

75 Jahre Großmotoren- entwicklung im Spiegel der MTZ

© MAN Diesel & Turbo





**Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c.
Helmut Tschöke**

war bis 2011 Leiter des Instituts für Mobile Systeme an der Otto-von-Guericke-Universität in Magdeburg.

Auf der letztjährigen Fachtagung „Heavy-Duty-, On- und Off-Highway-Motoren“ hielt Professor Helmut Tschöke, ehemaliger Leiter des Instituts für Mobile Systeme an der Uni Magdeburg, einen viel beachteten Vortrag. Er nahm das 75. Jubiläum der MTZ zum Anlass, einen umfassenden Rückblick auf Großmotoren-Beiträge zu werfen. Diesen hat er nun zusammengefasst.

**MTZ – GEGRÜNDET
VON INGENIEUREN**

Die MTZ wurde von Dr. Prosper L'Orange und Professor Heinrich Buschmann zusammen mit der Franckh'schen Verlagshandlung in Stuttgart gegründet und begleitet seit März 1939 als technisch-wissenschaftliche Fachzeitschrift das „Gesamtgebiet des Verbrennungsmotors“. Mit inzwischen über 800 Heften und etwa 44.000 Seiten ist die MTZ zur unverzichtbaren Quelle für Wissenschaft, Wirtschaft, Verbände und Politik geworden, wenn es um den Verbrennungsmotor geht. Dieses Jubiläum war Anlass für den Vortrag „75 Jahre MTZ – ein Blick auf die Großmotorenentwicklung“ auf der 9. Internationalen MTZ-Fachtagung „Heavy-Duty-, On- und Off-Highway-Motoren“ 2014 in Saarbrücken.

**ES BEGANN MIT EINEM
BLICK ZURÜCK**

Viele Beiträge der ersten Jahrgänge beschäftigten sich mit der Entwicklung

der Dieselmotoren und ihrer Anwendung seit der Jahrhundertwende 1900. Bevorzugt waren das natürlich Großmotoren für Schiffsantriebe, zum Beispiel der erste deutsche Dieselmotor für das Ozeanschiff „Hagen“ 1911. Es war ein einfach wirkender Sechszylinder-Zweitaktmotor von Krupp [1] mit Kreuzkopftriebwerk und je zwei Einlassventilen pro Zylinder. Damals verkehrten noch zu etwa 90 % Dampfschiffe auf den Meeren.

Die Frage, wann der Zweitaktmotor oder der Viertaktmotor einzusetzen ist, wurde als „ziemlich geklärt angesehen“: Für kleine Zylinderleistungen (bis etwa 40 kW) empfiehlt sich der Zweitaktmotor mit Tauchkolbentriebwerk, für den mittleren Leistungsbereich (40 bis 300 kW pro Zylinder) ist der Viertaktmotor (mit und ohne Aufladung) erste Wahl wegen des geringeren Aufwandes für die Kolbenkühlung. Höhere Zylinderleistungen erfordern den Zweitakt-Kreuzkopfmotor. Systematische Untersuchungen der Spülung bei Zweitaktmotoren führten in den 1920er-Jahren von der Ventilspülung über die Umkehrspülung zur Querspü-

lung. Auch die Kraftstoffeinspritzung entwickelte sich von der druckluftunterstützten Kraftstoffeinblasung zur Direkteinspritzung mit nockenbetätigten Kraftstoffpumpen. Die guten Ergebnisse mit dieser Direkteinspritzung führten dazu, dass die bereits im Einsatz befindlichen und mit Lufteinblasung arbeitenden Zweitakt-Großmotoren auf kompressorlose Direkteinspritzung umgerüstet werden sollten. Allerdings muss dann der Einspritzdruck wegen der fehlenden oder nicht geeigneten Nockenwelle anders erzeugt werden. Hier lieferte das Verfahren von Archauff die Lösung: Der Druck der verdichten Luft aus dem Brennraum wurde mittels Stufenkolben (Druckübersetzung) auf einen Kraftstoffpumpenkolben übertragen und erzeugte dadurch ohne Nockenhub den Einspritzdruck. Die damals erreichten spezifischen Kraftstoffverbräuche reduzierten sich von etwa 270 g/kWh im Jahr 1910 auf beachtliche 220 g/kWh innerhalb von 30 Jahren.

