

**210. Schiffsmaschinen.** Die ersten Dampfschiffe waren Raddampfer; ihre Betriebsmaschinen waren größtenteils modifizierte Balanciermaschinen. Obgleich die Entwicklung der Schiffsmaschine bereits in der Geschichte der Dampfmaschine eingehende Berücksichtigung gefunden hat, so sei an dieser Stelle der Vollständigkeit halber noch auf die ausführliche Behandlung derselben in Rühlmanns *Allgemeiner Maschinenlehre*, Band 4, hingewiesen.

Die Maschinen zum Antriebe der Schaufelräder waren zu jener Zeit Balanciermaschinen umgekehrter Aufstellung. Die Cylinder standen vertikal mit nach oben durchgehender Kolbenstange; von dem Kreuzkopfe hingen seitlich zu beiden Seiten Lenkerstangen herab, welche an den Enden zweier horizontal gelagerter, um eine in der Mitte ihrer Länge befindliche Achse schwingende Balanciers angriffen. Die beiden anderen Enden dieser Balanciers waren durch ein Kreuzstück vereint, von welchem Kraft und Bewegung durch eine Schubstange auf die oberhalb liegende Kurbelwelle übertragen wurde. Die Schaufelräder waren an den beiden Enden dieser Welle befestigt.

Diese und ähnliche Aufstellungsarten, welche seinerzeit sehr beliebt waren, sind heute veraltet; auf amerikanischen Fluß- und Küstendampfern findet man jedoch heutzutage noch Balanciermaschinen mit einem über Deck auf einem A-Ständer gelagerten Balancier.

Eine der ältesten Formen der direkt wirkenden Radmaschinen bestand aus einem stehenden, unter der Kurbel angebrachten Cylinder mit zwei seitlichen, rechts und links von der Kurbelwelle durchgehenden Kolbenstangen, welche an ihrem oberen Ende durch einen Kreuzkopf vereint und geradlinig geführt wurden. Von dem Kreuzkopfe hing die Schubstange herab und übertrug die Bewegung auf die zwischen demselben und dem Cylinderdeckel befindliche Kurbel. Balancier- und direkt wirkende Maschinen kämpften längere Zeit miteinander hinsichtlich der Vorzüge und Nachteile, bis der Streit zugunsten letzterer entschieden wurde. Der Vorteil der direkt wirkenden Maschinen liegt besonders in ihrer Einfachheit und in ihrer zusammengedrängten Konstruktion; sie benötigen weniger Raum als Balanciermaschinen und gestatten größere Kolbengeschwindigkeit.

Die alten hochgebauten, meist über Deck ragenden Konstruktionen wurden durch die modernere Bauart der Oszillations- und Diagonalmaschine gänzlich verdrängt.

Bei den Oszillationsmaschinen befinden sich die Cylinder unter den gekröpften Kurbeln; die Kolbenstangen sind direkt mit den Kurbeln verbunden. Die Cylinder sind in Drehzapfen gelagert, um der Bewegung der Kurbel folgen zu können. Der Dampfzutritt erfolgt durch die Zapfen,

die Dampfverteilung durch Flachschieber an der Seite des Cylinders. Mitunter wurden auch geneigt liegende statt der stehenden Cylinder angewendet, meist derart, daß ein Cylinder vor der Welle, der zweite Cylinder hinter derselben liegt, beide Kolben an derselben Kurbel angreifend. Die Oszillationsmaschinen eignen sich nur für niedrige Dampfspannungen.

Diagonalmaschinen sind gewöhnlich direkt wirkende Kolbenmaschinen mit festliegenden Cylindern, Geradföhrung und Schubstange. Die Cylinder sind, der Hochlage der Radwelle entsprechend, geneigt gelegt.

Als man anfang Schraubenpropeller anstelle der Schaufelräder für Ozeandampfer zu verwenden, trachtete man unter Beibehaltung der für Radmaschinen gebräuchlichen Typen die erforderliche, verhältnismäßig hohe Umlaufzahl dadurch zu erreichen, daß man die Schraubenwelle nicht direkt, sondern unter Einschaltung von Ketten- oder Zahnrädern zwischen Kurbel- und Propellerwelle antrieb. Später änderten sich die Anschauungen der Konstrukteure, als man die Vorteile der Dampfmaschinen mit großer Kolbengeschwindigkeit mehr und mehr erkannte, gleichzeitig aber auch einen richtigen Einblick in den Einfluß der absetzend bewegten Massen der Maschine gewann, das heftige Schlagen rasch bewegter Pumpenventile durch Verwendung vulkanisierten Gummis unschädlich zu machen verstand etc. Man ging daher zur direkt wirkenden Maschine ohne Vorlege über.

