

► FERDINAND BRANDES †

Erfahrungen der ehemaligen Kriegsmarine bei der Entwicklung schnelllaufender Schnellbootmotoren und der doppelwirkenden Zweitaktmotoren der MAN

Vorbemerkung

Ferdinand Brandes war bis 1944 in einer einem Chefkonstrukteur Maschinenbau des Konstruktionsamtes der Kaiserlichen Marine vergleichbaren Stellung als Ministerialdirektor im Konstruktionsamt der deutschen Kriegsmarine tätig. In dieser Stellung hat er maßgeblich die maschinenbauliche Entwicklung des deutschen Kriegsschiffbaus beeinflusst. Er war langjähriges Mitglied der Schiffbautechnischen Gesellschaft. Nach seinem Tod im Jahr 1974 wurde seine Frau Hertha Mitglied der Gesellschaft und hat regelmäßig den Vorstand der Gesellschaft zu sich nach Bad Salzuflen eingeladen. Prof. Keil hat diese Einladungen, zu denen auch verschiedene ehemalige Marinebaubeamte eingeladen waren, wahrgenommen. Nach ihrem Tod 2005 wurde mir aus dem Nachlass von Frau Brandes der Entwurf eines Gutachtens, welches Ferdinand Brandes 1955 für das Amt Blank angefertigt hatte, zur freien Verwendung überlassen. Da dieses Gutachten zum Teil nur als Fragment mit vielen handschriftlichen Änderungen vorlag und der Verbleib des Originals unbekannt ist, bedurfte es einer redaktionellen Aufarbeitung.

Da nunmehr nach nahezu 60 Jahren umfangreiche Studien über die von Brandes beschriebenen Motorenentwicklungen vorliegen¹ und damit die meisten Sachverhalte anhand vieler Dokumente, die Brandes als Privatmann 1955 nur lückenhaft zur Verfügung gestanden haben, belegt sind, erscheint mir der Wert dieser Ausarbeitung besonders darin zu liegen, dass hier ein unmittelbarer Zeitzeuge die Entwicklung beschrieben hat. Mit einer Veröffentlichung dieses Dokuments wird man dem Wirken von Ferdinand Brandes und der

beteiligten Marinebaubeamten am besten gerecht. Dankenswerterweise hat Hans-Jürgen Reuß, der durch mehrere Publikationen zur Entwicklung des Dieselmotors bekannt geworden ist, das Manuskript Korrektur gelesen und durch verschiedene Hinweise Klarheit geschaffen.

Eike Lehmann

Einleitung

Wenn hier über Erfahrungen aus dem Motorengbiet der ehemaligen deutschen Kriegsmarine berichtet werden soll, dann bedeutet das, eine Entwicklungsperiode von fast 20 Jahren chronologisch im Geist wieder abrollen zu lassen. Eine Periode, in der es gelang, aus kleinen Anfängen Marinemotoren zu einem Höchststand zu entwickeln. Mit dem Ende und der Zertrümmerung des Deutschen Reiches fand auch diese Periode ihren Abschluss.

Zehn Jahre sind seitdem vergangen; doch die Zeit steht nicht still und hat auch jetzt nicht still gestanden, sie hat sich gewandelt und mit ihr die Menschen, ihr Sinnen und Denken. Das alte Wort: »Tempora mutantur et nos mutamur in illis«² hat sich hier in einer Zeitkürze und anschaulich wie selten bewahrheitet. Wie könnte es sonst sein, dass nach diesen zehn Jahren, an deren Anfang alle Mittel recht waren, die einstige deutsche Wehrmacht bis ins Mark zu treffen, die gleichen Völker heute ihre Stimme erheben und nach einer Wiederbewaffnung des deutschen Volkes und nach einem Wiederaufbau einer Verteidigungsmacht rufen.

Es ist daher nur verständlich, wenn die jetzt zum Wiederaufbau Berufenen nun Umschau halten, wo noch brauchbare Bausteine in dem Trümmerhaufen des ehemaligen Deutschen Reiches zu finden sind: Bausteine, die ein Fundament und den Anfang für die ersten Arbeiten einer neuen Wehrmacht bilden können. Unerlässlich sind diese Bausteine. Es sind die Erfahrungen der Vergangenheit, die in mühevoller Arbeit im Laufe vieler Jahre und mit gewaltigen Opfern an Geld gewonnen wurden. Was an geistiger Arbeit auf dem Gebiete, das hier behandelt werden soll und sich über mehrere Jahrzehnte erstreckt, geleistet wurde, lässt sich hier in seinem ganzen Umfange in Worten und Zahlen nicht schildern, es lassen sich nur die wesentlichsten Ergebnisse dieser Entwicklungsarbeit, die wertvollsten Erfahrungen wiedergeben. »Erfahrungen sind eine Sammlung menschlicher Dummheit«, wie vor Kurzem ein Abgeordneter des Bundestages in einer Rede zur Wiederaufrüstung des deutschen Volkes sagte. Und geschehene Dummheiten soll man nicht wieder machen. Dazu bedarf es eben der Berücksichtigung und Anwendung der wertvollen, in mühsamer Arbeit gewonnenen Erfahrungen. Doch wo sind heute noch diese Erfahrungen zu finden und zu sammeln, nachdem Behörden und Industriewerke ausgeplündert und alle technischen Entwürfe, Bauzeichnungen und Bauvorschriften weggeschleppt wurden und auch die Mitarbeiter auf diesem Gebiete in alle Winde zerstreut

sind, sich neue Arbeitsgebiete und Betätigung suchend. So bleibt denn nur der Weg zu dem einen oder anderen der wenigen noch lebenden oder erreichbaren Mitarbeiter auf dem hier zu behandelnden Gebiet, der die Entwicklung der motorischen Antriebsarten miterlebte oder gar beeinflusst hat und auf eine lange Reihe von Jahren der Erfahrung zurückblicken kann.

Wenn mir nun von dem »Beauftragen des Bundeskanzleramtes«³ der Auftrag zuteil geworden ist, der ehemaligen Kriegsmarine die Erfahrungen bei der Entwicklung schnelllaufender S-Boot-Motoren und der doppeltwirkenden Zweitaktmotoren der MAN niederzuschreiben, so kann das nur möglich werden, indem die Vergangenheit aus dem Gedächtnis in Wort und Skizzen wieder mühsam zusammengetragen wird, da, wie schon erwähnt, die Werke der Industrie durch den Zusammenbruch des Reiches und durch seine Folgen fast aller technischen Unterlagen und Erfahrungen auf diesem Gebiete beraubt worden sind. War es doch eines der westlichen Kriegsziele, die deutsche Wirtschaft zu vernichten.

Soll die folgende Behandlung von wirklichem Wert sein, so darf sie nicht Dichtung und Wahrheit zum Inhalt haben, sondern muss nüchtern und ungeschminkt alle Erfahrungen und Kenntnisse übermitteln, die bis zum Ende des Krieges zu einem gewissen Höhepunkt der motorischen Antriebs-Anlagen der Kriegsfahrzeuge führten.

Schnellbootmotoren

Maybach-Motoren

Bei der Darstellung der Entwicklungsgeschichte und der dabei gewonnenen Erfahrungen der Schnellbootmotoren, die Ende der 1920er Jahre begann und die ich von 1933 an als direkt Beteiligter miterlebte und beeinflusste, wird es richtig sein, auch die ersten Schnellboote der Kaiserlichen Marine aus den Kriegsjahren 1916 bis 1918 zu erwähnen, deren Otto-Motoren zwar nicht als Schnellbootmotoren gebaut worden waren, aber zum ersten Male überhaupt die Möglichkeit für den Bau von Schnellbooten gaben.⁴ Es waren für Zeppelin-Luftschiffe bestimmte Maybach-Motoren, die von der Luftfahrt freigegeben waren, weil diese zu einem verbesserten neuen Motorentyp überging.⁵

Mit dem Bau der Boote waren die Bootswerften von Fr. Lürssen in Vegesack, die Rolandwerft Vertens & Co. Hemelingen und die Oertz Werft in Hamburg-Neuhof beauftragt. Die Boote, die ein in das Deck des Vorschiffes halb eingelassenes Torpedorohr hatten, liefen mit drei dieser Maybach-Motoren ungefähr max. 30 kn für eine kurze Zeit. Die Daten dieser Motoren vom Typ Mb IVa⁶ waren: 240 PSe normal, Umdrehungszahl 1300–1400 U/min., das Gewicht etwa 1,7 kg pro PS. Die Länge der Boote war 16 m, die Breite 2,4 m und die Seitenhöhe 1,3 m. Die Wasserverdrängung betrug ca. 7,8 t.

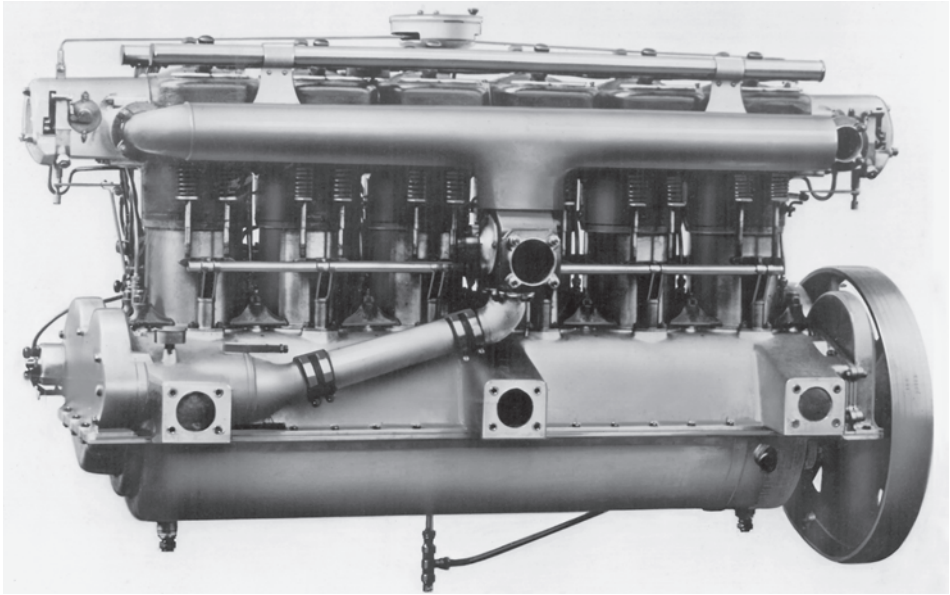


Abb. 1 Maybach Mb IVa-Motor. (Sammlung Eike Lehmann)

Diese Maybach-Motoren, die nicht umsteuerbar waren, kein Umsteuergetriebe und auch keinen Verstellpropeller hatten, besaßen nur eine auch vom Luftschiffbau mit übernommene Lamellenkoppelung zum Ein- und Abschalten der Motoren. Der Gedanke, ein Fahrzeug mit nicht umsteuerbarem Propeller zu haben, fand militärisch zunächst wenig Beifall. Da jedoch ein leichtes und für diese Boote geeignetes Umsteuergetriebe damals eine viel zu lange Entwicklungszeit gebraucht hätte, hieß die Wahl: S-Boote in der angegebenen Art oder gar keine. Die Boote wurden gebaut, und es zeigte sich, dass bei geschicktem Manövrieren trotzdem alle An- und Ablegemanöver ohne große Schwierigkeiten ausgeführt werden konnten. Bei Entwurf dieser Boote bildete die Drehzahl der Motoren – 1300–1400 in der Minute – zunächst einen weiteren Stein des Anstoßes, da diese Drehzahl wegen eines fehlenden Untersetzungsgetriebes ja auf den Propeller übertragen werden musste.⁷ Der Marine, die damals keinerlei Erfahrungen mit derartig hohen Propellerdrehzahlen hatte, kamen hier aber die Erfahrungen der Bootswerft Lürssen mit ihren Rennbooten auf den internationalen Rennen in Monaco zugute, so dass Schwierigkeiten durch diese hohen Drehzahlen nicht entstanden sind.

Mit diesen Luft-Motoren hat die Marine allerdings wenig Freude erlebt; immer wieder waren Störungen da; nicht dass ein Teil besonders versagte. Allgemein waren sie als Bootsmotoren zu empfindlich. Ich darf hier an den peinlichen Vorfall, an das Unglück des Zeppelin-Luftschiffes erinnern, das eine Notlandung auf französischem Boden vornehmen musste, weil alle Motoren nacheinander zusammenbrachen. Soweit mir noch erinnerlich, ergab die Untersuchung über die Ursache dieses Missgeschickes, dass sie auf Überbeanspruch-

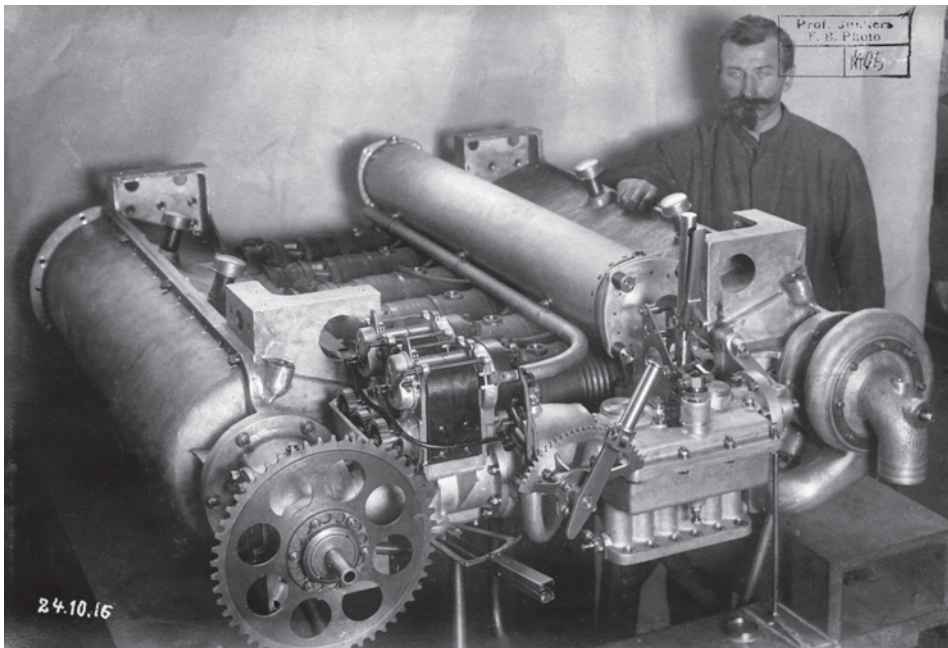


Abb. 2 Konstrukteur Otto Reuter mit dem Junkers Flug- und Schiffsmotor Fo 2, 1916. (Aus A. Hoffmann: Der Konstrukteur Otto Reuter. Junkers Kalenderblatt Nr. 47, Januar 2012; <http://www.junkers.de/kalenderblatt/der-konstrukteur-otto-reuter>)

ung von nicht erkannten oder damals noch nicht erfassbaren Torsionsschwingungen in der Kurbelwelle zurückzuführen war. An Bord der Schnellboote ist m.W. allerdings nie ein Wellenbruch durch Torsionsschwingungen eingetreten, wahrscheinlich waren bei diesen Motoren die früher vorhandenen Schwächen oder Fehler beseitigt worden.

