
Literaturempfehlungen

Die Literatur zur Thermodynamik ist sehr umfangreich, daher soll hier nur eine kleine Auswahl angegeben werden. Die meisten Lehrbücher zur physikalischen Chemie, wie beispielsweise

- Wedler G, Freund H-J (2012) Lehrbuch der Physikalischen Chemie. Wiley VCH, Weinheim
- Engel T, Reid P (2006) Physikalische Chemie. Pearson Studium, München
- Atkins P, de Paula J (2006) Physical chemistry. Oxford University Press, Oxford,

führen die Entropie über Kreisprozesse ein. Im Folgenden werden Bücher und Artikel aufgeführt, die für die Abfassung des vorliegenden Lehrbuches von besonderer Bedeutung waren.

Darstellungen von Caratheodory's Zugang zur Thermodynamik Die Einführung der Temperatur, der Energie und der Entropie, wie in diesem Lehrbuch vorgenommen, wurde in dieser Weise von Constantin Caratheodory in der Arbeit

- Caratheodory C (1909) Untersuchung über die Grundlagen der Thermodynamik. Math Ann 67:355–386

vorgeschlagen. Eine biographische Notiz zu Caratheodory sowie eine historische Einordnung und kurze Darstellung des thermodynamischen Zugangs findet man in:

- Pogliani L, Berberan-Santos N (2000) Constantin Caratheodory and the axiomatic thermodynamics. J Math Chem 28:313–324

Eine kurze Geschichte des thermodynamischen Formalismus findet man in

- Schlichting J (1984) Zur Geschichte der Irreversibilität. Der Physikunterricht 18/3:5–13

Wie im Vorwort ausgeführt, ist der Artikel von Caratheodory auf einem sehr abstrakten Niveau abgefasst, und wurde daher in der Physik zunächst wenig rezipiert. Erste Versuche, den Zugang etwas einfacher zu gestalten, findet man in den folgenden Arbeiten:

- Born M (1921) Kritische Betrachtungen zur traditionellen Darstellung der Thermodynamik. *Physikalische Zeitschrift Physik Z* XXII:218–224 und 249–286
- Lande A (1926) Axiomatische Begründung der Thermodynamik durch Caratheodory. In: Bennewitz K, Byk, A, Hennin F, Herzfeld KF, Jäger, G, Jaeger W, Landé A, Smekal A (Hrsg) *Handbuch der Physik, Theorien der Wärme*. Springer, Berlin, S 281–300

Diese Arbeiten bleiben dennoch auf einem hohen mathematischen und physikalischen Niveau. Ab den 1960er Jahren erschien eine Anzahl von Artikeln in der Zeitschrift *American Journal of Physics*, die sich um ein besseres Verständnis und vor allem auch um eine einfachere Darstellung der Theorie bemüht haben, hier nur ein kleiner Ausschnitt:

- Turner L (1960) Simplification of Caratheodory's treatment of thermodynamics. *Am J Phys* 28:781
- Turner L (1962) Simplification of Caratheodory's treatment of thermodynamics II. *Am J Phys* 30:506
- Sears F (1963) A simplified simplification of Caratheodory's treatment of thermodynamics. *Am J Phys* 31:747
- Marshal T (1978) A simplified version of Caratheodory thermodynamics. *Am J Phys* 46:136

Der Zugang wurde für die chemische Thermodynamik in folgendem Buch ausgeführt.

- Münster A (1969) *Chemische Thermodynamik*. Verlag Chemie, Weinheim.

Vor allem die Anwendung auf Ausgleichsprozesse und mehrere Komponenten wird in diesem Buch sehr schön dargelegt, die allgemeinen Ausführungen zu dem Ansatz von Caratheodory sind jedoch immer noch relativ abstrakt.

