

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1 Merkmale und Besonderheiten von Verbrennungsmotoren im Zusammenhang mit der Anwendung als Antrieb von Maschinen bzw. Fahrzeugen (WERNER HOFFMANN)	19
<i>Verwendete Formelzeichen, Indizes und Abkürzungen</i>	34
2 Grundlagen (HORST SCHÄDLICH)	37
2.1 Begriffe und Einteilung	37
2.2 Hauptabmessungen	49
2.2.1 Zylindergeometrie	49
2.2.2 Schnelligkeit	53
2.2.3 Arbeitsfähigkeit	60
2.2.4 Leistungsfähigkeit	77
2.3 Auslegungsbeispiele	79
2.3.1 Beispiel 1: Pkw-Motor	80
2.3.2 Beispiel 2: Nkw-Motor	85
2.4 Verdichtungsverhältnis	86
2.5 Pleuelstangenverhältnis	88
2.6 Kraftstoff- und Luftverbrauch	89
2.7 Motormasse und Einbaumaße	92
2.8 Leistungsangaben und Bezugzustand	96
2.9 Kennlinien und Kennfelder	101
<i>Verwendete Formelzeichen, Indizes und Abkürzungen</i>	107
3 Thermodynamik der Verbrennungsmotoren (STEFFEN ZWAHR)	111
3.1 Einleitung	111
3.2 Vereinbarungen und thermodynamische Grundlagen	114
3.3 Praktische Grenzen der Kreisprozesse und Grenzprozesse	122
3.4 Auswirkungen der Anordnung der Wärmezufuhr	132
3.4.1 Konstantes Verdichtungsverhältnis	132
3.4.2 Konstantes Druckverhältnis	139
3.5 Teillastverfahren	141
3.5.1 Qualitätsregulierung	141
3.5.2 Quantitätsregulierung	143
3.5.2.1 Drosselregulierung	144
3.5.2.2 Alternatives Verfahren – «Frühes Einlass Schließt» (FES)	151
3.6 Aufladung	156
3.6.1 Abgas-Turboaufladung	157
3.6.2 Mechanische Aufladung	164
3.7 Prozess des vollkommenen Motors	167
3.8 Reale Arbeitsprozessrechnung	169
3.8.1 Modellansätze	169

3.8.2	Einzonnenmodell	171
3.8.2.1	Berechnungsgrundlagen	171
3.8.2.2	Ausgewählte Ergebnisse der Simulation	177
3.9	Prozessanalyse	184
3.9.1	Indizieren und Analyse des Druckverlaufs	184
3.9.2	Heizverlauf und Brennverlauf	187
3.9.3	Approximation des Brennverlaufs mit einer Vibefunktion	192
3.9.4	Detaillierte Verlustanalyse	193
	<i>Verwendete Formelzeichen, Indizes und Abkürzungen</i>	199
4	Gemischbildung und Verbrennung (WERNER HOFFMANN)	203
4.1	Allgemeine Verbrennungstheorie	203
4.1.1	Elementare Formen des Verbrennungsprozesses	204
4.1.2	Einleitung der Verbrennung, Reaktionsgeschwindigkeit, Kettenreaktion ..	207
4.1.2.1	Selbstzündungsvorgang	208
4.1.2.2	Kettenreaktion	210
4.1.2.3	Flammenfront	211
4.1.2.4	Fremdzündung	214
4.1.2.5	Diffusionsverbrennung	214
4.2	Kraftstoff und chemische Grundlagen der Verbrennungsprozesse	215
4.2.1	Kraftstoffe für Verbrennungsmotoren	215
4.2.1.1	Aliphatische bzw. kettenförmige Kohlenwasserstoffe	215
4.2.1.2	Ringförmige Kohlenwasserstoffe	217
4.2.1.3	Organische Sauerstoffverbindungen	219
4.2.1.4	Alternative Kraftstoffe	221
4.2.2	Verbrennung, Mindestluftbedarf, Heizwert	222
4.2.2.1	Verbrennungsreaktionen und Mindestluftbedarf, Luftverhältnis	222
4.2.2.2	Heizwert	228
4.2.2.3	Abgaszusammensetzung und Verbrennungsluftverhältnis	234
4.3	Gemischbildung und Verbrennung im Dieselmotor	236
4.3.1	Entwicklung der Theorien zur Verbrennung im Dieselmotor	236
4.3.2	Kraftstoffstrahl	238
4.3.2.1	Strahlausbreitung und Zerstäubung	238
4.3.2.2	Tropfenverdampfung und Einleitung der Zündung	243
4.3.3	Gemischbildungs- und Verbrennungsverfahren	245
