

Rückblick auf 70 Jahre Entwicklungsarbeit am Dieselmotor

Autor(en): **Kilchenmann, W.A. / Aue, G.K.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **79 (1961)**

Heft 46

PDF erstellt am: **11.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-65623>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Von W. A. Kilchenmann und G. K. Aue, Gebrüder Sulzer AG., Winterthur

Gerne haben wir als ehemalige Schüler und Assistenten von Prof. Eichelberg der Aufforderung Folge geleistet, zu diesem Sonderheft einen Beitrag zu leisten und zugleich unserem verehrten Lehrer zu seinem 70. Geburtstag herzlich zu gratulieren. So möchten wir aus seinem umfassenden Wirkungsgebiet — das ja bei praktischen Konstruktionsproblemen über den Motorenbau und bei der Wärmelehre anfängt und bis zu Weltanschauungsfragen reicht — ein kleines Teilgebiet herauschneiden und anhand einiger Beispiele darauf hinweisen, wie die Tätigkeit unseres Jubilars als Ingenieur in der Praxis und später als Lehrer die Entwicklung des Dieselmotors beeinflusst hat.

Es ist ein eigentümlicher Zufall, dass das grundlegende Patent von Rudolf Diesel vom 27. Februar 1892 beinahe gleich alt ist wie Professor Eichelberg. So machten beide ungefähr gleichzeitig, sowohl der Jubilar als auch der Dieselmotor, ihre ersten zaghaften Schritte; beim Eintritt Eichelbergs ins Jünglingsalter kamen auch die ersten Dieselmotoren in praktischen Betrieb, und als der Jubilar an der ETH bei Professor Stodola studierte, hatte auch der Dieselmotor schon eine gewisse Bedeutung erreicht. Es standen eine beträchtliche Anzahl Viertaktmotoren im praktischen Betrieb, und auch die Entwicklung des Zweitaktmotors hatte begonnen, welcher ja allein die Möglichkeit wirklich grosser Zylinderleistungen zu bieten versprach. Für diese Entwicklung auf die Grossmotoren hin wurde in jenen Jahren (1911/12) bei Gebrüder Sulzer in Winterthur ein Versuchsmotor von 1000 mm Zylinderdurchmesser gebaut und nach manchen Anfangsschwierigkeiten in Betrieb genommen. Wie Bild 1 zeigt, war die damalige Konstruktion stark von der noch allmächtig herrschenden Dampfmaschine beeinflusst.

Nun zeigten die ersten grösseren Motoren bald ihre spezifischen Dieselprobleme, und hier war ein fruchtbares Arbeitsgebiet für einen fähigen, von der Technik begeisterten jungen Ingenieur. So kam Eichelberg, welcher nach seiner Assistentenzeit bei Prof. Stodola bei Gebrüder Sulzer ins Konstruktionsbüro für Dampfmaschinen eingetreten war, später als Leiter des Studienbüros bald in Berührung mit dem Dieselmotor, seinem Altersgenossen.

Einige der ersten Mehrzylinder motoren mit ihrem komplizierten System bewegter Massen bekamen Freude an Torsionsschwingungen der Kurbelwelle, so dass sich bereits Prof. Stodola und andere mit diesem Problem beschäftigen mussten. Jedoch blieb es Prof. Eichelberg vorbehalten, das komplizierte Schwingungssystem derart zu vereinfachen, dass die kritischen Drehzahlen mit vernünftigem Arbeitsaufwand und doch erstaunlicher Genauigkeit vorausberechnet werden konnten. In diesem Zusammenhang seien auch Span-

nungsberechnungen und -messungen zur Abklärung der Festigkeit von Schrumpfverbindungen gebauter Kurbelwellen erwähnt.

Ein weiteres, den grossen Verbrennungsmotoren eigenes Problem bilden die Wärmespannungen, welche damals bei den grossen Dieselmotoren immer wieder Risse in Kolben, Zylinderdeckeln und Zylindereinsätzen verursachten. Zunächst glaubte man, empirisch durch «Verstärkung», d. h. Verdickung der Wandstärke, die Schwierigkeiten beheben zu können, jedoch meist ohne Erfolg. Eichelberg hat dann auf Grund ausführender und beim damaligen Stand der Messtechnik ausserordentlich schwieriger Temperaturmessungen den Wärmeübergang und Wärmefluss erforscht, wobei er sogar die durch den periodischen Wärmeeinfall bedingten Temperaturzuckungen untersuchte. Damit hat er die Grundlagen geschaffen, welche ihm erlaubten, Methoden zu entwickeln, um Wärmespannungen und Deformationen in diesen Teilen zu berechnen (Bild 2). Hier kam ihm wiederum seine hervorragende Fähigkeit zustatten, auch sehr komplizierte Probleme klar zu überblicken, auf das Wesentliche zurückzuführen und in zulässiger Weise zu vereinfachen, so dass sie einer rechnerischen Behandlung zugänglich wurden.

