

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

L. inw. ~~26~~.....

Druk. U. J. Zam. 356. 10.000.

Von

Alfred Kirschke

II

Großgasmaschinen, Ölmaschinen (Diesel-
maschinen u. Glühkopfmotoren) u. Gasturbinen

Vollständig neu bearbeitet von

Ernst Oehler

Mit 65 Abbildungen



651

3895489

15188738

Sammlung Götschen

Unser heutiges Wissen
in kurzen, klaren, allgemeinverständlichen
Einzeldarstellungen

Walter de Gruyter & Co.

vormals G. J. Götschen'sche Verlagsbuchhandlung / J. Guttentag, Verlagsbuchhandlung / Georg Reimer / Karl J. Trübner / Veit & Comp.

Berlin W. 10 und Leipzig

Zweck und Ziel der „Sammlung Götschen“ ist, in Einzeldarstellungen eine klare, leichtverständliche und übersichtliche Einführung in sämtliche Gebiete der Wissenschaft und Technik zu geben; in engem Rahmen, auf streng wissenschaftlicher Grundlage und unter Berücksichtigung des neuesten Standes der Forschung bearbeitet, soll jedes Bändchen zuverlässige Belehrung bieten. Jedes einzelne Gebiet ist in sich geschlossen dargestellt, aber dennoch stehen alle Bändchen in innerem Zusammenhang miteinander, so daß das Ganze, wenn es vollendet vorliegt, eine einheitliche, systematische Darstellung unseres gesamten Wissens bilden dürfte.

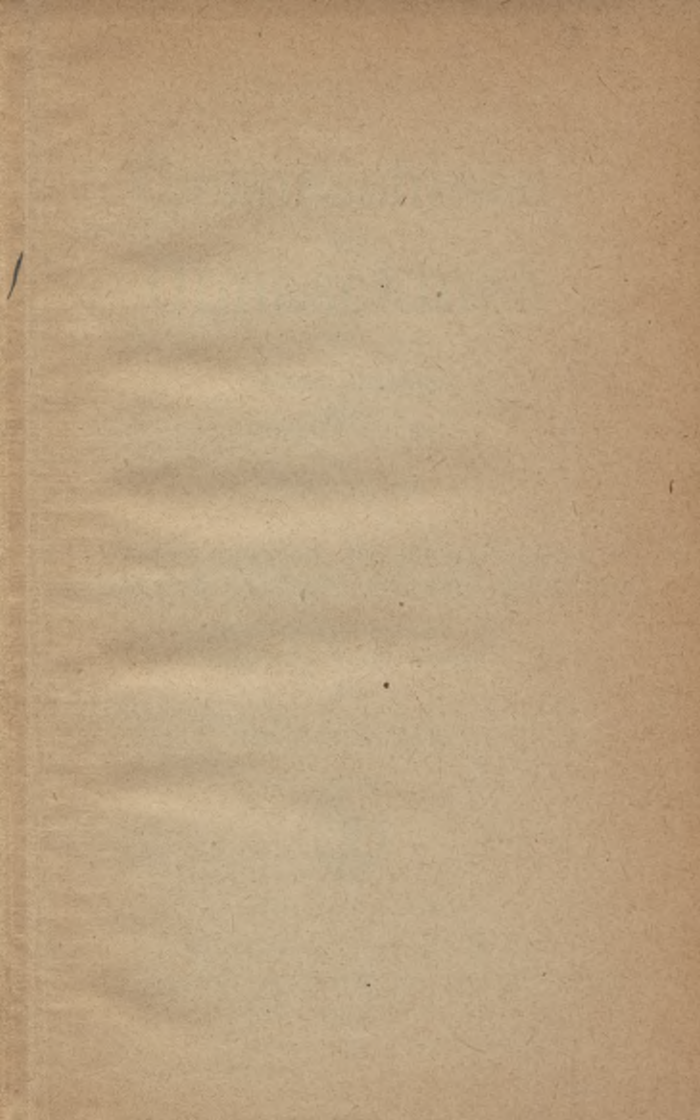
Biblioteka Politechniki Krakowskiej

M u
der b



10000298063

i f f e
postfrei



Sammlung Göschen

Gasmaschinen und Ölmaschinen

Von

Alfred Kirschke

Ingenieur

Gewerbelehrer in Kiel

Dritte Auflage

Zweiter Teil

**Großgasmaschinen, Ölmaschinen (Diesel-
maschinen u. Glühkopfmotoren) u. Gasturbinen**

Vollständig neu bearbeitet von

Dipl.-Ing. Ernst Oehler

Kiel

Mit 65 Abbildungen



Berlin und Leipzig

Walter de Gruyter & Co.

vormals G. J. Göschen'sche Verlagshandlung — J. Guttentag, Verlags-
buchhandlung — Georg Reimer — Karl J. Trübner — Veit & Comp.

1925



~~I 26~~

I- 301 369

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung,
vorbehalten

BPK-B-563/2016

Druck von C. G. Röder G. m. b. H., Leipzig. 904124

Akc. Nr.

~~4024~~/51

Inhaltsverzeichnis.

I. Die Großgasmaschinen.

	Seite
Einleitung. Entwicklung der Großgasmaschine	9
Erster Abschnitt. Die Treibgase der Großgasmaschinen	11
a) Das Gichtgas	11
Entstehung und Zusammensetzung des Gichtgases. Gichtgasreinigung. Ausnützung des Gichtgases in der Großgasmaschine.	
b) Das Koksofengas	13
Entstehung des Koksofengases. Ausnützung des Koksofengases in der Großgasmaschine.	
c) Weitere Treibgase	14
d) Vergleich der Ausnützung der verschiedenen Treibgase in den Großgasmaschinen	14
Zweiter Abschnitt. Die Zweitakt-Großgasmaschinen	15
a) Die Oechelhäuser-Zweitaktmaschine	15
Beschreibung und Wirkungsweise der Maschine. Arbeitsdiagramm. Vorzüge der Oechelhäuser-Maschine.	
b) Körtings doppeltwirkende Zweitaktmaschine	20
Beschreibung und Wirkungsweise der Maschine. Regelung der Maschine. Diagramm der Ladepumpe. Vergleich mit der Oechelhäuser Maschine.	
Dritter Abschnitt. Die Viertakt-Großgasmaschinen	24
Wirkungsweise. Entwicklung. Ausführende Maschinenfirmen. Allgemeiner Aufbau. Regelarten der Viertakt-Großgasmaschine. Arbeitsdiagramm. Zündung. Anlassen.	
Vierter Abschnitt. Vergleich der Zweitaktmaschine mit der Viertaktmaschine	31
Pumpenarbeit. Mechanischer Wirkungsgrad. Gesamtwirkungsgrad. Abwärmeverwerteranlagen. Verwendungsfähigkeit der Zweitakt- und Viertaktmaschinen.	
Fünfter Abschnitt. Leistungserhöhung der Gasmaschinen	34
Leistungserhöhung der Viertaktmaschine durch zusätzliche Spülung. Leistungserhöhung der Zweitaktmaschine durch Vergrößerung der Zylinderfüllung.	
Sechster Abschnitt. Verwendung der Großgasmaschinen im Hüttenwerksbetriebe	37
Allgemeines. Baugrößen der Viertakt- und Zweitaktmaschinen.	

II. Die Ölmaschinen.

Seite

Erster Abschnitt. Allgemeines	40
Grundprinzip der Dieselmachine und Glühkopfmachine. Kurze geschichtliche Übersicht.	
Zweiter Abschnitt. Die Dieselmachine, ihre Entstehung, Arbeitsweise und Bauart	
a) Allgemeines. Entwicklung der Dieselmachine	42
b) Arbeitsweise der Viertakt- und Zweitakt-Dieselmachine	
1) Arbeitsweise der Viertakt-Dieselmachine	43
Arbeitschema der einfachwirkenden Viertakt-Dieselmachine, Arbeitsdiagramm.	
2) Arbeitsweise der Zweitakt-Dieselmachine	45
Arbeitschema der einfachwirkenden Zweitakt-Dieselmachine, Arbeitsdiagramm. Vorzüge und Nachteile der Zweitaktmaschine gegenüber der Viertaktmaschine.	
c) Dieselmachines-Bauarten	48
1) Viertaktmaschinen (Ortsfeste Landmaschinen)	48
Normale einfachwirkende Viertaktmaschine, ihre allgemeine Bauart. Einblaseluftpumpe, Brennstoffpumpe, Regulator. Plattenzerstäuber. Schlitzzerstäuber. Regeldiagramm. Brennstoffverbrauch. Wirkungsgrade. Wärmeverteilung. Liegende Anordnung von Dieselmachines. Gesamtanordnung einer ortsfesten Dieselanlage.	
2) Teerölmaschinen	60
Vorbedingungen für den Teerölbetrieb. Zündölverfahren. Pilzkolben.	
3) Zweitaktmaschinen	62
Ventilspülung. Schlitzspülung (Sulzer, M. A. N.). Junkers Spülverfahren.	
Dritter Abschnitt. Die Brennstoffe der Dieselmachine, Brennstoffkosten und ihre Eignung für die motorische Verbrennung	
a) Allgemeines über die Dieselmachinesbrennstoffe	65
b) Das rohe Erdöl und seine Destillate. Gasöl und Erdölrückstände	66
c) Braunkohlenteeröle. Solaröl und Paraffinöle	67
d) Steinkohlenteeröle	67
e) Brennstoffkosten	69
f) Eignung der Brennstoffe für die motorische Verbrennung	69
Aliphatische und aromatische Treiböle. Beimengungen. Vorschriften über Treiböle.	
Vierter Abschnitt. Verwendung stationärer Dieselmachines und Vergleich mit anderen Wärmekraftmaschinen	71
a) Ölmaschine und Gasmaschine	71
b) Dieselmachine und Dampfkraftanlage	72

Fünfter Abschnitt. Dieselmotoren als Schiffsmotoren

Allgemeines	74
Vorzüge der Schiffsdieselmotore gegenüber der Schiffsdampfmaschine. Wirtschaftlichkeit der Motorschiffe. Manövrierfähigkeit der Schiffsdieselmotoren. Brennstoffregulierung. Umsteuerung. Drehflügelventil.	

Sechster Abschnitt. Langsamlaufende Schiffsdieselmotoren

a) Allgemeines	77
Zylinderzahl. Leistung. Drehzahl. Schwungrad. Drucklager.	
b) Die Viertakt-Schiffsdieselmotoren	78
Allgemeiner Aufbau. Verschiedene Steuerwellenantriebe. Anlaßvorrichtung. Umsteuerung. Einblaseluftpumpe. Doppeltwirkende Viertakt-Schiffsdieselmotore.	
c) Die Zweitakt-Schiffsdieselmotoren	86
Allgemeiner Aufbau. Schiffsdieselmotoren mit Ventil- und Schlitzspülung. Doppeltwirkende Zweitakt-Schiffsdieselmotore.	
d) Versuchsergebnisse	92
Brennstoffverbrauch, allgemeine Werte. Betrieb mit verschiedenen Treibölen.	
e) Gesamtschiffsanlagen	93
Hilfsmotoren. Antrieb der Hilfsmotoren. Schiffsanlage.	

Siebter Abschnitt. Schnellaufende Dieselmotoren

a) Allgemeines	96
Belastung. Drehzahl. Massenkräfte. Verdrehungsschwingungen. Material. Zwei- und Viertakt. Einbau schnellaufender Dieselmotoren in ein U-Boot.	
b) Die schnellaufenden Viertakt-Dieselmotoren	103
Allgemeiner Aufbau. Sonderkonstruktionen: Brennstoffpumpe mit Reguliergestänge. Einblaseluftregler. Einblaseluftpumpe.	
c) Die Borddynamen	109
Allgemeines. Drehzahlregulierung.	
d) Heutige Verwendung der schnellaufenden Dieselmotoren	111
Elektrische Zentralen. Verwendung auf Handelsschiffen in Verbindung mit Zahnradgetrieben, in Verbindung mit Flüssigkeitsgetrieben und Zahnradgetrieben. Verwendung auf Motorjachten. Verwendung als Antriebsmotoren von Hilfsmotoren.	

Achter Abschnitt. Die Michelmotore 114
 Allgemeiner Aufbau. Vorteile.

Neunter Abschnitt. Die kompressorlosen Dieselmotoren

a) Allgemeines	116
Einteilung in Motoren mit Vorkammerverwendung und mit Strahlzerstäubung.	
b) Die Bronsmotore	118
c) Die Steinbeckermotore	120
d) Stehende kompressorlose Dieselmotoren mit Strahlzerstäubung.	120
e) Die liegende kompressorlose Verdränger-Dieselmotore der Motorenfabrik Deutz	123
f) Die ventillose Junkers-Ölmotore	124

	Seite
Zehnter Abschnitt. Die Glühkopfmotoren	126
Allgemeines. Arbeitsweise. Glühkopftemperatur. Wassereinspritzung. Frischluftladung. Brennstoffeinspritzung. Anlagen. Mitteldruck- maschine.	
Elfter Abschnitt. Verwendung der Ölmaschinen auf Segelschiffen und Fischereifahrzeugen	
a) Allgemeines	131
b) Verwendung auf Motorsegelschiffen	131
Einbau von Hilfsantriebsmaschinen. Geschwindigkeit. Größtes Segelschiff.	
c) Verwendung auf Fischereifahrzeugen	132
III. Die Gas- und Ölturbine.	
a) Allgemeines	133
Gleichdruck- und Explosionsgasturbine.	
b) Die Gleichdruckturbine der Société anonyme des turbomoteurs	135
c) Die Holzwarthsche Gas- und Ölturbine	135
Aufbau der Gasturbine. Arbeitsvorgang. Ölturbine.	
d) Probleme des Gas- und Ölturbinenbaues	138
e) Die Stauber-Turbine	140
Namen- und Sachverzeichnis	143

Literatur.

- Dieselmotoren, Sonderheft des Vereins deutscher Ingenieure 1923.
Mentz, Deutsche Handelschiffsölmotoren, Sonderabdruck aus „Werft, Reederei, Hafen“. 1923.
Göldner, Das Entwerfen und Berechnen der Verbrennungskraftmaschinen.
Föppl-Strombeck-Ebermann, Schnellaufende Dieselmotoren.
Löffler-Riedler, Ölmotoren.
Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure.
Zeitschrift „Werft, Reederei, Hafen“.
Zeitschrift „Schiffbau“.

Aus der reichen Literatur seien noch angeführt:

- R. Schöttler, Die Gasmaschine.
A. Riedler, Großgasmaschinen.
Heinrich Dubbel, Großgasmaschinen.
Kamillo Körner, Der Bau des Dieselmotors.
Scholz, Schiffsölmotoren.
Gerhards, Ölmotoren.
Modersohn, Die Regelung der Ölmaschine u. a.
Forschungsarbeiten des Vereins deutscher Ingenieure.

Abkürzungen und Bezeichnungen.

- at Atmosphäre.
PSi indizierte Pferdestärke (Ni).
PSe effektive Pferdestärke (Ne).
Umdr/Min Umdrehungen in der Minute (n).
KW Kilowatt.
 Zylinderdurchmesser (D).
 Hub (s).
-

I. Die Großgasmaschinen.

Einleitung.

Mit Großgasmaschinen pflegt man Gasmaschinen großer Leistung zu bezeichnen. Sie kommen in erster Linie in Frage in Hüttenwerken, wo sie die Gichtgase der Hochöfen zum Antrieb von Dynamomaschinen, Gebläsen und Walzenstraßen ausnützen, in Kokereien, wo die Koks-ofengase zur Erzeugung elektrischer Energie verwandt werden; ein weiteres Anwendungsgebiet der Großgasmaschinen befindet sich in Erdölgebieten, wo die Erdgase mit Großgasmaschinen ausgenutzt werden. In jüngster Zeit haben die Großgasmaschinen auch in solchen Werken Bedeutung bekommen, in denen keine aus dem Produktionsbetrieb anfallenden Gase zur Verfügung stehen, das Gas also erst in Generatoren erzeugt werden muß, z. B. in der chemischen Industrie der Ammoniakherzeugung.

Die Großgasmaschine, die lange Jahre im Brennpunkt des Interesses der technischen Welt stand, hat in den letzten Jahren durch das gewaltige Interesse, das von allen Seiten für die konstruktive Entwicklung der Dieselmachine gezeigt wurde, nicht mehr in demselben Maße die allgemeine Aufmerksamkeit auf sich gezogen, wie in früheren Jahren. Ihre Entwicklung fand für die Außenwelt in einigen wenigen Ausführungsformen einen vorläufigen Abschluß. Die Weiterbildung geht innerhalb der Werke, die sie heute noch bauen, in ruhigen Bahnen weiter.

Die einfach wirkende Viertaktmaschine war nur für kleinere Einheiten ausgebildet worden. Sie mußte so einfach und billig als möglich sein. Beim Bau der ersten Großgasmaschinen

wurden die Ausführungen der kleinen Maschinen einfach ins Große übertragen. Der ungekühlte offene Kolben mit dem unzugänglichen Kreuzkopfbolzen in seinem Innern, sowie der Zylinderkopf mit den großen Ventilöffnungen, der bereits bei den kleinen Maschinen ein recht kompliziertes Gußstück darstellte, wurden übernommen. Durch diese Übertragung ins Große entstanden viele Fehlkonstruktionen. Größere Leistungen suchte man durch Vereinigung mehrerer Viertaktzylinder zu Zwillings- und Drillingsmaschinen zu erzielen; doch fanden diese Maschinen damals keine Verbreitung. Das Nächstliegende wäre gewesen, die Erfahrungen des damals hochentwickelten Dampfmaschinenbaues auszunützen und zum doppeltwirkenden Viertakt überzugehen. Er besitzt die bekannten Vorteile der Viertaktwirkung und vermeidet die Nachteile der schlechten Triebwerksausnützung. Allerdings erfordert er einen beiderseits abgeschlossenen Zylinder, innen gekühlten Kolben und Stopfbüchsen. Gehindert durch die bestehenden Viertaktpatente und weil man sich vom Zweitakt besondere Vorzüge versprach, verließ man zunächst den Viertakt und suchte die Zweitaktarbeitsweise für Großgasmaschinen durchzubilden, die zur Erzeugung großer Maschinenleistungen recht zweckmäßig erschien.

Dabei ergaben sich notwendigerweise ganz andere bauliche Formen des Zylinders und andere Steuerungsarten, teilweise in Verbindung mit eigenartiger Triebwerksanordnung.

Bei der Düsseldorfer Ausstellung im Jahre 1902 wurden zum ersten Male zwei verschiedene Bauarten dieser Großgasmaschine vorgeführt, die besonders in allen hüttenmännischen Kreisen das höchste Interesse erregten:

Die Zweitaktmaschine von Oechelhäuser und die doppeltwirkende Zweitaktmaschine von Gebr. Körting.

Bald darauf trat auch die damalige Maschinenbau-Gesellschaft Nürnberg mit ihren doppeltwirkenden Viertakt-Gasmaschinen hervor, deren bauliche Durchbildung in den Grundzügen für alle späteren derartigen Großgasmaschinen vorbildlich geblieben ist.

Die neueste Entwicklung der Großgasmaschine, insbesondere der Viertaktmaschine ist auf Erhöhung der Leistung durch Spülung gerichtet.

Erster Abschnitt.

Die Treibgase der Großgasmaschinen.

a) Das Gichtgas.

Das Gichtgas entsteht als Abgas im Hochofenbetrieb. Im Hochofen, einem Schachtofen von ca. 20 bis 30 m Höhe, wird aus von oben schichtweise aufgegebenem Eisenerz und Koks evtl. unter Zusatz von Schlackenbildnern, z. B. Kalk, Roheisen erschmolzen. Aus der unten in den Hochofen eingeblasenen, auf 600 bis 800° erwärmten Luft bildet sich durch unvollkommene Verbrennung des Koks kohlenoxydreiches Gas. Dieses Gas wirkt auf die Eisenerze (Eisenoxyde) reduzierend.

Eine vollkommene Ausnützung des im Hochofen aufgegebenen Koks, d. h. eine Verbrennung des Koks zu CO_2 verbietet sich, weil dieses Gas auf die Eisenerze keine reduzierende Wirkung hätte. Aus diesem Grunde muß in dem oben aus dem Hochofen entweichenden Gas immer noch eine erhebliche Menge Kohlenoxyd enthalten sein.

Hochofengas enthält 25 bis 33% CO , 8 bis 10% CO_2 , 3% H und als Rest Wasserdampf und Stickstoff. Der Heizwert des Gichtgases schwankt zwischen 850 und 1100 WE. Der in den Gichtgasen enthaltene Staub ist sehr störend und verursacht lästige Verstopfungen und Verschmutzungen, und bei Gasmaschinen insbesondere einen starken Verschleiß der inneren Teile. Die Gase werden daher vor ihrer Verwendung gereinigt, für die Verwendung in Gas-

maschinen bis zu einem besonders hohen Reinigungsgrad. Man läßt die Gichtgase zunächst durch große Behälter gehen, wo sich der größte Teil des Gasstaubes absetzt. Dann werden die Gase möglichst tief abgekühlt und je nach dem Verwendungszweck auf 0,1 bis 0,5 g Staub pro Kubikmeter für Heizungszwecke und auf 0,01 bis 0,03 g pro Kubikmeter für Verwendung in Gasmaschinen gereinigt. Die Reinigung erfolgt entweder unter gleichzeitiger Wassereinspritzung in ventilatorartigen Apparaten, die eine innige Durchpeitschung des Gases mit dem Wasser hervorbringen, oder auf dem Wege der Filtrierung in Baumwollfiltertüchern, in neuester Zeit auch auf elektrischem Wege (Cottrell-Verfahren).

Der geringe Gehalt der Gichtgase an Wasserstoff gestattet ohne Gefahr von Vorzündungen eine verhältnismäßig hohe Verdichtung in der Gichtgasmaschine auf 9 bis 12 at. Durch die entsprechende hohe Temperatur wird die Zündung des Gases erleichtert. Bei Verwendung von Gasmaschinen zur Krafterzeugung wird aus der gleichen Gasmenge etwas mehr als die doppelte Leistung gewonnen, wie bei der Verbrennung des Gases in Dampfkesseln und Verwendung des erzeugten Dampfes zur Erzeugung von Kraft in Turbinen. Die Wärmeausnützung beträgt bei Gasmaschinen etwa 2400 WE für eine PSe-Stunde.

Der Eigenbedarf an Kraft in einem Hochofenwerk wird allein durch die Ausnützung der Gichtgase gedeckt und außerdem werden noch bedeutende Mengen an Kraft frei, die vom Hochofenwerk an umliegende Abnehmer abgegeben werden können. Ein Hochofenwerk von 250 t Tagesleistung ergibt, wenn pro Tonne geschmolzenen Eisens ca. 4000—5000 cbm Gas entweichen, eine Gichtgasmenge im Mittel von 1125000 cbm; davon werden mit Einrechnung der Wärme- und Strahlungsverluste ca. 50% zur Winderhitzung benötigt, während der Rest zur Krafterzeugung frei wird. Mit einem durchschnittlichen Heizwert von 950 WE/cbm beträgt der Wärmeinhalt der täglich entweichenden Gichtgase

534000000 WE, wodurch umgerechnet in PS-Stunden bei Gasmaschinen 9270 PS fortdauernd gewonnen werden. Für den Eigenbedarf des Hochofenwerkes (Pumpen, Gebläse, Aufzüge, Gasreinigung usw.) werden ca. 33% verbraucht, so daß 6180 PS frei verfügbar sind.

b) Das Koksofengas.

In den Kokereien wird aus Steinkohle Koks für Hüttenzwecke gewonnen, da die Steinkohle selbst im Hochofen als Brennstoff nicht benutzt werden kann. Auch die Gaswerke der Städte sind Kokereien, die sehr viel Ähnlichkeit mit den Hüttenbetrieben haben.

Die Steinkohlen werden in Kammern mit Regenerativfeuerung¹⁾ verkocht. Die dabei entweichenden Koksgase werden in Vorlagen abgefangen und durch die Nebenproduktsgewinnungs-Anlagen gesaugt, wo sie gleichzeitig gereinigt und abgekühlt werden. Von den Gasen werden ca. 50% der Regenerativfeuerung zugeführt, während das Überschußgas (die Menge schwankt je nach Gasgehalt der Kohle und des Ofensystems zwischen 40 bis 50%) in der Gasmaschine oder, unter Dampfkesseln verbrannt, in Turbinen zur Krafterzeugung herangezogen wird.

Koksofengas enthält etwa 45 bis 55% H, 30 bis 40% CH₄, 2 bis 4% C₂H₄ und C₆H₆, etwa 6% CO, 1 bis 2% CO₂, etwas Wasserdampf und Schwefelwasserstoff. Der Heizwert ist etwa 3000 bis 4000 WE. Die Wärmeausnützung in der Gasmaschine beträgt wie bei den Gichtgasen etwa 2400 WE für eine PSe-Stunde (s. S. 12).

Werden z. B. in einer Koksanstalt täglich 250 t Kohlen durchgesetzt, so erhält man bei einer Gasausbeute pro Tonne Kohle von rund 280 cbm eine tägliche Gasmenge von 70000 cbm. Wird der mittlere Heizwert des Gases mit 3500 WE angenommen, so ergibt sich bei einer Überschußgasmenge von 45% eine frei ver-

¹⁾ Wärmespeicher, Kammern mit gitterartig versetzten feuerfesten Steinen zur Erhitzung der Verbrennungsluft für Heizung des Koksofens.

fügbare Krafterleistung von 1900 PS, die als billige elektrische Kraft an umliegende Industrien und Gemeinden abgegeben werden kann.

c) Weitere Treibgase.

Außer den Gicht- und Koksofengasen sind noch andere industrielle Abgase, wie z. B. die Braunkohlenschwefelgase in braunkohlenreichen Gegenden, Erdgas in Petroleumgebieten und wie schon erwähnt auch Generatorgas, gut brauchbare Treibmittel für Gasmaschinen; doch tritt ihre Bedeutung hinter den Eisenhütten- und Hochofenkokereibetrieben weit zurück.

d) Vergleich der Ausnützung der verschiedenen Treibgase in den Großgasmaschinen.

Es dürfte von Interesse sein, nachstehende Tabelle nach verschiedener Richtung einem genauen Studium zu unterziehen.

Gasart	Heizwert	theoret. Luftbedarf	Heizwert pro cbm Gemisch bei theoret. Luftbedarf	Wasserstoff in cbm Gas	Wasserstoff in cbm Gemisch
Hochofengas	950	0,75	540	3%, selten mehr	1,7%
Koksofengas	4000	5,3	635	45—55%	7,2—8,8
Kraftgas aus Anthrazit	1250	} 0,85 bis 1,0	} 675—625	18%	9,7 bis 9,0%
Kraftgas aus Koks	1150				
Mondgas	1200	1,0	600	bis 30%	bis 15%

Maßgebend für die Leistungsfähigkeit einer Gasmaschine, d. h. dafür, was aus einem bestimmten Hubvolumen einer Gasmaschine erzeugt werden kann, ist der Heizwert eines Kubikmeters Gemisch. Wir sehen daß es ziemlich gleichgültig ist, ob man das Koksofengas mit seinem verhältnis-

mäßig hohen Heizwert oder das Hochofengas und Generatorgas mit dem verhältnismäßig niedrigen Heizwert verwendet. Entscheidend für die Gefahr von Vorzündungen ist der Gehalt an Wasserstoff, ebenfalls wieder bezogen auf den Kubikmeter Gemisch. Mit Rücksicht auf die Gefahr der Vorzündungen kann man bei den wasserstoffreichen Gasen die Maschine nicht mit einer Belastung betreiben, die der Grenze ihrer Leistungsfähigkeit entspricht. Mit Rücksicht hierauf werden aus praktischen Gründen Maschinen mit Generatorgas und Koksofengas mit einem geringen, mittleren indizierten Druck dimensioniert; es ergibt sich also aus praktischen Gründen gerade das Gegenteil von dem, was man theoretisch aus den Heizwerten pro Kubikmeter Gemisch entnehmen könnte. Die Wärmeausnutzung ist bei sämtlichen Gassorten praktisch die gleiche; es werden bei Vollast etwa 2400 WE pro Pferdekraft und Stunde verbraucht.

Zweiter Abschnitt.

Die Zweitakt-Großgasmaschinen.

a) Die Oechelhäuser-Zweitaktmaschine.

Das Hauptmerkmal der Maschine sind die beiden eigenartig gegenläufigen Arbeitskolben, die am Zylinderumfang Schlitzreihen freilegen und wieder abschließen, die den Eingang und Ausgang für Gas und Spülluft bilden. Ihre Bauart läßt die schematische Grundrißdarstellung (Fig. 1) erkennen, eine damalige Ausführungsform der Oechelhäuser-Maschine der Ascherslebener Maschinenfabrik. Die Ausführung der Oechelhäuser-Maschine übernahm ferner noch die Maschinenfabrik A. Borsig in Berlin.

Fig. 1. Der Arbeitszylinder ist ein an beiden Enden offenes, durch einen Wassermantel gekühltes Rohr, in dessen mittlerem Teile sich Vorrichtungen für die magnetelektrische Zündung und das Anlassen befinden. Im Zylinder bewegen sich gegenläufig zwei wassergekühlte Kolben. Die Kolbenstange des vorderen, der Kurbelwelle zugekehrten Kolbens ist durch Kreuzkopfgeradföhrung und Treibstange mit dem mittleren Kurbelzapfen gekuppelt, der hintere Kolben arbeitet mittels eines Querhauptes, das auf einer Gleitbahn geföhrt ist, zwei seitlicher Zugstangen, Kreuzkopfgeradföhungen und Kurbelstangen auf die beiden seitlichen Kurbelzapfen, die gegen den mittleren Zapfen um 180° versetzt sind. Von dem Querhaupt wird außerdem der Kolben einer Ladepumpe angetrieben, die auf der vorderen Seite Gas, auf der hinteren Seite Luft verdichtet und beides gesondert in die nach dem Arbeitszylinder föhrenden Rohrleitungen drückt.

Der Arbeitsvorgang im Zylinder der Oechelhäuser-Maschine gestaltet sich nun folgendermaßen:

Befinden sich die beiden Arbeitskolben in der inneren Totpunktstellung, haben sie also ihren geringsten Abstand voneinander, so steht in dem Verbrennungsraum zwischen ihnen ein verdichtetes Gas-Luftgemisch zur Entflammung bereit. Wird dieses Gemisch durch den elektrischen Unterbrechungsfunken entzündet, dann gehen die Kolben, durch den Verbrennungsdruck getrieben, arbeitsverrichtend auseinander.

Während dieses Arbeitshubes und des voraufgegangenen Verdichtungshubes der beiden Arbeitskolben werden durch den Kolben der Ladepumpe *P* die bei *a* angesaugte Luft und das bei *b* angesaugte Gas in die zum Arbeitszylinder föhrenden Rohrleitungen gedrückt. Luft und Gas werden in getrennten Behältern unter der Maschine angesammelt.

Eine gewisse Strecke vor der äußeren Totpunktstellung beginnt der vordere Kolben die Austrittskanäle *V* freizulegen, so daß die Verbrennungsrückstände durch diese Schlitze nach der Auspuffleitung *c* entweichen; ihr Druck sinkt rasch auf den äußeren Atmosphärendruck herab, zumal die Abgase beim Verlassen des Arbeitszylinders noch durch Wassereinspritzung geköhlt werden.

Der hintere Arbeitskolben hat jetzt die Luftschlitze *L* freigelegt. Durch diese strömt aus dem Luftbehälter unter der Maschine reine Luft — Spülluft — in den Arbeitszylinder und fegt die noch darin befindlichen Verbrennungsgase vollends zu den Auspuffschlitzen *V* hinaus.

Zuletzt öffnet auch der hintere Kolben die Gasschlitze *G*, so daß nun zu gleicher Zeit Luft und Gas in den Arbeitszylinder einströmen. Das sich bildende Gasluftgemisch drängt nun gemeinsam die vorher eingetretene Spülluft vor sich her und zu den vorderen Schlitzen hinaus. Das eingelassene Gemischvolumen darf bei Höchstleistung der Maschine höchstens $\frac{3}{4}$ des größten Zylinderraumes betragen, um zu verhüten, daß frisches Gemisch etwa bis an die Austrittsschlitze gelangt und unbenutzt entweicht. Der vordere Kolben schließt jetzt umkehrend die Schlitze *V* ab, der hintere Kolben hat die Schlitze *G* und *L* abgedeckt; die beiden Arbeitskolben gehen wieder nach dem inneren Totpunkt hin zusammen und verdichten das Gemisch zwischen sich. Bei der tiefsten Einschubstellung erfolgt von neuem die Zündung und darauf der Arbeitshub der beiden Kolben.

Die Ladepumpe arbeitete bei der neuen Oechelhäuser-Maschine mit dem sehr geringen Überdruck von etwa 0,3 bis 0,4 at; bei der erstausgeführten Oechelhäuser-

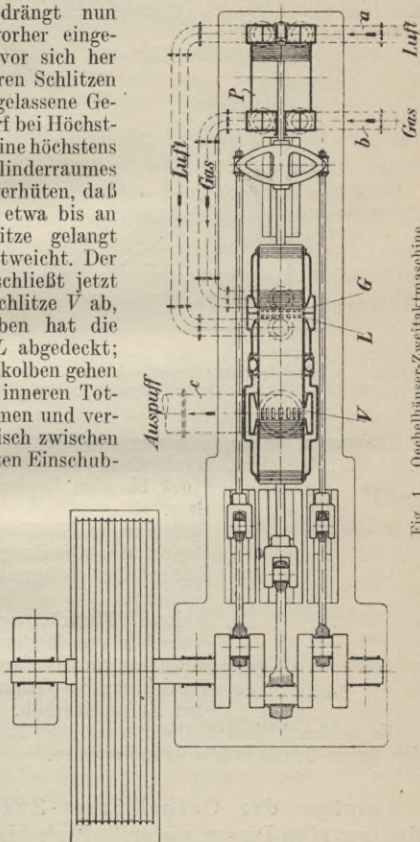


Fig. 1. Oechelhäuser-Zweitaktmaschine.

Junkers-Maschine wurde das Gas in die zuerst zwischen den Arbeitskolben allein verdichtete Luft hineingepreßt.

Der Schreibstift des Indikators zeichnet bei der Oechelhäuser-Maschine also folgendes Diagramm des Gasdruckes im Arbeitszylinder auf (Fig. 2):

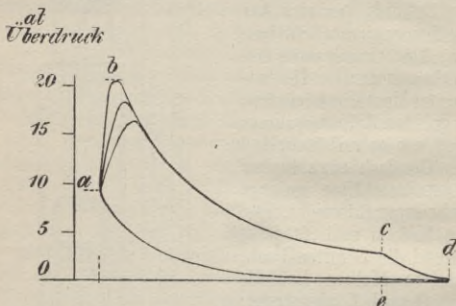


Fig. 2. Arbeitsdiagramm (Regulierdiagramm) der Zweitakt-Gasmaschine, mit Gichtgas betrieben.

1. Diagrammlinie ab , Zündung und Verpuffung.
2. „ bc , Ausdehnung vom höchsten Verbrennungsdruck bis zum Beginn des Abzuges der Gase.
3. „ cd , Entleerung und Spülung des Zylinders von Beginn des Gasabzuges bis Ende des Kolbenhubes, gleichzeitig Beginn des Gas-eintrittes.
4. „ de , Weitere Einströmung des Luft-Gas-gemisches von Beginn des Kolbenrück-laufes bis zum Beginn der Verdichtung.
5. „ ea , Verdichtung des Gemisches bis zum tief-sten Kolbeneinschub.

Die beiden kleineren Diagramme sind Regeldiagramme, die sich durch Gemischveränderung ergeben.

Vorzüge der Oechelhäuser-Zweitaktmaschine sind vor allen Dingen die große Einfachheit der Steuerung

durch die Arbeitskolben selbst und die dadurch bedingte bauliche Einfachheit des Zylinders, der einen äußerst günstig gestalteten Verbrennungsraum abgibt. Die Zylinderschlitze haben einen großen Durchgangsquerschnitt, die Verbrennungsgase können daher rasch entweichen, und die Spülung geschieht in ausgiebiger Weise.

Beim Viertakt steht für den Austritt der Verbrennungsgase ein ganzer Kolbenhub zur Verfügung, beim Zweitaktverfahren müssen Abgase und Spülluft in einem kurzen Bruchteil des Kolbenhubes aus dem Zylinder austreten.