Auch bei den Bahnantrieben, insbesondere bei den schnellfahrenden Trieb-

TABELLE 1 Charakteristische Daten der verschiedenen Dieselmotorkategorien (© Helmut Tschöke)

Parameter	Drehzahl [1/min]	Leistung [kW]	Spezifische Leistung [kW/dm³]	Leistung pro Zylinder [kW/Zyl.]	Hubvolumen [dm³]	Anzahl der Zylinder [-]	P _{me} [bar]
Motorgroße							
Kleine Dieselmotoren	3000 – 3600	1,5 – 12	7,5 – 14	1,5 – 12	0,2 – 0,85	1	3 – 5
Pkw-Dieselmotoren	3000 – 4600	35 – 283	40 – 95	17 – 40	0,8 – 4,2	2 – 8	17 – 22
LD-DM (kleine Nfz)	3000 – 4000	70 – 160	40 – 66	17 – 32	2 – 3,2	4 – 5	12 – 15
HD-DM (schwere Nfz)	1400 – 2500	170 – 600	20 – 35	29 – 67	7,7 – 16,4	5 – 8	12 – 28
Hochleistungs-Dieselmotoren	1100 – 2200	500 – 10.000	25 – 55	120 – 500	30 – 350	8 – 20	23 – 30
Mittelschnellaufende Dieselmotoren	300 – 1200	550 – 21.600	8 – 22	100 – 2000	25 – 2300	4 – 20	22 – 28
Langsamlaufende 2-Takt-Dieselmotoren	70 – 170	4300 – 87.000	1,1 – 3,2	870 – 6200	750 – 29.000	5 – 14	18 – 22

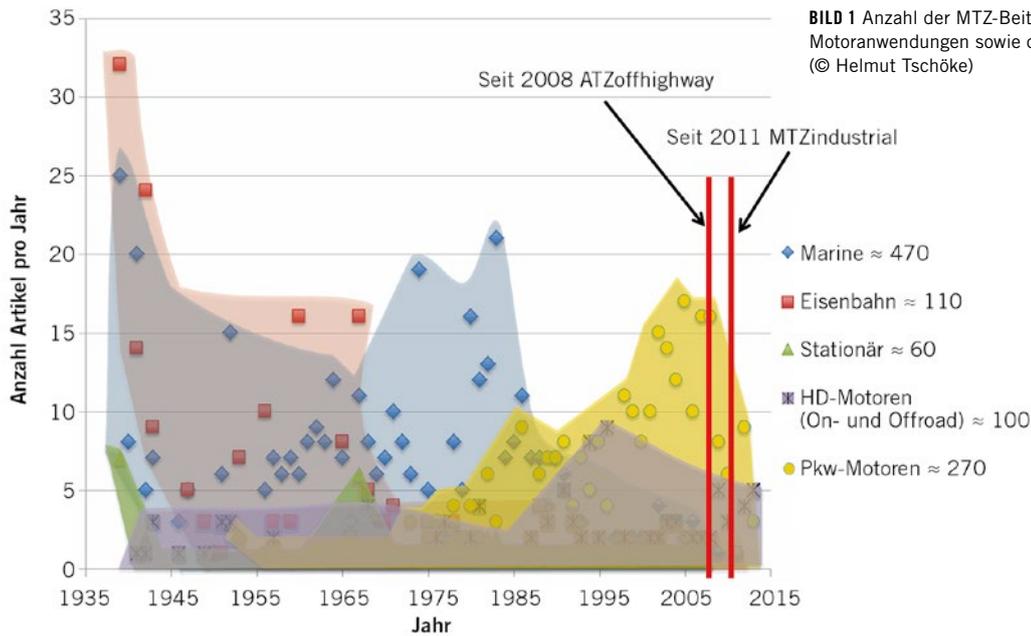


BILD 1 Anzahl der MTZ-Beiträge pro Jahr zu den einzelnen Motoranwendungen sowie die ungefähre Gesamtanzahl (© Helmut Tschöke)

wagen (Beispiel: 215km/h erreicht mit Maybach V12-Dieselmotor und Büchi-Turboaufladung) und Rangierlokomotiven, setzte sich mehr und mehr der Dieselmotor gegenüber der Dampfmaschine durch [2].