Weitere grundlegende und fruchtbare Arbeiten leistete Eichelberg auf dem Gebiete der direkten Brennstoffeinspritzung zu einer Zeit, als allgemein der Brennstoff mit Pressluft in den Dieselmotor eingeblasen wurde. Auch auf dem Gebiet der Konstruktion hat er den Dieselmotor beeinflusst und oft neue Wege gewiesen.

Kein Wunder, dass er auch später nach seiner Berufung an die ETH die speziellen Dieselprobleme weiter verfolgt hat, was in einer Reihe von richtungsweisenden Dissertationen seiner Schüler zum Ausdruck kommt. Die Ergebnisse einiger dieser Arbeiten hat er kurz vor Ausbruch des Krieges in einer Reihe von an der Universität London gehaltenen Vorträgen zusammengefasst¹⁾.

Mit diesen Arbeiten wurden einem weiten Kreis von Ingenieuren allgemeine Unterlagen in die Hand gegeben, um spezifische Dieselmotorenprobleme wissenschaftlich korrekt anzupacken. Wenn er auch durch die Lehrtätigkeit an der Hochschule von den alltäglich auftretenden Problemen des praktischen Ingenieurs etwas Distanz bekam, so wussten gerade jene Leute aus der Praxis immer wieder seine aufs Grundsätzliche zurückführenden und von einem optimistischen Glauben an die Entwicklungsmöglichkeiten des Dieselmotors getragenen Diskussionen zu schätzen.

Zu einer Zeit, als man glaubte, die Probleme rein empirisch bewältigen zu können, als theoretische Ueberlegungen und wissenschaftliche Tätigkeit überhaupt oft verächtlich als «graue Theorie» abgetan wurden, hat er mitgeholfen, den damals noch weit klaffenden Graben zwischen Theorie und Praxis zu überbrücken. Er hat gelehrt, wie das von ihm vermittelte gründliche theoretische Wissen in den praktischen Problemen logisch anzuwenden und durch Folgerungen aus praktischen Erfahrungen zu ergänzen sei. Wenn auch viele Probleme derart komplex sind, dass sie nicht genau oder sogar nicht einmal annähernd rechnerisch verfolgt werden können, so ist es doch mit der von Eichelberg vermittelten Art zu denken in vielen Fällen möglich, durch Eingabelung eine wertvolle und für den praktischen Fall meistens genügende Abschätzung des Resultats durchzuführen.

Immer aber hat er vor allem das intuitive Erfassen des Problems und das schöpferische, konstruktive Gestalten bei seinen Schülern gefördert. Dazu hat er es glänzend verstanden,

