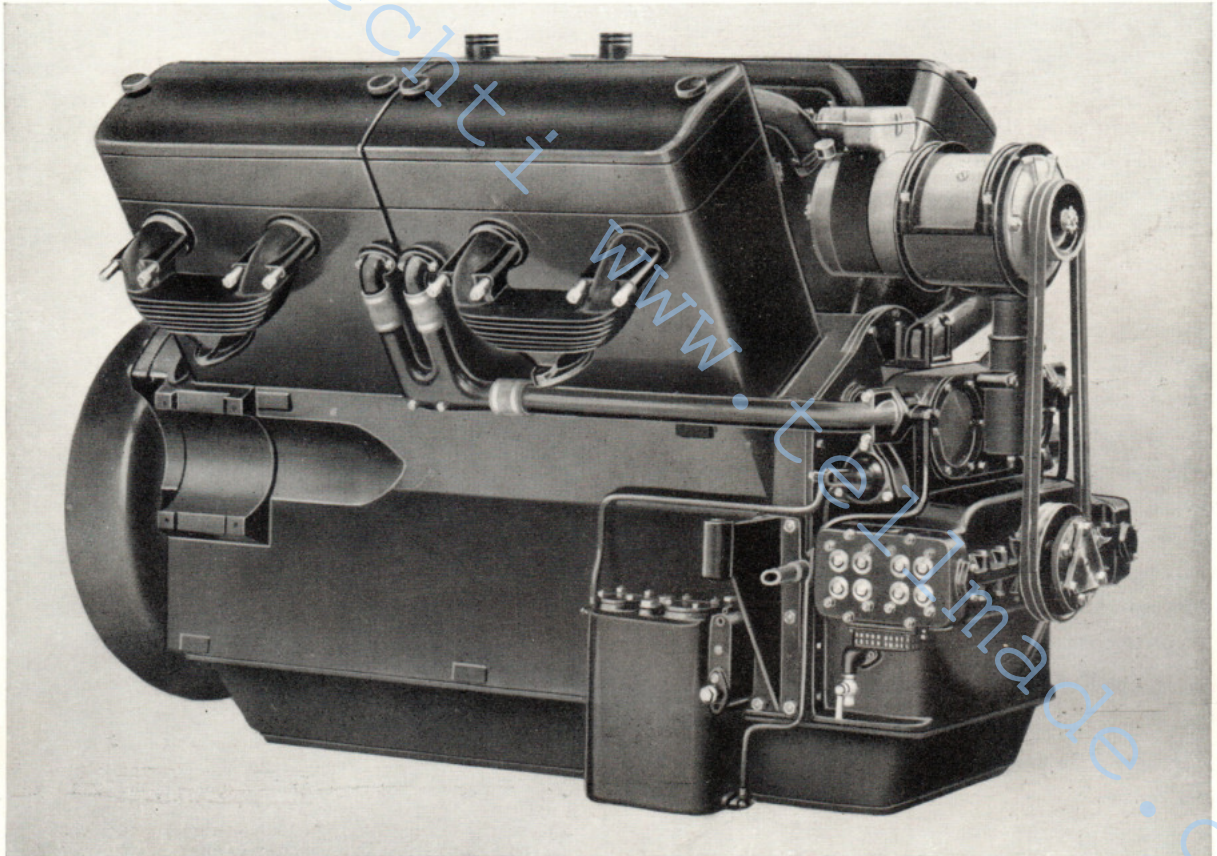


Die Entwicklung der

SAURER

Fahrzeug-Dieselmotoren



12-Zylinder-Dieselmotor für Schienentriebwagen. Spitzenleistung 360 PS, mit Abgasturbo-Aufladung 450 PS.

Aktiengesellschaft Adolph Saurer Arbon

Wenn man heute vom Dieselmotor als Antriebsquelle für Motorlastwagen redet, so denkt man an einen Motor, der vor ca. 12 Jahren erstmals in Serienausführung in Lastwagen eingebaut wurde und seither eine überraschend große Verbreitung gefunden hat. Wohl ist man erstaunt, wenn man hört, daß ein Saurer-Lastwagen mit Dieselmotor an einer Wettbewerbsfahrt unter der Kontrolle des französischen Automobilklubs 100 000 km ohne Motorstörung zurückgelegt hat, oder die Straßenbahnverwaltung der Stadt Zürich bei der ersten Revision ihrer Dieselmotoren nach 135 000 km Fahrleistung nur einige wenige Teile ersetzen mußte. Allein man nimmt dies allgemein als eine Tatsache hin, ohne zu bedenken, welche ungeheurer Forschungs- und Versuchsarbeit es bedurfte, um solche Leistungen zu erzielen.

An dieser Forschungsarbeit hat unsere einheimische Industrie, ganz besonders die Aktiengesellschaft Adolph Saurer, einen sehr großen Anteil und ihr gebührt viel vom Verdienst, wenn sich heute der Dieselmotor allgemein durchsetzt.