Der verhältnismäßig kleine Raum zu beiden Seiten der Maschinen- bzw. Propellerwelle bildete anfänglich ein Hindernis für den Einbau horizontaler Maschinen; diese Schwierigkeit wurde jedoch auf verschiedene Weise überwunden. Eine namentlich auf Kriegsschiffen beliebte Bauart war Penns Trunkmaschine. Die notwendige kurze Baulänge wurde dadurch erreicht, daß die Schubstange direkt am Kolben der Maschine angriff; die zu einem Hohlcyylinder erweiterte Kolbenstange, Trunk genannt, war so bemessen, daß sie der oszillierenden Schubstange genügenden Raum gab, der Kurbel zu folgen. Die hohle Kolbenstange ging durch beide Cylinderdeckel hindurch und bildete auf diese Weise zugleich die Föhrung des Kolbens. Die hierdurch bedingten großen Stopfbüchsen, die große Abkühlungsfläche der erweiterten Kolbenstangen, sowie der Verlust an Kolbenfläche bzw. die notwendige Vergrößerung des Cylinderdurchmessers für die Erzielung gleicher Leistung waren Schattenseiten dieser Bauart, welche derselben mit Recht zum Vorwurfe gemacht werden konnten.

Eine andere Bauart liegender Maschinen, welche gleichfalls in der Marine Eingang gefunden hatte, war dadurch gekennzeichnet, daß man die Annäherung der Cylinder an die Kurbelwelle auf diese Weise zu erreichen suchte, daß man von jedem Cylinder zwei, mitunter auch vier lange Kolbenstangen neben der Welle bzw. der Kurbel vorüberföhrte, hinter

derselben durch ein gerade geführtes Querhaupt vereinigte und nun durch eine zurückgreifende Schubstange die Bewegung auf die vor den Cylindern gelagerte Kurbelwelle übertrug.

Auf diese Weise gelangte man schließlich wieder zu der einfachen Form der gewöhnlichen horizontalen Maschine mit kurzem Hube und kurzer Schubstange. Diese Bauart, die natürlichste Type liegender Maschinen, fand gleichfalls in der Marine ausgedehnte Anwendung, so lange man die horizontale Aufstellung der vertikalen aus dem Grunde vorzog, um die Maschine unter die Wasserlinie zu bekommen.

Die Luftpumpe und den Kondensator pflegt man dem Dampfzylinder gegenüber auf der anderen Seite der Welle anzubringen, weil hierdurch ein besserer Ausgleich der Gewichte, sowie der direkte Antrieb der Luftpumpe ermöglicht wurde.

Handelsseedampfer sind heutzutage fast durchweg mit stehenden Maschinen umgekehrter Aufstellung (hochliegenden Cylindern) ausgerüstet; auch die Marine hat diese Type nun seit Jahren für ihre Kriegsschiffe angenommen.

Gewöhnlich sind es Dreicylinder-Dreifachexpansionsmaschinen mit unter  $120^\circ$  versetzten Kurbeln. Der mechanische Vorteil dieser Anordnung, ein nahezu gleichförmiges Drehmoment bei geringem resultierendem Achsdruck zu geben, hat viel zur allgemeineren Einführung dieser Maschinentype beigetragen. Die Steuerung ist, der wünschenswerten Einfachheit wegen, zumeist eine entlastete Einschiebersteuerung; die Änderung der Füllung, sowie die Umsteuerung erfolgt hierbei durch einen der bekannten, in Abschnitt VIII behandelten Coulissen- oder Lenkermechanismen.

Den hochgespannten Anforderungen der Neuzeit entsprechend verwendet man derzeit für den Betrieb der großen transatlantischen Dampfer und Kriegsschiffe, wie bereits an früherer Stelle (Abschnitt I, Schiffsmaschinen) erörtert, vier- und mehrcylindrige Dreifach- sowie Vierfachexpansionsmaschinen mit vier und mehr Cylindern.

Die Oberflächenkondensatoren wurden durch S. Hall im Jahre 1831 in der Marine eingeführt, gelangten jedoch viel später zu allgemeiner Verwendung. Früher mußte man, um die Ansammlung zu dichter Sole im Kessel zu vermeiden, dieselbe in kurzen Zwischenräumen ablassen und durch Seewasser wieder ersetzen, wodurch viel Wärme verloren ging. Durch die Einführung des Oberflächenkondensators konnte dasselbe Speisewasser immer wieder von neuem benützt werden.

