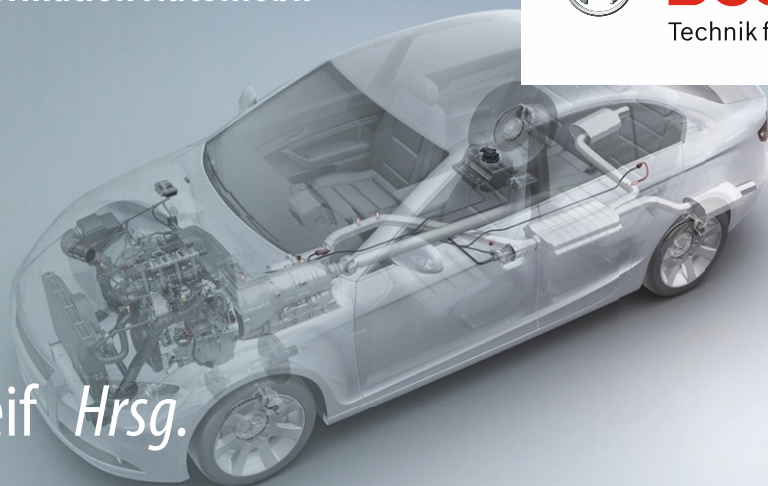


Bosch Fachinformation Automobil



**BOSCH**

Technik fürs Leben



Konrad Reif *Hrsg.*

# Grundlagen Fahrzeug- und Motorentechnik

---

# Bosch Fachinformation Automobil

## **Reihenherausgeber**

K. Reif, Ravensburg, Campus Friedrichshafen, Duale Hochschule Baden-Württemberg,  
Friedrichshafen, Germany

BOSCH Fachinformation Automobil enthält das Basiswissen des weltweit größten Automobilzulieferers aus erster Hand. Anwendungsbezogene Darstellungen sind das Kennzeichen dieser Buchreihe. Ganz auf den Bedarf an praxisnahem Hintergrundwissen zugeschnitten, findet der Auto-Fachmann ausführliche Angaben, die zum Verständnis moderner Fahrzeuge benötigt werden. Sie eignet sich damit hervorragend für den Alltag des Entwicklungsingenieurs, für die berufliche Weiterbildung, für Lehrgänge, zum Selbststudium oder zum Nachschlagen in der Werkstatt. Alle Informationen sind so gestaltet, dass sich auch ein Leser zurechtfindet, für den das Thema neu ist. Die bedarfsgerechte Angebotspalette beginnt beim Kraftfahrtechnischen Taschenbuch, das als handliches Nachschlagewerk den kompakten Einblick in die aktuelle Fahrzeugtechnik bietet. Einen umfassenden Einblick in größere, zusammenhängende Themengebiete bieten die ausführlichen Fachbücher im gebundenen Hardcover-Umschlag. Anschauliche Detailinformationen mit deutlich reduziertem Umfang werden, im flexiblen Einband, zu konkreten Aufgabenstellungen erklärt. Kleinere Lernhefte zu thematisch abgegrenzten Wissensgebieten stehen in den Lernordnern „Automobilelektronik lernen“ und „Motorsteuerung lernen“ bereit.

Weitere Bände dieser Reihe finden Sie unter <http://www.springer.com/series/12435>

---

Konrad Reif  
Herausgeber

# Grundlagen Fahrzeug- und Motorentechnik

 Springer Vieweg

*Herausgeber*

Prof. Dr.-Ing. Konrad Reif  
Duale Hochschule Baden-Württemberg  
Ravensburg, Campus Friedrichshafen  
Friedrichshafen, Deutschland  
reif@dhbw-ravensburg.de

Bosch Fachinformation Automobil  
ISBN 978-3-658-12635-3  
DOI 10.1007/978-3-658-12636-0

ISBN 978-3-658-12636-0 (eBook)

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2017

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften. Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Springer Vieweg ist Teil von Springer Nature

Die eingetragene Gesellschaft ist Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Strasse 46, 65189 Wiesbaden, Germany

## Vorwort

Die Technik im Kraftfahrzeug hat sich in den letzten Jahrzehnten stetig weiterentwickelt. Der Einzelne, der beruflich mit dem Thema beschäftigt ist, muss immer mehr tun, um mit diesen Neuerungen Schritt zu halten. Mittlerweile spielen viele neue Themen der Wissenschaft und Technik in Kraftfahrzeugen eine große Rolle. Dies sind nicht nur neue Themen aus der klassischen Fahrzeug- und Motorentechnik, sondern auch aus der Elektronik und aus der Informationstechnik. Diese Themen sind zwar für sich in unterschiedlichen Publikationen gedruckt oder im Internet dokumentiert, also prinzipiell für jeden verfügbar; jedoch ist für jemanden, der sich neu in ein Thema einarbeiten will, die Fülle der Literatur häufig weder überblickbar noch in der dafür verfügbaren Zeit lesbar. Aufgrund der verschiedenen beruflichen Tätigkeiten in der Automobil- und Zulieferindustrie sind zudem unterschiedlich detaillierte Ausführungen gefragt.

Gerade heute ist es so wichtig wie früher: Wer die Entwicklung mit gestalten will, muss sich mit den grundlegenden wichtigen Themen gut auskennen. Hierbei sind nicht nur die Hochschulen mit den Studienangeboten und die Arbeitgeber mit Weiterbildungsmaßnahmen in der Pflicht. Der rasche Technologiewechsel zwingt zum lebenslangen Lernen, auch in Form des Selbststudiums.

Hier setzt die Schriftenreihe „Bosch Fachinformation Automobil“ an. Sie bietet eine umfassende und einheitliche Darstellung wichtiger Themen aus der Kraftfahrzeugtechnik in kompakter, verständlicher und praxisrelevanter Form. Dies ist dadurch möglich, dass die Inhalte von Ingenieuren der Bosch-Entwicklungsabteilungen sowie von Mitarbeitern aus weiteren Unternehmen verfasst wurden, die genau an den dargestellten Themen arbeiten. „Grundlagen Fahrzeug und Motorentechnik“ ist als kompaktes Buch so gestaltet, dass sich auch ein Leser zurechtfindet, für den das Thema neu ist.

Das vorliegende Buch „**Grundlagen Fahrzeug- und Motorentechnik**“ enthält eine Zusammenstellung grundlegender Kapitel der Bücher „Dieselmotor-Management“, „Ottomotor-Management“, „Konventioneller Antriebsstrang und Hybridantriebe“, „Bremsen und Bremsregelsysteme“ sowie „Bosch Autoelektrik und Autoelektronik“ aus derselben Buchreihe.

Dabei werden Dieselmotoren, Ottomotoren, Getriebe und Hybridantriebe prinzipiell erklärt. Aber auch die Themen Fahrsicherheit, Bremssysteme, Energiebordnetze und Elektronik werden grundlegend behandelt. Für eine detailliertere Darstellung dieser Themen wird auf die oben genannten Bücher verwiesen.

Die hier vorliegende Auflage enthält die völlig neu bearbeiteten Versionen der Kapitel „Grundlagen des Ottomotors“ und „Zündung“ aus der 4. Auflage des Buchs „Ottomotor-Management“.

Das Buch eignet sich besonders gut für Studenten natur- und ingenieurwissenschaftlicher Fachrichtungen, die Fahrzeugtechnik als Nebenfach gewählt haben sowie für Ingenieure, insbesondere auch Wirtschaftsingenieure, die sich in das Gebiet der Fahrzeugtechnik neu einarbeiten.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Geschichte des Automobils</b> .....	<b>2</b>	<b>Systemübersicht der Einzelzylinder-Systeme</b> .....	<b>84</b>
Entwicklungsgeschichte.....	2	Einzeleinspritzpumpen PF.....	84
Pioniere der Kfz-Technik.....	4	Unit Injector System UIS und Unit Pump System UPS.....	86
<b>Geschichte des Dieselmotors</b> .....	<b>10</b>	Systembild UIS für Pkw.....	88
Rudolf Diesel.....	11	Systembild UIS/UPS für Nkw.....	90
Gemischbildung der ersten Dieselmotoren .....	12	<b>Systemübersicht Common Rail</b> .....	<b>92</b>
Einsatz der ersten Fahrzeug-Dieselmotoren .....	14	Aufbau .....	93
Bosch-Dieseleinspritzung .....	17	Arbeitsweise.....	94
<b>Einsatzgebiete der Dieselmotoren</b> .....	<b>22</b>	Common Rail System für Pkw.....	98
Eigenschaftskriterien .....	22	Common Rail System für Nkw .....	103
Anwendungen.....	22	<b>Abgasnachbehandlung in Dieselmotoren</b> .....	<b>106</b>
Motor kenndaten .....	25	NOx-Speicherkatalysator .....	107
<b>Grundlagen des Dieselmotors</b> .....	<b>26</b>	Selektive katalytische Reduktion von Stickoxiden .....	109
Arbeitsweise.....	26	Partikelfilter DPF.....	112
Drehmoment und Leistung.....	29	Diesel-Oxidationskatalysator .....	116
Motorwirkungsgrad.....	30	<b>Grundlagen des Ottomotors</b> .....	<b>118</b>
Betriebszustände .....	33	Arbeitsweise.....	118
Betriebsbedingungen.....	37	Zylinderfüllung.....	123
Einspritzsystem.....	39	Verebnung.....	131
Brennräume.....	40	Drehmoment, Leistung und Verbrauch.....	135
<b>Füllungssteuerung bei Dieselmotoren</b> .....	<b>44</b>	<b>Füllungssteuerung bei Ottomotoren</b> .....	<b>140</b>
Übersicht.....	44	Elektronische	
Aufladung.....	45	Motorleistungssteuerung.....	140
Drallklappen.....	54	Dynamische Aufladung .....	143
Motoransaugluftfilter.....	55	Aufladung.....	146
<b>Grundlagen der Diesel-Einspritzung</b> .....	<b>58</b>	Ladungsbewegung .....	154
Gemischverteilung .....	58	Abgasrückführung.....	156
Parameter der Einspritzung.....	60	<b>Benzin-Einspritzung</b> .....	<b>158</b>
Düsen- und Düsenhalter-Ausführung .....	69	Saugrohreinspritzung.....	159
<b>Diesel-Einspritzsysteme im Überblick</b> .....	<b>70</b>	Benzin-Direkteinspritzung .....	175
Bauarten.....	70	<b>Zündung</b> .....	<b>196</b>
<b>Systemübersicht der Verteilereinspritzpumpen</b> .....	<b>76</b>	Magnetzündung.....	196
Anwendungsgebiete .....	76	Batteriezündung .....	196
Kantengesteuerte Systeme.....	78	Induktive Zündanlage .....	198
Magnetventilgesteuerte Systeme .....	80	<b>Abgasnachbehandlung in Ottomotoren</b> .....	<b>204</b>
		Abgasemissionen und Schadstoffe .....	204
		Katalytische Abgasreinigung .....	212

