

kraftmaschine

**Herausgegeben von
Hans List und Anton Pischinger**

Neue Folge

Band I

Gestaltung und Hauptabmessungen der Verbrennungskraftmaschine

Harald Maass

Springer Verlag
Wien New York



Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	1
1.1 Das Maß- und Einheitensystem	9
1.2 Definitionen und Begriffe	10
1.3 Hauptabmessungen, Kennwerte und Formelzeichen	11
2 Ähnlichkeitsbeziehungen der Verbrennungskraftmaschine	13
Stand der Kenn- und Vergleichswerte - Stand der Technik der Verbrennungskraftmaschine	
2.1 Modellgesetze und Kennwerte	15
2.1.1 Leistung der Hubkolben-Verbrennungskraftmaschine	16
2.1.2 Der mittlere Effektivdruck p_e	19
2.1.3 Die mittlere Kolbengeschwindigkeit v_m	23
2.1.4 Die spezifische Leistung P^*	25
2.1.5 Der Zünddruck p_z	25
2.1.6 Der Zünddruckanstieg $dp/d\alpha$	27
2.1.7 Der Reibungsmitteldruck p_r	31
2.2 Die geometrische Ähnlichkeit	35
2.2.1 Das Hubverhältnis f	35
2.2.2 Das Verdichtungsverhältnis e	36
2.2.3 Das Schubstangenverhältnis \bar{A}_p	37
2.2.4 Der relative Zylinderabstand a	38
2.2.5 Die relative Baulänge a_0	39
2.3 Mechanische Ähnlichkeit	39
2.3.1 Die Schnellläufigkeit	40
2.3.1.1 Die mechanische Schnellläufigkeit n (Modelldrehzahl)	40
2.3.1.2 Der Laufwert $0c_L$ (Massenfaktor)	42
2.3.1.3 Die spezifische Kolbengeschwindigkeit	43
2.3.2 Die bezogene Leistung	44
2.3.2.1 Die Hubraumleistung	44
2.3.2.2 Die Bauraumleistung	45
2.3.3 Das bezogene Gewicht	45
2.3.3.1 Das Hubraumgewicht	46
2.3.3.2 Das Leistungsgewicht	47
2.3.3.3 Das spezifische Leistungsgewicht	48
2.3.3.4 Das spezifische Bauraumgewicht	49
2.3.4 Der bezogene Bauraum	49
2.3.5 Das Drehmomentenverhältnis	50
2.4 Die thermische Ähnlichkeit	51
2.4.1 Die Kolbenbelastung	53
2.4.2 Die Temperaturbelastung des Kolbens	54
2.4.3 Die Brennraumbelastung	54
2.4.4 Die Leistungsfläche f	55
2.4.5 Die Temperaturspannung	5g

2.5	Wirtschaftliche Vergleichsgrößen und Umweltkennwerte	57
2.5.1	Preis und Herstellkosten	57
2.5.2	Der Verbrauch	60
2.5.2.1	Der Kraftstoffverbrauch	61
2.5.2.2	Der Schmierölverbrauch	62
2.5.3	Die Betriebssicherheit und Lebensdauer	64
2.5.4	Das Rauchverhalten	67
2.5.5	Abgasemission	68
2.5.6	Geräuschemission	70
2.5.7	Vibrationen	73
2.6	Die geschichtliche Entwicklung der Kennwerte und ihre Tendenzen für die Zukunft	76
2.7	Die Kennwerte als Einteilungskriterium für Verbrennungskraftmaschinen	81

3 Allgemeine Grundsätze zur Gestaltung der Verbrennungskraftmaschine

83

3.1	Einflüsse und Randbedingungen zur Gestaltung der Verbrennungskraftmaschine	83
3.1.1	Die Einsatzgebiete der Verbrennungskraftmaschine	84
3.1.2	Der Einfluß des projektierten Verwendungszweckes auf Gestaltung und äußere Form der Verbrennungskraftmaschine	93
3.1.3	Wirtschaftliche Gesichtspunkte	95
3.1.3.1	Betriebskosten	96
3.1.3.2	Betriebssicherheit und Instandhaltung	99
3.1.3.3	Anschaffungskosten, Platzbedarf und Gewicht	103
3.1.3.4	Anzahl der Motoreinzelteile	105
3.1.4	Gesetze, Normen, Vorschriften	106
3.1.5	Steifigkeit, Erschütterungsfreiheit und Geräusche	107
3.1.6	Kühlungsarten	111
3.1.6.1	Die Wasserkühlung	112
3.1.6.1.1	Die Verdampfungskühlung	112
3.1.6.1.2	Die Rohwasserkühlung	112
3.1.6.1.3	Die Umlaufkühlung	113
3.1.6.1.4	Die Überdruckkühlung	113
3.1.6.1.5	Die Heißkühlung	114
3.1.6.2	Die Luftkühlung	114
3.1.6.3	Die Kolbenkühlung	115
3.1.7	Betriebsverhalten und Aufladung	116
3.1.8	Anforderungen des Belastungsprofiles an die Verbrennungskraftmaschine	119
3.1.9	Rücksichten auf die Fertigungsanlagen	120
3.2	Die Wahl der Zylinderzahl einer Verbrennungskraftmaschine	123
3.2.1	Ausgeführte Zylinderzahlen	124
3.2.2	Zylinderzahl und Zündfolge	125
3.2.3	Aufladung	126
3.2.4	Thermisches Verhalten verschieden großer Zylinder	126
3.2.5	Dynamisches Verhalten bei verschiedenen Zylinderzahlen	126
3.2.6	Hubraumleistung	127