4.3.3.1	Erforderlicher Verbrennungsablauf	245
4.3.3.2	Beeinflussung des Verbrennungsablaufs	247
4.3.3.3	Brennräume	249
4.3.3.4	Luftbewegung	252
4.3.4	Abgaszusammensetzung bei Dieselmotoren und Maßnahmen zu deren Beeinflussung (WERNER HOFFMANN, MATTHIAS KRAITZSCH, ANDREAS ROSENEK)	263
4.4	Dieseinspritzanlagen	275
4.4.1	Aufbau und Funktion kantengesteuerter Einspritzanlagen	276
4.4.2	Auslegung kantengesteuerter Einspritzanlagen	280
4.4.3	Beeinflussung von Einspritzzeitpunkt und Einspritzmenge	295
4.4.3.1	Spritzversteller	295
4.4.3.2	Regler	296
4.4.4	Zeitgesteuerte Dieseinspritzsysteme	302
4.4.4.1	Elektronisch gesteuerte Verteilerpumpen	302
4.4.4.2	Zeitgesteuerte Unit-Injector- und Unit-Pump-Systeme	305
4.4.4.3	Common-Rail-System – Speichereinspritzsystem	308
4.4.4.4	Piezo-Common-Rail-System	318
4.5	Gemischbildung und Verbrennung im Ottomotor	329
4.5.1	Allgemeines	329

4.5.2	Verbrennungsablauf	331
4.5.2.1	Normale und anomale Verbrennung	332
4.5.2.2	Gestaltung klopf- und glühzündungsunempfindlicher Brennräume	338
4.5.3	Vergasermotor	344
4.5.3.1	Wirkungsweise des Vergasers und Vergasergrobauslegung	347
4.5.3.2	Vergaserbauarten	354
4.5.4	Saugrohrgestaltung und Gemischverteilung	357
4.5.4.1	Kraftstoffzerstäubung und -verdampfung	357
4.5.4.2	Saugrohrgestaltung	359
4.5.5	Benzineinspritzung	363
4.5.5.1	Art der Kraftstoffeinspritzung	365
4.5.5.2	Mechanische Einspritzanlagen	366
4.5.5.3	Elektronische Motorsteuerungen	367
4.5.5.4	Elektronisch gesteuerte Saugrohr-Benzineinspritzanlagen	369
4.5.5.5	Elektronisch gesteuerte Benzin-Direkteinspritzanlagen	373
4.5.6	Zündung und Zündanlage (MATTHIAS THEIN)	386
4.5.6.1	Motorische Anforderungen an die Zündanlage	388
4.5.6.2	Hochspannungserzeugung und Funkenentladung	393
4.5.6.3	Komponenten	416
4.5.6.4	Motormanagementsystem – Zündwinkelgütegrad	426
4.5.7	Emissionen der Fahrzeuge mit Ottomotor (WERNER HOFFMANN, MATTHIAS KRATZSCH, ANDREAS ROSENEK)	428
4.6	Gesetzliche Anforderungen zu Emissionen von Verbrennungsmotoren (MATTHIAS KRATZSCH, ANDREAS ROSENEK)	435
4.6.1	Einführung	435
4.6.2	Abgasgesetzgebung in den USA	436
4.6.2.1	Fahrzeugzulassung	436
4.6.2.2	Emissionsstandards der EPA – Tier 2	437
4.6.2.2.1	Abgastestprozeduren der EPA	437
4.6.2.2.2	Nachweis der Dauerhaltbarkeit emissionsbeeinflussender Bauteile	440
4.6.2.2.3	Emissionsgrenzwerte der EPA	440
4.6.2.2.4	OBD-Anforderungen der EPA	442
4.6.2.3	Emissionsstandards der CARB	443
4.6.2.3.1	Emissionsgrenzwerte der CARB – LEV-2-Programm	444
4.6.2.3.2	OBD-Anforderungen der CARB	445
4.6.2.3.3	Emissionsgrenzwerte der CARB – LEV-3-Programm	446
4.6.3	Abgasgesetzgebung in der europäischen Union	447
4.6.3.1	Fahrzeugzulassung	447
4.6.3.2	Neuer Europäischer Fahrzyklus NEFZ2000	447
4.6.3.3	Grenzwerte in der Europäischen Union	448
4.6.3.4	Dauerhaltbarkeitsnachweis, Verschlechterungsfaktoren	450
4.6.3.5	On-Board-Diagnose (OBD)	452
4.6.3.6	CO ₂ -Flottenverbrauch	453
4.6.4	Abgasrollenprüfstand	454
4.6.5	Prüfverfahren auf dem Motorenprüfstand – Leistungsprüfung	454
	Verwendete Formelzeichen, Indizes und Abkürzungen	458
5	Ladungswechsel (WERNER HOFFMANN)	467
