



EUROPA-FACHBUCHREIHE  
für metalltechnische Berufe

# Kraft- und Arbeitsmaschinen

14. Auflage

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL • Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG  
Düsselberger Straße 23 • 42781 Haan-Gruiten

Europa-Nr: 10412

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	<b>3</b>
<b>Hinweise zur Arbeit mit diesem Buch</b> .....	<b>4</b>
<b>1 Einführung in die Maschinenkunde</b> .....	<b>11</b>
<b>1.1 Gruppierung in Kraft- und Arbeitsmaschinen</b> .....	<b>11</b>
1.1.1 Begriff Kraftmaschine .....	11
1.1.2 Begriff Arbeitsmaschine .....	12
<b>1.2 Maschinen, Aggregate und technische Anlagen</b> .....	<b>13</b>
<b>2 Naturwissenschaftliche Grundlagen des Maschinenbaus</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1 Vorbemerkung</b> .....	<b>15</b>
<b>2.2 Mechanik der festen Körper</b> .....	<b>16</b>
2.2.1 Physikalische Größen und ihre Einheiten .....	16
2.2.2 Gleichförmige geradlinige Bewegung .....	16
2.2.3 Ungleichförmige geradlinige Bewegung .....	16
2.2.4 Skalare und Vektoren .....	17
2.2.5 Grundsatz der Unabhängigkeit .....	17
2.2.6 Dynamisches Grundgesetz, Kräfteinheit, Gewichtskraft .....	17
2.2.7 Das Kraftmoment .....	17
2.2.8 Standfestigkeit und Kippsicherheit .....	18
2.2.9 Bewegungsgröße (Impuls), Impulserhaltung, Impulsänderung .....	19
2.2.10 Reibung .....	19
2.2.11 Arbeit und Energie .....	20
2.2.12 Mechanische Leistung .....	21
2.2.13 Mechanischer Wirkungsgrad .....	21
2.2.14 Drehleistung .....	21
2.2.15 Gleichmäßig beschleunigte oder verzögerte Drehbewegung .....	22
2.2.16 Kinetische Energie rotierender Massen .....	22
<b>2.3 Hydrostatische Grundgesetze</b> .....	<b>23</b>
2.3.1 Hydrostatischer Druck .....	23
2.3.2 Druckkraft auf Flächen .....	24
<b>2.4 Strömungsgesetze</b> .....	<b>26</b>
2.4.1 Definition des inkompressiblen Fluids .....	26
2.4.2 Die stationäre Rohrströmung ohne Reibungsverluste .....	26
2.4.3 Stromlinie und Stromröhre .....	27
2.4.4 Die Kontinuitätsgleichung für inkompressible Medien .....	27
2.4.5 Kontinuitätsgleichung des kompressiblen Massenstroms .....	28
2.4.6 Die Energiegleichung nach Bernoulli .....	30
<b>2.5 Fluidreibung</b> .....	<b>33</b>
2.5.1 Innere Reibung .....	33
2.5.2 Zähigkeit der Fluide .....	34
2.5.3 Die Strömungsformen .....	36
2.5.4 Der Strömungswiderstand .....	38
2.5.5 Druckverluste in Rohrleitungen .....	39
2.5.5.1 Berechnung des Druckverlustes in Rohrleitungen .....	40
2.5.6 Druckverluste in Rohrleitungssystemen mit Einbauten .....	42
<b>2.6 Grundgesetze der Wärmelehre</b> .....	<b>45</b>
2.6.1 Temperatureinheiten und Temperaturskalen .....	45
2.6.2 Wärmeausdehnung fester und flüssiger Stoffe .....	46
2.6.3 Wärmeausdehnung von Gasen und Dämpfen .....	47

