

Inhaltsverzeichnis

I Die Energie und ihre Bedeutung

§ 1 Energieumsetzungen und ihre Einteilung in Formen	2
Die Mengenartigkeit der Energie	2
Die Formen, in denen Energie ausgetauscht wird	4
Der Wirkungsgrad von Maschinen	6
Energieströme	10
Die räumliche Verteilung der strömenden Energie. Energiestromdichte	13
 § 2 Die Energieumsetzungen auf der Erde	 17
Die von der Erdoberfläche aufgenommenen und abgegebenen Energieströme	17
Die Energieströme der Zivilisation	21
Die Energieversorgung aus fossilen Brennstoffen	26
Exponentielles Wachstum	30
Unsere Energieversorgung heute	32
Kernenergie	35
Sonnenenergie	37
Energiespeicherung durch Photosynthese	38
Energieströme in Pflanzen und Tieren	41

II Energieformen

§ 3 Die Energieform Rotationsenergie	43
Die Kennzeichnung von Energieformen durch physikalische Größen	43
Rotationsenergie und Drehimpuls	45
Rotationsenergie-Strom und Drehimpuls-Strom	47
Das Getriebe als Transformator für Rotationsenergie	51
Rotationsenergie und Drehimpuls eines 2-Körper-Systems	53
Änderungen des Trägheitsmoments. Verschiebungsenergie	56
Die Rotation von Molekülen	60
 § 4 Die Energieformen Bewegungsenergie, Kompressionsenergie, Oberflächenenergie, elektrische Energie	 63
Bewegungsenergie	63
Kompressionsenergie	66

Oberflächenenergie	72
Elektrische Energie	74
Die mathematische Gestalt von Energieformen	76
§ 5 Die Energieform chemische Energie	77
Die Menge eines Stoffs und die Variable „Teilchenzahl“	77
Einheiten der Größe Teilchenzahl	78
Mehrere Teilchenzahl-Variablen	81
Chemische Energie	82
Elektrochemische Energie	85
§ 6 Die Energieform Wärme	87
Extensive und intensive Größen	87
Standard-Variablen und Standard-Energieformen	89
Wärmeenergie	91
Wärmestrom und Entropiestrom	93
§ 7 Die Energieformen von elektromagnetischem Feld und Materie	95
Das System „Elektromagnetisches Feld“	95
Ladungen und Dipole in der Materie	96
Die Energieform elektrische Energie des elektromagnetischen Feldes	98
Die Energieform Polarisationsenergie eines Körpers	101
Energieaustausch bei Erzeugung und Verschiebung eines elektrischen Dipols	103
Die Energieform magnetische Energie des elektromagnetischen Feldes	105
Die Energieform Magnetisierungsenergie eines Körpers	108
Mit der Erzeugung eines magnetischen Dipols verknüpfter Energieaustausch	110
Die Energieformen des Gesamtsystems „Elektromagnetisches Feld + Materie“	114

III System, Zustand, Prozeß

§ 8 Die Gibbssche Fundamentalform eines Systems	117
Ströme mengenartiger Größen und ihre Energieströme	117
Systeme und ihr Energieaustausch	123
Die Gibbssche Fundamentalform	125
§ 9 Systeme und ihre Gibbs-Funktionen	127
Was ist ein System?	127
Die Gibbs-Funktion $E = E(\text{extensive Variablen})$ eines Systems	131

Standard-Variablen	133
Gewinnung der intensiven Variablen eines Systems aus seiner Gibbs-Funktion	135
§ 10 Zerlegung von Systemen	137
Zerlegung der Energie in Anteile	137
Zerlegung eines Systems in Teilsysteme	139
Die innere Energie als Energieanteil	143
Die Unzerlegbarkeit eines Systems in relativistischen Zuständen	144
§ 11 Zustand und Prozeß	146
Was ist ein Zustand?	146
Prozesse als Übergänge zwischen Zuständen	148
Prozesse als Änderungen dynamischer Größen	149
Dynamische und kinematische Größen	151
 IV Gleichgewichte	
§ 12 Gleichgewicht beim Austausch von Verschiebungsenergie, Bewegungsenergie, Rotationsenergie, Kompressionsenergie, Oberflächenenergie	153
Gleichgewicht beim Austausch von Verschiebungsenergie. Kräftegleichgewicht	156
Minimumprinzip der Energie	159
Gleichgewicht beim Austausch von Bewegungsenergie. Translatives Bremsgleichgewicht	161
Gleichgewicht beim Austausch von Rotationsenergie. Rotatives Bremsgleichgewicht	162
Gleichgewicht beim Austausch von Kompressionsenergie. Druckgleichgewicht	164
Gleichgewicht beim Austausch von Oberflächenenergie. Minimalflächen	167
Die Oberfläche als Grenzfläche zwischen verschiedenen Medien	171
Die Grenzfläche zwischen einer flüssigen und einer festen Phase	174
 § 13 Gleichgewichte beim Austausch geladener Teilchen	176
Elektronengleichgewicht zwischen Festkörpern. Kontaktspannung	176
Halbleiterrandschicht	179
Batterien	183
Chemische Gleichgewichte in der Batterie	185
Die EMK der geladenen Batterie	187
Die entladene Batterie	190

§ 14 Thermisches Gleichgewicht	192
Gleichgewicht beim Austausch von Wärme	192
Maximumprinzip der Entropie	193
Gleichgewichte und Nicht-Gleichgewichte	194
Allgemeine Bedeutung des Gleichgewichts	196