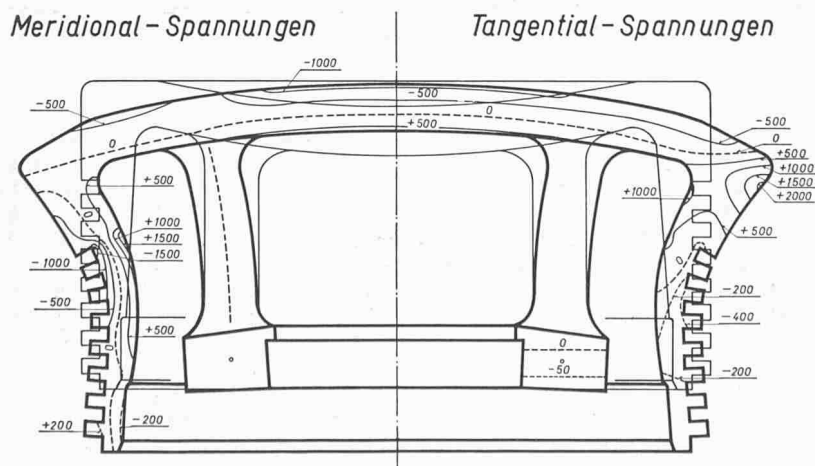
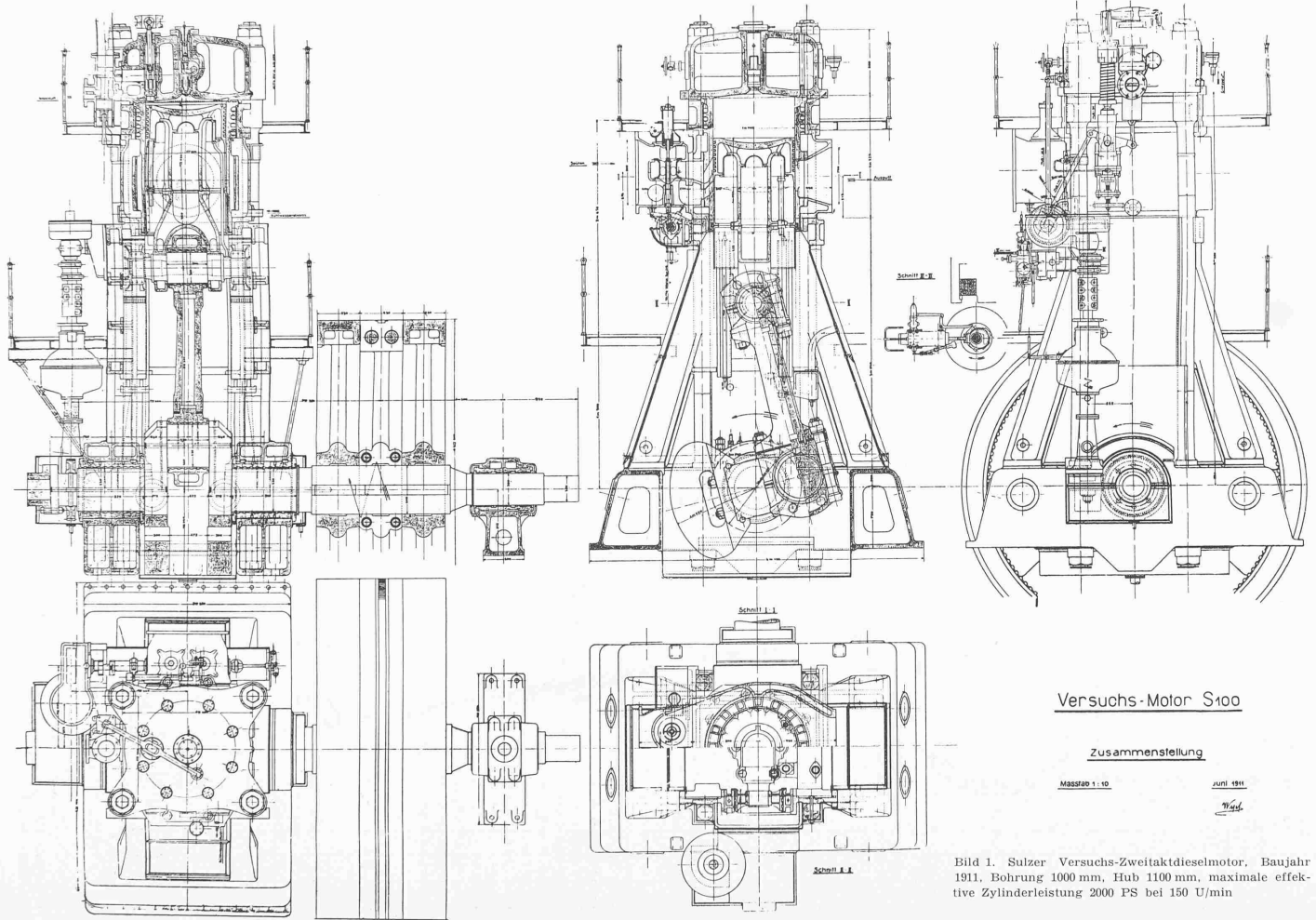


Bild 2. Deformationen und Spannungen eines wassergekühlten Dieselmotorkolbens von 600 mm Durchmesser unter dem Einfluss der Betriebstemperaturen. Deformationen hundertfach (Baujahr etwa 1920)

¹⁾ «Engineering» 27. 10. 39; 17. 11. 39; 1. 12. 39; 22. 12. 39; 22. 3. 40.