Andere Zugänge zur Thermodynamik Die Arbeit von Caratheodory war die erste axiomatische Darstellung der Thermodynamik. In der Folgezeit gab es zahlreiche weitere Arbeiten zu den Grundlagen der Thermodynamik, eine Darstellung wichtiger Beiträge mit Bezug auf die Lehre findet man in der folgenden Dissertation:

- Backhaus U (1998) Die Entropie als Größe zur Beschreibung der Unumkehrbarkeit von Vorgängen. <http://www.didaktik.physik.uni-duisburg-essen.de/~backhaus/publicat/Dissertation.pdf>. Zugegriffen: 10. Mai 2017

Eine neue Formulierung der klassischen Thermodynamik wurde 1999 von Elliot H. Lieb und Jakob Yngvason publiziert:

- Lieb EH, Yngvason J (1999) *Phys Rep* 310:1–96.

In einem Übersichtsartikel stellen die Autoren diese Formulierung allgemeinverständlich vor, und führen ein didaktisches Hilfsmittel, die Lieb-Yngvason-Maschine, ein:

- Lieb EH, Yngvason J (2000) A fresh look at entropy and the second law of thermodynamics. *Phys Today* 4:32–37

Diese Ideen wurden von Andre Thess aufgegriffen und für die Lehre in einem Buch

- Thess A (2007) Das Entropieprinzip – Thermodynamik für Unzufriedene. Oldenbourg-Wissenschaftsverlag, München

und als Kurzversion als Artikel

- Thess A (2008) Was ist Entropie? Eine Antwort für Unzufriedene. *Forsch Ingenieurwes* 72: 11

publiziert. Axiomatisch ist in gewisser Weise auch der Zugang von Herbert Callen:

- Callen H (1985) *Thermodynamics and an introduction to thermostatistics*. John Wiley and Sons, New York.

Hier wird die innere Energie U und die Entropie S direkt am Anfang des Buches als Postulat eingeführt, mit direktem Bezug auf Ausgleichsprozesse. Temperatur und Wärme sind abgeleitete Größen.

Zur Interpretation des Entropiebegriffs Es gibt eine sehr umfangreiche Literatur zur Didaktik der Thermodynamik, speziell auch zur Interpretation des Entropiebegriffs. Es stellt sich die Frage, welche Bedeutung die Entropie hat und wie sie in der Lehre eingeführt werden sollte. In diesem Buch wurde versucht, die Interpretation konsequent auf die *Dissipation von Energie* zu gründen. Den so oft verwendeten Begriff der *Unordnung* halte ich eher für verwirrend und didaktisch nicht zielführend. Es gibt eine Vielzahl von Publikationen zu dem Thema, vor allem auch von den Autoren Frank Lambert, Harvey S. Leff und Arieh Ben-Naim. Hier eine kleine Auswahl:

- Lambert F-L (2002) Disorder – A cracked crutch for supporting entropy discussions. *J Chem Ed* 79:187–192
- Kozliak E-I, Lambert F-L (2005) Order-to-disorder for entropy change? Consider the numbers! *Chem Educator* 10:24–25
- Leff, H.(1996) Thermodynamic entropy. The spreading and sharing of energy. *Am J Phys* 64:1261–1271
- Leff, H.(2012) Removing the mystery of entropy and thermodynamics I–V. *Phys Teach* 50:28–31, 50:87–90, 50:170–172, 50:215–217, 50:274–276
- Ben-Naim A (2011) Entropy: Order or information. *J Chem Educ* 88:594–596
- Ben-Naim A (2007) Entropy demystified. The second law reduced to plain common sense. World Scientific, Singapor

Klassische Darstellungen und Texte der Thermodynamik Sehr erhellend sind die Originalarbeiten von Carnot (1824), Clausius (1850) und Mayer (1842), um nur ein paar Autoren zu nennen. In der Reihe *Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften* sind diese drei Arbeiten 2003 als Sammelband neu aufgelegt worden:

- Mayer R (2003) Die Mechanik der Wärme. Verlag Harri Deutsch Thun, Frankfurt am Main
- Clausius R (2003) Über die bewegende Kraft der Wärme. Verlag Harri Deutsch Thun, Frankfurt am Main
- Carnot S (2003) Betrachtungen über die bewegende Kraft des Feuers. Verlag Harri Deutsch Thun, Frankfurt am Main.

