

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Geschichtliche Entwicklung der Hubkolben-Verbrennungsmotoren</b>	<b>1</b>
1.1	Allgemeine Entwicklung	1
1.2	Die Entwicklung des Dieselmotors	7
<b>2</b>	<b>Arbeitsverfahren der Dieselmotoren</b>	<b>48</b>
2.1	Viertaktspiel	49
2.1.1	Ansaughub	49
2.1.2	Verdichtungshub	49
2.1.3	Arbeitshub	50
2.1.4	Ausschubhub	50
2.2	Zweitaktspiel	50
2.2.1	Spülung und Verdichtung	50
2.2.2	Arbeits- und Ausschubtakt	51
2.3	Druck- und Temperaturverlauf beim Zweitakt und Viertaktspiel für Dieselmotoren ohne Aufladung	51
2.4	Aufladung	52
2.4.1	Abgasturbolader	52
2.4.2	Aufladung von Viertaktmotoren	55
2.4.2.1	Stoßbetrieb	57
2.4.2.2	Stau- oder Gleichdruckbetrieb	57
2.4.2.3	Aufladesysteme für Hochaufladung	58
2.4.2.3.1	Stoßaufladung mit Drei-Zylinder-Gruppen (Dreistoßaufladung)	58
2.4.2.3.2	Stoßaufladung mit 2 oder 1 Zylinder pro Turbinen- eintritt (Zweistoß- oder Einstoßaufladung)	58
2.4.2.3.3	Stoßaufladung mit 4 Zylindern pro Turbineneintritt (Vierstoßaufladung)	59
2.4.2.3.4	Das Pulse-Converter-System	59
2.4.2.3.5	Das Multistoß-System	61
2.4.2.3.6	Die Gleichdruckaufladung	62
2.4.3	Aufladung von Zweitakt-Dieselmotoren	63
2.4.3.1	Art der Ausnutzung der Abgasenergie	65
2.4.3.1.1	Der Stoßbetrieb	65
2.4.3.1.2	Stau- oder Gleichdruckbetrieb	68
2.4.3.2	Die Beschaffung der Spülluft	69
2.4.3.2.1	Serienbetrieb	69
2.4.3.2.2	Parallelbetrieb	71
<b>3</b>	<b>Bauarten der Dieselmotoren</b>	<b>72</b>
3.1	Normen	72
3.2	Motoren für allgemeine Verwendung	83
3.3	Schiffsmotoren	86

<b>4 Energieumsetzung im Dieselmotor</b>	<b>88</b>
4.1 Thermodynamische Grundlagen	88
4.1.1 Der „vollkommene“ Motor	88
4.1.1.1 Definition des vollkommenen Motors	88
4.1.1.2 Das Gleichraumverfahren	89
4.1.1.3 Das Gleichdruckverfahren	92
4.1.1.4 Der Seiliger-Prozeß	94
4.1.1.5 Zusammenstellung der Zustandsänderungen	99
4.1.1.6 Prozesse mit vollständiger Expansion und Weiterentwicklung	100
4.1.2 Der „wirkliche“ Motor	107
4.1.2.1 Die „innere oder indizierte“ Arbeit	107
4.1.2.2 Der Ansaughub	108
4.1.2.3 Der Kompressionshub	110
4.1.2.4 Der Verbrennungs- und Expansionshub	112
4.1.2.5 Der Auspuffhub	114
4.1.2.6 Zusammenfassung	116
4.1.3 Wirkungsgrade	116
4.1.3.1 Der Gütegrad $\eta_g$	116
4.1.3.2 Der innere oder indizierte Wirkungsgrad $\eta_i$	116
4.1.3.3 Die effektive oder Nutzarbeit und die Leistungen	118
4.1.3.4 Der mechanische Wirkungsgrad $\eta_m$	120
4.1.3.5 Der effektive Wirkungsgrad (Nutzwirkungsgrad) $\eta_e$	121