5.1	Aufgaben und Bewertung des Ladungswechsels	467
5.2	Ladungswechselsteuerung und Steuerquerschnitte	480
5.3	Ventilsteuerungen und Merkmale der konstruktiven Ausführung	490
5.4	Kinematik des Nockentriebs und der Ventilsteuerung	495
5.4.1	Kreisbogennocken mit Stoßrolle	500
5.4.2	Tangentennocken mit Stoßrolle	506
5.4.3	Kreisbogennocken mit Flachstoß	507

5.4.4	Kinematische Eigenschaften unterschiedlicher Nocken- bzw. Ventiltriebe ..	509
5.5	Berechnung und Auslegung von Ventilsteuerungen	517
5.5.1	Bewegungsfunktionen am Stößel	517
5.5.2	Kräfte und Kraftwirkungen an den Bauteilen der Ventilsteuerung	519
5.5.3	Auslegung von Ventildfedern	539
5.6	Konstruktion von Ventilsteuerungen und deren Bauteile	558
5.6.1	Ventildfedern	559
5.6.2	Ventile	562
5.6.3	Ventilsitzringe	564
5.6.4	Ventilschaftführungen	565
5.6.5	Verbindung Federteller und Ventil - Ventildrehung und Ventildrehvorrichtungen	566
5.6.6	Kipp- bzw. Schleppebel	569
5.6.7	Stößelstangen	569
5.6.8	Stößel, Nocken und Nockenwellen	570
5.6.9	Automatischer Spielausgleich	576
5.6.10	Einfluss von Elastizität und Masse der Ventiltriebbauteile auf Bewegungsablauf und Schwingungseigenschaften der Ventiltriebe	579
5.7	Steuertrieb	581
5.7.1	Zahnradsteuertrieb	586
5.7.2	Zugmittelsteuertriebe	587
5.8	Instationäre Strömungsvorgänge beim Ladungswechsel der Motoren	603
5.8.1	Mathematische Grundlagen	603
5.8.2	Theorie kleiner Wellen	604
5.8.3	Schwingungstheorie	614
5.8.4	Abstimmung des Ladungswechsels von Viertaktmotoren nach der Schwingungstheorie	619
5.8.5	Ähnlichkeitsbeziehungen beim Viertaktmotor	622
5.9	Variable Motorsteuerung und Ladungswechselanlagen von Viertaktmotoren	628
5.9.1	Variable Motorsteuerung	628
5.9.2	Zusammenwirken von Ladungswechselanlage und Motorsteuerung	644
5.10	Auslegung des Ladungswechsels von Zweitaktmotoren	654
5.10.1	Steuerung des Zweitaktmotors	654
5.10.2	Spülung	657
5.10.3	Abstimmung des Ladungswechsels von Zweitaktmotoren mit Kurbelkastenspülung und Schlitzsteuerung	660
5.10.3.1	Bemessung der Steuerquerschnitte	661
5.10.3.2	Auslegung des Ansaugrohrs	667
5.10.3.3	Auslegung der Auspuffanlage	669
	Verwendete Formelzeichen, Indizes und Abkürzungen	673
6	Aufladung (STEFFEN ZWAHR)	687
6.1	Aufgaben und Anliegen	687
6.2	Stationäre und dynamische Eigenschaften des aufgeladenen Motors	688
6.3	Laderbauarten	695
6.3.1	Lader nach Verdrängerbauart	695
6.3.2	Lader nach Strömungsbauart	701
6.4	Mechanische Aufladung	703
6.4.1	Grundlagen	703
6.4.2	Beispiel zur Laderanpassung	707
6.5	Abgas-Turboaufladung	712
6.5.1	Abgas-Turbolader	712
6.5.2	Stau- und Stoßaufladung	715
6.5.3	Anpassung des Laders – Hauptgleichungen der Abgas-Turboaufladung ..	717
6.5.4	Beispiel zur Laderauswahl	721

6.5.5	Ladedruckregelung	728
6.5.6	Besonderheiten bei Ottomotoren	731
6.6	Ladeluftkühlung	735
6.7	Ausgewählte Sonderverfahren	739
6.7.1	Druckwellenlader	740
6.7.2	Modifikationen der Abgas-Turboaufladung	742
6.8	Möglichkeiten zur Verbrauchs- und Schadstoffverringerung an Otto- und Dieselmotoren	746
<i>Verwendete Formelzeichen, Indizes und Abkürzungen</i>		749
7	Motorakustik (WOLFGANG FOKEN)	753