DIESEL AUF ERFOLGSKURS SEIT DEN 1920ER-JAHREN

Gasturbinen-Lokomotiven, genau Gasturbinen-elektrische Antriebe, auf der Basis von Kohlenstaub sowie reine

Kohlenstaubmotoren wurden letztlich erfolglos untersucht [3,4]. Schließlich gilt es festzuhalten dass sich seit den 1920er-Jahren der Dieselmotor bei Nutzfahrzeugen, Lokomotiven, Schiffen und Stationäranlagen durchzusetzen begann und die Dampfmaschine noch vor dem Zweiten Weltkrieg abgelöst wurde. Der erste Nutzfahrzeug-Dieselmotor der MAN aus dem Jahr 1923 hatte bereits die Direkteinspritzung, während der erste serientaugliche Pkw-Dieselmotor von Daimler-Benz

1936 mit dem von Prosper L'Orange entwickelten Vorkammervorverfahren arbeitete – wegen dessen Eignung für hohe Drehzahlen und des leiseren Verbrennungsgeräusches [5,6].

Interessant ist, dass Diesel-Gasmotoren schon von Rudolf Diesel in den 90er-Jahren des 19. Jahrhundert untersucht wurden [7] und Deutz ab 1926 Versuche mit Gas und Diesel („Zündstrahl-Gasmotor“) intensivierete. Wegen fehlender Nachfrage wurde die Entwicklung eingestellt, aber auf-

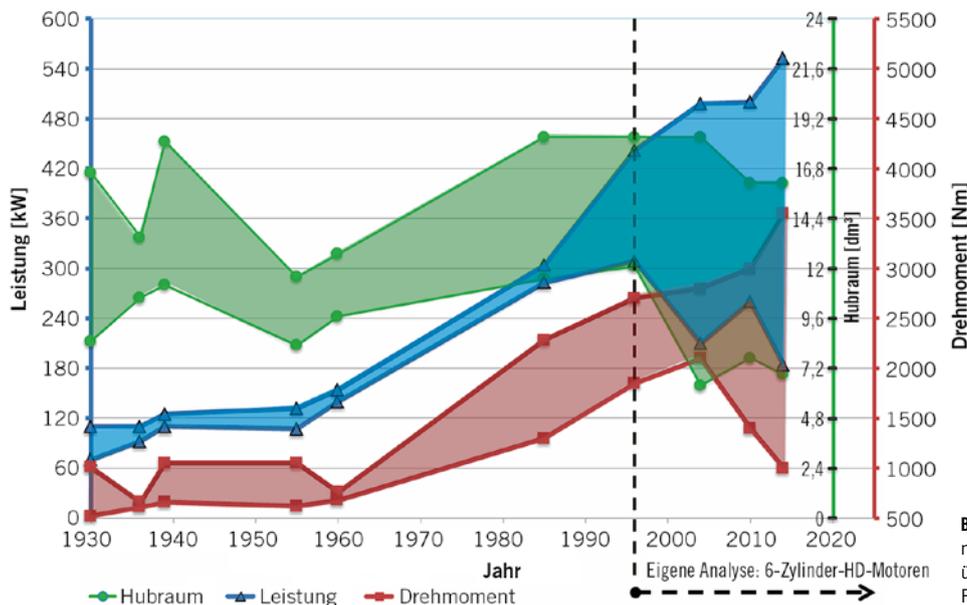


BILD 2 Hubvolumen, Leistung und Drehmoment von Nfz-Motoren (HD- Motoren) über der Zeit – Quellen: [28] und eigene Recherchen (© Helmut Tschöke)

grund der Verknappung flüssiger Kraftstoffe während des Zweiten Weltkriegs wieder aufgenommen und danach wiederum beendet. Seit den 1960er-Jahren wird mit zunehmender Intensität der Diesel-Gasmotor (Dual-Fuel-Motor) entwickelt und angeboten [8].