4.1.4 Der Kraftstoffverbrauch	122
4.1.5 Beziehungen zwischen $\eta_m$ , $B$ und $b_e$ bei verschiedenen Belastungen bei stationären Maschinen ( $n = \text{konst.}$ )	123
4.1.6 Verhalten des Motors bei Schraubenantrieb	125
4.1.7 Literleistung und Leistungsmasse	128
4.1.8 Mittlere Kolbengeschwindigkeit	129
4.1.9 Die Wärmebilanz	131
4.1.9.1 Rohbilanz	131
4.1.9.2 Wärmeschaubilder	133
4.1.9.3 Feinbilanz	134
4.1.9.4 Einige Daten über die Wärmeverteilung in modernen Dieselmotoren	135
4.2 Motorische Verbrennung	136
4.2.1 Heiz- und Einspritzgesetz	136
4.2.2 Gemischbildung	142
4.2.3 Entwicklung der Einspritzverfahren	144
4.2.4 Spülverfahren in Zweitaktmotoren	144
4.2.4.1 Spülverfahren	144
4.2.4.2 Gleichstromspülung	145
4.2.4.3 Querstromspülung	148
4.2.4.4 Umkehrspülung	151
4.2.5 Spülverfahren für 4-Takt-Dieselmotoren	152
4.3 Kenngrößen in Diagrammen und Motorcharakteristiken	155
4.3.1 Kennlinien	155

4.3.2	Kennflächen (Kennlinienfelder) . . . . .	157
4.3.3	Wärmedaten von Motoren . . . . .	158
4.4	Auslegung von Dieselmotoren . . . . .	158
4.4.1	Auslegung von ortsfesten Dieselmotoren . . . . .	160
4.4.2	Auslegung von Schiffsantriebsmotoren . . . . .	171
4.4.2.1	Allgemeine Auslegungsgesichtspunkte . . . . .	171
4.4.2.2	Auslegungsbeispiel nach [4.9] . . . . .	174
<b>5</b>	<b>Gestaltung von Motoren . . . . .</b>	<b>184</b>
5.1	Äußerer Aufbau . . . . .	184
5.1.1	Motorengestell – Motorengehäuse . . . . .	184
5.1.2	Zylinderdeckel – Zylinderköpfe . . . . .	185
5.1.3	Laufbuchsen . . . . .	192
5.2	Triebwerk . . . . .	197
5.3	Massenausgleich . . . . .	205
5.4	Drehschwingungen . . . . .	208
5.5	Motorensteuerung . . . . .	215
5.5.1	Steuerungseinrichtungen und Steuerung des Gaswechsels bei Vier- und Zweitaktmotoren . . . . .	215
5.5.1.1	Konstruktive Ausbildung der Ventilantriebe . . . . .	215
5.5.1.2	Ventile . . . . .	218
5.5.1.2.1	Einlaßventil . . . . .	220
5.5.1.2.2	Auslaßventil . . . . .	221
5.5.1.2.3	Einstellung der Ventilsteuerung . . . . .	227
5.5.2	Kraftstoffeinspritzvorrichtung und Steuerung bzw. Regelung des Einspritzvorganges . . . . .	231
5.5.2.1	Einspritzung . . . . .	231
5.5.2.1.1	Aufbau und Wirkungsweise der Einspritzventile . . . . .	231
5.5.2.1.2	Direkteinspritzung (Strahlzerstäubung) . . . . .	235
5.5.2.1.3	Vorkammervorrichtung . . . . .	239
5.5.2.1.4	Einspritzverfahren und Unterteilung des Ver- brennungsraumes bei Kleindieselmotoren . . . . .	242
5.5.2.2	Kraftstoffpumpen . . . . .	244
5.5.2.2.1	Kraftstoffpumpen mit Überströmregelung . . . . .	246