7.1	Motorgeräusch und gesetzliche Vorschriften	754
7.2	Akustische Mess- und Auswertetechnik	755
7.2.1	Messgrößen des Schallfeldes	755
7.2.2	Auswertung von Schallsignalen	755
7.2.3	Messverfahren und Messräume	757
7.3	Geräuscentstehung, Weiterleitung und Abstrahlung	759
7.3.1	Teilschallquellen und Entstehungsmechanismen	759
7.3.2	Weiterleitung und Abstrahlung	761
7.4	Maßnahmen zur Geräuschreduktion	763
7.4.1	Direkte Schallquellen	763
7.4.2	Indirekte Schallquellen	765
7.5	Berechnungsverfahren zur Simulation	768
7.6	Psychoakustik und Sound-Design	770
7.7	Entwicklungstendenzen	773
<i>Verwendete Formelzeichen, Indizes und Abkürzungen</i>		774
8	Kühlsystem (MIRKO SIERAKOWSKI)	777
8.1	Strömungstechnische Grundlagen	778
8.1.1	Druckgleichung nach Bernoulli	778
8.1.2	Druckverlust und Strömungswiderstand	779
8.1.3	Strömungswiderstände von geraden Rohrleitungen, Krümmern, Querschnittsveränderungen und Verzweigungen	782
8.1.4	Kühlmittelstoffwerte	783
8.1.4.1	Wasser	783
8.1.4.2	Kühlmittelgemische	783
8.1.4.3	Luft	787
8.2	Wärmebilanz des Kühlsystems	787
8.2.1	Wärmestrom des Motors	787
8.2.2	Wärmestromverteilung im Kühlkreislauf	790
8.3	Flüssigkeitskühlung	791
8.3.1	Kühlungsarten	791
8.3.1.1	Pumpenumlaufkühlung	791
8.3.1.2	Druckkühlung	793
8.3.1.3	Thermosiphonkühlung	794
8.3.1.4	Verdampfungskühlung	795
8.3.1.5	Kühlung mit unterschiedlichem Temperaturniveau	796
8.3.2	Kühlmittelpumpen	797
8.3.2.1	Aufbau und Arten von Kfz-Kühlmittelpumpen	797
8.3.2.2	Kühlmittelseitige Abdichtung der Kühlmittelpumpe	799
8.3.2.3	Auslegung, Berechnung und Kennwerte von Kühlmittelpumpen	801
8.3.2.4	Kavitationsuntersuchungen an Kühlmittelpumpen	805
8.3.2.5	Regelbare Kühlmittelpumpen	807
8.3.3	Flüssigkeitskühler	809
8.3.3.1	Allgemeines	809

8.3.3.2	Rippenrohrkühler	810
8.3.3.3	Lamellenkühler	811
8.3.3.4	Kühlerwerkstoffe	811
8.3.3.5	Spezifische Kühlleistung und Wärmedurchgangszahl	812
8.3.3.6	Kühlflutseitiger Strömungswiderstand	816
8.3.3.7	Kühlmittelseitiger Strömungswiderstand	817
8.3.4	Öl-Kühlmittel-Wärmetauscher	819
8.3.5	Ermittlung der Volumenstrom- und Druckverteilung	820
8.3.5.1	Charakteristik der Kühlkreislauf-Strömungswiderstände	820
8.3.5.2	Grundlagen zur Verkettung von Kühlkreislaufwiderständen	822
8.3.5.3	Numerische Ermittlung der Volumenstrom- und Druckverteilung	826
8.3.5.4	Rechentechnische Ermittlung der Volumenstrom- und Druckverteilung	828
8.3.5.5	Grafische Ermittlung der Volumenstrom- und Druckverteilung	828
8.3.6	Regelung des Kühlsystems – Wärmemanagement	830
8.3.6.1	Allgemeines	830
8.3.6.2	Kühlmittelseitige Regelung	831
8.3.6.3	Luftseitige Kühlsystemregelung	833
8.3.7	Auslegung von Kfz-Kühlsystemen	837
8.3.7.1	Allgemeines	837
8.3.7.2	Temperaturen im Kfz-Kühlsystem	837
8.3.7.3	Druckverteilung im Kühlkreislauf und Druckaufbau im Ausgleichbehälter	840
8.3.7.4	Vernetzung und Wärmebilanz des Kühlsystems	843
8.3.7.5	Ermittlung der erforderlichen Volumenströme	843
8.3.7.6	Festlegung der kühlmittelseitigen Strömungswiderstände	843
8.3.7.7	Auswahl der Kühlmittelpumpe	845
8.3.7.8	Kavitationsuntersuchungen an Kühlkreislaufbauteilen	845
8.3.7.9	Simulierter Motorbetrieb	847
