

So vorbereitet kam die Dampfmaschine in die Hände des größten Erfinders des achtzehnten Jahrhunderts, James Watt.

James Watt, Instrumentenmacher in Glasgow, wurde seitens der Universität Glasgow 1763 beauftragt, ein daselbst befindliches Modell einer Newcomenmaschine zu reparieren; der Kessel dieses Modelles war etwas kleiner als ein gewöhnlicher Theekessel, der Kolben hatte 2" Durchmesser und 6" Hub. Als er die Maschine repariert und in Gang gesetzt hatte, ergab sich, daß der Kessel nicht genug Dampf liefern konnte und die Maschine daher nach wenigen Hüben stehen blieb, trotzdem Watt das Feuer so heftig als möglich anfachte. Gerade diese Wahrnehmung regte Watt ungemein an, die Maschine zu verbessern. Er zog zunächst seine Bücher zu Rat, jedoch ohne Erfolg. Nun suchte er auf dem Wege selbständiger Experimente diese Aufgabe zu lösen; dabei fand er, daß Dampf von 80° Temperatur instande ist, die sechsfache Gewichtsmenge Wasser auf dieselbe Temperatur zu erwärmen. Auf diese Weise zur Erkenntnis gelangt, daß Dampf ein Wärmereservoir bildet, trachtete er um so sparsamer damit umzugehen. An dem Modell vergrößerte er zunächst die Heizfläche, umkleidete alles soviel als möglich mit schlechten Wärmeleitern, jedoch ohne damit einen genügenden Erfolg zu erzielen. Watt fand nun, daß die größten Wärmeverluste durch die Kondensation des Dampfes im Cylinder selbst verursacht werden, indem an den kalten Wandungen des Cylinders  $\frac{4}{5}$  des frisch einströmenden Dampfes sich kondensierte, bevor der Rest des Dampfes auf den Kolben einen Druck auszuüben vermochte. Er schloß daraus auf die Notwendigkeit, **den Cylinder so heifs zu erhalten wie den eintretenden Dampf**; diese Bedingung sowie der Umstand, daß der Dampf andererseits auf 30° R. abgekühlt werden mußte, um sich vollständig zu kondensieren, standen jedoch im vollen Gegensatze und bereiteten Watt große Schwierigkeiten in der Lösung der sich gestellten Aufgabe. Lange Zeit wollte ihm dieselbe nicht gelingen, von vielen Irrlichtern irre geleitet, bis er endlich auf den Gedanken kam, die Kondensation des Dampfes in einem **eigenen**, vom Dampfzylinder **getrennten** Gefäße durchzuführen. In Ausführung dieses Gedankens gliederte er an die Maschine ein neues Organ, den **Kondensator**, an, in welchen der Dampf aus dem Cylinder überströmte, um darin durch Oberflächenkühlung oder Einspritzwasser niedergeschlagen zu werden. Um das Vakuum im Kondensator zu erhalten, fügte Watt noch eine **Pumpe**, **Luftpumpe** genannt, hinzu, welche das Kondensat, das Einspritzwasser und die durch Undichtheiten eindringende oder mit dem Wasser und dem Dampfe eingeführte Luft herauszuschaffen hatte.

Nachdem auf diese Weise der Cylinder nicht mehr zur Kondensation diente, somit auch nicht mehr mit dem Kühlwasser in Berührung kam,

war es möglich, denselben fortwährend heiß zu erhalten; durch Verwendung schlecht wärmeleitender Hüllen, speziell durch Anwendung eines eigenen **Dampfmantels**, dann durch Anbringung eines oberen Cylinderdeckels mit Stopfbüchse für die Kolbenstange, erreichte er nicht nur diesen Zweck, sondern durch letzteres Detail auch die Möglichkeit, über dem Kolben Dampf statt Luft einführen zu können, wodurch bei gleicher Größe des Cylinders größere Leistungsfähigkeit erzielt werden konnte.

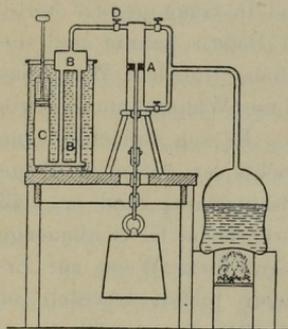


Fig. 5. Watts Versuchsapparat.

Kaum war Watt auf diese Gedanken gekommen, so trachtete er dieselben praktisch durchzuführen und konstruierte den in Fig. 5 skizzierten Versuchsapparat.

A ist der Cylinder; B der Kondensator (als Oberflächenkondensator nach der heute gebräuchlichen Anordnung); C die Luftpumpe. Der Dampf wurde über dem Kolben eingeführt und im Kondensator ein Vakuum hergestellt; sobald der Hahn D geöffnet wurde, strömte der Dampf nach dem Kondensator, verdichtete und infolge des Vakuums über dem Kolben stieg dieser in die Höhe und hob ein Gewicht.

Nach verschiedenen in dieser Richtung ausgeführten Versuchen patentierte Watt 1769 diese seine Verbesserungen. Dieselben sind in der Erläuterung zu seinem Patente mit nachstehenden Worten beschrieben, welche, abgesehen von ihrem historischen Interesse, schon deshalb verdienen sorgfältig studiert zu werden, weil in denselben bereits jene Prinzipien klargelegt sind, welche noch heute die Grundlagen einer wissenschaftlichen Behandlung der Dampfmaschine bilden.

„Meine Methode, den Verbrauch an Dampf, somit an Brennstoff, zu verringern, stützt sich auf folgende Gesichtspunkte:

„... **Erstens:** Jenes Gefäß, in welchem sich die Kraft des Dampfes entwickelt, um die Maschine zu treiben, in gewöhnlichen Feuermaschinen Cylinder, von mir jedoch das Dampfgefäß genannt, muß, solange die Maschine arbeitet, so heiß erhalten werden, als der eintretende Dampf und zwar einerseits durch Umhüllung desselben mit einem Holzmantel oder irgend einem schlecht wärmeleitenden Material; andererseits dadurch, daß dasselbe von Dampf oder irgend einer auf die Dampftemperatur erhitzten Substanz umgeben wird, und drittens durch Vermeidung äußeren oder inneren Kontaktes des Dampfgefäßes mit Wasser oder einer Substanz von niedrigerer Temperatur als Dampf.

