

# Entwicklungstendenzen auf dem Gebiet der Ottomotoren

Prof. Dr. techn. D. Gruden

Dr.-Ing. K. Becker  
Dipl.-Ing. E. Berger  
Dipl.-Ing. W. Bockelmann  
Dipl.-Ing. C. v. Eberan-Eberhorst  
Dr. Dipl.-Phys. A. Felske  
Dipl.-Ing. A. Förster  
Dipl.-Ing O. Glöckler  
Dipl.-Ing. K. Hirschfelder  
Dr.-Ing. H. Koch  
Dr.-Ing. E. Krieger

Dipl.-Ing. R. Merkle  
Dipl.-Ing. (FH) B. Nierhauve  
Dipl.-Ing. M. Nonnenmacher  
Dipl.-Ing. E. Ripberger  
Dr.-Ing. G. Schmidt  
Dipl.-Ing. J. Steinwart  
Dr.-Ing. L. Theilemann  
Dipl.-Ing. W. Wolsing  
Dr.-Ing. M. Zechall

Mit 413 Bildern und 110 Literaturstellen



Kontakt & Studium  
Band 404

Herausgeber:  
Prof. Dr.-Ing. Wilfried J. Bartz  
Technische Akademie Esslingen  
Weiterbildungszentrum  
DI Elmar Wippler  
expert verlag

**expert**  **verlag**

# Inhaltsverzeichnis

---

Herausgeber-Vorwort  
Autoren-Vorwort

<b>1</b>	<b>Umwelt und Verkehr</b>	
	<b>Maßnahmen zur Minderung der Umweltbelastungen des Verkehrs</b>	<b>1</b>
	G.-A. Ahrens, K. Becker	
1.1	Einführung	1
1.2	Ausgangssituation	2
1.2.1	Umweltbelastung durch den Verkehr	2
1.2.1.1	Verkehrsentwicklung	2
1.2.1.2	Luftverunreinigung	5
1.2.1.3	Verkehrslärm	8
1.2.1.4	Landschaftsverbrauch	9
1.2.1.5	Weitere Belastungen	9
1.3	Maßnahmen	10
1.3.1	Fahrzeugtechnische Maßnahmen	10
1.3.1.1	Verringerung von Schadstoffemissionen und des Kraftstoffverbrauchs bei Kfz	11
1.3.1.2	Verringerung des Verkehrslärms	12
1.3.2	Verkehrsbeeinflussende Maßnahmen	13
1.4	Zusammenfassung	16
<b>2</b>	<b>Berechnungen von Ottomotoren, Triebwerksdynamik und Strukturmechanik</b>	<b>17</b>
	K. Hirschfelder	
2.1	Einleitung	17
2.2	Berechnung der Triebwerksdynamik	17
2.2.1	Programmsystem Mechanik zur Analyse von Motorkonzepten	19
2.2.2	Berechnung freier Massenwirkungen	20
2.2.3	Berechnung von Lagerkräften	22
2.2.4	Gleitlagerberechnung	23
2.2.5	Torsionsschwingungsberechnung	28

