

BAU UND BETRIEB
VON
DIESELMASCHINEN

EIN LEHRBUCH FÜR STUDIERENDE

VON

FRIEDRICH SASS

**DR.-ING. DR.-ING. E. H., EM. O. PROFESSOR AN DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT
BERLIN-CHARLOTTENBURG**

ZWEITE AUFLAGE VON
„KOMPRESSORLOSE DIESELMASCHINEN“

ZWEITER BAND
DIE MASCHINEN UND IHR BETRIEB

MIT 428 ABBILDUNGEN



SPRINGER-VERLAG BERLIN HEIDELBERG GMBH

1957

ALLE RECHTE,
INSBESONDERE DAS DER ÜBERSETZUNG IN FREMDE SPRACHEN, VORBEHALTEN
OHNE AUSDRÜCKLICHE GENEHMIGUNG DES VERLAGES IST ES AUCH NICHT GESTATTET,
DIESES BUCH ODER TEILE DARAUS AUF PHOTOMECHANISCHEM WEGE
(PHOTOKOPIE, MIKROKOPIE) ZU VERVIELFÄLTIGEN
© BY SPRINGER-VERLAG BERLIN HEIDELBERG 1957
URSPRÜNGLICH ERSCHIENEN BEI SPRINGER-VERLAG OHG., BERLIN/GÖTTINGEN/HEIDELBERG 1957

ISBN 978-3-662-01638-1 ISBN 978-3-662-01637-4 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-01637-4

Vorwort

Den im Vorwort zum ersten Band meines Lehrbuches „Bau und Betrieb von Dieselmotoren“ angekündigten zweiten Band habe ich erst jetzt fertigstellen können, da ich inzwischen durch andere Arbeiten stark in Anspruch genommen war. Wie der erste, so wendet sich auch der zweite Teil an Studierende des Maschinenbaufaches, denen ich zeigen möchte, wie man Dieselmotoren baut.

Es ist dies kein ganz einfaches Handwerk; es erfordert große Erfahrung, Umsicht und Gewissenhaftigkeit, wenn man in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht des Erfolges sicher sein will. Der verantwortliche Konstrukteur hat sich unablässig davon zu überzeugen, daß alle, auch die scheinbar nebensächlichen Teile sachgemäß entworfen und ausgeführt sind, und daß nichts das Gelingen in Frage stellt. Dies an Beispielen zu zeigen war ich besonders in den Abschnitten IV und V bemüht, in welchen von ersten in- und ausländischen Firmen gebaute Dieselmotoren mit verschieden ausgewählten Einzelteilen dargestellt sind. Diese Abschnitte lesen sich nicht bequem, da ihre Lektüre dem Leser häufiges Umblättern zumutet, wenn er das Zusammenwirken der einzelnen Teile verstehen will; allein, wer Bequemlichkeit sucht, beschäftige sich nicht mit dem Bau von Dieselmotoren. Er wird dann aber eine sehr interessante Kraftmaschine nicht kennenlernen.

Zusammen mit den in den Abschnitten III bis VI des I. Bandes behandelten Maschinenelementen werden nahezu alle Einzelteile eines Dieselmotors wenigstens einmal im Bild dargestellt und beschrieben. Hinsichtlich der Herstellerfirmen ist Vollständigkeit natürlich ausgeschlossen; hier gebot der Umfang des Buches die Beschränkung auf einige wenige Namen.

Die wichtigen Untersuchungen „Massenausgleich“ und „Drehschwingungen“, die man bei Beginn eines Entwurfes anzustellen hat, gehen dem konstruktiven Teil des Buches voraus. Ihre Darstellung entspricht dem Gebrauch der Praxis.

Es ist vorgekommen, daß Drehschwingungsdämpfer im Betrieb völlig versagt haben. Das hat daran gelegen, daß der Dämpfer nicht richtig abgestimmt war, d. h. daß die Eigenschwingungszahl der Dämpfermasse nicht in der richtigen Höhe zur Eigenschwingungszahl der Motormassen lag. In diese noch wenig bekannten Zusammenhänge sucht der Teil C des III. Abschnitts (S. 102 bis 131) Klarheit zu bringen, soweit es sich um Dämpfer mit konstanter Eigenschwingungszahl der Dämpfermasse und um das Sarazin-Pendel mit seiner veränderlichen Eigenschwingungszahl handelt.