Nach dem Zweiten Weltkrieg gab es großes Interesse an einfachen luftgekühlten Motoren für die Landwirtschaft und für Einbaumotoren. MWM kam diesem Wunsch mit einer Motorenbaureihe nach, die viele kühlungsunabhängige Gleichteile für die wasser- und luftgekühlte Variante verwendete [6]. Im Bereich der Hochleistungsdieselmotoren wurde Mitte der 1950er-Jahre beispielweise von Daimler-Benz Leichtmetall für Zylinderkopf und Kurbelgehäuse eingeführt und elektrische Sensoren (Temperaturen, Drehzahl) für die Überwachung des Motors genutzt [9]. In [10] wird die Entwicklung dieser Motorenkategorie am Beispiel der Maybach/Mercedes-Benz-Motoren von 1923 bis 1960 aufgezeigt. Von der luftunterstützten Einblasung bis zur Pumpe-Düse-Direkt einspritzung. Es begann mit einem komplett rollengelagerten Triebwerk (wegen der höheren Lebensdauer); später war nur noch die Kurbelwelle in Scheibenbauweise und Tunnel-Kurbelgehäuse so gelagert. Die Turboaufladung wurde 1950 eingeführt und die spezifische Leistung entwickelte sich von 18 kW pro Zylinder bis 90 kW Zylinder im genannten Zeitraum.

Die Zweitakt-Kreuzkopfmotoren erreichten in den 1950er-Jahren Leistungen um circa 10.000 kW und beeindruckende 200g/kWh spezifischen Verbrauch [9]. Zehn Jahre später baute Fiat den damals leistungsstärksten Zweitakter mit 24.000 kW im Versuchsbetrieb und 12 Zylindern [11]. Insgesamt wurden auf dem 90.000 t Tanker neben dieser Hauptmaschine weitere sieben Dieselmotoren für die Stromversorgung und als Pumpenantrieb eingesetzt. Heute werden über 80.000 kW, das heißt eine acht Mal höhere Leistung als in den 1950er-Jahren realisiert.

Es ist unmöglich alle Facetten der Großmotorenentwicklung angemessen zu würdigen, deshalb sei hier auf weitere Literaturstellen verwiesen, die den Überblick dieser Entwicklungen ergänzen: [12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29].

DEFINITIONEN UND STATISTIK

TABELLE 1 zeigt die Anwendungsbreite der Dieselmotoren und deren charakteristische Kennwerte. Keine andere Wärmekraftmaschine deckt einen vergleichbaren Leistungsumfang ab. Die Einteilung erfolgt über das Drehzahlniveau und die Anwendung, das heißt auch über die Motorgröße und Leistung. Mit den Heavy-Duty-Fahrzeugmotoren mit einem Zylinderhubvolumen ab 1,5 l beginnen die Großmotoren, häufig spricht man aber auch erst ab einem Zylinderhubvolumen von 2,5 l von wirklichen Großmotoren. Damit ergeben sich vier Kategorien:

- Motoren für schwere Straßenfahrzeuge, Industrie- und Einbaumotoren: HD-Motoren
- Motoren für schnelle Schiffe, Lokomotiven, Triebwagen, schwere Baufahrzeuge: Hochleistungs-Dieselmotoren
- mittelschnelllaufende Viertakt-Dieselmotoren (Zweitaktmotoren spielen in diesem Marktsegment keine Rolle mehr) für Marineanwendungen, Dielektrikwerke für Strom und Wärme, zum Teil schweröltauglich
- langsamlaufende Zweitakt-Dieselmotoren für den direkten Antrieb im maritimen Bereich.

