

Außerdem ordnete Stephenson die Cylinder, welche bei älteren Maschinen vertikal standen, geneigt an, welche Neigung später noch mehr verringert wurde, und verbesserte die Steuerung durch Anwendung der „Kulisse“, wodurch nicht nur ein rascheres Umsteuern, sondern auch ein präziseres Einstellen der Füllung ermöglicht wurde. In dem Maße als der stetig wachsende Verkehr immer höhere Anforderungen an alle Betriebsmittel der Eisenbahnen, also auch in erster Linie an die Lokomotive stellte, paßte sich diese unter den Händen genialer Konstrukteure den Bedürfnissen vollkommen an und erreichte eine Leistungsfähigkeit bei Geschwindigkeiten, die man seinerzeit für unmöglich hielt. In den Händen von Georg Stephenson und seinem Sohne Robert jedoch nahm die Lokomotive bereits eine Form an, welche in der Wesenheit auch bei den viel schwereren und leistungsfähigeren Lokomotiven der Gegenwart im allgemeinen erhalten blieb.

Die Schiffsmaschine. Das erste brauchbare Dampfboot war das Schleppschiff „Charlotte Dundas“, 1802 von William Symington gebaut und in dem Forth- und Clydekanal ausprobiert. Eine Wattsche liegende doppeltwirkende Kondensationsmaschine arbeitete direkt auf die Kurbel der im Stern des Schiffes gelagerten Welle des Schaufelrades. Die Versuche an und für sich waren erfolgreich, aber führten insofern zu keinem Resultate, da man fürchtete, durch diese Schleppmethode die Seitendämme des Kanals zu beschädigen. Zehn Jahre später baute Henry Bell den „Komet“ mit seitlichen Schaufelrädern; dieses Schiff verkehrte als Passagierdampfer auf der Clyde. 1807 kam ein Schiff des Amerikaners Robert Fulton auf dem Hudson in Betrieb mit einer nach seinem Entwürfe von der Firma Boulton & Watt gebauten Maschine und brachte zum ersten Male die Dampfschiffahrt zu kommerziellem Erfolge.

Die Amerikaner begannen sehr bald darnach bei den Flußdampfern hohe Spannungen zu benützen, doch die englischen Ingenieure hüteten sich, eine Praxis zu üben, welche zu häufigen Kesselexplosionen Veranlassung gab; sie waren überhaupt schwer zu überzeugen, daß hohe Dampfspannung eine notwendige Bedingung ökonomischer Arbeit sei. Um das Jahr 1835 benützte man für Schiffskessel gewöhnlich keine höheren Spannungen als 4—5 Pfund pro Quadratzoll Überdruck (ca. $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{3}$ Atmosphäre) und erst viele Jahre später waren Spannungen von 20—25 Pfund (ca. $1\frac{1}{3}$ — $1\frac{3}{4}$ Atmosphären) Überdruck gebräuchlich. Mit der Einführung der Verbundexpansion sowie der Verwendung cylindrischer Kessel an Stelle der ursprünglich benützten Kofferkessel nahm auch die Verwendung höherer Dampfspannungen bedeutend zu. — Sir F. Bramwell giebt in einer Publikation über Schiffsmaschinen vom

Jahre 1872*) eine Liste von Compoundmaschinen, welche mit Spannungen von 45—60 Pfund (3—4 Atmosphären) Überdruck arbeiteten. Der Kohlenverbrauch betrug bei diesen Maschinen gewöhnlich 2—2½ Pfund (0,9 bis 1,1 kg) pro indizierte Pferdekraftstunde und die mittlere Kolbengeschwindigkeit 350 Fuß englisch pro Minute (1,78 m pro Sekunde). Neun Jahre später publizierte F. C. Marshall eine ähnliche Liste**), in welcher die mittlere Pressung mit 77 Pfund (ca. 5 Atmosphären), die mittlere Kolbengeschwindigkeit mit 460 Fuß pro Minute (2,3 m pro Sekunde) und der Verbrauch an Kohle mit etwas weniger als 2 Pfund (0,9 kg) pro Pferdekraftstunde indiziert angegeben wird. Diese Maschinen waren gleichfalls Zweifachexpansionsmaschinen. Wenige Jahre darnach kamen die Dreifachexpansionsmaschinen allgemein in Gebrauch; die Dampfspannungen wurden als unmittelbare Folge merklich erhöht, der Kohlenkonsum nahm der besseren Wärmeausnützung entsprechend ab. In einem Rückblicke über die Fortschritte des Marineingenieurwesens innerhalb der Zeitperiode 1881—1891 giebt Mr. Blechynden***) eine Liste von Tripelmaschinen, welche mit mittleren Kesselspannungen von ungefähr 160 Pfund (10 bis 11 Atmosphären) Überdruck und Kolbengeschwindigkeiten von 500—600 Fuß pro Minute (2,5—3 m pro Sekunde) arbeiteten. Der Kohlenkonsum schwankte um 1,5 Pfund (0,68 kg) pro Pferdekraftstunde indiziert, welche Ziffer jedoch sehr angezweifelt werden muß†).