5.5.2.2.2	Drehkolbenpumpen mit Schrägkantenregelung . . . . .	248
5.5.2.2.3	Verstellung des Voreinspritzwinkels . . . . .	250
5.5.2.2.4	Einstellung und Überprüfung der Einspritzpumpen . . . . .	254
5.5.2.2.5	Elektronische Einspritzung . . . . .	256
5.5.2.2.6	Zündfolge . . . . .	263
5.5.3	Anlaßvorrichtungen und Steuerung des Anlaßvorganges . . . . .	264
5.5.3.1	Anlaßverfahren . . . . .	264
5.5.3.2	Anlassen mit Druckluft . . . . .	264
5.5.3.3	Anlaßvorrichtungen . . . . .	266
5.5.3.4	Überwachung und Wartung der Anlaßvorrichtungen . . . . .	271

5.5.4	Umsteuerung und Manöveriereinrichtungen	273
5.5.4.1	Ausführungen von Umsteuereinrichtungen	274
5.5.4.2	Manöveriereinrichtungen	278
5.5.4.2.1	Sicherheitsregler	281
5.5.4.2.2	Servomotor	284
5.5.4.2.3	Wartung	285
5.5.5	Sicherheitsventile am Zylinder	286
5.6	Fundamentgestaltung	286
5.6.1	Allgemeines	286
5.6.2	Ausführung der Schiffsmotorenfundamente nach [5.7]	290
5.6.1.1	Durchbiegungen des Motorenfundaments	290
5.6.1.2	Biegeschwingungen des Motorenfundaments	291
5.6.1.3	Aufstellung der Motoren in Schiffen	292
5.6.1.4	Befestigung des Motors auf dem schiffbaulichen Fundament	292
<b>6</b>	<b>Betrieb von Dieselmotoren</b>	<b>301</b>
6.1	Kraftstoff – Kraftstoffsysteme	301
6.1.1	Kraftstoffe	301
6.1.1.1	Herkunft – Herstellung	301
6.1.1.1.1	Kettenförmige Struktur	302
6.1.1.1.2	Ringförmige Struktur	303
6.1.1.1.3	Kohlehydrierung	304
6.1.1.1.4	Fördergebiete	305
6.1.1.1.5	Rohölverarbeitung	306
6.1.1.1.6	Bezeichnung der Kraftstoffe – Normung in Deutschland	308
6.1.1.1.7	Umstellung auf SI-Einheiten in der Schifffahrt	308
6.1.1.1.8	Schiffahrtsbrennstoffe	308
6.1.1.1.9	Spezifikationen (ASTM-BS-Hersteller)	309
6.1.1.1.10	Zukünftige Entwicklungen auf dem Brennstoffmarkt für die Schifffahrt	313
6.1.1.2	Untersuchung von Kraftstoffen	315
6.1.1.2.1	Entnahme von Kraftstoff- und Schmierölproben	315
6.1.1.2.2	Dichte und Heizwert	316
6.1.1.2.3	Viskosität	320
6.1.1.2.4	Flammpunkt	321
6.1.1.2.5	Brennpunkt	323
6.1.1.2.6	Cetan-Zahl und Dieselindex, Zündpunkt	324
6.1.1.2.7	Siedeverhalten	325
6.1.1.2.8	Koks und Asche	326
6.1.1.2.9	Mechanische Beimengungen	327
6.1.1.2.10	Wassergehalt	327
6.1.1.2.11	Säuregehalt (Xylo-Methode)	327
6.1.1.2.12	Schwefelgehalt	327

6.1.2	Unterbringung und Behandlung von Kraftstoffen	328
6.1.2.1	Gestaltung, Anordnung und Wartung der Kraftstofftanks	328
6.1.2.2	Vorrichtungen zur Kraftstoffreinigung:	
	Wirkungsweise und Wartung	330
6.1.2.2.1	Separatoren	330
