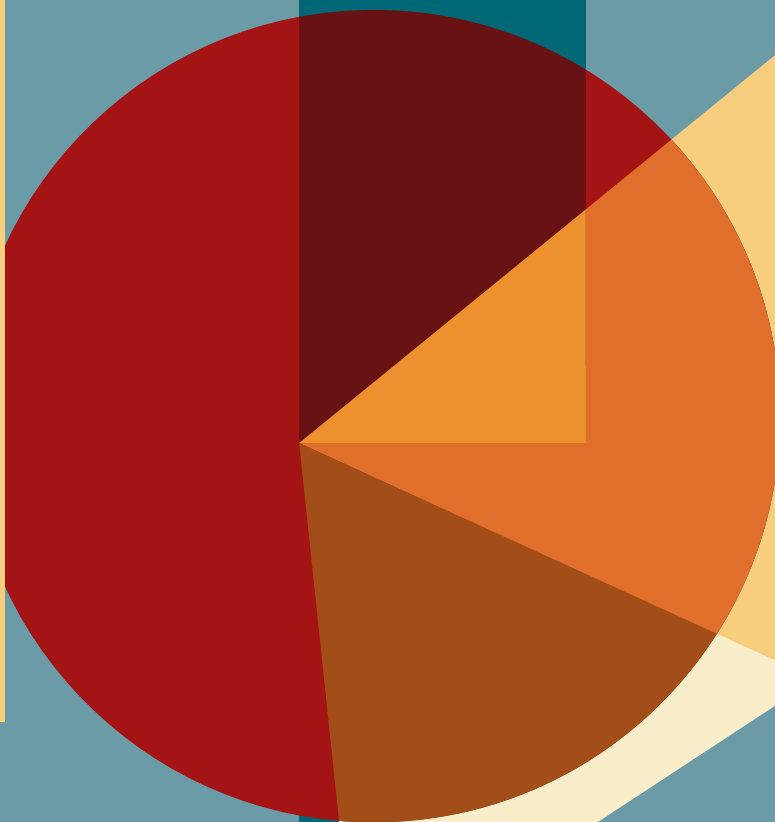


Christian Blöss

Entropie

EDITION
WISSEN UND HANDELN



**Universelle Aspekte
einer physikalischen
Mengengröße**

Ein Essay

Christian Blöss

Entropie

Universelle Aspekte einer physikalischen Mengengröße

Ein Essay

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; über <http://dnb.d-nb.de> sind detaillierte bibliografische Daten abrufbar.

Was man nicht erfliegen kann, muss man erhinken.
Viel besser ist hinken, als völlig zu sinken.
– aus den „Makamen“ des Ibn al-Hariri –

Das Manuskript wurde mit OpenOffice.org 3.2.0 erstellt
Aktualisierungen und Zusatzmaterial auf www.cbloess.de/entropy/de
© Christian Blöss, Berlin (www.cbloess.de)
Herstellung und Verlag: Books on Demand GmbH, Norderstedt (www.bod.de)
Umschlaggestaltung: Roman Bittner (www.apfelzet.de)
Version 1 / Jul 10
ISBN 978-3-8391-6620-8

Inhalt

1. Prolog	
1.1 Wegweiser.....	6
1.2 Einleitung.....	8
1.3 Zusammenfassung.....	13
1.3.1 Ein Paradoxon an der Basis der Wärmelehre.....	13
1.3.2 Motive für die Kritik des „Zweiten Hauptsatzes“.....	16
1.3.3 Kritik der Entropiedefinition.....	24
1.3.4 Kritik des Satzes von der Entropiezunahme.....	27
1.3.5 Steckbrief einer quantisierten Entropie.....	30
2. Aspekte der Wärmelehre	
2.1 Phlogiston, Caloricum & Monade.....	35
2.1.1 Chymische Eigenschaften.....	35
2.1.2 Das elektrische Modell.....	39
2.1.3 Die bewegende Kraft der Wärme.....	45
2.1.4 Zustandsdenken.....	51
2.2 Energieprinzip.....	57
2.2.1 Die gibbssche Fassung der Wärmelehre	57
2.2.2 Innere und Äußere Energie.....	64
2.2.3 „Erster Hauptsatz“.....	68
2.3 Bilanzprinzip.....	72
2.3.1 Bilanzpolitik.....	72
2.3.2 Dispersionsrelationen der Wärmelehre.....	77
2.3.3 Mechanisches Pensum.....	81
2.3.4 Thermisches Pensum.....	88
2.3.5 Ströme und Quellen.....	91
3. Temperierte Mischungen	
3.1 Urtemperaturen.....	99
3.1.1 Gastemperatur.....	100
3.1.2 Universelle Temperatur.....	106
3.1.3 Kinetische Temperatur.....	112
3.2 Temperatur und Tonus.....	117
3.2.1 Elementarproblem der Temperatur-Definition.....	117
3.2.2 Temperaturfunktionen.....	124
3.2.3 Thermometrische Begriffe.....	127
3.3 Thermisches Gleichgewicht.....	132
3.3.1 Ist thermisches Gleichgewicht eine Frage der Temperatur?.....	132
3.3.2 Chemisches Gleichgewicht als Paradigma.....	136
3.3.3 Modell des thermischen Gleichgewichtes.....	140

4. Aspekte einer Physik der Mengen	
4.1 Zustände.....	143
4.1.1 Der Systembegriff der Wärmelehre.....	143
4.1.2 Systemische Zustandsmengen.....	146
4.1.3 Prozessuale Zustandsmengen.....	149
4.2 Größen.....	152
4.2.1 Basisgrößen.....	152
4.2.2 Extensive Größen.....	156
4.2.3 Intensive Größen.....	159
4.3 Quanten.....	162
4.3.1 Drehimpuls.....	162
4.3.2 Stoff.....	166
4.3.3 Licht.....	174
4.3.4 Elektrische Ladung.....	180
4.3.5 Impuls.....	183
5. Entropiequanten	
5.1 Entropie und Licht.....	186
5.1.1 Quantenaspekte der Entropie.....	186
5.1.2 Zipper.....	192
5.1.3 Korrespondenzprinzip der Wärmelehre.....	195
5.2 Ein Licht-Destillat.....	203
5.2.1 Hohlraumstrahlung.....	203
5.2.2 Elementarmengen des Lichts.....	207
5.2.3 Quantentheoretisches Modell.....	210
5.3 Licht und Lichtmenge.....	220
5.3.1 Entropie der Hohlraumstrahlung.....	220
5.3.2 Entropiequanten.....	224
5.3.3 Kirchhoffscher Satz.....	228
6. Hinterhalte der Entropie-Definition	
6.1 Elementarschluss.....	237
6.1.1 Die Ausgangssituation.....	237
6.1.2 Aspekte carnotscher Maschinen.....	241
6.1.3 Beweisversuch zugunsten des Elementarschlusses.....	251
6.2 Elementarannahme.....	259
6.2.1 „Zweiter Hauptsatz“.....	259
6.2.2 Unbeweisbarkeit der Elementarannahme.....	263
6.2.3 Zusammenfassung.....	270
6.3 Zunahme der Entropie.....	273
6.3.1 Beweise und Interpretationen.....	273
6.3.2 Methodische Probleme.....	276
6.3.3 Mengenphysikalische Aspekte.....	278
6.4 Konsequenzen.....	283

7. Varia	
7.1 Falsifizierungsansätze.....	286
7.1.1 Statistisch.....	286
7.1.2 Modellhaft.....	292
7.1.3 Phänomenologisch.....	300
7.2 Miszellen.....	304
7.2.1 Was steuert Biophotonen?.....	304
8. Anhänge	
8.1 Quellen.....	309
8.1.1 Literatur.....	309
8.1.2 Abbildungen.....	312
8.1.3 Sonstiges.....	313
8.2 Verzeichnisse.....	313
8.2.1 Begriffe (Glossar).....	313
8.2.2 Stichworte (Index).....	313
8.2.3 Abbildungen.....	314
8.2.4 Inhaltsverzeichnis über alle Ebenen.....	315
8.2.5 Errata.....	315
8.3 Editorische Notizen.....	315

1. Prolog

1.1 Wegweiser

In a nutshell Die wesentlichen Argumente und die zentrale These des Buches sind in den Kapiteln 4, 5 und 6 versammelt: Das Kapitel 4 entwickelt einen angemessenen Systembegriff für die Wärmelehre. Es mündet in die Betrachtung von Quanten und weist dabei den Photonen die Rolle der Entropiequanten zu. In Kapitel 5 wird diese Schlussfolgerung weiter motiviert, begründet und geprüft. In Kapitel 6 wird die Definition der Entropie vom „Zweiten Hauptsatz“ abgekoppelt, der diese Bürde präzise betrachtet gar nicht zu tragen vermag. In Kapitel 7 werden drei Falsifizierungsansätze für die konventionelle Entropie-Definition dargelegt. Die Kapitel 1 bis 3 haben vor allem vorbereitenden Charakter.

