

# WERFT \* REEDEREI HAFEN

HERAUSGEBER FÜR SCHIFFAHRTS-  
TECHNIK UND SCHRIFTWALTER:  
DR.-ING. E. FOERSTER, HAMBURG

HERAUSGEBER FÜR DIE HAFENAUS-  
RÜSTUNG UND UMSCHLAGSTECHNIK:  
BAUDIR. DR.-ING. A. BOLLE, HAMBURG

ORGAN DER GESELLSCHAFT DER FREUNDE UND FOERDERER DER HAMBURGISCHEN SCHIFFBAU-VERSUCHSANSTALT E. V.  
FACHBLATT DER SCHIFFBAUTECHNISCHEN GESELLSCHAFT FÜR DAS VERSUCHSWESEN UND DIE MESSTECHNIK IN DER SCHIFFAHRT  
FACHBLATT DER HAFENBAUTECHNISCHEN GESELLSCHAFT E.V., HAMBURG. - ALLE DREI IM ARBEITSKREISE „SCHIFFAHRTSTECHNIK“  
DES NS.-BUNDES DEUTSCHER TECHNIK UND IN DEN ZENTRALVEREINEN FÜR DEUTSCHE SEE- UND DEUTSCHE BINNENSCHIFFAHRT  
ORGAN DES DEUTSCHEN HANDELSCHIFF-NORMENAUSSCHUSSES - H. N. A.

SPRINGER-VERLAG IN BERLIN W 9

23. JAHRGANG

15. JUNI 1942

HEFT 12

~~Plan der ...~~



Ztschr  
Seite ...  
Ziffer ...  
Eing. - 9 JUL 1942

## HYDRONALUM



DIE HOCHKORROSIONSBESTÄNDIGEN  
ALUMINIUMLEGIERUNGEN DER

I. G. FARBENINDUSTRIE AKTIENGESELLSCHAFT • BITTERFELD

W. G. LEIPZIG

F9



# Neuzeitliche Industrieöfen für Werftbetriebe

Spanten- und Plattenglühöfen  
Schmiede- und Anwärmöfen  
Verzinkungs- und  
Verbleiungsöfen  
Glüh-, Härte- und Vergüteöfen



**WILHELM RUPPMANN**  
INDUSTRIEOFENBAU  
STUTT GART 1

Eigenes Schamottewerk, eigene Maschinenfabrik

**SCHWEISSUMFORMER**  
(DRP)

**HIMMELWERK A.G.**  
TUBINGEN

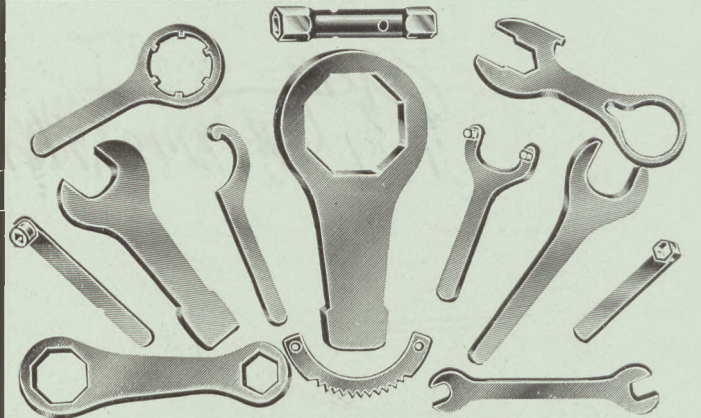


**MESSGERÄTE**

für Schiffsbetrieb

Druck- und Temperatur-Messgeräte, an-  
zeigend, schreibend und in Profilausfüh-  
rung mit Kontakt und elektrischer Fern-  
übertragung (System Patin) · Wasser-  
stands-Anzeiger · Mengen-Messgeräte

**J.C. ECKARDT A.G.**  
STUTT GART - BAD CANNSTATT



**Schraubenschlüssel**  
in jeder Spezialausführung

**Zahnbogen-, Preß-, Stanz-  
und Schmiedeteile**  
roh und bearbeitet

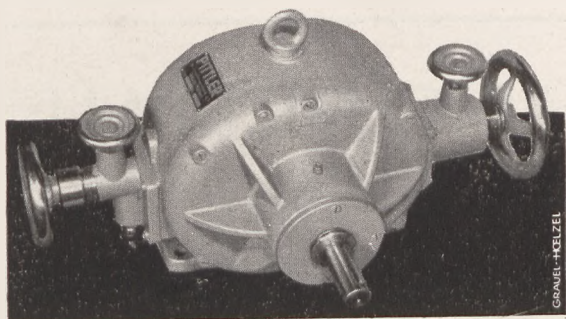
**Kurbeln** **Fassonteile**  
in jeder Ausführung **aller Art**

**Apparatebau**  
**Vorrichtungen aller Art**

**MAX BIERTZ, REMSCHEID-1**



# PITTLER- THOMA PUMPEN UND FLÜSSIGKEITS- GETRIEBE



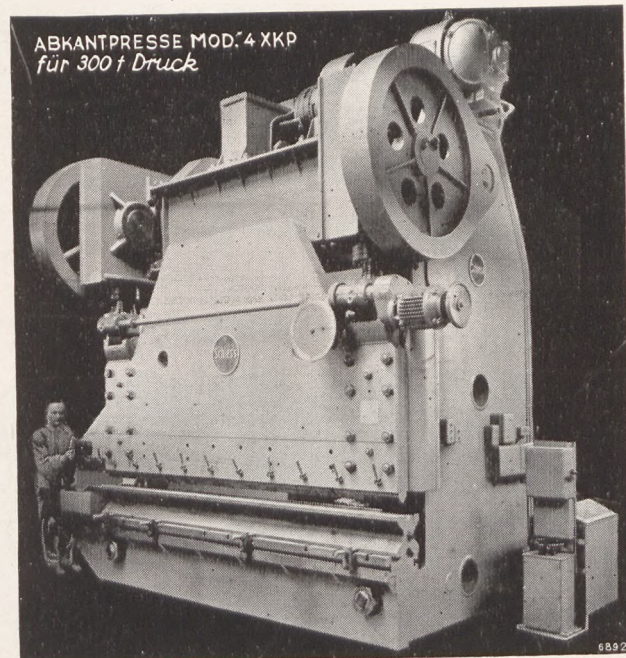
STUFENLOS REGELBARE PITTLER-THOMA-HOCHDRUCK-PUMPE

## PITTLER

WERKZEUGMASCHINENFABRIK  
AKTIENGESELLSCHAFT  
LEIPZIG-WAHREN

# Abkantpressen

MOD. XKP, für Bleche von 4 bis 30mm Stärke



# Schiess

AKTIENGESELLSCHAFT · DÜSSELDORF

Für Schiffskessel  
unsere bewährten  
**Doppel-  
Vollhub-  
Feder-  
Sicherheits-  
Ventile**

Ausführung  
nach den Vorschriften  
des Germ. Lloyd

MASCHINEN- UND ARMATURENFABRIK VORM.  
**C. LOUIS STRUBE A. G.**  
MAGDEBURG-BUCKAU · GEGR. 1865

*sch*

FÜR DEN SCHIFFBAU  
**GHH-PRESSMANTEL-ELEKTRODEN**  
**UNIVERSA**  
für höchste Anforderungen,  
einwandfreies Senkrecht-  
und Überkopfschweißen

**GHH**  
GUTEHOFFNUNGSHÜTTE OBERHAUSEN-RHLD.



*Für hohe Ansprüche* **STABILO**



**Chefkonstrukteur Tempo:**  
 „Ich empfehle meinen Zeichnern seit Jahren **STABILO**-Blei- und Farbstifte. Sie genügen höchsten Ansprüchen. Ihre Anwendung ist äußerst vielseitig.  
 Für hohe Ansprüche **STABILO!**“

**Schwan-Bleistift-Fabrik**  
Nürnberg

*Wir haben den Namen geändert!*

*Jetzt:*  
**ZOLLERN METALLGESELLSCHAFT**  
 RICHARD GOSSMANN & CO

*früher:*  
**RIESS & OSENBERG & CO**  
 BERLIN SW 68 • RITTERSTR. 111

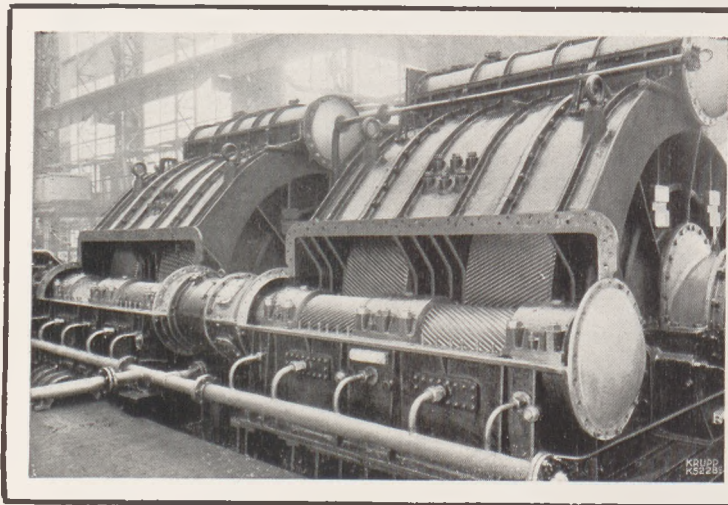
**LEICHTMETALL**

- Al 98/99 %
- Al 99,5 %
- Al-Mg-Mn
- Al-Mg-Si
- Al-Mg 3
- Al-Mg 5
- Al-Mn



**HALBZEUG**  
 aller Art  
 kurzfristig

**KUPFERWERKE BÖHMEN**  
 HAUPTWERK PÖMMERLE  
 bei Aussig/Elbe



**KRUPP**  
**Zahnradgetriebe**

Das Bild zeigt zwei Schiffszahnradgetriebe mit je 3 Antriebswellen auf dem Prüfstand.



**Fried. Krupp Aktiengesellschaft, Essen**  
 Getriebebau

2000



HERAUSGEBER: DR.-ING. E. FOERSTER UND BAUDIREKTOR DR.-ING. A. BOLLE  
für das Gesamtgebiet der Schiffahrtstechnik für Hafenausrüstung und Umschlagstechnik

SCHRIFTWALTER: DR.-ING. E. FOERSTER, HAMBURG 36, NEUERWALL 32.

## Über die Aufladung des Zweitakt-Dieselmotors.

Von F. Oederlin, VDI, Winterthur (Schweiz).

**Zusammenfassung.** Ausgehend vom Sulzer-Zweitakt-Dieselmotor mit normalem Spüldruck, werden aufgeladene Motorentypen mit nachgeschalteter Abgasturbine beschrieben, mit denen nicht nur auf dem Versuchsstand, sondern auch im industriellen Betrieb mittlere effektive Drücke von 12 bis 18 kg/cm<sup>2</sup> erreicht worden sind. Außerdem werden Motoren besonderer Konstruktion erläutert, deren Arbeitszylinder u. a. als Treibgaszerzeuger zur Verwendung kommen.

Das Ziel jeder technischen Entwicklung ist die höchstmögliche Gesamtwirtschaftlichkeit, wobei im Falle des Dieselmotors Preis, Gewicht, Raumbedarf und Lebensdauer sowie die Kosten für Brennstoff, Schmieröl, Bedienung und Reparaturen diejenigen Faktoren sind, welche diese Gesamtwirtschaftlichkeit in erster Linie bestimmen. Die Erfahrung zeigt aber, daß fast jede Weiterentwicklung eines dieser Faktoren Rückwirkungen auf die andern ausübt, d. h. mehr oder weniger auf Kosten der andern erfolgt. Der in einer Richtung erzielte Fortschritt hat daher nur dann einen praktischen Wert, wenn er gleichzeitig auch die Gesamtwirtschaftlichkeit bei voller Betriebszuverlässigkeit verbessert.

**Die Leistungsdichte.** In den letzten Jahren ist der Dieselmotor in stets wachsendem Maße auf Fahrzeugen, speziell Schiffen, Lokomotiven, Lastwagen und Flugzeugen zur Anwendung gekommen. Bei Kraftanlagen dieser Art ist die Reduktion von Gewicht und Raumbedarf, d. h. die höchstmögliche Leistungskonzentration von besonderer Bedeutung. Dies kann aber auch für stationäre Anlagen der Fall sein. Der Steigerung der Leistungsdichte wurde daher gerade in letzter Zeit besondere Beachtung geschenkt. Die beim Dieselmotor in dieser Richtung noch offenen Möglichkeiten treten am deutlichsten zutage, wenn man von den Grundformeln ausgeht, welche die Leistung eines Motors bestimmen<sup>1</sup>.

Es ergibt sich aus diesen Grundformeln, daß bei gegebenem Hubvolumen und gegebener Kolbenzahl, durch die Gewicht und Raumbedarf einer bestimmten Motortype in der Hauptsache festgelegt sind, die erzielbare Leistung nur noch von der Drehzahl und dem Mitteldruck beeinflusst wird. Diese Größen bestimmen somit ausschlaggebend die Leistungsdichte.

Es würde zu weit führen, diese an sich sehr interessanten Zusammenhänge weiter zu verfolgen. Erwähnt sei nur, daß an Stelle der Drehzahl auch die Kolbengeschwindigkeit gesetzt werden kann. Diese beträgt heute normalerweise 5 bis 9 m/s bei Zweitaktmotoren und 5 bis 12 m/s bei Viertaktmotoren, wobei der Unterschied auf den kleineren Zeitquerschnitt des Zweitaktmotors und die höhere Wärmebelastung zurückzuführen ist, welcher seine Kolben ausgesetzt sind. Es besteht aber die Möglichkeit, diese Werte noch zu erhöhen und es sind auch erfolgreiche Entwicklungsarbeiten zu diesem Zweck bereits durchgeführt worden.

Andererseits ist es durch das Mittel der Aufladung heute möglich,

<sup>1</sup> Diese Grundformeln lauten bekanntlich:

$$N_e = \frac{a}{900} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \frac{D^2 S}{100^3} \cdot n \cdot p \cdot k = \frac{a}{900} \cdot V \cdot n \cdot p \cdot k$$

wobei:

$N_e$  = effektive Leistung in PS

$D$  = Bohrung in mm

$S$  = Kolbenhub in mm

$n$  = Drehzahl in U/min

$p$  = effektiver Mitteldruck in kg/cm<sup>2</sup>

$k$  = Anzahl Kolben (bei doppeltwirkenden Motoren: Anzahl Kolbenflächen)

$V$  = vom Kolben bestrichenes Hubvolumen in Liter

$a$  = 1 bei Viertakt-Motoren

2 bei Zweitakt-Motoren.

namentlich beim Zweitaktmotor, den effektiven Mitteldruck noch wesentlich zu steigern. Die Zweitaktaufladung gehörte von jeher zu den wichtigsten Entwicklungszielen des Motorenbaues, und dies ganz besonders, seitdem es gelungen ist, den Viertaktmotor aufzuladen und dadurch dessen Konkurrenzfähigkeit erheblich zu verbessern. Die Aufladung des Zweitaktmotors hat jedoch bis jetzt noch keine praktisch brauchbare Verwirklichung gefunden. Dafür lagen besondere Gründe vor.

**Die Sulzer-Nachladung.** Der Sulzer-Zweitaktmotor wurde schon seit dem Jahre 1912 mit „Nachladung“ gebaut. Das hier als bekannt vorausgesetzte Prinzip dieses Verfahrens (Abb. 1) hatte bereits eine Aufladung zum Ziel. Es wurde damit erreicht, daß der Zylinder zu Beginn des Kompressionshubes mit Luft höherer Dichte geladen wurde, als dies damals allgemein üblich war, was eine entsprechende Leistungssteigerung zur Folge hatte. Der durchschlagende Erfolg, der dieser technischen Lösung beschieden war, und ihre weitgehende Anwendung durch andere Firmen, zeigen deutlich, wie richtig der in dieser Konstruktion realisierte Grundgedanke war.

Eine Weiterentwicklung dieses Nachladeverfahrens stellen die Sonderausführungen, z. B. für Spitzen- und Reservekraftanlagen dar, bei welchen der Aufladegrad während des Überlastbetriebes vorübergehend erhöht wird. Es geschieht dies bekanntlich durch temporäre Vergrößerung des Spülpumpenvolumens oder durch Nachladen von Luft höheren Druckes mittels gesteuerter Ventile nach beendeter Spülung (Abb. 2).

Der Nachladedruck (d. h. der Druck im Zylinder zu Beginn des nutzbaren Kompressionshubes) beschränkte sich, dem Spüldruck entsprechend, auf die Größenordnung von etwa 1,2 bis 1,4 ata, was gegenüber Motoren ohne Nachladung eine Mehrleistung von 10 bis 30% ergab. Dieser Nachladedruck ist bei Zweitaktmotoren bis auf den heutigen Tag nahezu unverändert geblieben und nur in den erwähnten Sonderfällen erhöht worden. Der Grund liegt darin, daß jede weitergehende Erhöhung des Nachladedruckes ein Ansteigen der Spülpumpenarbeit und damit eine Erhöhung des Brennstoffverbrauchs zur Folge hat, solange wenigstens, als die mit dem Nachladedruck zunehmende Abgasenergie unausgenutzt bleibt und damit in der Energiebilanz als Verlust erscheint.

Die Anwendung höherer Aufladepdrücke erfordert daher, besonders im Hinblick auf den Brennstoffverbrauch, die Verwertung der

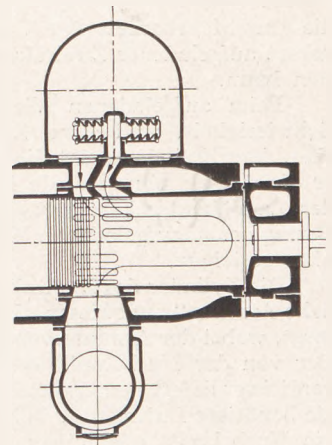


Abb. 1. Schema der Sulzer-Nachladung. Der Zylinder wird nach beendeter Spülung durch die oberen Einlaßschlitze bis auf den Spülluftdruck nachgeladen.

