

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 Anlaufring 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 Zinnwerkstoffe 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	Schmierstoffzuführung	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