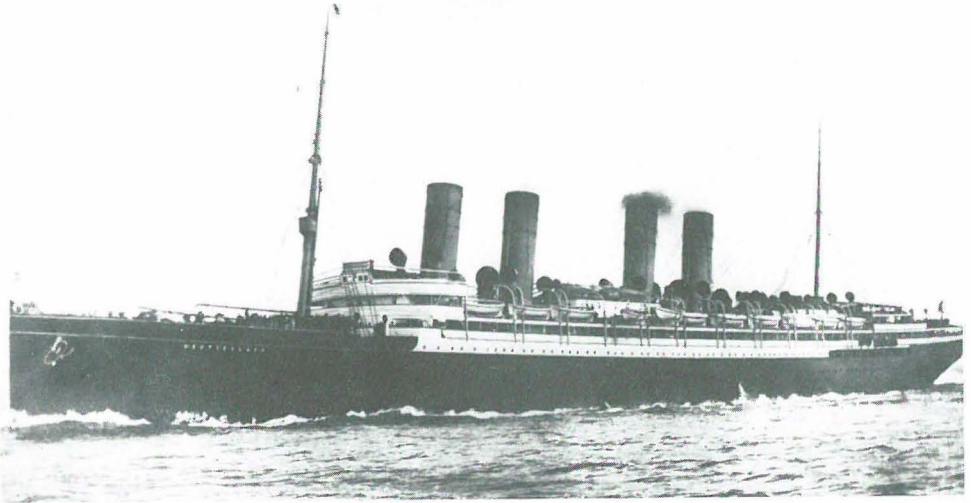


DIE EINFÜHRUNG DER DAMPFTURBINE ALS SCHIFFSHAUPTMASCHINE

VON KURT MAUEL

Der Antrieb von Schiffen durch Kraftmaschinen hat sich im Laufe des 19. Jahrhunderts mehrfach verändert. Wiederholt kam es zur Verwendung bestimmter neuer und wirtschaftlicherer Formen von Dampfmaschinen, zuletzt zur Mehrfach-Expansionsmaschine, die gegen Ende des Jahrhunderts nahezu ohne Konkurrenz war. In langjähriger Entwicklung war Schritt für Schritt die Kolbendampfmaschine als Schiffsmaschine auch zu immer größeren Leistungen, zu zwei- drei- und schließlich vierfach Expansion geführt worden. Für Handelsschiffe wie für Kriegsschiffe stand Jahrzehnte hindurch keine andere konkurrenzfähige Maschine zur Verfügung. Die Kolbendampfmaschine mit ihrer niedrigen Drehzahl, ihrer Umsteuerbarkeit und ihrem guten Teillastverhalten war in vieler Hinsicht für den Schiffsantrieb gut verwendbar. Hinderlich waren Gewicht, Platzbedarf und obere Leistungsgrenze, namentlich bei kleinen, schnellen Kriegsschiffen. Bei größeren vor allem gepanzerten Kriegsschiffen erwies es sich als immer schwieriger, die großen Kolbendampfmaschinen unter dem Panzerdeck unterzubringen. Bei den großen Passagierschiffen, namentlich für die Atlantikfahrt, spielte der Platzbedarf ebenso wie das Gewicht der Maschinen eine wesentlich geringere Rolle, hier wurden dann auch mit steigender Schiffsgröße und Geschwindigkeit immer größere Maschinen eingebaut; so hatten die Cunardschiffe *Etruria* und *Umbria* in den 80er Jahren Wellenleistungen von 14.500 PS. Sie waren mit dreifach Expansionsmaschinen ausgerüstet. Mit den beiden sehr langen Schiffen *Teutonic* und *Majestic* (1889 – 1890) wurden Zweischraubenschiffe mit Längsschotten zwischen den Maschinenräumen eingeführt. Das Rennen um das blaue Band begann.

In Deutschland wurde 1897 von der Werft Stettiner Vulkan für den Norddeutschen Lloyd der Schnelldampfer *Kaiser Wilhelm der Große* mit 14.349 Bruttoregistertonnen gebaut. Er erreichte mit einer Maschinenleistung von 28.000 PS 22 Seemeilen und das blaue Band. Für die gleiche Reederei wurde kurz darauf von der Werft Schichau in Elbing der Dampfer *Kaiser Friedrich* mit 12.500 Bruttoregistertonnen gebaut und die Hapag ließ bei dem Stettiner Vulkan den Schnelldampfer *Deutschland* bauen. Mit dem



Schnelldampfer „Deutschland“ der Hapag, erbaut vom Stettiner Vulkan, dreifach-Expansions-Kolbenmaschinen (Foto: Deutsches Museum).

Übergang zu Vierfachexpansionsmaschinen und damit noch größeren Leistungen war der Höhepunkt im Kolbendampfmaschinenbau für große Schiffe erreicht. In der Zeit von 1902 bis 1907 werden von der Werft Stettiner Vulkan für den Norddeutschen Lloyd die Dampfer *Kronprinz Wilhelm*, *Kaiser Wilhelm II* und *Kronprinzessin Cecilie* gebaut, mit je 19.500 Bruttoregistertonnen und der damals ungeheueren Leistung von je 45.000 PS. Sie erreichten eine Geschwindigkeit zwischen 23,4 und 23,6 Seemeilen.

Zur gleichen Zeit, in der in Deutschland diese großen Schnelldampfer mit Kolbendampfmaschinen und bei der deutschen Kriegsmarine entsprechend große Schiffe mit ähnlicher Maschinenausrüstung gebaut wurden, begann man in England bereits Dampfturbinen als Hauptmaschinen oder für den Niederdruckteil von Kolbendampfanlagen zu verwenden.