8.3.7.10	Prüfstandsuntersuchungen bei Motorbetrieb	848
8.3.7.11	Luftseitige Auslegung von Kühler und Heizungswärmetauscher	849
8.3.7.12	Ermittlung des Kühlluftstroms und der Kühlerabmessung	849
8.3.7.13	Ermittlung der kühlflutseitigen Strömungswiderstände	851
8.3.7.14	Auswahl des Kühllüfters unter Berücksichtigung des Stauinflusses	851
8.3.7.15	Auswahl der Lüfterregleinrichtung	854
8.3.7.16	Simulierter kühlflutseitiger Motorbetrieb	854
8.3.7.17	Windkanal und Fahrversuche	855
8.4	Luftkühlung	856
8.4.1	Vergleich von Flüssigkeits- und Luftkühlung	856
8.4.2	Wärmeübergang von Brenngasen zur Kühlflut	856
8.4.3	Verrippungsprobleme	860
8.4.3.1	Wärmeübergang	860
8.4.3.2	Erwärmung der Kühlflut im Rippenkanal	861
8.4.4	Strömungsverhältnisse	863
8.4.4.1	Strömung der Kühlflut im Rippenkanal	863
8.4.4.2	Einfluss der Kühlflutführung am Zylinder	866
8.4.4.3	Kühlflutwiderstände, Leistungsbedarf, Lüfteranordnung	866
8.4.5	Auswahl des Kühllüfters	868
	Verwendete Formelzeichen, Indizes und Abkürzungen	869
9	Filtration (MICHAEL DURST, GUNNAR-MARCEL KLEIN, NIKOLAUS MOSER)	873
9.1	Einleitung	873
9.2	Grundlagen der Filtration in Kraftfahrzeugen	878
9.2.1	Systematik der mechanischen Trenntechnik	878
9.2.2	Beschreibung von dispersen Partikelsystemen	879

9.2.3	Trenngrad, Fraktionsabscheidegrad und Filterfeinheit	881
9.2.4	Filterstandzeit und Schmutzkapazität	884
9.2.5	Quellen und Beschreibung der abzutrennenden Partikel	884
9.2.6	Abscheidemechanismen	885
9.3	Filtration von Motoransaugluft	892
9.3.1	Aufgaben der Motoransaugluft-Filtration	892
9.3.2	Methoden zur Untersuchung von Luftfiltermedien	900
9.3.3	Luftfiltermedien	905
9.3.4	Auslegungskriterien für Luftfilterelemente	910
9.3.5	Luftfilterbauformen	913
9.4	Abscheidung von Öltröpfchen aus Blow-by-Gasen	922
9.4.1	Aufgaben der Kurbelgehäuseentlüftung	923
9.4.2	Abscheideverfahren und ausgeführte Beispiele	924
9.5	Filtration von Motorenöl	928
9.5.1	Aufgaben der Ölfiltration und Einfluss auf den Verschleiß	928
9.5.2	Filtermedien zur Schmierölfiltration – Filterfeinheit und chemische Beständigkeit	933
9.5.3	Hauptstromölfiltration	941
9.5.4	Nebenstromölfiltration	944
9.5.5	Ölfiltermodule	947
9.6	Filtration von Kraftstoff	950
9.6.1	Aufgaben der Kraftstofffiltration – Schutz des Einspritzsystems	950
9.6.2	Prüfverfahren und Spezifikationen für Kraftstofffilter	957
9.6.3	Filtermedien und Filterelemente	970
9.6.4	Kraftstofffilter und Kraftstofffiltermodule – Übersicht und Bauformen ..	977
Verwendete Formelzeichen, Indizes und Abkürzungen		984
10	Kurbeltrieb (WERNER HOFFMANN)	987
10.1	Beschreibung der Bewegungsvorgänge	988
10.2	Kräfte und Kraftwirkungen im Kurbeltrieb	999
10.2.1	Kräfte am Kolben	1002
10.2.2	Kräfte und Kraftwirkungen der Pleuelstange	1006
10.2.3	Kräfte am Kolbenbolzen	1021
10.2.4	Kräfte und Kraftwirkungen am Kurbelzapfen	1026
10.2.5	Kräfte an den Wellenzapfen (Grundlagerkräfte)	1033
10.3	Massenkräfte und Massenkraftwirkungen am Motor	1037
10.3.1	Massenkräfte beim Einzylindermotor	1037
10.3.2	Bewertung des natürlichen Massenausgleichs bei Mehrzylindermotoren ..	1048