<b>Getriebe für Kraftfahrzeuge.....</b>	<b>224</b>	<b>Übersicht über elektronische Systeme im Fahrzeug.....</b>	<b>328</b>
Getriebe im Triebstrang .....	224	Übersicht.....	328
Anforderungen an Getriebe .....	226	<b>Steuerung und Regelung von Ottomotoren .....</b>	<b>332</b>
Handschaltgetriebe .....	227	Übersicht.....	332
Automatisierte Schaltgetriebe (AST) .....	228	Betriebsdatenverarbeitung .....	334
Doppelkupplungsgetriebe (DKG) .....	232	Systembeispiele .....	337
Automatische Getriebe (AT) .....	234	Systemstruktur.....	342
Stufenlose Getriebe (CVT) .....	242	Softwarestruktur.....	353
Toroidgetriebe.....	248	Steuergeräteapplikation .....	363
<b>Hybridantriebe .....</b>	<b>250</b>	<b>Steuerung und Regelung von Dieselmotoren.....</b>	<b>372</b>
Merkmale.....	250	Systemübersicht.....	372
Funktionalitäten .....	251	Common Rail System für Pkw.....	374
Funktionale Klassifikation .....	252	Common Rail System für Nkw .....	375
Antriebsstrukturen.....	253	Unit Injector System UIS für Pkw .....	376
Steuerung von Hybridfahrzeugen.....	259	Unit Injector System UIS und Unit Pump System UPS für Nkw .....	377
Regeneratives Bremssystem .....	262	Datenverarbeitung .....	378
<b>Fahrsicherheit im Kraftfahrzeug.....</b>	<b>264</b>	Regelung der Einspritzung.....	380
Sicherheitssysteme.....	264	Lambda-Regelung für Pkw-Dieselmotoren.....	390
Grundlagen des Fahrens.....	266	Momentengeführte EDC-Systeme.....	395
<b>Grundlagen der Fahrphysik .....</b>	<b>274</b>	Datenaustausch mit anderen Systemen .....	398
Reifen.....	274	Serielle Datenübertragung mit CAN.....	399
Kräfte und Momente am Fahrzeug .....	277	Regelung und Ansteuerung von Aktoren.....	400
Fahrzeuglängsdynamik.....	284	Ersatzfunktionen .....	401
Fahrzeugquerdynamik .....	286	<b>Lichttechnik .....</b>	<b>402</b>
Definitionen.....	288	Übersicht.....	402
<b>Bremssysteme in Personenkraftwagen .....</b>	<b>290</b>	<b>Antiblockiersystem ABS .....</b>	<b>416</b>
Übersicht.....	290	Systemübersicht.....	416
Geschichte der Bremse.....	292	Anforderungen an das ABS.....	418
Einteilung von Pkw-Bremsanlagen.....	298	Dynamik des gebremsten Rades.....	419
Bestandteile einer Pkw-Bremsanlage .....	300	ABS-Regelkreis.....	420
Bremskreisaufteilung.....	301	Typische Regelzyklen .....	424
<b>Energiebordnetze.....</b>	<b>302</b>	Raddrehzahlsensoren .....	432
Elektrische Energieversorgung .....	302	<b>Antriebsschlupfregelung ASR .....</b>	<b>436</b>
Bordnetzstrukturen .....	310	Aufgaben.....	436
Elektrisches Energiemanagement (EEM) .....	313	Funktionsbeschreibung .....	436
Bordnetzkenngrößen.....	318	Struktur der ASR.....	438
Bordnetzauslegung .....	321	Typische Regelsituationen.....	439
Kabelbäume .....	323	ASR für allradgetriebene Fahrzeuge.....	440
Steckverbindungen.....	325		



<b>Elektronisches</b>	
<b>Stabilitätsprogramm ESP</b> .....	<b>444</b>
Anforderungen .....	444
Aufgaben und Arbeitsweise .....	445
Fahrmanöver .....	446
Gesamtregelkreis und Regelgrößen .....	454
Mikromechanische Drehratesensoren .....	460
Lenkradwinkelsensoren .....	462
Hall-Beschleunigungssensoren .....	464
<b>Insassenschutzsysteme</b> .....	<b>466</b>
Sicherheit am Kraftfahrzeug .....	466
Sicherheitsgurte, Gurtstraffer .....	466
Frontairbag .....	469
Seitenairbag .....	472
Komponenten .....	472
Überrollschutzsysteme .....	476
Ausblick .....	477
Piezoelektrische Beschleunigungssensoren .....	480
Oberflächenmikromechanische Beschleunigungssensoren .....	481
Sitzbelegungserkennung .....	483
<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	<b>486</b>

## Herausgeber

Prof. Dr.-Ing. Konrad Reif

## Autoren und Mitwirkende

Dipl.-Ing. Karl-Heinz Dietsche,  
Dipl.-Ing. Dietrich Kuhlitz,  
Prof. Dr.-Ing. Konrad Reif,

Duale Hochschule Baden-Württemberg,  
(Geschichte des Automobils)

Dipl.-Ing. Karl-Heinz Dietsche  
(Geschichte des Dieselmotors)

Dipl.-Ing. (FH) Hermann Grieshaber,  
Dipl.-Ing. Joachim Lackner,  
Dr.-Ing. Herbert Schumacher,  
(Einsatzgebiete der Dieselmotoren)

Dipl.-Ing. (FH) Hermann Grieshaber,  
Dr.-Ing. Thorsten Raatz,  
(Grundlagen des Dieselmotors)

Dipl.-Betriebsw. Meike Keller,  
Dr.-Ing. Thomas Wintrich,  
(Füllungssteuerung bei Dieselmotoren)

Dipl.-Ing. (FH) Hermann Grieshaber,  
Dipl.-Ing. Jens Olaf Stein,  
(Grundlagen der Dieseleinspritzung; Dieselein-  
spritzsysteme im Überblick)

Dipl.-Ing. (FH) Helmut Simon,  
Dipl.-Ing. Johannes Feger,  
Dr. rer. nat. Dietmar Ottenbacher,  
(Systemübersicht der Verteilereinspritzpumpen)

Dr. tech. Theodor Stipek,  
Dipl.-Ing. Joachim Lackner  
(Systemübersicht der Einzelzylinder-Systeme)

Dipl.-Ing. Felix Landhäuser,  
(Systemübersicht Common-Rail)

Dr. rer. nat. Norbert Breuer,  
Dr. rer. nat. Thomas Hauber,  
Priv.-Doz. Dr.-Ing. Johannes Schaller,  
Dr. Ralf Schernewski,

Dipl.-Ing. Stefan Stein,  
Dr.-Ing. Ralf Wirth.  
(Abgasnachbehandlung in Dieselmotoren)

Dr.-Ing. David Lejsek,  
Dr.-Ing. Andreas Kufferath,  
Dr.-Ing. André Kulzer,  
Dr. Ing. h.c.F. Porsche AG,  
Prof. Dr.-Ing. Konrad Reif,  
Duale Hochschule Baden-Württemberg,  
(Grundlagen des Ottomotors)

Dr.-Ing. Martin Brandt,  
Dr.-Ing. Alex Grossmann,  
Dipl.-Ing. Markus Deissler,  
Prof. Dr. Kurt Kirsten,  
IDK GmbH,  
Dipl.-Ing. Michael Bäuerle,  
Dipl.-Ing. Martin Rauscher,  
Dr.-Ing. Jochen Müller,  
Bosch Mahle Turbo Systems GmbH & Co. KG,  
Dr.-Ing. Wolfgang Samenfink,  
Prof. Dr.-Ing. Konrad Reif,  
Duale Hochschule Baden-Württemberg,  
(Füllungssteuerung bei Ottomotoren)

Dipl.-Ing. Andreas Posselt,  
Dipl.-Ing. Markus Gesk,  
Dipl.-Ing. Anja Melsheimer,  
Dipl.-Ing. (BA) Ferdinand Reiter,  
Dipl.-Ing. (FH) Klaus Joos,  
Dipl.-Ing. Peter Schenk,  
Dr.-Ing. Andreas Kufferath,  
Dr.-Ing. Wolfgang Samenfink,  
Dipl.-Ing. Andreas Glaser,  
Dr.-Ing. Tilo Landenfeld,  
Dipl.-Ing. Uwe Müller,  
Prof. Dr.-Ing. Konrad Reif,  
Duale Hochschule Baden-Württemberg,  
(Benzin-Einspritzung)

Dipl.-Ing. Walter Gollin,  
Dipl.-Ing. (FH) Klaus Lerchenmüller,  
Dr.-Ing. Grit Vogt,

Prof. Dr.-Ing. Konrad Reif,  
Duale Hochschule Baden-Württemberg  
(Zündung)

Dipl.-Ing. Klaus Winkler,  
Dr.-Ing. Wilfried Müller,  
Umicore AG & Co. KG,  
Prof. Dr.-Ing. Konrad Reif,  
Duale Hochschule Baden-Württemberg.  
(Abgasnachbehandlung in Ottomotoren)

Dipl.-Ing. Dieter Fornoff,  
Dieter Graumann,  
E. Hendriks,  
Dipl.-Ing. Thomas Laux,  
Dipl.-Ing. Thomas Müller,  
Dipl.-Ing. A. Schreiber,  
Dipl.-Ing. Steffen Schumacher,  
Dipl.-Ing. W. Stroh.  
(Getriebe für Kraftfahrzeuge)

Dipl.-Ing. Thomas Huber,  
Dr.-Ing. Jan Lichtermann,  
Prof. Dr.-Ing. Konrad Reif,  
Duale Hochschule Baden-Württemberg.  
(Hybridantriebe)

Dipl.-Ing. Friedrich Kost.  
(Fahrerassistenz im Kraftfahrzeug)

Dipl.-Ing. Friedrich Kost.  
(Grundlagen der Fahrphysik)

Dipl.-Ing. (FH) Jochen Wagner,  
Dipl.-Ing. Bernhard Kant.  
(Bremsysteme in Personenkraftwagen)

Dipl.-Ing. Clemens Schmucker,  
Dipl.-Ing. Reinhard Meyer,  
Dipl.-Ing. Markus Beck,  
Dipl.-Ing. (FH) Bernd Moosmann,  
Dipl.-Ing. Wolfgang Kircher,  
Dipl.-Ing. Werner Hofmeister,  
Dipl.-Ing. Andreas Simmel,  
Dipl.-Ing. Ingo Koch,  
Dr.-Ing. Wolfgang Pfaff.  
(Energiebordnetze)

