

ERLÄUTERUNGEN ZUM JUNKERS-MOTOR

D. R. P. 220124

PROFESSOR HUGO JUNKERS, AACHEN
ABTEILUNG PATENTE
1916

T. P. 44

F 9
44

Zus 8009/16

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000305711

ERLÄUTERUNGEN ZUM JUNKERS-MOTOR

D. R. P. 220124.



Aachen
1916

Professor Hugo Junkers, Aachen.
Abteilung Patente.

F 7. 183

Zur L 50 090/2

919

ERLÄUTERUNGEN
ZUM JUNKERS-MOTOR
— D. R. P. 233 838 —

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

III 33165

Akc. Nr. 2940/45

INHALT

Seite

A. Die Betriebsverfahren und Bauarten von Verbrennungskraftmaschinen

I. Verpuffungsmaschinen (Explosionsmaschinen) und Gleichdruckmaschinen	5
II. Der Arbeitsvorgang bei Verbrennungskraftmaschinen	6
III. Einkolben- und Gegenkolbenmaschinen	6
IV. Die Gegenkolben-Verpuffungsmaschine	6
V. Die Gegenkolben-Gleichdruckmaschine	7

B. Die Vorteile der Gegenkolbenanordnung bei Gleichdruckmaschinen

I. Vorteile auf thermischem Gebiet	9
II. Gute Spülung	11
III. Vorteile in werkstatt- und betriebstechnischer Hinsicht	12
IV. Geringer Raumbedarf	13
V. Gute Manövrierbarkeit	14
VI. Günstige Brennstoffzufuhr	15
VII. Vorteile in mechanischer Hinsicht	17
1. Kräftewirkung im Getriebe	18
2. Reibungs- und Elastizitätsverhältnisse	18
3. Wärmespannungen in den Wandungen des Arbeitszylinders	20
VIII. Hoher mittlerer Druck	21
1. Was ist unter „mittlerer Druck“ zu verstehen?	21
2. Wie läßt sich ein hoher mittlerer Druck bei der Gleichdruck- Verbrennungskraftmaschine erzielen?	22
3. Welche Vorteile bringt der hohe mittlere Druck bei Verbrennungs- kraftmaschinen?	23
4. Die Gegenkolbenanordnung ermöglicht die Erhöhung des mittleren Druckes	24
IX. Geringe Empfindlichkeit und leichte Instandhaltung	26
X. Schlußbemerkung	26



ERLÄUTERUNGEN ZUM JUNKERS-MOTOR (D.R.P. 220124).*

A. Die Betriebsverfahren und Bauarten von Verbrennungskraftmaschinen.

I. Verpuffungsmaschinen (Explosionsmaschinen) und Gleichdruckmaschinen.

Bei Verbrennungskraftmaschinen, zu denen außer den Gaskraftmaschinen auch solche Kraftmaschinen gerechnet werden, bei welchen vergaste oder zerstäubte *flüssige* Brennstoffe (z. B. Benzin oder Oele) Verwendung finden, sind Verpuffungsmaschinen und Gleichdruckmaschinen zu unterscheiden.

Bei *Verpuffungsmaschinen* besteht die Ladung (Füllung des Zylinders) aus einem Gemisch von Luft und Gas, welches nach vollendeter Einwärtsbewegung des Kolbens, also bei dessen „innerer Totpunktstellung“ durch eine besondere, z. B. elektrische, Zündvorrichtung zur plötzlichen Verbrennung (Explosion) gebracht wird und infolge der dadurch verursachten plötzlichen Drucksteigerung den Kolben wieder nach auswärts treibt. Im Augenblick der Verbrennung schnellt der Druck stark in die Höhe, sinkt dann aber infolge der Wärmeabgabe an die Wandungen und der Vergrößerung des Volumens durch die Auswärtsbewegung des Kolbens sofort wieder mit starkem Gefälle. Die bei der Einwärtsbewegung des Kolbens durch die Verdichtung des Gemisches entstehende Temperaturerhöhung (Kompressionswärme) ist insofern für die Verpuffungsmaschine von Nachteil, als sie die Gefahr einer Selbstzündung und dadurch einer schädlichen vorzeitigen Verbrennung vor vollendetem Kolbenhub zur Folge hat. Zur Verhütung dieser Gefahr ist eine Erhitzung der verdichteten Gase über einen gewissen Grad in jeder Weise zu vermeiden, obgleich dadurch auch wieder die Arbeitsleistung der Maschine herabgesetzt wird; denn bekanntlich steigt die Spannung von Gasen bei unveränderlichem Volumen mit der Temperatur, und der ohne Wärmeverlust theoretisch erreichbare Druck, und somit die höchste Arbeitsleistung, werden durch jeden Wärmeverlust vermindert.

Bei den *Gleichdruckmaschinen*, als welche namentlich die nach dem Dieselverfahren arbeitenden Maschinen anzusehen sind, besteht die Ladung zunächst nur aus atmosphärischer Luft, welche bei der Einwärtsbewegung des Kolbens stark verdichtet und dadurch auch stark erhitzt wird. In diese verdichtete und heiße Luft wird, wenn der Kolben seinen inneren Totpunkt erreicht hat, flüssiger Brennstoff in fein zerstäubtem Zustande eingespritzt und verbrennt infolge der hohen Kompressionswärme der verdichteten Luft, also durch Selbstzündung, sodaß es keiner besonderen Zündvorrichtung bedarf. Während also bei der Verpuffungsmaschine eine Selbstzündung unbedingt vermieden werden muß, arbeitet die Gleichdruckmaschine nur mit Selbstzündung, die bei einer bestimmten Kolbenstellung, nämlich in der Nähe der inneren Totpunktstellung des Kolbens, eintreten muß. Dies wird dadurch erreicht, daß der Brennstoff erst bei dieser Kolbenstellung eingeführt wird. Zu seiner sicheren und vollständigen Verbrennung ist eine hohe Temperatur der verdichteten Luft notwendig.

Während also bei der Verpuffungsmaschine die Erhitzung der komprimierten Gase über einen gewissen Grad wegen der Gefahr der Selbstzündung unter keinen Umständen eintreten darf, sind bei der Gleichdruckmaschine viel höhere Temperaturen zulässig und erforderlich.

*) Die Erläuterungen sollen eine allgemein verständliche Darstellung des Gegenstandes des D.R.P. 220124 geben.

Die Vorteile des Gleichdruckmotors gegenüber dem Verpuffungsmotor liegen namentlich in der Möglichkeit der Verwendung billiger, nicht feuergefährlicher und leicht transportabler Brennstoffe. Für Gasmaschinen im engeren Sinne sind Anlagen zur Gaserzeugung erforderlich, welche deren Verwendung, beispielsweise für Fahrzeuge (Lokomotiven, Schiffsmaschinen usw.), erschweren. Die Verwendung von besonders feuergefährlichen, flüssigen Brennstoffen (Benzin, Benzol, Spiritus usw.) hat in vielen Fällen erhebliche Bedenken gegen sich. Zum Betriebe der Gleichdruckmaschine können dagegen auch schwere Oele benutzt werden, welche die vorher erwähnten Nachteile nicht haben und mangels genügender Nachfrage für andere Verwendungszwecke auch verhältnismäßig wohlfeil sind.

II. Der Arbeitsvorgang bei Verbrennungskraftmaschinen.

Bei sämtlichen Verbrennungsmaschinen ist es erforderlich, Luft und Brennstoff in den Zylinder einzuführen und nach erfolgter Verbrennung die Verbrennungsrückstände wieder möglichst vollständig zu entfernen, damit der Zylinder wieder mit neuer Ladung gefüllt werden kann. Die selbsttätige Regelung dieser Vorgänge geschieht durch verschiedenartige Vorrichtungen, meist unter Verwendung von Ventilen. Die Entfernung der Verbrennungsrückstände (das Ausspülen) erfolgt bei den Zweitaktmotoren, auf die sich die folgenden Ausführungen beziehen, meist mittels besonderer Spülpumpen, welche frische Luft in den Arbeitszylinder fördern; diese schiebt gleichzeitig die Abgase durch Oeffnungen aus dem Zylinder hinaus.

III. Einkolben- und Gegenkolbenmaschinen.

Die ursprüngliche und auch heute noch fast ausschließlich angewandte Bauart sowohl der Verpuffungs- wie der Gleichdruckmotore ist die *Einkolbenmaschine*: In jedem Zylinder bewegt sich nur *ein* Kolben, und der Arbeitsraum im Zylinder wird außer von dem Zylindermantel auf der einen Seite von dem sich bewegenden Kolben und auf der anderen Seite von einem festen Zylinderdeckel begrenzt. In diesen sind in der Regel auch die Ventile für den Einlaß der Luft, die Spülventile, eingebaut.

Im Gegensatz zu diesen Einkolbenmaschinen mit Zylinderdeckel stehen Maschinen, bei welchen in einem Zylinder *zwei in entgegengesetzter Richtung sich bewegende Kolben* angeordnet sind, die sich bei der Einwärtsbewegung (Kompression) bis zur inneren Totpunktstellung nähern und bei dem entgegengesetzten Hube (Expansion) sich bis zur äußeren Totpunktstellung voneinander entfernen. Bei Maschinen dieser Bauart, den sogen. Gegenkolbenmaschinen, fällt der feste Zylinderdeckel fort, und der die Ladung umschließende Raum wird von dem Zylindermantel und den beiden Kolbenböden begrenzt.

IV. Die Gegenkolben-Verpuffungsmaschine.

Bei Verpuffungsmaschinen sind schon früher, wenn auch nur vorübergehend, zwei derartige, in demselben Arbeitsraum gegenläufig sich bewegende Kolben verwendet worden (Gegenkolben-Verpuffungsmaschine). Abbildung 1 zeigt die Gegenkolbenmaschine von Oechelhäuser und Junkers (nach D. R. P. 66961). Diese Anordnung bot die Möglichkeit, mittels der Kolben, welche in bekannter Weise bei der Annäherung die Verdichtung der Ladung und nach erfolgter Explosion die Abgabe der Arbeit an die Triebwelle bewirken, gleichzeitig auch die Einführung der Luft und die Ausspülung der Verbrennungsrückstände zu steuern und zwar ohne Ventile, einfach durch Freilegen oder Verdecken von Oeffnungen im Zylindermantel, durch welche verdichtete Luft eingeführt und die Verbrennungsrückstände hinausgedrückt wurden. Die zweckmäßige Anordnung dieser Einströmungs- und Auslaßöffnungen an den entgegengesetzten äußeren Enden des Arbeitsraumes gestattet eine vollkommene Spülung unter Vermeidung jeglichen Verlustes an Brennstoff, dessen Zufuhr durch ein besonderes Ventil erfolgt. Durch Anbringung noch einer dritten Gruppe von Oeffnungen im Zylindermantel, welche gleichfalls durch einen der Kolben freigelegt und abgesperrt werden, wurde bei einer Abart dieser Maschine, der Maschine von Oechelhäuser nach D. R. P. 94111, auch die gleichzeitige Steuerung der Gaszufuhr für das Ladungsgemisch ohne besondere Ventile ermöglicht. (Abb. 2.)

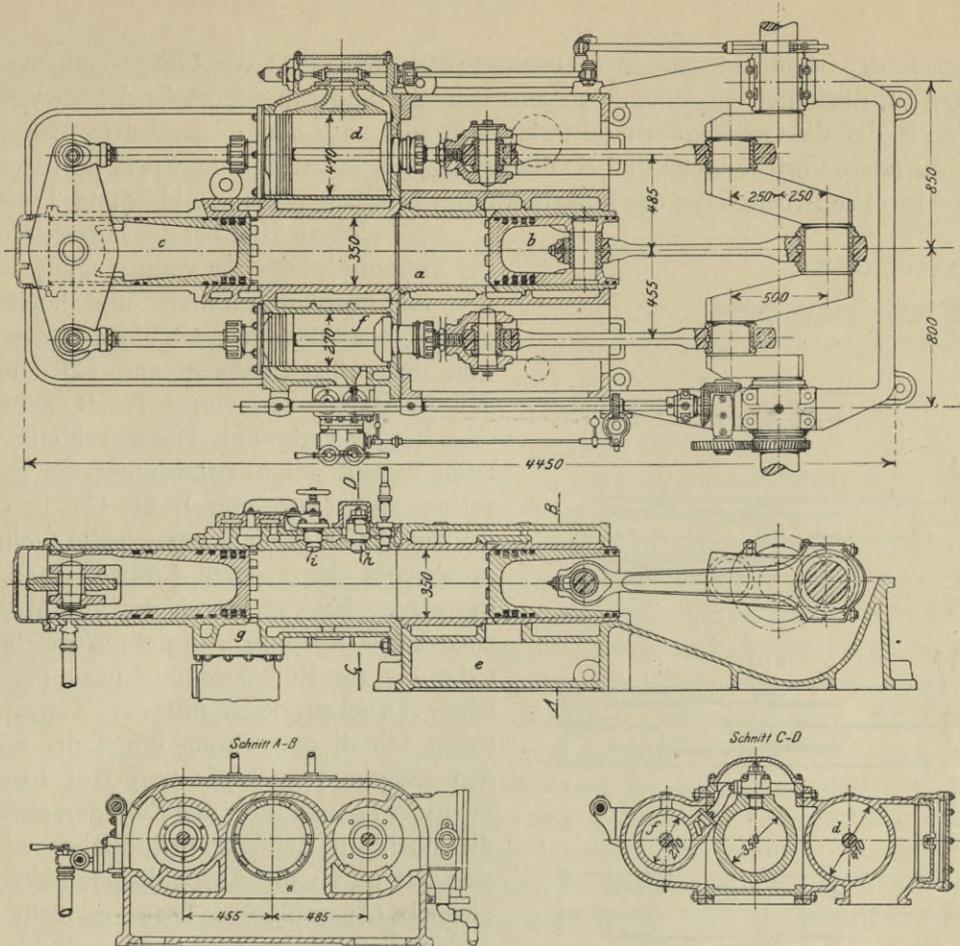


Abb. 1. Gegenkolben-Verpuffungsmaschine von Oechelhäuser und Junkers, (D.R.P. 66961) erbaut 1893 (G ü l d n e r „Verbrennungskraftmaschinen“ 1903).

Eine Verringerung der Wärmeverluste und die Einhaltung hoher Temperaturen, welche bei Anwendung dieser Konstruktion infolge des günstigen Verhältnisses der Wandungsfläche zum Inhalt des Verbrennungsraumes erreichbar ist, konnte bei den Verpuffungsmaschinen nicht als Vorzug gelten, sondern mußte hier schädlich wirken, weil bei hohen Temperaturen die Gefahr der Selbstzündung vorlag, sodaß doch während der Kompression eine stärkere Kühlung notwendig war.