Die MTZ widmete sich den verschiedenen Motorgrößen entsprechend dem jeweiligen Interesse in der wissenschaftlichen Forschung und der industriellen Entwicklung. **BILD 1** zeigt die Anzahl der Beiträge zu den einzelnen Motorsegmenten. Zu Beginn waren es die großen Motoren für Schiffe und Bahnfahrzeuge. Stationäranwendungen waren immer präsent, ohne zeitliche Präferenz. In den letzten 20 bis 30 Jahren haben dann die Nfz- und Pkw-Dieselmotoren die Veröffentlichungen in der MTZ dominiert. Die Einführung der Magazine ATZoffhighway und MTZindustrial hat dazu geführt, dass die Motoren für Baufahrzeuge, Marine und Stationäranlagen inzwischen weniger in der klassischen MTZ zu finden sind. Eine eindeutige Zuordnung der Beiträge zu den Motorgrößen ist natürlich nicht immer möglich, sodass die angegebenen Zahlen nur eine ungefähre Orientierung erlauben.

Am Beispiel der Nfz-Motoren, **BILD 2**, wird sichtbar, dass der Hubvolumenbereich im Wesentlichen über die Jahre kon-

WIR SIND FÜR SIE DA



Qualitätsprodukte von dem weltweit führenden Hersteller von Sicherungsringen, Wellenfedern und Schlauchschellen.

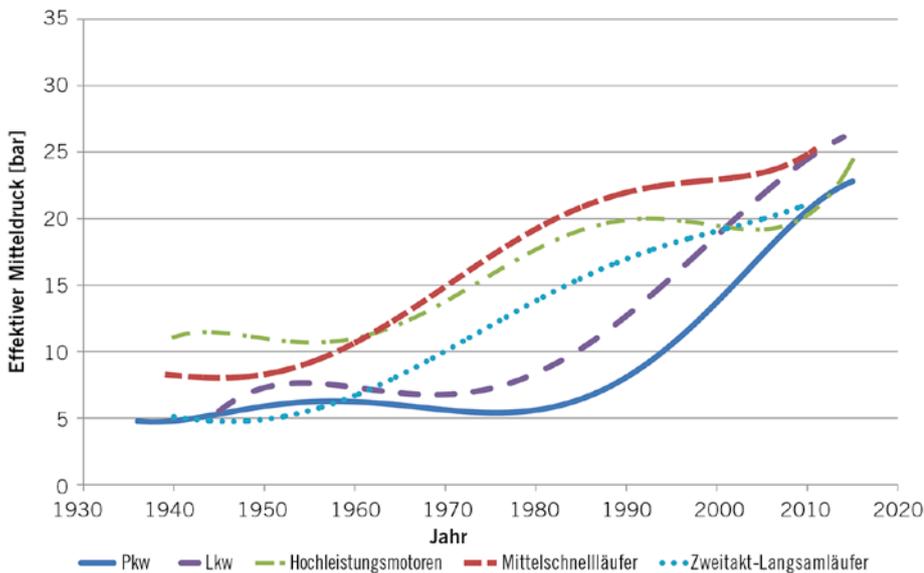
...und wir sind für Sie hier

ROTOR CLIP
U. S. A.
United Kingdom
Deutschland
Tschechien
China

Für mehr Infos besuchen Sie uns bitte auf
www.rotorclip.com
oder senden Sie uns Ihre Anfrage per Email an rcg@rotorclip.com

 **ROTOR CLIP**
Designed for Quality

BILD 3 Trendlinien des effektiven Mitteldrucks für verschiedene Dieselmotorkategorien über der Zeit (© Helmut Tschöke)



stant geblieben ist, dagegen die Leistung bis zum Faktor 6 bis 8 und das Drehmoment ebenfalls bis zum Faktor 7 infolge des verstärkten Einsatzes der Aufladung gestiegen ist. In **BILD 3** sind für alle Motorengrößen die effektiven Mitteldrücke dargestellt; die mittelschnelllaufenden und die Hochleistungsdieselmotoren fahren mit den höchsten Mitteldrücken über 25 bar. Die Daten in **BILD 3** und **BILD 4** entstammen unterschiedlichen MTZ-Quellen und erfassen auch nicht jede

Motorapplikation, deshalb sind sie nur zur Ableitung eines Trends geeignet.