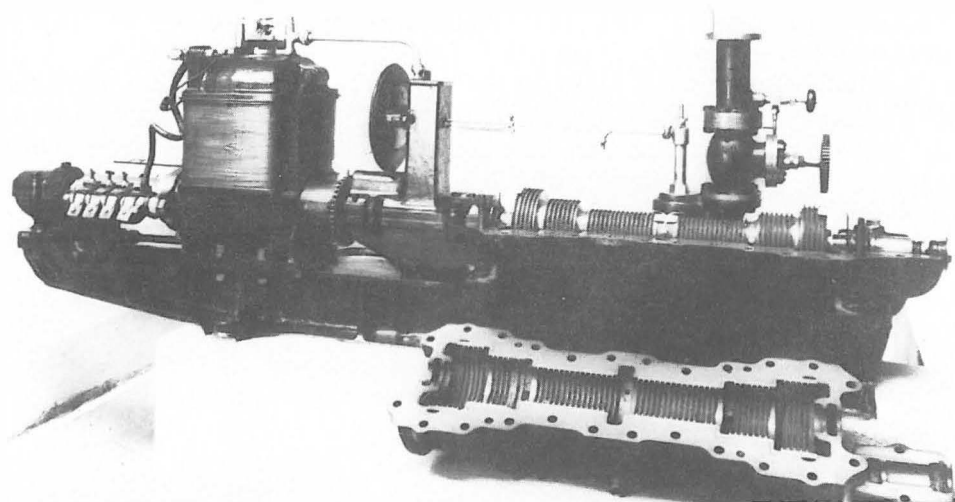
Die Entwicklung der Dampfturbine ging in ungleich kürzerer Zeit vor sich als die der Kolbendampfmaschine. Dabei war die Idee, die strömende Energie von Dampf zum Antrieb einer rotierenden Kraftmaschine zu verwenden sehr viel älter als die der Verwendung in einer Kolbendampfmaschine. Zwar hat das Rad von Heron 125 v. Chr. kaum noch etwas mit einer Reaktionsturbine des späten 19. Jahrhunderts zu tun, ebenso wenig wie die Turbine von Branca aus dem Jahre 1629 mit einer modernen Aktionsturbine, aber man fand bis in die 80er Jahre des 19. Jahrhunderts keine brauchbare Lösung für eine thermische Kraftmaschine nach Art der Turbine. Die Kolbendampfmaschine war als Pumpmaschine für den Bergbau zu Anfang des 18. Jahrhunderts in England entwickelt worden. Die Umwandlung der hin und hergehenden Bewegung des Kolbens in eine Drehbewegung bereitete große Schwierigkeiten und man wählte zunächst den Umweg über ein Wasserrad ehe man den

Kurbeltrieb einführte. Für rotierende Dampfmaschinen gibt es seit der 2. Hälfte des 18. Jahrhunderts mehrere Patente, darunter auch eines von James Watt aus dem Jahre 1784. In späteren Jahren folgen vor allem in England weitere Vorschläge für den Bau von Dampfturbinen. Zu praktischen Ausführungen kam es jedoch nicht oder fast nicht. Der Deutsche Christian Schiele machte 1852 bereits Vorschläge, eine Dampfturbinenanlage für Schiffe mit Vorwärts- und Rückwärtsturbine zu bauen. Praktische Erfolge hat er damit nicht erzielt. Die eigentliche Entwicklung der Dampfturbine setzt erst nach 1880 ein und zwar nahezu gleichzeitig in England durch Charles A. Parsons und in Schweden durch Gustaf de Laval. Beide Erfinder haben unabhängig voneinander völlig verschiedenartige Dampfturbinen herausgebracht, beide haben ihre Entwürfe ursprünglich nicht für den Zweck der Verwendung als Schiffsantrieb geplant. Während Parsons mit seiner Reaktions-, also Überdruckturbine, elektrische Maschinen antreiben wollte und diese Turbogeneratorsätze auch tatsächlich gebaut hat und zwar als Bordaggregate für Schiffe, war die Erfindung von Laval auf den Antrieb schnellaufender Milchzentrifugen hin gerichtet. Seine Turbine war eine Aktions- also eine Druckturbine.

Kennzeichen aller Dampfturbinen ist, daß Dampf mit hoher Geschwindigkeit (bei 10 Atmosphären-Druck, z.B. mit rund 1.000 Meter pro Sekunde) auf ein Rad oder mehrere Räder zuströmt. Entweder wird der Gegendruck des strömenden Dampfstrahles ausgenutzt (Reaktionsturbine) oder es findet eine unmittelbare Druckwirkung (Aktionsturbine) statt. Bei der einstufigen Druckturbine, auch Gleichdruckturbine, von de Laval, die 1889 herauskam, durchströmt Dampf unter gleichbleibendem Druck die Laufschaufeln. Er wird an den Laufschaufeln nur abgelenkt. Die Drehzahl einer derartigen Turbine war anfangs höher als 30.000 Umdrehungen pro Minute. Um die Maschine auch für andere Zwecke als für den Antrieb von Zentrifugen verwendbar zu machen, war Laval gezwungen, die Drehzahl wesentlich herabzusetzen. Er konstruierte Getriebe, deren Zahnräder in doppelter Schrägverzahnung und sehr kleiner Teilung als Pfeilräder ausgeführt waren und in Untersetzungsverhältnissen von teilweise mehr als 10 zu 1 in einer Stufe arbeiteten. Es gelang ihm im Laufe der folgenden Jahre einstufige Dampfturbinen von bis zu 500 PS Leistung zu bauen. Dabei waren unter Verwendung von Dampfdrücken von etwa 10 Atmosphären und Temperaturen von rund 250 °C, bei mittleren Raddurchmessern von etwa 750 mm und Drehzahlen von rund 10.000 Umdrehungen pro Minute die Umfangsgeschwindigkeiten im mittleren Raddurchmesser rund 400 m pro Sekunde. Nur durch Verwendung von elastischen Wellen, die sich im hohen Drehzahlbereich bei Unwuchten selbst stabilisieren (eine weitere Erfindung von Laval), ließen sich die Turbinen betreiben, aber keinesfalls für den Schiffsantrieb. Eine Verwendung als Schiffsturbine ergab sich für die Gleichdruckturbine erst durch mehrstufige Anordnung, wie sie einerseits durch den Amerikaner Curtis und zweitens durch den Franzosen Rateau erreicht wurde und schon kurz nach 1900 für den Antrieb von Torpedobooten Verwendung fand.