2.6.4	Allgemeine Zustandsgleichung der Gase. . . . .	48
2.6.5	Molare (stoffmengenbezogene) Zustände und Größen. . . . .	48
2.6.6	Wärmekapazität fester und flüssiger Stoffe. . . . .	49
2.6.7	Brennwert und Heizwert. . . . .	50
2.6.8	Schmelzen und Erstarren. . . . .	50
2.6.9	Verdampfen und Kondensieren. . . . .	51
<b>2.7</b>	<b>Der erste Hauptsatz der Thermodynamik. . . . .</b>	<b>52</b>
2.7.1	Volumenänderungsarbeit. . . . .	53
2.7.2	Innere Energie und Enthalpie. . . . .	55
2.7.3	Die spezifische Wärmekapazität von Gasen. . . . .	56
<b>2.8</b>	<b>Thermodynamische Zustandsänderungen. . . . .</b>	<b>58</b>
2.8.1	Die Isobare. . . . .	58
2.8.2	Die Isochore. . . . .	60
2.8.3	Die Isotherme. . . . .	60
2.8.4	Die Isentrope bzw. Adiabate. . . . .	62
2.8.5	Die Polytrope. . . . .	62
<b>2.9</b>	<b>Kreisprozesse im p, V-Diagramm. . . . .</b>	<b>64</b>
2.9.1	Nutzarbeit. . . . .	65
2.9.2	Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik. . . . .	65
2.9.3	Der thermische Wirkungsgrad. . . . .	66
2.9.4	Vergleichsprozesse der Wärmekraftmaschinen. . . . .	67
2.9.4.1	Der (klassische) Diesel-Prozess. . . . .	67
2.9.4.2	Der Otto-Prozess. . . . .	69
2.9.4.3	Der Seiliger-Prozess. . . . .	69
2.9.4.4	Der Joule-Prozess. . . . .	69
2.9.4.5	Der Ackeret-Keller-Prozess. . . . .	69
2.9.4.6	Der Stirling-Prozess. . . . .	70
2.9.4.7	Der Carnot-Prozess. . . . .	70
2.9.4.8	Der (klassische) Dampfkraftprozess. . . . .	70
<b>2.10</b>	<b>Kreisprozesse im Ts-Diagramm. . . . .</b>	<b>71</b>
<b>2.11</b>	<b>Kreisprozesse im J,s-Diagramm. . . . .</b>	<b>72</b>
<b>2.12</b>	<b>Mollier-Diagramme. . . . .</b>	<b>73</b>
<b>2.13</b>	<b>Elektrizitätslehre. . . . .</b>	<b>74</b>
2.13.1	Gesetzmäßigkeiten im elektrischen Stromkreis. . . . .	74
2.13.2	Gesetzmäßigkeiten bei Widerstandsschaltungen. . . . .	74
2.13.2.1	Parallelschaltung von Widerständen. . . . .	74
2.13.2.2	Reihenschaltung von Widerständen. . . . .	75
2.13.3	Klemmenspannung und Innenwiderstand von Spannungserzeugern. . . . .	76
2.13.4	Elektromagnetische Größen. . . . .	76
2.13.5	Der sinusförmige Wechselstrom. . . . .	77
2.13.6	Elektrische Motoren und Transformatoren. . . . .	77
2.13.7	Stern- und Dreieckschaltung. . . . .	79
<b>2.14</b>	<b>Kernphysik. . . . .</b>	<b>80</b>
2.14.1	Radioaktivität. . . . .	80
2.14.2	Dosimetrie. . . . .	81
2.14.3	Kernenergie. . . . .	82
<b>3</b>	<b>Energie. . . . .</b>	<b>83</b>
<b>3.1</b>	<b>Primärenergie und Sekundärenergie. . . . .</b>	<b>83</b>
<b>3.2</b>	<b>Energieträger. . . . .</b>	<b>83</b>
3.2.1	Die Steinkohleneinheit. . . . .	83
3.2.2	Erzeugung und Verbrauch von Primärenergie. . . . .	84
3.2.3	Energievorräte. . . . .	85