AUSBLICK

BILD 4 zeigt wichtige Meilensteine der Dieselmotorenentwicklung bis zum heutigen Tag und **BILD 5** gibt durch die Farbintensität Aufschluss, welche Megatrends inzwischen ausgelaufen sind, beispielsweise die doppelwirkenden Zweitaktmotoren, und welche Trends auch in der

Zukunft die Entwicklung beeinflussen. Die kontinuierliche Steigerung der absoluten Leistung war von Beginn an extrem wichtig. So ist beispielsweise bei den Marineanwendungen die steigende Tonnage einerseits und die Forderung nach immer höheren Fahrtgeschwindigkeiten der Schiffe andererseits Ursache für eine Leistungssteigerung, etwa um den Faktor 100 gegenüber 1910. Vermutlich wird die Leistung pro Motor in Zukunft nicht mehr so wachsen wie in der Vergangenheit, dagegen werden die spezifischen Leistungen weiterhin zunehmen durch Aufladung und Downsizing. Effizienzsteigerung, Elektrifizierung und Kraftstoffe sind weitere Entwicklungsschwerpunkte für Großmotorenanwendungen.

LITERATURHINWEISE

- [1] Ehmsen, E.: Zweitakt-Krupp-Kreuzkopf-Dieselmotoren für den Schiffsantrieb. In: MTZ 1 (1939), Teil 1: Nr. 1, S. 9-12, Teil 2: Nr. 2, S. 50-54
- [2] MTZ Kurzberichte: Der Dieselmotor im Schienenverkehr. In: MTZ 1 (1939), Nr. 1, S. 24-26
- [3] Kohlenstaub-Dieselmotor. In: MTZ 2 (1940), Nr. 1, S.15-16
- [4] Gasturbine und Dieselmotor als Antriebsmaschine für Schienenfahrzeuge. In: MTZ 4 (1942), Nr. 12, S.480-481
- [5] Pflaum, W.: Von der Idee zur Wirklichkeit – der Weg des Dieselmotors in den ersten 50 Jahren. In: MTZ 33 (1972), Nr. 6, S. 227-237
- [6] Syassen, O.: MWM feiert Jubiläum – 100 Jahre Motorenbau in Mannheim. In: MTZ 40 (1979), Teil 1: Nr. 11, S. 493-500. Teil 2: Nr. 12, S. 563-566
- [7] Strößner, G.: Frühe Versuche mit dem Dieselmotor. In: MTZ 2 (1940), Nr. 12, S. 385-394
- [8] Leiker, M.: Deutzer Zweitstoffmotoren. In MTZ 25 (1964), Nr. 10, S. 414-421

