Leichtbau im Antriebsstrang

Vielfältige praktische Erfahrungen
führen zu neuen Ideen des Leichtbaus

Dr.-Ing. Hermann Oetting (Hrsg.)

Dr. J. Abthoff
Dr.-Ing. Peter Amborn
Dipl.-Ing. (FH) K. Barnreiter
Dr.-Ing. J. Böhme
Franz-Friedrich Butz
Dipl.-Ing. Willi Gelse
Dipl.-Ing. Thomas Grünert
Dipl.-Ing. Werner Häming
Dipl.-Ing. F.-G. Hermsen
Dr.-Ing. Georg Heuser
Dr.-Ing. R. Hinz
Dr.-Ing. habil. W. Hoffmann
Dr.-Ing. H. Holdack-Janssen
Dipl.-Ing. Michael Joerres
Dr.-Ing. H. Kamp
Manfred Kloft
Dr.-Ing. F. Kücükay
H.-U. Kühnel
Dipl.-Ing. Jürgen Lang
Jürgen Luft
Dr.-Ing. Rudolf J. Menne
Gerd Ohrnberger
A. Rehr
Walter Riedl
Dipl.-Ing. E. Sander
Dipl.-Ing. M. Sanders
Dipl.-Ing. K. Schnarrenberger
Dipl.-Ing. Andreas Schneider
Thorsten Schulze
Dr.-Ing. M. Schwaderlapp
Dipl.-Ing. J. Trommer
Glenn A. Warren

Mit 285 Bildern, 23 Tabellen und 96 Literaturstellen

expert verlag

Inhaltsverzeichnis

1	**Leichtbau Motorteile**	**1**
1.1	**Leichte Kolben für Pkw Otto- und Dieselmotoren** H. Kamp	1
1.1.1	Einleitung	1
1.1.2	Leichtbau im Vergleich	2
1.1.2.1	Ottomotoren	2
1.1.2.2	Dieselmotoren	5
1.1.3	Methoden zur Gewichtsreduzierung bei Kolben	5
1.1.3.1	Werkstoffsubstitution	6
1.1.3.1.1	Alternativer Grundwerkstoff	6
1.1.3.1.2	Neue Gußlegierungen	7
1.1.3.1.3	Lokale Verstärkung	8
1.1.3.2	Konstruktive (geometrische) Optimierung	8
1.1.3.2.1	Ausführungsbeispiel für einen Ottomotorkolben	11
1.1.3.2.2	Ausführungsbeispiel für einen IDI-Dieselmotorkolben	16
1.1.3.2.3	Ausführungsbeispiel für einen DI-Dieselmotorkolben	18
1.1.4	Kolbenbolzen	23
1.1.5	Schlußfolgerungen	25
1.1.6	Zusammenfassung	25
1.1.7	Literaturverzeichnis	25
1.2	**Möglichkeiten und Ansätze zur Reduzierung der Masse am Pleuel aus Sicht des Motorenentwicklers** J. Böhme, W. Hoffmann	**27**
1.2.1	Die Anforderungen an Pleuelstangen für die Pkw-Mehrzylindermotoren	27
1.2.2	Zur Berechnung und Auslegung	32
1.2.3	Stand der Serienentwicklung bei Herstellung, Bearbeitung und Werkstoffen	37
1.2.4	Alternative Herstellverfahren und Werkstoffe	41
1.2.4.1	Pleuelstangen aus faserverstärkten Verbundwerkstoffen	41
1.2.4.2	Pleuelstangen aus Stahlblech	45
1.2.5	Zusammenfassung und Ausblicke	49
1.2.6	Literatur	49

1.3 Die Laufbahngestaltung in Aluminium-Zylinderkurbelgehäusen **51**
M. Kloft

1.3.1 Einleitung 51
1.3.2 Klassische Varianten der Zylinderlaufbahngestaltung 51
1.3.2.1 Nasse Graugußbuchsen 51
1.3.2.2 Trockene Graugußbuchsen 52
1.3.2.2.1 Eingegossene Buchsen 52
1.3.2.2.2 Eingeschrumpfte Buchsen 53
1.3.2.3 Legierung AlSi 17 Cu 4 Mg 54
1.3.2.4 Galvanische Nickeldispersionsbeschichtung der Zylinderlaufbahn 55
1.3.3 Neue Lösungen der Zylinderlaufbahngestaltung 55
1.3.3.1 Faserverstärkte Zylinderlaufbahn der Fa. Honda 55
1.3.3.2 Lokasil der Fa. Kolbenschmidt 56
1.3.3.3 Partikelverstärkte Aluminiumbuchsen 58
1.3.3.4 Thermische Beschichtung der Zylinderlaufbahn 59
1.3.4 Zusammenfassung 61
1.3.5 Literatur 61