2.3	Motorberechnungen mit Hilfe von FE-Methoden	32
2.3.1	Verformungsanalyse eines Kurbelgehäusesegments	33
2.3.2	Dynamik des Motor-Getriebeverbandes	36
2.3.3	Akustisches Verhalten einer Sauganlage	37
2.3.4	Formoptimierung eines Pleuels	52
2.4	Zusammenfassung	60
<b>3</b>	<b>Berechnung: Ladungswechsel</b>	<b>61</b>
	L. Theilemann	
3.1	Einleitung	61
3.2	Vor- und rücklaufende Wellenanteile	62
3.3	Schwingrohraufladung	66
3.4	Porsche-Resonanzaufladung	72
3.5	Berechnung der Resonanzdrehzahl	77
3.6	Resonanzaufladung beim 3,6 Liter Carrera-Motor	80
3.7	Resonanzaufladung beim 928 S4-Motor	85
3.8	Zusammenfassung	86
<b>4</b>	<b>Werkstoffe für moderne Ottomotoren</b>	<b>87</b>
	R. Merkle	
4.1	Einleitung	87
4.2	Technisch-ökonomische Bedeutung der Werkstoffe	88
4.3	Standardwerkstoffe für Ottomotoren	90
4.4	Alternative Werkstoffe	96
4.5	Recycling	106
4.6	Abschätzung der künftigen Werkstoffanwendung in Ottomotoren	109
<b>5</b>	<b>Entwicklung von PKW-Kolben</b>	<b>111</b>
	E. Ripberger	
5.1	Einleitung	111
5.2	Kolbenbauarten	112
5.3	Entwicklungsabläufe	114
5.4	Konstruktionsgrößen	117
5.4.1	Kolbengewicht	118
5.4.2	Kompressionshöhe (KH)	120
5.4.3	Zusammenfassung der Kolbenhauptabmessungen	123

5.5	Entwicklungstrends	125
5.5.1	Kolbenreibung	126
5.6	Kolbenbauarten	127
5.6.1	Geräusch- und reibungsarme Kolbenbauarten	127
5.6.2	Gewichtsleichte Kolbenbauarten	130
5.6.3	Asymmetrische Kolbenbauarten	131
5.7	Zusammenfassung	133
<b>6</b>	<b>Moderne Gemischbildungssysteme</b>	<b>135</b>
	O. Glöckler	
6.1	Einleitung	135
6.2	Anforderungen an moderne Gemischbildungssysteme	137
6.3	Merkmale moderner Gemischbildungssysteme	140
6.4	Ausführungen moderner Gemischbildungssysteme	142
6.4.1	Motronic	142
6.4.2	Mono-Motronic	151
6.5	Zusammenfassung und Ausblick	154
<b>7</b>	<b>Moderne Zündsysteme</b>	<b>157</b>
	M. Zechnall, R. Schleupen, A.-M. Langner	
7.1	Einleitung	157
7.2	System	157
7.2.1	Aufgaben der Zündung	157
7.2.2	System Elektronische Zündung EZ	159
7.3	Funktionen	160
7.3.1	Funktionsumfang Zündung	160
7.3.2	Hochspannungsverteilung	161
7.3.3	Ruhende Verteilung	162
7.3.4	Klopfregelung	163
7.4	Wesentliche Parameter	165
7.4.1	Zündspannungsbedarf, -angebot, Sekundärspannungsverlauf	166
7.4.2	Funkenbrennspannung und Funkenstrom	168
7.4.3	Einfluß der sekundären Lastkapazität	169
7.4.4	Energieverteilung bei rotierender Verteilung	169
7.4.5	Nebenschluß	170
7.4.6	Folgefunken	170
7.4.7	Vergleich Primärenergie rotierende Verteilung (ROV) und ruhende Verteilung (RUV)	171
7.5	Zündspulen	172
7.5.1	Asphalt- und Kunststoff-Zündspule	172

