



# MTU-Antriebsanlagen für Schnellboote der Bundesmarine

Von Fred Schreier, Genf

Zu den Hauptaufgaben des bundesdeutschen Marineauftrages zählt nach wie vor die Verteidigung der Ostseeküsten Kleiner und Großer Belt, Oresund, Kattegat und Skagerrak sowie der westlichen Ostsee. Im Einsatzgebiet Ostsee kann die deutsche Präsenz in Zukunft jedoch nur mehr mit Kleinkampfverbänden aufrechterhalten werden, da für größere Überwassereinheiten aufgrund der zunehmenden Besetzung der südlichen Ostseeküste mit Küstenbatterien und Flugkörper-Regimentern außerhalb der dänischen Inselgruppen heute kaum noch Operationsmöglichkeiten bestehen. Die Nähe der gegnerischen Küste, die in zunehmendem Maße Angriffe von landgestützten, im Radarschatten des Küstengebietes anfliegenden Lenk Waffen und Flugzeugen möglich macht, zwingt heute nicht nur zu einer Beschränkung der Schiffshouetten auf ein Mindestmaß, sie läßt auch eine Aufteilung der Kampfkraft auf viele kleine Einheiten als immer dringender geboten erscheinen. Deshalb — wie auch der extrem flachen Küstenstreifen wegen, die Schiffen doch wesentliche Beschränkungen bezüglich Tiefgang auferlegen — gelten Schnellboote im Bereich der westlichen und mittleren Ostsee derzeit als Haupteinsatzmittel zur See, obwohl Wetter, Seegang, Einsatzdauer und Fahrbereich ihrem Einsatz bekanntlich Grenzen setzen. Feindliche Seestreitkräfte in diesem Seegebiet in beweglich geführten Operationen zu bekämpfen und die Seeflanke der Bundesrepublik von See her zu schützen, wird Auftrag der Kampfgruppen sein, die aus flugkörper- und kanonenbewaffneten Schnellbooten und Kampfhubschraubern aufgestellt und von je einem großen Kampfboot geführt werden.

Der Anteil Schnellboote dieser Kampfgruppen soll, neben den zehn seit Frühjahr 1972 auf moderne Bewaffnung umgerüsteten Schnellbooten der Zobel-Klasse (S-142), durch zehn neu zu beschaffende Schnellboote S-143 sowie durch 20 neue Schnellboote S-148 gebildet werden. Der angestrebten höheren Geschwindigkeit wegen denkt man überdies an eine spätere Ausrüstung der Ostsee-Kampfgruppen mit Tragflächen-Schnellbooten S-162.

Daß die neuen S-Boote des Typs S-143, deren Zulauf 1975 beginnen und bis 1977 andauern wird, ebenso wie die in diesem und in den beiden folgenden Jahren auszu-

liefernden Schnellboote des Typs S-148, mit Antriebsanlagen von MTU ausgerüstet sind, dürfte kaum überraschen. Mit der 1961 erfolgten Übernahme der Großmotorenfertigung der Daimler-Benz AG durch die Maybach-Motorenbau GmbH und der Übertragung von schnelllaufenden Dieselmotoren aus dem Motorenprogramm der M.A.N. an die 1969 aus vorgenannten Firmen entstandene Motoren- und Turbinen-Union Friedrichshafen GmbH (MTU) sind immerhin die Kenntnisse dreier im Motorenbau Weltruf genießender Werke in die Entwicklung und Fertigung der wohl besten für Schnellboote derzeit verfügbaren Dieselmotoren eingeflossen. Gleichzeitig erfährt aber auch der Bau zukünftiger Antriebsanlagen für Gleit- und insbesondere für Tragflügel-Schnellboote wesentliche Impulse aus der gasturbinenseitigen Zusammenarbeit der MTU mit General Electric und andern Turbinenfirmen.

Aufgrund ihres hohen Leistungsangebots bei entsprechend kleinem Leistungsgewicht sind schnelllaufende MTU-Dieselmotoren geeignete Antriebsanlagen für eine ganze Anzahl Marine-Hochleistungsfahrzeuge. Interessant sind sie vor allem für S-Boote, die ja bekanntlich so klein und so schnell wie möglich sein müssen, höchstmögliche Dauerfahrt aufweisen und einen möglichst großen Aktionsradius bei möglichst hoher Marschfahrt erreichen sollen. Der Eigenart von Schnellboot-Einsätzen Rechnung tragend, wird von der Antriebsanlage zudem ein möglichst hohes Beschleunigungsvermögen erwartet.

Wenn trotz dieser für alle Arten von Schnellbooten gültigen Anforderungen unterschiedliche S-Boote entwickelt werden, zu deren Antrieb heute nicht mehr ausschließlich Dieselmotoren, sondern auch Gasturbinen-Dieselmotor-Kombinationen (CODAG) oder gar nur Gasturbinen dienen, so ist diese Typenvariation vor allem durch die Verschiedenartigkeit der taktischen Aufgaben und durch unterschiedliche Einsatzgebiete bedingt. Wo beispielsweise in erster Linie kurzzeitig verfügbare Maximalgeschwindigkeiten erforderlich sind und ein etwas geringerer Aktionsradius in Kauf genommen werden kann, dürfte sich eine Gasturbinenantriebsanlage aufdrängen. Mit Gleitbooten sind indessen die mittels Gasturbinenantrieb erreichbaren Höchstgeschwindigkeiten nur in Seegebiete-

◀ Schnellboot der Klasse 148, angetrieben durch vier MTU-Motoren des Typs 16V538 mit je 16 Zylindern in V-Form und einer Dauerleistung von 3000 PS.

ten mit schwachem Seegang zu nutzen. Für Verdrängungsboote gelten dagegen meist Dieselmotoren als optimale Antriebsmaschinen, während für Tragflügel-Schnellboote wiederum eher CODAG- oder reine Gasturbinenanlagen mit Erfolg verwendet werden. Natürlich ist die Wahl des Antriebes nicht immer frei von «Philosophien». Doch jedem der vorgenannten Antriebssysteme sind Vor- und Nachteile eigen, deren Einflüsse nicht ohne Mitberücksichtigung des Einsatzgebietes und des taktischen Auftrages beurteilt und gegeneinander abgewogen werden können.