3.2.7	Hubraumgewicht	127
3.2.8	Raumbedarf der Maschine	127
3.2.9	Vielzahl der Einzelteile	127
3.2.10	Herstellungsrücksichten	128
3.2.11	Besondere Anforderungen	128
3.3	Zylinder- und Kurbelwellenanordnungen	128
3.3.1	Die Einwellen-Bauarten	128
3.3.1.1	Die Einreihen-Bauart (Reihenmotor)	129
3.3.1.1.1	Stehende Bauart	129
3.3.1.1.2	Liegende Bauart	129
3.3.1.1.3	Hängende Bauart	130
3.3.1.1.4	Der U-Motor	130
3.3.1.1.5	er Gegenkolbenmotor	130
3.3.1.2	Die Zweireihen-Bauart	131
3.3.1.3	Die Dreireihen-Bauart	132
3.3.1.4	Die Vierreihen-Bauart	132
3.3.1.5	Vielreihen-Bauart (Sternmotoren)	132
3.3.1.6	Gegenkolben-Motoren	133
3.3.1.7	Sonderbauformen der Einwellenmaschinen	133
3.3.2	Die Zweiwellen-Triebwerke	135
3.3.2.1	Der Doppel-Reihenmotor	135
3.3.2.2	Der H-Motor	135
3.3.2.3	Gegenkolben-Motoren	136
3.3.2.4	Doppel-V-Motor	136
3.3.2.5	Motoren mit Rhombentriebwerk	136
3.3.3	Das Dreiwellen-Triebwerk	136
3.3.4	Das Vierwellen-Triebwerk	137
3.3.5	Das Sechswellen-Triebwerk	137
3.3.6	Die Lagerung des Triebwerkes	138
3.3.6.1	Die Gleitlagerung	138
3.3.6.2	Die Wälzlagerung	139
3.4	Die Wirkungsweise der Zylinder	139
3.5	Die Anordnung des Kurbeltriebes	141
3.5.1	Der normale Kurbeltrieb	141
3.5.2	Der geschränkte Kurbeltrieb	142
3.5.3	Der desaxiierte Kolbenbolzen	142
3.5.4	Der angelenkte Kurbeltrieb	143
3.5.5	Der U-Kolben-Antrieb	143
3.5.6	Die Kreuzkopf bauart	144
3.6	Die Kurbelgehäuse-Bauformen	144
3.6.1	Der Einfluß der Motorenbauarten	145
3.6.2	Der Einfluß des Kraftflusses	145
3.6.2.1	Die Zugankerausführungen	145
3.6.2.2	Das kraftleitende Kurbelgehäuse	145
3.6.2.3	Gemischtbauweise	146
3.6.3	Die Skelettbauweise	147
3.6.4	Der Einfluß der Lagerungsart	148
3.6.4.1	Die Grundplatten-Motoren	148
3.6.4.2	Der Motor mit hängender Lagerung	148
3.6.4.3	Die Lagerbrückenbauart	150
3.6.4.4	Das integrierte Wannen-Kurbelgehäuse	150
3.6.4.5	Die Tunnelbauweise	151