Der gänzliche Mangel an mineralischen Bestandteilen des kondensierten Wassers bildete anfänglich ein Hindernis für die Einführung der Oberflächenkondensatoren, da die von jedem Niederschlage freien Kesselwandungen nun der zerstörenden Einwirkung der sich durch die Zer-

setzung des Schmieröles bildenden Säuren viel mehr ausgesetzt waren. Diesem Übelstande begegnete man jedoch dadurch, daß man etwas Seewasser dem Speisewasser zusetzte, so daß sich ein schützender Niederschlag bilden konnte. Von da an wurden Oberflächenkondensatoren auch bei allen Seedampfern allgemein eingeführt.

Die Oberflächenkondensatoren gewähren wesentliche Vorteile gegenüber den Einspritzkondensatoren. In erster Linie geben sie eine bessere Luftleere. Während diese bei Einspritzkondensatoren im gewöhnlichen Betriebe 0,8 bis 0,85 kg/qcm erreicht, erzielt man mit Oberflächenkondensation in der Regel eine Luftleere von 0,9 bis 0,95 kg/qcm. Diese Erscheinung findet ihre Begründung in dem Luftgehalte des Einspritzwassers. Bei Verwendung von Oberflächenkondensatoren kommt der Dampf mit dem Kühlwasser nicht in Berührung und es konnte daher, abgesehen von Undichtheiten, nur dann Luft in die Kondensatorräume gelangen, wenn man das zur Ergänzung des Speisewassers erforderliche Zusatzwasser behufs Vorwärmung in den Kondensator leitete.

Ein weiterer Vorteil liegt eben in der Reinheit des Speisewassers und der Möglichkeit, infolgedessen die Temperatur des Kesselwassers bezw. die Dampfspannung beliebig hoch steigern zu können. Bei Verwendung von Einspritzkondensatoren zur See durfte man die Temperatur des Kesselwassers nie bis auf 144° C steigern; der Vorsicht halber ging man in der Regel mit der Temperatur nicht über 135° C, entsprechend einer Dampfspannung von 2 Atm. Überdruck, weil sich das im Seewasser enthaltene Salz bei dieser Temperatur bereits in größeren Mengen ausscheidet, sobald der Gehalt an Salz 12% übersteigt. Durch das mit Rücksicht auf eine möglichst lange Lebensdauer der Kessel erforderliche öftere teilweise Abblasen des heißen Kesselwassers gingen im günstigsten Falle 6 bis 7%, häufig jedoch weit mehr bis 15% Brennstoff verloren. Durch die Einführung der Oberflächenkondensation wurde das Ausblasen auf viel größere Intervalle beschränkt, hierdurch an Kohle gespart und infolge der sehr verminderten Bildung von Niederschlägen die Gefahr des Eindrückens der Feuerbüchsen- und Rauchkammerdecken wesentlich vermindert, daher man mit der Dampfspannung viel höher hinauf gehen konnte, als dies mit Einspritzkondensatoren möglich war.

Die Oberflächenkondensatoren der Schiffsmaschinen bestehen aus einer großen Anzahl enger Röhren, gewöhnlich aus Messing von 20 mm Durchmesser und 1 mm Wandstärke, durch welche kaltes Seewasser zirkuliert, während der Dampf mit der äußeren Oberfläche derselben in Berührung steht. Fallweise findet man die umgekehrte Anordnung, indem der Dampf durch die Röhren strömt und das Kühlwasser außen zirkuliert. Letztere Anordnung ist, obwohl wegen der schwierigen Reinigung und anderen

Gründen weniger vorteilhaft, in der Kriegsmarine dennoch die vorherrschende; ihr Hauptvorzug besteht in der geringen Wärmeausstrahlung, wodurch die Temperatur des Maschinenraumes eine angenehme wird.

Die freitragende Länge der Kondensatorröhren soll bei nur in Packungen ruhenden Röhren nicht mehr als 100 Durchmesser betragen, jene von fest mit der Rohrplatte verbundenen Röhren 120 Durchmesser nicht überschreiten.

Die Entfernung der Kondensatorröhren von einander richtet sich nach der Art ihrer Verbindung mit der Rohrwand; sie schwankt zwischen 25,5 und 33,5 mm. Im ersteren Falle beträgt die Anzahl Rohre pro qm Rohrwandfläche 1850, im letzteren Falle 1066. Die Röhren werden meist im Zickzack angeordnet.