„**Zweitens:** Maschinen, entweder ausschließlich oder nur zum Teil

durch Kondensation arbeitend, sollen zum Zwecke der Kondensation eigene vom Dampfzylinder getrennte und mit diesem nur periodenweise kommunizierende Gefäße erhalten; diese Gefäße nenne ich Kondensatoren. Diese Kondensatoren sind unter Verwendung von Wasser oder anderen kalten Substanzen mindestens so kalt zu erhalten als die sie umgebende Luft.

**Drittens:** Luft und die nichtkondensierten Dampfdruckstände müssen, um die Wirkung der Maschine nicht zu beeinflussen, durch eine von der Maschine selbst oder auf andere Weise betätigte Pumpe aus dem Kondensator entfernt werden.

**Viertens:** Ich beabsichtige in mancherlei Fällen, die Expansivkraft des Dampfes auch von oben auf den Kolben oder ein denselben ersetzendes Detail in gleicher Weise einwirken zu lassen, wie die Pressung der Atmosphäre bei den gewöhnlichen Feuermaschinen nutzbar gemacht wird. In Fällen, wo die zur Kondensation erforderliche Wassermenge nicht zur Verfügung steht, kann die Maschine auch durch die Kraft des Dampfes allein betrieben werden, indem der verbrauchte Dampf in die Atmosphäre ausgestoßen wird.

**Sechstens:** In einzelnen Fällen beabsichtige ich, den Dampf nur soweit abzukühlen, daß er sich zusammenzieht ohne zu kondensieren, derart, daß die Maschine infolge der abwechselnden Ausdehnung und Kontraktion des Dampfes arbeitet.

**Endlich:** Statt der Abdichtung des Kolbens und anderer Teile der Maschine durch Wasser, wende ich Öl, Wachs, harzige Substanzen, tierisches Fett, Quecksilber oder andere Metalle im flüssigen Zustande an . . .“

Der fünfte Patentanspruch bezog sich auf rotierende Maschinen und ist somit hier gegenstandslos.

Mit dem Ausdrücke „Feuermaschine“ bezeichnete Watt die Dampfmaschine oder wie sie gewöhnlich genannt wurde, die „atmosphärische“ Maschine von Newcomen.

Von so hoher Bedeutung Watts erstes Patent für jene Zeit auch war, so ging daraus anfänglich doch nur eine allerdings wesentlich verbesserte Konstruktion der Newcomenschen Pumpmaschine hervor; die neue Maschine benötigte wohl weniger Brennmaterial, gestattete rascheres Spiel, war jedoch wie jene einfachwirkend; ebenso arbeitete sie mit Vollfüllung während des ganzen Hubes und übertrug den Kolbendruck mittelst Kette auf einen oscillierenden Balken beziehungsweise Balancier. Der Kondensator wurde gewöhnlich durch Einspritzung von kaltem Wasser kühl gehalten; Watt hinterließ jedoch auch ein Modell eines Oberflächenkondensators mit zahlreichen engen Röhren, welcher im Prinzip dem heute zumeist bei Schiffsmaschinen gebräuchlichen Kondensator vollkommen

entspricht. Wie aus Fig. 5 ersichtlich, benützte Watt ja bereits in diesem Versuchsapparat einen Oberflächenkondensator, um die Vorteile der gesonderten Kondensation zu demonstrieren.

Fig. 6 stellt eine Pumpmaschine Wattscher Anordnung dieser Entwicklungsperiode dar. Obwohl der Cylinder oben durch einen Deckel geschlossen ist und der Dampf auch über dem Kolben eingelassen wurde, so hatte diese Anordnung doch nur den Zweck, Kolben und Cylinder warm zu erhalten. Die Maschine blieb nach wie vor nur **einfachwirkend**; der über dem Kolben eintretende Dampf hatte im übrigen nur dieselbe Aufgabe zu erfüllen, welche bei Newcomens Maschine der Atmosphäre zufiel und es wurde lediglich nur der Raum unter dem Kolben mit dem Kondensator in Verbindung gebracht.

Die Maschine besaß drei Ventile und zwar das Dampfventil *a*, das Ausgleichventil *b* und das Ausströmventil *c*. Zu Beginn des Niederganges wurden die beiden Ventile *c* und *a* geöffnet, um durch die Verbindung mit dem Kondensator *C* unter dem Kolben Vakuum zu bilden und andererseits über demselben Dampf einströmen zu lassen. Zu Ende des Niederganges wurden Ventil *c* und *a* geschlossen, Ventil *b* geöffnet und damit die Verbindung, somit ein Druckausgleich zwischen dem Raume über und unter dem Kolben hergestellt; der Kolben wurde nun durch das Gewicht des Pumpengestänges *P* wieder in die obere Lage gebracht. Die Luftpumpe *A* förderte das Kondensat in das Reservoir *H*, aus welchem die Speisepumpe *F* den Wasserbedarf für den Kessel entnahm.

In einem einbegleitenden Schriftstücke zu dem Artikel „*Dampfmaschine*“ in Robisons *System of Mechanical Philosophy* (1822) gab Watt die nachfolgende Mitteilung der Experimente und Betrachtungen, welche seinem ersten Patente vorangingen. Diese Mitteilung ist von so außerordentlichem Interesse, daß die wörtliche Wiedergabe derselben keiner weiteren Entschuldigung bedarf.

„Meine Aufmerksamkeit wurde zum ersten Male im Jahre 1759, durch John Robison, zu jener Zeit Student an der Universität Glasgow, später Professor der Physik in Edinburg, auf die Dampfmaschine gelenkt. Robison kam auf die Idee, die Dampfkraft zur Fortbewegung von Straßenwagen, sowie für andere Zwecke auszunützen; allein diese Idee war nicht ausgereift und wurde daher, als Robison noch in demselben Jahre Glasgow verließ, bald verworfen.

„Um das Jahr 1761 oder 1762 versuchte ich einige Experimente über die Kraft des Dampfes unter Benützung eines Papinianischen Topfes als Kessel. Ich bildete mir eine Art Dampfmaschine, indem ich auf demselben eine kleine Spritze oder Heberöhre von  $\frac{1}{8}$  Zoll Diameter be-

festigte, mit einem soliden Kolben und einem Hahn, um die Röhre mit dem Topfe nach Belieben in oder außer Verbindung setzen oder den Dampf aus derselben in die Atmosphäre leiten zu können. Sobald die Verbindung zwischen dem Topfe und der Spritze geöffnet war, strömte Dampf in diese über und hob vermöge seiner Wirkung auf den Kolben ein ziemlich bedeutendes Gewicht (15 Pfund), mit welchem der Kolben belastet war.