Interessant zu lesen ist das Lehrbuch von Max Planck:

- Planck M (1964) Vorlesungen über Thermodynamik. Walter de Gruyter, Berlin. und die Ausführungen von Ernst Mach:

- Mach E (2012) Die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit. Nabu Press
- Mach E (2014) Über das Prinzip der Erhaltung der Energie. In: Populärwissenschaftliche Vorlesungen. Xenomoi Verlag, Berlin
- Mach E (2014) Die Prinzipien der Wärmelehre. Severus Verlag, Hamburg

Geschichte und Philosophie der Thermodynamik Dem Verständnis der Thermodynamik kann ein Blick in die Begriffsgeschichte durchaus dienlich sein. Was heute in der Didaktik als *Fehlvorstellung* beschrieben wird, ein aus heutiger Sicht *falsches* Verständnis der Begriffe und Konzepte, war in der Geschichte der Wissenschaften durchaus eine zeitweise akzeptierte Möglichkeit. Das zeigt, dass die Entwicklung der Konzepte keine gradlinige Angelegenheit war, man hat teilweise Jahrhunderte, oft gar nicht so sehr mit der Natur, sondern mit dem Intellekt, gerungen, bis der *passende* Begriff gefunden wurde. In der Wissenschaftsgeschichte und Wissenschaftsphilosophie wird genau dies zu rekonstruieren versucht. Hierzu einige einschlägige Werke:

- Brusch SG (1987) Die Temperatur der Geschichte. Vieweg, Braunschweig
- Smorodinskij JA, Ziesche P (2000) Was ist Temperatur? Verlag Harri Deutsch, Thun und Frankfurt am Main
- Müller I (2007) A history of thermodynamics. Springer, Berlin Heidelberg New York
- Chang H (2004) Inventing Temperatur: Measurement and scientific progress. Oxford University Press, Oxford
- Uffink J (2001), Bluff your way into the second law of thermodynamics. Stud Hist Philos Sci Part B: Stud Hist Philos M P 32:305

Sachverzeichnis

- 0. Hauptsatz der Thermodynamik, 21, 27, 46
- 1. Hauptsatz der Thermodynamik, 49, 55, 59, 65
- 2. Hauptsatz der Thermodynamik, 89, 91, 113, 133
- 3. Hauptsatz der Thermodynamik, 101, 102

A

- Absolute Temperatur, 43, 76, 98
 - absoluter Temperaturnullpunkt, 76, 152
- Adiabate, 6, 52, 71, 80, 96, 99
 - Adiabatfläche, 115
 - Adiabatengleichung, 72
 - adiabatisch isoliert, 6, 14
 - adiabatische Erreichbarkeit, 95
 - adiabatische Wand, 6
- Adsorption, 334, 338
- Aktivierungsenergie, 301, 303, 371
- Aktivität, 194, 223
 - Aktivitätskoeffizienten, 234
- Äquipartitionstheorem, 275
- Arbeit, 8, 15, 18, 19, 35, 56, 61, 65, 107, 279
 - elektrische, 243
 - gespeicherte, 16, 19
- Arrhenius, Svante August, 300
- Arrhenius-Gleichung, 301, 303
- Ausgleichsprozess, 119, 121, 355
- Avogadro'sches Prinzip, 32, 47
- Azeotrop, 231
 - azeotropen Punkt, 232

B

- Barometer, 5
- Ben-Naim, Arieh, 132
- Benzol, 221, 226, 229

- Binäres System, 355
- Binnendruck, 63
- Blitzlichtfotolyse, 319
- Boltzmann-Konstante, 34
- Boltzmann-Verteilung, 282
- Bombenkalorimeter, 87
- Born, Max, VI, 33, 110
- Boyle-Mariotte, 47
 - Gesetz, 13, 20, 32

C

- Callen, Herbert, 154
- Caloricum, 58, 91
- Caratheodory, Constantin, VII, 89, 91, 114
- Carnot, Sadi, 54, 91
- Carnot-Maschine, 72
- Carnot-Prozess, 72, 74, 81, 111
- Celsius-Skala, 24
- Chang, Hasok, 24, 26
- Chemisches Potenzial, 175, 193, 214, 215, 247
- Chemisorption, 334
- Clausius'scher Grundsatz, 91
- Clausius, Rudolf, 91
- Clausius-Clapeyron-Gleichung, 218
- Coulomb-Potenzial, 249
- Coulomb-Wechselwirkung, 272

