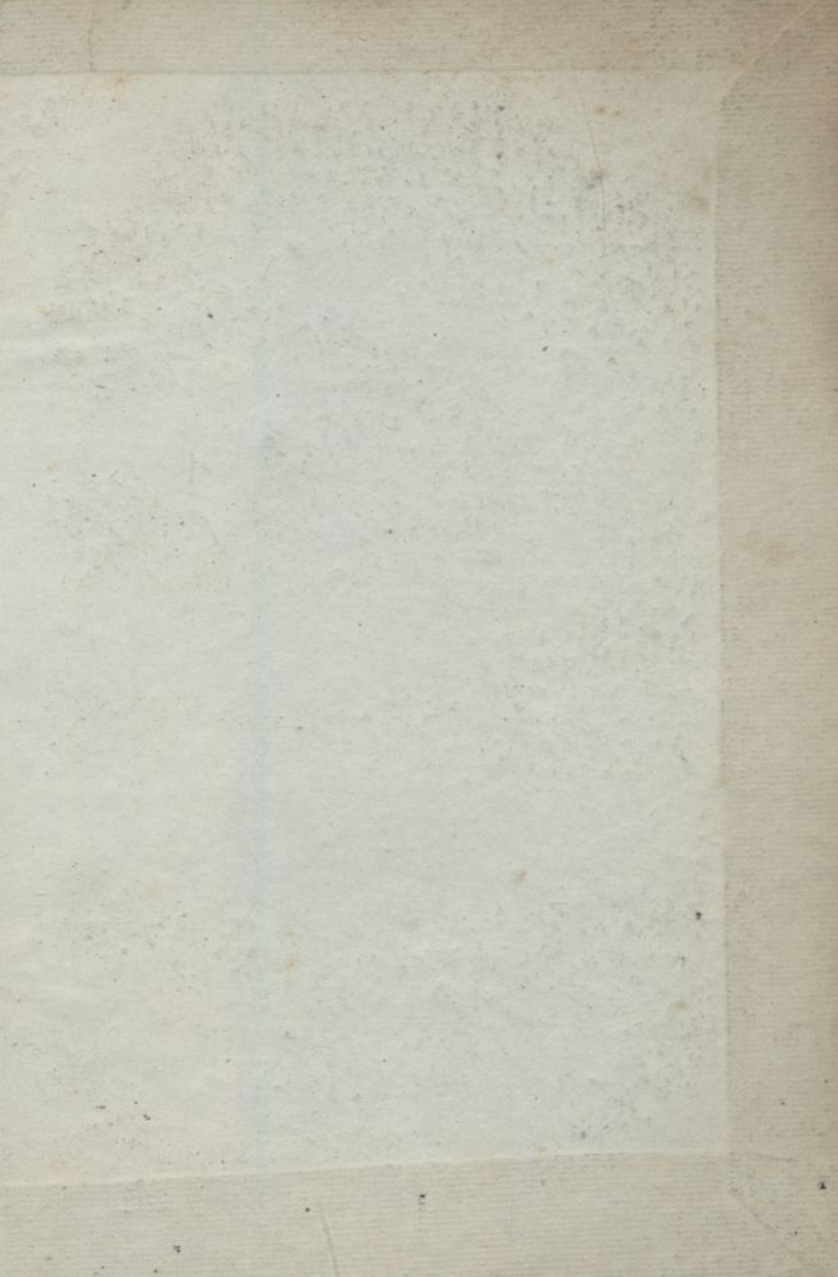
Inhalt.

		Seite
1.	Kapitel. Wie Dampf eine mechanische Wirkung hervorbringt.	1
2.	„ Was Dampf ist und welches seine Eigenschaften sind.	4
3.	„ Wie Wasser in Dampf und Dampf wieder in Wasser verwandelt wird.	5
4.	„ Wie groß der mechanische Effect ist, welchen die Verwandlung des Wassers in Dampf hervorbringt. .	11
5.	„ Wie groß der mechanische Effect ist, welchen die Verwandlung des Dampfes in Wasser hervorbringt. .	13
6.	„ Wie viel Wärme nöthig ist, um Wasser in Dampf zu verwandeln.	17
7.	„ Wie Dampf durch seine Expansion oder Ausdehnung mechanische Kraft erzeugt.	21
8.	„ Wie ein Vacuum hervorgebracht wird, ohne das Gefäß abzukühlen, worin der Dampf enthalten ist. .	25
9.	„ Wie der mechanische Effect des Dampfes dadurch vermehrt werden kann, daß man ihm selbst unmittelbar Wärme mittheilt.	28
10.	„ Wie der abwechselnde Dampfzufluß bewirkt wird und der Kolben eingerichtet ist.	29
11.	„ Wie die Wechselbewegung der Kolbenstange dem Balancier mitgetheilt wird.	36
12.	„ Wie die Wechselbewegung des Balanciers einen fortwährenden Umlauf bewirkt.	40
13.	„ Wie die Dampfmaschine eine selbstwirkende Maschine wird.	47
14.	„ Wie der mechanische Effect ermittelt wird, welchen der Kolben ausübt.	49

15.	Kapitel.	Wie die zur Verdampfung des Wassers nöthige Wärme erzeugt wird.	52
16.	"	Wie der nöthige Zug für die Feuerung eines Dampfkessels bewirkt wird.	65
17.	"	Wie die mechanische Leistung des Brennstoffs geschätzt und ausgedrückt wird.	66
18.	"	Wie die Kraft einer Maschine geschätzt und ausgedrückt wird.	69
19.	"	Welche Größe der Kessel und die Feuerung für eine Maschine von gegebener Kraft haben müssen. . .	71
20.	"	Welche Größe der Cylinder und die übrigen Maschinentheile für eine bestimmte Kraft der Maschine haben müssen.	75
21.	"	Wie der innere Zustand des Kessels und der Maschine äußerlich erkennbar gemacht wird.	76
22.	"	Wie die Dampferzeugung und der Gang der Maschine regulirt wird.	83
23.	"	Wie die Dampfmaschine für Pumpwerke eingerichtet wird.	91
24.	"	Von der atmosphärischen Dampfmaschine.	92
25.	"	Von den Maschinen ohne Condensation.	94
26.	"	Welche Grenzen der Druck des Dampfes im Cylinder hat und wie davon die Geschwindigkeit des Kolbens abhängt.	96
27.	"	Illustrationen.	117
	Anhang.	Geschichte der Dampfmaschine.	135









BIBLIOTEKA GŁÓWNA

351368 L/1