Paradigmenwechsel Bestimmte Grundgedanken werden in den ersten vier Kapiteln unter Berücksichtigung unterschiedlichster Aspekte „wiedergekaut“. Da manche davon gewöhnungsbedürftig ist – schließlich sollen die Grundlagen der Wärmelehre neu aufgestellt werden –, erfüllt diese Redundanz durchaus ihren Zweck.

Glossar Ein Glossar kann von der Website www.cbloess.de/entropy/de heruntergeladen werden. Es wurde zugunsten seines Gebrauchswertes als Hypertext gestaltet, wodurch auch Aktualisierungen möglich sind. Auch ein Stichwortverzeichnis ist fort zu finden.

Einstieg Als Einstieg kann sich die Lektüre des Kapitels 1.3 mit einer „Zusammenfassung“ lohnen. Diese geht insbesondere auf die Kritik am „Zweiten Hauptsatz“ und auf die Quantenthese für die Entropie ein. Auch werden die Motive für den hier vorgelegten Essay in einem geschichtlichen Rückblick angesprochen.

Grundlagen Um die Kapitel 2.2 und 2.3 sollte kein Bogen gemacht werden, da sie irreführende Interpretationen und Missverständnisse der Wärmelehre aufgreifen und sich um methodisch einwandfreie Ansätze bemühen. Im Kapitel 2.3 werden zudem wesentliche Vorbereitungen für den Nachweis getroffen, dass der „Zweite Hauptsatz“ für die ihm übertragene Aufgabe, nämlich entscheidende Schützenhilfe bei der Definition Entropie zu leisten, unbrauchbar ist.

Temperatur Da Temperatur naturgemäß eine wichtige Rolle in diesem Buch spielt, sollte das Kapitel 3 über den „Nullten Hauptsatz“ sowie über die unterschiedlichen Temperaturbegriffe der Physik nicht ausgelassen werden.

Lichtquanten Das Kapitel 4.3 erarbeitet die Bedeutung der Lichtquantenhypothese für die Theorie des Atoms und der Hohlraumstrahlung. Es beleuchtet die Gründe, warum die mit ihr verbundene Entropiequantenhypothese unerkannt geblieben ist.

Entropiequanten Kapitel 5, in dem die These, dass Licht- und Entropiequanten identisch sind, weiter durchgearbeitet wird, ist älter als Kapitel 6. Die These stand also bereits im Raum, bevor Hand an den „Zweiten Hauptsatz“ gelegt wurde – so sicher war sich der Autor, dass der „Zweite Hauptsatz“ einer Neu-Definition der Entropie im Hinblick auf ihre universellen Eigenschaften als Mengengröße am Ende nicht im Wege stehen würde. Nach einer Zusammenschau aller bisher aufgestöberten Indizien für die quantenhafte Natur des „Wärmestoffs“ Entropie wird die These zur Identität von Licht- und Entropiequanten an Temperaturstrahlung erprobt, ein Objekt, welches als „Hohlraumstrahlung“ schon einmal geholfen hat, die Schleusen für eine Quanten-Revolution zu öffnen.

2. Hauptsatz Kapitel 6, welches sich anschickt, die Mengengröße Entropie von den Fesseln des „Zweiten Hauptsatzes“ zu befreien, hat sich auf rund 50 Buchseiten ausgewachsen – gewiss nicht zu viel für ein so kritisches Thema. Dabei drückt dieser Umfang nicht nur ein Streben nach achtsamer Umgangsweise aus. Er ist auch die Konsequenz des gemeinschaftlich zu verantwortenden Versäumnisses, dem „Zweiten Hauptsatz“ die Kritik zu erweisen, die ihm gebührt. Meine Empfehlung, an dem Kapitel nichts auszulassen, entspringt der am eigenen Verstand erlittenen Einsicht, dass die „Hinterhalte der (bisherigen) Entropie-Definition“ wirklich gut versteckt sind.

Varia Kapitel 7 versammelt drei bereits in den 80er Jahren entstandene Ansätze, um die gegenwärtige Entropie-Definition auf statistischem, phänomenologischem und modellhaftem Wege zu falsifizieren. Ein Kapitel über mögliche biologische Konsequenzen der quantentheoretischen Ableitung der Hohlraumstrahlung schließt sich an.

Anhänge Im Anhang werden die Quellen (Literatur, Abbildungen, etc.) aufgeführt und Hinweise gegeben, wo aktuelle Fassungen des Glossars und des Stichwortverzeichnisses zu finden sind. Auch ein Hinweis (bzw. eine Bitte) für den Umgang mit Fehlern, die in dem Buch enthalten sein könnten, ist dort zu finden.

1.2 Einleitung

Als ich dieses Projekt mit Beginn des Jahres 2007 nach zwanzig Jahren Latenzzeit doch wieder aufnehmen sollte, war ich zwiegespalten: Einerseits hatte ich immer noch das sichere Empfinden, einem grundlegenden Missstand in der Physik auf der Spur zu sein, andererseits konnte ich mich des hartnäckig bohrenden Gefühls nicht erwehren, für die Umsetzung dieses Vorhabens über keine genügenden Fähigkeiten zu verfügen.

So gehörte schließlich das Motto, das ich diesem Buch voranstellen wollte – »Was man nicht erfliegen kann, muss man erhinken« – zu den wenigen Dingen, derer ich mir von Beginn an gewiss war. Mit der zweiten Zeile des Zitates – »Viel besser ist hinken, als völlig zu sinken« – hob ich mein ganz persönliches Pfeifkonzert im Walde an.

Dieses Empfinden, einem grundlegenden Missstand in der Physik auf der Spur zu sein, hatte bereits in meiner Studentenzeit Wurzeln geschlagen: War es nicht selbstverständlich, dass physikalische Theorien immer nur in bestimmten Grenzen anwendbar sind? Gehörte es nicht zu den Pflichten eines Naturwissenschaftlers, um diese Grenzen zu wissen und sie deshalb so genau wie möglich auszuleuchten? Nicht nur um einer bestehenden Theorie gerecht zu werden, sondern auch und vor allem, um auch das Gebiet jenseits dieser Grenze mit einer *neuen*, möglicherweise allgemeineren Theorie begehbar zu machen?

Der „Zweite Hauptsatz“ ist das Paradebeispiel einer Theorie mit rigoros bewachten Grenzen – allerdings ohne allzu weit verbreitetes Wissen darüber, wo genau sie verläuft und worin sie eigentlich besteht. Nach meinem Verständnis von Physik kam dies der dringenden Aufforderung zur kritischen Begehung gleich, zumal das „Grenzregime“ – also die Art, wie auf Kritik an ihm reagiert wurde – jeden Verdacht rechtfertigte, es mit einer Theorie zu tun zu haben, deren Grundlagen nicht hinreichend reflektiert worden sind.

Dies ist umso bedeutsamer, als mit dem „Zweiten Hauptsatz“ diejenigen technologischen Ansätze diskreditiert werden, die Wärme in Nutzenergie verwandeln sollen, die nicht aus der Verbrennung fossiler Rohstoffe, sondern beispielsweise aus Sonneneinstrahlung („Niedertemperaturwärme“) stammt: Es ist schier nicht möglich, dies mit akzeptablen Wirkungsgraden umzusetzen, weil sich aus dem „Zweiten Hauptsatz“ nur weitgehend uninteressante Konditionen für diese Umwandlung ableiten lassen. Diese Umstände hatten Anfang der 80er Jahre zur Gründung der „Werkstatt für dezentrale Energieforschung“

in Berlin geführt, mit dem erklärten Ziel, eine forschungspolitische Wende herbeizuführen oder zumindest an ihr mitzuwirken.