„Wenn das Gewicht seine Höhenlage erreicht hatte, wurde die Verbindung mit dem Topf geschlossen und jene mit der Atmosphäre geöffnet; der Dampf entwich ins Freie und das Gewicht kehrte in seine anfängliche Lage zurück. Diese Operationen wurden wiederholt, und obgleich bei diesen Experimenten der Hahn von Hand aus gestellt wurde, so ergab sich doch die Möglichkeit, denselben durch die Maschine selbst mit größter Regelmäßigkeit zu steuern. Die Idee, eine Maschine nach diesem Prinzip zu bauen, gab ich jedoch bald darnach auf, weil ich einsah, daß dieselbe an denselben Mängeln leiden würde wie Saverys Maschine, als: die stete Gefahr, den Dampfkessel zu sprengen; die Schwierigkeit, in anbetracht des höheren Druckes dichte Verbindungen zu erlangen; die großen Dampfverluste infolge des Umstandes, daß für den Niedergang des Kolbens kein den Überdruck erhöhendes Vakuum zur Verfügung steht etc. (Ich beschrieb trotzdem diese Maschine im vierten Artikel der Spezifikation zu meinem

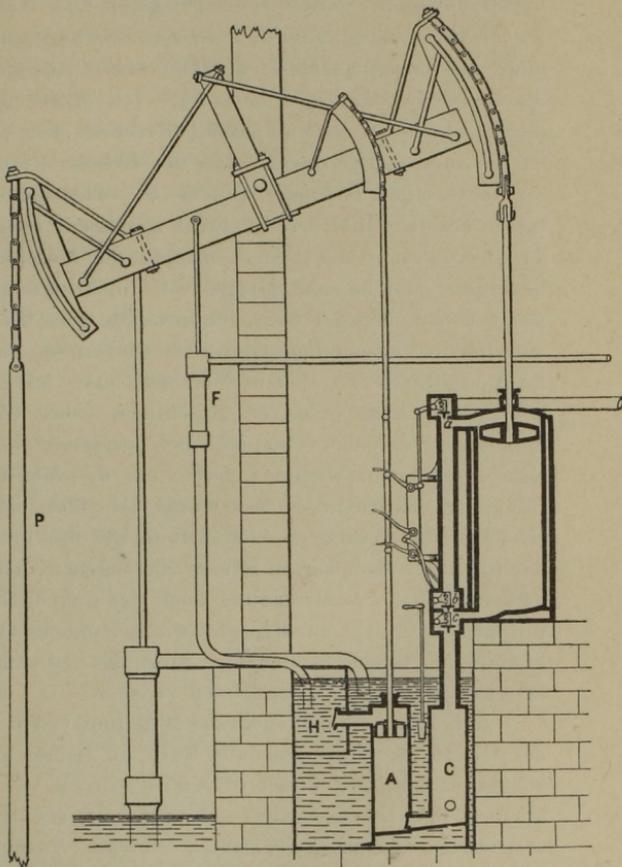


Fig. 6. Watts einfachwirkende Maschine, 1769.

bauen, gab ich jedoch bald darnach auf, weil ich einsah, daß dieselbe an denselben Mängeln leiden würde wie Saverys Maschine, als: die stete Gefahr, den Dampfkessel zu sprengen; die Schwierigkeit, in anbetracht des höheren Druckes dichte Verbindungen zu erlangen; die großen Dampfverluste infolge des Umstandes, daß für den Niedergang des Kolbens kein den Überdruck erhöhendes Vakuum zur Verfügung steht etc. (Ich beschrieb trotzdem diese Maschine im vierten Artikel der Spezifikation zu meinem

Patente vom Jahre 1769; ebenso in der Spezifikation eines andern Patentes vom Jahre 1784 zugleich mit einer Methode der Verwendung desselben für Straßenfahrzeuge.)

„Die Leitung meiner Geschäfte verhinderte mich für einige Zeit, dieses Problem weiter zu verfolgen. Im Winter 1763—64 hatte ich jedoch Gelegenheit, anlässlich der mir übertragenen Reparatur eines Modelles einer Newcomenmaschine der Universität Glasgow, mich neuerdings mit diesem Gegenstande zu befassen. Ich führte die Reparatur mechanisch durch; als ich nach Vollendung derselben den Apparat ausprobierte, fand ich zu meinem Erstaunen, daß der Kessel, obwohl scheinbar groß genug (er hatte einen Diameter von ca. 9", während der Cylinder nur 2" Diameter bei 6" Hub besaß), nicht genügend Dampf zu liefern vermochte. Trotz Anblasens des Feuers machte die Maschine nur wenige Hübe und benötigte eine enorme Menge von Injektionswasser, obwohl die Pumpe nur schwach belastet war. Ich erkannte sehr bald, daß die Ursache dieser auffallenden Erscheinung darin zu suchen sei, daß dieser kleine Cylinder im Verhältnisse zu seinem Volumen eine viel größere Oberfläche besitze als die Cylinder größerer Maschinen. Die weiteren Versuche ergaben nun auch, daß bei entsprechend geringerer Belastung der Pumpe der Kessel genügend Dampf lieferte, um das Maschinchen in regelmäßigem Gange zu erhalten. Ferner wurde mir klar, daß der Metalleylinder des Modelles die Wärme rascher leitete als die gußeisernen, im Innern gewöhnlich mit einer harten Kruste überzogenen Cylinder größerer Maschinen; daß somit eine Verbesserung auch dadurch erzielt werden könnte, wenn für den Cylinder ein schlecht wärmeleitendes Metall verwendet werden könnte; als solches schien mir Holz, falls es sich als genügend dauerhaft erweisen sollte, am geeignetsten zu sein.

„Ich baute nun eine kleine Maschine von 6" Diameter und 12" Hub des Cylinders; dieser war aus Holz, in Leinöl getränkt und vollkommen ausgetrocknet. Mit dieser Maschine wurden viele Versuche durchgeführt, allein der Cylinder erwies sich gar bald als nicht genügend dauerhaft; andererseits überstieg der Dampfverbrauch trotzdem wesentlich jenen Wert, welcher nach den Angaben Desaguliers bei großen Maschinen konstatiert wurde. Es zeigte sich auch, daß alle Versuche, eine bessere Saugwirkung durch Erhöhung der Injektionswassermenge zu erzielen, nur einen unverhältnismäßig größeren Dampfverbrauch zur Folge hatten. Als Ursache dieser Erscheinung konnte die kürzlich von Dr. Cullen und einigen andern Philosophen gemachte Entdeckung angenommen werden, daß Wasser von niedriger Temperatur, unter 100° F., im Vakuum zu sieden beginnt, daher bei höherer Temperatur im Cylinder Dampf erzeugt, dessen Spannung den Druck der Atmosphäre auf den Kolben teilweise aufheben würde.