Die ersten Versuche mit dem Bau schnelllaufender Dieselmotoren für Fahrzeuge wurden in der Schweiz im Jahre 1908 unternommen, indem in der Fabrik „Safir“ in Zürich, die Saurer-Motoren in Lizenz herstellte, ein Saurer-Lastwagenmotor auf Dieselbetrieb umgebaut wurde. Es vergingen aber 20 Jahre ununterbrochener Entwicklungsarbeit, bis es durch die Einführung des

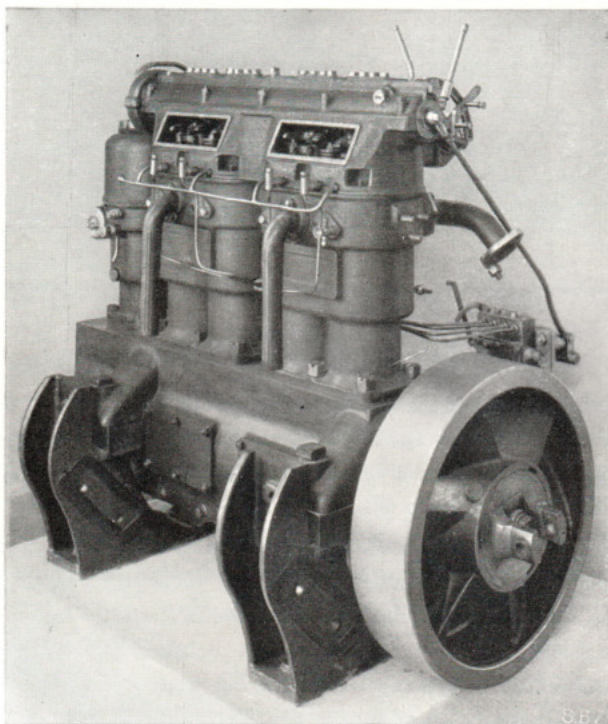


Abb. 1
Erster Automobil-Dieselmotor, Leistung 30 PS, bei 800 T/min.,
gebaut 1908/1909 von „Safir“ in Zürich (Lizenz Saurer).
Heute im Deutschen Museum in München.

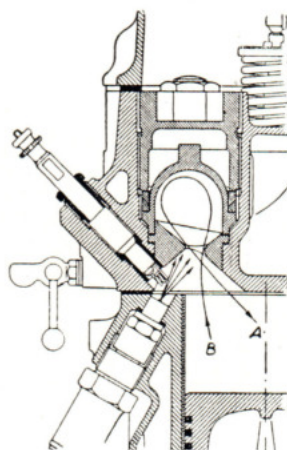


Fig. 1
Schnitt durch den Saurer Motor
mit Acro-Luftspeicher

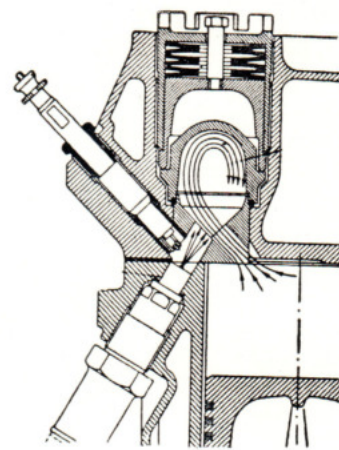


Abb. 2
Fig. 2
Schnitt durch den Motor mit
Saurer Kreuzstrom Verbrennungsraum.

Acro - Luftspeichersystems

im Jahre 1928 gelang, günstige Resultate zu erzielen. Bei diesem System (Abb. 2, Fig. 1) bildet eine Luftkammer einen Teil des Kompressionsraumes. Sie ist durch einen trichterförmigen Kanal mit dem eigentlichen Verbrennungsraum verbunden, wodurch die beim Kompressionstakt hineingepreßte Luft in starke Wirbelung versetzt wird. Im Moment der Brennstoffzufuhr wird ein kräftiger Brennstoffstrahl gegen diese Oeffnung gespritzt und verbrennt durch Selbstzündung in der heißen Luft. Durch den hohen Druckanstieg wird Arbeit an den niedergehenden Kolben abgegeben.

Trotz der verhältnismäßig günstigen technischen und wirtschaftlichen Ergebnisse bei den Acro-Dieselmotoren zeigte sich doch noch der Mißstand einer nicht einwandfreien Vermischung der Luft mit dem Brennstoff. Die nicht restlose Verbrennung äußerte sich besonders in Rauch- und Geruchbildung, die als äußerst lästig empfunden wurde. Erst durch die Einführung eines neuen, von Saurer patentierten Verfahrens gelang es mit Hilfe einer systematischen Luftströmung (Kreuzstrom) die Vermischung von Luft und Brennstoff zu verbessern.