Der letzte Abschnitt des Buches will nicht eine Betriebsvorschrift ersetzen. Er wird es aber dem Studierenden erleichtern, sich im Maschinenraum eines Motorschiffes zurechtzufinden, wenn sich ihm die Gelegenheit bietet, seine Ausbildung durch eine Reise auf einem Motorschiff zu ergänzen. —

Bei der Abfassung des Buches bin ich durch die leitenden Herren der in den Abschnitten IV und V genannten Firmen weitgehend unterstützt worden, nicht nur durch die Überlassung wertvoller Werkzeichnungen und Betriebsvorschriften, sondern auch durch manche Ratschläge bezüglich der Darstellung. Ihnen hierfür auch an dieser Stelle zu danken ist mir ein aufrichtiges Bedürfnis. Die Herren Min.-Rat Dipl.-Ing. G. MENZ, Dipl.-Ing. H. ERLLENWEIN und Dipl.-Ing. O. THARUN haben mich bei den

Untersuchungen des III. Abschnitts in dankenswerter Weise unterstützt, die Studierenden der Technischen Universität F. SIEFERT, B. FRANZ und F. SCHUBERT sind mir bei der Anfertigung mancher Abbildungen behilflich gewesen.

Dem Springer-Verlag und seinen Mitarbeitern bleibe ich für die Sorgfalt, die sie, wie allen meinen Arbeiten, so auch der Herstellung dieses Buches haben zuteil werden lassen, zu Dank verpflichtet.

Berlin, im Juli 1956

F. Sass

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Verzeichnis der Zahlentafeln	XI
I. Dem Entwurf vorausgehende Erwägungen	
A. Wahl der Bauart	1
1. Viertakt oder Zweitakt, einfach- und doppeltwirkend	1
2. Tauchkolben oder Kreuzkopf	2
3. Langsamläufer oder Schnellläufer. Direkter Antrieb oder Untersetzungsgetriebe	3
4. Aufladung	4
5. Reihen- oder V-Form. Druckzerstäubung oder Vorkammer. Wasser- oder Luftkühlung	5
B. Berechnung der Hauptabmessungen D und H aus p_e und c_m	6
1. Indizierte und effektive Leistung	6
2. Wahl der Bestimmungsgrößen	8
Zylinderzahl	8
Drehzahl	9
Hubverhältnis	10
Verdichtungsverhältnis	10
3. Zahlenbeispiel für die Berechnung von D und H	11
C. Konstruktive Einzelheiten	11
II. Massenausgleich	
1. Aufteilung der Massen	14
2. Massenkräfte der Einzylindermaschine	15
a) Die Massenkräfte P_I und P_{II} der hin- und hergehenden Teile	15
b) Die Massenkraft P_R der umlaufenden Teile	18
3. Massenkräfte und -momente der Mehrzylindermaschine	19
4. Addition der Massenkräfte und -momente bei Mehrzylindermaschinen	22
a) Verschiebung der Vektoren in die Schwereebene	23
b) Addition der Massenkräfte P_R , P_I und P_{II}	24
c) Addition der Massenmomente M_R , M_I und M_{II}	26
5. Ausgleich der Massenwirkungen bei Ein- und Mehrzylindermaschinen.	31
Wahl der günstigsten Kurbelfolge	31
Erläuterungen zu den Übersichtsplänen	33
Rücksichtnahme auf Drehschwingungen	39
Abweichungen von der Scherengitter-Regel	39
Austauschbarkeit von Kurbelwellenhälften	39
Aufstellung unausgeglichener Motoren im Schiff	39
6. Zahlenbeispiele	40
a) Fünfzylinder-Motor	40
b) Vierzylinder-Zweitaktmotor mit Kolbenspülpumpe	42
c) Dreizylinder-Gegenkolbenmotor mit Kurbelversetzung und Spülpumpe	43
7. Sonderfälle	46
a) Reihenmotoren mit ungleichen Kurbelwinkeln	46
b) Motoren in V-Anordnung	47
c) Kolbendampfmaschinen	52