Ich kann diesen geschichtlichen Rückblick auf diese ersten Schnellboote hier noch so genau niederschreiben, weil ich als damaliger Referent im Reichs-Marine-Amt alles miterlebt bzw. persönlich veranlasst hatte. Wahrscheinlich wird auch sonst kaum noch jemand da sein, der über diese Periode der ersten S-Boote noch Auskunft geben kann.

Die Erfahrungen mit diesen Maybach-Motoren, die für die damalige Zeit sicherlich eine ganz bedeutende Leistung im Leichtbau waren, kann man dahin zusammenfassen, dass Schnellboote ihre eigenen Motoren verlangen, die auch bei äußerst leichtem Gewicht pro PS gute Standfestigkeit und Unempfindlichkeit aufzuweisen haben.

Junkers-Motor

Auch die Junkers-Werke, die durch ihre Flugzeugfertigung auch auf Leichtbau eingestellt waren, wurden zum Bau eines Schnellbootmotors herangezogen,

der nach dem Gegenkolbensystem konstruiert wurde. Es war ein Benzinmotor mit eingespritztem Brennstoff. Er hatte sechs liegende Zylinder mit gegenläufigen Kolben und zwei Kurbelwellen an den Seiten, die ihre Drehmomente über Zahnräder auf die Propellerwelle übertrugen. Bei 2300 U/min. sollte er 660 PS leisten. Mit Wendegetriebe betrug sein Gewicht 1070 kg. Gegen Ende des Krieges war dieser Motor soweit fertig, dass seine Probelaufe auf dem Prüfstand begonnen werden konnten. Es zeigte sich aber bald, dass die errechnete Leistung bei Weitem nicht erreicht wurde. Auch das beim Lauf des Motors entstehende Geräusch war einfach unerträglich. Das Ende des Krieges bedeutete auch hier das Ende dieses Motors.

Siemens- und Körting-Motor

Zwei weitere Schnellbootmotortypen der Firma Siemens und der Firma Körting sind über die ersten Versuchszyylinder nicht hinausgekommen. So entschied sich Ende der 1920er Jahre die Marineleitung für die Konstruktion besonderer Motoren für Schnellboote und erteilte dazu den Daimler-Benz-Werken in Untertürkheim bei Stuttgart und auch der MAN, Augsburg, den Auftrag auf Konstruktion und Bau.

Schnellbootmotoren von Daimler-Benz

Aufgrund ihrer Erfahrungen im Automotorenbau lieferten die Daimler-Benz-Werke in Stuttgart zunächst Ottomotoren mit Aufladung für die Boote LM 20, 22, 23 und 28. Die Boote liefen zunächst unter Tarnnamen mit »ziviler« Besatzung und unbewaffnet. Drei Boote erhielten 3 x 260 PS-Motoren, zwei Boote 1 x 260 PS auf die Mittelwelle, 2 x 210 PS auf die Außenwellen.

Da nach diesen Booten grundsätzlich Benzinmaschinen auf Schnellbooten nicht mehr verwendet werden sollten, wurde von Daimler-Benz als nächster S-Bootmotortyp ein 2 x 6-Zylinder-Dieselmotor in V-Form entwickelt (Typ M.B. 500), der eine Leistung von 950 PS bei 1630 U/min. hatte. Zylinderdurchmesser 175 mm, Hub = 230 mm. Ein Untersetzungsgetriebe von 1,72:1 war an den Motor direkt angebaut. Die Drehzahl der Propellerwelle betrug demnach 950/min. Diesem Motor folgte bald ein anderer mit den gleichen Abmessungen (Typ M.B. 502), aber mit 2 x 8-Zylindern und mit einer Leistung von 1320 PS. Große Schwierigkeiten bei diesem Motor machten die als Rollenlager ausgebildeten Hublager der Kurbelwelle. Da trotz mehrfacher Veränderungen und eingehender Versuche mit diesen Rollenlagern ein voll befriedigender Lauf nicht erzielt werden konnte, entschloss man sich, diese Rollenlager aufzugeben und sie als Gleitlager durchzubilden. In dieser Form sind dann die Lager sowohl bei dem 16-Zylinder-Motor als auch später bei dem 20-Zylinder-Motor (M.B. 501) zur vollen Zufriedenheit gelaufen.⁸

Beide Motortypen, die zuerst keine Aufladung hatten, erhielten in den



Abb. 3 LM-Boote des Sperrverbandes Ostsee um 1926 als S 13, S 14, S 15 und S 17. (Sammlung Eike Lehmann)

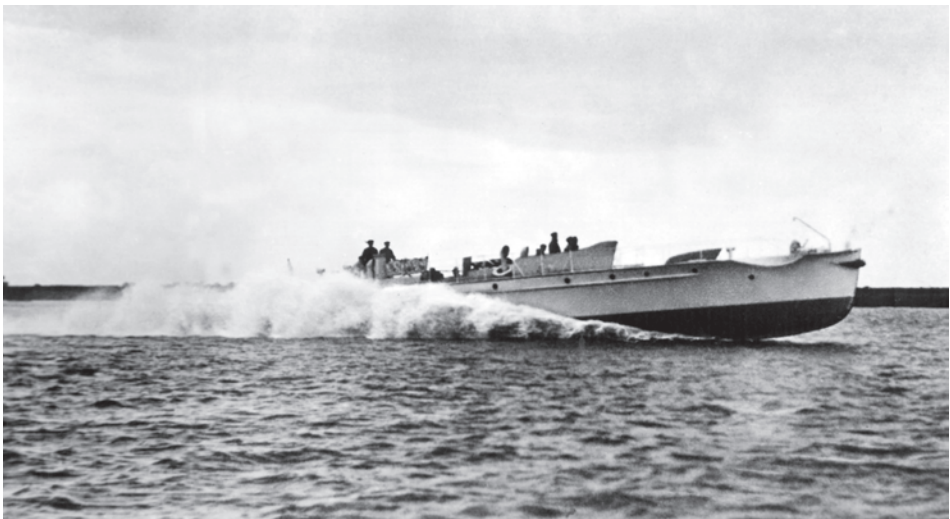


Abb. 4 Schnellboot S 1, gebaut 1929 bei der Lürssen Werft. (Sammlung Eike Lehmann)

Motortypen M.B. 511 und 512 Aufladung und sind als solche in großen Stückzahlen in die Marine-Schnellboote eingebaut worden. Der 20-Zylinder-Motor leistete mit mechanisch angetriebenem Aufladegerbläse bei 185 mm Zylinderdurchmesser und 250 mm Hub bei 1630 U/min. rd. 2500 PS.

Nachdem die Schwierigkeiten bei den Rollenlagern der Hublager schon bei den Typen M.B. 502 und 501 behoben waren, zeigten sich bei den Typen M.B.

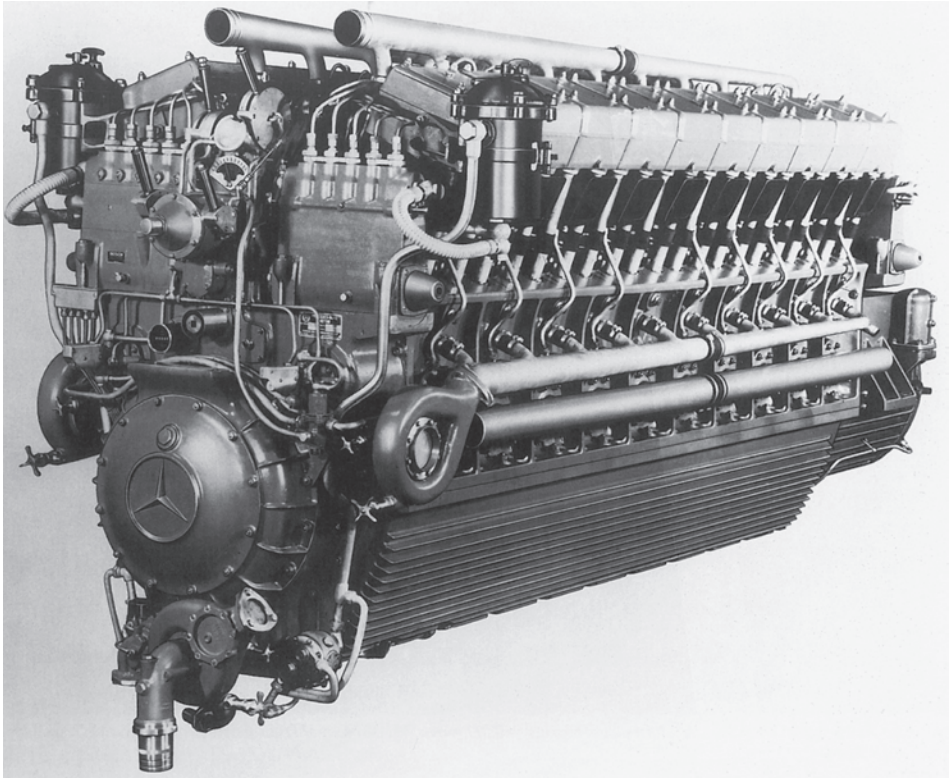


Abb. 5 1939 von Daimler-Benz gebauter 20-Zylinder-Viertakt-Dieselmotor MB 501. (Daimler AG Archive und Sammlung, Stuttgart, aus Möller/Brack [wie Anm. 1], S. 41)

511 und 512 Risse in den aufgeschweißten Kühlmänteln der Zylinder, die erst im Laufe der Zeit beseitigt werden konnten. Auch die Einspritzdüsen an den Vorkammern haben zu schaffen gemacht. Sie rissen oder sprangen ab, wodurch mechanische Beschädigungen und auch Verbrennen oder sogar Durchbrennen von Kolben eintrat. Durch die Wahl zweckmäßigeren Materials konnten später diese Mängel behoben werden. Versuche mit Abgasgebläsen (Turbolader) an diesen Motortypen führten zu keinem Erfolg.

Die Forderung der Front nach immer größerer Geschwindigkeit verlangte auch gleichzeitig eine gesteigerte Leistung der Motoren. So hatte noch vor Kriegsende ein Motortyp von 3000 PS bei 1730 U/min. nach manchen Schwierigkeiten auf dem Prüfstand in ein Boot eingebaut werden können. Zylinderdurchmesser 185 mm, Hub = 250 mm. Wie bei den früheren Motoren war auch hier das Untersetzungsgetriebe (1,72:1) direkt an den Motor angebaut. Die Propellerwelle machte demnach 1000 Umläufe/Minute. Dieser Motor hatte die gleiche Anordnung und das gleiche Hubvolumen wie sein Vorgänger, war aber in manchen Punkten doch vereinfacht und durch Verringerung der rotierenden und oszillierenden Massen für höhere Drehzahlen geeignet

gemacht worden. Die Schwierigkeiten, die sich bei Entwicklung dieses Motortyps ergaben, lagen in der richtigen Gestaltung der Kolben und in der Wahl des geeignetsten Kolbenmaterials. Die Kolben fraßen und das Material der Kolben fing an zu fließen, da im Zylinder so hohe Temperaturen auftraten, dass das Material anfangs weich zu werden. Das Gewicht des Motors einschließlich Getriebe betrug 4600 kg. Kamen, wie schon gesagt, auch einige dieser Motoren noch zum Einbau an Bord, so kann man doch nicht sagen, dass dieser Motor – er hatte die Bezeichnung M.B. 518 – mit dieser Leistung damals schon seine volle Bordreife gehabt hätte.⁹ Durch eine längere Fronterfahrung hätte diese erst noch bewiesen werden müssen. Dazu ließ es der Ausgang des Krieges aber nicht mehr kommen.

Wie mir die Firma Daimler-Benz auf meine Anfrage nach Weiterarbeit an diesem Motor bekannt gab, ist die Entwicklung an diesem Motor, als Aufträge aus dem Ausland auf diesen Motorentyp vorlagen, fortgesetzt worden. So konnten die Kolbenschwierigkeiten durch Entwicklung eines ganz neuen Verbrennungsverfahrens beseitigt werden. Auch konnten noch eine ganze Reihe weiterer Verbesserungen durchgeführt werden, so dass heute (1955) dieser Motor für 3000 PS und 1720 U/min. als bordreif angesehen werden kann.

Dass bald nach Kriegsende 1945 das Ausland deutsche Schnellbootmaschinen des vorstehenden Typs in Auftrag gab, beweist die Anerkennung der Güte deutscher Motoren und gleichzeitig die Richtigkeit des von der deutschen Marine eingeschlagenen Weges.

Sollte die neu zu erstehende deutsche Marine auch zum Bau von S-Booten kommen, so wird ihr, wie ich glaube, in diesem Motor zunächst die geeignetste deutsche Antriebsmaschine geboten werden.¹⁰

Schnellbootpropeller

In Verbindung mit dem Schnellbootmotor ist es unerlässlich, auch auf die richtige Bemessung und Gestaltung des Propellers hinzuweisen, die große Schwierigkeiten gemacht haben und neben immer wiederholten Schleppversuchen große Erfahrungen und ein feines Gefühl für Vermeidung von Kavitationerscheinungen verlangten.

Leider sind die wertvollen Kenntnisse und Erfahrungen auf diesem Spezialgebiet mit dem 1955 verstorbenen Ministerialrat Heinrich Schmidt auch ins Grab gesunken.¹¹ Bei dem Bau neuer Schnellboote seitens der neu entstehenden deutschen Marine ist dem S-Boot-Propeller ganz besondere Aufmerksamkeit zu schenken und zu bedenken, dass er sowohl für Höchstgeschwindigkeit des Bootes wie für kleine Fahrtstufen möglichst wirtschaftlich und kavitationsfrei arbeiten und gleichzeitig mit der Leistung und Tourenzahl des Motors im Einklang stehen muss. Welche Bedeutung die ehemalige Marine einem einwandfreien Propeller beigemessen hat, ist daraus erkennbar, dass wegen im-

mer wieder aufgetretener Schwierigkeiten für die Bestimmung des günstigsten Propellers eine besondere Propeller-Kommission gebildet wurde, der Vertreter der Hochschule und der Schleppversuchsanstalt angehörten.