Am Arbeitszylinder der Oechelhäuser-Maschine befinden sich keine der Verbrennungshitze ausgesetzten Stopfbüchsen oder Ventile, außer einem kleinen Ventil zum Anlassen der Maschine durch Druckluft; die Pumpen- und Regel-Rücklaufventile arbeiten kalt.

Durch die Kurbelversetzung um 180° und die Gegenläufigkeit der Kolben werden die Massenwirkungen des Triebwerkes zum größten Teil ausgeglichen, die von den Kolben ausgeübten Druckkräfte werden durch das schmiedeeiserne Gestänge, nicht durch den gußeisernen Rahmen aufgenommen, die Grundlager sind dadurch weitgehend entlastet, die Maschine steht ruhig auf ihrem Fundament.

In maschinentechnischer, wie in wärmetechnischer Beziehung wurden mit der Oechelhäuser-Maschine gute Ergebnisse erreicht; schon bei den Versuchsmaschinen gelang es, mittlere Arbeitsdrücke von 11 bis 12 at und äußerst günstige Brennstoffausnutzung zu erzielen. Der Bau der Maschine wurde nach einigen Jahren aber wieder aufgegeben; doch bewähren sich noch heute eine Anzahl der von den obengenannten Maschinenfirmen gebauten Oechelhäuser-Maschinen im Betriebe der Hüttenwerke.

Das Prinzip der Oechelhäuser-Gasmaschine mit ihren gegenläufigen Kolben und der eigenartigen Trieb-

werksanordnung findet in anderer Form und Wirkungsweise bei verschiedenen Ölmaschinen weitere Verwendung.

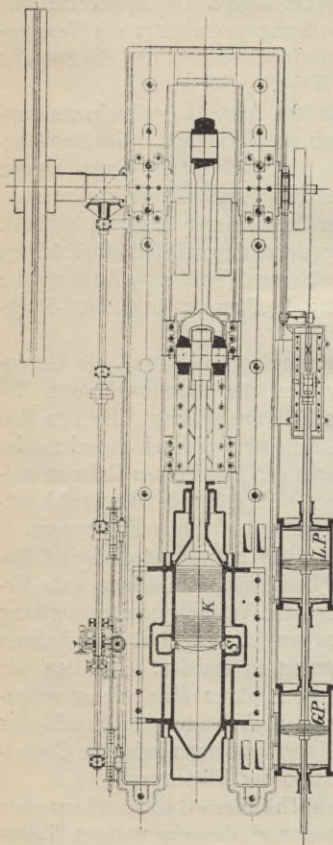


Fig. 3. Grundriß der doppelwirkenden Zweitaktmaschine.

b) Körtings doppeltwirkende Zweitaktmaschine.

Aus dem Bestreben heraus, schon in einem Zylinder eine Eintaktwirkung zu erreichen, hatte Körting, etwa gleichzeitig mit v. Oechelhäuser, seine doppelwirkende Zweitakt-Großgasmaschine durchgebildet. Auf jeden Kolbenhub kommt hier eine Kraftwirkung, gerade wie bei einer Einzylinder-Dampfmaschine.

Im Gegensatz zu allen vorausgegangenen Gasmaschinenausführungen seit Ottos Erfindung ist der Zylinder hier zum erstenmal hinten und vorn geschlossen. An den beiden Enden trägt er die Eintrittsventile *E*, in der Mitte sind ringsherum die Austrittsschlitze *S* an-

geordnet; der ganze Zylindermantel, Deckel und Stopfbüchse sind durch Wasser gekühlt. Der lange Kolben *K* trägt vorn und hinten eine Anzahl Dichtungsringe. Bei neueren Ausführungen ist die Kolbenstange nach hinten durchgeführt, und der schwere Kolben, in dessen Höhlung Kühlwasser zirkuliert, das durch die hohle Kolbenstange ein- und ausströmt, wird noch durch eine hintere Gleitbahnführung getragen. Die Kolbenlänge beträgt ungefähr $\frac{9}{10}$ des ganzen Hubes und die Schlitzlänge etwa $\frac{1}{10}$ Hublänge, so daß jedesmal in der äußeren Totpunktstellung des Kolbens die Schlitze wechselseitig nach den beiden Enden des Zylinders zu ganz freigelegt werden, wie die Fig. 3 und 4 zeigen.

Neben dem Arbeitszylinder sind ein Gas- und ein Luftpumpenzylinder (*GP* und *LP*) angeordnet, deren Kolben auf einer gemeinsamen Kolbenstange sitzen und die ihren Antrieb durch Kurbel und Kreuzkopfführung von der Kurbelwelle aus erhalten. Kolbenschieber, nach Art der Riderkolbenschieber, die unter den Pumpenzylindern sitzen und durch ein Schwingengestänge bewegt werden, steuern Luft- und Gaszutritt.

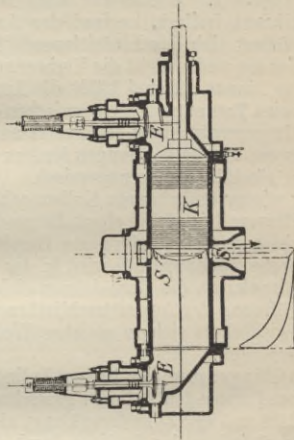


Fig. 4. Längsschnitt durch den Zylinder.

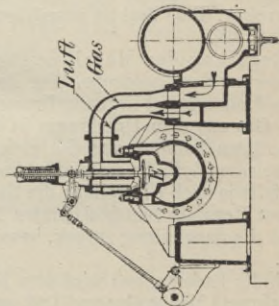


Fig. 5. Querschnitt durch das Einlaßventil.

Körtings doppelwirkende Zweitakt-Gasmaschine.

Die Pumpen fördern in getrennten Leitungen Luft und Gas zu den Eintrittsventilen *E*, in deren Gehäuse sich erst die beiden Leitungen vereinigen; und zwar fördert die Luftpumpe zunächst allein, die Gaspumpe geht eine gewisse Strecke leer mit. Der Raum um das jetzt noch geschlossene Eintrittsventil ist ganz von Luft angefüllt. Sobald der nach rechts gehende Kolben den Schlitzkranz freilegt, beginnt der Austritt der Abgase; gleichzeitig öffnet sich das Eintrittsventil links, Spülluft tritt in den Zylinder ein und schiebt die Verbrennungsgase vollends durch die Schlitzze hinaus. Dabei kühlt die Luft den Zylinder innen und bildet eine Trennungsschicht zwischen dem sofort nachströmenden Luft-Gasgemenge, denn jetzt setzt auch die Förderung der Gaspumpe ein und beide Pumpen fördern gemeinsam ein stets gleichartiges zündfähiges Brenngemisch.

Der wieder umkehrende Kolben schließt den Schlitzkranz, das Eintrittsventil ist jetzt ebenfalls geschlossen, der Arbeitskolben verdichtet das eingeschlossene Gemisch. Durch zwei magnet-elektrische Zündapparate wird in der Totpunktstellung die Zündung eingeleitet, die Gase dehnen sich arbeitsverrichtend aus bis zur Eröffnung des Austrittsschlitzkranzes durch den Kolben; das Spiel wiederholt sich in gleicher Weise abwechselnd an beiden Zylinderseiten.

Das Diagramm der linken Zylinderhälfte ist in Fig. 4 entsprechend unter den Zylinder gezeichnet. Die Zeitdauer des Gasaustrittes und der Zylinderspülung, also die Zeit des Öffnens und Wiederschließens der Schlitzze durch den Kolben in der äußeren Totpunktzone entspricht einer Kurbeldrehung von etwa 90° des Kurbelkreises; diese Zeit ist ausreichend lang für diese Vorgänge (s. auch S. 19).

Die Regelung der Maschine geschieht durch Beeinflussung der Förderung der Gaspumpe. Der Regulator verstellt z. B. eine in einem Umlaufkanal liegende Drosselklappe, so daß mehr oder weniger Gas aus dem Druckraum in den Saugraum der Pumpe zurückströmen kann, bevor das gleichmäßige Fortdrücken des Gases nach dem Zylinder einsetzt (s. Gaspumpendiagramm, Fig. 7), oder es tritt je nach Einstellung des Saugschiebers der Gaspumpe durch den Regulator ein bestimmter Teil des angesaugten Gases wieder in die Saugleitung zurück, bevor die Gaspumpe zu fördern beginnt.

Durch die Ladepumpen wird dem Kraftzylinder also jedesmal eine bestimmte Menge Gas und Luft zugemessen. Schwankungen

des Gasdruckes können die Schärfe der Steuerung nicht stören. Die Pumpen dienen demnach nicht etwa zum Verdichten, sondern haben nur gegen den geringen Druck von etwa 0,3 at zu fördern; die Kompression des Gemisches geschieht erst im Zylinder.

Die Förderung der Gaspumpe hört vor vollendetem Druckhub auf dadurch, daß die Gaspumpe durch Öffnung eines Umlaufkanales im Zylinder kurz geschlossen wird und die Luftpumpe allein weiterfördert. Infolgedessen tritt Luft in den Gaskanal, die

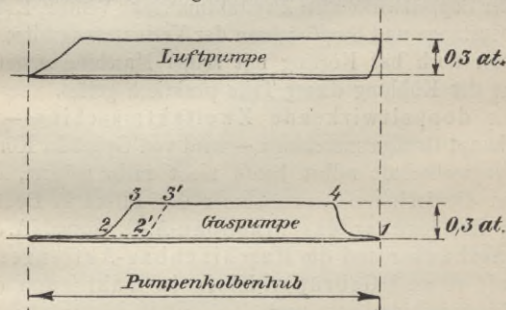


Fig. 6 und 7. Diagramme der Luft- und der Gaspumpe.

das Gas zurückdrängt. Die trennende Luftschicht verhindert ein Zurückschlagen der Zündung durch das etwa undichte und nicht völlig geschlossene Einlaßventil in die Kanäle und Ladepumpen.

Die Diagramme der Luft- und Gaspumpe zeigen dann die obige Gestalt (Fig. 6 und 7).

Punkt 1: Beginn des Saugens.

„ 2: Beginn der Verdichtung im Pumpenzylinder.

„ 3: Beginn des Fortdrückens.

„ 4: Schluß des Fortdrückens, Beginn des Umlaufes des Gases nach dem Saugraum.

Das Anlassen der Maschine erfolgt durch Preßluft, die in Hüttenwerken stets bequem zur Verfügung steht.

Der Oechelhäuser-Maschine gegenüber ist die ganze Baulänge der Körting-Maschine geringer. Bei der ersteren kommt auf jede Umdrehung eine Kraftwir-

kung, bei der Körting-Maschine hingegen zwei. Durch diese Doppelwirkung ergeben sich für gleiche Leistungen kleinere Zylinderabmessungen, die Regelmäßigkeit des Ganges ist eine größere, die Schwungmassen können leichter, Lager- und Triebwerksabmessungen geringer gehalten werden.

Allerdings sind im Gegensatz zur Oechelhäuser-Maschine bei der doppelwirkenden Zweitaktmaschine Ventile, Kolben, Kolbenstange und Stopfbüchsen der Verbrennungshitze ausgesetzt; doch hat Körting mit seiner Maschine zuerst die Frage der Kühlung dieser Teile praktisch gelöst.

Die doppelwirkende Zweitaktmaschine — wie überhaupt Großgasmaschinen — wird von Gebrüder Körting Aktiengesellschaft selbst heute nicht mehr gebaut, doch bauen die früheren Lizenznehmer der Firma in Deutschland, die Siegener Maschinenbau-A.-G. vormals A. & H. Oechelhäuser und die Maschinenbau-Aktiengesellschaft vormals Gebrüder Klein in Dahlbruch diese Großgasmaschine heute noch.

Dritter Abschnitt.

Die Viertakt-Großgasmaschinen.

Körting hatte mit seinen doppelwirkenden Zweitaktmaschinen die bisher gemiedene Stopfbüchse in den Gasmaschinenbau neu eingeführt. Es lag nahe, den beiderseitig geschlossenen Zylinder, die Doppelwirkung, auch auf den Viertakt zu übertragen und so zu der bewährten Einfachheit der grundlegenden Ottoschen Erfindung zurückzukehren. Die besonderen arbeitsverzehrenden Ladepumpen des Zweitaktverfahrens fallen hierbei weg. Die Triebwerksausnützung ist bei der Viertaktdoppelwirkung, selbst bei größten Maschinenleistungen, eine durchaus günstige, der mechanische Wirkungsgrad der Maschine ein guter.

An jedem Zylinderende vollziehen sich die bekannten Viertakthübe: Ansaugen, Verdichtung, Ausdehnung des Gemisches, Ausstoßen der Verbrennungsrückstände. Bei vier Kolbenhüben kommen in einem Zylinder also zwei Kraftwirkungen auf die Kurbelwelle.

Umdrehung 1.		2.		3.		4.
Rechte Kolbenseite		Ausdehnen	Auspuff	Ansaugen	Verdichten	. usw.
Ansaugen	Verdichten					
Linke Kolbenseite		Verdichten	Ausdehnen	Auspuff	Ansaugen	. . .
Auspuff	Ansaugen					

(Siehe auch Teil I, Fig. 52, doppelwirkende Einzylinder-Viertaktmaschinen.)

Die Kraft Hübe folgen allerdings hintereinander; es ist dies ein kleiner Nachteil gegenüber der Oechelhäuser-Zweitaktmaschine, bei der ebenfalls auf zwei Umdrehungen zwei Kraft Hübe kommen, Krafthub und kraftverzehrender Hub aber gleichmäßig abwechseln.

Führt man die doppelwirkende Viertaktmaschine als Zwillings- oder Tandemmaschine aus — allgemein üblich ist die letztere Ausführungsform geworden —, so gelangt man auch hier, wie bei der Körting-Maschine, zur Eintaktwirkung. Ordnet man für sehr große Leistungen vier Zylinder an, Zwillingsstandemmaschine, so erhält man bei Versetzung der Kurbeln um 90° auf jeden halben Hub eine Kraftwirkung. Bei der doppelwirkenden Zweitaktmaschine erreicht man das gleiche schon durch Anordnung von zwei Arbeitszylindern.

Beim Bau der Viertakt-Großgasmaschine wurden die reichen Erfahrungen des Großdampfmaschinenbaues benutzt; es entstand eine maschinentechnisch außerordentlich zweckmäßig gestaltete Tandemmaschine mit zwangsläufig von der Steuerwelle durch Exzenter gesteuerten Einlaß- und Auslaßventilen. Diese Maschine trat sofort erfolgreich in den Wettbewerb mit den Bauarten der

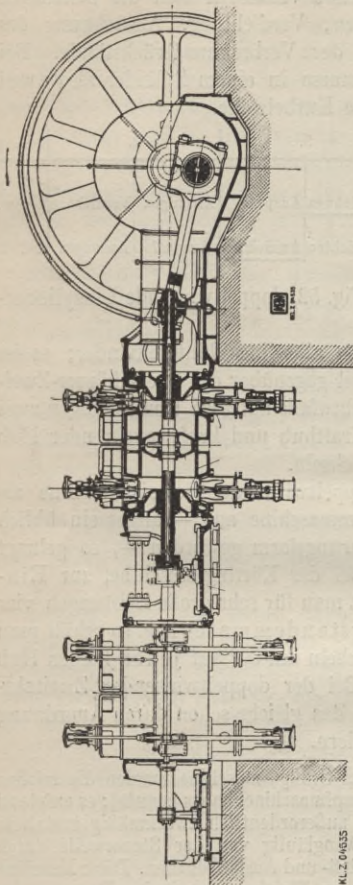


Fig. 8. Doppeltwirkende Tandem-Viertaktgasmaschine der M. A. N., Werk Nürnberg, Längsschnitt.

Zweitaktmaschine, und sie ist heute die meistverbreitetste Großgasmaschine.

Von bedeutenden deutschen Maschinenfirmen bauen heute doppeltwirkende Viertakt-

Großgasmaschinen: M. A. N., Werk Nürnberg, Ehrhardt & Sehmer, G. m. b. H., Saarbrücken und Thyssen & Co A.-G. Abt. Maschinenfabrik, Mülheim a. d. Ruhr.

Allgemeiner Aufbau (Fig. 8 u. 9). Der eine der hintereinanderliegenden, geschlossenen Viertaktzylinder ist im Längsschnitt, der andere in Ansicht dargestellt; ein Querschnitt durch den Zylinder ist durch das obenliegende

Einlaßventil (K) und das untenliegende Auslaßventil (D) gelegt und läßt die Zylinderdurchbrechungen für die Zündung (M) und das Anlassen erkennen.

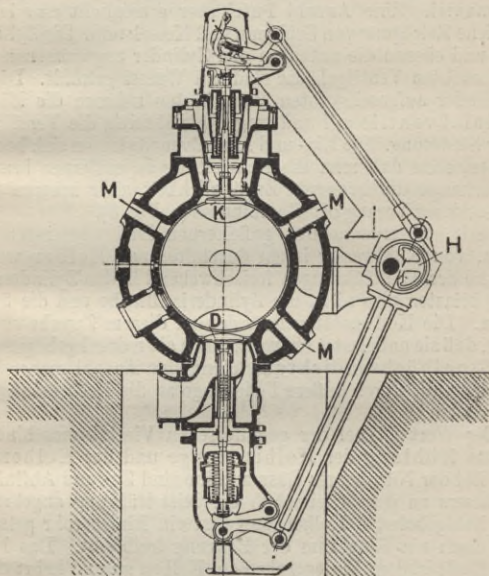


Fig. 9. Zylinderquerschnitt der doppelwirkenden Tandem-Viertaktgasmaschine der M. A. N., Werk Nürnberg.

Der kräftige, in seiner ganzen Länge aufliegende gußeiserne Rahmen trägt die beiden Hauptlager für die gekröpfte Kurbelwelle und die Kreuzkopfführung; gleichzeitig dient er als Ölfang für die Kurbel. Mittelachsig an den Rahmen angeschraubt ist der vordere Zylinder, an diesen das Zwischenstück mit seiner Gleitbahn und ebenso weiterfolgend der hintere Zylinder und die hintere Gleitführung. Das Zwischenstück besitzt eine seitliche

Öffnung, durch die man bequem zu den Zylindern gelangen und die Kolbendeckel ausbauen kann; durch den Einbau einer kräftigen Stahlstange ist es genug versteift, um die auftretenden Kräfte aufnehmen zu können. Die Zylinder haben einen weiten Kühlwassermantel. Eine Anzahl Putzlöcher ermöglicht eine leichte gründliche Reinigung von Schlamm und Kesselstein. Die Zylinderdeckel und ebenso die unten an den Zylinder angegossenen oder angeschraubten Ventilgehäuse sind mit Wasser gekühlt. Die auf die Zylinder aufgeschraubten Ventilkästen nehmen die Misch- und Einlaßventile auf und tragen gleichzeitig die Ventilbügel mit der Steuerung. Die Ein- und Auslaßventile lassen sich bequem ausbauen, ohne daß man die Rohrleitung zu entfernen braucht, wie überhaupt die bequeme Zugänglichkeit aller inneren Teile ein besonderer Vorzug der Maschine ist (s. Fig. 9).

Die mit selbstspannenden gußeisernen Dichtungsringen versehenen, von Kühlwasser innen durchflossenen Kolben werden durch die drei Gleitführungen freischwebend in den Zylindern getragen, belasten also nicht die Zylinderlauffläche und die Stopfbüchsen. Die Kolbenstangen werden zu diesem Zwecke so hergestellt, daß sie unbelastet ein wenig nach oben durchgebogen sind.

Als Stopfbüchsendichtung dient eine Anzahl mehrteiliger Metallringe, die durch äußere Federringe an die Kolbenstange gepreßt werden.

Großer Wert ist bei der geschlossenen Viertaktmaschine auf eine gute Kühlung der Kolbenstange und des Kolbens zu legen. Bei der Nürnberger Gasmaschine sind Zu- und Abfluß des Kühlwassers an dem Gleitschuh der Mittelführung angebracht. In der hohlgebohrten Kolbenstange ist ein Einlegerohr gelagert, so daß noch ein Ringraum der Bohrung freibleibt. Das Kühlwasser fließt in dem Einlegerohr dem Kolben zu und kehrt durch den Ringraum zurück. Der Druck des Kühlwassers für Zylinder und Auslaßventilgehäuse beträgt etwa 1 at. Der Kolbenstange und dem Kolben muß infolge der hin- und hergehenden Bewegung das Kühlwasser unter einem Druck von 3 bis 5 at zugeführt werden.

Mit zunehmender Größe von Zylinderdurchmesser und Kolbenhub wird die Kühlung der Gasmaschinen immer schwieriger, da die wärmeaufnehmenden und -fortleitenden inneren Zylinderwandungen in der zweiten Potenz anwachsen, während sich das Zylindervolumen, der mit Wärmestoff gefüllte Raum, in der dritten Potenz vergrößert.

Von der Kurbelwelle aus wird durch Schrauben- und Stirnräder die längs den Zylindern gelagerte Steuerwelle angetrieben, auf der, wie bei großen Ventildampfmaschinen, die Exzenter zur zwangsläufigen Steuerung der Ein- und Auslaßorgane sitzen.

Bei früheren Ausführungen der Maschine mit besonderem Misch- und Einlaßventil waren für die Steuerung dieser Ventile und des Auslaßventils an jedem Zylinderende je drei Exzenter erforderlich. Bei den neueren Ausführungsformen sind Misch- und Einlaßventil vereinigt und es kann die Einlaß- und Auslaßsteuerung durch ein gemeinsames oder durch zwei getrennte Exzenter (H) angetrieben werden. Während bei der Zweitaktmaschine dem Zylinder die jedesmalige Ladung durch die Pumpen zugemessen wird, strömen hier beim Viertakt, durch die gesteuerten Ventile geregelt, Luft und Gas dem Kolben in paralleler Strömung nach.

Der Querschnitt durch den Zylinder in unserem Bilde läßt das gerade geöffnete Einlaßventil erkennen, auf dessen Spindel gleichzeitig der Luftschieber und das Gasventil sitzen. In den unteren Ringraum des Ventilkastens strömt die Luft, in den darüberliegenden das Gas zu. Unter dem Ventilsteuergestänge ist das Reglergestänge punktiert angedeutet.

Die Regelung der von den verschiedenen Firmen ausgeführten Viertakt-Großgasmaschinen ist entweder eine Füllungsregelung (quantitative Regelung), bei der Luft und Gas in gleichem Maße mehr oder weniger gedrosselt werden, oder eine Gemischregelung (qualitative Regelung), bei der nur das Gasventil gedrosselt wird.

Während durch die Gemischregelung im wesentlichen für verschiedene Belastungsstufen gleiche Verdichtungsdrucke erzielt werden, gibt die Füllungsregelung bei niedriger Belastung kleinere Drücke, aber wegen größerer Drosselung von Luft und Gas eine innigere Mischung beider. Nachteiliger ist das bei der Gemischregelung unter kleiner Last entstehende größere Mischungsverhältnis zwischen Luft und Gas, da die Gefahr besteht, daß kein zündfähiges Gemisch mehr zustande kommt und Aussetzer entstehen.

Die ausgeführten Regelungsarten stellen größtenteils Kombinationen beider Verfahren dar. Eine solche kombinierte Regelungsart ist auch bei der Nürnberger Gasmaschine angewandt. Die Regelung ist vorwiegend eine Füllungsregelung. Die Menge eines Gemisches von stets bester Zündfähigkeit wird der jeweiligen Belastung angepaßt.

Wenn das Gasventil aufsitzt, schließt der Luftschieber gleichzeitig noch nicht ab. Bei kleinem Hub des Gasventils ist infolgedessen der Durchgangsquerschnitt für Gas gegenüber dem Durchgang für Luft geringer als bei großem Ventilhub. Der Regulator wirkt nun auf den Hub des Einlaßventils und des mit diesem fest verbundenen Luftschiebers und Gasventils ein; er verschiebt den Sattel, auf dem sich der Ventilhebel wälzt. Bei abnehmender Belastung und geringem gemeinsamen Ventilhub werden somit kleinere und zugleich gasärmere Gemische angesaugt. Durch diesen qualitativen Einschlag der in der Hauptsache quantitativ wirkenden Steuerung wird in gewissen Grenzen auch einer Veränderung des Heizwertes des zuströmenden Gases Rechnung getragen.

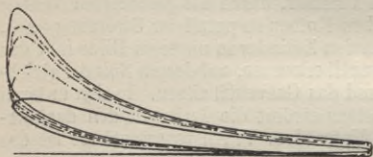


Fig. 10. Arbeitsdiagramm (Regulierdiagramm) der Viertaktgasmaschine.

Das Arbeitsdiagramm der Viertakt-Großgasmaschine gleicht dem der Explosions-Klein-gasmaschine. Die Fig. 10 stellt ein Regulierdiagramm dar, in dem deutlich die

niedrigeren Verdichtungsendrücke bei kleiner Belastung zu sehen sind. Der mittlere indizierte Druck bei Vollast beträgt etwa $4,5 \text{ kg/cm}^2$. Gasreiche Gemische ergeben im Diagramm eine raschansteigende, kurzdauernde Verbrennungslinie in Form einer Spitze, während gasarme Gemische eine abgerundete Verbrennungslinie mit niedrigerem Höchstdruck aufweisen. Im Betriebe kommen häufig stark abweichende Verbrennungslinien — Streuungen — vor. Dieses ist auf die oft erheblich wechselnde Zusammensetzung des Gases zurückzuführen.

Von einer modernen Gasmaschine verlangt man heute, daß sie bei allen Belastungen ohne irgendwelche hörbare Geräusche arbeitet. Der Verbrennungsvorgang an und für sich kann nicht gehört werden. Die Maschine läuft am

Triebwerk vollkommen stoßfrei. Wenn im Triebwerk Stöße auftreten, dann ist es ein Zeichen dafür, daß entweder die Zündung zu früh eingestellt ist, oder daß irgendwo im Triebwerk ein unzulässiges Spiel vorhanden ist. Ein heulendes Geräusch ist ein Zeichen für starkes Nachbrennen, hervorgerufen in der Regel durch nicht richtiges Arbeiten der Zündung. Größeres Auspuffgeräusch ist gleichfalls ein Zeichen, daß Nachbrennen vorhanden ist. Die Ursachen dafür sind entweder schlechte Zusammensetzung des Gemisches oder schlechtes Arbeiten der Zündung.

Zur Zündung des Gemisches sind für jede Zylinderseite zwei bis vier magnetelektrische Abreißzündungen angeordnet, die mit Gleichstrom von 60 bis 70 Volt arbeiten. Zu diesem Zweck werden kleine Akkumulatorenbatterien als Stromquelle für die elektrische Zündung verwendet, um unabhängig von dem Stromnetz zu sein.

Steht Elektrizität zur Verfügung, dann bringt ein elektrisch angetriebenes Schaltwerk die Maschine auf die Anlaßstellung. Das Anlassen selbst geschieht mit Druckluft von etwa 15 bis 20 at. Das Druckluftanlaßventil wird mittels eines Hebels von Hand eingeschaltet und von der Steuerwelle aus mittels Daumenscheibe gesteuert. Bereits nach der zweiten oder dritten Umdrehung springt die Maschine an.

Vierter Abschnitt.

Vergleich der Zweitaktmaschine mit der Viertaktmaschine.

Vom wärmetheoretischen Standpunkte aus betrachtet sind Zweitakt- und Viertaktmaschinen vollkommen gleichwertig.

Die Leistung des doppeltwirkenden Zweitaktzylinders ist infolge der Eintaktwirkung wesentlich höher, als die

Leistung des gleich großen doppeltwirkenden Viertaktzylinders; sie ist aber nicht doppelt so hoch zu bewerten. Praktisch stellt sich der Gasverbrauch für die Nutzpferdestärke bei der Zweitaktmaschine mit voller Drehzahl etwas höher als bei der Viertaktmaschine. Die Lade- und Spülvorgänge des Zweitaktverfahrens bedingen eine größere Bewegung der Gasmassen, als dies beim Ansaug- und Auspuffhub des Viertakts der Fall ist. Die besonderen Pumpen zehren mit ihren Steuerungen einen Teil der im Zylinder erzeugten Arbeit auf. Auch ist es trotz der stets angestrebten guten Schichtung von Spülluft und Ladegemisch schwer zu vermeiden, daß bei größeren Zylinderfüllungen doch gelegentlich unverbranntes Gas durch die offenen Schlitze unbenutzt ins Freie ausströmt. Demgegenüber hat aber die Zweitaktmaschine den Vorteil, bis herab zu den niedrigsten Drehzahlen, wie sie im Gebläsebetrieb vorkommen, ohne jeden Eingriff des Maschinisten vollständige Verbrennung zu erzielen. Die selbsttätig geregelte Gemischbildung durch die Pumpen verhindert das Auftreten schleichender Verbrennung sicherer als die Drosselregelung bei der Viertaktmaschine.

Die Pumpenarbeit ist eine negative Arbeit; sie macht für heutige Zweitaktmaschinen etwa 8 bis 10⁰/₀ der Gesamtarbeit bei voller Drehzahl aus, bei früheren Ausführungen war sie noch höher. Die negative Saug- und Auspuffarbeit der Viertaktmaschine beträgt dagegen nur 4 bis 5⁰/₀ der Gesamtarbeit.

Der mechanische Wirkungsgrad ergibt sich aus:

$$\eta_m = \frac{\text{Nutzarbeit an der Kurbelwelle}}{\text{indizierte Arbeit}} \quad (\text{s. Teil I, S. 11}).$$

Für Zweitaktmaschinen ist bei Bestimmung der indizierten Arbeit die Arbeit der Pumpenzylinder von der indizierten Arbeit der Arbeitszylinder abzuziehen.

Auch das Diagramm der Viertaktmaschine schließt in der Ansaug- und Ausschublinie eine negative Pumpenarbeit ein (Fig. 11). Nur die obere schraffierte Diagrammfläche veranschaulicht die positive indizierte Arbeit. Die eigentlich folgerichtig auch hier abzuziehende negative Pumpenarbeit wird durch die untere Schleife des Diagramms dargestellt. Ansaug- und Ausschublinie eines aufgenommenen Viertaktdiagramms fallen aber fast in eine Linie zusammen; die Pumpenarbeit ist also in solchem Diagramm praktisch kaum meßbar, man müßte denn den fraglichen Vorgang, also den unteren Teil des Diagramms, bei Verwendung einer schwächeren Indikatorfeder deutlicher erkennen aufzeichnen lassen.

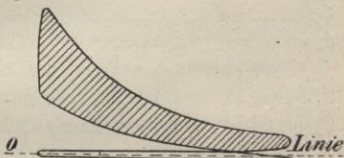


Fig. 11. Diagramm der Viertaktmaschine; positive Arbeitsfläche (schraffiert).

Der mechanische Wirkungsgrad der Viertakt-Großgasmaschine beträgt etwa 84⁰/₀. Wird bei den Zweitaktmaschinen die Pumpenarbeit als Widerstand mitgezählt, so reduziert sich der Wirkungsgrad auf etwa 78⁰/₀.

Der tatsächliche Wirkungsgrad der Zweitaktmaschine ist also bei voller Drehzahl um etwa 6⁰/₀ geringer als der der Viertaktmaschine.

Der Gesamtwirkungsgrad ergibt sich aus:

$$\eta_w = \frac{\text{Nutzarbeit an der Kurbelwelle}}{\text{Brennstoffwärme}}$$

Die Wärmeausnützung und daraus der Gesamtwirkungsgrad einer Nürnberger Viertakt-Großgasmaschine ergibt sich aus der umstehenden schematischen Abbildung (Fig. 12).

Den Abgasen wird die Wärme entzogen durch sogenannte Abwärmeverwerteranlagen. Sie bestehen, da meist die Erzeugung von hochgespanntem Dampf in Frage kommt, aus Kessel, Überhitzer und Vorwärmer. Die Abgase treten mit einer Temperatur von etwa 400 bis 700° C in den Kessel ein und verlassen den Vorwärmer mit etwa 150 bis 200° C.

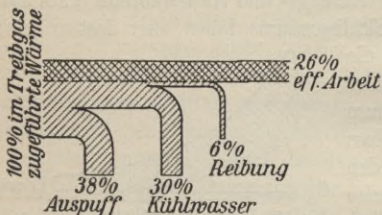


Fig. 12. Schema der Wärmeverteilung einer Viertaktgasmaschine.

Bezüglich der Verwendungsfähigkeit der Zweitakt- und Viertaktmaschinen ergänzen sich die beiden Bauarten. Jede hat ihre eigenen Vorzüge. Bei der

Zweitaktmaschine ist neben der Einfachheit der Schlitzsteuerung, der Schärfe der Steuerung infolge des zwangläufigen Ladeverfahrens, besonders ihre geringe Baulänge gegenüber der Viertakt-Tandemmaschine hervorzuheben. Die minutliche Höchstumlaufzahl der Zweitaktmaschine überschreitet kaum 100. Zum Antrieb der Hochofengebläse, die eine Regelung zwischen 40 und 80 Umdrehungen in der Minute erfordern, ist die Zweitaktmaschine daher besonders gut geeignet. Zum Dynamoantrieb findet dagegen die schneller laufende Viertaktmaschine vorzugsweise Verwendung.

Fünfter Abschnitt.

Leistungserhöhung der Gasmaschinen.

Der Verwendung der Gasmaschine sind, wie wir besonders bei den Walzwerksantrieben sehen werden, an vielen Stellen Schranken gesetzt, da sich die Leistung der Gas-

maschine nicht vorübergehend zu außergewöhnlicher Höchstleistung steigern läßt. Die Dampfmaschine paßt sich einer gelegentlichen Überlastung weit besser an (siehe auch Teil I, S. 129); ihr kann leicht eine größere Menge Kraftstoff, nämlich Kesseldampf, während eines längeren Teils des Kolbenhubes zugeführt werden.

Der Arbeitszylinder der Gasmaschine faßt nur eine gewisse Lademenge, die verbrennend die Höchstleistung der Maschine ergibt, für die sie gebaut ist und bei der sie am wirtschaftlichsten arbeitet.

In neuerer Zeit werden nun verschiedene Einrichtungen getroffen, um die Leistungen vorübergehend zu erhöhen. Bei der Viertakt-Großgasmaschine wendet man die sogenannte zusätzliche Spülung an. Die im Kompressionsraum des Zylinders zurückbleibenden Verbrennungsgase werden mit Frischluft ausgefegt, und es wird Platz geschaffen für eine reine, an Wärmeenergie reichere Gas- und Luftmischung. Die Ausspülung der heißen Abgase setzt außerdem die Wandungstemperatur herab und verhindert gefährliche Zündungen während des Verdichtungs- hubes. Endlich wird am Ende des Ansaughubes durch Nachladen von Luft unter mäßigem Überdruck die Füllung vergrößert. Die Spülluft wird entweder von einer von der Maschine angetriebenen Spülluftpumpe oder von einem elektrisch oder durch Dampfturbine angetriebenen Turbo- gebläse geliefert.

Bei den Gasmaschinen mit Leistungserhöhung werden dem Einlaßventil in drei getrennten Kanälen Mischluft, Gas und Spülluft zugeführt. Die drei Kanäle werden durch einen auf der Einlaßventilspindel sitzenden Schieber gesteuert. Die Wirkungsweise der Einrichtung ist am besten ersichtlich aus der Aufzeichnung der Ventilerhebungen der Ein- und Auslaßventile und der dazugehörigen Querschnitte

der Steuerschieber (Fig. 13). Auf den Ausschubhub folgt im inneren Totpunkt des Kolbens der Ansaughub. Vor und nach dem Totpunkt sind für kurze Zeit beide Ventile geöffnet. Die aus dem Spülluftkanal austretende Spülluft fegt ganz ähnlich wie beim Zweitaktverfahren die Abgase

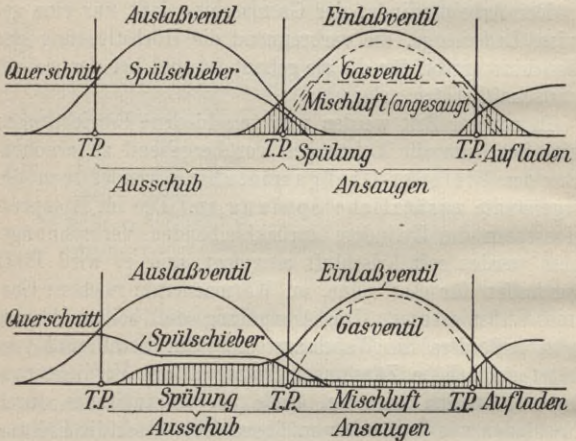


Fig. 13 u. 14. Ventilquerschnitte bei zusätzlicher Spülung der Viertaktgasmaschinen.

zum Auslaßventil hinaus. Da das Hubvolumen während des Spülvorganges klein, nur gleich dem Verdichtungsraum des Zylinders ist, so wird eine gute Ausspülung erzielt. Der Spülschieber und das Auslaßventil schließen ziemlich gleichzeitig ab, und der Ansaugvorgang geht wie beim normalen Viertaktprozeß weiter vor sich. Kurz vor Abschluß des Einlaßventils öffnet der Spülluftschieber nochmals und bewirkt eine Aufladung des Zylinders.