„Die Experimente, welche ich nun durchführte, um die Temperaturen zu ermitteln, bei welchen Wasser unter verschiedenen über der Atmosphäre liegenden Pressungen siedet, ergaben, daß bei Temperatursteigerungen nach arithmetischen Reihen die Spannungen nach geometrischen Reihen zunehmen und umgekehrt; durch graphische Darstellung dieser Resultate erhielt ich sodann jene Werte, welche meinem Zwecke entsprachen. Ferner ergaben die Versuche, daß ein gutes Vakuum große Wassermengen erfordert; diese kühlen jedoch den Cylinder so stark ab, daß zu seiner abermaligen Erwärmung wieder so große Dampfmengen erforderlich sind, welche außer Verhältnis stehen zu dem Arbeitsgewinn infolge des besseren Vakuums, und daß somit die alten Mechaniker weise gehandelt hatten, indem sie sich mit Spannungen von 6—7 Pfund pro Quadratzoll (ca. 0,42 bis 0,49 Atmosphären) Überdruck begnügten.

„Es war somit erwiesen, daß Dr. Desaguliers Beurteilung der Experimente Beigtons über die Masse des Dampfes auf einem groben Fehler beruhte. Ich nahm eine Florentiner Flasche, welche ein Pfund Wasser zu fassen vermochte und füllte in dieselbe ungefähr eine Unze ( $\frac{1}{16}$  Pfund) destillierten Wassers; in die Öffnung der Flasche steckte ich eine Glasröhre, die nahe bis zum Wasserspiegel reichte und dichtete dieselbe mit einem in Glaserkitt gehüllten Bindfaden ab. Das Ganze setzte ich dann in einem Zinnofen vor ein Feuer, bis das Wasser vollständig verdampft war, was ungefähr eine Stunde beanspruchte, da ich die Erwärmung nicht wesentlich höher trieb als bis zur Siedetemperatur des Wassers. Nachdem die Luft in der Flasche schwerer war als der Dampf, sammelte sich dieser oben an und trieb die Luft durch die Röhre heraus.

„Sobald alles Wasser verdampft war, wurde der Ofen mit der Flasche vom Feuer entfernt und ein Strahl kalter Luft gegen eine Seite der Flasche geblasen, um den in der Flasche zurückgebliebenen kondensierten Dampf an einer Stelle zu sammeln. Nachdem alles kalt war, wurde das Rohr herausgenommen, die Flasche samt Inhalt sorgfältig abgewogen. Die Flasche wurde hierauf wieder erhitzt und durch Ausblasen mittelst Blasbalg innen vollkommen getrocknet; die neuerliche Abwage ergab eine Gewichtsabnahme von ca. 4 grains (schätzungsweise  $4\frac{1}{3}$  grains). Hierauf wurde die Flasche wieder mit Wasser vollkommen gefüllt und das Gewicht der Füllung mit  $17\frac{1}{8}$  Unzen avoir du poids bestimmt. Diese Abwagen ergaben somit ungefähr 1800 für die Ausdehnung des Wassers verwandelt in Dampf von der Wärme kochenden Wassers.

„Dieses Experiment wurde wiederholt und ergab nahezu das gleiche Resultat. Um die Überzeugung zu gewinnen, daß die Flasche vollkommen mit Dampf gefüllt war, wurde eine gleiche Quantität Wasser zum dritten Male verdampft und hierauf die Flasche, solange sie noch warm war,

umgekehrt, also mit der Öffnung nach unten, in ein Gefäß mit Wasser getaucht; in dem Maße als die Flasche erkaltete, saugte sie Wasser an und war bei der Temperatur der Atmosphäre bis auf etwa  $\frac{1}{2}$  Unze gefüllt. (In der Durchführung dieser Experimente wurde ich durch Dr. Black unterstützt. In Dr. Robisons Ausgabe von Dr. Blacks Vorlesungen, Vol. I, Seite 147, weist letzterer speziell auf einige von ihm über diesen Gegenstand durchgeführte Experimente hin; mir sind jedoch keine, außer den von mir selbst durchgeführten Experimenten in dieser Richtung bekannt.)

„Indem ich diese Experimente später wiederholte, vereinfachte ich den Apparat, indem ich das Rohr wegließ, die Flasche in den Ofen legte, also nicht aufrecht in denselben stellte, die Öffnung durch einen Kork mit seitlichem Einschnitt teilweise verschloß und im übrigen wie früher verfuhr.

„Ich betrachte diese Experimente nicht als besonders genau, denn einerseits war die mir zur Verfügung stehende Skala brauchbarer GröÙe nicht sehr empfindlich, andererseits wird die Dampfdichte durch die Wärme beeinflußt, welcher der Dampf ausgesetzt ist, welche jedoch in der beschriebenen Weise nicht leicht reguliert oder bestimmt werden konnte; bei meiner experimentellen Erfahrung schätze ich die Expansion eher noch weitergehend als ich berechnete\*).

„Ein Kessel wurde konstruiert, welcher die in einer beliebigen Zeit verdampfte Wassermenge anzeigte und zugleich die Dampfmenge feststellte, welche bei jedem Maschinenhube verbraucht wurde; ich fand, daß diese Dampfmenge das Mehrfache des Hubvolumens betrug. Erstaunt über die große Wassermenge, welche für die Einspritzung erforderlich war und die bedeutende Erwärmung derselben durch die verhältnismäßig kleine Wassermenge, welche als Dampf zur Füllung des Cylinders pro Kolbenhub verbraucht wurde, und daher vermutend, daß irgend ein Irrtum oder Fehler unterlaufen sei, wurde nun das folgende Experiment versucht: Eine Glasröhre, rechtwinklig abgebogen, wurde mit dem horizontalen Schenkel in den Schnabel eines Theekessels eingeschoben, während der niederhängende Schenkel in einen mit Brunnenwasser gefüllten Glascylinder eingetaucht wurde. Nun wurde Dampf aus dem Kessel so lange durch das Rohr geleitet, bis sich derselbe nicht mehr kondensierte und das

---

\*) Da 1 cbm gesättigten Dampfes von atmosphärischer Spannung 0,5878 kg, 1 cbm Wasser von 4° C. 1000 kg wiegt, so beträgt die von Watt mit 1800 gefundene Zahl tatsächlich nur 1700. — In anbetracht der primitiven Vorrichtungen, deren sich Watt bedienen konnte und der Mangelhaftigkeit der Versuche selbst ist es erstaunlich, daß Watt trotzdem zu einem verhältnismäßig so günstigen Resultate gelangte.