Versuchs-Motor S100

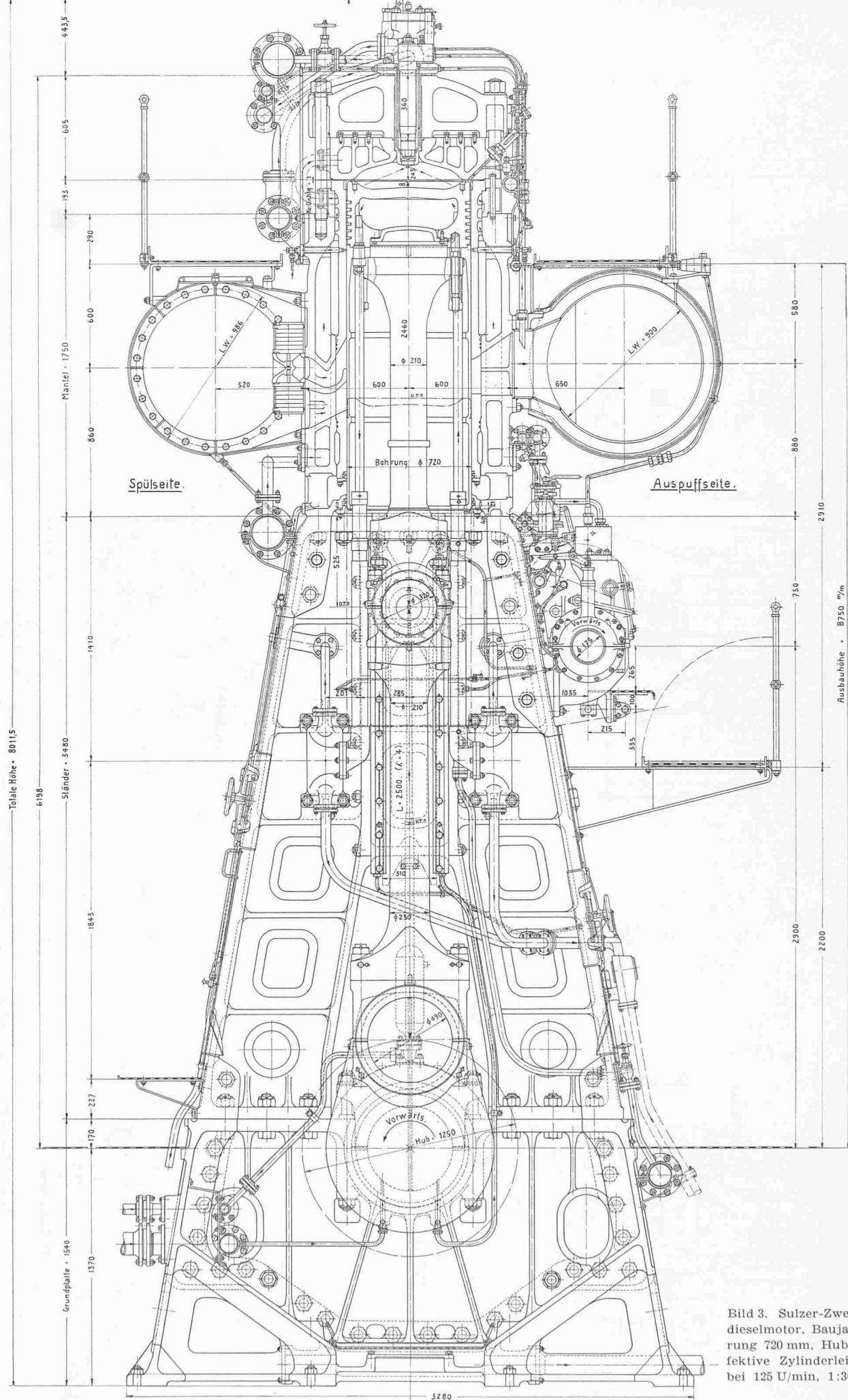
Zusammenstellung

MASSSTAB 1:10

Juni 1911

Wald

Bild 1. Sulzer Versuchs-Zweitakt-Dieselmotor, Baujahr 1911, Bohrung 1000 mm, Hub 1100 mm, maximale effektive Zylinderleistung 2000 PS bei 150 U/min



Ausbauhöhe • 8750 mm
 (bei 13,5 mm Spiel zwischen U.K. Kolbenstange & O.K. Anlassventil.)