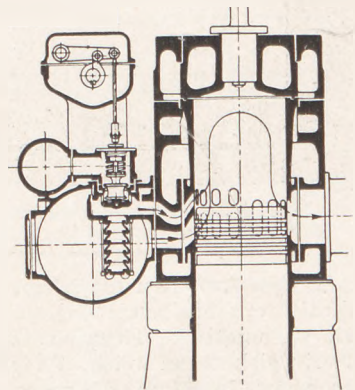
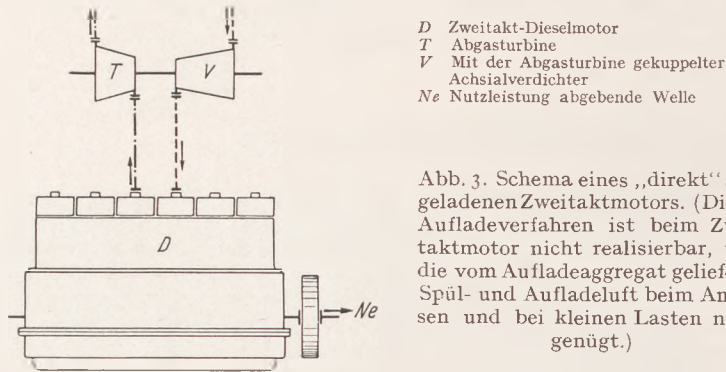


Abb. 2. Schema einer Sulzer-Sonderausführung mit zeitweise erhöhtem Aufladepdruck. Der Zylinder wird nach beendeter Spülung und Nachladung über ein gesteuertes Ventil mit Luft höheren Druckes aufgeladen.



Abgasenergie, bzw. deren Umformung in nutzbare mechanische Energie. Das gegebene Mittel hierzu stellt heute die Abgasturbine dar.

Die Hochladung. Die einfachste Lösung würde darin bestehen, die Abgasturbine zum Antrieb eines rotierenden, die Spül- und Aufladeluft liefernden Verdichters zu verwenden, wodurch die Spülpumpe entbehrt werden könnte (Abb. 3). Leider ist dieses Aufladeverfahren bei Zweitaktmotoren nicht realisierbar, da nur bei höheren Belastungen, bzw. Auspufftemperaturen die Abgasturbinenleistung zur Verdichtung der benötigten Spül- und Ladeluft ausreicht, bei kleinen Lasten dagegen Luftmangel eintritt. Ein leichter Luftmangel könnte zwar bei Teillast noch in Kauf genommen werden;



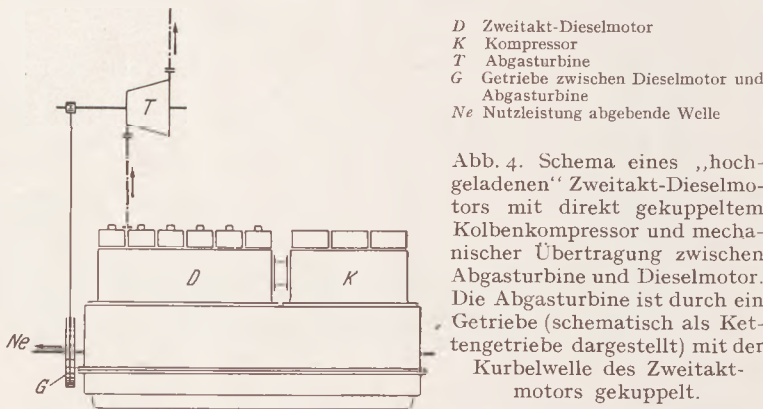
D Zweitakt-Dieselmotor  
T Abgasturbine  
V Mit der Abgasturbine gekuppelter Achsverdichter  
Ne Nutzleistung abgebende Welle

Abb. 3. Schema eines „direkt“ aufgeladenen Zweitaktmotors. (Dieses Aufladeverfahren ist beim Zweitaktmotor nicht realisierbar, weil die vom Aufladeggregat gelieferte Spül- und Aufladeluft beim Anlassen und bei kleinen Lasten nicht genügt.)

die Durchführbarkeit des Verfahrens scheidet aber daran, daß ein derart aufgeladener Zweitaktmotor überhaupt nicht angelassen werden kann.

Beim aufgeladenen Viertaktmotor bietet das Anlassen keine Schwierigkeit, weil seine Zylinder gewissermaßen „selbsttätig“ sind. Der Zylinder saugt die benötigte Luft selbst an. Ebenso stößt er die Abgase ohne fremde Hilfe aus. Ein vorübergehendes Fehlen des Ladeüberdruckes setzt die Zylinderleistung auf annähernd den Betrag des unaufgeladenen Motors herab. Diese Grundleistung bleibt aber gesichert.

Die Zylinder des Zweitaktmotors sind demgegenüber auf „künstliche Atmung“ angewiesen. Diese wird von einem Spülverdichter besorgt, wobei der Atmungsvorgang selbst als Spülung bezeichnet wird. Der von der Kurbelwelle oder elektromotorisch angetriebene Spülverdichter liefert dem Motor schon während seiner ersten Umdrehung die benötigte Luftmenge. Wird nun der Spülverdichter anstatt durch die Kurbelwelle oder einen Elektromotor durch eine Abgasturbine angetrieben, so wird den Zylindern des Zweitaktmotors unmittelbar



D Zweitakt-Dieselmotor  
K Kompressor  
T Abgasturbine  
G Getriebe zwischen Dieselmotor und Abgasturbine  
Ne Nutzleistung abgebende Welle

Abb. 4. Schema eines „hochgeladenen“ Zweitakt-Dieselmotors mit direkt gekuppeltem Kolbenkompressor und mechanischer Übertragung zwischen Abgasturbine und Dieselmotor. Die Abgasturbine ist durch ein Getriebe (schematisch als Kettengetriebe dargestellt) mit der Kurbelwelle des Zweitaktmotors gekuppelt.

nach dem Anwerfen die nötige Lufterneuerung fehlen, weil die den Verdichter antreibende Abgasturbine zu langsam in Schwung kommt. Die pneumatische Kupplung zwischen Motor und Aufladeggregat erweist sich als zu weich. Es tritt ein asthmatischer Zustand ein, der rasch zur Erstickung führt, so daß der Motor nach dem Anwerfen überhaupt nicht anspringen kann.

Diese naheliegende Lösung, die sich bei der Viertaktaufladung gut bewährt hat, erweist sich somit für die Zweitaktaufladung als unbrauchbar. Darin liegt einer der wesentlichsten Unterschiede zwischen der Zwei- und der Viertaktaufladung.

Bei der Zweitaktaufladung kommt es darauf an, dem Aufladeggregat, insbesondere dem Verdichter, die beim Anlassen und bei kleinen Lasten fehlende Energie irgendwie von außen zuzuführen.

Zu diesem Zweck kann z. B. nach dem hier als „Hochladung“ bezeichneten Verfahren eine dem jeweiligen Aufladegrad entsprechend vergrößerte und verstärkte Kolbenspülpumpe verwendet werden, die wiederum von der Kurbelwelle angetrieben wird und die Gesamtheit der benötigten Luftmenge liefert. Um die Turbinenenergie auszunützen, wird diese über ein Getriebe auf die Kurbel-

welle übertragen (Abb. 4). Die Kolbenspülpumpe kann auch durch einen rotierenden Verdichter ersetzt werden, welcher direkt oder indirekt von der über ein Getriebe mit der Kurbelwelle gekuppelten Abgasturbine angetrieben wird. Das aus Abgasturbine und Verdichter bestehende Aufladeggregat kann dann im Bedarfsfalle von der Kurbelwelle Energie beziehen bzw. an diese abgeben; es wird namentlich beim Anlassen des Dieselmotors von Anfang an mitgezogen und damit in den Stand gesetzt, die nötige Spülluftmenge zu liefern.

Der Aufladedruck kann, zunächst rein theoretisch, beliebig hoch gewählt werden. Der wirtschaftlichste Aufladedruck hängt hingegen in erster Linie vom kombinierten Wirkungsgrad der das Gesamt-

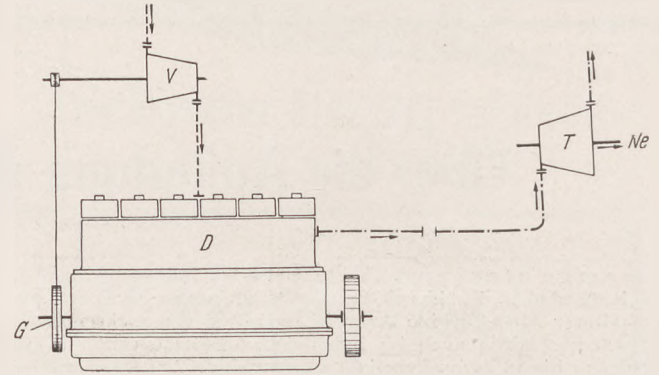


Abb. 5. Schema des „Treibgasverfahrens“ mittels Kurbel-Dieselmotor und von diesem angetriebenem Achsverdichter.

D Zweitakt-Dieselmotor  
V Achsverdichter  
G Getriebe zwischen Dieselmotor und Achsverdichter  
T Abgasturbine  
Ne Nutzleistung abgebende Welle  
- - - - - Spülluft  
- - - - - Treibgase

aggregat bildenden Hauptelemente Dieselmotor, Verdichter, Turbine, sowie von dem dafür erforderlichen baulichen Aufwand ab.

Selbstverständlich läßt sich auch der Viertaktmotor auf höhere Drücke aufladen. Unter sonst gleichen Verhältnissen wird aber der aufgeladene Zweitaktmotor infolge seiner doppelten Arbeitshubfrequenz immer im Vorsprung sein und die höhere Leistungsdichte aufweisen.

Das Treibgasverfahren. Die Aufladung auf 5 bis 6 ata stellt insofern einen Sonderfall dar, als in diesem Ladedruckbereich die Leistungsabgabe des Dieselmotors und der Leistungsbedarf des Aufladeverdichters gleich werden. Die nach außen ab-

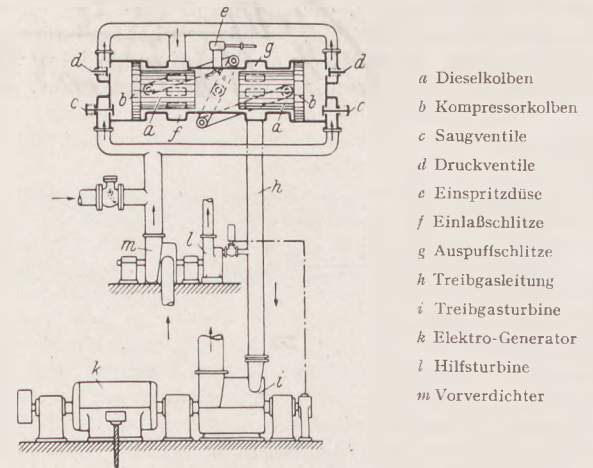


Abb. 6. Schema des „Treibgasverfahrens“ mittels Freikolben-Treibgas-erzeuger. Die beiden Dieselkolben mit den angebauten Kompressor Kolben b sind durch eine Synchronisierungsvorrichtung derart miteinander verbunden, daß sie sich gegenüber der Totraummitte spiegelbildlich bewegen. Die beiden Dieselkolben werden durch die Expansion der im schädlichen Raum der Kompressorzylinder verdichteten Luft zurückgeworfen und komprimieren dabei die im Dieselmotor enthaltene Luft. Der durch die Düse eingespritzte Brennstoff wird in der hochverdichteten Luft verbrannt, worauf die beiden Dieselkolben nach außen gedrängt werden. Dabei wird die von den Kompressor Kolben während des vorhergehenden Hubes angesaugte Luft verdichtet. Die geförderte Druckluft dient der Spülung und Aufladung des Dieselmotors. Die als Treibgase bezeichneten Abgase treiben die mit einem Elektro-Generator k gekuppelte Abgasturbine i an. Die Hilfsturbine l, die ebenfalls an die Treibgasleitung angeschlossen ist, treibt den Vorverdichter m an, der die von den Kompressoren angesaugte Luft vorverdichtet und die Kompressoren dadurch auflädt.

gegebene Nutzleistung entspricht also im Grunde genommen der Abgasturbinenleistung. Die Abgasturbine kann daher vom Dieselmotor und vom Verdichter losgekuppelt werden, ohne daß die Leistungsbilanz des Gesamtapparates gestört wird (Abb. 5). Das als



Dieselmotor und Verdichter gebildete Aggregat dient dann ausschließlich der Lieferung von Ab- bzw. Treibgasen und gibt keine Nutzleistung mehr nach außen ab, indem diese Aufgabe der Abgasturbine zufällt.

Das den Dieselmotor und den Verdichter umfassende, hier als Treibgaserzeuger bezeichnete Aggregat erfüllt daher die gleiche Aufgabe wie z. B. der Dampfkessel in einem Dampfkraftwerk oder die aus Verdichter, Brennkammer und Turbine bestehende Gaserzeugungsanlage im Falle einer Schiffs-Gleichdruck-Gasturbinenanlage mit besonderer Propellerturbine. Die gesamte Nutzleistung wird von der Treibgasturbine abgegeben, welche der Dampfturbine des Dampfkraftwerkes bzw. der Propellerturbine der Gleichdruck-Gasturbinenanlage entspricht. Es können somit auch mehrere Treibgaserzeuger auf eine gemeinsame Treibgasturbine geschaltet werden. Da dieser hier als „Treibgasverfahren“ bezeichnete Arbeitsprozeß die Drehzahlumformung des Dieselmotors bereits in sich schließt, kann er dort Interesse bieten, wo zum Zweck dieser Drehzahlumformung die elektrische Übertragung angewendet wird, wie z. B. in der Traktion und in Sonderfällen auf dem Gebiete des Schiffsantriebes.

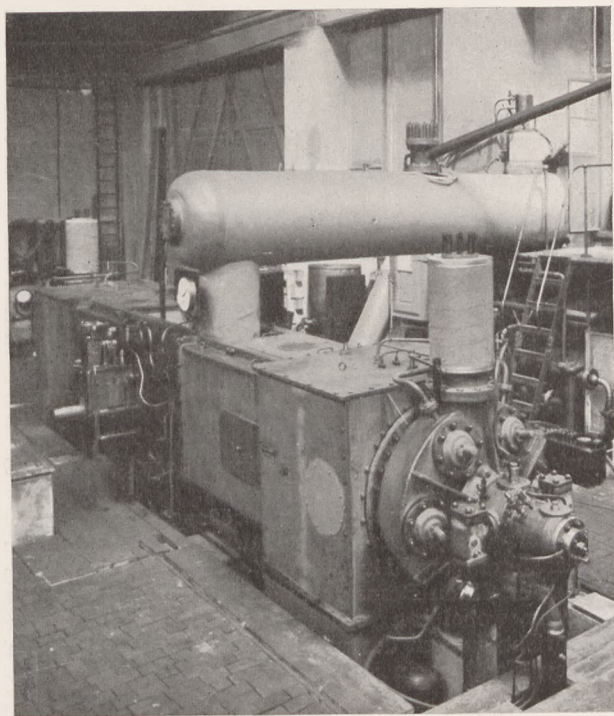


Abb. 7. Versuchs-Freikolben-Treibgaserzeuger auf dem Versuchsstand in Winterthur.

Dieses Krafterzeugungsverfahren läßt sich namentlich auch mittels Freikolben-Treibgaserzeugern verwirklichen (Abb. 6). Bei Treibgaserzeugern dieser Art wirken die beiden gegenläufigen Kolben des Dieselteils unmittelbar auf je einen Kompressorkolben, welche die Spül- und Aufladeluft verdichten. Eine Kurbelwelle ist nicht vorhanden. Die beiden Kolben sind lediglich durch ein ihren Gegenlauf sicherndes Gestänge miteinander gekuppelt. Das Wesentliche dieser Bauart liegt teils in der unmittelbaren dynamischen Arbeitsübertragung vom Dieselmotor an den Kompressorkolben unter Einsparung der Lagerreibung eines Kraftgestänges, teils in der freien Anpaßbarkeit des Brennraumvolumens an den jeweiligen Ladedruck.

Das Treibgasverfahren weist einige interessante Merkmale auf, durch welche es einerseits gegenüber dem Dieselmotor, andererseits gegenüber der Dampfanlage besondere Vorteile bietet.

Zunächst stellt das Treibgasverfahren eine der möglichen Realisierungen der „Gasturbine“ dar. Bemerkenswert ist hier insbesondere der hohe thermische Wirkungsgrad von 35 bis 40%, ohne Anwendung irgendwelcher Rekuperatoren und dergleichen und bei Betriebstemperaturen von nur 450 bis 500° C.

Die Turbinen sind dabei klein und einfach, ohne Kondensatoren, ohne Wasserbedarf, ohne Kondensat- und Luftpumpen. Sie sind zudem nur mäßigen Druck- und Temperaturgefallen ausgesetzt.

Die Unabhängigkeit der einzelnen die Turbine beliefernden Treibgaserzeugern erhöht die Betriebssicherheit der ganzen Anlage.

Es ist ferner keineswegs nötig, die einzelnen Treibgaserzeuger nach den Achsen der Propellerwellen oder der Getriebe auszurichten, wie dies bei der Verwendung von Dieselmotoren der Fall ist. Es ergibt sich daraus für das Treibgasverfahren eine weitgehende Freiheit in bezug auf die Disposition der Kraftanlage.

Die Tatsache, daß beim Zusammenwirken mehrerer Treibgas-

erzeuger die Dieselzylinder nicht wie beim normalen Motor durch eine relativ starre Kurbelwelle, sondern durch eine hochelastische Gassäule miteinander gekuppelt sind, hat zur Folge, daß die möglichen kritischen Frequenzen weit unter den Betriebsfrequenzen liegen, während sie beim Dieselmotor durch Beschränkung der Zylinderzahl oder durch Verstärkung der Kurbelwelle künstlich außerhalb, und zwar meist über den Betriebsdrehzahlen gehalten werden müssen. Es ergibt sich daraus die weitere Konsequenz, daß die Rücksicht auf die kritischen Drehzahlen beim Treibgasverfahren keine Beschränkung in bezug auf die Anzahl der zusammenwirkenden Zylinder bzw. Diesel-Treibgaserzeuger auferlegt. Die Erzielung großer Leistungen erfordert daher nicht von vornherein die Anwendung großer Bohrungen und die Inkaufnahme entsprechend hoher Einheitsgewichte. Die verlangte Leistung kann lediglich durch die Zahl der eingebauten Treibgaserzeuger erzielt werden, wobei die Bohrung derselben und damit das Einheitsgewicht von vornherein gegeben sein kann. Dabei ist zu berücksichtigen, daß das Einheitsgewicht der ganzen Anlage durch die Vergrößerung der Turbinen nur unwesentlich beeinflusst wird. Das Treibgasverfahren ermöglicht somit die Erzielung hoher Leistungen, die dem Dieselmotor bisher verschlossen waren, und zwar bei Einheitsgewichten, welche denjenigen leichter Dampfanlagen entsprechen und bei einem thermischen Wirkungsgrad, der sich wie derjenige der Dieselanlage in der Größenordnung von 35 bis 40% hält.