Wasser in dem Glascylinder nahezu siedend heiß geworden war. Es ergab nun die Messung, daß die Wassermenge im Glasgefäße um ca.  $\frac{1}{6}$  durch den kondensierten Dampf vermehrt wurde; daraus folgt, daß Wasser in Dampf verwandelt ca. das sechsfache seines Gewichtes an Brunnenwasser auf  $212^{\circ}$  F. ( $100^{\circ}$  C.) beziehungsweise so lange erwärmen kann, bis es den Dampf nicht mehr kondensiert. Sehr erstaunt über diese eigentümliche Erscheinung, deren Ursache ich mir nicht erklären konnte, teilte ich dieselbe meinem Freunde Dr. Black mit, welcher mich nun über seine Lehre von der latenten Wärme, worüber er einige Zeit früher (Sommer 1764) Vorträge gehalten hatte, informierte; ich hatte damals, durch Geschäfte verhindert, keine Gelegenheit, diese Vorträge zu hören und würde denselben auch keine besondere Beachtung geschenkt haben, wenn ich nicht selbst über eine der Tatsachen gestrauchelt wäre, auf welche sich diese herrliche Theorie stützt.

„Durch weitere Betrachtungen gelangte ich zur Erkenntnis, daß es einerseits notwendig sei, um den Dampf möglichst auszunützen, den Cylinder stets so heiß wie den eintretenden Dampf zu erhalten, andererseits den Dampf selbst, respektive dessen Kondensat, sowie das Injektionswasser, wenn möglich auf  $100^{\circ}$  F. oder noch weiter abzukühlen. Anfänglich war es mir nicht klar, auf welche Weise und durch welche Mittel ich diese Bedingungen erfüllen könne. Anfang des Jahres 1765 kam ich jedoch auf folgenden Gedankengang: Wenn man einen mit Dampf gefüllten Cylinder in Verbindung setzt mit einem von Luft und anderen Flüssigkeiten entleerten Gefäße, dann wird der Dampf in dieses überströmen und zwar solange, bis der Gleichgewichtszustand hergestellt ist; kühlt man jedoch dieses Gefäß durch Injektion oder auf andere Weise fortwährend ab, dann wird immer mehr und mehr Dampf überströmen, bis sämtlicher Dampf kondensiert ist. Vorausgesetzt, die beiden Gefäße seien dampfleer, wie kann das Injektionswasser, die mitgeführte Luft und der kondensierte Dampf hinausgeschafft werden?

„Diese Aufgabe zu lösen, schien mir auf zwei Arten möglich. Eine Lösung dachte ich mir derart, daß mit dem zweiten Gefäß ein Abfallrohr verbunden wird, von mehr als 34 Fuß Länge, durch welches das Wasser herabsinkt (eine Wassersäule von dieser Höhe übersteigt die Atmosphäre), während die Luft durch eine Pumpe entfernt wird.

„Eine andere Lösung, welche in allen Fällen und namentlich dann anwendbar wäre, wenn kein Brunnen oder Wassertümpel zur Verfügung steht, besteht in der Verwendung einer oder mehrerer Pumpen, welche sowohl die Luft als auch das Wasser zu entfernen hätten.

„Der letzteren Methode gab ich den Vorzug und wendete dieselbe für die Folge auch ausschließlich an. Die Dichtung des Kolbens der

Newcomenmaschine mittelst Wasser war bei dieser neuen Anordnung jedoch nicht verwendbar, weil dieses über dem Kolben stehende Wasser einerseits beim Niedergange des Kolbens mit der heißen Cylinderwand in Berührung tretend verdampfen und diese abkühlen, andererseits durch Undichtheiten der Kolbenliederung in den teilweise entleerten und heißen Cylinder gelangend, im Cylinder verdampfen und die Bildung des Vakuums hindern würde.

„Ich dachte durch Anwendung von Wachs, Talg oder anderen Fetten diesem Übelstande der Wasserdichtung zu begegnen und damit zugleich den Kolben zu schmieren. Ferner erschien es mir unrationell, den Cylinder oben offen zu lassen, da derselbe durch die auf den Kolben wirkende Luft abgekühlt und somit der bei jeder Füllung eintretende Dampf teilweise kondensiert wird. Ich schlug daher vor, den Cylinder oben durch einen Deckel dampfdicht zu schließen, die Kolbenstange durch eine Stopfbüchse zu führen und nun über dem Kolben statt Luft Dampf eintreten und wirken zu lassen. (Die Führung der Kolbenstange durch die Stopfbüchse war neu in Dampfmaschinen; Newcomens Maschine besaß dieses Detail nicht, denn der Cylinder derselben war oben offen, die Kolbenstange quadratisch und sehr plump. Die Befestigung der Kolbenstange mit dem Kolben durch einen Konus war gleichfalls eine meiner späteren Verbesserungen um das Jahr 1774.) Trotz dieser konstruktiven Vervollkommnungen verblieb noch immer eine andere Quelle steter Dampfverluste durch die fortwährende Abkühlung des Cylinders an der Außenluft, welche zur Folge hatte, daß der bei jedem Hub eintretende Dampf sich an der kälteren Cylinderwand kondensierte. Diesem Übelstande suchte ich durch die Anbringung eines äußeren dampfführenden Cylinders (Dampfmantel), welcher von einem Cylinder aus Holz oder irgend einer schlecht wärmeleitenden Substanz umgeben ist, erfolgreich zu begegnen.

„Nachdem ich einmal die Idee der getrennten Kondensation gefaßt hatte, kamen mir die übrigen Verbesserungen in rascher Reihenfolge in den Sinn, so daß ich im Verlaufe einiger Tage das vollständige Problem der neuen Maschine ausgedacht hatte und nun ohne Verzögerung an die praktische Durchführbarkeit desselben im Wege des Experimentes schreiten konnte. Ich nahm eine große Heberöhre von  $1\frac{3}{4}$  Zoll Diameter und 10 Zoll Länge, versah dieselbe an beiden Enden mit Deckeln aus Zinnblech und mit einer Röhre, um Dampf aus einem Kessel zu beiden Seiten derselben einführen zu können, sowie mit einem andern Rohre, welches das obere Ende des Cylinders mit dem Kondensator in Verbindung setzte. (Um den Apparat möglichst einfach zu gestalten, wendete ich den Cylinder, d. h. ich stellte denselben verkehrt auf.) Durch die Kolbenstange bohrte ich der Länge nach ein Loch und brachte am untern Ende derselben ein