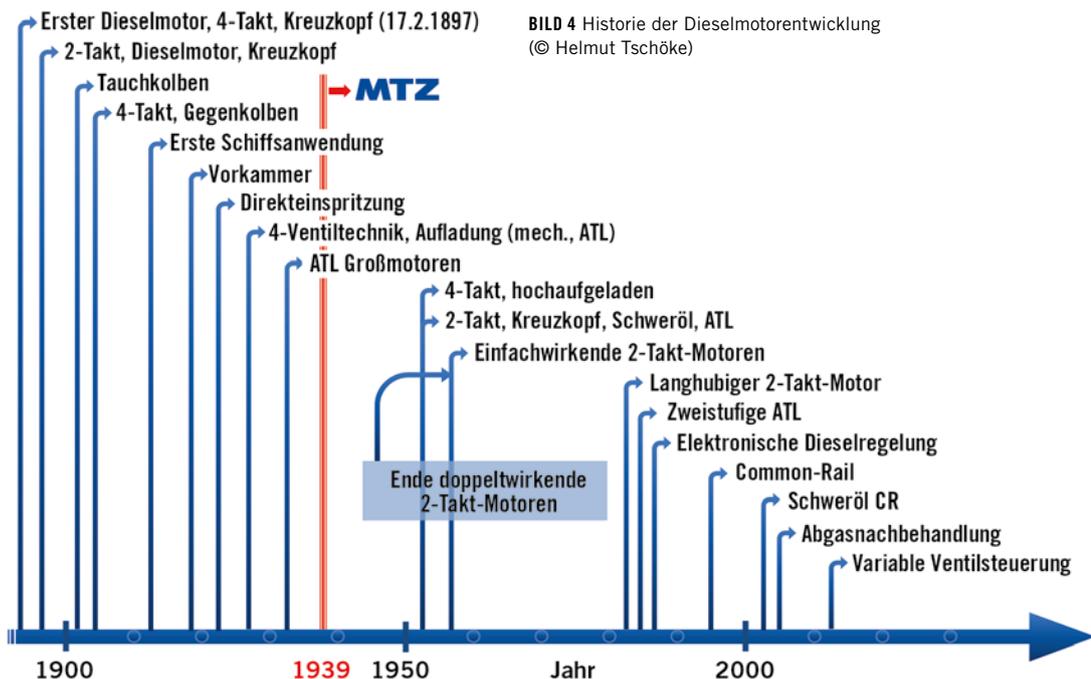


BILD 4 Historie der Dieselmotorenentwicklung (© Helmut Tschöke)

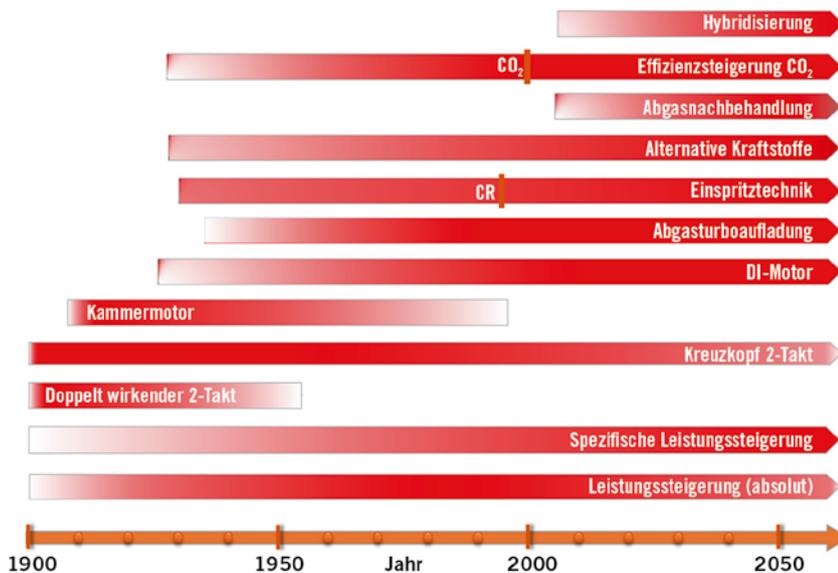


BILD 5 Zeitlich gewichtete Megatrends der Dieselmotorentwicklung (© Helmut Tschöke)

[9] Verbrennungsmotoren auf der Deutschen Industrie-Messe Hannover 1956. In: MTZ 17 (1956), Nr. 7, S. 238-254

[10] Puls, A.: Derzeitiger technischer Stand der Antriebsanlagen dieselhydraulischer Streckenlokomotiven. In: MTZ 26 (1965), Nr. 6, S. 250-255

[11] Fiat-Dieselmotoren überschreiten die 30 000-PS-Grenze. In: MTZ 24 (1963), Nr. 11, S. 382-383