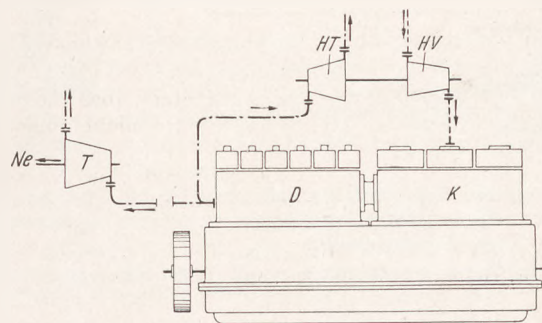


Abb. 8. Schema des „Treibgasverfahrens“ mit Vorverdichtung für Aufladedrücke von 6 bis 10 ata. Da die erforderliche Verdichterleistung die Dieselmotorleistung übertrifft, wird ein Teil der Treibgasenergie dazu verwendet, die fehlende Verdichterleistung zu decken.

- D Zweitakt-Dieselmotor mit direkt gekuppeltem Kompressor
- K Kolbenkompressor zur Lieferung der Spül- und Aufladeluft. (Der Kolbenkompressor kann durch einen rotierenden Verdichter ersetzt werden.)
- HT Hilfsturbine zum Antrieb des Vorverdichters
- HV Vorverdichter zum Aufladen des Kolbenkompressors oder des rotierenden Verdichters
- T Abgasturbine
- Ne Nutzleistung abgebende Welle
- Spülluft
- Abgase

Die Firma Gebrüder Sulzer hat das Treibgasverfahren, das als Spezialfall der Zweitakt-Hochladung betrachtet werden kann, in beiden Varianten, d. h. mit Kurbel-Diesel- und mit Freikolben-Treibgaserzeugern eingehend theoretisch und praktisch untersucht. Abb. 7 zeigt z. B. den zu diesem Zweck gebauten Freikolben-Treibgaserzeuger.

Die Aufladedrücke oberhalb 5 bis 6 ata. Mit zunehmender Aufladung nimmt auch die vom Spülverdichter aufgenommene Leistung erheblich zu. Während diese bei unaufgeladenen Zweitakt-Motoren rund 6% der vom Dieselmotor abgegebenen Leistung ausmacht, beansprucht der Verdichter im Falle der 2 ata-Aufladung schon etwa  $\frac{1}{4}$  und bei 5 bis 6 ata-Aufladung die gesamte Leistung des Dieselmotors. Es folgt daraus, daß die Wirkungsgrade des Verdichters und der Turbine mit zunehmender Aufladung in immer stärkerem Maße den Brennstoffverbrauch des Gesamtaggregate bestimmen und dementsprechend höheren Anforderungen zu genügen haben.

Die weitere Steigerung des Aufladedruckes auf beispielsweise 6 bis 10 ata oder noch höhere Werte (die Frage nach der im praktischen Betrieb mit Rücksicht auf die Betriebssicherheit erreichbaren Steigerung der Leistung und der Wirtschaftlichkeit sei vorderhand noch offen gelassen) unterscheidet sich von der Aufladung auf Drücke von weniger als 5 bis 6 ata dadurch, daß der Leistungsbedarf des Verdichters die Leistungsabgabe des Dieselmotors übersteigt, so daß die Abgasturbine für die Verdichtungsarbeit mit herangezogen werden muß. Solange der Dieselmotor, der Verdichter und die Abgasturbine nach dem als Hochladung bezeichneten Verfahren miteinander gekuppelt sind, vollzieht sich diese Leistungsergänzung durch die Abgasturbine automatisch. Bei losgekuppelter Abgasturbine dagegen, d. h. beim Treibgasverfahren, muß ein besonderer, durch die Hauptgasturbine oder durch eine Hilfsturbine angetriebener Hilfsverdichter die fehlende Verdichterleistung ergänzen (Abb. 6 und 8).

Die Einteilung der Zweitakt-Aufladung nach Druckgebieten. Nach den bisherigen Ausführungen



kann das Gesamtgebiet der Zweitaktaufladung etwa wie folgt unterteilt werden:

Aufladedruck:	Bezeichnung:	Hauptmerkmale:
1,0—1,7 ata	Nachladung	Aufladung ohne Gasturbine
1,5—5 ata und darüber	Hochladung	Aufladung mit Kolbenpumpe und mit dem Motor gekuppelter Abgasturbine
		Aufladung mit gekoppeltem Aufladeaggregat
5 ata und darüber	Treibgasverfahren	Aufladung mit unabhängiger Abgasturbine, evt. mit Vorverdichtung des Kompressors.

Der Einfluß des Aufladedruckes auf das Hubvolumen des Dieselmotors bzw. auf die vom Verdichter und von der Abgasturbine verarbeiteten Gasvolumina, deren Verhältnis zueinander im Hinblick auf die erhöhte Wärmebelastung sowie die Brennstoffökonomie des Zweitaktmotors innerhalb verhältnismäßig enger Grenzen gehalten werden muß, geht aus den Diagrammen Abb. 9 bis 11 hervor.

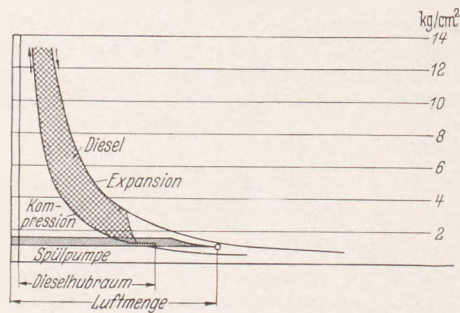


Abb. 9. Unterer Teil des Indikator-Diagramms eines nicht aufgeladenen Zweitakt-Dieselmotors.

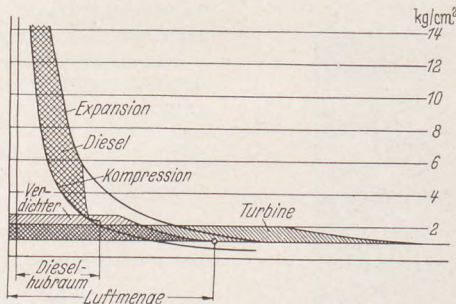


Abb. 10. Unterer Teil des Indikator-Diagramms eines auf 2 ata aufgeladenen Zweitakt-Dieselmotors.

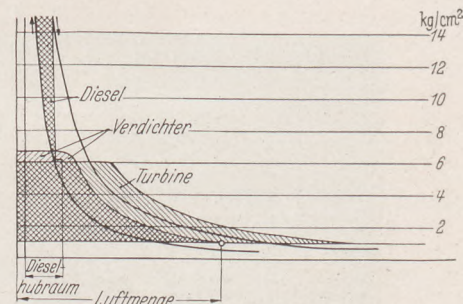


Abb. 11. Unterer Teil des Indikator-Diagramms eines auf 6 ata aufgeladenen Zweitakt-Dieselmotors.

In den Indikator-Diagrammen der Abb. 9, 10 und 11 sind Luftmenge, Totraum, eingespritzte Brennstoffmenge, Verdichtungsdruck und Zünddruck überall gleich angenommen. Sie zeigen das Maß, in welchem der Dieselhohraum mit zunehmendem Aufladedruck abnimmt, und wie die jeweiligen Arbeitsanteile des Verdichters und der Abgasturbine zunehmen.

Gestützt auf Temperaturmessungen in Motoren ist es auf theoretischem Wege möglich, die Wärmebelastung der Kolben in Abhängigkeit vom Aufladegrad (Ladedruck) einerseits und vom Belastungsgrad (Luftüberschuß) andererseits vergleichsweise zu ermitteln und so die zulässigen Betriebsverhältnisse für eine gewählte Kolbengröße von vornherein abzugrenzen.

Abb. 9 zeigt den untern Teil des Indikator-Diagramms eines unaufgeladenen bzw. nachgeladenen Zweitaktmotors üblicher Bauart. Nach der hier verwendeten Definition, wonach sich der Aufladegrad jeweils auf den Druck hinter den Auspuffschlitzen bzw. vor der Turbine bezieht, sei diese Bauart als 1 ata-Motor bezeichnet.

Abb. 10 gilt für den auf 2 ata und Abb. 11 für den auf 6 ata hochgeladenen Motor. In allen 3 Diagrammen sind folgende Faktoren gleich groß gewählt: die angesaugte Luftmenge, die eingespritzte Brennstoffmenge, der Totraum, der Verdichtungsdruck und der Zünddruck. Dementsprechend sind auch die Kompressions- und Expansionslinien in allen 3 Diagrammen gleich. Beim 2- und beim 6-ata-Motor beginnt die Verdichtung später, während die Expansionslinien früher verlassen werden als beim 1-ata-Motor. Mit steigender Aufladung schrumpft das Hubvolumen des Dieselmotors immer mehr zusammen, während die mittlere Arbeitstemperatur im Zylinder zunimmt.

Aus den Indikator-Diagrammen der Abb. 10 und 11 ist ersichtlich, daß die indizierte Arbeit der Turbine diejenige des Verdichters übertrifft, dem Auflade-Aggregat somit eine indizierte Arbeitsfläche positiven Vorzeichens zur Verfügung steht. Durch die unvermeidlichen Verluste der Turbine und des Verdichters wird zwar die effektive Arbeitsfläche der Turbine kleiner und diejenige des Verdichters größer als deren indizierte Arbeitsflächen. Dennoch wird das Aufladeaggregat bei größeren Ausführungen einen effektiven Leistungsüberschuß aufweisen, der über das erwähnte Getriebe auf die Kurbelwelle übertragen wird. Selbst bei mittleren und kleinen Motorleistungen wird die vom Verdichter beanspruchte Antriebsleistung ganz oder zum größten Teil von der Abgasturbine geliefert. Man ersieht daraus, daß sich Verdichter- und Turbinenleistung im großen und ganzen das Gleichgewicht halten.

Die grundlegenden Versuche. Nach den geschilderten Überlegungen und der theoretischen Abklärung der letzten thermodynamischen Einzelfragen sowie der in Betracht kommenden Verfahren und Konstruktionselemente und namentlich auch der preis-, gewichts- und raumwirtschaftlichen Aussichten ist die Firma Gebrüder Sulzer vor mehreren Jahren an die praktische Realisierung dieses hier als „Zweitakt-Hochladung“ bezeichneten Verfahrens herangetreten.

Zunächst wurde ein Versuchsmotor gebaut, um die auf theoretischem Wege gefundenen Zusammenhänge durch Versuche nachzuprüfen. Diese beschränkten sich zunächst auf den Dieselmotor allein. Der Einfluß der Abgasturbine wurde durch eine Drosselblende nachgeahmt. Die Spül- und Aufladeluft wurde dem Preßluftnetz des Werkes entnommen und auf die der polytropischen Verdichtung eines normalen Verdichters entsprechende Temperatur aufgeheizt. Die abgegebene Leistung wurde mittels einer Wasserbremse gemessen.

Mit diesem auf 2 ata aufgeladenen Versuchsmotors wurde bei völlig sauberem Auspuff ein effektiver Mitteldruck von 12 kg/cm<sup>2</sup> erzielt. Dieser Mitteldruck konnte längere Zeit gehalten werden. Er bezieht sich auf den Motor allein, ohne Berücksichtigung der Turbinen- und der Verdichterleistung, die sich, wie erwähnt, ungefähr das Gleichgewicht halten. Anlässlich eines mit dem gleichen Aufladedruck an einem anderen Motor später vorgenommenen Sonderversuches wurde ein effektiver Mitteldruck von sogar 13 kg/cm<sup>2</sup> während 48 Stunden eingehalten. Abb. 12 zeigt den einwandfreien Zustand des Kolbens nach Beendigung dieses Versuches. Es entsprach dies gegenüber

dem unaufgeladenen Zweitaktmotor einer Steigerung des effektiven Mitteldruckes bzw. der Leistung um 100%.

Eine Leistungssteigerung dieser Größenordnung konnte selbstverständlich erst erzielt werden, nachdem sämtliche Konstruktionselemente des Motors sowohl in materialtechnischer wie in konstruktiver Hinsicht den erhöhten Beanspruchungen entsprechend durchgebildet worden waren, wobei von vornherein die Forderung gestellt wurde, daß die Betriebssicherheit des aufgeladenen Motors derjenigen der unaufgeladenen Maschine in jeder Hinsicht gleichwertig sei.

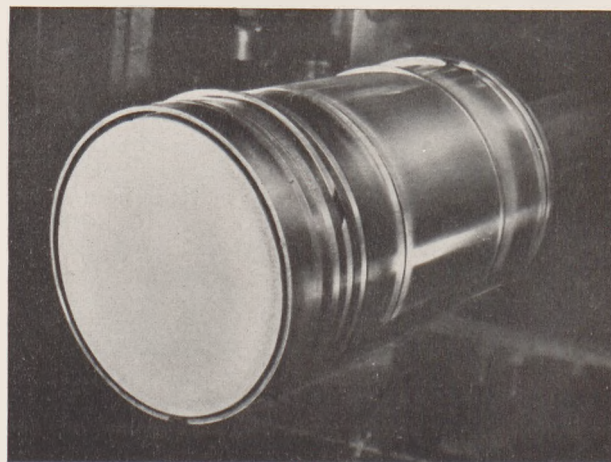


Abb. 12. Einwandfreier Zustand des Auspuffkolbens von 190 mm Durchmesser eines Gegenkolben-Zweitaktmotors nach durchgeführtem 48 stündigen Überlastversuch mit Aufladung auf 2 ata, bei dem ein effektiver Mitteldruck von 13 kg/cm<sup>2</sup> durchgehalten wurde.

Diese günstigen Resultate zeigten deutlich, daß die Möglichkeiten der Zweitakt-Hochladung auch praktisch noch nicht erschöpft waren, sondern daß es durch sinngemäße Anwendung der neu gewonnenen Erkenntnisse möglich ist, den Aufladedruck weiterhin zu steigern.

Der gleiche Versuchsmotor wurde daraufhin mit einem Aufladedruck von 3 ata betrieben, wobei ein effektiver Mitteldruck von 15 kg/cm<sup>2</sup> erreicht wurde, der bei wiederum völlig sauberem Auspuff beliebig lang gehalten werden konnte. Kurzzeitig ließ sich der effektive Mitteldruck noch erhöhen, ohne daß der Auspuff sichtbar wurde.

Einer Erhöhung des Aufladedruckes von 2 auf 3 ata entspricht



also ein Gewinn an effektivem Mitteldruck von nur noch 3 kg/cm<sup>2</sup>, während die Erhöhung des Aufladepdruckes von 1 auf 2 ata eine Mitteldrucksteigerung von 6 kg/cm<sup>2</sup> erbrachte. Der Grund liegt darin, daß die Wärmebelastung gewisse Grenzwerte nicht überschreiten darf, wenn die Betriebsicherheit voll erhalten bleiben soll. Bei der Hochladung wird der erreichbare Mitteldruck nicht durch die Sichtbarkeit des Auspuffes bzw. die Verbrennung begrenzt, — deren Bedingungen durch die größere Völligkeit des Totraumes ohnehin verbessert werden — sondern nur noch durch die zulässige Wärmebelastung der feuerberührten Oberflächen.

Dies bedeutet aber noch keineswegs, daß die Hochladung etwa auf 3 ata beschränkt wäre. Thermisch-theoretisch ist es ohne weiteres möglich, durch entsprechende Herabsetzung der Wärmetönung den Aufladegrad noch weiter zu steigern ohne die zulässige Wärmebelastung zu überschreiten.

Um dies praktisch zu erproben, wurde der gleiche Versuchsmotor nach entsprechender Vergrößerung des Totraumes schrittweise bis auf 6 ata hochgeladen, wobei der dauernd zulässige effektive Mitteldruck bis auf 18 kg/cm<sup>2</sup> gesteigert werden konnte.

Die immer kleiner werdende Zunahme des effektiven Mitteldruckes ist die Folge der mit Rücksicht auf die Wärmebelastung bzw. die Betriebsicherheit absichtlich reduzierten Wärmetönung. Die Verbrennung erfolgt unter relativ starkem Luftüberschuß und liefert absolut unsichtbare Auspuffgase, deren Reinheit sie als ein geradezu vorzügliches Treibmittel für eine Abgasturbine erscheinen läßt.

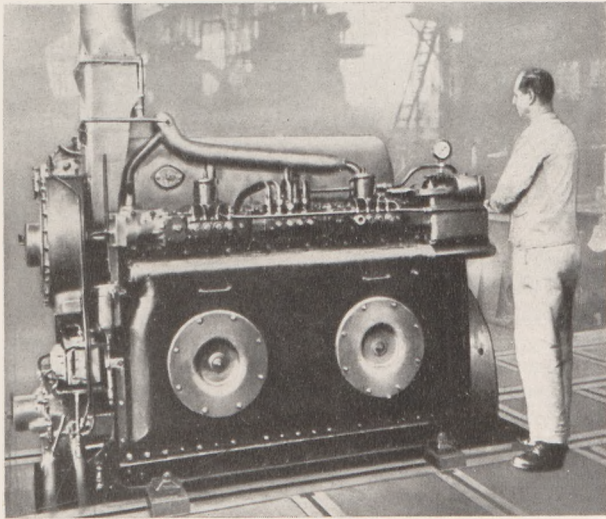


Abb. 13. Ansicht des ersten aufgeladenen Zweitaktmotors 4 ZGA 19 mit gekuppelter Abgasturbine, mit dem ein effektiver Mitteldruck von 12 kg/cm<sup>2</sup> erreicht wurde (Zylinderzahl 4, Bohrung 190 mm, Hub 2 × 300 mm). Der Aufladepdruck betrug 2 ata, die Stundenleistung 1370 PSe bei 750 U/min und 12 kg/cm<sup>2</sup> effektivem Mitteldruck.

Die Erstaussführung eines hochgeladenen Zweitakt-Motors. Auf Grund der mit dem erwähnten Versuchsmotor erzielten günstigen Ergebnisse wurde der Bau eines auf 2 ata aufgeladenen Motors in Angriff genommen, der den in der Traktion üblichen Forderungen entspricht, im übrigen aber auch für andere Zwecke, wie z. B. Spitzen-, Reserve- und Notstromanlagen in Betracht kommt (Abb. 13). Das Ziel dieser Entwicklungsarbeit, das, wie eingangs erwähnt, darin bestand, eine Maschine möglichst hoher Leistungsdichte zu verwirklichen, gab den Anlaß, diese Neukonstruktion als Gegenkolbenmotor auszuführen.

Die im Hinblick auf das Raumprofil als Spezialausführung entworfene Konstruktion weist vier horizontal angeordnete Zylinder mit je zwei diametral liegenden Einspritzdüsen auf.

Die Abgasturbine ist fliegend an das Ende des Auspuffsammlerrohres angeschlossen. Ihre Leistung wird über ein Zahnradgetriebe auf die Kurbelwelle übertragen. Die Spül- und Aufladeluft wird von Kolbenkompressoren geliefert, welche mit der Kurbelwelle gekuppelt sind.