Dieser Nachteil und andere Mißstände, welche von der baulichen Ausführung der in geringer Anzahl hergestellten Maschinen herrührten, aber ohne nähere Prüfung der Ursache dem System zugeschrieben wurden, hatten zur Folge, daß die Gegenkolben-Verpuffungsmaschine, die sogen. Oechelhäuser-Maschine, schon bald nach ihrem Auftauchen von der Technik abgelehnt wurde und bald wieder fast ganz verschwand. Maschinen nach den erwähnten, jetzt erloschenen Patenten werden schon seit vielen Jahren in Deutschland nicht mehr gebaut und selten mehr benutzt.

V. Die Gegenkolben-Gleichdruckmaschine.

Gegenstand des D. R. P. Nr. 220 124 von Junkers ist die Anwendung zweier gegenläufiger Kolben, welche ebenso wie bei D. R. P. 66961 auch die Spül- und Einlaßkanäle steuern, bei Gleichdruckmaschinen. Der Erfindung

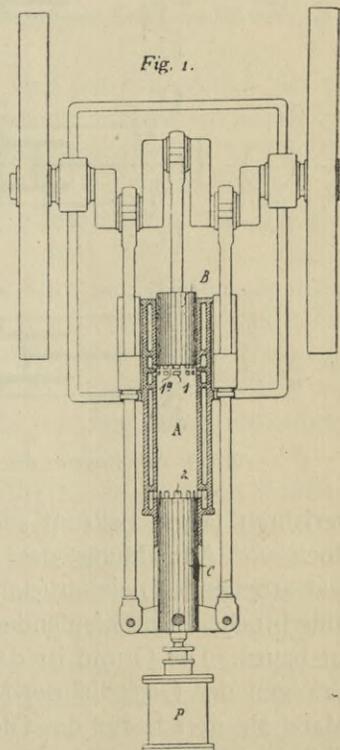


Abb. 2. Gegenkolben-Verpuffungsmaschine von Oechelhäuser. (D. R. P. 94 111)

liegt, wie in dem in der Schiffbautechnischen Gesellschaft im Jahre 1911 von Junkers gehaltenen Vortrag*) dargelegt worden ist, die durch eingehende wissenschaftliche und experimentelle Arbeiten errungene Erkenntnis zu Grunde, daß die Gegenkolbenkonstruktion für die nach dem Gleichdruckverfahren arbeitende Kraftmaschine besondere Vorteile bietet und als die zweckmäßigste Ausführungsform für den Gleichdruckmotor anzusehen ist. Die Arbeitsweise des Junkers-Motors ist schematisch in Abbildung 3 wiedergegeben.

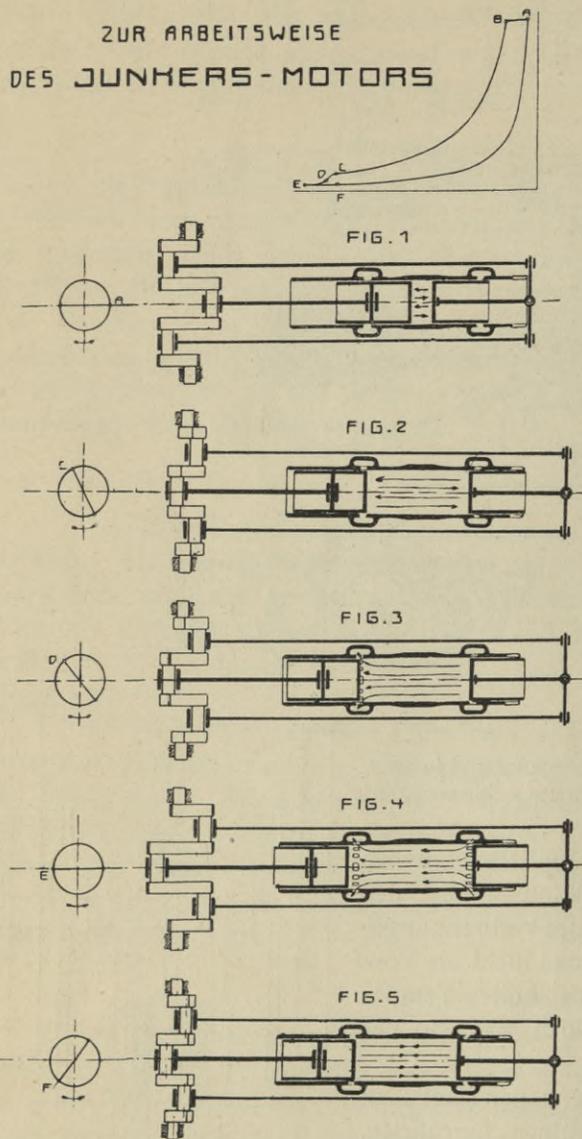


Abb. 3. Arbeitsweise des Junkers-Motors.

Nach Figur 1 ist bei der inneren Kolbenstellung der Totraum infolge der vorausgegangenen Kompression mit hochkomprimierter und hochehrhitzer Luft gefüllt, sodaß der nun eingeführte fein verteilte Brennstoff sich selbst entzündet und auf dem ersten Teil des Auswärtshubes, von A bis B, annähernd unter Gleichdruck verbrennt. Hieran schließt sich im weiteren Verlauf des Auswärtshubes die Expansion der verbrannten Gase, von B bis C. In C haben die Kolben die in Figur 2 gezeichnete Stellung erreicht, in welcher der vordere Kolben einen Schlitzkranz freizulegen beginnt, durch den die Abgase ins Freie entweichen (Auspuff). Auf dem Wege (im Diagramm C-D) bis zur Kolbenstellung nach Fig. 3 ist ungefähre Druckausgleich mit der Atmosphäre eingetreten. In dieser Stellung öffnet der hintere Kolben den anderen Kanalkranz und läßt frische Luft von niedriger Spannung in den Zylinder eintreten, welche die noch im Zylinder befindlichen Abgasreste vor sich her durch die Auspuffkanäle aus dem Zylinder austreibt (Ausspülung). Dies geschieht bis über die äußere Totlage der Kolben (Fig. 4) hinaus bis etwa zu der in Fig. 5 gezeichneten Stellung, in der die Kolben auf dem Rückwege zur inneren Totlage beide Schlitze abgeschlossen haben (im Diagramm Strecke D-E-F). Im Punkte F ist der Zylinderraum mit frischer Luft gefüllt und von der Atmosphäre abgeschlossen. Nunmehr wird der Zylinderinhalt beim Zusammenrücken der Kolben bis zur inneren Totlage (Fig. 1) komprimiert (Strecke F-A im Diagramm). Hierbei erhitzt sich die komprimierte Luft derart, daß der Brennstoff, der in oder ganz kurz vor Punkt A eingeführt wird, sich sofort entzündet, worauf das beschriebene Arbeitsspiel sich wiederholt.

Obwohl die Gegenkolbenkonstruktion bei Verpuffungsmaschinen und ebenso das Gleichdruckverfahren längst bekannt sind und die Möglichkeit, beide miteinander zu kombinieren, offen lag, hat doch vor Anmeldung des D. R. P. 220124 niemand es vorgeschlagen oder unternommen, im Zweitakt arbeitende Gleichdruckmaschinen mit zwei gegenläufigen Kolben in einem Arbeitszylinder mit ununterbrochen durchlaufender Bohrung, ohne Einbauten, Seitenkammern, Deckel und große Ventile zu bauen. Der Grund ist darin zu suchen, daß die Gegenkolbenanordnung nach den unbefriedigenden Erfolgen der Oechelhäuser-Maschine als für immer abgetan galt und niemand erkannte, in welchem Maße sie gerade für das Gleichdruckverfahren sich besonders eignet und erhebliche Vorteile bietet, und daß gerade solche Umstände, welche bei der Verpuffungsmaschine nachteilig wirkten, sich für das

*) Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft 1912.

Gleichdruckverfahren in Vorzüge verwandeln. Diese Vorteile lagen auch keineswegs erkennbar zu Tage, sondern es bedurfte seitens des Anmelders des D. R. P. 220124 eingehender Untersuchungen und Ueberlegungen, um sie zu erkennen und nachzuweisen.

Die Vorteile der Gegenkolbenmaschine nach D. R. P. 220124 gegenüber der gewöhnlichen Dieselmachine (Gleichdruckmotor mit einem Kolben) liegen teils auf thermischem, teils auf maschinentechnischem Gebiete und sollen im folgenden näher dargelegt werden.

B. Die Vorteile der Gegenkolbenanordnung bei Gleichdruckmaschinen.

I. Vorteile auf thermischem Gebiet.

Die Arbeit der Maschine beruht auf der Expansion heißer Gase. Die Expansion wird von der Temperatur der Gase und von der Wärmeabgabe an die Zylinderwandungen beeinflusst; je mehr bei dieser Expansion die Temperatur der Gase durch Wärmeabgabe an die einschließenden Wandungen sinkt, um so geringer wird der Druck und damit die Arbeitsleistung der Maschine. Aus der Wärmetechnik ist bekannt, daß die Wärmeabgabe mit der Größe der Oberfläche, d. h. der Berührungsfläche zwischen Gasen und angrenzenden Maschinenteilen, wächst. Bekannt ist ferner, daß die Wärmeabgabe auch mit der Höhe der Temperatur der Gase, bezw. der Temperaturdifferenz zwischen den Gasen und der sie einschließenden Wandung zunimmt. *Der Erfinder der Gegenkolben-Gleichdruckmaschine (nach D. R. P. 220124) hat aber durch eingehende und schwierige Untersuchungen nachgewiesen, daß die Wärmeabgabe außer durch die Größe der Oberfläche und die Temperaturdifferenz auch in hohem Maße durch die Höhe des Druckes und die Stärke der Wirbelungen beeinflusst wird und um so größer ist, je größer der Druck, d. i. die Dichtigkeit des Gases, ist und je mehr durch auftretende Wirbelungen alle Teilchen der Gase mit den Wandungen in Berührung kommen.* Da bei dem inneren Totpunkte, d. h. gegen Ende der Kompression, während der Verbrennung und zu Beginn der Expansion Temperatur und Druck der Gase am höchsten sind und gleichzeitig auch durch heftiges Einspritzen des Brennstoffes starke Wirbelungen eintreten, so ist *gerade bei dieser Kolbenstellung die Wärmeabgabe an die Wandungen relativ am größten.*

Bei der Wertung dieser Untersuchungen war weiter zu beachten, daß *jeder Wärmeverlust bei der inneren Totpunktstellung des Kolbens*, bei welcher er aus den angegebenen Gründen am leichtesten eintritt, *zugleich für den Wirkungsgrad bezw. Arbeitsertrag der Maschine am nachteiligsten ist.* Es ist nämlich nicht gleichgültig, bei welcher Kolbenstellung ein Verlust an Wärme und dadurch auch an Druck stattfindet; vielmehr ist ein Wärmeverlust bei der inneren Totlage des Kolbens am schädlichsten, weil dann die arbeitsverrichtende Wirkung dieser Wärmemenge für den ganzen Kolbenhub verloren geht. Der Wärmeverlust ist um so nachteiliger, je näher der inneren Totlage die Wärme abgeführt wird. Ein Wärmeverlust im späteren Teile der Expansion ist weniger schädlich, und eine starke Abkühlung des Zylinderinhaltes im äußeren Totpunkte (bei Beendigung der Expansion und Einströmung der frischen Verbrennungsluft) sogar erwünscht, damit infolge der hierdurch bewirkten Abkühlung eine möglichst große Luftmenge als neue Ladung aufgenommen und für die folgende Verdichtung und Verbrennung verwendet werden kann.

Durch diese Ueberlegungen und Feststellungen und dieses Eindringen in die beim Arbeitsgange sich abspielenden thermischen Vorgänge, denen bis dahin keine genügende Beachtung geschenkt worden war, gelangte der Anmelder zu der Erkenntnis, *daß es für die Arbeitsleistung der Maschine von wesentlicher Bedeutung ist, den Wärmeverlust gerade bei der inneren Totpunktstellung des Kolbens*, also bei vollendeter Verdichtung und bei Beginn der Verbrennung und Expansion *zu verringern, namentlich durch günstige Gestaltung des inneren Totraumes und Verkleinerung seiner Oberfläche*, während eine Vermehrung der Oberfläche und Wärmeabgabe bei Beendigung der Expansion und entsprechend bei Beginn der Kompression weniger schädlich oder sogar erwünscht sei. Gerade diese Wirkungen sind aber bei Anordnung zweier gegenläufiger Kolben leichter erreichbar als bei der Einkolbenmaschine, wie sich aus folgender Ueberlegung ergibt:

Zur Erreichung einer bestimmten Lufttemperatur, bei der die Entzündung des eingeführten Brennstoffes (Gasöl, Teeröl u. s. w.) erfolgt, muß die Ladung (Luft) auf einen bestimmten Bruchteil ihres ursprünglichen, bei atm. Spannung vorhandenen Volumens verdichtet werden, der innere Totraum muß also zu dem Arbeitsraum, d. h. zu dem vom Arbeitskolben durchlaufenen Raum, in einem bestimmten Größenverhältnisse stehen. Je höher die Temperatur der Luft bzw. der Druck sein soll, desto kleiner muß der Totraum im Verhältnis zum Arbeitsraum sein. Die Form des inneren Totraumes ist meist die eines Zylinders, dessen Höhe kleiner ist als sein Durchmesser. Da aber die Wärmeabgabe mit der Größe der Oberfläche zunimmt und derjenige Zylinder die kleinste Oberfläche hat, dessen Durchmesser und Höhe gleich sind, also sich wie 1:1 verhalten, so ist der Wärmeverlust am geringsten, wenn der Totraum eine solche Gestalt hat, daß das Verhältnis von Durchmesser und Höhe sich möglichst dem günstigsten Verhältnisse von 1:1 nähert. Der Zylinderdurchmesser ist also möglichst klein zu nehmen bei entsprechender Vergrößerung der Höhe des Verbrennungsraumes. (Vergleiche die der Patentschrift 220124 entnommenen Zeichnungen in Abbildung 4). Selbstverständlich bedingt die Verkleinerung des Zylinderdurchmessers bei gleichbleibendem Arbeitsvolumen (bei gleichbleibender Menge der zu verdichtenden Luft) eine entsprechende Verlängerung des Hubes, d. h. des Kolbenweges.