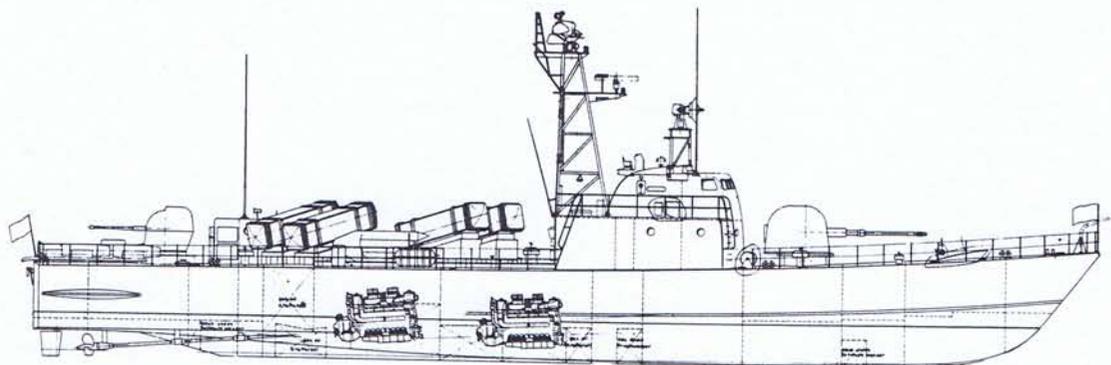
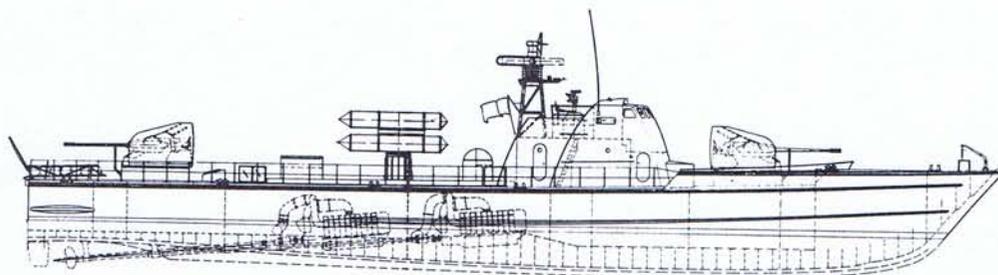
Den neuen S-148- und S-143-Booten der Bundesmarine werden jedenfalls aus schnelllaufenden Hochleistungsdieseln bestehende Mehrmotoren-Antriebsanlagen auf Jahre hinaus — zumindest im Küstenvorfeld — Bedeutung als Überwasserkampfmittel von besonderem taktischen Gewicht geben. Der sich aus der erforderlichen Gesamtantriebsleistung ergebende Zwang zur Mehrmotorenanlage ist übrigens nicht etwa als Nachteil zu werten. Eine Mehrmotorenanlage ist sogar durchaus erwünscht, erbringt sie doch eine wesentliche Verringerung des Ausfallrisikos und, aufgrund der kleineren Abmessungen und Gewichte der zu handhabenden Ersatzteile, eine erhebliche Erleichterung des Unterhalts sowie die Möglichkeit zur schnelleren Beseitigung von Störungen durch Austausch ganzer Motoren. Diese Dieselmotoren, die ja nur kleiner Ansaugschächte bedürfen und gute Voraussetzungen zur Anordnung kurz hinter der Schiffsmitte sowie zur Abgasführung unter Wasser bieten, beeinflussen die Bootskonstruktionen S-148 und S-143, den Trimm der Boote und deren See-Eigenschaften in jeder Weise nur günstig. Der geringe spezifische Brennstoffverbrauch der Dieselmotoren macht sie als Antrieb auch in bezug auf den Aktionsradius interessant. Weil sie als Antriebsmaschinen von höchstem thermischen Wirkungsgrad den geringsten Luftbedarf haben, bieten sie bessere Möglichkeiten zu vollem ABC-Schutz und zum Fahren im Verschlusszustand. Sie entwickeln gleichzeitig auch kleinere Mengen an Verlustwärmen, die überdies, soweit diese in den Abgasen enthalten sind, noch ins Wasser abgeführt werden. Die neuen S-Boote können sich damit der IR-Ortung weitgehend auf natürlichem Wege entziehen, denn gegen die IR-Ortung der Motoren als Wärmequelle bietet auch der Kühlwassermantel Schutz. Und solange man den Forderungen nach Maßnahmen gegen die Schallortung seitens des im inhomogenen Nachstromfeld und im Kavitationsbereich arbeitenden Schiffpropellers nicht entscheidender Rechnung tragen kann, dürfte auch die gegenüber der Gasturbine leicht stärkere Geräuschquelle des Hochleistungsdiesels keine erheblich größeren Nachteile für die Sicherheit der Schiffe zur Folge haben. Bei entsprechender Wahl einer elastischen Lagerung für die Motoren ergeben sich übrigens genügend tief liegende Eigenfrequenzen, so daß eine recht gute Abschirmung gegenüber dem Fundament gewährleistet werden kann. Auch die Forderungen nach Schocksicherheit der Anlage, leichtem Ein- und Ausbau der Motoren möglichst mit Bordmitteln sowie nach Fernsteuerung und Fernüberwachung der Maschinenanlagen von vielen Stellen im Schiff aus lassen sich mit schnelllaufenden Hochleistungsdieseln verhältnismäßig leicht erfüllen.

Was aber ist denn unter schnelllaufenden Hochleistungs-Dieselmotoren überhaupt zu verstehen?

## Schnelllaufende Hochleistungs-Dieselmotoren

Die Motordrehzahl allein gibt natürlich noch keinen Aufschluß über die wirkliche

◀ Die Seitenrißzeichnungen zeigen die Anordnung der MTU-Antriebsanlagen MB 518 an Bord des S-140 (oben), hier in einer inzwischen aufgegebenen Projektstudie mit dem Sea Hunter-Feuerleitsystem der Contraves Italiana und einem Starter für Sea Killer-Schiff-Schiff-Flugkörper der Arma Sistel.



«Schnellläufigkeit» eines Dieselmotors. Und weil es nicht belanglos ist, ob die Kolbengeschwindigkeit — gleiche Drehzahlen vorausgesetzt — mit hohem oder niedrigem Druck erreicht wird, kann auch der Wert der mittleren Kolbengeschwindigkeit allein nicht echtes Vergleichsmaß sein. Weit besser dienen, neben dem mittleren effektiven Druck, Laufwert und Kolbenflächenleistung, d.h. die auf die Kolbenfläche bezogene Motorleistung, als Beurteilungskriterien für Motoren. Der Laufwert, der proportional dem Quadrat der mittleren Kolbengeschwindigkeit ist, gilt als Maß für die Belastung der Bauteile durch Massenkräfte. Ein hoher Wert kennzeichnet hohen konstruktiven und allgemeinen technischen Entwicklungsstand und ist kennzeichnend für den modernen Hochleistungsmotor. Derjenige Motor, der bei nachweislich zuverlässigem Betrieb den höchsten Laufwert aufweist, besitzt das am rationellsten ausgelegte Triebwerk. Die Bedeutung des Laufwertes geht aus dem Diagramm hervor.

Für einen Motor mit einer Zylinderbohrung von 185 mm und einem Hub von 200 mm ergibt sich bei einer Drehzahl von 1300 U/min ein Laufwert von  $62,5 \text{ m}^2/\text{min}^2$ . Wird die Drehzahl desselben Motors auf 1900 U/min gesteigert, wie etwa beim 16 V 538 von MTU, erhöht sich dieser Laufwert auf ca  $133 \text{ m}^2/\text{min}^2$ . Bei einer langsamlaufenden Maschine mit einer Drehzahl von 250 U/min, einer Zylinderbohrung von 450 mm und einem Hub von 600 mm beträgt der Laufwert dagegen nur  $16,8 \text{ m}^2/\text{min}^2$ . Aus der Gegenüberstellung beider Maschinen, die im praktischen Betrieb zu keinen Beanstandungen Anlaß gegeben haben, geht somit hervor, daß das Triebwerk des Schnellläufers weit besser als das des Langsamläufers ausgenutzt ist.

Die Kolbenflächenleistung — proportional dem Produkt aus mittlerem effektivem Druck und Kolbengeschwindigkeit — ist ein Maß für die thermische Belastung der Bauteile, insbesondere des Kolbens und der brennraumgebenden Teile. Je höher die praktisch erreichte und auch für einen störungsfreien Betrieb zulässige Kolbenflächenleistung ist, desto höher ist der Entwicklungsstand des Motors zu werten. Da aufgrund der für einen Bereich praktisch gleichzusetzenden Kolbenflächenleistung abzuleiten ist, daß die Literleistung für eine bestimmte Belastungsklasse und für geometrisch ähnliche Motoren annähernd umgekehrt proportional zur Bohrung ist, kann daher auch die Kolbenflächenleistung der Motoren in Belastungsklassen maßgebend herangezogen werden. Daraus ergibt sich,

daß für geometrisch ähnliche Motoren und konstante thermische und mechanische Belastung der Kolben bzw. des Triebwerkes bei Verdoppelung der Bohrung eine Halbierung der Literleistung die Folge ist. Man erkennt, daß ein Langsamläufer, dessen Leistung mit  $0,25 \text{ PS}/\text{cm}^2$  schon als spezifisch sehr hoch angesehen werden muß, gleiche oder niedrigere Kolbenflächenleistung besitzt als ein älterer Schnellläufer. Durch geeignete Maßnahmen, wie Durchflußkolbenkühlung, Drehzahl- und Mitteldruckerhöhung etc. kann aber die Kolbenflächenleistung beim schnelllaufenden Motor bis zu einem derzeitigen Maximum von ca.  $0,65 \text{ PS}/\text{cm}^2$  gesteigert werden — Werte, die sich in dieser Größenordnung bei Langsamläufern mit keiner Maßnahme auch nur annähernd verwirklichen lassen.

