

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen	IX
1 Vorbemerkung	1
2 Einleitung	3
2.1 Bedeutung der Berechnung im Entwicklungsprozeß	3
2.2 Abgrenzung zwischen Mechanik und Thermodynamik	4
2.3 Anmerkungen zum ausgewählten Stoff und zur Vertiefung	4
3 Kriterien bei der Motorauslegung	7
3.1 Zur Veränderlichkeit von Motorkenndaten	7
3.2 Definition wichtiger Motorkenndaten	8
3.2.1 Hubvolumen (Hubraum)	8
3.2.2 Leistung und Drehmoment	8
3.2.3 Spezifische Leistung	9
3.3 Festlegung der Hauptabmessungen in Verbindung mit der Triebwerksauslegung	9
3.3.1 Hub-/Bohrungsverhältnis	9
3.3.2 Pleuelstangenverhältnis und Pleuellänge	11
3.3.3 Blockhöhe (Zylinderdeckenhöhe)	11
3.3.4 Kolbendurchmesser und Kolbenmasse	12
3.3.5 Kompressionshöhe des Kolbens	14
3.3.6 Hub, Bohrung und Zylinderzahl	16
3.3.7 Zylinderlänge, untere Kolbenschaftslänge, Austauchen des Kolbens	17
3.3.8 Kurbelwellenfreigang und Kolbenschaftslänge	18
3.3.9 Weitere Kolbenhauptabmessungen	25
3.4 Weitere Motorhauptabmessungen	26
3.4.1 Zylinderabstand und Stegbreite	26
3.4.2 Zylinderbankversatz bei V-Motoren, Auswirkungen auf Zylinderabstand und Stegbreite	29
3.5 Betrachtungen zum optimalen Pleuelstangenverhältnis	30
3.6 Betrachtungen zum Oberflächen-/Volumenverhältnis des Brennraums	34
3.7 Zusätzliche Begriffe und Definitionen	36
3.8 Mittlerer effektiver Druck bzw. spezifische Arbeit	38
4 Berechnung und Auslegung von Bauteilen	41
4.1 Das Pleuel	41
4.1.1 Funktion, Anforderungen und Gestaltung	41
4.1.2 Beanspruchung des Pleuels	43
4.1.3 Gestaltfestigkeit des Pleuels – konventionelle Berechnungsverfahren	47
4.1.4 Konventionelle Berechnungsverfahren zur Auslegung der Pleuelkopfverschraubung	56
4.2 Der Kolben	69
4.2.1 Vorbemerkung zur Kolbenberechnung	69

4.2.2	Funktion und Anforderungen.....	69
4.2.3	Beanspruchung des Kolbens	71
4.2.4	Konventionelle Berechnung des Kolbens	82
4.2.5	Berechnung der Kolbensekundärbewegung.....	113
4.2.6	Rechnergestützte Festigkeitsberechnung des Kolbens.....	116
4.3	Die Kolbenringe	127
4.3.1	Vorbemerkung zu den Berechnungsmöglichkeiten des Kolbenringverhaltens.....	127
4.3.2	Funktion und Anforderungen.....	127
4.3.3	Auf den Kolbenring wirkende Kräfte	129
4.3.4	Elastomechanik des Kolbenrings.....	135
4.3.5	Rechnerische Simulation der Kolbenringfunktion.....	139
4.4	Die Kurbelwelle	149
4.4.1	Funktion und Anforderungen.....	149
4.4.2	Beanspruchung der Kurbelwelle.....	150
4.4.3	Gestaltfestigkeit der Kurbelwelle	166
4.4.4	Rechnergestützte Festigkeitsberechnung der Kurbelwelle	169
4.5	Das Zylinderkurbelgehäuse (ZKG)	173
4.5.1	ZKG-Konzepte	173
4.5.2	Beanspruchung des ZKG, allgemeiner konstruktiver Aufbau und Funktionsmerkmale	195
4.5.3	ZKG-Leichtbau.....	200
4.5.4	ZKG-Berechnung	205
4.5.5	Zylinderlaufbüchsen	222
4.5.6	Zylinderverschleiß	238
4.6	Der Zylinderkopf (ZK)	240
4.6.1	Konstruktiver Aufbau und Funktionsmerkmale des ZK	240
4.6.2	Die besondere Problematik der thermischen ZK-Beanspruchung ..	244
4.6.3	ZK-Werkstoffe und -Gießverfahren	255
4.6.4	Ladungswechselkanäle, Ventilwinkel, Brennraumgeometrie und ZK-Bauhöhe	258
4.6.5	Berechnung des ZK mittels FEM	270
4.7	Die Zylinderkopfdichtung	272
5	Berechnung und Auslegung von Baugruppen	277
5.1	Der Ventiltrieb	277
5.1.1	Das Ventil	277
5.1.2	Anzahl der Ventile pro Zylinder	280
5.1.3	Variable Ventilsteuering (VVS).....	282
5.1.3.1	Begriffe in Verbindung mit der Ventilsteuering	282
5.1.3.2	Entwicklungstendenzen der VVS.....	285
5.1.4	Steuerelemente des Ventiltriebs.....	292
5.1.4.1	Definition der Nockenform	292
5.1.4.2	Ventilerhebung, -geschwindigkeit und -beschleunigung unter Berücksichtigung der Kinematik der Ventilbetätigung	296