Dipl.-Ing. Bernhard Mencher,  
Dipl.-Ing. (BA) Ferdinand Reiter,  
Dipl.-Ing. Andreas Glaser,  
Dipl.-Ing. Walter Gollin,  
Dipl.-Ing. (FH) Klaus Lerchenmüller,  
Dipl.-Ing. Felix Landhäuser,  
Dipl.-Ing. Doris Boebel,  
Automotive Lighting Reutlingen GmbH,  
Dr.-Ing. Michael Hamm,  
Automotive Lighting Reutlingen GmbH,  
Dipl.-Ing. Tilman Spingler,  
Automotive Lighting Reutlingen GmbH,  
Dr.-Ing. Frank Niewels,  
Dipl.-Ing. Thomas Ehret,  
Dr.-Ing. Gero Nenner,  
Prof. Dr.-Ing. Peter Knoll,  
Dr. rer. nat. Alfred Kuttenberger.  
(Elektrische und elektronische Systeme im Kfz)

Dipl.-Ing. Stefan Schneider,  
Dipl.-Ing. Andreas Blumenstock,  
Dipl.-Ing. Oliver Pertler,  
Prof. Dr.-Ing. Konrad Reif,  
Duale Hochschule Baden-Württemberg.  
(Elektronische Steuerung und Regelung)

Dipl.-Ing. Felix Landhäuser,  
Dipl.-Ing. (FH) Mikel Lorente Susaeta,  
Dipl.-Ing. Martin Grosser,  
Dipl.-Ing. Andreas Michalske.  
(Steuerung und Regelung von Dieselmotoren)

Dipl.-Ing. Heinz-Jürgen Koch-Dücker,  
Dipl.-Ing. (FH) Ulrich Papert.  
(Antiblockiersystem ABS)

Dr.-Ing. Frank Niewels,  
Dipl.-Ing. Jürgen Schuh.  
(Antriebsschlupfregelung ASR)

Dipl.-Ing. Thomas Ehret.  
(Elektronisches Stabilitäts-Programm)

Dipl.-Ing. Bernhard Mattes  
(Insassenschutzsysteme)

Soweit nicht anders angegeben, handelt es sich um  
Mitarbeiter der Robert Bosch GmbH.

# Geschichte des Automobils

Die Mobilität spielt für die Menschen seit jeher eine große Rolle. In fast jeder Epoche versuchte man Mittel zu finden, die Menschen über längere Strecken mit größtmöglicher Geschwindigkeit zu tragen vermochten. Mit der Entwicklung von zuverlässigen Verbrennungsmotoren, die mit flüssigen Kraftstoffen betrieben werden konnten, wurde der Traum des selbstfahrenden Automobils Wirklichkeit.

## Entwicklungsgeschichte

Für die Entstehung eines Gefährtes, das in unserem Zeitalter nicht mehr wegzudenken ist, waren viele Voraussetzungen nötig, ohne die ein solches Projekt nicht hätte umgesetzt werden können. Einige Daten sind an dieser Stelle vorangestellt, die einen wesentlichen Beitrag zur Entwicklung des Automobils beitrugen:

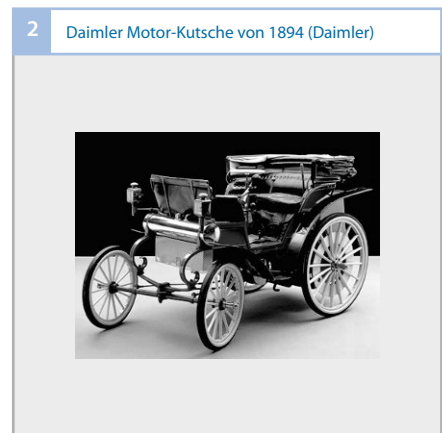
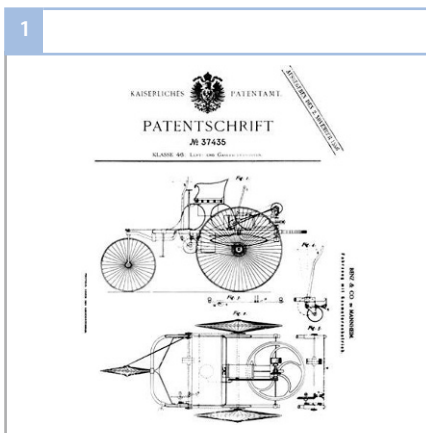
- Circa 3500 v. Chr.  
Entwicklung des Rades in Mittel- und Osteuropa sowie in Mesopotamien
- Circa 1300  
Weiterentwicklung der Kutsche mit Elementen wie Lenkung, Radaufhängung und Federung

- 1769  
Dampfwagen von Joseph Cugnot
- 1858  
Gasmotor von Étienne Lenoir
- 1860  
Viertakt-Verbrennungsmotor von Christian Reithmann, sowie später davon unabhängig von Alphonse Beau de Rochas und Nikolaus Otto

Viele heute noch zum Einsatz kommende Details im Verbrennungsmotor mit Fremdzündung wurden von Nikolaus Otto entwickelt, z. B. die Niederspannungszündung.

Carl Benz konstruierte den „Benz Patent-Motorwagen Nummer 1“ (**Bild 1**), auf den ihm 1886 das Patent erteilt wurde. Dieser Patent-Motorwagen Nummer 1 gilt als erstes praxistaugliches Kraftfahrzeug der Welt. Mit seinem Patent beginnt die rasante Entwicklung des Automobils mit Verbrennungsmotor. Die öffentliche Meinung war jedoch damals noch gespalten. Die Verfechter des neuen Zeitalters rühmten das Automobil als Inbegriff des Fortschritts, während der Großteil der Bevölkerung gegen die zunehmende Belästigung durch Staub, Lärm, Unfallgefahr und rücksichtslose Autofahrer protestierte. Dennoch war das Automobil

**Bild 1**  
Das Patent für den „Benz Patent-Motorwagen Nummer 1“, das Benz am 29. Januar 1886 erteilt wurde, basierte nicht auf einer umgebauten Kutsche, sondern stellte eine eigenständige ganzheitliche Konstruktion dar (Daimler)



3 Das T-Modell, „Tin Lizzie“ genannt, wurde mehr als 15 Millionen Mal gebaut (Ford).



nicht mehr aufzuhalten.

In den Anfängen stellte der Kauf eines Automobils eine Herausforderung dar. Es gab praktisch kein Straßennetz, an Reparaturwerkstätten war nicht zu denken, Treibstoff erwarb man in der Apotheke und Ersatzteile ließ man vor Ort schmieden. Umso erwähnenswerter ist die erste Fernfahrt von Bertha Benz im Jahr 1888. Sie war der erste Mensch am Steuer eines motorisierten Fahrzeugs, der sich über kürzere Versuchs- und Probefahrten hinauswagte. Die Bewältigung der damals enormen Distanz über 100 km von Mannheim nach Pforzheim bekräftigte die Zuverlässigkeit des Automobils.

Am Anfang konzentrierten sich – außer Benz – in Deutschland jedoch wenige Unternehmer auf die weltweite Bedeutung der motorgetriebenen Fahrzeuge. Die Franzosen sollten das Automobil groß machen. Panhard & Levassor nutzten Lizenzen für Daimler-Motoren zum Bau eigener Automobile. Panhard sind Konstruktionsmerkmale wie Lenkrad, geneigte Lenksäule, Kuppelungspedal, Luftreifen und Röhrenkühler zu verdanken. In den folgenden Jahren entstanden Firmen wie Peugeot, Citroën, Renault, Fiat, Ford, Rolls-Royce, Austin und andere. Gottlieb Daimler, der seine Motoren nahezu weltweit vertrieb, hatte hierauf einen nicht unerheblichen Einfluss.

Die anfangs am Kutschenbau orientierten Wagen wurden sehr schnell zu Automobilen

4 Mercedes-Benz 500 K Cabriolet C, Baujahr 1934 (Daimler)



im heutigen Sinne weiterentwickelt. Allerdings wurde jedes Automobil einzeln in Handarbeit gefertigt. Das änderte sich grundlegend im Jahr 1913 mit der Einführung des Fließbandes durch Henry Ford. Mit dem T-Modell revolutionierte er die Automobilbranche in Amerika. Das Auto war ab diesem Zeitpunkt kein Luxusgut mehr. Höhere Stückzahlen machten eine rapide Senkung der Preise möglich, womit das Automobil den Massen zugänglich wurde. Citroën und Opel waren eine der ersten, die das Fließband nach Europa brachten, doch erst Mitte der 1920er-Jahre setzte es sich durch.

Die Automobilhersteller erkannten schnell, dass sie sich auf die Wünsche der Kunden einstellen mussten, um am Markt erfolgreich zu sein. Man nutzte Rennerfolge zu Werbemaßnahmen. Professionelle Fahrer prägten sich und ihre Automarke mit einem Geschwindigkeitsrekord in die Köpfe der Zuschauer ein. Weiterhin bemühte man sich um eine breitere Produktpalette. So entstand über die Jahrzehnte hinweg eine Vielfalt an Autoformen, die sich jeweils am Zeitgeist sowie den wirtschaftlichen und politischen Einflüssen orientierten. Zum Beispiel setzten sich Stromlinienfahrzeuge vor dem Zweiten Weltkrieg nicht durch; repräsentative Autos waren gefragt. Exklusivste Fahrzeuge wie der Mercedes-Benz 500 K, Rolls-Royce Phantom III, 855 Horch

## 5 VW-Käfer aus den 70er-Jahren



oder Bugatti Royale wurden entwickelt.

Der Zweite Weltkrieg hatte einen erheblichen Einfluss auf die Entwicklung von Kleinwagen. Der heute als Käfer bekannte Volkswagen wurde von Ferdinand Porsche konstruiert und in Wolfsburg produziert. Nach Ende des Krieges waren vor allem kleine, erschwingliche Wagen gefragt. Die Hersteller reagierten auf diese Nachfrage: So entstanden die Autos Goliath GP 700, Lloyd 300, Citroën 2CV, Trabant, Isetta oder Fiat 500 C. Autos wurden nun nach neuen Standards gebaut; man legte mehr Wert auf Technik, integriertes Zubehör und vor allem ein vernünftiges Preis-Leistungs-Verhältnis.

Heute wird ein hoher Standard der Insassensicherheit gewährt; Airbag, ABS, ESP und „intelligente“ Sensoren sind wegen der steigenden Anzahl von Verkehrsteilnehmern und der im Vergleich zu früher hohen Geschwindigkeiten unerlässlich. Das Auto wurde durch die Arbeit der Automobilindustrie aufgrund der gestiegenen Marktanforderungen stetig weiterentwickelt. Es gibt jedoch Gebiete, die auch für die Zukunft eine Herausforderung darstellen. Ein Beispiel ist die weitere Reduzierung der Umweltbelastungen und alternative Energiequellen.