Der Grundgedanke des neu entwickelten

Kreuzstromsystems

ist die systematische Führung der Luftströmung, sodaß möglichst alle vorhandene Luft zur Verbrennung herangezogen werden kann und ein rauch- und geruchfreier Auspuff erzielt wird. Der frühere Luftspeicher wurde zur Mischkammer und die Luft erhielt durch den tangentialen Eintritt eine bestimmte geregelte Wirbelung. Am Ort der größten Luftströmung, bei der Einmündung des Kanals, wird der Brennstoff quer in diesen Luftstrahl und gegen den Luftwirbel eingespritzt, wodurch man eine weit günstigere Vermischung der Brennstoffteilchen mit der Luft erreicht.

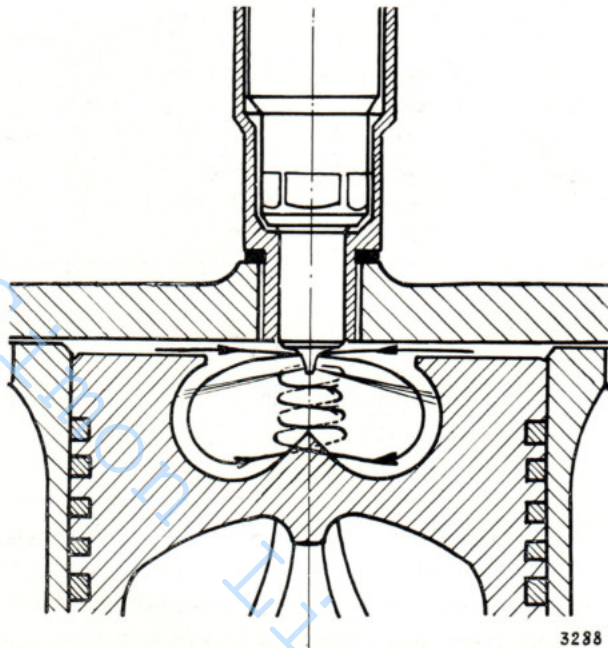


Abb. 3

Schnitt durch den Verbrennungsraum des Saurer Dieselmotors mit direkter Einspritzung und Doppelwirbelung.

Mit diesem System wurden nun viel bessere Leistungen erzielt. Die Luftausnützung wurde erheblich verbessert dank des besseren Mischungsvorganges; die Folge war auch eine bedeutend verringerte Rauchbildung.

Die Forschungsarbeiten zur Vereinfachung des Verbrennungssystems und zur Erzielung höherer Leistungen bei geringerem Brennstoffverbrauch gingen aber weiter. Noch galt es, verschiedene Nachteile zu beseitigen: Das Klopfgeräusch trat bei den Kammermotoren störend in Erscheinung, die große Oberfläche des Verbrennungsraumes brachte beträchtliche Wärmeverluste mit sich und zum Anlassen des kalten Motors war die Verwendung einer Vorwärmvorrichtung (Glühspiralen) nicht zu umgehen, wie dies heute noch bei Motoren mit Vorkammern nötig ist.

Saurer verfolgte die Lösung der Aufgabe, geräusch-, rauch- und geruchlose Verbrennung, verbunden mit Beherrschung des Verbrennungsvorganges bei kleinen Zylinderdimensionen und noch höheren Drehzahlen zu erzielen. Ausgedehnte Laboratoriumsversuche über Luftwirbelungen und Brennstoffzerstäubung und die Erfahrung mit den vielen im Betrieb stehenden Saurer-Fahrzeug-Dieselmotoren führten zur Konstruktion eines schnelllaufenden, kammerlosen Motors.

Die Erkenntnis, daß der fein verteilte Brennstoff nicht rasch und weit genug die hochkomprimierte Luft zu durchdringen vermag, führte zur weitem Entwicklungsstufe die komprimierte Luft zu dem in nächster Umgebung der Brennstoffdüse befindlichen, feinverteilten Brennstoff heranzuführen. Durch Versuche wurde festgestellt, daß auf

diesem Prinzip dann die besten Verhältnisse für die Verbrennung geschaffen werden, wenn die Luft dem Brennstoffstrahl quer zur Einspritzrichtung zugeführt wird. Dies bedingt wegen der kurzen Zeit, in welcher die Einspritzung erfolgen muß, sehr hohe Rotationsgeschwindigkeiten der Luft. Durch Laboratoriumsversuche wurde die Möglichkeit, Geschwindigkeiten kreisender Luftströmungen bis zu 7000 Drehungen in der Minute zu erzeugen, festgestellt.