Die fortschreitende Steigerung der Dampfspannung, sowie der Kolbengeschwindigkeit hatte nicht nur eine stetige Zunahme der Leistungsfähigkeit der Maschinen, sondern auch, Hand in Hand damit gehend, eine wesentliche Verringerung des Raumbedarfes derselben für eine gegebene Leistung zur Folge, da die Leistung pro Flächeneinheit des Kolbens, als das Produkt aus der mittleren effektiven Pressung und der mittleren Kolbengeschwindigkeit in dem Maße zunimmt, als die Admissionsspannung und die Kolbengeschwindigkeit wächst. Die hohen Wirkungsgrade, welche bei den Schiffsmaschinen erreicht wurden, sind zum Teil auch durch die Größe derselben begründet, indem eine große Maschine unter sonst gleichen Verhältnissen günstiger arbeitet als eine kleine. Das rapide Anwachsen der Maschinendimensionen war durch die gesteigerte Konkurrenz bedingt und ist als ein Zeichen der Zeit der letzte Fortschritt auf dem Gebiete des Schiffsmaschinenbaues. Eine Leistung von 10 000 Pferdekraften indiziert

*) *Proceedings of the institution of mechanical engineers*, London 1872.

**) Ebenda, London, 1881.

***) Ebenda, London, 1891.

†) Eine sehr lehrreiche Zusammenstellung über die allmähliche Steigerung der Maschinendimensionen, der Dampfspannung und Kolbengeschwindigkeit der Schiffsmaschinen enthält die Schrift „*The progress of marine Engineering*“ von A. J. Durston; *Engineering*, Juli 1897.

pro Maschinensatz ist derzeit keine ungewöhnliche Leistung erstklassiger Ozeandampfer oder Kriegsschiffe. Die Maschinen der von den Firmen W. Cramp & Sons, sowie Harland & Wolff für die Internationale Schifffahrtsgesellschaft gebauten Dampfer „St. Luis“ und „City of New York“ indizieren 20 000, jene des von letzterer Firma für die White Star Line gebauten Dampfers „Oceanic“ 25 000; die beiden für die Cunard Line von der Firma Fairfield & Co. gebauten Dampfer „Lucania“ und „Campania“ je 28 000 Pferdekräfte, bei Kesselspannungen von 12 Atmosphären Überdruck und einer mittleren Kolbengeschwindigkeit von ca. 5 m pro Sekunde.