Abweichend von dieser Einrichtung ist Ehrhardt & Sehmer folgendes Verfahren patentiert, das aus der Figur 14 hervorgeht. Der Mischluftkanal kommt in Wegfall. Die Mischluft wird von der Spülluft mit aufgebracht. Das Einlaßventil hebt bereits zu Beginn des Ausschubhubes etwas an. Die Spülung wird, da eine wesentlich längere Zeit für den Spülvorgang zur Verfügung steht, noch bedeutend vervollkommnet. Außerdem werden die Wandtemperaturen noch weiter herabgesetzt. Durch die zusätzliche Spülung ist es Ehrhardt & Sehmer möglich, den mittleren Druck von $p_i = 4,5 \text{ kg/qcm}$ auf rund 6 kg/qcm nach Abzug des Gebläsekraftbedarfes und maximal auf ca. $6,35 \text{ kg}$ heraufzusetzen.

Die Maschine mit Spülung hat gegenüber der Maschine ohne Spülung den Vorteil, daß sie infolge der Ausspülung der heißen Verbrennungsgase und der Abkühlung der Wandoberflächen und eventuell glühender Teile weniger zu Frühzündungen neigt als eine Maschine ohne Spülung.

Bei der Zweitaktmaschine kann vorübergehend die Zylinderfüllung vergrößert werden. Dann liegt allerdings die Gefahr nahe, daß schließlich anstatt mit Luft mit der Ladung gespült wird.

Sechster Abschnitt.

Verwendung der Großgasmaschinen im Hüttenwerksbetriebe.

Der natürliche Verwendungsplatz für die Großgasmaschine sind die Hüttenwerke; sie sind die großen Kraftverbraucher und Kraftstofferzeuger. Die Gasmaschine dient hier in der Hauptsache zum Antrieb der Hochofen- und Stahlwerksgebläse und zum Walzwerksantriebe. Ge-

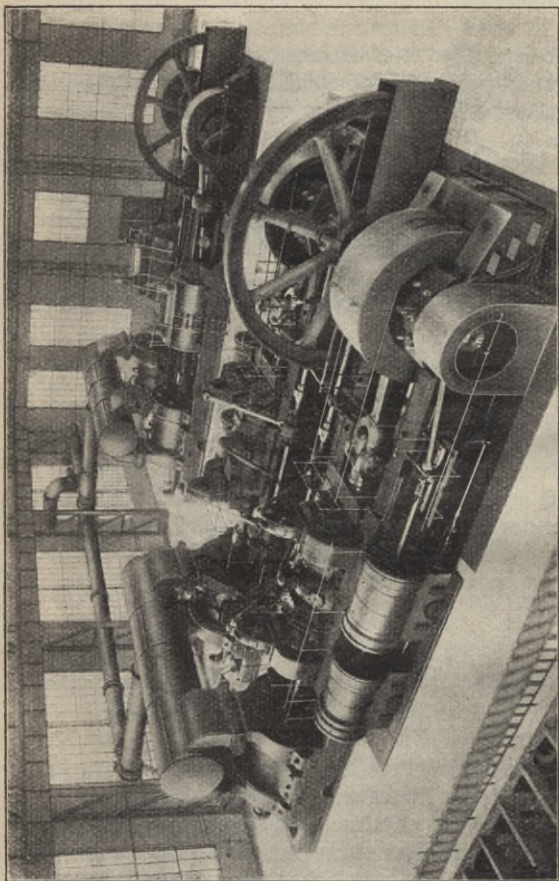


Fig. 15. 2 Stahlwerksgebläse zum Konverterbetrieb, für je 4000 PS; Gasgebläse (Körtingsche doppelwirkende Zweitaktmaschine); im Hintergrund Dampfgebläse; ausgeführt von der Siegerner Maschinenbau-Aktiengesellschaft vorm. A & H. Oechelhäuser.

wisse Walzenstraßen können allerdings nicht unmittelbar durch Gasmaschinen, sondern nur durch Elektromotoren mit Gasdynamos als Kraftquelle angetrieben werden.

Von den Großgasmaschinen-Bauarten ist, wie schon früher erwähnt, die Oechelhäuser-Zweitaktmaschine seit Jahren aus dem Wettbewerbe ausgeschieden; behauptet hat ihren Platz, besonders als Gebläse-Antriebsmaschine, die Körtingsche doppeltwirkende Zweitaktmaschine; an Zahl der Ausführungen überlegen ist ihr jedoch die doppeltwirkende Viertaktmaschine.

Gasmaschinen werden heute bis zu folgenden Hauptabmessungen und Leistungsgrößen ausgeführt:

Viertaktmaschinen: bis 1500 mm Zylinderdurchmesser und 1500 mm Hub; Zylinderleistung etwa bis 2000 PS und bei Leistungssteigerung bis 2500 PS.

Zweitaktmaschinen: bis 1250 mm Zylinderdurchmesser und 1400 mm Hub; Zylinderleistung — bei verhältnismäßig niedriger Umlaufzahl, wie sie der Gebläseantrieb erfordert — etwa 2400 PS.

Viertaktzylinder von 2000 PS in Tandemanordnung führen also zu Leistungen von 4000 PS, die Zwilling-Tandemaschine würde 8000 PS leisten.

Zweitaktzylinder von 2400 PS in Tandemanordnung führen also zu Leistungen von 4800 PS, die Zwilling-Tandemaschine würde 9600 PS leisten.

II. Die Ölmaschinen.

Erster Abschnitt.

Allgemeines.

Mit dem zusammenfassenden Namen „Rohölmaschinen“ oder kurz Ölmaschinen bezeichnet man die umfangreiche Gruppe der Verbrennungskraftmaschinen, die zu ihrem Betriebe die bei der Destillation des Erdöles entfallenden Schweröle verwenden. Ebenso bilden die Teeröle der Steinkohlen- und Braunkohlendestillation ein wichtiges Treibmittel.

Während bei den bisher behandelten Verbrennungsmaschinen (Explosionsmaschinen) stets ein von außen kommender Funke die Zündung des Gasluftgemisches bewirkte, findet bei der Ölmaschine eine Selbstzündung des in die angesaugte Luft eingespritzten Brennstoffes statt. Die Art, wie die Selbstzündung erfolgt, gibt die Einteilung für die Ölmaschinen, und zwar sind zwei Hauptarten zu unterscheiden.

1. Die Luftladung wird ausschließlich durch Verdichtung auf so hohe Temperatur erhitzt, daß sich der in diese verdichtete Luftladung eingespritzte Brennstoff von selbst entzündet. Hierauf beruht das von Diesel eingeführte Arbeitsverfahren. Alle Maschinen, denen dieses Verfahren zugrunde liegt, werden daher mit dem Sammelnamen „Dieselmaschinen“ bezeichnet.

2. Der eingespritzte Brennstoff trifft gegen heiße Teile des Zylinderkopfes (Deckel), die der Kühlung entzogen sind, und entzündet sich an diesen. Entsprechend dem Zündungsvorgang werden diese Maschinen mit Glühkopfmotoren bezeichnet.

Die Dieselmotoren werden eingeteilt je nach der Art der Einspritzung des Brennstoffes, ob mit Druckluft, die eigentlichen Dieselmotoren, oder ohne Druckluft, die sogenannten kompressorlosen Motoren.

Nach ihrem Entstehen war die Dieselmotore zuerst eine gute, sehr wirtschaftlich arbeitende Landmotore für kleinere und mittelgroße Leistungen bis zu 150 PSe in einem Zylinder; in den letzten Jahren vor dem Weltkriege hat sie sich immer mehr zur Großkraftmotore bis zu mehreren tausend Pferdestärken in einer Motorenanlage entwickelt.

Besondere Bedeutung gewann die Dieselmotore als Antriebsmotore für Handelsschiffe. Während bis zum Kriegsausbruch nur wenige Motorschiffe die Ozeane befuhren, setzte nach dem Kriege in allen Industriestaaten eine große Bautätigkeit in Motorschiffen ein. Die Ölmaschine ist als Schiffsantriebsmotore in schärfsten Wettbewerb mit der Dampfkolbenmotore und der Dampfturbine getreten und hat die Dampfmaschine in bezug auf Wirtschaftlichkeit überholt.

Weiter fand die Ölmaschine im Kriegsschiffbau ein großes Verwendungsgebiet. Die U-Boote haben als Hauptantriebsmotoren fast ausschließlich schnellaufende Dieselmotoren erhalten. Was im Bau von U-Boots-Ölmotoren während des Krieges geleistet worden ist, gehört wohl ohne Zweifel zu den ersten Ruhmestaten, die unser deutsches Volk während des Krieges geleistet hat.

Die U-Boots-Motore ist dann als Ausgangspunkt anzusehen für die mancherlei Verwendungszwecke, die sich die raschlaufende Dieselmotore während und nach dem Kriege verschafft hat, als Antriebsmotore für Motorjachten, elektrische Bordzentralen, Kompressoranlagen usw.

Nicht zum wenigsten ist durch die U-Boots-Anlagen das Motorenpersonal heranerzogen worden, das mit den bereits ein höheres technisches Können und Verstehen erfordernden Dieselmotoren umzugehen weiß.

Versuche, die Ölmaschine auch dem Lokomotivbetrieb dienstbar zu machen, was bereits vor dem Kriege versucht worden war, wurden nach dem Kriege fortgesetzt. Die Hauptschwierigkeit liegt hier wegen des kleinen Drehmomentes der anfahrenden Ölmaschine in der Kupplung. Nachdem offenbar in dem Lentzflüssigkeitsgetriebe¹⁾ die richtige Kupplung gefunden ist, wird voraussichtlich die Dieselmachine auch auf größeren Lokomotiven Anwendung finden können.

Für kleinere Anlagen hat sich die Glühkopfmachine entwickelt, die durch den Fortfall der Einblaseluftpumpe einfacher und billiger wird als die Dieselmachine, jedoch nicht den günstigen Brennstoffverbrauch der letzteren zeigt.

Sie hat als Antriebsmaschine für Fischereifahrzeuge, als Hilfsmachine für Segelschiffe, andererseits als Antriebsmaschine für kleinere Gewerbebetriebe und elektrische Zentralen eine weite Verbreitung gefunden.

Zweiter Abschnitt.

Die Dieselmachine, ihre Entstehung, Arbeitsweise und Bauart.

a) Allgemeines.

Der Ingenieur Rudolf Diesel entwickelte in einer Schrift im Jahre 1893 „die Theorie und Konstruktion eines rationellen Wärmemotors zum Ersatz der Dampfmaschine und der heute bekannten Wärmemotoren“. In dieser Maschine wollte er unter Anstrengung eines idealen Carnotschen Kreisprozesses²⁾ eine möglichst vollkommene Wärmeausnutzung aller Brennstoffe erzielen. Die Durchführung einer derartigen Wirkungsweise der Gase in der Maschine könnte jedoch nur mit Spannungen

¹⁾ Siehe Z. d. V. d. I. 1921, S. 1160.

²⁾ Isothermische und adiabatische Verdichtung und ebensolche Ausdehnung der Gase, s. Technische Wärmelehre.

erreicht werden, die für Wärmemotoren infolge der entstehenden ungeheuer großen Temperaturen praktisch unmöglich anwendbar sind.

Auf Grund der Dieselschen Schrift übernahmen zwei große deutsche Firmen, Fried. Krupp in Essen und die Maschinenfabrik Augsburg, die Ausführung der Maschine.

Nach mehrjährigen, äußerst mühevollen und kostspieligen Versuchen kam im Jahre 1897 die erste Maschine an die Öffentlichkeit. Schon bei dieser begnügte man sich zwar mit einer möglichen Annäherung an die erstgeplante ideale Arbeitsweise, doch erwies sich die Maschine als die wirklich „vollkommenste“ aller bestehenden Wärmemaschinen.

b) Arbeitsweise der Viertakt- und Zweitaktmaschine.

1. Arbeitsweise der Viertakt-Dieselmachine.

Die Dieselmachine wird meist als einfachwirkende Maschine ausgeführt. Die Arbeitsweise veranschaulicht die schematische Darstellung (Fig. 16) mit dem Diagramm (Fig. 17).

1. Hub: Einsaugen atmosphärischer Luft in den Zylinder durch den Arbeitskolben (Linie *ab*).
2. Hub: Verdichten der eingesaugten reinen Luft durch den Arbeitskolben bis auf etwa 32 at, wodurch sich die Luftladung auf etwa 600° C erhitzt (Linie *bc*).
3. Hub: Allmähliche Einführung des flüssigen Brennstoffes mittels Druckluft in den Zylinder und allmähliche Verbrennung (Linie *cd*); darauffolgende Ausdehnung der Gase (Linie *de*); bei jetzt geöffnetem Auslaßventil sinkt die Spannung rasch auf die Außenluftspannung (Linie *ef*).
4. Hub: Ausschleiben der Verbrennungsrückstände aus dem Zylinder (Linie *fa*).

Die Diagrammlinie cd verläuft horizontal oder ist etwas nach oben gewölbt; das während dieser Kolbenhubstrecke

Viertakt, einfachwirkend.

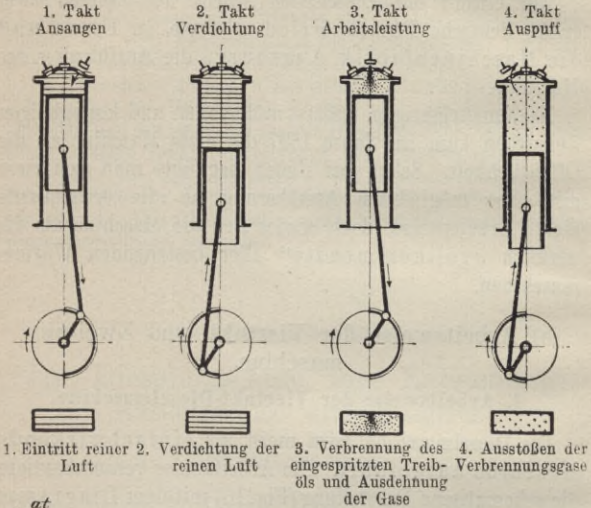


Fig. 16. Arbeitsweise der einfachwirkenden Viertakt-Dieselmachine.

at
Überdr:

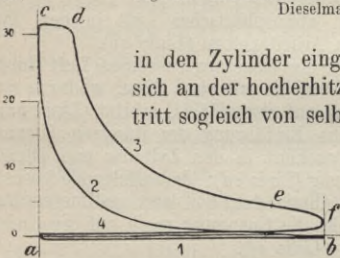


Fig. 17. Arbeitsdiagramm der Viertakt-Dieselmachine.
1 Ansaugen, 2 Verdichten, 3 Arbeitsleistung, 4 Auspuff.

in den Zylinder eingeführte Treiböl, das sich an der hochoerhitzten Luft beim Eintritt sogleich von selbst entzündet, bringt immer neue Wärme- und Arbeitsenergiemengen in den Zylinder; die Verbrennungstemperatur steigt auf

über 1500⁰ an. Daher fällt trotz der Volumenvergrößerung der Druck im Zylinder, wie die Diagrammlinie zeigt, nicht ab, sondern bleibt bis zur Beendigung des Brennstoffeintritts annähernd der gleiche.

An Stelle des Diagrammstückes *cd* tritt bei dem Diagramm der Verpuffungsmaschine infolge der einmaligen explosionsartigen Verbrennung bekanntlich eine scharfe Spitze. Verbrennungsmaschinen mit der Wirkungsweise nach Art der Dieselmachines bezeichnet man daher mitunter auch mit dem zusammenfassenden Namen „Gleichdruckmaschinen“.

2. Arbeitsweise der Zweitakt-Dieselmachine.

Die Arbeitsweise der Zweitaktmaschinen wird durch das Schema (Fig. 18) und das Arbeitsdiagramm (Fig. 19) veranschaulicht.

Wie bei den Zweitakt-Gasmaschinen ist auch hier eine Spül- oder Ladepumpe erforderlich; die Abgase entweichen durch Schlitze am Zylinder, die vom überschleifenden Kolben geöffnet und abgeschlossen werden.

Bei Beginn des ersten Hubes wird der Zylinder durch die Spülpumpe mit Luft von etwa atmosphärischer Spannung unter Ausspülung der Verbrennungsrückstände gefüllt. Die Spülluft tritt durch zwei oder mehrere am Zylinderkopfe angeordnete Ventile ein, oder sie wird gleichfalls durch Schlitze eingeführt, die der überschleifende Kolben steuert; gesteuerte Spülventile fallen dann fort (s. S. 16). Der Arbeitskolben verdichtet darauf die Luft wie bei der Viertaktmaschine. Bei Beginn des zweiten Hubes wird der Brennstoff mittels Druckluft eingespritzt, und die Arbeitsleistung erfolgt in bekannter Weise. Hat der Kolben etwa $\frac{6}{7}$ seines Weges zurückgelegt, dann öffnet er die Auslaß-

schlitze und läßt die Verbrennungsgase ins Freie entweichen. Kurz vor Hubende setzt die Spülung mit darauffolgender Zweitakt, einfachwirkend.

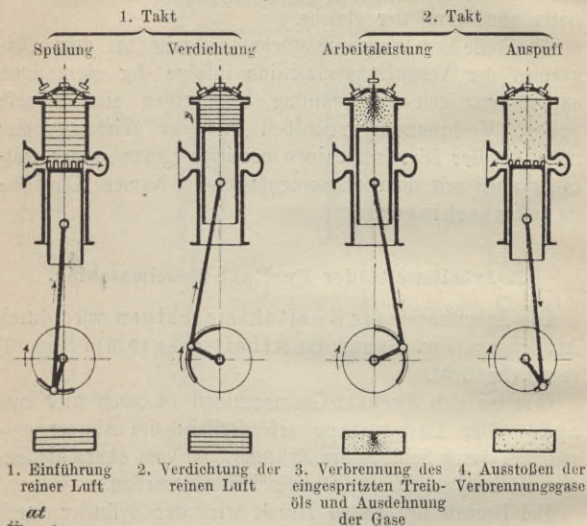


Fig. 18. Arbeitsweise der einfachwirkenden Zweitakt-Dieselmachine.

at
Überdr.

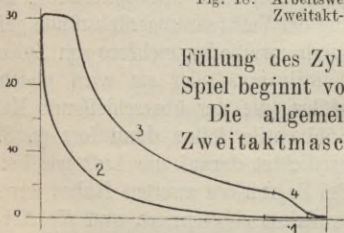


Fig. 19. Arbeitsdiagramm der Zweitakt-Dieselmachine. 1 Spülung, 2 Verdichten, 3 Arbeitsleistung, 4 Auspuff.

Füllung des Zylinders ein, und das Spiel beginnt von neuem.

Die allgemeinen Vorteile der Zweitaktmaschine gegenüber der Viertaktmaschine sind von der Behandlung der Gasmaschinen her bekannt: der Gang der

Zweitaktmaschine ist regelmäßiger; die Schlitzsteuerung durch den Kolben ist einfach und sicher, gesteuerte große Auslaßventile fallen weg. Bei gleich großen Zylindern erzielt man mit der Zweitaktmaschine wenn auch keine doppelt so große, so doch eine wesentliche Mehrleistung (etwa 1,75-fachen Betrag).

Die Dieselmachine ist zur Anwendung der Zweitaktarbeitsweise ganz besonders gut geeignet. Bei der Zweitakt-Gasmaschine wird bekanntlich erst Spülluft und darauf ein Ladegemisch, bestehend aus Gas und Luft, durch die Pumpen in den Arbeitszylinder gefördert. Bei der Zweitakt-Dieselmachine ist Spül- und Ladeluft dasselbe. Niemals kann Brennstoffladung, wie dies bei großen Füllungen des Gasmaschinenzylinders leicht einmal geschieht, durch die Zylinderschlitze entweichen. Gemisch-Frühzündungen sind ausgeschlossen, da ja nur Luft verdichtet wird.

Die Wärmeausnützung ist auch beim Diesel-Zweitakt nicht ganz so gut wie bei der Viertaktmaschine, da infolge der Anordnung der Spül- und Ladeschlitze nur 75 bis 80% des ganzen Zylinderhubraumes für die Arbeitsleistung ausgenützt werden, und die Ausdehnung der Verbrennungsgase eher abgebrochen wird als beim Viertakt (vgl. Diagramme Fig. 17 u. 19). Jedoch wird dieses teilweise dadurch ausgeglichen, daß die Verdichtung beim Zweitakt bereits mit einem höheren Druck als beim Viertakt beginnt. Weiter erfordert das Überschieben der Luft zum Verbrennungszylinder durch die Spülpumpe einen gewissen Arbeitsaufwand, der größer ist als der Arbeitsaufwand für die entsprechenden Vorgänge beim Viertakt (vgl. auch S. 32).

Trotz dieser Nachteile findet die Zweitakt-Dieselmachine besonders als Schiffsmachine immer größere Verbreitung.

c) Dieselmotoren-Bauarten.

Nach Ablauf des Dieselschen Patentes hat eine große Anzahl gut eingerichteter Maschinenfabriken den Bau von Dieselmotoren aufgenommen. Zur erfolgreichen Herstellung der Maschine ist neben der Verwendung besten Materials exakteste Ausführung aller Einzelteile erforderlich, wie sie nur in neuzeitlich gut ausgestatteten Werkstätten mit erprobten Arbeitsverfahren und geschultem Personal durchführbar ist. Von den vielen Ausführungsformen der Dieselmotore können nur wenige näher betrachtet werden.

1. Viertaktmotoren (Ortsfeste Landmotoren).

Die zuerst entwickelte stehende einfachwirkende Viertaktmaschine, als Einzylinder- oder Zwillingsmaschine ausgeführt, ist in ihrer Bauweise noch heute vorbildlich für diese Gattung der Dieselmotore (Fig. 20 u. 21).

Die Zylinder sind im Durchschnitt gezeichnet und von zwei Seiten gesehen. Die Zahlenbezeichnung erklärt die Einzelteile:

- | | |
|----------------------|------------------------------------|
| 1. Auspuffventil. | 6. Steuernockenscheiben. |
| 2. Einlaßventil. | 7. Anlaßhebel in Betriebsstellung. |
| 3. Anlaßventil. | 7a. Anlaßhebel in Anlaßstellung. |
| 4. Brennstoffventil. | 8. Luftpumpe. |
| 5. Steuerwelle. | 9. Brennstoffpumpe. |

Der wassergekühlte Arbeitszylinder ist unten offen und oben durch den Deckel geschlossen. Der Deckel trägt die Steuerorgane, die den vorbeschriebenen Arbeitsvorgang ermöglichen und regeln: das Einlaßventil, durch das die Verbrennungsluft eingesaugt wird, das Auslaßventil zum Ausstoßen der Verbrennungsrückstände, das Brennstoff-Einblaseventil und das Anlaßventil. Das letztere wird nur beim Ingangsetzen der Maschine durch die Steuerung betätigt und bei den ersten Zündungen wieder

ausgeschaltet. Während des Anlassens, das stets durch Druckluft erfolgt, ist das Brennstoffventil ausgeschaltet.

Sämtliche Ventile werden durch Steuerrollenhebel mittels unrunder Scheiben, die auf der horizontal gelagerten Steuer-

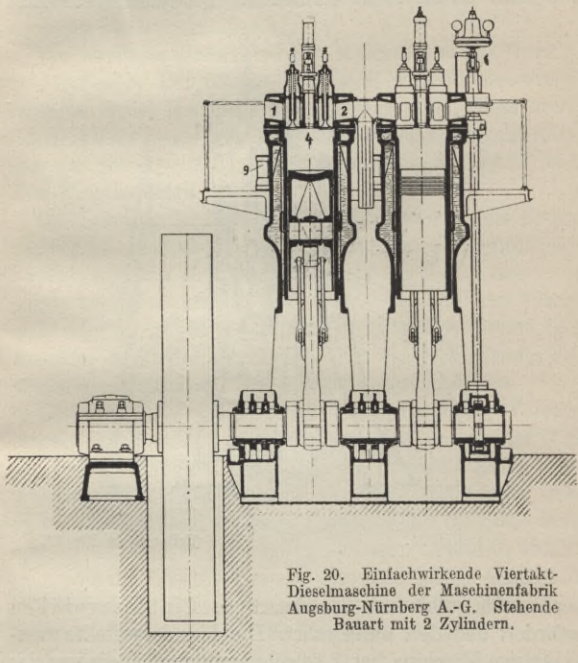


Fig. 20. Einfachwirkende Viertakt-Dieselmachine der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg A.-G. Stehende Bauart mit 2 Zylindern.

welle festsitzen, geöffnet und durch Federn geschlossen. Einlaß-, Auslaß- und Anlaßventil öffnen nach innen zu, nur das Brennstoffventil öffnet nach außen. Das Ein- und Ausschalten der betreffenden Nockenscheiben beim Ingang-

setzen geschieht in einfachster Weise durch Umlegen von Handhebeln.

Zu jedem Zylinder gehört eine Luftpumpe, die reine Luft aus der Atmosphäre ansaugt und in 2 Druckstufen auf etwa 60 bis 70 at verdichtet. Die verdichtete Luft

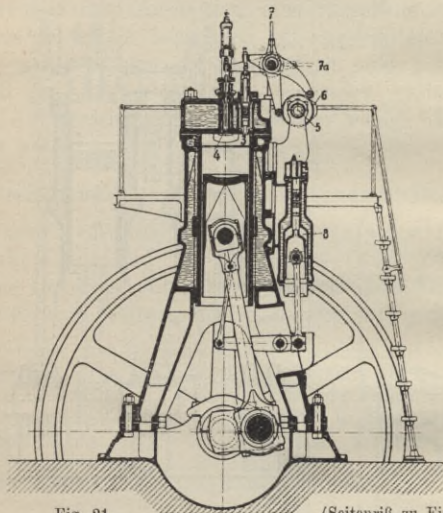


Fig. 21.

(Seitenriß zu Fig. 20.)

wird nach stählernen flaschenartigen Einblasegefäßen gefördert und dort aufbewahrt. Die hier dargestellte zwei-zylindrige Maschine hat 2 solcher Luftpumpen, die von der Pleibstange aus durch Hebelgestänge angetrieben werden. Die Luftpumpenzylinder besitzen gleichfalls eine sehr vollkommene Wasserkühlung, um die Verdichtungserwärmung der Einblaseluft herabzusetzen.

Die gleichen Luftpumpen fördern verdichtete Luft in die sogenannten Anlaßgefäße; in diesen Stahlflaschen wird die Luft für das Ingangsetzen der Maschine von einer Betriebsperiode zur andern aufbewahrt. Zu jeder Maschine gehört ein Einblasegefäß, ein Anlaßgefäß und außerdem noch ein Reserve-Anlaßgefäß.

Ein wichtiger Bestandteil der Maschine ist die Brennstoffpumpe. Der flüssige Brennstoff wird im Maschinenraum in einem Hochbehälter aufbewahrt und fließt durch Filtriergefäße der Pumpe zu, deren kleiner Tauchkolben, von der Steuerwelle aus angetrieben, den Brennstoff nach dem Einblaseventil drückt.

Der Leistung der Maschine entsprechend wird die Brennstoffzufuhr verändert. Der Regulator beeinflußt die Fördermenge der Brennstoffpumpe in der Weise, daß er in seinen verschiedenen Stellungen das Saugventil der Pumpe mehr oder weniger lange geöffnet hält. Bei der zweizylindrigen Maschine wirkt der Regulator durch ein verbindendes Gestänge gleichzeitig auf beide Brennstoffpumpen ein.

Das geförderte Treiböl wird durch besondere Vorrichtungen gleichmäßig verteilt und sammelt sich an der Düse des Brennstoffventils, die durch die Brennstoffnadel abgeschlossen wird. Das Gehäuse des Brennstoffventils steht durch eine Leitung mit dem Einblasegefäß in Verbindung und ist dauernd mit der hochgespannten Druckluft gefüllt, gegen die die Brennstoffpumpe also auch das Öl zu fördern hat. Wird die Brennstoffnadel durch den Steuerhebel angehoben, dann zerstäubt die Druckluft von etwa 60 at den Brennstoff in die etwa auf 32 bis 35 at verdichtete und hocherhitzte Luft, die jetzt den Verbrennungsraum des Arbeitszylinders erfüllt. Es erfolgt sofort die Zündung und Verbrennung in der bekannten Weise und damit der Arbeitshub des Kolbens.

Eine gute Verteilung und Zerstäubung des Treiböls ist von hoher Wichtigkeit, deshalb ist auf zweckmäßige Gestaltung und sorgfältige Herstellung des Brennstoffventils ganz besonderer Wert gelegt.

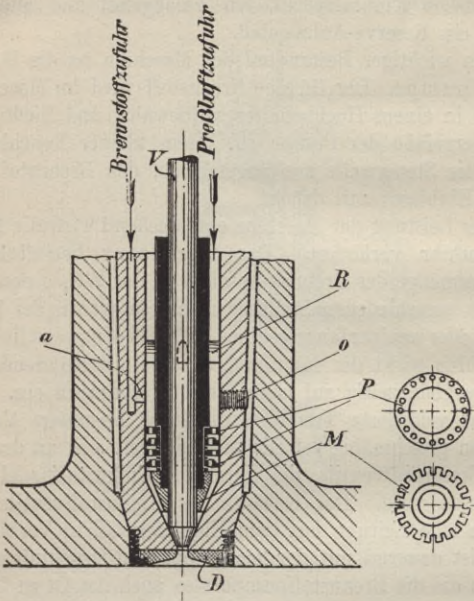


Fig. 22. Plattenzerstäuber des Brennstoffventils.

In Fig. 22 ist der untere Teil des Brennstoffventils mit dem sogenannten Plattenzerstäuber, der früher fast ausschließlich und heute noch viel verwandt wird, dargestellt.

Er bezweckt vor allem eine gleichmäßige Verteilung des geförderten Brennstoffes vor seiner Zerstäubung im Zylinder.

Das von der Pumpe geförderte Öl tritt durch die Öffnung *a* in das Ventilgehäuse ein. Der Zerstäuber besteht aus einer Anzahl vielfach durchlöcherter Plättchen *P*, die am unteren Ende der Zerstäuberhülse sitzen, durch kleine Zwischenringe in kurzen Abständen voneinander gehalten. Ebenso vielfach geschlitzt ist das untere, als Schraubemutter ausgebildete kegelförmige Abschlußstück *M*. Die kleinen Löcher der Plättchen sind gegeneinander versetzt, damit das Öl keinen ungehinderten Durchgang findet, sondern gleichmäßig verteilt der Düsenöffnung zuströmt. Die stählerne Ventalnadel *V* ist am unteren Ende kegelförmig gestaltet und dicht anschließend auf ihren Sitz aufgeschliffen; sie verschließt die kleine Öffnung der stählernen Düsenplatte *D*. Beim Anheben der Ventalnadel fegt die das Gehäuse erfüllende Preßluft die Plättchen vom anhaftenden Öl rein, vermischt sich innig mit dem Öl und zerstäubt es durch die Düsenplatte in den Zylinder. Der noch verbleibende Rest des Öls sammelt sich an der Dichtungskante der Ventalnadel und leitet bei ihrer nächsten Eröffnung die neue Zündung ein. Inzwischen fördert die Brennstoffpumpe eine der Leistung entsprechende neue Brennstoffmenge in das Ventilgehäuse. Die Eröffnung der Ventalnadel durch den Rollen-Steuerhebel erfolgt ganz kurz vor der Verdichtungs-Totpunktstellung; die Nadel schließt wieder ab, nachdem der Kolben etwa 8⁰/₁₀ seines Arbeitshubes zurückgelegt hat.

Die Plattenzerstäuber haben den großen Vorzug, daß man die Verteilung des Brennstoffes im Zerstäuber durch die Zahl der Platten und Plattenlöcher bequem ändern kann. Sie haben jedoch den Nachteil, daß sie für verschiedene Brennstoffmengen, also für andere Belastungen einen zu verschiedenen Einblasedruck bedürfen, um sichere Zündung und rauchlose Verbrennung zu erzielen. Bei niedriger Be-

lastung würde, wenn der Einblasedruck zu hoch ist, aller Brennstoff von den Platten weggefegt, so daß der Zünd-

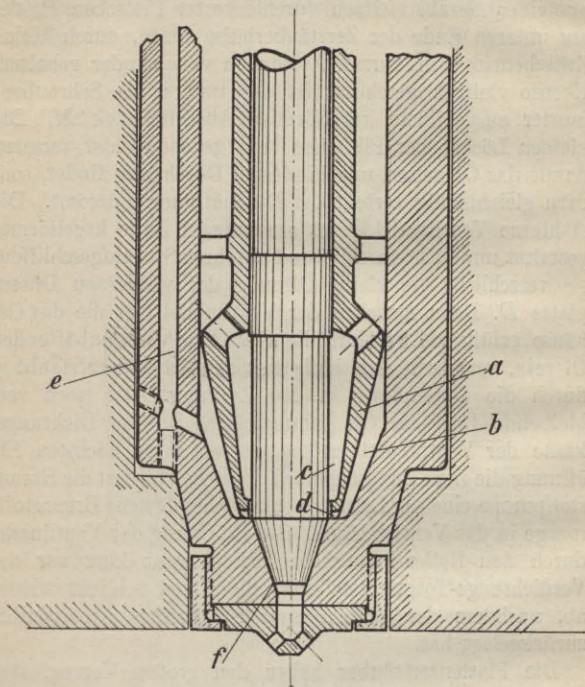


Fig. 23. Schlitzzerstäuber der M.A.N.

tropfen an der Nadel unten fehlt, der die neue Zündung einleiten soll.

Bei neueren Ausführungen des Brennstoffventils geschieht die Einführung und Zerstäubung des Treiböls in der Regel

nach dem Injektionsprinzip. Ein auf dieser Grundlage beruhender Zerstäuber (Bauart der M. A. N.) ist in Fig. 23 dargestellt. Sein Kennzeichen ist eine Hülse *a*, die den Raum um das untere Nadelende in den größeren äußeren Ringraum *b* und den kleineren inneren Ringraum *c* zerlegt, die unten durch den schmalen Spalt *d* miteinander verbunden sind. Der Brennstoff wird unten in den Ringraum *b* durch den Kanal *e* zugeführt und tritt durch den

at
Überdruck

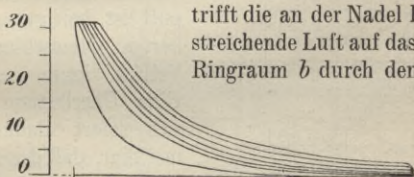


Fig. 24. Regeldiagramm der Dieselmachine.

Spalt *d* auch in den Raum *c* über. Beim Öffnen der Nadel trifft die an der Nadel herunterstreichende Luft auf das aus dem Ringraum *b* durch den Spalt *d*

austretende Brennstoff-Luftgemisch und strömt an der scharfen Kante *f* der platt abgeschnittenen Nadel vorbei durch die kleinen Düsenlöcher fein zerstäubt in den Zylinder.

Der Verlauf des Verbrennungsvorganges wird gesteuert vom Brennstoffnocken. Dieser zeigt einen ganz flachen Anlauf, um ein möglichst gleichmäßiges Anheben der Nadel zu bewirken und ein Springen derselben zu vermeiden, steigt auf 3 bis 5 mm an und fällt dann etwas rascher ab. Die genaue Übertragung vom Nocken auf die Nadel ist nur bei einem starren, widerstandsfähigen Brennstoffhebel möglich.