Zu der Zeit war ich auch am Seminar für Theoretische Thermodynamik an der TU Berlin angekommen. Der dort verfolgte materialtheoretische Ansatz inspirierte mich, auch die Wärmelehre als eine Materialtheorie zu verstehen: Demzufolge entschied sich Wohl oder Wehe dieser Theorie mitnichten über die Frage, ob natürliche Ausgleichsvorgänge sich von selbst umkehrten – was zu verbieten dem „Zweiten Hauptsatz“ gemeinhin unterstellt wird –, sondern alleine darüber, ob Systeme mit bestimmten Materialeigenschaften in der Natur zu finden sind oder nicht.

Nach einer Phase intensiver Auseinandersetzung mit den Grundlagen der Wärmelehre war ich in der Annahme bestärkt, dass aus dem „Zweiten Hauptsatz“ unzulässige Einschränkungen an Materialeigenschaften abgeleitet werden. Es folgten von etwa 1982 bis 1988 eine Reihe von Veröffentlichungen – dem Sprachgebrauch der damaligen Zeit folgend vor allem als „Samisdat-Literatur“. Später folgten zwei Auflagen eines Heftes in der Colloquium-Reihe von DABEI [Blöss ²1988a] und ein Beitrag, dessen Abdruck ich dem Reidel Verlag durch Teilnahme an einem Kongress im Jahre 1983 gewissermaßen abtrotzen konnte (allerdings ohne irgendwelche Resonanz hervorzurufen) [Blöss 1986].

Die Jahre bis etwa 1988 waren von fortgesetzten Versuchen bestimmt, Forschungsmittel für den Nachweis aufzutreiben, dass die aus dem „Zweiten Hauptsatz“ abgeleiteten Zwangsbedingungen von der Natur – um es so zu formulieren – nicht „eingehalten“ wurden. An öffentliche Gelder war jedoch nicht heranzukommen. Als sich endlich ein Erfolg bei der Mittelbeschaffung aus einem privaten Kreis einstellte, war es für mich persönlich bereits zu spät. Zu groß waren die Differenzen zwischen uns „Mitstreitern“ geworden, um weiterhin an einem Strang ziehen zu können. Ich stieg aus und sollte die nächsten zehn Jahre damit beschäftigt sein, technische Entwicklungen in der Umwelttechnik und im Elektromaschinenbau zu konzipieren und diese schließlich auch zu leiten.

Meine Leidenschaft für Abwegiges war jedoch ungebrochen. Die Wissenschaft war voller Selbstverständlichkeiten, die sich einst aus unzureichend reflektierten Annahmen ergeben hatten und dringend neu aufgerollt werden mussten. Ich veröffentlichte Bücher zur Naturgeschichte und beschäftigte mich in etlichen Veröffentlichungen kritisch mit absolutchronologischen Methoden der Geschichtswissenschaft [Blöss/Niemitz 1997]. Das Ringen mit dem „Zweiten Hauptsatz“ schien jedoch endgültig der Vergangenheit anzugehören. Bis mich eines Tages eine alte Freundin mit der Auffassung provozierte, dass es Zeit wäre, dieses Thema endlich zu einem Ende zu bringen.

Natürlich wühlte das erstmal ein bunte Mischung aus Selbstmitleid, Kummer und Ärger darüber auf, seinerzeit keinen Platz mehr in unserer Forschergrup-

pe gehabt zu haben, so dass meine Ideen einfach verpufft waren. Aber andererseits: Ich stand gerade an, monatlichen Gewinnausschüttungen einer Firma entgegenzusehen zu dürfen, die ich dank besonderer Umstände 2002 in den USA mit aufgebaut hatte. Warum sollte ich eine Sache, die ich mit soviel Herzblut in Gang gebracht und über so viele Jahre vorangetrieben hatte, nicht zu einem vernünftigen Abschluss bringen, zu welchem Ende auch immer?

Es folgte eine längere Zeit des Tastens. Anfangs dachte ich noch, dass es mit einer gekonnten Zusammenschau meiner bisherigen Überlegungen getan sei – weit gefehlt. Je mehr ich mich mit dem Thema beschäftigte, desto klarer wurde mir, dass ich überhaupt nicht verstanden hatte, an was ich da eigentlich Hand anzulegen versucht hatte. Über ein Jahr brütete ich über meinen bereits geschriebenen Aufsätzen, bis ich mich schließlich davon frei machte und nach anderen Zusammenhängen zu suchen begann.

Diese zeichneten sich in dem Moment ab, in dem ich das vermeintlich Einzigartige der Entropie beiseite schob und mehr nach den Gemeinsamkeiten mit ihren physikalischen „Geschwistergrößen“ zu fragen begann, insbesondere mit „Stoff“. Zwei Dinge trugen meiner Erinnerung nach ganz wesentlich dazu bei, mir einen neuen Zugang zur Entropie zu eröffnen: Eine Diskussion mit meinem Physik-Lehrer aus der Abiturzeit, die in die Einsicht mündete, dass sich Entropie – wie alle anderen Mengengrößen – nicht etwa dynamisch mittels einer Transportgleichung, sondern direkt im Gleichgewicht mittels einer einfachen Relation bestimmen lassen müsse. Und ein äußerst inspirierender Artikel von Gottfried Falk über die physikalische Größe Stoffmenge, der u.a. darauf abstellte, dass sich diese Größe durch Verschiebung chemischer Gleichgewichte auch dann änderte, wenn das System gar keinen Stoff austauschte.

Wie wird eine Stoffmenge gemessen (jedenfalls seit der atomare Aufbau der Materie gewiss ist)? Indem ihre Masse bestimmt und dann mit der Masse eines enthaltenen Elementarteilchens – also der Masse eines bestimmten Atoms oder Moleküls – verglichen wird. Wie müsste sich Entropie demzufolge messen lassen? Indem eine bestimmte Eigenschaft sowohl an der fraglichen Entropiemenge als auch an einem enthaltenen Elementarteilchen – einem Entropiequant – ins Verhältnis gesetzt wird. Als theoretischen Physiker störte es mich dabei in keinsten Weise, weder die Eigenschaft zu kennen, um die es sich dabei handeln mochte, noch wie man einem System wohl ein Entropiequant entlocken könnte. Ich war vielmehr sicher, endlich den richtigen roten Faden in die Hand bekommen zu haben.

Bezog man auch den Impuls in die Überlegungen mit ein, dann begann sich abzuzeichnen, dass ein thermodynamisches Gleichgewicht auf atomarer Ebene bedeutete, dass sich Quanten aller vertretenen Sorten – also insbesondere Stoff, Impuls und Entropie – in einem dynamischen Umwandlungsgleichgewicht befinden mussten. Wenn man nunmehr eins und eins zusammenzählte und die tatsächlich präsenten Quanten Revue passieren ließ, stellte sich dann

nicht die These, mit den Quanten des elektromagnetischen Feldes, also den Photonen, seit je auch die Quanten der Entropie vor sich gehabt zu haben, wie von selbst in den Raum?

Einerseits erschien mir das intuitiv richtig, vor allem wenn man das Phänomen „Wärmestrahlung“ berücksichtigte, sowie insbesondere die Tatsache, dass sämtliche atomaren bzw. molekularen Interaktionen von den Austauschbosonen des elektromagnetischen Feldes, also den Photonen, regiert wurden. Andererseits schien es auch irgendwie lachhaft zu sein, ein so weithin bekanntes Phänomen wie das Licht mit einer so speziellen Angelegenheit wie der Entropie in eins setzen zu wollen. In Ermangelung eines Besseren und in Anbetracht der Überlegung, bei der Suche nach den Quanten der Entropie so oder so bei etwas Bekanntem landen zu müssen, blieb ich bei dieser These. Eine Idee, wie man diese entweder widerlegen oder aber besser stützen konnte, kam mir erst, als meine Überlegungen um „Hohlraumstrahlung“ zu kreisen begannen, weil diese einerseits – zumindest im Rahmen meiner These – so etwas wie „reine“ Entropie darstellte, andererseits eben auch gut beschrieben war.

Während eines Arbeitsurlaubes im schwedischen Värmland Anfang 2009 versuchte ich mich beiden Seiten der Medaille zu nähern, der „phänomenologischen“ Beschreibung der Hohlraumstrahlung, welche von der Ableitung des Stefan-Boltzmann-Gesetzes aus dem Strahlungsdruck gekrönt wurde, und dem quantentheoretischen Modell Einsteins, das die spektrale Energiedichte aus einer einfachen Interaktion zwischen Materie und Licht ableiten konnte (dies übrigens unter Einführung eines hypothetischen Aggregatzustandes von Licht).