Schnellbootmotor der MAN

Während, wie gezeigt, Daimler-Benz, einen 4-Takt-Motor in V-Form als S-Bootmotor entwickelte, unternahm es die MAN im Auftrage der Kriegsmarine, nach dem Prinzip ihres doppelwirkenden 2-Takt-Motors einen S-Bootmotor als Reihenmotor zu schaffen.¹²

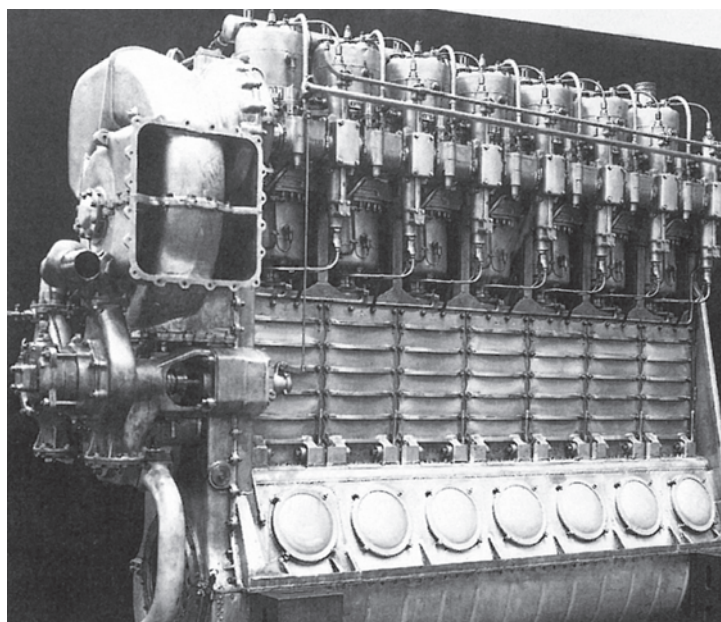
Als ein Zwischenspiel muss hier erwähnt werden, dass schon vor diesem doppelwirkendem S-Boottyp 1930 einmal in Zusammenarbeit von Marine und MAN versucht wurde, einen S-Bootmotor zu erschaffen. Es wurde ein 10-Zylinder-4-Takt-Motor (26/36) von ca. 1000 PS entwickelt, der sich aber für S-Boote als zu schwer und zu voluminös erwies. Die sechs gebauten Motoren fanden aber Verwendung für die Kleinen Kreuzer KÖLN, KARLSRUHE und KÖNIGSBERG, wo sie nachträglich unter nicht unerheblichen Schwierigkeiten als Marschmotoren eingebaut wurden.

Als neuer S-Bootmotor der MAN entstand 1933 für die S-Boote S 6 bis S 9 zunächst eine 7-Zylinder-Maschine mit einem Zylinderdurchmesser von 19 cm und einem Hub von 30 cm (L7/19/30), die durch ihre schlanke und gefällige Form besonders auffiel. Die erzielte Leistung bei 1050 U/min. war 1300 PS. Das Gewicht lag etwa bei 2 kg pro PS.

Auf diesen Typ folgte eine 11-Zylinder-Maschine mit gleichen Abmessungen. Ihre Leistung betrug 2050 PS, ihre Umdrehungszahl wie bei der 7-zylinderigen auch 1050 U/min. Seine Hilfsmaschinen (Spülgebläse, Kühlwasser und Ölpumpe) waren an den Hauptmotor angebaut und durch Zahnräder unter Zwischenschaltung elastischer Glieder angetrieben.

Hatten die eingehenden Erprobungen auf dem festen Fundament des Prüfstandes die an den Motor gestellten Erwartungen auch erfüllt, so musste doch leider im Bordbetrieb festgestellt werden, dass dieser leichte Motor wegen des bei ihm als 2-Takter nicht vollkommen durchführbaren Massenausgleichs sich nicht bewährte. Seine nicht vermeidbaren Erschütterungen führten zu Rissen und Brüchen im Gestell und zu Undichtigkeiten an den Öl-, Wasser- und Brennstoffleitungen. Die mangelnde Verwindungssteifigkeit des Gestells ließ die einzelnen Zylinder quer zur Längsachse des Motors sichtbare Bewegungen ausführen, die den Eindruck einer Schlangenlinie hervorriefen. Da auf die Dauer ein gesicherter und störungsfreier Lauf aus diesem Grunde nicht möglich wurde, musste nach einer Serie dieser Maschine der Bau von weiteren Motoren dieser Art aufgegeben werden. Im Übrigen gaben seine Teile, wie Zylinderstopfbuchsen oder Kreuzköpfe, keinen Anlass zu Beanstandungen. Die Kupplung mit der Propellerwelle geschah durch eine Gleichlaufkupplung, die es gestattete, den laufenden Motor mit der laufenden Propellerwelle zu

Abb. 6 Doppeltwirkender Siebenzylinder-Zweitakt-Motor L7Z 19/30 der MAN von 1932. (Historisches Archiv der MAN, Augsburg, aus Möller/Brack [wie Anm. 1], S. 89)



kuppeln. So blieb denn als einziger S-Bootmotor jener der Daimler-Benz-Werke übrig, der – wie gezeigt – zum guten Ziele führte, obgleich auch er als 4-Takter in seinem Aufbau nicht gerade ein einfacher Motor war.

Zu den S-Bootmotoren allgemein muss hier auch erwähnt werden, dass die Montage der Bootsmotorenanlagen eine ganz bedeutende Erleichterung und Vereinfachung sowie eine Ersparnis an Zeit und Geld erfuhr, als die Marine dazu übergang, die gesamte Rohrleitung dieser Anlage als Gummischläuche statt als Kupfer- und Stahlrohre zu verlegen. Nachdem die Industrie durch Forderungen der Luftwaffe große Fortschritte in der Herstellung betriebssicherer Schläuche gemacht hatte, konnte auch ein Versuch auf den Schnellbooten zunächst mit einem Teil der Rohrleitungen gemacht werden. Er fiel sehr bald so günstig aus, dass daraufhin die gesamte Rohrleitung als Schläuche zu verlegen angeordnet wurde. Irgendwelche Schwierigkeiten sind m.W. bei diesem Schlauchrohrsystem nicht entstanden.

Doppeltwirkender Zweitaktmotor großer Leistung der MAN¹³

Die Entwicklung des leichten doppelwirkenden 2-Takt-Motors mit großer Leistung, von dem im Folgenden die Rede sein wird, wurde in den Jahren 1927/1928 von der Marine aufgenommen, und zwar sollten Gewichte von 6 bis 8 kg/PS erreicht werden, als in der damaligen Zeit die leichtesten Motoren der gleichen Leistungsgröße noch das 5- bis 10-Fache wogen. Diese Bauart stellte eine völlig neue Entwicklung des Zweitakt-Motors dar, die eigens von

der Marine mit der MAN für den motorischen Antrieb von Kriegsschiffen entwickelt wurde. Nur mit dieser Konstruktion ließen sich die Forderungen der Marine bezüglich Platz- und Gewichtsbedarf erfüllen. Der geistige Vater des Marine-Dieselmotorenbaus der MAN war Gustav Pielstick, der zu den bedeutendsten Konstrukteuren des Dieselmotors überhaupt zählt.¹⁴

Diese Motoren hatten neben dem MAN-Spülsystem noch einen direkt an die Zylinder im Auspuffweg angebauten und mechanisch angetriebenen Drehschieber, der dazu diente, den Spüldruck im Zylinder bis zum Beginn des Verdichtungshubes zu erhalten. An die Stelle der Zylinderdeckel traten stählerne Zylinderhauben, die zugleich einen Teil der Kolbenlauffläche bildeten. Die erreichte Gewichtsverminderung wurde einerseits durch Drehzahlerhöhung erzielt, andererseits aber spielte auch die konstruktive Gestaltung der Einzelteile eine große Rolle.

Nachdem im Laufe der folgenden Jahre die Entwicklung dieser Motoren zielbewusst von der Marine gefördert wurde und soweit getrieben war, dass man einen Einbau dieses Motortyps wagen konnte, wurde eine Motor-Antriebsanlage seitens der Marine für den Kleinen Kreuzer LEIPZIG in Bau gegeben, der im Jahr 1931 fertig wurde. Den direkten Anlass zu dieser Entwicklung bot das Projekt der Marschmotorenanlage für den genannten Kreuzer. Hier mussten von der Marine in Bezug auf das Gewicht der Mittelmotorenanlage Forderungen gestellt werden, die aufgrund der bisherigen Entwicklung des Motorenbbaus als fast unmöglich anzusehen waren.¹⁵ Für den Motor allein, ohne Getriebe und sonstiges Zubehör, konnte nämlich ein Einheitsgewicht von nur 5 bis 6 kg zugestanden werden. Da die Leistung eines Motors auf etwa 3000 PS zu bemessen war, konnte diese Leistung an einem einfachwirkenden Viertakt-Motor nicht mehr verwirklicht werden. Es kam nur die Bauart des doppeltwirkenden Zweitaktmotors infrage. Sie stellte in Bezug auf die Ausnutzung des Triebwerkes zweifellos die günstigste Form dar. Die Reduzierung des Einheitsgewichtes von 28 kg/PS bei Handelsschiffen und stationären Anlagen auf ungefähr 1/5 war ein außerordentlich großer Sprung.

Diesem ersten Marineschiff mit gemischter Dampf- und Motoranlage folgten im Laufe der nächsten Jahre eine Reihe gleicher und ähnlicher Schiffstypen, die teils wieder gemischten Antrieb (Dampf und Diesel), aber auch rein motorischen Antrieb hatten.

Ehe auf den Motor selbst eingegangen wird, seien hier diese Motoranlagen des Kleinen Kreuzers LEIPZIG, des Artillerie-Schulschiffes BREMSE und des Panzerschiffes DEUTSCHLAND schematisch dargestellt und eine Liste über die Hauptangaben der Motoren dieser Schiffe gebracht.

Die LEIPZIG besaß vier auf ein Getriebe geschaltete doppeltwirkende Siebenzylinder-Motoren der MAN vom Typ M7Z 30/44¹⁶ mit jeweils 3100 PS bei 600 U/min. Mittlere Kolbengeschwindigkeit 8,8 mm/s, mittlerer Druck 5,6 kp/cm² für die Marschfahrt.

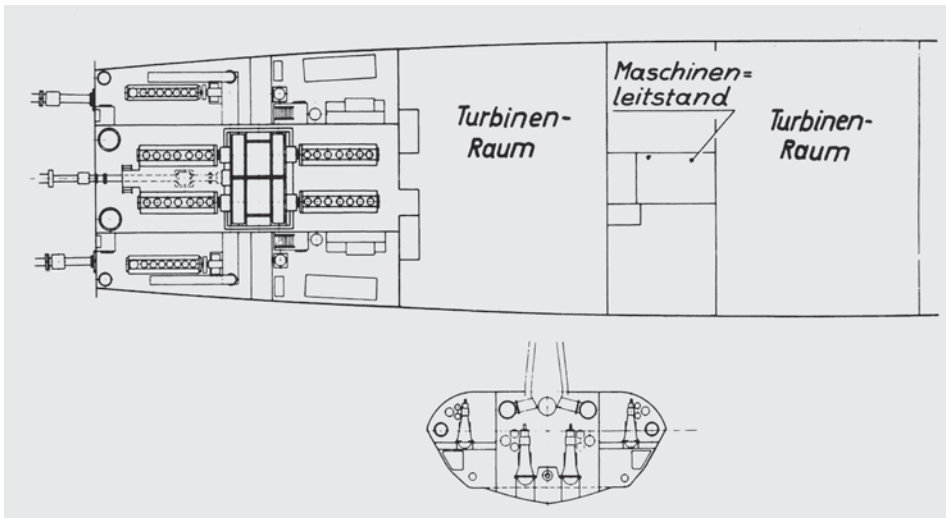
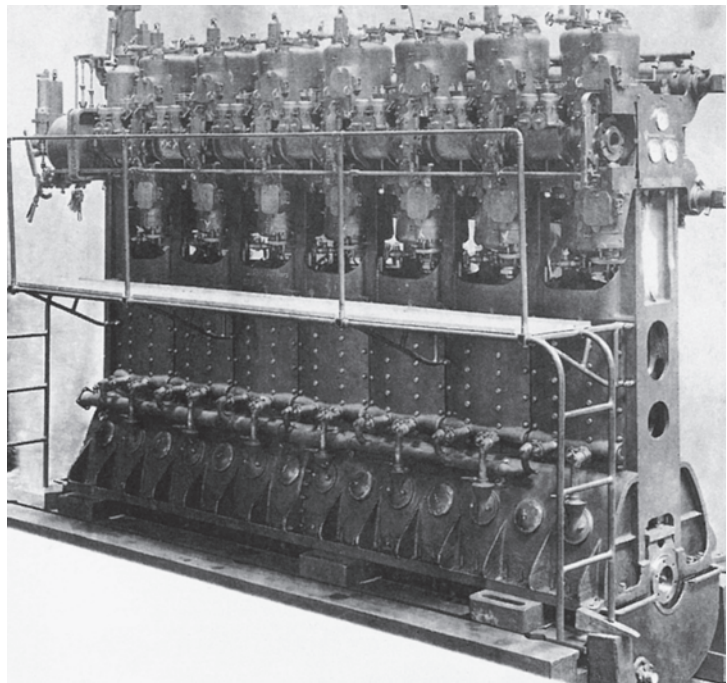


Abb. 7 Marschmotorenanordnung des Kleinen Kreuzers LEIPZIG. (Historisches Archiv der MAN, Augsburg, aus Möller/Brack [wie Anm. 1], S. 129)

Abb. 8 MAN M7Z 30/44 als Marschmotor der LEIPZIG. (Historisches Archiv der MAN, Augsburg, aus Möller/Brack [wie Anm. 1], S. 86)



Die BREMSE besaß für den Hauptantrieb zwei Sätze von je vier Zweitakt-Dieselmotoren der MAN vom Typ M8Z 30/44 mit je 3400 PS bei 600 U/min. Mittlere Kolbengeschwindigkeit 8,8 mm/s, mittlerer Druck 5,3 kp/cm².

Der Hauptantrieb des Panzerschiffes DEUTSCHLAND (ab 1939 LÜTZOW)

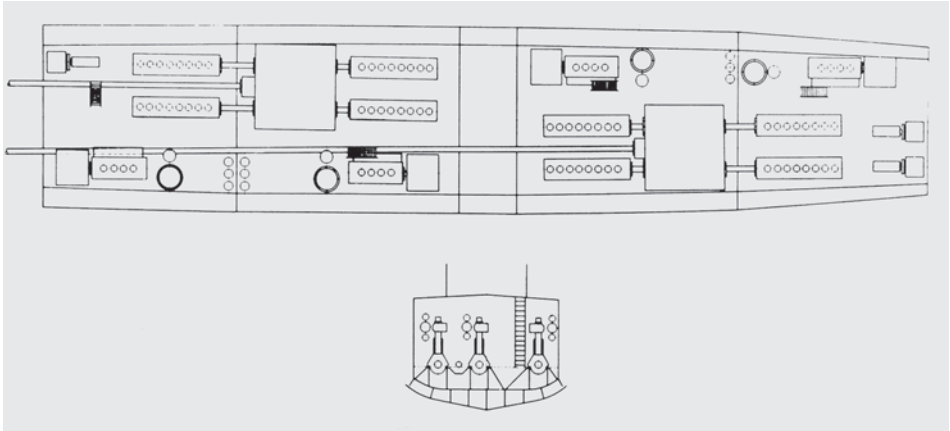


Abb. 9 Motorenräume des Artillerie-Schulschiffes BREMSE. (Historisches Archiv der MAN, Augsburg, aus Möller/Brack [wie Anm. 1], S. 129)

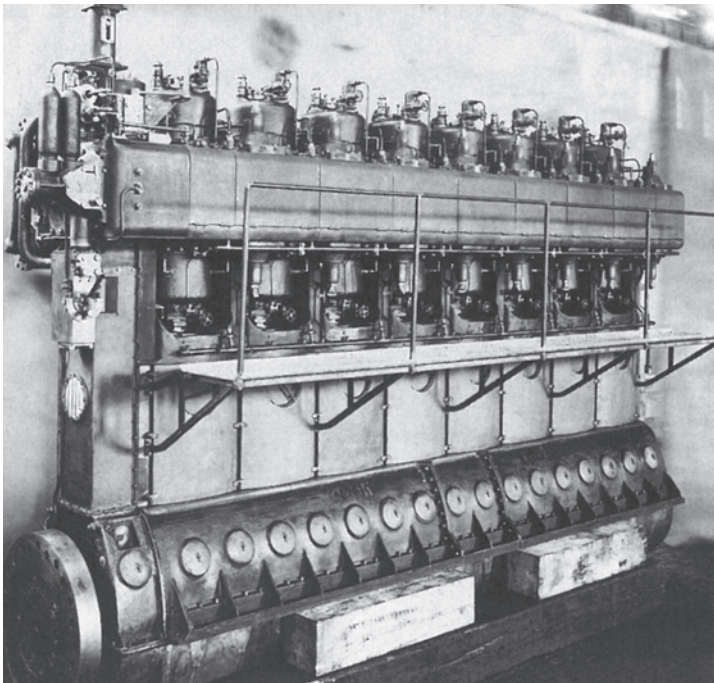


Abb. 10 MAN-Motor des Typs M8Z 30/44 als Antriebsmotor der BREMSE. (Historisches Archiv der MAN, Augsburg, aus Möller/Brack [wie Anm. 1], S. 86)

bestand aus zwei Sätzen mit je vier MAN-Dieselmotoren vom Typ M9Z 42/58 mit 7100 PS bei 450 U/min. Mittlere Kolbengeschwindigkeit 8,7 mm/s, mittlerer Druck 5,2 kp/cm².