3.2.4	Nicht erneuerbare Energien	85
3.2.5	Erneuerbare Energieträger	86
3.2.5.1	Begründung des Einsatzes erneuerbarer Energien	86
3.2.5.2	Nachwachsende Energiequellen	87
3.2.5.3	Wärmepumpentechnologie	89
3.2.5.4	Solartechnik, Sonnenkollektoren, Fotovoltaik	91
3.2.5.4.1	Solarzelle	92
3.2.5.4.2	Solarmodule	94
3.2.5.4.3	Fotovoltaikanlagen	95
3.2.5.5	Windenergieanlagen (WEA)	98
3.2.5.6	Zukunftstechnologie Brennstoffzelle	103
3.2.5.6.1	Funktionsprinzip der Brennstoffzellen	103
3.2.5.6.2	Brennstoffzellentypen	104
3.2.5.6.3	Brennstoffzellensysteme	105
3.2.5.6.4	Brennstoffaufbereitung	105
3.2.5.6.5	Wirkungsgrad von Brennstoffzellen	106
3.2.5.6.6	Anwendungen von Brennstoffzellensystemen	106
3.2.5.7	Wasserkraft	108
3.2.6	Energieeinsparung	108
3.2.7	Umweltproblematik	109
3.2.7.1	Luftverreiniger	110
3.2.7.2	CO <sub>2</sub> -Bilanz der nachwachsenden Biomasse	110
<b>4</b>	<b>Kraftmaschinen</b>	<b>111</b>
<b>4.1</b>	<b>Arten der Kraftmaschinen</b>	<b>111</b>
<b>4.2</b>	<b>Dampferzeugungsanlagen</b>	<b>111</b>
4.2.1	Physik der Dampferzeugung	112
4.2.2	Wärme durch Verbrennung	113
4.2.3	Feuerungsstätten	115
4.2.3.1	Planrostfeuerung	115
4.2.3.2	Treppenrostfeuerung	115
4.2.3.3	Wanderrostfeuerung	115
4.2.3.4	Kohlenstauffeuerung	116
4.2.3.5	Schmelzfeuerung	116
4.2.3.6	Ölfeuerung	117
4.2.3.7	Gasfeuerung	117
4.2.4	Dampferzeuger	118
4.2.4.1	Möglichkeiten der Wärmeübertragung	118
4.2.4.2	Einteilung der Dampferzeuger	119
4.2.4.3	Wasserraumkessel	119
4.2.4.4	Wasserrohrkessel	120
4.2.5	Hilfsanlagen für die Dampferzeugung	122
4.2.5.1	Kesselspeisepumpe	123
4.2.5.2	Speisewasservorwärmer	123
4.2.5.3	Luftvorwärmer	123
4.2.5.4	Rußbläser	123
4.2.5.5	Überhitzer	124
4.2.5.6	Staubfilteranlagen	124
4.2.5.7	Wasseraufbereitung	124
<b>4.3</b>	<b>Dampfkraftmaschinen</b>	<b>126</b>
4.3.1	Kolbendampfmaschine	126
4.3.2	Dampfmotor	127
4.3.2.1	Dampfmotor mit Kolbenschiebersteuerung	128
4.3.2.2	Dampfmotor mit Ventilsteuerung	129
4.3.3	Dampfturbinen	131