Die gesetzmäßige Erzeugung von Luftströmungen wurde praktisch verwertet beim neuesten patentierten

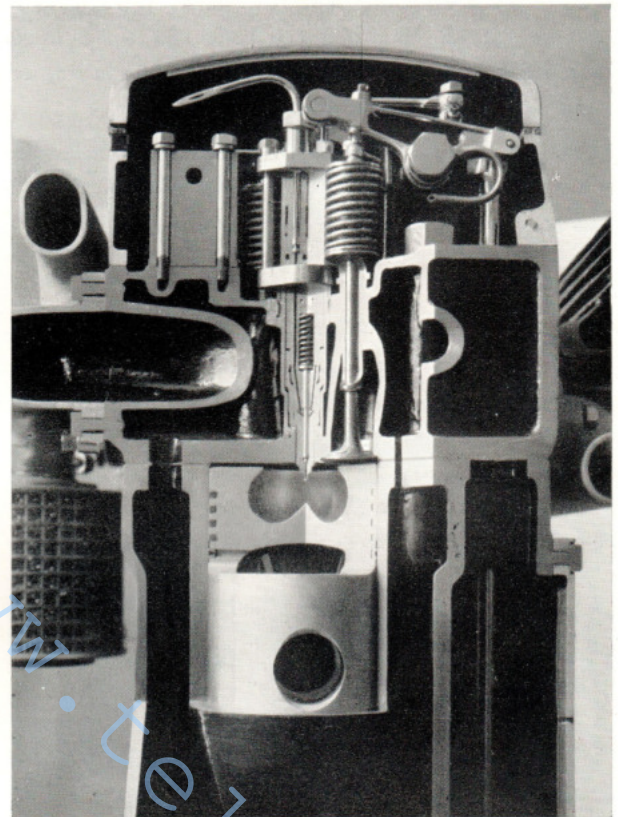


Abb. 4

Teilschnitt durch einen Saurer Dieselmotor mit direkter Einspritzung.

Saurer Doppelwirbelungs-Dieselmotor

durch die Kombination von zwei verschiedenen Luftwirbelungen, unter Berücksichtigung eines möglichst kompakten Verbrennungsraumes bei zentraler Anordnung der Einspritzdüse (Abb. 3).

Die erste Luftwirbelung um die Zylinderachse wird während des Ansaugens durch die einseitige Abschirmung der Einlaßventile erreicht. Die Luft strömt zapfenzieherartig in den Zylinderraum, behält die Rotation während des Kompressionshubes bei und erfährt durch Hineinpressen der Luft in den Verbrennungsraum, der einen wesentlich kleineren Durchmesser als der Zylinder aufweist, eine bedeutende Steigerung der Umdrehungszahl. Auf diese Weise kann die Verbrennungsluft in eine

Leistungs- und Verbrauchskurven des Saurer Dieselmotors, Type CT1D
mit direkter Einspritzung und Doppelwirbelung, 6 Zyl., Bohrung 110 mm, Hub 140 mm, Hubvolumen 7,98 ltr.

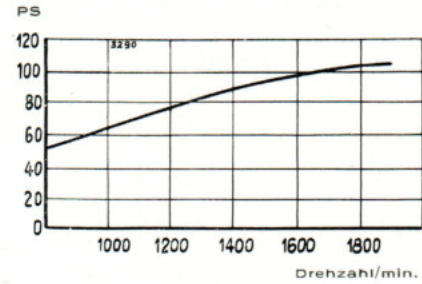
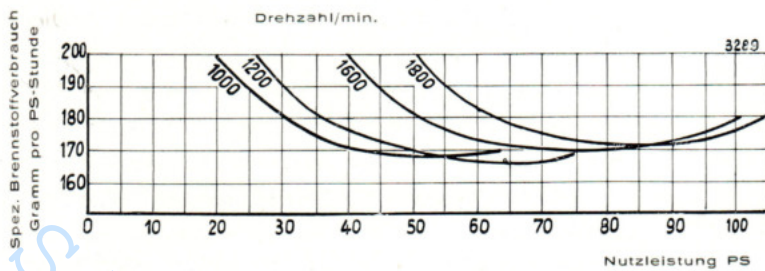


Abb. 5

intensive Rotation versetzt werden, ohne daß während des Ansaugtaktes irgend welche Drosselung auf die Ansaugluft ausgeübt werden muß, was sich in schlechter Luftfüllung äußern würde.

Die zweite Wirbelung wird dadurch erzeugt, daß die Luft während des Kompressionshubes in den ringförmigen Kompressionsraum im Innern des Kolbens gedrückt wird. Unter Vorherrschaft der sehr intensiv rotierenden Luftbewegung strömt die Luft unmittelbar über den Rand der Oeffnung des Kompressionsraumes hinweg an dessen äußeren Umfang entlang bis zu seinem Boden und der mittleren Zone der Höhlung zu und von dort in immer stärker werdendem schraubenförmigem Wirbel hochgehend in Richtung auf die Einspritzdüse.

Durch die Kombination der beiden Luftwirbelungen entsteht also letzten Endes eine Art Windhose um die Einspritzdüse herum und dank dieser sehr rasch rotierenden Luft ist es möglich, die einzelnen Brennstoffteilchen mit dem gesamten komprimierten Luftvolumen in der unglaublich kurzen Zeit von nur wenigen tausendstel Sekunden in Berührung zu bringen und eine restlose Verbrennung zu erreichen (s. Strömungsbild in Abb. 3).