Bei den großen schon erwähnten Entwicklungssprüngen und der verhältnismäßig kurzen zur Verfügung stehenden Zeit erscheint es nur verständlich, dass nicht gleich ein allen Anforderungen entsprechender Motor entstehen konnte. Es waren daher im Anfang und im Laufe der folgenden Jahre eine

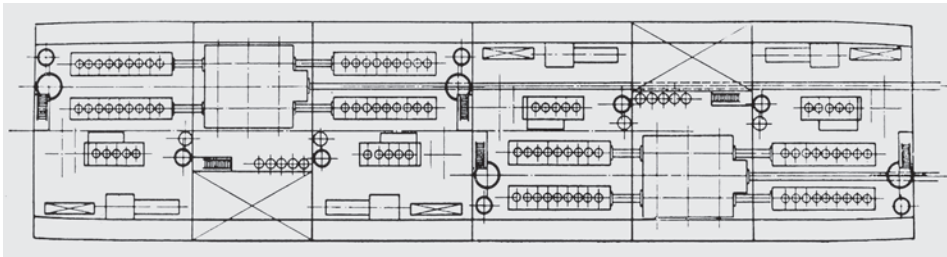


Abb. 11 Motorenräume des Panzerschiffes DEUTSCHLAND. (Historisches Archiv der MAN, Augsburg, aus Möller/Brack [wie Anm. 1], S. 130)

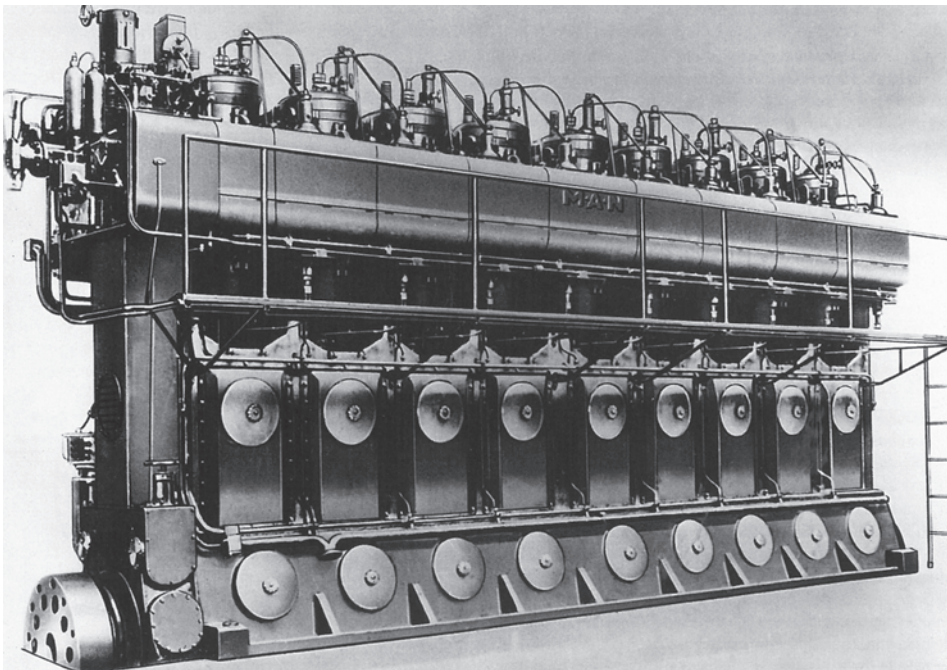


Abb. 12 MAN-Motor des Typs M9Z 42/58 als Antriebsmotor der DEUTSCHLAND (LÜTZOW). (Historisches Archiv der MAN, Augsburg, aus Möller/Brack [wie Anm. 1], S. 86)

ganze Reihe von Verbesserungen notwendig, die sich aus der Praxis des Bordbetriebes ergaben. Auch die auf den Kreuzer LEIPZIG folgende Anlage von BREMSE und dann die größeren Anlagen der Panzerschiffe erfuhren im Laufe der Jahre aufgrund der gewonnenen Erfahrungen verschiedene Neuerungen und Verbesserungen.

Es ist natürlich nicht möglich, alle diese in ihrem vollen Umfange zu besprechen. Nur die wichtigsten und grundsätzlichen konstruktiven Maßnahmen, die sich bei allen Motoren infolge ihrer in allen Teilen gleichartigen Konstruktion durchführen ließen, seien im Folgenden angegeben.

Triebwerk

Bei diesen hochgezüchteten, mittelschnell laufenden leichten Motoren ist das Triebwerk der meistbeanspruchte Teil der Maschine, und daran sind dann auch im Anfang die meisten Störungen aufgetreten, die zu Konstruktionsänderungen Anlass gaben. Die langjährigen Betriebserfahrungen haben gezeigt, dass die statischen Festigkeitswerte, die man bei der Konstruktion des Triebwerkes zugrunde legte, nicht immer die Sicherheit boten wie im sonst üblichen Maschinenbau. Die Beanspruchungen mussten aufgrund des verlangten niedrigen Einheitsgewichts verhältnismäßig hoch gewählt werden. In Verbindung mit der hohen Lastwechselzahl bzw. Drehzahl ergaben sich hierbei Schwierigkeiten und machten Untersuchungen über die Festigkeit von Baustoffen bei hohen Lastwechseln nötig. Diese Erkenntnis führte dann notgedrungen zu einer Herabsetzung der spezifischen Beanspruchungen der Triebwerksteile dort, wo deren schwächste Stellen lagen. Die späteren Ausführungen weisen daher eine geringere spezifische Beanspruchung auf. Damit konnte die Sicherheit in den Triebwerksteilen ganz wesentlich erhöht werden. Die hierdurch bedingten Mehrgewichte waren im Allgemeinen außerordentlich gering, so dass sie im Gesamtgewicht der Anlage keine wesentliche Rolle spielten. So ist man z.B. mit der Beanspruchung in der Kolbenstange, und zwar im unteren Gewinde von 1150 kg, bei der ersten Ausführung für Kreuzer LEIPZIG auf 963 kg, bei der Ausführung für Kreuzer NÜRNBERG und dann bei den folgenden Anlagen sogar auf 925 kg je cm² heruntergegangen. Eine noch größere Verminderung der Beanspruchung hat man in dem gefährlichen Querschnitt des Kreuzkopfes erreichen können, wo man von ursprünglich 1000 kg bei der ersten Ausführung für LEIPZIG auf nur 555 kg bei den späteren Anlagen heruntergegangen ist. In ähnlicher Weise wurden auch die gefährdeten Querschnitte bei der Treibstange verstärkt.

Man sieht also, dass man bei allen wichtigen Stellen der Triebwerksteile versuchte, die Beanspruchungen herabzusetzen, nachdem man sah, dass man bei den ersten Konstruktionen mit den Beanspruchungen etwas über die zulässige Grenze, die allerdings damals noch nicht bekannt war, hinausgegangen war. Bei einem solchen Entwicklungssprung des Motorenbaus zum Leichtbau lässt es sich nicht vermeiden, dass man an das eigentliche Ziel sich heranfühlen muss.

Kolbenstangenbefestigung im Kreuzkopf und Kolben

Die wichtigste und am meisten beanspruchte Verbindungsstelle des Triebwerks war die Befestigung der Kolbenstange im Kreuzkopf. Welche Entwicklung diese Stelle durchgemacht hat, kann man einem Vortrag von mir aus dem Jahr 1938 vor der Schiffbautechnischen Gesellschaft entnehmen.¹⁷ In der Hauptsache handelt es sich um den folgenden Entwicklungsgang:

Die Kolbenstange war durch eine Mutter mit doppeltem Gewinde in den

Kreuzkopf eingeschraubt. Sie musste nicht nur die wechselnden Zug- und Druckkräfte, die von den Zündungen herrühren, aufnehmen, sondern musste auch, wie spätere Versuche gezeigt haben, gewissen Biegebeanspruchungen gewachsen sein. Daraus ergab sich eine besondere Form dieser Mutter, die sog. biegeelastische Kreuzkopfmutter. Sie hat im Laufe der Jahre eine Entwicklung durchgemacht, die zunächst zu der »geschweißten Mutter« führte. Der Innenteil der Mutter war außerdem noch mit einer Eindrehung versehen, welche den Zweck hatte, die Mutter an dieser Stelle besonders elastisch zu machen und bei einem etwaigen Bruch die Rissstelle bewusst in diesen Punkt zu legen. Man ging dabei von der Annahme aus, dass, wenn die Mutter an dieser Stelle bricht, der obere gerissene Teil der inneren Mutter sich an den Bund der äußeren Mutter stützt und so eine vollkommene Trennung der Kolbenstangenverbindung verhindert wird. Die Praxis hat allerdings gelehrt, dass bei einer tatsächlichen Trennung infolge der dann auftretenden Schläge der Bund in der äußeren Mutter diesen Beanspruchungen nicht gewachsen war und trotzdem eine Trennung erfolgte. Außerdem zeigten sich nach mehrjähriger Betriebszeit an den Schweißstellen zwischen der Außen- und Innenmutter Risse, die allerdings zu keinem Bruch der Mutter geführt haben. Aus diesen Muttern entstand dann die »Bundmutter«. Aber auch diese Konstruktion befriedigte nicht restlos, da sich auch bei ihr Risse zeigten, die allerdings nicht gefährlich waren, denn sie führten zu keinem Bruch der Verbindung.

Die weitere Entwicklung führte dann zu einer »einteiligen Mutter«. Sie war aus einem Stück hergestellt und mit einem elastischen, konisch verlaufenden Hals versehen, der die nötige Biegeelastizität gab. Sie wurde zuerst auf dem Panzerschiff ADMIRAL SCHEER eingebaut. Nachdem sie sich dort gut bewährt hatte, blieb sie die endgültige Konstruktion.

Um auch die Kerbwirkung des Kolbenstangengewindes nach Möglichkeit zu verringern, wurde dieses Gewinde als Rundgewinde ausgeführt. Das Gewinde hatte im Gewindegrund eine wesentlich größere Abrundung als das normale Gewinde. Auch die Befestigung der Kolbenober- und Unterteile auf der Kolbenstange musste im Laufe der Jahre eine Änderung erfahren. In den ersten Jahren der Motorschiffe zeigten sich hier keine Schwierigkeiten. Aber nach mehrjähriger Betriebszeit traten Brüche in der Befestigung zwischen Kolbenoberteil und Kolbenstange auf.

Die Brüche hatten keine sonstigen Beschädigungen des Triebwerks oder der Zylinder im Gefolge, da während des Betriebes der auf dem Kolbenoberteil ruhende Zünd- bzw. Kompressionsdruck eine Trennung an dieser Stelle verhinderte. Erst bei Stillstand des Motors fand eine Trennung dadurch statt, dass der Kolbenkühlöldruck den oberen Teil des Kolbens nach oben drückte und Öl in größerer Menge austrat.

Diese Brüche waren umso verwunderlicher, als an dieser Stelle keine Zug-Druck-Wechsel herrschen, sondern nur Druck, allerdings ein Druck, der von 0 bis zu einem Maximum wechselt. Es blieb hier nur der Ausweg, diese Verbin-

derung durch Vergrößerung des Kolbenstangenquerschnittes wesentlich zu verstärken. Die mit dieser Verbindung gemachten Erfahrungen waren durchaus befriedigend.

An der unteren Einspannstelle der Kolbenstange traten Zug-Druck-Wechselbeanspruchungen auf, die von den Zünddrücken herrühren, und außerdem noch gewisse Biegebeanspruchungen, die von dem Hin- und Herschlagen des Kolbens im Zylinder innerhalb des Kolbenspiels kamen. Durch die elastische Ausführung der Kolbenstangenmutter konnten diese Biegebeanspruchungen für die Mutter unschädlich gemacht werden. Der Kolbenstangenquerschnitt war aber an dieser Stelle immerhin hoch beansprucht.

Material der Kolbenstange

Da eine wesentliche Verstärkung des Kolbenstangenquerschnittes an dieser Stelle aber eine Änderung der Abmessungen der Kreuzkopfmutter, des Kreuzkopfes, der Stopfbüchse und auch der unteren Zylinderdeckel nach sich gezogen hätte, bemühte man sich anstelle solcher Umkonstruktionen ein Material zu finden, das in gekerbtem Zustande eine wesentlich höhere Dauerfestigkeit als alle übrigen Stahlsorten aufwies. Ein Stahl mit diesen Eigenschaften war der hauptsächlich von der Firma Krupp hergestellte Nitrierstahl. Die Untersuchungen über Dauerwechselfestigkeit mit diesem Stahl haben außerordentlich günstige Ergebnisse gezeigt. Während ein vergüteter Chrom-Nickel-Stahl in geschliffenem Zustand nur eine Biegewechselfestigkeit von 36 kg aufwies, in gekerbtem Zustand jedoch von nur 28 kg, zeigte der Nitrierstahl im Gegensatz dazu eine Wechselfestigkeit von 60 kg, und zwar in geschliffenem und in gekerbtem Zustand. Die Kerbwirkung spielte also hierbei überhaupt keine Rolle, was für Maschinenteile, welche durch Gewinde miteinander verbunden werden müssen, von außerordentlich großer Bedeutung war. Aufgrund dieser Eigenschaften wurden alle Kolbenstangen aus diesem Material angefertigt und bereits eingebaute gegen solche aus Nitrierstahl ausgewechselt.