Wenn man sich darüber im klaren ist, daß die wesentlichen Komponenten des Schnellläufers bei hohen Mitteldrücken thermisch und mechanisch geringer beansprucht sind als die entsprechenden Bauteile des Langsamläufers, so kann der Schnellläufer durchaus als eine höhere Entwicklungsform des langsamlaufenden Dieselmotors angesehen werden.

Es lag nahe, derartige Motoren schon früh für Marineschnellboote zu verwenden und, da auch die Jaguar- und Zobel-Boote mit Schnellläufern fahren, sind die Antriebsanlagen der neuen Boote — ihrer Auslegung nach — in Anlehnung an diese und auf der Grundlage der mit diesen Schnellbooten gemachten militärischen und technischen Erfahrungen entworfen worden.

#### Antriebsanlagen der S-Boote der Klasse 148

Das S-148, eine Weiterentwicklung der von Frankreich gebauten Schnellboote Combattante II, ist Bindeglied zu den S-Booten der Klassen 140 und 141 der Bundesmarine und basiert bekanntlich auf einer rein deutschen Entwicklung der Lürssen-Werft. Die französische Werft CMN-Amiot übernahm die Lizenz und entwickelte daraus, mit Modifikationen, den Typ La Combattante II.

Während längerer Zeit hat man sich jedoch nicht entschließen können, ob die S-148-Boote nun mit MTU-Motoren Maybach MD 872 oder mit Daimler Benz MB 518 angetrieben werden sollen. Beide gab es. Die Boote der Jaguar-Klasse (S-140 und S-141), die heute ausgesondert werden müssen, sind mit beiden gut gefah-

ren. Wegen den höheren Zeiten zwischen den Grundüberholungen hat man sich trotz des größeren Gewichtes schließlich für den Typ MD 872 entschieden.

Die ganze Antriebsanlage der S-Boote Klasse 148 ist der aus vier MD 872 bestehenden Anlage in den Booten der Jaguar-Klasse ähnlich: Vierwellenantrieb, mit je zwei in einem Maschinenraum angeordneten Innen- und Außenmotoren, zugehörigen Wende-Untersetzungsgetrieben usw. Natürlich sind alle technischen Fortschritte, die im Laufe der Zeit aufgrund umfangreicher Betriebserfahrungen in anderen Anwendungsgebieten, insbesondere der Schifffahrt, gemacht wurden, in der im S-148 zum Einbau kommenden Ausführung mit der heutigen Typenbezeichnung 16 V 538 von MTU berücksichtigt. Logistisch sind es jedoch die gleichen Motoren geblieben.

Wie alle früheren dieser aus 12-, 16- und 20-Zylinder-Typen bestehenden Baureihe ist auch der 16 V 538 ein einfach wirkender Viertakter. Als 16-Zylinder-Schnellboot-Motor wird er in V-Form gebaut und mit Abgasturbo-Aufladung- und Ladeluftkühlung ausgerüstet. Folgende weitere kennzeichnenden konstruktiven Merkmale sind auch ihm eigen.

- geschweißtes, die Kurbelwelle vollständig umfassendes Stahlgehäuse,
- in einem Stück geschmiedete Scheibenkurbelwelle,
- druckölgekühlte Kolben mit abnehmbaren Stahlböden,
- Einzelzylinderköpfe mit zentraler Brennkammer und sechs Ventilen,
- obenliegende Nockenwellen — getrennt für Ein- und Auslaß — mit Antrieb durch Stirnräder,
- Einzelspritzgerät für jeden Zylinder,
- Regler mit drehzahlabhängiger Leistungsbegrenzung.

Wenn man dazu noch weiß, daß dieser Motor mit Mitteldrücken von  $20 \text{ kp}/\text{cm}^2$  gefahren wird, dann dürfte klar werden, daß es sich hier um eine Motorkonstruktion handelt, die in ihrer Konzeption in Leistungsbereiche vorstößt, die den schnelllaufenden Dieselmotoren zuvor noch nicht zugänglich waren.

Das formsteife Kurbelgehäuse des Motors gestattet ein direktes Anflanschen des Wende-Untersetzungsgetriebes — das speziell für diese Motoren entwickelt worden ist — und eine elastische Lagerung der Maschine mit nur 4 Auflagepunkten. Daneben ist das Tunnelgehäuse ideale Basis für die 9fach rollengelagerte Scheibenkurbelwelle. Durch die Rollenlagerung in Verbin-

S-Boot-Typ	S-140/S-142	S-141	S-143	S-148	S-162
Klasse	Jaguar/Zobel	Seeadler	—	—	Tragflügel-S-Boot
Verdrängung (t)	185	185	380	265	218
Geschwindigkeit (kn)	42	42	40	38	10 (Fahrt mit Diesel)
Länge (m)	42,5	42,5	54,4	47,0	39,7
Breite (m)	7,0	7,0	7,8	7,0	8,9
Anzahl Schiffe	20+10	10	10	20	2
Motoranzahl	4	4	4	4	2
Motorotyp	MB 518	MD 872	16 V 956	16 V 538	8 V 331
Zylinderzahl	20	16	16	16	8
Anordnung der Nockenwellen	seitlich tief	obenliegend	seitlich hoch	obenliegend	innenliegend hoch
Einspritzung	4 Blockeinspritzpumpen	Einzeleinspritzpumpen	2 Blockeinspritzpumpen (Direkteinspritzung)	Einzeleinspritzpumpen	1 Blockeinspritzpumpe (Direkteinspritzung)
V-Winkel	40°	60°	50°	60°	90°
Verdichtungsverhältnis	14	16,2	13	16,2	15
Ventile pro Zylinder	4	6	4	6	4
Vorkammer	ja	ja	nein	ja	nein
Kolbenkühlung	nein	ja	ja	ja	ja
Anlassung	Druckluft über Zylinder	Druckluft über Zylinder	Druckluft über Zylinder	Druckluft über Zylinder	elektrisch
Bohrung/Hub (mm)	185/250	185/200	230/230	185/200	165/155
Hubraum eines Zylinders (Liter)	6,72	5,38	9,56	5,38	3,31
Gesamthubraum (Liter)	134,4	86	152,8	86	26,5
Motormasse (trocken) (kg)	5415	7160	11360	7160	1830
Mittlerer eff. Druck $p_e$ (kg/cm <sup>2</sup> )	11,7	17,45	19,85	16,9	19,85
Mittlere Kolbengeschwindigkeit (m/s)	14,3	12	12,7	12,1	12,7
Max. Zylinderleistung (PS/Zyl)	150	188	225	283	225
Dauerleistung (PS)	2500	3000	3000	4000	3000
(kW)	1850	2210	2210	2940	2210
Überleistung bei (U/min)	1620	1790	1790	1515	1790
(PS)	2750	3300	3300	4500	3300
(kW)	2020	2430	3310	2430	2430
Höchstleistung bei (U/min)	1670	1850	1575	1850	1850
(PS)	3000	3600		3600	3600
(kW)	2210	2650		2650	2650
bei (U/min)	1720	1800		1900	1900
Abgasturboaufladung	nein (mech. Aufladung)	ja	ja	ja	ja
Ladeluftkühlung	ja	ja	ja	ja	ja
Motor-Drehrichtung	umsteuerbar	links (nicht umsteuerbar)	links (nicht umsteuerbar)	links (nicht umsteuerbar)	links (nicht umsteuerbar)
Getriebe	ZF-KS 25	KS 30 KS 40	KSS 60	KS 41	BU 250
Dauerleistung A	nach DIN 6270	20° C Ansauglufttemperatur			
Höchstleistung $N_H$	nach DIN 6270	20° C Wassertemperatur im Ladeluftkühler			
Überleistung $N_U$	nach DIN 6270	300 m Höhe über NN			

dung mit den Scheiben werden auch die theoretisch geringstmögliche Baulänge der Kurbelwelle und ein sehr verwindungssteifes Triebwerk erzielt.

