

Die Verbrennungskraftmaschine
Neue Folge

Herausgegeben von
Hans List und
Anton Pischinger

Band 8

Josef Affenzeller

Heinz Gläser

Lagerung und Schmierung
von Verbrennungsmotoren

SpringerWienNewYork

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Formelzeichen und Abkürzungen XI

1	Aufgaben, Wirkungsweise und Bedeutung von Lagerungen	1
1.1	Funktionsweise	1
1.2	Geschichtlicher Rückblick	3
1.3	Lagerarten	5
2	Tribologische Grundlagen und Kenngrößen der Schmierstoffe	10
2.1	Reibung und Verschleiß	10
2.1.1	Reibungsarten	10
2.1.2	Reibungszustände	11
2.1.3	Stribeck-Kurve	13
2.2	Schmierstoffe	15
2.2.1	Aufgaben und Einteilung der Schmierstoffe	16
2.2.1.1	Aufgaben	16
2.2.1.2	Einteilung	18
2.2.2	Kenngrößen von Schmierstoffen	22
2.2.2.1	Viskosität und Dichte	22
2.2.2.2	Thermische Kenngrößen von Schmierstoffen	25
2.2.3	Viskositätsklassifikation der Schmieröle	27
2.2.3.1	ISO-Normöle	27
2.2.3.2	SAE-Klassifikation	28
2.2.3.3	Weitere Motorenöl-Klassifikationen	35
2.2.4	Additive für Motorenöle	42
2.2.5	Prüfung von Motorenölen, Gebrauchtöl-Eigenschaften	48
2.2.5.1	Motorenölprüfung	48
2.2.5.2	Veränderung von Motorenölen im Gebrauch	49
3	Schmiersysteme von Verbrennungsmotoren	54
3.1	Funktion und Bestandteile von Schmiersystemen	54
3.2	Schmierstoffpumpen	55
3.3	Schmierstofffilter und Filtersysteme	63
3.3.1	Anforderungen	63
3.3.2	Filterbauarten	65
3.4	Schmierölkühlung	68
3.5	Steuerungs- und Sicherheitsbauteile	71
3.6	Schmiersysteme unterschiedlicher Motorentypen	73
3.6.1	PKW-Motoren	74

3.6.2	LKW- und kleinere Industrie-Motoren	83
3.6.3	Mittelschnell laufende Motoren	90
3.6.4	Motorradmotoren und schnell laufende Zweitaktmotoren	100
4	Die Lagerung von Verbrennungsmotoren und ihre Belastung	105
4.1	Dynamisch beanspruchte Gleitlager	105
4.2	Lager des Kurbeltriebes	106
4.2.1	Kolbenbolzenlager	107
4.2.2	Pleuellager	109
4.2.3	Grundlager	109
4.2.4	Weitere Lagerstellen	110
4.3	Kräftezerlegung	110
4.3.1	Kolbenbolzenlager	110
4.3.2	Pleuellager	112
4.3.3	Grundlager	114
4.4	Berechnungsmethoden bei Mehrzylindermotoren	116
5	Hydrodynamische Berechnung von Verbrennungsmotoren-Gleitlagern	129
5.1	Theoretische Grundlagen	129
5.1.1	Druckaufbau durch Tangentialbewegung (Keildruck)	132
5.1.2	Druckaufbau durch Radialbewegung (Verdrängungsdruck)	136
5.2	Berechnung der Wellenverlagerungsbahn	137
5.2.1	Ausgangspunkt und Berechnungsverfahren	137
5.2.2	Verfahren der überlagerten Tragkräfte	137
5.3	Berechnung der Reibungsleistung	145
5.4	Berechnung der Öldurchsatzmenge	151
5.5	Wärmebilanz	158
5.6	Maximaler Schmierfilmdruck	160
5.7	Umwandlung der raumfesten in körperfeste Koordinaten	167
5.7.1	Grundlager	167
5.7.2	Pleuellager	167
5.7.3	Kolbenbolzenlager	167
5.8	Winkelgeschwindigkeiten der Lager eines Kurbeltriebes	168
5.9	EDV-Paket zur Auslegung dynamisch beanspruchter Radialgleitlager	169
5.10	Elastohydrodynamische Lagerberechnung - EHD	174
5.10.1	Vorteile und Aussagefähigkeit der elastohydrodynamischen Berechnung	174
5.10.2	Theoretische Grundlagen der EHD-Berechnungsmethode	175
5.10.3	Vergleich der Berechnungs- und Meßergebnisse	177
6	Auslegung von Verbrennungsmotorenlagerungen	181
6.1	Auslegungskenngrößen und ihre Optimierung	181
6.1.1	Betriebszustand (Lagerbelastung)	181
6.1.2	Lagerabmessungen	191
6.1.3	Schmierstoff und Schmierung	194
6.2	Optimierung der Einflußgrößen - Optimalauslegung	198
6.2.1	Bedeutung und Möglichkeiten	198
6.2.2	Beurteilungsgrößen für eine Optimalauslegung, übliche Grenzwerte	199