Eines wird sich in naher Zukunft wohl nicht ändern – der Begriff, für den das Auto seit mehr als 100 Jahren steht und schon dessen Urväter begeisterte: die individuelle Mobilität.

## Pioniere der Kfz-Technik

Aufgrund der Vielzahl an Personen, die sich mit der Entwicklung des Automobils beschäftigt haben, stellt diese Auflistung keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

## 6 Nikolaus August Otto (Deutz)



**Nikolaus August Otto** (1832–1891), gebürtig aus Holzhausen, entwickelte schon früh sein Interesse für Technik. Neben seiner Anstellung als Reisender für Lebensmittelgroßhandlungen beschäftigte er sich mit der Funktion von Gasmotoren.

Ab 1862 spezialisierte sich Otto vollends auf den Motorenbau. Es gelang ihm, einen Viertakt-Gasmotor zu entwickeln. Dafür erhielt er 1867 auf der Pariser Weltausstellung die Goldmedaille. 1884 erfand er die Niederspannungszündung, womit Motoren mit Benzin betrieben werden konnten. Diese Neuheit stellte die Grundlage für das spätere Lebenswerk von Robert Bosch dar. Ottos Verdienst liegt darin, dass er als Erster den Viertakt-Verbrennungsmotor gebaut und dessen Überlegenheit über alle Vorläufer demonstriert hat.

7 Gottlieb Daimler (Daimler)



**Gottlieb Daimler** (1834–1900) stammte aus Schorndorf und studierte Maschinenbau am Polytechnikum in Stuttgart. 1865 lernte er den hoch begabten Ingenieur Wilhelm Maybach kennen. Beide sollte fortan eine dauernde Zusammenarbeit verbinden. Neben der Erfindung des ersten Motorrads beschäftigte sich Daimler vor allem mit der Entwicklung eines für den Einsatz in Fahrzeugen geeigneten Ottomotors. 1889 stellten Daimler und Maybach in Paris den ersten „Stahlradwagen“ mit Zwei-Zylinder-V-Motor vor.

Schon ein Jahr später pflegte Daimler internationale Beziehungen mit der Vermarktung des schnell laufenden Daimler-Motors. So ließ 1891 Armand Peugeot einen von ihm konstruierten Wagen bei der Rad-Fernfahrt Paris – Brest – Paris erfolgreich mitfahren und stellte sowohl seine Konstruktion als auch die Zuverlässigkeit des verwendeten Daimler-Motors unter Beweis. Daimlers Verdienst resultiert aus der stetigen Weiterentwicklung des Ottomotors und dem Vertrieb in andere Länder.

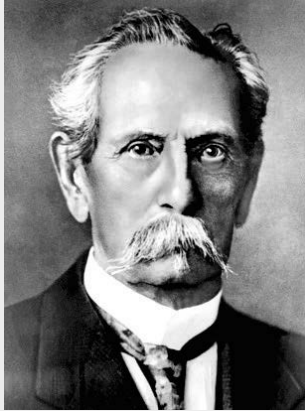
8 Wilhelm Maybach (MTU Friedrichshafen GmbH)



**Wilhelm Maybach** (1846–1929), geboren in Heilbronn, absolvierte eine Ausbildung zum Technischen Zeichner. Bald darauf war er als Detailkonstrukteur unter anderem bei der Firma Gasmotoren Deutz AG (von Otto gegründet) tätig.

Maybach überarbeitete den Ottomotor und brachte ihn zur Serienreife. Er entwickelte unter anderem auch die Wasserkühlung, den Spritzdüsenvergaser und die Doppelzündung. Im Jahr 1900 konstruierte Maybach unter Verwendung von Leichtmetall einen revolutionären Rennwagen. Auf Anregung des österreichischen Geschäftsmannes Jellinek wurde dieses Fahrzeug entwickelt. Er bestellte 36 Wagen mit der Bedingung, das Modell nach seiner Tochter „Mercedes“ zu benennen.

9 Carl Friedrich Benz (Daimler)



**Carl Friedrich Benz** (1844–1929), geboren in Karlsruhe, studierte Maschinenbau am Polytechnikum in Karlsruhe. 1871 gründete er seine erste Fabrik für Eisengießerei und Industrieteile in Mannheim.

Unabhängig von Daimler und Maybach beschäftigte er sich ebenfalls mit dem Einbau von Motoren in Fahrzeugen. Nachdem die wichtigsten Ansprüche aus Ottos Viertaktpatent für nichtig erklärt worden waren, entwickelte Benz neben einem eigenen Viertaktmotor auch einen Oberflächenvergaser, die elektrische Zündung, die Kupplung, die Wasserkühlung sowie eine Gangschaltung. 1886 meldete er sein Patent an und stellte der Öffentlichkeit seinen Motorwagen vor. Er gründete die Benz & Cie. Rheinische Gasmotorenfabrik in Mannheim. In dieser Firma wurde in der Zeit von 1894 bis 1901 das „Velo“ gefertigt, das mit einer produzierten Gesamtstückzahl von ca. 1 200 Exemplaren als erstes Großserien-Automobil bezeichnet werden kann. Diese Firma fusionierte 1926 mit der Daimler-Motoren-Gesellschaft zur „Daimler-Benz AG“. Carl Benz stellte das erste Automobil vor und schuf die Voraussetzungen für die industrielle Fertigung von Serienfahrzeugen.

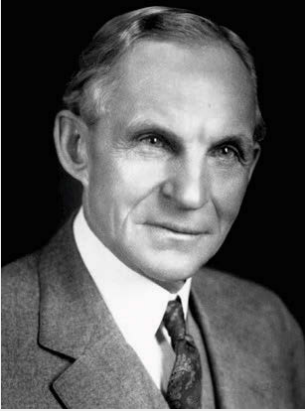
10 Cäcilie Bertha Benz, geborene Ringer, um 1871 (Daimler)



**Cäcilie Bertha Benz** (geborene Ringer; geboren am 3. Mai 1849 in Pforzheim; gestorben am 5. Mai 1944 in Ladenburg) war wesentlich daran beteiligt, das Automobil als allgemeines Fortbewegungsmittel zu etablieren. Sie ließ sich vorzeitig ihre Mitgift auszahlen, um mit diesem Kapital ihrem Ehemann Carl Benz die Weiterführung seines Unternehmens zu ermöglichen. Sie unternahm die erste erfolgreiche Fernfahrt mit einem Automobil von Mannheim nach Pforzheim. Sie war damit der erste Mensch, der sich über kürzere Versuchs- und Probefahrten hinauswagte. Ihre Fernfahrt trug wesentlich dazu bei, die noch bestehenden Vorbehalte der Kunden gegen das Fahrzeug zu zerstreuen, und ermöglichte in der Folge den wirtschaftlichen Erfolg der Firma.



11 Henry Ford (Ford)



**Henry Ford** (1863–1947) stammte aus Dearborn, Michigan (USA). Ford erarbeitete sich 1891 als Ingenieur bei der Edison Illuminating Company eine sichere Position, widmete sich aber persönlich der Weiterentwicklung des Ottomotors.

Die Gebrüder Duryea bauten 1893 das erste Automobil in Amerika. Ford konnte 1896 mit seinem Wagen, dem „Quadricycle Runabout“, nachziehen, der die Ausgangsbasis für zahlreiche Konstruktionen werden sollte. 1908 brachte Ford das „Model T“ heraus, das ab 1913 am Fließband gefertigt wurde. Ford dominierte ab dem Jahr 1921 den Automarkt der USA mit einem Anteil von 55 % der gesamten Industrieproduktion. Der Name Henry Ford steht für die Motorisierung Amerikas. Dank seiner Ideen wurde das Automobil einer breiten Bevölkerungsschicht zugänglich.

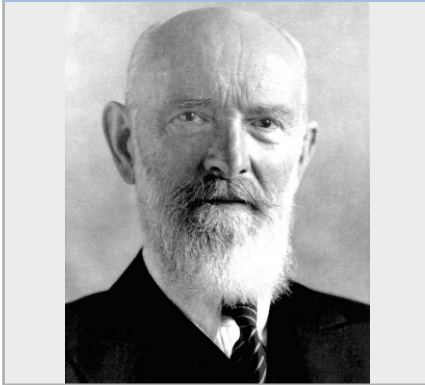
12 Rudolf Christian Karl Diesel (MAN AG)



**Rudolf Christian Karl Diesel** (1858–1913), gebürtig aus Paris, fasste mit 14 Jahren den Entschluss, Ingenieur zu werden. Er schloss sein Examen am Polytechnikum München mit der besten Leistung seit Bestehen der Anstalt ab.

1892 erhielt Diesel das Patent für den später nach ihm benannten „Diesel-Motor“, der schnell seine Verbreitung als stationärer Motor und als Schiffsmotor fand. 1908 fuhr der erste Lastwagen mit einem Dieselmotor. Sein Einzug in die Pkw-Welt dauerte jedoch Jahrzehnte. Erst im Jahr 1936 wurde er im Mercedes 260 D in Serie eingebaut. Heute ist der Dieselmotor so weit entwickelt, dass er in vielen Ländern ebenso verbreitet ist wie der Ottomotor. Rudolf Diesel hat mit seiner Erfindung wesentlich zu einer wirtschaftlicheren Nutzung des Verbrennungsmotors beigetragen. Mit Lizenzvergaben konnte Diesel international tätig werden, erntete aber zu Lebzeiten nicht mehr die gebührende Anerkennung.

13 Robert Bosch



## Das Lebenswerk von Robert Bosch

Robert Bosch, geboren am 23. September 1861 in Albeck bei Ulm, entstammte einer wohlhabenden Bauernfamilie. Nach seiner Ausbildung zum Feinmechaniker arbeitete er zeitweise in verschiedenen Unternehmen, wobei er seine technischen sowie kaufmännischen Fähigkeiten und Erfahrungen weiter ausbaute. Nach einem halben Jahr als Gasthörer im Fach Elektrotechnik an der TH Stuttgart reiste er in die USA um bei „Edison Illuminating“ zu arbeiten. Später war er bei „Siemens Brothers“ in England beschäftigt.

1886 entschloss er sich, eine „Werkstätte für Feinmechanik und Elektrotechnik“ in einem Hinterhaus im Stuttgarter Westen zu eröffnen. Er beschäftigte einen weiteren Mechaniker sowie einen Lehrling. Am Anfang lag sein Arbeitsgebiet in der Installation und Repara-

tur von Telefonen, Telegrafen, Blitzableitern und anderen feinmechanischen Tätigkeiten. Sein Engagement in der schnellen Bearbeitung neuer Problemstellungen sollte ihm auch später stets einen Vorsprung verschaffen.