6.1.2.2.2	Filter	337
6.1.2.3	Beispiel für Kraftstoffsystem eines Mittelschnellläufers mit Schwerölbetrieb	340
6.1.2.4	Beispiel für Kraftstoffsystem eines Großdieselmotors (Zweitaktkreuzkopf)	348
6.2	Schmieröl – Schmierölsysteme	350
6.2.1	Schmieröl	350
6.2.1.1	Schmierung	350
6.2.1.2	Schmierung der Dieselmotoren	358
6.2.1.2.1	Schmieröle	358
6.2.1.2.2	Verhalten des Schmieröles im Betrieb	359
6.2.1.2.3	HD-Öle – Einphasenöle	361
6.2.1.3	Die Untersuchung der Schmieröle	362
6.2.1.3.1	Dichte	363
6.2.1.3.2	Flammpunkt und Brennpunkt	363
6.2.1.3.3	Neutralisationszahl – Total acid Number (TAN) (nicht für HD-Öle)	364
6.2.1.3.4	Total Base Nummer (TBN) (nur für HD-Öle)	364
6.2.1.3.5	Verseifungszahl	364
6.2.1.3.6	Esterzahl	365
6.2.1.3.7	Aschezahl	365
6.2.1.3.8	Koks (wenig angewandt)	365
6.2.1.3.9	Stockpunkt	365
6.2.1.3.10	Viskosität	365
6.2.1.3.11	m-Wert	368
6.2.1.3.12	Viskositätspolhöhe VP	369
6.2.1.3.13	Viskositätsindex VI	369
6.2.1.3.14	Wassergehalt	369
6.2.2	Schmierölsysteme	370
6.2.2.1	Die Schmierung kleiner und mittlerer Motoren	370
6.2.2.2	Die Schmierung großer Motoren	380
6.3	Kühlung der Dieselmotoren	380
6.3.1	Kühlmittel und Kühlmittelaufbereitung	381
6.3.2	Kühlungssysteme	383
6.4	Anlassen und Anlaßluftsysteme	391
6.4.1	Anlassen mit Druckluft	391
6.4.2	Anlaßluftsystem	394
6.5	Betriebsklarmachen	394
6.5.1	Schmierung	396
6.5.2	Kühlung	396
6.5.3	Kraftstoffversorgung	397

6.5.4	Druckluftversorgung	397
6.5.5	Unfallverhütung	397
6.6	Überwachung der motorischen Kenngrößen	398
6.6.1	Überprüfung der Arbeitsweise des Motors durch Indizieren	398
6.6.1.1	Automatische Überwachung von Zünddruck, mittlerem Druck und Leistung	398
6.6.1.2	Indikatoren	402
6.6.1.3	Indikatordiagramme	403
6.6.1.3.1	Verdichtungsdiagramme	403
6.6.1.3.2	Leerlaufdiagramme	404
6.6.1.3.3	Anfahrtdiagramme	404
6.6.1.3.4	Normale und versetzte Arbeitsdiagramme	405
6.6.1.3.5	Schwachfederdiagramme	406
6.6.1.3.6	Regeldiagramme	408
6.6.1.3.7	Offene Arbeitsdiagramme	408
6.6.1.4	Deutung von Unregelmäßigkeiten in den Diagrammen	409
6.6.1.4.1	Frühzündung	409
6.6.1.4.2	Spätzündung	410
6.6.1.4.3	Überprüfung des Zündzeitpunktes	411
6.6.1.4.4	Düsenverschmutzung und Verhalten bei Verwendung von Teeröl	411
6.6.1.4.5	Unregelmäßigkeiten im Niederdruckbereich	412
6.6.2	Ermittlung der Betriebsdaten	412
6.6.2.1	Leistungsermittlung	413
6.6.2.1.1	Mittlerer indizierter Druck, indizierte Leistung	413
6.6.2.1.2	Effektive Leistung, mittlerer effektiver Druck	416