7.5.2	Einzelspule	173
7.5.3	Mehrfachfunkenpule	174
7.6	Steuergeräte	174
7.6.1	Transistorzündung	174
7.6.2	Elektronische Zündung	174
7.6.3	Motronic	175
7.7	Zusammenfassung	177
<b>8</b>	<b>Aufladung von Ottomotoren, moderne Aufladesysteme</b>	<b>178</b>
	W. Bender, A. Förster	
	Kurzfassung	178
8.1	Einleitung	178
8.2	Stand der Technik	179
8.3	KKK-Ro-Lader	181
8.4	Beschreibung des Versuchsmotors	182
8.5	Versuchsergebnisse	183
8.5.1	Vollastvergleich Mechanische Aufladung – Turboaufladung	183
8.5.2	Drehmomentoptimierte Aufladung	185
8.5.3	Turbolader im Abgasnebenstrom	189
8.5.4	Instationärer Ladedruckaufbau	195
8.6	Zusammenfassung	196
<b>9</b>	<b>Moderne Entwicklungswege bei der Auslegung eines Abgassystems</b>	<b>198</b>
	E. Krieger	
9.1	Einleitung	198
9.2	Leistungs-/Drehmomentoptimierung	199
9.3	Ermittlung der empirischen Faktoren durch Prinzipversuche	207
9.4	Übertragung und Abstimmung an einer „heißen“ Anlage	210
9.5	2. Beispiel einer Optimierung einer Serienschalldämpferanlage	215
9.6	Zusammenfassung	217
<b>10</b>	<b>Tendenzen der Katalysatorentwicklung für moderne Ottomotoren</b>	<b>221</b>
	W. F. Wolsing, W. Kruse, A. Punke, G. Rickert	
	Zusammenfassung	221
10.1	Einleitung	221

10.2	Anforderungen an das Katalysatorsystem	225
10.3	Beschichtungsoptimierung	225
10.3.1	Thermische Stabilisierung der Beschichtung	225
10.3.2	Edelmetallreduzierung: Variation des Pt/Rh-Verhältnisses	229
10.3.3	Ersatz von Platin durch Palladium	234
10.4	Indirekte Einflußgrößen des Katalysatorsystems	235
10.4.1	Kraftstoff-/Luftverhältnis am Katalysator	236
10.4.2	Konvertergeometrie	236
10.4.3	Katalysatorposition	236
10.4.4	Katalysatorträger	241
10.5	Weitere Entwicklungstendenzen	246
10.5.1	Beheizte Katalysatoren	246
10.5.2	H <sub>2</sub> S-Emissionen	247
10.5.3	Katalysatoren für alternative Kraftstoffe	248
10.6	Ausblick	249
<b>11</b>	<b>Wärmeaustauscher und neue Kühlsysteme für die Motorenkühlung</b>	<b>250</b>
	M. Nonnenmann	
11.1	Luft/Kühlmittel-Kühler	250
11.1.1	Geklebte Fügung	250
11.1.2	Mechanische Fügung	250
11.1.3	Gelötete Fügung	250
11.2	Öl/Kühlmittel-Kühler	260
11.3	Öl/Luft-Kühler	260
11.4	Ladeluft/Luft-Kühler	260
11.5	Visco-Kupplung	265
11.6	Lüfter und Luftführung	265
11.7	Alternative Motorkühlsysteme	269
11.7.1	Verdampfungskühlung	269
11.7.2	Heißkühlung	271
11.8	Ausblick	273
<b>12</b>	<b>Kraftstoffe für Ottomotoren</b>	<b>275</b>
	B. Nierhauve	
12.1	Einleitung	275
12.2	Kraftstoffherstellung	275
12.2.1	Raffinerietechnik	275