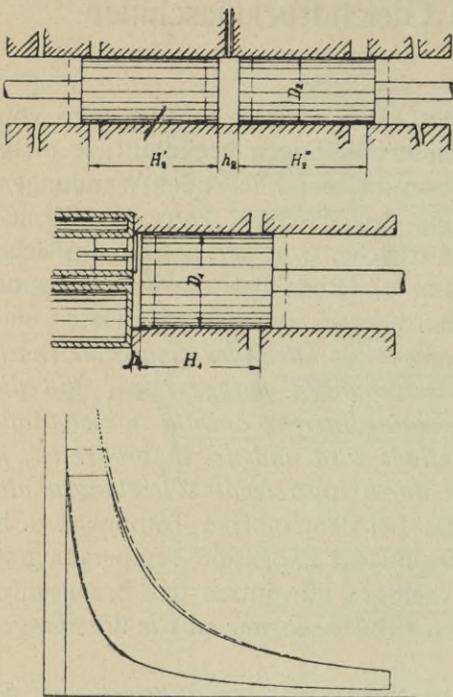


Abb. 4. Vergleich der Oberflächen der Toträume einer Gegenkolbenmaschine und einer Einkolbenmaschine bei gleichem Hubvolumen.

namentlich plötzlichen Druckwechsel im Gestänge zur Folge, welcher sich in einem unruhigen Gang der Maschine und in Erschütterungen äußert. Auch die Betriebssicherheit wird durch diese Umstände beeinträchtigt.

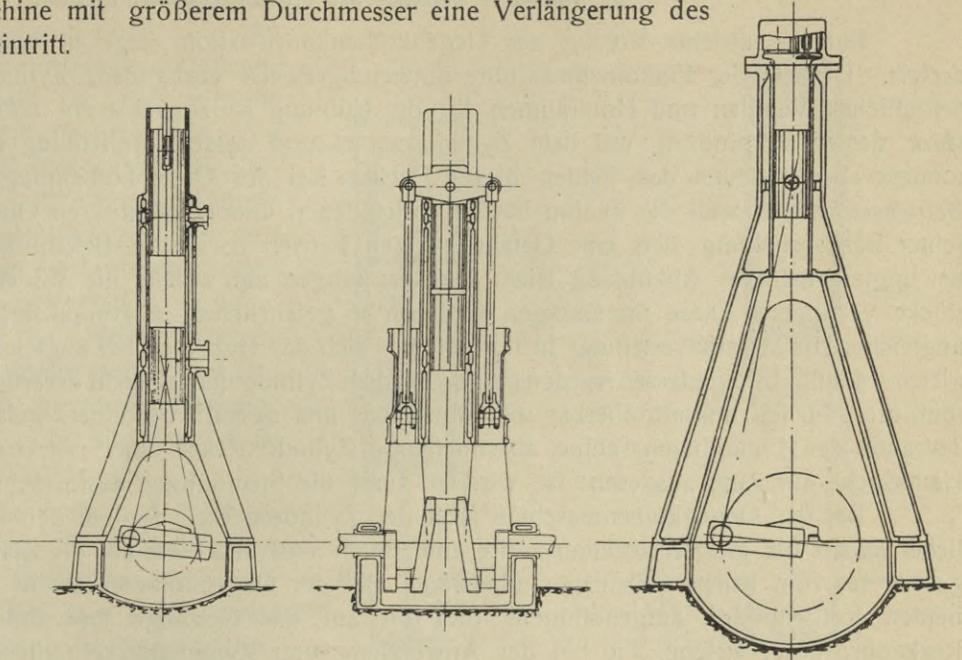
In Abbildung 5 ist der Einfluß eines großen Hubverhältnisses auf die Konstruktion einer Einkolbenmaschine und einer Gegenkolbenmaschine dargestellt.

Die Nachteile der bei der Verringerung des Durchmessers notwendig werdenden Hubverlängerung treten nicht, oder wenigstens nicht in gleichem Maße, ein, wenn bei sonst gleichen Verhältnissen statt des einen Kolbens zwei gegenläufige Kolben verwendet werden. Ist auch deren Gesamthub gleich dem verlängerten Kolbenhub bei der Einkolbenmaschine, so hat doch jeder einzelne von ihnen nur die Hälfte des Weges zurückzulegen und die Wirkung in Bezug auf die Geschwindigkeiten jedes Kolbens und auf die Massenkräfte ist die einer kurzhubigen Maschine. Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß die Massenkräfte der sich in entgegengesetzter Richtung bewegend Kolben und Getriebeteile sich zum größten Teil gegeneinander aufheben. Wird beispielsweise der Durchmesser in dem Maße verkleinert, daß der Kolbenhub gerade auf das Doppelte verlängert werden muß, so bleibt, wenn gleichzeitig statt des einen Kolbens zwei gegenläufige Kolben verwendet werden, der von jedem dieser Kolben zurückzulegende Weg gleich dem des einen Kolbens mit größerem Durchmesser, während bei der Einkolbenmaschine mit kleinerem Durchmesser der Kolben jedesmal den doppelten Weg zurück-

zulegen hat und die erwähnten nachteiligen Folgen eintreten müssen. Beträgt die zur Verkleinerung des Durchmessers notwendige Hubverlängerung über 100 %, so ist bei der Gegenkolbenmaschine der Weg des Kolbens doch nur halb so lang wie bei der entsprechenden Einkolbenmaschine und es treten somit die Wirkungen der Hubverlängerung bezüglich des Massendruckes nur in viel geringerem Maße ein. Beträgt die Hubverlängerung weniger als 100 %, so ist der Weg des einzelnen Kolbens immer noch kleiner als bei der Einkolbenmaschine mit großem Durchmesser; man kann daher in der Verringerung des Durchmessers und der Verlängerung des Gesamthubes noch weitergehen, ohne daß überhaupt gegenüber der Einkolbenmaschine mit größerem Durchmesser eine Verlängerung des einzelnen Kolbenweges eintritt.

Mit anderen Worten: Die

Gegenkolbenkonstruktion nach D. R. P. 220124 gestattet es, bei dem Bau der Maschine einen kleineren Zylinderdurchmesser und entsprechend größeren Gesamthub, welcher sich hier auf 2 Kolben verteilt, zu wählen als es bei der Einkolbenmaschine wegen der ungünstigen Wirkung des langen Hubes tunlich wäre, und dadurch dem Totraum eine für die Verringerung der Oberfläche und damit auch des Wärmeverlustes günstigere Form zu geben.



Gegenkolbenmaschine.

Einkolbenmaschine.

Abb. 5. Maschinen mit großem Hubverhältnis. Die Gegenkolbenmaschine beansprucht weniger Platz.

II. Gute Spülung.

Hiermit erschöpfen sich aber die Vorzüge der Gegenkolbenkonstruktion für die Gleichdruckmaschine nicht. Sie bietet zunächst auch diejenigen Vorteile, welche das erwähnte D. R. P. Nr. 66941 für die Verpuffungskraftmaschine erstrebte, nämlich *vorzügliche Spülung* durch die mittels der Kolbenbewegung gesteuerten Spülkanäle unter Fortfall von Spülventilen. *Der Fortfall dieser Ventile*, von denen die Einströmungsventile bei der Einkolbenmaschine stets *im Totraum*, und zwar im Zylinderdeckel, angebracht sind, bietet jedoch auch Vorteile thermischer und maschinentechnischer Art. Ein solches Ventil bedeutet stets eine Unebenheit und dadurch auch eine *Vergrößerung der Oberfläche*, welche gerade im Totraum wegen der dadurch bedingten größeren Wärmeabgabe vermieden werden soll. Das Fehlen solcher Ventile gestattet, dem Totraum eine glatte Wandung zu geben und dadurch die thermische Wirkung zu verbessern.

Ferner hat die bei der Einkolbenmaschine allgemein übliche und auch kaum zu vermeidende *Lage der Luft-Einströmungsventile im Totraume*, in welchem aus den früher angegebenen Gründen die Wärmeentwicklung und Wärmeabgabe von den Verbrennungsgasen an die Wandungen am größten ist, eine *starke Erhitzung der Ventile* zur Folge. Diese erschwert aber nicht nur das Dichthalten der Ventile, sondern bewirkt auch eine starke Erwärmung und Ausdehnung der einströmenden Luft. Infolgedessen dringt eine dem Gewichte nach geringere Luftmenge in den Zylinderraum, wodurch wieder die Arbeitsleistung der Maschine herabgesetzt wird; z. B. wird durch eine Erhöhung der Lufttemperatur um nur 30° die Leistung schon um 10 % vermindert. Ein Versuch, diese Nachteile durch verstärkte Kühlung des Arbeitszylinders, insbesondere des Totraumes, zu beseitigen, hat wieder eine stärkere

Abkühlung der verdichteten Gase im Totraum, also erhöhten Wärmeverlust gerade bei der inneren Totlage des Kolbens, zur Folge. Alle diese für Gleichdruckbetrieb besonders schwerwiegenden Nachteile werden bei der Gegenkolbenmaschine nach D. R. P. 220 124 dadurch vermieden, daß hier die Luftzufuhr (genau wie bei der Verpuffungsmaschine D. R. P. 66 941) durch am äußeren Ende des Arbeitsraumes, also ganz außerhalb des Verbrennungsraumes, befindliche Oeffnungen erfolgt, bei welchen keine derartig starke Erhitzung eintritt.

III. Vorteile in werkstatt- und betriebstechnischer Hinsicht.

Ein wesentlicher Vorzug der Gegenkolbenkonstruktion liegt in dem *Fortfall des Zylinderdeckels*. Der bei der Einkolbenmaschine notwendigerweise vorhandene Zylinderdeckel mit den darin befindlichen Ventilen und Hohlräumen für die Kühlung ist zunächst ein *schwer herzustellendes Gußstück*, dessen Verbindung mit dem Zylindermantel und dessen Abdichtung immer schwierig ist. Besonders aber bedeutet das Fehlen dieses Deckels bei der Gegenkolbenmaschine eine *Erhöhung der Betriebssicherheit*, weil die in ihm häufig vorhandenen unkontrollierbaren Gußspannungen bei der Art seiner Beanspruchung stets eine Gefahr für den Betrieb darstellen. Bekanntlich treten in Gußstücken bei ungleichmäßiger Abkühlung leicht Gußspannungen auf, welche die Widerstandsfähigkeit der Gußstücke verringern. Diese Spannungen sind um so gefährlicher, je komplizierter das Gußstück und je ungleicher die Materialverteilung in ihm ist, weil sich das Gußstück bei ungleicher Materialverteilung ungleich abkühlt. Infolgedessen werden gerade bei dem Zylinderdeckel leicht derartige Spannungen vorhanden sein, die gänzlich unkontrollierbar und unmeßbar und deshalb besonders gefährlich sind. Da der den Totraum der Einkolbenmaschine abschließende Zylinderdeckel einer starken Beanspruchung, in der Hauptsache auf Zug, ausgesetzt ist, wird er durch die Spannungen desto mehr gefährdet.

Bei der Gegenkolbenmaschine fehlt der Zylinderdeckel, der bei den Dieselmotoren gewöhnlicher Bauart die ganzen Reaktionskräfte aufnehmen muß und diese auf die Zylinder und das Maschinengestell bis zum Kurbelwellenlager überträgt. Bei der Gegenkolbenmaschine wird der Gasdruck von beiden Kolbenböden aufgenommen, die ihn auf das Gestänge und die Kurbelwelle übertragen. Reaktionsdrücke, welche, wie bei der Anwendung von Zylinderdeckeln, den Zylinder in der Längsrichtung und das ganze Maschinengestell beeinflussen, treten bei der Doppelkolbenmaschine nicht auf. Alle durch den Gasdruck in Anspruch genommenen Uebertragungsteile der Gegenkolbenmaschine bestehen aus geschmiedetem Material im Gegensatz zu der Einkolben-Dieselmotore, bei der die durch den Reaktionsdruck der Gase hervorgerufenen Kräfte durch gußeiserne Maschinenelemente aufgenommen werden (Zylinder, Ständer, Fundamentrahmen). Geschmiedetes Material ist schon an sich widerstandsfähiger und zuverlässiger als Guß; für das Uebertragungsgestänge der Gegenkolbenmaschinen läßt sich aber auch die Beanspruchung im Betriebe genau berechnen und seine erforderliche Stärke einwandfrei vorher bestimmen, während dies bei gußeisernen Maschinenelementen, zumal bei komplizierten Querschnitten, sehr schwierig und wegen der vorkommenden, durchaus unkontrollierbaren Gußspannungen gar nicht möglich ist. Nur das Ausprobieren im praktischen Betriebe kann die Richtigkeit einer bestimmten Konstruktion erweisen. Dieses Verfahren ist aber zweifellos teuer, umständlich, zeitraubend und doch wenig zuverlässig, da die Gußstücke nicht immer genau gleich ausfallen.

Die Vorteile, welche sich aus dem Fehlen des Zylinderdeckels und der Aufnahme des Gasdruckes durch das Gestänge ergeben, treten zwar auch bei der Gegenkolbenverpuffungsmaschine nach Patent 66961 ein, *gewinnen aber bei der Gleichdruckmaschine eine erhöhte Bedeutung*, weil infolge der hier auftretenden höheren Gastemperaturen und Drucke die Gefahr von Zylinderdeckelbrüchen und der damit in Verbindung stehenden Betriebsschäden größer ist. Bei jeder Kraftmaschine, also auch bei der Verpuffungsmaschine und beim Gleichdruckmotor, werden die Abmessungen der Maschinenteile für einen normalen Höchstdruck berechnet. Während aber bei der Verpuffungsmaschine dieser normal auftretende Höchstdruck selten überschritten wird, ist bei der Gleichdruckmaschine eine solche Ueberschreitung durch zu heftiges Einspritzen und zu schnelles Verbrennen des Brennstoffes viel eher zu erwarten und dadurch wird eine erhöhte Beanspruchung der übertragenden Maschinenteile häufiger eintreten. Gerade in solchen Fällen bedeutet das Vorhandensein eines Gußstückes von fragwürdiger

Widerstandsfähigkeit, wie es der Zylinderdeckel ist, eine Gefahr für die Betriebssicherheit. So eignet sich auch aus diesem Grunde die Gegenkolbenkonstruktion für die Gleichdruckmaschinen ganz besonders.

IV. Geringer Raumbedarf.

Die Gegenkolbenkonstruktion bietet (in gleicher Weise bei Verpuffungs- wie bei Gleichdruckmotoren) gegenüber der Einkolbenmaschine mit gleich großem Hub auch den Vorteil, daß die *Maschine kürzer* ist, daß also eine *Raumersparnis* erzielt wird.

Bei einer Gegenkolbenmaschine ist der auf die Kurbel und die Schubstange entfallende Teil der Baulänge nur halb so groß wie bei einer Einkolbenmaschine von gleichem Hub. Von dieser Ersparnis an Baulänge beansprucht die Verbindung des von der Welle abgelegenen Kolbens mit der Kurbelwelle nur einen geringen Teil, weil die Traverse, welche diese Verbindung mittels zweier seitlicher Schubstangen herstellt, in Richtung der Maschinenachse nur geringe Abmessungen hat. Eine Gegenkolbenmaschine hat also bei gleichem Hub eine geringere Gesamtbaulänge als eine Einkolbenmaschine. In Abbildung 6 ist hierfür ein Beispiel gegeben.