5.1.4.3	Die Ventilfeder.....	298
5.1.5	Dynamik des Ventiltriebs	301
5.1.5.1	Dynamisches Verhalten des Systems ohne Berücksichtigung der Elastizitäten	301
5.1.5.2	Ventiltriebsschwingungen.....	301
5.1.5.3	Anmerkungen zur Ventiltriebsreibung, zum Ventiltriebsgeräusch und zur Dynamik des Gesamtsystems	306
5.1.6	Anmerkungen zu Nockenwellenwerkstoffen, -herstellung und -lagerung.....	308
5.2	Der Kurbeltrieb	310
5.2.1	Massenausgleich des Hubkolbenmotors	310
5.2.1.1	Massenausgleich des Einzylindertriebwerks.....	311
5.2.1.1.1	Massenkräfte 1. Ordnung	311
5.2.1.1.2	Ausgleichsmöglichkeiten durch Gegen gewichte beim Einzylindertriebwerk.....	315
5.2.1.2	Massenausgleich des Mehrzylindertriebwerks mit Hilfe von Gegengewichten.....	324
5.2.1.2.1	Ausgleich der freien Massenkräfte beim Reihenmotor	324
5.2.1.2.2	Ausgleich der freien Massenkräfte beim V2-Triebwerk	326
5.2.1.2.3	Ausgleich der freien Massenmomente	334
5.2.1.2.4	Massenumlaufmoment	368
5.2.1.3	Massenausgleich mit Hilfe von Ausgleichswellen.....	370
5.2.1.3.1	Ausgleich von Massenkräften durch Ausgleichswellen; Möglichkeiten und Anwendungen.....	373
5.2.1.3.2	Rollmoment.....	377
5.2.1.3.3	Ausgleich von Massenmomenten durch Ausgleichswellen; Anwendungsbeispiele	381
6	Motorgeräusch.....	385
6.1	Motorgeräusch und Fahrgeräusch – gesetzliche Vorschriften.....	385
6.2	Motorgeräusch - Teilschallquellen und Geräuschursachen	388
6.3	Indirekt erzeugtes Motorgeräusch – Entstehung, Übertragung und Abstrahlung	391
6.4	Zylinderdruckverlauf und resultierendes Zylinderdruckspektrum	397
6.5	Vorausberechnung des akustischen Verhaltens der Motorstruktur	400
6.5.1	Schwingungsverhalten der Motorstruktur.....	400
6.5.2	Geräuschreduzierende Strukturveränderungen am Zylinder kurbelgehäuse (Motorblock) und deren physikalischer Hintergrund.....	402

6.5.3	Akustische Betrachtungen zur Kurbelwelle, deren Lagerung und das Verhalten des Schmierfilms im Zusammenhang mit dem „inneren“ Körperschall-Leitweg	407
6.5.4	Berechnung der Lufschallabstrahlung von der schwingenden Motorstruktur	413
6.5.4.1	Anmerkungen zum Berechnungsablauf	413
6.5.4.2	Abschätzung der abgestrahlten Schalleistung	414
6.6	Bemerkung zu weiteren Geräuschquellen am Motor	416
7	Zusammenfassung und Ausblick	417
Anhang		421
I	Anmerkungen zu den Grundlagen der Finite-Element-Methode (FEM).....	421
II	Zur Matrizen-Theorie der Statik – Verschiebungsmethode	424
III	Lösung von Differentialgleichungen mit Hilfe der FEM	430
IV	Anmerkungen zur Finite-Differenzen-Methode (FDM).....	435
V	Anmerkungen zur Boundary-Element-Methode (BEM).....	436
VI	Anmerkungen zum „modalen Modell“ (Modal-Analyse)	437
Literaturverzeichnis		441
Sachwortverzeichnis		455