Ventil an, damit das Wasser, welches sich bei den ersten Füllungen des Cylinders in Folge Kondensation des Dampfes ansammelte, entfernt werden konnte. Der Kondensator bestand aus zwei vertikalen Röhren aus dünnem Zinnblech, 10—12 Zoll lang, von ungefähr  $\frac{1}{6}$  Zoll Durchmesser, oben verbunden durch ein kurzes horizontales Rohr von großem Durchmesser mit einem Ansatz an der obern Seite, durch ein Ventil geschlossen, welches nach oben öffnete. Diese Röhren waren außerdem am untern Ende mit einem andern Vertikalrohr von ungefähr 1 Zoll Durchmesser, welches als Luft- und Wasserpumpe diente, verbunden. Diese Pumpe als auch die Kondensatorröhre wurden in ein schmales Gefäß gestellt, welches mit kaltem Wasser gefüllt war. (Diese Konstruktion des Kondensators wählte ich aus dem Grunde, weil mir einerseits bekannt war, daß dünne Metallplatten die Wärme vorzüglich leiten und weil ich andererseits von der Voraussetzung ausging, daß nur der kondensierte Dampf sowie die Luft, welche mit dem Dampfe oder durch Undichtheiten in den Kondensator gelangten, aus demselben zu entfernen sind, sobald die Kondensation ohne Injektion erfolgt.)

„Das Dampfrohr wurde mit einem kleinen Kessel in Verbindung gebracht. Als sich genügend Dampf entwickelt hatte, wurde dieser in den Cylinder eingelassen und trat bald darauf aus der Bohrung der Kolbenstange sowie dem Kondensatorventile aus. Sobald man annehmen konnte, daß die Luft aus dem Kondensator verdrängt sei, wurde der Dampfahn geschlossen und der Luftpumpenkolben in die Höhe gezogen; darauf bildete sich in den schmalen Kondensatorröhren bereits ein Vakuum und der eintretende Dampf kondensierte. Der Dampfkolben stieg sofort in die Höhe und hob ein Gewicht von ca. 18 Pfund, welches am untern Ende der Kolbenstange angehängt war. Nun wurde der Auslaßahn des Cylinders geschlossen, die Verbindung mit dem Kessel geöffnet und die verbrauchte Dampfmenge sowie das gehobene Gewicht gemessen; dies Spiel wurde des öfteren wiederholt. Es ergab sich daraus, daß mit Ausnahme des Dampfmantels und der äußeren wärmedichtenden Hülle, die Erfindung, soweit die angestrebte Verminderung des Dampf- und Brennmaterialverbrauchs in Betracht kam, komplet war.

„Ein großes Modell mit Dampfmantel und Holzverschalung wurde nun sofort ausgeführt; die damit durchgeführten Experimente bestätigten meine Erwartungen und ließen die Vorteile meiner Erfindung nun außer Zweifel erscheinen. Es erwies sich später als zweckmäßig, den Röhrenkondensator durch ein leeres Gefäß, meist von cylindrischer Form und Wassereinspritzung zu ersetzen; nachdem bei dieser Anordnung mehr Wasser und Luft herauszufördern war, mußte die Luftpumpe entsprechend vergrößert werden. Diese Abänderung war durch den Umstand bedingt,

daß der Röhrenkondensator in anbetracht der für große Maschinen erforderlichen bedeutenden Abkühlungsfläche viel Raum in Anspruch nahm und selbst sehr voluminös wurde; andererseits bei unreinem Wasser die dünnwandigen Röhren außen verkrustet und somit schlecht wärmeleitend werden. Die Maschinen wurden mit nach oben arbeitendem Dampfzylinder, Balancier, und den übrigen Einrichtungen der älteren Maschinen gebaut. Die Umkehrung des Cylinders in dem früher beschriebenen Modell wurde für dasselbe nur gewählt, um die Versuche rascher durchführen zu können; gegen diese Anordnung erhoben sich jedoch bei großen Maschinen Bedenken aller Art.“

Die erste Maschine nach Watts System wurde für die berühmte Eisengießerei von John Wilkinson in Bersham zum Betriebe von Blasbälgen gebaut und 1776 in Gebrauch genommen. Je näher dieser Zeitpunkt heranrückte, desto ängstlicher wurde Watt, da von der Leistung dieser Maschine sehr viel für ihn abhing. Die Maschine wurde aus diesem Grunde mit außerordentlicher Sorgfalt ausgeführt; diese wurde belohnt, denn die Maschine erregte die Bewunderung aller, die Gelegenheit hatten, sie zu sehen und gar bald wurde der Ruhm der Firma Boulton & Watt in ganz Mittelengland bekannt. Rasch verbreitete sich nun der Ruf der neuen Dampfmaschine über die ganze zivilisierte Welt; es fehlte dem jungen Unternehmen nicht an Bestellungen, aber auch nicht an Fabrikationsschwierigkeiten aller Art, die zu überwinden waren.

1777 lieferte die genannte Firma die erste Dampfmaschine in die an Bergbau reiche Grafschaft Cornwall; Watt leitete selbst die Aufstellung; die Maschine arbeitete äußerst befriedigend und fast geräuschlos. Im Juni 1778 waren bereits 7 von 10 nach Cornwall bestellten Maschinen fertig, trotzdem mußte Watt überall Klagen und Vorwürfe wegen zu langsamer Lieferung und Aufstellung hinnehmen. Bis zum Sommer 1780 waren bereits 40 Pumpmaschinen verkauft, die Hälfte derselben nach Cornwall. Die durchschlagenden Erfolge, welche Watt mit seiner Maschine erzielte, erregten Neid und Gehässigkeit und es wurden, namentlich in Cornwall, Bewegungen geschürt, um das Patent, welches bis zum Jahre 1800 verlängert wurde, zu stürzen; man stützte sich darauf, daß die Dampfmaschine für den Bergbau unentbehrlich sei und daher das allgemeine Wohl die Aufhebung des Patentes erheische. Eine diesbezügliche Petition beim Parlamente unterblieb allerdings wegen ihrer Aussichtslosigkeit, allein es wurden nun erhöhte Anstrengungen gemacht, das Patent zu umgehen.

1781 machte sich Watt ernstlich daran, die schon früher gefaßte

Idee, durch die Dampfmaschine eine rotierende Bewegung zu erzeugen, um sie für den Betrieb von Mühlen und anderen Maschinerien dieser Arbeitsweise geeignet zu machen, weiter zu verfolgen.