Die Hauptdaten dieses Motors sind:

Zylinderzahl . . . . .	4
Bohrung . . . . .	190 mm
Hub . . . . .	2 × 300 mm
Drehzahl . . . . .	750 U/min
Kolbengeschwindigkeit . . . . .	7,5 m/s
Stundenleistung . . . . .	1370 PSe
Effektiver Mitteldruck bei Stundenleistung einschl. Turbine und Verdichter . . . . .	12 kg/cm <sup>2</sup>
Brennstoffverbrauch . . . . .	158 g/PS <sub>h</sub> .

Abb. 14 zeigt den Brennstoffverbrauch in Funktion der Belastung. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß die Abgasturbine der Einfachheit halber einstufig gebaut wurde. Durch Anwendung mehrerer Stufen kann ihr Wirkungsgrad und damit der Brennstoffverbrauch und die Leistung des Gesamtaggregate noch verbessert werden.

Anläßlich eines im eigenen Werk bestandenen industriellen Betriebes von mehr als 3000 Stunden hat sich gezeigt, daß die neu entwickelten Bauelemente den an sie gestellten Anforderungen anstandslos zu genügen vermochten. Bei der mechanischen Energieüber-

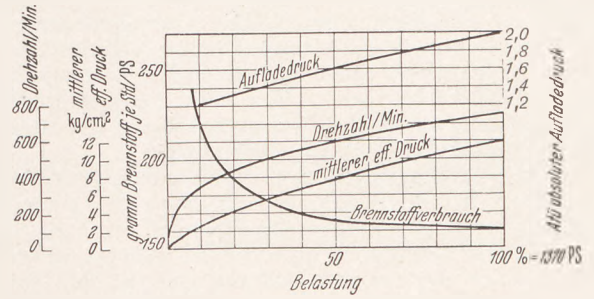


Abb. 14. Brennstoffverbrauch, Drehzahl, Aufladepdruck und effektiver Mitteldruck des in Abb. 13 abgebildeten aufgeladenen Zweitakt-Dieselmotors 4 ZGA 19 in Funktion der Belastung bei Betrieb nach dem Propellergesetz.

tragung zwischen Abgasturbine und Kurbelwelle ergaben sich keinerlei Schwierigkeiten. Auch bei strengster Kälte sprang der Motor jederzeit rasch und sicher an. Diese Sulzer-Maschine stellt die erste praktisch brauchbare Verwirklichung eines hochgeladenen Zweitaktmotors mit angebauter Abgasturbine dar, bei welchem derart hohe effektive Mitteldrücke erreicht wurden.

Die Kupplung der Kurbelwelle mit der sich rund 13mal rascher drehenden Turbine erforderte besondere Maßnahmen, damit die kritischen Drehzahlen nicht störend in Erscheinung traten. Durch Einschaltung eines elastischen Zwischengliedes wurde dafür gesorgt,

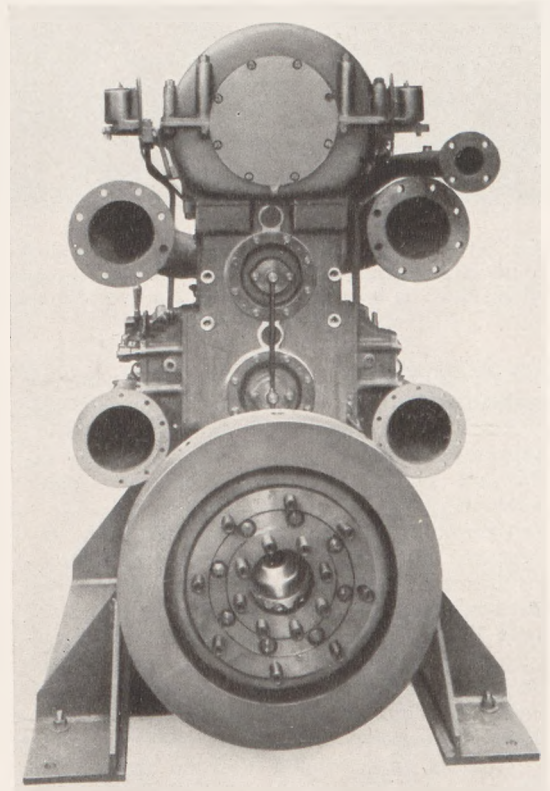


Abb. 15. Stirnansicht eines aufgeladenen Zweitakt-Gegenkolbenmotors. Oben, rechts und links: Auspuffleitungen. Unten, rechts und links: Spül- und Aufladeluftleitungen.

Die Hauptdaten der in Abb. 22 miteinander verglichenen Motoren sind:

	2000 PSe nicht aufge- ladener Kreuz- kopfmotor (hori- zontal schwarz schraffiert)	2000 PSe nicht aufge- ladener Tauch- kolbenmotor (vertikal schwarz schraffiert)	2000 PSe aufgeladener Gegenkolben- motor (vertikal dunkler schraffiert)
Zylinderzahl . . . . .	6	6	6
Bohrung mm . . . . .	490	480	180
Hub mm . . . . .	900	700	2 × 225
Drehzahl U/min . . . . .	170	227	970
Kolbengeschwindigkeit m/s . . . . .	5,1	5,3	7,27
Nachlade- bzw. Aufladepdruck ata . . . . .	1,2	1,2	2,5
Effektiver Mitteldruck kg/cm <sup>2</sup> . . . . .	5,2	5,2	13,5



daß die kritischen Drehzahlen unter die Leerlaufdrehzahl zu liegen kamen, damit sie im normalen Betrieb nicht durchfahren werden mußten. Als Schwingungsdämpfer wurde eine Gleitkupplung eingebaut, welche derart konstruiert war, daß sie nur dann zum Gleiten kam, wenn ein bestimmtes Maximaldrehmoment überschritten wurde. Die Erprobung im praktischen Betrieb hat bestätigt, daß die Schwingungsprobleme der mechanischen Übertragung auf diese Weise einwandfrei gelöst werden können.

An Stelle des elastischen Gliedes und der Gleitkupplung kann bei größeren Ausführungen auch eine elektromagnetische oder hydraulische Kupplung eingebaut werden. Die Energieübertragung kann auch auf elektrischem Wege erfolgen, indem das Aufladeaggregat durch einen vom Netz oder einem besonderen Stromerzeuger gespeisten Elektromotor angetrieben wird. Von allen diesen Kupplungsarten hat die mechanische jedoch den besten Wirkungsgrad. Sie ergibt daher auch den geringsten Brennstoffverbrauch.

Die Anwendung der Hochladung bei hohen Drehzahlen und bei großen Bohrungen. Um die Brauchbarkeit der Hochladung im Druckbereich von 2 bis 6 ata auch im Gebiet höherer Drehzahlen erproben zu können, wurde hierauf ein Versuchsmotor von 120 mm Bohrung und 150 mm Hub für zunächst 1500 U/min gebaut (Abb. 15). Auch diese Neukonstruktion erreichte trotz der höheren Drehzahl die Mitteldrücke der früheren Versuchsmotoren im Betrag von 12, 15 und 18 kg/cm<sup>2</sup> bei Aufladung auf 2, 3 bzw. 6 ata anstandslos, wobei der Verbrauch bei 1500 U/min

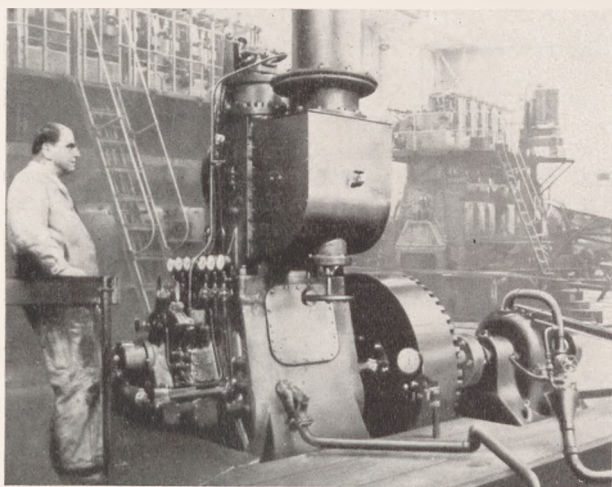


Abb. 16. Ansicht eines aufgeladenen einzylindrigen Einkolben-Zweitaktmotors von 420 mm Bohrung und 500 mm Hub. Die Leistung betrug bei 2 ata Aufladung 692 PSe bei 450 U/min und einem effektiven Mitteldruck von 10 kg/cm<sup>2</sup>.

rund 180 bis 190 g/PS<sub>h</sub> betrug. Dies gilt wiederum für den Motor allein, d. h. ohne Berücksichtigung der Turbinen- und der Verdichterarbeit, die sich, wie erwähnt, in der Hauptsache aufheben. Die Drehzahl wurde inzwischen bis auf 2400 U/min vorgetrieben, was einer Kolbengeschwindigkeit von 12 m/s entspricht.

Aus den erwähnten Versuchen darf aber nicht geschlossen werden, daß sich die Anwendung der Hochladung auf Motoren kleiner Bohrung beschränkt. An einem Einkolbenmotor von 420 mm Bohrung (Abb. 16) durchgeführte Versuche, bei welchen die Aufladung zunächst auf 2 ata beschränkt wurde, ergaben bis zu dieser Grenze eine praktisch mit der Höhe der Aufladung proportional zunehmende Leistungssteigerung, womit die an Motoren kleinerer Bohrung erzielten Ergebnisse in diesem Bereich bestätigt wurden. Hierbei ist zu erwähnen, daß die Spülung bei Anwendung der geeigneten Mittel, trotz erhöhtem Aufladedruck, auch bei größeren Einkolbenmotoren einwandfrei gelingt. Selbstverständlich setzt die Anwendung der Hochladung bei allen Bohrungen und Bauarten voraus, daß die Konstruktion den bei der Hochladung auftretenden höheren Zünddrücken und thermischen Beanspruchungen angepaßt ist.

Anwendung der Zweitakt-Hochladung. Die Hochladung des Zweitaktmotors bietet, wie dargelegt worden ist, dank ihrer Anpassungsfähigkeit und ihrer Wirksamkeit außerordentlich weitgehende Möglichkeiten, die einerseits in einer Reduktion an Preis, Gewicht und Raumbedarf, andererseits in einer Erweiterung der bisherigen Leistungs- und Anwendungsgebiete in Erscheinung treten werden. Dieser Erkenntnis entsprechend hat die Firma Gebrüder Sulzer die schrittweise Anpassung ihrer Einkolbenmotoren mittlerer bis großer Bohrung an die Anforderungen der Zweitaktaufladung in

Angriff genommen. Gleichzeitig haben Gebrüder Sulzer eine neue Motortype (Abb. 17) entwickelt, welche die Möglichkeiten der Hochladung besonders weitgehend auszunutzen erlaubt. Es handelt sich um einen Zweiwellen-Gegenkolbenmotor mit folgenden Kenngrößen:

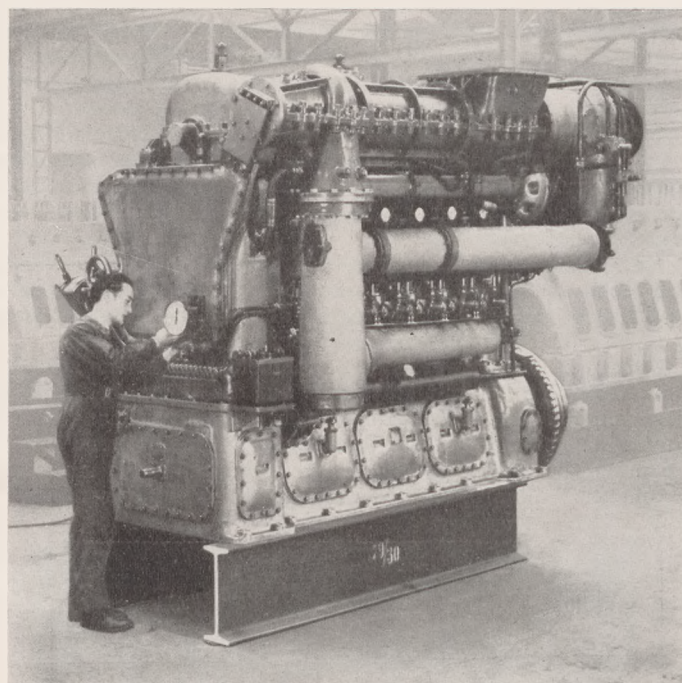


Abb. 17. Auf 2 ata aufgeladener Zweitakt-Zweiwellen-Gegenkolbenmotor von 1560 PSe Stundenleistung bei 850 U/min in den Sulzer-Werkstätten in Winterthur.

Zylinderzahl . . . . .	6
Bohrung . . . . .	180 mm
Hub . . . . .	2 × 225 mm
Drehzahl . . . . .	850 U/min
Kolbengeschwindigkeit . . . . .	6,375 m/s
Aufladedruck . . . . .	2 ata
Stundenleistung . . . . .	1560 PSe.

Der Motor ist so gebaut, daß er versuchsweise auch mit 6 ata aufgeladen werden kann, wodurch seine Leistung auf 2340 PSe erhöht und sein Gewicht pro PS weiter herabgesetzt wird. Durch Entfernen der beiden Turbinen kann dieser Motor auch als Treibgaserzeuger verwendet werden. In diesem Fall beschränkt sich seine Leistung auf

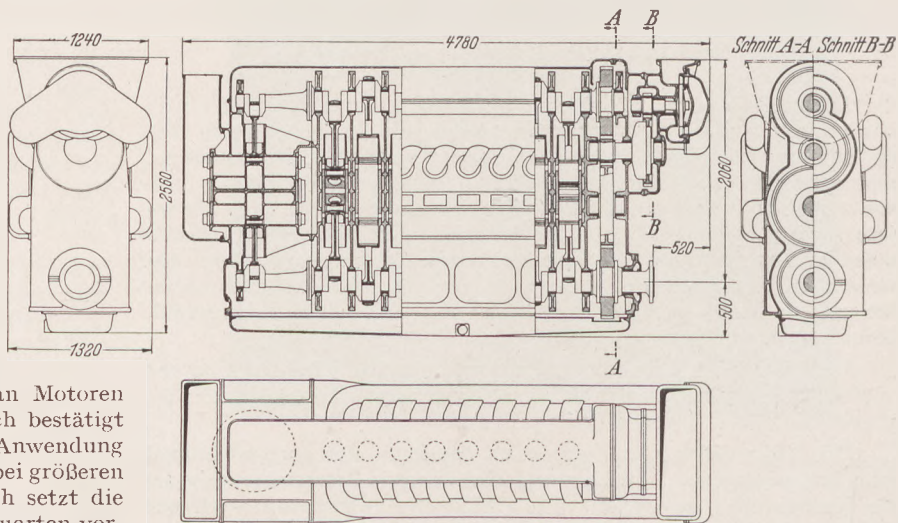


Abb. 18. Schnitt und Ansicht eines auf 2,5 ata aufgeladenen Gegenkolbenmotors mit 8 Zylindern von 180 mm Bohrung und 2 × 225 mm Hub und direkt gekuppelten Kolbenkompressoren. Bei 1000 U/min und einem effektiven Mitteldruck von 13,5 kg/cm<sup>2</sup> liefert diese Maschine eine Stundenleistung von 2750 PSe.

die Abgabe von Treibgasen, die allein oder mit denjenigen anderer Treibgaserzeuger zum Antrieb einer Turbine verwendet werden können.

Abb. 18 zeigt den entsprechenden 8-Zylindermotor, der bei Aufladung auf 2,5 ata eine Stundenleistung von 2750 PSe bei 1000 U/min aufweist.



Raumbedarf und Dispositionen aufgeladener Motoren. Die Einführung des hochgeladenen Zweitaktmotors in die Praxis wird, wie dies bei allen Neuerungen der Fall ist, nur schrittweise vor sich gehen können.

Aus den Abb. 19 bis 21 ist an Hand einiger Beispiele insbesondere der Raumbedarf und die allgemeine Disposition ersichtlich, die sich aus der Anwendung hochgeladener Zweitaktmotoren ergibt. Abb. 22 zeigt Größenvergleiche nicht aufgeladener und aufgeladener Motoren.

Abb. 19, eine stationäre Kraftanlage von 7000 PSe, umfaßt 2 aufgeladene Zweitakt-Zweiwellen - Gegenkolbenmotoren von je 3500 PSe und einen gemeinsamen Elektrogenerator. Die 9 Dieselsylinder jedes Motors haben 180 mm Bohrung. Der Kolbenhub mißt  $2 \times 225$  mm. Bei der Betriebsdrehzahl von 1000 U/min beträgt die Kolbengeschwindigkeit 7,5 m/s. Die Motoren sind auf 3,5 ata aufgeladen. Der effektive Vollastmitteldruck erreicht dabei 15,3 kg/cm<sup>2</sup>. Die Spül- und Aufladungsluft wird von einem Achsialverdichter geliefert, der aus einem Hoch- und einem Niederdruckteil sowie einem dazwischen angeordneten Luftkühler besteht und von einer Abgasturbine angetrieben wird. Das beim Anlassen und bei kleinen Lasten in Erscheinung tretende Leistungsmanko der Abgasturbine wird durch einen Elektromotor ergänzt, der vom Kraftnetz des Werkes mit Strom gespeist wird und bei voller Belastung der Dieselmotoren leer mitläuft. Für den Fall einer Stromunterbrechung steht eine besondere Diesel-Generatorgruppe als Reserve zur Verfügung, die in erster Linie zum Anlassen des Aufladeaggregates dient.

Abb. 20 veranschaulicht die diesel-elektrische Anlage eines großen Motorschiffes von 37 500 PSe Leistung, dessen Abmessungen denjenigen des holländischen Motor-Passagierschiffes „Oranje“ entsprechen. Sie umfaßt 10 Zweitakt-Zweiwellen-Gegenkolben-Generatorgruppen, von denen 9 für die Lieferung der Antriebsleistung bei Vollast zur Verfügung stehen, während eine den Strombedarf für allgemeine Zwecke zu decken hat. Die hochgeladenen Antriebsmotoren weisen je 6 Zylinder von 320 mm Bohrung und  $2 \times 400$  mm Hub auf und leisten je 4600 PS bei 450 U/min. Die Spül- und Aufladungsluft wird von Kolbenkompressoren verdichtet, die unmittelbar von den Kurbelwellen angetrieben werden. Bei Vollast erreicht der Aufladendruck 2,5 ata und der effektive Mitteldruck 12,1 kg/cm<sup>2</sup>. Zur Kraftanlage gehören noch 2 kleinere Hilfsaggregate von je 200 PSe. Die Hauptmotoren sind mit je 2 Abgasturbinen ausgerüstet, deren Leistung über das Synchronisierungsgetriebe auf die Antriebswelle des Elektrogenerators übertragen wird. Die von den Elektrogeneratoren erzeugte elektrische Energie dient zum Antrieb der beiden Propellermotoren, die bei ca. 130 U/min je 18 750 PSe leisten. Durch die Anwendung hochgeladener Zweitakt-Gegenkolbenmotoren an Stelle unaufgeladener Großmotoren kann die Höhe des Maschinenraumes im vorliegenden Fall um rund 4,5 m verkleinert und dadurch erheblich an nutzbarem Raum gewonnen werden.