1.4 Leichtbau im System Zylinderkopf – Verringerung von Gewicht und Reibung **62**
R. Hinz, F.-G. Hermsen, M. Schwaderlapp

1.4.1 Einleitung 62
1.4.2 Reibungsaufteilung 64
1.4.3 Maßnahmen zur Reibungs- und Massenreduktion im System Zylinderkopf 66
1.4.4 Maßnahmen zur Reibungs- und Massenreduktion an den Ventiltriebskomponenten 68
1.4.4.1 Nockenwelle 68
1.4.4.2 Übertragungsglieder Tassenstößel und Rollenhebel 68
1.4.4.3 Ventile 69
1.4.4.4 Ventilfedern 70
1.4.5 Schlußfolgerung 71
1.4.6 Literatur 72

1.5 Leichtbaukurbelgehäuse für einen aufgeladenen, direkteinspritzenden Dieselmotor **73**
J. Abthoff, W. Gelse, J. Lang, K. Schnarrenberger

1.5.1 Entwicklungsziele und Konzeption 73
1.5.2 Baugruppen und Bauteile 77
1.5.2.1 Zylinderkurbelgehäuse 77
1.5.2.2 Zylinderlaufbuchsen 80
1.5.2.3 Kurbelwellenlagerung 80

1.5.2.4 Steuergehäusedeckel 84
1.5.2.5 Ölwanne 84
1.5.2.6 Ölkreislauf 87
1.5.2.7 Motorkühlkreislauf und Nebenaggregate 88
1.5.3 Maßnahmen zur Optimierung des Geräuschkomforts 89
1.5.4 Zusammenfassung 91
1.5.5 Literaturhinweise 93

1.6 Leichtbaukurbelgehäuse mit Lokasil®-Technologie 94
G. Ohrnberger, A. Rehr, A. Schneider

1.6.1 Einleitung 94
1.6.1.1 Rückblick Kurbelgehäuseentwicklung bei Porsche 94
1.6.1.2 Erfahrungen aus bisherigen Eigen- und Kundenprojekten 94
1.6.2 Lokasil®-Technologie als Evolution zur Alusil®-Technologie 95
1.6.2.1 Gießverfahren 96
1.6.2.2 Oberflächenbearbeitung 98
1.6.2.3 Tribologie 98
1.6.2.4 Bisherige Ergebnisse 99
1.6.3 Vergleich verschiedener Kurbelgehäuse-Konzepte 100
1.6.3.1 Gießtechnik 100
1.6.3.2 Gewichte/Werkstoffkennwerte 100
1.6.3.3 Bearbeitung 101
1.6.3.4 Technologiebewertung 102
1.6.4 Zusammenfassung/Ausblick 103
1.6.5 Literaturverzeichnis 103

2 Leichtbau – Motoranbauteile 104

2.1 Leichtbau von Ansauganlagen durch werkstoffgerechte Auslegung und Integration von Komponenten 104
M. Sanders, H.-U. Kühnel

2.1.1 Einleitung 104
2.1.2 Stand der Technik 105
2.1.3 Möglichkeiten der Gewichtsreduktion 106
2.1.3.1 Geringe Werkstoffdichte 106
2.1.3.2 Dünne Wände 109
2.1.3.3 Vermeidung von Materialanhäufungen 110
2.1.3.4 Integration von Teilen und Komponenten 110
2.1.4 Gewichtserhöhende Randbedingungen 113
2.1.5 Ausblick 113