6.6.2.2	Der spezifische Kraftstoffverbrauch	419
6.7	Automation im Motorenbetrieb	419
6.8	Besondere Betriebszustände	432
6.8.1	Überwachung von Kurbelwellen-(Grund-)lagern	432
6.8.2	Schwerölbetrieb-Empfehlungen von SEMT-Pielstick	433
6.8.3	Parallelbetrieb von Mehrmotoren-Anlagen	435
6.8.4	Gleitlagerschäden	440
6.8.4.1	Einleitung	440
6.8.4.2	Gleitlagerverhalten	442
6.8.4.3	Veränderungen am Lager	444
6.8.4.4	Filterung des Schmieröls	445
6.8.4.5	Revision von Lagern	446
6.8.4.6	Hypothese	447
6.8.4.7	Maßnahmen zur Verringerung des Risikos	447
6.8.5	Hinweise für den schadenfreien Betrieb von Dieselmotoren nach Allianz-Merkblatt Nr. 7, Ausgabe 1981	449
6.8.5.1	Maßnahmen bei Anlieferung des Motors	449
6.8.5.2	Zwischenlagerung des Motors bis zum Einbau	449
6.8.5.3	Aufstellung bzw. Einbau des Motors	450
6.8.5.4	Vorbereitung zur Inbetriebnahme	451

6.8.5.4.1	Kraftstoffanlage	451
6.8.5.4.2	Schmieranlage	451
6.8.5.4.3	Kühlanlage	451
6.8.5.4.4	Steuerung und Regelung	451
6.8.5.4.5	Anlaßanlage	451
6.8.5.4.6	Prüfung nach kurzer Betriebsunterbrechung	452
6.8.5.5	Probelauf	452
6.8.5.5.1	Kleinere Motoren	452
6.8.5.5.2	Größere Motoren	452
6.8.5.5.3	Während des Probelaufs beachten	452
6.8.5.5.4	Während des Betriebes beachten	453
6.8.5.5.5	Während des Abstellens beachten	453
6.8.5.6	Schadenverhütung durch Beachtung anomaler Betriebszustände	453
6.8.5.7	Schadenverhütung durch Wartung	462
6.8.5.7.1	Planmäßige Wartung	462
6.8.5.7.2	Außerplanmäßige Wartung	463
6.8.5.8	Schadenverhütung durch Reinigen	464
6.8.5.8.1	Äußere Reinigung	464
6.8.5.8.2	Innere Reinigung	464
6.8.5.9	Schadenverhütung durch Konservieren	465
6.8.5.9.1	Vor kürzerem Stillstand (einige Wochen)	465
6.8.5.9.2	Vor längerem Stillstand (Winterpause)	465
6.8.5.9.3	Entkonservieren	465
<b>7</b>	<b>Instandhaltung von Dieselmotoren</b>	<b>467</b>
7.1	Instandhaltung – Gliederung	467
7.2	Instandhaltungspläne	471
7.3	Wartungshinweise für einfache Motorenanlagen	476
7.3.1	Unregelmäßigkeiten im Betrieb	476
7.3.1.1	Rauchende Verbrennung	476
7.3.1.2	Leistungsabfall	477
7.3.1.3	Schäden und Störungen im Kühlsystem	478
7.3.1.4	Klopfen des Motors	478
<b>8</b>	<b>Kraftwerksanlagen</b>	<b>480</b>
8.1	Bauplanung – Umwelt	480
8.2	Fundamentierung	488
8.3	Kühlung	497
8.4	Abwärmeverwertung	500
<b>9</b>	<b>Schiffsantriebsanlagen</b>	<b>501</b>
9.1	Zusammenwirken von Motor, Propeller und Schiff	501
9.2	Abwärmeverwertung und E-Bedarfsdeckung	508
9.3	Schiffsgetriebe und Kupplungen	510
	<b>Sachwortverzeichnis</b>	<b>523</b>