Aus diesem Grunde kann in den Fällen, in denen für die Aufstellung der Maschine nur ein Raum von bestimmter Größe zur Verfügung steht, z. B. bei Kriegsschiffen der Raum unter dem Panzerdeck, bei Anwendung der Gegenkolbenkonstruktion eine Maschine mit größerem Hub, also eine stärkere und wirtschaftlicher arbeitende Maschine gewählt werden, als es bei der Einkolbenmaschine der Fall wäre.

Die Abbildung 7 veranschaulicht zwei Zweitakt-Gleichdruckmaschinen, und zwar eine Einkolbenmaschine, gebaut von Sulzer (aus Z. d. V. d. J. 1910) und eine Junkersmaschine. Beide Maschinen besitzen genau gleiche Höhe und gleichen Durchmesser des Arbeitszylinders. Die beiden in gleichem Maßstab wiedergegebenen Zeichnungen zeigen, daß die Junkersmaschine einen beträchtlich größeren Hub zuläßt als die Einkolbenmaschine, und zwar ist der Hub der Junkersmaschine etwa 1,5 mal so groß, als der der gleich hohen Einkolbenmaschine. Laufen beide Maschinen mit gleicher Umdrehungszahl und gleichem mittlerem Druck (mittlere Höhe des Diagramms), so leistet die Junkersmaschine das 1,5 fache der Einkolbenmaschine.

Die Möglichkeit, mit Hilfe der Gegenkolbenanordnung bei gleicher Höhe eine Maschine von beträchtlich größerem Hubverhältnis zu verwenden, bringt also zunächst den Vorteil einer entsprechend größeren Leistung, außerdem aber werden noch alle diejenigen Vorteile hinzugewonnen, welche ein größeres Hubverhältnis an sich bietet.

Diese Vorteile sind:

1. Verhältnismäßig kleine Totraumoberfläche, infolgedessen geringere Wärmeabgabe an die Wandung, also hoher thermischer Wirkungsgrad, höherer mittlerer Druck; Möglichkeit des langsamen Ganges, rasches Ingangkommen der kalten Maschine, geringerer Brennstoffverbrauch auf die Leistungseinheit, Möglichkeit der Verwendung schwer entzündlicher Brennstoffe.
2. Bessere Ausspülung, infolgedessen höherer mittlerer Druck, geringerer Spülluftverbrauch, geringerer Arbeitsbedarf der Spülpumpen.

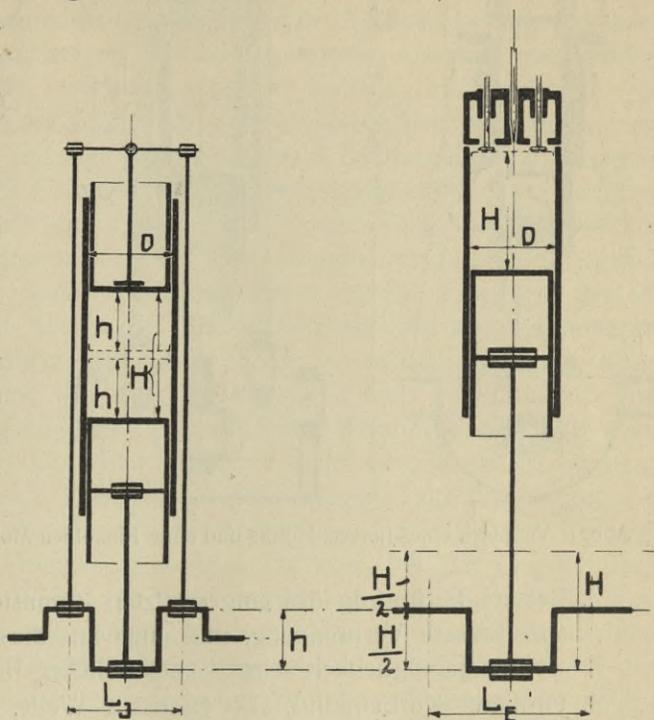


Abb. 6. Maschinen mit gleichem Hubverhältnis (D:H) links Gegenkolbenmaschine, rechts Einkolbenmaschine. Die Gegenkolbenmaschine beansprucht weniger Platz.

Junkers-Motor.

Einkolben-Motor.

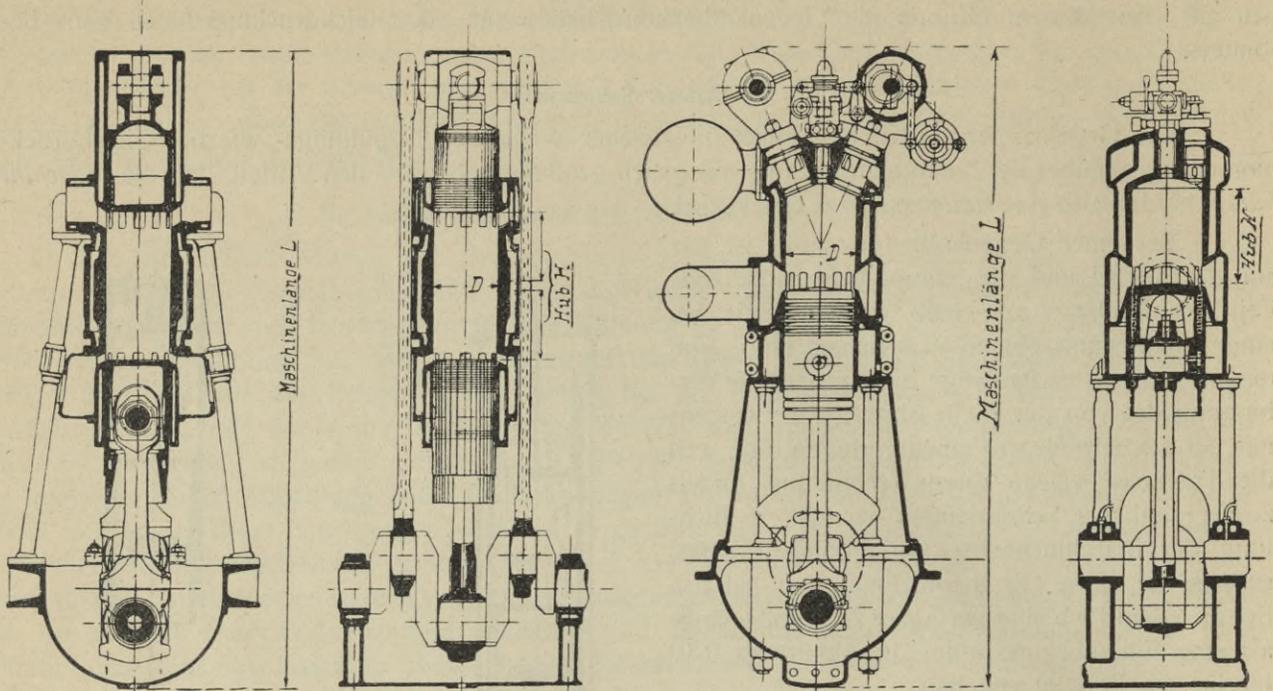


Abb. 7. Vergleich eines Junkers-Motors und eines Einkolben-Motors bei gleichem Zylinderdurchmesser und gleicher Höhe.

3. Bessere Berührung des eingespritzten Brennstoffes mit der im Zylinder eingeschlossenen Luft, also bessere Verbrennung, und auch aus diesem Grunde geringerer Brennstoffverbrauch, Verwendungsmöglichkeit schwer entzündlicher Brennstoffe.
4. Größerer Kurbelradius, also elastische Welle.
5. Verhältnismäßig geringe Getriebeverluste; somit Erhöhung des mechanischen Wirkungsgrades.
6. Das Verhältnis von mittlerem Druck zum maximalem Druck wird größer, also ergibt sich eine bessere Ausnutzung der für den maximalen Druck zu berechnenden Maschinenteile.
7. Die Maschine wird, bezogen auf die Leistungseinheit, leichter und billiger.

Bei dem Vergleich kam es weniger darauf an, zu zeigen, daß ein absolut großes Hubverhältnis erzielt wird, sondern daß sich gegenüber der *Einkolbenmaschine* ein *relativ großes Hubverhältnis* ergibt, mit anderen Worten, daß *die Anwendung des Gegenkolbensystemes gerade in den Fällen große Vorteile zu bieten vermag, in denen sonst die Nachteile eines kleinen Hubverhältnisses in den Kauf genommen werden müssen.*

V. Gute Manövrierbarkeit.

Der bei der Gegenkolben-Gleichdruckmaschine vorhandene günstige Verbrennungsraum bewirkt infolge der erwähnten Verbesserung der thermischen Wirkung eine *Erhöhung des Wirkungsgrades*, eine *bessere Wärmewirtschaft* der Maschine. Die durch die günstige Gestaltung des Verbrennungsraumes erreichte hohe Temperatur der verdichteten Luft ermöglicht aber auch die *Verwendung schwerer Oele* (Teeröle u. dergl.), welche zur Zeit der Anmeldung des D. R. P. 220 124 bei der Dieselmachine kaum möglich war.

Infolge der besseren thermischen Wirkung und der Verringerung der Wärmeverluste *geht die Maschine auch leichter an*. Die Gleichdruckmaschine wird meist durch Druckluft angelassen. Erst wenn beim Anlassen durch Druckluft die Zylinderwandung infolge der Wärmeabgabe von der während der Kompressionsperiode erzeugten heißen Luft derart angewärmt ist, daß ein übermäßig starker Wärme- fluß von der heißen komprimierten Luft an die Zylinderwandung nicht mehr stattfindet, dann erst findet der eingespritzte Brennstoff in der heißen komprimierten Luft eine solche Temperatur vor, daß

er sich sofort entzündet und verbrennt. Je weniger Wärme also von der bei jedem zweiten oder vierten Hub (Zweitakt oder Viertakt) komprimierten Luft im Zylinder verloren geht, desto schneller kommt die Maschine aus eigener Kraft in Gang, ohne dann weiterer Anlaßluft zu bedürfen. Die Ersparnis an Anlaßluft für die jedesmalige Inbetriebsetzung erlaubt eine Verminderung des erforderlichen Vorrats, also auch eine Raumersparnis. Da ein kleiner Vorrat an Anlaßluft schneller ersetzt werden kann, als ein großer, so kann die Maschine um so häufiger in kurzen Zeitabständen stillgesetzt und wieder angelassen werden, ist also besser manövrierfähig.

Den Vorzug erhöhter Manövrierfähigkeit besitzt die Gegenkolben-Gleichdruckmaschine aber auch noch in dem anderen Sinne, daß ihre *Geschwindigkeit im Betriebe in weiteren Grenzen nach Bedarf erhöht oder ermäßigt* werden kann. Da bei ihr der von jedem einzelnen Kolben zurückzulegende Weg verhältnismäßig kurz ist, nämlich nur halb so lang als der Kolbenhub in der Einkolbenmaschine von gleichem Durchmesser und Arbeitsraum, so ist die höchste zulässige Umdrehungszahl bei ihr größer als bei einer Einkolbenmaschine, da aus den früher angegebenen Gründen die Geschwindigkeit der Kolbenbewegung nicht willkürlich gesteigert werden kann. Andererseits gestattet die Verbesserung der thermischen Wirkung durch die günstige Gestaltung des Verbrennungsraumes einen langsameren Gang im Vergleich zu der entsprechenden Einkolbenmaschine. Die durch die Kompression erzielte Erhitzung der im Arbeitszylinder eingeschlossenen Luft wird auch durch die Geschwindigkeit des Kompressionsvorganges beeinflusst und die zu erreichende Temperatur liegt um so höher, je schneller sich die Kompression vollzieht, sodaß also bei langsamerem Gang der Maschine die durch die Verdichtung erreichte Endtemperatur niedriger bleibt als bei normalem Gang. Wird durch starke Wärmeabgabe an die Wände die Temperatur der in dem Zylinder eingeschlossenen Luft noch weiter herabgesetzt, so steigt die Gefahr, daß die im Totraume noch herrschende Kompressionsendtemperatur zur Entzündung des eingeführten Brennstoffes nicht ausreicht und die Maschine stehen bleibt; es sind also der Verlangsamung des Ganges einer Gleichdruckmaschine Grenzen gezogen. Da aber bei der Gegenkolbenmaschine die Wärmeverluste in der angegebenen Weise verringert werden, so kann auch in der Verringerung der Umdrehungszahl der Maschine weiter gegangen werden als bei der Einkolbenmaschine.

Da, wie gezeigt wurde, die Gegenkolben-Gleichdruckmaschine einmal mit Rücksicht auf den kürzeren Kolbenweg eine *Erhöhung*, andererseits wegen der besseren thermischen Wirkung eine weitere *Herabsetzung* der Umdrehungszahl gestattet, so erweitert sie die Grenzen, innerhalb deren die Umdrehungszahl der Maschine nach Bedarf geregelt werden kann. Diese Eigenschaft ist besonders für gewisse Verwendungszwecke, namentlich für Fahrzeugmaschinen (Lokomotiven, Schiffsmaschinen usw.) von wesentlicher Bedeutung.

VI. Günstige Brennstoffzufuhr.

Ein weiterer Vorteil der Doppelkolben-Gleichdruckmaschine liegt in der *Möglichkeit einer vorteilhaften Brennstoffzufuhr*.