2.2 Elektromotorischer Systembaukasten (ESB) von VDO – Ansätze zur Gewichts- und Bauraumreduzierung 116
J. Luft

2.2.1 Einleitung 116
2.2.2 Die Komponenten 116
2.2.2.1 Der Drosselklappenstutzen 116
2.2.2.2 Die Bypasstellglieder zur Leerlaufregelung 118
2.2.2.3 Die Stellglieder zur Geschwindigkeitsregelung (Tempostat) 118
2.2.3 Der elektromotorische Systembaukasten (ESB) 119
2.2.3.1 Das Aufbaukonzept des ESB von VDO 120
2.2.3.2 Die Auswahl des Antriebskonzeptes für den ESB von VDO nach Leistungsfähigkeit, Bauraum und Gewicht 120
2.2.3.3 Reduzierung von Bauraumbedarf und Gewicht am Ansaugtrakt des Verbrennungsmotors durch die Einführung des Elektromotorischen Systembaukastens der neuesten Generation 121
2.2.3.4 Die konsequente Bauraum- und Gewichtsreduzierung am ESB von VDO über die Generationen 123
2.2.3.4.1 Veränderungen am System, die zu einer Gewichts- und Bauraumreduzierung im Stellglied führten 124
2.2.3.4.2 Veränderungen der Konstruktion, die zu einer Gewichts- und Bauraumreduzierung führten 124
2.2.3.5 Weitere Betrachtung der Komponenten des Elektromotorischen Systembaukastens hinsichtlich Gewichts- und Bauraumreduzierung 126
2.2.4 Potential zur weiteren Gewichtsreduzierung am ESB von VDO 127
2.2.5 Zusammenfassung 129

2.3 Gewichtsreduzierung im Antriebsstrang – Beitrag der Motorensteuerung von Ottomotoren 130
W. Häming

2.3.1 Einleitung 130
2.3.2 Motronic von 1990 130
2.3.3 Gewichtsveränderungen der Komponenten 131
2.3.3.1 Motronic-Steuergerät 131
2.3.3.2 Sensoren 133
2.3.3.3 Kraftstoffversorgung 134
2.3.3.4 Zündanlage mit rotierender Hochspannungsverteilung 136
2.3.3.5 Leerlaufsteller 137
2.3.3.6 Regenerierventil 137
2.3.4 Gewichtsreduzierung Gesamtsystem 138
2.3.5 Ausblick 139
2.3.5.1 Systemoptimierung 139

2.3.5.2 Module 140
2.3.6 Zusammenfassung 142
2.3.7 Literatur 142

2.4 Gewichtsreduzierung an Kompressoren für Pkw-Klimaanlagen 143
H.Holdack-Janssen

2.4.1 Einleitung 143
2.4.2. Stand der Technik bei Pkw-Klimaanlagen 144
2.4.2.1 Funktionsweise und Aufbau 144
2.4.2.2 Regelung der Klimaanlage 148
2.4.2.3 Antriebskonzept und Gewichte heutiger Kompressoren. 150
2.4.3 Grundsätzliche Möglichkeiten der Gewichtsreduzierung 151
2.4.3.1 Wahl eines anderen Antriebskonzeptes 151
2.4.3.2 Gewichtsreduzierung am offenen Kompressor mit Riemenantrieb 152
2.4.4 Die Verwendung von CO2 als Kältemittel 157
2.4.5 Zusammenfassung 161
2.4.6 Literatur 161

3 Leichtbau – Motoren 162

3.1 Potential zur Massenreduktion am Beispiel eines 4-Zylinder-Reihenmotors 162
R. Hinz, M. Schwaderlapp

3.1.1 Einleitung 162
3.1.2 Maßnahmen zum Leichtbau 162
3.1.3 Gewichtsaufteilung 164
3.1.4 Kurbelgehäuse 166
3.1.5 Zylinderkopf und Ventiltrieb 168
3.1.6 Kurbelwelle und Schwungrad 171
3.1.7 Schlußbetrachtung 172
3.1.8 Literatur 173

3.2 Leichtbau, Struktursteifigkeit und Laufkomfort 174
G. Heuser, G. A. Warren, R. J. Menne, M. Joerres, T. Grünert

3.2.1 Einleitung 174
3.2.2 Designauswahl am Beispiel des Kurbelgehäuses 174
3.2.2.1 Biegeeigenfrequenz 175
3.2.2.2 Beurteilung der Motorgewichte 177
3.2.2.3 Dichtsysteme 178
3.2.2.4 Abgestrahltes Geräusch 179
3.2.2.5 Gesamtbewertung des ausgewählten Konzeptes 181