Die zahlreichen Versuche und Forschungen ergaben, dass der Nitrierstahl in nitriertem Zustand von keinem anderen noch so hochwertigen Stahl in Bezug auf die Biegewechselfestigkeit übertroffen wurde. Man ging daher dazu über, alle hoch beanspruchten Teile, auch Treibstangenschrauben, Kreuzköpfe usw., aus diesem Baustoff herzustellen.

Mit der Herstellung der Kolbenstangen aus diesem Material wurde ein außerordentlich wichtiger Fortschritt in Bezug auf die Betriebssicherheit dieses wichtigen Bauteils erzielt.

Um die in der Einspannstelle der Kolbenstangen herrschenden Beanspruchungen, die durch Rechnung nicht ganz festgestellt werden können, weiter zu erforschen, wurden außerordentlich interessante Beanspruchungsmessungen an der Kolbenstange einer laufenden Maschine (ADMIRAL SCHEER) durchgeführt. Die Versuche wurden vom Staatlichen Materialprüfungsamt in Berlin-Dahlem

unter Leitung des leider viel zu früh verstorbenen Dr. Ernst Lehr¹⁸ und mit einer genial von ihm erdachten Apparatur durchgeführt. Das Ergebnis war, kurz gesagt, dass außer der Grundbelastung bestehend aus Druck- und Zugspannungen, herrührend von den Zündkräften, noch Biegespannungen auftraten, die immerhin einen beträchtlichen Teil der Grundbeanspruchung ausmachen und zu Dauerbrüchen der Kolbenstange führen könnten.

Auch von einer anderen Seite her versuchte man den Beanspruchungen in der Kolbenstangeneinspannstelle auf die Spur zu kommen, und zwar indem die Originaltriebwerksteile einer Dauerwechselbeanspruchung unterworfen wurden. Zu diesem Versuch wurde bei der MAN eine Prüfvorrichtung entwickelt, mit der Wechselbeanspruchungen durch einen Pulsator erzeugt wurden, der aus einer Anzahl von schnell umlaufenden exzentrischen Massen gebildet wurde.

Forschungsanstalt für Mechanik und Gestaltung

Diese Untersuchungen lieferten so wertvolle Erkenntnisse, dass auf Vorschlag von Heinrich Waas sich die Marine veranlasst sah, eine Versuchsanstalt bei der MAN in Augsburg unter Leitung von Ernst Lehr zu errichten, in welcher vorwiegend solche dynamischen Festigkeitsversuche, und zwar an Originalmaschinenteilen bis zu den größten Abmessungen, angestellt werden konnten. Diese »Forschungsanstalt für Mechanik und Gestaltung« war wohl zu ihrer Zeit das größte und am besten eingerichtete Institut seiner Art.

Die Anstalt hat 3 591 000 RM gekostet, von denen die deutsche Marine 85 % = 3 052 000 RM getragen hat. Ihre Einrichtungen wurden durch die amerikanische Besatzungsmacht restlos abgebaut und nach Amerika verschickt.

Kurbelwelle

Als letztes der Triebwerksteile wäre noch einiges über Kurbelwellen zu sagen, die natürlich so bemessen waren, dass sie die normalen Beanspruchungen durch Drehmoment und Kolbenkräfte mit der notwendigen Sicherheit aushielten. Waren die Kurbelwellen auch schwingungstechnisch durchgerechnet, so waren doch kritische Gebiete nicht zu vermeiden. Diese Gebiete hätten im Bordbetrieb gesperrt werden müssen! Da solche Sperrgebiete bei Kriegsschiffen aber nicht tragbar sind, mussten Mittel und Wege gefunden werden, um diese kritischen Gebiete soweit zu dämpfen, dass ein Fahren darin ohne unzulässige größere Beanspruchungen der Kurbelwellen möglich wurde.

Schwingungsdämpfer

Das Mittel zu dieser Dämpfung war der Schwingungsdämpfer. Nach Erprobung verschiedener Systeme (Gummischwingungsdämpfer, hydrostatischer



Abb. 13 Das Gebäude der ehemaligen Forschungsanstalt für Mechanik und Gestaltung beherbergt heute das MAN-Museum in Augsburg. (Historisches Archiv der MAN, Augsburg)



Abb. 14 Demontage der Forschungsanstalt für Mechanik und Gestaltung der MAN auf Anordnung der amerikanischen Besatzungsmacht, 1946. (Historisches Archiv der MAN, Augsburg)

Schwingungsdämpfer und Quecksilberschwingungsdämpfer) erwies sich der von der MAN entwickelte Hülsenfederschwingungsdämpfer als der wirkungsvollste.¹⁹

Das Prinzip des Hülsenfederdämpfers bestand darin, dass am freien Kurbelwellenende, wo die Ausschläge am größten sind, eine Schwungmasse aufgebracht wird, die durch besonders gestaltete Federn elastisch mit der Welle gekuppelt ist. Die Form der Federn ist so gewählt, dass nicht nur eine federnde Verbindung entsteht, sondern zugleich eine starke Dämpfung ausgeübt wird, so dass ein »Aufschaukeln« nicht stattfindet. Nachdem die Betriebssicherheit und gute Wirkung dieser Dämpferkonstruktion erkannt war, sind alle Motoren der Marine damit ausgerüstet worden.

Das gleiche Prinzip wie für die Dämpfer ließ sich auch für elastische Kupplungen mit großem Vorteil anwenden, so bei der Kupplung des Motors mit einem Zahnradgetriebe, wo sich allgemein die Notwendigkeit ergibt, ein elastisches Zwischenrad einzuschalten, um die Ungleichförmigkeiten des Drehmomentes der Kurbelwelle und geringe torsionskritische Schwingungen von dem Zahnradgetriebe fernzuhalten. Für diesen Zweck hat sich die Hülsenfederkupplung in allen Anlagen bestens bewährt.

Durch die Anwendung von Hülsenfederschwingungsdämpfer und Hülsenfederkupplungen wurde es möglich

1. jede gefährliche kritische Beanspruchung in der Kurbelwelle zu vermeiden, ganz gleich, wieviel Zylinder der Motor hatte, und
2. von der Kupplungsseite ein vollkommen gleichmäßiges Drehmoment abzuleiten, so dass ein Zahnradgetriebe ohne Bedenken gekuppelt werden konnte.

Wenn trotzdem bei einigen Anlagen Kurbelwellenbrüche oder Risse an den Kurbelwellen aufgetreten sind, so war dies darauf zurückzuführen, dass diese Anlagen anfangs mit Dämpfern ungenügender Wirksamkeit ausgerüstet waren. So hat sich auf der LEIPZIG ein Kurbelwellenbruch ereignet, dessen Ursache allerdings nicht ganz geklärt werden konnte, da hierbei außer den kritischen Beanspruchungen auch Korrosionen im Innern der Kurbelwellenbohrung vielleicht eine wesentliche Rolle gespielt haben. Diese Korrosionen waren durch seewasserhaltiges Schmieröl entstanden. Auch bei den Motoren des Artillerieschulbootes BREMSE wurden Risse in den Kurbelwellen entdeckt, die von den Schmierbohrungen ausgingen und einwandfrei als Torsionsrisse erkannt werden konnten. Diese Risse waren zweifellos zu einer Zeit entstanden, als die Motoren noch mit hydrostatischen Dämpfern ausgerüstet waren, die zeitweise versagten und dadurch sehr hohe zusätzliche Beanspruchungen in der Kurbelwelle hervorriefen.

Grundsätzlich kann man sagen, dass nach Entwicklung des Hülsenfederdämpfers und der Hülsenfederkupplung jede Motorenanlage so gebaut werden konnte, dass irgendwie gefährliche kritische Beanspruchungen an den Wellen nicht mehr auftraten und im gesamten Drehzahlgebiet gefahren werden konnte.

Somit wären in der Hauptsache die an den Triebwerksteilen der Motoren gemachten Erfahrungen und die sich daraus ergebenden Verbesserungen aufgeführt. Es blieben noch einige Worte über die Änderungen an den Gestellen, Zylindern usw. zu sagen. Die übrigen Konstruktionsteile an diesen doppeltwirkenden 2-Taktmotoren haben sich voll betriebsfähig erwiesen. Irgendwelche Schäden, die auf prinzipielle Fehler zurückzuführen gewesen wären, sind nicht aufgetreten.

Zylinder: Zylindermittelstücke und Zylinderschrauben

Lediglich die Bauart der Zylindermittelstücke wies einige Schwächen auf, so dass sich im Laufe einer längeren Betriebszeit Risse und damit Wasserleckagen zeigten. Neue Zylindermittelstücke wurden daher an den gefährdeten Stellen entsprechend verstärkt und schon eingebaute durch verstärkte ersetzt. Eine spätere wesentliche Verbesserung in der Konstruktion der Zylinder sei hier erwähnt: Sie war der wellenförmige Stoß zwischen Zylindermittelstück und den Zylinderhauben. Dieser wellenförmige Übergang ist für den Lauf der Kolbenringe wesentlich günstiger als der gerade Stoß, wie er zuerst zur Anwendung kam. Der Vorteil zeigte sich darin, dass die Kolbenringbrüche, die anfangs zahlreich auftraten, seitdem wesentlich zurückgegangen sind.

Um die Abnutzung der Zylinder zu verringern, wurde dazu übergegangen, die Zylinderlauflächen hart zu verchromen. Diese Maßnahme hatte einen recht guten Erfolg. Eine Abnutzung war seitdem kaum noch festzustellen; sie betrug nur noch einen geringen Bruchteil derjenigen der nicht verchromten Zylinder. Die Oberflächen der stählernen Zylindermäntel wurden ferner verzinkt, die der stählernen Zylinderschrauben parkerisiert.²⁰

Auch erwies sich die Überleitung der von den Zugankern ausgehenden Kräfte auf die Befestigung der Zylinderhauben als ungünstig. Die Verrippung wurde verstärkt bzw. günstiger verlegt. Da an diesen Teilen später keine Schäden aufgetreten sind, kann mit Recht angenommen werden, dass die neue Konstruktion allen Beanspruchungen gewachsen war.

Da die zuerst für die Motoren gewählte Seewasserkühlung zu untragbaren Korrosionserscheinungen führte, wurde bei den späteren Anlagen Süßwasserkühlung angewandt.

Geschweißte Motorgestelle

Ein Vorfall auf der BREMSE führte zu der Verwendung von geschweißten Motorgestellen anstelle von gegossenen, wie sie die Anlagen der LEIPZIG und BREMSE aufwiesen. Auf der BREMSE war durch Versagen des Sicherheitsreglers gegen Übertouren ein Motor durchgegangen und völlig zertrümmert worden. Er bot ein Bild, als sei er in sich zusammengesunken. Eigenartigerweise waren keine Teile, wie man in solchem Falle erwartet hätte, herausgeflogen. Von dem

neben dem Motor stehenden Personal war niemand verletzt worden. Der Anlass zum Versagen des Sicherheitsreglers ist nicht ganz aufgeklärt worden. Das Gestänge zum Regler muss aus nicht erklärbarem Grunde verbogen gewesen sein, so dass der Regler nicht in Tätigkeit treten konnte.

Die Schweißkonstruktion bot den Vorteil der unbedingten Sicherheit der Herstellung, da man von irgendwelchen gießereitechnischen Fehlern vollkommen frei war. Weiter bot sich der Vorteil, dass bei irgendwelchen Beschädigungen der Gestelle durch Triebwerksbrüche oder dergleichen eine Instandsetzung möglich war, was bei Gussgestellen im Allgemeinen nicht der Fall ist. Man denke hier auch an einen Treffer im Maschinenraum! Ein weiterer Vorteil ist, dass geschweißte Konstruktionen deutlich leichter als gegossene und auch schneller zu fertigen sind.

Schwingungsdämpfer

Die Eigenart der Kolbenmaschine bedingt, dass sich bei den hier in Rede stehenden Motoren durch die hin- und hergehenden und umlaufenden Massen freie Kräfte bzw. freie Momente oder Schwingungen bemerkbar machen. Während es meist gelingt, die Kräfte und Momente niedriger Ordnung konstruktiv auszugleichen, gelingt dies bei höheren Ordnungen nicht vollständig. Im Allgemeinen werden diese Kräfte von der Steifigkeit des Motors selbst bzw. des Schiffsfundamentes aufgenommen. Es gibt nun Motoren mit Zylinderzahlen und Kurbelanordnungen, bei denen solche Massenmomente verhältnismäßig groß sind und die dann zu starken Beanspruchungen des Motorstells und des Schiffsfundaments führen und schließlich Rissbildungen hervorrufen können.

Ein solcher Fall lag bei den Hilfsmotoren des Panzerschiffes DEUTSCHLAND vor, die als Fünf-Zylindermotoren verhältnismäßig große Massenmomente aufwiesen. Nach längerer Betriebszeit zeigten sich im Gestell sowie in den Schiffsfundamenten Risse. Dabei ist allerdings zu betonen, dass die Ausführungen der Schiffsfundamente dort nach den späteren Erkenntnissen nicht als besonders zweckmäßig ausgebildet angesehen werden konnten. Man sah sich daher gezwungen, diese Teile des Schiffes ganz wesentlich zu verstärken und eine bessere Verbindung der Fundamente mit den sonstigen Schiffsverbänden durchzuführen. Außerdem aber hat man durch ein Massenausgleichsgetriebe die freien Massenmomente der Fünf-Zylinder-Hilfsmotoren beseitigt. Die Wirkung eines solchen Getriebes beruht darauf, dass man an beiden Enden des Motors umlaufende Massen anbringt, die Massenkräfte bzw. Massenmomente hervorrufen, die den von der Maschine erzeugten entgegengesetzt sind, wodurch ein völliger Ausgleich hergestellt werden kann.

Motoren mit angehängten Hilfsmaschinen

Die Motorenanlagen, die später als die für die DEUTSCHLAND-Klasse gebaut wurden (es waren die für die U-Boot- und S-Boot-Begleitschiffe), sind deswegen besonders bemerkenswert, weil hier, abgesehen von den MAN-S-Bootmotoren, zum ersten Male Motoren mit angehängten Gebläsen und Pumpen verwendet wurden. Bei den früheren Schiffen hatten diese Hilfsmaschinen einen besonderen Antriebsmotor, der bei allen Schiffen folgende Hilfspumpen antrieb:

1. Gebläse;
2. Ölpumpe für die Kolbenkühlung und Schmierung;
3. Seewasserpumpe;
4. Brennstoffzubringerpumpe;
5. Leckölpumpe für die Vulcankupplung²¹ (diese Pumpe dient dazu, bei eingerückter Kupplung die Leckverluste zu ersetzen);
6. Manövrierölpumpe (abkuppelbar durch eine besondere kleine Vulcankupplung). Diese Pumpe diente zum Füllen der eigentlichen Vulcankupplungen und wurde, um Leistung zu sparen, nur dann eingerückt, wenn Manöver bevorstanden.

Jetzt fielen also bei diesen Anlagen diese Hilfsmotoren fort. Durch die angehängten Hilfsmaschinen wurden die Anlagen außerordentlich übersichtlich und einfach. Da alle Querverbindungen zwischen Hauptmotoren und Hilfsmotoren in Wegfall kamen, ergab sich eine wesentliche Entlastung des Raumes und der Bilge im Gegensatz zu den Panzerschiffen, die noch unter einem großen Wirrwarr von Rohrleitungen litten.