III. Drehschwingungen		Seite
A. Berechnung der Eigenschwingungszahlen		57
1. Reduktion der Längen		57
2. Reduktion der Massen		60
3. Berechnung der Eigenschwingungszahlen		64
a) Freie ungedämpfte Schwingungen einer einseitig eingespannten Welle mit <i>einer</i> Masse		64
b) Freischwingende Welle mit <i>zwei</i> Massen		67
c) Welle mit <i>beliebig vielen</i> Massen		68
d) Berechnung der Eigenschwingungszahlen mittels der <i>R-n</i> -Kurve		70
e) Die Eigenschwingungszahlen höheren Grades		73
4. Zahlenbeispiel: Berechnung der Eigenschwingungszahlen I. und II. Grades für eine gegebene Anlage		74
5. Berechnung der Eigenschwingungszahlen von Wellen mit Zahnradvorgelege		77
B. Die schwingungerregenden Kräfte. Kritische Drehzahlen		80
1. Die Form der Drehkraftlinie als Ursache der Impulse		80
2. Bestimmung der Ordnungszahlen durch harmonische Analyse der Drehkraftlinie.		82
Einfluß der Massenkräfte		85
3. Relative Stärke der kritischen Drehzahlen verschiedener Ordnungen		87
4. Verschiebung der kritischen Drehzahlen $1/2$ -ter Ordnungen durch Änderung der Zündfolge		95
5. Größe der Schwingungsausschläge in der Resonanz		96
6. Beanspruchung der Welle durch Drehschwingungen.		100
7. Breite der kritischen Drehzahlgebiete		102
C. Dämpfung der Drehschwingungen		102
1. Einmassensystem mit gedämpfter erzwungener Schwingung		103
2. Zweimassensystem mit gedämpfter erzwungener Schwingung der Dämpfermasse (Gedämpfte dynamische Schwingungsdämpfer mit <i>konstanter</i> Eigenfrequenz)		111
a) Ableitung und graphische Darstellung der Gleichungen der Resonanzkurve.		111
b) Einfluß der Bestimmungsgrößen ν_2/ν_1 , m_2/m_1 und β_2 auf Größe und Lage der Nebenresonanzen		119
c) Abstimmung des Dämpfers auf günstigste Wirkung		121
Beispiel		127
d) Bestimmung von m_1 , c_1 und β_1 im Drehschwingungssystem		128
e) Beispiele ausgeführter Schwingungsdämpfer		131
Dämpfer mit <i>konstanter</i> Eigenfrequenz der Dämpfermasse		131
(<i>Sandner</i> -Dämpfer, <i>Hülsenfederdämpfer</i> der <i>MAN</i> , Dämpfer Bauart <i>Doxford-Bibby</i>)		
Reibungsdämpfer		133
(<i>Lanchester</i> -, <i>Holset</i> -Dämpfer)		
3. Schwingungsdämpfer mit <i>veränderlicher</i> Eigenfrequenz der Dämpfermasse (<i>Sarazin</i> -Pendel)		134
a) Eigenschaften des Fliehkraftpendels		134
b) Die Gleichungen des Pendel-Dämpfers		138
c) Abstimmung des Pendel-Dämpfers		142
D. Messung der Drehschwingungen		145
IV. Ausgeführte Dieselmotoren		
1. <i>FIAT</i> Stabilimento Grandi Motori		148
Einfachwirkender Zweitakt-Kreuzkopfmotor 3600 PSe		149
Spülpumpe		153
Spül- bzw. Nachladeventil		154
Kurbelwelle		155
Triebwerkschmierung und Kolbenkühlung		156
Zylinderdeckel		157
Brennstoffventil		158