Die Überdruckturbine des Engländers Parsons hatte anfangs ebenfalls Drehzahlen bis etwa 18.000 Umdrehungen pro Minute und war damit für den praktischen Betrieb, auch zum Antrieb von Generatoren, kaum verwendbar. Parsons war 1854 als der jüngste von 6 Söhnen des Earl of Rosse, Präsident der Royal Society, geboren und interessierte sich zunächst wie sein berühmter Vater für Astronomie und den Bau von Spiegelteleskopen. Nach Abschluß seiner Universitätsstudien in Dublin und Cambridge arbeitete er bei verschiedenen Maschinenfabriken und wandte sich etwa 1881 dem Bau von Turbinen zu. Seine Idee der Reaktionsdampfturbine ließ er 1884 durch 2 Patente schützen; 1889 gründete er zum Bau von Dampfturbinen für den Gebrauch an Land eine Firma C. A. Parsons & Co. und 1884 eine zweite Firma, die Marine Steam Turbine Company, für den Bau von Dampfturbinen zum Zwecke der Verwendung auf Schiffen. Er wurde ein erfolgreicher Unternehmer auf dem Gebiet des Turbinenbaues, wandte sich aber im späteren Abschnitt seines Lebens wieder dem Bau von Teleskopen zu. Der erste Gleichstrom-Turbogenerator brachte eine Leistung von 5 KW bei 18.000 Umdrehungen pro Minute und wurde noch als eine Kuriosität bezeichnet. Jedoch schon wenige Jahre später gelang es Parsons, derartige Turbosätze als Hilfsaggregate auch auf Schiffen sowohl der britischen Marine als auch der Handelsmarine unterzubringen. Nach einigen Jahren Erfahrung mit Turbosätzen und durch Messungen kam Parsons um 1891 zu der Überzeugung, daß Kondensationsturbinen in der Lage waren, einen ebenso geringen Dampfverbrauch wie die damals besten Kolbendampfmaschinen zu haben, da sich die Kondensation bei Turbinen besser ausnutzen läßt. So ließ er sich 1894 ein Patent erteilen „ein Schiff durch eine Dampfturbine anzutreiben, wobei die Turbine den Propeller oder das Schaufelrad direkt oder über ein Getriebe antreibt“.

Nach einigen Versuchen mit Modellen konstruierte Parsons mit Hilfe der von ihm gegründeten Firma für Schiffsturbinen das erste Turbinenschiff der Welt, die *Turbinia*, ein Boot von nur 100 ft. Länge, 9 ft. Breite, einem Tiefgang von 3 ft. und einer Wasserverdrängung von 44 1/2 t. Das Boot hatte einen Doppelwasserrohrkessel von 11.000 Quadratfuß Heizfläche und 210 Pfund pro Quadratzoll Druck. Zunächst wurde eine einzelne Radialturbine gebaut, die auf eine einzige Propellerwelle wirkte und bei 2.400 Umdrehungen pro Minute 960 PS abgab. Die Geschwindigkeit des Bootes blieb aber erheblich hinter der erwarteten zurück, so nahm man die Radialturbine wieder heraus und ersetzte sie durch drei parallelgeschaltete Axialturbinen. Eine dieser Turbinen war für Hochdruck, eine für Niederdruck und eine für Mitteldruck ausgelegt. Jede der drei Turbinen arbeitete auf eine eigene Schraubenwelle. Bei einem Dampfdruck von 157 Pfund pro Quadratzoll erreichte die mittlere Propellerwelle 2.000 Umdrehungen pro Minute und die beiden seitlichen 2.230. Es gelang mit dieser Maschinenanordnung, dem Boot eine Geschwindigkeit von 34 1/2 Seemeilen zu geben. Das waren 4 Seemeilen mehr als die damals schnellsten Zerstörer der Royal Navy. Am 26. Juni 1897, zur Feier des sechzigsten Jahrestages der Thronbesteigung der Queen



Dampf-Turbinen-Bordaggregat von Ch. A. Parsons 1894 (Foto: Deutsches Museum).

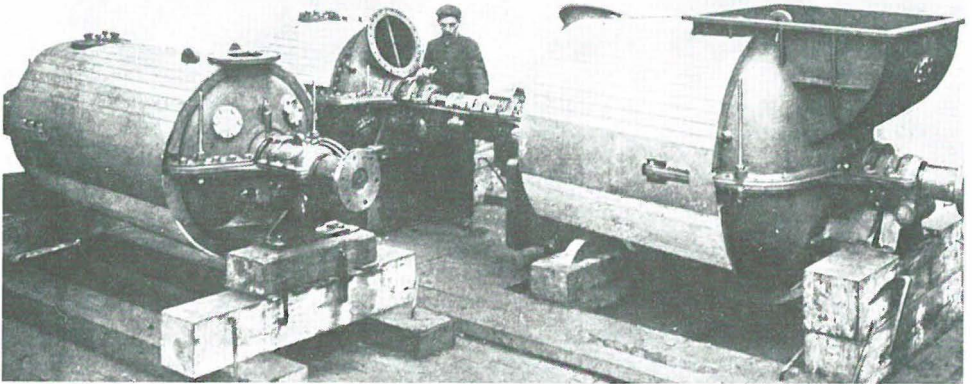
Victoria, fand eine Flottenparade auf der Reede von Spithead statt, und vor den Augen der größten Armada, die die Welt je gesehen hatte, nicht weniger als 165 Schiffe, darunter auch Schiffe anderer Flotten und Handelsschiffe, fuhr die *Turbinia* allen, auch den schnellsten Zerstörern und Torpedobooten davon. Mit Ausnahme von 6 Segelschiffen, die bei der Parade anwesend waren, war die ganze britische Flotte damals mit Kolbendampfmaschinen ausgerüstet. Sie stellte einen Wert von mehr als 35 Millionen Pfund dar und