Bild 3. Sulzer-Zweitakt-Schiffsdieselmotor, Baujahr 1934, Bohrung 720 mm, Hub 1250 mm, effektive Zylinderleistung 700 PS bei 125 U/min, 1:30

mit seiner überragenden Persönlichkeit, Grosszügigkeit und menschlichen Wärme sie zur aktiven Mitarbeit an der Technik zu begeistern. Für all dies möchten wir ihm auch im Namen vieler anderer unseren herzlichsten Dank aussprechen.

Neben dem zunächst fast unbeschränkt herrschenden Viertaktmotor gewann das Zweitaktverfahren immer mehr an Bedeutung. Während der Viertaktmotor zu immer höheren Drehzahlen entwickelt wurde und im Fahrzeug dem Benzinmotor Konkurrenz zu machen begann, bot der Zweitaktmotor besonders für den Antrieb grosser Schiffe wesentliche Vorteile — einerseits durch leichte Umsteuerbarkeit und andererseits durch die Ermöglichung grösserer Einheitsleistungen. Unterdessen war die Luft-einblasung durch die direkte Einspritzung des Brennstoffes verdrängt worden und der Motor durch den Wegfall des schweren Einblasekompressors leichter, wirtschaftlicher und betriebssicherer geworden. So sehen wir am Beispiel des Sulzer-Motors SD 72 aus dem Beginn der dreissiger Jahre (Bild 3), wie ein typischer Schiffsmotor damals aussah.

Ungefähr um jene Zeit begann die Aufladung — d. h. die Vorschaltung einer kontinuierlich arbeitenden Turbomaschine vor den periodischen Kolbenmotorenprozess ihren Siegszug zuerst mit dem Büchi-System bei Viertaktmotoren anzutreten. Viele Jahre später erst wurde dank verbesserter Turbowirkungsgrade und Anwendung spezieller Kunstgriffe auch die Aufladung des Zweitaktmotors verwirklicht und eröffnete den Weg zu den grössten im Schiffbau praktisch geforderten Leistungen von 25 000 PS und darüber.

Diese Zeilen betonen bewusst die Entwicklung der Grossmotoren, doch sei der kleine Schnellläufer und seine enorme Verbreitung in Strassenfahrzeugen und Lokomotiven zum mindesten erwähnt. Auch auf diesem Gebiet hat Prof. Eichelberg bereits während seiner Tätigkeit bei Gebrüder Sulzer gearbeitet und später in seinem Institut an der ETH die Entwicklung eines forcierten Zweitaktflugmotors aufgenommen und recht weit geführt, bis dann wegen dem Uebergang der Flugtriebwerke auf Turbinen die Arbeiten abgebrochen werden mussten.

Wenn auch der Dieselmotor bereits 70 Jahre alt ist, so haben doch gerade die letzten zehn Jahre hauptsächlich auf dem Gebiet der Grossmotoren wesentliche Weiterentwicklungen gebracht. In dieser Periode wurden beispielsweise gusseiserne Teile weitgehend durch geschweisste Konstruktionen ersetzt, was eine beträchtliche Gewichtsersparnis zur Folge hatte. Das Hauptziel der Entwicklung war jedoch die Leistungssteigerung des grossen Schiffsmotors, die durch die Aufladung des Zweitaktmotors und noch eine weitere Vergrösserung des Zylinderdurchmessers erreicht wurde. Die durch diese Leistungssteigerung sich ergebende höhere Beanspruchung einzelner Bauelemente war nur tragbar, nachdem diese in langjähriger Entwicklungsarbeit eine genügende Widerstandsfähigkeit und Betriebssicherheit erreicht