Auch bei diesem Zerstäuber, dem sogenannten Schlitzzerstäuber, ist der Einblasedruck der jeweiligen Belastung anzupassen, da das Verhältnis Brennstoffmenge zur Einblaseluftmenge möglichst bei allen Belastungen gleichbleiben sollte. Der Einblasedruck beträgt bei Vollast etwa 60 at.

bei Leerlauf etwa 45 at. Die Regelung desselben geschieht bei stationären, langsamlaufenden Maschinen im allgemeinen von Hand, bei raschlaufenden Maschinen mittels eines sogenannten Einblasedruckreglers (s. S. 107).

Die Einregelung der Dieselmachine geschieht an Hand genomener Indikatordiagramme (Fig. 24) und unter genauer Beachtung des Auspuffes. Der Verdichtungs- und Verbrennungsdruck bleibt bei verschiedenen Belastungen immer derselbe, wie das beistehende Regeldiagramm erkennen läßt.

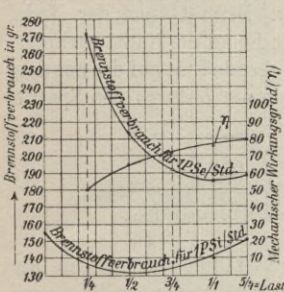


Fig. 25. Brennstoffverbrauch einer Zweizylinder-Viertakt Dieselmachine 200 PSe bei $n=156$ Umdr/Min.

Der Auspuff ist bei gut einregulierten Ölmaschinen mit Vollast kaum sichtbar. Eine Überlastung macht sich sofort dadurch bemerkbar, daß der Auspuff schlechter, d. h. grau wird.

Die Fig. 25 enthält für eine Zweizylinder-Viertakt Dieselmachine von 200 PSe¹⁾ in Abhängigkeit von der Belastung den Brennstoffverbrauch für die

effektiven und indizierten Pferdekraftstunden, sowie den mechanischen Wirkungsgrad. Der Brennstoffverbrauch für Vollast schwankt für Viertakt-Dieselmachines je nach Größe von 180 bis 220 g für die effektive Pferdekraftstunde und von 135 bis 155 g für die indizierte Pferdekraftstunde; der Gesamtwirkungsgrad ist rund 34%. Der mechanische Wirkungsgrad beträgt bei Vollast etwa 0,75 bis 0,80; der Wirkungsgrad der Zweitakt-Dieselmachine ist,

¹⁾ Z. d. Bayr. Revisionsvereins 1906, Nr. 3 und 5.

wenn die Spülpumpenarbeit zur Reibungsarbeit zugezählt wird, etwas geringer.

Das untenstehende Schema Fig. 26 zeigt, wie sich die im Arbeitszylinder der Dieselmachine erzeugte Wärmemenge auf nutzbare effektive Leistung, Verluste durch Reibung und auf im Auspuff und Kühlwasser verlorengende Wärme verteilt.

Von verschiedenen Firmen werden einfachwirkende Viertakt-Dieselmachines auch in liegender Anordnung ausgeführt. Fig. 27 zeigt eine Ausführung der Firma Gebrüder Körting A.-G. in Hannover.

Die liegend in der Richtung der Zylinderachse angeordneten Ventile werden durch eine von der Längssteuerwelle aus angetriebene

Querwelle betätigt. An Stelle des Platten- oder des Hülsenzerstäubers wird hier eine sogenannte offene Düse benutzt. Dabei wird der Brennstoff durch ein besonderes Ventil in eine kleine hinter der Düsenöffnung liegende Mulde gefördert und beim Einspritzvorgang mittels der über den Brennstoffspiegel hinwegstreichenden Einblaseluft durch die Düsenöffnung in den Verdichtungsraum hineingerissen.

Die Gesamtanordnung einer ortsfesten Dieselanlage (vierzylindrige Viertakt-Krupp-Dieselmachine) ist in Fig. 28 dargestellt.

Die Maschine (1) besitzt statt der bei stationären Dieselmachines üblichen Ständeranordnung Kastengestelle. Das Kurbelgehäuse hat an beiden Längsseiten große, mit schweren Türen versehene Öffnungen, durch die Kolben und Pleuelstange leicht

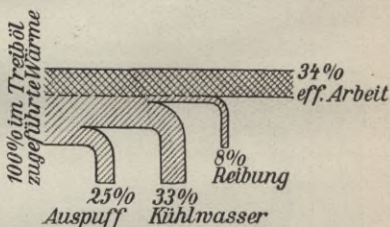


Fig. 26. Schema der Wärmeverteilung einer Viertakt-Dieselmachine.

zugänglich gemacht werden. Zum Abfühlen der Grundlager sind besondere, mit kleinen runden Deckeln versehene Öffnungen vorhanden, die ein Abfühlen der Grundlager auch während des Be-

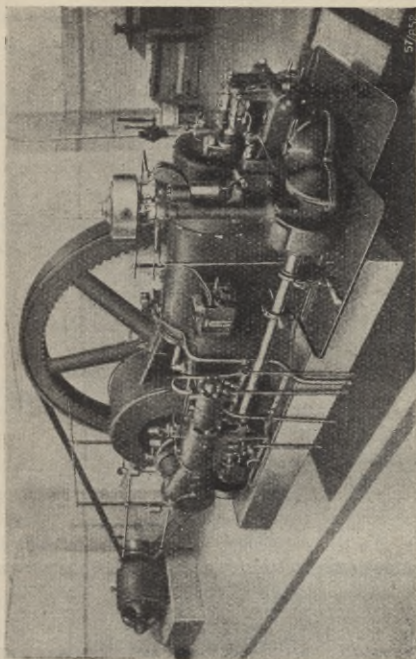


Fig. 27. Liegende einfachwirkende Viertakt Dieselmachine der Gebr. Körting A.-G.

triebes gestatten. Die Einblaseluftpumpe, bei der die M.D.- und N.D.-Stufe durch Schieber gesteuert werden, befindet sich am vorderen Maschinenende. Der Regler sitzt auf der vertikalen Steuerwelle. Der Drehstromgenerator (2) ist direkt mit der Kurbelwelle gekuppelt und das Schwungrad mit der Generatormasse

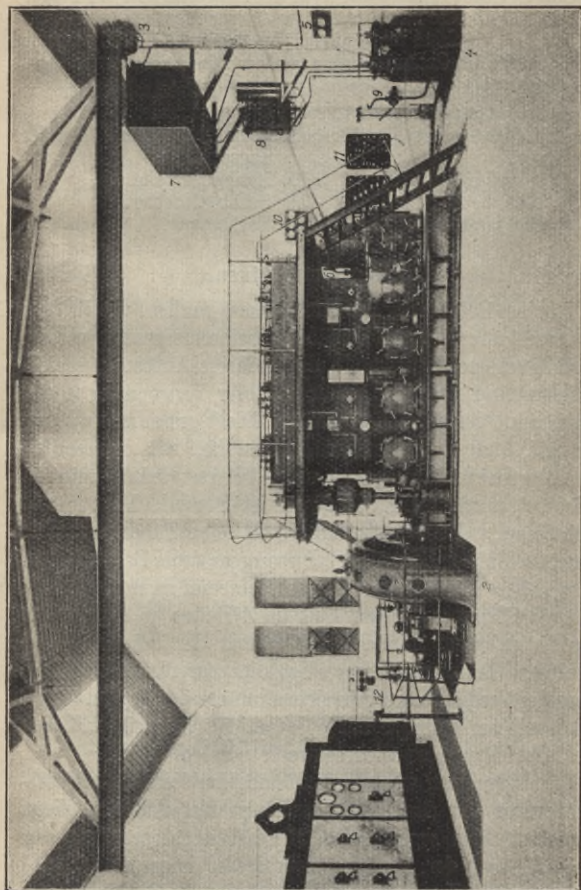


Fig. 28 Vierzylinder-Viertakt-Krupp-Dieselmachine von 400 PSe bei $n=250$ Umdr. Min direkt gekuppelt mit einer Drehstromdynamo. $D=400$ mm, $s=550$ mm.

vereinigt. Über der Maschine ist in der Längsrichtung ein Träger und eine Laufkatze mit Flaschenzug (3) zur Montage und Überholung der Maschine angeordnet. Weiter zeigt die Figur sehr übersichtlich die Gesamtanordnung einer Dieselmaschinenanlage.

- | | |
|--------------------------------|---|
| (1) Maschine. | (7) Brennstofftagesbehälter. |
| (2) Drehstromgenerator. | (8) Brennstofffilter. |
| (3) Laufkatze mit Flaschenzug. | (9) Handpumpe zum Füllen der Tagesbehälter. |
| (4) Anlaßluftflaschen. | (10) Manometertafel. |
| (5) Manometer dazu. | (11) Schlüsselbretter. |
| (6) Einblaseluftflaschen. | (12) Tachometer. |

2. Teerölmaschinen.

Für den Betrieb der Dieselmotoren werden, wie in dem Abschnitt über Brennstoffe näher auseinandergesetzt werden wird, Brennstoffe verwandt, die in ihrem Aufbau ganz verschieden sind, und sich daher bei ihrer Verwendung in der Ölmaschine verschieden verhalten. Die Verbrennung des Gasöls und gleichwertiger Brennstoffe, wie namentlich des Braunkohlenteeröls usw., bereitet keine weiteren Schwierigkeiten mehr. Dagegen ist Steinkohlenteeröl nicht ohne weiteres verwendbar, da seine Zündtemperatur wesentlich höher liegt als bei den vorgenannten Brennstoffen. Eine sichere Zündung mit Steinkohlenteeröl ist nur möglich, wenn die Temperatur der Luft im Zylinder im Augenblick der Einspritzung mindestens 80° über der bei Gasöl notwendigen Temperatur liegt. Um dies nur durch Vergrößerung der Verdichtung zu erreichen, müßte der Verdichtungsdruck im Zylinder auf 50 at erhöht werden, wodurch die Maschinen wesentlich schwerer würden.

Im allgemeinen wird die Erhöhung der Verdichtungs-temperatur bei den Teerölmaschinen auf anderem Wege erreicht. Beim sogenannten Zündölverfahren (von der M. A. N. und der Motorenfabrik Deutz angewandt), wird dem von der Hauptbrennstoffpumpe in den Zerstäuber ge-

förderten Teeröl ein kleiner Tropfen eines leichter entzündlichen Brennstoffes (Zündöl) durch eine zweite Pumpe vorgelagert. Beim Öffnen der Brennstoffnadel gelangt zuerst der Zündtropfen in den Zylinder und steigert durch seine sofortige Verbrennung die Temperatur so weit, daß das nachfolgende Teeröl mit Sicherheit sich entzündet und verbrannt wird. Die Zündölmenge beträgt normal etwa 5^o/_o des Teerölverbrauches; sie läßt sich leicht der jeweiligen Belastung anpassen und darf bei großer Belastung und warmer Maschine geringer sein als bei schwach belasteter und kalter Maschine; im allgemeinen wird sie aber konstant gehalten, mit Ausnahme beim Anfahren der kalten Maschine, wo die Zündölmenge bedeutend vergrößert wird. Das Zündölverfahren verbürgt eine sichere Zündung bei jeder Belastung und besonders beim Anfahren der kalten Maschine; Verschmutzungen, wie sie beim Mischen von Gasöl und Teeröl eintreten, werden vermieden. Als Nachteil ist die Notwendigkeit zweier Brennstoffpumpen anzusehen.

Bei einem anderen Verfahren (Fried. Krupp, Germania-werft) besitzt der Kolbenboden, um die Lufttemperatur im Zylinder im Augenblick der Einspritzung möglichst hochzuhalten, ein ungekühltes, pilzförmiges Einsatzstück, das namentlich während des Verdichtungshubes seine Wärme an die auf ihm lagernden Luftschichten abgibt und auf diese Weise höhere Endtemperaturen veranlaßt. Weiter wird statt der Einlochdüsenplatte eine Zapfendüse, eine zapfenförmig ausgezogene Düsenplatte mit einem Kranz von Bohrungen, deren Mittellinien sich auf einem Kegelmantel mit bestimmtem Spitzenwinkel gleichmäßig verteilen, verwandt. Durch die Zapfenform wird erreicht, daß der Brennstoff in den Kern des Verdichtungsraumes gespritzt wird. Die größere Anzahl der Löcher bewirkt eine Aufteilung des Brennstoffstrahles in dünne Einzelstrahlen; die seitliche Lage

der Löcher vergrößert den Weg von der Düsenplatte nach dem Kolbenboden und ruft dadurch eine innigere Mischung zwischen Brennstoff und Luft hervor.

Unter Verwendung dieser Mittel ist es möglich, auch ohne Zündöl alle Belastungsstufen zu fahren. Die Inbetriebsetzung der Maschine muß mit Gasöl erfolgen; nach ganz kurzer Zeit kann aber auf Teeröl umgeschaltet werden.

3. Zweitaktmaschinen.

Die Arbeitsweise und das Diagramm einer einfachwirkenden Zweitakt-Dieselmachine sind in Fig. 18 und Fig. 19 dargestellt. Ebenso ist dort auf das Hauptproblem des Zweitakts, die Spülung, und die beiden Arten der Spülung, die Ventilspülung und die Schlitzspülung, hingewiesen. Bei der Zweitaktmaschine mit Ventilspülung tritt die Spülluft durch die im Zylinderdeckel angeordneten gesteuerten Spülventile ein; in einheitlicher Richtung drückt sie die Abgase vor sich her und zu den am ganzen Umfange des unteren Hubendes angebrachten Auslaßschlitzen hinaus. Der Vorteil der Ventilspülung liegt in der sicheren Beherrschung des ganzen Spülvorganges. Die gesteuerten Ventile werden geöffnet, wenn der Druck im Zylinder unter den Spülluftdruck gesunken ist. Mit dem Abschließen der Auslaßschlitze hört das Laden aber noch nicht auf, sondern es findet ein Nachfüllen des Zylinders mit Frischluft statt. Mit Ventilspülung versehene Maschinen haben in jeder Beziehung befriedigt. Wenn sie trotzdem in neuerer Zeit immer mehr verlassen wird, so ist dies auf die Vorteile, die man sich von der Schlitzspülung verspricht, zurückzuführen.

Für die Schlitzspülung kommen die im Zylinderdeckel befindlichen Ventile mit ihrem ganzen Antrieb in Wegfall, wodurch der Aufbau der Maschine vereinfacht wird. Das Schlitzspülverfahren geht aus der Fig. 29 hervor. Auf der

einen Hälfte des Zylinderumfanges im unteren Hubende befinden sich die Spülschlitze für den Eintritt der Spülluft, auf der anderen Hälfte die Auslaßschlitze. Im Gegensatz zu der Ventilspülung ist es ohne Anwendung besonderer Mittel nicht mehr möglich, die Öffnungs- und Schließungszeitpunkte für die Spülluft- und Auslaßschlitze beliebig zu wählen. Die höherliegenden Auslaßschlitze werden früher geöffnet und später wieder geschlossen. Ein Aufladen des Arbeitszylinders auf den höheren Spülluftdruck ist nicht möglich.

Um letzteres auch bei Schlitzspülung wieder zu erreichen, ordnet Sulzer oberhalb der freien Spülschlitze noch eine weitere Spülschlitze an, die von einem zwangsläufigen, eventuell auch selbsttätigen Ventil aus gesteuert wird. Der Arbeitsvorgang ist dann folgender: Der abwärtsgehende Kolben gibt zuerst die obere Spülschlitze, deren Steuerventil noch geschlossen ist, und dann die Auslaßschlitze frei; die Verbrennungsgase beginnen auszutreten und der Druck im Zylinder fällt rasch auf den Atmosphärendruck ab. Endlich werden vom Kolben die freien Spülschlitze freigelegt und gleichzeitig wird das Steuerventil der oberen Spülschlitze geöffnet. Der Weg, den die nunmehr eintretende Spülluft bei ihrem Durchgang durch den Zylinder nimmt, ist in Fig. 29 eingezeichnet. Die Luft steigt, die Verbrennungsgase vor sich hertreibend, auf der Seite, auf der die Spülschlitze liegen, nach oben, geht oben herüber und fällt auf der anderen Seite wieder herab. Ist dieser Spülvorgang beendet, so schließt der wieder umkehrende Kolben die freien Spülschlitze, dann die Auslaßschlitze ab. Durch die obere Schlitzreihe findet noch ein Aufladen des Arbeitszylinders statt, bis der Kolben auch diese abschließt.

Die Formgebung von Kolben und Spülschlitzen, die Wahl der Schlitzhöhe, die für eine gute Ausspülung erforderlich

ist, ist Sache des Konstrukteurs. An diesen Aufgaben ist lange gearbeitet worden und es sind endlich gute Formen und zweckentsprechende Verhältnisse gefunden worden. Durch niedrige Drücke lassen sich gleichmäßige Strömungen im Zylinder erreichen, während größere Überdrücke nur stärkere

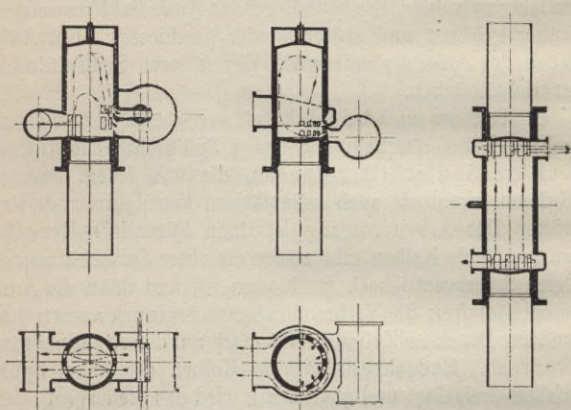


Fig. 29, 30, 31. Spülverfahren der Zweitakt Dieselmachine. Spülung mit Nachfüllschlitzen. — Spülung der M. A. N. — Spülung von Junkers.

Durchwirbelungen erzeugen und eine Verschlechterung des mechanischen Wirkungsgrades bedingen.

Von der M. A. N. ist in den letzten Jahren ein neues Spülverfahren angewendet worden. Wie die Fig. 30 erkennen läßt, macht dabei die Spülluft den umgekehrten Kreislauf. Die aus den Spülschlitzen austretende Luft streicht zuerst über den Kolbenboden, steigt auf der anderen Seite hoch, geht oben herüber, fällt wieder herab und dringt in

die Auslaßschlitze vor. Auch dieses Spülverfahren soll sich gut bewährt haben.

Ein sehr wirkungsvolles Zweitaktverfahren ist das Junkerssche Verfahren, das bereits bei Besprechung der Öchelhäuser-Zweitakt-Gasmaschine näher beschrieben worden ist. Die Spülluft tritt, wie die Fig. 31 zeigt, durch die von einem Kolben freigegebenen Spülschlitze ein, drückt in gleichmäßigem Strome die Abgase vor sich her und zu den vom anderen Kolben freigegebenen Auslaßschlitzen heraus.

Weitere Spülverfahren sind noch von anderen Firmen ausgebildet worden, die aber hier nicht näher besprochen werden können.

Das Zweitaktverfahren bei Dieselmachines hat fast ausschließlich nur für Schiffsmachines Verwendung gefunden. Ausgeführte Zweitaktmachines sollen daher im Abschnitt über Schiffsmachines beschrieben werden.

Dritter Abschnitt.

Die Brennstoffe der Dieselmachine, Brennstoffkosten und ihre Eignung für die motorische Verbrennung.

a) Allgemeines über die Dieselmachinesbrennstoffe.

Die ersten Dieselmachines wurden mit Petroleum betrieben. Schon die erste Maschine ergab einen weit höheren thermischen Wirkungsgrad, also einen erheblich geringeren Brennstoffverbrauch als alle anderen Verpuffungs-Petroleum-machines.

Heute benutzt man zum Betrieb der Dieselmachine hauptsächlich folgende Brennstoffe:

1. das rohe Erdöl und dessen minderwertige Destillate und Rückstände,
2. die aus den Braunkohlen gewonnenen Öle und
3. die aus der Steinkohle gewonnenen Öle.

Außerdem lassen sich noch zahlreiche aus Pflanzen und Tieren gewonnene flüssige Kohlen-Wasserstoff-Verbindungen in der Dieselmachine verwenden, die aber für Deutschland bedeutungslos sind und deshalb nicht weiter behandelt werden sollen.

b) Das rohe Erdöl und seine Destillate

(vgl. Teil I, S. 64).

Die bei der stufenweisen Destillation des rohen Erdöls erhaltenen Produkte sind:

1. flüchtige Öle (Rohbenzin), Übergangstemperatur 70 bis 150°,
2. rohes Leuchtöl, Übergangstemperatur 150 bis 300°,
3. Schweröl (Gasöl), Übergangstemperatur 250 bis 350°,
4. Rückstände (Masut).

Das Rohbenzin und das Leuchtöl sind für die motorische Verbrennung zu teuer.

Das meistverwandte Treiböl ist das sogenannte „Gasöl“. Es wird so benannt, weil es außer zu Maschinenbetrieben auch noch zur Erzeugung von Ölgas in Gasanstalten Verwendung findet.

Gasöl hat ein spezifisches Gewicht von 0,85 bis 0,88, einen Zündpunkt von rund 250° C und einen unteren Heizwert¹⁾ von 10000 WE/kg. Bei seiner Lagerung und Handhabung besteht im Unterschied zum Benzin keine Explosionsgefahr.

¹⁾ siehe Die thermodynamischen Grundlagen der Wärmekraft- und Kältemaschinen (Sammlung Götschen Band 2)

Die Rückstände der Erdöldestillation, die in Rußland Masut, in Rumänien Pakura, in England und Amerika Liquid fuel heißen und vielfach unter Dampfkesseln verbrannt werden, eignen sich gleichfalls zum Betrieb in der Dieselmachine. Die Zähflüssigkeit derselben zwingt dazu, sie vor Einführung in das Brennstoffventil vorzuwärmen.

Ihr spezifisches Gewicht ist 0,9 bis 0,98, der untere Heizwert 9500 bis 10000 WE/kg.

Die deutschen Rohölerzeugnisse reichen bei weitem nicht aus, den inländischen Markt zu decken.

c) Braunkohlenteeröle.

Aus zahlreichen Braunkohlensorten Deutschlands (namentlich in den braunkohlenreichen Gegenden um Halle a. S.) und des Auslandes werden durch trockene Destillation und Vergasung im Generator Braunkohlenteere gewonnen, die als Nebenprodukte neben anderen Ölen die in der Dieselmachine gut verwendbaren Braunkohlenteeröle, Solaröle und Paraffinöle liefern.

Das Solaröl ist das zwischen 150 bis 200° übergehende Destillationsprodukt. Sein spezifisches Gewicht ist 0,82, sein unterer Heizwert rund 10000 WE/kg.

Paraffinöle (Gasöle) sind die zwischen 200 bis 300° übergehenden Destillationsprodukte. Ihr spezifisches Gewicht ist 0,85 bis 0,95, ihr unterer Heizwert 9800 WE/kg.

d) Steinkohlenteeröle.

Die Steinkohlenteeröle sind ein Nebenprodukt des Steinkohlenteers, der in großen Mengen vor allem in den Hüttenwerksskokereien, in geringen Mengen in den Gasanstalten der Städte gewonnen wird.

Die Destillationsprodukte des Steinkohlenteers sind:

Destillate (rund 45 ‰)				Rückstände (rund 50 ‰)
1. Leicht- öle (1 bis 2 ‰)	2. Mittel- öle (8 bis 10 ‰)	3. Schwer- öle (6 bis 10 ‰)	4. Anthrazen- öle (16 bis 20 ‰)	Pech
Ammoniak- wasser (4 bis 5 ‰)	<i>Treiböl</i> für Dieselmaschinen			

Die aus der Destillation gewonnenen chemischen Grundstoffe, wie Ammoniak, Benzol, Toluol, Naphthalin, finden ungemein vielseitige Verwendung: als Düngemittel (Ammoniumsulfat), als Brennstoffe, zur Herstellung von Sprengstoffen sowie von Anilinfarben, als Riech- und Desinfektionsstoffe, zum Tränken der hölzernen Eisenbahnschwellen und -masten (Kreosotöl). Die Rückstände, das Pech, benutzt man als Bindemittel in der Preßkohlenindustrie, zur Asphaltierung und Dachpappenherstellung.

Die als Treiböl für Dieselmaschinen benutzten Teeröle sind meist eine Mischung von Mittelölen, Schwerölen und Anthrazenöl. Sie haben ein spezifisches Gewicht von 1 bis 1,1 und einen unteren Heizwert von rund 9000 WE/kg.

Vor dem Kriege erzeugte Deutschland sehr viel Steinkohlenteer; große Mengen wurden noch ins Ausland ausgeführt, vor allem in diejenigen Länder, mit denen wir Krieg geführt haben. Da aus dem Teer zum Teil die wichtigsten Sprengstoffe gewonnen werden, waren unsere Feinde während des Krieges gezwungen, ihre eigene Teerölerzeugung, auf die sie bis zum Kriegsausbruch wenig Wert gelegt hatten, zu steigern, so daß sie jetzt in der Lage sein dürften, ihren Bedarf an Teerölen zum großen Teil selbst herzustellen.

Neben der Destillation der Steinkohle im Koksofen und in der Gasretorte besteht noch die Möglichkeit, Kohle bei wesentlich niedrigeren Temperaturen zu vergasen. Die so-

genannte Tieftemperaturverkokung wird bei 500 bis 600° durchgeführt im Gegensatz zur anderen Verkokung bei 1000°.

Die Produkte, die die Tieftemperaturverkokung liefert, sind demnach auch ganz verschieden. Es sind Tieftemperaturteer, Halbkoks, Teerwasser und Gas. Das wichtigste ist der Tieftemperaturteer oder Urteer, der in seiner Zusammensetzung zwischen dem Steinkohlenteeröl und dem Gasöl steht.

e) Brennstoffkosten.

Die Preise für Treiböle unterliegen gewissen Schwankungen. Diese bewegen sich in den Grenzen zwischen 8 bis 12 Goldmark pro 100 kg. Einheimische Gasöle und Teeröle stehen in der Regel in etwa gleichem Preis. Bei einem Gasölverbrauch von 200 g/PSe-Std und einem Preis des Gasöls von 10 \mathcal{M} /100 kg betragen die Brennstoffkosten einer Dieselmachine demnach 2 Pf. für die stündliche Nutzpferdestärke.

Die Brennstoffkosten machen in den meisten Fällen den Hauptteil der Betriebskosten aus. Bei einem vergleichenden Anschlag über die Wirtschaftlichkeit des Ölmaschinenbetriebes wird man natürlich neben den Gesamtanlagekosten für Maschinen und Maschinenraum die Verzinsung und die Abschreibungen, ferner die Kosten der Instandhaltung, für nötige Wasserkühlung, für Schmier- und Putzstoffe und für die Bedienung in Rücksicht ziehen müssen.

f) Eignung der Brennstoffe für die motorische Verbrennung.

Für die Beurteilung der Verwendbarkeit eines Brennstoffes in der Dieselmachine ist die Kenntnis seiner chemischen und physikalischen Eigenschaften von Bedeutung. Die flüssigen Brennstoffe sind Kohlen-Wasser-

stoffe mit mehr oder weniger kompliziertem Aufbau und zerfallen ihrem Molekülaufbau nach im wesentlichen in zwei Gruppen:

1. Aliphatische Treiböle (Paraffine, Olefine, Naphthene). Ihr Wesensmerkmal ist, daß ihre Moleküle leicht zerfallen und sie daher verhältnismäßig leicht entzündbar sind. Es sind die Treiböle, die aus Erdölen und aus der Braunkohle gewonnen werden.

2. Aromatische Treiböle (Benzol-Kohlen-Wasserstoffe). Ihre Moleküle zerfallen schwer, weshalb sie sich auch bedeutend schwerer entzünden. Es sind dieses die aus der Steinkohle gewonnenen Treiböle mit Ausnahme der bei niedriger Temperatur aus der Steinkohle durch Vergasung entstehenden Urteeröle.

Fast alle Brennstoffe enthalten Schwefelverbindungen. Die Verbrennungsprodukte derselben können vor allem in den Auspuffleitungen mit Wasserdampf gemischt Schwefelsäuren bilden, die zu Anfressungen in den Auspuffleitungen führen.

Bei der Verbrennung von Teeröl können Pech- und Koksrückstände entstehen, die sich krustenartig im Zylinder ablagern.

Auch Aschenbestandteile sind gefährlich; setzen sie sich in der Gleitbahn fest, so führen sie zu großem Verschleiß.

Im Brennstoff enthaltenes Wasser bedingt eine Verringerung des Heizwertes und führt leicht zu Aussetzern der Maschine.

Auf Grund der Erfahrungen, die an Ölmaschinen gemacht worden sind, sind an geeignete Dieselmaschinentreiböle folgende allgemeine Forderungen zu stellen:

Sie sollen möglichst frei von mechanischen Beimengungen, Schlamm, Sand usw. sein und keine Mineralsäure enthalten.

Weiter soll betragen:

der mittlere Wassergehalt nicht über 1,5⁰/₀,

der Aschengehalt nicht über 0,05⁰/₀,

der Schwefelgehalt nicht über 1 bis 2⁰/₀,

der Säuregehalt, berechnet als SO₃, nicht über 0,3⁰/₀,

der Verkokungsrückstand nicht über 3 bis 3,5⁰/₀,

der Flammpunkt im offenen Tiegel über 65⁰ C.

Bei gelegentlichen niedrigen Temperaturen sollen sich keine Teile in fester Form absondern und darf keine Erstarrung eintreten.

Vierter Abschnitt.

Verwendung stationärer Dieselmotoren und Vergleich mit anderen Wärmekraftmaschinen.

Sieht man ab von Wasserkraftanlagen und elektromotorischer Betriebskraft, die für bestimmte Fälle in erster Linie in Frage kommen können, so wird man im allgemeinen zwischen den drei Wärmekraftmaschinen, Ölmaschine, Gasmaschine und Dampfmaschine, zu wählen haben. Was früher (Teil I, Seite 124) beim Vergleich zwischen Gasmaschine und Dampfmaschine erwähnt worden ist, paßt im großen ganzen auch bei einer vergleichenden Betrachtung zwischen der Ölmaschine und der Dampfmaschine.

a) Ölmaschine und Gasmaschine.

Die Verwendung von Gasmaschinen beschränkt sich seit Einführung der noch billiger arbeitenden Ölmaschine vorwiegend auf die Fälle, wo industrielle Abgase (Gicht-Koksofengase usw.) oder billige Brennstoffe (Braunkohlen, Torf, Holzabfälle usw.), die leicht in einem Gaserzeuger

vergast werden können, zur Verfügung stehen; es besteht dabei noch die Möglichkeit, wertvolle Nebenprodukte (Stickstoffverbindungen und Öl) zu gewinnen.

Die wegen der hohen Arbeitsdrücke eine besonders sorgfältige Herstellung erfordernde Dieselmachine ist in der Beschaffung teurer als die Gasmaschine. Bei kleineren Anlagen begnügt man sich daher mit den wesentlich billigeren Glühkopfmachines, die allerdings einen höheren Brennstoffverbrauch aufweisen.

Die Vorteile der Ölmaschine gegenüber den früher meist verwandten Sauggasmaschinen sind:

Wegfall der Generatoranlagen und dadurch bedeutend reinlicherer Betrieb, Wegfall der Zündvorrichtung, schnelle Betriebsbereitschaft und leichte Abstellmöglichkeit. Wird von vornherein größter Wert auf gute Instandhaltung gelegt, werden Verschmutzungen und Undichtheiten usw. sofort beseitigt, so benötigt die Dieselmachine außerordentlich wenig, allerdings sehr sorgfältiger Wartung.

b) Dieselmachine und Dampfkraftanlage.

Die ortsfeste Dieselmachine hat sich in den verschiedenartigsten gewerblichen und industriellen Betrieben als Kraftmaschine bewährt. Dieselmachines mittlerer und großer Leistungen finden in Eisenwerken, Pumpwerken, Spinnereien und an vielen anderen Stellen Verwendung.

Ganz besonders verbreitet ist die Dieselmachine als Kraftmaschine für Elektrizitätswerke; sie tritt in den elektrischen Kraftwerken der Städte bis zu Leistungen von mehreren tausend Pferdestärken in scharfen Wettbewerb mit Dampfkraftanlagen, und zwar insbesondere mit der Dampfturbine.

Die Vorzüge der Dampfkraftanlagen sind im allgemeinen: unbeschränkte Größe der Maschinenleistung, ge-

ringe Anlagekosten für gleiche Leistung gegenüber der Dieselmotorenanlage, große Überlastbarkeit, einfache Bedienung und Instandhaltung und Verwendung jeglichen, auch des minderwertigsten Brennstoffes im Dampfkessel. Für die Dampfturbine tritt noch besonders hinzu: Fortfall der Beanspruchung des Fundamentes durch die Massenkraft, die bei der Kolbenkraftmaschine auftreten. Besondere Vorzüge weisen die Dampfanlagen auf, wenn der Abdampf für Heiz- und Fabrikationszwecke Verwendung finden kann.

Als Nachteile sind dagegen zu nennen: die Gefahren und Übelstände des Kesselbetriebes, Kesselreinigung und revision, Aschenabfuhr, Flugaschen- und Rauchbelästigung, Brennstoffverluste beim Kesselanheizen und Abbrand; ferner der große Kühlwasserverbrauch der Kondensationsanlagen.

Die Vorteile der Dieselmotorenanlage sind demgegenüber die teils schon mehrfach hervorgehobenen: weit besserer thermischer Wirkungsgrad, billige Brennstoffkosten, geringer Raumbedarf durch Fortfall der Kesselanlage, sofortige Betriebsbereitschaft, keine Brennstoffverluste beim Stillsetzen der Motorenanlage, keine Flugaschenbelästigung, keine Aschenabfuhr, bequeme Anfuhr und Lagerung größerer Mengen des Brennstoffes, geringer Kühlwasserverbrauch.

Dagegen sind die Anlagekosten vollständiger elektrischer Motorenzentralen bei Verwendung von Dieselmotoren höher als beim Dampfturbinenbetrieb. Die in einer Maschine vereinigte Leistung ist bei Dieselmotoren nicht so groß wie bei der Turbine. Während die allergrößten, bis heute in ortsfesten Dieselmotoren erzielten Leistungen 6000 PSe betragen, sind in einer Dampfturbine bereits 75000 PS erreicht worden.

Endlich wird mit den Abgasen und dem erwärmten Kühlwasser eine wesentlich geringere Heizwirkung erzielt, als mit dem Abdampf der Dampfanlagen.

Aus diesem Grunde wird für die Fälle, wo die Abwärme weitgehende Verwertung finden kann, die Dampfanlage, für ausschließliche Krafterzeugung die Dieselmachine die geeignete Betriebskraft abgeben.

Fünfter Abschnitt.

Dieselmachines als Schiffsmachines.

Allgemeines.

Die Ölmaschine ist in ihren verschiedenen Ausführungsarten als Schiffsmachine durchgebildet worden und gewinnt rasch immer weitere Verbreitung als Antriebsmaschine für Handelsschiffe und Kriegsschiffe (namentlich für U-Boote). Während auf kleineren Schiffen vorwiegend Glühkopfmachines verwandt werden, werden für große Schiffe beinahe ausschließlich Dieselmachines gebaut. Der Dieselmachineschiffsbetrieb hat, was die Sicherheit des Betriebes anbelangt, den altbewährten Dampftrieb erreicht. Die unmittelbare Umsteuerung der Dieselmachine für große Schiffe, ein unbedingtes Erfordernis, bietet heute keine Schwierigkeit mehr. Der höhere Preis der Dieselmachineschiffsmachinesanlage gegenüber Dampfkraftanlagen wird durch viele Vorzüge aufgewogen, von denen die wichtigsten hier kurz aufgeführt sind:

1. Durch den Fortfall der Dampfkesselanlage und des Kohlenbetriebes vereinfacht sich die Bedienung, wodurch an Personal gespart werden kann.

2. Das Dieselmachineschiff ist jederzeit betriebsbereit, ein Punkt, der namentlich für Kriegsfahrzeuge von hoher Wichtigkeit ist.

3. Die Dieselmachinesanlage nimmt weniger Raum ein als die gleich starke Dampfkraftanlage; der frei werdende Schiffsraum kann für Ladezwecke oder erhöhte Personenaufnahme ausgenutzt werden.

4. Der Aktionsradius des Dieselschiffes ist bei Aufnahme des gleichen Gewichtes an flüssigem Brennstoff viermal so groß wie der Aktionsradius des Dampfschiffes mit Kohlenfeuerung; das Dieselschiff könnte also mit einer Brennstoffmenge von demselben Gewicht, wie die Kesselkohlenladung des Dampfschiffes, eine viermal größere Strecke zurücklegen. Handelsschiffe mit Dieselmaschinen brauchen daher zur Treibölübernahme weniger oft Häfen anzulaufen.

