

# Schmierung von Verbrennungs- kraftmaschinen

Entwicklung und aktueller Stand

Dipl.-Ing. Gerd P. Reinhardt

Dr. W. Böttcher

Ir. P. van Donkelaar

C. von Eberan-Ebenhorst

Dipl.-Ing. M. Gairing

Dr. G. P. Gommel

Dr.-Ing. R. Jäger

Dr. Uwe Jens Möller

Dipl.-Ing. F. Naumann

Dr.-Ing. Oswald Parr

Ing. Friedrich Veuhoff

Dipl.-Ing. G. Vögtle

Mit 283 Bildern und 222 Literaturstellen



Kontakt & Studium  
Band 361

Herausgeber:  
Prof. Dr.-Ing. Wilfried J. Bartz  
Technische Akademie Esslingen  
Weiterbildungszentrum  
DI Elmar Wippler  
expert verlag

expert  verlag

Herausgeber-Vorwort

Autoren-Vorwort

<b>1</b>	<b>Motorenschmierstoffe als Partner der Motoren- entwicklung</b>	<b>1</b>
	<b>Gestern – Heute – Morgen</b>	
	C. von Eberan-Eberhorst	
1.1	Einleitung	1
1.2	Entwicklung des Umfelds	4
1.3	Grundaufgaben des Schmierstoffs – historische Entwicklung von Motoren und Schmierstoffen	11
1.4	Anforderungen und Qualitäten	23
1.4.1	Prüf- und Analysenverfahren – Spezifikationen – Klassifikationen – Betriebsstoffvorschriften	23
1.4.2	Prüfverfahren	33
1.5	Grundöle und Additive der Motorenschmierstoffe	52
1.6	Wechselwirkungen	58
1.7	Zur Kostenfrage	60
1.8	Zusammenfassung und Ausblick	64
Anhang I	Einflußfaktoren – Motorenschmierstoffentwicklung	65
Anhang II	Leistungskriterien Motorenschmierstoffe	66
Anhang III	Kriterien Motorenentwicklung	67
Anhang IV	Entwicklungsaspekte Motoren	68
Anhang V	Beispiele für Wechselwirkungen zwischen Kraft- und Schmierstoff im Motor	69
<b>2</b>	<b>Anforderungen an die Motorenöle</b>	<b>70</b>
	M. Gairing	
2.1	Vorwort	70
2.2	Einleitung	70
2.3	Anforderungen an die Motoren	71
2.4	Entwicklungen bei den Motoren	71

2.5	Anforderungen an die Motorenöle	88
2.6	CCMC-Testsequenzen	100
2.6.1	Labortests für Benzinmotoren	101
2.6.2	Motorentests für Benzinmotoren	102
2.6.3	Labortests für Dieselmotoren	103
2.6.4	Motorentests für Dieselmotoren	103
2.7	Schlußbemerkung	104

### **3 Hochleistungsmotorenöle – Internationale Spezifikationen und Praxisanforderungen 111**

R. Jäger

3.1	Einleitung	111
3.2	Moderne Motorenöltechnologie	111
3.3	Definition von Klassifikationen und Spezifikationen	113
3.3.1	Klassifikationen	113
3.3.2	Spezifikationen	113
3.3.3	Prüfverfahren	114
3.4	SAE-Viskositätsenteilung	118
3.4.1	Praxisbedeutung der SAE-Klassifikation	121
3.5	MIL-L-Spezifikationen	125
3.6	API-Klassifikationen	126
3.7	CCMC-Klassifikationen	129
3.8	Hauspezifikationen der Motorhersteller	137
3.9	Schmierstoffe in Entwicklung und Praxis	139
3.9.1	Leichtlauföle	140
3.9.2	Verschleißschutzanforderungen in Ventilgetrieben	142
3.9.3	Nebenstromölfilteranlagen in der Praxis	145
3.10	Zusammenfassung	149

### **4 Schmierung von 2-Takt-Motoren 151**

Ir. P. van Donkelaar

4.1	Grundaufgaben der Zweitakt-Motorenöle	151
4.2	Grundaufgaben der Motor-Schmiersysteme	154
4.3	Motortechnische Verbesserungen an Zweitaktmotoren	157
4.4	Gemischschmiersysteme	158
4.4.1	Handmischung	158
4.4.2	Automatische Zumischung – konstantes Mischungsverhältnis	158
4.4.3	Automatische Zugabe – variables Mischungsverhältnis	160
4.5	Umwelteffekte von Sumpf- und Verlustschmierung	162
4.5.1	Umweltrelevante Verhältnisse im Motor	162

4.5.2	Ölemissionen	165
4.5.2.1	Ölemissionen aus gemischgeschmierten Motoren	165
4.5.2.2	Ölemissionen aus sumpfgeschmierten Motoren	166
4.5.3	Ölemissionen und Verbleib in der Umwelt	167
4.6	Schlußfolgerungen	169