12.2.2	Kraftstoffaufmischung/Komponenten	278
12.3	Ottokraftstoff-Kennwerte und ihre praktische Bedeutung	279
12.3.1	Kraftstoff-Flüchtigkeit und Fahrverhalten	279
12.3.2	Klopfestigkeit und Möglichkeiten zur Oktanzahlsteigerung	285
12.3.3	Sauerstoffhaltige Kraftstoffkomponenten (Oxygenates)	288
12.3.4	Additive	291
12.4	Marktsituation	292
12.4.1	Sortenstruktur BRD und DDR	292
12.4.2	Spannbreite marktüblicher Qualitäten und deren Auswirkungen	295
12.5	Aktuelle und zukünftige Aspekte	299
12.6	Alternative Kraftstoffe	305
12.7	Schlußbetrachtung	308
<b>13</b>	<b>Schmierstoffe für Ottomotoren</b>	<b>310</b>
	C. von Eberan-Eberhorst	
13.1	Einführung	310
13.2	Motorschmierstoff als Konstruktionselement	311
13.3	Historischer Rückblick	314
13.4	Anforderungen der Motoren	321
13.5	Leistungskriterien der Schmierstoffe	327
13.6	Spezifikationen und Testverfahren	330
13.7	Der Markt für Ottomotoren-Schmierstoffe	335
13.8	Entwicklungstendenzen	338
13.9	Zusammenfassung und Ausblick	341
<b>14</b>	<b>Moderne Motormeßtechnik : Abgas, Geräusche, Brennraum</b>	<b>351</b>
	A. Felske	
14.1	Abgasmeßtechnik	351
14.1.1	Abgaskomponenten und Meßverfahren	351
14.1.2	Konzept des neuen Abgasmeßsystems	352
14.1.3	Physikalische Grundlagen	353
14.1.4	Fourier-Transform-Infrarot-Spektrometer	354
14.1.5	Abgasdurchflußmessung mittels Tracergas-Verfahren	358
14.1.6	Aufbau des neuen Abgasmeßsystems	358
14.1.7	Verfügbarkeit	359
14.2	Geräusch- und Schwingungstechnik	360
14.2.1	Digitales Vielkanal-Schwingungsmeßsystem	360
14.2.2	Bewegungsformanalyse	362
14.2.3	Anwendungsbeispiele Aggregat-, „Biegelinie“	363

14.2.4	Rundumabstrahlung	366
14.3	Brennraummeßtechnik	368
14.3.1	Transparentmotor	368
14.3.2	Innermotorische Strömung	370
14.3.3	Entflammung und Flammenfortschritt	374
14.3.4	Verbrennung und Spektroskopie	377
<b>15</b>	<b>Der Audi V8-Motor</b>	<b>380</b>
	J. Steinwart	
15.1	Merkmale des Motors	382
15.2	Konstruktionsbeschreibung	382
15.3	Zylinderblock und Kurbeltrieb	384
15.3.1	Zylinderkurbelgehäuse	384
15.3.2	Kurbeltrieb	387
15.3.3	Kurbelwelle	387
15.3.4	Pleuel	388
15.3.5	Kolben	389
15.3.6	Kolbenringe	389
15.4	Ölkreislauf	390
15.4.1	Ölpumpe	390
15.4.2	Ölwanne	392
15.4.3	Ölwabe	392
15.4.4	Öldrucküberwachung	392
15.4.5	Kolbenkühlung	392
15.4.6	Ölrückhalteventile	393
15.4.7	Tassenstößel mit hydraulischem Ventilspielausgleich	393
15.4.8	Motorentlüftung und Ölrückführung	393
15.4.9	Ölkühler	394
15.5	Zylinderkopf	394
15.6	Ansaugsystem	396
15.7	Abgasführung bis zum Katalysator	400
15.7.1	Auspuffkrümmer	400
15.7.2	Abgasmischstrecke	400
15.8	Riementriebe	402
15.8.1	Nockenwellenantrieb	402
15.8.2	Antrieb der Nebenaggregate	403
15.9	Dauererprobung	404
15.10	Digitales Motorsteuerungssystem	405
15.11	Abgasentgiftung	408
15.12	Der Audi V8 für die Deutsche Tourenwagenmeisterschaft	409