V Temperatur

§ 15 Die Messung der Temperatur. Gasthermometer	199
Empirische Temperaturen	201
Die Gastemperatur	204
Ideale Gase	206
Beweis der Proportionalität zwischen der Gastemperatur eines idealen Gases und der absoluten Temperatur	207
Grenzen des Gasthermometers	208
Die Kelvin-Skala der Temperatur	210
§ 16 Temperatur und Expansionsprozesse bei Gasen	212
Die isotherme Expansion eines Gases	212
Realisierungen idealer Gaszustände	213
Die Expansion bei konstanter Energie	216
Experimentelle Realisierung der isoenergetischen Expansion.	
Freie Expansion	217
Thermodynamische Charakterisierung der isoenergetischen Expansion	219
§ 17 Temperatur und Kreisprozesse	221
Kreisprozesse	221
Kreisprozesse zwischen zwei festen Temperaturen	222
Der Carnotsche Kreisprozeß	225
Andere Kreisprozesse zwischen zwei Temperaturen	229
§ 18 Die Temperatur magnetischer Systeme	233
Paramagnetische Festkörper	233
Der ideale Paramagnet	236
Die Entropie des idealen Paramagneten	238
Der Paramagnet als Arbeitssystem. Adiabatische Entmagnetisierung	241
Die Messung tiefster Temperaturen	243

VI Entropie

§ 19 Prozesse und ihre Realisierung	247
Austausch und Erzeugung von Entropie	247
Realisierungen von Prozessen	248

Adiabatische Prozeßrealisierungen	249
Temperaturausgleich innerhalb eines adiabatisch abgeschlossenen Systems	251
Beim Temperaturausgleich erzeugte Entropie	254
§ 20 Reversibilität und Irreversibilität	256
Der Begriff der Wärme bei CLAUSIUS	257
Der herkömmliche Gebrauch des Wortes „Wärme“	258
Irreversible und reversible Realisierung des Wärmeaustausches	261
Wärmeaustausch bei kleinen Temperaturdifferenzen	264
Irreversible und reversible Realisierung der isoenergetischen Expansion eines idealen Gases	266
Irreversible und reversible Realisierung des Mischens idealer Gase	270
Zustand. Prozeß. Realisierung	273
Die Umkehrbarkeit von Prozessen	274
Arbeitsfähigkeit eines Systems	275
Energiedissipation	277
Die Unmöglichkeit der Entropievernichtung	278
Die Entropie als Maß des „Wertes“ der Energie	281
§ 21 Die Messung der Entropie	282
Entropieänderungen und Prozesse	283
Beispiele der Entropiemessung	284
Die Messung der Entropie bei konstanten Werten der intensiven Variablen	288
Die zur Messung benutzten Prozeßrealisierungen	289
Definition und Messung der Entropie nach CLAUSIUS	291
§ 22 Entropie und Wärmekapazitäten	294
Entropiedifferenzen und Wärmekapazitäten	294
Die historische Wurzel des Begriffs der Wärmekapazität	297
Die Wärmekapazitäten als Ableitungen physikalischer Größen	299
Die Differenz $C_p - C_v$	301
Allgemeine Suszeptibilitäten	303
Die Abhängigkeit der Entropie von V und p	304
Die Abhängigkeit der Entropie von N . Größen pro Teilchenzahl	306
§ 23 Die Entropie von Gasen	309
Die Entropie idealer Gase	309
Die Wärmekapazitäten von Gasen	311
Die Messung von $\gamma = c_p/c_v$	313
Zerlegung eines idealen Gases in elementare ideale Gase	316
Die Wärmekapazität elementarer idealer Gase	318
Die innere Zustandssumme eines idealen Gases	321
Wärmekapazitäten und innere Anregungen der Moleküle eines Gases	322

§ 24 Die Entropie von Festkörpern	329
Die Abhängigkeit der Entropie eines Festkörpers von v und p	329
Gitter- und Elektronen-System als Teilsysteme eines Festkörpers	330
Die Teilchenzahl-Variablen eines Festkörpers	332
Die Entropie des Gitter-Systems eines Festkörpers	334
Die Entropie des Elektronen-Systems eines Festkörpers	338
Das Elektronen-System eines Halbleiters	340
Das Elektronen-System eines Metalls	342
Die Entropie eines paramagnetischen Festkörpers	345
Die Rolle von Spin- und Gitter-System eines paramagnetischen Festkörpers bei der adiabatischen Entmagnetisierung	351

VII Die Hauptsätze

§ 25 Der 1. Hauptsatz	354
Die historische Entwicklung des Begriffs der Energie und ihrer Erhaltung	354
Das Wärmeäquivalent	356
Das Problem der Formulierung des 1. Hauptsatzes	359
Die Energie als einseitige und absolute Variable	363
§ 26 Der 2. Hauptsatz	366
Die historischen Formulierungen des 2. Hauptsatzes	366
Die Entropie als einseitige und absolute Variable	369
Der Zusammenhang zwischen Entropie und Temperatur eines Systems	370
§ 27 Systeme mit negativer Temperatur	375
Stabilität und Temperatur	375
Die Grenzen der Wertebereiche von T und $1/T$	378
2-Zustands-Systeme	379
Die experimentelle Erzeugung negativer Temperaturen	383
Maser und Laser	384
§ 28 Der 3. Hauptsatz. Der Absolutwert der Entropie	388
Das Nernstsche Wärmetheorem	388
Instabilitäten bei $T \rightarrow 0$. Mischungsentropie	390
Folgerungen aus dem 3. Hauptsatz	391
Die Absolutbestimmung der Entropie	394
Die chemische Konstante eines idealen Gases	396

Anhang	401
---------------	-----

Sachverzeichnis	403
------------------------	-----

Naturkonstanten

Wichtige Einheiten