An der großartigen Entwicklung, welche die deutsche Industrie in den letzten Jahrzehnten genommen, ist der deutsche Schiff- und Schiffsmaschinenbau in erster Linie beteiligt. Vor etwa 30 Jahren noch in den Anfängen steckend, hat sich derselbe innerhalb dieser Frist zu imponierender Größe emporgeschwungen und bereits heute Deutschland vom Auslande vollkommen frei und unabhängig gemacht. Der Schnelldampfer „Kaiser Wilhelm der Große“ des Norddeutschen Lloyd, von der Aktiengesellschaft Vulkan in Stettin 1897 gebaut, hat mit einer beinahe jähen Überraschung den Fortschritt des deutschen Schiffbaues bewiesen. Nach den Mitteilungen der englischen Zeitschrift „*Engineering*“ vom Oktober 1897 hat dieser Dampfer seine Probefahrt über den Ozean mit einer so außerordentlichen Leistung abgeschlossen, welche die besten früheren Leistungen zwischen Southampton und New York überragte und auch den bis dahin durch die „Lucania“ aufgestellten besten Tagesrekord schlug. Die Maschinen des „Kaiser Wilhelm der Große“ indizieren 27 000 Pferdekräfte, arbeiten mit dreifacher Expansion in vier Cylindern mit 4,7 m mittlerer Kolbengeschwindigkeit*). In demselben Jahre sind zwei weitere Schiffe auf deutschen Werften vom Stapel gelaufen, welche zu den bedeutendsten Leistungen des Schiffbaues gerechnet werden dürfen und zwar der Schnelldampfer „Kaiser Friedrich“ auf der Werft von F. Schichau in Danzig und der Personen- und Frachtdampfer „Pretoria“ auf der Werft von Blohm & Voss in Hamburg. Der gleichfalls für den Norddeutschen Lloyd bestimmte „Kaiser Friedrich“ indiziert mit zwei Vierfachexpansionsmaschinen 28 000, die für die Hamburg-Amerika-Linie bestimmte „Pretoria“ allerdings nur 5000 Pferdekräfte, doch ist dieselbe neben ihrem in England erbauten Schwesterschiff „Pennsylvania“ das Dampfschiff größten Rauminhaltes in Deutschland.

Der Dampfer „Kaiser Wilhelm der Große“, welcher seinesgleichen bislang nicht hatte, wurde in neuester Zeit durch den im Jahre 1900 für

*) *Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure*, 1897 und 1898.

die Hamburg-Amerikanische Packetfahrt-A.-G. von der Stettiner Maschinenbau-A.-G. Vulkan gelieferten Doppelschraubenschnelldampfer „Deutschland“ hinsichtlich der Leistungsfähigkeit noch übertroffen. Die gleichfalls vom „Vulkan“ gebauten Maschinen, bis heute die größten ihrer Art, bestehen aus zwei sechscylindrigen Vierfach-Expansionsmaschinen, welche zusammen bei 4,7 m mittlerer sekundlicher Kolbengeschwindigkeit und 15 Atmosphären Kesselüberdruck 33 000 Pferdekkräfte indizieren*).

Bei der außergewöhnlichen Bedeutung, welche die **Verbundmaschine** als **Schiffsmaschine** erlangt hat, erscheint ein kurzer geschichtlicher Rückblick auf ihre Entwicklung nach dieser Richtung von Interesse zu sein.

Durch die neueren Forschungen**) wurde unzweifelhaft nachgewiesen, daß die von John Cockerill in Seraing erbauten Niederdruckmaschinen der Dampfer „James Watt“ und „Herkules“ in den Jahren 1828 und 1829 von Roentgen in Fijenoord in Compoundmaschinen umgebaut wurden. Roentgen, von Geburt Deutscher, kann somit als Erfinder der Compoundschiffsmaschine, sowie der Mehrfach-Expansionsmaschine überhaupt angesehen werden, da er in seinen Patentschriften die Idee der mehrstufigen Expansion klar ausspricht. Ernest Wolf, welcher von anderer Seite***) als Erfinder der Compoundmaschine bezeichnet wird, war jedoch, wie sich nun herausgestellt hat, nur ein Agent Roentgens in England. Die Gründe, welche damals die Compoundmaschine nicht allgemein zur Geltung kommen ließen, sind heute nicht mehr verlässlich festzustellen; wahrscheinlich dürften die Schiffskessel jener Zeit den hohen Dampfdrucken nicht genügt haben. Es bedurfte weiterer 20 Jahre, bis sich die Ansicht über den Wert der Verbundexpansion soweit geklärt hatte, daß man ihre wirtschaftliche Bedeutung allgemein anerkannte, denn erst im Jahre 1854 gelang es den besonderen Bemühungen der Firma Randolph, Elder & Co. in Glasgow die Compoundmaschine bei der englischen Kriegsmarine einzuführen.

In der ersten Zeitperiode ihrer Verwendung arbeiteten die Compoundmaschinen nur mit zwei Cylindern; nachdem jedoch mit den zunehmenden Abmessungen der Schiffe und der gesteigerten Schiffsgeschwindigkeit die von den Maschinen geforderten Leistungen derart anwuchsen, daß es nicht mehr gut möglich war, dieselben in einem Hochdruck- und einem Niederdruckcylinder zu erzeugen, weil letzterer eine zu bedeutende Größe annehmen mußte, verteilte man die Arbeit des Niederdruckcylinders auf zwei

*) *Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure*, 1900.