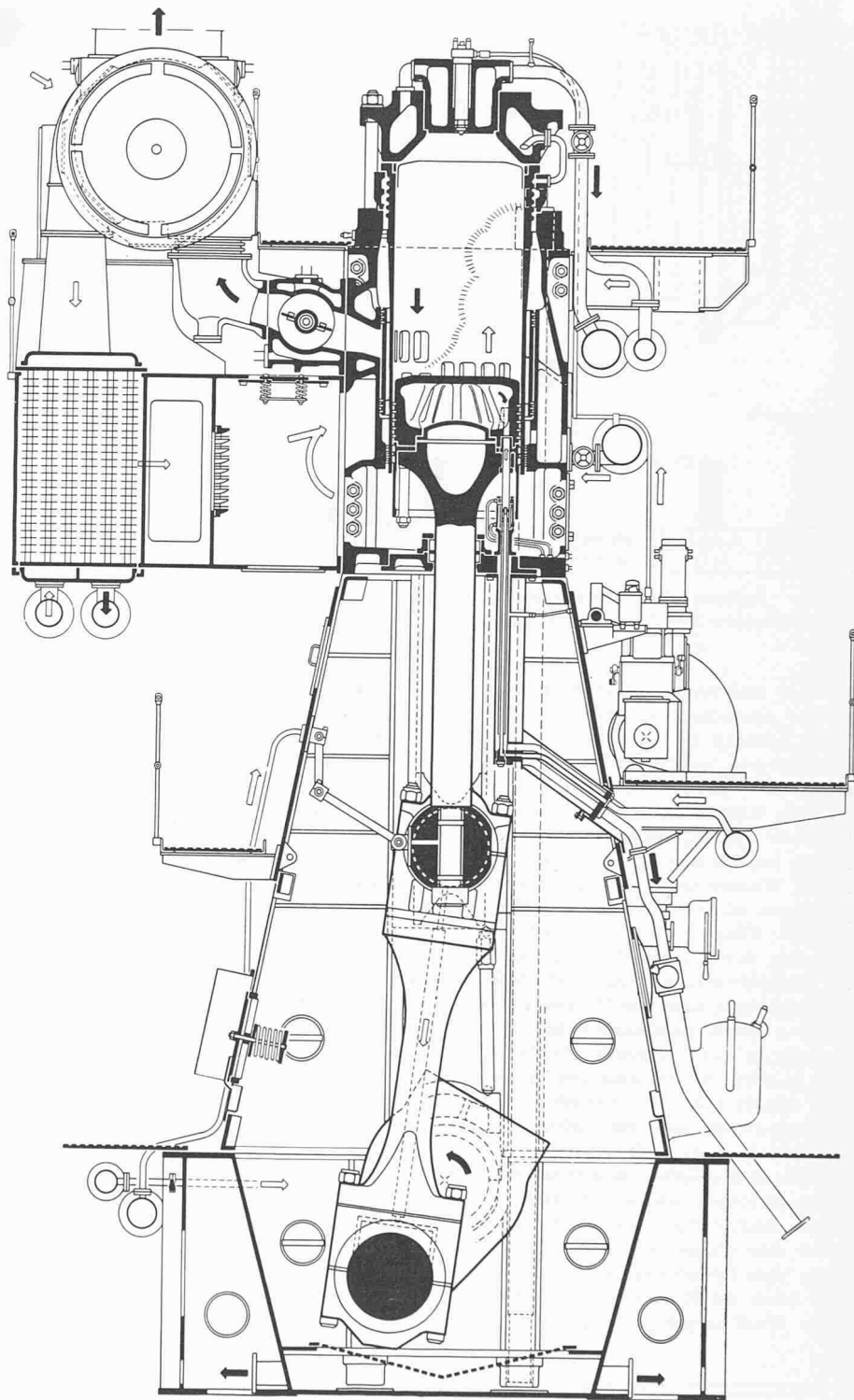


Bild 4. Sulzer-Zweitakt-Schiffsdieselmotor, Baujahr 1960, Bohrung 900 mm, Hub 1550 mm, effektive Zylinderleistung 2300 PS bei 115 U/min (Höchstleistung 3000 PS bei 130 U/min)

hatten. Als Beispiel möge dies an einigen Einzelheiten des neuesten Sulzer-Grossmotors RD 90 mit normal 2300 PSE Zylinderleistung gezeigt werden, Bild 4.

Wenn man diese Bauweise mit früheren Konstruktionen vergleicht, so mag ein mit diesen Problemen nicht Vertrauter vielleicht denken, dass eigentlich nur wenige auffallende Unterschiede vorhanden seien. Aber es sind ja oft gerade jene Teile, deren Gestalt heute selbstverständlich erscheint, an welchen am meisten gearbeitet werden musste, bis sie diese Einfachheit und Zuverlässigkeit erreicht hatten. Betrachtet man z. B. die Entwicklung des Zylinderdeckels, so führt der Weg von der Form von 1911, welche an den Deckel einer hydraulischen Presse erinnert, über verschiedene Zwischenlösungen, wo, wie in Bild 3, die Trennung von ther-