Schließlich fiel mein Blick auf einen Umstand, der bisher nicht zur Kenntnis genommen oder zumindest nicht hinreichend konsequent untersucht worden war: Beide Modelle waren über die phänomenologische Entropiedichte einerseits und die quantentheoretisch abgeleitete Photonendichte andererseits untrennbar miteinander verklammert, nämlich bis auf eine Konstante identisch. Zumindest für dieses System ergibt sich also seine Entropie – wie im Rahmen der These „Entropie = Licht“ auch zu erwarten – als Extension der in ihm enthaltenen Elementarteilchen des Lichtes. So schien mir (dank W-LAN) eine profunde Stütze für meine bis dahin reichlich obskure These zugefallen zu sein.

Erst während der endgültigen Ausarbeitung dieses Buches begann ich zu verstehen, dass sich die plancksche Quantenhypothese auf Licht als Menge und nicht etwa auf Energie bezog. Damit hatte es Max Planck bereits vor mehr als 100 Jahren in der Hand gehabt, nach dem Wesen der Lichtmenge und ihrer Bedeutung für die Wärmelehre zu fragen. Doch bis zur Entdeckung des Compton-Effektes taten sich die Physiker schwer, Licht als Ansammlung von Partikeln zu verstehen. Nach dem Platz der Lichtmenge in der gibbsschen Fundamentalform wurde niemals gefragt – und musste man ja auch nicht, hatte sie diesen unter dem Namen „Entropie“ offenbar schon längst eingenommen.

Eine letzte Hürde war noch zu nehmen, bevor diese These als vorerst widerspruchsfrei angesehen werden durfte: Die Entropie konnte nicht einerseits systemspezifisch, nämlich als Extension der enthaltenen Elementarteilchen des Lichtes, und andererseits universell definiert werden, nämlich durch die strikte Rückführung auf die zu ihr energiekonjugierte Größe, also die Gastemperatur. Zugunsten meiner These musste konsequenterweise die universelle Definition der spezifischen weichen. Das ging aber nur, wenn sich zeigen ließ, dass die übliche Beweisführung über den „Zweiten Hauptsatz“ nicht stichhaltig war.

Wie oft war schon versucht worden, dem „Zweiten Hauptsatz“ ans Zeug zu flicken, und das jedes mal ohne Erfolg! Mir war das wohl bekannt, pflegte ich in den 80ern doch viele Kontakte zu Menschen, die sich dergleichen – wie wir – auf die Fahne geschrieben hatten. Durch die Beschäftigung mit den „universellen Aspekten“ der Entropie war mir jedoch ein Argument zugefallen, das es geradezu herausforderte, die übliche Beweisführung zugunsten der universellen Entropie-Definition neu zu bewerten: Aufgrund ihrer universellen Eigenschaften als physikalische Mengengröße muss die Menge an Entropie auch eines thermisch undurchlässigen Systems grundsätzlich als veränderlich angenommen werden.

Damit wurden all diejenigen Stellen im Standard-Beweisgang kritisch, die wie selbstverständlich mit der gegenteiligen Annahme operierten, dass nämlich Adiabaten und Isentropen stets zusammenfallen würden. Daraus konnte nur eine einzige Konsequenz abgeleitet werden: Die Definition der Entropie, die mit Hilfe des „Zweiten Hauptsatzes“ gewonnen wird, kann nicht universell gelten, sondern nur für solche Systeme, auf die die Annahme umwandlungsunfähiger Entropie zutrifft. Dass der „Zweite Hauptsatz“, was seine Validität angeht, selbst auf tönernen Füßen steht, spielte schon keine Rolle mehr. Damit war der Weg frei, die Entropie, wie jede andere Mengengröße auch, über ihre Quanten zu definieren.

Mit der schon so häufig vernommenen Mahnung im Ohr, dass sich zutreffende Sachverhalte auch einfach darstellen lassen sollten, sehe ich auf den Umfang dieses Buches allerdings mit Unbehagen und muss mich (und auch den geeigneten Leser) erneut mit dem Motto des Buches zu trösten versuchen: Was nicht im Fluge genommen werden konnte, legt auch Zeugnis ab von den verschlungenen Pfaden im Felde.

Berlin, Juli 2010

1.3 Zusammenfassung

Dieses Buch ist dem Versuch gewidmet, die Definition der Entropie vom „Zweiten Hauptsatz“ zu lösen, um sie stattdessen auf universelle Eigenschaften physikalischer Mengengrößen gründen zu können. Dafür muss die Entropie als quantisierte, allgemein quellfähige physikalische Mengengröße aufgefasst werden. In dieser Zusammenfassung sollen die wichtigsten Argumente und Schlussfolgerungen umrissen werden.

1.3.1 Ein Paradoxon an der Basis der Wärmelehre

„Thermodynamik ist die einzige physikalische Theorie von allgemeinem Inhalt, von der ich überzeugt bin, dass sie im Rahmen der Anwendbarkeit ihrer grundlegenden Begriffe niemals umgestoßen werden wird“. Diese Auffassung legte Albert Einstein [Schilpp 1979, 12] all denjenigen „zur besonderen Beachtung“ vor, die skeptisch gegenüber der universellen Gültigkeit der Grundlagen der Thermodynamik eingestellt sind. Ihr kann jedoch nicht ohne weiteres entsprochen werden, da in der Wärmelehre – also der „Thermodynamik des Gleichgewichts“ – ein Paradoxon vorliegt, welches unter dem Gesichtspunkt von Einfachheit und Einheitlichkeit in der Physik nicht hingenommen werden kann.

Eine Auflösung dieses Paradoxons gelingt erst mit der Erkenntnis, dass tatsächlich keine *allgemeingültigen* Schlussfolgerungen aus dem „Zweiten Hauptsatz“ gezogen werden können.

Verwunderungen

Eine radikale Kritik der Grundlagen der Wärmelehre muss früher oder später folgende elementare Verwunderung hervorbringen:

- Anstatt die Entropie eines Zustands, wie für eine physikalische Mengengröße üblich, aus einer Relation mit der Entropie eines Referenzzustandes zu bestimmen, wird sie aus gewissen andere Größen abgeleitet, von denen eine nicht-mengenartig ist.

Dem wird sich über kurz oder lang eine zweite nicht weniger elementare Verwunderung anschließen, die gleichfalls aus dem Umstand geboren wird, dass universelle Eigenschaften physikalischer Mengengrößen für die Entropie ent-

weder nicht zu gelten scheinen oder bisher nicht in Anspruch genommen worden sind:

- Obwohl „Wärme“ elementaren Anteil an physikalischen Umwandlungsvorgängen hat und diese sich stets bis auf die atomare Ebene zurückverfolgen lassen, wird ihre Trägermenge, die Entropie, selbst nicht als Verbund oder Aggregat von Quanten verstanden.

Diese zweite Verwunderung vermag die erste noch weiter anzufachen, da sich der Größenwert einer Mengengröße ja nicht nur in Relation zu einer willkürlich gewählten Referenzmenge, sondern auch in Relation zu ihrer Elementarmenge ableiten lässt.

Will man diesen Verwunderungen Reverenz erweisen und der Entropie sowohl einen Quantencharakter als auch gewisse universelle Eigenschaften zubilligen, so stößt man jeweils sofort auf einen Widerspruch mit dem „Zweiten Hauptsatz“. Das ist insofern paradox, weil einerseits die einheitliche Behandlung physikalischer Mengengrößen ganz dem Streben der Physik nach Einheitlichkeit und Einfachheit entspräche, während andererseits der „Zweite Hauptsatz“ als so evident gilt, dass Annahmen oder Folgerungen, die im Widerspruch zu ihm stehen, ausnahmslos als falsch anzusehen seien.

Wir werden zu untersuchen haben, ob sich das Paradoxon nur unter Verzicht auf methodische Stringenz oder auch durch einen Abschied vom „Zweiten Hauptsatz“ lösen lässt.

Antagonismen

Im Hinblick auf die Verwunderung, warum Entropie eigentlich nicht als quantisiert aufgefasst wird, wäre der Frage nachzugehen, wie Entropiequanten an der Umwandlung von Quanten bzw. Portionen des Stoffs, des Impulses, des Drehimpulses, der elektrischen Ladung und des Magnetismus beteiligt sein könnten.