10.4	Belastungen und Beanspruchungen der Kurbelwelle	1064
10.5	Ungleichförmigkeitsgrad und Schwungrad	1071
10.6	Schwingungsvorgänge	1079
10.6.1	Grundlagen	1081
10.6.2	Drehschwingungsprobleme	1098
10.6.2.1	Drehschwingungsersatzsystem	1098
10.6.2.2	Eigenfrequenzen und Eigenschwingformen	1112
10.6.2.3	Erregende Kräfte	1119
10.6.2.4	Resonanzdrehzahlen	1124
10.6.2.5	Resonanzausschläge	1125
10.6.3	Maßnahmen gegen Drehschwingungen	1138
10.6.3.1	Natürliche Maßnahmen	1139
10.6.3.2	Zusatzeinrichtungen	1141
10.6.3.3	Vermeiden von Drehschwingungen an Motorenprüfständen und bei Aggregaten	1149
Verwendete Formelzeichen, Indizes und Abkürzungen		1153

11	Triebwerkslagerung und Schmierung von Verbrennungsmotoren (HEINZ GLÄSER)	1165
11.1	Aufgabe und Wirkungsweise von Lagerungen	1165
11.2	Arten der Lager im Verbrennungsmotor und ihre Belastung	1168
11.3	Hydrodynamische Berechnung der Radialgleitlager	1171
11.3.1	Theoretische Grundlagen	1171
11.3.1.1	Begriffsbestimmung	1171
11.3.1.2	Hydrodynamischer Druckaufbau	1171
11.3.2	Berechnung der Wellenverlagerungsbahn	1180
11.3.3	Berechnung der Reibungsleistung	1189
11.3.4	Berechnung der Öldurchsatzmenge	1195
11.3.5	Wärmebilanz	1206
11.3.6	Maximaler Schmierschichtdruck	1209
11.3.7	Umwandlung der raumfesten in körperfeste Koordinaten	1215
11.3.7.1	Grundlager	1215
11.3.7.2	Pleuellager	1216
11.3.7.3	Kolbenbolzenlager	1217
11.3.8	Winkelgeschwindigkeiten der Lager eines Kurbeltriebes	1217
11.4	Auslegung von Verbrennungsmotoren-Gleitlagern	1218
11.4.1	Bedeutung und Möglichkeiten der Lagerauslegung	1218
11.4.2	Rechenprogramme zur Auslegung dynamisch beanspruchter Radialgleitlager	1222
11.4.2.1	Einfache und komplexe Rechenprogramme, EHD- und TEHD-Berechnung	1222
11.4.2.2	Programminhalt und Leistungsumfang des Rechenprogramms LAGER95	1225
11.4.3	Einflussgrößen bei der Lagerauslegung	1230
11.4.3.1	Einfluss des Betriebszustandes	1230
11.4.3.2	Einfluss des Schmierstoffes und des relativen Lagerspiels	1235
11.4.3.3	Einfluss von Ölzuführungstemperatur und Ölzuführungsdruck	1237
11.4.3.4	Art und Lage der Ölzuführung	1242
11.4.3.5	Steifigkeit von Welle, Lager und lagerumgebenden Bauteilen	1246
11.4.3.6	Einfluss der Kurbelwellengestaltung (Massenausgleich)	1248
11.4.4	Schlussfolgerungen für die Lagerauslegung aus der Anwendung von Rechenprogrammen	1250
11.4.5	Konstruktive Gestaltung der Lager von Motoren	1252
11.5	Werkstoffe und Konstruktionsgrundsätze für Kfz-Motoren-Gleitlager	1260
11.5.1	Anforderungen, Eigenschaften und Werkstoffgruppen	1260
11.5.2	Herstellung und Bauformen dünnwandiger einbaufertiger Lagerschalen und Buchsen	1264
11.5.3	Konstruktive Grundsätze bei der Anwendung dünnwandiger einbaufertiger Lagerschalen	1274
11.5.3.1	Gehäusebohrung, Lagerspiel, Spreizung, Freiräumung	1274
11.5.3.2	Presssitz der Lagerschalen in der Gehäusebohrung und Lagerspielveränderung im Betriebsbereich des Motors	1277
11.6	Schmierstoffe für Kraftfahrzeugmotoren	1283
11.6.1	Aufgaben und Klassifikation der Motorenöle	1284
11.6.2	Viskosität von Ölen	1291
11.6.3	Additive	1293
11.6.4	Ölprüfung, Ölwechsel, Ölverbrauch	1295
11.7	Axiallagerung	1297
