

Statuen und Medaillen; er arbeitete ca. 8 Jahre daran und hatte dann noch als 83-jähriger Greis das Vergnügen, seinen Freunden Produkte seiner neuen Maschine zum Geschenke machen zu können. Ein Jahr darauf, im Sommer 1819 wurde Watt von seiner letzten Krankheit befallen und verschied am 19. August 1819 in seinem Landhause zu Birmingham.

Um das Jahr 1800 wurden in England durch **Trevithick** und in Amerika durch **Oliver Evans** die ersten mit Dampf von verhältnismäßig hoher Spannung arbeitenden **Maschinen ohne Kondensation** eingeführt. Sowohl Evans als Trevithick verwendeten ihre Maschinen zum Antrieb von Straßenwagen und beide benützten cylindrische Kessel mit einem innern cylindrischen Feuerrohr, welche Anordnung als Cornwalkessel bekannt ist. Im Verein mit Bull, einem früheren Arbeiter der Firma Boulton & Watt, baute Trevithick vorher direktwirkende Pumpenmaschinen, deren Dampfzylinder bei umgekehrter Aufstellung desselben über die Pumpe zu stehen kam, wodurch der Balancier der früheren Bauarten überflüssig wurde. Bei diesen „**Bullmaschinen**“, wie man sie nannte, wurde der Dampf durch Einspritzung kalten Wassers in das Ausströmröhr kondensiert, welche Anordnung jedoch von Boulton & Watt als ein Eingriff in ihr Patent mit Erfolg angefochten wurde.

Trevithick gebürt das Verdienst, der erste gewesen zu sein, welcher einen auf Schienen laufenden Dampfswagen benützte; er baute 1804 eine Lokomotive im modernen Sinne, welche auf einem Pferdebahngleise in Wales lief und es ist bemerkenswert, daß bei dieser Maschine der verbrauchte Dampf zur Erzeugung künstlichen Zuges in den Schornstein geleitet wurde, eine Erfindung, welche 25 Jahre später durch Georg Stephenson in so fruchtbringender Weise ausgenützt wurde. Im Zusammenhang hiermit sei erwähnt, daß bereits im Jahre 1769 von Cugnot in Frankreich ein Dampfstraßenwagen gebaut wurde, welcher zwei einfachwirkende Hochdruckzylinder dazu benützte, eine Triebachse durch Vermittlung von Sperrrad und Sperrkegel, also so zu sagen schrittweise anzutreiben. Evans gebürt die Anerkennung, Dampf von höherer Spannung in den Vereinigten Staaten Amerikas eingeführt und zur Geltung gebracht zu haben, wodurch sich die amerikanische Praxis durch viele Jahre vor jener Englands auszeichnete.

Unter den Zeitgenossen Watts verdient ein Mann namens Hornblower besonderer Erwähnung. **Jonathan Hornblower**, welcher in den Werkstätten der Firma Boulton & Watt herangebildet und mit Watt befreundet war, konstruierte und patentierte 1781 eine Maschine mit zwei

Cylindern ungleicher Größe, also nach unsern Begriffen eine **Compoundmaschine**. Der Dampf wurde zuerst in den kleinen Cylinder geleitet, um von diesem in den großen Cylinder überzutreten, Arbeit auf beide Kolben übertragend. Die beiden Cylinder waren parallel nebeneinander gelagert; die Kolbenstangen griffen an demselben Ende eines darüberliegenden Balanciers an. Hornblowers Maschine war somit dem Wesen nach eine Expansionsmaschine; die Benützung expandierenden Dampfes wurde daher von Hornblower früher patentiert als von Watt (1782), von diesem jedoch viel früher erfunden (1769); das Patent Hornblowers konnte daher nicht angefochten werden. Die Firma Boulton & Watt klagte jedoch Hornblower wegen Verletzung ihres Patenten infolge Benützung des Kondensators und der Luftpumpe und sperrte damit Hornblower den Bau von Dampfmaschinen.

