

# Laborversuche an Kraft- und Arbeitsmaschinen

von Willi Bohl und Walter Mathieu

mit 155 Bildern und 85 Tabellen



Carl Hanser Verlag München Wien 1975

# Inhaltsverzeichnis

1. Meßmethoden und Meßgeräte . . . . .	11
1.1. Druckmessungen . . . . .	11
1.1.1. Begriffe und Einheiten . . . . .	11
1.1.2. Übersicht über die Meßverfahren . . . . .	14
1.1.3. Flüssigkeitsmanometer . . . . .	14
1.1.4. Kolben-Druckmeßgeräte . . . . .	19
1.1.5. Federelastische Manometer . . . . .	21
1.1.6. Elektrische Druckmeßgeräte . . . . .	22
1.1.7. Druckumformer . . . . .	24
1.1.8. Technische Vorschriften . . . . .	24
1.1.9. Anbringung von Druckmeßgeräten . . . . .	24
1.2. Temperaturmessungen . . . . .	26
1.2.1. Begriffe und Einheiten . . . . .	26
1.2.2. Übersicht über die Temperaturmeßgeräte und Temperaturmeßverfahren . . . . .	26
1.2.3. Berührungsthermometer . . . . .	29
1.2.3.1. Einleitung . . . . .	29
1.2.3.2. Flüssigkeits-Glasthermometer . . . . .	29
1.2.3.3. Flüssigkeits- und Dampfdruck-Federthermometer . . . . .	30
1.2.3.4. Thermoelemente . . . . .	31
1.2.3.5. Widerstandsthermometer . . . . .	34
1.2.3.6. Einbau von Berührungsthermometern . . . . .	36
1.2.3.7. Anzeigeverzögerung . . . . .	38
1.2.4. Strahlungspyrometer . . . . .	39
1.2.5. Besondere Temperaturmeßverfahren . . . . .	39
1.3. Standmessung (Niveaumessung) . . . . .	40
1.3.1. Standmessung mittels Schau- und Standglas . . . . .	40
1.3.2. Niveaumessung mittels Schwimmer, Auftriebskörpern und Stechpegeln . . . . .	40
1.4. Volumenmessung . . . . .	42
1.4.1. Ovalradzähler . . . . .	42
1.4.2. Woltmannzähler . . . . .	42
1.4.3. Drehkolbenzähler . . . . .	43
1.4.4. Kräftstoff-Verbrauchsmesser . . . . .	43
1.5. Durchflußmessung . . . . .	44
1.5.1. Begriffe und Einheiten . . . . .	44
1.5.2. Bestimmung des Volumenstromes aus Geschwindigkeitsverteilung und Leitungs-(Kanal-)Querschnitt . . . . .	44
1.5.2.1. Meßgeräte . . . . .	44
1.5.2.2. Meß- und Auswertverfahren . . . . .	48
1.5.3. Drosselgeräte (Wirkdruckverfahren) . . . . .	52
1.5.3.1. Meßverfahren . . . . .	52
1.5.3.2. Normdrosselgeräte . . . . .	52
1.5.4. Überfallwehr . . . . .	54
1.5.5. Schwebekörper-Durchflußmeßgeräte . . . . .	55
1.6. Drehzahlmessung . . . . .	58
1.6.1. Meßverfahren (Übersicht) . . . . .	58
1.6.2. Mechanische Drehzahlmesser . . . . .	59
1.6.3. Elektrische Drehzahlmesser . . . . .	59
1.6.3.1. Tachometer . . . . .	59
1.6.3.2. Elektronische Zähler . . . . .	60
1.6.3.3. Stroboskope . . . . .	61
1.7. Kraftmessung . . . . .	62
1.7.1. Waagen . . . . .	62
1.7.2. Kraftmeßdosen . . . . .	62