11.8	Wälzgelagertes Triebwerk	1299
11.9	Schmiersystem	1304
11.9.1	Funktion, Bestandteile und grundsätzliche Wirkungsweise	1304
11.9.2	Schmierstoffbehälter, Ansaugen und Rückführung des Öls	1305

11.9.3	Schmierstoffkühlung	1306
11.9.4	Schmierstoffförderung, Versorgung der Schmierstellen	1307
11.9.5	Zweitaktmotoren-Schmierung	1311
11.10	Schäden und Veränderungen an Verbrennungsmotoren-Gleitlagern	1312
11.10.1	Schäden und Veränderungen am Lagermetall oder an der Drittschicht ..	1313
11.10.1.1	Verschleiß	1313
11.10.1.2	Verschmutzung	1318
11.10.1.3	Überhitzung	1319
11.10.1.4	Ermüdung	1320
11.10.1.5	Erosion	1322
11.10.1.6	Kavitation	1322
11.10.1.7	Tribochemische Reaktion, Korrosion	1325
11.10.1.8	Einbaufehler	1327
11.10.1.9	Fehler des Lagerherstellers	1328
11.10.2	Schäden an der Stahlstützschale	1329
11.10.2.1	Reiboxidation am Schalenrücken	1329
11.10.2.2	Stützschaalenbruch	1330
11.10.2.3	Stoßflächenbeschädigung	1331
11.10.2.4	Speizungsverlust	1331
11.10.3	Austausch von Lagern	1331
	<i>Verwendete Formelzeichen, Indizes und Abkürzungen</i>	1332
12	Konstruktion von Verbrennungsmotoren und deren Bauteilen (WERNER HOFFMANN)	1337
12.1	Zylinderkopf (WERNER HOFFMANN, HEIKO NEUKIRCHNER)	1357
12.1.1	Aspekte der funktionell-konstruktiven Gestaltung	1357
12.1.2	Werkstoffe	1370
12.1.3	Gießverfahren und Herstellung von Zylinderköpfen	1372
12.1.4	Belastungen und Beanspruchungen bei Zylinderköpfen	1375
12.1.5	Auslegung und Gestaltung der Ladungswechselkanäle	1381
12.2	Zylinder und Kurbelgehäuse (WERNER HOFFMANN, HEIKO NEUKIRCHNER)	1401
12.2.1	Grundsätzliche Aufgaben, Funktionen und Anforderungen	1401
12.2.2	Ausführungsformen von Zylinder, Kurbelgehäuse und Lagerung Kurbelwelle	1405
12.2.3	Einfluss der Kurbelgehäusegestaltung auf Steifigkeit, Belastbarkeit, Deformationen und Montagebedingungen	1414
12.2.4	Werkstoffe	1421
12.2.5	Gießverfahren, Gestaltungsmerkmale und Besonderheiten von Zylinderkurbelgehäusen	1423
12.2.6	Ausgewählte konstruktive Details und Lösungen	1426
12.2.7	Entwicklung stark belastbarer massearmer Kurbelgehäuse	1451
12.3	Zylinderkopfdichtung (WERNER HOFFMANN, HEIKO NEUKIRCHNER, PIERRE MIRAN, Dr. ANDRÉ SIMONNEAU, ALAIN SCHMITT, JEAN MARC CHERIERE)	1454
12.3.1	Dichtungskonzepte	1455
12.3.2	Rechnerische Auslegung einer Abdichtung mit Verschraubungen	1464
12.4	Kolben (UWE MOHR, HORST SCHÄDLICH)	1476
12.4.1	Aufgaben und Anforderungen	1476
12.4.1.1	Einführung und Begriffe	1476
12.4.1.2	Kolbenbelastung	1478
12.4.1.3	Kolbenbeanspruchung	1487
12.4.2	Hauptabmessungen und Gestaltung	1496
12.4.3	Werkstoffe und Herstellung	1504
12.4.3.1	Aluminiumlegierungen	1504
12.4.3.2	Gusseisenlegierungen	1506
12.4.3.3	Stähle	1506

12.4.3.4	Alternative Kolbenwerkstoffe	1506
12.4.4	Kolbenaußenkontur	1506
12.4.5	Kolbenkühlung	1509
12.4.6	Kolbenringe	1512
12.4.6.1	Aufgaben und Anforderungen	1512
12.4.6.2	Funktion	1513
12.4.6.3	Klassifizierung und Ausführungsformen	1515
12.4.6.4	Bewertungskenngrößen	1517
12.4.6.5	Werkstoffe	1524
12.4.6.6	Herstellung	1525
12.4.7	Kolbenbolzen	1526
12.4.7.1	Funktion und Anforderungen	1526
12.4.7.2	Hauptabmessungen und Gestaltung	1527