Mit einem organisch eingebauten Viskositäts-Schwingungsdämpfer wird erreicht, daß die 538-Motoren über den gesamten Drehzahlbereich ohne kritische Schwingungen arbeiten.

Trotz der wesentlichen Erhöhung der Kolbenflächenleistung, die der MD 538 erfahren hat, konnten die Temperaturen durch Kolbenkühlung und Verwendung von Spezialmaterial für den Kolbenboden in zulässigen Grenzen gehalten werden. Weil die Temperaturen des Kolbenbodens auf der Verbrennungsraumseite jedoch durch den Wärmeübergang vom Kolbenboden auf das Öl bestimmt sind, mußte auch hier wiederum durch besondere konstruktive Maßnahmen wie günstige Wandstärken und entsprechende Ölführung im Kolbenboden sichergestellt werden, daß die Übergangswerte günstig liegen, die Kolbenbodentemperaturen trotz Leistungssteigerung in annehmbaren Grenzen bleiben und das Kolbenkühlöl nicht verkockt. Die obenliegende Nockenwelle des 538-Motors, die im Hin-

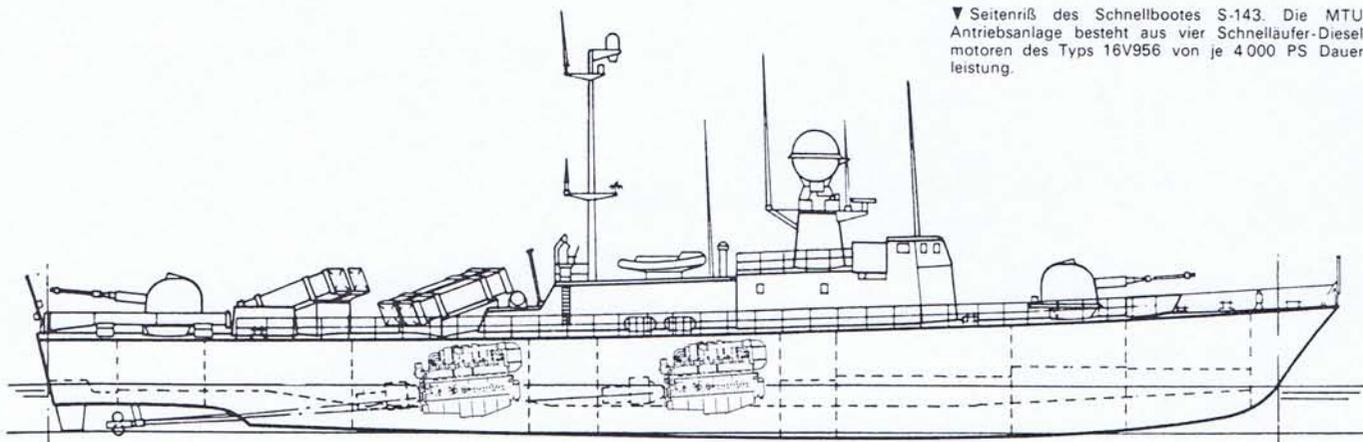
blick auf einen weitgespannten Leistungsbereich Anwendung fand, hatte schon früh die Ausbildung einer leichten Ventilsteuerung ermöglicht, so daß eine Drehzahlsteigerung in dieser Beziehung auf keine grundsätzlichen Schwierigkeiten stoßen konnte. Die Lösung mit sechs Ventilen strebte man seinerzeit an, um das Verhältnis der durch die Verbrennungswärme und durch die Auspuffgase aufgeheizten Oberflächen zu den wärmeabführenden Flächen der Ventilsitze und Schaftdurchmesser günstig zu beeinflussen.

Auch beim MD 872 übernimmt wie beim 16 V 538 eine eingebaute Hydraulik das automatische Nachstellen des Ventilspiels. Dies dürfte sich nicht zuletzt günstig auf das die Maschine thermisch stark beanspruchende Fahren im gedrückten Betrieb, d.h. mit kleinen Drehzahlen und großen Füllungsgraden, auswirken.

Weil das genaue Dosieren der Brennstoffmengen wesentliche Voraussetzung für eine gleichmäßige Zylinderbelastung ist, wurde die für die MD-Motoren entwickelte Brennstoffpumpe und Düse in einer Einheit und ohne Druckleitungen auch für diesen Motor beibehalten.

Die Steigerung des Aufladegrades, die dieser Motor erfahren hat, steht natürlich in direktem Zusammenhang mit der Steigerung der Umfangsgeschwindigkeit des Verdichter- und Turbinenrades. Die mit der Erhöhung des Aufladedrucks überproportional ansteigende Verdichter-Antriebsleistung wurde durch entsprechende Leistungssteigerung der Abgasturbine erhalten, wobei neben Verbesserungen des Turbinenwirkungsgrades die Ausnutzung der Auspuffdruckspitzen durch Stoßtrieb und die sorgfältige Abstimmung von Motor und Abgasturbine eine entscheidende Rolle spielten. Die Drehzahl des Läufers wurde dabei niedrig gehalten und beträgt bei 1900 U/min und 225 PS Zylinderleistung ca. 19000 Umdrehungen bei einem Aufladedruck von 1,84 atü — eine Leistung, die sowohl auf der Turbinenseite als auch auf der Laderseite einstufig erreicht wird. In Ladeluftkühlern — Wärmeabführung an Seewasser — wird die Temperatur der verdichteten Luft stark herabgesetzt und die Ladung der Zylinder durch höheres Luftgemisch gesteigert. Im Hauptbetriebsbereich werden die Abgase übrigens über seewassergekühlte Leitungen zum Unterwasser-

▼ Seitenriß des Schnellbootes S-143. Die MTU-Antriebsanlage besteht aus vier Schnellläufer-Dieselmotoren des Typs 16V956 von je 4000 PS Dauerleistung.





◀ Ein Schnellboot der S-140-Klasse, angetrieben durch vier 20V672. Der Ursprung dieser Motoren geht auf die beiden letzten Großluftschiffe zurück, die mit Mercedes-Benz-Dieselmotoren gleicher Konzeption wie der 672 ausgerüstet waren. Es lag nahe, diese Motoren auch für Marine-Schnellboote zu verwenden. Tatsächlich haben sie mit nur 1,5 kg/PS Leistungsgewicht den Antrieb von Schnellbooten und damit den ganzen Schnellbootbau revolutioniert. Über 1 200 dieser Motoren — mit zunächst 2 000 und 2 500 PS, später 3 000 PS Leistung — wurden an Marinen in Europa und Übersee geliefert.

austritt geleitet. Zur Geräuschdämpfung wird vor dem Austritt Seewasser eingespritzt. Nur für den Start und die Manöverfahrt treten die Abgase über Wasser aus.