[12] Büchi, A.: Die entscheidenden Merkmale der Büchi-Abgasturbinaufladung von Verbrennungsmotoren. In: MTZ 1 (1939), Nr. 6, S. 198-199

[13] Woydt, E.: Der Zweitaktmotor mit hoher Aufladung. In: MTZ 2 (1940), Nr. 10, S. 313-315

[14] Der Dieselmotor in der Handelsschiffahrt. In: MTZ 5 (1943), Nr. 2, S.66-67

[15] Luley, W.: Die westdeutsche Verbrennungsmotorenindustrie. In: MTZ 13 (1952), Nr. 4, S. 73-75

[16] Heim: Entwicklung und Einsatz der Motorschienenfahrzeuge in Deutschland. In: MTZ 14 (1953), Teil 1: Nr. 8, S. 226-230, Teil 2: Nr. 9, S. 267-274 (286)

[17] Puls, A.: Einiges über den derzeitigen Stand der Verwendung raschlaufender Dieselmotoren großer Leistung. In: MTZ 20 (1959), Nr. 7, S. 230-237

[18] Zboralski, D.: Geräuschbekämpfung an Dieselmotoren der Schienenfahrzeuge. In: MTZ 21 (1960), Nr. 7, S. 271-275

[19] Buschmann, H.: Überblick über die Entwicklung von Verbrennungskraftmaschinen während der letzten 25 Jahre. In: MTZ 25 (1964), Nr. 1, S.22-25 (40)

[20] Die Leipziger Frühjahrsmesse 1965 und das Motorenprogramm der DDR. In: MTZ 26 (1965), Nr. 12, S. 505-509

[21] Kilchenmann, W.: Sulzer-Dieselmotoren seit mehr als 75 Jahren. In: MTZ 35 (1974), Nr. 11, S. 352-355

[22] Illies, K.: 75 Jahre Schiffsmaschinen – Rückblick und Ausblick. In: MTZ 35 (1974), Nr.11, S. 346-352

[23] Syassen, O.: Neue Aspekte bei der Entwicklung großer Dieselmotoren. In: MTZ 36 (1975), Nr. 5, S. 127-132

[24] Syassen, O.: Viertakt-Größtmotoren. In: MTZ 37 (1976), Nr. 5, S. 173-178

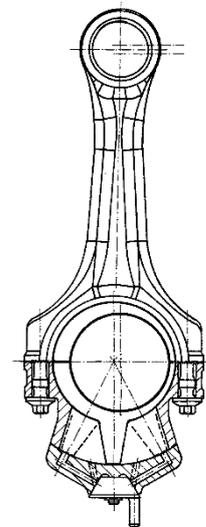
[25] Melcher, K.: Pionierpatente der Kraftstoffeinspritzung für Dieselmotoren. In: MTZ 38 (1977) Teil 1: Nr. 10, S. 457-462, Teil 2: Nr. 11, S. 519-521

[26] Zinner, K.: Der Dieselmotor in den achtziger Jahren. In: MTZ 40 (1979), Nr. 1, S. 7-12

[27] Groth, K.; Syassen, O.: Dieselmotoren der letzten 50 Jahre im Spiegel der MTZ – Höhepunkte und Besonderheiten der Entwicklung. In: MTZ 50 (1989), Nr. 7/8, S. 301-312

[28] Hoepke, E.: Hundert Jahre Verbrennungsmotor im Nutzfahrzeug. In: MTZ 57 (1996), Nr. 9, S.470-475

[29] Dohle, U.: 75 Jahre Dieseleinspritzung von Bosch. In: MTZ 64 (2003), Nr. 1, S. 16-20



Stepwise Variable Compression (SVC)
Mehrstufige Regelung des geometrischen Epsilon durch ein Pleuel mit integriertem exzentrischem Pleuellager.

Vorteilhaft auch als Nachrüstlösung.

Infos: michael@mayenburg.at

Tel.: 0043 664 9121599



DOWNLOAD DES BEITRAGS

www.springerprofessional.de/MTZ



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE

order your test issue now:

springervieweg-service@springer.com