4.3.3.1	Grundsätzlicher Aufbau von Dampfturbinen	131
4.3.3.2	Physik im Turbinenbetrieb	131
4.3.3.3	Turbinenbauarten nach DIN 4304	136
4.3.3.4	Häufig ausgeführte Arbeitsverfahren (Gleichdruck- und Überdruckturbine)	138
4.3.3.5	Radialdampfturbine	142
4.3.3.6	Werkstoffe im Dampfturbinenbau	143
4.3.3.7	Sicherheits- und Regeleinrichtungen im Turbinenbau	143
<b>4.4</b>	<b>Dampfkraftanlagen</b>	<b>145</b>
4.4.1	Konventionelle Dampfkraftwerke	145
4.4.2	Nukleare Dampfkraftwerke	146
4.4.2.1	Kernenergie und kontrollierte Kernspaltung	147
4.4.2.2	Kernreaktoren	149
4.4.2.3	Reaktorsicherheit	151
4.4.2.4	Entsorgung	151
4.4.3	Gas- und Dampfturbinenanlagen	152
4.4.4	Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)	153
<b>4.5</b>	<b>Wasserkraftmaschinen</b>	<b>155</b>
4.5.1	Wasserräder	155
4.5.2	Wasserturbinen	157
4.5.2.1	Geschwindigkeitsdreiecke	157
4.5.2.2	Euler'sche Turbinengleichung und Turbinenarten	158
4.5.2.3	Die Peltonturbine (Freistrahlturbine)	159
4.5.2.4	Die Francisturbine (Spiralturbine)	160
4.5.2.5	Die Kaplan-turbine (Propellerturbine)	161
4.5.2.6	Pumpenturbinen	164
<b>4.6</b>	<b>Wasserkraftwerke</b>	<b>164</b>
4.6.1	Laufwasserkraftwerke	165
4.6.2	Speicherkraftwerke	165
4.6.3	Gezeitenkraftwerke	166
4.6.4	Kraftwerksverbund	167
<b>4.7</b>	<b>Verbrennungskraftmaschinen</b>	<b>168</b>
4.7.1	Übersicht und grundsätzliche Unterschiede	168
4.7.2	Gasturbinen und Strahltriebwerke	169
4.7.3	Verbrennungsmotoren	171
4.7.3.1	Hubkolbenmotoren nach DIN 1940, DIN ISO 3046	172
4.7.3.2	Viertakt-Ottomotor	173
4.7.3.3	Zweitakt-Ottomotor	178
4.7.3.4	Vergaseranlagen und Benzineinspritzanlagen des Ottomotors	180
4.7.3.5	Zündung beim Ottomotor	184
4.7.3.6	Viertakt-Dieselmotor	186
4.7.3.7	Gemischbildung beim Dieselmotor	187
4.7.3.8	Zweitakt-Dieselmotor	189
4.7.3.9	Kraftstoffeinspritzung bei Dieselmotoren	189
4.7.3.10	Motorkühlung	189
4.7.3.11	Kreiskolbenmotor	191
4.7.3.12	Aufladung	192
4.7.3.13	Kraftstoffe für Verbrennungsmotoren	194
<b>4.8</b>	<b>Elektrische Maschinen und Anlagen</b>	<b>197</b>
4.8.1	Grundlagen der Spannungserzeugung	198
4.8.1.1	Entstehung einer Wechselspannung	198
4.8.1.2	Entstehung des Drehstroms	200
4.8.2	Elektromotoren	201
4.8.2.1	Gleichstrommotoren	203
4.8.2.1.1	Gleichstrommotoren in Sonderbauformen	205
4.8.2.2	Drehstrommotoren	207

4.8.2.2.1	Wechselstrommotoren besonderer Bauarten. . . . .	213
4.8.3	Transformatoren. . . . .	214
4.8.4	Schutzmaßnahmen. . . . .	215
<b>5</b>	<b>Arbeitsmaschinen. . . . .</b>	<b>217</b>
<b>5.1</b>	<b>Pumpen. . . . .</b>	<b>217</b>
5.1.1	Strömungsgesetze. . . . .	217
5.1.2	Pumpeneinsatzbereiche und Leistungsgrenzen. . . . .	218
5.1.3	Berechnung der Anlagen-Förderhöhe und der Pumpenleistung. . . . .	219
5.1.4	Pumpen- und Anlagenkennlinien. . . . .	220
5.1.5	Kreiselpumpen. . . . .	220
5.1.5.1	Arbeitsprinzip von Kreiselpumpen. . . . .	220
5.1.5.2	Die Saugwirkung. . . . .	222
5.1.5.3	Kavitation und Selbstansaugung. . . . .	222
5.1.5.4	Bauarten von Kreiselpumpen. . . . .	223
5.1.6	Verdrängerpumpen. . . . .	226
5.1.6.1	Kolbenpumpen. . . . .	226
5.1.6.2	Membranpumpen. . . . .	229
5.1.6.3	Umlaufverdrängerpumpen. . . . .	229
5.1.7	Vergleich zwischen Kolben- und Kreiselpumpen. . . . .	232
5.1.8	Weitere Pumpenarten. . . . .	233
<b>5.2</b>	<b>Verdichter. . . . .</b>	<b>235</b>
5.2.1	Verdichterbezeichnungen. . . . .	235
5.2.2	Hubkolbenverdichter. . . . .	236
5.2.3	Thermodynamik der Verdichtung. . . . .	238
5.2.4	Drehkolbenverdichter. . . . .	241
5.2.5	Turboverdichter. . . . .	242
5.2.6	Nutzung von Verdichtern in der Industrie. . . . .	244
<b>5.3</b>	<b>Kälteanlagen und Wärmepumpen. . . . .</b>	<b>245</b>
5.3.1	Verfahren der Kälteerzeugung. . . . .	245
5.3.1.1	Linkslaufende Kreisprozesse mit Dämpfen. . . . .	246
5.3.2	Kältemittel. . . . .	250
5.3.2.1	Erwünschte Eigenschaften von Kältemitteln. . . . .	250
5.3.2.2	Thermodynamische Daten von Kältemitteln. . . . .	251
5.3.2.3	Umweltdaten der Kältemittel. . . . .	252
<b>5.4</b>	<b>Fördermittel und Fördereinrichtungen. . . . .</b>	<b>253</b>
5.4.1	Fördertechnik als Element der Logistik. . . . .	253
5.4.2	Einteilung der Fördermittel und der Fördergüter. . . . .	253
5.4.3	Unstetigförderer. . . . .	254
5.4.3.1	Schienengebundene Flurfördermittel. . . . .	255
5.4.3.2	Schienenfreie Flurfördermittel. . . . .	255
5.4.3.3	Hebezeuge. . . . .	257
5.4.3.4	Hängebahnen. . . . .	258
5.4.3.5	Krane. . . . .	258
5.4.4	Stetigförderer. . . . .	266
5.4.4.1	Stetigförderer für Schüttgut. . . . .	267
5.4.4.2	Stetigförderer für Schutt- und Stückgut. . . . .	270
5.4.4.3	Stetigförderer für Stückgut. . . . .	273
5.4.4.4	Beispiel einer Förderanlage mit Stetigförderern. . . . .	275
5.4.5	Wichtige Bauelemente und Bauteilgruppen in der Fördertechnik. . . . .	277
5.4.5.1	Seile. . . . .	277
5.4.5.2	Seilbefestigungen und Seilverbindungen. . . . .	278
5.4.5.3	Ketten. . . . .	279
5.4.5.4	Rollen und Flaschenzüge. . . . .	281
5.4.5.5	Seiltrommeln und Treibscheiben. . . . .	281