Bei der Motorkühlanlage handelt es sich um eine Wasser-Umlaufkühlung mit geschlossenem Kreislauf, der unter leichtem Überdruck steht.

Das Anlassen dieses Motors erfolgt mit Druckluft (40-18 kp/cm<sup>2</sup>) über die Zylinder und die Sicherheitsabstellung (Schnellstop) durch Handbetätigung der Schnellschlußklappen und des Reglers über Seilzüge.

Die an die Motoren angeflanschten Wende-Untersetzungsgetriebe KS 4120 von MTU sind über Vulcan-Kupplungen mit den vier Propellerwellen verbunden und haben die Aufgabe, die Motordrehzahlen auf die Propellerdrehzahlen zu untersetzen und eine Drehrichtungsumkehr der Propeller für Vorwärts- und Rückwärtsfahrt zu ermöglichen. Da die Motoren nicht umsteuerbar sind, müssen je zwei gleichsinnige und zwei ungleichsinnige Getriebe in die S-Boote der 148-Klasse eingebaut werden.

Der übersichtliche Aufbau dieses Motors und die zweckmäßige Anordnung der Aufbau- und Zubehörteile sowie der Anschlußstellen erleichtern den Einbau und ermöglichen eine raum- und gewichtsparende Verlegung der Leitungen. Auf die Zugänglichkeit zu den wichtigsten Motorteilen wurde besonderer Wert gelegt. So erlauben die Montageöffnungen auf den beiden Gehäusesseiten eine Kontrolle des Triebwerkes und sogar das Lösen der Pleuelschrauben zum Ausbau der Kolben bei eingebauter Antriebsgruppe. Die nassen Zylinderlaufbüchsen sind auswechselbar und von oben her in das Gehäuse eingesetzt. Die Kompressionsringe können überprüft werden, ohne daß der Ausbau der Kolben dazu nötig wäre, und die Zylinderköpfe sind einzeln aufgeschraubt und leicht abnehmbar. Eine Zwischenüberholung kann daher an Bord und ohne Ausbau des Motors erfolgen. Weil die Motoren betriebssicher und wirtschaftlich arbeiten, beschränkt sich die Wartung bei den Seetörns auf Kontrollen des Schmieröls und des Kühlwassers sowie auf das Reinigen der Filter.

Die gesamte Überwachung und Fernbedienung ist im zentral angeordneten Leitstand zusammengefaßt, doch können die Motoren auch von der Stirnseite aus überwacht und gefahren werden.

#### Antriebsanlagen der S-Boote der Klasse 143

Das S-Boot der Klasse 143, das aufgrund seines vollintegrierten Gefechtsinformationssystems Agis gewisse Führungseigenschaften hat und daher bis zum Zulauf der «großen Kampfboote» als Führungsboot für Kampfgruppen eingesetzt werden soll, ist wesentlich größer als die S-Boote 148. Die größeren Abmessungen gehen auf militärische Forderungen zurück, die sich auf eine starke Bewaffnung, umfangreiche Waffen-

leit- und Führungsanlagen und eine Geschwindigkeit von mindestens 38 kn konzentrierten. Durch verantwortbare Einschränkungen bezüglich Einsatzdauer und Fahrbereich konnten den Größenverhältnissen immerhin so enge Grenzen gesetzt werden, daß Bewaffnung, Elektronik und installierte Antriebsleistung durchaus eines größeren Schiffstyps würdig wären.

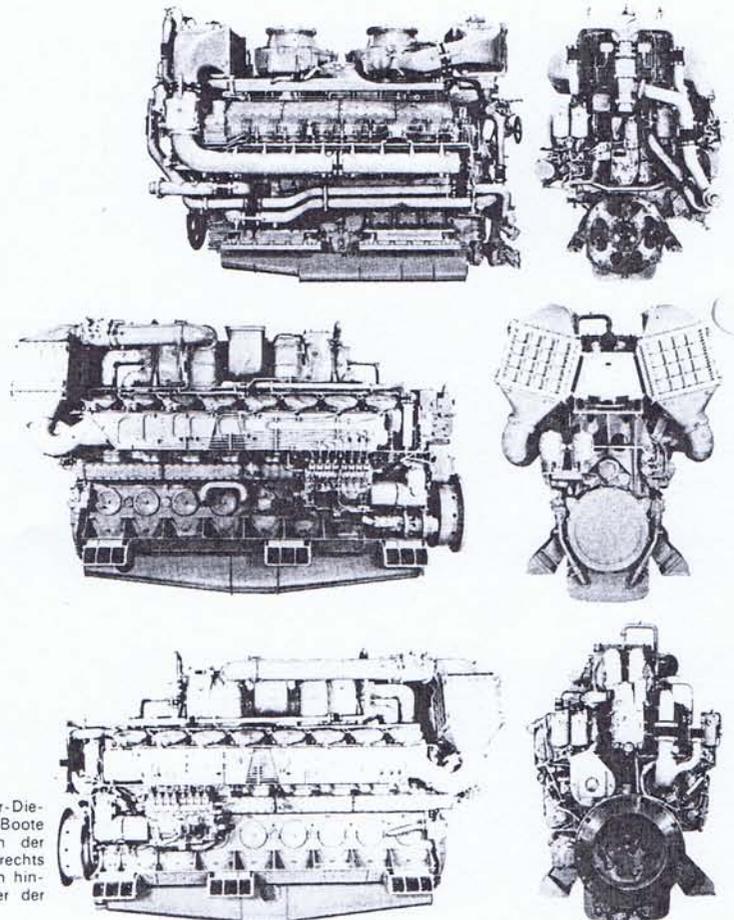
Man hat lange überlegt, ob man für dieses Boot, das grundsätzlich einer höheren Antriebsleistung bedurfte, den 20-Zylinder der MTU-Baureihe 538 übernehmen oder einem vom Zylindervolumen her nächstgrößeren 16-Zylinder-Hochleistungs-Diesel den Vorzug geben soll. Das erforderliche Antriebspotential hätte leistungsmäßig mit beiden Motoren erreicht werden können. Man hat sich dann aber für den 16-Zylinder-Motor der nächstgrößeren Baureihe entschieden. Dies nicht zuletzt des Wachstumspotentials wegen, das mit der Weiterentwicklung des 16-Zylinders und einem noch leistungsstärkeren 20-Zylinder-Hochleistungs-Dieselmotor nutzbar bleibt. Aus-

schlaggebend war dabei auch, daß ein etwas höheres Gewicht einer hubvolumenmäßig größeren 16-Zylinder-Maschine für das größere S-Boot 143 in Kauf genommen werden konnte. Die Forderungen nach höherer Leistung im Schiffbau und bei stationären Aggregaten waren es gewesen, die zur Entwicklung des 16 V 956 TB 91 geführt haben.

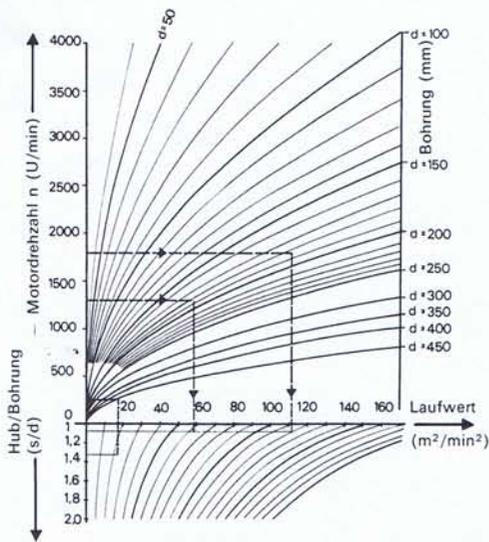
Die Berücksichtigung der neuesten Erkenntnisse im Motorenbau sowie die Forderung nach einfacher Bedienung und Wartung, langen Laufzeiten zwischen den Grundüberholungen und geringem spezifischen Verbrauch prägten die Charakteristik der Direkteinspritzer-Motoren 956.