Damit handelte man sich jedoch sofort einen handfesten Widerspruch ein: Während die Umwandelbarkeit physikalischer Quanten grundsätzlich bedeuten kann, dass diese sowohl massenhaft produziert als auch massenhaft vernichtet werden können, gilt die Entropie thermisch abgeschlossener Systeme aufgrund des „Zweiten Hauptsatzes“ der Thermodynamik als unvernichtbar, sehr wohl aber als produzierbar.

Geht man nun der anderen Verwunderung nach, warum die Entropie eigentlich nicht als für sich bemessbare Größe aufgefasst wird, dann muss man sich in Erinnerung rufen, dass in einem solchen Falle dem thermischen Dispersi-

onspontial¹ eines Systems die Qualität einer *systemspezifischen* physikalischen Größe zuwachsen würde. Für den Stoff – mengenartig wie die Entropie auch – und sein chemisches Potential ist das ja hinlänglich bekannt.

Dann ließen sich allerdings carnotsche Prozesse mit systemspezifischen Wirkungsgraden durchführen. Das hätte wiederum zur Folge, dass ein Perpetuum mobile zweiter Art konstruierbar wäre, wodurch sich ein unauflöslicher Widerspruch mit dem „Zweiten Hauptsatz“ ergäbe, da dieser die Unkonstruierbarkeit solcher Maschinen zum Gegenstand hat.

Genau dieser Antagonismus wird umgekehrt ja benutzt, um die Identität des thermischen Dispersionspotentials eines beliebigen Systems mit der Gastemperatur bzw. mit der Universellen Temperatur zu beweisen: Ist dies doch die einzige Alternative, die die Konstruktion eines Perpetuum mobile zweiter Art *nicht* erlaubte.

Allerdings ist dann, wenn das thermische Potential in universeller Form festgelegt wird, die Entropie eines Systems automatisch mitdefiniert und kann somit einer unabhängigen Definition, die auf universelle Aspekte physikalischer Mengengrößen gründet, nicht mehr zugeführt werden. Und genau dadurch kommt das eingangs skizzierte Paradoxon in die Welt.

Dialektik der Widersprüche

Es ist das Ziel dieses Buches, das skizzierte Paradoxon durch eine eigenständige mengenphysikalische Definition der Entropie aufzulösen. Dafür muss allerdings der Antagonismus zwischen einer quantisierten, allgemein quellfähigen Entropie auf der einen Seite und dem „Zweiten Hauptsatz“ auf der anderen Seite als Scheinwiderspruch entlarvt werden – ein Unterfangen, das im Lichte bewährten Wissens als zum Scheitern verurteilt gilt.

Eine radikale und unvoreingenommene Analyse der Grundlagen der Wärmelehre wird jedoch zeigen, dass der „Zweite Hauptsatz“ für eine allgemeingültige Definition der Entropie bzw. für eine allgemeingültige Darstellung des thermischen Dispersionspotentials gar nicht dienstbar gemacht werden kann. Der Grund dafür liegt in impliziten, bislang unreflektiert gebliebenen Annahmen sowohl über „carnotsche Maschinen“ als auch über die mit ihnen verbundenen Wärme- und Impuls-Reservoire, wodurch die Beweisführung allerdings ihres universellen Charakters beraubt wird.

1 Gemeint ist die zur Entropie energiekonjugierte Größe, die im Rahmen der Wärmelehre als Universelle Temperatur mit derselben Skala wie die Gastemperatur erkannt und im Rahmen dieses Buches als „thermisches Dispersionspotential“ bezeichnet wird.

Lässt man diese impliziten Annahmen fallen, dann kann zwischen einer mengenphysikalischen Definition der Entropie und dem „Zweiten Hauptsatz“ kein Widerspruch mehr erwachsen. Tatsächlich stellt der „Zweite Hauptsatz“ eine Krücke dar, die weggeworfen werden *muss*, um die Definition der Entropie im Rahmen der Wärmelehre (endlich) auf solide Füße stellen zu können.

1.3.2 Motive für die Kritik des „Zweiten Hauptsatzes“

Die mit diesem Buch vorgelegte Kritik der Wärmelehre gründete ursprünglich in einer über mehrere Jahrzehnte hartnäckig verfolgten, im Lichte physikalischer Selbstverständlichkeiten weniger als radikal sondern vielmehr als völlig aussichtslos zu bezeichnenden Startthese: „Die Definition der Entropie auf Basis des ›Zweiten Hauptsatzes‹ muss falsch sein“. Für diese Unterstellung gab es gleichwohl drei wesentliche Motive:

1. Ein politisch orientiertes Motiv, welches insbesondere mit der Auseinandersetzung um die friedliche Nutzung der Kernenergie in den 80ern gewachsen war.
2. Ein erkenntnistheoretisch orientiertes Motiv, welches mit der Gewissheit verbunden war, dass sich für eine willkürliche physikalische Theorie immer Randbedingungen finden lassen sollten, unter denen diese falsifizierbar wird.
3. Ein methodisch orientiertes Motiv, wonach physikalische Größen nach einheitlichen Vorgaben definiert werden sollten.

Für mich persönlich war das zweite Motiv ursprünglich das stärkste: Ich wertete die mangelnde Bereitschaft, eine Falsifizierbarkeit der Entropiedefinition auch nur in Erwägung zu ziehen, als massives Indiz, dass in dem gesamten Begründungszusammenhang fundamentale Fehler zu finden sein sollten.

Politischer Impetus

Vor etwa 30 Jahren wurde in Berlin die „Werkstatt für dezentrale Energieforschung“ gegründet, ein Verein, dessen erklärtes Ziel die Förderung von Forschungsvorhaben zugunsten dezentraler Energieversorgung war. Dies richtete sich gegen zentralistisch organisierte Forschung, als deren verwerflichstes Betätigungsfeld von den Werkstatt-Aktivisten die friedliche Nutzung der Kernenergie angesehen wurde.

Als ein in jeder Hinsicht vorbildliches Forschungsvorhaben galt die fundamentale Kritik des „Zweiten Hauptsatzes“. Damit wurde diejenige Theorie aufs Korn genommen, die die großtechnologische Gewinnung von Nutzenergie quasi per Naturgesetz zu legitimieren schien. Dass der „Zweite Hauptsatz“ innerhalb

der etablierten Wissenschaft für unumstößlich galt, wurde als emotionales „Surplus“, als besonderer Reiz dieses Unterfangens empfunden.

Vordergründig scheint es die Leistung des „Zweiten Hauptsatzes“ zu sein, eine elementare Erkenntnis über die Entwicklung des Naturgeschehens in die Physik hinein zu tragen:

- Ein abgeschlossenes System müsse im Laufe der Zeit den wahrscheinlichsten aller ihm zugänglichen Zustände einnehmen.

Diese Erkenntnis sollte in inniger Beziehung zur scheinbar trivialen Behauptung stehen, dass „zyklisch arbeitende Maschinen, die nichts weiter bewirken würden, als Wärme von einem kälteren in ein wärmeres Reservoir zu verbringen“, unkonstruierbar seien. Jedoch diene diese Wortkonstruktion, die zum „Zweiten Hauptsatz“ der Thermodynamik avanciert war, nüchtern betrachtet nur dem Zweck, die Trägermenge der Wärme, die sogenannte „Entropie“, definieren zu können, ohne sie – wie für physikalische Größen sonst üblich – aus Relationen ihrer Größenwerte zu entwickeln.

Allerdings lässt sich weder das eine – die Definition der Entropie – noch das andere – der Satz über die Entwicklung der Entropie – *direkt* aus dem „Zweiten Hauptsatz“ ableiten. Dafür muss eine elementare Annahme hinzugezogen werden, die einzig und allein deswegen als valide angesehen wird, weil sie in dieser (und *nur* in dieser) Fassung *nicht* mit dem als unumstößlich geltenden „Zweiten Hauptsatz“ im Widerspruch steht bzw. zu stehen scheint:

- Die Effizienz² einer Carnotschen Wärmekraftmaschine ist nur von den Temperaturen derjenigen beiden Wärme-Reservoir³ abhängig, zwischen denen diese arbeitet.

Diese Aussage war es, die die fundamentale Kritik auf sich zog, denn sie zementierte die Auffassung, dass es nur durch den Einsatz fossiler oder nuklearer Brennstoffe möglich sei, eine ausreichende Energieversorgung sicherzustellen. Das soll im Folgenden etwas genauer betrachtet werden.