Im Falle der in Abb. 20 dargestellten diesel-elektrischen Schiffsanlage ist die Umsteuerbarkeit durch die elektrische Energieübertragung ohne weiteres gegeben.

Die direkte Umsteuerbarkeit kann auch dadurch erzielt werden,

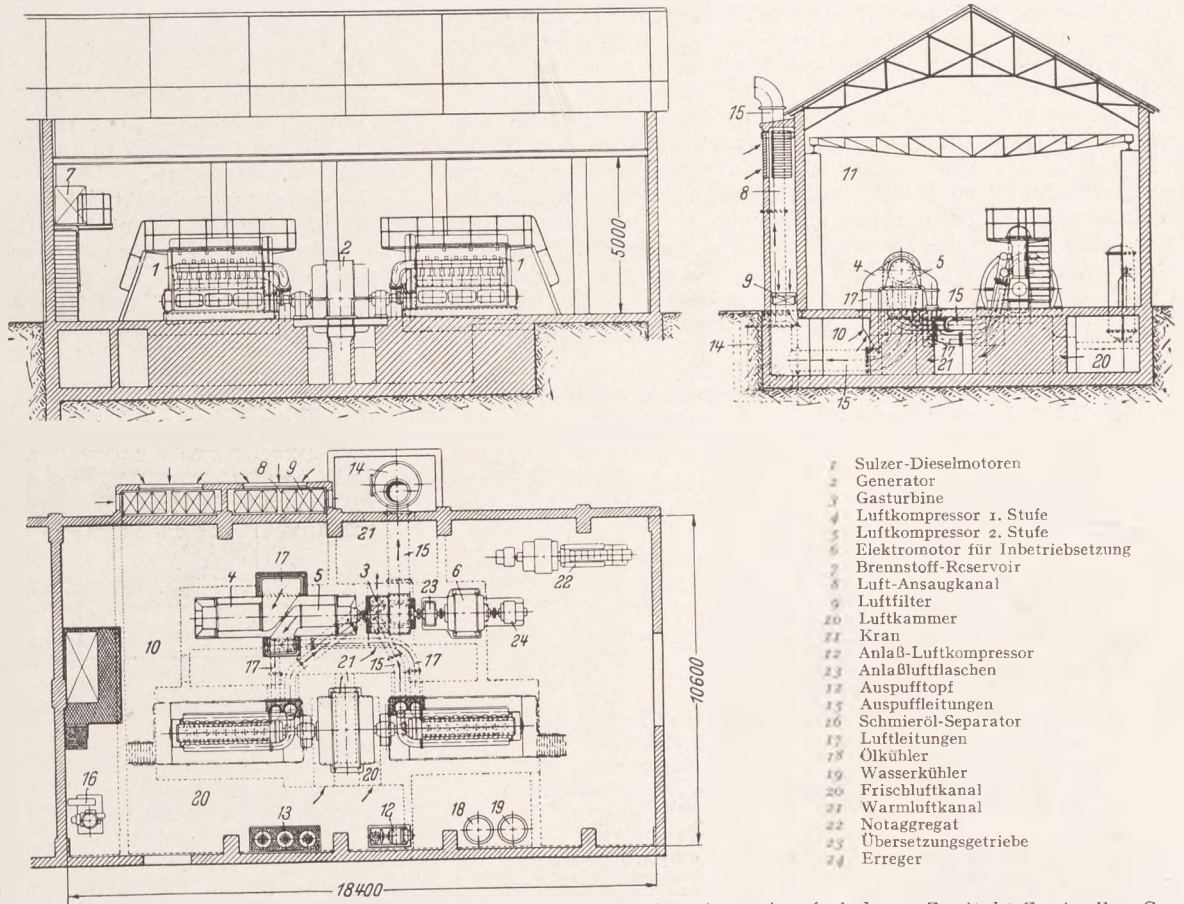


Abb. 19. Disposition einer ortsfesten Kraftanlage von 7000 PSe mit zwei aufgeladenen Zweitakt-Zweiwellen-Gegenkolbenmotoren und getrennt aufgestellter Aufladegruppe. Die mit dem gemeinsamen Elektrogenerator gekoppelten Motoren haben 9 Zylinder von 180 mm Bohrung und  $2 \times 225$  mm Hub. Bei Aufladung auf 3,5 ata und 1000 U/min beträgt der Vollast-Mitteldruck 15,3 kg/cm<sup>2</sup> und die Leistung 3500 PSe pro Motor.

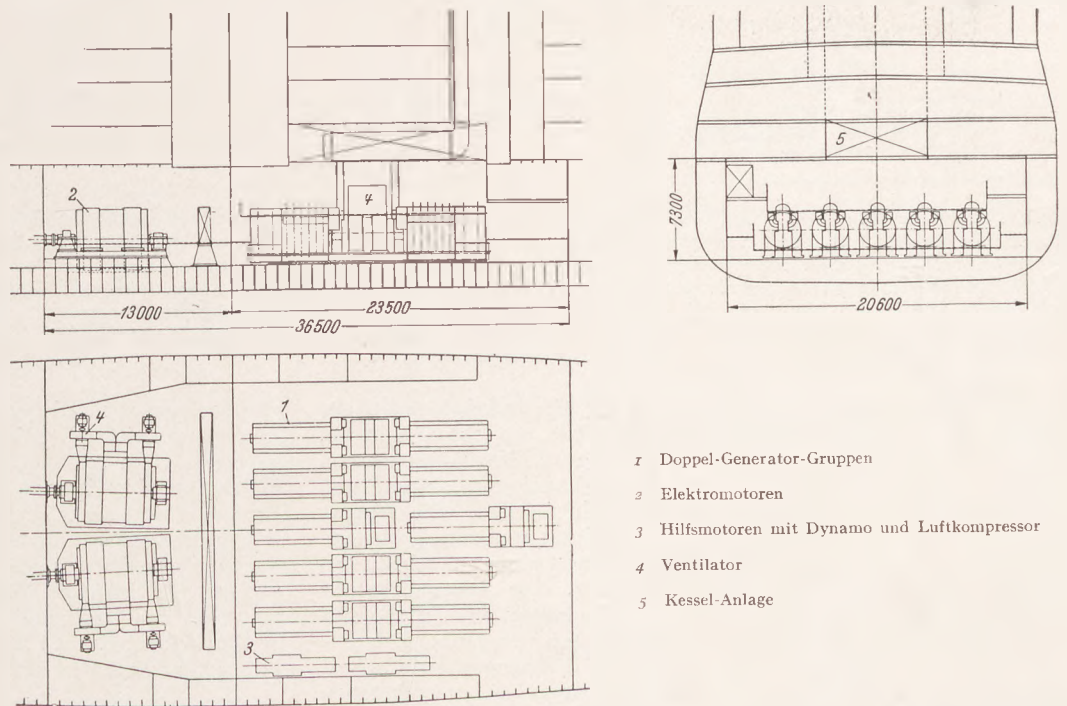


Abb. 20. Raumbedarf einer diesel-elektrischen Schiffsanlage von 37 500 PSe. Die Anlage umfaßt 10 Zweitakt-Zweiwellen-Gegenkolben-Generatorgruppen, von welchen 9 für die Antriebsleistung und eine zur Deckung des Strombedarfs für allgemeine Zwecke zur Verfügung stehen. Die Motoren umfassen je 6 Zylinder von 320 mm Bohrung und  $2 \times 400$  mm Hub. Bei der Betriebsdrehzahl von 450 U/min und einem Aufladendruck von 2,5 ata beträgt der effektive Mitteldruck 12,1 kg/cm<sup>2</sup>.

daß die Aufladegruppe vom Motor getrennt und ihr die beim Anlassen und bei kleinen Lasten fehlende Energie von einem Hilfselektromotor geliefert wird, wie dies bei der in Abb. 19 veranschaulichten Anlage der Fall ist. Eine andere Möglichkeit besteht darin, für die Lieferung der Spül- und Aufladungsluft Kolbenkompressoren zu ver-



wenden, und die Abgasturbine über eine lösbare Kupplung mit dem Motor zu verbinden. Bei Rückwärtsfahrt wird die Abgasturbine losgekuppelt und die Abgasleitung über eine Drosselstelle auf freien Auspuff umgeschaltet. Der mit dem Abkuppeln der Abgasturbine verbundene Leistungsausfall spielt bei Rückwärtsfahrt nur eine untergeordnete Rolle. Eine Anlage dieser Art ist in Abb. 21 gezeigt.

Eine aussichtsreiche Lösung des Umsteuerungsproblems stellt auch der Wendepropeller dar, dessen Flügel während der Fahrt verdreht und dadurch bei gleichbleibendem Motordrehmoment von Vorwärts- auf Rückwärtsfahrt umgestellt werden können.

Abb. 21 stellt eine Schiffsanlage von 3900 PSe Leistung mit einem horizontal angeordneten, hochgeladenen Zweitakt-Zweiwellen-Gegenkolbenmotor dar, der in üblicher Weise direkt umgesteuert werden kann. Dieser umfaßt 6 Zylinder von 320 mm Bohrung und  $2 \times 400$  mm Hub. Bei 450 U/min, was einer Kolbengeschwindigkeit von 6 m/s entspricht, beträgt der Aufladedruck 2,0 ata und der effektive Vollastmitteldruck 10 kg/cm<sup>2</sup>. Das große Zahnrad des

Aufladedruck von 2 ata ungefähr verdoppelt wird und bei höheren Aufladedrücken noch mehr zunimmt.

**Zweitakt-Hochladung und Gasturbine.** Der thermodynamische Zusammenhang zwischen dem hochgeladenen Zweitaktmotor und der Gleichdruckgasturbine geht am klarsten aus den in den Abbildungen 9 bis 11 gezeigten Indikatorgrammen hervor.

Die indizierte Leistung der Gleichdruckgasturbine wird bekanntlich durch die Differenz der Diagrammflächen dargestellt, die der Turbinenleistung einerseits und dem Leistungsbedarf des Verdichters andererseits entsprechen.

Betrachtet man das Aufladeaggregat des aufgeladenen Zweitaktmotors als eine Gleichdruckgasturbine, deren Brennkammer durch einen aufgeladenen Dieselmotor ersetzt ist, so zeigt sich, wie bereits erwähnt, daß auch hier das Gasvolumen, das der Abgasturbine zuströmt, infolge seiner höheren Temperatur größer ist als das Volumen der vom Verdichter geförderten Luft im verdichteten Zustand. Die

Differenz beider Diagrammflächen stellt wiederum die indizierte Leistung dar. Ein Teil dieser indizierten Leistung wird durch die Verluste des Verdichters und der Turbine aufgezehrt. Der Verdichtendruck muß zudem den Anfangsdruck der Turbine um einen gewissen Betrag übersteigen, damit die Spülluft den Widerstand überwinden kann, den ihr die Dieselizeylinder entgegensetzen. Dadurch entsteht gegenüber der eigentlichen Gleichdruckgasturbine ein zusätzlicher Verlust. Dennoch verfügt das Aufladeaggregat bei den größeren Ausführungen und den höheren Belastungen des Dieselmotors über einen effektiven Leistungsüberschuß, der über die mechanische Übertragung an die Kurbelwelle abgegeben wird.

Sinngemäß übertragen, gelten diese und die folgenden Überlegungen auch für das Freikolben-Treibgasverfahren mit oder ohne Vorverdichtung, wenn man den Dieselmotor durch den Dieselteil des Freikolben-Treibgasverzeigers ersetzt und die Kolbenkompressoren dieses letzteren sowie die Treibgasturbine zusammen als Aufladeaggregat betrachtet.

Während nun bei der Gleichdruckgasturbine lediglich die Differenz zwischen Turbinen- und Verdichterleistung als Nutzleistung erscheint, vermehrt sich diese bei der Hochladung und beim Treibgasverfahren (abzüglich des erwähnten, durch den Spülwiderstand verursachten zusätzlichen Verlustes) um die in den Dieselizeylern gewonnene Leistung. Dies kommt insbesondere im thermischen Wirkungsgrad zum Ausdruck, der bei der Hochladung wie beim atmosphärischen Dieselmotor in der Größenordnung von etwa 40% liegt (Brennstoffverbrauch 158 g/PS<sub>h</sub>), während er bei der einfachen Gleichdruckgasturbine beim heutigen Stand der Technik und ohne Wärmeaustauscher etwa 18% (Brennstoffverbrauch 352 g/PS<sub>h</sub>) beträgt. Der niedrige Verbrauch des hochgeladenen Zweitakt Dieselmotors ist zum Teil auch die Folge seiner vorzüglichen Verbrennung, die ihm nebenbei noch eine bemerkenswerte Unempfindlichkeit gegenüber der Qualität des Brennstoffes verleiht.

Es sei in diesem Zusammenhang daran erinnert, daß es ein Sulzer-Zweitakt Dieselmotor von 5500 PSe war, bei dem der Brennstoffverbrauch von 150 g/PS<sub>h</sub> erstmals unterschritten wurde. Dieser betrug 149,3 g/PS<sub>h</sub>, bezogen auf Gasöl mit einem Heizwert von 10 138 kcal/kg, was einem thermischen Wirkungsgrad von rund 42% entspricht.<sup>2</sup>

Vom Gesichtspunkt des erwähnten Vergleiches ist der Ersatz der Brennkammer der Gleichdruckgasturbine durch einen Dieselmotor auch mit Rücksicht auf die Wärmebelastung berechtigt, da eine Abkühlung der anfänglich 1500 bis 2000° C heißen Feuergase

<sup>2</sup> Siehe u. a. Prof. Dr. Eichelberg: Abnahmeversuche an einem Sulzer-Schiffsmotor von 5500 PSe. WRH. 1935, Heft 7.

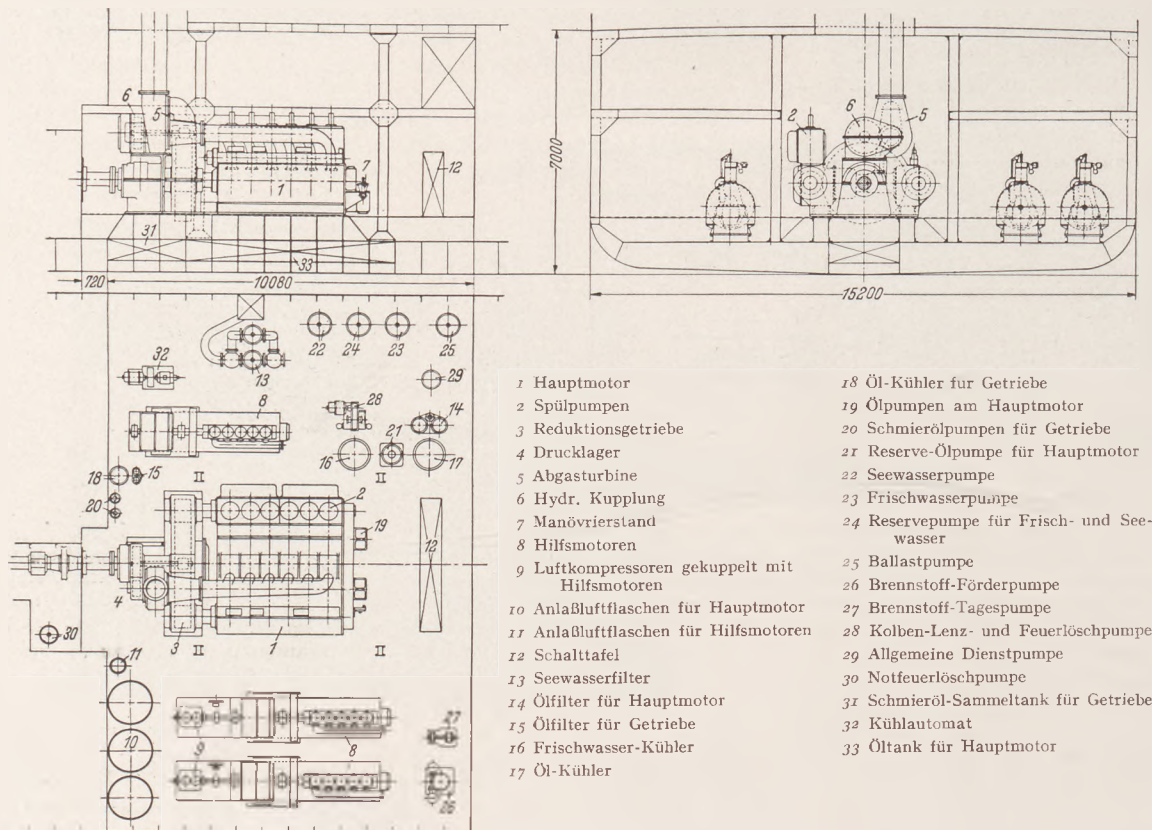


Abb. 21. Schiffsanlage von 3900 PSe Leistung. Der horizontal angeordnete Zweitakt-Zweiwellen-Gegenkolbenmotor umfaßt 6 Zylinder von 320 mm Bohrung und  $2 \times 400$  mm Hub. Bei 450 U/min beträgt der effektive Mitteldruck 10 kg/cm<sup>2</sup>. Das Synchronisierungsgetriebe ist als Reduktionsgetriebe ausgebildet und treibt mit dem großen Zahnrad die damit gekuppelte Propellerwelle mit 112 U/min an. Die Spül- und Aufladeluft wird hier von Kolben-Spülpumpen geliefert. Es können aber auch rotierende Verdichter vorgesehen werden.

Die Abgasturbine wirkt über eine hydraulische Kupplung auf das große Zahnrad des Synchronisierungsgetriebes.