Erst nach Erlöschen des Wattschen Patenten im Jahre 1800 wurde die Compoundmaschine von **Woolf** wieder aufgegriffen, mit dessen Namen sie seither eng verknüpft ist. Woolf verwendete Dampf von ziemlich hoher Spannung, füllte den kleinen Cylinder nur zum Teile und erreichte dadurch eine 6—9fache Expansion. Vom mechanischen Standpunkte aus betrachtet, hat die Zweicylindercompoundmaschine im Vergleiche mit einer Maschine, in welcher dieselbe Expansionsarbeit in nur einem Cylinder geleistet wird, den Vorteil, daß der von beiden Kolben der Compoundmaschine ausgeübte Druck weniger veränderlich ist als der auf den Kolben ausgeübte Druck der Eincylindermaschine. Dieser Vorteil war Hornblower und Woolf voraussichtlich bekannt. Ein anderer viel wichtigerer Vorteil dieses Systems liegt jedoch darin, daß infolge der Aufteilung der Expansion auf zwei Cylinder, diese einer viel geringeren Temperaturveränderung unterworfen sind als der Cylinder einer Einfachexpansionsmaschine bei gleich weitgehender Expansion. Dieser Vorteil war weder den Genannten, noch für viele Jahre hinaus den Erbauern und Benützern von Compoundmaschinen bekannt. Diese Tatsache, welche in einem spätern Kapitel eingehender behandelt werden soll, verringert bis zu einem gewissen Grade eine unvermeidliche Quelle steter Wärmeverluste aller Dampfmaschinen, darinliegend, daß die metallischen Cylinderwandungen durch die abwechselnde Berührung mit heißem und wieder abgekühltem Dampfe gleichfalls fortwährend erhitzt und abgekühlt werden. Das Compoundsystem ist daher derzeit nahezu bei allen großen Dampfmaschinen, welche Anspruch auf Ökonomie erheben, benützt.

Die Einführung der mehrstufigen Expansion ist auch die einzige von durchschlagendem Erfolge begleitete Vervollkommnung, welche die Dampfmaschine seit Watts Zeit erfuhr; die Erfahrung hat gelehrt, wie klar Watt das Wesen der Dampfmaschine erkannte, als er in

der Spezifikation zu seinem ersten Patente vom Jahre 1769 die Bedingung aufstellte, daß der Cylinder so heiß erhalten werden soll wie der eintretende Dampf.

Woolf führte die Compoundmaschine um das Jahr 1814 als Pumpmaschine auf den Kohlengruben in Cornwall ein. Die Maschine begegnete jedoch dort harter Konkurrenz durch die mit hoher Spannung arbeitende Eincylinderkondensationsmaschine, welche sich inzwischen in den Händen von Trevithick und andern Konstrukteuren in eine sehr leistungsfähige Maschine entwickelt hatte und der Woolfmaschine gegenüber den nicht zu unterschätzenden Vorteil der verhältnismäßig großen baulichen Einfachheit besaß. Woolfs Maschine fand daher wenig Anwert, während die Eincylindermaschine dem speziellen Zweck als Pumpe angepaßt, unter dem Namen „**Cornish- oder Cornwallpumpmaschine**“ durch viele Jahre infolge der Ökonomie ihres Betriebes berühmt war.

Der Dampfeylinder dieser Maschine, als Balanciermaschine gebaut, stand unter dem einen Ende des Balanciers, während von dem andern Ende eine schwere Stange herabhing, welche die tiefstehende Pumpe betätigte. Der Dampf wurde über dem Kolben während eines Teiles des Hubes eingeleitet und expandierte bis Ende des Hubes; durch den Dampfdruck wurde das Pumpengestänge gehoben. Durch ein Ausgleichventil wurde der Raum über und unter dem Kolben in Verbindung gesetzt, wie aus der früheren Figur 6 ersichtlich; infolge des Druckausgleiches ging das Gestänge vermöge seines Gewichtes in der Pumpe arbeitverrichtend herab und hob den Dampfkolben in seine Anlaßstellung.