3.2.3 Einfluß der Hauptlagerbauform auf das Eigenschwingungsverhalten, die Geräuschabstrahlung und die Geräuschqualität 182
3.2.4 Vergeich massiver zu hohlgegossener Kurbelwellenzapfen 185
3.2.5 Motorkonzept und Grundabmessungen 188
3.2.6 Technologischer Stand des Zetec-SE 189
3.2.6.1 NVH 189
3.2.6.2 Drehmoment- und Leistungscharakteristik 191
3.2.6.3 Kraftstoffverbrauch 192
3.2.6.4 Leerlaufqualität 193
3.2.6.5 Abgasanlage und Abgasnachbehandlung 194
3.2.7 Zusammenfassung 195
3.2.8 Literaturverzeichnis 196

3.3 Leichtbau am Beispiel des BMW Sechszylinder-Motors 197
W. Riedl

3.3.1 Entwicklungsziele und Maßnahmen 197
3.3.2 Hauptmerkmale und Nenndaten 198
3.3.3 Grundmotor 198
3.3.3.1 Kurbelgehäuse 199
3.3.3.2 Kurbeltrieb 200
3.3.3.3 Ventiltrieb 201
3.3.4 Anbauteile 201
3.3.4.1 Sauganlage 201
3.3.4.2 Abgassystem 203
3.3.5 Gewicht 204
3.3.6 Funktionsergebnisse 207
3.3.6.1 Drehmomentverlauf, Fahrleistungen 207
3.3.6.2 Kraftstoffverbrauch 209
3.3.6.3 Emissionen 209
3.3.6.4 Akustik 212

4 Leichtbau – Triebstrang 213

4.1 Leichtbau bei PKW-Getrieben durch Verwendung von Magnesium als Gehäusewerkstoff 213
K. Barnreiter

4.1.1 Einleitung 213
4.1.2 Grundlegendes und Geschichtliches 213
4.1.3 Produktion und Verwendung 214
4.1.4 Ausstieg und Wiedereinstieg in Magnesium bei AUDI: 215
4.1.5 Magnesium als Getriebegehäusewerkstoff 216
4.1.5.1 Werkstoffwahl 216

4.1.5.2 Gewichtsbetrachtung 216
4.1.5.3 Festigkeit 217
4.1.5.3.1 Beanspruchung aus Verzahnungs- und Lagerkräften 217
4.1.5.3.2 Schraubverbindungen 218
4.1.5.4 Korrosion 220
4.1.5.4.1 Kontaktkorrosion 220
4.1.5.4.2 Flächenkorrosion 221
4.1.5.5 Geräuschverhalten 221
4.1.5.6 Bearbeitung 222
4.1.5.7 Kosten 223
4.1.5.8 Recycling 223
4.1.6 Schlußbetrachtung 224
4.1.7 Literatur 224

4.2 Gewichtsreduzierung im PKW-Antriebsstrang 225
F. Küçükay

4.2.1 Einführung 225
4.2.2 Leichtbau durch „genaue Kenntnis über die Belastung" und „Belastungsreduzierung" 226
4.2.2.1 Kenntnis der Belastung 227
4.2.2.2 Belastungsreduzierung 229
4.2.2.2.1 Antriebsstrangbelastung bei hochdynamischem Anfahrvorgang 230
4.2.2.2.2 Kupplung mit Überlastschutz 231
4.2.3 Verwendung von Magnesium 234
4.2.4 Anwendungsbeispiele 236
4.2.4.1 Schaltgetriebe 237
4.2.4.2 Automatikgetriebe 239
4.2.4.3 Achsgetriebe 240
4.2.4.4 Gelenkwelle 243
4.2.4.5 Abtriebswellen 245
4.2.5 Zusammenfassung 246
4.2.6 Literatur 247

4.3 Das 6-Gang-Kompaktgetriebe, ein Beitrag zur Gewichtserleichterung im Kraftfahrzeug 248
E. Sander

4.3.1 Einleitung 248
4.3.2 Beschreibung der Radsatzauslegung 250
4.3.3 Mechanischer Wirkungsgrad und Radsatzberechnung 253
4.3.4 Bediensicherheit und Komfort 254
4.3.5 Ausblick und Zusammenfassung 258
4.3.6 Anmerkung 259
4.3.7 Literaturhinweise 259