Durch die einsetzende Verbrennung und den sich abwärtsbewegenden Kolben wird diese Wirbelung noch unterstützt, und einzig auf die Tatsache dieser gesetzmäßigen Durchwirbelung sind die erzielten ausgezeichneten Resultate der neuen Saurer Dieselmotoren zurückzuführen.

Der Grundsatz des Absuchens des Raumes durch die bewegte Luft nach feinen Brennstoffpartikelchen ermöglicht es, die Einspritzdüsen so zu gestalten, daß die feine Verteilung des Brennstoffes gegenüber der von der Größe der Brennstoffpartikelchen abhängigen Durchdringungsfähigkeit der Brennstoffteilchen durch die hochverdichtete Luft in den Vordergrund gestellt werden darf. Dabei wird erreicht:

1. Sicheres Anlassen des kalten Motors ohne Vorwärmvorrichtung (s. Schnittmotor, Abb. 4);
2. eine vollständige Verbrennung bei jeder Belastung und Drehzahl und damit eine Verringerung der Geräuschbelastigung;

3. die Ausschaltung des Klopfgeräusches;
4. ein rauchfreier Auspuff;
5. ein höherer, mittlerer, effektiver Kolbendruck, d. h. eine höhere Leistung bei gleichbleibendem Zylinderraum und damit, bezogen auf die Maximalleistung, eine Ersparnis im Einheitsgewicht des Motors;
6. ein höherer thermischer Wirkungsgrad und damit eine beträchtliche Einsparung an Brennstoff;
7. eine niedrigere Temperatur des Auspuffes und damit eine verringerte Beanspruchung der Materialien durch Wärmespannungen;

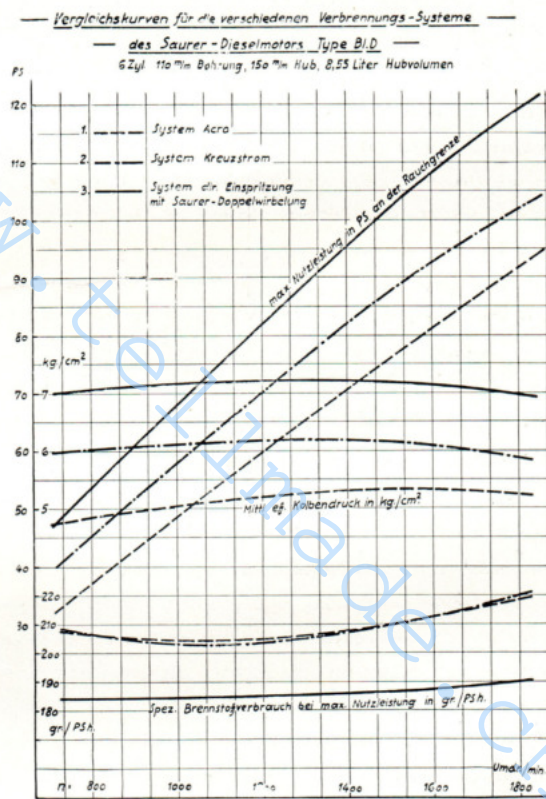


Abb. 6

8. eine Entlastung des Wasserkühlsystems durch die stark verkleinerte Oberfläche des Verbrennungsraumes und die günstige Durchwirbelung.

In der graphischen Darstellung, Abb. 5, sind die Resultate eines neuen Saurer 6-Zylinder-Doppelwirbelungsmotors von 110 mm Bohrung und 140 mm Hub wiedergegeben. Abb. 6 zeigt Vergleichswerte bei einer älteren Motorentype mit dem Saurer Aero-Luftspeicher, dem Saurer Kreuzstrom-Wirbelkammersystem und dem System der direkten Einspritzung mit Doppelwirbelung. Es ergibt sich aus dieser Vergleichsübersicht im Mittel der in Betracht kommenden Drehzahlen eine Steigerung der rauchfreien Maximalleistung des neuen Saurer Doppelwirbelungs-Dieselmotors von 35% gegenüber dem Saurer Aero- und 17% gegenüber dem Saurer Kreuzstrommotor.



Abb. 7

1. Erste Saurer-Düse für direkte Einspritzung.
2. Neue, kurzgebaute Lochdüse mit eingebautem Stabfilter.
3. Pilzdüse für schnelllaufende kleine Motoren (CBD, CCD, CDD).
4. Pilzdüse für kleinste Schnellläufermotoren.

Im Brennstoffverbrauch zeigt sich bei Maximalleistung eine mittlere Einsparung von 11%. Für mittlere Leistungen und für Leerlauf ist die Brennstoffeinsparung noch bedeutend größer, sodaß im praktischen Fahrbetrieb durch den Saurer Doppelwirbelungs-Dieselmotor durchschnittliche Brennstoffeinsparungen von etwa 30% gegenüber den bisher gebauten Dieselmotoren erreicht werden.