<b>16</b>	<b>Die neuen BMW Vierventilmotoren</b>	<b>412</b>
	G. F. Schmidt	
16.1	Einleitung	412
16.2	Ziele	412
16.3	Konzeptmerkmale	414
16.4	Entwicklungsschwerpunkte	414
16.4.1	Zylinderkopfkonzept	414
16.4.2	Sauganlage	420
16.4.3	Ruhende Zündspannungsverteilung	421
16.5	Entwicklungsmethoden	423
16.5.1	CAD	424
16.5.2	CAE-Instrumente	425
16.6	Funktionsergebnisse	429
16.7	Resumé	432
<b>17</b>	<b>Die Auslegung der neuen Vierventilmotoren von Mercedes-Benz am Beispiel des V8-Motors</b>	<b>433</b>
	M. Grohn, E. Berger	
17.0	Einleitung	433
17.1	Kurbelgehäuse und Triebwerk	433
17.2	Aggregate	433
17.3	Saugrohr und Gemischaufbereitung	436
17.4	Zylinderkopf	437
17.4.1	Kanäle und Ventile	437
17.4.2	Brennraum	438
17.4.3	Steuerung/Nockenwellenversteller	438
17.5	Gasdynamische Auslegung	443
17.5.1	Zielvorgaben	446
17.5.2	Variation Auslaßventilerhebung	448
17.5.3	Analyse der Zustandsverläufe auf der Einlaßseite	448
17.5.4	Leerlauf	450
17.5.5	Ladungswechselerarbeit, Vollastcharakteristik	452
17.6	Der Wettbewerbsmotor (Gruppe C)	457
17.7	Schluß	460

<b>18</b>	<b>Die Entwicklung von Opel Vierventil-Motoren mit 2.0 l und 3.0 l Hubraum</b>	<b>461</b>
	W. Bockelmann	
18.1	Einleitung	461
18.2	Konstruktionsmerkmale der Motoren (Vergleich Zweiventiler zu Vierventiler)	462
18.2.1	Motordaten	462
18.2.1.1	Vergleich 2.0i/16 V zu 2.0i	462
18.2.1.2	Vergleich 3.0i/24 V zu 3.0i	464
18.2.2	Fahrzeugdaten	466
18.2.2.1	Vergleich 2.0i/16 V zu 2.0i	466
18.2.2.2	Vergleich 3.0/24 V zu 3.0i	469
18.2.3	Nockenwellen-Vergleich	469
18.3	Drehmomentcharakteristik	469
18.3.1	Mittlerer Drehzahlbereich entsprechend Hauptbetriebsbereich	469
18.3.2	Abstimmung der Ansaugsysteme	474
18.3.2.1	2.0i/16 V Ansaugsystem	474
18.3.2.2	3.0i/24 V Ansaugsystem	474
18.3.3	Drosselklappencharakteristik	479
18.4	Motorsteuerungssysteme	481
18.5	Wirkung der zylinderselektiven Klopfregelung – am Beispiel des 3.0i/24 V-Motors –	481
18.5.1	Drehmomentvergleich	481
18.5.2	Verbrauchsvergleich	484
18.6	Zusammenfassung	485
<b>19</b>	<b>Der 1,8 l-G80 Motor von Volkswagen</b>	<b>487</b>
	H. Koch	
19.0	Zusammenfassung	487
19.1	Triebwerk	487
19.1.1	Verbrennungsluftführung, Ladeluftkühlung	489
19.1.2	Zylinderkopf	491
19.1.3	Block, Kurbeltrieb, Ölversorgung	491
19.1.4	Abgasführung	492
19.1.5	Nebenaggregate	493
19.2	Arbeitsverfahren	495
19.2.1	Allgemeine Ziele	495
19.2.2	Motormanagement	495
19.2.3	Leistung, Drehmoment	499
19.3	G60-Lader	501

19.3.1	Warum mechanische Aufladung?	501
19.3.2	Der VOLKSWAGEN G60-Lader	502
19.3.3	Kinematik	503
19.3.4	Massenausgleich	503
19.3.5	Ölversorgung	505
19.3.6	Arbeitsweise/Abdichtung	505
19.3.7	Abdichtung	507
19.3.8	Bauteilauslegung	507
19.3.9	Kennwerte	511
19.4	Fahrzeugkenndaten	513
 <b>Literaturverzeichnis</b>		<b>514</b>
 <b>Sachregister</b>		<b>520</b>
 <b>Autorenverzeichnis</b>		<b>523</b>