Schmieröl und Schmierölzellen

Weiterhin wäre hervorzuheben, dass die umlaufende Schmierölmenge wesentlich geringer als auf den früheren Schiffen gehalten werden konnte, da jeder Motor seine eigene Ölwanne hatte.

Der gewonnene Platz an Doppelbodenzellen konnte für die Vorräte an Brennstoff und Schmieröl zur Verfügung gestellt werden. Ferner war bei diesen Anlagen zum ersten Mal eine strenge Trennung des für die Motoren und für die Vulcangetriebe verwendeten Schmieröles durchgeführt worden, und zwar aus dem Grunde, um das starke Verschäumen des Schmieröles, welches hauptsächlich durch die Zahnradgetriebe und Vulcankupplungen hervorgerufen wurde, zu vermeiden.

Verbesserungen am Motorengestell

Auch die Motorengestelle dieser Schiffe waren, wenn auch nicht grundlegend, so doch in mancher Beziehung gegenüber der DEUTSCHLAND-Ausführung nach

den bisher gesammelten Erfahrungen verbessert worden. Die Hauptänderung bezog sich auf die Erhöhung der Steifigkeit des Gestells in vertikaler Richtung. Früher waren die Gleitbahnen und die großen seitlichen Verschalungsdeckel lediglich an den senkrechten Ankersäulen befestigt und trugen nicht zur Versteifung des Gestells bei. Die neuen Gleitbahnen und Verschalungsdeckel wurden so konstruiert, dass sie mit zur Versteifung des Gestells und auch zur Erhöhung der Festigkeit in der Längsrichtung herangezogen wurden. Um die von den Fundamentschrauben aufzunehmenden Kräfte möglichst ohne Biegebbeanspruchung in das Gestell überzuleiten, wurden die Bohrungen für die Fundamentschrauben ganz dicht an die Seitenwand des Gestells herangeführt.

Die hauptsächlichste Neuerung bei diesen Motoren betraf, wie schon erwähnt, den Anbau und den Antrieb der angehängten Hilfsmaschinen, die zum ersten Male bei Schnellbootmaschinen durchgeführt worden war und sich gut bewährt hatte. So konnte diese Vereinfachung nun auch bei den wesentlich größeren Motoren angewendet werden.

Angehängte Hilfsmaschinen

Da die Leistung der angetriebenen Hilfsmaschinen ziemlich beträchtlich ist, etwa 20 % der Nennleistung der eigentlichen Maschine, musste auf die Ausführung des Antriebes ganz besondere Sorgfalt verwendet werden. Um von dem Antrieb jegliche Schwingungen und Ungleichförmigkeiten des Drehmomentes fernzuhalten, wurde das auf der Kurbelwelle sitzende Antriebsrad elastisch nach Form einer Hülsenfederkupplung ausgeführt. Über ein Zwischenrad wurde dann das Gebläseritzel mit einer Übersetzung von ungefähr 1:10 mit ca. 4000 U/min. angetrieben. Neuartig war die Verwendung von Turbogebläsen für die Vorverdichtung der Spülluft im Gegensatz zu der sonst bei 2-Takt-Motoren üblichen Verdichtung mit Kolbencharakteristik. Seitlich von dem großen Antriebsrad wurde dann ebenfalls über ein Zwischenrad die Pumpenwelle mit ca. $n = 3000$ U/min. angetrieben. Steuerwelle und Nachladeschieber wurden ebenfalls durch ein Zwischenrad in ähnlicher Weise bestätigt.

Die Schwierigkeiten bei dem erwähnten Turbo-Gebläse bestanden vor allen Dingen darin, dass auch bei Rückwärtslauf eine genügende Luftleistung hergegeben werden musste. Mit einem normalen Spiralgehäuse und einem Laufrad, das nur für »Voraus«-Fahrt gebaut war, war dies nicht möglich. Eingehende Versuche haben dann dazu geführt, ein Gebläse zu konstruieren, welches durch die besondere Form seines Spiralgehäuses auch bei Rückwärtslauf noch genügend Druck und Menge hergab, um eine ausreichende Rückwärtsleistung des Motors zu gewährleisten. Das Spiralgehäuse war seitlich durch einen angebauten Kanal verbreitert worden. Hierdurch wurde es möglich, die Charakteristik des Gebläses für rückwärts wesentlich zu verbessern. Die Versuche auf dem Prüfstand haben dann ergeben, dass trotz der wesentlich geringeren Luft-

leistung des Gebläses bei Rückwärtsfahrt es möglich war, mit ungefähr 80 % des Drehmoments zu fahren, wenigstens bei hohen Drehzahlen. Dies dürfte auch bei allen vorkommenden Fällen ausreichend gewesen sein.

Auch die Seewasser- und Süßwasserpumpen, die von der Firma Kleinschanzlin-Bestenbostel, Bremen²², gebaut wurden, sind ebenfalls dadurch bemerkenswert, dass sie speziell für Rückwärtslauf ausgebildet werden mussten. Hier ist es gelungen, durch entsprechende Stellung der Schaufeln des Laufrades sowie durch Anwendung von zwei Leiträdern und zwei Spiralgehäusen die Pumpencharakteristik für voraus und zurück gleich zu halten.

Da es sich zeigte, dass die Verwendung von Schleuderpumpen für die Ölförderung bei den Schiffsanlagen gewisse Nachteile hatte, war es nötig geworden, für jede Ölpumpe eine besondere Zubringerpumpe anzuordnen, welche das Öl mit einem Überdruck der eigentlichen Förderpumpe zuführte. Da diese Zubringerpumpe auch wieder hätte angetrieben werden müssen, entweder elektrisch oder hydraulisch, ergab sich daraus eine ziemliche Komplikation. Zur Umgehung dieser Komplikation wählte man daher bei den neuen Anlagen, und zwar auch bei den später noch zu erwähnenden ganz großen Motoren (MZ 65/95), für die Ölförderung Verdrängerpumpen. Als geeignetste Bauart solcher Pumpen erwies sich die Schraubpumpe der Firma Leistriz in Nürnberg. Die Pumpen arbeiteten vollkommen geräuschlos und waren außerdem gegen lufthaltiges Öl unempfindlich. Ferner überwandten sie auch bei lufthaltigem Öl mit Sicherheit eine verhältnismäßig große Saughöhe. Durch Einbau von Ventilkappen wurde die Pumpe umsteuerbar gemacht.

Brennstoffverbrauch

An dieser Stelle sei auch noch ein Wort über den Brennstoffverbrauch aller dieser doppeltwirkenden 2-Takt-Motoren der MAN gesagt, der einschließlich der angetriebenen Hilfsmaschinen 180–195 gr/PS betrug, je nach dem Drehzahlgebiet, in welchem die Motoren arbeiteten. Dieser im Verhältnis zu Viertakt-Motoren hohe Verbrauch war hauptsächlich auf den Leistungsbedarf der Gebläse zurückzuführen, die immerhin 18–20 % der Motorenleistung beanspruchten. Bei langsamlaufenden Zweitaktmotoren mit geringerem Spüldruck erreichte man auch geringeren Brennstoffverbrauch. Bei den schnelllaufenden Zweitakt-Motoren mit einem hohen Spüldruck und hoher Gebläseleistung ließ sich ein Brennstoffverbrauch unter der angegebenen Menge nicht erreichen. Der Güte der Verbrennung, die bei Zweitakt-Motoren vor allen Dingen von einer guten Spülung und dem präzisen Arbeiten der Einspritzorgane abhängt, d.h. also der Brennstoffpumpen und Düsen, musste besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Das Ziel der Bestrebungen nach guter Verbrennung und aller damit zusammenhängenden Untersuchungen war außer der Erreichung eines geringen Brennstoffverbrauches vor allem eine möglichst rauchfreie unsichtbare

Verbrennung, was für ein Kriegsschiff von hervorragender Bedeutung ist. Die Erreichung dieses Zieles ist jedoch insbesondere bei dieser Motorenart außerordentlich schwierig, denn die Farbe des Auspuffs ist bei Zweitakt-Motoren in größerem Maße als bei Viertakt-Motoren von der Belastung abhängig. Die Farbe des Auspuffs bei Zweitakt-Motoren wird außer von der Güte der Verbrennung noch wesentlich von der Schmierung der Zylinder beeinflusst. Im Gegensatz zu den Tauchkolbenmaschinen müssen doppelwirkende Zweitakt-Motoren mit einer besonders fest eingestellten Zylinderschmierung versehen werden, und diese Schmierölmenge geht naturgemäß unweigerlich mit in den Auspuff. Die Zylinderschmierölpumpen sind im Allgemeinen und waren auch hier zunächst so gebaut, dass sie immer die gleiche Menge in die Zylinder förderten, natürlich abhängig von der Drehzahl des Motors. Es zeigte sich aber, dass dadurch bei kleinen Belastungen oder Leerlauf die Zylinder zu viel Öl erhielten, das sich dann infolge der geringen Auspufftemperatur an den Wänden der Auspuffleitungen und in den Auspufftöpfen festsetzte. Der Auspuff wurde dadurch, wenn auch nicht schwarz, so doch blau oder braun qualmend. Gerade das in den Auspufftöpfen sich niederschlagende Öl hat große Schwierigkeiten bereitet. Um es wieder abzuleiten, mussten die Auspufftöpfe besondere Vorrichtungen erhalten. Zur Verringerung dieses Übelstandes ging man später dazu über, Schmierölpumpen zu konstruieren, die in ihrer Fördermenge nicht nur von der Drehzahl, sondern auch von der Leistung der Motoren abhängig waren.

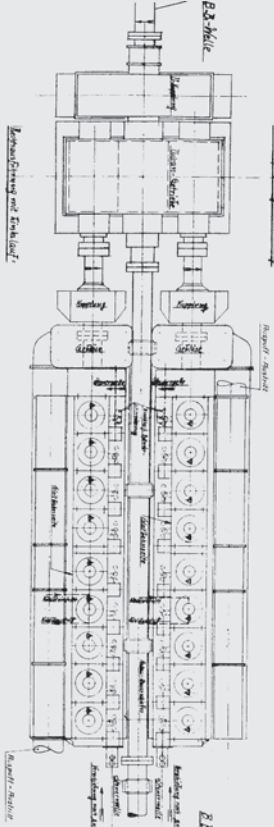
Die volle Drehzahl der Hauptmotoren wurde bei den Schiffen mit reinem Dieselantrieb nur bei Höchstfahrt mit allen Wellen ausgenützt. Bei Marschfahrt liefen die Motoren mit entsprechend kleinerer Drehzahl, wodurch die Betriebssicherheit und Lebensdauer der Anlage erhöht wurde, im Gegensatz zu den Marschanlagen der Kreuzer, die bei Marschfahrt mit voller Leistung und Höchstdrehzahl betrieben werden mussten, da bei Marschfahrt die beiden Seitenwellen abgeschaltet waren.

Der Motor 65/95 für Schlachtschiffe

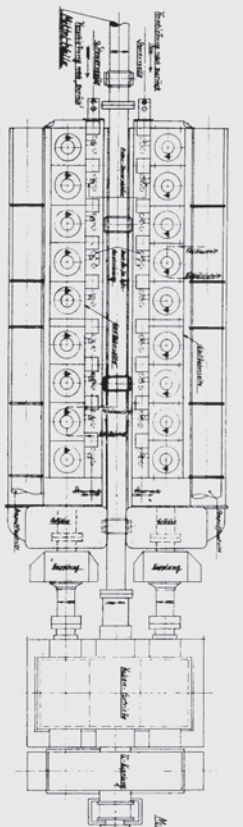
Für die kurz vor Kriegsausbruch in Bau gegebenen Schlachtschiffe wurde ein neuer Motor der gleichen Bauart, aber von wesentlich größerer Zylinderleistung als bisher geschaffen. Die Zylinderleistung dieser Motoren betrug rund 1500 PS. Die Typbezeichnung war MZ 65/95.

Jedes dieser Schiffe (es waren die Schlachtschiffe H, I und K) sollte zwölf Stück Neunzylindermotoren dieses Typs von ungefähr 13 500 PS effektiver Leistung pro Motor haben, und zwar je vier Motoren auf einer Welle. Drei weitere Schiffe (L, M und N) der gleichen Ausführung sollten später folgen. Wie die Anlagen der Begleitschiffe hatten die Motoren angehängte Gebläse und Pumpen. Ein 8-Zylindermotor dieses Typs von 265 U/min. wurde zunächst als Versuchsmotor gebaut, der alle Neuerungen und Verbesserungen