ALTE BAUART NEUE BAUART

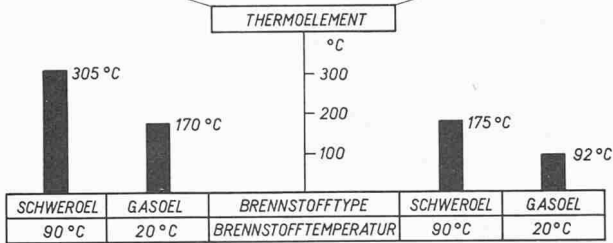
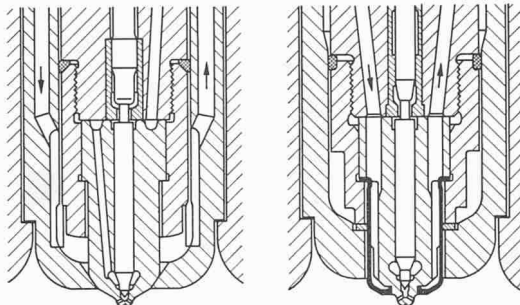


Bild 5. Einfluss einer verbesserten Kühlung auf die Temperatur der Düsenspitze des Brennstoffventils

mischer und festigkeitstechnischer Aufgabe versucht wurde, zu der einfachen und betriebssicheren Gestalt von Bild 4. Diese Lösung verringert in einfachster Weise die Wärmespannungen, indem der Deckel dort geteilt wird, wo sich früher Wärmerisse zu bilden pflegten.

Die Kolben der ersten Grossmotoren waren mit Wasser gekühlt. Später, als durch damals unvermeidliche Undichtigkeiten infolge des zunehmenden Schwefelgehalts des Brennstoffs Wasser ins Kurbelgehäuse eindrang und Korrosionsprobleme auftraten, wurde die Kolbenkühlung auf Oel umgestellt. Diese Oelkühlung befriedigte, bis durch die Einführung der Turboaufladung bei grossen Zweitaktmotoren die Mitteldrücke und damit die Wärmebeanspruchungen derart anstiegen, dass die Gefahr von Koksbildung in den Kühlräumen trotz grösstmöglicher Intensivierung des Wärmeübergangs durch scharfe Strömung zu gross wurde. In diesem Moment kehrte man zur Wasserkühlung zurück. Dies ist nun wieder möglich geworden, weil im Zusammenhang mit Neukonstruktionen eine absolute Trennung zwischen den wasserführenden Teilen und dem Kurbelgehäuse hergestellt und somit die Gefahr von Wasserverlust ins Kurbelgehäuse ausgeschlossen wurde. Damit war erreicht, dass auch bei durch Aufladung verdoppelter Leistung die Maximaltemperatur des wassergekühlten Kolbens nicht grösser wird als beim unaufgeladenen Motor mit Oelkühlung.

Auch die Kolbenform hat im Laufe der Jahre verschiedene Wandlungen durchgemacht. Die heutige Gestalt hält

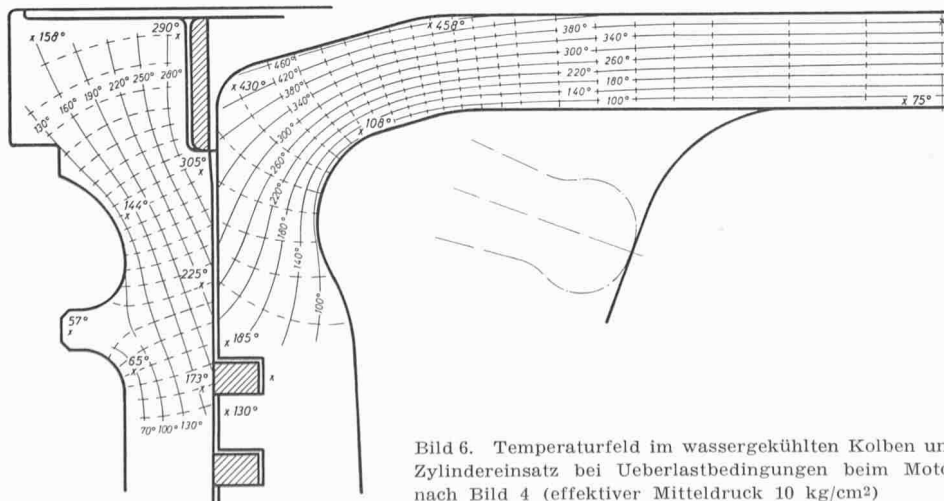


Bild 6. Temperaturfeld im wassergekühlten Kolben und Zylindereinsatz bei Ueberlastbedingungen beim Motor nach Bild 4 (effektiver Mitteldruck 10 kg/cm²)

auch bei grössten Bohrungen den gesteigerten Wärmebeanspruchungen und Verbrennungsdrücken stand.