2 „Es erscheint machbar, bis zum Beginn des notwendigen Ersatzes und Zubaus von Kohlekraftwerken modernste Konzepte mit Wirkungsgraden bis zu 55% zur Verfügung zu haben. Es wird oft gefragt, weshalb die restlichen 45 % nicht in Strom umgewandelt werden können. Dies hat naturgesetzliche Gründe: Der absolute, auf die Gesamtenergie des Dampfes bezogene Grenzwirkungsgrad, der nicht überschritten werden kann, ist der sogenannte ›Carnot-Wirkungsgrad‹ [Schilling 2004, 6].

3 Eine zyklisch arbeitende Wärmekraftmaschine benötigt den energetischen Austausch mit zwei verschieden temperierten Wärme-Reservoir³, wobei einem Wärme entzogen und dem anderen Wärme zugeführt wird.

Die Effizienz einer Carnotschen Wärmekraftmaschine – der sog. Carnotsche Wirkungsgrad η_{Carnot} – wird als Verhältnis zwischen gewonnener Nutzarbeit W und investierter („heißer“) Wärme Q_2 definiert:

$$\eta_{Carnot} = \frac{W}{Q_2} \quad (1.3.1)$$

Unter Zuhilfenahme des „Zweiten Hauptsatzes“ und weiterer (teilweise gar nicht explizit getroffener) Annahmen wird dies in folgende Beziehung überführt:

$$\eta_{Carnot} = \frac{T_2 - T_1}{T_2} = \frac{\Delta T}{T_2} \quad (1.3.2)$$

In demselben Rechengang ergibt sich dann auch die Existenz des totalen Differentials einer Zustandsgröße der Carnotschen Maschine, die Entropie S genannt wird:

$$dS = \frac{\delta Q}{T} \quad (1.3.3)$$

Der Carnotsche Wirkungsgrad η_{Carnot} aus (1.3.2) ist demnach a) proportional zum Temperaturunterschied ΔT der beiden Wärme-Reservoirs, zwischen denen die Maschine zyklisch arbeitet, und b) umgekehrt proportional zur Temperatur T_2 , bei der die Maschine Wärme aufnimmt. Aus diesen Zusammenhängen ergeben sich nun ganz wesentliche Konsequenzen für die Ausbeute an Nutzenergie aus Wärme-Reservoirs, die eine vergleichsweise geringe Temperaturdifferenz zu bieten haben:

1. Es gibt keine Möglichkeit, diejenigen Beschränkungen des Wirkungsgrades, die sich direkt aus dem Prozessparameter „Temperatur“ ergeben, durch systemische Maßnahmen – etwa durch die Verwendung eines anderen Agens' bzw. Arbeitsstoffes – zu beeinflussen.
2. Da die Maßzahlen der Temperaturen aus der Kelvinskala stammen, muss der Wirkungsgrad bei Temperaturunterschieden, die sich beispielsweise infolge von Sonneneinstrahlung in der Natur (also „etwas“ oberhalb von ca. 300 K „Basistemperatur“) von allein ergeben können, vergleichsweise gering ausfallen.

Je niedriger also die Differenz zwischen den Temperaturen derjenigen beiden Wärme-Reservoirs ausfällt, zwischen denen eine Carnotsche Wärmekraftmaschine arbeiten kann, desto ineffizienter muss diese arbeiten. Diese Schlussfolgerung überträgt sich automatisch auf jeden anderen Typ von Wärmekraftmaschine.

Die mit der Gleichung (1.3.2) verbundenen Schlussfolgerungen sind also mit dramatischen Konsequenzen für die Energietechnik verbunden. Zugunsten der

Chance, eine grundlegend effizientere Energietechnik entwickeln zu können, war die Beantwortung folgender Fragen also von brennendstem Interesse:

- Ist der „Zweite Hauptsatz“ wirklich trivial?
- Falls der „Zweite Hauptsatz“ nicht trivial ist: Ist die Schlussfolgerung über den thermischen Wirkungsgrad einer Carnotschen Wärmekraftmaschine dann noch bedingungslos richtig?

Wäre eine Kritik des „Zweiten Hauptsatzes“ erfolgreich, dann sollte es umgekehrt möglich sein, Nutzenergie nicht nur durch die Verbrennung fossiler Rohstoffe, sondern auch aus lokalen Wärmequellen mit einem vergleichsweise niedrigen Temperaturunterschied zur Umgebung effizient zu gewinnen und damit größere wirtschaftliche und politische Unabhängigkeit zu erlangen.

Erkenntnistheoretischer Impetus

Für die Kritik des „Zweiten Hauptsatzes“ bzw. des Umgangs mit ihm gab es von Beginn an neben dem politischen auch einen erkenntnistheoretischen Impetus: Musste sich nicht jede wissenschaftliche Theorie befragen lassen, auf welche expliziten Voraussetzungen sie angewiesen ist bzw. welche impliziten Voraussetzungen sie mit sich führt, um Gültigkeit beanspruchen zu können? War es nicht so, dass keine wissenschaftliche Theorie beanspruchen kann, unumstößliche Naturgesetze abzubilden?

Eine vernunftgemäße Kritik des „Zweiten Hauptsatzes“ wird mitnichten auf jene Evidenz zielen, die sein argumentatives Gewicht, d.h. seine „Validität“ hervorbringen soll. Es geht also nicht um die Frage, ob Wärme unter bestimmten Umständen *doch* „von selbst“ von einem kälteren zu einem wärmeren Reservoir fließen kann.

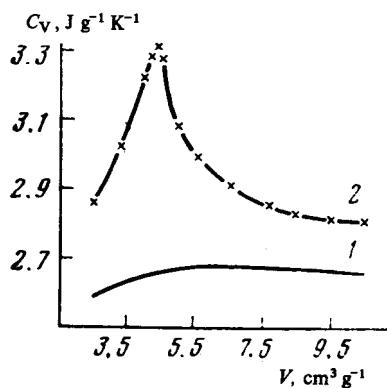
Eine vernunftgemäße Kritik des „Zweiten Hauptsatzes“ muss sich vielmehr auf reversible Zustandsänderungen, präzise gesagt: auf spezifische Mengen von Gleichgewichtszuständen und deren Unterschiede beziehen. Der Blick ist deshalb auf diejenigen Beschränkungen zu richten, die sich für Zustandfunktionen beliebiger Systeme bzw. beliebiger „Stoffe“ ergeben, wenn der Carnotsche Wirkungsgrad (1.3.2) bzw. die Entropiedefinition (1.3.3) universell d.h. unter allen Umständen richtig sein soll.

Diese Betrachtungsweise ist in der Thermodynamik irreversibler Prozesse absolut geläufig, wenn es darum geht, die Allgemeinheit stoffspezifischer Zustandfunktionen einzuschränken und Beziehungen zwischen ihnen herstellen zu können. Dies tut man insbesondere, um messtechnischen Aufwand zu sparen. Jedes universelle Prinzip, welches dafür herangezogen werden kann, ist willkommen. Dabei bedient man sich insbesondere eines „Prinzips der materiellen Objektivität“ und eines „Entropie-Prinzips“ [Greve 2003].

Abbildung 1.1: Rationale Kritik des „Zweiten Hauptsatzes“

Zur rationalen Kritik des „Zweiten Hauptsatzes“ gehört die systematische Falsifizierung von Schlussfolgerungen, die Kraft seiner Validität gezogen worden sind. Die zentrale Schlussfolgerung besteht in dem Nachweis, dass das thermische Dispersionspotential eines beliebigen Systems mit der Universellen Temperatur bzw. mit der Gastemperatur identisch ist. Mithin können beliebige Beziehungen auf den Prüfstand gestellt werden, in denen das thermische Dispersionspotential eines Systems zusammen mit direkt messbaren Größen eingeht.

Zu diesen Beziehungen gehört insbesondere die Gleichung (1.3.6). Sie wird mit herangezogen, um die Wärmekapazität eines Systems auf der Basis thermischer Messungen zu errechnen, die einfacher durchzuführen sind als die direkte Messung der Wärmekapazität. Im nebenstehenden Bild wird die Wärmekapazität C_V für n-Heptan bei 543 K aus berechneten (1) und gemessenen (2) Werten gegen-



übergestellt [Abdulgatov/Alibekov 1980, 803], wobei die Berechnung der Wärmekapazität elementar auf Beziehungen beruht, die sich aus der Definition der Entropie nach Gleichung (1.3.3) ergeben. Sofern derartige systematische Abweichungen nicht zurückgewiesen werden könnten, müsste die universelle Definition der Entropie als falsifiziert betrachtet werden.