In einem zweiten Patente (1781) beschreibt Watt die „Sonne und Planet“-Räder und andere Methoden, um aus der geradlinigen Bewegung des Kolbens die rotierende Bewegung einer mit Schwungrad versehenen Welle abzuleiten. Er beabsichtigte für diesen Zweck Kurbel und Kurbelstange zu benützen, ein Detail, welches bereits zu jener Zeit bei den gewöhnlichen Tret Drehbänken benützt wurde; aus diesem Grunde hielt Watt die Anwendung von Kurbel und Pleuelstange zur Erzeugung der rotierenden Bewegung nicht für patentfähig. Inzwischen hatte jedoch ein Knopfdreher namens James Pickard aus Birmingham, wahrscheinlich durch einen Arbeiter der Firma Boulton & Watt dazu aufgemuntert, ein Patent auf die Anwendung der Kurbel bei Dampfmaschinen genommen (23. August 1780). Watt bereitete dies anfänglich Schwierigkeiten, doch fand er bald andere Mittel, denselben Zweck zu erreichen. Statt mit Pickard ein Übereinkommen zu treffen, benützte er nunmehr das sogenannte „Planetenrad“ (wahrscheinlich eine Erfindung William Murdocks, des ersten Monteurs der Firma Boulton & Watt, welcher auch später die Gasbeleuchtung erfand) und zwar solange, bis das Patent Pickards abgelaufen war. Während die frühere Bauart der Maschine nur für Pumpzwecke Verwendung finden konnte, eröffnete sich nun der Dampfmaschine ein un-  
gemein ausgedehntes Verwendungsgebiet.

Die Maschine wurde bisher ausschließlich nur einfachwirkend gebaut; die Schubstange bildete die Verbindung mit dem Balancier; das am andern Hebelarm befestigte Gegengewicht hob den Kolben an, sobald Dampf unter demselben eingelassen wurde. 1782 patentierte Watt jedoch zwei weitere Verbesserungen von Bedeutung, welche er schon einige Jahre vorher ersonnen hatte. Die eine Verbesserung bestand in der Einführung des Dampfes, beziehungsweise in der Benützung des Vakuums zu beiden Seiten des Kolbens, also in der **Doppelwirkung** der Maschine; die andere Verbesserung, welche bereits 1769 von Watt ersonnen wurde, in der Benützung der Dampfexpansion, also in der nur teilweisen Füllung des Cylinders mit Frischdampf, so daß der Rest des Kolbenhubes nach Abschluß des Dampfzutrittes unter der Expansionswirkung des Dampfes erfolgte. Da bei der Doppelwirkung der Maschine der Balancier gehoben und herabgezogen werden mußte, wendete Watt zur Verbindung des Balanciers mit der Kolbenstange seine Parallelbewegung, das sogenannte **Wattsche Parallelogramm**, an, wodurch auch gleichzeitig eine nahezu geradlinige Führung der Kolbenstange erreicht wurde. Außerdem wendete Watt das Drosselventil zur Regulierung der Dampfzufuhr, sowie den

Centrifugalregulator, ein konisches Doppelpendel, auf das Drosselventil wirkend, zur Regelung der Geschwindigkeit der Maschine an.

Die Entwicklung, welche die Dampfmaschine bis zu jener Zeit erreicht hatte, ist aus Fig. 7 (aus Stuarts *Geschichte der Dampfmaschine*) ersichtlich; *pp* zeigt die Parallelbewegung, *g* den Regulator; außerdem sieht man das Drosselventil und je ein Ein- und Ausblasventil an jedem Ende des Dampfeylinders.

Während Watts Geschäftsteilnehmer Mathew Boulton auf Fertigstellung von Dampfmaschinen mit rotierender Bewegung drang, zweifelte Watt, daß daraus ein Geschäftsvorteil erwachsen werde. Gegen Ende 1782 wurde jedoch die erste Maschine dieser Art zum Betriebe einer Kornmühle in Gang gesetzt. In London wurde die erste Kurbelmaschine in der Brauerei von Goodwyn & Co. aufgestellt; diesem Beispiele folgten bald die übrigen Brauereien Londons und in kurzer Zeit folgten Bestellungen für die verschiedensten Betriebe, selbst nach Amerika und Westindien. Es liefen so viele Bestellungen ein, daß sich Watt veranlaßt sah, an seinen Teilnehmer zu schreiben: „Ich sehe, daß jede Maschine mit rotierender Bewegung doppelt so viel Arbeit verursacht, als eine Pumpenmaschine und im allgemeinen nur halb so viel Geld einbringt; deshalb bitte ich Sie, vorläufig keine weiteren Bestellungen auf rotierende Maschinen anzunehmen.“

Unter anderen Erfindungen Watts sei auch hier im Anschlusse der „Indikator“ genannt, welcher bekanntlich den Zusammenhang der Dampfspannung im Cylinder und der Bewegung des Kolbens graphisch darstellt. Watt bewahrte diese Erfindung bis an sein Lebensende als Geheimnis und sicherte sich dadurch auch jene Überlegenheit über seine Zeitgenossen hinsichtlich des Ausbaues der Dampfmaschine, die ja genügend bekannt ist. Wenn ihm dieses Instrument gefehlt hätte, würde die Dampfmaschine kaum in solcher Vollendung aus seinen Händen hervorgegangen sein. Watt vervollkommnete auch dieses Instrument so weit, daß es lange Jahre nach ihm keiner wesentlichen Verbesserungen bedurfte.

Watt erfand auch einen Dampfhammer, sowie eine Dampflokomotive für gewöhnliche Straßen, aber diese Erfindungen wurden von ihm nicht weiter verfolgt. Als Erfinder wurde Watt durch seinen Assistenten Murdoch wirksam unterstützt; manche Verbesserungen und neue Ideen verdankte Watt seinem findigen Mitarbeiter, so unter anderem die Einführung des Flachschiebers als ein Mittel, Dampf ein- und Austritt zu steuern.

Obwohl Watt die Vorteile der partiellen Füllung beziehungsweise Expansion des Dampfes kannte, so wendete er trotzdem nur niedrige Spannungen, selten mehr als 7 Pfund pro Quadratzoll (ca.  $\frac{1}{2}$  Atm. Überdruck) an. Die Kessel wurden, gleich jenen Newcomens, durch ein

nach oben offenes Rohr gespeist, dessen Höhe mindestens gleich sein mußte jener Wassersäule, welche durch die Dampfspannung des Kessels im Gleichgewicht erhalten wurde.