6.2.3	Einfluß des relativen Lagerspieles	202
6.2.4	Einfluß von Ölzuführungstemperatur und -druck	206
6.2.5	Art und Lage der Schmierstoffzuführung	213
6.2.6	Steifigkeit von Kurbelwelle, Lager und lagerumgebenden Bauteilen	215
6.2.7	Einfluß der Kurbelwellengestaltung (Massenausgleich)	219
6.3	Schlußfolgerungen für die Lagerauslegung aus der Anwendung von EDV-Programmpaketen	222
7	Konstruktive Gestaltung von Lagern	225
7.1	Lagerbauarten und konstruktive Details	225
7.1.1	Lagerbuchsen	226
7.1.2	Dünnwandige Lagerschalen mit und ohne Anlauftring	227
7.1.3	Schmierstoffzuführungselemente	231
7.1.4	Axiallager	232
7.2	Lagerschalenpreßsitz	235
7.3	Grobgestaltung - Rückwirkung der Lagerumgebung auf die Lagerparameter	240
7.4	Feingestaltung von Lagern	243
7.4.1	Kleines Pleuelauge	243
7.4.2	Kolbenbolzenaugen	247
7.4.3	Großes Pleuelauge	248
7.4.4	Grundlager und Anordnung der Ölbohrungen in den Kurbelwellen	249
7.4.5	Nockenwellenlager	254
7.4.6	Ausgleichswellenlager	254
8	Werkstoffe und Lagerherstellung	255
8.1	Allgemeine Betrachtungen	255
8.2	Wellenwerkstoffe (einschließlich Kolbenbolzen)	256
8.3	Lagerwerkstoffe	259
8.3.1	Anforderungen und Eigenschaften	259
8.3.2	Lagerbauformen	260
8.3.3	Lagerlegierungen	262
8.3.3.1	Weißmetalle	262
8.3.3.2	Kupfer-, Blei- und Zinn Werkstoffe	263
8.3.3.3	Aluminiumlegierungen	263
8.3.3.4	Galvanische Schichten	265
8.4	Herstellungsverfahren dünnwandiger Gleitlager	266
8.5	Herstellungsverfahren von Sonderlagern	270
8.6	Qualitätssicherung	273
9	Schäden an Verbrennungsmotorenlagerungen	277
9.1	Ursachen von Schäden und Veränderungen an Gleitlagern	277
9.2	Schäden und Veränderungen an dynamisch beanspruchten Radialgleitlagern von Kolbenmaschinen	280
9.2.1	Ursachen für Schäden und Veränderungen am Lagermetall und an der Gleitschicht	282
9.2.1.1	Flächenhafter Verschleiß	282
9.2.1.2	Verschmutzung	289

9.2.1.3	Überhitzung	293
9.2.1.4	Ermüdung (dynamische Überlastung, Oberflächenzerrüttung)	295
9.2.1.5	Erosion	297
9.2.1.6	Kavitation	299
9.2.1.7	Tribochemische Reaktion, Korrosion	303
9.2.1.8	Belagbildung, Verfärbungen	306
9.2.1.9	Einbaubedingte Schädigungen	307
9.2.1.10	Herstellungsbedingte Schädigungen	309
9.2.2	Schäden und Veränderungen an der Stahlstützschale und im Lagersitz	312
9.2.2.1	Oberflächenveränderungen am Schalenrücken	312
9.2.2.2	Hohlstellen	314
9.2.2.3	Stützschaalenbruch	315
9.2.2.4	Stoßflächenbeschädigung	316
9.2.2.5	Spreizungsverlust	316
9.3	Austausch von Lagern	317
10	Prüfeinrichtungen für Gleitlager	319
10.1	Prüfmaschinen	319
10.2	Meßsysteme zur Analyse von Schmierfilmparametern	323
10.3	Prüfeinrichtungen für die Gleitlagerermüdung	332
11	Schmierung und Reibung von Kolben, Kolbenringen und Zylinderbuchsen	335
11.1	Aufgabenstellung	335
11.2	Schmierstoff Zuführung	335
11.3	Ausführungen und Materialien der Gleitpartner	336
11.3.1	Kolben	336
11.3.2	Kolbenringe	338
11.3.3	Zylinderbuchse	341
11.4	Verschleißverhalten	345
11.5	Reibung von Kolben und Kolbenringen	347
11.5.1	Analysemethoden	347
11.5.2	Reibungsverhältnisse der Gleitpartner	350
11.6	Kolben- und Kolbenringbewegung und deren Einfluß auf Tribologie, Geräusch und Zylinderbuchsen-Kavitation	355
12	Schmierung und Reibung von Ventiltrieben	363
12.1	Analysemethoden	363
12.2	Ausführung von Nockentrieben, deren Reibstellen und Schmierung	367
12.3	Reibungsverhalten von Nockentrieben	370
	Literatur	375
	Sachverzeichnis	393