Vorgenannte Resultate sind nicht nur durch zahlreiche Dauerversuche der Saurerwerke und ihrer Lizenznehmer bestätigt, sondern eine große Anzahl Saurer Lastwagen und Omnibusse haben bei der Kundschaft die überraschend große Ueberlegenheit des Saurer Doppelwirbelungs-Dieselmotors gegenüber den bisher bekannten Systemen bewiesen.

Als typisches Beispiel der überragenden Startfähigkeit des modernen Saurer Dieselmotors sei das anlässlich der

Internationalen Touren-Prüfungsfahrt Paris-Nizza 1935 erzielte Startprüfungsergebnis erwähnt. Nach einer Nacht parkieren im Freien schlug der Saurer Gesellschaftswagen sämtliche 35 Konkurrenten, indem es seinem Führer gelang, in nur 12 Sekunden aufzusitzen, den Motor anzulassen und als erster 20 Meter weit aus dem Park zu fahren.

Hand in Hand mit der Entwicklung des Systems der direkten Einspritzung und Doppelwirbelung mußten auch neue Wege im Bau der

Saurer Einspritzdüsen

eingeschlagen werden, da die bei den früheren Systemen verwendeten Düsen den erhöhten Anforderungen nicht mehr genügten.

Die direkte Einspritzung verlangt eine vollkommene Zerstäubung des Gasöls. Diese wird erreicht, indem das unter einem Druck von zirka 180 at zugeführte Gasöl durch 4 kleine, horizontal angeordnete Löcher in den Kompressionsraum eingespritzt wird. In der Düsen Spitze selbst befindet sich ein federbelastetes Nadelventil, das sich erst dann öffnet, wenn ein entsprechender Druck in der Brennstoffleitung erzeugt wird. Um den Eintritt der allerfeinsten Unreinigkeiten in die Düsen Spitze und damit eine Verstopfung der Spritzlöcher zu verhindern, ist die Düse mit einem Stabfilter versehen, bei dem der Brennstoff durch einen Spalt von nur $1\frac{1}{2}/100$ mm hindurchfließen muß. Die erste Düse nahm wegen ihrer Größe sehr viel Platz in Anspruch (s. Abb. 7), es wurde demzufolge eine kürzere und wesentlich schlankere Düse entwickelt, bei der das Stabfilter in den eigentlichen Düsenkörper verlegt wurde. Diese kurze und schlanke Düsenbauart, welche in Abb. 7 vergleichsweise der ersten Düse gegenüber gestellt ist, gestattet die Einführung der Einspritzleitung seitlich in den Zylinderkopf und damit eine bemerkenswerte Vereinfachung des ganzen Einbaues. Eine wirksame Kühlung der Düse im Zylinderkopf wird erzielt durch ihre Lagerung in einer Kupferhülse, welche direkt vom Kühlwasser umspült ist.

Da es sich bei den Fahrzeug-Dieselmotoren um außerordentlich kleine Brennstoffmengen handelt, welche den einzelnen Zylindern zugeführt werden müssen, besitzen die sogenannten „Lochdüsen“ Oeffnungen von nur 0,25 mm Durchmesser. Bei den kleineren von Saurer gebauten Motoren, Type CBD, CCD, CDD, mußte sogar auf die Lochdüse verzichtet werden, da beim Leerlauf des Motors eine so geringe Gasölmenge eingespritzt werden muß, daß keine genügende Zerstäubung mehr stattfinden könnte. Eine Ventildüse, welche nach der hutförmigen Ausbildung des Ventiltellers als „Pilzdüse“ bezeichnet wird, erreicht diese feinste Zerstäubung bei jeder Brennstoffmenge und jeder Drehzahl des Motors (Abb. 5), da sich der Quer-



Abb. 8 Spritzende Lochdüse.

Diese photographischen Aufnahmen in natürlicher Größe wurden mit Funkenbeleuchtung, d. h. mit einer Belichtungszeit von weniger als 1 Millionstel Sekunde gemacht. Nur so war es möglich, einen Moment aus der nur wenige Tausendstel Sekunden dauernden Einspritzung herauszugreifen und dem Auge sichtbar zu machen.