4.4 Entwicklung von Leichtbau-Längswellen **260**
J. Trommer

4.4.1 Einleitung 260
4.4.2 Leichtbauwerkstoffe für Längswellen 260
4.4.2.1 Lang- und kurzfaserverstärkte Kunststoffe 260
4.4.2.2 Aluminium Legierungen und ihre Verarbeitung 261
4.4.3 Längswellenkomponenten 261
4.4.3.1 Längswellenrohr 261
4.4.3.1.1 Rohr aus faserverstärktem Kunststoff 261
4.4.3.1.2 Rohr aus Aluminium 262
4.4.3.2 Endstücke 264
4.4.3.2.1 Composite Disc 264
4.4.3.2.2 Kunststoff-Flansch 265
4.4.3.2.3 Kreuzgelenkgabel und Schiebemuffe aus Aluminium 267
4.4.3.2.4 Gelenkkörper aus Aluminium 267
4.4.4 Verbindungstechnik für Rohr und Endstück 269
4.4.4.1 Reibschweißen von Stahl mit Aluminium 269
4.4.4.2 Preß- und Klemmverbindung für Kunststoff und Aluminium 271
4.4.4.3 Klebeverbindung FVW-Rohr mit Kunststoff-Flansch 272
4.4.5 Crashanforderungen/Lösungsbeispiele crashoptimierter Längswellen 273
4.4.5.1 Crashoptimierte Faserverbundwerkstoff-Längswellen 273
4.4.5.1.1 mittiges Rohrversagen („Centre Failure") 273
4.4.5.1.2 Verschieben der Endstücke, Aufreißen des Rohres 274
4.4.5.1.3 axialkraftfreie Klebeverbindung 275
4.4.5.2 Crashoptimierte Aluminium-Längswellen 275
4.4.5.2.1 mittiges Rohrversagen (centre failure) 276
4.4.5.2.2 Verschieben der Endstücke im Rohr 276
4.4.6 Zusammenfassung 277
4.4.7 Ausblick 279
4.4.8 Literatur 281

4.5 Entwicklung von Leichtbau-Seitenwellen **283**
P. Amborn

4.5.1 Kurzfassung 282
4.5.2 Einleitung 282
4.5.3 Gleichlaufgelenke 283
4.5.4 Zwischenwelle 284
4.5.4.1 Vollwelle 284
4.5.4.2 Rohrwelle(Monoblock- und Schweißvariante) 284
4.5.5 Akustik 284
4.5.6 Verdrehsteifigkeit 285
4.5.7 Monoblockwelle 285

4.5.7.1 Low-cost-Monoblockwelle 287
4.5.7.2 Dick-dünne Monoblockwelle mit konstantem Außendurchmesser 287
4.5.7.3 Optimierte Leichtbau Monoblockwelle 288
4.5.7.4 Verdrehsteif- und akustik-optimierte Monoblockwelle 288
4.5.8 Zusammenfassung und Ausblick 289
4.5.9 Literatur 289

4.6 Fahrwerks – und Strukturteile im Premium-Druckguß 290
F. Butz

4.6.1 Einleitung 290
4.6.2 Aluminium Gußprodukte 291
4.6.3 Wachstumsbereiche 295
4.6.4 Verfahrensinnovationen 296
4.6.5 Rapid-Prototyping 298
4.6.6 Premium-Druckguß 300
4.6.6.1 Prozeß 300
4.6.6.2 Anwendungen 306
4.6.7 Zusammenfassung 306

4.7 Entwicklung eines Aluminium-Halbzeugs-Längsnaht-geschweißte Aluminiumrohre für Pkw-Achsträger 307
T. Schulze

4.7.1 Einleitung 307
4.7.2 Fertigungskonzept des Achsträgers 307
4.7.3 Aufgabenstellung des Entwicklungspartners 308
4.7.4 Halbzeugalternativen 308
4.7.4.1 Herstellprozeß längsnahtgeschweißter Rohre 308
4.7.4.2 Legierungsauswahl 310
4.7.4.3 Halbzeugauswahl 312
4.7.5 Herstellprozeß des Achsträgers 312
4.7.6 Gegenüberstellung der Fertigungskonzepte für Aluminium-Achsträger 314
4.7.7 Zusammenfassung und Ausblick 314