5. Der flüssige Brennstoff kann in sonst unbenutzt verlorengehenden Räumen des Schiffes, in den vorderen und hinteren Schiffsräumen, im Doppelboden des Schiffes usw. Platz finden; der nützliche, sonst von der Bunkerkohle eingenommene Platz wird für andere Zwecke erspart.

6. Die Aufnahme des flüssigen Brennstoffes durch Schlauchleitungen von einem höher gelegenen Behälter oder durch Überpumpen von Schiff zu Schiff ist mit keinerlei Schwierigkeiten verbunden, sie kann rasch und ohne Verschmutzungen des Schiffes erledigt werden.

7. Beim Motorschiff erreicht die Raumtemperatur selbst in den Tropen kaum 35° C.

Die Motorschiffe sind heute bezüglich ihrer Gesamtwirtschaftlichkeit den besten und neuesten Dampfschiffen überlegen. Die folgende Zahlentabelle zeigt einen Vergleich zwischen drei Schwesterschiffen, von denen das erste Schiff mit Dampfmaschinen mit Kohlenfeuerung (K), das zweite Schiff mit Dampfmaschinen mit Ölfuerung (Ö) und das dritte mit Dieselmaschinen (M) ausgerüstet war.

Wirtschaftlichkeit der Motorschiffe¹⁾.

Art des Vergleichs	K	Ö	M
Betriebskosten	100	102,5	54,5
desgl. einschl. 15% Verzinsung und Abschreibung	100	104	78,5
desgl. einschl. Instandhaltungskosten .	100	102	80

¹⁾ Siehe Zeitschrift des V. d. I. 1924, S. 435.

Bisher beschränkte sich der Schiffsantrieb mit Dieselmotoren wegen ihrer beschränkten Leistung auf Frachtschiffe. Ihre Leistungen sind aber in den letzten Jahren so gesteigert worden, daß auch große Passagierschiffe öl-motorischen Antrieb erhalten.

Manövrierfähigkeit der Schiffsölmaschinen.

Unter der Manövrierfähigkeit einer Schiffsmaschine versteht man: die Änderungsmöglichkeit ihrer Umdrehungszahl in weiten Grenzen und die Umsteuerbarkeit der Maschine.

Die Einstellung der Umdrehungszahlen für die verschiedenen Fahrstufen erfolgt durch Handregelung der Brennstoffzufuhr; zur Begrenzung der Umdrehungszahl der Maschinen, z. B. beim Austreten der Schiffsschraube aus dem Wasser bei Seegang, dient ein Sicherheitsregler, der bei einer bestimmten oberen Umdrehungszahl die Brennstoffzufuhr drosselt und abstellt.

Für die Umsteuerung sind gewöhnlich für jede Umlaufrichtung besondere Nocken vorhanden, die nebeneinander auf der horizontalen Steuerwelle sitzen; bei der Verwendung nur eines Nockens für jedes Ventil wird die Steuerwelle um einen bestimmten Winkel verdreht.

Bei größeren Maschinen lassen sich die Anlaß- und Umsteuermechanismen nicht mehr von Hand betätigen. Es werden dann luft- oder ölgesteuerte Hilfsapparate notwendig.

Kleinere Maschinen, insbesondere die Glühkopfmotoren, werden ohne Umsteuerung gebaut. Die Drehrichtung der Schraubenwelle ist dann für Rückwärtsfahrt des Schiffes mittels eines Zahnrad-Wendegerätes, wie es bei Automobilen verwendet wird, umzukehren oder die Schraubenflügel selbst werden bei gleichbleibender Umlauf-

richtung der Welle entsprechend der verlangten Richtung verdreht (Wendesrauben). Die Verstellung wird durch Drehen eines Handrades oder mittels eines Druckluftmotors vom Führerstand aus mittels eines Gestänges bewirkt, das im Innern der hohlen Welle bis zur Schraubennabe vorläuft, an der die Flügel drehbar aufsitzen.

Neuzeitliche Ausführungen von Drehflügelschrauben ermöglichen die Umsteuerung von Maschinenkräften bis zu 1000 PS und darüber.

Sechster Abschnitt.

Langsamlaufende Schiffs-Dieselmotoren.

a) Allgemeines.

Für größere Schiffe werden im allgemeinen langsamlaufende, mit Kreuzkopf versehene, einfachwirkende Dieselmotoren gebaut, die in ihrem Aufbau der Schiffsdampfmaschine ähneln.

Viertaktmaschinen werden, um in jeder Kurbelstellung anfahren zu können, mit 6 Zylindern und mit 8 Zylindern, Zweitaktmaschinen mit 4 Zylindern und 6 Zylindern gebaut.

Die Leistung der meistgebauten Schiffsdieselmotoren bewegt sich in den Grenzen von 1100 bis 2000 PSe.

Die Drehzahl soll zur Erzielung eines guten Propellerwirkungsgrades nicht zu weit über den bei Dampfmaschinen üblichen Drehzahlen liegen. Viertaktmaschinen laufen bei Zweiwellschiffen größtenteils mit 100 bis 150 Umdr/Min, werden aber für Einwellschiffe auch bis 85 Umdr/Min gebaut; Zweitaktmaschinen laufen meistens mit 80 bis 100 Umdr/Min. Die Möglichkeit, mit tieferen Drehzahlen zu fahren, ist ein Hauptvorteil der Zweitaktmaschine. Da die mittlere Temperatur im Zylinder derselben wesentlich

höher liegt als bei Viertaktmaschinen, ist es möglich, mit ihnen ohne Auftreten von Aussetzern noch Umdrehungszahlen von 25 bis 30 Umdr/Min zu fahren, während bei Viertaktmaschinen die untere Grenze bei 40 bis 50 Umdr/Min liegt.

Die Maschinen haben ein Schwungrad, das ihnen bei der Betriebsdrehzahl einen Ungleichförmigkeitsgrad von etwa 1:30 erteilt. Der Schraubenschub wird aufgenommen durch ein Drucklager; das bisher übliche Drucklager mit mehreren Druckringen ist fast überall durch das wesentlich kleinere Einscheibendrucklager ersetzt worden, das auch für die größten Anlagen ausreicht. Die Wellenleitung und die Schiffsschraube zeigen gegenüber den Dampfmaschinenanlagen keine Sonderheiten.

Der Bau von großen Schiffsölmaschinen ist von den meisten Dieselmotorenbauenden Firmen sowie einer großen Anzahl von Werften aufgenommen worden.

Von der großen Zahl der Ausführungen können natürlich nur einige wenige Bauarten, vor allem solche, über die dem Verfasser ausführlicheres Material zur Verfügung stand, ausgewählt und hier kurz beschrieben werden.

b) Die Viertakt-Schiffs-Dieselmotoren.

Der übliche Aufbau ist folgender (Fig. 32 u. 33):

Auf der Grundplatte bauen sich meist in der Ebene der Grundlager Ständer, Hohlgußstücke mit viereckigem Querschnitt, auf. Diese sind in der Längsrichtung durch die Tragstücke für die Geradföhrung der Kreuzköpfe verbunden. Die Zylinder sind entweder zu Blöcken von zwei oder drei Zylindern vereinigt oder einzeln miteinander verschraubt.

Um die Zylindermäntel und die Maschinenständer von Zugbeanspruchung zu entlasten, werden vielfach starke

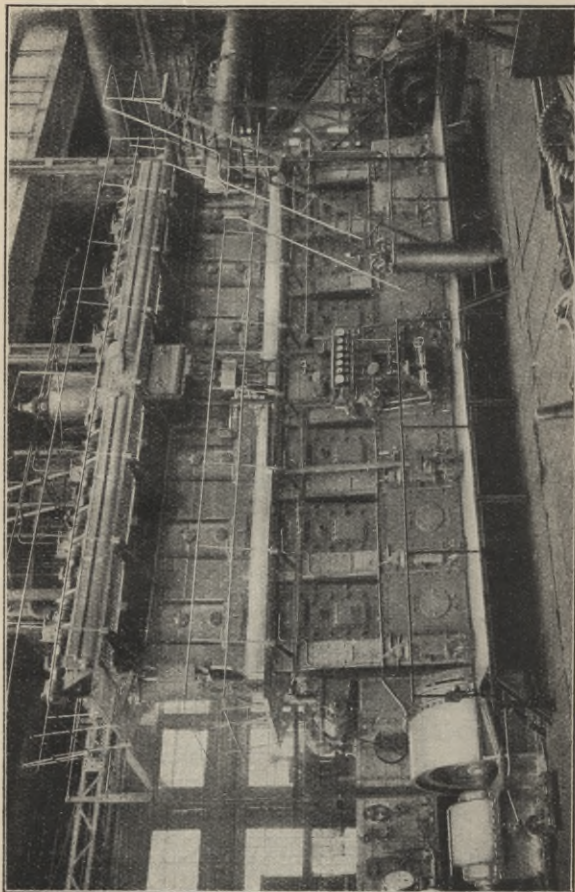


Fig. 32. Umsteuerbare Sechszylinder-Viertaktsschiffsdieselmotoren der Fried. Krupp Germaniawerft, $D=650$ mm, $s=1000$ mm, $n=125$ Umdr./Min, $N_i=1850$ PSi.

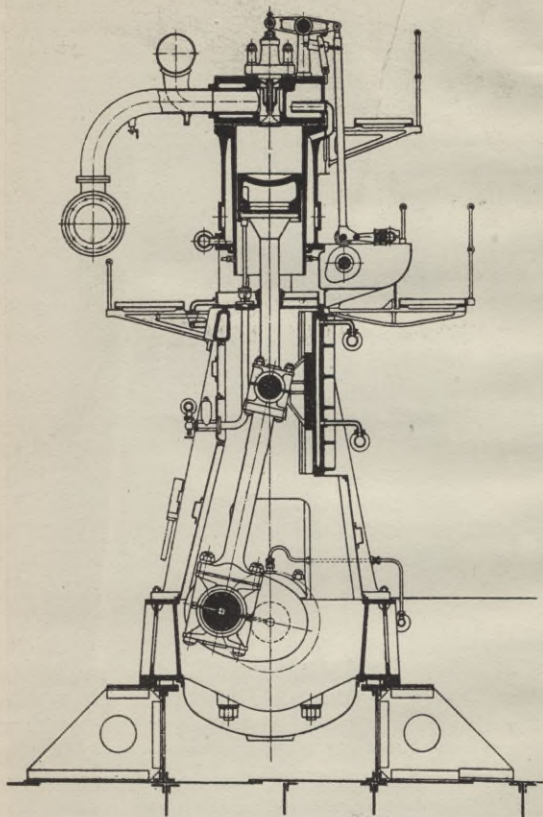


Fig. 33. Umsteuerbare Sechszylinder-Viertaktschiffsdieselmachine von Burmeister & Wain. Ausführung der A. E. G. $D = 630$ mm, $s = 960$ mm, $n = 125$ Umdr/Min., $N_i = 1550$ PSi.

Zuganker vorgesehen, durch die die Kräfte direkt vom oberen Zylindermantelflansch auf die Grundplatte übertragen werden.

Der Kurbelraum ist gegen den Zylinderraum durch eine horizontale Zwischenwand, durch die die Kolbenstange hindurchgeführt ist, öldicht und wasserdicht abgeschlossen.

Die Arbeitskolben tragen oben fünf oder mehr Dichtungsringe. Die Kolben sind außerordentlich kurz; sie besitzen keine oder nur eine kurze Führungsbüchse und sind auf die tellerartig ausgebildete Kolbenstange aufgeschraubt. Das Kühlwasser oder Kühlöl wird jedem Kolben durch sogenannte Posaunen zugeführt. Die eigentliche Posaune ist am Kolben befestigt und taucht in ein Gehäuse ein. Es ist je eine Posaune für das zu- und abfließende Wasser vorgesehen.

Die Kreuzkopfführungen sind einseitig.

Die Pleuelstangen besitzen die im Schiffs-Dampfmaschinenbau üblichen gabelförmigen Köpfe am oberen Ende.

Die Kurbelwelle besteht bei den 6-Zylindermotoren meist aus zwei gleichen Teilen.

Sämtliche Triebwerksteile werden durch Drucköl geschmiert. Das Öl wird durch die Grundlager zugeführt, tritt durch Bohrungen der Wellenzapfen in die hohlgebohrte Kurbelwelle ein, gelangt durch Bohrungen der Pleuelzapfen in die Kurbellager und weiter durch die hohlgebohrte Pleuelstange in die Kreuzkopflager. Das Drucköl wird von einer von der Maschine oder unabhängig angetriebenen Zahnradschmierölpumpe geliefert. Die Verwendung der Druckschmierung macht es notwendig, daß das Kurbelgehäuse nach außen hin öldicht abgeschlossen werden muß, womit allerdings die Möglichkeit, die Triebwerksteile während des Betriebes zu beobachten, verlorenght.

Zylinderbüchse, Kolben und Einblaseluftpumpe werden durch Zylinderschmierpressen geschmiert. Für die übrigen Teile, namentlich die Steuerung, wird die übliche Schmierung (Dochtschmierung) verwandt.

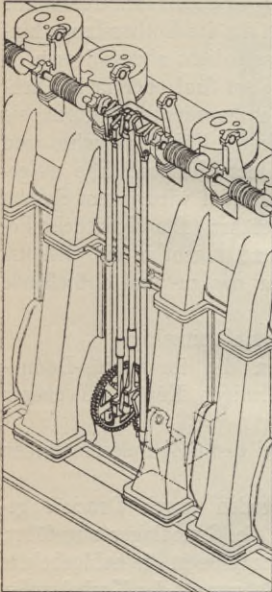


Fig. 34. Steuerwellenantrieb der unsteuerbaren Sechszylinder-Viertakt-Schiffsdieselmachine der Deutschen Werke, Kiel.

Bei den Zylinderdeckeln ist in allen Ausführungen auf die Möglichkeit freier Wärme- dehnung und auf möglichst gute Kühlung geachtet. Im Zylinderdeckel sind Ein- und Auslaßventil, Brennstoff-, Anlaß- und Sicherheitsventil untergebracht. Im Gegensatz zu früheren Konstruktionen ist die Auslaßventilspindel mit Teller meist ungekühlt.

Die Ventile werden über doppelarmige Hebel von den auf die horizontale Steuerwelle aufgekeilten Nockenscheiben betätigt. Der Antrieb der Steuerwelle liegt in der Mitte der Maschine und erfolgt gewöhnlich nicht mehr durch die früher allgemein verwendeten Schraubenräder, sondern durch Stirn- und Kegelräder.

Während bei der Maschine von Burmeister & Wain die auf halber Maschinenhöhe liegende Steuerwelle unter Verwendung reiner Stirnrädervorgelege angetrieben wird, wird bei der Maschine der Germaniawerft die Bewegung zunächst durch ein Stirnrad auf eine horizontale Zwischenwelle und von dieser

über zwei Kegelrädernetze auf die horizontale Steuerwelle übertragen.

Bei der Maschine der Deutschen Werke wird durch ein Zahnradpaar eine Hilfskurbelwelle angetrieben, und zwar so, daß deren Umdrehungszahl nur halb so groß ist wie die der Kurbelwelle. Von der Hilfskurbelwelle aus wird die Bewegung durch zwei Stangen auf eine zweite Hilfskurbelwelle übertragen, deren Achse mit der oberen Steuerwelle zusammenfällt und die mit ihr verschiebbar verkuppelt ist (Fig. 34).

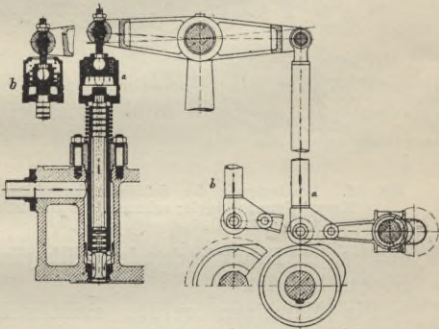


Fig. 35. Anlaßsteuerung der Burmeister & Wain-Schiffsdieselmotore (Ausführung der A.E.G.). a) Steuerung durch Preßluft eingeschaltet, b) Steuerung ausgeschaltet.

Besonderes Interesse verdienen die Anlaßvorrichtungen. Bei der Ausführung von Burmeister & Wain (Fig. 35) besitzt das von den Nocken gesteuerte Druckluft-Anlaßventil jedes Zylinders in der oberen Verlängerung ihrer Spindel einen Hilfszylinder, dessen Kolben mit dem Ventilhebel durch Gelenke verbunden ist. Die Ventilspindel hat eine Bohrung, die den Hilfszylinderraum mit dem Raum oberhalb des Ventiltellers verbindet. Der Kolben (und damit auch der Ventilhebel) wird in Betriebs- und Stoppstellung durch eine starke Feder abwärts gedrückt

und dadurch die Rolle des Hebels vom Nocken abgehoben. Wird Anlaßdruckluft angestellt, so wird die Kraft der Feder über dem Hilfszylinderkolben überwunden, die Rollen wieder auf den Nocken abgesetzt und das Anlaßventil über

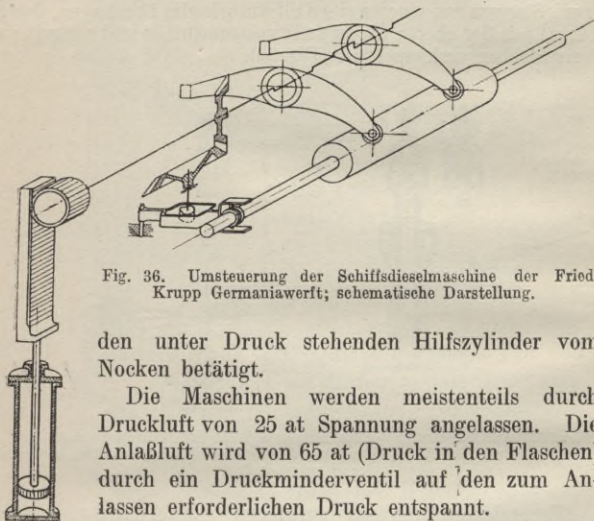


Fig. 36. Umsteuerung der Schiffsdieselmachine der Fried. Krupp Germaniawerft; schematische Darstellung.

den unter Druck stehenden Hilfszylinder vom Nocken betätigt.

Die Maschinen werden meistens durch Druckluft von 25 at Spannung angelassen. Die Anlaßluft wird von 65 at (Druck in den Flaschen) durch ein Druckminderventil auf den zum Anlassen erforderlichen Druck entspannt.

Die Vorrichtungen zur In- und Außerbetriebsetzung der Maschine sind in einem Steuerkasten vereinigt. Dieser wird durch Handhebel oder Handräder bedient, welche gleichzeitig die Brennstoffpumpe beeinflussen.

Der Umsteuerungsvorgang ist allgemein folgender (Fig. 36):

Nachdem die Maschine zuerst auf Stoppstellung gebracht und die Brennstoffpumpe außer Wirkung gesetzt worden ist, werden die Hebelrollen von den Nockenbündeln abge-

hoben, die Steuerwelle verschoben, bis die Nocken der anderen Drehrichtung unter den Rollen stehen, die Hebelrollen auf die Nocken aufgesetzt und die Maschine wieder angelassen.

Die Ventilhebel sind exzentrisch gelagert; durch Drehung der Hebelachse werden die Rollen abgehoben und durch weitere Drehung in derselben Drehrichtung wieder gesenkt.

Die Verschiebung der horizontalen Steuerwelle betätigt beispielsweise ein einarmiger Hebel, der an seinem äußeren Ende mittels Schleifrings an der Steuerwelle angreift und der in seiner Mitte eine auf einer senkrechten Welle sitzende Nockenscheibe umfaßt. Die senkrechte Welle wird von der Hebelachse durch Kegelräder angetrieben.

Die Form der Nockenscheibe ist so gewählt, daß die Verschiebung der Steuerwelle nur während der Höchstlage der Hebelrollen erfolgt.

Zum Umsteuern wird, wie die Fig. 36 deutlich erkennen läßt, Druckluft unter den Kolben des Luftzylinders geleitet; der Kolben und die Zahnstange gehen hoch und drehen die Hebelachse; dabei folgen während der Aufwärtsbewegung die drei Bewegungen Abheben, Verschieben und Aufsetzen automatisch aufeinander.

Unbedingt notwendig ist, daß die Mechanismen für das Anlassen und Umsteuern so gegeneinander verblockt sind, daß nur in Stoppstellung umgesteuert und umgekehrt nur in den Endlagen der Umsteuerung, d. h. wenn sich die Umsteuerung auf voraus oder zurück befindet, die Maschine angelassen werden kann.

Die zur Erzeugung der Einblaseluft notwendige Einblaseluftpumpe ist dreistufig und befindet sich meist am vorderen Kurbelwellenende. Sie besitzt selbsttätige, federbelastete Plattenventile. Zur Abkühlung der Luft zwischen den Stufen und nach der HD-Stufe sind drei

Kühler vorgesehen. Die Luft strömt durch Rohre, die außen durch Wasser gekühlt werden.

Auf die weiteren Einrichtungen, namentlich die Brennstoffpumpe und ihre Regelung, dann den Einblaseluftregler usw., soll, um Wiederholungen zu vermeiden, erst bei Besprechung der raschlaufenden Dieselmotoren näher eingegangen werden, da ihre heutigen Ausführungsformen im wesentlichen an ihnen entwickelt worden sind.

Während für ganz große Leistungen andere Firmen zum Zweitakt übergehen, werden von Burmeister & Wain doppelwirkende Viertaktmaschinen gebaut. Die zur Zeit größte Viertaktmaschine, die für ein Motorschiff bestimmte doppelwirkende 8-Zylindermaschine, soll unter Verwendung von Vorverdichtung der Ansaugluft pro Zylinder 1250 PSe, im ganzen also 10000 PSe leisten.

c) Die Zweitakt-Schiffs-Dieselmotoren.

Im allgemeinen äußeren Aufbau unterscheiden sich die Zweitaktmaschinen von den Viertaktmaschinen dadurch, daß sie für die meisten in Frage kommenden Leistungen statt der sechs nur vier Arbeitszylinder verwenden. Die für die Beschaffung der Spülluft erforderliche Spülpumpe reiht sich entweder an die vier Arbeitszylinder an und wird von der verlängerten Kurbelwelle (Sulzer, Fig. 39) angetrieben, oder sie wird bei anderen Ausführungen an einen Arbeitszylinder angebaut und vom Triebwerk des betreffenden Zylinders aus angetrieben (Germaniawerft — an einem starren vom Kreuzkopf ausgehenden Arm ist die Kolbenstange der doppelwirkenden Spülpumpe befestigt — Fig. 37).

Statt des kurzen Kolbens der Viertaktmaschine ist, da dieser beim Zweitakt die Schlitze am unteren Hubende des Zylinders abzudecken hat, ein längerer Kolben erforderlich.

Entsprechend den verschiedenen Spülverfahren, die früher (S. 62) näher beschrieben worden sind, unterscheiden sich dann weiter die einzelnen Maschinen.

Die in Fig. 37 dargestellte Ausführung der Germania-Werft besitzt Spülventile, und zwar sind in jedem Deckel zwei Ventile eingebaut. Im

Zylinderdeckel sind, um die Reißgefahr zu vermeiden, dünnwandige

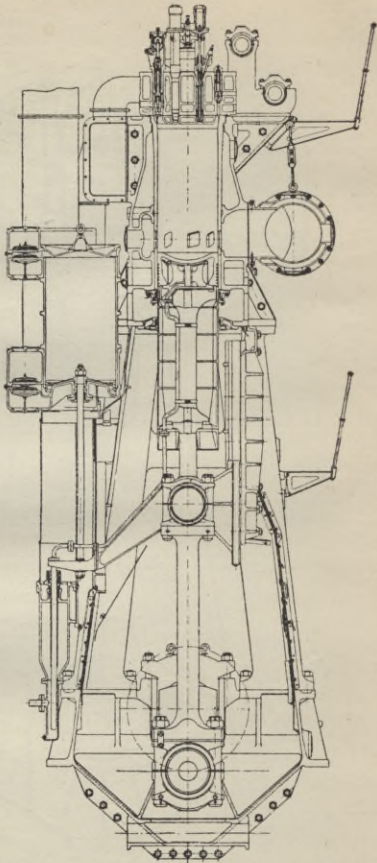


Fig. 37. Umsteuerbare Vierzylinder-Zweitakt-Schiffsdieselmotoren der Fried. Krupp Germania-Werft.
 $D=650$ mm, $s=1300$ mm, $N_i=1880$ PSI, $n=90$ Umdr/Min.

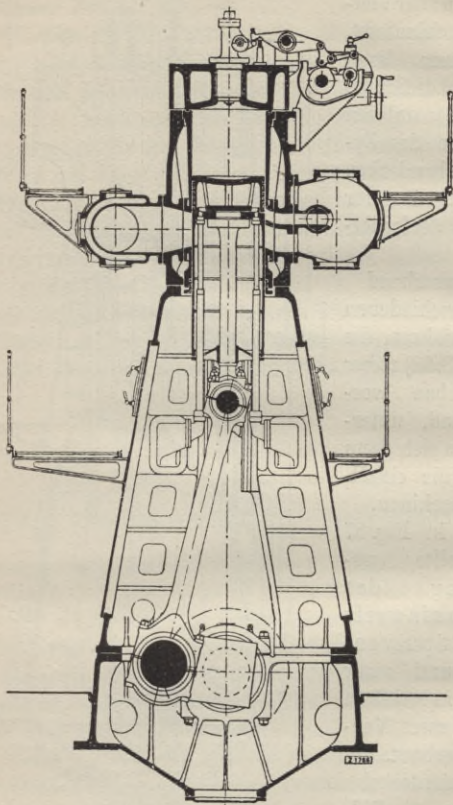


Fig. 38. Umsteuerbare Vierzylinder-Zweitaktsschiffsdieselmachine von Gebr. Sulzer, $N_i=1700$ PSi, $n=100$ Umdr/Min.

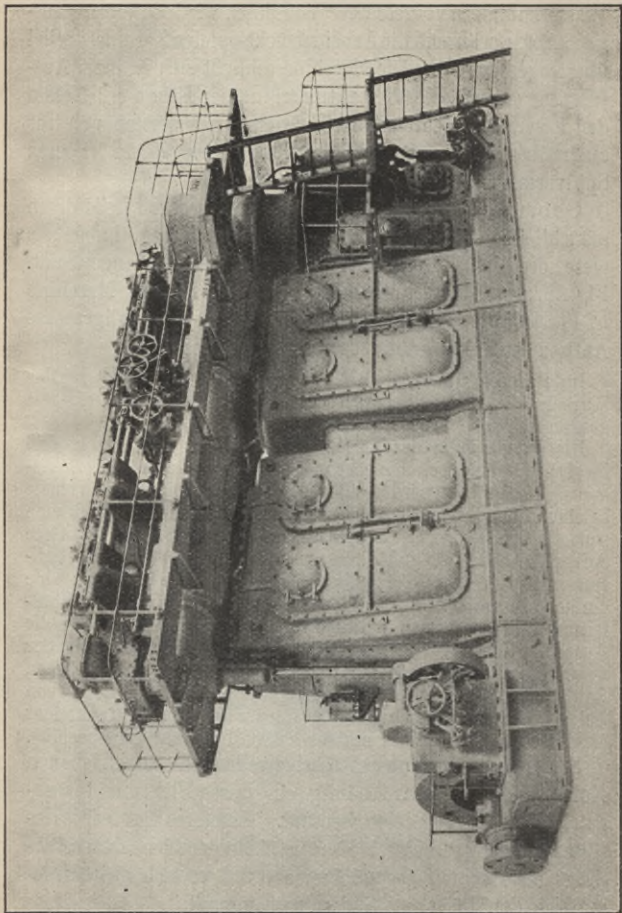


Fig. 39. Umsteuerbare Vierzylinder-Zweitaktsschiffsdieselmotoren von Gebr. Sulzer, $N_i = 1700$ PSI, $n = 100$ Umdr./Min.

Wasserkammern vorgesehen. Von ihnen wird die Wärme aufgenommen, während die Arbeitsdrücke auf den Zylinderdeckel übertragen werden. Die Maschine schließt sich in ihrer Ausführung eng an die Viertaktmaschine der Firma an. Neben den Zweitaktmaschinen mit Ventilspülung werden von ihr auch Maschinen mit Schlitzspülung nach einem eigenen Spülverfahren gebaut.

Gebrüder Sulzer, die seit Jahren für große Leistungen ausschließlich Zweitaktmaschinen gebaut haben, haben als erste die Spülschlitze bei Dieselmaschinen angewandt. Fig. 38 zeigt den Durchschnitt durch eine Sulzer-Maschine u. Fig. 39 die äußere Ansicht derselben. Der allgemeine Aufbau ist daraus ohne weiteres zu erkennen.

Im Gegensatz zu den bisher beschriebenen Maschinen ist das Kurbelgehäuse ein Hohlgußstück; es ist vorn und hinten mit großen Türen versehen.

Die Verwendung der Schlitzspülung macht es möglich, daß im Deckel nur noch die Brennstoff-, Anlaß- und Sicherheitsventile angeordnet werden müssen. Sulzer vereinigt die Ventile in einem Einsatz und erhält dadurch im Zylinder nur noch eine zentrale Öffnung. Der Deckelboden erstreckt sich nur bis an die Außenkante der Ringnut, er kann sich daher nach allen Richtungen frei dehnen. Der Zylinderdeckel bekommt dadurch eine einfache Form. Auf der Vorderseite der Maschine liegt die Spülleitung mit den beiden Spülschlitzeihen, auf der Rückseite die Auspuffleitung mit den Auspuffschlitzen. Bei Besprechung der verschiedenen Spülverfahren ist bereits auf das vor der oberen Spülschlitzeihe liegende Ventil hingewiesen worden. Es ist von Sulzer als Drehschieber ausgebildet worden und dreht sich aus leicht ersichtlichem Grunde nur mit der halben Drehzahl der Maschine.

Statt der vom vorderen Kurbelwellenende angetriebenen Kolbenspülpumpe wird häufig ein durch Elektromotor angetriebenes Turbogebälde benützt. Letzteres hat selbstverständlich ganz erheblich kleinere Abmessungen, dem allerdings als Nachteil gegenübersteht, daß es sich nicht automatisch den Belastungsänderungen anpaßt.

Von der M. A. N., Werk Augsburg, ist eine doppeltwirkende Zweitaktmaschine entwickelt worden, wobei die Erfahrungen an der von derselben Firma für die Deutsche Marine gebauten Zweitaktmaschine von 12000 PSe bei 125 Umdr/Min für Linienschiffe, die auf Verlangen der Entente nach Friedensschluß zerstört werden mußte, Verwendung fanden. Während jene mit Spülventilen versehen war, ist diese mit Schlitzspülung nach dem weiter oben beschriebenen Verfahren der M. A. N. ausgerüstet worden.

Als besonders gutes Spülverfahren haben wir früher die Schlitzspülung von Junkers bezeichnet. Vor dem Kriege sind einige große Schiffsölmaschinen in Deutschland mit diesem Spülverfahren gebaut worden, deren Weiterentwicklung aber durch den Krieg ein Ende gefunden hat. Um so mehr ist das Verfahren im Auslande, namentlich in England und Amerika aufgenommen worden.

Besonderes Interesse verdient die Cammellaird-Fullugar-Maschine (Fig 40). Sie ist eine Zweitaktmaschine mit Junkersspülung, aber abweichendem Triebwerk. Zwei Arbeitszylinder liegen dicht nebeneinander. Der untere Kolben des einen Zylinders ist durch eine schräge Zugstange mit dem oberen Kolben des anderen Zylinders verbunden und

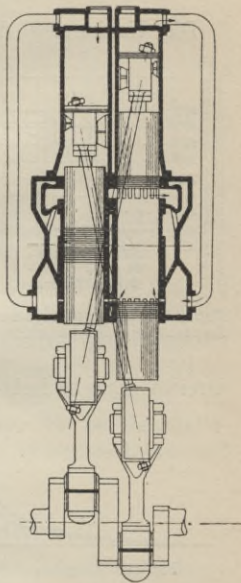


Fig. 40.
Cammellaird-Fullugar-Zweitakt-Schiffsdieselmotors;
schematische Darstellung.

umgekehrt. Es sind dadurch statt der sechs Kurbeln der normalen Junkersmaschine nur noch zwei Kurbeln nötig.

d) Versuchsergebnisse.

Die Konkurrenz der Ölmaschinen bauenden Firmen

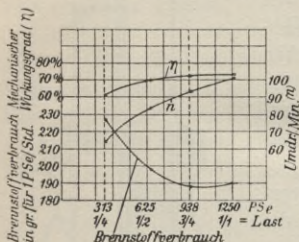


Fig. 41. Brennstoffverbrauch einer Zweitaktschiffsdieselmachine (Sulzer).

sorgt dafür, daß der Verbrauch an Brennstoff und Schmieröl zu einem Minimum wird. Brennstoffverbräuche von 200 g pro PSe bei einem Treiböl mit einem unteren Heizwert von 10000 cal pro kg, was einer Wärmeausnutzung von rund 32% entspricht, stellen keine Paradowerte dar, sondern werden im Dauerbetrieb

erreicht. Eine schlechtere Verbrennung und damit höherer

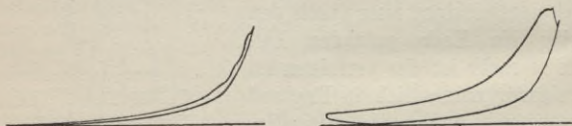


Fig. 42. Diagramme einer Zweitaktschiffsdieselmachine (Sulzer).

Brennstoffverbrauch zeigt sich sofort an einem schlechten Auspuff.

Für eine Zweitaktmaschine (Sulzer) von 1700 PSi zeigt die Fig. 41 den mechanischen Wirkungsgrad, den Brennstoffverbrauch und die den einzelnen Lasten entsprechende Umdrehungszahl, Fig. 42 die zugehörigen Diagramme.

Die Hauptdaten für Vollast sind:

Drehzahl: 101,6 Umdrehungen in der Minute.

Indizierter Druck: 7,18 kg/cm².

Effektiver Druck: 5,27 kg/cm².

Indizierte Leistung: 1721 PSi.

Effektive Leistung: 1264,5 PSe.

Mechanischer Wirkungsgrad: 73,5 %.

Brennstoffverbrauch für 1 PSi/Std.: 138 g.

Brennstoffverbrauch für 1 PSe/Std.: 188,4 g.

Indizierte Luftpumpenleistung: 106,5 PSi = 7,19 % der indizierten Arbeitsleistung.

Indizierte Spülpumpenleistung: 59,28 PSi = 3,44 % der indizierten Arbeitsleistung.

Drücke:

Einblaseluftdruck: 66 at.

Spülluftdruck: 0,135 at.

Die Werte für Viertakt-Schiffsölmaschinen sind diesen Werten ziemlich gleich.

Die Schiffsmotoren müssen in der Lage sein, mit den verschiedensten Ölen zu fahren. Es kommen vor allem für die deutschen Motorschiffe die fünf Treiböle: mexikanisches Öl, Texas-Öl, kalifornisches Öl, persisches Öl und Borneo-Öl in Frage. Daneben sollen aber auch die schwer verbrennlichen Heizöle verbrannt werden. Wie bei den stationären Anlagen ist es dann notwendig, besondere Filter- und Anwärmevorrichtungen einzubauen.

e) Gesamtschiffsanlagen.

Außer den Hauptmaschinen erfordert jedes Schiff mehrere Hilfsmotoren zur Erzeugung von Licht und Kraft an Bord, sowie Hilfsluftpumpen zur Erzeugung von Druckluft für das Anlassen und Umsteuern der Hauptmaschinen. Die Anzahl derselben ist von den Klassifikationsgesellschaften vorgeschrieben.

Die Hilfsmotoren werden, unabhängig von der Hauptmaschine, angetrieben von besonderen Dieselmotoren, meist

etwas rascher laufenden. Für Handelsschiffe mittlerer Größe dienen zur Erzeugung des elektrischen Stromes gewöhnlich mehrere sogenannte Dieseldynamos, jede bestehend aus einer Dieselmachine und einer Dynamo. An einer dieser Maschinen ist meist ein abkuppelbarer dreistufiger Kompressor vorgesehen.