Je vier solcher Einheiten werden die S-Boote 143 mit einer Kurzhöchstleistung von 18 000 PS antreiben. Es sind 16-Zylinder-Viertakt-Dieselmotoren, die bei einer Höchstdrehzahl von 1575 U/min mit einem effektiven Druck von 16,8 kp/cm<sup>2</sup> arbeiten. Da Bohrung und Hub mit je 230 mm gleich sind, konnte eine geringere Kolbengeschwindigkeit bei relativ hohem Drehzahlniveau erreicht werden.

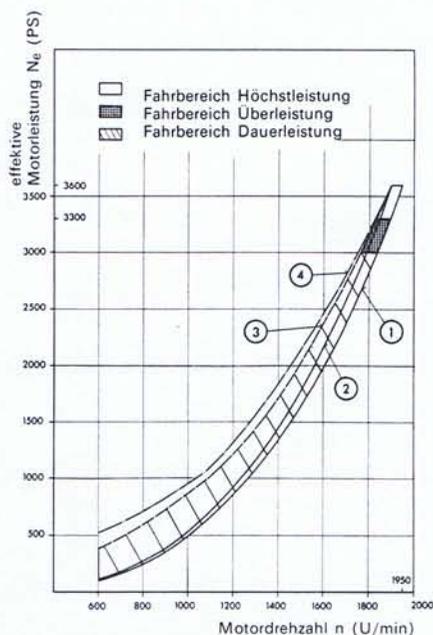
Das Motorgehäuse ist in V-Form mit einem Winkel von 50° ausgebildet und reicht von weit unterhalb der Pleuelwellenmitte bis hoch zu den Zylinderköpfen. Zur zusätzlichen Querversteifung sind Kurbelgehäuse und die kräftig dimensionierten Stahl-Hauptlagerbügel mit unten liegenden Querankern verbunden. Das Gehäuse ist einteilig und aus Sphäroguß. Im V ist der



▶ MTU-Schnelläufer-Dieselmotoren für die S-Boote 148 und 143. Oben der 16V538 des S-148, rechts von der Seite und von hinten gesehen, darunter der 16V956 des S-143.

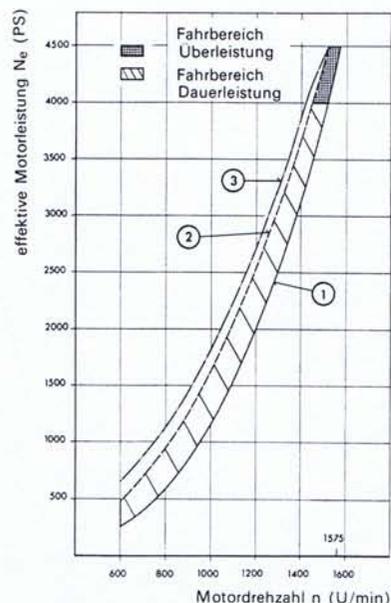


Der Laufwert eines Kolbenmotors — Charakteristikum für die Belastbarkeit seiner Bauteile durch Massenkräfte — als Funktion der Motordrehzahl und des Verhältnisses Hub zu Bohrung mit der Bohrung  $d$  als Parameter. Links ein Langsamläufer, rechts ein Schnellläufer, einmal mit 1300 U/min (Mitte) und einmal mit 1900 U/min (rechts).



Leistungskurve des 16V538 im Schnellboot S-148, gültig für 20 °C Ansaugluft- und 20 °C Seewassertemperatur:

- 1: theoretische Propellerkurve (Motorkennlinie)
- 2: Propellerkurve für Neuauslegung
- 3: Belastungsgrenze für Dauerbetrieb
- 4: Toleranzkurve +5% (DBR-Kurve)



Leistungskurve des 16V956 im Schnellboot S-143, gültig für 20 °C Ansaugluft- und 20 °C Seewassertemperatur:

- 1: Propellerkurve für Neuauslegung
- 2: Belastungsgrenze für Dauerbetrieb
- 3: Toleranzkurve +5% (DBR-Kurve)

zentrale Kühlwasser-Verteilungskanal eingegossen, und an der Hauptabtriebsseite ist im Gehäuse in einem separaten Teil das Stirnrädergetriebe untergebracht, das die Nockenwellen, die Kühlwasser-, Kraftstoff-, Öl- und Einspritzpumpen sowie den MTU-Drehzahlregler antreibt. Seitlich hat jeder Kurbelraum Öffnungen, über die das Triebwerk kontrolliert und die Pleuelschrauben zum Ausbau der Pleueln bei eingebautem Motor gelöst werden können. Nach unten

ist der Kurbelraum mit einer aus Stahlblech geschweißten Ölwanne als Ölbehälter abgeschlossen.

Im Kurbelgehäuse eingewalzte Strahlrohre dienen zur Verteilung des Schmier- und Pleuelkühlöls.

Die aus einem Stück geschmiedete Pleuelwelle aus hochfestem Werkstoff, deren Haupt- und Pleuellagerzapfen zur Gewichtsverminderung hohl gebohrt sind, läuft in neun großdimensionierten Lagern. Zur

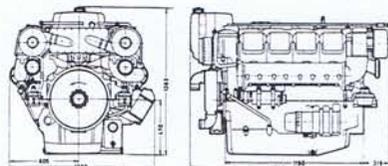
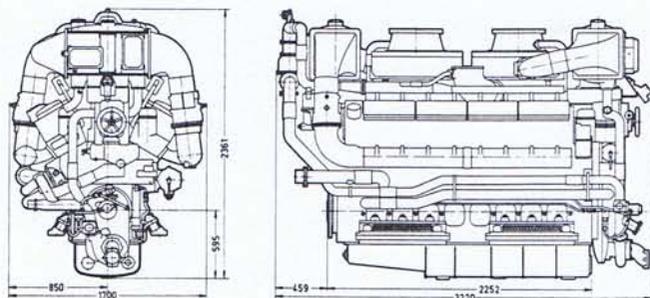
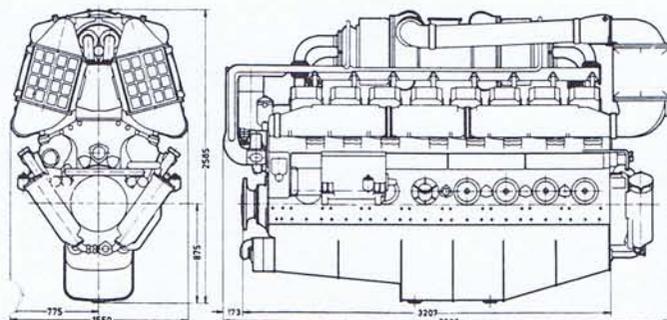
Aufnahme der Axialbelastungen der Pleuelwelle ist auf der Hauptkraftabgabeseite im Anschlußdeckel ein Kugellager eingebaut. Der auf der Gegenseite leicht zugängliche Pleuelagerzapfen ermöglicht den Motorbetrieb über den ganzen Drehzahlbereich ohne kritische Schwingungen.