Inhaltsverzeichnis

	VII
	Seite
Zylinderlaufbuchse	159
Zylinderschmierung	161
Anfahr- und Umsteuervorrichtung	164
Doppeltwirkender Zweitaktmotor 9000 PSe.	179
Unterer Zylinderdeckel	181
2. <i>Gebrüder Sulzer A.-G.</i>	183
Zweitakt-Tauchkolbenmotoren	184
Zylinderdeckel	185
Anlaßventil	187
Arbeitszylinder und Spülpumpen	187
Spülpumpenventil	189
Kolbenkühlung	190
Anlaßluftkompressor	191
Zweitakt-Kreuzkopfmotoren	192
Grundplatte	196
Ständer	197
Zylinderblock	198
Zylinderdeckel	198
Arbeitskolben	200
Kreuzkopf	201
Gleitschuhe	202
Pleuelstange	203
Kolbenkühlung	203
Anfahr- und Umsteuervorrichtung	204
Brennstoffpumpe	207
Brennstoffnocken	208
Rädertrieb	209
Anlaßventil	209
Anfahrluftsteuerventil	211
3. <i>Klöckner-Humboldt-Deutz AG</i>	211
Luftgekühlter Viertaktmotor 170 PSe	212
Schmierung	216
Kurbelgehäuse	218
Stößelführungen	220
Grundlager	221
Vorderer Deckel des Kurbelgehäuses	221
Kurbelwelle und Massenausgleich	222
Pleuelstange	225
Kolben	225
Zylinderlaufbuchse	226
Zylinderkopf	226
Aufsatz zum Zylinderkopf	227
Wassergekühlter Zweitaktmotor 500 PSe.	229
Zylinderlaufbuchse	234
Kurbelwelle	235
Plan der Schmierölleitungen	236
Rädergetriebe	237
Spülluftgebläse	239
Anfahrluftleitungen	241
Hauptanfahrventil	242
Steuerluftverteiler	242
Anfahr- und Umsteuervorgang	244
Regler	247
4. <i>Koninklijke Machinefabriek Gebr. Stork & Co.</i>	248
Zweitakt-Tauchkolbenmotor 2000 PSe	248
Einfachwirkender Zweitakt-Kreuzkopfmotor 600 PSe/Zyl.	252
Doppeltwirkender Zweitaktmotor 6700 PSe.	254
Kolbenspülpumpe	258
Massenausgleich	259

	Seite
Spülpumpenventil	259
Arbeitskolben	260
Plan der Steuerluftleitungen	261
Anfahrvorgang	262
Hauptanfahrventil	264
Anfahrventil im Zylinderdeckel	264
Umsteuervorgang	267
Vorrichtung zum Drehen der Kurbelwelle	268
5. Krupp-Wumag-Henschel	269
Zweitakt-Tauchkolbenmotor 320 PSe	269
Kurbelwellenlager	274
Drucklager	275
Kolben	275
Spülluftgebläse	276
Anfahr- und Umsteuervorrichtung, Brennstoffregelung	277
Regler	279
Einfachwirkender Zweitakt-Kreuzkopfmotor 600 PSe/Zyl.	280
Zylinderlaufbuchse	280
Arbeitskolben	282
Oberer Deckel des Kurbelgehäuses	284
Kreuzkopf mit Gleitschuhen	284
Kreuzkopfschmierölpumpe	286
Teleskoprohrträger	287
Teleskoprohrgehäuse	288
Kolbenkühlwasserleitungen	290
6. Maschinenbau Kiel A.-G.	290
Viertakt-Tauchkolbenmotor 750 PSe	292
Anordnung der Hilfsmaschinen und des Schwingungsdämpfers	295
Schwingungsdämpfer	295
Kühlwasserpumpe	297
Anfahrluftkompressor	298
Kompressorventile	299
Einrückkupplung Bauart <i>Ortlinghaus</i>	300
Zahnradschmierölpumpe Bauart <i>Neidig</i>	301
Anfahr- und Umsteuervorrichtung	301
Anfahrluftsteuerventil	307
Preßluftverteiler	308
Hauptanfahr- und Druckminderventil	309
Anfahrventil im Zylinderdeckel	311
Nockenwellenantrieb	311
Regler	312
7. Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg A.-G.	314
Viertakt-Tauchkolbenmotor 785 PSe	314
Zylinderblock	315
Zylinderdeckel	319
Arbeitskolben	319
Nockenwellenantrieb	320
Vorrichtung zum Verschieben der Nockenwelle	322
Anfahr- und Umsteuervorrichtung	323
Zweitakt-Tauchkolbenmotor 2550 PSe	325
Antrieb des Kapselgebläses	329
Bauart des Kapselgebläses	330
Steuerung der Drehschieber des Kapselgebläses	331
Einfachwirkender Zweitakt-Kreuzkopfmotor 700 bzw. 900 PSe/Zyl.	332
Zwischenboden mit Spülluftventilen	334
Abstreifstopfbuchse der Kolbenstange	334
Doppeltwirkender Zweitaktmotor 6800 PSe	337
Geschweißte Grundplatte	339
Kolbenspülpumpe	340