Für die Inbetriebsetzung dieser Maschinen bei völlig erschöpftem Luftvorrat ist ein Notaggregat, bestehend aus einer Glühkopfmachine mit einer Dynamo und einem Kompressor, vorhanden.

Zur Aufspeicherung der Einblase- und Anlaßluft dienen mehrere Druckluftflaschen.

An weiteren Hilfsmaschinen sind, wie bei jeder Schiffsanlage, vorhanden: Kühlwasserpumpen zur Kolben- und Zylinderkühlung, Schmierölpumpen, Treibölpumpen, weiter Lenz-, Ballast-, Waschwasser-, Feuerlöschpumpen, sowie die zum übrigen Schiffsbetrieb erforderlichen Hilfsmaschinen.

Über den bestmöglichen Antrieb dieser Hilfsmaschinen ist schon viel gestritten worden.

Bei den meisten neueren Motorschiffen ist er elektrisch. Beim elektrischen Antrieb bereitet nur die Isolation der auf Deck benützten Elektromotoren mit den Zuführungsleitungen gewisse Schwierigkeiten.

Es wird deshalb auch Dampftrieb, der einen größeren Hilfskessel notwendig macht, oder Druckluftantrieb gewählt. Von den Deutschen Werken Kiel wird ein kombinierter Dampf- und Druckluftbetrieb ausgeführt, d. h. die Arbeitszylinder der Hilfsmaschinen können entweder mit Dampf oder mit Luft oder gemischt betrieben werden.

An weiteren Einrichtungen der Ölmaschinenanlagen sind noch zu erwähnen: der Abhitzekegel in der Auspuffleitung für Heizung und andere Zwecke, durch den sich, wie früher

Hilfsmaschinen und Apparate

Bez.	Gegenstand	Stück	Abmessungen	Leistung
1	Diesel-Dynamo-Kompressor	1	2 Zyl. n = 300; 220 Volt	75 kW, 410 m ³ /Std.
2	Diesel-Dynamo	2	2 Zyl. n = 300;	2 = 75 kW
3	Glühkopf-Dynamo-Kompressor	1	220 Volt	10 kW, 11 m ³ /Std.
4	Umformer für Lichtanlage	1	110 Volt	10 kW
5	Kühlwasserpumpen	2	220/115 Volt; n = 1475	11 m ³ /Std.
6	Schmierölpumpen	2	20 m Förderhöhe	110 m ³ /Std.
7	Treibölpumpe	1	35 m "	20 m ³ /Std.
8	Ballastpumpe	1	28 m "	50 m ³ /Std.
9	Leitz- und Sanitärpumpen	2	14 m "	150 m ³ /Std.
10	Verdampfer	2	10/15/60 m Förderhöhe	20/15/20 m ³ /Std.
11	Kessel	1	14 m ³ Heizfläche; 8 at.	10 m ³ /24 Std.
12	Anfahrluftbehälter	2	2 x 6 m ³ 25 atm.	
13	Einblasluftflasche für Hauptmaschine	2	2 x 200 l	
14	Reserveluftflasche	2	2 x 400 l	
15	Auspuffröhre	2		
16	Preßluftschalldämpfer	1		0,35 m ³
17	Tagestreibölbehälter	2		2 = 6 m ³
18	Meßbehälter f. Treiböl	1		1 m ³
19	Schmieröl- u. Petroleumvorratsbehälter	4		
20	Hauptschaltafel	1		

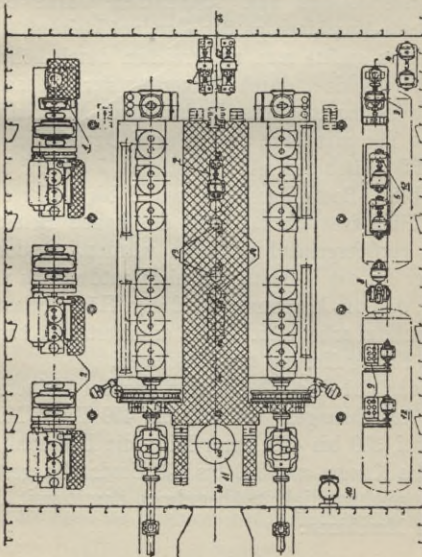


Fig. 43. Maschinenanlage der Doppelschraubenmotorschiffe „Isis“ und „Osiris“. Schiffe gebaut von der Deutschen Werft, Hamburg; Antriebsmaschinen: je zwei Burmeister & Wain-Viertaktschiffsdieselmotoren (Ausführung A. F. G.).

erwähnt, den Abgasen noch eine ziemliche Wärmemenge entziehen läßt, und die im Schornstein liegenden Auspufftöpfe. Eine Anlage der Deutschen Werft Hamburg mit den beschriebenen Einrichtungen zeigt die Fig. 43.

Siebenter Abschnitt.

Schnellaufende Dieselmotoren.

a) Allgemeines.

Der Ansporn, Dieselmotoren, die bei geringstem Gewicht große Leistungen aufweisen, zu bauen, ging vom Unterseebootbau aus. Namentlich wurde bei den ersten U-Boots-Motoren großer Wert auf kleinstes Gewicht gelegt. Dieses suchte man zu erreichen durch höhere Belastung der Maschine, durch Steigerung der Drehzahl und durch Verwendung möglichst hochwertiger Materialien.

Während der mittlere indizierte Druck bei stationären Viertaktmaschinen mit Vollast etwa 7 kg/cm^2 beträgt, wurde er bei U-Boots-Motoren auf 8 bis $8,4 \text{ kg/cm}^2$ erhöht mit Rücksicht darauf, daß die hohen Belastungen doch nur vorübergehend gefahren würden. Andererseits war es aber für die U-Boote, um nicht entdeckt zu werden, notwendig, daß die Maschinen bei diesen Höchstbelastungen absolut rauchfrei arbeiteten. Dieses erforderte eine besonders sorgfältige Einregulierung der Maschinen.

Die Drehzahl der Maschinen lag bei kleineren und mittleren Ausführungen bei 400 bis 450 Umdr/Min, bei größeren bei 350 bis 400 Umdr/Min; die Drehzahl wurde zu Ende des Krieges auf 500 bis 550 Umdr/Min gesteigert. Die Kolbengeschwindigkeit überschritt damit weit die der stationären Maschinen.

Das Verhältnis Hub zu Zylinderdurchmesser, das bei stationären Maschinen etwa 1,5 beträgt, lag bei ca. 1. Zu dieser kurzhubigen Bauart zwang der Raum-mangel im U-Boot. Aus demselben Grunde wurde das Verhältnis von Pleuelstangenlänge zu Kurbel-radius, das bei allen Kolbenmaschinen zwischen 4,5 bis 5 liegt, auf 4,1 bis 4,3 erniedrigt. Bei den raschlaufenden Maschinen machen sich die Massenkräfte, die proportional dem Hub und proportional dem Quadrat der Drehzahl sind, weit stärker bemerkbar als bei langsamlaufenden Maschinen. Die freien Massenkräfte der hin- und hergehenden Triebwerksteile müssen vollständig ausgeglichen sein, um nicht starke Erschütterungen des ganzen Schiffskörpers hervorzurufen. Der sogenannte Schlicksche Massenausgleich erfordert bei gleichen Zylinderdurchmessern und gleichem Zylinderabstand für vollständigen Ausgleich eine 6-Zylindermaschine, was auch die Rücksicht auf das Anlassen bei Viertaktmaschinen verlangt. U-Boots-Motoren wurden daher stets als 6-Zylindermaschinen, mit Ausnahme einiger wenigen 10-Zylindermaschinen, ausgeführt. Nicht ausgeglichen ist die Einblaseluftpumpe, was aber weniger gefährlich ist, da sie einen wesentlich kleineren Hub als die Arbeitszylinder besitzt.

Die Fragen des Massenausgleiches waren, als man an den Bau der U-Boots-Motoren ging, bereits gelöst und bereiteten keine weiteren Schwierigkeiten mehr. Dagegen tauchte ein neues Problem auf, das allerdings auch schon bei Dampfmaschinenanlagen beobachtet worden war, jedoch entfernt nicht in diesem Ausmaße, die Verdrehungs-schwingungen.

Das Auftreten derselben ist folgendermaßen zu erklären: Auf einer elastischen Welle seien zwei Schwungmassen befestigt (Fig. 44), die durch ein Drehmoment um einen bestimmten Betrag

gegeneinander verdreht seien. Läßt man dieses Moment plötzlich verschwinden, so wird das System in Schwingungen geraten, und zwar so, daß, wenn die Masse 1 in Uhrzeigerichtung pendelt, Masse 2 in entgegengesetzter Richtung pendelt, und umgekehrt; es entsteht eine freie Drehschwingung. Die Winkelausschläge α_1 und α_2

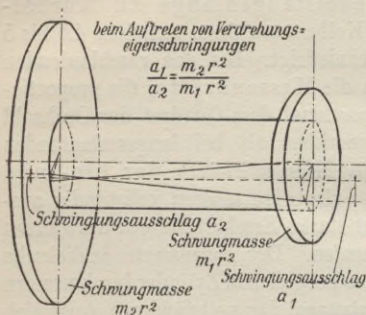


Fig. 44. Schwingungsform der Verdrehungsschwingung eines Zweimassensystems.

der beiden Massen verhalten sich umgekehrt proportional ihrer Größe, d. h. die kleine Masse zeigt den großen, die große Masse den kleinen Ausschlag. Die Anzahl der in der Minute auftretenden Schwingungen wird die Eigenschwingungszahl des Systems genannt; sie ist abhängig von der Elastizität der Welle und der Größe der Massen;

elastischere Wellen und größere Massen bedingen tiefere Eigenschwingungszahlen als steifere Wellen und kleinere Massen. Wirken

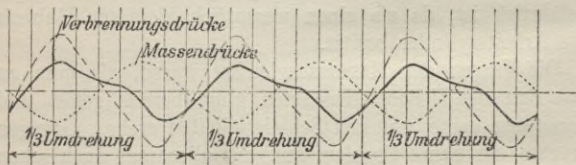


Fig. 45. Tangentialdruckdiagramm einer raschlaufenden Sechszylinder-Dieselmachine $n=400$ Umdr/Min.

nun auf das System periodische Kraftimpulse in derselben minutlichen Anzahl wie die Eigenschwingungszahl ein, so entsteht Resonanz. Die Kräfte verursachen immer größer werdende Ausschläge, die zum Bruch der Welle führen können.

Bei den Maschinen bilden angenähert die Triebwerksteile, auf die die periodischen Impulse ausgeübt werden, die eine Masse, das Schwungrad die andere Masse. Die Größe und die Zahl der periodischen Kräfte ergeben sich aus dem Tangentialdruckdiagramm (graphische Aufzeichnung der im Kurbelkreis wirksamen Umfangskräfte, aufgetragen in Abhängigkeit vom Drehwinkel) der Maschine. Die Figur 45 zeigt das Tangentialdruckdiagramm einer 6-Zylinder-Viertakt-Dieselmotore. Entsprechend den drei Zündungen auf eine Umdrehung sind drei starke Kraftimpulse auf eine Umdrehung zu erkennen, denen sich noch deutlich eine periodische Kraft mit sechs Impulsen auf eine Umdrehung überlagert¹⁾. Ist für eine schnellaufende Maschine mit $n = 400$ Umdr/Min die Eigenschwingungszahl der Welle z. B. 2400 Schw/Min, so tritt Resonanz ein, d. h. es liegt eine kritische Drehzahl vor bei $\frac{2400}{3} = 800$ Umdr/Min und bei $\frac{2400}{6} = 400$ Umdr/Min. Die obere kritische Drehzahl liegt weit über der Betriebsdrehzahl, während die untere mit ihr zusammenfällt.

Einem derartig ungünstigen Zusammenfallen einer kritischen Drehzahl mit der Betriebsdrehzahl wird begegnet durch zweckentsprechende Dimensionierung der Triebwerksteile. Die Verdrehungsschwingungen rufen zusätzliche Beanspruchungen der Wellen von oft über 1000 kg/cm^2 hervor, die zur Ermüdung des Materials und, wie erwähnt, häufig zum Bruch der Wellen führen.

Zur Aufzeichnung der Schwingungen dienen verschiedene Apparate. Der bekannteste ist der von Dr. Geiger stammende Torsiograph, von dem die Schwingungen auf einen laufenden Papierstreifen aufgeschrieben werden (Torsiogramm).

Die Gewichte suchte man zu vermindern durch Verwendung hochwertiger Materialien. Die Kurbelwellen wurden aus bestem Stahl (Nickel- oder Tiegelstahl) hergestellt, während man heute wieder mehr zu normalem Siemens-Martin-Stahl übergeht, weil es inzwischen gelungen ist, die Kurbelwellen genauer zu berechnen. Grundplatte, Kurbelgehäuse und Zylinder der U-Boots-Motoren wurden

¹⁾ Näheres hierüber siehe Literatur über Verdrehungsschwingungen z. B. Wydler, Drehschwingungen in Kolbenmaschinenanlagen.

vielfach in Bronze ausgeführt, da die Gußstücke in Stahlguß leicht Risse zeigten und nicht so dünn wie in Bronze gegossen werden konnten. Während des Krieges, als der Mangel an Nichteisenmetallen ihre Verwendung verbot, ging man jedoch allgemein zum Stahlguß über. Den Stahlgießereien war es gelungen, einwandfreien, dünnwandigen Stahlguß herzustellen; außerdem trat das Gewicht der Maschinen bei den größeren U-Booten etwas in den Hintergrund, so daß wieder stärker konstruiert werden konnte. Das Gewicht der U-Boots-Maschinen betrug 18 bis 28 kg/PSe.

Die Frage, ob der Zweitakt oder der Viertakt zu bevorzugen sei, spielte auch bei den U-Boots-Maschinen eine große Rolle. Die Vorzüge der Zweitaktmaschine, geringes Gewicht und kleinere Abmessungen, waren bei raschlaufenden Maschinen nicht zu erreichen. Die Füllung der Arbeitszylinder mit Frischluft ist bei den kurzen Zeiten, die bei Schnellläufern für die Spülung zur Verfügung stehen, nicht so vollkommen wie bei Viertaktmaschinen, so daß der hohe mittlere Druck des Viertakts nicht erreicht wird ($6,6 \text{ kg/cm}^2$ gegen 8 bis $8,4 \text{ kg/cm}^2$). Außerdem steht bei Zweitaktmaschinen nicht das volle Hubvolumen, sondern nur das Volumen bis an die Auslaßschlitze zur Verfügung. Durch das Hinzukommen der Spülpumpe wird schließlich beim Zweitakt das Gewicht so weit erhöht, daß sich bei ihm keine Gewichtersparnis mehr herausstellt.

Demgegenüber bleibt für Zweitaktmaschinen der Vorzug bestehen, daß sie wegen Wegfalls der wassergekühlten Auslaßventile der Viertaktmaschinen und der Vereinfachung der Steuerung im Betrieb einfacher sind.

Im folgenden sollen nur die in bedeutend größerer Anzahl gebauten schnellaufenden Viertaktmaschinen näher beschrieben werden.

Die Abbildung (Fig. 46) zeigt den Einbau der schnelllaufenden Dieselmotoren in ein U-Boot¹⁾.

Wie bekannt, verwenden die U-Boote zur Überwasserfahrt Ölmotoren, zur Unterwasserfahrt Elektromotoren. Die elektrische Energie wird bei Überwasserfahrt von den Ölmotoren erzeugt und in großen Akkumulatorenbatterien aufgespeichert. Der zweierlei Antrieb und die Kraftaufspeicherungsvorrichtungen erhöhen natürlich unerwünscht das Gewicht des Bootes; doch war die Öl-

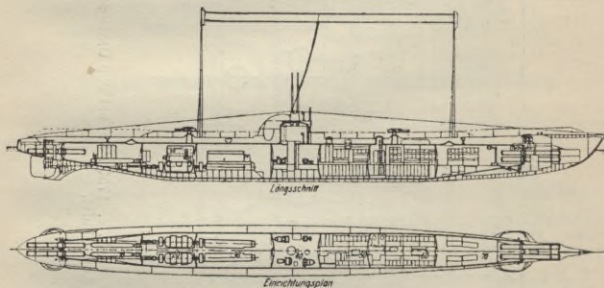


Fig. 46. Durchschnitt durch ein U-Boot.

maschine wegen des Auspuffs für Unterwasserfahrt nicht brauchbar, weil die aufsteigenden Abgase den Standort des Bootes verraten hätten. Die Hauptmaschine arbeitet über eine ausrückbare Reibungskupplung auf die mit einem Doppelrotor versehene E-Maschine und von da über eine weitere ausrückbare Kupplung (Klauenkupplung) auf die Schraubenwelle und die Schraube. Die erste Kupplung ist auszurücken für die Unterwasserfahrt, die zweite Kupplung für reinen Ladebetrieb.

Die Hauptangaben für ein U-Boot, das mit zwei 1200-PSE-Antriebsmaschinen versehen war, sind des allgemeinen Interesses wegen hier beigefügt:

¹⁾ Aus Techel: Die Unterseeboote der Germaniawerft.

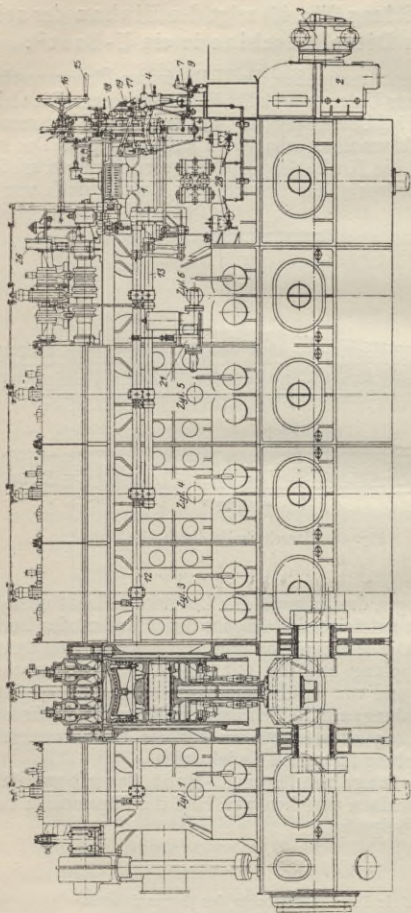


Fig. 47. Schnelllaufende Viertakt Dieselmachine der M. A. N. 1750 PSe bei 380 Umdr/Min $D=530\text{mm}$, $s=530\text{mm}$
Längsschnitt.

Länge über alles	71,552 m
Größte Breite auf Spanten	6,30 „
Durchmesser des Druckkörpers	4,15 „
Verdrängung ausgetaucht, ohne Zusatzbunker	798,3 m ³
Verdrängung untergetaucht	1000 „
Maschinenleistung ausgetaucht	2 · 1200 PSe
Geschwindigkeit ausgetaucht	16 Seemeilen/Std.
Maschinenleistung untergetaucht	2 · 525 PSe
Geschwindigkeit untergetaucht	8,6 Seemeilen/Std.
Fahrbereich ausgetaucht bei 12,5 Seemeilen/Std.	5500 Seemeilen

b) Die schnellaufenden Viertaktmaschinen.

Schnellaufende Viertakt-Dieselmotoren sind

in verschiedenen Größen als 6-Zylindermaschine mit 250, 350, 550, 1200 und 1750 PSe und von der M. A. N. auch als 10-Zylindermaschine mit 3000 PSe in außerordentlich großer Anzahl als U-Boots-Maschinen gebaut worden und nach dem Kriege als stationäre Maschinen verwendet worden.

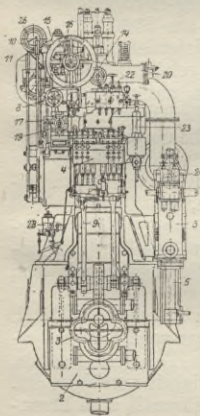


Fig. 48. Ansicht von Fig. 47 gegen vordere Stirnfläche.

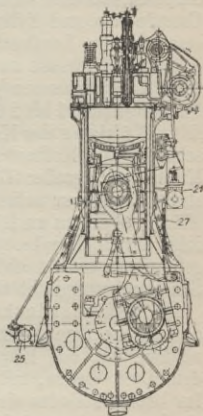


Fig. 49. Zylinderquerschnitt von Fig. 47.

Der Aufbau der von der M. A. N. gebauten Maschinen (Fig. 47 bis 49) ist folgender:

An die sechs Arbeitszylinder reihen sich die beiden Einblasluftzylinder an (1), deren Kurbeln um 180° gegeneinander versetzt sind. An der vorderen Stirnfläche der Maschine liegen die Brennstoffpumpe (4) und symmetrisch zur Maschinenmitte zwei Kühlwasserpumpen (2). Diese werden angetrieben von einer horizontal liegenden gekröpften Welle, die ihrerseits ihren Antrieb durch Schraubenräder von der Hauptwelle aus erhält. Kurz vor diesem Schraubenrad auf der Hauptwelle sitzt der Sicherheitsregler. Ganz vorn liegt eine ZahnradSchmierölpumpe (3), die von der Hauptwelle durch eine lose Klauenkupplung angetrieben wird. Am Gehäuse der Einblasluftpumpe befinden sich gegen außerbords die Luftkühler (5 u. 6).

Um möglichst wenige Teilfugen zu bekommen, ist die Grundplatte hochgezogen worden. Auf sie setzt sich der Zylindermantel, der unten mit einem breiten Fuße versehen ist, ab. Die Zylinder sind seitlich gegeneinander verschraubt, so daß die Maschine eine außerordentlich große Längssteifigkeit erhält. Grundplatte und Zylindermantel bestehen aus Stahlguß. Die eingezogenen Laufbüchsen sind aus Spezialgußeisen.

Der Kolben ist zweiteilig. Der obere gekühlte Kopf trägt 4 bis 6 selbstspannende Dichtungsringe, das untere ungekühlte Führungsstück 1 bis 2 Ölabbstreifringe. Zur Erzielung einer intensiven Kühlung des Kolbenbodens sind die Öldurchtrittsquerschnitte am Kolbenboden klein gehalten worden, damit das Kühlöl mit großer Geschwindigkeit am Kolbenboden vorbeistreicht. Dieser selbst besitzt Kühlrippen, um möglichst viel Wärme abführen zu können. Die Kühlölzu- und -abführung erfolgt durch Gelenke. Kleine Undichtheiten derselben sind ungefährlich, da das abfließende Kolbenkühlöl sowieso mit dem Schmieröl vermischt wird.

Der Zylinderdeckel besitzt nach einem Patente der M.A.N. dicht über dem Deckelboden eine Zwischenwand, um zu erreichen, daß das Kühlwasser am heißesten Teile des Deckels, dem Deckelboden, mit größerer Geschwindigkeit vorbeistreicht. Im Deckel befinden sich das Ein- und Auslaßventil, zwei Brennstoffventile, das Anlaßventil und ein Sicherheitsventil. Das Auslaßventilgehäuse sowie die Spindel mit dem Teller werden mit Wasser gekühlt. Die Zu- und Abführung des Wassers zu der Spindel erfolgt durch Schläuche, wodurch jede Art von Gelenken vermieden wird. Die Brennstoffventile besitzen die vorn beschriebenen Schlitzerstäuber. Die Nadeln der beiden Brennstoff-

ventile werden durch eine gemeinschaftliche Traverse angehoben. Am Angriffspunkt des Brennstoffhebels befindet sich eine Feineinstellung für das Rollenspiel des Brennstoffhebels.

Der Antrieb der horizontalen Steuerwelle erfolgt über zwei Schraubenräderpaare und über die senkrechte Steuerwelle von der Kurbelwelle aus. Die Brennstoffhebel und Anlaßhebel sitzen auf Exzentern, die ihrerseits drehbar auf der Hebelachse gelagert sind. Die Exzenter je dreier Zylinder sind durch Zugstangen mit Umstellwellen (12, 13) verbunden, die durch große Handhebel (10, 11) bedient werden (äußere Endlage: Anlaßstellung; Mittellage: Stoppstellung; innere Endlage: Betriebsstellung). Diese Aufteilung ist notwendig, um gruppenweise auf Betrieb übergehen zu können.

Die Umsteuerung ist wie bei den Handelsschiffmaschinen beschrieben. Auf der horizontalen Steuerwelle sitzen Vor- und Rückwärtsnocken (s. S. 84). Beim Umsteuern werden die Hebel zuerst von den Nocken abgehoben, dann die Steuerwelle verschoben und die Hebel wieder auf die Nocken für die entgegengesetzte Drehrichtung abgesetzt.

Die Maschine zeigt bis in alle Einzelheiten eine sehr sorgfältige konstruktive Durchbildung; ebenso bewundernswert ist die werkstattechnische Ausführung. Folgendes Beispiel soll hier zeigen, welche Anforderungen heute an die mechanischen Werkstätten von Dieselmotoren bauenden Firmen gestellt werden, um einwandfreie Maschinen auf den Markt zu bringen: Besondere Sorgfalt erfordert die Bearbeitung der Kolben. Die Längeneinheit, mit der dabei gemessen wird, bildet hier $\frac{1}{100}$ mm; so muß z. B. das Spiel bei einem Kolben von 350 mm Durchmesser etwa $\frac{35}{100}$ mm betragen. Bei größeren Durchmessern besteht die Gefahr, daß der Kolben heißläuft, bei kleineren Durchmessern, daß er klopft.

Nach Schilderung des Gesamtaufbaues der schnellaufenden U-Boots-Motoren soll noch auf einige

Sonderkonstruktionen

eingegangen werden, die an ihnen entwickelt und heute in dieser Bauart auch für andere Dieselmotoren übernommen worden sind.

Besonderes Interesse verdienen die mit dem Einspritzvorgang im Zusammenhang stehenden Vorrichtungen, die Brennstoffpumpe mit Regulierung und die Einblasedruckregulierung.

Der Körper der Brennstoffpumpe besteht aus einem schmiedeeisernen Block, in dem die Pumpenräume mit den entsprechenden Bohrungen für die Ventile und Rohranschlüsse nebeneinanderliegen. Jede einzelne Pumpe besitzt einen Plunger (1), zwei übereinanderliegende selbsttätige Druckventile (3 und 4), ein Saugventil (2), dessen Schlußzeit vom Regler aus reguliert wird, und eine Handpumpe (5), um die Rohrleitungen mit Brennstoff zu füllen und für das Anlassen der Maschine etwas Brennstoff in das Brennstoffventilgehäuse vorzupumpen. Die Druckventile müssen absolut dicht schließen, damit nicht die Einblaseluft den Brennstoff beim Saughub der Brennstoffpumpe über die Brennstoffleitung und den Pumpenraum durch die geöffneten Saugventile zurückdrückt.

Die Brennstoffpumpe muß von Hand und vom Regler aus eingestellt werden können. Im allgemeinen ist bei Schiffsanlagen der Drehzahlregler nur ein Sicherheitsregler, der vor allem beim Austauschen der Schiffsschraube aus dem Wasser verhüten soll, daß die Drehzahl der Maschine zu hoch geht. Die einzelnen Fahrstufen werden mit der Handregulierung eingestellt. In der Fig. 50 ist die Wirkungsweise der kombinierten Regelung schematisch dargestellt. Wirksam ist von den beiden Regelungen (Sicherheitsregler und Handregulierung) immer die, welche die kleinere Füllung abgibt.

Der Drehpunkt A' des unteren doppelarmigen Hebels steht unter dem Einfluß der Regelung; liegt A' höher, so ist der Hub und die Öffnungszeit des Saugventils größer, die Brennstoffförderung also kleiner, als bei einer tieferen

chend der jeweiligen Belastung, eingestellt wird, oder unter Einfluß der Handregelung und des Drehzahlreglers steht.

Die Fig. 51 zeigt einen derartigen Regler. Die Wirkung des Reduzierventils ist folgende: In dem Raum *A* sind die Drücke auf die Ventilspindel ausgeglichen, da im Raum *A*

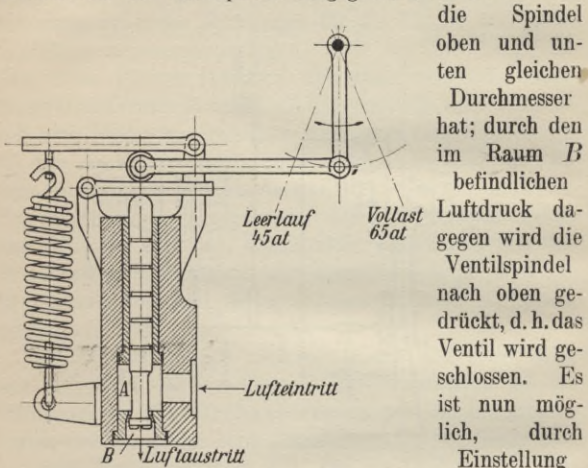


Fig. 51. Einblasedruckregler.

die Spindel oben und unten gleichen Durchmesser hat; durch den im Raum *B* befindlichen Luftdruck dagegen wird die Ventilspindel nach oben gedrückt, d. h. das Ventil wird geschlossen. Es ist nun möglich, durch

Einstellung einer auf die Spindel wirkenden Feder zu erreichen, daß die aus dem Raum *B* abströmende Luft einen ganz bestimmten Druck annimmt, der niedriger ist als im Raum *A*. Strömt zuviel Luft ab, so wird der Druck im Raum *B* sinken, die Feder wird das Ventil weiter aufdrücken und es wird so viel Luft nachströmen, bis der gewünschte Druck in *B* wieder erreicht ist.

Die Abhängigkeit von der Regelung der Brennstofffüllung kann in der in der Skizze dargestellten Weise erreicht

werden. Bei Bewegung der Rolle nach rechts wird der Federdruck auf die Ventilspindel größer; der erforderliche Gegendruck im Raum B muß daher größer sein, d. h. der Einblasedruck wird höher. Die Vorrichtung ist so einzustellen, daß der Einblasedruck, wenn die Rolle links steht (Leerlaufstellung), etwa 45 at, wenn sie rechts steht (Volllaststellung), 60 bis 70 at beträgt.

Außer dem Einblasedruck kann auch noch der Nadelhub der Brennstoffnadel verändert werden; doch soll, da verhältnismäßig selten davon Gebrauch gemacht wird, hier nicht näher darauf eingegangen werden.

Die Einblaseluftpumpe der schnellaufenden Maschinen ist meist dreistufig, HD-, MD- und ND-Stufe. Zur Abkühlung der Luft dienen, wie schon früher beschrieben, zwischen den Stufen und hinter der HD-Stufe liegende Luftkühler.

Die HD- und ND-Stufen gehen nach oben, die MD-Stufe häufig nach unten. Die Drücke werden dadurch ziemlich ausgeglichen. Daß die MD-Stufe unten liegt, hat den Vorteil, daß, da in der MD-Stufe immer Überdruck herrscht, von der Luftpumpe kein Schmieröl angesaugt wird.

c) Die Borddynamos.

Neben den schnellaufenden U-Boots-Motoren wurden bereits vor dem Kriege für Großkampfschiffe elektrische Hilfsanlagen mit schnellaufenden Dieselmotoren als Antriebsmaschinen (kurz Borddynamos genannt) gebaut. Sie sollten ein von der Dampfanlage vollständig unabhängiges Aggregat bilden, um namentlich im Hafenbetrieb elektrischen Strom erzeugen zu können, ohne die Dampfanlage unter Dampf halten zu müssen.

Ein die Dampfleitungen beschädigender Schuß konnte zum Absperren aller Dampfrohre zwingen und bedeutete

damit auch die Außerbetriebsetzung aller elektrisch angetriebenen artilleristischen Einrichtungen. Auch diesem konnte abgeholfen werden durch Aufstellung der genannten Anlagen.

Die Borddynamos waren schnellaufende 6-Zylinder-Dieselmotoren, die, starr gekuppelt mit elektrischen Gleichstromgeneratoren, bei 400 Umdr/Min 300 KW leisteten.

Diese Dieselmotoren wurden von allen größeren Motorenfirmen unter Bauaufsicht des Reichsmarineamts gebaut und besonders eingehend geprüft.

Ihr Aufbau war im wesentlichen derselbe wie der der eben beschriebenen Viertakt-U-Boots-Dieselmotoren.

Besondere Sorgfalt mußte bei den Maschinen mit Rücksicht auf die elektrische artilleristische Einrichtung auf die Drehzahlregulierung gelegt werden. Die Regelung bereitet im allgemeinen bei mehrzylindrigen Maschinen größere Schwierigkeiten als bei solchen mit wenigen Zylindern. Während letztere mit Rücksicht auf die Erzielung eines nicht zu ungünstigen Ungleichförmigkeitsgrades von vornherein ein größeres Schwungrad erhalten, benötigen die mehrzylindrigen Maschinen nur eines kleinen. Eine Maschine mit kleinem Schwungrad ist sehr empfindlich gegenüber Belastungsänderungen. Eine plötzliche Entlastung wird z. B. zur Folge haben, daß die Drehzahl sofort hoch geht, wenn der Drehzahlregler nicht in demselben Moment einwirkt. Hierin liegt die Schwierigkeit. Der Regler kann erst eine Änderung der Füllung hervorrufen, wenn er selbst die einer höheren Drehzahl entsprechende Lage eingenommen hat, wozu selbstverständlich auch eine gewisse Zeit notwendig ist. Die Hauptbedingung für das Gelingen der Regulierung ist also die, daß der Regler so rasch wie möglich hoch geht, d. h., daß er der Maschine so wenig wie möglich nachhinkt.

Zur Untersuchung dieser Verhältnisse an den Maschinen dient der Tachograph. Die von ihm aufgezeichneten Tachogramme lassen die Geschwindigkeitsänderungen bei Belastungsschwankungen deutlich erkennen (Fig. 52 u. 53).

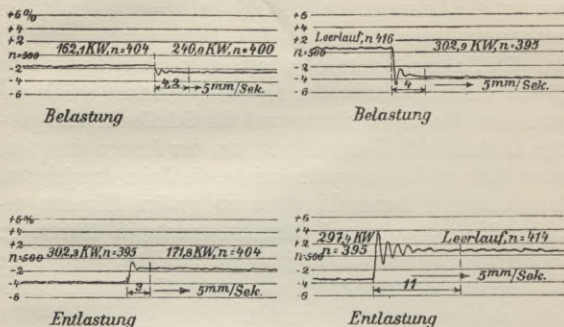


Fig. 52 u. 53. Tachogramme einer schnellaufenden Dieselmotore bei Regulierversuchen.

d) Heutige Verwendung der schnellaufenden Dieselmotoren.

Die U-Boots-Motoren und Borddynamos sind nach dem Krieg für stationäre Zwecke, für Gewerbebetriebe und elektrische Zentralen, speziell als Spitzenmaschinen umgebaut worden und haben als solche große Verbreitung gefunden. Die Drehzahl und Belastung der Motoren ist dabei etwas herabgesetzt worden.

Für Handelsschiffszwecke sind verhältnismäßig wenige übernommen worden. Für die Entwicklung des ölmotorischen Antriebes auf Schiffen bedeutsam sind die beiden

¹⁾ Aus „Schiffbau“ 1921/22 S. 607.

von Blohm & Voß in Hamburg gebauten Schiffe „Havel-land“ und „Münsterland“. Sie besitzen je zwei 10-Zylinder-Viertaktölmaschinen der M. A. N., die als U-Boots-Maschinen bei $n = 390$ Umdr/Min 3000 PSe leisteten und jetzt auf eine Leistung von 1650 PSe bei $n = 230$ Umdr/Min herabgesetzt worden sind. Die Ölmaschinen arbeiten über ein Zahnradgetriebe mit einer Übersetzung 1 zu 2,7 auf die Schraubenwelle; die Schiffsschraube erhält dadurch eine für den Wirkungsgrad der Schiffsschraube günstige Drehzahl (85 Umdr/Min). Bei der Anlage sind zum ersten Male große Zahnradgetriebe, die beim Antrieb von Handelsschiffen durch Turbinen so großen Eingang gefunden haben, auch auf Ölmaschinenanlagen übertragen worden und haben sich bis jetzt gut bewährt; die Schiffe sind bereits mehrere Jahre unterwegs; Zahnabnutzungen haben sich bis jetzt nicht gezeigt.