Synchronisierungsgetriebes dient gleichzeitig als Reduktionsgetriebe und treibt die damit gekuppelte Propellerwelle mit 112 U/min an. Die erforderliche Spül- und Aufladeluft wird von Kolbenkompressoren geliefert, die für jeden Zylinder getrennt und senkrecht angeordnet, von der spülseitigen Kurbelwelle angetrieben werden. Die Abgasturbine wirkt über eine hydraulische Kupplung und ein Vorgelege direkt auf das große Getrieberad. Bei Rückwärtsfahrt wird die hydraulische Kupplung durch Entleeren gelöst. Die Anlage umfaßt außerdem 3 Hilfsdieselmotoren der Einkolbenbauart von je 120 kW und 5 Zylinder von 220 mm Bohrung und 320 mm Hub. Die Betriebsdrehzahl beträgt 450 U/min, was einer Kolbengeschwindigkeit von 4,8 m/s entspricht. Durch die Anwendung eines hochgeladenen Zweitaktmotors als Hauptmaschine und die in diesem Falle gewählte Disposition wird gegenüber Anlagen üblicher Bauart mit unaufgeladenen Motoren die Länge des Maschinenraumes um etwa 40% herabgesetzt.

Wesentlich ist bei den beschriebenen Anlagen neben dem Preisvorteil namentlich die Einsparung an Raumbedarf und an der Länge des Maschinenraumes, welche der hochgeladene Zweitaktmotor gegenüber dem unaufgeladenen Motor zu bieten imstande ist. Dadurch wird auch die Freiheit der Gesamtdisposition erhöht. Diese Vorteile sind, wie erwähnt, in der Hauptsache darauf zurückzuführen, daß die Leistungsausbeute, die aus einem gegebenen Zylinder-Hubvolumen gewonnen werden kann, durch die Zweitaktaufladung schon beim



auf etwa 500 bis 600° C ohnehin nötig ist, bevor diese der Abgasturbine zugeführt werden dürfen. Anstatt nun diese Abkühlung, wie es bei der Gleichdruckgasturbine geschieht, durch Beimischung von Überschußluft zu erreichen, was zur Anwendung entsprechend vergrößerter Verdichter und Turbinen zwingt und zudem einer Energieentwertung gleichkommt, findet diese Abkühlung beim hochgeladenen Dieselmotor vorwiegend durch die Expansion der Feuergase im Dieselzylinder statt, wobei diese gleichzeitig nutzbare Arbeit abgeben. Diese zusätzliche Arbeit ist es, die bewirkt, daß der thermische Wirkungsgrad des hochgeladenen Dieselmotors rund doppelt so hoch ist wie derjenige der einfachen Gleichgasdruckturbine in ihrer heutigen Ausführung.

Die erwähnte Analogie wird noch zutreffender, wenn man beim hochgeladenen Dieselmotor den Aufladedruck weiter zunehmen läßt. Nach den in den Abb. 9 bis 11 gezeigten Indikatordiagrammen muß dann das Hubvolumen bei gleichbleibendem Totraum immer kleiner werden. Im Grenzfall wird das Hubvolumen zu Null und der Dieselmotor schrumpft auf den Totraum zusammen. Dieser ist dann mit der Brennkammer der hypothetischen Hochdruckgasturbine identisch. Mit der Schrumpfung des Hubvolumens ist gleichzeitig die mittlere Arbeitstemperatur des Dieselzylinders immer höher angestiegen. Im Grenzfall, d. h. beim Hubvolumen Null, ist diese Arbeitstemperatur derart hoch, daß sie mit den heutigen Mitteln in einer Brennkammer nicht mehr beherrscht werden kann, es sei denn mit unzulässig hohen Wärmeverlusten. Dasselbe gilt von der Temperatur der Abgase mit Rücksicht auf die Abgasturbine. Schließlich ist es mit den heutigen Radial- und Achsialverdichtern nicht möglich, relativ kleine Fördermengen auf Drücke in der Größenordnung von 100 ata mit guten Wirkungsgraden zu verdichten. Eine Hochdruckgasturbine dieser Art läßt sich somit heute noch nicht verwirklichen. Dagegen kann dieser Arbeitsprozeß, wie dargelegt wurde, mit gutem Wirkungsgrad im hochgeladenen Dieselmotor oder in der Treibgasanlage durchgeführt werden.

Auch vom konstruktiven Gesichtspunkt aus ist es folgerichtig, die in jedem Fall, bzw. für jedes Druckgebiet bestgeeigneten Mittel zu verwenden. Da nun zur Erzielung guter Wirkungsgrade hohe Drücke und Temperaturen verarbeitet werden müssen, ist die Verlegung der Verbrennung sowie der hohen Kompressions- und Expansionsdrücke in den Dieselzylinder als dem hierfür geeignetsten Bauelement gegeben. Da aber das teure Hubvolumen des Dieselmotors im unteren Teil des Indikatordiagramms bekanntlich nur unvollkommen ausgenutzt wird, ist es wiederum folgerichtig, diesen Teil der Kompressions- und Expansionsarbeit Radial- oder Achsialverdichtern sowie Turbinen zu übertragen, die bekanntlich wesentlich billiger, leichter und kleiner sind und sich namentlich für große Mengen bei niederen und mittleren Drücken bis zu etwa 10 ata als gut geeignet erwiesen haben. Hierbei ist zu beachten, daß bei der Dieselhochladung die Verdichter und Turbinen bis zum Aufladedruck von 6 ata höchstens für die einfache Nutzleistung bemessen sind, während diese Organe bei der einfachen Gleichdruckgasturbine wegen des benötigten Luftüberschusses für die 3- bis 5fache Nutzleistung gebaut werden müssen. Diese ergibt sich dann, wie erwähnt, als Differenz zwischen der Turbinenleistung und dem Leistungsbedarf des Verdichters.

Das Zusammenkuppeln von Maschinen derart verschiedener Eigenschaften wie sie dem Dieselmotor, der Turbine und dem dynamischen Verdichter radialer oder achsialer Bauart eigen sind, erscheint dem Praktiker zunächst mindestens unerwünscht. Es ist jedoch heute allgemein bekannt, daß die bei der Zweitakthochladung neu hinzukommenden Elemente, nämlich die Abgasturbine, der Verdichter und das Zahnradgetriebe, bei Anwendung solider Konstruktionen sowie sachgemäßer Ausführung und Wartung, nicht nur keinerlei Schwierigkeiten im Betrieb hervorrufen, sondern dem Dieselmotor an Lebensdauer durchaus ebenbürtig sind.

Aus diesen Überlegungen und den erzielten Versuchsergebnissen geht hervor, daß sowohl in thermodynamischer als auch in konstruktiver und betriebstechnischer Hinsicht wichtige Gründe zugunsten der Kombination von Dieselmotor und Gasturbine sprechen. Gegenüber der heutigen Gleichdruckgasturbine bringt sie eine Erhöhung des thermischen Wirkungsgrades um mehr als 100% und gegenüber dem unaufgeladenen Dieselmotor eine Erhöhung des effektiven Mitteldruckes um 100 bis 200%. Die Folge ist eine erhebliche Reduktion an Gewicht und Raumbedarf oder an Brennstoffverbrauch, in jedem Fall also eine Erhöhung der Gesamtwirtschaftlichkeit. In vielen Fällen werden daher die angegebenen Vorteile der Zweitakthochladung die Nachteile, die vielleicht im Zusammenkuppeln von Maschinen verschiedenartiger Eigenschaften erblickt werden könnten, entscheidend überwiegen und dem hochgeladenen Zweitaktmotor den Vorzug verschaffen.

Aus der Gegenüberstellung des Dieselmotors und der Gleichdruckgasturbine eine grundsätzliche Ablehnung der letzteren abzuleiten, wäre ein Irrtum. Die Gleichdruckgasturbine hat im Gegenteil,

schon vom Standpunkt der technischen Entwicklung aus betrachtet, eine überragende Bedeutung. Diese Erkenntnis hat die Firma Gebrüder Sulzer veranlaßt, der Entwicklung dieser kalorischen Kraftmaschine ihre ganz besondere Aufmerksamkeit zu schenken und in der Folge die Realisierung einer Gleichdruckgasturbine eigenen Systems zu betreiben.

Trotz allen Neuerungen wird sich aber der normale unaufgeladene Zweitakt-Dieselmotor, der eine sehr hohe Stufe der Vervollkommnung erreicht hat und heute das Feld beherrscht, nach wie vor auf vielen Gebieten mit Erfolg behaupten.

Seine neueste Weiterentwicklung, der hochgeladene Zweitakt-Dieselmotor, wird in erster Linie dort Eingang finden, wo höhere Anforderungen an das Gewicht und den Raumbedarf der Kraftanlage gestellt werden, wie dies z. B. in der Traktion, in gewissen Schiffskategorien und allgemein bei Spitzen-, Reserve- und Notstrom-Anlagen der Fall ist.

Dem Treibgasverfahren, das eine der möglichen Realisierungen der Gasturbine darstellt und die Vorzüge der Gleichdruckgasturbine mit denjenigen des Dieselmotors verbindet, eröffnen sich namentlich auf dem Gebiet der großen Leistungen oberhalb des normalen und des hochgeladenen Zweitakt-Dieselmotors aussichtsreiche Möglichkeiten.

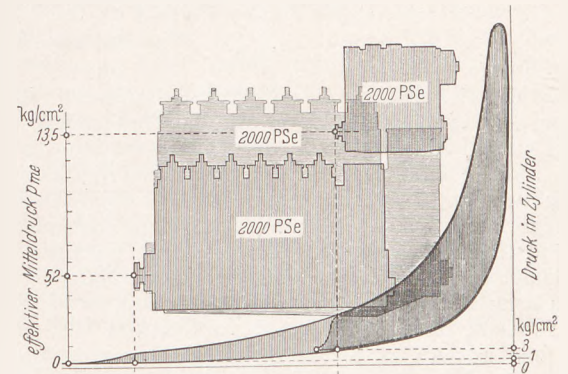


Abb. 22. Vergleich zwischen dem Raumbedarf eines nichtaufgeladenen 2000 PSe Zweitaktmotors mit Kreuzkopf, eines nichtaufgeladenen 2000 PSe Tauchkolben-Zweitaktmotors und eines nach dem Sulzer-Verfahren aufgeladenen 2000 PSe Zweitakt-Gegenkolbenmotors. — Die dunkler schraffierte Diagramm-Fläche stellt die in den Dieselzylindern des aufgeladenen Motors geleistete Arbeit dar. Die aus der Abgasturbine und den Auflade-Verdichter resultierende Arbeit deckt sich im Flächenvergleich annähernd mit dem heller schraffierten unteren Diagrammteil der nichtaufgeladenen Motoren (weitere Angaben siehe Abb. 15).

Die Gleichdruckgasturbine dürfte namentlich auf dem Gebiet der größeren Leistungen neben dem Treibgasverfahren zu Bedeutung gelangen, vorausgesetzt, daß ihr Wirkungsgrad sowohl bei Vollast als auch namentlich bei Teillast noch erheblich verbessert werden kann. Ihrem Wesen nach wird aber die Gleichdruckgasturbine hauptsächlich mit der Dampfkraftanlage in Wettbewerb treten, der gegenüber sie den Vorteil des wasserfreien Betriebes aufweist. Andererseits wird sie aber den Dieselmotor, sei es mit oder ohne Hochladung, nicht ersetzen können wie seinerzeit die Dampfturbine die Kolbendampfmaschine. Während sich nämlich die Kolbendampfmaschine und die Dampfturbine, thermo-dynamisch betrachtet, nur dadurch unterscheiden, daß sie dasselbe Wärmegefälle auf zwei verschiedene Arten ausnützen, unterscheidet sich der Dieselmotor von der Gleichdruckgasturbine durch die verschiedene Ausdehnung und Höhe des verarbeiteten Wärmegefälles. Zudem ist zu beachten, daß der Dieselmotor unter allen kalorischen Krafterzeugern nach wie vor den höchsten thermischen Wirkungsgrad aufweist und diese Überlegenheit auch gegenüber der Gleichdruckgasturbine behaupten wird; denn jede künftige Verbesserung der Wirkungsgrade des Verdichters und der Turbine sowie der Hitzebeständigkeit des Materials wird nicht nur der Gleichdruckgasturbine sondern auch dem hochgeladenen Zweitaktmotor und der Treibgasanlage zugute kommen und auch hier die Leistungsbereiche und die Brennstoffökonomie erhöhen.

**Zusammenfassung.** Unter den Entwicklungsmöglichkeiten des Dieselmotors stand die Aufladung des Zweitaktmotors im letzten Jahrzehnt bei Gebrüder Sulzer im Vordergrund des Interesses. Sie erhöht die Leistungsdichte, wodurch das Gewicht und der Raumbedarf reduziert werden. Schon die bekannte Sulzer-Nachladung war eine Aufladung. Die Anwendung höherer Aufladedrücke erfordert die Nachschaltung von Abgasturbinen, um den Auspuffverlust herabzusetzen. Die unmittelbare Aufladung des Zweitaktmotors, bei welcher der von der Kurbelwelle angetriebene Spülverdichter durch das Aufladeaggregat ersetzt ist, läßt sich praktisch nicht verwirklichen, weil es auf diese Weise nicht möglich ist, den Motor anzulassen. Durch die Kupplung der Abgasturbine und des Ver-



dichters mit der Kurbelwelle läßt sich diese Schwierigkeit vermeiden. Dieses hier als „Hochladung“ bezeichnete Arbeitsverfahren läßt auch die Anwendung höherer Aufladepdrücke zu. Die Steigerung des Aufladepdrückes auf 5 bis 6 ata hat zur Folge, daß Diesel- und Verdichtungsleistung gleich werden, so daß die Turbine abgekuppelt und getrennt aufgestellt werden kann. Das aus Dieselmotor und Verdichter bestehende Aggregat wirkt dann als Treibgaserzeuger. An dessen Stelle können auch Freikolben-Treibgaserzeuger verwendet werden. Die Aufladung über 6 ata ist möglich, erfordert aber im Falle des Treibgasverfahrens die Anwendung der Vorverdichtung des Kompressors.

Die Erprobung der „Hochladung“ an verschiedenen Versuchsmotoren ergab im Dauerbetrieb gehaltene effektive Mitteldrücke von 12 kg/cm<sup>2</sup> bei Aufladung auf 2 ata, von 15 kg/cm<sup>2</sup> bei Aufladung auf 3 ata und von 18 kg/cm<sup>2</sup> bei Aufladung auf 6 ata. Der Brennstoffverbrauch betrug bei Aufladung auf 2 ata weniger als 160 g/PS<sub>e</sub>h.

## Die Vorschriften des Germanischen Lloyd für Schmelzschweißung an Dampfkesseln und Druckbehältern.

Von Dr.-Ing. K. Hoefel, Germanischer Lloyd, Berlin.

Obwohl die elektrische und autogene Schmelzschweißung schon seit langem als zuverlässiges Mittel zur Verbindung von Stahlteilen gilt, wurde sie bei Zylinderkesseln für Handelsschiffe, die vom Germanischen Lloyd klassifiziert wurden, bis vor kurzem nicht in erheblichem Umfange angewendet. Meist waren es die Flammrohre, die mit den Feuerbüchsen durch Schmelzschweißung verbunden wurden; Werften und Kesselbauanstalten, die bereits über längere Erfahrung auf dem Gebiet der Schmelzschweißung verfügten, pflegten diese Ausführung zu benutzen. Die elektrische Schweißung der Trommeln von Wasserrohrkesseln blieb den Firmen vorbehalten, die vom Reichswirtschaftsministerium zur Schmelzschweißung zugelassen waren und dabei in der Regel die Berechtigung erhalten hatten, für die Wertigkeit der Schweißnaht den höchsten zulässigen Faktor bei der Berechnung der Wandstärken zu benutzen. Dieser Faktor, gewöhnlich mit  $v$  bezeichnet, spielt insofern eine wichtige Rolle bei der Schweißung von Kesseln, als sein Höchstwert nur von erfahrenen Firmen, die ihre Befähigung zum Schweißen nachgewiesen haben, benutzt werden darf, während Firmen, bei denen dies nicht der Fall ist, mit einem niedrigeren Wert von  $v$ , d. h. größeren Wandstärken, rechnen müssen. Für den niedrigsten Wert von  $v$  (0,5 oder weniger) wurde eine Zulassungsprüfung nicht gefordert. Gleichwohl hat der Germanische Lloyd, sofern ihm die Zuverlässigkeit der Firmen nicht bekannt war, eine Zulassungsprüfung durch Vornahme von Zug- und Biegeversuchen gefordert und die Schmelzschweißung an Kesseln auf Schiffen, die von ihm klassifiziert werden sollten, erst dann zugelassen, wenn die Prüfung befriedigend ausgefallen war. Ähnlich lagen die Verhältnisse bei elektrisch geschweißten Druckluftbehältern. Auch hier hat der Germanische Lloyd in einzelnen Fällen Firmen zur Herstellung von Druckluftbehältern durch elektrische Schweißung zugelassen, wenn die betreffende Firma durch eine Prüfung ihre Befähigung nachgewiesen hatte.

Neuerdings wird aber die Schweißung an Kesseln und Druckbehältern, die für Handelsschiffe bestimmt sind, in zunehmendem Maße angewendet; die für deutsche Rechnung in Holland, Belgien und Frankreich sowie in den nordischen Ländern im Bau befindlichen Handelsschiffe, die unter Aufsicht des Germanischen Lloyd gebaut werden, erhalten vielfach Kessel, bei denen die elektrische Schweißung in größerem Umfang als bisher angewendet wird. Die Feuerkammern von Zylinderkesseln werden zuweilen ganz elektrisch geschweißt; auch für Kessel größerer Abmessungen, die in allen Nähten elektrisch geschweißt werden sollen, liegen Entwürfe vor. Druckluftbehälter, die für die im Bau befindlichen Schiffe bestimmt sind, werden ebenfalls elektrisch geschweißt. Die ausländischen Hersteller hatten sich nicht in allen Fällen, wie es in Deutschland behördlich vorgeschrieben ist, einer Prüfung zwecks Zulassung zur elektrischen Schweißung unterworfen, die der deutschen behördlichen Verfahrensprüfung gleichwertig ist. Für den Germanischen Lloyd ergab sich daher die Notwendigkeit, Vorschriften für Schmelzschweißung zu schaffen, die nunmehr vorliegen; sie sind am 1. März 1942 in Kraft getreten.