Inhaltsverzeichnis

IX

	Seite
Geschweißtes Gehäuse der Kolbenspülpumpe	341
Nachladeschieber	344
Antrieb der Nachladeschieber	346
Anfahr- und Umsteuervorrichtung	348
8. Motorenfabrik Darmstadt G.m.b.H.	351
Nichtumsteuerbarer Zweitakt-Tauchkolbenmotor 200 PSe	353
Umsteuerbarer Zweitakt-Tauchkolbenmotor 480 PSe	355
Zylinderrahmen	359
Zylinderlaufbuchse	361
Zylinderdeckel	361
Ladeventil	362
Anfahrventil im Zylinderdeckel	363
Anfahrluftsteuerschieber	363
Bedienungsstand mit Hauptanfahrventil	365
Umsteuerung der Brennstoffpumpe	367
Zahnradtrieb	369
9. Motoren-Werke Mannheim A.-G.	370
Umsteuerbarer Viertakt-Tauchkolbenmotor 1400 PSe	370
Zylinderdeckel	375
Ventilhebelwelle	376
Antrieb der Einsaug- und Auspuffventile	376
Ventilstößel und -führungen	377
Anfahr- und Umsteuervorrichtung	378
Hauptanfahrventil	380
Steuerluftverteiler	380
Anfahrventil im Zylinderdeckel	381
Regler	383
Umsteuermaschine	385
Umsteuerventil	385
Nockenwelle	385
Kühlwasserkreiselpumpe	387
Schmierölpumpe	387
Brennstoffförderpumpe	387
Anfahrluftkompressor	389
Ventile zum Anfahrluftkompressor	390
Luftflasche	391
10. Werkspoor N. V.	393
Einfachwirkender Zweitakt-Kreuzkopfmotor 1800/2400 PSe	394
Arbeitskolben	399
Steuerung der Auspuffventile	400
Diagramm der Steuerzeiten	403
Einfachwirkender Zweitakt-Kreuzkopfmotor 9600 PSe	404
Brennstoffpumpe	404
Aspinall-Regler	409

V. Leistungssteigerung durch Aufladen

A. Mechanischer Antrieb des Ladegebläses	410
1. Mechanisches Aufladen der Zweitaktmotoren	411
a) Aufladen durch Nachladeschlitze	411
b) Aufladen durch Kurbelversetzung bei Gegenkolbenmaschinen	411
c) Aufladen durch umlaufende Auspuffschieber	412
d) Aufladen durch oszillierende Auspuffklappen	414
e) Aufladen durch Auspuffventile	414
2. Mechanisches Aufladen der Viertaktmotoren	420
a) Unterseite des Arbeitskolbens als Ladegebläse	420
b) Von der Kurbelwelle angetriebenes Ladegebläse	422

	Seite
B. Abgasturboantrieb des Ladegebläses	423
1. Abgasturboaufladung der Viertaktmotoren	423
Bauart des Abgasturbogebälases	427
2. Abgasturboaufladung der Zweitaktmotoren	430
a) Aufladen durch Abgasturbogebälase mit Kolbenspülpumpe.	430
b) Spülen und Aufladen durch Abgasturbogebälase	430
3. Hochaufladung	440
Hochaufladen von Viertaktmotoren	440
Hochaufladen von Zweitaktmotoren	442
 VI. Der Betrieb 	
1. Die Betriebsstoffe des Dieselmotors	444
a) Brennstoff	444
b) Kühlwasser und Kühlöl	451
c) Schmieröl	457
d) Luft	458
2. Klarmachen der Maschine	459
3. Anfahren der Maschine	460
4. Überwachung des Betriebes	461
a) Verbrennung und Leistung	461
b) Kühlung	464
c) Schmierung	464
d) Pflege einzelner Teile	465
5. Manövrieren	465
6. Instandhaltung der Maschine.	467
Verschleiß der Zylinderlaufbuchsen	469
Namenverzeichnis	472
Sachverzeichnis	473