Einen ähnlichen Weg haben die Vulcan-Werke in Hamburg beschritten. Auch hier soll die Drehzahl der schnelllaufenden Dieselmotoren durch ein Zahnradgetriebe auf die für die Schiffsschraube günstigste Umdrehungszahl herabgesetzt werden. Außerdem werden hier noch Flüssigkeitskupplungen, eine für Vorwärtsfahrt und eine für Rückwärtsfahrt, benutzt; diese arbeiten nach einem ähnlichen Prinzip wie die früher gebauten Föttinger Transformatoren. Das Umsteuern und Manövrieren erfolgt nur durch Auffüllen- oder Ablaufenlassen der einen oder anderen Kupplung. Die Umsteuerung an der Maschine fällt ganz weg. Der Hauptvorteil der Anordnung ist der, daß mittels dieser Kupplung mehrere Maschinen (bis zu 4) auf eine Welle arbeiten können. Eine Anlage, mit zwei nicht umsteuerbaren U-Boots-Motoren versehen, ist auf einem Versuchsschiff der Vulcan-Werke eingebaut worden.

Unmittelbare Verwendung finden die umsteuerbaren raschlaufenden Dieselmotoren auf den Luxus-Motoryachten, wie sie namentlich in Amerika und in Deutschland für amerikanische Abnehmer in großer Anzahl gebaut worden sind.

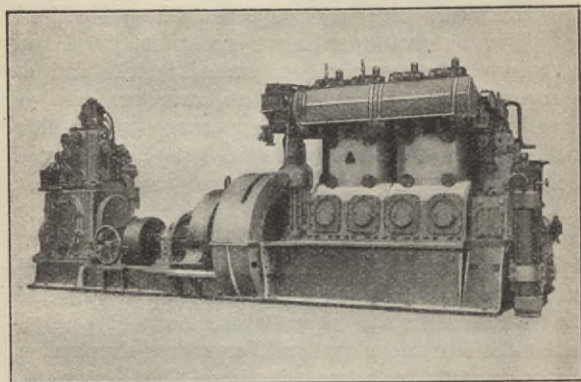


Fig. 54. Vierzylinder-Viertaktmaschine zum Antrieb einer Gleichstromdynamo von 40 KW und eines Luftkompressors von 3 cbm minutlicher Ansaugleistung der Fried. Krupp Germaniawerft. $D=230$ mm, $s=350$ mm, $n=360$ Umdr/Min.

Schnellaufende Ölmaschinen haben ferner weitgehende Verwendung gefunden als Antriebsmaschinen der Hilfsmaschinen auf großen Motorschiffen und zwar in Zwei-, Drei-, Vier-, und Sechs-Zylinderausführungen.

Fig. 54 gibt eine Ausführung, bei der Antriebsmaschine, Dynamo und abschaltbarer Kompressor auf einer gemeinschaftlichen Grundplatte vereinigt sind.

Achter Abschnitt.

Die Michelmaschine.

Eine Dieselmachine mit ganz neuartigem Aufbau ist die von der Michelmotoren-Gesellschaft in Kiel entwickelte Michelmaschine (Fig. 55).

Drei Arbeitszylinder (1) gruppieren sich strahlenförmig um den gemeinschaftlichen Kompressionsraum. Der Kurbeltrieb ist verlassen worden, und an seine Stelle sind die Kurvenbahnen (2 und 3) getreten, zwischen denen der Kreuzkopf (4) mittels Rollenlager zwangläufig geführt wird. Alle drei Kolben bewegen sich fast gleichzeitig nach innen und außen.

Die Maschine arbeitet im Zweitakt mit reiner Schlitzspülung und Steuerung durch die Kolbenkante. Zwei Zylinder besitzen Spülschlitze, der dritte Zylinder Auslaßschlitze. Wie wir früher gesehen haben, war ein Voröffnen der Auspuffschlitze und ein zusätzliches Aufladen bei Zweitakt mit Schlitzspülung nur durch Verwendung einer zweiten, weiter einwärts liegenden, von einem Ventil gesteuerten Spülschlitzeihe möglich. Hier wird dies durch eine derartige Versetzung der Zylinder gegeneinander erreicht, daß im Zylinder mit den Auspuffschlitzen der Kolben etwas eher als die die Spülung steuernden Kolben durch den Totpunkt hindurchgeht; die Auspuffschlitze werden dann früher geöffnet und früher geschlossen als die Spülschlitze. Das Brennstoffventil (5) sitzt zwischen zwei Zylindern und fördert den Brennstoff in den durch den Zylindermantel und die drei Kolbenböden umgrenzten Kompressionsraum. Ähnlich liegt das Anlaßventil.

Besonderes Interesse verdient die Lagerung der ganzen Maschine. Das Zylindergehäuse (6) ist fest mit dem horizontalen Querhaupt (7) verbunden und trägt vorn einen

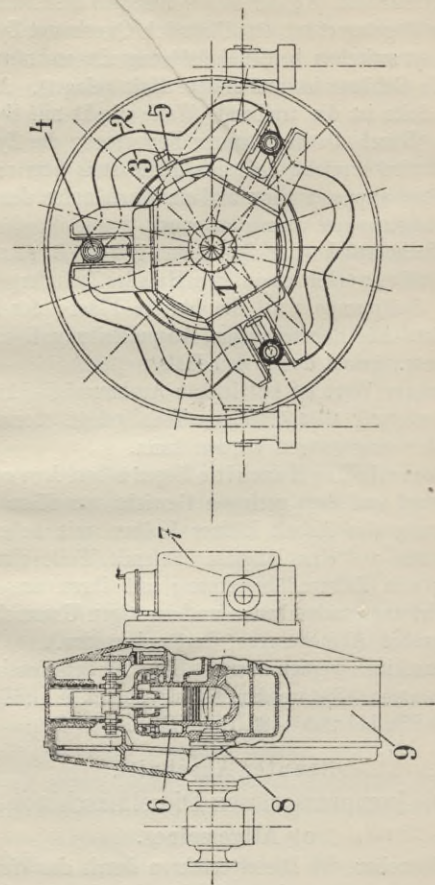


Fig. 55. Michelmaschine der Michelmotorengesellschaft, Kiel. Schematische Darstellung.

zylindrigen Zapfen (8), der in der hinteren Seitenwand des Gehäuses (9) gelagert ist. Das Gußstück, Querhaupt-Zylindergehäuse, ist zwischen beiden halsförmig eingeschnürt. Das rotierende Gehäuse ist auf diesem Hals gelagert. Auf der anderen Seite ist die treibende Welle direkt mit ihm verflanscht. Durch die nicht starre Festsetzung des Zylindergehäuses wird erreicht, daß sich dieses stets dem rotierenden Gehäuse anpassen kann und ein Warmlaufen der gegenseitigen Lagerungen vermieden wird.

Die Nockenstücke zur Steuerung von Brennstoff- und Anlaßventil sitzen auf dem Hals des Zylindergehäuses. Für die Spülpumpe wird die hintere Fläche der Kolben ausgenützt. Alle Rohrleitungen, Auspuffleitung, Brennstoffleitung usw., gehen durch den Hals.

Besonderer Wert ist auf leichte Ausbaumöglichkeit und gute Schmierung aller einzelnen Teile gelegt, worauf hier nicht näher eingegangen werden kann.

Die Vorteile der Maschine liegen neben dem geringen Raumbedarf und dem geringen Gewicht vor allem in der Übertragung der Arbeit kleiner Kolben mit hoher Umdrehungszahl auf eine langsam laufende Welle ohne Vermittlung von Zahnradübersetzung mit ihren unvermeidlichen Wirkungsgradverlusten und sonstigen Unannehmlichkeiten (großen Abmessungen, Geräuschen usw.).

Die Maschinen werden in erster Linie für Schiffsanlagen in Frage kommen. Sie werden heute gebaut in Größen von 20—1000 PSe bei 250 ÷ 80 Umdr/Min.

Neunter Abschnitt.

Die kompressorlosen Dieselmotoren.

a) Allgemeines.

Das Bestreben, das Dieselverfahren durch das Weglassen des Kompressors zu vereinfachen, ist schon lange vorhanden,

und es sind die verschiedensten Wege beschritten worden, dieses Ziel zu erreichen. Ein Bedürfnis zur Vereinfachung besteht vor allem bei kleinen Maschinen, bei denen der Aufwand für den Luftkompressor im Verhältnis zur Maschine stärker ins Gewicht fällt.

Das Verlangen nach einer kompressorlosen Maschine war namentlich im Auslande wegen der mancherlei Betriebschwierigkeiten des Kompressors (leichtes Auftreten von Schmierölexplosionen) besonders groß. In Deutschland war man dieser Schwierigkeiten durch Einführung der drei- und vierstufigen Verdichtung mit jeweiliger Zwischenkühlung Herr geworden.

Die Wirkungsweise der Einblaseluft bei den Dieselmotoren mit Kompressor besteht darin, daß sie den Brennstoff beim Einblasen zerstäubt und in dem Verbrennungsraum eine lebhaftere Wirbelung erzeugt.

Ebenso ist es für vollkommene Verbrennung in der kompressorlosen Maschine ein unbedingtes Erfordernis, daß durch die Einspritzvorrichtung derselben feinste Zerstäubung des Brennstoffes und gleichmäßige Verteilung über den Verbrennungsraum erzielt werden. Nach der Art der Einspritzung sind zu unterscheiden die Vorkammer-Dieselmotoren und die Dieselmotoren mit Strahlzerstäubung.

Bei den Vorkammer-Dieselmotoren wird der Brennstoff in ähnlicher Weise wie beim Dieselmotorenverfahren eingeblasen; statt der Einblaseluft wird, wie bei der Beschreibung der Ausführungen näher erläutert werden soll, ein Teil der Luftladung selbst benützt, die ihren Überdruck gegenüber der übrigen verdichteten Luftladung des Arbeitszylinders durch Vorverbrennung innerhalb einer „Vorkammer“ des Zylinders erhält. Nach diesem Prinzip arbeitet die Bronsmaschine, die Steinbeckermaschine, ver-

schiedene Ausführungen der Motorenfabrik Deutz und Gebrüder Körting.

Bei der Dieselmachine mit Strahlzerstäubung wird der Brennstoff direkt, ohne Unterstützung eines hochgespannten Gases, in den Verdichtungsraum eingespritzt. Sollen die Brennstoffteilchen während des Einspritzens dieselben Geschwindigkeiten wie bei der Arbeitsweise mit Einblaseluft besitzen (bei gleicher Geschwindigkeit kann mit ähnlicher Zerstäubung gerechnet werden), so müssen, da die Brennstoffmenge dem Volumen nach nur etwa $\frac{1}{20}$ der Einblaseluftmenge ist, die Düsenquerschnitte nur $\frac{1}{20}$ der bisherigen Querschnitte betragen, was ganz kleine Bohrungen ergibt und zum Einblasen ganz außerordentlich hohe Drücke (ca. 300 at) erfordert. Der Brennstoff tritt dann in feinen Strahlen in den Verbrennungsraum ein.

Dieses Verfahren ist zuerst von der englischen Firma Vickers, namentlich bei einer großen Anzahl von U-Boots-Maschinen angewandt worden. In Deutschland werden Maschinen nach diesem Verfahren von der Motorenfabrik Deutz, der M.A.N., den Motorenwerken Mannheim vorm. Benz & Co. und anderen gebaut.

b) Die Bronsmaschine.

Die Bronsmaschine, ausschließlich als Kleinmaschine gebaut, eine Erfindung des Holländers Brons, ist bis zu Leistungen von 32 PSe als stehende Einzylinder- bzw. Zweizylinder-Viertaktmaschine ausgeführt worden. In dieser ursprünglichen Form wird sie heute nicht mehr gebaut, jedoch ist dieser Typ außerordentlich verbreitet und bildet den Ausgangspunkt für sonstige Ausführungen.

Die Fig. 56 zeigt den Zylinderkopf mit den notwendigen Ventilen. Das Brennstoffventil besitzt unten eine

Kapsel zur Brennstoffvorlagerung; es wird vom Hebel des Einlaßventiles aus betätigt und wird etwa in gleichen Zeiträumen mit diesem geöffnet.

Die Arbeitsweise der Maschine ist folgende: Beim ersten Takt saugt der abwärts gehende Kolben atmosphärische Luft durch das Ventil *S* in den Zylinder; gleichzeitig tritt eine kleine Menge Brennstoff, nachdem sie die vom Regler beeinflusste Nadel *N*

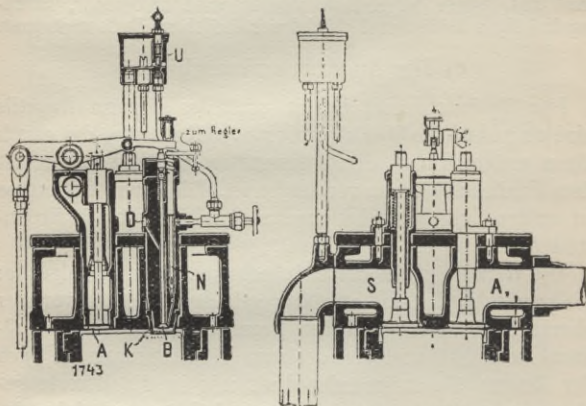


Fig. 56. Brons-Maschine der Gasmotorenfabrik Deutz; Schnitt durch den Zylinderkopf.

A Anlaßventil, *B* Brennstoffventil, *K* Brennstoffkapsel, *N* Brennstoffnadel vom Regler beeinflusst, *D* Luftzutritt zur Brennstoffkapsel, *U* Überlauf-Brennstoffgefäß.

passiert hat, in die Brennstoffkapsel *B* ein, die durch ganz feine Öffnungen mit dem Zylinderinnern dauernd in Verbindung steht. Mit dem Brennstoff gelangt durch den Kanal auch etwas Luft in die Kapsel, um die Verbrennung mit einzuleiten.

Im Betriebe ist die Brennstoffkapsel warm. Der eintretende Brennstoff verdampft daher teilweise, tritt beim Ansaugehub mit Luft vermengt in Dampf- oder Nebelform durch die feinen Öffnungen aus der Kapsel heraus und lagert sich um diese herum. Der einschiebende, aufwärts gehende Kolben verdichtet beim

zweiten Hub die angesaugte Luft, da der Verbrennungsraum sehr klein gehalten ist, bis auf etwa 30 at, so daß am oberen Hubende Selbstentzündung des Brennstoff-Dampf-Nebels außerhalb der Kapsel eintritt. Der Druck steigt dabei explosionsartig bis auf etwa 50 at an. Die Flamme schlägt auch durch die feinen Öffnungen in das Innere der Kapsel und entzündet dort den übrigen Brennstoff, der durch die feinen Bohrungen nach der Zylindermitte zu teils flüssig, teils in verdampftem Zustande herausgeschleudert wird und, indem der Kolben arbeitleistend niedergeht, in unregelmäßigen Stößen und gleichdruckähnlich zu Ende verbrennt.

c) Die Steinbeckermaschine.

Der Zylinderdeckel besitzt statt des Brennstoffventils eine ungekühlte Vorkammer oder Retorte, die durch einen engen Kanal, den sogenannten Schußkanal, mit dem Verdichtungsraum verbunden ist. Die Brennstoffpumpe ist an den Zylinderdeckel angebaut und fördert den Brennstoff direkt in den Schußkanal.

Die Wirkungsweise der Steinbeckermaschine ist folgende: Während der Kolben aufwärts geht, wird kurz vor der oberen Totlage ein Teil des Brennstoffes in den Schußkanal befördert und von der vom Verdichtungsraum nach der Retorte überströmenden Luft mit in die Retorte gerissen; er entzündet sich in der ungekühlten und daher im Betrieb dunkelrot glühenden Retorte, so daß der Druck in dieser auf etwa 65 at ansteigt. Die Verbrennungsgase in der Retorte wirken wie die Einblaseluft bei den Dieselmotoren; sie blasen und zerstäuben den weiter von der Pumpe in den Schußkanal eingepreßten Brennstoff in den Zylinder.

d) Stehende kompressorlose Dieselmotoren mit Strahlzerstäubung (Motorenfabrik Deutz, M. A. N. und Motorenwerke Mannheim A.-G., vorm. Benz).

Im allgemeinen Aufbau zeigen die Maschinen eine gewisse Ähnlichkeit (Fig. 57 u. 58). Die Maschinen arbeiten

im Viertakt. Der Zylinderdeckel trägt die üblichen Ventile. Die Ein-, Aus- und Anlaßventile werden über doppelarmige Hebel und Stoßstangen von den auf der Steuerwelle sitzenden Nocken betätigt. Diese liegt etwa in Höhe

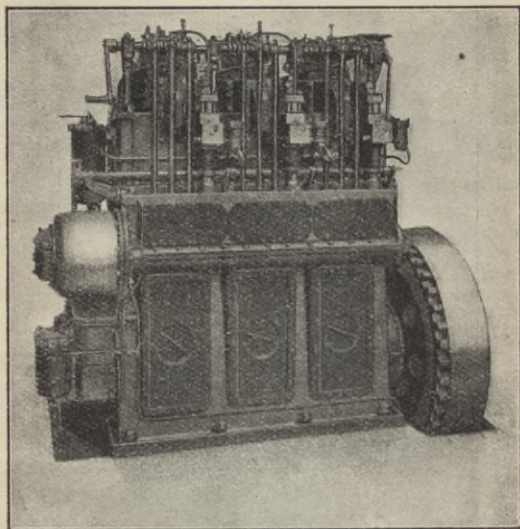


Fig. 57. Kompressorlose Dieselmotoren der M.A.N.

des unteren Zylinderendes und wird von der Kurbelwelle durch Stirnräder angetrieben. Bei der M.-A.-N.-Maschine wird der Brennstoff von der Brennstoffpumpe aus durch einen wenige Millimeter dicken Kanal, der an seinem unteren Ende eine brauseartige, dauernd offene Einspritzdüse trägt, in den Zylinder eingespritzt. Bei der Deutzer

Maschine wird der Brennstoff von der Pumpe unterhalb der unter Federdruck stehenden Brennstoffnadel in den Verdichtungsraum hineingepreßt. Bei beiden Maschinen ist der Kolbenboden mit einer tiefen Mulde versehen,

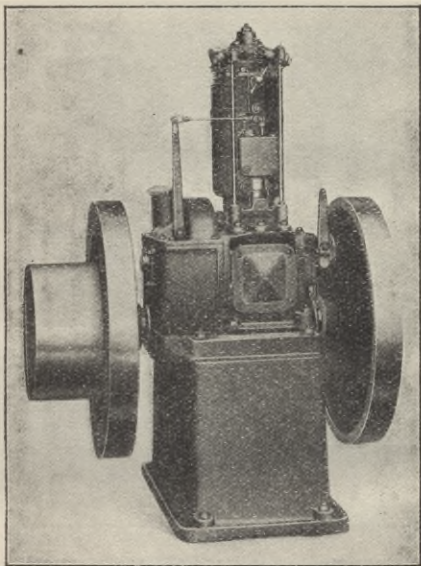


Fig. 58. Kompressorlose Dieselmachine der Motorenwerke Mannheim A.-G. vorm. Benz. $N_e=5,5 \div 9$ PSe bei $n=500 \div 800$ Umdr/Min.

damit den eintretenden Brennstoffstrahlen möglichst lange Luftwege zur Verfügung stehen.

Eine besonders sorgfältige Ausführung bedingt die gegen einen Druck von mehreren 100 at arbeitende Brennstoffpumpe.

Die Anlaßluft wird von einem kleinen angebauten Kompressor geliefert oder wird während des normalen Betriebes beim Verdichtungshub den Arbeitszylindern entnommen und in einem Behälter aufgespeichert.

Kompressorlose Dieselmotoren dieser Bauart werden in den verschiedensten Größen gebaut, von $5\frac{1}{2} \div 9$ PSe bei $500 \div 800$ Umdr/Min bis herauf zu ganz großen Zylinderleistungen. Der Brennstoffverbrauch ist etwa gleich dem der Dieselmotoren mit Luftspritzung ($180 \div 200$ g), nach einzelnen Versuchen sogar noch geringer.

e) Die liegende kompressorlose Verdränger-Dieselmotorenfabrik Deutz.

Die Maschine arbeitet mit Strahlzerstäubung in der-

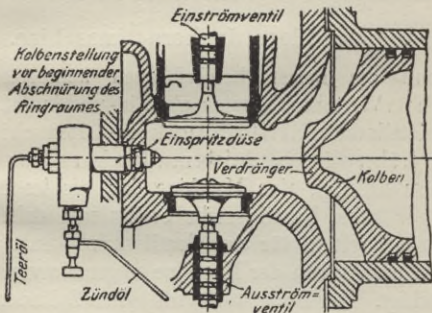


Fig. 59. Kompressorlose Verdrängerdieselmotorenfabrik Deutz.

selben Weise wie die stehende Deutzer Maschine.

Außerdem wird hier durch den sogenannten Verdrängerkolben der Verbrennungsraum in lebhaftem Wirbelung versetzt. Der mit einem Fortsatz versehene Kolben und der Zylinderkopf sind so ausgebildet, daß der Kolben beim

Einwärtsgang einen Teil des Zylindervolumens abzuschöpfen sucht. Da dieser Ringraum fast keinen schädlichen Raum besitzt, so wird in diesem der Kompressionsdruck wesentlich stärker ansteigen; die verdichtete Luft wird durch den noch offenen Ringspalt am Kolbenfortsatz in den Verdichtungsraum überströmen und in ihm eine starke Durchwirbelung hervorrufen, die während der ganzen Brennstoffeinspritzung anhält. Beim Rückwärtsgang des Kolbens übt der abgeschnürte Ringraum eine saugende Wirkung aus und ruft noch weitere Durchwirbelungen des Zylinderinhaltes hervor. Die Maschinen können mit Gasöl und auch mit Benzin betrieben werden.

Die Maschinen werden für Leistungen von $16 \div 125$ PS in einem Zylinder und für 500 PS bei mehreren Zylindern gebaut. Die Figur 59 zeigt den Schnitt durch die Maschine.

f) Die ventillose Junkers-Ölmaschine.

Während die bisher beschriebenen kompressorlosen Maschinen im Viertakt arbeiteten, also Ein- und Auslaßventile bedurften, stellt die ventillose Junkers-Ölmaschine, die nach dem früher näher beschriebenen Junkers-Zweitaktverfahren arbeitet, eine Maschine dar, die im Arbeitszylinder gar keine Ventile mehr besitzt und daher auch keiner Steuerungsteile für den Ventiltrieb benötigt, wodurch sich der Aufbau der Maschine ungemein vereinfacht und verbilligt. Der Brennstoff wird jedem Zylinder durch die Brennstoffpumpe, die am vorderen Wellenende durch Nocken angetrieben wird, in der für die jeweilige Belastung erforderlichen Menge zugemessen. Auch die Anlaßsteuerung wird am vorderen Kurbelwellenende durch Nocken betätigt (Fig. 60).

Das derzeitige Fabrikationsprogramm für die Junkersmaschinen umfaßt stehende Ein- und Zweizylindermaschinen

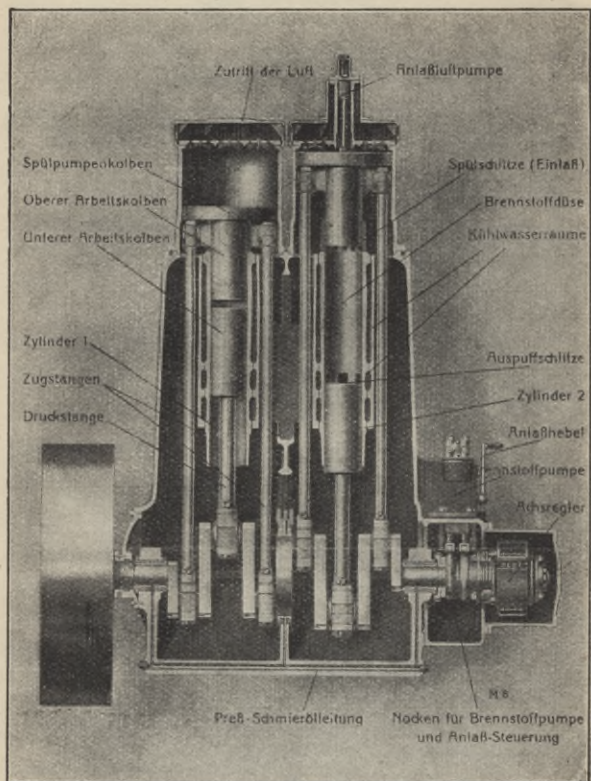


Fig. 60. Kompressorlose Zweizylinder-Junkersdieselmotoren von Junkers Motorenbau, Dessau.

bis zu etwa 200 PS aufwärts. Größere Typen befinden sich in Vorbereitung.

Zehnter Abschnitt.

Die Glühkopfmotoren.

Die Glühkopfmotoren, ursprünglich eine englische Erfindung, wurden zuerst in Schweden und Dänemark betriebsbrauchbar durchgebildet. Heute werden sie auch von vielen deutschen Motorenfirmen gebaut.

In diesen Maschinen werden dieselben Brennstoffe wie in den Dieselmotoren verbrannt; sie arbeiten jedoch mit verhältnismäßig niedriger Verdichtung nach dem Explosions- und nicht nach dem Dieselmotorenverfahren.

Man baut sie meist für kleinere Leistungen, in stehender Anordnung, mit einem oder mehreren Zylindern, vorwiegend als Zweitaktmotoren (6 bis höchstens 50 PS in einem Zylinder).

Ihren Namen tragen die Maschinen nach dem bei ihnen verwandten Glühkopf, der sich während des Ganges der Maschine von selbst rotglühend erhält, jedoch zum Ingangsetzen durch eine starke Flamme mittels einer Heizlampe etwa 10 bis 15 Minuten bis auf Glühhitze angewärmt werden muß.

Unter allen Wärmekraftmaschinen sind sie wohl die einfachsten in bezug auf Bauart, Wirkungsweise und Bedienung, was sie zur Verwendung für kleinere gewerbliche Anlagen und für Fischereifahrzeuge besonders geeignet macht, zumal sie billig in der Anschaffung sind und die Lagerung und Mitführung des Treiböles mit keinerlei Gefahren verbunden ist.

Die üblichen Glühkopfmotoren unterscheiden sich nur wenig in ihrem Aufbau. Ihre Arbeitsweise ist folgende (Fig. 61):

In der oberen Kolbenstellung findet die Explosion statt, die den Kolben nach unten treibt; gleichzeitig wird die

Luft, die beim Aufgang des Kolbens in das Kurbelgehäuse gesaugt ist, komprimiert. Kurz vor dem unteren Totpunkt öffnet der Kolben erst die Auspuffschlitze, wodurch die verbrannten Gase entweichen; danach werden die Spül-schlitze geöffnet, durch welche die im Kurbelgehäuse komprimierte Frischluft in den Zylinderraum einströmt, ihn mit frischer Luft füllt und den Rest der verbrannten Gase durch den Auspuffkanal hinaustreibt. Der aufwärtsgehende Kolben schließt die Spül- und die Auslaßschlitze ab. Nun findet die Einspritzung des Brennstoffes in die Glühhaube statt. Bei der Weiteraufwärtsbewegung des Kolbens wird die Luft oberhalb des Kolbens komprimiert und mischt sich mit den Brennstoffdämpfen. Das Gemisch explodiert und treibt den Kolben arbeitsverrichtend nach unten, worauf das Spiel von neuem beginnt.

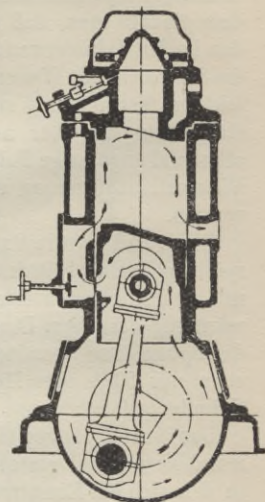


Fig. 61. Schematische Darstellung einer Glühkopfmotorschneidansicht (Maschine der Hanseatischen Motorenwerke).

Der Kompressionsenddruck beträgt 10 bis 11 at, der maximale Explosionsdruck 20 bis 21 at und der Spülluftdruck 0,3 at.

Die größte Schwierigkeit bereitet die richtige Einstellung der Glühkopftemperatur. Um eine sichere Zündung zu erhalten, muß der Kopf mindestens dunkelrot glühend sein, was nach Messung an A.-E.-G.-Maschinen etwa einer Temperatur von 360 bis 380° entspricht. Bei einer Temperatur über 650° rußt die Maschine; vermutlich spaltet sich von

dem eingespritzten Brennstoff Wasserstoff ab, und es verbleibt der unverbrennbare Kohlenstoff in Rußform.

Früher wurde bei Glühkopfmotoren vielfach Wasser eingespritzt. Dieses hatte den doppelten Zweck: die Glühkopftemperatur sollte dadurch geregelt werden; außerdem glaubte man, daß durch den Wasserstoff des sich an den heißen Zylinderwandungen zersetzenden Wasserdampfes die Schweröle mit Wasserstoff angereichert werden, was eine leichtere Verbrennung zur Folge haben sollte. Die Wassereinspritzung ist aber heute, da das eingespritzte Wasser allerhand ungünstige Folgen hatte (Springen der Glühhaube, Wassersteinablagerung usw.), allgemein wieder verlassen worden.

Die Ladung mit Frischluft ist bei der Pleuellkastenreinigung eine verhältnismäßig geringe. Die Verluste durch mit den Abgasen ausströmende Frischluft und durch Erwärmung derselben, Drosselverluste und endlich das durch die Pleuellschlitze verminderte Pleuellvolumen bewirken, daß etwa nur 50% des Pleuellvolumens an Frischluft in den Zylinder gelangt.

Das Einspritzventil besteht im Gegensatz zur Dieselmotore nur aus einem Körper mit einer feinen Bohrung, in dem sich ein Einsatzstück mit schraubenförmigen Nuten und ein federbelastetes Rückschlagventil befinden.

Die Brennstoffmenge wird dem Zylinder durch die Brennstoffpumpe zugemessen; die Regelung dieser erfolgt durch einen Pleuellzahlregler, der direkt den Pleuell der Brennstoffpumpe verstellt, und zwar dadurch, daß zwischen den Pleuellplunger und den Pleuellnocken ein keilförmiges Stück mehr oder weniger tief geschoben wird.

Der Brennstoffverbrauch beträgt bei Vollast etwa 270 g für die PS-Stunde.

Fig. 62 zeigt den Gesamtaufstellungsplan einer stationären Einzylindermaschine und Fig. 63 die äußere Ansicht einer Schiffsmaschine.

Neben der normalen Glühkopfmotore, die, wie bereits

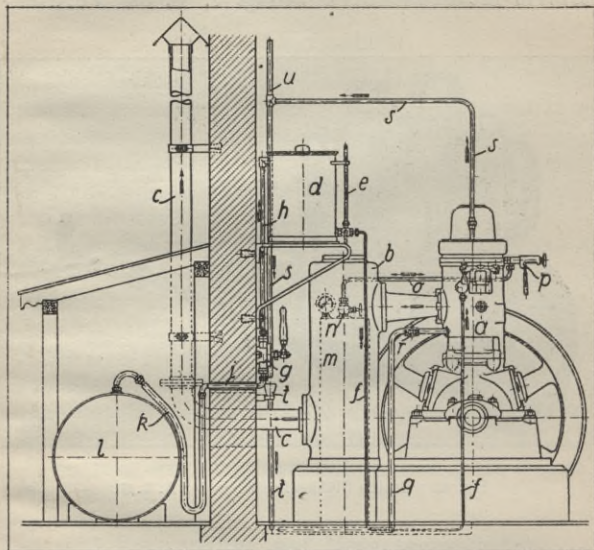


Fig. 62. Aufstellungsplan einer stationären Glühkopfmotore der Erfurter Maschinenfabrik Franz Beyer & Co.

- | | |
|----------------------------|------------------------------|
| a Motor | l Vorratsfaß |
| b Auspufftopf | m Druckluftbehälter |
| c Auspuffleitung | n Absperrventil |
| d Brennstoffbehälter | o Luftanlaßleitung |
| e Ölstand | p Anlaß- und Überströmventil |
| f Brennstoffleitung | q } Kühlwasserzuleitung |
| g Brennstoffeinfüllpumpe | r } Kühlwasserzuleitung |
| h Brennstoffeinfüllleitung | s } Kühlwasserablaß- |
| i } Saugleitung nach dem | t } leitung |
| k } Vorratsfaß | u Entlüftungsrohr |

erwähnt, einen Verdichtungsenddruck von 10–11 at besitzt, werden von einzelnen Firmen Glühkopfmotoren mit höheren Enddrücken, sogenannte Mitteldruckmaschinen, gebaut. Bei einer Ausführungsform der Reform-Motorenfabrik beträgt z. B. der Verdich-

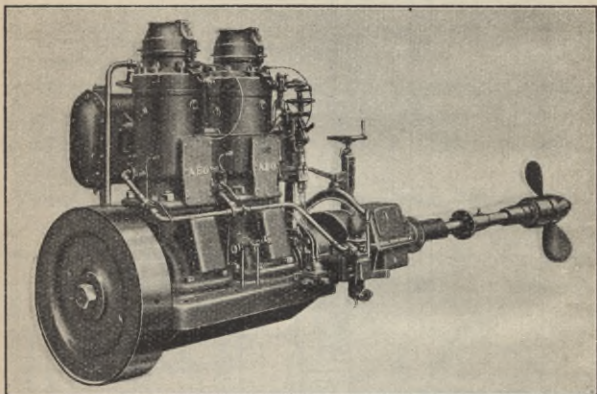


Fig. 63. Schiffs Glühkopfmachine der A. E. G.

tungsenddruck 15–16 at, der Verbrennungsenddruck 26–28 at. Die Diagrammentwicklung ähnelt schon sehr der der Dieselmachine. Die Maschinen haben einen geringen Brennstoffverbrauch. Weiter wird durch den hohen Verdichtungsenddruck eine sichere Zündung auch bei kleinen Lasten erreicht.

Elfter Abschnitt.

Verwendung der Ölmaschinen auf Segelschiffen und Fischereifahrzeugen.

a) Allgemeines.

Die Bedingungen, die an die Maschinen von Segelschiffen und die kleinerer Schiffe zu stellen sind, sind unbedingte Betriebssicherheit, einfache Wartung (auch durch Laien), kleiner Platzbedarf, geringe Anschaffungskosten; der Brennstoffverbrauch und das Maschinengewicht kommen häufig erst in zweiter Linie.

Diesen Bedingungen entspricht für kleinere und mittlere Fahrzeuge in erster Linie die Glühkopfmachine, die, wie die Ausführungen im vorigen Abschnitt zeigten, einen ganz einfachen Aufbau besitzt und im Preis sich etwa auf die Hälfte einer Dieselmachine stellt. An die Stelle der Glühkopfmachine wird bei etwas höheren Ansprüchen an die Wirtschaftlichkeit des Betriebes die kompressorlose Dieselmachine treten, während die Dieselmachine mit Luftspritzung erst für größere Schiffe, auch große Segler, in Frage kommt.

b) Verwendung auf Motorsegelschiffen.

Durch den Einbau von Hilfsantriebsmaschinen, werden beim Segelschiff die mancherlei Nachteile (Ungewißheit der Reisezeit, Schlepperhilfe in Flußmündungen und auf Kanälen), die seiner Verwendung entgegenstehen, beseitigt.

Die Hilfsmachine wird angestellt werden bei Windstillen, flauen Winden oder Gegenwinden und vor allem beim Befahren von Flußmündungen und Kanälen. Weiter wird die Maschine gute Dienste leisten beim Einsetzen eines Sturmes. Der Motorsegler wird längst nicht mehr so hilflos sein wie der gewöhnliche Segler.

Die Maschinengröße wird im allgemeinen so bemessen, daß das Schiff eine Geschwindigkeit von 5÷7 Seemeilen/Std. erhält. Größere Geschwindigkeiten dem Motorsegler zu geben, erscheint zwecklos, da die Maschine dadurch wieder unverhältnismäßig groß und somit teuer in der Beschaffung würde. Die Ölmaschinenart, die gewählt wird, hängt von der Schiffsgröße ab; die großen Schiffe werden Dieselmotoren (mit oder ohne Kompressor), die kleineren Glühkopfmotoren erhalten. Das größte Segelschiff Deutschlands, die Motor-Viermastbark „Magdalene Vinnen“, die eine Tragfähigkeit von 5400 t besitzt, hat z. B. eine Dieselmotoreinheit mit einer Höchstleistung von 550 PSe bei 235 Umdr/Min, die dem Schiff eine Geschwindigkeit von etwa 6 Seemeilen/Std. erteilt. Die Motoreinheit ist nicht umsteuerbar, sondern besitzt eine Wendeschraubenanlage mit Drehflügelschrauben.

c) Verwendung auf Fischereifahrzeugen.