3.6.5	Der Einfluß der Wartung und der Bedienung	151
3.6.6	Der Einfluß des Herstellungsverfahrens	151
3.6.7	Der Einfluß des Werkzeugmaschinenparks	152
3.6.8	Der Einfluß der Kühlungsart	152
3.6.9	Der Einfluß der Steifigkeitsanforderungen	153
3.7	Die Steuerung des Ladungswechsels	153
3.7.1	Die Schlitzsteuerung	153
3.7.2	Die Ventilsteuerung	154
3.7.2.1	Die Seitensteuerung	154
3.7.2.2	Die Kipphebelsteuerung	155
3.7.2.3	Die obenliegende Nockenwelle	156
3.7.2.4	Die nichtmechanische Steuerung	157
3.7.3	Die Schiebersteuerung	158
3.8	Kraftstoff auf bereitung und Verbrennungsverfahren	160
3.8.1	Der OTTO-Motor	160
3.8.1.1	Der Vergaser	161
3.8.1.2	Die Benzineinspritzung	162
3.8.2	Der DIESEL-Motor	163
3.8.2.1	Die Einspritzgeräte	163
3.8.2.1.1	Die Blockpumpen	163
3.8.2.1.2	Die Verteilerpumpe	164
3.8.2.1.3	Die Einzeleinspritzpumpe	164
3.8.2.1.4	Pumpe - Düse	164
3.8.2.1.5	Nichtmechanische Einspritzung	164
3.8.2.2	Die Verbrennungsverfahren	165
3.8.2.2.1	Direkte Einspritzung	165
3.8.2.2.2	Das Wirbelkammerverfahren	166
3.8.2.2.3	Das Vorkammerverfahren	167
3.8.2.2.4	Das Luftspeicherverfahren	168
3.8.2.2.5	Das Glühkopfverfahren und die Glühkerzenmotoren	168
3.8.2.2.6	Die Lufteinblasung	168
3.8.3	Der Gasmotor	169
3.8.3.1	Der OTTO-Gas-Motor	169
3.8.3.2	Der Zündstrahlmotor	169
3.8.3.3	Der Wechselbetriebsmotor	169
3.9	Die Einflüsse der Aufladung auf die Gestaltung des Motors	170
3.9.1	Mechanische Aufladung	170
3.9.2	Abgasturboaufladung	171
3.9.2.1	Stoßaufladung mit Abgasturbolader	171
3.9.2.2	Der Pulsconverter	172
3.9.2.3	Multistoß-Betrieb	172
3.9.2.4	Das M.P.C.-Verfahren	172
3.9.2.5	Die Stauaufladung mit Abgasturbolader	172
3.9.2.6	Die zweistufige Aufladung	173
3.9.2.7	Die Registeraufladung	173
3.9.2.8	Das Hyperbar-Verfahren	173
3.9.3	Die Stoßwellenaufladung	174
3.9.4	Die Fremdaufladung	174
3.9.5	Mischaufladung	174
3.9.6	Verbundbetrieb	174
3.9.7	Saugrohraufladung	175

4 Die Vorgabe der Entwicklungsdaten in einem Entwicklungsauftrag	175
4.1 Das Lastenheft	176
4.2 Erweiterungen zum Lastenheft	177
4.3 Termin- und Kostenverfolgung	178
4.4 Die Festlegung der Hauptabmessungen einer Verbrennungskraftmaschine und der daraus abzuleitenden Größen	178
4.4.1 Leistungsformeln	178
4.4.2 Einwirkung des Luftzustandes auf die Leistung	179
4.4.2.1 Leistungsbegrenzung durch Luftverhältnis	180
4.4.2.2 Leistungsbegrenzung durch thermische Beanspruchung	180
4.4.3 Hauptabmessungen	181
4.4.3.1 Antrieb von Schiffsschrauben	181
4.4.3.2 Antrieb von Stromerzeugern	181
4.4.3.3 Fahrzeugmotoren	182
4.5 Kennwerte	183
5 Ausgeführte Motoren	183
5.1 Die Verbrennungskraftmaschine nach dem OTTO-Verfahren	184
5.1.1 Der OTTO-Motor im Vierrad-Fahrzeugeinsatz (Pkw, Lkw)	184
5.1.2 Zweirad-Motoren	193
5.1.3 Einbau-OTTO-Motoren	199
5.1.4 Bootsmotoren	201
5.1.5 Flugmotoren	203
5.1.6 Sport- und Rennmotoren	207
5.2 Die Verbrennungskraftmaschine nach dem DIESEL-Verfahren	212
5.2.1 Zweitakt-Kreuzkopf-Motoren (Kathedral- Engines)	212
5.2.2 Zweitakt-Tauchkolbenmotor	220
5.2.3 Mittelschneiläufer	224
5.2.4 Mittelläufer	235
5.2.5 Lkw-DIESEL-Motoren	246
5.2.6 Pkw-DIESEL-Motoren	251
5.2.7 Einbau-DIESEL-Motoren	256
5.2.8 Modell-Hubkolben-Verbrennungskraftmaschine	262
6 Tabellen	266
7 Schrifttum	310
8 Nachwort	312