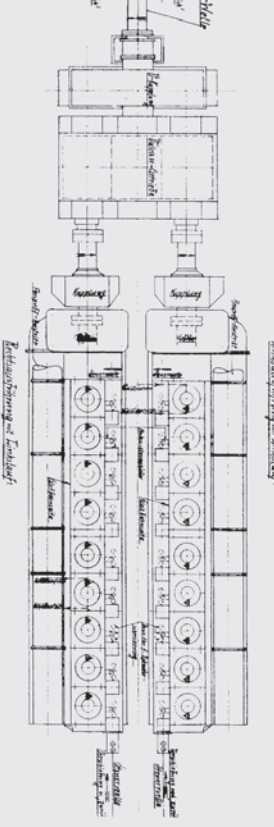
Stufenförderung auf Kettenlauf



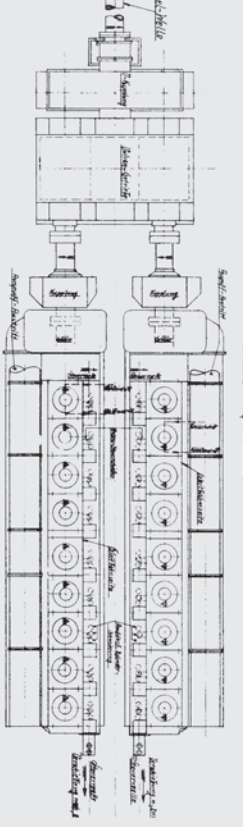
Stufenförderung auf Rollenlauf



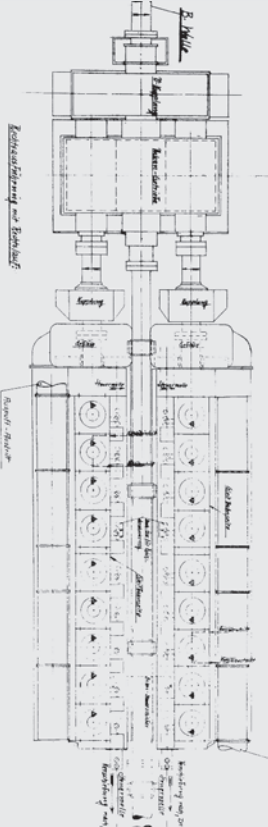
Einstrahlförderung auf Kettenlauf



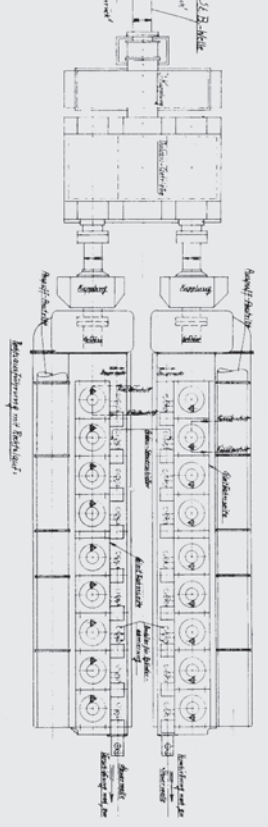
Einstrahlförderung auf Rollenlauf



Einstrahlförderung auf Kettenlauf



Einstrahlförderung auf Rollenlauf



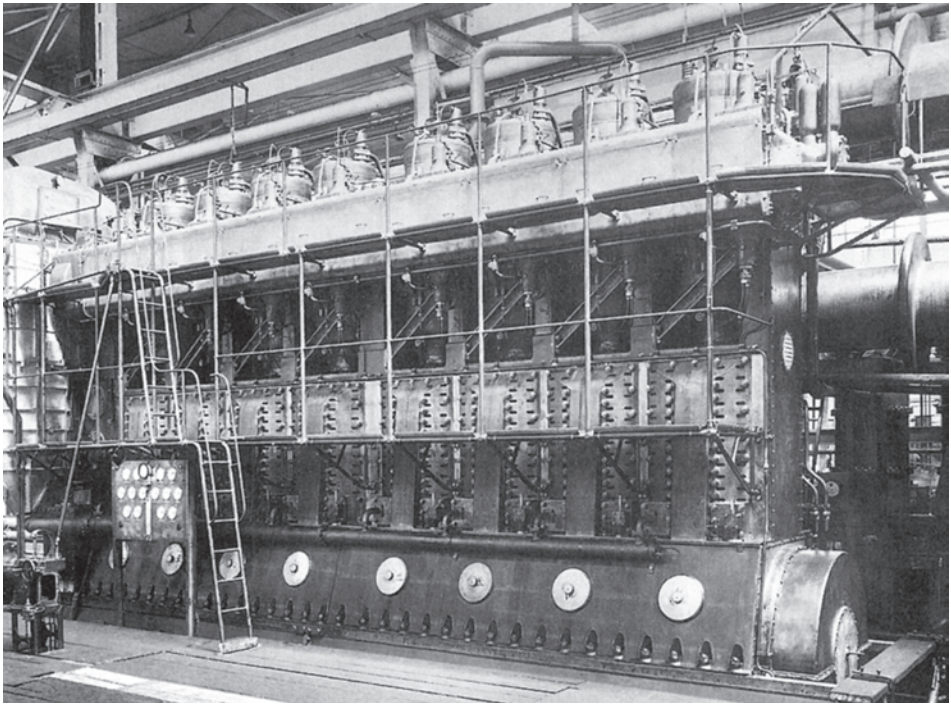


Abb. 16 Versuchsmotor M8Z 65/95 der MAN, geplant für den Einsatz auf den Schlachtschiffen des Z-Planes. (Historisches Archiv der MAN, Augsburg, aus Möller/Brack [wie Anm. 1], S. 133)

hatte, wie sie sich an den Motoren der Begleitschiffe befanden. Nach eingehender Erprobung wurden von diesem Motorentyp 36 Schlachtschiffmotoren in 9-Zylinderausführung in Bau gegeben.

Als dann während des Krieges der Bau aller Schlachtschiffe eingestellt wurde, weil dieser Schiffstyp für die Kriegsführung keine Bedeutung mehr hatte, wurde auch der Bau der Motoren 65/95 abgebrochen, den man in großem Maßstab aufgezogen hatte. Sogar ein groß angelegtes besonderes Werk für die Herstellung und spätere Instandsetzung dieser Motoren war mit allen modernen Einrichtungen auf Betreiben und zulasten der Marine von der MAN in Hamburg errichtet worden. Die Kosten beliefen sich auf 70 Millionen RM. Dieses große Motorenwerk wurde nach Stilllegung der Motoren 65/95 auf den U-Bootmotorenbau umgestellt. Da es aber bald klar wurde, dass selbst mit Hilfe dieses großen Motorenwerkes das gewaltige Motorenprogramm sich nicht zeitgerecht durchführen ließe, veranlasste das Oberkommando der Marine (OKM) die Gründung einer »Arbeitsgemeinschaft Großmotoren«, de-

Linke Seite: Abb. 15 Für die Schlachtschiffe des Z-Planes vorgesehene Antriebsanlage mit zwölf MAN-Dieselmotoren M9Z 65/95 auf drei Wellen. (Sammlung Eike Lehmann)

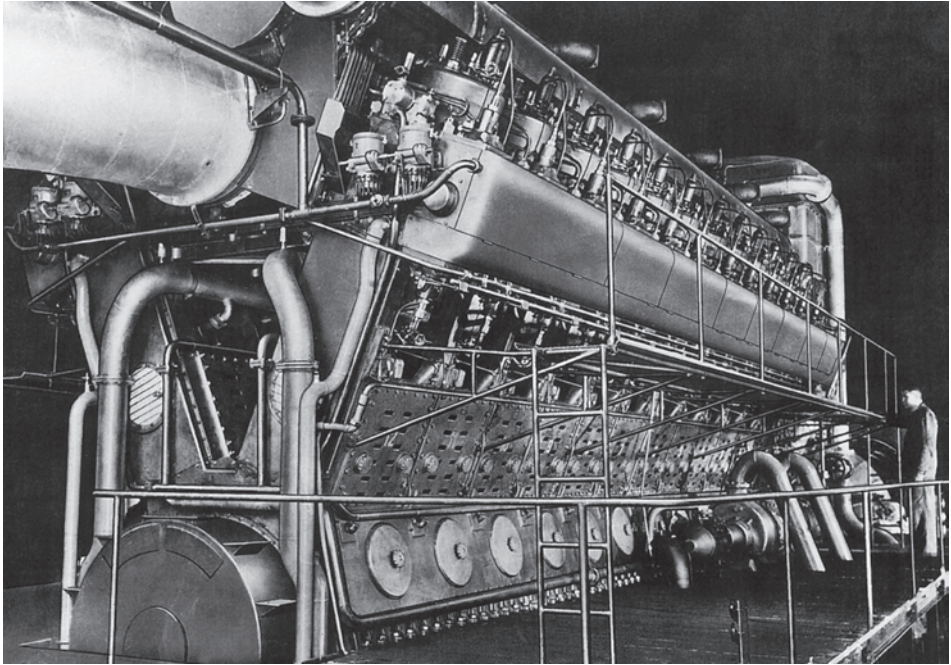


Abb. 17 Doppeltwirkender, 16 000 PS leistender 24-Zylinder-Zweitakt-Dieselmotor V12Z 42/58 der MAN zum Einsatz auf Schlachtkreuzern, 1941. (Historisches Archiv der MAN, Augsburg, aus Möller/Brack [wie Anm. 1], S. 91)

ren Aufgabe es war, die austauschbare Fertigung der Motoreinzelteile sicherzustellen.

Im Jahre 1939 erschien als Folge eines Preisausschreibens des OKM um den Wettbewerb eines 10 000-Tonnen-Kreuzers ein ganz neuer Typ eines doppeltwirkenden 2-Taktmotors. Bei einem der eingegangenen Entwürfe waren die Antriebsmaschinen als V-Motoren entworfen, die in dieser Bauart, Größe und Leistung etwas Neues darstellten.

Nach diesem Entwurf wurde die MAN mit dem Bau eines derartigen Motors als Versuchsmotor betraut. Es war ein 2x 3-Zylinder-Motor mit einem Zylinderdurchmesser von 420 mm und einem Hub von 580 mm. Seine Drehzahl war 450 U/min., also ein Motor von den gleichen Zylinderabmessungen wie die Reihentmotoren der DEUTSCHLAND-Klasse, die bestens erprobt waren. Die eingehenden Erprobungen dieser Maschine erbrachten zur Überraschung mancher Skeptiker, dass die in dem Wettbewerb enthaltenen Gedanken durchaus richtig waren und sich betriebssicher verwirklichen ließen. Das Ergebnis der Erprobung war so überaus günstig, dass das OKM es wagen konnte, für drei Schlachtkreuzer VZ-Motoren von den Abmessungen 42/58, 450 U/min. und 2x 12 Zylinder zu projektieren und zunächst einen davon als Probemotor in Bau zu geben. Bis Ende des Krieges konnte seine Fertigstellung und gründlichste Erprobung durchgeführt werden. Sein Einheitsgewicht betrug 8,75 kg/PSe.

Danach wurde sogar für einen Zerstörer ein motorischer Antrieb mit V-Motoren von den Abmessungen 32/44 vorgesehen und die Motoren in Bau gegeben. Die V-Motoren für diesen Zerstörer hatten 2x 12 Zylinder, einen Zylinderdurchmesser von 320 mm, einen Hub von 440 mm und eine Umdrehungszahl von 600 U/min. Sie entsprachen in ihren Zylinderabmessungen den bewährten Reihenmotoren des Kreuzers NÜRNBERG. Die errechnete Leistung wurde bei den im Werk durchgeführten Dauerprobeläufen des ersten dieser Motoren ohne Schwierigkeiten erreicht und betrug 10 000 PS bei Normalleistung, bei einem Leistungsgewicht von 5,1 kg/PS.

Die genauen Daten dieses als »Flotten-Torpedoboot« in Bau gegebenen Schiffes waren: 3-Wellen-Schiffsantriebsmotoren: MAN doppeltwirkender Zweitakt in V-Bauart, Type V 12 Z 32/44. Normalleistung 10 000 PS bei 600 U/min. Zweistündige Überlast 12 000 PS bei entsprechender Steigerung der Drehzahl nach der Progressivkurve, Zylinderdurchmesser 320 mm, Hub 440 mm. Mittelwelle: 4 Motoren über ein 4-faches Vulkan-Getriebe, Drehzahluntersetzung 600 U/min. auf 390 U/min. der Propellerwelle bei Normalleistung. Kupplungsdurchmesser 1950 mm, Slip 1,85 %. Leistung normal am Propeller insgesamt (Gesamtwirkungsgrad: Slip, Getriebe, Wellenleitungslager, Stevenrohrlagerung rd. 94,7 %) $4 \times 10\,000 \times 0,947 = 37\,900$ WPS. Die Seitenwellen besaßen an Backbord und Steuerbord je einen Motor über eine Gleichlauf-Schaltkupplung mit 600 U/min., direkt auf die Propeller wirkend. Die Leistungen waren je Seitenwelle 9800 WPS. Damit besaßen die Schiffe eine normale Gesamtleistung von $37\,900 + (2 \times 9\,800) = 57\,500$ PS.

Der zunächst unsympathisch empfundene Gedanke, das gleichmäßige Drehmoment einer Dampfturbinenanlage gerade bei einem so leichten Schiffskörper wie bei einem Zerstörer gegen das einer oszillierenden Maschine einzutauschen, verliert aber an Bedeutung, wenn man sich klarmacht, dass bei diesem Motorentyp auf eine Umdrehung 48 Zündungen kamen, dass also auch dieses Motordrehmoment als durchaus gleichmäßig anzusprechen war. Trotz der V-Form des Motors war eine Zugänglichkeit an alle, auch an die zwischen den V-Schenkeln liegenden Motorenteile durchaus vorhanden.

Ende des Baus der MAN-Motoren

Während die ersten Bauarbeiten für den Zerstörer und auch für die V-Motoren in Angriff genommen wurden, brach die Katastrophe über das deutsche Volk herein und beendete mit einem Schläge alles das, was mit großen Hoffnungen begonnen worden war und was ein wertvoller Kräftezuwachs der deutschen Wehrmacht werden sollte. »Was sind Hoffnungen, was sind Entwürfe, Die der Mensch, der flüchtige Sohn der Stunde, Aufbaut auf dem betrüglichen Grunde?«²³

Von den beiden Motortypen, die somit ihr vorzeitiges Ende fanden, liegen also keine Borderfahrungen vor. Ihre Beurteilung kann sich daher nur auf die

Erprobungen auf dem Prüfstand in der Werkstatt der MAN stützen, die allerdings mit einer ganz besonderen Gründlichkeit vorgenommen worden sind (sollte doch aufgrund dieser Prüfstandserfahrungen eine ganze Klasse Schwerer Schlachtkreuzer und eine Serie von Zerstörern in Bau gegeben werden).

Beurteilung der MAN-Motoren

Wenn ich auch kein Prophet bin, glaube ich doch sagen zu dürfen, dass sowohl die Motorenanlage der schweren Schiffe wie auch die des Zerstörers den Erwartungen entsprochen haben würden und dass mit ihnen die Front Kampfeinheiten erhalten hätte, die durch ihre schnelle Fahrbereitschaft, durch ihren Aktionsradius, ihre schnelle und gefahrlose Leistungsänderung in weitesten Grenzen sowie durch die Sicherheit infolge der Aufteilung der Antriebskraft auf verschiedene Kraftquellen in anderen Marinen mit diesen Eigenschaften kaum zu finden gewesen wären. Waren es doch gerade diese vom militärischen Standpunkte aus so außerordentlich wichtigen und für manche Augenblicke in der Kriegsführung entscheidenden Eigenschaften gewesen, welche die in Vorstehendem dargelegten Aufwendungen an geistiger und mechanischer Arbeit und an gewaltigen Geldmitteln rechtfertigten.

Diese doppelwirkenden Motoren der MAN stellten in ihrer letzten Ausführung, besonders in der des V-Motors, zweifellos einen Höhepunkt motorischer Entwicklung dar. Bei ihnen wurden alle im Laufe der Jahre gewonnenen Erfahrungen der doppelwirkenden 2-Taktmotoren sowie alle Erkenntnisse für richtige konstruktive Durchbildung und für die richtige Wahl der Werkstoffe verwertet. Allen neuzeitlichen Forderungen nach Beherrschung bei kritischen Drehzahlen, der freien Kräfte und Momente, sei es durch Schwingungsdämpfer und schwingungsdämpfende Kupplungen, durch Kurbelversetzungen, Gegengewichte, wurde Rechnung getragen. Ich darf hier die Äußerung eines englischen Offiziers bei Besichtigung der V-Motoren bei der MAN wiedergeben, die dahin ging, dass man in Deutschland mindestens 15 Jahre dem englischen Dieselmotorenbau voraus sei.

Die Bedienung und Wartung dieser Motoren setzte allerdings ein geschultes Personal mit technischem Verständnis voraus. Der von der deutschen Marine eingeschlagene Weg, das spätere Bordpersonal schon während der Montage der Motoren zu ihrer Ausbildung ins Herstellungswerk zu senden, hat sich bestens bewährt und hat Bedienungsschwierigkeiten an Bord nicht auftreten lassen.