Die Ölmaschine, insbesondere die Glühkopfmotoreinheit, hat ein großes Absatzgebiet im Seefischereibetriebe gefunden. Vor dem Kriege wurden auch in der deutschen Seefischerei viele ausländische Fabrikate, namentlich schwedische, dänische und holländische Motoreinheiten (am bekanntesten sind die Bolinder- und die Kromhout-Motoreinheiten) benutzt; nach dem Kriege wurde in Deutschland der Bau von Glühkopfmotoreinheiten für Fischereifahrzeuge von einer großen Anzahl von Firmen, darunter von mehreren Großfirmen, aufgenommen.

Da bei Fischereifahrzeugen ganz besonderer Wert auf einfache Wartung gelegt wird, so werden in der Hauptsache Einzylindermotoreinheiten, bei größeren Leistungen Zweizylindermotoreinheiten, aber nie Mehrzylindermotoreinheiten verwandt. Vielfach werden die Motoreinheiten bei Fischereifahrzeugen gleichzeitig zum Einziehen der Netze verwandt und erhalten dann vorn im Zusammenhang mit dem Schwungrad noch Seiltrommeln. Die Maschinengröße wird so bemessen, daß das Schiff eine Geschwindigkeit von 4÷5 Seemeilen/Std. erhält. Bei kleineren Geschwindigkeiten ist das Schiff nicht imstande, gegen Stürme vorwärts zu kommen.

III. Die Gas- und Ölturbine.

a) Allgemeines.

Die Technik ist allgemein bestrebt, das Kurbelgetriebe der Kolbenmaschine durch eine reine Drehbewegung unter Anwendung von Schaufelrädern zu ersetzen.

Schnellaufende Wasserturbinen und Kreiselpumpen, Dampfturbinen und Kreiselerdichter für Luft und Gas haben bereits einen hohen Grad von Vollkommenheit erreicht und verdanken diesem schon heute eine weite Verbreitung.

Besonders die Dampfturbine hat die Kolbendampfmaschine — namentlich bei großen Einheiten — fast völlig verdrängt. Ähnlich dem Wettbewerb zwischen Dampfmaschine und Dampfturbine wird in Zukunft ein solcher zwischen der Gasturbine und anderen Großkraftherzeugern einsetzen. Es fällt bei der Verwendung der Gasturbine die Dampfkesselanlage mit ihren unvermeidlichen Verlusten, besonders wenn es sich um reine Kraftherzeugung handelt, fort. Die Vorteile der unmittelbaren Ausnutzung der Brennstoffenergie vereinigen sich mit den Vorzügen, die allen Kreiselmaschinen eigen sind:

Geringer Raum- und Gewichtsbedarf wegen der verhältnismäßig kleinen Abmessungen, einfache Bauart ohne verwickelte Steuermechanismen, ruhiger, gleichförmiger Gang bei hohen Umdrehungszahlen und Wegfall schwerer Fundamente.

Der Arbeitsvorgang einer Gasturbine wird allgemein folgender sein: Gas und Luft werden getrennt auf einen

mehr oder weniger hohen Druck verdichtet und in einer Verbrennungskammer zur Entzündung gebracht; die Brennstoffenergie wird damit frei. Die hochgespannten Gase expandieren in einer Düse, durchströmen mit hoher Geschwindigkeit die Schaufeln eines Turbinenrades und gelangen entspannt ins Freie. Der Verbrennungsvorgang kann sich dabei auf zwei verschiedene Arten abspielen, entweder in gleichmäßiger Fortdauer, der sogenannten Gleichdruckarbeitsweise, oder in rascher Aufeinanderfolge explosionsartiger Einzelverbrennungen, ähnlich dem Arbeitsvorgang der Explosionsmaschinen.

Der erste Weg, der dem Verbrennungsvorgang in der Dieselmachine entspricht, scheint der thermisch vorteilhaftere zu sein: die stetige Treibwirkung auf das Turbinenrad verbürgt einen gleichmäßigen Lauf der Maschine; doch stellen sich der Gleichdruckverbrennung in der Turbine fast unüberwindliche Schwierigkeiten entgegen, da bis heute kein Baustoff für Maschinenteile die Feuertemperaturen auf die Dauer aushält. Bei der Kolben-Verbrennungsmachine treten die hohen Temperaturen nur während der ersten kurzen Strecke des Kolbenhubes auf; bei der darauffolgenden Ausdehnung der Gase hat der Zylinder Zeit, sich bis zu einem gewissen Grade abzukühlen; in der Verbrennungskammer der Gleichdruck-Gasturbine herrschen dagegen dauernd die Feuertemperaturen.

Man hat versucht, die hohen Temperaturen durch Einspritzen von Wasser in die Verbrennungskammer und die Düse herabzumindern (Gasturbine der Société anonyme des turbomoteurs), oder durch ausgiebige Außenkühlung der Kammern den Betrieb zu ermöglichen. In beiden Fällen wird ein beträchtlicher Teil der Brennstoffenergie zur Erwärmung des Wassers anstatt zur Kräftezeugung verbraucht. Auch wirkt das durch Wassereinspritzung ent-

stehende Gemisch von Gas und Wasserdampf, das mit hoher Geschwindigkeit (bis 1300 m/Sek) auf die Turbinenschaufeln trifft, zerstörend auf jeden Baustoff.

Bessere Aussichten für die praktische Verwirklichung bietet offenbar das Explosionsverfahren (Holzwarthsche Gasturbine), bei dem auf die nur sehr kurz dauernde Beaufschlagung durch die heißen Verbrennungsgase eine Periode mit Zuführung kalter Spülluft folgt. Hierbei stellen sich in den Explosionskammern und im Laufradraum mittlere Temperaturen von 400–450° C ein.

b) Die Gleichdruckturbine der Société anonyme des turbomoteurs.

In eine glühende Verbrennungskammer, die ein feuerfestes Futter aus Karborundum besitzt, wird dauernd Brennstoff und Druckluft in einem bestimmten Mengenverhältnis eingeblasen und durch Zündkerzen zur Entzündung gebracht. Die Verbrennungsgase sind noch viel zu heiß für die Laufschaufeln und müssen bis 450° herabgekühlt werden, ehe sie zur Beaufschlagung kommen. Durch diese Abkühlung wird aber der thermische Wirkungsgrad der Turbine so gering, daß die Maschine nur wenig mehr als die Energie für den Betrieb des zur Erzeugung der Druckluft benötigten Kreiselverdichters liefern kann.

c) Die Holzwarthsche Gas- und Ölturbine.

Die Holzwarthsche Gasturbine ist bisher die einzige, deren praktische Anwendung in naher Zeit bevorsteht. Sie arbeitet, wie bereits ausgeführt, nach dem Explosionsverfahren.

Die ersten Versuchsturbinen besaßen eine senkrechte Welle, während die neueren Turbinen mit liegender Welle angeordnet sind. Die Holzwarthschen Turbinen werden

heute von der Thyssen & Co.-A.-G., Abt. Maschinenfabrik in Mülheim a. d. Ruhr, gebaut.

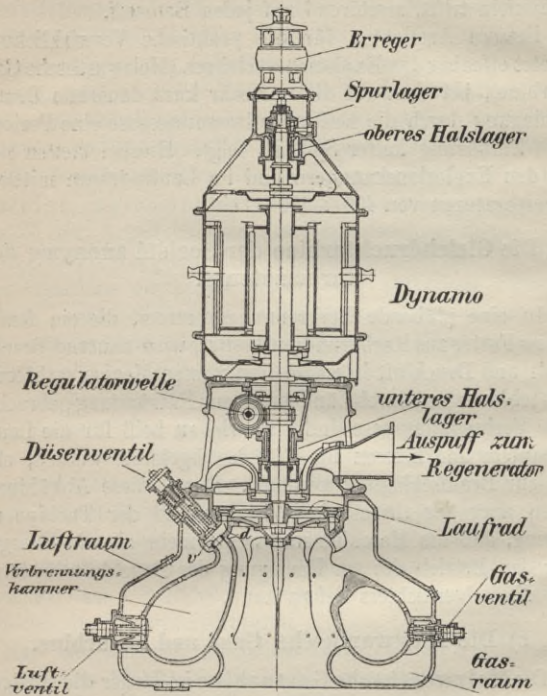


Fig. 64. Die Holzwarth-Gasturbine.

Die Fig. 64 stellt eine Versuchsmaschine dar, die in den Werkstätten von Brown, Boveri & Co. in Mannheim gebaut wurde und bei 3000 Umdr/Min für eine Leistung bis 1000 PS bestimmt war.

Zehn im Kreise angeordnete Verbrennungskammern bilden den unteren Teil der Turbine. Sie haben ungefähr ellipsoidische Form; ihr oberer Teil ist zum Düsenventil ausgezogen. Jede Kammer besitzt ein Lufteinlaß- und ein Gasventil und mehrere auf den Umfang verteilte Zündstellen (Hochspannungszündkerzen). Die Ventile werden durch Drucköl gesteuert, das auf Kolben einwirkt, die auf den verlängerten Ventilspindeln angeordnet sind.

Über der Turbine baut sich, durch ein Laternenzwischenstück verbunden, die Dynamomaschine auf. Das Turbinenrad und der Dynamoanker sitzen auf einer gemeinsamen durchgehenden Welle, die durch ein oben angeordnetes Spurlager gestützt und durch ein oberes und unteres Halslager geführt wird, so daß das Laufrad frei fliegend nach unten hängt.

Der Arbeitsvorgang spielt sich folgendermaßen ab: Durch einen Kompressor irgendwelcher Art (zweckmäßig wird man einen Kreisverdichter wählen) werden die Verbrennungskammern zuerst mit Luft, darauf mit Gas von niedriger Spannung beschickt; der Ventilteller des Düsenventils bleibt hierbei durch Federdruck auf den Sitz *v* gepreßt; die geringe Spannung des Gas-Luft-Gemisches in der Kammer kann die Anpressung nicht überwinden. Wird nach Abschluß aller Ventile das Gemisch durch elektrische Funken zur Entzündung gebracht, dann öffnet der Explosionsdruck selbsttätig das Düsenventil, die gespannten Gase expandieren durch die Düse *d*, treten durch die anschließenden Führungsschaufeln in die Schaufeln des Turbinenlaufrades über, geben hier ihre Energie ab und entweichen dann ins Freie. Das Düsenventil wird während der Expansion und der sogleich darauf einsetzenden Luftspülung durch die Ölsteuerung offen gehalten. Durch das steuernd öffnende Lufteinlaßventil strömt jetzt Spülluft in die Expansionskammer, die die Abgase hinausfegt und dabei die Verbrennungskammer und die Turbinenschaufeln kühlt; gleichzeitig wird die Kammer, während das Düsenventil steuernd schließt, neu mit Luft gefüllt, zu der nach Abschluß des Luftventils durch das öffnende Gasventil Gas aus dem Gasraum unter geringem Überdruck hinzutritt, worauf eine neue Verpuffung des Gemisches stattfindet.

Die Turbine besitzt eine Art Aussetzerregelung in Verbindung mit Drosselung der Gaszuführung.

Bei voller Belastung sind sämtliche Verbrennungskammern mit vollem Gasladedruck in Tätigkeit. Der Abnahme der Belastung entsprechend wird durch Einwirkung des Reglers selbsttätig ein

Teil der Kammern ausgeschaltet; die übrigen arbeiten mit vermindertem Gasdruck, da der Regler gleichzeitig das Drosselventil für den Gaseintritt in den Aufnehmer verstellt.

Die beim Arbeitsvorgang auftretenden Explosionsdrücke betragen bei den heutigen Turbinen $12\div 14$ at, der Ladedruck für Gas und Luft $2\div 3$ at. Die Gase expandieren während eines geringen Bruchteils einer Sekunde bis auf den Atmosphärendruck; daher ist auch der durch Strahlung verlorengelende und durch Leitung an die Wandung abgegebene Wärmebetrag im Verhältnis zur Kolbenmaschine gering. Die Wärme der Abgase wird zwecks Erzeugung der Gebläsearbeit wiedergewonnen. Die Wärmeausnützung der Holzwarthschen Gasturbine kommt der einer Kolbengasmaschine nahe.

Die Versuchsturbine arbeitete mit Kraftgas, das ein Generator lieferte. Die Versuche bei Thyssen in Mülheim werden mit Koksofengas angestellt.

Außer der Gasturbine ist von der Firma Thyssen eine Ölturbine gebaut worden, die ähnlich wie die Gasturbine arbeitet. Das Treiböl wird wie beim Dieselprozeß durch einen Druckluftzerstäuber zentral in die länglichen Verbrennungskammern eingeblasen, nachdem die Kammern mit frischer Druckluft aufgeladen sind. Das Öl-Luft-Gemisch wird durch mehrere Hochspannungskerzen, die tief in die Verbrennungskammern hineinragen, entzündet, während der ganze Inhalt in wirbelnder Bewegung ist.

Die Versuche an den Holzwarthschen Gas- und Ölturbinen werden von der Firma Thyssen dauernd fortgesetzt.

d) Probleme des Gas- und Ölturbinenbaues.

Große Schwierigkeiten stellen sich noch heute dem Bau der Gasturbinen entgegen. Neben der Beherrschung der hohen Temperaturen, worauf bereits vorn hinge-

wiesen worden ist, bildet die Vermeidung der großen Arbeitsverluste durch die Hilfsmaschinen ein Hauptproblem des Gasturbinenbaues.

Die Durchführung des Gleichdruckprozesses erfordert für die Verdichtung und das Überschieben der Arbeitsluft besondere Kompressoren, während bei der Kolbenmaschine die Verdichtung und Verbrennung in einem und demselben Raum vor sich gehen. Durch diese Kompressoren wird ein beträchtlicher Teil der von der Turbine geleisteten Arbeit aufgezehrt, da selbst bei niedriger Vorverdichtung der Wirkungsgrad des Kreisverdichters nicht über 70⁰/₀ liegen wird, im Gegensatz zur Kolbenmaschine, bei der die Verdichtung nahezu verlustlos erfolgt. Auch hier liegen die Verhältnisse bei der nur eine geringe Verdichtung erfordernden Explosionsturbine günstiger als bei der Gleichdruckturbine. An sich ist, wie aus dem Vergleich des Kreisprozesses der Gasmaschine und der Dieselmachine bereits bekannt ist, der Wirkungsgrad des Gleichdruckverfahrens höher als der des Explosionsverfahrens. Ist jedoch die Zeit, während der sich der Explosionsvorgang abspielt, außerordentlich gering, so daß nur wenig Wärme an die Wandung abgegeben werden kann, so steht, wie auch bereits von den raschlaufenden Flugzeugmaschinen her bekannt ist, der thermische Wirkungsgrad des Explosionsverfahrens dem Gleichdruckverfahren kaum mehr nach.

Weiter ist die Energieausnützung im Turbinenlaufrad namentlich beim Explosionsverfahren wesentlich ungünstiger als bei der Dampfturbine. Während der Dampf den Turbinenlaufrädern in gleichem Strome zugeführt wird, erfolgt bei der Gasturbine die Beaufschlagung in kurzen Stößen von einer Dauer von $\frac{1}{10}$ bis $\frac{2}{10}$ Sekunde; die Stoßkräfte sind etwa 20 bis 25mal größer als die mittlere Umfangskraft. Das Laufrad leistet nur Arbeit, solange

es von den Explosionsstößen beaufschlagt wird, während die Spülperiode bremsend auf dasselbe einwirkt.

e) Die Stauber-Turbine.

Die Schwierigkeiten der Materialbeherrschung in bezug auf die Wärme werden umgangen in den sogenannten nassen Gasturbinen. Die Versuche an der Humphrey-Pumpe haben gezeigt, daß es möglich ist, über einer ruhenden Wasserfläche Gas zur Entzündung zu bringen, um damit die Wassersäule zu beschleunigen, ohne daß der Wasserspiegel selbst durch Wellen- oder Spritzerbildungen aufgelöst wird. In dieser Richtung wurden mit großen Mitteln eingehende Versuche angestellt, die sehr günstige thermische Wirkungsgrade gezeitigt haben.

Angeregt durch diese Tatsache wurde versucht, dieselben Vorgänge auf rotierende Maschinen anzuwenden.

Die grundlegenden Untersuchungen von Professor Stauber haben gezeigt, daß es im rotierenden System möglich ist, mittels einer durch Gaskraft in Bewegung gesetzten Wassersäule Energie an eine Turbinenwelle abzugeben.

Diese Turbine besteht in der Hauptsache aus einem Primärrad, das als eine Kreiselpumpe, und aus einem Sekundärrad, das als eine von außen beaufschlagte Radialturbine anzusprechen ist. Die Zellen des Primär- und Sekundärrades sind über eine dazwischen liegende Leitvorrichtung hydraulisch miteinander gekuppelt. Das Wasser erhält durch die über dem Wasserspiegel einsetzenden Zündungen eine pendelnde Bewegung.

In der in Fig. 65 gezeichneten Stellung ist ein in die Zelle 1 eingeführtes Gas-Luft-Gemisch verdichtet, während sich die Zelle 2 am Ende der Expansion befindet, also, wie beim normalen Zweitakt-Schlitzverfahren, kurz vor bis kurz nach dieser Stellung durch Öffnung von Auspuff- und

Spülschlitzen von den Auspuffgasen rein gefegt und mit frischem Gas-Luft-Gemisch gefüllt wird. Das in der Zelle 1 befindliche Wasser wird durch die durch Rotation entstehende Zentrifugalkraft und die bei der Entzündung im Raum 1 entstehenden Gasdrücke durch die Leitvorrichtung arbeitsleistend nach der Zelle 2 gedrückt. Die dem überströmenden Wasser innewohnende Druckenergie wird durch die Leitvorrichtung in Geschwindigkeitsenergie umgesetzt

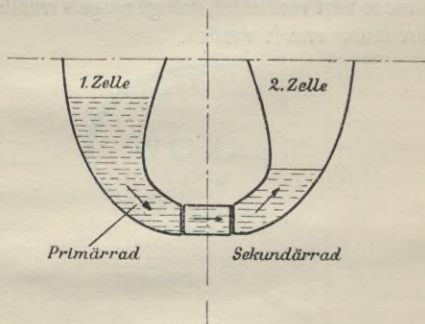


Fig. 65. Die Stauber-Turbine.

und gibt diese, wie bei Turbinen, an die Beschaukelung des Sekundärrades ab. Während die Gase in der Zelle 1 expandieren, wird das in Zelle 2 eingeführte Gas-Luft-Gemisch verdichtet. Nach Beendigung der Kompression könnte nun durch Einleitung der Zündung in 2 derselbe Vorgang stattfinden, nur daß das Rad mit der Zelle 2 jetzt das Primärrad, das mit der Zelle 1 das Sekundärrad wäre.

In Wirklichkeit werden aber durch eine ganz eigenartige Anordnung der Schaufeln, deren genaue Beschreibung im Rahmen dieses Buches zu weit führen würde, die Spülluft und die Gasladung von der einen Seite zugeführt und die

Abgase auf der anderen Seite abgeleitet, während die Zündung durch von beiden Seiten eingeführte Zündkerzen erfolgt.

Ein besonderer Vorteil der Stauber-Turbine besteht darin, daß der sonst bei Gasturbinen übliche Gaskompressor vermieden wird. Durch einen einfachen, nur für wenige Zehntel Atmosphären gebauten Verdichter wird das Ladegemisch in die Turbine eingeführt und in ihr durch die schwingende Wassersäule so weit verdichtet, daß günstige Verhältnisse für die Verbrennung erzielt werden.



Namen- und Sachverzeichnis.

- Abgase 73.
 Abhitzekeßel 94.
 Abreißzündungen 31.
 Abwärmeverwerter-
 anlagen 34.
 A. E. G. 80, 83, 95, 130.
 Anlass n der Großgas-
 maschine 31.
 Anlaßgefäße 51.
 Anlaßluft für kompressor-
 lose Maschinen 123.
 Anlaßsteuerung 83, 124.
 Antrieb der Hilfsmaschinen
 94.
 Arbeitsdiagramm s. Dia-
 gramm
 Ascherslebener Maschinen-
 fabrik 15.
 Aufstellungsplan einer
 Glühkopfmachine 129.
 Ausführung, werkstatt-
 technische 105.
 Ausnützung der Treibgase
 14.
 Beimengungen der Brenn-
 stoffe 70.
 Benzin 66.
 Beyer & Co. 129.
 Blohm & Voß 112.
 Borddynamo 109.
 Borsig, A., Maschinenfabrik
 15
 Braunkohlenschwefelgas 14.
 Braunkohlenteeröl 60, 67.
 Brennstoffaufnahme 75.
 Brennstoffe 65, 93.
 Brennstoffkosten 69.
 Brennstoffnocken 55.
 Brennstoffpumpe 51, 86,
 106, 122, 124, 128.
 Brennstoffventil 51.
 Brennstoffverbrauch 56,
 92, 128,
 Bronsmachine 117, 118.
 Brown, Boveri & Cie. 136,
 Burmeister & Wain 80, 82,
 83, 86, 95.
- Cammellaird-Fullugar-Ma-
 schine 91.
 Deutsche Werft 96.
 Deutsche Werke 82, 94.
 Diagramm der Luft-, und
 Gaspumpe 23.
 Diagramm der Viertakt-
 dieselmaschine 44.
 Diagramm der Viertakt-
 Großgasmaschine 30, 33.
 Diagramm der Zweitakt-
 dieselmaschine 46, 92.
 Diagramm der Zweitakt-
 Großgasmaschine 18, 22.
 Diesel, Rudolf 40, 42.
 Dieseldynamo 94.
 Dieselmachines 40.
 Drehzahl 34, 77, 96, 112.
 Drehzahlregler 106, 110, 128.
 Doppeltwirkende Viertakt-
 maschinen 86.
 Doppeltwirkende Zwei-
 taktmaschinen 91.
 Druckluftflaschen 50, 94.
 Ehrhardt & Sehmer 26, 37.
 Eignung der Brennstoffe 69.
 Einblasedruckregler 56, 86,
 107.
 Einblasegefäße 50.
 Einblaseluftpumpe 50, 85,
 109.
 Einregelung der Diesel-
 maschinen 56.
 Einspritzvorrichtung der
 kompressorlosen Ma-
 schinen 117.
 Entwicklung der Diesel-
 maschinen 41.
 Entwicklung der Grossgas-
 maschine 9, 25.
 Erdgas 14.
 Erdöl 66.
 Fischereifahrzeuge 132.
 Flüssigkeitskupplungen
 112.
- Gasöl 60, 66, 67.
 Gas- und Luftpumpen 16,
 21.
 Gas- und Ölturbine 133.
 Generatorgas 14.
 Gesamtanordnung einer
 Dieselmachinesanlage
 57.
 Gesamtschiffsanlagen 93.
 Gesamtwirkungsgrad 33,
 56.
 Gesamtwirtschaftlichkeit
 75.
 Gichtgas 11.
 Gichtgasreinigung 11.
 Glühkopfmachines 41, 42,
 126.
 Großgasmaschine 9.
 Handelsschiffe 41, 74.
 Hanseatische Motoren-
 werke 127.
 Hilfsantriebsmaschinen
 131.
 Hilfsapparate 76.
 Hilfsmachines 93, 113.
 Hochofengas 11, 14.
 Holzwarthsche Gasturbine
 135.
 Hubverhältnis 97.
 Hüttenwerksbetriebe 37.
 Junkers 18, 65, 91, 124.
 —, Ölmaschine 124.
 Klein, Gebr., Dahlbruch 24.
 Kohlen-Wasserstoff-Ver-
 bindungen 66, 69.
 Koksöfengas 13, 14.
 Kolben 21, 28, 81, 87, 104.
 Kompressorlose Maschinen
 41, 116.
 Körting, Gebr., A. G. 10,
 24, 57, 118.
 Körtings doppeltwirkende
 Zweitaktmaschine 20, 39.
 Kraftgase 14.
 Krupp, Fried., Essen 43, 57.

- Krupp, Fried., Germania-
werft 57, 61, 79, 84, 86,
87, 113.
Kühlung 28, 82, 104.
Kurbelwellen 81, 99.
- Ladepumpe 16, 22.
Landdieselmotoren 41,
48.
Langsamlaufende Schiffs-
dieselmotoren 77.
Leistungserhöhung 34.
Leuchtöl 66.
Liegende Dieselmotoren
57.
Liquid fuel 67.
Lokomotivbetrieb 42.
Luftkühler 86, 109.
Luftpumpe 50, 85, 109.
- M. A. N., Werk Augsburg
43, 49, 64, 91, 103, 112,
118, 120.
— Werk Nürnberg 10, 26.
Manövrierfähigkeit 76.
Massenkräfte 97.
Masut 66.
Materialien 99.
Mechanischer Wirkungs-
grad 32, 56, 92.
Michelmotoren 114.
Michel-Motoren-Gesell-
schaft 114.
Mitteldruckmaschinen 130.
Mondgas 14.
Motorenfabrik Deutz 118,
120, 123.
Motorenwerke Mannheim,
vorm. Benz 118, 120,
Motorjachten 113.
Motorschiffe 41, 74, 93, 131.
- Nadelhubregulierung 109.
- Öchelhäuser-Zweitakt-
maschinen 10, 15, 39.
Offene Düse 57.
Ölmaschinen 40.
Ölturbine 138.
- Pakura 67.
Paraffinöl 67.
Passagiermotorschiffe 76.
Pilzkolben 61.
Plattenzerstäuber 52.
Preis 72, 73, 74, 131.
- Probleme des Gasturbinen-
baues 138.
Pumpenarbeit 32.
- Reform-Motorenfabrik
130.
Regelung 22, 29, 86, 106,
128.
Regulator 51, 110.
Rohölmaschinen 40.
Rückstände 66.
- Schiffsdieselmotoren 74.
Schiffsglühkopfmaschinen
129.
Schlitzspülung 16, 20, 45,
62, 90, 91, 114, 127.
Schlitzzerstäuber 54.
Schmierung 81.
Schnellaufende Diesel-
maschinen 96.
— Viertaktmaschinen 103.
Schweröl 66, 68.
Segelschiffe 131.
Selbstzündung 40.
Siegener Maschinenbau-
A.-G., vorm. A. & H.
Oechelhäuser 24, 38.
Société anonyme 134, 135
Solaröle 67.
Spülluftdruck 17, 23, 64,
127.
Spülpumpe 45, 86.
Spülverfahren 35, 62, 87,
127.
— von Junkers 65, 91.
— von M. A. N. 64.
— von Sulzer 63.
Stauber-Turbine 140.
Steinbeekermaschine 117,
120.
Steinkohlenteeröl 60, 67.
Steuerwellenantrieb 82,
105.
Strahlzerstäubung 117, 120,
123.
Sulzer, Gebr., A. G. 63,
86, 90, 92.
- Tachogramm 111.
Tangentialdruckdiagramm
98.
Teerölmotoren 60.
Thyssen & Co., Abt. Ma-
schinenfabrik 26, 136.
Tiefemperaturteer 69.
Treibgase 11, 14.
- Treiböle 65, 93.
Triebwerksausnutzung 24.
Turbogebläse 90.
- U-Boot 41, 101.
U-Boots-Motoren 96.
Umsteuerung 76, 84, 105.
Urteer 69.
- Ventilspülung 45, 62, 87.
Verdrängerdieselmotoren
123.
Verdrehungsschwingungen
97.
Vergleich der Wärmekraft-
maschinen 71.
— von Zweitakt und Vier-
takt 19, 31, 47, 100.
Versuchsergebnisse 92.
Vickers 118.
Viertakt-Dieselmotoren
43, 48.
Viertakt-Großgas-
maschinen 24, 39.
Viertakt-Schiffsdieselmotoren
78.
Vorkammerdieselmotoren 117.
Vorschriften für Treiböle
70.
Vorverdichtung 86.
Vorzündung 12, 15.
Vulcanwerke, Hamburg
112.
- Wärmeausnutzung der
Dieselmotoren 47, 57,
92.
Wärmeausnutzung der
Gasmaschinen 12, 13, 33.
Wärmeausnutzung der
Gasturbinen 138
Wassereinspritzung 128.
Wasserkammern 90.
Wendeschrauben 77.
Wirtschaftlichkeit 75.
- Zahnradgetriebe 112.
Zerstäubung 52.
Zündölverfahren 60.
Zündtemperatur 60.
Zusätzliche Spülung 35.
Zweitaktdieselmotoren
45, 62, 86.
Zylinder 28, 78.
Zylinderdeckel 82, 104.
Zylinderzahl 77, 103.



**DER MOTOR FÜR
DIE SCHIFFFAHRT**

3 1/2 -- 240 PS c.

HMG

ROHÖLMOTOREN

SCHIFFSMOTOREN

MOTORLADEWINDEN

STATIONÄRE MOTOREN

MOTORDYNAMOS

MOTORPUMPEN

HANSEATISCHE MOTOREN GES.m.b.H.

HAMBURG 36/FABRIK BERGEDORF

Die Kommutatormaschinen

für einphasigen u. mehrphasigen Wechselstrom

Von Dr.-Ing. e. h. **M. Schenkel**

Oberingenieur der Siemens-Schuckert-Werke

Mit 24 Abbildungen

1924. Gr.-Oktav. VII, 259 S. Gm. 11.50, geb. Gm. 13.—

Elektrische Stromerzeugungsmaschinen und Motoren

Kurzer Abriß ihres Aufbaues und ihrer
Wirkungsweise

Leichtfaßlich dargestellt von

Richard Vater

Geh. Bergrat, o. Prof. an der Techn. Hochschule Berlin

Herausgegeben von

Dr. Fritz Schmidt

Privatdozent der Techn. Hochschule Berlin

Mit 116 Abbildungen

1920. Oktav. VIII, 128 Seiten. Gm. 3.—, kart. Gm. 3.60

Wirtschaftlichkeit in technischen Betrieben

Von Dr. **Fritz Schmidt**

Privatdozent der Techn. Hochschule Berlin

Mit 16 Abbildungen

1921. Oktav. IV, 72 Seiten. Gm. 1.60, kart. Gm. 2.20

Walter de Gruyter & Co., Berlin W 10

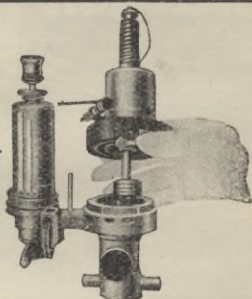


Schutzmarke

PATENT LEHMANN-INDIKATOR

IN WELTBEKANNT ERSTKLASSIGER AUSFÜHRUNG

*
**Einzig-
 Indikator,
 bei welchem
 mit einem
 Handgriff der
 Moment-
 verschluss
 gelöst
 wird**
 *



*
**Absolute
 Sicherung**
 *
**Keine
 Verwechslung
 der
 Handhaben**
 *

Der Lehmann-Indikator (D. R. P.) ist wegen seiner unabstreitbaren Vorzüge nach den Urteilen der ersten Fachautoritäten des In- und Auslandes das bestgeeignete Instrument für Dieselmotoren, Heißdampfmaschinen, Gasmotoren, Kompressoren, und in Verbindung mit der Juhasz-Indiziereinrichtung für jeden Druck und für alle Tourenzahlen, die in der Praxis vorkommen, verwendbar.

Spezialausführung für Lokomotiven.

Ferner sind wir die alleinigen Hersteller der
Leistungszähler (planimetrierenden Indikatoren)
 nach Prof. Dr. Gümbel

Fernschreib- (Lokomotiv-) Indikatoren
 nach Patent Lehmann

**Torsiographen, Vibrographen, Spannungsmesser,
 Universal-Registrier-Apparate, Beschleunigungsmesser**
 nach Dr.-Ing. Jos. Geiger

*PRÄZISIONS-TACHOGRAPHEN | TACHOMETER
 TECHNISCHE THERMOMETER | ZÄHLER*

Interessenten erhalten ausführliche Literatur bereitwilligst
 und kostenlos durch

Erste Spezialfabrik f. techn. Meßgeräte u. Feinaraturen

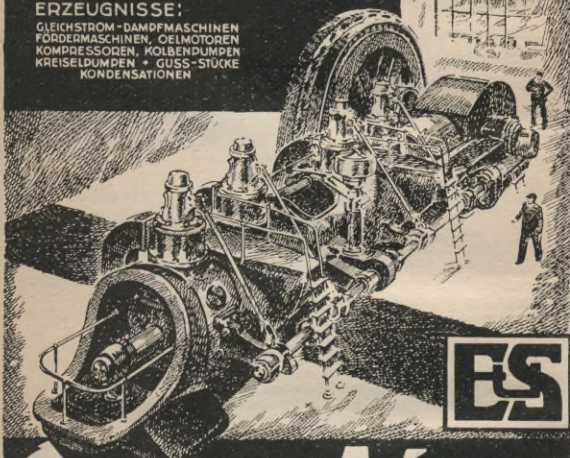
**LEHMANN & MICHELS
 HAMBURG-SCHNELSEN**

Telegramm-Adresse: Indikatormann — Fernsprecher: D 8, 1073, 1074

Ehrhardt & Sehmer A. G. Saarbrücken

ERZEUGNISSE:

GLEICHSTROM-DAMPFMASCHINEN
FÖRDERMASCHINEN, OELMOTOREN
KOMPRESSOREN, KOLBENDUMPEN
KREISELDUMPEN + GUSS-STÜCKE
KONDENSATIONEN



Gasmaschinen

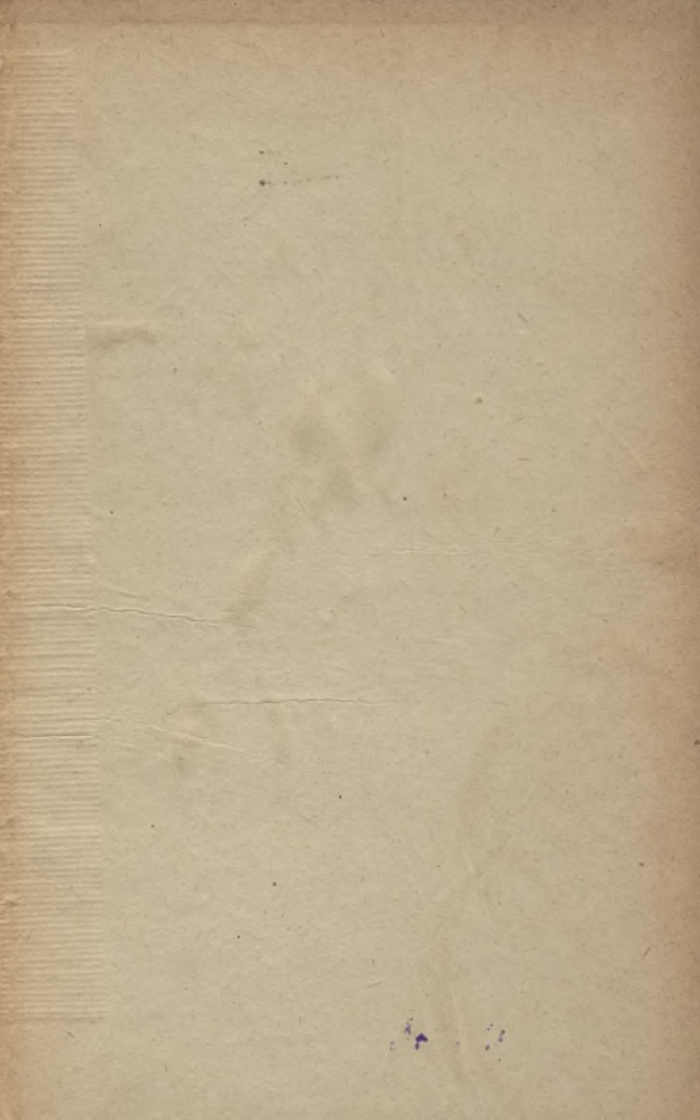
bis zu 5500 PS. bei Tandem- und 11000 PS. bei Zwillings-Tandem-
anordnung zum Antrieb von Dynamos, Kompressoren,
Hochofen- und Stahlwerksgebläsen.

Hochleistungs-Gasmaschinen

mit Einrichtungen zum Spülen und Nachladen nach eigenen
Patenten.

2,00

96-9



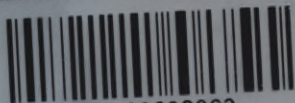
Biblioteka Politechniki Krakowskiej



I-301369



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000298063