Bei den *Einkolbenmaschinen* befindet sich die Stelle, an der der Brennstoff eingeführt wird (Brennstoffventil), in der Regel in der Mitte des Zylinderdeckels, die Richtung des Brennstoffstrahls fällt meist mit der Maschinenachse zusammen, also bei stehenden Maschinen senkrecht nach unten. (Vergl. Abb. 8). Zu Beginn der Einspritzung befindet sich der Kolben dicht beim Zylinderdeckel und der Brennstoffstrahl ist direkt nach dem Kolben hin gerichtet. Besonders nachteilig wird diese Art der Einspritzung bei Motoren mit großem Zylinderdurchmesser, weil hier ein großer Teil der im Totraum eingeschlossenen Luft nur in mangelhafter Weise mit dem Brennstoffstrahl in Berührung kommt und deshalb an der Verbrennung geringen Anteil hat. Dies hat zur Folge, daß nur eine verhältnismäßig geringe Brennstoffmenge zur vollständigen Verbrennung gebracht werden kann; hierdurch wird aber der sogenannte mittlere Druck der Maschine herabgesetzt. Ein großer Teil des eingespritzten Brennstoffes wird sich auf dem Kolbenboden niederschlagen. Da die Temperatur des Kolben-

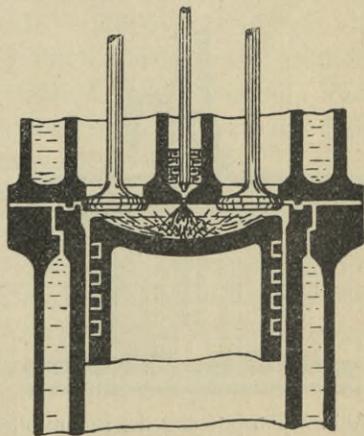


Abb. 8. Einspritzung des Brennstoffes bei der Einkolbenmaschine.

bodens in der Regel weit unter der Entzündungstemperatur des Brennstoffes liegt, so wird der am Kolbenboden haften bleibende Brennstoff nicht die zur Verbrennung nötige Temperatur erreichen und kommt deshalb gar nicht oder unvollkommen zur Verbrennung. Die bei dieser unvollständigen Verbrennung verbleibenden Rückstände bilden auf den Wandungen des Verbrennungsraumes (namentlich auf dem Kolbenboden) *Ablagerungen* (Pech- oder Koksschichten), welche um so stärker werden, je schwerer verbrennbar der verwendete Brennstoff ist und je mehr zur Abscheidung neigende Bestandteile (Asphalt, Koks, Schwefel) er enthält. Die Ablagerungen haben vor allem den Nachteil, daß sie die Einlaß- und Auslaßöffnungen allmählich verstopfen, sodaß immer weniger frische Verbrennungsluft in den Zylinder gelangen kann, wodurch wieder die Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit der Maschine herabgedrückt wird. Außerdem werden die im Verbrennungsraum liegenden Ventile infolge dieser Verschmutzungen einen stärkeren Verschleiß aufweisen, sie müssen jedenfalls häufiger nachgesehen, gereinigt und nachgearbeitet werden. Die Betriebssicherheit wird also vermindert und es werden höhere Anforderungen an die Wartung gestellt.

Viele Brennstoffe galten zur Zeit der Erfindung aus den oben angegebenen Gründen als überhaupt nicht geeignet für die Dieselmachine. So schreibt Rieppel in „Versuche über Verwendung von Teerölen zum Betrieb des Dieselmotors“ in „Mitteilungen über Forschungsarbeiten“ Heft 55, 1908 Seite 21:

„Rohe Steinkohlenteeröle, die zu billigem Preise auf dem Markte sind, also ungereinigtes Anthrazenöl und Kreosotöl, sind für den Dieselmotor in seiner normalen Ausführungsform *nicht* verwendbar. Mischungen mit brauchbaren Oelen, d. h. mit Braunkohlenteerölen oder Mineralölen, wie Solaröl und Gasöl, sind nur bis zu einem geringen Prozentsatz zulässig, wenn der Betrieb bei wechselnder Belastung störungs- und rußfrei aufrecht erhalten werden soll. In diesem Falle ist ein Zusatz von 25 v. H. Steinkohlenteeröl die äußerste Grenze. Arbeitet die Maschine aber nur mit normaler und höchster Belastung und darf eine stärkere Verschmutzung mit in Kauf genommen werden, so ist ein Zusatz bis zu 40 v. H. zulässig. Empfehlenswert ist dieser Zusatz jedoch in keinem Falle, da bei längerer Betriebszeit zweifellos unzulässig starke Verschmutzung auftreten wird.“

„Die Unbrauchbarkeit der Steinkohlenteeröle ist dadurch bedingt, daß sie ungleichmäßig und unvollständig verbrennen. Ersteres verursacht Stöße, letzteres Rußbildung“.

Auf Seite 12 heißt es: „*Es erscheint also ausgeschlossen, diese Oele (Anthrazenöl und Kreosotöl) unvermischt im Dieselmotor zu verwenden, wenigstens nicht in einer Maschine gewöhnlicher Bauart und unter gewöhnlichen Betriebsverhältnissen.*“

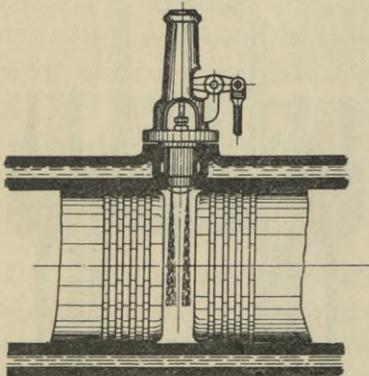


Abb. 9. Einspritzung des Brennstoffes bei dem Gegenkolben-Junkers-Motor.

„Irgendwelche Beobachtungen wurden bei diesen Versuchen nicht gemacht außer der Feststellung der Unbrauchbarkeit der Oele.“

Bei dem *Junkers-Motor* sitzt das Brennstoffventil in der Wand des Arbeitszylinders und der Brennstoff wird in Richtung einer Sehne oder eines Durchmessers in den Verbrennungsraum eingespritzt, also nicht gegen den Kolbenboden, sondern parallel zwischen die beiden Kolben. (Abb. 9.)

Hierdurch wird folgendes erreicht: Der sehr fein zerstäubte Brennstoff legt einen verhältnismäßig großen Weg zurück, bevor er auf die gegenüberliegende Zylinderwand auftreffen kann; dieser lange Weg bietet dem Strahl gute Gelegenheit, sich mit der im Totraum enthaltenen heißen Verbrennungsluft innig zu mischen und schon vor Erreichung der gegenüberliegenden Wand vollständig oder zum weitaus größten Teil zu verbrennen, sodaß *keine oder nur ganz geringfügige Ablagerungen* an den gekühlten Wänden des Verbrennungsraumes entstehen können. Die eigenartige Form und die Lage des Verbrennungsraumes in der Mitte des Zylinders gestattet eine weit größere *Freiheit in bezug auf Anzahl, Größe und Richtung der Einspritzventile*, als dies bei dem außerordentlich beschränkten Raum auf dem Zylinderdeckel des Einkolbenmotors der Fall ist. Günstig wirkt ferner der Umstand,

daß die im Verbrennungsraum eingeschlossene *Luft* in ihrer Gesamtheit mit dem *Brennstoffstrahl in innige Berührung kommt*, sodaß bei einem gleichen Luftgewicht mehr Brennstoff verbrannt werden kann, als in der Einkolbenmaschine. Auch dies ist mit ein Grund, daß sich bei der Gegenkolbenmaschine ein *höherer mittlerer Druck* erzielen läßt als bei der Einkolbenmaschine. Dies ist besonders wichtig bei Maschinen für größere Leistungen, oder dort, wo durch höchste Ausnutzung des Materials der Bau möglichst leichter Maschinen angestrebt wird.

Besonders gut geeignet ist die Gegenkolben-Gleichdruckmaschine für die *Verwendung schwerer Brennstoffe*.

Schon mit der ersten Versuchsmaschine mit teilweise noch unvollkommenen Einspritzvorrichtungen gelang es, Brennstoffe anstandslos im Dauerbetrieb zu verwenden, welche damals als gänzlich ungeeignet für Dieselmotoren galten (vergl. die obenerwähnte Literaturstelle). Nicht nur Anthrazen und Kreosotöl, sondern auch andere, sonst bei Gleichdruckmaschinen große Schwierigkeiten bietende Brennstoffe konnten bei der Gegenkolbenmaschine Verwendung finden, so z. B. Pakura, Teeröl, mexikanische und kalifornische Rohöle. Alle diese Brennstoffe wurden ohne besondere Hilfsmittel, insbesondere *ohne Verwendung eines sog. Zündöles*, und mit der normalen Zerstäubungseinrichtung in einer betriebstechnisch und wirtschaftlich äußerst befriedigenden Weise in der Gegenkolbenmaschine verwendet. Die Gegenkolbenanordnung bietet gerade bei diesen schweren Oelen den besonderen Vorteil, daß Ablagerungen, die sich etwa bilden sollten, *keine empfindlichen Teile*, wie es z. B. die Ventile bei der Einkolbenmaschine sind, schädigen und dadurch den Betrieb erschweren können. Die glatte Oberfläche des Verbrennungsraumes der Gegenkolbenmaschine beugt auch der Anhäufung größerer, eine Betriebsgefahr bildender Mengen von Ablagerungen vor, da diese durch die Auspuffschlitze hinausgeblasen werden. Die Steuerorgane, hier die *Schlitze*, sind von der Verbrennungszone weit entfernt und außerdem *weit unempfindlicher gegen Verschmutzung als Ventile*. Die Einlaßöffnungen können kaum verschmutzen.

Bei der Gegenkolben-Gleichdruckmaschine treten also nicht nur geringere Ablagerungen auf, sondern die etwa vorkommenden Ablagerungen sind auch verhältnismäßig unschädlich, da sie keine empfindlichen Teile treffen und Störungen nicht verursachen können.

Die Gegenkolbenmaschine hat es somit erst möglich gemacht, viele Brennstoffe, welche zur Zeit der Anmeldung und zum Teil selbst heute noch als gar nicht oder schlecht geeignet für den Betrieb des Dieselmotors galten, in einer wirtschaftlich wie betriebstechnisch völlig befriedigenden Weise zu verwenden. Damit aber wird in vielen Fällen der Verbrennungskraftmaschine ein *Verwendungsgebiet* erschlossen, auf dem sie bisher nicht Fuß zu fassen vermochte. Haben doch in dem Oel-lande Amerika die Dieselmotoren bis heute nur eine verhältnismäßig geringe Verbreitung gefunden, was hauptsächlich daher rühren dürfte, daß die amerikanischen Rohöle infolge ihrer Neigung, Rückstände zu bilden, als sehr schlecht geeignet für den normalen Dieselmotor gelten. Durch die Möglichkeit, billige, aber bisher für den Motorbetrieb unbrauchbare Oele verwenden zu können, wird die *Wirtschaftlichkeit der Energieerzeugung* erhöht, ja häufig die *Ausnutzung bisher brachliegender Energiequellen* überhaupt erst möglich gemacht.

Die besseren Bedingungen, welche die Gegenkolbenmaschine für eine vollkommene Verbrennung bietet, haben einen *geringeren Brennstoffverbrauch* zur Folge und bringen somit eine Verbesserung der *Wirtschaftlichkeit der Maschine*; sie verringern ferner die Anforderungen an die *Wartung* der Maschine, erhöhen deren *Betriebsicherheit* und ermöglichen *lange Betriebszeiten*. Letzteres ist besonders wichtig für den Schiffsbetrieb.

VII. Vorteile in mechanischer Hinsicht.

Die Gegenkolbenkonstruktion ist für die Gleichdruckölmaschinen auch in mechanischer Hinsicht besonders vorteilhaft. Je größer die Abmessungen der Maschinen werden, um so mehr häufen sich die Schwierigkeiten, welche hohe Drücke und Temperaturen mit sich bringen. Diese Schwierigkeiten rühren hauptsächlich einmal von den außerordentlich hohen Kolbenkräften her, welche zur Welle übertragen werden müssen, dann aber auch von den Spannungen, welche in den den Verbrennungsraum be-

grenzenden Maschinenteilen auftreten und eine Folge des diese Wandungen von der Gasseite zur Kühlwasserseite durchdringenden, sehr starken Wärmestromes sind (Wärmespannungen).

Die Vorteile, welche die Gegenkolbenanordnung bei Gasmaschinen bieten konnte, waren nicht weitreichend genug, um sich bei dieser Maschine gegenüber der vom Dampfmaschinenbau als Vorbild übernommenen und hier in langer Entwicklungszeit bewährten Einkurbelanordnung durchzusetzen. Dazu kommt, daß bei Gasmaschinen die auftretenden Schwierigkeiten mit den bisher bekannten Ausführungsformen, wenn auch mühsam, so doch in befriedigender Weise, überwunden werden

konnten, sodaß auch ein dringendes Bedürfnis nach neuartigen Konstruktionsmaßnahmen sich weniger geltend machte.

1. *Kraftwirkung im Getriebe.* Wesentlich anders liegen aber die Verhältnisse bei der Gleichdruckölmaschine. Die im Arbeitszylinder der Ölmaschine auftretenden Temperaturen und Drücke sind beträchtlich höher als bei anderen Wärmekraftmaschinen, so daß die in den Maschinenteilen wirksamen Kräfte und die in den Wandungen des Verbrennungsraumes auftretenden Wärmespannungen mit den bisher üblichen Anordnungen, namentlich bei großen Leistungen, nur noch schwer und nur auf Kosten der Zuverlässigkeit beherrscht werden können.

Beim Einkolbenmotor wird die auf den Kolben wirkende Kraft durch Kolben und Flügelstange zur Kurbelkröpfung übertragen, die gleiche Kraft wird durch Deckel, Zylinder, Rahmen und Grundplatte zu den seitlichen Wellenlagern hingeleitet und erzeugt im Verein mit der anderen Kraft in der Welle das durch

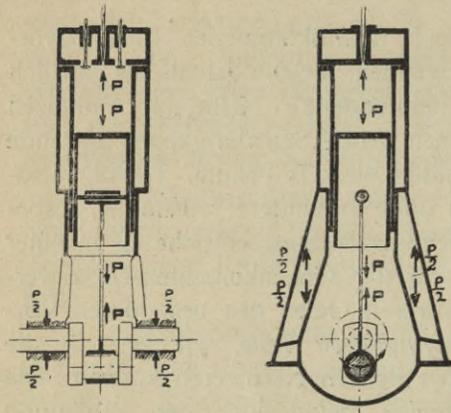


Abb. 10. Die Kraftübertragung auf die Welle bei der Einkolbenmaschine.

diese nach außen weiterzuleitende Drehmoment. (Abb. 10).

Die zuletzt genannte Kraft wird also auf einem großen Umweg zur Welle geleitet und durch Maschinenteile, deren Hauptaufgabe gar nicht eine Weiterleitung von äußeren Kräften sein kann, sondern die in erster Linie einerseits zur Aufnahme des Gasdruckes (Deckel, Zylinder), andererseits zur Lagerung und Führung der bewegten und zur Abstützung der dem Gasdruck ausgesetzten Teile dienen müssen (Grundplatte, Maschinengestell). Diese Kräfte sind in den erwähnten Teilen größtenteils als Zugkräfte wirksam, zu deren Aufnahme das gebräuchliche Baumaterial (Gußeisen) dieser Teile wegen seiner Sprödigkeit und geringen Dehnbarkeit wenig geeignet ist.

Bei der geringen zulässigen Beanspruchung des Materials dieser Maschinenteile, den großen zu übertragenden Kräften und mit Rücksicht auf etwa vorhandene, der Rechnung gänzlich unzugängliche Gußspannungen müssen diese Teile sehr schwer und massiv ausgeführt werden, erhöhen also das Gewicht der Maschine außerordentlich.