Für gegenüberliegende Zylinder sind gleiche Pleuel paarweise nebeneinander auf den Pleuellagerzapfen angeordnet und können durch die Zylinder mit dem Pleuel nach oben ausgebaut werden. Sie laufen ebenso wie die Pleuelwelle in dünnwandigen Dreistofflagern mit galvanisch aufgetragener ternärer Laufschrift.

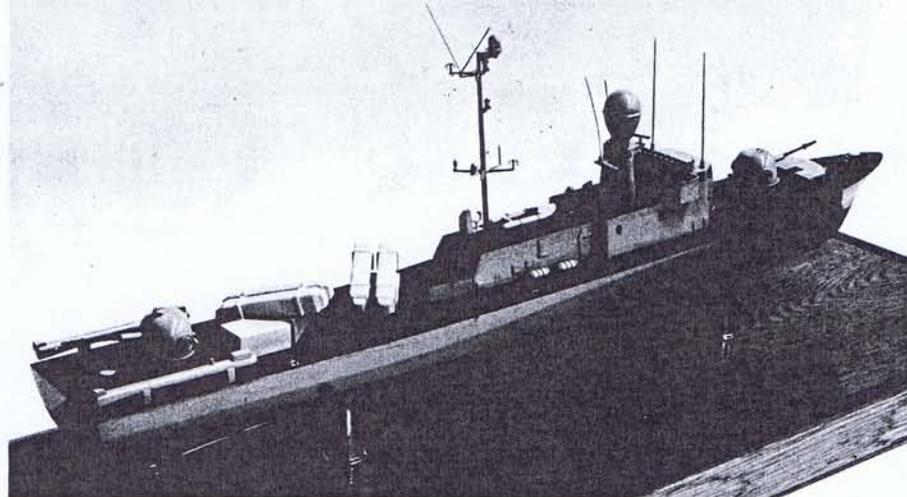
Auch bei diesem Motor sind die nassen dickwandigen Zylinderlaufbüchsen aus verschleißfestem Schleuderguß von oben in das Gehäuse eingesetzt und leicht auswechselbar. Die Pleuel aus einem geschmiedeten Leichtmetallstück mit durch Dehnschrauben befestigtem Stahlboden aus hitzebeständigem Material sind ebenfalls zur Erreichung von niedrigen Bauteiltemperaturen ölgekühlt und entsprechend durchgebohrt, wobei das Pleuel über Spritzdüsen von einer separaten Pleuelkühlölwanne zugeführt wird.

Die Pleuelköpfe bestehen aus hochwertigem Grauguß und sind ohne Demontage von anderen Motorteilen einzeln leicht zugänglich und abnehmbar. Ihre Konstruktion ist auf die bei der Direkteinjektion auftretenden höheren Arbeitsdrücke abgestimmt, und sie sind mit je zwei Einlaß- und Auslaßventilen aus hitzebeständigem Werkstoff ausgerüstet. Zur Erhöhung der Lebensdauer der Auslaßventilsitze sind die Auslaßventile mit Drehvorrichtung Rotocap versehen. Ein- und Auslaßventile werden paarweise von jochartigen, schwingungssteifen, geführten Gleitbügeln betätigt, die bewirken, daß keine seitlichen Kräfte auf die Ventilschäfte wirken können. Die Ventilsteuerung erfolgt über zwei im Pleuelgehäuse seitlich hoch gelagerte, drehsteife Nockenwellen, die kurze Ventilstößel ermöglichen, so daß der ganze Ventiltrieb in Verbindung mit den übrigen robusten Steueranteilen sehr drehzahlfest ist. Auf eine automatische Ventileinstell-Vorrichtung konnte beim 956 verzichtet werden, da das Ventilspiel einfach über Einstellschrauben nur nach Demontage der Ventilhaube regulierbar ist.

Die mit Schrägkanten arbeitenden Blockeinspritzpumpen mit Sphärogußgehäuse sind jeweils seitlich am Pleuelgehäuse angebracht



◀ Übersichtszeichnungen der drei MTU-Schnellläufer-Dieselmotoren 16V956 für das S-143, 16V538 für das S-148 und 8V331 für das S-162 mit den wichtigsten Einbaumaßen. Der technologische Stand dieser von ihrer Konzeption her für den Hochleistungsbetrieb prädestinierten MTU-Motoren und die Anwendung von kompromißlosen Konstruktionsprinzipien sind Grundlage für das hohe Leistungspotential, das günstige Leistungs-gewicht und die geringen Abmessungen dieser Schnellboot-Motoren.



◀ Modell des Schnellbootes S-143, angetrieben durch vier MTU-Schnellläufer-Dieselmotoren des Typs 16V956 mit je 4000 PS Dauerleistung.

und werden über Zahnkupplungen vom Rädertrieb angetrieben. Zur Schmierung sind sie am Motorölkreislauf angeschlossen. Die Steuerkanten der Einspritzpumpen sind so ausgelegt, daß trotz der notwendigen Einspritzleitungen ohne Spritzversteller über den ganzen Leistungsbereich des Motors niedriger Verbrauch und günstige Motorkennwerte erreicht werden. Der Kraftstoff wird über die in Mitte Zylinderkopf liegenden Düsen direkt in den Brennraum eingespritzt. Sie können durch ihre schräge Anordnung im Zylinderkopf ohne Beeinträchtigung durch andere Motorteile ausgebaut und gewartet werden.

Die günstigen Motorkennwerte werden nicht zuletzt durch die gute Abstimmung der zwei mit waagrecht liegendem Laufzeug über dem Motorsattel angeordneten wassergekühlten Abgas-Turbolader mit dem Motor erreicht. Es werden die Abgasdruckspitzen im Stoßbetrieb ausgenutzt. Der Aufladedruck von 1,60 atü wird auf Turbinen- wie auf Gebläsesseite einstufig erreicht. Die Temperatur der verdichteten Luft wird in den von Seewasser beaufschlagten Ladeluftkühlern — zur Erhöhung der Ladung der Zylinder — stark herabgesetzt.

Die Motorkühlanlage ist ebenfalls eine Wasser-Umlauf-Kühlung mit geschlossenem Kreislauf mit Rückkühlung durch Seewasser, das außerdem noch die Ladeluftkühler und den Motorwärmetauscher beaufschlagt.

Der Motor wird mit Druckluft über eine Zylinderreihe gestartet. Die Sicherheitsabstellung erfolgt durch elektrische oder Handbetätigung der Schnellschlußklappen.

Die elastische Lagerung der Motoren an vier Stellen wird die Schallübertragung auf den Bootskörper und ins Wasser wesentlich verringern. Die Fernbedienung der Antriebsanlagen soll von der Brücke und die Überwachung vom schiffstechnischen Leitstand aus erfolgen.

Da auch diese Motoren nicht umsteuerbar sind, wird die Leistung der S-143-Antriebsanlagen über je zwei gleichsinnige und zwei ungleichsinnige MTU-Getriebe KSS 60 mit einem Untersetzungsverhältnis von ca. 1 : 2 auf die vier Propellerwellen und die Festpropeller von 130 cm Durchmesser übertragen werden. Die Wende-Untersetzungsgetriebe sind freistehend und über eine MTU-Schwingmetallzahnkupplung SMZK 4000 mit dem Motor verbunden. Diese Getriebe besitzen schrägverzähnte Radsätze für Vor- und Rückwärtsfahrt, eine Vorwärts-Lamellenkupplung und eine für kleinere Übertragungsleistungen bemessene Rückwärts-Lamellenkupplung. Im Rückwärtsgang ist die Motordrehzahl überdies stärker untersetzt, so daß der Propeller bei kleinerer Drehzahl maximal nur die für die Rückwärtskupplung begrenzte Leistung aufnimmt. Die Kupplungen sind öldruckgeschaltet.