### Richtlinien für die Abfassung der Vorschriften.

Wenn auch in erster Linie das Bedürfnis bestand, Vorschriften für die im Ausland für deutsche Besteller arbeitenden Firmen aufzustellen, so war doch selbstverständlich auch darauf Rücksicht zu nehmen, daß die Vorschriften in Deutschland anwendbar sein müssen. Sie wurden daher in Anlehnung an die Schweißvorschriften

Auf Grund der durchgeführten Studien und Versuche wurde ein auf 2 ata hochgeladener Zweitaktmotor von 1200 PS<sub>e</sub> gebaut, der sich im eigenen Werk während eines industriellen Betriebes von mehreren tausend Stunden einwandfrei bewährt hat. Es ist dies die erste Realisierung eines hochgeladenen Zweitaktmotors dieser Art. Die Hochladung wurde mit gleichem Erfolg außerdem an Motoren bis zu 420 mm Bohrung und an solchen bis zu 2400 U/min erprobt. Gebrüder Sulzer haben die Anpassung ihrer vorhandenen Motoren an die Forderungen der Zweitakthochladung sowie den Bau neuer, speziell der Hochladung angepaßter Motoren in Angriff genommen. Die Anwendung der neuen Bauart wird durch Beispiele veranschaulicht. Der hochgeladene Zweitaktmotor ist der unaufgeladenen Maschine in bezug auf den Mitteldruck bzw. die Leistungsdichte und der einfachen Gleichdruckgasturbine auch in bezug auf den thermischen Wirkungsgrad überlegen.

ten für Landdampfkessel<sup>1</sup> und an die vom Deutschen Dampfkesselausschuß aufgestellten vorläufigen Richtlinien für die Durchführung der Verfahrensprüfung in der Fassung vom September 1938 ausgearbeitet. Ein erster Entwurf der Vorschriften des Germanischen Lloyd wurde im November 1940 aufgestellt und versuchsweise bei der Zulassung ausländischer Firmen angewendet, um Erfahrungen zu sammeln. Gleichzeitig ist der Entwurf mehreren führenden Stahlwerken, welche die elektrische Schweißung schon seit Jahren anwenden, zur Stellungnahme übersandt worden; die von diesen Firmen gegebenen Anregungen konnten größtenteils berücksichtigt werden<sup>2</sup>. Schließlich wurde der Entwurf in seiner letzten Fassung den Mitgliedern des Beratenden Ausschusses für die Bauvorschriften für stählerne Seeschiffe vorgelegt; damit wurde auch den Vertretern führender Werften und Reedereien Gelegenheit gegeben, ihre Wünsche in bezug auf die Abfassung der Vorschriften zu äußern. Auch diese konnten bei der endgültigen Festlegung des Textes durchweg berücksichtigt werden.

Da an Bord von Schiffen außer Druckluftbehältern noch andere unter Druck stehende Behälter vorkommen, die elektrisch oder autogen geschweißt werden, sind diese Behälter unter der Bezeichnung „Druckbehälter“ (im Gegensatz zu Dampfkesseln) zusammengefaßt worden. Die Vorschriften erstrecken sich auch auf andere wichtige Teile der Maschinenanlage, da man Dampfrohrleitungen, Stützen, Grundplatten und Ständer schon mehrfach elektrisch geschweißt hat. Die Vorschriften gelten daher auch für solche geschweißten Maschinenteile.

Im folgenden wird über die wichtigsten Punkte der Schweißvorschriften des Germanischen Lloyd berichtet, insbesondere über solche Bestimmungen, deren Aufnahme in die Vorschriften des Germanischen Lloyd mit Rücksicht auf ausländische Hersteller geboten erschien.

### Zulassung zur Schweißung.

Wenn eine Firma die Schmelzschweißung an Dampfkesseln, Druckbehältern oder anderen wichtigen Teilen der Maschinenanlage — soweit diese vom Germanischen Lloyd zu klassifizieren ist — anwenden will, so muß sie grundsätzlich zur Ausführung der Schmelzschweißung zugelassen worden sein. Die Zulassungsprüfung, die hierzu erforderlich ist, ist in den neuen Vorschriften in Übereinstimmung mit den behördlichen Bestimmungen auch als Verfahrensprüfung bezeichnet. Unter gewissen Voraussetzungen kann der Germanische Lloyd auf die Verfahrensprüfung verzichten, z. B. wenn die Firma vom Reichswirtschaftsministerium zur Anwendung der Schmelzschweißung zugelassen worden ist, wenn sie schon seit längerer Zeit Schmelzschweißungen für Schiffe mit Klasse des Germanischen Lloyd mit Erfolg ausgeführt hat, oder wenn die Wertigkeit der Schweißnaht nur mit  $v = 0,5$  oder weniger in die Rechnung eingesetzt werden soll.

Die Zulassungsprüfung fordert nach Ausführung der Probe-schweißungen zunächst eine Röntgenprüfung der Schweiß-

<sup>1</sup> Vgl. Min.-Bl. des Reichswirtschaftsministers, Ausg. A, Nr. 24 vom 6. November 1939.

<sup>2</sup> Den Firmen Fried. Krupp A.-G., Essen, Mannesmannröhren-Werke, Düsseldorf, J. Pintsch, Fürstenwalde und Thyssen, Mülheim, die sich der Mühe unterzogen haben, den Entwurf durchzusehen, und von denen der Germanische Lloyd wertvolle Anregungen erhielt, sei auch an dieser Stelle bestens gedankt.



nähte, die zu Beanstandungen keine Veranlassung geben darf. So dann sind Zerreiß-, Falt- und Kerbschlagversuche sowie Gefügeprüfungen an den geschweißten Probestücken vorzunehmen. Die Gesamtzahl der Proben ist etwas geringer als die in den behördlichen Richtlinien vom September 1938 vorgesehene Anzahl. Es genügt, wenn ein aus vier Blechstücken zusammengesetztes Probestück sachgemäß geschweißt wird, doch muß die Quernaht (die der Rundnaht eines Behälters entspricht) in senkrechter Lage geschweißt werden. Die zu prüfenden Schweißer sollen damit nachweisen, daß sie auch imstande sind, eine senkrechte Naht gut zu schweißen, da sich die Notwendigkeit der senkrechten Schweißung bei der Herstellung eines Stückes gelegentlich ergeben kann. Der Germanische Lloyd behält sich ferner vor, Versuche bei erhöhter Probetemperatur zu verlangen, wenn die Wandungstemperatur im Betrieb  $350^{\circ}\text{C}$  überschreitet, oder Überkopfschweißungen zu fordern, wenn solche beim Kessel vorkommen. Das Probestück ist der gleichen Wärmebehandlung (Glühbehandlung) zu unterwerfen, die später bei der Herstellung des Kessels angewendet werden soll. Auch wenn beabsichtigt ist, die Kesselteile zu glühen, behält sich der Germanische Lloyd vor, die Untersuchung nicht geglühter Proben zu verlangen, um in der Lage zu sein, die Güte auch einer ungeglühten Schweißnaht beurteilen zu können. An die Ergebnisse des Falt- und Kerbschlagversuches bei ungeglühten Proben können etwas geringere Anforderungen als bei geglühten Proben gestellt werden.

Auf Grund der Versuchsergebnisse entscheidet der Germanische Lloyd, für welche Wertigkeit der Schweißnaht ( $v = 0,7$  oder  $0,9$ ) die Firma bei der Herstellung von Kesseln oder Druckbehältern usw. mit Klasse des Germanischen Lloyd zugelassen werden kann. Bei zufriedenstellendem Ausfall aller Prüfungen wird die Firma für  $v = 0,9$  zugelassen.

Wird Schmelzschweißung bei Dampfkesseln in erheblichem Umfang benutzt, so behält sich der Germanische Lloyd vor, die Zustimmung des Reeders zur Anwendung dieser Schweißung zu verlangen. In besonderen Fällen behält sich der Germanische Lloyd ferner vor, dem Klassenzeichen des Maschinenzertifikats das Zeichen „exp.“ hinzuzufügen.

#### Regeln für die Ausführung der Schweißung.

Stumpfschweißung, bei der die zu verschweißenden Schnittflächen der Bleche in zueinander parallelen Ebenen liegen, ist nicht zulässig. Überlappte Kehlnahtschweißungen sind möglichst zu vermeiden; sie sind nur in besonderen Fällen zulässig. Wenn Kehlnähte angewendet werden, so sind sie stets auf beiden Seiten zu schweißen.

Bei der Wertigkeit der Schweißung von  $v > 0,5$  müssen alle Schweißnähte auf der Wurzelseite ausgekreuzt und nachgeschweißt werden, wenn die Wurzelseite hierfür hinreichend zugänglich ist; Teile von Dampfkesseln sind so zu bemessen, daß dies der Fall ist. Bei Druckbehältern ist dafür zu sorgen, daß auf jeden Fall die Längsnähte und nach Möglichkeit auch die Rundnähte auf der Wurzelseite nachgeschweißt werden können. Über die Anwendung von Unterlegstreifen sind von Fall zu Fall Vereinbarungen mit dem Germanischen Lloyd zu treffen.

#### Arbeitsprüfung.

Von der Verfahrensprüfung, deren Bestehen die Voraussetzung für die Zulassung zur Schweißung an Dampfkesseln ist, unterscheiden die neuen Vorschriften des Germanischen Lloyd wie die behördlichen Bestimmungen die Arbeitsprüfung, die im allgemeinen an jedem einzelnen geschweißten Stück vorzunehmen ist, wenn eine Wertigkeit der Schweißnaht  $> 0,7$  beansprucht wird. Für die Arbeitsprüfung sind in der Verlängerung der zu schweißenden Naht zwei ebene Probebleche an das Stück zu schweißen. Die Probebleche sind zusammen mit den letzten 300 mm der Schweißnaht hintereinander in einem Arbeitsgang mit den anderen Blechen zu verschweißen; wenigstens ein Probeblechpaar eines Kessels oder einer Trommel muß in Gegenwart des Besichtigers des Germanischen Lloyd geschweißt werden. Den Probeblechen werden die Proben für die Zug-, Falt- und Kerbschlagversuche sowie für die Gefügeuntersuchungen entnommen. Die Probestücke sind, bevor sie vom Stück abgetrennt werden, zusammen mit dem geschweißten Stück zu glühen, sofern eine Glühbehandlung erforderlich ist. Bei den Versuchen müssen dieselben Festigkeitswerte wie bei der Zulassungsprüfung erreicht werden. Ferner sind alle Schweißnähte von Teilen, für welche eine Arbeitsprüfung vorgeschrieben ist, einer Röntgenprüfung zu unterziehen. Wesentliche Schweißfehler, wie Bindefehler, größere Schlackeneinschlüsse und Porenester, dürfen auf dem Röntgenbild nicht erkennbar sein.

Ob und wieviele Arbeitsprüfungen vorzunehmen sind, hängt von der Art des zu verschweißenden Stückes ab. Besteht eine Trommel oder ein Mantel eines Dampfkessels aus einem oder aus zwei Schüssen, so ist jeder Schuß einer Arbeitsprüfung zu unterwerfen. Hat eine

Trommel oder ein Mantel mehr als zwei Schüsse, so genügt es, wenn am ersten und am letzten Schuß eine Arbeitsprüfung vorgenommen wird, wobei vorausgesetzt ist, daß die Bleche der gleichen Schmelzung entstammen. Hat ein Schuß mehr als eine Längsnaht, was aber nur selten vorkommen wird, so kann der Germanische Lloyd bei den weiteren Längsnähten auf die Arbeitsprüfung verzichten. Bei Druckbehältern ist das Produkt aus dem Betriebsdruck  $p$  in  $\text{kg/cm}^2$  und dem Inhalt  $J$  des Behälters in Litern dafür maßgebend, ob an jedem Behälter eine Arbeitsprüfung vorzunehmen ist, oder ob nur eine Prüfung für mehrere Behälter gefordert wird. Wenn das Produkt  $p \cdot J$  den Wert 15 000 nicht überschreitet, so genügt eine Arbeitsprüfung für je fünf Behälter von etwa gleicher Größe und Bauart; Voraussetzung hierfür ist, daß der Werkstoff der Behälter aus der gleichen Schmelzung stammt, und daß die Behälter von demselben Schweißer mit der gleichen Elektrode geschweißt werden. Wenn das Produkt  $p \cdot J$  den Wert 15 000 übersteigt, aber nicht größer als 30 000 ist, so ist von je zwei Behältern etwa gleicher Größe und Bauart ein Behälter der Arbeitsprüfung zu unterwerfen, wobei die gleichen Voraussetzungen bezüglich des Schweißers und der Elektrode gelten; ist  $p \cdot J$  größer als 30 000, so ist jeder Behälter zu prüfen.

Sollen nahtlose oder wassergasgeschweißte Mäntel mit den Böden in den Rundnähten durch Schmelzschweißung verbunden werden, so ist im allgemeinen eine Arbeitsprüfung nicht erforderlich, jedoch sind die Rundnähte einer Röntgenprüfung zu unterwerfen. Der Germanische Lloyd behält sich vor, die Arbeitsprüfung einer wassergasgeschweißten Längsnaht zu verlangen, wenn sie aus irgendwelchen Gründen notwendig erscheint.

Bei Dampfrohren, bei denen im allgemeinen nur Rundschweißnähte in Frage kommen, ist eine Arbeitsprüfung durch Anschweißen von Probeblechen nicht möglich; es ist aber eine Röntgenprüfung vorzunehmen, wenn sie vom Germanischen Lloyd verlangt wird. Bei Stützen und Ventilen sowie bei anderen Teilen der Maschinenanlage, wie Grundplatten und Gestellen, die geschweißt werden sollen, entscheidet der Germanische Lloyd von Fall zu Fall, ob und in welchem Umfang eine Arbeitsprüfung vorzunehmen ist.

Wenn eine Firma eine größere Zahl von Stücken zur Zufriedenheit des Germanischen Lloyd geschweißt hat, so kann die Anzahl der Arbeitsprüfungen gegenüber der Vorschrift herabgesetzt werden.

Auch wenn die Wertigkeit  $v$  der Schweißnaht gleich oder kleiner als  $0,7$  ist, eine Arbeitsprüfung also nicht verlangt wird, so haben der Germanische Lloyd und seine Besichtiger das Recht, Probeschweißungen in Gegenwart des Besichtigers ausführen zu lassen, wenn dies aus irgendeinem Grunde erforderlich erscheint. Findet eine Arbeitsprüfung statt, so können in besonderen Fällen einige Probeschweißungen wie bei der Zulassungsprüfung neben der Arbeitsprüfung verlangt werden. Hierbei ist vorgesehen, daß die zusätzlich ausgeführten Proben sowohl bei  $v$  gleich oder kleiner als  $0,7$  als auch bei  $v$  größer als  $0,7$  auch ungeglüht untersucht werden können.

#### Glühbehandlung.

In dem Abschnitt über Glühbehandlung führen die Vorschriften zunächst alle diejenigen Teile und die Fälle auf, in denen durch Schmelzschweißung hergestellte Stücke weder normalisierend noch spannungsfreigeglüht zu werden brauchen. In Übereinstimmung mit den gesetzlichen Vorschriften ist z. B. eine Wärmebehandlung nicht erforderlich bei Flammrohren, Dommänteln und Dampfsammlern, wenn Blechsorte I ( $35$  bis  $44 \text{ kg/cm}^2$  Zugfestigkeit) oder II ( $41$  bis  $50 \text{ kg/cm}^2$ ) verwendet wird, die Wertigkeit  $v$  der Schweißnaht nicht größer als  $0,7$  ist und die Blechdicke nicht mehr als  $25 \text{ mm}$  beträgt. Eine Glühbehandlung ist ebenfalls nicht erforderlich bei kleinen Kesselteilen, z. B. einzelnen kleinen Stützen, bei einzelnen vorgeschuhten Heiz- und Wasserrohren sowie bei Verbindungsrundnähten von Überhitzerrohren. Nach den gesetzlichen Bestimmungen brauchen schmelzgeschweißte Schüsse und Trommeln nicht geglüht zu werden, wenn der Betriebsüberdruck  $8 \text{ kg/cm}^2$  nicht übersteigt, wenn bei der Herstellung Werkstoff von nicht mehr als  $42 \text{ kg/mm}^2$  Festigkeit verwendet worden ist und die rechnerische Zugbeanspruchung in den Schweißnähten den Wert  $4,25 \text{ kg/mm}^2$  nicht überschreitet. Die größte hierbei zulässige Blechdicke soll von Fall zu Fall festgesetzt werden. Ein Blech von  $42 \text{ kg/mm}^2$  kann sowohl der Blechsorte I als auch der Sorte II angehören, wenn die Festigkeit bei Sorte II an der unteren Grenze liegt. Mit Rücksicht hierauf und weil Schwierigkeiten entstehen können, wenn der Fortfall der Glühbehandlung von der erst festzustellenden Festigkeit des Werkstoffs abhängig gemacht wird, hat der Germanische Lloyd an Stelle der höchsten Festigkeit von  $42 \text{ kg/mm}^2$  die Blechsorte I vorgeschrieben. Die größte Wanddicke, bei der ein Glühen nicht erforderlich ist, hat er auf  $15 \text{ mm}$  begrenzt.

Der Germanische Lloyd verzichtet auf eine Glühbehandlung bei Dampfrohren, bei denen die Rundschweißnähte an Bord hergestellt werden, bei Dampfrohren, bei denen die Rundschweißnähte in der Werkstatt hergestellt werden, wenn ein Ausglühen aus besonderen



Gründen nicht ausführbar oder mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden ist, ferner bei Kessel- oder Maschinenteilen, die ausgebessert worden sind, sofern nicht die Ausbesserung einer Neuanfertigung gleichkommt.

Alle unter „Nichtausglühen“ nicht angeführten Teile müssen einer Wärmebehandlung unterworfen werden; sie brauchen aber nur spannungsfrei bei 600 bis 650° C geglüht zu werden, wenn die Wertigkeit der Schweißnaht  $v$  den Wert 0,7 nicht überschreitet und die Röntgenprüfung die einwandfreie Beschaffenheit der Schweißnähte ergeben hat. Überschreitet  $v$  den Wert 0,7, so genügt ein Spannungsfreiglühen unter bestimmten Voraussetzungen, die im Erlaß des Reichswirtschaftsministeriums vom 6. März 1940 — III SW 6573/40 —<sup>3</sup> angegeben sind. Z. B. dürfen für die Herstellung der zu schweißenden Werkstücke nur unlegierte Kohlenstoffstähle der Sorten I, II und III in Dicken bis 50 mm verwendet werden<sup>4</sup>. Die Werkstücke, die durch Schmelzschweißung miteinander verbunden werden, dürfen nicht vorher einer Wärmebehandlung, wie Kumpeln oder dergleichen, ohne nachheriges Normalglühen unterzogen worden sein. Wenn das Herstellerwerk nachweisen kann, daß die Temperatur, bei der das Kumpeln beendet worden ist, über dem oberen Umwandlungspunkt des Werkstoffs gelegen hat, so ist ein besonderes Normalglühen nicht erforderlich. Wird ein nahtloser oder wassergasgeschweißter Mantel mit den Böden in den Rundnähten durch Schmelzschweißung verbunden, so braucht

<sup>3</sup> Veröffentlicht im Ministerialblatt des Reichswirtschaftsministeriums, Ausgabe A, Nr. 9 vom 30. Dezember 1940.