Daß die Sicherheit bei der üblichen beschriebenen Art der Kräfteleitung in der Maschine zu wünschen übrig läßt, beweisen die neueren Ausführungen namhafter Firmen (z. B. Sulzer, Winterthur, vergl. Z. d. V. d. I. 21. Sept. 1912; Doxford, Sunderland, England, vergl. Motor Ship und Motor Boat 1912 S. 137), bei welchen zur möglichst direkten Umleitung dieser Kräfte starke Stangen vom Zylinderdeckel nach der Grundplatte führen. (Abb. 11.)

2. *Reibungs- und Elastizitätsverhältnisse.* Die Getriebeteile, namentlich die Welle, müssen bei den Einkolbenmaschinen

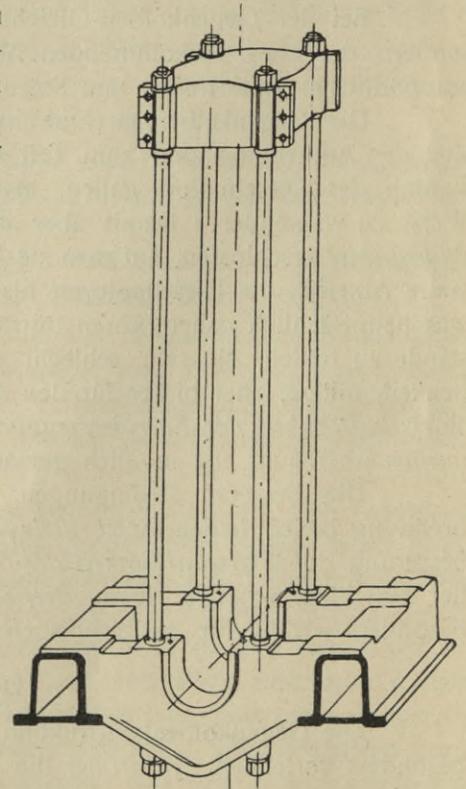


Abb. 11. Entlastung des Maschinengestells bei Einkolbenmaschinen durch Zugstangen.

sehr stark ausgeführt und mit großen Auflageflächen (vor allem in den beiden festen Grundlagern neben der Kröpfung) für die Lager versehen sein. Diese großen, breiten Grundlager vergrößern aber den Hebelarm der auf Biegung wirkenden Kräfte, und die Folge ist, daß die Welle sehr stark ausfallen muß. Der große Zapfendurchmesser (als Zapfen wird der in Lagern laufende Wellenteil bezeichnet) im Verein mit den hohen Drücken bringt vor allem erhöhte Reibungsarbeit, verringert also den mechanischen Wirkungsgrad der Maschine. Außerdem wird die Welle sehr starr und vermag sich daher den unvermeidlichen Ungenauigkeiten bei der Herstellung und Montage sowie den im Betriebe auftretenden Formänderungen des Maschinengestells und der Fundamente nur schwer und unvollkommen anzupassen, sodaß leicht Klemmungen in den Lagern eintreten können, welche erhöhte Abnutzung, vergrößerten Schmierölbedarf, ja sogar Heißlaufen und Wellenbrüche zur Folge haben können. Besonders nachteilig ist dieses Verhalten der Wellen von Einkolbenölmotoren, wenn mehrere Maschinen auf eine Welle arbeiten (Reihenmaschine) und bei einem nicht vollkommen starren Fundament, Fälle, wie sie namentlich bei Schiffsmaschinen vorliegen.

Auch die Frage der Abnutzung verdient hier Beachtung: Bei der einfach gekröpften Welle werden die durch die Maschinenkräfte hoch beanspruchten Grundlager stark abgenutzt; die Welle liegt dann ungleichmäßig in den Lagern an und wird während des Betriebes in den Lagern hin- und hergezerrt. Eine sehr starre Welle kann diesen normalen Beanspruchungen weniger gut standhalten als eine möglichst elastische Welle, welche den in ihren Lagern eingetretenen Aenderungen besser zu folgen vermag. Ein Nacharbeiten dieser Grundlager ist sehr umständlich und zeitraubend, namentlich bei beschränkten Raumverhältnissen, z. B. auf Schiffen, da in der Regel hierbei die ganze schwere Welle herausgehoben werden muß, und da ferner beim Nacharbeiten der Grundlager diese nicht nur der Rundung der Welle wieder genau angepaßt, sondern auch in ihrer

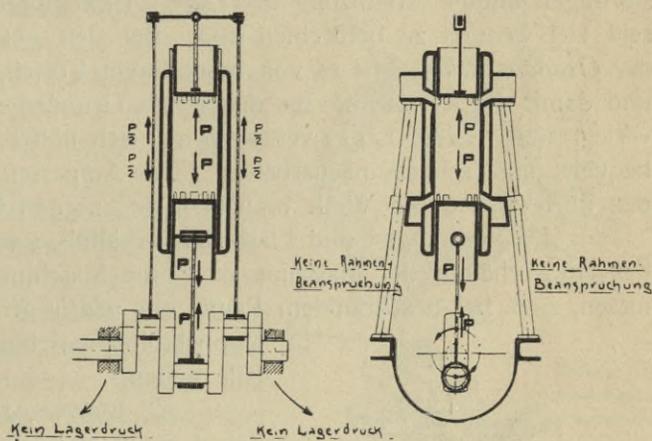


Abb. 12. Die Kraftübertragung auf die Welle bei der Gegenkolbenmaschine.

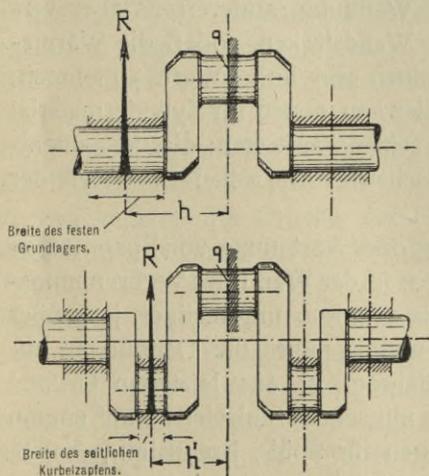


Abb. 13. Vergleich der Biegemomente bei der einfach und der dreifach gekröpften Welle bei gleichem Kolbendruck.

q = gefährlicher Querschnitt.

R u. R' = Lagerreaktionen.

h und h' = Hebelarme der Lagerreaktionen R u. R' .

gegenseitigen Lage ganz genau von neuem fixiert werden müssen.

Alle diese Uebelstände werden wesentlich vermindert, sobald die Gegenkolbenanordnung in Anwendung kommt. Hier ist der Maschinenrahmen und der Arbeitszylinder von den Kolbenkräften fast ganz entlastet. (Abb. 12) Die Kräfte werden von den beiden Arbeitskolben durch das Gestänge, welches aus einem für die Aufnahme großer, rhythmisch auftretender Kräfte besonders gut geeigneten, dehnbaren Material mit hohem Sicherheitsfaktor hergestellt ist, auf kürzestem Wege zur Welle abgeleitet. Der an Stelle des Deckels tretende Kolben und sein Gestänge bieten den weiteren Vorteil, daß sie nicht tote Massen darstellen, sondern gleichzeitig zur Arbeitsleistung mit herangezogen werden. Durch diese direkte Ueberleitung der Kräfte zu der hier verwendeten dreifach gekröpften Welle wird eine Reihe von Vorteilen gewonnen, die gerade in dem schwierigen Betriebe von Oelmotoren von großer Wichtigkeit sind. Die Maschinenkräfte werden ausschließlich von den beweglichen Lagern der Pleuelstangen aufgenommen, diese Lager sind infolge ihrer Bewegung gut gekühlt, vertragen also hohe spezifische Belastung und können verhältnismäßig schmal gehalten werden. Hierdurch aber wird das Einpassen der Lager, das Einlaufen, die Schmierung erleichtert. Verhältnismäßig starke Abnutzung und geringes Schiefstellen der Lagerschalen verursacht noch keine Betriebsstörungen. Die schmalen Lager

verringern den Hebelarm der auf Biegung wirkenden Kräfte, sodaß die Welle bei gleicher Sicherheit schwächer werden kann. (Abb. 13.) Auf die empfindlichen feststehenden Grundlager wirken hier nur verhältnismäßig kleine Kräfte, diese Lager können also schmal sein, ohne im Betriebe übermäßige Abnutzung und andere Mängel zu zeigen. Schmale Lager sind aber für den Betrieb besonders vorteilhaft, weil sie, ohne zu klemmen, ein geringes Schiefstellen der Welle gestatten, sodaß diese den elastischen Formänderungen durch die Maschinenkräfte immer ungehindert folgen kann.

Das zwischen zwei festen Lagern liegende Stück der dreifach gekröpften Welle ist bedeutend elastischer als das der einfach gekröpften, verhältnismäßig starren und gedrungenen Welle. Die dreifach gekröpfte Welle ist dadurch in weit höherem Maße imstande, sich den Ungenauigkeiten der Lager, den eigenen Formänderungen, den Verlagerungen des Fundamentes anzupassen, sodaß Betriebsstörungen infolge Abnutzung der Lager, Bewegungen des Fundaments, Klemmen, Heißlaufen u. s. w. sehr viel weniger zu befürchten sind. Bei den gekennzeichneten schwierigen Triebwerkverhältnissen der *Großölmaschinen* ist es von besonderem Vorteil, daß bei der dreifach gekröpften Welle die Kräfte und damit die Abnutzung aus den festen Grundlagern heraus in die beweglichen Pleuelstangenlager verlegt sind. Diese Lager vertragen an sich höhere Abnutzung und lassen sich auch verhältnismäßig bequem und schnell nacharbeiten. Das Aufpassen jedes Lagers geschieht gänzlich unabhängig von den übrigen und die Welle braucht nicht aus den Grundlagern entfernt zu werden.

Die Reibungs- und Elastizitätsverhältnisse werden in allen Fällen um so günstiger, je größer das Hubverhältnis der Maschine ist. Eine Maschine, mit welcher sich auch bei ungünstigen Verhältnissen, z. B. bei beschränktem Raum, ein *relativ* großes Hubverhältnis verwirklichen läßt wie bei der Doppelkolbenmaschine, wird also auch in dieser Hinsicht stets Vorteile bieten.

3. Wärmespannungen in den Wandungen des Arbeitszylinders.

Bei den Gleichdruckmaschinen treten hohe Wärmespannungen in den Wandungen des Arbeitszylinders auf, da infolge der hohen Drücke, der hohen Temperaturen und der während der Einspritzung starken Wirbelung der durch die Wandungen des Verbrennungsraumes in das Kühlwasser gehende Wärmestrom sehr groß ist.

Die Spannungen wachsen proportional mit der Intensität dieses Wärmestromes und mit der Dicke der Wandung, andererseits aber verlangen die hohen Drücke beträchtliche Wandstärken, sodaß die Wärmespannungen bei den Gleichdruckmaschinen sehr hohe Werte annehmen; besonders groß werden sie an den Stellen, an denen im Zylindermaterial außergewöhnlich hohe Temperaturunterschiede auftreten; dies ist namentlich an den Verbindungsstellen (Flanschen) von Deckel und Zylinder der Fall.

Gewissermaßen eine Anhäufung oder Anstauung von Spannungen entsteht an den Rändern von Oeffnungen in der Wand des Verbrennungsraumes, und zwar liegen die Verhältnisse um so ungünstiger, je größer der Durchmesser der Oeffnungen ist und je näher die Oeffnungen aneinander rücken. Ganz besonders gefährdet ist aus letzterem Grunde der Zylinderdeckel der Dieselmotoren mit seinen zahlreichen, auf engem Raume zusammengedrängten Oeffnungen für Spül-, Brennstoff-, Anlaß- und Sicherheitsventile, und der Deckel gilt daher auch mit Recht als eins der unzuverlässigsten Maschinenelemente, ganz abgesehen davon, daß schon seine Konstruktion größte Sorgfalt verlangt und die Herstellung schwierig

und kostspielig ist. Ganz bedeutend würde die Zuverlässigkeit erhöht werden durch die Verlegung gerade der schädlichsten großen Oeffnungen, d. h. der Oeffnungen für die Spülventile, aus dem Verbrennungsraume.

Es liegen neuerdings Versuche vor, diesen Weg auch bei der Einkolbenölmaschine zu betreten, und zwar werden hierbei die Spülventile ersetzt durch am unteren Ende des Zylinders befindliche

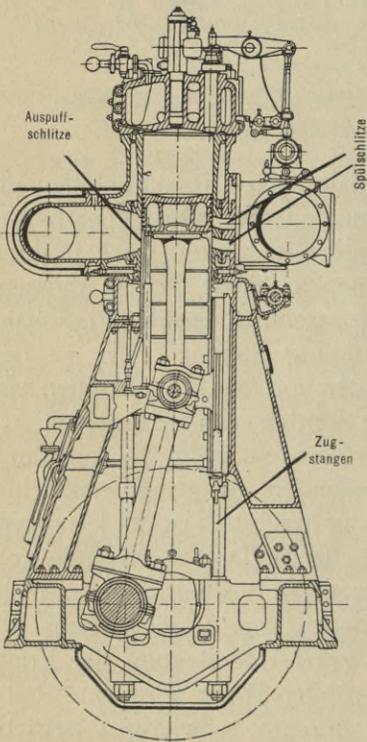


Abb. 14. Einkolbenmaschine mit Schlitzspülung (gebaut v. Gebr. Sulzer)

Einlaßschlitze, die sich um den halben Umfang des Zylinders erstrecken, während die Auslaßkanäle die andere Hälfte des Umfanges einnehmen, (s. Abb. 14, Maschine des Motorschiffes „Monte Penedo“, gebaut von Sulzer Z. d. V. d. I. 1912). Es findet also gewissermaßen ein Ausspülen in der Querrichtung statt. Bei einer solchen Spülmethode kann offenbar ein geschlossener Spülluftstrom, der sich möglichst wenig mit Abgasen mischt, überhaupt nicht zustande kommen. Für den Vorteil der größeren Sicherheit sind schwerwiegende Nachteile, z. B. schlechte Verbrennung, hoher Spülluftverbrauch, geringer mittlerer Druck, also schlechte Ausnutzung der Maschine, hoher Brennstoffverbrauch u. s. w., in Kauf genommen.