Das erste Turbinenschiff, die von Parsons erbaute „Turbinia“, Länge des Schiffs 100', Wasserverdrängung 44 1/2 t, Anlage mit 3 Propellerwellen zu je 3 Propellern, max. Geschwindigkeit 33 – 34 kn, erbaut 1897 (Foto: Neilson, *The Steam Turbine*, 1903).

hatte über 38.000 Mann Besatzung. 17 Jahre später, bei Ausbruch des 1. Weltkrieges, waren bereits alle bedeutenderen Schiffe der englischen Marine mit Dampfturbinen ausgerüstet.

Die Demonstration der *Turbinia* war so eindrucksvoll, daß die britische Admiralität der von Parsons gegründeten Gesellschaft einen Forschungsauftrag für einen turbinenangetriebenen Zerstörer erteilte; 1898 erschien in den Listen der englischen Flotte unter dem Namen *Viper* ein Zweischrauben-Torpedobootzerstörer, gebaut bei Haxthorn Leslie & Co., Maschinenfabrik, für die Parsons Steam Turbine & Co. Ltd. Newcastle on Tyne. Die *Viper*

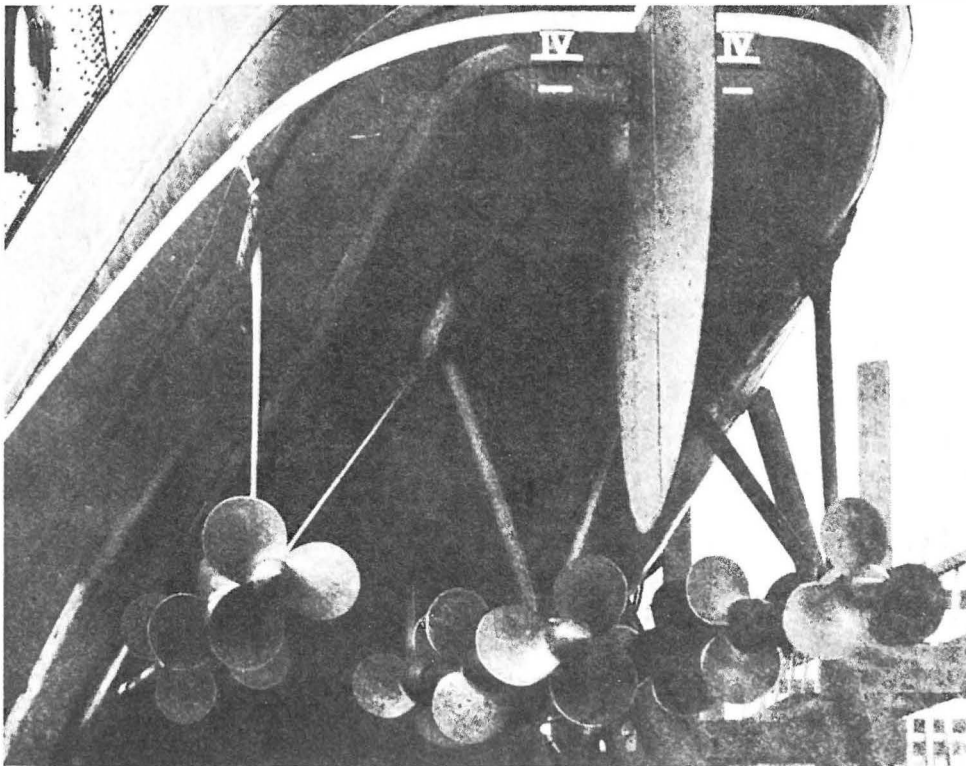


Turbinen für den Torpedo-Boot-Zerstörer „Viper“, erbaut von Parsons Marine Steam Turbine Comp.. Die „Viper“ und ihr Schwesterschiff „Cobra“ waren 210' lang, Wasserverdrängung 350 t und erreichten eine Geschwindigkeit von 33,8 kn (Foto: Neilson).

hatte die gleichen Abmessungen der damals üblichen 30-Knoten-Zerstörer, nämlich 210 Fuß Länge und rund 370 t Wasserverdrängung. Ihre Turbinen waren für 10.000 PS ausgerichtet, die Geschwindigkeit sollte 31 Knoten betragen, sie erreichte unter Normalbedingungen aber 33,38 und mit Überlast sogar 36,5 Knoten Geschwindigkeit. 1901 wurde das Schiff in Dienst gestellt und bald darauf ein Schwesterschiff *Cobra*. Beide Schiffe mußten wegen Havarien, die aber nicht auf eingebaute Turbinen zurückzuführen waren, schon nach kurzer Zeit aus dem Verkehr gezogen werden. Anfangs sah es nach dem Unfall der *Cobra*, die in zwei Teile zerbrochen und dann gesunken war, so aus, als würde man gyroskopische Effekte der Turbinen für den Unfall verantwortlich machen, jedoch das Seeamt stellte in seinem Spruch fest, daß konstruktive Fehler am Schiffskörper die Ursache des Unfalls gewesen sind. Glücklicherweise waren noch bevor die *Cobra* verunglückte, sogar wenige Tage vor dem Unfall der *Viper*, bereits Probeläufe des ersten Passagierschiffes mit Turbinenantrieb, *King Edward*, in Gang gekommen. Dieser erste Turbinen-Schnelldampfer war eine Gemeinschaftsarbeit des Kapitäns Wiliamson, der Parsons Dampfturbinen Gesellschaft und der Firma Gebrüder Dennis in Dumbarton. Das Schiff war 250 Fuß lang und hatte eine Wasserverdrängung von 650 t. Es hatte eine Hochdruckturbine, die zwei Schrauben auf einer in der Mitte gelegenen Welle antrieb und zwei Nieder-