Die gewöhnliche Schiffsmaschine hat vier Pumpen und zwar die Luftpumpe, welche genügend groß sein muß, um auch für den Fall der Not auszureichen, daß die Oberflächenkondensation durch Einspritzung ersetzt werden muß; die Speisepumpe; die Zirkulationspumpe und die sogenannte Lenz- oder Bilgepumpe. Die Zirkulationspumpe beschafft das zur Kondensation erforderliche Wasser; dieselbe ist entweder eine einfach- oder doppeltwirkende Kolbenpumpe oder bei größeren Maschinen eine von einer eigenen Maschine betriebene Zentrifugalspumpe; sie ist für große Anlagen der Kolbenpumpe weitaus vorzuziehen. Die geringfügigen Nachteile größeren Raumerfordernisses und aufmerksamerer Wartung, sowie die etwas höheren Kosten kommen den vielseitigen Vorzügen derselben gegenüber kaum in Betracht.

Die Bilgepumpe hat die Aufgabe, das durch Undichtheiten oder Leckwerden sich am Schiffsboden sammelnde Wasser zu entfernen. Die Pumpen werden gewöhnlich so angeordnet, daß im Falle eines ersten Lecks auch die Zirkulationspumpe ihren Wasserbedarf aus dem Bilge entnehmen kann.

Bei den heutigen modernen Anlagen großer Seeschiffe werden die Pumpen durch eigene von der Schiffsmaschine unabhängige Motoren betrieben\*).

Durch die Verbesserungen in der allgemeinen Anordnung und Detailkonstruktion der Schiffsmaschine war man bestrebt, einerseits den Verbrauch an Brennmaterial, andererseits das Gewicht der Maschine samt Kessel pro Leistungseinheit zu vermindern. Die Verminderung des Gewichts der Maschine spielt in manchen Fällen, speziell bei Kriegsschiffen, eine wichtigere Rolle als die Reduktion des Kohlenverbrauches. Die er-

\*) Über Schiffsmaschinen siehe: Busley, *Die Schiffsmaschine*, 2. Aufl. 1886. Ferner A. E. Seatons *Manual of Marine-Engineering*; R. Sennetts *Treatise on the Marine Steam-Engine*, W. H. Maws *Recent Practice in Marine-Engineering*; ferner A. J. Durston, *On the progress of Marine-Engineering, Engineering* 1897, sowie Dr. G. Bauer, *Berechnung und Konstruktion der Schiffsmaschinen und Kessel*, München und Berlin 1902.

zielten Fortschritte wurden einerseits durch die Erhöhung der Dampfspannung, andererseits durch die Erhöhung der Kolbengeschwindigkeit erreicht; auf den Einfluß der gesteigerten Dampfspannung auf die Ökonomie des Betriebes wurde bereits im ersten Abschnitte unter „Schiffsmaschinen“ hingewiesen. Hinsichtlich der Verminderung des Gewichtes von Maschine und Kessel (samt Wasserfüllung) kann als feststehend angenommen werden, daß dasselbe vor Einführung der Dreifachexpansion und des forcierten Zuges bei den Seedampfern der Handelsmarine ca. 220 kg pro PS<sub>i</sub> betrug. Bei den Schiffen der Kriegsmarine war dies Gewicht, infolge leichteren Unterbaues der maschinellen Anlage, etwas geringer und betrug durchschnittlich 160 kg. Durch die Einführung der Dreifachexpansion und des forcierten Zuges wurde das Einheitsgewicht wesentlich vermindert.