**) Ebenda, 1892: „G. M. Roentgen, der Erfinder der Mehrfach-Expansionsdampfmaschine“ von Brückmann.

***) A. Ledieu, *Les nouvelles machines marines*, Paris 1879.

Cylinder und entstanden daraus die noch heute auf größeren Handels- und Kriegsschiffen in Betrieb stehenden dreicylindrigen Compoundmaschinen.

Um die Wirtschaftlichkeit dieser Maschinen zu erhöhen, versuchte man mit Beginn der 80er Jahre die Dampfspannung, welche bei Compoundmaschinen 4 kg/qcm Überdruck betrug, allmählich bis auf 9 kg zu erhöhen. Der hiervon erhoffte Erfolg blieb jedoch, infolge der nun zu großen Druck- und Temperaturdifferenzen in den einzelnen Cylindern, aus; es lag daher der Gedanke sehr nahe, den Dampf statt in zwei, in drei aufeinanderfolgenden Cylindern expandieren zu lassen.

Dem englischen Konstrukteur Alexander Kirk gebürt das Verdienst, die erste praktisch brauchbare Dreifachexpansionsmaschine, die auch späteren Maschinen als Vorbild diente, gebaut zu haben. Bereits im Sommer 1874 hatte Kirk, damals bei John Elder in Glasgow, für den Dampfer „Propontis“ eine Dreifachexpansionsmaschine konstruiert; dieselbe arbeitete mit 8,8 kg/qcm Betriebsdruck, bewährte sich jedoch aus dem Grunde nicht, weil die Wasserrohrkessel derselben sich nach kaum 1½-jährigem Betrieb als unbrauchbar erwiesen*). Ähnlich erging es der im Herbst 1874 von Mr. Franklin für den deutschen Dampfer „Sexta“ entworfenen Maschine; auch dieser Versuch mißglückte infolge der für den hohen Betriebsdruck unbrauchbaren Kessel**). Eine dritte Maschine dieser Art wurde 1877 in England von Douglas & Grant für die Yacht „Isa“ gebaut, brachte es aber gleichfalls zu keinem namhaften Erfolge***). Die erste Dreifachexpansionsmaschine, welche sich wirklich bewährte, war die von Kirk konstruierte, von Napier & Sons in Glasgow erbaute und 1882 erprobte Maschine des Frachtendampfers „Aberdeen“. — Unmittelbar nach der „Aberdeen“-Maschine wurde 1883 die für den Dampfer „Isle of Dursey“ von Taylor konstruierte und bei der Wallsend Co. erbaute, sowie die für den Bremer Dampfer „Nierstein“ von Schichau in Elbing 1884 erbaute Dreifachexpansionsmaschine dem Betriebe übergeben. — In der deutschen Marine ist die Dreifachexpansionsmaschine im Jahre 1883 in Gebrauch gekommen.

Für noch größere Leistungen empfiehlt sich auch hier wie bei den Compoundmaschinen, wenn der Durchmesser des Niederdruckcylinders 2,3—2,5 m überschreiten müßte, denselben in zwei kleinere Niederdruckcylinder zu zerlegen; auf diese Weise entstand die von Schlick empfohlene Aufstellung der viercylindrigen Dreifachexpansionsmaschine mit zwei

*) C. Busley, *Die Entwicklung der Schiffsmaschine in den letzten Jahrzehnten*, Berlin 1892, 3. Aufl.

***) *Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure*, 1886.

***) *Engineering*, 1879.

zwischen Hochdruck- und Mitteldruckcylinder liegenden Niederdruckcylindern und vier Kurbeln*). Viercylindrige Dreifachexpansionsmaschinen entstanden aber auch durch den Umbau von zweicylindrigen Compound- in Dreifachexpansionsmaschinen; da dieser Umbau ohne Vergrößerung des Maschinenraumes erfolgen mußte, so wählte man als in jeder Beziehung günstigste Anordnung die Teilung des Hochdruckcylinders und setzte je einen Hochdruckcylinder über den Mittel- beziehungsweise Niederdruckcylinder; auf diese Weise entstand die viercylindrige Dreifachexpansionsmaschine mit zwei unter 90° versetzten Kurbeln. In dieser Art wurden vom Vulkan in Stettin im Jahre 1890—1891 umgebaut die Maschinen der Norddeutschen Lloyd-Dampfer „Hohenzollern“, „Hohenstaufen“, „Habsburg“ und „Salier“.