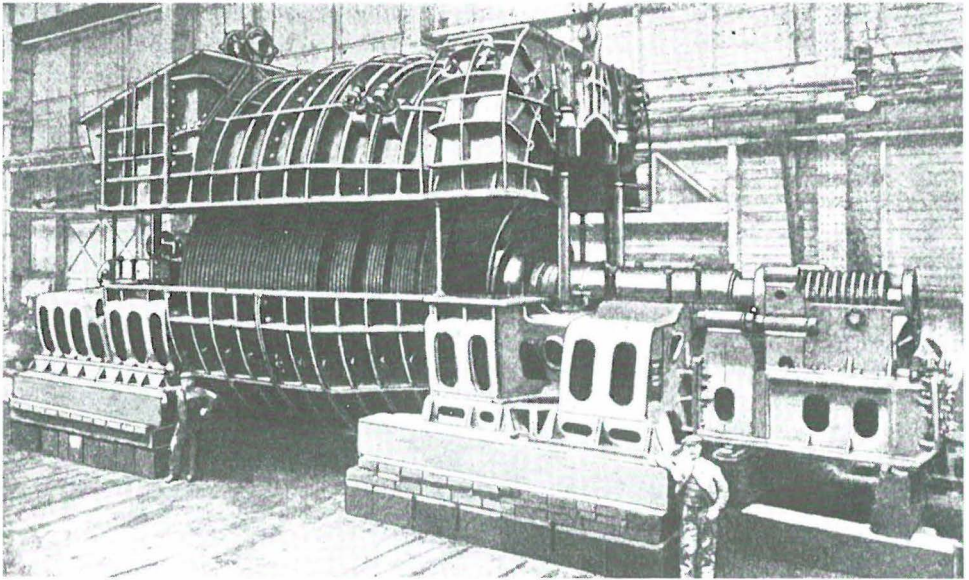
druckturbinen für zwei weitere Propellerwellen mit je einer Schraube an den Seiten.

Die Handelsschifffahrt und die Personenschifffahrt wurden sehr schnell auf die Turbinenschiffe aufmerksam. Der Erfolg der *King Edward* führte schon 1902 zu dem Bau des etwas größeren Dampfers *Queen Alexandra* von 750 t, einer Maschinenanlage von 4.000 PS und einer Geschwindigkeit von 21 1/2 Seemeilen und 1903 zum Bau der *Queen* für den Betrieb zwischen Dover und Calais als Kanalfähre. Inzwischen begann die englische Marine 1902 – 1903 weitere Schiffe mit Turbinen auszurüsten. Hatte man bei der *Velox* für die Marschfahrt noch zwei kleine Dreifachexpansions-Kolbenmaschinen zusätzlich eingebaut, um hohe Kohlenverbräuche bei Turbinen im Teillastbetrieb zu vermeiden, so ging man bei der *Eden* bereits dazu über, für die Kreuzfahrt besondere Turbinen zusätzlich vorzusehen. Ähnliche Anordnungen wurden eingebaut in dem leichten englischen Kreuzer *Amethyst*, der einen Dreischraubenantrieb von 10.000 PS hatte, bei einem französischen Torpedoboot, ebenso bei dem deutschen Torpedoboot *S 125* und ein Jahr später für den deutschen Kreuzer *Lübeck*.



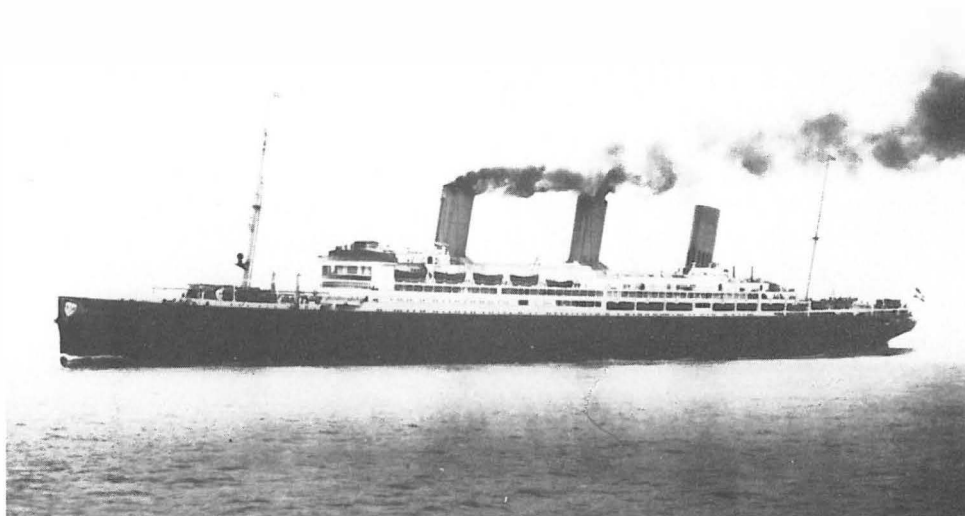
Hinterschiff der „Tarantola“ mit 3 Propellerwellen und 9 Schrauben. Die „Tarantola“ war eine turbinengetriebene Yacht, erbaut von Yarrow & Co. 1903. Das Schiff hat genau die Größe eines Torpedobootes bis auf die Änderungen infolge der durch die Turbinen veränderten Maschinen- und Propelleranlage, Länge 160', die mittlere Propellerwelle wird von einer Hochdruckturbine, die beiden äußeren jeweils von einer Niederdruckturbine angetrieben (Foto: Neilson).