Die großen Massen, welche bei jedem Hube in Bewegung gesetzt und wieder zur Ruhe gebracht werden mußten, wirkten vermöge ihrer Energie ausgleichend auf die großen Druckdifferenzen zufolge der Expansionsarbeit des Dampfes; das ganze schwere Maschinengestänge diente als Reservoir zur Aufspeicherung der überschüssigen Energie während der Admissionsperiode, um diese während und namentlich gegen Ende der Expansionsperiode wieder abzugeben. Die Hubzahl wurde durch einen Mechanismus, „**Katarakt**“ genannt, kontrolliert. Derselbe besteht dem Wesen nach aus einer kleinen Plungerpumpe, deren Kolben von der Maschine bei jedem Hube gehoben, dessen Niedergangsgeschwindigkeit jedoch unabhängig von der Maschinengeschwindigkeit automatisch geregelt wird; der rascher oder langsamer niedersinkende Plunger steuert durch Knaggen, Fallriegel oder ähnliche Vorrichtungen die Ein- und Ausströmventile und damit den Gang der Maschine selbst. Das Spiel des Kataraktes wird in der Weise geregelt, daß der Plunger desselben beim Aufgang Flüssigkeit (Öl, Glycerin) saugt und diese beim Nieder-

gange verdrängt; der Austritt der Flüssigkeit wird durch eine von Hand aus stellbare Öffnung geregelt und damit die Niedergangszeit des Plungers, somit die Hubzahl der Maschine pro Zeiteinheit nach Belieben fixiert. Ein anderer Katarakt betätigte in ähnlicher Weise das Ausgleichventil; derselbe konnte so eingestellt werden, daß mit Ende des Anhubes eine Pause eintrat, während welcher der Pumpencylinder Zeit fand, sich vollkommen zu füllen.

Die Cornwallmaschine bietet insofern besonderes Interesse, als sie die erste Maschine war, deren Wirkungsgrad mit jenem guter moderner Maschinen verglichen werden kann. Durch eine Reihe von Jahren wurden Monatsberichte über die Wirtschaftlichkeit („*duty*“ genannt) dieser Maschinen veröffentlicht; darunter verstand man die Arbeit in Fußpfunden, welche per Scheffel oder per Zentner verbrannter Kohle geleistet wurde. Die Wirtschaftlichkeit der Maschine wurde förmlich zu einem sportlichen Interesse der Bergingenieure und keine Mühe wurde gespart, den Rekord zu schlagen. Die durchschnittliche Wirtschaftlichkeit dieser Maschinen in den Kohlendistrikten Cornwalls wuchs von ca. 18 Millionen Fußpfund per Zentner Kohle im Jahre 1813 auf 68 Millionen im Jahre 1844; nach dieser Zeit scheint man wieder weniger Anstrengungen gemacht zu haben, die Leistung hinaufzutreiben. In einzelnen Fällen wurden noch viel höhere Resultate mitgeteilt, bis zu 125 Millionen Fußpfund; diese Ziffer ist nach unserer heutigen Rechnungsweise gleichbedeutend mit $1\frac{3}{4}$ Pfund engl. (0,8 kg) Kohle per Stundenpferdekraft, ein Resultat, welches selbst von den besten modernen Dampfmaschinen kaum überschritten wird. Es fällt daher schwer, solchen Ziffern zu trauen, welche die Cornishmaschine jener Zeit auf ein Niveau stellen mit den leistungsfähigsten modernen Maschinen, in welchen durch die Vereinigung hoher Spannungen und mehrstufiger Expansion ein hoher thermischer Wirkungsgrad erreicht worden ist; die Verlässlichkeit und Genauigkeit dieser Berichte aus Cornwall müssen daher mit Recht angezweifelt werden. Diese Berichte spielen jedoch, ob verlässlich oder nicht, in dem Entwicklungsprozesse der Dampfmaschine eine sehr wichtige Rolle, indem durch sie zu einer Zeit, als die Dampfmaschinentheorie noch in den Kinderschuhen ruhte, die Aufmerksamkeit auf die Frage der Erhöhung der Wirtschaftlichkeit gelenkt und erwiesen wurde, welche Vorteile aus der Verwendung höher gespannter Dämpfe und partieller Füllungen resultieren.