<sup>4</sup> Nach dem Erlaß des Reichswirtschaftsministeriums vom 15. Dezember 1941 — III G 12 540/41 II. Ang. —, veröffentlicht im Ministerialblatt des Reichswirtschaftsministeriums, Ausgabe A, Nr. 2 vom 19. Januar 1942, sind jetzt auch unlegierte Kohlenstoffstähle der Festigkeitsorte IV (47 bis 56 kg/mm<sup>2</sup> Festigkeit) in Dicken bis zu 50 mm zugelassen.

das Stück nur spannungsfreiglüht zu werden, wenn die Einzelteile (Mantel und Boden) vor ihrer Verbindung für sich normalgeglüht worden sind. Auch muß eine Röntgenprüfung die einwandfreie Beschaffenheit aller Schweißnähte ergeben, und es müssen bei der Arbeitsprüfung alle Bedingungen erfüllt worden sein. Die Zustimmung des Germanischen Lloyd zum Ersatz des Normalglühens durch das Spannungsfreiglühen muß eingeholt werden.

Alle Teile, die unter „Nichtausglühen“ oder „Spannungsfreiglühen“ nicht aufgeführt sind, müssen nach Fertigstellung der letzten Schweißnaht sachgemäß oberhalb des Umwandlungspunktes normalgeglüht werden. In Übereinstimmung mit den gesetzlichen Bestimmungen hat der Germanische Lloyd ferner die Vorschrift erlassen, daß ein Werkstück in jedem Fall normalgeglüht werden muß, wenn es nach besonderem Verfahren mit so hohem Druck abgedrückt wird, daß die Beanspruchung etwa die Streckgrenze erreicht.

Die Vorschriften für Schmelzschweißung werden später in die Bauvorschriften des Germanischen Lloyd für Maschinenanlagen aufgenommen werden. Hersteller und Verbraucher werden es begrüßen, daß jetzt bestimmte Vorschriften an die Stelle von Bestimmungen getreten sind, nach denen über die Zulassung, die Bewertung und Prüfung der Schweißung sowie über das Ausglühen von Fall zu Fall Vereinbarungen mit dem Germanischen Lloyd zu treffen waren. Solche Bestimmungen befinden sich u. a. in den Abschnitten über Dampfkessel und über Druckluftbehälter. Die neuen Vorschriften dürften dazu beitragen, die Betriebssicherheit der vom Germanischen Lloyd klassifizierten Maschinenanlagen zu erhöhen. Sollten die behördlichen Vorschriften geändert werden, etwa in bezug auf die Form der Zerreißstäbe oder auf die Wärmebehandlung, so ist vorgesehen, die Bestimmungen des Germanischen Lloyd, die auch für ausländische Schiffe gelten sollen, diesen Vorschriften anzupassen.

## Gewerbliche Schutzrechte.

### Patentmeldungen.

#### Einspruchsfrist bis zum 7. August 1942.

- 65e, 1. Sch 120 777. Erf., zugl. Anm.: Julius F. Schulz, Berlin-Nikolassee. Seemine. 26. 7. 40.  
65e, 3/02. S. 141 100. Erf.: Pasquale Borraccici, Florenz. Anm.: S. A. Pignone, Florenz, Italien. Vorrichtung zum Zünden von Minen. 20. 5. 40. Italien 7. 6. 39.

#### Einspruchsfrist bis zum 14. August 1942.

- 45b, 28/01. G 102 317. Erf., zugl. Anm.: Bruno C. Großkopf, Berlin-Hermsdorf. Hochkant stehendes Seitenscherbrett für Grundschleppnetze. 27. 9. 40.  
46a<sup>4</sup>, 3/04. St 59 693. Erf.: Heinrich Pape, Stettin. Anm.: Stettiner Oderwerke AG. für Schiff- und Maschinenbau, Stettin. Vierzylindermaschine, insbes. Brennkraftmaschine. 11. 5. 40. Protektorat Böhmen und Mähren.  
65f<sup>1</sup>, 4. K 160 517. Erf.: Arthur Griesche, Köln-Kalk. Anm.: Klöckner-Humboldt-Deutz AG., Köln. Einrichtung zur Ableitung des Gaswassers auf durch Generatorgas-kraftanlagen angetriebenen Schiffen, insbes. auf Seeschiffen. 18. 3. 41.

#### Einspruchsfrist bis zum 21. August 1942.

- 35b, 3/19. M 147 502. Erf.: Hans Höper, Nürnberg. Anm.: Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg AG., Nürnberg. Einziehwerk für Kran ausleger. 9. 4. 40. Protektorat Böhmen und Mähren.  
35b, 5/01. D 84 903. Erf.: Hermann Fackert, Duisburg. Anm.: Demag AG., Duisburg. Vorrichtung zur Verhinderung von Schlappseilbildung im Hubseil von Hebezeugen. 19. 4. 41.  
35b, 7/03. K 157 719. Erf.: Heinrich Scheider, Magdeburg. Anm.: Fried. Krupp Grusonwerk AG., Magdeburg-Buckau. Hubwerk mit Schnellsenkvorrichtung. 23. 5. 40. Protektorat Böhmen und Mähren.  
46b<sup>2</sup>, 18. K 146 270. Erf.: Dr.-Ing. Karl Mohr, Kiel. Anm.: Fried. Krupp, Germania-Werft AG., Kiel-Gaarden. Gleichlaufvorrichtung für Brennkraftmaschinen. 22. 4. 37.  
65a<sup>4</sup>, 10. G 101 508. Erf., zugl. Anm.: Dipl.-Ing. Erich Grundt, Berlin. Buganbau mit Wellenschluckertaschen; Zus. z. Pat. 688 544. 28. 3. 40.

#### Einspruchsfrist bis zum 28. August 1942.

- 35b, 7/03. D 72 878. Demag AG., Duisburg. Steuerung für elektrisch angetriebene Winden. 8. 6. 36.  
47g, 47/02. D 83 884. Erf.: Gerhard Klün, Kiel. Anm.: Deutsche Werke, Kiel AG., Kiel. Sicherheitsventil. 30. 11. 40.  
65a<sup>2</sup>, 13. Sch 116 983. Erf.: Ane P. Schat, Utrecht, Niederlande. Anm.: Schat-Davit G. m. b. H. in Deutschland, Hamburg. Bootsaustrichvorrichtung. 7. 11. 38. Protektorat Böhmen und Mähren.

### Patente.

- 13a, 8/14. 721 932. Erf.: Dipl.-Ing. Heinrich Böhm, Bremen. Inh.: Deutsche Schiff- und Maschinenbau AG., Bremen. Wasserrohrschiffskessel. 14. 10. 39. D 81 357. Protektorat Böhmen und Mähren.  
13g, 7. 721 838. La Mont Kessel Herpen & Co. K.G., Berlin. Im Zwan- umlauf des Arbeitsmittels betriebener Röhren- dampferzeuger. 10. 9. 36. G 93 704.  
14c, 14. 721 786. Dipl.-Ing. Gustav Köhler, Hamburg-Rahlstedt. Ge- triebeturbine mit Verteilung der Leistung auf mindestens zwei Gehäuse. 28. 4. 36. K 146 460.  
24b, 1/01. 722 326. Erf.: Erich Köpke, Wentorf, Post Reinbeck, Be- Hamburg. Inh.: Wagner-Hochdruck-Dampfturbinen Komm.-Ges., Ham- burg. Luftzuführung bei Öl- oder Staubbrennern.  
7. 11. 36. K 144 305.  
24b, 9. 722 172. Erf., zugl. Inh.: Oswald Huwyler, Wien. Öldruck- zerstäuberbrenner. 25. 11. 38. H 157 791.  
35c, 3/01. 721 747. Erf.: Max Keppeler, Seestadt Rostock. Inh.: Ernst Heinkel Flugzeugwerke G. m. b. H., Seestadt Rostock. Winde. 12. 9. 40. H 163 137.  
42c, 35/10. 722 060. Erf.: Hermann Brandt, Berlin. Inh.: Siemens Apparate und Maschinen G. m. b. H., Berlin. Kardanisch aufgehängter Kreisels; Zus. z. Pat. 701 623. 24. 6. 39. S 137 552.  
45h, 27/01. 722 180. Friedrich Deckert, Spieka über Wesermünde-Geeste- münde. Schleppnetzgeschirr. 28. 8. 36. D 73 379.  
47h, 26. 721 636. Erf.: Edvin Ossian Parcival Thege, Stockholm. Inh.: Aktiebolaget Atlas Diesel, Stockholm. Mit Flüssigkeit arbe- tender Drehschwingungsdämpfer. 9. 12. 38. A 88 006. Schweden 27. 1. 38.  
65a<sup>2</sup>, 46. 722 435. Erf.: Leo Hoppe, Cuxhaven. Inh.: Hoppe & Kroob, G. m. b. H., Cuxhaven. Buchse zum Befestigen von Gegen- ständen an Wandungen, insbes. am Deck von Schif- fen. 2. 8. 40. H 162 869.  
65a<sup>2</sup>, 57. 722 598. Erf.: Dr.-Ing. Carl von den Steinen, Hamburg. Inh.: Askania-Werke AG., Berlin-Friedenau. Einrichtung zur Ver- minderung der Anfangsstabilität von Schiffen.  
23. 11. 39. A 90 525. Protektorat Böhmen und Mähren.  
65a<sup>2</sup>, 22. 722 274. Erf., zugl. Inh.: Halvor Andresen, Oslo. Einrichtung zum Spannen von Segeln oder anderen unstarren Flächen; Zus. z. Pat. 717 715. 15. 9. 40. A 92 005. Norwegen 9. 10. 39.  
65f<sup>2</sup>, 12. 722 040. Erf.: Dipl.-Ing. Kurt Schmidt, Köln-Holweide. Inh.: Klöckner-Humboldt-Deutz AG., Köln. Durch Motorabgase be- heizte Dampferzeugungsanlage, insbes. für durch Generatorgas angetriebene Schiffe; Zus. z. Pat. 685 009. 22. 1. 38. H 154 433. Österreich.  
65f<sup>2</sup>, 3. 722 084. Erf., zugl. Inh.: Hermann Heinrich, Chemnitz. Schaufelradpropeller; Zus. z. Pat. 709 253. 10. 2. 37. H 150 380.  
84d, 3. 722 378. Erf.: Albert Kuhsel, Hamburg-Altona. Inh.: Menck & Hambroek G. m. b. H., Hamburg-Altona. Klappenverschluss für Löffelbagger. 5. 10. 39. M 146 202. Protekt. Böhmen und Mähren.

**INHALT:** Über die Aufladung des Zweitakt-Dieselmotors. Von F. Oederlin, VDI, Winterthur (Schweiz). S. 163\*. — Die Vorschriften des Germanischen Lloyd für Schmelzschweißung an Dampfkesseln und Druckbehältern. Von Dr.-Ing. K. Hofer, Germanischer Lloyd, Berlin. S. 172. — Gewerbliche Schutzrechte. S. 174. \* bedeutet Abbildungen im Text.



# CONCORDIA

CONCORDIA E. A. G.



# FEUERLÖSCHER

DORTMUND, Münsterstr. 231

**Betonfachleute!** Diplom-Ingenieure, Ingenieure und Zeichner für neuartige, interessante Aufgaben im Schiffbau gesucht. Betonschiffbau-Gesellschaft m. b. H., Berlin-Wilmersdorf, Brandenburgische Str. 58/61. (974)

**Schiffbauer!** Diplom-Ingenieure, Ingenieure und Zeichner für neuartige, interessante Aufgaben gesucht. Betonschiffbau-Gesellschaft m. b. H., Berlin-Wilmersdorf, Brandenburgische Str. 58/61. (973)

Wir kaufen für eigenen Bedarf: **Eimerschwimmbagger, flachgehende Schleppdampfer u. Klappschuten, sowie Dreh- und Schwingkrane.** Gefl. Angeb. unt. B.M. 956 an Ala Anzeigen Ges. m. b. H., Königsberg/Pr. (975)

**Schiffbauingenieur,** mehr Jahre berufsfremd tätig (Luftwaffe, allgem. u. kaufm. Verwaltung) durch privat. Studium voll einsatzfähig, sucht Stellung. Aus z. Zt. ungekündigt, leit. Stellung in kaufm. Betrieb wäre Freigabe durch d. Arbeitsamt zu erreichen. Antrag, erbittet: Otto Voigt, Hersfeld. Bismarckstr. 9. (978)

Der Generalbauinspektor für die Reichshauptstadt Transportflotte Speer, Berlin SW 11, Tempelhofer Ufer 36, sucht für interessante Tätigkeit auf schiffbaulichem und werfttechnischem Gebiet **1 Schiffbauingenieur, 1 Technischen Zeichner.** Bewerbungen mit den üblichen Unterlagen u. Angabe der Gehaltsforderung unter Kennzeichen VW an obige Anschrift erbeten. (976)

Der Inhaber der deutschen Patente 592 982, 645 038 u. 685 666 betr. „Anordnung von Schiffskesseln“, „Kohlenbunkeranordnung für Schiffe“ und „Tragvorrichtung“ ist bereit, diese Patente zu verkaufen oder darauf Lizenzen zu erteilen. Etw. Anfragen unter WRH. 977 an d. Springer-Verlag, Berlin W 9, erbeten. (977)

**Destillier-Kondensatoren  
Speisewasser-Vorwärmer  
Speisewasser-Reiniger  
Verdampfer  
Filter**



**Fritz Umlauf, Hamburg 1**  
Wasserreinigung u. Wärmetechnik

*Schweißkabel  
Marinekabel  
Erdkabel*

liefert

**Richard Westphal, Hamburg 11**  
Fernruf: 35 50 43 Gerckenstwierte 9.

## Handelsschiffnormen nach H. N. A.

**Normen-Armaturen**  
nach HNA - KM - DIN  
vom Lager und kurzfristig  
**Fritz Barthel**  
Hamburg-Altona 1 Ruf: \* 42 18 25

Rohr-Verschraubungen u. Armaturen



für Kupfer-, Stahl- und Leichtmetallrohre  
(Einbaumassee nach HNA/KM u. DIN)  
für den  
Schiffbau / Maschinenbau / Apparatebau / Motorenbau  
Generalvertr. **Heinrich Lauterbach, Hamburg 26**  
Tel. 26 91 35 / Borgfelderstr. 82

**J. P. C. Luck**  
Hamburg, Rödingsmarkt 54  
Sammel-Nummer: 3619 37  
Ferngespräche: 3619 39  
**Schiffsgläser (Bullaugen)  
Decksgläser**  
Am Lager vorrätig nach H. N. A.-Tabellen

**Alle Metalle**  
*Messing: Bleche, Stangen,  
Profile, Rohre,  
Yellow-Bleche*  
KURT BACKOF · Hamburg 37 · Fernruf 53 06 96

**Metallwerke  
v. Galkowsky & Kielblock K. G.**  
Finow bei Eberswalde  
liefern

*Marineglue*  
**Paul Pietzschke**  
Chem.-techn. Fabrik  
Hamburg 26

**ROSE** ARMATUREN  
FÜR ALLE ZWECKE  
UND NACH  
KM HNA DIN  
LIEFERUNG AB LAGER  
ODER KURZFRISTIG  
**TH. ROSE** KOM. GES.  
HAMBURG-ALTONA 1

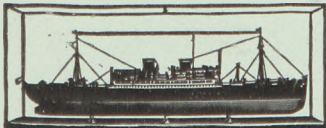


**elektrische Leitungs- und  
Beleuchtungs - Armaturen**  
nach HNA - Normen.  
Verschraubungen und Armaturen  
aller Art nach Muster  
oder Zeichnung.

Elektrische  
**Schiffsarmaturen**  
nach HNA und KMN  
sowie Spezial-Modelle  
**HOPPMANN & MÜLSOW**  
Hamburg 19  
Metallgießerei · Preßwerk



**Schiffsmodelle**  
Kran- und  
Brücken-  
modelle  
Modelle  
im Schnitt  
**CHR. STUHRMANN, HAMBURG 20**



**WILHELM SCHLEY**  
Metallgießerei und Armaturenfabrik  
**Hamburg-Wandsbek · gegr. 1913**  
liefert Rohguß und Armaturen in  
**Leicht- u. Schwermetall**  
und deren Legierungen nach eigenen oder  
eingesandten Zeichnungen und Modellen  
sowie nach HNA- KM- und DIN-Normen

**Sturmklappen**  
Kesselarmaturen u. Ventile nach HNA aus Schwer-  
metall und Stahlguß. / Metallguß in garantierten Spe-  
ziallegierungen / Leichtmetallguß / Zinkguß.  
Eilanfertigungen.  
**Hennig & Weber**  
Metallgießerei und Armaturenfabrik



# Doppelverbund-Schiffsmaschine

moderne, dampfsparende Schiffsmaschine mit Kolbenschiebersteuerung

im Dampfverbrauch von Kolbenmaschinen unübertroffen  
stark überlastbar  
einfache Steuerung  
kurze Baulänge

## Christiansen & Meyer, Hamburg-Harburg 1



*In allen Lagen bewährt*

**MWM  
DIESELMOTOREN**

90 PS Bordaggregat auf Gummi gelagert in Schräglagenerprobung

**MOTOREN-WERKE MANNHEIM A.-G.  
VORM. BENZ ABT. STAT. MOTORENBAU**

2106

## WÄRME- UND KÄLTE- ISOLIERUNGEN

für Fracht- und Fahrgastschiffe, Fischereifahrzeuge, Tanker u. dergl. entsprechend den besonderen Erfordernissen. Wir schlagen vor: **IPORKA** - Kunstharzschäumstoff, **LANOVA** - Stopfisolierungen D. R. P. u. Glaswolle-matten.

**GRÜNZWEIG  
& HARTMANN G.M.B.H.  
LUDWIGSHAFEN AM RHEIN**

## Schilder für den Schiffbau

Gravierte Schilder, Skalen, Schaltpläne  
und Peil tafeln aus Metall und Preßstoff



**Genzsch & Heyse A-G**

Abt. Schildertabrikation / Hamburg 22 / Fernruf 231223



# KUHLMANN Präzisions- Zeichenmaschinen

Seit 20 Jahren im In- und Ausland weit verbreitet und geschätzt  
Spielend leicht beweglich und nach Wunsch einzustellen

Höchst erreichbare, gleichbleibende Genauigkeit

4 praktisch verschleißfreie Standard-Präzisions-Zeichenköpfe zur  
mühe losen Anfertigung selbst schwierigster Konstruktionszeichnungen

Zeichentische einfacher Bauart und Handhabung  
sichern bequeme, zeitsparende Arbeitsweise

WERKSTÄTTEN FÜR PRÄZISIONSMECHANIK UND MASCHINENBAU

**FRANZ KUHLMANN · WILHELMSHAVEN** ZWEIGWERK  
BAD LAUTERBERG/HARZ