In den nun folgenden 5 Jahren wird die Entwicklung immer schneller. England, das auf dem Gebiet der großen Atlantik-Passagierdampfer die absolute Überlegenheit verloren hatte, beauftragte 1902 ein Handelsschiffskomitee zur Untersuchung der Baumöglichkeiten für 2 sehr große Schiffe, schneller und mit größerem Aktionsradius als jemals vorher gebaut. Es kam eine Vereinbarung zustande zwischen der britischen Regierung und der Cunard Company für den Bau zwei derartiger Schiffe. Ein von der Cunard Company eingesetzter technischer Ausschuß entschied sich für die Verwendung von Parsons-Dampfturbinen für die später berühmt gewordenen Schiffe *Lusitania* und *Mauretania*. Bevor jedoch diese Schiffe auf Kiel gelegt wurden,



Eine der Niederdruckturbinen für die „Lusitania“ und die „Mauretania“, in der Werkstatt, Deckel hochgestellt (Foto: aus Stodola, die Dampfturbine Berlin 1910).

baute die Cunard Company das Turbinenschiff *Carmania* von 30.000 Brutto-registertonnen und 21.000 Wellen-PS, ein Schiff von 675 Fuß Länge, das die damals beträchtliche Geschwindigkeit von 18,5 Seemeilen erreichte und 1905 in Dienst gestellt wurde. Ein Jahr vorher hatte die Allan Line die beiden Schiffe *Virginian* und *Victorian* von je 13.000 t und 12.000 Wellen-PS für den Atlantikdienst nach Kanada gebaut. 1907 gelang nun der große Sprung: die *Mauretania* mit 38.000 t, einer Länge von 785 Fuß und 68.000 Wellen-PS. wurde in Dienst gestellt. Sie erreichte 25 Knoten und hielt das blaue Band für mehr als 22 Jahre. Die *Mauretania* hatte, wie fast alle Turbinenschiffe dieser Zeit, direkt gekuppelte Turbinen, also keine Getriebe, eine Anordnung, die dann auch bei den beiden großen deutschen Schiffen *Imperator* mit 57.000 t, 76.000 Wellen-PS, 22,5 Knoten Geschwindigkeit, und *Vaterland*, 1914 mit 63.000 t, 72.000 Wellen-PS und 22,5 Knoten Geschwindigkeit, eingebaut wurde. Die etwas kleinere, 1914 in Dienst

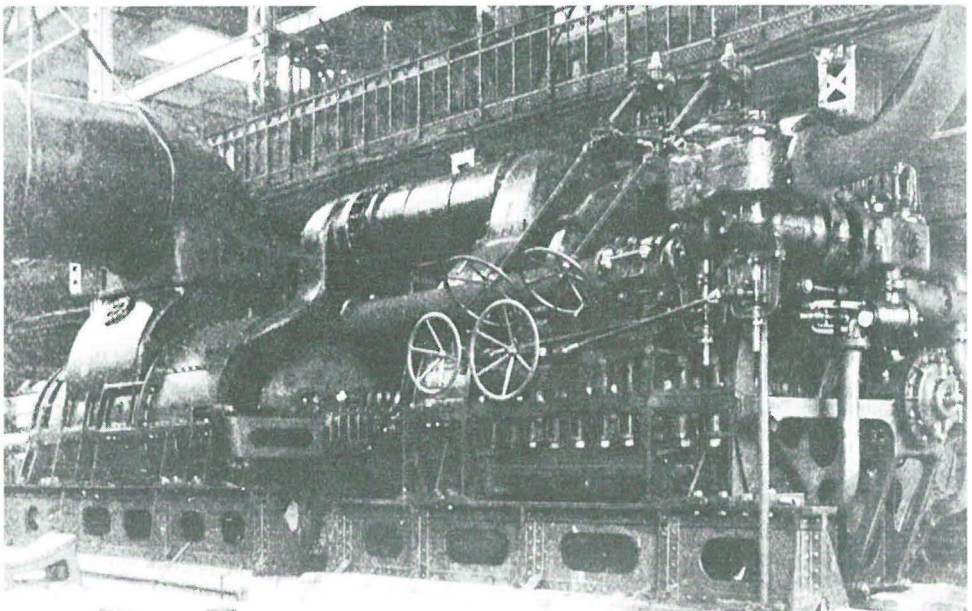


4-Schrauben-Dampfer „Vaterland“ der Hapag, Hamburg, 52.484 BRT. Turbinenanlage ohne Getriebe, 72.000 WPS, erbaut 1913, in Dienst gestellt 1914 (Foto: Deutsches Museum).

gestellte *Aquitania* mit 53.000 t und 60.000 Wellen-PS, erreichte sogar 23,5 Seemeilen und eine Geschwindigkeit, die nur noch von der französischen *La France*, 1910, überboten wurde, die bei 27.000 t wesentlich kleiner war und mit 46.000 Wellen-PS auf eine Geschwindigkeit von 23,6 Knoten kam. Die genannten Turbinenschiffe waren damit nicht schneller als die 1902 bis 1907 in Dienst gestellten deutschen Schiffe *Kronprinz Wilhelm*, *Kaiser Wilhelm* und *Kronprinzessin Cecilie* des Norddeutschen Lloyd in Bremen. Mit ihren Vierfachexpansions-Kolbenmaschinen waren die Antriebsaggregate dieser Schiffe im Gewicht den Turbinenanlagen einschließlich der dafür notwendigen Getriebe etwa gleich, im Platzbedarf jedoch ungünstiger. Vor allem verursachten sie mehr Erschütterungen beim Betrieb.