Mit der wirtschaftlichen Notwendigkeit, schwere Rückstandsöle im Dieselmotor verbrennen zu müssen, trat immer mehr die Gefahr auf, dass sich an den Brennstoffdüsen Koksrückstände ansetzten, welche die Zerstäubung und damit die gute Verbrennung beeinträchtigen. Als Abhilfe dagegen sind Düsen entwickelt worden, deren Spitze durch einen scharf durchströmten Kühlkanal sehr intensiv gekühlt wird. Dadurch wird, wie Bild 5 zeigt, eine ausschlaggebende Verringerung der Temperatur an der kritischen Stelle erreicht. Auch dieses Problem hat Prof. Eichelberg vor über 35 Jahren vorausgesehen und eine interessante Anordnung angegeben, bei der durch Expansion eines kleinen, während der Kompression akkumulierten Luftvolumens die Rückstände von der Düsenspitze weggeblasen werden.

Die stets höheren Leistungen moderner Zweitaktmotoren, die durch grössere Zylinderdurchmesser und höhere Mitteldrücke erreicht wurden, verlangten Klarheit über den Einfluss der höheren Wärmebeanspruchung, so dass die von Eichelberg begonnenen Temperatur- und Spannungsmessungen weitergeführt werden müssen. Bild 6 stellt das Temperaturfeld im Zylinder und im wassergekühlten Kolben eines aufgeladenen Zweitaktmotors von 760 mm Bohrung bei Ueberlastverhältnissen dar. Auf Grund dieser Temperaturmessungen und mit Hilfe der von Eichelberg angegebenen Methoden können die Spannungen berechnet werden.

Die Verbesserung der Messtechnik gegenüber den geradezu primitiv anmutenden Mitteln, welche Eichelberg in der Pionierzeit anwenden musste, erlaubt es heute, solche und andere Messungen viel leichter und meist auch genauer durchzuführen. Es ist heute sogar möglich, mit Hilfe von Dehnungsmessstreifen Spannungen im Zylindereinsatz und im Kühlmittelstrom des laufenden Kolbens direkt zu messen.

Im Zusammenhang mit der Aufladung des Zweitaktmotors wurde es notwendig, auch dessen Spülung nochmals zu verbessern. In konsequenter Verbindung von theoretischen Ueberlegungen, Modell- und Motorversuchen ist es gelungen, die Querspülung so weit zu entwickeln, dass sie heute mit der vorstellungsgemäss besser scheinenden, aber viel höheren mechanischen Aufwand verlangenden Längerspülung praktisch auf gleicher Höhe steht.

Neben diesen wenigen, aus einer grossen Fülle von Problemen herausgegriffenen Beispielen sei die Entwicklung des Dieselmotors in den letzten Jahren durch einige weitere Angaben veranschaulicht: Die erreichbare Maximalleistung ist in den letzten sechs Jahren auf etwa das Zweieinhalbfache gestiegen, das Einheitsgewicht pro Pferdestärke gegenüber der Zeit vor 30 Jahren auf einen Drittel gesunken, der Brennstoffverbrauch hat sich um rd. 20 % verringert und die Wirtschaftlichkeit durch die Möglichkeit, schwere billige Kesselöle zu verbrennen, noch beträchtlich weiter gesteigert. Trotz den dadurch bedingten höheren Beanspruchungen ist die Betriebssicherheit wesentlich gestiegen, so dass der heutige Dieselmotor eine immer bedeutendere Stellung als Schiffsantriebsmaschine einnimmt²⁾.

2) Ueber die Entwicklungen auf dem Gebiete der Zweitakt-Dieselmotoren grosser Leistung ist hier verschiedentlich berichtet worden, so 1953 Hefte 40, 41 und 42, 1957 Hefte 10 und 11, 1961 Hefte 15 und 16.

Für alle diese Entwicklungen ist aber heute und sicher noch mehr in der Zukunft ausser der gestaltenden Kunst des Konstrukteurs und der gründlichen Verarbeitung praktischer Erfahrungen eben auch jenes wissenschaftliche Fundament notwendig, zu welchem Prof. Eichelberg in so hervorragender Weise beigetragen hat.

2) Ueber die Entwicklungen auf dem Gebiete der Zweitakt-Dieselmotoren grosser Leistung ist hier verschiedentlich berichtet worden, so 1953 Hefte 40, 41 und 42, 1957 Hefte 10 und 11, 1961 Hefte 15 und 16.