Die von Bosch entwickelte Niederspannungs-Magnetzündung im Jahr 1897 stellte – im Gegensatz zu den unzuverlässigen Vorläufern – den Durchbruch für die Automobilindustrie dar. Dieses Produkt war der Ausgangspunkt für die rasche Expansion des Unternehmens von Robert Bosch. Er verstand es immer, die Zweckbestimmtheit der technisch-wirtschaftlichen Welt mit den humanen Erfordernissen in Einklang zu bringen. Auf sozialem Gebiet galt Bosch als Vorreiter.

Technische Pionierarbeit hat Bosch mit der Entwicklung und Ausreifung folgender Produkte geleistet:

- Niederspannungs-Magnetzünder,
- Hochspannungs-Magnetzünder für höhere Drehzahlen (konstruiert von seinem Mitarbeiter Gottlob Honold),
- Zündkerze,
- Zündverteiler,
- Batterie für Pkw und Motorrad,
- Anlasser (Starter),
- Lichtmaschine (Generator),
- Bosch-Licht, elektrische Beleuchtung für Pkw,
- Diesel-Einspritzpumpen,
- Autoradio (gefertigt bei den „Ideal-Werken“, ab 1938 „Blaupunkt“),
- erste Lichtenanlage für das Fahrrad,
- Bosch-Horn (elektrische Hupe),
- Batteriezündung,
- Bosch-Winker (damals als typisch für den deutschen Organisationsgeist belächelt – heute als Blinker unverzichtbar).

Viele weitere Entwicklungen, auch im gesellschaftlichen Bereich, könnte man hier aufzählen. Sie zeigen, dass Bosch seiner Zeit voraus war. Sein vorwärts strebender Geist hat die Automobilentwicklung stark

14 Erste Anzeige in der Stuttgarter Tageszeitung „Der Beobachter“, 1887

**ROB. BOSCH**  
 Rothebühlstr. 75 B.  
 Telephone, Haustelegraphen.  
 Fachmännische Prüfung und Anlegung von  
 Blitzableitern. (37)  
 Anlegung und Reparatur elektr. Apparate,  
 sowie aller Arbeiten der Feinmechanik.

vorangetrieben. Mit der steigenden Zahl der selbstfahrenden „Automobilisten“ wuchs das Bedürfnis nach Werkstätten rasch an. In den 1920er-Jahren begann Robert Bosch mit dem systematischen Aufbau einer flächendeckenden Kundendienstorganisation. 1926 erhielten diese Werkstätten den einheitlichen, als Markenzeichen angemeldeten Namen „Bosch-Dienst“.

Einen ebenso hohen Anspruch hatte Bosch an die Umsetzung sozialer Ziele. Er führte 1906 den 8-Stunden-Tag ein und gewährte den Arbeitern hohe Löhne. 1910 stiftete er eine Million Mark zur Förderung der technischen Bildung. Die Fertigstellung des 500 000. Magnetzünders nahm er zum Anlass, den arbeitsfreien Samstagnachmittag einzuführen. Weitere Verbesserungen waren z. B. die Altersversorgung, Arbeitsplätze für Schwerbehinderte und die Urlaubsregelung. Boschs Aussage, „Beruf und Lehrpraxis sind ein kundigerer Erzieher als bloße Theorie“ führte 1913 zur Einrichtung einer Lehrwerkstatt, die 104 Lehrlingen Platz bot.

Mitte 1914 war der Name Bosch schon weltweit vertreten. Der Umsatzanteil der ins Ausland gelieferten Erzeugnisse stieg stetig und erreichte im Jahre 1913 88,7 %. Bosch konnte durch die großen Heereslieferungen weiterhin expandieren, doch missfielen ihm die Gewinne in Anbetracht der Gräueltaten dieser Jahre. Er spendete daraufhin im Jahre 1916 20 Mio. RM (Reichsmark) für soziale Zwecke.

Nach dem Ersten Weltkrieg war es schwer, im Ausland wieder Fuß zu fassen. Beispielsweise wurden in den USA die Bosch-Fabriken, Verkaufsniederlassungen sowie die Wort- und Bildmarke konfisziert und an ein US-Unternehmen verkauft. Das bedeutete unter anderem, dass Produkte unter dem Namen „Bosch“ erschienen, die nicht von ihm produziert waren. Erst Ende der 1920er-Jahre hatte Bosch alle Rechte zurückerwor-

ben und konnte sich wieder in den USA etablieren. Boschs unbeugsame Entschlossenheit, Schwierigkeiten zu meistern, brachte die Firma wieder auf den Weltmarkt und prägte den Mitarbeitern die internationale Bedeutung der Firma Bosch ins Bewusstsein ein.

Zwei beispielhafte Daten stellen noch einmal den sozialen Einsatz Boschs heraus:

1936 stiftete er Mittel zum Bau eines Krankenhauses, das 1940 eingeweiht wurde. In der Eröffnungsrede hob Bosch sein Engagement für eine soziale Zusammenarbeit hervor: „Jede Arbeit ist wichtig, auch die kleinste. Es soll sich keiner einbilden, seine Arbeit sei über die seines Mitarbeiters erhaben.“

1942 starb mit Robert Bosch ein Unternehmer, der sowohl auf dem technisch-elektrischen als auch auf sozialem Gebiet ein Pionier war. Noch heute gilt er als Vorbild für vorandrängenden Zeitgeist, unermüden Fleiß, soziale Verbesserungen, Unternehmensgeist und Bildungsförderung.

1964 wurde die Robert Bosch Stiftung GmbH gegründet, zu deren Aufgaben die Gesundheitspflege, Wohlfahrtspflege, Bildung, Erziehung, Förderung der Kunst, Kultur sowie Geistes- und Sozialwissenschaften zählen. Durch sie werden die Ideale von Robert Bosch bis in die heutige Zeit gepflegt.



# Geschichte des Dieselmotors

Bereits im Jahr 1863 unternahm der Franzose Etienne Lenoir eine Versuchsfahrt mit einem Fahrzeug, das von einer von ihm entwickelten Gasmachine angetrieben wurde. Dieser Antrieb erwies sich aber als untauglich für den Einbau und Antrieb von Fahrzeugen. Erst mit Nikolaus August Ottos Viertaktmotor mit Magnetzündung war der Betrieb mit flüssigem Kraftstoff und somit der mobile Einsatz möglich. Der Wirkungsgrad dieser Motoren war allerdings gering. Die Leistung des Rudolf Diesel bestand darin, einen Motor mit vergleichsweise sehr viel höherem Wirkungsgrad theoretisch zu entwickeln und seine Idee bis zur Serienreife zu verfolgen.

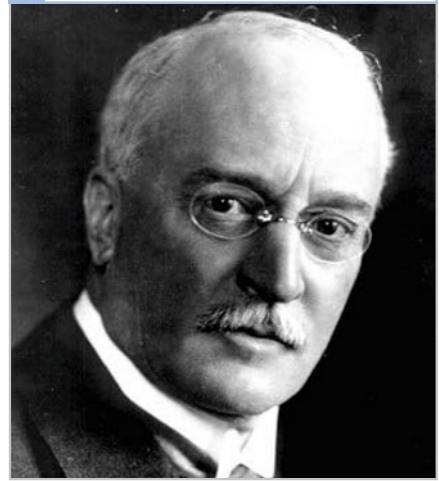
Rudolf Diesel baute 1897 in Zusammenarbeit mit der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg (MAN) den ersten funktionierenden Prototypen eines Verbrennungsmotors, der mit billigem Schweröl betrieben werden konnte. Das Gewicht dieses ersten Dieselmotors betrug allerdings rund 4,5 Tonnen bei einer Höhe von drei Metern.

Deshalb war an einen Einsatz dieses Motors für Landfahrzeuge vorerst noch nicht zu denken.

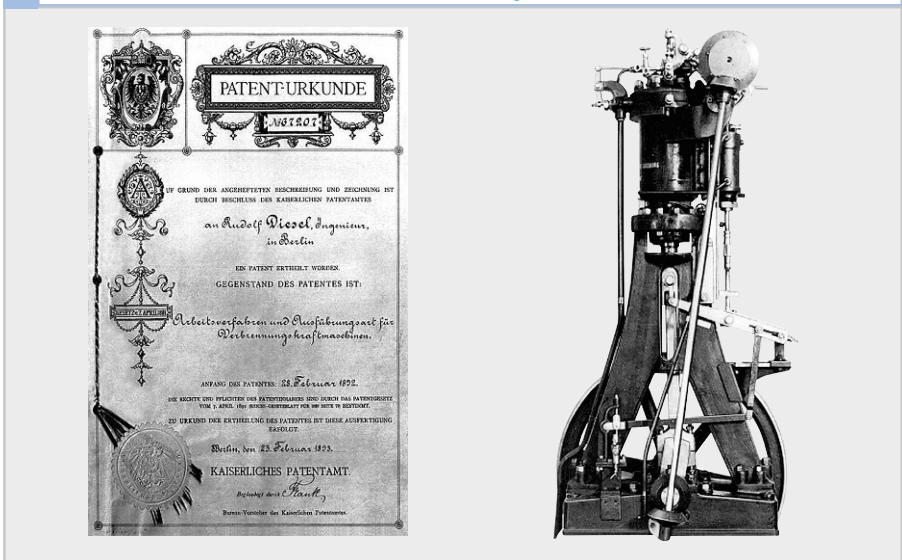
Mit weiteren Verbesserungen im Bereich der Einspritzung und Gemischbildung setzte sich Diesels Erfindung aber bald durch und es gab für Schiffs- und Stationärmotoren keine Alternativen mehr.

„Es ist meine feste Überzeugung, dass der Automobilmotor kommen wird, und dann betrachte ich meine Lebensaufgabe als beendet.“  
(Zitat von Rudolf Diesel kurz vor seinem Tod)

2 Rudolf Diesel



1 Patenturkunde für den Dieselmotor und dessen erste Ausführung aus dem Jahr 1894



## Rudolf Diesel

Rudolf Diesel (1858–1913), gebürtig aus Paris, fasste mit 14 Jahren den Entschluss, Ingenieur zu werden. Er schloss sein Examen am Polytechnikum München als Bester der bis dahin Examinierten ab.

### Idee eines neuen Motors

Die Idee Diesels war, eine Maschine mit einem wesentlich höheren Wirkungsgrad gegenüber der damals populären Dampfmaschine zu konstruieren. Eine Maschine, die sich am isothermischen Kreisprozess orientiert, sollte nach der Theorie des französischen Physiker Sadi Carnot mit einem hohen Wirkungsgrad von über 90 % betrieben werden können.

Diesel entwickelte seinen Motor zunächst auf dem Papier, basierend auf Carnots Vorlagen. Sein Ziel war, einen leistungsstarken Motor bei vergleichsweise kleinen Abmessungen zu entwerfen. Von der Funktion und der Leistungsfähigkeit seines Motors war Diesel absolut überzeugt.