Neben den beiden von der britischen Regierung eingesetzten Komitees für den Bau neuartiger Handels- und Passagierschiffe wurde auch von der britischen Admiralität ein ähnliches Komitee eingesetzt, das für alle Arten von Kriegsschiffen der Royal Navy bestimmte Bewaffnungsarten, vor allem aber bestimmte Geschwindigkeiten festsetzte. So wurden z. B. für Schlachtschiffe 21, für schwere Kreuzer 25 Knoten, für Überseezerstörer 33, für Küstenzerstörer 25 und für größere ozeangängige Zerstörer sogar 36 Knoten bestimmt. Derartige Bedingungen waren nur noch mit Turbinenanlagen zu erfüllen und bereits im Januar 1905 wurde das erste turbinengetriebene Schlachtschiff, die *Dreadnought*, auf Kiel gelegt. Der erste Lord der britischen Admiralität führte zur Begründung für die allgemeine Einführung von Parsons-Turbinen folgende Gesichtspunkte an: leichteres Gewicht, weniger bewegte Teile, gute Regelbarkeit, leiser Lauf, geringerer Kohlenverbrauch bei Höchstgeschwindigkeit, Gewinn an Kesselraum, Einsparung an Maschinen-

raum, Möglichkeit der Unterbringung unter dem Panzerdeck, niedrige Lage des Schwerpunktes. Als Schwierigkeiten wurden angesehen: die Rückwärtsfahrt, da die Turbinen nicht umsteuerbar sind und vor allem die Marschfahrt, da Turbinen im unteren Drehzahlbereich wesentlich unwirtschaftlicher arbeiten als Kolbenmaschinen. Diese beiden Probleme wurden bereits bei der *Dreadnought* gelöst und zwar durch den Einbau zweier besonderer Marschfahrtturbinen und durch den Einbau von Reversionsturbinen für alle 4 Wellen. Nach nur einem Jahr Bauzeit, im Oktober 1906, begannen die Versuchsfahrten. Die *Dreadnought* war 490 Fuß lang, hatte 17.000 t Wasserverdrängung, hatte zehn 12 Zoll-Kanonen in fünf Türmen und war damit bei weitem das stärkstbewaffnete damals vorhandene Schiff aller Flotten. Bei einem Dampfdruck von 250 Pfund pro Quadratzoll wurde bei einer Maschinenleistung von 23.000 PS eine Geschwindigkeit von 21,5 Knoten gemessen, das waren 3 Knoten mehr, als die unmittelbar vorher gebauten Schiffe hatten. Eingespart wurden 1.000 t an Gewicht und 100.000 Pfund Sterling an Kosten. Diese Erfolge waren so überzeugend, daß die britische Admiralität sich in den folgenden Jahren bis zum Beginn des 1. Weltkrieges entschloß, weitere und immer größere Kriegsschiffe mit Turbinen auszurüsten, die hier nicht alle aufgeführt werden können. Am Ende dieser Entwicklungsreihe stand 1914 die *Repulse* mit 26.500 t, einer Wellenleistung von 112.000 PS, die 31 Knoten erreichte, eine ungeheure Geschwindigkeit für ein derart großes Schiff. Beachtlich ist, daß es den Konstrukteuren gelang, gegenüber der *Dreadnought* das Maschinengewicht je PS von 184 auf



Turbinenanlage für einen Kreuzer auf dem Prüfstand, AEG-Schiffs-Turbine 10.500 PSe; die Gleichdruckräder sind in einem Hochdruckgehäuse, die Gleichdrucktrommel und die Rückwärtsturbine in einem Niederdruckgehäuse untergebracht. Dazwischen befindet sich das Drucklager (Foto: Stodola).

113 Pfund zu drücken. Im gleichen Zeitraum, zwischen 1906 und dem Ausbruch des 1. Weltkrieges, wurde eine große Zahl von Zerstörern von der 250 t Klasse mit 4.000 PS und 26 Knoten Geschwindigkeit bis zur 1.100 t Klasse mit 25.000 PS und 34 Knoten gebaut. Hierbei gelang es, das Maschinengewicht je PS von 57 auf 33 zu senken. Nicht unwichtig ist zu erwähnen der gleichzeitig mit der Einführung der Turbine immer schneller erfolgende Übergang von Kohlenfeuerung zur Ölfeuerung mit ihrem höheren Heizwert je Gewichtseinheit, der besseren Überwachbarkeit der Verbrennung und der Vermeidung von Qualm (vor der Einführung der Funkpeilung war die Rauchfahne das erste Erkennungszeichen), der wesentlichen Erleichterung des Bunkerns und vor allem der Einsparung von Heizerpersonal. Ohne Schwierigkeiten ging die Einführung der Ölfeuerung übrigens nicht ab, mehrere Jahre mußten Versuche gefahren werden, um die geeigneten Brennerkonstruktionen für die Ölfeuerung zu finden.