5.4.5.6	Lastaufnahmemittel .....	282
5.4.5.7	Laufräder .....	283
5.4.5.8	Bremsen .....	283
5.4.6	Unfallverhütung in der Fördertechnik .....	284
<b>5.5</b>	<b>Werkzeugmaschinen</b> .....	<b>285</b>
5.5.1	Einteilung der Werkzeugmaschinen nach den Fertigungsverfahren .....	286
5.5.2	Automatisieren von Werkzeugmaschinen .....	287
5.5.2.1	Technische Merkmale automatisierter Werkzeugmaschinen .....	287
5.5.2.2	Steuern und Regeln von CNC-Werkzeugmaschinen .....	290
5.5.2.3	Automatisierung und Flexibilität .....	293
5.5.3	Umformende Maschinen und Anlagen .....	295
5.5.3.1	Fertigungsmaschinen zur Gießformherstellung .....	295
5.5.3.2	Druckgießmaschinen .....	296
5.5.3.3	Stranggießanlagen .....	297
5.5.3.4	Fertigungsanlagen zum Sintern .....	298
5.5.4	Umformende Werkzeugmaschinen .....	299
5.5.4.1	Pressen .....	300
5.5.4.2	Walzmaschinen .....	301
5.5.4.3	Biegemaschinen .....	301
5.5.4.4	Ziehmaschinen .....	301
5.5.5	Trennende Werkzeugmaschinen .....	302
5.5.5.1	Bohrmaschinen .....	302
5.5.5.2	Drehmaschinen .....	303
5.5.5.3	Fräsmaschinen .....	305
5.5.5.4	Schleifmaschinen .....	307
5.5.5.5	Zerteilende Maschinen .....	308
5.5.5.6	Abtragende Maschinen .....	308
5.5.5.7	Einzweckmaschinen .....	309
5.5.6	Fügende Werkzeugmaschinen und Anlagen .....	309
5.5.6.1	Anlagen zum Schmelzschweißen .....	310
5.5.6.2	Werkzeugmaschinen zum Pressschweißen .....	310
5.5.7	Werkzeug- und Werkstücksysteme an trennenden Werkzeugmaschinen .....	311
<b>6</b>	<b>Sachwortverzeichnis</b> .....	<b>313</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>321</b>