Die Antriebsanlage der S-Boote Klasse 143 ist in zwei Maschinenräume unterteilt, zwischen denen ein Brennstoffbunker als Sicherheitsabteilung angeordnet sein wird (siehe Zeichnung).

### Antriebsanlagen der S-Boote der Klasse 162

Die Beteiligung der Bundesmarine am «Lead-Boat-Programm» der im Rahmen der NATO bestehenden Entwicklung eines Tragflügel-Schnellbootes PHM entspringt dem Bedürfnis nach noch höheren Geschwindigkeiten für S-Boote.

Für Geschwindigkeiten in der Größenordnung, wie sie für ein Tragflügel-Schnellboot S-162 einer Verdrängung von ca. 218 t gefordert werden, kommen Dieselmotoren als Hauptantriebsanlagen aus Gewichtsgründen nicht mehr in Frage. Zur Diskussion standen verschiedene andere Antriebslösungen — sowohl in den USA als auch in der Bundesrepublik. MTU hat von allem Anfang an für die Lösung plädiert, die sich heute durchgesetzt zu haben scheint. Eine Gasturbine General Electric LM 2500 als Hauptantrieb und zwei leichte Schnellläufer-Hochleistungsdiesel 8 V 331 TC80 als Antrieb für die Verdrängungsfahrt.

Die Gasturbine LM 2500, auf den Flugtriebwerken General Electric TF 39 und CF6 basierend, ist ein Zweiwellen-Gleichdruck-Triebwerk der 25000-PS-Klasse mit offenem Kreislauf, hohem Druckverhältnis, äußerst niedrigem spezifischen Brennstoffverbrauch und geringem Leistungsgewicht. Als Schiffsantrieb hat die LM 2500 den Beweis ihrer Leistungsfähigkeit, Wirtschaftlichkeit und Lebensdauer schon erbringen können. Von ihr soll aber hier nicht die Rede sein, obwohl auch sie Bestandteil des Lieferprogramms der MTU Friedrichshafen ist, die mit General Electric seit etwa drei Jahren ein «Distributor-Agreement» unterhält, mit der Möglichkeit der Lizenzfertigung, wenn diese wirtschaftlich und sinnvoll erscheint.

Der Antrieb für die Verdrängungsfahrt wird dagegen eine reine MTU-Anlage sein, bestehend aus zwei 8-Zylinder-Motoren, die über ZF-Getriebe und Wasserstrahlpumpen das S-162 zur Verdrängungsfahrt mit 10 kn antreiben.

Bei diesem Motor handelt es sich um einen 8-Zylinder-Typ aus der neuen Baureihe kleiner und leichter Viertaktmotoren mit 6, 8, 12 und 16 Zylindern in 90°-V-Anordnung und mit direkter Einspritzung.

Das Kurbelgehäuse ist aus Grauguß und bis zu den Zylinderköpfen hochgezogen. Die verschleißfesten nassen Zylinderlaufbüchsen werden von oben in das Gehäuse eingesetzt und sind leicht auswechselbar. Das Kurbelgehäuse-Unterteil ist aus Leichtmetall und kann zur Wartung bei eingebautem Motor nach unten abgesenkt werden. Der Schwungradflansch erlaubt einen direkten Anbau von Getrieben und Generatoren.

Die geschmiedete und zur Gewichtserleichterung hohl gebohrte Kurbelwelle hat angeschraubte Gegengewichte und läuft in dünnwandigen Dreistofflagern mit ternärer Laufschiene. Die im Gesenk geschmiedeten und voll bearbeiteten Pleuelstangen sind paarweise nebeneinander am Hubzapfen angeordnet und können samt Kolben nach oben ausgebaut werden. Die Kolben sind aus einer Aluminium-Legierung geschmiedet, und für eine wirksame Innenkühlung

sorgen Spritzdüsen, die am Hauptölkreislauf angeschlossen sind. Die leicht demontierbaren Zylinderköpfe aus chromlegiertem Grauguß haben je zwei Ein- und zwei Auslaßventile und werden mit acht Schrauben am Kurbelgehäuse befestigt. Zur Erhöhung der Lebensdauer der Ventilsitze sind im Zylinderkopf verschleißfeste Sitzringe eingepreßt. Die Ventile werden paarweise über Gabelhebel betätigt, und die Einstellung des Ventilspiels erfolgt nach Demontage der Ventilhaube in einfacher Weise über Einstellschrauben.

Die Steuerung der Ventile erfolgt über zwei Nockenwellen, die auf der Innenseite des Kurbelgehäuses angeordnet sind und in Verbindung mit kurzen Stoßstangen eine drehzahlfeste Steuerung ergeben. Die Nockenwellen, die Einspritzpumpe sowie die Kühlwasser-, Öl- und Kraftstoffpumpen werden auf der Schwungradgegenseite durch Zahnräder angetrieben.

Die von oben gut zugängliche Blockeinspritzpumpe mit angeflanschem Fliehkraftregler liegt im V des Motors und wird über einen Spritzversteller angetrieben.

Für die Aufladung des Motors ist jede Zylinderreihe ein Abgasturbolader zugeordnet.

In einem nachgeschalteten Kühler wird durch «interne Rückkühlung» mit dem Motor-Kühlwasser die Temperatur der Ladeluft im Vollastbetrieb herabgesetzt. Darüber hinaus bewirkt dieses System, daß im Teillastbereich ein höheres Temperaturniveau in der Maschine und damit eine bessere Verbrennung erzielt wird. Motor und Kühlanlage bilden eine geschlossene Einheit. Für die Wärmeabfuhr im Seewasserkreislauf sind nur wenige seewasserführende Teile und Leitungen erforderlich.

Wie die Daten der Tabelle zeigen, stellen die Motoren der Baureihe 331 höchsten technischen Standard bei schnelllaufenden Hochleistungs-Dieselmotoren dar. Ihre Verwendung im Antriebs-Aggregat für die Verdrängungs- und Manöverfahrt ermöglicht daher, die besonderen Forderungen an die Maschinenanlage des modernsten Marine-Schnellbootes zu erfüllen.

Die Perfektion der Technik auf S-Booten wird auch beim S-162 zwangsläufig zur Automation des Antriebes führen. Selbsttätige Steuergeräte vereinfachen natürlich die Bedienung, machen diese weitgehend unabhängig vom Ausbildungsstand und der Stärke der Besatzung und schützen die Maschinenanlage gegen Bedienungsfehler. Die reiche Erfahrung der MTU auf dem Gebiet der Automation des Betriebes von Mehrmotoren-Anlagen für Schnellboote dürfte daher auch in den Steuer- und Regelanrichtungen der S-162-Anlage Niederschlag finden.

Mehr noch als bei anderen schnellen Wasserfahrzeugen beeinflusst das Leistungsgewicht der Maschinenanlage die mögliche Zuladung, die Marsch- und die Höchstgeschwindigkeit von Schnellbooten. Es kommt aber nicht nur auf die Unterbringung größter Leistung mit geringstem Gewicht auf kleinstem Raum an. Bei der überaus raschen Beschleunigung und durch die extremen Lastwechsel werden Schnellboot-Motoren oft so stark beansprucht, daß die zulässigen Grenzwerte thermischer und mechanischer Belastung erreicht werden. Deshalb können nur Spitzenergebnisse in diesem Spezialsektor schnelllaufender Hochleistungs-Dieselmotoren bestehen.

Die Vielfältigkeit der MTU-Antriebsanlagen wurde hier nur kurz am Beispiel der Schnellboote der Bundesmarine dargestellt. Ähnliche und vergleichbare Anlagen bestehen jedoch bei schnellen Fahrzeugen in Marinen, Zoll- und Polizeibehörden von mehr als 53 Nationen der Welt. ♦♦