1.8.	Drehmomentenmessung . . . . .	64
1.8.1.	Meßverfahren (Übersicht) . . . . .	64
1.8.2.	Der Pronysche Zaum . . . . .	65
1.8.3.	Wasserwirbelbremse . . . . .	66
1.8.4.	Wirbelstrombremse . . . . .	70
1.8.5.	Pendelgenerator und Pendelmotor . . . . .	70
1.8.6.	Torsionsdynamometer . . . . .	71
1.9.	Leistungsmessung . . . . .	74
1.9.1.	Meßverfahren (Übersicht) . . . . .	74
1.9.2.	Messung über Drehmoment und Drehzahl . . . . .	75
1.9.3.	Elektrische Messung . . . . .	76
1.9.3.1.	Indirekte Messung über Strom und Spannung . . . . .	76
1.9.3.2.	Direkte Messung mit Wattmeter oder Leistungsmeßkoffer . . . . .	76
1.10.	Geräuschmessungen . . . . .	77
1.10.1.	Begriffe und Einheiten . . . . .	77
1.10.2.	Meßgeräte (Übersicht) . . . . .	79
1.10.3.	Geräuschanalyse und -beurteilung . . . . .	80
1.11.	Physikalische Analyseverfahren (eine Auswahl) . . . . .	81
1.11.1.	Feuchtemessung . . . . .	81
1.11.2.	Heizwertbestimmung . . . . .	84
1.11.3.	pH-Wert-Bestimmung . . . . .	85
1.11.4.	Gasanalyse (insbesondere Abgasanalyse) . . . . .	86
1.11.5.	Messung der Leitfähigkeit . . . . .	88
2.	Versuche an Kraftmaschinen . . . . .	90
2.1.	Wasserturbinen . . . . .	90
2.1.1.	Abnahmeversuche . . . . .	90
2.1.1.1.	Sinn und Zweck von Abnahmeversuchen . . . . .	90
2.1.1.2.	Versuchsaufbau . . . . .	91
2.1.1.3.	Versuchsdurchführung . . . . .	95
2.1.1.4.	Versuchsauswertung . . . . .	99
2.1.2.	Modellversuche . . . . .	112
2.1.2.1.	Sinn und Zweck von Modellversuchen . . . . .	112
2.1.2.2.	Versuchsaufbau . . . . .	113
2.1.2.3.	Versuchsdurchführung . . . . .	114
2.1.2.4.	Versuchsauswertung und Umrechnung der Versuchswerte . . . . .	115
2.2.	Abnahmeversuche an Dampfturbinen . . . . .	118
2.2.1.	Sinn und Zweck . . . . .	118
2.2.2.	Versuchsaufbau . . . . .	119
2.2.3.	Versuchsdurchführung . . . . .	123
2.2.4.	Versuchsauswertung . . . . .	123
2.3.	Gasturbine . . . . .	129
2.3.1.	Beschreibung der verschiedenen Versuchsmöglichkeiten . . . . .	129
2.3.2.	Versuchsaufbau . . . . .	130
2.3.3.	Durchführung der Versuche . . . . .	133
2.3.4.	Versuchsauswertung . . . . .	135
2.4.	Dieselmotoren am Prüfstand . . . . .	142
2.4.1.	Abgrenzung . . . . .	143
2.4.2.	Versuchsaufbau . . . . .	143
2.4.2.1.	Motorenprüfstand . . . . .	144
2.4.2.2.	Kraftstoffverbrauch, Stichprober . . . . .	144
2.4.2.3.	Luftmengenmesser . . . . .	144
2.4.2.4.	Rauchgastester . . . . .	146
2.4.2.5.	Temperaturmeßstellen . . . . .	146
2.4.2.6.	Indiziereinrichtung . . . . .	147
2.4.2.7.	Kraftstoffuntersuchung . . . . .	148
2.4.3.	Versuchsdurchführung . . . . .	149
2.4.3.1.	Leistungsmessung . . . . .	150
2.4.3.2.	Kraftstoffverbrauchsmessung . . . . .	152