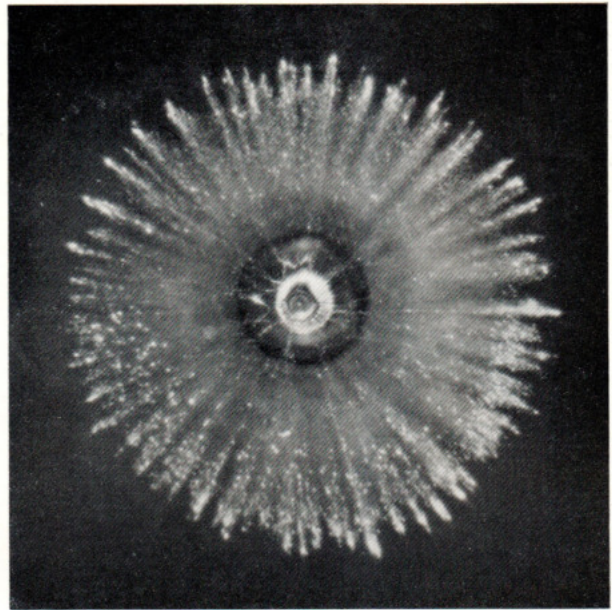


Abb. 9 Spritzende Pilzdüse.

schnitt, durch den der Brennstoff ausgespritzt wird, selbsttätig verändert und anpaßt. Zum Schlusse sei noch die kleinste von Saurer gebaute Düse mit Stabfilter erwähnt, welche in einem kleinen 4-Zylinder-Motor sich außerordentlich gut bewährt hat.

Von den neuen Saurer Dieselmotoren werden

Motoren-Typen

mit 4 oder 6 Zylindern in Linie, oder mit 8 oder 12 Zylindern in V-Form gebaut (siehe Tabelle auf Seite 8 oben).

Davon finden die Typen BXD und BZD ausschließlich für Schienenfahrzeuge, Motorboote und stationäre Anlagen Verwendung.

Konstruktive Merkmale:

Im Zylinderkopf sind 4 Ventile, 2 für den Einlaß und 2 für den Auspuff. Die zentrale Anordnung der Einspritzdüse wird dadurch begünstigt und die großen Oeffnungsquerschnitte vermindern die Strömungsverluste. Die Nockenwelle liegt im Gehäuse und von ihr aus erfolgt die Betätigung der Ventile durch Stoßstangen und Kipphebel (siehe Abb. 4). Die Einspritzdüse ist zentral in der Zylinderachse angeordnet und so gebaut, daß sie zwischen den 4 Ventilen Platz findet. Als Einspritzorgan dient eine Bosch-Einspritzpumpe. Die Kolben sind aus Leichtmetall. Es sind Zylinderbüchsen eingebaut, die ohne Ausbau des Motors und ohne besondere Werkstätteeinrichtung ausgewechselt werden können. Wasserpumpe, Ventilator und

Lichtmaschine werden durch Keilriemen angetrieben. Die Pleuellager sind aus Bleibronze, die Kurbelzapfen einsatzgehärtet. Für die Schmierung sind je nach Motor 1 oder 2 Zahnradpumpen vorhanden.

Nirgends sind bei der Konstruktion auf Kosten der Betriebssicherheit billige Lösungen gesucht worden, von

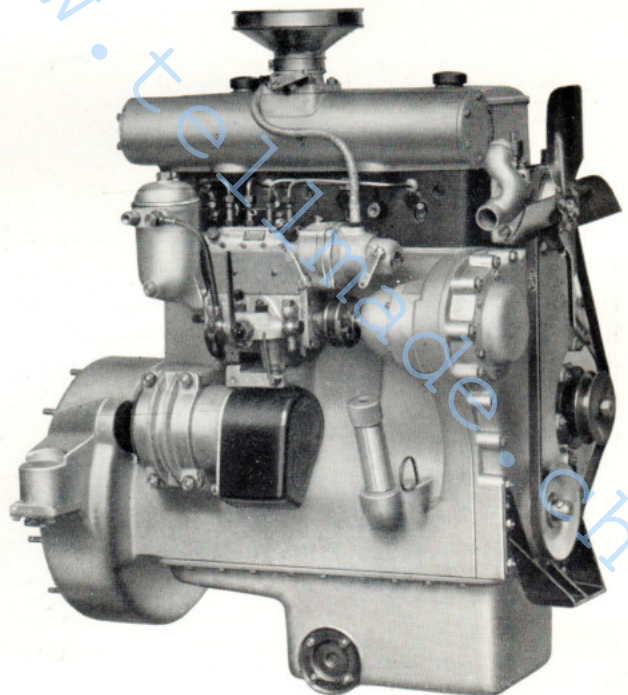


Abb. 10
4 Zylinder-Motor, Type CBD.

Type	CBD	CR1D	CCD	CDD	CTD	CT1D	CH1D	BOD	BLD	BUD	BXD	BXD*	BZD	BZD*
Zylinderzahl	4	4	6	6	6	6	8	4	6	6	6	6	12	12
Bohrung mm	85	110	80	85	105	110	110	110	110	120	130	130	130	130
Hub mm	125	140	120	125	130	140	140	150	150	170	180	180	180	180
Zylinderinhalt l	2,84	5,32	3,62	4,26	6,75	7,98	10,64	5,7	8,55	11,35	14,3	14,3	28,6	28,6
Leistung eff. PS	50	65	60	70	85	100	140	70	110	140	180	225	360	450
Drehzahl T/min.	2500	1800	2500	2500	1900	1900	2000	1800	1800	1600	1500	1500	1500	1500
Motorgewicht kg	280	440	340	350	540	560	750	600	800	1050	1100	1150	2050	2150

* mit Abgasturbo-Aufladung.

der Voraussetzung ausgehend, daß Betriebssicherheit und Betriebswirtschaftlichkeit von ausschlaggebender Bedeutung sind.

