

ISBN 978-3-662-35638-8
DOI 10.1007/978-3-662-36468-0

ISBN 978-3-662-36468-0 (eBook)

**Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung
in fremde Sprachen, vorbehalten.**

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1925
Ursprünglich erschienen bei Julius Springer in Berlin 1925
Softcover reprint of the hardcover 5th edition 1925

Additional material to this book can be downloaded from <http://extras.springer.com>

Aus dem Vorwort zur ersten Auflage.

Der vorliegende Leitfaden unterscheidet sich von dem I. Band des größeren Werkes des Verfassers¹⁾ durch die Beschränkung des Inhalts auf die notwendigsten Grundlagen und Anwendungen der Wärmemechanik. Im übrigen lehnt es sich eng an diesen an, so daß der Leser, der sich später noch eingehender mit dem Gegenstand befassen will, überall Anschluß an Bekanntes nach Form und Inhalt finden wird. Wie das größere Werk, so ist auch der Leitfaden in erster Linie zum Selbstunterricht bestimmt, und zwar für solche Leser, die der Wärmemechanik zum ersten Male mit der Absicht näher treten, für die technische Praxis verwertbare Kenntnisse zu erwerben, also neben den Besuchern technischer Lehranstalten insbesondere für solche Techniker, die sich in späteren Jahren zur Beschäftigung mit dem Gegenstand veranlaßt sehen. Die Praxis stellt ja nur zu oft Anforderungen ohne Rücksicht darauf, welchen Bildungsgang jemand gegangen ist oder welches Sondergebiet er besonders gepflegt hat. Nicht immer vermag hier ein „Taschenbuch“ zu helfen, und auf keinem Gebiet ist die bloß mechanische Anwendung von Formeln und Regeln so bedenklich wie auf dem der Wärme. Deshalb ist in dem Buche auf die Erläuterung der Grundlagen das größte Gewicht gelegt, so daß der Leser erwarten kann, zu einem wirklichen Verständnis zu gelangen.

Nicht zum wenigsten hat den Verfasser bei der Herausgabe des Leitfadens der Gedanke an die aus dem Felde heimkehrenden jüngeren Fachgenossen geleitet, denen mit einer gedrängteren Darstellung des Stoffes zunächst am besten gedient sein wird.

Wenn auch eine für technische Zwecke nutzbringende Beschäftigung mit der Wärmemechanik ohne jede mathematische Vorbildung kaum möglich ist, so genügen doch andererseits elementare mathematische Kenntnisse, falls nur für die graphischen Darstellungs- und Rechnungsweisen das nötige Verständnis vorhanden ist. Gerade dieses ist aber beim Techniker am ehesten zu finden. Die Verwendung des Differentialzeichens d für kleinste Änderungen des Druckes p , des Volumens v , der Temperatur T und anderer veränderlicher Größen braucht deshalb auch den Leser nicht abzuschrecken, der die eigentliche Differentialrechnung nicht kennt oder nicht beherrscht. Das schrittweise Weitergehen auf den Kurven, durch welche die gleichzeitigen Werte von p und v , oder p und T usw. dargestellt werden, führt ja wie von selbst zu der Vorstellung sehr kleiner Änderungen dp , dv und dT der Koordinaten p , v und T , mittels deren man stufenartig von einem Punkte der Kurve zum nächstbenachbarten gelangt. Die Rechnung mit unbeschränkt kleinen Größen läßt sich schlechterdings nicht umgehen in einem Gebiete, in dem es sich auf Schritt und Tritt um die Darstellung stetig veränderlicher Vorgänge handelt, und diese Darstellung wird nur scheinbar „elementarer“, wenn man statt des Differential-

¹⁾ Technische Thermodynamik, Bd. I (4. Aufl. 1922); Bd. II, Höhere Thermodynamik (4. Aufl. 1922).

zeichens d das Zeichen Δ verwendet, das sonst für kleine endliche Differenzen gebraucht wird.

Ebensowenig wie die Kenntnis der Differentialrechnung ist die der eigentlichen Integralrechnung zum Verständnis des Buches nötig. Wo bestimmte Integrale (Summen mit unbeschränkt vielen unbeschränkt kleinen Gliedern) vorkommen, werden sie als Flächen dargestellt und berechnet.