Verzeichnis der Zahlentafeln

	Seite																		
1. Normale Drehstrom-Drehzahlen für 50 Hz	9																		
2. Berechnung von D und H bei gegebener Zylinderleistung und Drehzahl	11																		
3. Größen der resultierenden Massenkräfte und Massenmomente der <i>Viertakt</i> -Reihenmotoren mit Zylinderzahlen 1 bis 12	34																		
4. Größen der resultierenden Massenkräfte und Massenmomente der <i>Zweitakt</i> -Reihenmotoren mit Zylinderzahlen 1 bis 12	35																		
5. Berechnung der Kräfte- und Momentenvektoren eines Fünfzylindermotors	41																		
6. Umlaufende und hin- und hergehende Gewichte eines Vierzylinder-Zweitaktmotors mit Kolben- spülpumpe	43																		
7. Berechnung der Kräfte- und Momentenvektoren eines Vierzylinder-Zweitaktmotors mit Kolben- spülpumpe	43																		
8. Umlaufende und hin- und hergehende Gewichte eines Dreizylinder-Gegenkolbenmotors mit Kolben- spülpumpe	45																		
9. Berechnung der Kräfte- und Momentenvektoren eines Dreizylinder-Gegenkolbenmotors mit Kolben- spülpumpe	45																		
10. Umlaufende und hin- und hergehende Gewichte des Haupttriebwerks einer Dampfmaschine . . .	53																		
11. Umlaufende und hin- und hergehende Gewichte der Steuerungsteile einer Dampfmaschine . . .	53																		
12. Berechnung der Vektoren $P_R, P_I, P_{II}, M_R, M_I, M_{II}$ für das Haupttriebwerk und die Steuerungs- teile einer Dampfmaschine	54																		
13.)	<table style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">{</td> <td style="padding-left: 5px;">$n = 280$ Schwing./min</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>$n = 290$ „ „</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>$n = 300$ „ „</td> <td style="padding-left: 10px;">74</td> </tr> <tr> <td></td> <td>$n = 995$ „ „</td> <td style="padding-left: 10px;">bis</td> </tr> <tr> <td></td> <td>$n = 1005$ „ „</td> <td style="padding-left: 10px;">77</td> </tr> <tr> <td></td> <td>$n = 1015$ „ „</td> <td></td> </tr> </table>	{	$n = 280$ Schwing./min			$n = 290$ „ „			$n = 300$ „ „	74		$n = 995$ „ „	bis		$n = 1005$ „ „	77		$n = 1015$ „ „	
{		$n = 280$ Schwing./min																	
		$n = 290$ „ „																	
		$n = 300$ „ „	74																
		$n = 995$ „ „	bis																
		$n = 1005$ „ „	77																
	$n = 1015$ „ „																		
14.)																			
15.)																			
16.)																			
17.)																			
18.)																			
19. Amplituden der schwingungerregenden harmonischen Drehkräfte	85																		
20. Übersicht über die zusammengehörenden Zahlenwerte $v_2/v_1, m_2/m_1$ und β_2 der Nebenresonanzkurven Bild 107. Gültig für $\beta_1 = 0,1$	120																		
21. Viertakt-Tauchkolbenmotoren der Firma <i>FIAT</i>	148																		
22. Zweitakt-Tauchkolbenmotoren der Firma <i>FIAT</i>	148																		
23. Einfachwirkende Zweitakt-Kreuzkopfmotoren der Firma <i>FIAT</i>	149																		
24. Hauptabmessungen der Zweitaktmotoren der Typen T 24 bis T 56 der Firma <i>Gebr. Sulzer</i> . . .	184																		
25. Motorbauarten der <i>Klöckner-Humboldt-Deutz AG</i>	212																		
26. Eigenschaften einiger Bunker C-Öle	445																		