### Diesels Patent

Diesel schloss seine theoretischen Studien 1890 ab und meldet am 27. Februar 1892 beim Kaiserlichen Patentamt zu Berlin ein Patent auf „Neue rationelle Wärmekraftmaschinen“ an. Am 23. Februar 1893 erhielt er die Patenturkunde DRP 67207 mit dem Titel „Arbeitsverfahren und Ausführungsart für Verbrennungsmaschinen“, datiert auf den 28. Februar 1892.

Diesen neuen Motor gab es zunächst nur in der Theorie. Die Richtigkeit von Diesels Berechnungen wurde mehrfach bestätigt, an der technischen Realisierbarkeit bestanden bei den Motorenherstellern jedoch Zweifel.

### Realisierung des Motors

Die im Motorbau erfahrenen Firmen wie die Gasmotoren-Fabrik Deutz AG schreckten vor dem Diesel-Projekt zurück. Die erforderlichen Kompressionsdrücke von 250 bar lagen jenseits dessen, was technisch realisierbar erschien. Nach langem Bemühen kam es schließlich 1893 zu einer Zusammenarbeit zwischen Diesel und der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg (MAN). Der abgeschlossene Vertrag enthielt allerdings Konzessionen Diesels an den Idealmotor. Der Höchstdruck wurde von 250 auf 90 bar, später dann auf 30 bar gesenkt. Diese aus mechanischen Gründen erforderliche Absenkung des Drucks beeinträchtigte natürlich die Zündfähigkeit beträchtlich. Der von Diesel zunächst vorgesehene Kohlestaub als Kraftstoff wurde allerdings verworfen.

Schließlich begann man im Frühjahr 1893, den ersten, ungekühlten Versuchsmotor zu bauen. Als Kraftstoff war zunächst Petroleum vorgesehen. Man verwendete aber Benzin, weil man der Meinung war, dass sich dieser Kraftstoff leichter selbst entzündet (das war ein Irrtum). Das Prinzip der Selbstzündung – d. h. Einspritzen des Kraftstoffs in die während der Kompression hoch verdichtete und erwärmte Verbrennungsluft – wurde bei diesem Motor bestätigt.

Beim zweiten Versuchsmotor wurde der Kraftstoff nicht direkt, sondern mithilfe von Druckluft eingespritzt und zerstäubt. Zudem erhielt er eine Wasserkühlung.

Doch erst mit dem dritten Versuchsmotor – einer Neukonstruktion mit einer einstufigen Luftpumpe zur Drucklufteinblasung – gelang der Durchbruch. Am 17. Februar 1897 führte Prof. Moritz Schröder von der Technischen Hochschule München die Abnahmeversuche durch. Die Messergebnisse bestätigten den für eine Verbrennungskraftmaschine seinerzeit hohen Wirkungsgrad von 26,2 %.

Patentstreitigkeiten und Auseinandersetzungen mit dem Diesel-Konsortium hinsichtlich der Entwicklungsstrategie sowie Misserfolge beanspruchten die geistigen und körperlichen Kräfte des genialen Erfinders. Vermutlich stürzte er sich auf einer Kanalüberfahrt nach England am 29. September 1913 in die Fluten.

## Gemischbildung der ersten Dieselmotoren

### Drucklufteinblasung

Rudolf Diesel hatte nicht die Möglichkeit, den Kraftstoff auf die für Strahlausbreitung, Strahlerfall und Tropfenbildung erforderlichen Drücke zu verdichten. Der erste Dieselmotor aus dem Jahr 1897 arbeitete deshalb mit Drucklufteinblasung, bei der der Kraftstoff mithilfe von Druckluft in den Zylinder eingebracht wurde. Dieses Verfahren wandte später auch Daimler für seine Lkw-Dieselmotoren an.

Das Einspritzventil besaß einen Anschluss für die Druckluft (Bild 1, Pos. 1) sowie einen

Anschluss für die Kraftstoffzuführung (2). Ein Kompressor erzeugte die Druckluft, die in das Ventil einströmte. Bei geöffneter Einspritzdüse (3) riss die in den Brennraum einströmende Luft den Kraftstoff mit und erzeugte in dieser Zweiphasenströmung die für eine schnelle Tropfenverdampfung und damit für die Selbstentzündung erforderlichen feinen Tröpfchen.

Ein Nocken sorgte für die kurbelwellensynchrone Betätigung der Einspritzdüse. Die einzuspritzende Kraftstoffmenge wurde über den Kraftstoffdruck gesteuert. Da der Einspritzdruck von der Druckluft erzeugt wurde, reichte als Kraftstoffdruck ein geringer Wert aus.

Das Problem bei diesem Verfahren war – aufgrund des niedrigen Drucks an der Einspritzdüse – die geringe Eindringtiefe des Luft-Kraftstoff-Gemischs in den Brennraum. Deshalb war diese Gemischbildung für höhere Einspritzmengen (höhere Motorlasten) und Drehzahlen nicht geeignet. Die eingeschränkte Strahlausbreitung verhinderte die zur Leistungssteigerung erforderliche Luftausnutzung und ergab mit zunehmender Einspritzmenge lokale Überfettungen mit

1 Einspritzventil für die Drucklufteinblasung aus der Entstehungszeit des Dieselmotors (1895)

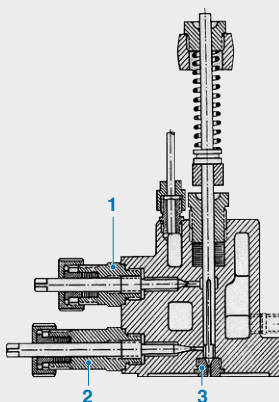


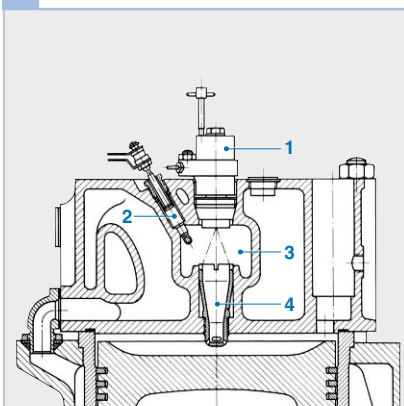
Bild 1

- 1 Druckluftzuführung
- 2 Kraftstoffzuführung
- 3 Einspritzdüse

Bild 2

- (Bildquelle: Daimler)
- 1 Brennstoffventil
  - 2 Glühspirale zum Anwärmen der Vorkammer
  - 3 Vorkammer
  - 4 Zündensatz

2 Prinzip des Vorkammermotors



drastischem Rauchanstieg. Die Verdampfungszeit der relativ großen Kraftstofftropfen ließ zudem eine nennenswerte Steigerung der Motordrehzahl nicht zu. Ein weiterer Nachteil dieses Motors war der enorme Platzbedarf des Kompressors. Trotzdem konnte dieses Prinzip damals in Lkw eingesetzt werden.

### Vorkammermotor

Beim Benz-Diesel handelte es sich um einen Vorkammermotor. Bereits 1909 hatte Prosper L'Orange dieses Verfahren zum Patent angemeldet. Mit dem Vorkammerprinzip konnte auf die komplizierte und aufwändige Lufteinblasung verzichtet werden. Die Gemischbildung im Hauptbrennraum dieses bis in die gegenwärtige Zeit angewandten Verfahrens wird durch eine Teilverbrennung in der Nebenkammer sichergestellt. Der Vorkammermotor verfügt über einen speziell geformten Verbrennungsraum, der einen halbkugelförmigen Kopf aufweist. Vorkammer und Brennraum sind über kleine Bohrungen miteinander verbunden. Das Volumen der Vorkammer beträgt ungefähr ein Fünftel des Kompressionsraums.

Die gesamte Kraftstoffmenge wird mit ca. 230 bis 250 bar in die Vorkammer eingespritzt. Wegen des begrenzten Luftangebots in der Vorkammer kann nur ein geringer Teil des Kraftstoffs verbrennen. Infolge der durch die Teilverbrennung bedingten Druckerhöhung in der Vorkammer wird der unverbrannte bzw. teilweise geackerte Kraftstoff in den Hauptbrennraum gedrückt, wo er sich mit der Luft im Hauptbrennraum vermischt, entzündet und verbrennt.

Die Vorkammer hat hier die Aufgabe des Gemischbildners. Dieses Verfahren – auch als indirekte Einspritzung bezeichnet – hat sich schließlich durchgesetzt und so lange behauptet, bis die Entwicklung der Ein-

spritztechnik die zur Gemischbildung im Hauptbrennraum erforderliche Einspritzdrücke lieferte.

### Direkteinspritzung

Der erste Dieselmotor der Firma MAN arbeitete mit Direkteinspritzung, bei der der Kraftstoff über eine Einspritzdüse direkt in den Brennraum gelangt. Als Kraftstoff wurde ein sehr leichtes Öl eingesetzt, das von einem Kompressor in den Brennraum eingespritzt wurde. Durch den Kompressor waren die Abmessungen des Motors beträchtlich.

Im Nutzfahrzeugbereich tauchten direkteinspritzende Motoren wieder in den 1960er-Jahren auf und verdrängten langsam die Vorkammermotoren. Im Pkw-Sektor konnten sich die Vorkammermotoren wegen ihres geringeren Verbrennungsgeräusch bis in die 1990er-Jahre behaupten und wurden dann aber in kurzer Zeit vom Direkteinspritzer verdrängt.

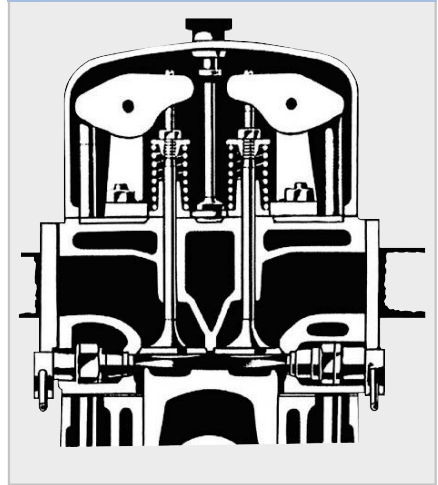
## Einsatz der ersten Fahrzeug-Dieselmotoren

### Dieselmotor in Nutzfahrzeugen

Die ersten Dieselmotoren waren aufgrund der hohen Zylinderdrücke große und schwere Aggregate und damit für den mobilen Einsatz in Fahrzeugen völlig ungeeignet. Erst Anfang der 1920er-Jahre konnten die ersten Dieselmotoren in Nutzfahrzeuge eingebaut werden.