Am vollkommensten gelingt die Lösung der oben gekennzeichneten Aufgabe zweifellos bei Anwendung der *Doppelkolbenanordnung für Gleichdruckölmotoren*. Der Zylinder hat hier die Form eines einfachen Rohres, das sich nach allen Seiten frei ausdehnen kann; namentlich besteht der am höchsten beanspruchte Verbrennungsraum aus den einfach gestalteten Kolbenböden und dem ringförmigen Zylindermantel, welcher nur wenige und kleine Oeffnungen für Brennstoff-, Anlaß- und Sicherheitsventile enthält, die sich auf dem großen Umfang bequem anordnen lassen. (Abb. 15.)

Die unangenehme Verbindungsstelle zwischen Deckel und Zylinder, der ganze Deckel selbst, die mit der Anordnung großer Ventile im Verbrennungsraum verbundene stete Betriebsgefahr, *sind so beseitigt, aber nicht zu ungunsten anderer wesentlicher Vorteile, sondern mit gleichzeitigem Gewinn einer bedeutend größeren Sicherheit des Zylinders wie des Getriebes, einer weitaus besseren und vollkommeneren Spülung und unter besonders vorteilhaften Bedingungen für die Einspritzung des Brennstoffes.*

Bei der *Gasmaschine* werden mit der *Gegenkolbenanordnung* zwar ebenfalls Vorteile erzielt, aber es müssen dafür wieder Nachteile mit in Kauf genommen werden; außerdem sind die Vorteile nicht so ausschlaggebend wie bei der Gleichdruckölmotoren. So besitzt die Maschine nach D. R. P. 66961 (Oechelhäuser und Junkers) ein großes, in der Wand des Verbrennungsraumes liegendes Ventil, welches die Festigkeit des Zylinders beeinträchtigt. Die sogenannte Oechelhäusermaschine dagegen hat an dessen Stelle 2 Schlitzkränze für die Spülung; außerdem lassen sich bei ihr Brennstoffverluste nicht ganz vermeiden. Die Vorteile geringer Wärmeverluste während der Kompression können bei Gasmaschinen nicht ausgenutzt werden, da sonst die Gefahr der Vorzündung eintritt. Die Gegenkolbenanordnung bringt hier auch keinerlei Verbesserung des Verbrennungsvorganges. *Der Fortfall des Deckels hat bei der Gasmaschine viel geringere Bedeutung als bei der Oelmotoren, da bei ersterer die Drücke und Temperaturen niedriger, mithin die Beanspruchungen durch Druck und Wärme weitaus geringer sind als bei letzterer; auch bietet der bei Gasmaschinen nötige große Totraum bedeutend mehr Freiheit in der Formgebung des Zylinderdeckels und in der Anordnung der Ventile als bei Gleichdruckölmotoren.* Der Zylinder selbst läßt sich bei Einkolben-Gasmaschinen auch in großen Einheiten noch genügend betriebssicher herstellen.

Da die *Kolbendrucke*, namentlich bei *Groß-Gasmaschinen*, in der Regel weit *niedriger* sind als bei den *Oelmotoren*, wird bei ersteren auch das Getriebe verhältnismäßig leichter, namentlich die Welle weniger starr, die Kräfteumleitung durch Zylinder und Rahmen läßt sich leichter in betriebs-sicherer Weise durchführen, die Verbesserung der Getriebeverhältnisse durch die dreifach gekröpfte Welle ist daher bei Gasmaschinen von viel geringerer Bedeutung.

VIII. Hoher mittlerer Druck.

1. Was ist unter „mittlerem Druck“ zu verstehen?

Bei jeder Kolbenkraftmaschine ändert sich der auf den Arbeitskolben wirkende Druck der im Zylinder eingeschlossenen Gase (Dämpfe, Flüssigkeiten) nach einem bestimmten Gesetz mit dem Wege,

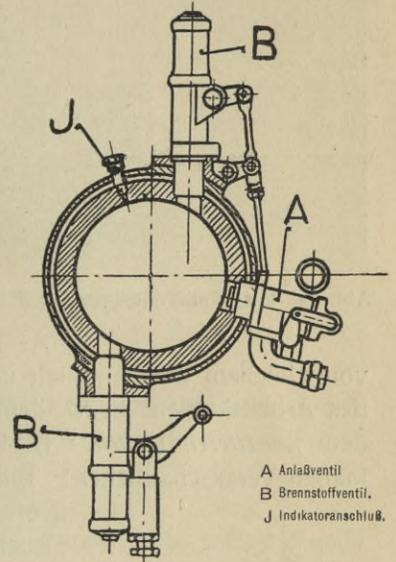


Abb. 15. Querschnitt durch den Verbrennungsraum eines Junkers-Motors.

den der Kolben zurücklegt. Trägt man in einem Schaubild (Diagramm) zu jeder Kolbenstellung als Abszisse (Strecke auf der horizontalen Achse), den entsprechenden Druck als Ordinate in senkrechter Richtung auf, so erhält man einen Linienzug, welcher für jede Maschinentype einen charakteristischen

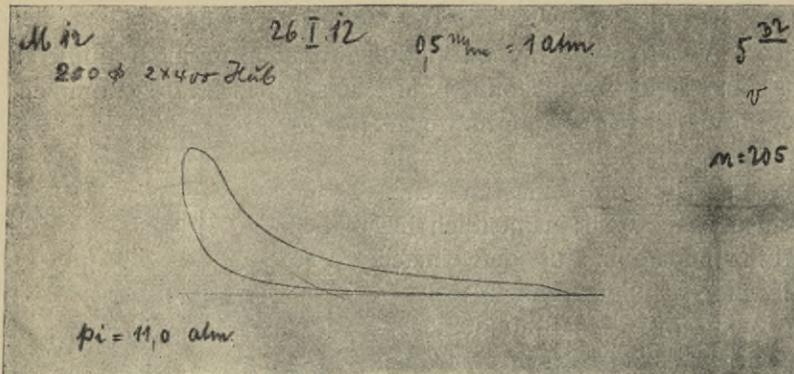


Abb. 16. Diagramm eines Junkers-Motors (aufgenommen an der Maschine M 12).

Verlauf aufweist. Der Linienzug umschließt eine Fläche, deren Inhalt bei gegebener Umdrehungszahl und gegebenen Zylinderabmessungen proportional der Leistung ist, welche von dem Gas an den Arbeitskolben abgegeben wird (indizierte Leistung). Je größer unter sonst gleichen Verhältnissen die Diagrammfläche ist, um so größer ist diese „indizierte Leistung.“ Ein solches an einem Junkersmotor aufgenommenes Diagramm zeigt Abbildung 16.

Denkt man sich die Diagrammfläche verwandelt in ein Rechteck

von gleichem Flächeninhalt und gleicher Länge (die Länge des Diagramms entspricht stets dem Hube des Arbeitskolbens bzw. dem Gesamthube zweier Kolben), so entspricht die Höhe dieses Rechteckes dem „mittleren Druck.“ (Abb. 17.) Man kann sich den Begriff des mittleren Druckes auch folgendermaßen veranschaulichen: Teilt man den Kolbenweg (d. i. also die „Länge“ des Diagramms) in eine große Anzahl kleiner Teile, so darf man den jedem *kleinen* Teil zugehörigen Druck als konstant innerhalb dieses Teiles ansehen, und man kann dann den „mittleren Druck“ auch definieren als das arithmetische Mittel aus diesen vielen Einzeldrücken.

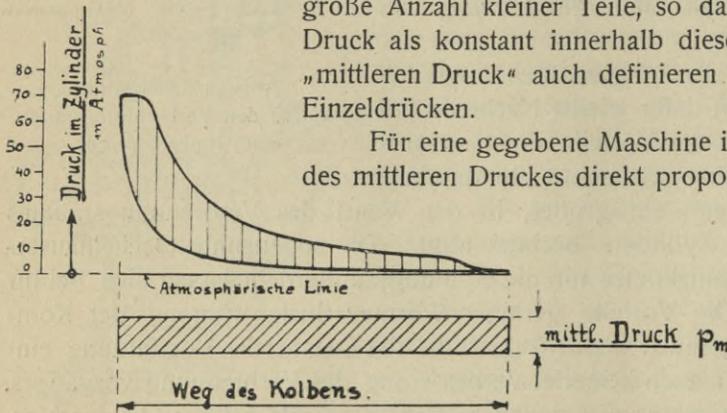


Abb. 17. Druck-Kolbenweg-Diagramm eines Junkers-Motors.

Für eine gegebene Maschine ist bei bestimmter Umdrehungszahl die Größe des mittleren Druckes direkt proportional der indizierten Leistung, die Maschine ist also um so leistungsfähiger, je höher dieser mittlere Druck ist.

2. Wie läßt sich ein hoher mittlerer Druck bei der Gleichdruck-Verbrennungskraftmaschine erzielen?

Zur Erzielung eines hohen mittleren Druckes bei der Gleichdruckverbrennungskraftmaschine stehen verschiedene Mittel zur Verfügung:

- a) Hohes Kompressions- und Expansionsverhältnis,
- b) reine Ladung (Füllung des Zylinders mit reiner Luft),
- c) dichte Ladung (großes Luftgewicht im Zylinderraum),
- d) vollkommene Verbrennung bei geringem Luftüberschuß,
- e) geringe Wärmeverluste während der Kompression, Verbrennung und Expansion.

a) Ein hohes Kompressions- und Expansionsverhältnis, d. h. das Verhältnis des Druckes zu Beginn der Kompression (Expansion) zum Druck am Ende der Kompression (Expansion) bringt nicht allein eine Erhöhung des mittleren Druckes, sondern auch eine Verbesserung des thermischen Wirkungsgrades; nachteilig ist jedoch dabei die Erhöhung der absoluten Drucke, welche einen stärkeren Bau der ganzen Maschine bedingt. Dies hat wiederum eine Vergrößerung der Reibungsverluste, also eine Abnahme des mechanischen Wirkungsgrades, zur Folge.

b) *Reine Ladung* wird erzielt durch vollkommene Ausspülung (kein Zurückbleiben von Abgasresten). Je mehr reine Luft im Zylinder ist, um so mehr Brennstoff kann zur Verbrennung gebracht werden und um so höher wird der mittlere Druck.

c) Ein möglichst *großes Gewicht jeder Ladung* im Zylinder wird durch Einführung möglichst kalter Luft in den Zylinder gewonnen, denn kalte Luft hat bei gleichem Volumen und gleichem Druck ein größeres Gewicht als warme, es kann also in einem gleichen Volumen kalter Luft auch entsprechend mehr Brennstoff verbrannt werden. Endlich kann die Luft auch *vor* Eintritt in den Zylinder verdichtet werden. Dies hat eine Erhöhung der Enddrucke im Arbeitszylinder zur Folge und damit auch eine erhöhte Beanspruchung aller Maschinenteile. Die Temperatur bei der Verbrennung wird hierbei zwar nicht gesteigert, da das *Temperatur-Verhältnis* des ganzen Prozesses dasselbe bleibt und die vorverdichtete Luft nicht wesentlich heißer in den Arbeitszylinder gelangt als die Luft von normaler Ladespannung, wohl aber wird infolge des höheren Druckes die Wärmeabgabe an die Wandung und damit die Beanspruchung der Zylinderwand durch Wärmespannungen höher.

d) Als *Luftüberschuß* wird derjenige Teil der im Arbeitszylinder eingeschlossenen Luft bezeichnet, der an der Verbrennung nicht teilnimmt. Dieser Ueberschuß wird um so größer, je weniger die Luft Gelegenheit findet, mit dem eingespritzten Brennstoff in innige Berührung zu treten. Je größer der Luftüberschuß aber sein muß, desto weniger Brennstoff kann in einem gegebenen Zylindervolumen verbrannt werden und desto geringer wird der mittlere Druck.

e) Die im Zylinder auftretenden *Wärmeverluste* bewirken eine Abkühlung der im Zylinder eingeschlossenen Gase und damit einen Druckabfall im Zylinder. Diese Druckverminderung tritt dort am stärksten auf, wo die meisten Wärmeverluste stattfinden, d. i. namentlich während der Verbrennung und zu Beginn der Expansion, also an den Stellen höchster Drücke und Temperaturen. Diese Verluste sind deshalb besonders schädlich, weil nicht nur die dem Druckabfall an dieser Stelle entsprechende Arbeit, sondern auch noch Expansionsarbeit verloren geht. Diese Verluste haben also besonders großen Einfluß auf den mittleren Druck, und ihre Verringerung ist deshalb von besonderem Wert.

3. Welche Vorteile bringt der hohe mittlere Druck bei Verbrennungskraftmaschinen?

Der hohe mittlere Druck gestattet eine bessere Ausnutzung aller Maschinenteile. Dies ist bei Verbrennungskraftmaschinen besonders wichtig, da die Maschinenteile für die Höchstdrucke berechnet werden müssen, welche hier ein Mehrfaches des mittleren Druckes betragen. Von zwei Maschinen mit *gleichen Abmessungen* leistet die mit dem höheren mittleren Druck entsprechend mehr.

Bei zwei Maschinen *gleicher Leistung* erhält die mit höherem mittlerem Druck arbeitende entsprechend kleinere Abmessungen, wird daher leichter und billiger.

Vor allen Dingen verbessert ein hoher mittlerer Druck das *Verhältnis vom Mitteldruck zum Maximaldruck*. Je größer der mittlere Druck ist im Verhältnis zum höchsten im Arbeitszylinder auftretenden Druck, desto besser werden die Maschinenteile ausgenutzt, desto mehr kann die Maschine leisten und desto kleiner, leichter und billiger wird sie, bezogen auf die Leistungseinheit.

Ein Vergleich einer gewöhnlichen *doppeltwirkenden* Dampfmaschine mit einem normalen *einfach* wirkenden Zweitaktölmotor wird diese Verhältnisse erläutern: Bei ersterer ist das Verhältnis von Mitteldruck zu Maximaldruck etwa 1:1,7, dagegen beim Zweitaktölmotor etwa 1:10. Angenommen, beide Maschinen haben gleichen Maximaldruck auf den Kolben und bei gleicher Höchstbeanspruchung (also gleicher Sicherheit) seien alle Getriebeteile (Welle, Schubstangen, Lager etc.) gleich stark ausgeführt, so kann dasselbe Getriebe bei der Dampfmaschine etwa *6 mal* so viel Arbeit abgeben, als das der Oelmaschine (bei gleicher Kolbengeschwindigkeit).

Noch ungünstiger schneidet die Viertaktgleichdruckmaschine gegenüber der Dampfmaschine von der gleichen Leistung ab, wie Abbildung 18 zeigt. Würde bei der Dampfmaschine (links), welche normal 300 P. S. leistet, das für den Höchstdruck berechnete Getriebe auch dauernd mit diesem Höchstdruck belastet, so könnte es 510 P. S. abgeben; dagegen muß das Getriebe der für eine 300 PS-Viertaktölmachine mit Rücksicht auf den auftretenden Höchstdruck solche Abmessungen erhalten, daß es bei dauernder Einwirkung dieses Höchstdruckes 6000 P. S. abgeben könnte. Das Verhältnis von Nor-

malleistung zu der nach den Getriebeabmessungen möglichen Höchstleistung ist also bei der Viertaktmaschine 1:20.