Zu den überprüfaren Beziehungen zwischen dem thermischen Dispersionspotential und direkt messbaren Größen gehört auch die Gleichung (7.1.13), die das Maximum der Einhüllenden eines Rotations-Schwingungs-Spektrums beschreibt. Der darin auftretende Lagrange-Parameter β ,

der in der statistischen Physik zur Berücksichtigung bestimmter Randbedingungen eingeführt wird, lässt sich aufgrund von Analogiebetrachtungen bis auf einen konstanten Faktor mit dem thermischen Dispersionspotential identifizieren. Die Abbildung 7.3 zeigt einen Fall mit isotherm verschobenem Maximum der Einhüllenden, weshalb eine Druckabhängigkeit des Lagrange-Parameters bzw. des thermischen Dispersionspotentials anzunehmen ist, was im direkten Widerspruch zu der zentralen Schlussfolgerung aus dem „Zweiten Hauptsatz“ steht. Einzelheiten werden im Kapitel 7.1.1 diskutiert.

In Kapitel 7.1.3 wird ein sehr robustes Verfahren beschrieben, um systematische Abweichungen zwischen Vorhersagen der Wärmelehre und entsprechenden Messwerten herbeiführen zu können. Dieses Verfahren zielt auf die nur implizit getroffene Unterstellung, dass Entropie-Adiabaten und Isentropen universell identisch sind. Da diese Unterstellung als nicht-notwendige Voraussetzung in sämtliche Schlussfolgerungen der Wärmelehre eingeht, kann diesen gar kein universeller Charakter eignen. Nicht zuletzt kann eine neue Qualität in der Konsistenz eines physikalischen Modells, das auf einem systemspezifischen Dispersionspotential beruht, den Ausschlag geben. Ein mögliches Beispiel dafür, eine alternative Darstellung der van-der-waalsschen Zustandsgleichung, findet sich in Kapitel 7.1.2.

Ganz analog dazu wird die Gesamtheit mathematisch möglicher stoffspezifischer Zustandsfunktionen beschränkt, wenn man das Prinzip „Zweiter Hauptsatz“ zugunsten einer Entropie-Definition in Anspruch nimmt. Dies geschieht, indem eine von Haus aus stoffspezifische Funktion auf eine universelle Messgröße reduziert wird:

- Das genuin stoffspezifische thermische Dispersionspotential τ (zur Definition des Begriffs siehe Kapitel 2.2.1 bzw. 2.3.2) muss mit der Universellen Temperatur T identifiziert werden, wenn kein Widerspruch zum „Zweiten Hauptsatz“ entstehen soll.

Auf diese Schlussfolgerung, die mit dem „Zweiten Hauptsatz“ untrennbar verbunden ist und in der Wärmelehre als „alles tragend“ bezeichnet werden darf, soll mit dem Begriff „Elementarschluss“ verwiesen werden.

Indem das thermische Dispersionspotential auf diese Weise eingeschränkt wird, folgt die universelle Gültigkeit des carnotschen Wirkungsgrades (1.3.2) sowie der Entropiedefinition (1.3.3). Die Konsequenzen lassen sich klarer ermessen, wenn man die Konsequenzen der Entropiedefinition im Zusammenhang mit der gibbsschen Fundamentalform bedenkt. Unter Vernachlässigung des chemischen Pensums (zur Begrifflichkeit siehe Abbildung 2.6) lässt sich hier für das Entropiedifferential dS folgende Beziehung ableiten:

$$dS = \frac{1}{\tau} \cdot \left. \frac{\partial E}{\partial T} \right|_v \cdot dT + \frac{1}{\tau} \cdot \left(\left. \frac{\partial U}{\partial V} \right|_r + \pi \right) \cdot dV \quad (1.3.4)$$

Nutzt man nun den Satz von Schwarz aus, nach dem die gemischten zweiten partiellen Differentialquotienten einer Zustandsfunktion mehrerer Variabler einander gleich sein müssen, so erhält man aus (1.3.4) folgende Beziehung zwischen Innerer Energie E , mechanischem Dispersionspotential π und thermischem Dispersionspotential τ :

$$\left. \frac{\partial E}{\partial V} \right|_r \cdot \left. \frac{\partial \tau}{\partial T} \right|_v - \left. \frac{\partial E}{\partial T} \right|_v \cdot \left. \frac{\partial \tau}{\partial V} \right|_r = \tau \cdot \left. \frac{\partial \pi}{\partial T} \right|_v - \left. \frac{\partial \tau}{\partial T} \right|_v \cdot \pi \quad (1.3.5)$$

Identifiziert man die beiden Dispersionspotentiale mit den intensiven Größen Druck p und Temperatur T , dann schrumpft (1.3.5) zu der Gleichung

$$\left. \frac{\partial E}{\partial V} \right|_r = T \cdot \left. \frac{\partial p}{\partial T} \right|_v - p \quad (1.3.6)$$

durch die die Innere Energie wesentlich restriktiver von den intensiven Größen Druck und Temperatur regiert wird. Die damit verbundene Gleichsetzung des stoffspezifischen mechanischen Dispersionspotentials π und des „äußeren“ mechanischen Drucks p bildet einen wesentlichen Schlüssel zur rationalen Kritik des „Zweiten Hauptsatzes“.

Sollten nun „Materialgleichungen“, die aus der Anwendung von Gleichung (1.3.6) gewonnen wurden, mit validen Messergebnissen im Widerspruch stehen, dann darf umgekehrt die Identität von τ und T nicht mehr als univer-

sell gültig bezeichnet werden. In Abbildung 1.1 wird ein exemplarischer Fall beschrieben, mit dem dieselbe paradoxe Situation vorzuliegen scheint, wie wir sie bereits im Zusammenhang mit dem Widerspruch zwischen einer allgemein quellfähigen, quantisierten Entropie und dem „Zweiten Hauptsatz“ kennengelernt haben. Hier müssten wir jedoch von Beginn an von einem Scheinparadoxon sprechen, weil der „Zweite Hauptsatz“ bzw. die aus ihm gezogenen Schlussfolgerungen validen Messergebnissen, die der Gleichung (1.3.6) widersprechen, nichts entgegenzusetzen hätte.

Methodischer Impetus

Eine Kritik des Entropiebegriffs der Wärmelehre bietet sich schließlich auch aus allgemeinen Betrachtungen über die Einheit oder Einheitlichkeit in der Physik an: Die Entropie ist die einzige physikalische Mengengröße, die programmatisch nicht über Relationen ihrer Größenwerte bestimmt wird.

Grundsätzlich lassen sich Mengengrößen χ nämlich sowohl mittels vergleichender Messungen $\Pi[\chi]$ auf eine willkürlich festgelegte Referenzmenge χ_R

$$\chi = \frac{\Pi[\chi]}{\Pi[\chi_R]} \cdot \chi_R \quad (1.3.7)$$

als auch mittels „Abzählens“ auf ihre Elementarmenge k

$$\chi = N \cdot k \quad (1.3.8)$$

beziehen, wobei in Gleichung (1.3.7) statt der Referenzmenge auch die Elementarmenge eingesetzt werden kann. Der Umstand, dass die Definition der Entropie nicht einmal versuchsweise im Rahmen dieses Schemas gesucht wurde, ist so einzigartig, dass sich folgende beiden Fragen aufdrängen müssen:

- Mit welchen vergleichenden Messungen ließen sich die Größenwerte der Entropie aufeinander beziehen?
- Worin bestehen die Elementarmengen bzw. die Quanten der Entropie, als deren Extension („Ausdehnung“) eine Entropiemenge aufzufassen wäre?

Ließe sich wenigstens eine dieser beiden Fragen konstruktiv beantworten, dann gäbe es keine Notwendigkeit mehr, die zentrale Mengengröße der Wärmelehre aus einem „Hauptsatz“ abzuleiten. Mehr noch: Es müsste vielmehr damit gerechnet werden, dass dieser bisher als behelfsmäßige Krücke gedient hat, mit allen Einschränkungen, die der Gebrauch von Krücken gewöhnlich mit sich bringt.