Hinsichtlich des stofflichen Inhalts sei nur erwähnt, daß sich der Verfasser nicht durch Rücksichten auf die Lehrpläne bestimmter Schulen, sondern lediglich durch sachliche Erwägungen in der Auswahl dessen leiten ließ, was ihm für eine grundlegende technische Unterweisung notwendig dünkte. Die Auswahl für den Unterricht in einem bestimmten Fall zu treffen, dürfte dem sachkundigen Lehrer ein leichtes sein.

Breslau, im September 1917.

W. Schüle.

Vorwort zur fünften Auflage.

Die vorliegende Auflage ist gegenüber der vierten durch drei neue Abschnitte (28 Seiten) über Dampftrieb und Dampfwirtschaft vermehrt worden, um der außerordentlich gesteigerten Bedeutung des Dampfbetriebes Rechnung zu tragen. Entsprechend dem Zweck und Umfang des Buches konnten dabei nur die wichtigsten wärmetechnischen Grundlagen derjenigen Verfahren — einschließlich des Höchstdruckdampfes — behandelt werden, die bereits ein fester Bestandteil der ausführenden Technik geworden sind.

Die Dampftabellen für den Wasserdampf und die Kaltdämpfe wurden auf den neuesten Stand gebracht.

Außer einer Anzahl kleiner Verbesserungen ist im übrigen der Aufbau und Inhalt des Buches gleich geblieben.

Görlitz, den 5. Februar 1928.

W. Schüle.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung.	
1. Allgemeine Begriffsbestimmung der Gase, Dämpfe und Flüssigkeiten	1
2. Die Größen, die den Zustand der Gase und Dämpfe bestimmen, und ihre technisch gebräuchlichen Einheiten. Druckmessung, Temperaturmessung	3
I. Die Gase.	
3. Die Gasgesetze von Boyle (Mariotte) und von Gay-Lussac und das vereinigte Boyle-Gay-Lussacsche Gesetz	10
4. Die allgemeine Zustandsgleichung der Gase	15
5. Zusammensetzung von Gasgemischen nach Gewichts- und Raumteilen. Spezifisches Gewicht aus der Zusammensetzung. Mittleres oder scheinbares Molekulargewicht,	18
6. Grundgesetze der chemischen Verbindung der Stoffe nach Gewicht und Raum. Gemeinsame Beziehungen für alle Gase	20
7. Zustandsgleichung der Gasmischungen (Daltonsches Gesetz)	24
7a. Feuchte Luft	28
8. Die Brennstoffe und ihre Zusammensetzung	31
9. Die technischen Verbrennungsprodukte	34
9a. Die Raumverhältnisse beim Verbrennungsvorgang	37
9b. Zur Beurteilung des Luftüberschusses aus der Rauchgasanalyse	44
10. Wärmemenge und Temperatur, spezifische Wärme	51
11. Abhängigkeit der spezifischen Wärme von der Temperatur. Wahre und mittlere spezifische Wärme	54
12. Spezifische Wärme der Gase	57
Beziehung zwischen c_p und c_v . Verhältnis $k = c_p : c_v$	60
13. Spezifische Wärme des überhitzten Wasserdampfes	62
14. Spezifische Wärme von Gasgemengen	63
14a. Spezifische Wärme der Feuergase	64
Wärmeinhalt und Wärmetafel für Feuergase	67
15. Heizwert der Brennstoffe	68
15a. Verbrennungs-Temperaturen	72
15b. Abgasverluste	75
16. Vermischungsdruck und Vermischungstemperatur von Gasen	76
17. Die Ausdehnungs- und Verdichtungsarbeit (Raumarbeit) der Gase und Dämpfe. Die absolute Arbeit und die Betriebsarbeit (Nutzarbeit)	79
18. Einfluß der Wärme auf den Gaszustand im allgemeinen. Die verschiedenen Zustandsänderungen	85
19. Zustandsänderung bei unveränderlichem Rauminhalt	86
20. Zustandsänderung bei unveränderlichem Druck	88