D

- Dampfdruck, 213
- Daniell-Zelle, 239
- Destillation, 229
- Diatherme Wand, 6
- Differentialgleichung, 291, 306
- Diffusion, 360, 363, 370
 - in Flüssigkeiten, 368
- Diffusionskonstante, 361, 365

- Dissipation, 104, 106, 116, 134
 Druck, 4, 178
 Ausgleich, 123, 124
 Binnen-, 63
 Dampf-, 213
 effektiver, 37
 innerer, 38, 63
 Messung, 19
 osmotischer, 235
 Partial-, 184, 204, 205
- E**
- Elektrochemie, 239
 Elektrochemische Spannungsreihe, 255
 Elektrochemische Stromerzeugung, 242
 Elektrochemische Zelle, 239
 Elektrochemisches Potenzial, 250
 Elektrolyse, 241
 Elektromotorische Kraft, 247, 252
 Endotherm, 84, 88
 Energie, 49, 50, 90, 103, 273
 Aktivierungs-, 301, 303
 chemische, 245
 Dissipation, 104, 116, 134
 elektrische, 245
 Erhaltung, 89
 mechanische, 257
 mittlere kinetische, 261
 Enthalpie, 69, 70, 83, 85, 88, 102, 147, 160, 168
 Druckabhängigkeit, 161
 Exzess-, 164
 Mischungs-, 185
 Reaktions-, 84
 Schmelz-, 85
 Standard-, 86, 88
 Standardbildungs-, 86, 88, 159, 161
 Sublimations-, 85
 Temperaturabhängigkeit, 161
 Verdampfungs-, 85
 Entropie, 72, 89, 93–96, 101, 102, 104, 108, 111, 116, 122, 123, 132, 134, 141
 Änderung, 98, 99
 eines Zustands, 106
 Maximierung, 278
 Maximum, 127
 Standard-Reaktions-, 103
 Enzym, 331
 Exotherm, 84, 88
- Expansion, 9
 irreversible, 77, 280
 Explosion, 327
 Extensive Größe, 120
 Extremalprinzip, 139, 180
 Chemie, 179
 Exzessenthalpie, 164, 193
- F**
- Faradaykonstante, 246
 Festkörper, 277
 Feynman, Richard, 50
 Fick'sches Gesetz
 erstes, 361, 365
 zweites, 372
 Flüssigkeit, 276
 Fluoreszenz, 338
 Folgereaktion, 311
 Fotochemie, 337
 Freie Energie, 107, 142, 143, 148, 279
 Freie Enthalpie, 137, 144, 148, 162, 168, 180, 201
 Druckabhängigkeit, 163
 freie Reaktionsenthalpie, 162
 freie Standardbildungsenthalpie, 162
 freie Standardreaktionsenthalpie, 162
 einer Mischung, 186
 Temperaturabhängigkeit, 162
 Freiheitsgrad, 258, 261, 283
 Bewegungs-, 258
 innerer, 258, 274, 350
 Fugazität, 165
 Funktionaldeterminante, 268
- G**
- Galvani-Potenzial, 249
 Gaselektrode, 242, 253
 Gaskonstante, 33
 Gasthermometer, 43
 Gay-Lussac
 Überströmversuch, 62, 77, 93, 103, 126
 Gay-Lussac, Joseph Louis, 62
 Gefrierpunkt, 234
 Geschlossenes System, 6
 Geschwindigkeit
 mittlere quadratische, 260
 Reaktions-, 288, 289
 Geschwindigkeitsfilter, 270
 Geschwindigkeitskonstante, 290