Zusammenfassend darf der Saurer Doppelwirbelungs-motor als der gegenwärtig wirtschaftlichste Motor bezeichnet werden, besonders auch, weil der Verschleiß der arbeitenden Teile minim und daher die Reparaturkosten, auf den Fahrkilometer bezogen, sehr niedrig sind.

Bis Ende 1939 sind von der Firma Saurer in Arbon und deren Lizenznehmern zirka 18000 Dieselmotoren von zusammen etwa 1,5 Millionen Pferdestärken (allein Triebwagenmotoren 150000 PS), teils nach Saurer Acro-Luftkammersystem, teils nach Saurer Kreuzstromwirbelungs-system und im Laufe der letzten 6 Jahre nach dem Saurer

Doppelwirbelungssystem für direkte Einspritzung, in alle Welt geliefert worden. Durch die letztgenannte Konstruktion hat der Verkauf einen besonders markanten Auftrieb erfahren.

Der Vergleich zeigt, daß die Verwendung des modernen Saurer Dieselmotors gegenüber einem Benzinmotor gleicher Leistung eine Brennstoffkostensparnis von zirka 50% ergibt. Daneben muß immer wieder daran erinnert werden, daß das mit Saurer Dieselmotor ausgerüstete Fahrzeug bei gleicher Brennstofftankgröße einen bis 100% größeren Aktionsradius beherrscht und daß weder Feuer- noch Explosionsgefahr besteht, Vorteile, die sowohl beim Omnibus- als auch beim Lastwagenbetrieb hoch zu bewerten sind.

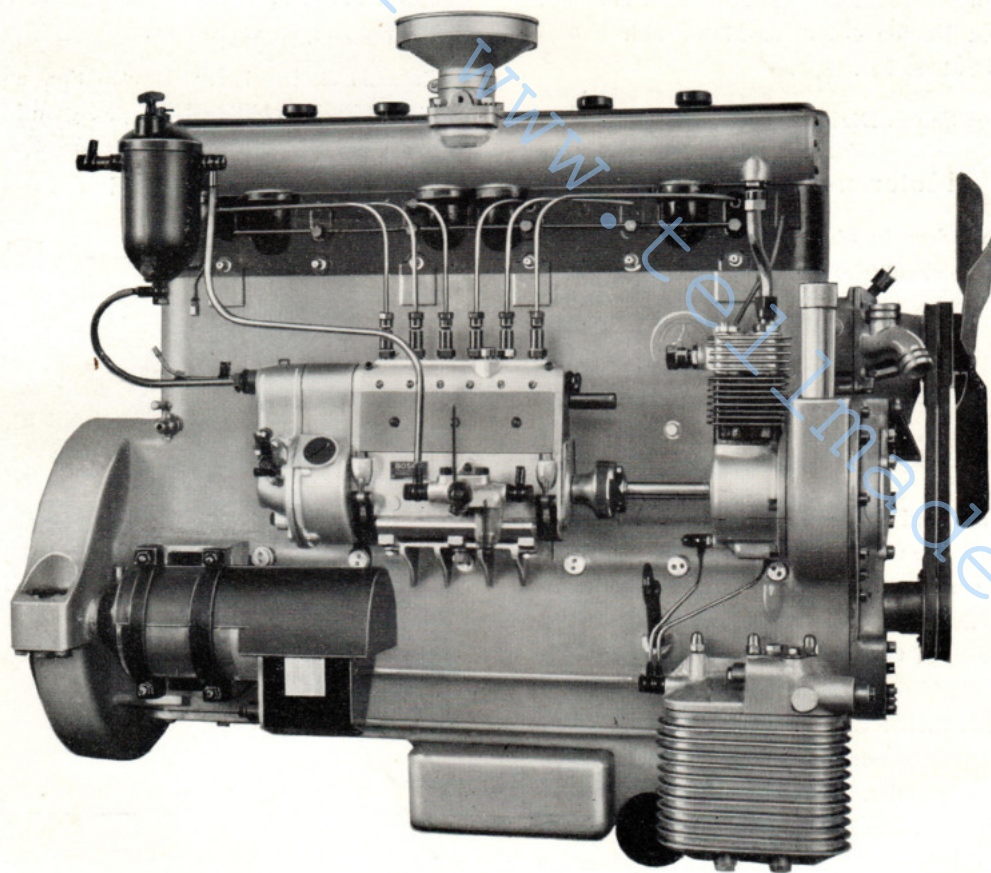


Abb. 11
6 Zylinder-Motor, Type CT1D.