## **5 Grundöle für Motorenöle – Aufbau, Gewinnung, Kenndaten, Anwendung** **170**

F. Veuhoff

5.1	Aufbau	170
5.1.1	Das Erdöl	170
5.1.2	Molekülgrößen von Kohlenwasserstoffe	170
5.1.3	Molekülstrukturen von Kohlenwasserstoffen	171
5.1.4	Molekülstrukturen und Praxisanforderungen	174
5.1.4.1	Ottokraftstoffe	174
5.1.4.2	Dieselmotoren	174
5.1.4.3	Kfz-Schmieröle	174
5.2	Gewinnung	175
5.2.1	Raffinat	175
5.2.1.1	Prozeßschema	175
5.2.1.2	Atmosphärische Destillation	175
5.2.1.3	Vakuumdestillation	176
5.2.1.4	Raffination	176
5.2.1.5	Entparaffinieren	176
5.2.2	Grundöle neuer Technologie	178
5.2.2.1	Hydrocracköl	178
5.2.2.1.1	Prozeßschema	178
5.2.2.2	Synthetische Kohlenwasserstoffe	178
5.2.2.2.1	Prozeßschema	178
5.2.2.3	Vorteile von Hydrocrackölen und Synthetischen Kohlenwasserstoffen gegenüber Raffinaten	179
5.2.2.4	Marktübliche Bezeichnungen	179
5.2.3	Andere Syntheseöle	180
5.2.4	Syntheseöle mit Chlor	180
5.3	Kenndaten	180
5.3.1	SAE-Klassen	181
5.3.2	Dichte	182
5.3.3	Viskosität	182
5.3.4	Grenzpumptemperatur	182
5.3.5	Viskositätsindex VI	182
5.3.6	Pourpoint	183
5.3.7	Verdampfungsverlust	183

5.3.8	Flammpunkt	183
5.4	Anwendung	183
5.4.1	Trockenreibung	184
5.4.2	Mischreibung	184
5.4.3	Flüssigkeitsreibung	184
5.4.4	Schmierfilmaufbau	184
5.4.5	Öldruck	184
<b>6</b>	<b>Aufbau neuzeitlicher Motorenöle</b>	<b>185</b>
	G. Gommel	
6.1	Motorenöle – Erwartungen/Befürchtungen	185
6.2	Basisöle	187
6.3	Additive (Wirkstoffe)	193
6.4	Motorenöle – Anforderungsmerkmale	197
6.4.1	Klassifikationen/Erbauerfreigaben	198
6.4.2	Entwicklungstrends	199
6.4.3	Synthetische Leichtlauföle (PAO)	202
6.5	Methodik der Motorenöleentwicklung	205
<b>7</b>	<b>Aufbau und Wirkungsweise moderner Motorenöl- filterungssysteme</b>	<b>208</b>
	O. Parr	
7.1	Aufgabe der Schmierölfilterung	208
7.2	Schaltungsarten von Schmierölfiltern	214
7.2.1	Hauptstromfilterschaltung	214
7.2.2	Nebenstrom-Filterschaltung	215
7.2.3	Haupt-Nebenstrom-Filterschaltung	215
7.3	Bauart-Beschreibung	216
7.3.1	Filtermittel	216
7.3.1.1	Filterpapier	216
7.3.1.2	Siebgewebe	220
7.3.1.3	Materialien für Nebenstromölfilter	220
7.3.2	Filterbauformen und Kennlinien	221
7.3.2.1	Bauarten von Hauptstromfiltern	221
7.3.2.2	Bauarten von Nebenstromölfiltern	224
7.3.2.3	Haupt- und Nebenstromfilter-Kombination	228
7.4	Normung für Schmierölfilter	230
7.4.1	Prüfnormen	230
7.4.2	Maßnormen	230
7.5	Fahrversuchsergebnisse	230
7.6	Zusammenfassung	235

<b>8</b>	<b>Problemzonen der Motorschmierung – sind diese heute noch existent?</b>	<b>236</b>
	F. Naumann	
8.1	Einleitung	236
8.2	Der Ölbedarf des Verbrennungsmotors	237
8.3	Auslegung der Ölpumpengröße und der Öldruck- Regeleinrichtung	244
8.4	Ölversorgungssysteme	246
8.4.1	Schmierungsarten und Ölwanne	246
8.4.2	Ölpumpe	248
8.4.3	Regelung von Öldruck und Ölmenge	251
8.4.4	Ölleitungssystem	252
8.5	Ölversorgungsstellen	252
8.5.1	Gleitlager	252
8.5.2	Ventiltrieb	255
8.5.3	Kolbenführung	257
8.5.4	Lagerschmierung	258
8.6	Zusammenfassung	259
<b>9</b>	<b>Anforderungen heutiger und zukünftiger Großmotoren an Schmierstoff</b>	<b>261</b>
	G. Vögtle	
9.1	Einleitung	261
9.2	Motordefinition	261
9.3	Kraftstoff für Dieselmotoren	267
9.4	Schmieröle für Großdieselmotoren	273
9.4.1	Einteilung	274
9.4.2	Grundöl auf Mineralölbasis	275
9.4.3	Grundöl auf Synthesebasis	277
9.4.4	Wirkstoffe	277
9.4.5	Schmierölspezifikation, Freigabe	280
9.5	Großmotorenschmierung	281
9.5.1	Kreuzkopf-Zweitaktmotor	283
9.5.1.1	Zylinderschmierung	283
9.5.1.2	Triebwerksschmierung	285
9.5.2	Tauchkolbenmotoren	286
9.5.3	Gasmotoren	288
9.5.4	Gebrauchtölbeurteilung	291
9.5.4.1	Diesel- und Schwerölbetrieb	291