Unterbrochen durch den Ersten Weltkrieg führte Prosper L'Orange – Vorstandsmitglied von Benz & Cie – die Entwicklungsarbeit am Dieselmotor weiter. Im Jahr 1923 wurden die ersten Dieselmotoren für Straßenfahrzeuge in Fünftonner-Lkw eingebaut. Diese Vierzylinder-Vorkammermotoren mit 8,8 l Hubraum leisteten 45...50 PS. Die erste Probefahrt mit dem Benz-Lkw fand am 10. September statt. Als Kraftstoff wurde Braunkohlenteeröl verwendet. Der Kraftstoffverbrauch lag gegenüber den Benzolmotoren um 25 % niedriger. Zudem kosteten Betriebsstoffe wie Braunkohlenteeröl weit we-

3 Erster Fahrzeugdiesel mit Direkteinspritzung (MAN, 1924)



niger als das hoch besteuerte Benzol. Bereits vor dem Ersten Weltkrieg beschäftigte sich auch die Firma Daimler mit der Weiterentwicklung des Dieselmotors. Nach Kriegsende wurde an Dieselmotoren für Nutzfahrzeuge gearbeitet. Fast zeitgleich mit dem Benz-Lkw konnte am 23. August 1923

4 Der stärkste Diesel-Lkw der Welt aus dem Jahr 1926 von MAN mit 150 PS (110 kW) für eine Nutzlast von 10 t





die erste Versuchsfahrt stattfinden. Ende September 1923 führte eine weitere Versuchsfahrt vom Berliner Daimler-Werk nach Stuttgart und zurück.

Die ersten Lkw-Serienmodelle mit Dieselmotor waren 1924 auf der Automobilausstellung in Berlin zu sehen. Drei Hersteller waren mit jeweils unterschiedlichen Systemen vertreten, sie hatten die Diesel-Entwicklung mit eigenen Ideen vorangetrieben.

- Der Dieselmotor von Daimler mit Drucklufteinblasung,
- der Benz-Diesel mit Vorkammer,
- der Dieselmotor der Firma MAN mit Direkteinspritzung.

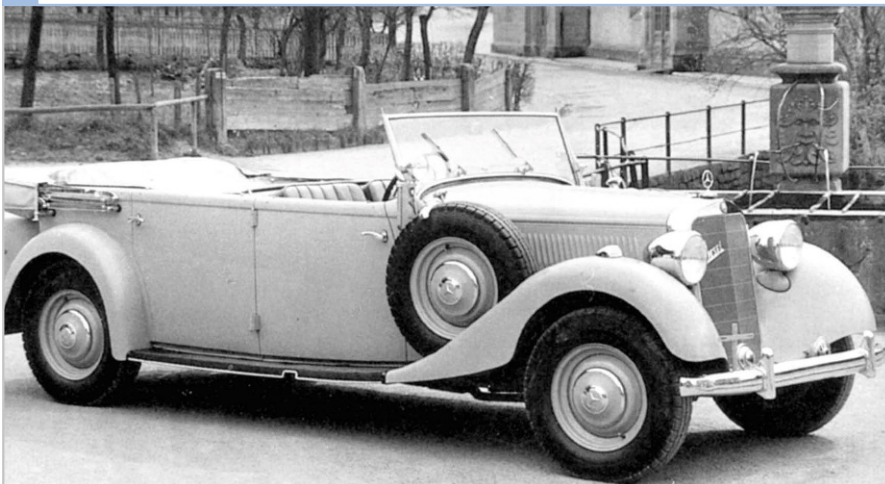
Im Laufe der Zeit wurden die Dieselmotoren immer leistungsfähiger. Die ersten Typen waren Vierzylinderaggregate mit einer Leistung von 40 PS. Bereits 1928 waren Motorleistungen von mehr als 60 PS keine Seltenheit mehr. Schließlich wurden für schwere Nutzfahrzeuge noch leistungsstärkere Motoren mit sechs und acht Zylindern gefertigt.

Im Jahr 1932 reichte das Leistungsspektrum bis 140 PS.

Der Durchbruch des Dieselmotors kam 1932 mit einem Lastwagenprogramm der Firma Daimler-Benz, die 1926 aus der Fusion der Automobilhersteller Daimler und Benz hervorging. Angeführt wurde dieses Programm vom Modell Lo2000 mit einer Nutzlast von 2 t und einem Gesamtgewicht von knapp 5 t. In ihm war der Vierzylindermotor OM59 mit 3,8 l Hubraum und 55 PS eingebaut. Das Programm reichte bis zum L5000 (Nutzlast 5 t, Gesamtgewicht 10,8 t). Alle Fahrzeuge waren auch mit Ottomotor gleicher Leistung lieferbar, der gegen den wirtschaftlichen Dieselmotor aber nicht bestehen konnte.

Bis heute hat der Dieselmotor im Nutzfahrzeugbereich weltweit aufgrund seiner Wirtschaftlichkeit seine dominierende Stellung beibehalten. Nahezu alle schweren Nutzfahrzeuge werden von einem Dieselmotor angetrieben. Dabei handelt es sich in Japan fast

5 Erster Diesel-Pkw: Mercedes-Benz 260D aus dem Jahr 1936 mit einer Motorleistung von 45 PS (33 kW) und einem Kraftstoffverbrauch von 9,5 l/100 km



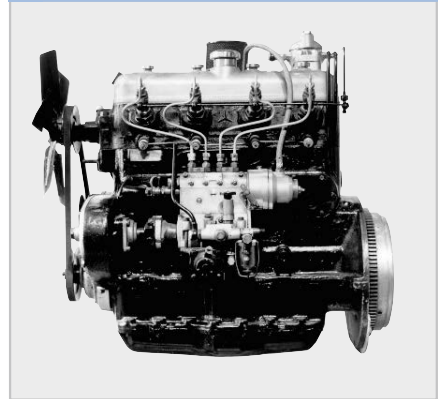
ausschließlich um großvolumige Saugmotoren. In den USA und Europa haben sich dagegen die hoch aufgeladenen Motoren mit Ladeluftkühlung durchgesetzt.

### Dieselmotor in Pkw

Bis der Dieselmotor im Pkw Einzug halten konnte, sollten noch einige Jahre vergehen. 1936 war es so weit – der Mercedes 260D wurde mit einem Vierzylinder-Dieselmotor und einer Leistung von 45 PS ausgeliefert.

Als Antriebsaggregat für Pkw führte der Dieselmotor lange Zeit ein Schattendasein. Im Vergleich zum Ottomotor war er zu „lahm“. Erst in den 1990er-Jahren änderte sich das Erscheinungsbild. Mit der Abgas-turboaufladung und neuen Hochdruck-Einspritzsystemen ist der Dieselmotor dem Ottomotor mittlerweile gleichwertig. Leistung und Umweltverhalten sind vergleichbar. Da der Dieselmotor im Gegensatz zum Ottomotor nicht klopft, kann er auch im unteren Drehzahlbereich hoch aufgeladen werden, was ein hohes Drehmoment und sehr gutes Fahrverhalten bedingt. Ein weiterer Vorteil des Dieselmotors ist natürlich sein guter Wirkungsgrad. Das führt auch zu einer wachsenden Akzeptanz beim Autofahrer – in Europa ist mittlerweile rund jeder zweite neu zugelassene Pkw ein Diesel.

6 Bosch-Reiheneinspritzpumpe am Motor des Mercedes 260D



### Weitere Einsatzgebiete

Mit dem Ende der Ära von Dampf- und Segelschiffen auf den Weltmeeren Anfang des 20. Jahrhunderts trat der Dieselmotor auch als Antriebsquelle für diese Verkehrsmittel in Erscheinung. Das erste mit einem 25-PS-Dieselmotor ausgerüstete Schiff ging 1903 in Betrieb. Die erste von einem Dieselmotor angetriebene Lokomotive wurde 1913 vorgestellt. Die Motorleistung betrug 1000 PS. Aber auch die Luftfahrtpioniere zeigten Interesse am Dieselmotor. An Bord der Graf Zeppelin sorgten Dieselmotoren für den Vortrieb.

## Bosch-Dieseinspritzung

### Boschs Einstieg in die Dieseltechnik

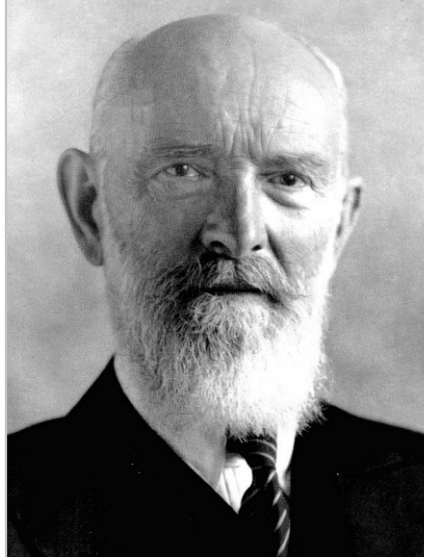
Robert Bosch (1861–1942) eröffnete 1886 in Stuttgart eine „Werkstätte für Feinmechanik und Elektrotechnik“. Er beschäftigte einen weiteren Mechaniker und einen Lehrling. Am Anfang lag sein Arbeitsgebiet in der Installation und Reparatur von Telefonen, Telegrafien, Blitzableitern und anderen feinmechanischen Tätigkeiten.

Die von Bosch entwickelte Niederspannungs-Magnetzündung sorgte seit 1897 für die zuverlässige Zündung im Benzinmotor. Dieses Produkt war der Ausgangspunkt für die rasche Expansion des Unternehmens von Robert Bosch. 1902 folgte dann die Hochspannungs-Magnetzündung mit Zündkerze. Der Anker dieser Zündanlage ist noch heute im Logo der Firma Robert Bosch GmbH enthalten.

1922 wandte sich Robert Bosch dem Dieselmotor zu. Er glaubte, dass bestimmte Zubehörteile für diese Motoren einmal in ähnlicher Weise geeignete Gegenstände für die Bosch-Präzisionsmengenfertigung abgeben könnten wie die Magnetzündler und Zündkerzen. Die Zubehörteile für Dieselmotoren waren Einspritzpumpen und Einspritzdüsen.

Schon Rudolf Diesel wollte den Kraftstoff unmittelbar einspritzen, konnte es aber nicht durchführen, weil die hierfür erforderlichen Einspritzpumpen und -düsen nicht zur Verfügung standen. Diese Einspritzpumpen mussten, im Gegensatz zu der bei der Drucklufteinblasung verwendeten Kraftstoffpumpen, für Gegendrucke bis zu mehreren hundert Atmosphären geeignet sein. Die Einspritzdüsen mussten ganz feine Austrittsöffnungen erhalten, weil jetzt der Pumpe und der Düse allein die Aufgabe zufiel, den Kraftstoff zu dosieren und zu zerstäuben.