- Geschwindigkeitsverteilung, 262
Gesetz der korrespondierenden Größen, 39
Gesetz von Henry, 222, 236
Gesetz von Raoult, 222, 236
Gibbs'sche Fundamentalgleichung, 177, 180
Gibbs'sche Phasenregel, 219, 224, 236
Gibbs'sches Paradoxon, 131
Gibbs, Josiah Willard, 175
Gibbs-Duhem-Beziehung, 177, 191
Gibbs-Helmholz-Beziehung, 162
Giles, Robin, VII, 92
Gleichgewicht, 125, 127, 141, 202
 chemisches, 201
 elektrochemisches, 251, 256
 für einen Stromkreis, 243
 flüssig-Gas, 226
 gehemmtes, 121, 125
 Kräfte-, 10
 lokales, 359
 mechanisches, 4, 19, 28
 Phasen-, 213
 Reaktions-, 199, 210
 thermisches, 26, 29
 thermodynamisches, 3, 306
 vorgelagertes, 316, 331
Gleichgewichtskonstante, 202, 208, 209, 244
Gleichgewichtszustand, 122
Gleichverteilungssatz, 261, 275
- H**
Haber-Bosch-Verfahren, 210
Halbwertszeit, 294
Halbwertszeitverfahren, 299
Halbzellenreaktion, 240
Haynes, William M., 255
Hebelgesetz, 228, 229
Hemmung, 121, 124, 125, 135, 141
Henry'sches Gesetz, 222, 236
Hess'scher Satz, 85
Hook'sches Gesetz, 31, 51
- I**
Ideales Gas, 32, 47, 62, 72, 258
„Induced-fit“-Modell, 331
Innere Energie, 49, 52, 60, 61, 65, 135, 137, 141, 146, 150, 279
Integration, 45
Integrierender Faktor, 98, 114, 116
Intensive Größe, 120
Inter-System-Crossing, 338
Inversionstemperatur, 168
Irreversibilität, 79, 89, 90, 92, 94, 95, 100, 103
Irreversibler Prozess, 16, 17, 20, 67, 76, 140
 irreversible Erwärmung, 78
 irreversible Expansion, 77
Isobare, 34, 69, 80, 83, 100
Isochore, 34, 53, 68, 80, 99
Isotherme, 32, 34, 70, 80, 100
Isotherme Kompressibilität, 41
Isotropie, 263
- J**
Jaynes, Edwin T., 132
Joule'scher Überströmversuch, 167
Joule, James Prescott, 53, 78
Joule-Thomson-Effekt, 167
Joule-Thomson-Koeffizient, 166
Joule-Thomson-Versuch, 166
- K**
Katalysator, 330
Katalyse, 330, 340
 enzymatische, 331
 heterogene, 330, 334
 homogene, 330
 katalytische Effizienz, 333
Kelvin (Lord), 76, 91
Kelvinskala, 33, 43, 76
Kettenreaktion, 323, 340
 mit Verzweigung, 327
 ohne Verzweigung, 324
Kinetik, 287
Knallgasreaktion, 327
Koexistenzkurve, 216
Kolligative Eigenschaft, 223
Kompression, 9
Kondensator, 242
Kontinuierliches System, 358
Kontrolle
 kinetische, 309, 310
 thermodynamische, 309, 310
Konzentration, 85, 197
Kovalente Bindung, 257
Kraft, 154
Kreisprozess, 59, 67, 72, 79, 90, 105, 111
Kritische Temperatur, 38

Kritischer Punkt, 38
Kugelkoordinaten, 268

L

Lösung, 195, 206, 222, 223
Laborkoordinaten, 343
Lande, Alfred, 110
Langmuir-Adsorptionsisotherme, 335
Le Chatelier'sches Prinzip, 155, 208
Le Chatelier-Braun'sches Prinzip, 155
Lieb, Elliot, VII, 92
Lindemann-Hinshelwood-Mechanismus, 322
Lindeverfahren, 168
Lineweaver-Burk-Darstellung, 333
LOC-Modell, 351

M

Mach, Ernst, 55
Massenbilanz, 308
Materialkonstanten, 41, 42, 47, 61, 65, 150, 152
Maximumsprinzip, 141
Maxwell-Boltzmann-Geschwindigkeitsverteilung, 282
 1-dimensionale, 265
 2-dimensionale, 268
 3-dimensionale, 269
Maxwell-Konstruktion, 39
Maxwell-Relationen, 146
Maxwell-Verteilung
 1-dimensionale, 264
Mayer, Julius Robert, 54, 78
Mechanik, 3, 50, 89, 153
Michaelis-Menten-Gleichung, 332
Michaelis-Menten-Konstante, 331
Mikroskopische Theorie, 257
Mindestenergie, 347
Minimumsprinzip, 141
Mischung, 129, 185, 197, 221
 enthalpische Effekte, 191
 Feststoffe, 197
 Flüssigkeiten, 188, 195
 ideale, 184, 221
 partiell mischbare Flüssigkeiten, 232
 reale, 189, 222
 Referenzzustand, 187
 reversibles Entmischen, 130