An dieser Stelle mag auch erwähnt sein, dass, um für alle Reparaturarbeiten an diesen Motoren vom Herstellungswerk unabhängig zu sein, die Marineverft auf Anordnung des OKM den Bau eines doppelwirkenden 2-Taktmotors, wie er auf den Panzerschiffen eingebaut worden war, vornehmen musste. Diese Arbeit sollte zur Ausbildung und Schulung des Werftpersonals dienen. Durch den einwandfreien Bau dieses Motors und seinen einwandfreien Lauf

bewies die Marinewerft, dass dieser Zweck erreicht war und dass sie nun auch in motorischen Arbeiten den Anforderungen der Front genügen konnte.

Es ist kaum anzunehmen, dass bei anderem und besserem Ausgang des Krieges die deutsche Marine bei diesem Entwicklungsstand des Dieselmotors den Gedanken, ihn als Antriebsmaschine zugunsten anderer Schiffskraftanlagen einzusetzen, wieder aufgegeben hätte, nachdem auch ganze Motorenwerke auf diesen Typ ausgerichtet waren, ja sogar, wie schon erwähnt, ein gewaltiges neues Werk für die Herstellung und Reparatur dieser Motoren an der Küste neu errichtet worden war und ein hochwertigster Arbeiterstamm zur Verfügung stand.

Speziell der V-Motor stellte in seinem Aufbau eine Kraftkonzentration auf kleinem Raum dar, wie sie bisher von keinem Motor erreicht wurde und nach den damaligen Erkenntnissen wohl kaum von einer anderen Motorkonstruktion noch hätte übertroffen werden können. Er bildete in seiner Art m.E. das Ende einer Entwicklung, die kaum noch Verbesserungen erfahren und zu noch höherer Entwicklung getrieben werden konnte.

Leistung der deutschen Marine und der deutschen Motoren-Industrie für die Entwicklung des Motorenbaus

Was bis zum Zusammenbruch des Deutschen Reiches im Jahre 1945 in zielbewusster Arbeit und unter Aufwendung beträchtlicher Geldmittel von der ehemaligen deutschen Marine für die Entwicklung des Schiffsantriebes geleistet worden war, hat den Motorenbau ungeheuer befruchtet und gefördert und lebt heute in manchen Konstruktionen der Motoren der Handelsschiffahrt fort. In gleicher Weise muss hervorgehoben werden, dass das, was die deutsche Motoren-Industrie für die deutsche Marine auf dem Gebiete der S-Bootmotoren und der doppelwirkenden 2-Takt-Motoren hervorbrachte, höchste Würdigung und Anerkennung verdient, die ihr durch den unglücklichen Ausgang des Krieges allerdings nicht mehr in vollem Maße zuteil werden konnte.

Ausblick

Aber zehn Jahre sind seitdem vergangen, die Werke der Industrie wurden zerstört und die eingearbeiteten Arbeitskräfte in alle Winde zerstreut, soweit sie überhaupt noch unter den Lebenden waren. Zehn Jahre hat in Deutschland alle Weiterarbeit an den doppelwirkenden 2-Taktmotoren der Marine geruht. Inzwischen lag auch kein Anlass vor, sie wieder zu beginnen. Wenn jetzt die Frage auftauchen würde, ob es unter den heutigen Umständen richtig sei, diese Arbeiten an dem Punkte wieder aufzunehmen, wo sie einst abgebrochen wurden, so glaube ich, diese Frage kaum bejahen zu können. In anderen Natio-

nen ist motorische Arbeit und motorische Entwicklung weitergegangen. Wenn, wie mir bekannt geworden ist, heute fremde Marinen, die früher nur den Dampfantrieb für Schiffe wählten, selbst leichte Marinefahrzeuge, die leichteste Antriebsmaschinen verlangen, mit Motoren als Antriebsmaschinen ausrüsten, so wird dort eine Entwicklung der Schiffsmotoren in den vergangenen zehn Jahren von Erfolg gewesen sein. Ob oder wie weit man dort den einst deutschen Vorsprung im Dieselmotorenbau inzwischen aufgeholt hat, ist mir nicht näher bekannt geworden. Immerhin wird man in der neu erstehenden deutschen Marine das, was inzwischen im Auslande in der Weiterentwicklung der Motoren geschehen ist, stark beachten und prüfen müssen.

In der Aufteilung der Antriebskräfte auf eine Mehrzahl von Motoren mit noch höherer Drehzahl als bisher und mit Untersetzung durch Getriebe auf die Propellerwelle und in einer einfacheren Konstruktion des Motors als jener des doppeltwirkenden Zweitaktmotors wird vermutlich für die nächste Zeit die Entwicklung des Schiffsantriebes weitergehen.

Es wird wahrscheinlich an die Stelle des doppeltwirkenden 2-Takters der einfachwirkende und auf Leichtbau ausgerichtete 4-Takter treten, der eine nicht unwesentliche Vereinfachung der Bauteile und eine Erhöhung des effektiven Arbeitsdruckes mit seiner immer höher getriebenen Aufladung gestattet. Er wird voraussichtlich neben einem sehr geringen Brennstoffverbrauch auch die Verwendung weniger wertvoller Brennstoffe ermöglichen.

Durch die geringere Bauhöhe des 4-Takt-Motors gegenüber dem doppeltwirkenden 2-Takt-Motor erfahren auch die Motorfundamente im Schiff eine wesentliche Vereinfachung und nicht unerhebliche Gewichtsverminderung, was für das Gesamtgewicht der Maschinenanlage von nicht zu unterschätzender Bedeutung ist.

So ist bereits aus der Literatur ein Viertaktmotor von einer Einheitskonstruktion bekannt geworden, die die Henschel Maschinenbau GmbH als Lizenznehmerin neben der SEMT (Societe d'Etudes de Machines Thermiques) baut.²⁴ Die Bauteile lassen sich nach dem Baukastensystem nicht nur zum Reihenmotor, sondern auch mit einer oder mehreren Wellen zum V-Motor und ähnlichen Formen zusammensetzen. Seine Konstruktionselemente sind unzweifelhaft sehr bemerkenswert, desgleichen ihre Kombination zu den verschiedenen Bauarten. Mag ein solcher Viertaktmotor für manches Fahrzeug schwerer und leichter Bauart gut geeignet sein, in den bisher aus der Literatur bekannt gewordenen Konstruktionen scheint er jedoch seines Einheitsgewichtes (kg/PS) wegen für Schnellboote noch nicht den bisherigen deutschen Typ verdrängen zu können.

Als Beweis dafür, dass der Schiffsantrieb auf 4-Takt-Motoren hinausläuft, mag auch gelten, dass nach vertraulicher Mitteilung der MAN diese umfangreiche Aufträge auf 4-Takt-Motoren ausländischer Marinen vorliegen hat, insbesondere auf antimagnetische Motoren in 4-Takt-V-Bauart für Minenräumboote. Zum Teil hat die MAN für diese Motoren schon wieder Lizenzen ins

Ausland (Holland, Italien) vergeben. Als derzeitige Spitzenleistung auf dem Gebiet der leichten 4-Takt-Motoren für Räumboote und dergleichen bezeichnet die MAN einen 16-Zylinder-4-Takt-Motor mit Aufladung, der bei $n = 900$ U/min. ca. 3500 PS leistet.

Schlussurteil

Im Vorstehenden habe ich zusammengetragen alle wesentlichen Änderungen und Verbesserungen an den S-Bootmotoren und den doppeltwirkenden 2-Takt-Motoren der ehem. deutschen Kriegsmarine; sie haben sich ergeben aus eingehend ausgewerteten Betriebserfahrungen, die sich über einen Zeitraum von rund 20 Jahren erstrecken. Sie sind vielfach von so grundsätzlicher Bedeutung, dass sie bei künftigen Motoren nicht außer Acht gelassen werden sollten.

Ein Bericht über Erfahrungen lässt sich naturgemäß nur geben in enger Anlehnung an die chronologische Entwicklung der Motortypen, wie es im Vorstehenden geschehen ist. Das Erkennen der einzelnen Fehler eines Motors und die daraufhin getroffenen Maßnahmen führen in ihren Erfolgen oder Misserfolgen dann in ihrer Gesamtheit zu einem Urteil über die Güte eines Motortyps, das ich für die hier behandelten Motoren dahin zusammengefasst habe, dass mit dem letzten Typ der MAN-Motoren, dem Motor in V-Bauart, ein Höchststand in der Entwicklung erreicht wurde. Wenn ich trotzdem seinen Weiterbau nicht glaube bejahen zu können, so deshalb, weil die fortschreitende und fortgeschrittene Technik zu der Erkenntnis führt, dass heute neue Wege gegangen werden können. Hinzu kommt, dass der ehemals hierfür vorhanden gewesene umfangreiche Stamm eingearbeiteter, hochqualifizierter Arbeitskräfte nicht mehr da ist. Welche Bedeutung in eingearbeiteten Arbeitskräften liegt, erfuhr ich persönlich durch einen Vorfall nach dem Ersten Weltkriege, als die Verhältnisse z.T. ähnlich lagen und eine unserer großen Seeschiffswerften zunächst nicht mehr in der Lage war, eine seitens der Marine bestellte Turbine sachgemäß und betriebssicher zu beschaulen.

Der von den Daimler-Benz-Werken mit der ehemaligen deutschen Kriegsmarine geschaffene S-Boottyp, den Daimler-Benz auch nach dem Krieg noch weiter zur Bordreife entwickeln konnte, möchte ich auch heute noch als den gegebenen S-Boottyp bezeichnen, der in dem Typ 518 eine Leistung von 3000 PS hat.

Schluss

Dass dieser in der vorstehenden Abhandlung in Worten eng zusammengefasste merkbare Aufstieg des Dieselmotors als Antriebsmaschine für Kriegsfahrzeuge nicht ohne harten Wettstreit mit der bis dahin allein das Antriebs-

feld beherrschenden Dampfenergie vor sich gehen konnte, ist nur verständlich. Doch wie die Dinge bei Ende des Krieges lagen, war zu erkennen, dass sich in der deutschen Kriegsmarine der Wettstreit zugunsten des Motors entschieden hatte und dass die Worte, die ich 1938 über eine Wettbewerbsarbeit setzte, sich als richtig erwiesen. Es waren die Worte:

»Und müht der Dampf sich noch so sehr, mit hunderttausend Pferden, der Antrieb wird trotz alledem, der Dieselmotor werden.«

Anmerkungen:

- 1 Möller, Eberhard, und Brack, Werner: Einhundert Jahre Dieselmotoren für fünf deutsche Marinen. Hamburg u.a. 1998.
- 2 »Die Zeiten ändern sich, und wir ändern uns mit ihnen.«
- 3 Theodor Blank, Leiter des Amt Blank zwischen 1950 und 1955, ab 1955 erster Bundesverteidigungsminister.
- 4 Die Bezeichnung lautete »LM 1-LM 6-Boote« (Luftmotoren-Boote).
- 5 Nach Hans-Jürgen Reuß sind diese Motoren von der 1909 gegründeten Luftfahrzeug-Motorenbau GmbH, 1912 umfirmiert in Motorenbau GmbH, als Vorläufer der späteren MTU Friedrichshafen GmbH gebaut worden. Es handelte sich um für den Flugzeugantrieb entwickelte sog. überbemessene Motoren, die erst in 1800 m Flughöhe ihre volle Leistung von 260 PS abgeben konnten.
- 6 Viertakt-Sechszylinder-Benzinmotoren. Vgl. Sass, Friedrich: Geschichte des deutschen Verbrennungsmotorenbaues von 1860 bis 1918. Berlin u.a. 1962.
- 7 Fock, Harald: Schnellboote. Bd. 1: Von den Anfängen bis zum Ausbruch des 2. Weltkrieges. Herford 1973.
- 8 Möller/Brack (wie Anm. 1).
- 9 Nach Hans-Jürgen Reuß zeigten die Entwicklungen in den 1930er und 1940er Jahren bei der Firma Mahle, vor welchen Problemen Motoren- und Kolbenhersteller standen (Ringträger-, Kühlkanalkolben und gebaute Kolben).
- 10 Einzelheiten zu diesem Motor bei Möller/Brack (wie Anm. 1).
- 11 Nachruf im Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft, Bd. 49, 1955.
- 12 Hans-Jürgen Reuß bemerkt dazu, dass die Wahl des doppeltwirkenden Zweitaktverfahrens für die Entwicklung von Schnellbootmotoren in zweierlei Hinsicht überraschend ist, denn einerseits führt dieses Konstruktionsprinzip zu großen Bauhöhen und zu entsprechenden Einbauproblemen, andererseits zu erheblichem zeitlichen Wartungsaufwand.
- 13 Heute bezeichnet man solche Motoren als Mittelschnellläufer.
- 14 Lehmann, Eike: Biografien zur Geschichte des Schiffbaus. Berlin u.a. 1999.
- 15 Der geistige Vater des Marine-Dieselmotorenbaus der MAN war Gustav Pielstick.
- 16 Die Bezeichnung 30/44 bedeutet bei der MAN: Zylinderdurchmesser 300 mm, Kolbenhub 440 mm.
- 17 Brandes, Ferdinand: Der schnelllaufende Dieselmotor und der Hochdruckheißdampf als Antrieb von Kriegsschiffen. In: Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft, Bd. 41, 1940, Bild 8.
- 18 Ernst Lehr verstarb am 25. März 1945 bei einem Bombenangriff auf Berlin. Bekannt geworden ist sein Name durch das sog. Lehr'sche Dämpfungsmaß.
- 19 Brandes (wie Anm. 17), Bilder 20–24.
- 20 Nach dem Namen der US-Firma Parker Rost-Proof Co., die dieses Verfahren entwickelt hat, Eisen durch einen Phosphatüberzug gegen Rost zu schützen.
- 21 Gemeint sind hier die von Herrmann Föttinger beim Stettiner Vulcan entwickelten hydrodynamischen Kupplungen.
- 22 Heute eine Zweigniederlassung von KSB Service GmbH.
- 23 Friedrich Schiller: Die Braut von Messina.
- 24 Besser bekannt unter der berühmten Bezeichnung Pielstickmotor.

The Experiences of the Former Kriegsmarine in the Development of High-Speed Engines for Fast Patrol Boats and the Double-Acting Two-Stroke Engines Manufactured by MAN

Summary

This article is about an appraisal carried out in 1955 by the former head of the German Kriegsmarine (war-time navy) construction department – the engineer Ferdinand Brandes, who retired in 1944 – at the request of the Amt Blank (the predecessor office to the German Federal Ministry of Defence). The aim of the appraisal was to determine the state of the art of diesel engine technology in preparation for producing the engines required for the new Bundesmarine (federal German navy). It was evidently assumed that the memories of a person directly involved could be especially valuable.

The products successfully developed by the German engine industry within the relatively brief period from the end of World War I to 1945 for navy ships and high-speed watercraft of all kinds have not only influenced the further development of this technology to the very present, but also formed the basis for the leading role played by German diesel engine manufacturers on the international market to this day. The double-acting navy engines are a somewhat different story: they did not prove themselves in practice and are accordingly no longer built today. The significance of Ferdinand Brandes's memories for the history of this technology lies in the fact that they provide evidence of the practical effectiveness of the designs and correctness of the choices of engine types made under the most rigorous conceivable conditions and therefore undoubtedly served the Amt Blank as an important decision-making basis. In retrospect, Brandes's observations testify to the fact that the protagonists of the era in question made the right decisions.