12.4.7.3	Berechnung	1529
12.4.7.4	Werkstoffe und Herstellung	1537
12.4.8	Kolbenbolzensicherungen	1539
12.5	Pleuel (WERNER HOFFMANN)	1541
12.5.1	Aspekte der funktionell-konstruktiven Gestaltung	1541
12.5.2	Ausgewählte Werkstoffe, Herstellung von Rohteilen und fertigen Pleueln	1551
12.5.3	Auslegung von Pleuelstangen (WERNER HOFFMANN, BERND HÄNEL)	1555
12.6	Kurbelwelle (WERNER HOFFMANN)	1581
12.6.1	Aufgaben, Funktion und Anforderungen	1581
12.6.2	Motorspezifische Ausführungsformen	1582
12.6.3	Kurbelwellendesign – Entwurf und Hauptabmessungen	1587
12.6.4	Werkstoffe und Herstellung von Kurbelwellen-Rohteilen	1589
12.6.5	Bearbeitung von Kurbelwellen-Rohteilen zu Fertigteilen	1592
12.6.6	Rechnerischer Dauerfestigkeitsnachweis für Kurbelwellen (BERND HÄNEL, WERNER HOFFMANN)	1596
12.6.6.1	Belastungen an einer Kurbelkröpfung	1596
12.6.6.2	Dauerfestigkeitsnachweis nach dem Nennspannungskonzept für die Hohlkehle zwischen Kurbelzapfen und Kurbelwange	1605
12.6.6.3	Dauerfestigkeitsnachweis nach dem örtlichen Spannungskonzept für die Hohlkehle zwischen Kurbelzapfen und Kurbelwange	1614
12.6.6.4	Dauerfestigkeitsnachweis nach dem Nennspannungskonzept für die Ölbohrung des Kurbelzapfens	1618
12.6.6.5	Dauerfestigkeitsnachweis nach dem örtlichen Spannungskonzept für die Ölbohrung des Kurbelzapfens	1623
12.6.7	Bewertung der Auslegungskonzepte und Ergänzungen zum Auslegungsbeispiel (WERNER HOFFMANN)	1626
12.6.8	Experimentelle Dauerfestigkeitserprobung	1631
	Verwendete Formelzeichen, Indizes und Abkürzungen	1633
13	Virtuelle Produktentwicklung (ERNST BEUTNER, HEIKO NEUKIRCHNER)	1651
13.1	Vorbemerkungen	1651
13.2	Der Produktentwicklungsprozess im Wandel	1651
13.2.1	Von technischen Berechnungen zur virtuellen Bauteilentwicklung	1651
13.2.2	Vom hardwareorientierten zum simulationsgestützten Entwicklungsprozess	1652
13.3	Produktbezogene Daten	1654
13.3.1	Datenmodelle	1654
13.3.2	Generierung der Produktmodelle	1656
13.3.2.1	Direkte Geometriemodellierung	1656
13.3.2.2	Reverse Engineering	1659

13.3.3	Datenmanagement	1660
13.3.4	Digital Mock-Up (DMU)/Virtual Reality (VR)	1662
13.4	Simulationsgestützte Bauteilentwicklung	1665
13.4.1	Allgemeines	1665
13.4.2	Methoden der Berechnung und Simulation	1665
13.4.2.1	Mehrkörpersysteme (MKS)	1667
13.4.2.2	Finite-Elemente-Methoden (FEM)	1668
13.4.2.3	Strömungssimulation	1670
13.4.3	Funktionsorientierte simulationsgestützte Bauteilentwicklung	1673
13.4.3.1	Grundmechanik	1673
13.4.3.2	Ladungswechsel, Arbeitsprozess	1680
13.4.3.3	Gemischbildung, Verbrennung, Abgasnachbehandlung	1683
13.4.3.4	Festigkeit, Lebensdauer	1686
13.4.3.5	Akustik	1689
13.4.3.6	Öl-/Kühlmittelkreisläufe, Kraftstoffsysteme	1691
13.4.3.7	Motorsimulation	1694
13.4.4	Fertigungsorientierte simulationsgestützte Bauteilentwicklung	1695
13.4.4.1	Toleranzmanagement	1696
13.4.4.2	Gießsimulation	1697
13.4.4.3	Einbau- und Montagesimulation	1699
13.5	Rapid Prototyping (RP)	1700
13.6	Wissensmanagement	1701
13.7	Infrastruktur der Informationstechnologie (IT)	1704
	<i>Verwendete Abkürzungen</i>	1705
	Literaturverzeichnis	1708
	Stichwortverzeichnis	1755