Dem Beispiele Saverys folgend adoptierte Watt zur Bezeichnung der Größe resp. Leistung seiner Dampfmaschine die Einheit „horse power“ (Pferdekraft) und bezeichnete damit jene Leistung, welche durch das Anheben von 33 000 Pfund (14 969 kg) auf eine Höhe von 1 Fuß (0,3048 m) in einer Minute verrichtet wird (76,04 kgm pro Sekunde). Dieses Maß wurde auf Grund der Versuche über die Leistung eines Pferdes angenommen; ein mittelstarkes Pferd ist wohl nicht imstande dauernd mit solcher Belastung zu arbeiten; Watt wählte jedoch absichtlich diese Überbelastung als Einheit, um seinen Kunden keine Veranlassung zur Klage in dieser Beziehung zu geben.

Wie aus der an früherer Stelle angeführten Spezifikation zur ersten Patentschrift Watts, Punkt 4, hervorgeht, beschäftigte sich Watt bereits zu jener

Zeit mit dem Problem der Auspuffmaschine ohne Kondensation, welche Maschine hinsichtlich der Dampfspannung wesentlich höhere Anforderungen stellte, als die Kondensationsmaschine. Wie aus Watts Mitteilungen hervorgeht, führte er auch nach dieser Richtung Experimente durch, bevor er den getrennten Kondensator ersonnen hatte; er verfolgte jedoch dieses Problem nicht weiter, vielleicht auch aus dem Grunde, weil

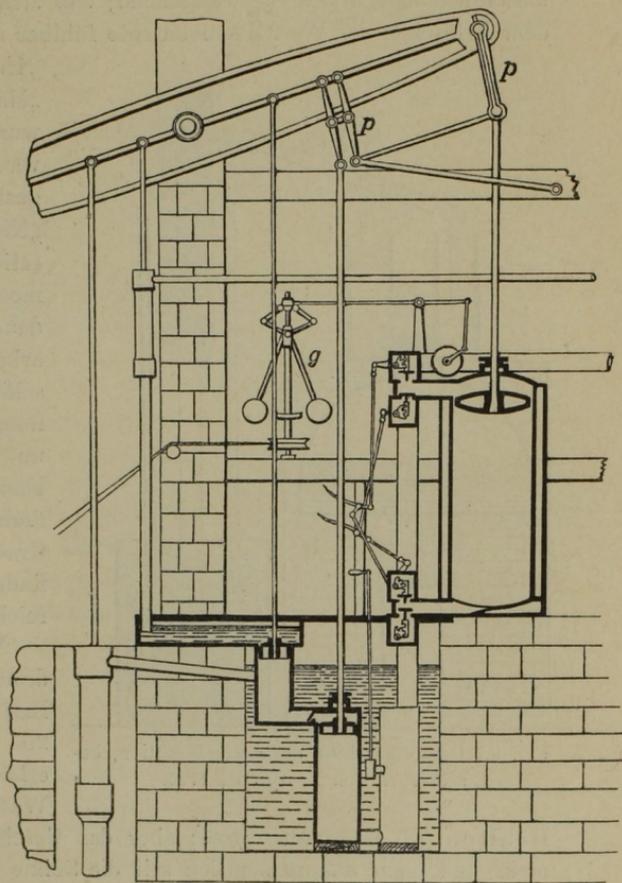


Fig. 7. Watts doppelwirkende Maschine, 1782.

bereits 1725 eine Maschine ohne Kondensation von Leupold in dessen „*Theatrum Machinarum*“ beschrieben war.

Leupolds Maschine zeigt Figur 8, aus welcher sich die Wirkungsweise derselben genügend klar ergibt. Watts Abneigung gegen hohe Spannungen und der Einfluß derselben auf die ganze Praxis des Dampfmaschinenbaues waren so weitgehend, daß sich dieser Einfluß auch nach dem Erlöschen der Watt'schen Patente fühlbar machte. Die Bezeichnungen

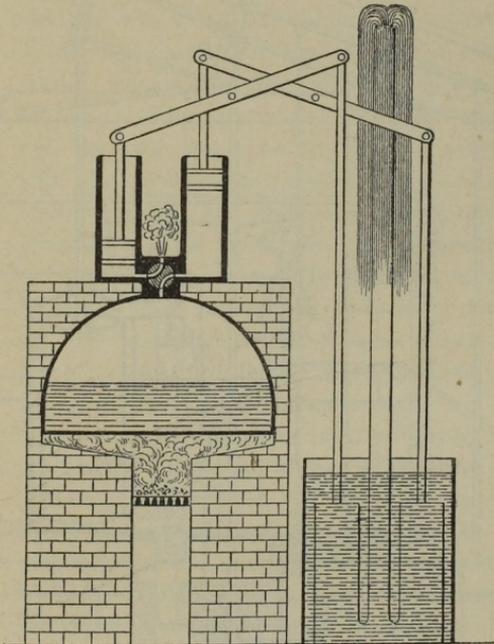


Fig. 8. Dampfmaschine ohne Kondensation, beschrieben von Leupold, 1725.

„Hochdruckmaschine“ und „Maschine ohne Kondensation“ wurden von Watt als sinnverwandt in vollen Gegensatz gestellt zu der Bezeichnung „Niederdruck- oder Kondensationsmaschine“. Diese Nomenclatur konnte sich nicht dauernd halten; heutzutage arbeiten Kondensationsmaschinen mit denselben Spannungen wie Auspuffmaschinen und nützen die Expansion des Dampfes, diese geniale Erfindung Watts, bis zu einem Grade aus, welcher zu des Erfinders Zeit unmöglich zu erreichen war.

Watts Patent, welches durch einen speziellen Akt des Parlamentes auf die Dauer von 25 Jahren ausgedehnt war, erlosch im Jahre 1800, als Watt 64 und sein Partner

Boulton 72 Jahre alt waren; aber das Geschäft dehnte sich trotzdem mehr und mehr aus, namentlich seit die Söhne beider 1794 als Teilhaber in die Firma eingetreten waren, neues Leben und neue Kraft dem Geschäfte zuführend. Die Firma Boulton & Watt vermochte noch lange Zeit ihre Überlegenheit über Konkurrenten zu behaupten. Boulton starb am 17. August 1809 im Alter von 81 Jahren; der stets schwächliche Watt überlebte ihn um 10 Jahre; seine Gesundheit befestigte sich merkwürdigerweise in seinem Alter; sein Wissensdurst blieb ungeschwächt, ebenso wie sein Erfindungsgeist; die letzte Erfindung, die ihn beschäftigte, war eine Maschine zum Kopieren, Vergrößern und Verkleinern von