Im Zusammenhange sei an dieser Stelle noch erwähnt, daß der große Erfolg der Cornwallmaschine ohne Zweifel die Ursache war, daß bis in die Neuzeit die Neigung bestand, diesem Beispiele folgend, zwischen dem Dampfzylinder und der Pumpe oder der Kurbel einen Balancier einzuschalten; für lange Zeit schien der Balancier, in einer oder der andern

Form ausgebildet, ein unvermeidlicher Teil der Dampfmaschine zu sein. Die Lehre, welche aus Bulls direktwirkender Dampfmaschine gezogen werden konnte, wurde, wie man sieht, von den Maschineningenieuren im allgemeinen lange Zeit hindurch unbeachtet gelassen.

Die **Compoundmaschine**. Das Compoundsystem, welches seit den Versuchen Woolds, dasselbe in den Kohlenbergbauen Cornwalls einzuführen, nahezu brach gelegen, wurde erst gegen Mitte des vorigen Jahrhunderts wieder aufgegriffen und durch das Zusammenwirken verschiedener Faktoren zu endlicher Geltung gebracht.

Es war im Jahre 1845 als Mac Naught auf den Gedanken kam, Balanciermaschinen der Wattschen Originalanordnung dadurch zu verbessern, daß zwischen der Balancierachse und der Kurbelwelle ein kleiner Hochdruckcylinder eingebaut werde, welcher mit Frischdampf von höherer Spannung gespeist, diesen an den eigentlichen oder Niederdruckcylinder abgiebt, in welchem er weiter expandiert. Diese Anordnung eignete sich besonders für ältere Maschinen, deren Leistung den an sie herantretenden Anforderungen nicht mehr zu genügen vermochte, und viele Maschinen, die unter solchen Verhältnissen arbeiteten, wurden in dieser Weise durch Anhängung des zweiten Cylinders verstärkt oder wie man zu jener Zeit sagte „*Mac Naughted*“, und erwiesen sich nach dem Umbau nicht nur leistungsfähiger, sondern auch ökonomischer hinsichtlich des Brennstoffverbrauchs.

Die Verbundform wurde nun von diesem Zeitpunkte an allgemeiner angewendet, so z. B. 1850 für die Pumpenmaschinen des Wasserwerkes in Lambeth und anderer Wasserwerke; im Jahre 1854 begann John Elder in Glasgow das Verbundsystem bei den Schiffsmaschinen einzuführen etc.

Von besonderer Wichtigkeit für die weitere Ausgestaltung des Verbundsystems, namentlich als direktwirkende Kurbelmaschine, war die zuerst von E. A. Cowper 1857 angewendete Einschaltung eines mit Dampfmantel versehenen Übergangreservoirs zwischen dem Hoch- und Niederdruckcylinder (der heutige Receiver), wodurch es unnötig wurde, daß der Niederdruckkolben seinen Hub in dem Momente begann, in dem der Hochdruckkolben seinen Hub beendete. In dem Maße als die mechanischen Schwierigkeiten im Baue von Kessel und Maschine nach und nach überwunden und auch in konstruktiver Beziehung wesentliche Fortschritte erzielt wurden, konnten auch höhere Dampfspannungen ohne Gefahr verwendet, dem Compoundsystem somit ein immer weiterer Spielraum eingeräumt werden; mit der zunehmenden Dampfspannung hielt die zunehmende Verbreitung der Verbundmaschine auch tatsächlich gleichen Schritt und heut-