Dreifachexpansionsmaschinen der Handelsmarine, ohne forcierten Zug arbeitend, sind im allgemeinen nur um weniges leichter als Zweifachexpansionsmaschinen. In der Kriegsmarine jedoch, wo einerseits durch den künstlichen forcierten Zug die Geschwindigkeit erhöht, andererseits durch die Verwendung des Stahls für alle bewegten Teile der Maschine, Frames etc. das Verhältnis des Maschinengewichtes zur Leistung derselben vermindert wurde, trat eine ziemlich bedeutende Reduktion des Einheitsgewichtes ein. Ein Satz stehender Dreifachexpansionsmaschinen, welcher bei natürlichem Zuge 2200 PS indizierte, dessen Leistung jedoch bei forciertem Zuge und einer Pressung von rund 50 mm Wassersäule im Heizraum auf 4000 PS gesteigert wurde, wog im letzteren Falle, inkl. der Kessel, nur etwa 70 kg pro PS<sub>i</sub>. In einem anderen Falle, bei welchem der Zug auf 76 mm gesteigert wurde, die Maschine 4200 PS indizierte, die Kolbengeschwindigkeit im Mittel 5,4 m betrug und die Kessel als Lokomotivkessel gebaut, also die günstigsten Bedingungen vorhanden waren, verminderte sich das Gewicht pro PS<sub>i</sub> auf 62 kg. Selbst dieses geringe Einheitsgewicht bildet nicht die unterste Grenze, nachdem kleinere moderne Maschinenanlagen, namentlich jene der Torpedoboote, ein noch geringeres Gewicht pro Leistungseinheit ergeben. Die Anwendung der Dampfturbine als Schiffsmaschine andererseits ermöglicht eine so weitgehende Verminderung des Maschinengewichtes, wie sie durch Kolbenmaschinen nie erreicht werden konnte. Die Maschinen der „Turbinia“ (siehe Parsons Dampfturbine), welche 2100 PS indizieren, wiegen (ohne Kessel) weniger als 4000 kg; das Gewicht der ganzen maschinellen Einrichtung dieses Schiffes samt Pumpen, Kondensator, Wasserreservoirs, Kessel und Hilfsmaschinen beträgt 22000 kg, somit pro PS<sub>i</sub> nur 10,5 kg. Das außerordentlich günstige Verhältnis der Leistung der Maschine zu dem Gewichte derselben ist einerseits durch das geringe Gewicht der Turbinen im Verhältnis zu dem Gewichte einer gleich leistungsfähigen

Kolbenmaschine, andererseits durch die Verwendung von Wasserröhrenkesseln bei sehr stark forciertem Zuge begründet. Der Zug wurde durch einen Ventilator erzeugt, welcher mit einer der Turbinenwellen direkt verbunden ist und die Luft unter einer Pressung von ungefähr 200 mm Wassersäule in den Heizraum drückte.

Insofern große Leistungen bei verhältnismäßig geringen Gewichten der Maschinerie als eine Folge der erhöhten Kolbengeschwindigkeit erreicht werden, ist damit kein Verlust, im Gegenteil ein wenn auch nicht bedeutender thermodynamischer Gewinn verbunden. Forcierter Zug ohne gleichzeitige Vergrößerung der Heizfläche hat eine Verminderung des Wirkungsgrades zur Folge. Bei Kolbenmaschinen entspricht einer bestimmten Größe der Maschine auch ein bestimmtes Expansionsverhältnis dem günstigsten Verhältnisse zwischen Leistung und Gewicht derselben; wird dieses Expansionsverhältnis überschritten, dann wiegt der Gewinn an Kesselgewicht das vermehrte Gewicht der Maschine nicht auf, und umgekehrt wird bei größerer als der in diesem Sinne günstigsten Füllung das verminderte Maschinengewicht durch die Vermehrung des Kesselgewichtes mehr als ausbalanciert.

**211. Lokomotivmaschinen.** Die gewöhnliche einfache Lokomotivmaschine besteht aus zwei auf einem starren Rahmen unter dem Frontende des Kessels gelagerten horizontalen oder nahezu horizontalen direktwirkenden Maschinen, welche durch zwei auf ein und derselben Achse unter 90° versetzte Kurbeln gekuppelt und durch eine der bekannten Flachschieber-, Coulissen- oder Lenkersteuerungen gesteuert sind. Die Maschinen arbeiten zumeist ohne Kondensation; der Auspuffdampf dient, wie an früherer Stelle bereits erörtert, zur Erzeugung des künstlichen Zuges; bei einzelnen Maschinen wird ein Teil desselben, ungefähr  $\frac{1}{5}$ , zum Vorwärmen des Speisewassers benützt. Das während der Fahrt benötigte Speisewasser wird in Reservoirs zu beiden Seiten des Kessels oder im Tender der Maschine mitgeführt.

Auf der Kurbelachse befinden sich die beiden Triebräder, deren Reibungswiderstand auf den Schienen die zur Fortbewegung erforderliche Kraft bildet. Bei vielen Maschinen sind zur Vergrößerung der Zugkraft zu jeder Seite derselben zwei gleich große Triebräder angebracht und durch außerhalb liegende Kuppelstangen verbunden. Bei Güterzuglokomotiven pflegt man auch drei und vier Triebräder zu jeder Seite zu kuppeln, um einen noch größeren Teil des Gewichtes der Lokomotive zur Erzeugung der Zugkraft auszunützen. Man bezeichnet diese Anordnungen mit dem Ausdrücke „Vierkuppler“, „Sechskuppler“ und „Achtkuppler“. Gebräuchlicher ist es jedoch, die Anzahl der gekuppelten Lokomotiv-