14  
129

2.4.3.3.	Luftdurchsatz	152
2.4.3.4.	Rauchgasprüfung	152
2.4.3.5.	Temperaturmessung	153
2.4.3.6.	Indizieren am Dieselmotor	153
2.4.3.7.	Untersuchung des Dieselmotorkraftstoffes	153
2.4.4.	Versuchsauswertung	154
2.4.4.1.	Motorleistung und Mitteldruck	154
2.4.4.2.	Verbrauchskennfeld	159
2.4.4.3.	Luftaufwand und Luftzahl	161
2.4.4.4.	Schwärzungszahl nach Bosch, Abgaszusammensetzung	162
2.4.4.5.	Temperaturmessung	163
2.4.4.6.	Indikatordiagramm, indizierter Mitteldruck	163
2.4.4.7.	Cetanzahl	165
2.5.	Ottomotoren am Prüfstand	168
2.5.1.	Abgrenzung	168
2.5.2.	Versuchsaufbau	169
2.5.2.1.	Leistungsbremse	169
2.5.2.2.	Stichprober, Kraftstoffverbrauch	171
2.5.2.3.	Durchlauf-Rückkühler zur Wärmebilanz	171
2.5.2.4.	Luftmengenmesser	171
2.5.2.5.	CO-Tester	171
2.5.2.6.	Manuelle Zündwinkelverstellung, Verteilerprüfstand	172
2.5.2.7.	Indiziereinrichtung mit Kathodenstrahloszilloskop	172
2.5.2.8.	BASF-Prüfmotor	174
2.5.3.	Versuchsdurchführung	174
2.5.3.1.	Leistungsbestimmung	174
2.5.3.2.	Kraftstoffverbrauchsmessung	176
2.5.3.3.	Kühlmittel-Wärmemengen	176
2.5.3.5.	Abgasprüfung	176
2.5.3.6.	Zündwinkel	176
2.5.3.7.	Indikator-Diagrammaufnahme	177
2.5.3.8.	Kraftstoffuntersuchung am Klopfmotor	177
2.5.4.	Versuchsauswertung	178
2.5.4.1.	Kennlinien, Leistung und Drehmoment	178
2.5.4.2.	Spezifischer Kraftstoffverbrauch	180
2.5.4.3.	„Wärmebilanz“	181
2.5.4.4.	Luftaufwand	181
2.5.4.5.	CO-Gehalt im Abgas	182
2.5.4.6.	Zündwinkel-Verstellkurve	182
2.5.4.7.	Indikatordiagramm	184
2.5.4.8.	Oktanzahl von Ottokraftstoffen	185
3.	Versuche an Arbeitsmaschinen	189
3.1.	Abnahmeversuche an einer Radialkreiselpumpe	189
3.1.1.	Einleitung	189
3.1.2.	Versuchsaufbau	189
3.1.3.	Versuchsdurchführung	191
3.1.4.	Versuchsauswertung	194
3.2.	Versuche an einem Axialgebläse	204
3.2.1.	Einleitung	204
3.2.2.	Versuchsaufbau	205
3.2.3.	Versuchsdurchführung	207
3.2.4.	Versuchsauswertung	214
3.3.	Turboverdichter	229
3.3.1.	Einleitung	229
3.3.2.	Versuchsaufbau	230
3.3.3.	Versuchsdurchführung	230
3.3.4.	Versuchsauswertung	231

3.4.	Kolbenverdichter	237
3.4.1.	„Abnahmeversuche“	237
3.4.1.1.	Versuchsaufbau	237
3.4.1.2.	Versuchsdurchführung	239
3.4.1.3.	Versuchsauswertung	239
3.5.	Kolbenpumpe	243
3.5.1	Einleitung	243
3.5.2.	Versuchsaufbau	243
3.5.3.	Versuchsdurchführung	245
3.5.4.	Versuchsauswertung	246
	Literaturverzeichnis	248
	Sachverzeichnis	250