Mischungsenthalpie, 185
Mittelwert, 260
Mittlere Freie Weglänge, 362
Mittlere Geschwindigkeit, 362
Mittlere kinetische Energie, 261
Mittlere quadratische Geschwindigkeit, 260
Mittlere Relativgeschwindigkeit, 343
Mittlere Zeit (zwischen 2 Stößen), 362
Molekülschwingungen, 275
Molekularität, 291
Molenbruch, 184, 205
Molvolumen, 189
Molzahl, 85, 172, 174, 183
Münster, Arnold, VIII

N

Näherung, 314, 316
Natürliche Variable, 137, 139, 156, 159, 161
Nernst'sche Gleichung, 247, 256
Nichtgleichgewicht, 287
Nichtgleichgewichtsprozess, 77
NIST-Datenbank, 86
Normierung, 263
Numerische Lösung, 314

O

Oberflächenpotenzial, 250
Oberflächenreaktion, 336
Offenes System, 6
Osmose, 235
Oxidation, 240

P

Parallelreaktion, 308, 320
Partialdruck, 184, 204, 205
Partielles molares Volumen, 190
Perpetuum mobile
 erster Art, 59, 65
 zweiter Art, 76, 90
Phasenübergang, 213, 214, 218, 220, 279
Phasengleichgewicht, 213
Phasenumwandlung, 85
Photochemie, 340
Physisorption, 334
Planck, Max, V, 24, 91
Polarkoordinaten, 267
Prinzip von Le Chatelier, 155, 208
Prinzip von Le Chatelier-Braun, 155
„Pump-probe“-Methode, 319

Q

- Quantisierung, 280
- Quasistationaritätsprinzip, 315, 322, 324
- Quasistatischer Ersatzprozess, 77, 125, 126, 136
- Quasistatischer Prozess, 13, 19, 20

R

- Rückreaktion, 305, 308, 309, 320
- Radikalische Polymerisation, 326
- Raoult'sches Gesetz, 222, 236
- Rate, 288
- Ratengleichung, 290
- Ratenkonstante, 290
- Reaktion, 119, 133, 199
 - Folge-, 311
 - Gas-, 204
 - Ketten-, 323
 - Oberflächen-, 336
 - Parallel-, 308, 320
 - Rück-, 305, 308, 309, 320
 - radikalische, 326
 - unimolekulare, 321, 340
- Reaktionsenthalpie, 84
- Reaktionsgeschwindigkeit, 288, 289, 302
- Reaktionslaufzahl, 181, 199, 200, 289
- Reaktionsmechanismus, 321
- Reaktionsordnung, 290, 298, 302
- Reaktionswärme, 84
- Reale Materialien, 39
- Realer Prozess, 105
- Reales Gas, 36, 63, 192, 271
- Realgasfaktor, 36, 163
- Reduktion, 240
- Reduzierte Masse, 344
- Reibung, 105, 369
- Relativkoordinaten, 343
- Relaxationsmethode, 318
- Relaxationszeit, 5, 29
- Reversibilität, 51, 52, 74, 94, 103
- Reversibler Arbeitsspeicher, 15, 93
- Reversibler Prozess, 16, 17, 19, 76, 140
- Rotation, 275
- Rumford (Graf), 53

S

- Schlüssel-Schloss-Modell, 331
- Schmelzpunkt, 233
- Schrödinger-Gleichung, 373

- Schwarz'scher Satz, 46, 146
- Schwerpunktskoordinaten, 344
- Siedepunkt, 213, 233
- Sommerfeld, Arnold, V
- Spannungskoeffizient, 42
- Spontaner Prozess, 17, 105, 135
- Standard-Reaktionsentropie, 103
- Standardbildungsenthalpie, 86, 88, 159, 161
 - Messung, 87
- Standardenthalpie, 86, 88
- Standardpotenzial, 255
- Standardreaktionsenthalpie, 85
- Standardsiedetemperatur, 213
- Standardzustand, 84, 85
- Sterischer Faktor, 350
- Stöchiometrischer Koeffizient, 85, 288
- Stoffbilanz, 306
- Stokes'sche Gleichung, 368
- Stokes-Einstein-Beziehung, 370
- „Stopped-flow“-Technik, 317
- Stoßzahl, 341, 350
- Strömung, 367
- Sublimation, 216
- Symmetrie, 263
- System, 5, 19