	Seite
21. Verwandlung der Wärme in Arbeit und von Arbeit in Wärme bei der Zustandsänderung mit unveränderlichem Druck. Mechanisches Wärmeäquivalent. Erster Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie	90
21a. Die Einheiten der mechanischen, kalorischen, chemischen und elektrischen Energie	93
22. Wirtschaftlicher Wirkungsgrad der Wärmekraftmaschinen	96
23. Die Wärmeleichung der Gase. Verhalten der Gase bei beliebigen Zustandsänderungen	98
24. Zustandsänderung bei gleichbleibender Temperatur (Isothermische Zustandsänderung)	103
25. Zustandsänderung ohne Wärmezufuhr und Wärmeentziehung (Adiabatische Zustandsänderung)	106
26. Verlauf der Druckkurven im allgemeinen. Polytropische Zustandsänderung oder Zustandsänderung mit unveränderlicher spezifischer Wärme	112
26a. Die logarithmische Polytropen-Tafel	117
26b. Die adiabatische Zustandsänderung bei sehr großen Unterschieden von Temperatur, Druck und Volumen, und bei sehr hohen Temperaturen	119
27. Das Wärmediagramm und die Entropie der Gase	121
28. Entropie-Temperatur-Diagramme für die wichtigsten Zustandsänderungen	126
28a. Die Entropietafel für Gase bei großen Temperatur-Änderungen	128
29. Das zweite Hauptgesetz der Wärme. (Zweiter Hauptsatz.)	131
30. Der Carnotsche Kreisprozeß	133
Anwendungen zur Lehre von den Gasen.	
31. Arbeitsaufwand zur Herstellung von Druckluft	139
32. Druckluft-Kraftübertragung	146
33. Die Arbeitsweise der Verbrennungsmotoren nach dem Ottoschen Prinzip (Gas-, Benzin-, Spiritusmotoren)	148
34. Die Arbeitsweise der Verbrennungsmotoren nach Diesel (Ölmotoren)	153
II. Die Dämpfe.	
Der Wasserdampf.	
35. Der gesättigte Wasserdampf. Druck und Temperatur. Spezifisches Gewicht und Volumen	157
36. Wärmemengen bei der Dampfbildung und der Kondensation des Dampfes	162
37. Feuchtigkeitsänderungen des gesättigten Dampfes bei beliebigen Zustandsänderungen	171
38. Der überhitzte Wasserdampf. Entstehung. Wärmeinhalt. Wahre und mittlere spezifische Wärme bei konstantem Druck. Zustandsgleichung. Grenzkurve	173
39. Entropie des Wasserdampfes	178
a) Sattdampf	178
b) Überhitzter Dampf	181
40. Ausdehnung und Verdichtung des Dampfes im wärmedichten Gefäß. (Adiabatische Zustandsänderung)	183
a) Sattdampf	183
b) Heißdampf	185

Inhaltsverzeichnis.

VII

	Seite
41. Wirkliche Zustandsänderung des Dampfes bei der Ausdehnung und Verdichtung in den Dampfmaschinen	187
a) Sattdampf	187
b) Heißdampf	189
Dämpfe von CO_2 , NH_3 und SO_2 . Allgemeines Verhalten der Dämpfe. Dämpfe und Gase.	
42. Die Dämpfe der Kohlensäure (CO_2), des Ammoniaks (NH_3) und der schwefligen Säure (SO_2). Gemeinsame Eigenschaften aller Dämpfe. Kritische Temperatur. Verflüssigung der Gase	190
43. Kälteerzeugung	195
44. Die Wärmepumpe	202
45. Destillieren und Abdampfen mittels Wärmepumpe	209
46. Drosselungsabkühlung der Gase und Luftverflüssigung nach Linde	214
47. Abweichungen von der Zustandsgleichung der Gase	216