Zur allgemeinen Entwicklung der Turbinen selbst, insbesondere für die Verwendung als Schiffshauptmaschinen, seien noch einige Gesichtspunkte angeführt: Wichtigste Aufgabe war die Herabsetzung der Drehzahl. Bei der Druckturbine oder Aktionsturbine, wie Laval sie zuerst gebaut hatte, gelang dies mit sogenannten Geschwindigkeitsstufungen, z. B. durch die Anordnung von zwei Laufrädern, zwischen denen ein Leitrad saß. Derartige Anordnungen wurden von Curtis in den USA und von Rateau in Frankreich vorgelegt. Auch die Parsons Turbinen mit reiner Überdruckwirkung wurden sehr bald anders gestaltet, indem man für den Abbau des Hochdruckgefälles eine Curtis-Turbine mit zwei oder mehr Geschwindigkeitsstufen vorschaltete. Es wurden also eine Aktionsturbine mit Geschwindigkeitsstufung im Hochdruckteil und eine Reaktionsturbine mit Druckstufung im Niederdruckteil miteinander kombiniert. Während bei ersterer nur die relative Geschwindigkeit des Dampfes in ihrer Richtung verändert wird, ist bei der Reaktionsturbine durch die Verengung des Schaufelquerschnitts zwischen Eintritt und Austritt die Dampfgeschwindigkeit erhöht, wodurch eine Expansion im Laufrad selbst erfolgt. Die Reaktion des ausströmenden Dampfes verursacht die Vergrößerung der Dampfgeschwindigkeit im Laufrad. Es ist also auf beiden Seiten des Laufrads der Druck verschieden. Dadurch entsteht bei den Reaktionsturbinen eine Axialkraft in Strömungsrichtung. Es war eine schwierige Aufgabe, die aber bald gelöst werden konnte, diese Axialkraft aufzufangen, was zum Teil durch Umwandlung der Eintrittsrichtung der verschiedenen Turbinenteile vor sich ging. Ein wesentlicher Vorteil des Dampfturbinenbetriebs, der an sich im Ganzen gesehen nicht wirtschaftlicher war als der Betrieb mit Kolbendampfmaschinen, war die bessere Möglichkeit der Ausnutzung des Vakuums und der Kondensation. Für die bei Kriegsschiffen wichtige sparsame Marschfahrt mit verminderter Geschwindigkeit wurden sowohl Marschfahrtturbinen eingesetzt als auch Reihen- bzw. Parallelschaltungen der verschiedenen an Bord installierten Turbinen.

Die Dampfturbine hat durch ihre besseren Möglichkeiten der Verarbeitung hoher Drücke bald auch zu einem wirtschaftlicheren Betrieb geführt, beson-

ders in Verbindung mit neuen Möglichkeiten des Baues von Hochdruckschiffskesseln, in Verbindung vor allem mit der Ölfeuerung. Zieht man eine Bilanz über einen Zeitraum von etwas mehr als 100 Jahren, so läßt sich feststellen, daß für dampfgetriebene Schiffe die Leistung je Welle sich etwa ver Hundertfacht hat. Dabei stieg der Kesseldruck um etwa das fünfzigfache. Dabei sank gleichzeitig der Verbrauch auf etwa 1/12 des ursprünglichen Verbrauches.

Der Dieselmotor, zuerst bei kleinen Schiffen, besonders Unterseebooten, erprobt, drang nach 1920 als Hauptantriebsmaschine in die Bereiche größerer Schiffsbauten vor. Für den Gesamtbereich der kleineren und mittleren Schiffe heute konkurrenzlos, ist er im Begriff, mit Zylinderleistungen von 5.500 PS als derzeit obere Grenze, bei Handelsschiffen bis zu den größten Abmessungen in Konkurrenz zur Dampfturbine zu treten.

Literaturverzeichnis:

- Bacon, Frederic, Aus der Geschichte des englischen Schiffbaues, in: Technikgeschichte Bd. 26 (1937), S. 71 bis 83.
- Bihl, Adolf, Aus den Anfängen des deutschen Torpedobootbaues, in: Technikgeschichte Bd. 26 (1937), S. 141 bis 144.
- Juda, A., The story of the steam turbine, London 1906.
- Kraft, E.A., Ch. A. Parsons †, in: Z. VDI Bd. 75 (1931), S. 409 ff.
- Krebs, Moderne Dampfturbinen und Turbinenschiffe, ³Berlin 1908.
- Matschoß, Conrad, Die Entwicklung der Dampfmaschine, I/II, Berlin 1908.
- Matschoß, Conrad, Charles Algernon Parsons, 1854 – 1931, in: Große Ingenieure, ⁴München 1954.
- Mewes, Dampfturbinen, Berlin 1904.
- Musil, A., Bau der Dampfturbinen, Leipzig 1904.
- Neilson, Steam turbines, London 1905.
- Overton, G.L., Marine Engines, London 1926.
- Prochaskas ill. Jahrbuch der Erfindungen, Hrsg. Hans Eden, Leipzig 1900 ff.
5. Jg. (1905), Sp. 77 und 84.
 6. Jg. (1906), Sp. 99 bis 107 (die ersten Turbinenschnelldampfer).
 7. Jg. (1907), Sp. 93 (Der Turbinen-Schnelldampfer *Carmania*).
 9. Jg. (1909), Sp. 83 (Turbine oder Kolbenmaschine).
 10. Jg. (1910), Sp. 87, 91 (Die Entwicklung des Turbinendampfers).
 11. Jg. (1911), Sp. 78 (Dampfturbinen und Dieselmotoren im Schiffsbetrieb).
 12. Jg. (1912), Sp. 67 ff (Verdrängung der Dampfmaschine durch den Ölmotor).
- Richardsson, A., The evolution of the Parsons steam turbine, London 1911.
- Schwarz, T., Die Entwicklung des Kriegsschiffbaues vom Altertum zur Neuzeit, 2 Bde., Berlin 1909 und 1912.
- Scientific papers and addresses of the Hon. Sir Charles A. Parsons, with a memoir by Lord Rayleigh, Cambridge 1934.
- Smith, E.G., A short History of Naval and Marine Engineering, Cambridge 1938, dazu: The Introduction of the Parsons steam turbine.
- Szymanski, H., Zeittafel zur Geschichte des Handelsschiffes, in: Technikgeschichte Bd. 26 (1937), S. 93 bis 106.