T

- Teilchenstrom, 357
- Temperatur, 23, 46, 58
 - absolute, 98
 - Ausgleich, 121, 123, 125
 - Inversions-, 168
 - Messung, 23
 - Nullpunkt, 76, 152
 - Skala, 24, 76
 - Standardsiede-, 213
- Thermischer Ausdehnungskoeffizient, 40
- Thermodynamik, 3
 - chemische, 133, 171
 - statistische, 257
- Thermodynamischer Prozess, 13
- Thermodynamisches Potenzial, 145, 154, 156, 180
- Toluol, 221, 226, 230
- Translation, 274
- Transport, 355
 - nicht-stationärer, 371
- Transportgleichungen, 360

Transportkoeffizient, 361, 362, 373

Tripelpunkt, 216

U

Überströmversuch von Gay-Lussac, 62, 77, 93, 103, 126

Unordnung, 132

V

Van't-Hoff-Verfahren, 299

Van-der-Waals-Gleichung, 37, 47

Van-der-Waals-Wechselwirkung, 272

Virialgleichung, 37

Viskosität, 367

Vollständige Differentiale, 40, 45, 47

Volta-Potenzial, 250

Volumen

 Eigen-, 37

 Mol-, 189

 molares, 36

 partiell molares, 190

Von Neumann, John, VIII

W

Wärme, 18, 22, 54–57, 61, 65, 279

 Reaktions-, 84

Wärmeäquivalent, 49, 54, 55, 68

Wärmekapazität, 57, 61, 102

Wärmepumpe, 75

Wärmeleitung, 365

Wärmeleitungsgleichung, 360, 366, 372

Wärmestrom, 357, 373

Wasserstoffnormalelektrode, 253

Wechselwirkung, 164, 192, 195, 257, 271, 283

 Coulomb-, 272

 Van-der-Waals-, 272

Wirkungsgrad, 74, 75

Y

Yngvason, Jakob, VII, 92

Z

Zeitkonstante, 295

Zustand, 7

Zustandsänderung, 13, 68, 80

 adiabatische, 71

 isobare, 69

 isochore, 68

 isotherme, 70

 quasistatische, 34, 68

Zustandsfunktion, 27, 45, 54, 67

Zustandsgleichung, 30, 40, 61, 150

 Enthalpie, 160

 Freie Enthalpie, 162

Zustandsgrößen, 7, 31, 139



Willkommen zu den Springer Alerts

Jetzt
anmelden!

- Unser Neuerscheinungs-Service für Sie:
aktuell *** kostenlos *** passgenau *** flexibel

Springer veröffentlicht mehr als 5.500 wissenschaftliche Bücher jährlich in gedruckter Form. Mehr als 2.200 englischsprachige Zeitschriften und mehr als 120.000 eBooks und Referenzwerke sind auf unserer Online Plattform SpringerLink verfügbar. Seit seiner Gründung 1842 arbeitet Springer weltweit mit den hervorragendsten und anerkanntesten Wissenschaftlern zusammen, eine Partnerschaft, die auf Offenheit und gegenseitigem Vertrauen beruht.

Die SpringerAlerts sind der beste Weg, um über Neuentwicklungen im eigenen Fachgebiet auf dem Laufenden zu sein. Sie sind der/die Erste, der/die über neu erschienene Bücher informiert ist oder das Inhaltsverzeichnis des neuesten Zeitschriftenheftes erhält. Unser Service ist kostenlos, schnell und vor allem flexibel. Passen Sie die SpringerAlerts genau an Ihre Interessen und Ihren Bedarf an, um nur diejenigen Information zu erhalten, die Sie wirklich benötigen.

Mehr Infos unter: springer.com/alert