9.6	<b>Verminderung der Schmierölbeanspruchung durch konstruktive Maßnahmen</b>	294
9.6.1	Schmierölbeanspruchung	294
9.6.2	Schmierölverbrauch	300
9.6.2.1	Motoreinlauf	300
9.6.2.2	Verdampfungsneigung	302
9.7	Getriebeschmierung	304
9.8	Betriebsstoffaufbereitung	304
9.8.1	Schmieröl	304
9.8.1.1	Schmierölssystem	307
9.8.1.1.1	Schmierölbetriebstank	307
9.8.1.1.2	Schmieröltreinigung im Hauptstrom	308
9.8.1.1.3	Schmieröltreinigung im Nebenstrom	308
9.8.1.2	Filterzusetzen	311
9.8.1.3	Mikrobielle Verunreinigung des Schmieröls	314
9.8.2	Luft	315
9.9	Zukünftige Anforderungen an Dieselmotorenöle	316
9.9.1	Grundöl	316
9.9.2	Fertigöl	316
9.9.3	Alternativbrennstoffe	317
9.9.4	Schmierölaufbereitung	317
9.10	Zusammenfassung	318

<b>10</b>	<b>Anforderungen an Schmierstoffe durch den modernen Fuhrpark</b>	<b>320</b>
	G. P. Reinhardt	

10.1	Einleitung	320
10.2	Wertigkeit des Schmierstoffs für einen Fuhrpark	320
10.3	Empfehlungen der Motorenhersteller	322
10.4	Einflüsse durch die Zusammensetzung des Fuhrparks	327
10.5	Einsatzbedingungen	331
10.6	Zusatzschmiermittel	336
10.7	Zusätzliche Ölfilterung	337
10.8	Ölverbrauch und Ölverlust	338
10.9	Wartungsintervalle	341
10.10	Auswahl-Kriterien für Motorschmierstoffe	347
10.11	Praktische Erfahrungen von Fuhrparks mit Leichtlaufölen	354
10.12	Resümee	362

<b>11</b>	<b>Motorenölanalysen und ihre Aussagekraft</b>	<b>364</b>
	W. Böttcher	
11.1	Einleitung	364
11.2	Probenahme	365
11.3	Zweck der Ölanalysen	366
11.3.1	Frischölanalysen	366
11.3.2	Gebrauchtölanalysen	367
11.4	Analysenverfahren und ihre Anwendungsgebiete	370
11.4.1	Vorprüfungen	372
11.4.2	Fremdstoffe, Verschmutzung	373
11.4.2.1	Feste Fremdstoffe	373
11.4.2.2	„Flüssige“ Fremdstoffe	376
11.4.3	Alkalische Reserve und Ölversäuerung	379
11.4.4	Alterung und Additivbau	381
11.4.5	Viskosität	384
11.4.6	Elastomere	386
11.4.7	Schaumverhalten und Luftabscheidevermögen	386
11.4.8	Sonstige Analyseverfahren	387
11.5	Aussagen von Analysen	387
11.5.1	Eigenschaften und Gebrauchswert	387
11.5.2	Zulässige Grenzwerte	390
11.5.3	Zustandsdiagnose	392
11.6	Kosten-Nutzen-Analyse	397
11.7	Zusammenfassung und Folgerungen	398
<b>12</b>	<b>Umweltschutzregelungen für Frisch- und Altöl</b>	<b>399</b>
	U.J. Möller	
12.1	Einführung	399
12.2	Schmieröle und ihr Gefährdungspotential	400
12.3	Umfang mit Schmieröl	402
12.4	Lagern von Frischölen	403
12.4.1	Lagern in ortsfesten Behältern	403
12.4.2	Lagern in ortsbeweglichen Gefäßen	407
12.5	Lagerung von Altölen	409
12.5.1	Genehmigung eines Altöllagers	409
12.5.2	Erhöhte Brandgefahr für manche Altöle	410
12.5.3	Erhöhte Wassergefährdung	411
12.5.4	Aspekte der Aufarbeitung und Beseitigung	412
12.5.5	Lagern in ortsfesten Behältern	413
12.5.6	Lagern in ortsbeweglichen Behältern	414



12.6	Verbrennung von Altöl	416
12.7	Abwasserprobleme	417
12.7.1	Direkteinleiter	417
12.7.2	Indirekteinleiter	419
12.8	Sonstige Abfälle in einem Autohaus	420
12.9	Abholung von Altöl	422
12.9.1	Vorbereitungen zur Abholung	422
12.9.2	Durchführung der Altöl-Übergabe	423
12.10	Transport von Altöl	424

<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>426</b>
-----------------------------	------------

<b>Sachregister</b>	<b>437</b>
---------------------	------------

<b>Autorenverzeichnis</b>	<b>440</b>
---------------------------	------------