1 Robert Bosch



Die Einspritzpumpen, die Bosch entwickeln wollte, sollten nicht nur den Anforderungen aller damals bestehenden Schweröl-Kleinmotoren mit unmittelbarer Kraftstoffeinspritzung, sondern auch künftigen Kraftfahrzeug-Dieselmotoren gewachsen sein. Am 28. Dezember 1922 wurde der Beschluss zur Aufnahme dieser Entwicklung gefasst.

### Anforderungen an die Einspritzpumpen

Die zu entwickelnde Einspritzpumpe sollte imstande sein, auch kleine Mengen Kraftstoff mit nur ganz geringen Unterschieden bei den einzelnen Pumpenelementen einzuspritzen. Damit war ein runder und gleichförmiger Motorlauf auch bei niedrigen Leerlaufdrehzahlen möglich. Für den Vollastbedarf musste sich die Fördermenge auf das Vier- oder Fünffache steigern lassen. Die erforderlichen Einspritzdrücke betragen damals schon über 100 bar. Bosch forderte, dass diese Eigenschaften der Pumpe über 2000 Betriebsstunden gewährleistet sein soll-

ten. Das waren für den damaligen Stand der Technik hohe Anforderungen. Nicht nur strömungstechnisch war einiges zu leisten, auch für die Fertigungs- und Werkstofftechnik war diese Vorgabe eine Herausforderung.

### Entwicklung der Einspritzpumpe

Zunächst wurden verschiedene Pumpenbauarten erprobt. Die Pumpen hatten teils Schieber-, teils Ventilsteuerung. Die Einspritzmenge wurde durch Verändern des Kolbenhubs geregelt. Bereits Ende 1924 stand eine Pumpenbauart zur Verfügung, die in Bezug auf ihre Förderleistung, ihre Dauerhaftigkeit und ihren geringen Raumbedarf den Ansprüchen sowohl des auf der Berliner Automobilausstellung vorgestellten Vorkammermotors der Benz-Werke als auch des

MAN-Direkteinspritzers genügte.

Im März 1925 sicherte sich Bosch durch Verträge mit der Acro AG die Übernahme der Verwertung der Acro-Patente auf ein Dieselmotorsystem mit Luftspeicher und der dazugehörigen Einspritzpumpe und -düse. Die Acro-Pumpe, von Franz Lang in München entwickelt, war eine Einspritzpumpe an sich bekannter Art. Sie hatte aber einen besonderen Steuerschieber mit Schrägkante, der zum Regeln der Fördermenge gedreht wurde. Später verlagerte Lang diese Steuerkante an den Pumpenkolben.

Die Fördereigenschaften der Acro-Einspritzpumpe entsprachen zwar nicht dem, was Boschs eigene Versuchspumpen geboten hatten. Bosch wollte aber mit dem Acro-Motor mit einem für kleine Zylindereinheiten und hohe Drehzahlen besonders geeig-

2 Ausführung einer Bosch-Einspritzpumpe von 1923/1924

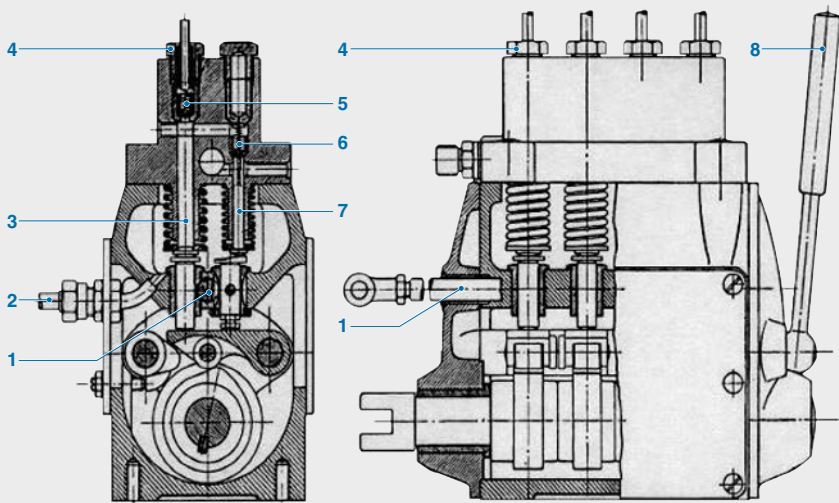


Bild 2

- 1 Regelstange
- 2 Zulaufanschluss
- 3 Pumpenkolben
- 4 Druckleitungsanschluss
- 5 Druckventil
- 6 Saugventil
- 7 Ventilstoßel
- 8 Abstell- und Aufpumphebel

neten Dieselmotor in Berührung kommen und auf diese Weise einen festen Boden für die Weiterentwicklung von Einspritzpumpen und -düsen gewinnen. Daneben hatte Bosch der Gedanke geleitet, durch Vergabe von Lizenzen auf die Acro-Patente an Motorfabriken die Ausbreitung des Fahrzeug-Dieselmotors zu fördern und damit zur Motorisierung des Verkehrs beizutragen.

Nach dem Ausscheiden Langs aus der Firma im Oktober 1926 verschob sich der Schwerpunkt der Tätigkeit im Hause Bosch wieder hin zur Pumpenentwicklung. Bald darauf entstand die erste serienreife Bosch-Dieseinspritzpumpe.

### Serienreife Bosch-Dieseinspritzpumpe

Die Bosch-Einspritzpumpe hatte wie schon dem Plan des Konstrukteurs von 1925 entsprechend und wie die abgeänderte Acro-Pumpe eine schräg verlaufende Steuerkante am Pumpenkolben. Sonst unterschied sie sich aber wesentlich von all ihren Vorgängern.

Anstelle des außen liegenden Hebelwerks der Acro-Pumpe zum Verdrehen der Pumpenkolben trat die gezahnte Regelstange, die in Ritzel auf Regelhülsen der Pumpenelemente eingreift.

Um die Druckleitung am Ende der Einspritzung zu entlasten und ein Nachtropfen von Kraftstoff zu verhindern, wurde das Druckventil der Pumpe mit einem saugend in die Ventilführung eingepassten Kölbchen

3 Erste Serien-Dieseinspritzpumpe von Bosch (1927)

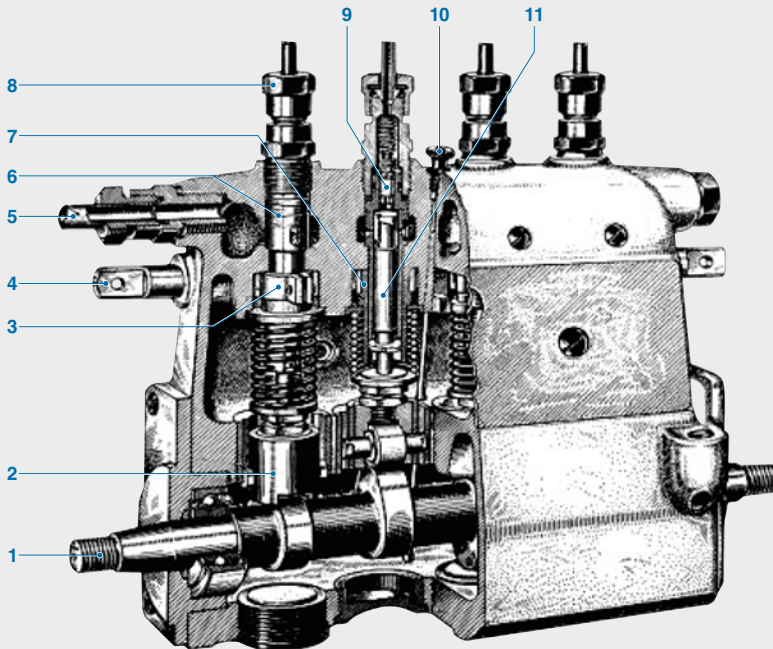
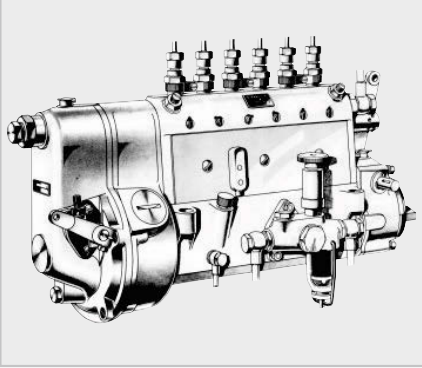


Bild 3

- 1 Nockenwelle
- 2 Rollenstößel
- 3 Zahnsegment
- 4 Regelstange
- 5 Zulaufanschluss
- 6 Pumpenzylinder
- 7 Regelhülse
- 8 Druckleitungsanschluss
- 9 Druckventil mit Kölbchen
- 10 Ölpegel
- 11 Pumpenkolben

4 Bosch-Einspritzpumpe mit angebautem Fliehkraftregler



versehen. Dadurch wurde im Gegensatz zu den früher angewendeten Entlastungsmitteln eine große Stetigkeit der Förderung bei verschiedenen Drehzahlen und Mengeneinstellungen erreicht und das Einstellen von Mehrzylinderpumpen auf gleiche Förderung aller Elemente wesentlich erleichtert und verkürzt.

Der einfache und klare Aufbau ermöglichte ein einfaches Zusammensetzen und Prüfen der Einspritzpumpe. Zudem wurde der Ersatz von Teilen gegenüber früheren Bauarten wesentlich erleichtert. Das Gehäuse entsprach in erster Linie den Anforderungen der Gießerei und der übrigen Fertigung. Die ersten Muster dieser wirklich für Mengenfertigung geeigneten Bosch-Einspritzpumpe wurden im April 1927 hergestellt. Die Freigabe für die Fertigung in größerer Stückzahl und in Ausführungen für Zwei-, Vier- und Sechszylindermotoren erfolgte am 30. November 1927, nachdem sich die Muster in der scharfen Prüfung im Hause und im praktischen Betrieb ausgezeichnet bewährt hatten.

## Düsen und Düsenhalter

Die Entwicklung der Einspritzdüsen und Düsenhalter verlief parallel zur Pumpenentwicklung. Zunächst wurden Zapfendüsen für Vorkammermotoren eingesetzt. Mit dem Einsatz der Bosch-Pumpe für den direkt-einspritzenden Dieselmotor kamen Anfang 1929 die Lochdüsen hinzu.

Düsen und Düsenhalter wurden in ihrer Größe immer sofort den neu aufgenommenen Pumpengrößen angepasst. Die Motorenhersteller wünschten dann bald auch, dass der Düsenhalter mit der Düse in gleicher Weise in den Zylinderkopf eingeschraubt werden kann wie die Zündkerze beim Ottomotor. Bosch stellte sich auf diesen Wunsch ein und fertigte einschraubbare Düsenhalter.

5 Werbeplakat für die Bosch-Dieseinspritzung