Der Vergleich zeigt die gewaltigen Schwierigkeiten, welche sich dem Verbrennungsmotor trotz der Fortschritte der Technik, trotz der Vorbilder auf verwandten Gebieten (z. B. im Großgasmaschinenbau) entgegenstellen, sobald es gilt, große Leistungen zu erzielen (z. B. in der Großschifffahrt), welche mit der Kolbendampfmaschine schon vor vielen Jahrzehnten erreicht wurden.

Jedes Mittel, welches geeignet ist, diese Schwierigkeiten zu verringern, ist daher von großem Wert. Ein solches Mittel aber ist vor allem die Ermöglichung eines hohen mittleren Druckes.

Eine weitere nachteilige Folge des ungünstigen Verhältnisses von Mitteldruck zu Maximaldruck bei der Verbrennungskraftmaschine ist die im Verhältnis zur indizierten Leistung beträchtliche Reibungsarbeit. Dies hängt ebenfalls mit den großen Abmessungen der Getriebeteile zusammen. Besonders ungünstig werden die Reibungsverhältnisse bei geringer Belastung der Maschine.

Auch in diesem Punkte ist die Dampfmaschine der Verbrennungskraftmaschine weit überlegen. Die großen mechanischen Verluste bei letzterer haben nicht nur eine Erhöhung des Brennstoff- und namentlich auch des Schmierölverbrauchs, sondern auch eine Erschwerung des Betriebes infolge größerer Neigung zum Heißlaufen zur Folge. Auch hier wird also eine Erhöhung des mittleren Druckes für die Gleichdruckmaschine große Vorteile bieten.

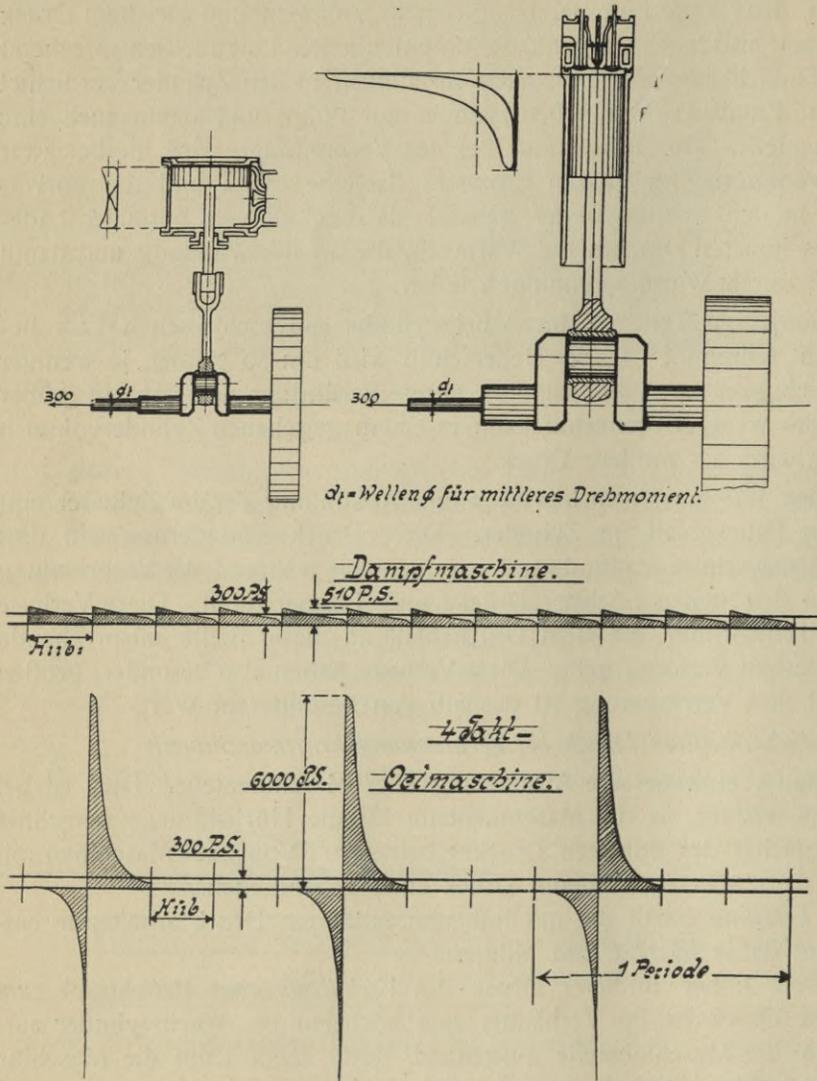


Abb. 18. Vergleich der Getriebe einer Dampfmaschine (links) und einer Viertakt-Gleichdruckmaschine (rechts) von gleicher Leistung (300 P.S.), gleicher Umdrehungszahl, gleicher Biegungsbeanspruchung des Kurbelzapfens und einander ähnlichen Kurbeln. Die Diagramme zeigen die vom Getriebe aufzunehmenden Drucke.

4. Die Gegenkolbenanordnung ermöglicht die Erhöhung des mittleren Druckes.

Im folgenden soll gezeigt werden, daß durch die Anwendung der Gegenkolbenanordnung bei der Oelmaschine ein hoher mittlerer Druck erreicht und damit wesentliche Vorteile nach den oben gekennzeichneten Richtungen gewonnen werden können. (Siehe Seite 20—21, a bis e).

a) Hohes Kompressions- und Expansionsverhältnis. Die Gegenkolbenölmaschine gestattet die Einhaltung eines hohen Expansionsverhältnisses, ohne daß der dabei auftretende hohe Druck schädlich ist, denn diese Maschine ist infolge der einfachen Formgebung der Zylinder (glattes Rohr), infolge der geringen Schwächung der Zylinder durch Oeffnungen (keine großen Spül- oder Gasventile) und des Wegfalles der komplizierten Zylinderdeckel, infolge der Aufnahme der Kolbenkräfte durch sichere geschmie-

triebe wurden mittlere Drücke von *10 bis 11 Atm.* erzielt, mit Leistungserhöhung bis zu 15 Atm., während bei Einkolbenmaschinen Drücke von 8 Atm. schon als sehr hoch gelten. In der „Hütte“ 22. Auflage II. Seite 258 ist für Viertaktmotoren als Mittelwert 7,0 Atm. angegeben. Bei *Einkolbenzweitaktmotoren* sinkt (a. a. O. 244) dieser Wert noch auf das $\frac{1,70}{2}$ bis $\frac{1,9}{2}$ fache, also auf etwa *6,0 bis 6,6 Atm.*; diese Zahlen für den mittleren Druck sind also wesentlich niedriger als bei der Gegenkolbenzweitaktmaschine.

Besonders beachtenswert ist, daß sich diese günstigen Verhältnisse auch bei einer Maschine mit großem Zylinderdurchmesser (450 mm) und dem für eine Gegenkolbenmaschine verhältnismäßig kleinen Hubverhältnis ($H/D = 2$) ergeben haben, während sonst bei großen Durchmessern, namentlich bei Zweitaktmaschinen, mit einem bedeutend niedrigeren mittleren Druck gerechnet wird.

IX. Geringe Empfindlichkeit und leichte Instandhaltung.

Wie aus den Darlegungen unter Absatz VI hervorgeht, sind die bei Verwendung schwerer Brennstoffe eintretenden Verunreinigungen aus Ablagerungen im Innern des Zylinders bei der Junkersmaschine nicht nur geringer, sondern auch weniger schädlich als bei der gewöhnlichen Dieselmachine mit einem Kolben. Andererseits aber ist auch die von Zeit zu Zeit notwendige Beseitigung der immerhin nicht ganz zu vermeidenden Verunreinigungen bei der Junkersmaschine, ebenso wie das Nachsehen der Kolben und Instandsetzungsarbeiten im Innern des Zylinders erheblich erleichtert, denn bei der deckellosen Gegenkolbenmaschine ist die Arbeit des Herausnehmens der Kolben bedeutend einfacher und viel schneller, auch mit weniger geschultem Personal auszuführen als bei der Einkolbenmaschine, bei der meist der Deckel mit all seinen Verschraubungen, Leitungsanschlüssen, Dichtungen und häufig dem ganzen Steuerungsantrieb ab- und nachher wieder anmontiert werden muß. Dies bedeutet nicht allein eine lange Betriebsunterbrechung, sondern bedingt auch eine äußerst sorgfältige und daher teure Arbeit. Dieser Vorteil fällt namentlich dann ins Gewicht, wenn an sich wenig geschultes Personal vorhanden ist, oder wenn an Bedienungskosten möglichst gespart und gleichzeitig Wert auf die Verwendung billiger schwerer Öle gelegt werden muß, beispielsweise auf Frachtschiffen und Fischereifahrzeugen, bei denen eine einfache, von jedermann leicht auszuführende Revision geradezu Lebensbedingung für den Motor ist. Die Zeitersparnis bei der Revision, den sogen. Ueberholungsarbeiten, bietet dort besondere Vorzüge, wo für derartige Arbeiten nur eine möglichst kurze Betriebsunterbrechung zulässig ist, beispielsweise bei Maschinen für elektrische Zentralen, für Fabriken mit Tag- und Nachtbetrieb und bei Schiffen mit wenig Liegezeit.

X. Schlußbemerkung.

Die Entwicklung der Gegenkolben-Gleichdruckmaschine nach D. R. P. 220124 bietet ein Beispiel dafür, wie man vorgehen kann, um eine Maschine (hier den Diesel-Motor) so auszugestalten, daß sie möglichst vielseitig brauchbar wird. Die Forschungsarbeiten ergaben, daß zur Erreichung dieses Zwecks Verbesserungen hauptsächlich in nachstehend genannten Richtungen wünschenswert waren: Erhöhung des thermischen und mechanischen Wirkungsgrades, gute Anpassungsfähigkeit an verschiedene Verwendungsgebiete, Brennstoffarten und Betriebsverhältnisse; ferner möglichst weite Grenzen im Leistungsertrag und in der Drehzahl nach oben und unten, endlich geringe Ansprüche an Herstellung, Instandhaltung und Bedienung.

Man hat gerade bei dem Diesel-Motor, wie kaum jemals bei einer anderen Wärmekraftmaschine, außerordentlich viel Gedanken-, Versuchs- und Werkstattdarbeit aufgewendet, um die auf Grund der Versuche von Diesel entstandene neue Maschinenart in den oben angedeuteten Richtungen weiter auszubauen, doch haben diese Verbesserungsversuche nicht in allen Fällen durchgreifende Erfolge gezeitigt, weil sie häufig, ohne Rücksicht auf die anderen Einzelheiten, sich nur auf besondere Teile, z. B. das Einspritzventil, die Spülvorrichtung, den Arbeitszylinder, den Steuerungsantrieb usw. bezogen.

Eine durchgreifende Verbesserung des Diesel-Motors war auf solche Weise schon aus dem Grunde nicht möglich, weil in der Technik jeder Vorteil durch Kompromisse erkaufte werden muß. Man kann auch nicht einfach alle gewonnenen Einzelvorteile wieder miteinander kombinieren, um so zu der denkbar besten Maschine zu kommen, denn auch die in Kauf zu nehmenden Nachteile würden sich häufen, ganz abgesehen davon, daß nicht alle solche Einzelverbesserungen unter sich überhaupt kombinationsfähig sind.

Die Mängel, die der Diesel-Maschine noch anhafteten und die sich auf die angedeutete Weise nicht in genügendem Umfange beseitigen ließen, zeigten sich ganz besonders, als man daran ging, die Gleichdruckmaschine für größere Leistungseinheiten zu bauen, wie sie namentlich der Schiffsantrieb verlangt, für den die Verwendung flüssigen Brennstoffes an sich große Vorteile bietet. Man ist, um der andrängenden Schwierigkeiten Herr zu werden, in manchen Fällen sogar so weit gegangen, die auftretenden Beanspruchungen dadurch künstlich herabzusetzen, daß man die Maschine verhältnismäßig gering belastete und damit auch einen schlechteren Wirkungsgrad in den Kauf nahm. Während der erstere Weg, die Verbesserung bestimmter Einzelheiten, wie erwähnt, keinen durchgreifenden Erfolg haben kann, muß das letztere Verfahren vom technisch-wirtschaftlichen Standpunkt aus sogar als Rückschritt angesehen werden.

Der Erfinder von D. R. P. 220124 hat deshalb die Aufgabe, den vorhandenen Diesel-Motor zu verbessern, in ganz anderer Weise angefaßt und gelöst. Er ging nicht von einer konstruktiven Einzelheit aus, sondern er forschte nach den tieferen Ursachen der bisherigen Mängel und kam so zu der Ueberzeugung, daß es vor allem auf eine Verbesserung der Bedingungen für den glatten Verlauf der Verbrennung und hier wieder besonders auf die Verringerung der Wärmeverluste in der Nähe des innern Totpunktes ankomme. Er erkannte, daß die bisher benutzten Hilfsmittel zur Durchführung des Verbrennungsprozesses (der Verbrennungsraum, die Einspritzvorrichtungen, die Spüleinrichtung usw.) dieses Ziel nicht vollkommen genug zu erreichen gestatten oder für eine vielseitig zu gebrauchende Maschine viel zu kompliziert und empfindlich wurden und vielfach auch eine allzuweitgehende Anpassung an den jeweiligen Gebrauchszweck der Maschine verlangten. Er forschte deshalb nach anderen technischen Hilfsmitteln und fand nun sowohl auf Grund theoretischer Betrachtungen als auch an Hand zahlloser Versuche, die sich über Jahrzehnte erstreckten, daß die Gegenkolbenmaschine ein geeignetes Mittel ist, für den Verbrennungsprozeß beim Diesel-Motor die denkbar günstigsten Bedingungen zu schaffen und so gewissermaßen mit einem Schlage eine ganze Reihe großer Schwierigkeiten zu überwinden.

Wie so häufig in der Technik, zeigt sich auch hier wieder, daß die Ueberwindung eines Hauptnachteiles durch eine ganz neuartige Gestaltung der betreffenden Maschine nicht nur diejenigen Vorteile bietet, die eben in der Vermeidung oder Verminderung dieses Hauptnachteils liegen, sondern darüber hinaus der betreffenden Maschine noch eine ganze Reihe weiterer vorteilhafter Eigenschaften verleiht.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

S. 611

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw. 33165

Kdn., Czapskich 4 — 678. 1. XII. 52. 10.000

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000305711

AAC

LLSCHAFT, AACHEN.