III. Strömende Bewegung der Gase und Dämpfe.

48. Allgemeine Zustandsverhältnisse in Flüssigkeits- und Gasströmen . .	219
48a. Strömung mit kleinen Druckänderungen	223
49. Ausströmung von Gasen und Dämpfen aus Mündungen	226
a) Sehr kleine Druckunterschiede	228
b) Ausströmung unter beliebig hohem Überdruck	229
α) Niederdruckgebiet. Kritisches Druckverhältnis	232
β) Überkritische Druckverhältnisse bei einfachen Mündungen .	235
50. Expansionsdüsen (Laval'sche Düsen)	239
51. Berechnung des Arbeitsgefälles und der Ausflußgeschwindigkeit von Dampf mittels des Wärmeinhalts	246
52. Die JS-Tafel für Wasserdampf	248
53. Die wirklichen Ausflüßmengen und Ausflußgeschwindigkeiten . . .	250
54. Die Drosselscheibe	254
55. Spannungsverlust in Rohrleitungen	256

IV. Mechanische Wirkungen strömender Gase und Dämpfe.

56. Druck abgelenkter freier Strahlen (Aktion)	262
57. Reaktion und Reaktionsarbeit beschleunigter Gas- und Dampfströme	266
58. Gleichzeitiges Auftreten von Aktions- und Reaktionskräften	271
59. Die Wirkung des Dampfes in den Dampfturbinen	273
Druckturbinen. Geschwindigkeits- und Druckstufen	274
Überdruckturbinen	277
60. Arbeit und Wirkungsgrad der reibungsfreien Aktions- oder Druckturbinen	278

V. Dampfbetrieb und Dampfwirtschaft.

61. Die Arbeitsfähigkeit des Dampfes	281
Begriff und Ermittlung der Arbeitsfähigkeit	281
Der ideale thermische Wirkungsgrad	283
Thermodynamischer Wirkungsgrad oder Gütegrad	283
Thermischer Gesamtwirkungsgrad der Maschine	285
Der wirtschaftliche Wirkungsgrad	286

	Seite
62. Verwendung des Dampfes zur gleichzeitigen Lieferung von mechanischer Energie und Wärme (Vereinigte Kraft- und Wärmewirtschaft)	288
Gegendruckmaschinen	289
Zwischendampfentnahme	292
63. Die praktischen Verfahren zur Gewinnung von mechanischer Arbeit mittels Dampf	293
a) Die gewöhnliche oder Watsche Dampfmaschine	293
b) Die Verbund-Dampfmaschine	295
c) Die Heißdampfmaschine	296
d) Die Stumpfsche Gleichstromdampfmaschine	297
e) Die Gleichstromdampfmaschine mit kurzem Kolben	298
f) Verfahren mit Wärmeaustausch zwischen dem Maschinendampf und dem Dampfzeuger	298
a) Speisewasservorwärmung durch den Abdampf	298
b) Das Regenerativ-Verfahren	299
c) Die Zwischenüberhitzung	303
d) Vorwärmung des Speisewassers und der Verbrennungsluft durch die Abgase des Kessels	304
g) Hochdruck- und Höchstdruck-Dampf	305

VI. Die nicht umkehrbaren Vorgänge.

64. Die Grundbedingungen der Umkehrbarkeit und die Grundfälle der nicht umkehrbaren Zustandsänderungen	310
65. Die wichtigsten nicht umkehrbaren Vorgänge und ihr Verhältnis zum II. Hauptsatz	314

Anhang:

Tabelle I. Gesättigter Wasserdampf von 0,02 bis 40 kg/qcm abs.	317
" II. " " " 0° bis 250°	319
" III. " " " + 10° bis + 50°	320
" IIIa. " " " - 20° " + 9°	321
" IV. " " " 0,01 bis 0,20 kg/qcm abs.	321
" V. Gesättigte Dämpfe von Ammoniak (NH ₃)	322
" VI. " " " Schwefligsäure (SO ₂)	322
" VII. " " " der Kohlensäure (CO ₂)	322

Tafeln.

Tafel I. Wärmehalt von 1 cbm Luft und Feuergasen bei konstantem Druck und konstantem Volumen bis 2500° C, nebst Molekulärwärmern und Verhältnissen $k = c_p/c_v$	69
" II. Logarithmische Polytropen-Tafel	118
" III. Entropie-Temperatur-Tafel für Gase	129
" IV. Entropietemperaturtafel für gesättigten und überhitzten Wasserdampf (nach den Münchener Versuchen über c_p)	181
" V. JS-Diagramm für Wasserdampf	248
" Va. JS-Tafel für Wasserdampf bis zum kritischen Druck . . (Anhang)	