Für ungewöhnlich große Dreifachexpansionsmaschinen stellte sich analog wie bei Compoundmaschinen das Bedürfnis heraus, um einen symmetrischen Maschinenaufbau und gleichmäßigere Druckverteilung zu erzielen, außer dem Niederdruckcylinder auch den Hochdruckcylinder zu spalten und je einen Hochdruck- über einen Niederdruckcylinder, vereint auf eine Kurbel arbeitend, zu stellen, den Mitteldruckcylinder dagegen allein die mittlere, als dritte Kurbel, bewegen zu lassen. Auf diese Weise entstand die fünfzylindrige Dreifachexpansionsmaschine. Solche Maschinen besitzen z. B. die beiden von Fairfield & Co. erbauten, vorhin erwähnten größten Zweischraubenschnelldampfer der Cunard-Linie „Campania“ und „Lucania“; ferner die Schnelldampfer des Norddeutschen Lloyd „Havel“ und „Spree“. Diese Maschinen indizierten während der Probefahrten ca. 25 000—25 600 Pferdekkräfte**).

Die erste Vierfachexpansionsmaschine, welche als Schiffsmaschine Verwendung fand, wurde 1884 von der Barrow-Schiffbaugesellschaft in Barrow-in-Furness für den Dampfer „County of York“ gebaut. Im Sommer 1886 waren schon vier Dampfer des englischen Lloyd mit Vierfachexpansionsmaschinen ausgerüstet und seitdem hat die Zahl derselben 100 bereits überschritten. Die Vierfachexpansionsmaschinen werden entweder mit zwei, drei, vier oder sogar mit fünf Kurbeln ausgeführt, je nach der Gruppierung der vier Cylinder. Maschinen der letzteren Art erhielten geteilten Niederdruckcylinder; die Dreikurbelmaschine dreifach geteilten Hochdruckcylinder, also im ganzen sechs Cylinder. Nach den bisher gemachten Erfahrungen steht für die Vierfachexpansionsmaschine erst bei Anfangsspannungen von 15 kg/qcm Überdruck, also bei Eintrittstemperaturen des Dampfes von 200° C., ein wirklicher Vorteil über die

*) *Transactions of the institution of naval architects*, London 1894.

**) C. Busley, *Die Schiffsmaschine*, 3. Aufl. 1898, Lipsius & Tischer.

Dreifachexpansionsmaschine in Aussicht; dieser Vorteil aber fällt trotzdem wesentlich geringer aus, wie der Vorteil der Dreifachexpansionsmaschine gegenüber der Compoundmaschine.

Litteraturnachweis.

- Dircks*, Life of the Marquis of Worcester, 1865, containing a reprint of the Century of Inventions (1663).
- Desaguliers*, Course of Experimental Philosophy, 1763.
- Robison*, System of Mechanical Philosophy, Vol. II, 1822.
- Stuart*, Descriptive History of the Steam-Engine, 1825.
- Farey*, Treatise on the Steam-Engine, 1827.
- Tredgold*, The Steam-Engine, 1838.
- Muirhead*, Mechanical Inventions of James Watt, and Life of Watt.
- Galloway*, The Steam-Engine and its Inventors.
- Thurston*, History of the Growth of the Steam-Engine.
- Cowper*, On the Steam-Engine (Heat Lectures, Inst. C. E. 1884).
- M. Rühlmann*, Allgemeine Maschinenlehre, Braunschweig, 1868, 1875 und 1876.
- C. Matschoss*, Geschichte der Dampfmaschine, Berlin, 1901.
- Th. Beck*, Beiträge zur Geschichte des Maschinenbaues, 1899, Springer in Berlin.
- Ad. Ernst*, James Watt und die Grundlagen des modernen Dampfmaschinenbaues, 1897, Springer in Berlin.
- C. Busley*, Die Entwicklung der Schiffsmaschine in den letzten Jahrzehnten, 3. Aufl., 1892, Berlin.
- C. Busley*, Die Schiffsmaschine, 3. Aufl., 1891, 1898, 1901, Lipsius & Tischer.
-