Legitimität der Kritik am „Zweiten Hauptsatz“

Die Falsifizierung des Carnotschen Wirkungsgrades bzw. der Entropiedefinition steht gemeinhin nicht auf der Tagesordnung physikalischer Grundlagenforschung. Das liegt an dem tadellosen Ruf des „Zweiten Hauptsatzes“, der mit einem solchen kritischen Ansatz ja ebenfalls zur Disposition gestellt würde. Die Einschätzung, dass eine Suche nach derartigen Widersprüchen allein aufgrund der Evidenz des „Zweiten Hauptsatzes“ sinnlos⁴ sei, ist weit verbreitet. Dabei verlangen die Grundregeln empirischer Wissenschaft ohne wenn und aber, dass ihre Schlussfolgerungen durch empirische Beobachtungssätze falsifizierbar sein müssen. Dementsprechend gilt die Suche nach Anwendungsfällen, an denen eine Theorie scheitern kann, als entscheidend für den Zuwachs an Erkenntnis. Das Beispiel in Abbildung 1.1 zeigt nur einen Weg, auf dem die Schlussfolgerung falsifizierbar wäre, dass thermisches Dispersionspotential τ und Gastemperatur T identisch sein müssen.

Wenn die Identität zwischen τ und T feile, dann wäre die universelle Gültigkeit sowohl des Carnotschen Wirkungsgrades als auch der Entropiedefinition verloren und die Validität des „Zweiten Hauptsatzes“ dahin. Als wie aussichtsreich ist die Erwartung zu betrachten, dass sich eine Aussage wie der „Zweite Hauptsatz“, die allgemein für trivial und augenscheinlich wahr gehalten wird, als falsch bzw. als nicht allgemeingültig herausstellen kann?

Die mit diesem Essay herausgearbeitete Antwort (siehe Kapitel 6) fällt klar und eindeutig aus: Der „Zweite Hauptsatz“ ist weder trivial, noch macht er evidente Prognosen. Deswegen muss er auch systematisch validiert werden. Jeder derartige Versuch muss scheitern, weil er Zustandsunterschiede für unmöglich erklärt, die sich mit Anfangs- und Endzuständen natürlicher Vorgänge in keinen Widerspruch verwickeln lassen. Alle aus ihm abgeleiteten Schlussfolgerungen stehen deshalb auf tönernen Füßen.

Schlussfolgerung

Nicht nur die massiven Konsequenzen für die Energietechnik fordern zur Kritik des „Zweiten Hauptsatzes“ auf. Auch die methodische Inkongruenz zwischen der Darstellung der Entropie einerseits und der Definition der übrigen Mengengrößen andererseits lädt dazu. Nicht zuletzt muss die hartnäckige Wei-

4 Der Autor diskutierte Anfang der 80er Jahre mit einem vom Berliner Senat bestellten Gutachter, der die Beschäftigung mit möglichen Widersprüchen zur Entropie-Definition allein mit der Begründung ablehnte, dass ein solcher Widerspruch unmöglich sei. Wenn nach Karl R. Popper der Hauptzweck der wissenschaftlichen Methode darin besteht, zu verhindern, dass eine Falsifikation umgangen werden kann [Popper ¹¹2005, 57], dann wäre das wahrlich eine unwissenschaftliche Herangehensweise.

gerung, den „Zweiten Hauptsatz“ systematischen Falsifizierungsversuchen zuzuführen, den Verdacht erwecken, dass seine methodische Einbettung unreflektiert geblieben und von daher als fehleranfällig zu betrachten ist.

1.3.3 Kritik der Entropiedefinition

Zielsetzung

Sofern eine eigenständige mengenphysikalische Definition der Entropie angestrebt wird, muss diese Größe auch von der universellen Definition abgelöst werden, die ihr im Rahmen der Wärmelehre zuteil wird, indem die zur Entropie energiekonjugierte dispersive Größe, das sogenannte „thermische Dispersionspotential“, mit der Universellen Temperatur identifiziert wird.

Der Beweis dieser Identität beruht darauf, dass jede Annahme über die Gestalt des thermischen Dispersionspotentials, die davon abweicht, in Widerspruch zum „Zweiten Hauptsatz“ geführt wird.

Ansatzpunkte

Folgende Gründe haben meiner Auffassung nach entscheidend dazu beigetragen, dass die Unzulänglichkeit der oben angesprochenen Standard-Definition der Entropie nicht erkannt wird:

- Die allgemein verbreitete missverständliche Interpretation der gibbsschen Fundamentalform als Summe von Energieströmen statt als Summe gewichteter Inventarunterschiede.
- Die unterbliebene Differenzierung zwischen den Dispersionspotentialen eines Systems und denen der Reservoirs, auf die dessen Zustandsunterschiede energetisch und „menglich“ abgebildet werden.
- Die unpräzise Interpretation des „Zweiten Hauptsatzes“, der diejenigen Zustandsänderungen exakt zu beschreiben hat, die nur ein (gleichwohl unrealisierbares) Perpetuum mobile zweiter Art reversibel und infolge zyklischer Arbeitstakte rückgängig machen könnte.
- Die unterlassene Interpretation „isothermer Wärme-Reservoirs“, die eine wesentliche Rolle beim Carnotschen Kreisprozess spielen und realistisch betrachtet – von den Beweisführungen jedoch bisher komplett ignoriert – über den Wärmeaustausch hinaus weitere systemspezifische Beiträge zur peripheren Energiebilanz eines Carnotschen Kreisprozesses leisten müssten.

Die Kritik der Standard-Definition der Entropie erfolgt im wesentlichen in den Kapiteln 6.1 und 6.2.

Massive Einschränkungen in der Standard-Definition der Entropie

Die Randbedingung, dass der thermische Wirkungsgrad einer Carnotschen Maschine systemunabhängig sei, wird durch den „Zweiten Hauptsatz“ erzwungen. Aufgrund von Missverständnissen über die Gibbs'sche Fundamentalform will es jedoch nicht ins Auge springen, dass diese Randbedingung keineswegs direkt zugunsten der Energiebilanz der Carnotschen Maschine ausgewertet werden kann. Sie bezieht sich vielmehr auf die Energiebilanz der Peripherie.

Bei der „Rückübertragung“ dieser peripheren Energiebilanz auf die Carnotsche Maschine wird dann nicht bemerkt, dass dies nur unter massiven Einschränkungen an die Eigenschaften einer Carnotschen Maschine zu haben ist. Pointiert ausgedrückt: Die Carnotsche Maschine muss ein Ideales Gas als Arbeitsstoff enthalten, damit sich beweisen lässt, dass sein thermisches Dispersionspotential mit der Gastemperatur identisch ist.

Der „Zweite Hauptsatz“ wird weithin als so evident empfunden, dass er inhaltlich gar nicht oder nur sehr oberflächlich interpretiert wird. Deshalb bleibt eine Begleiterscheinung, die bei der Anwendung des „Zweiten Hauptsatzes“ auf einen Carnotschen Prozess nicht vermieden werden kann, unbemerkt:

- Von den Reservoiren, die für einen Carnotschen Kreisprozess benötigt werden, sind nicht nur die peripheren Impuls-Reservoire „monochromatisch“⁵, d.h. aus nur einer physikalischen Menge bestehend. Dies gilt genauso auch für die peripheren Wärme-Reservoire.

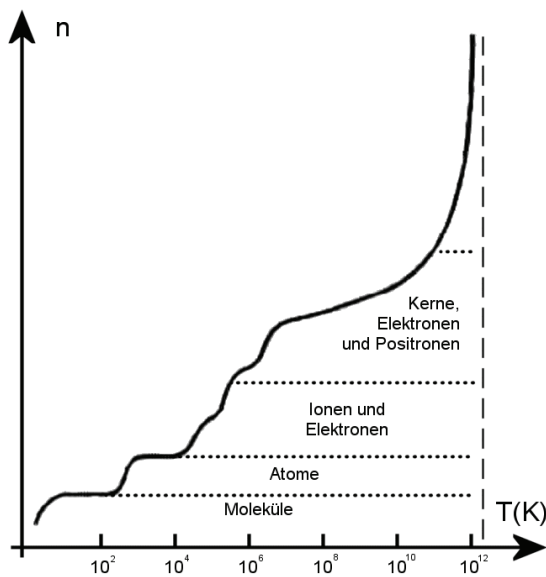
Das bedeutet, dass der Beweisgang für die Definition der Entropie auf dem Austausch zwischen Carnotschen Maschinen und *reinen Entropie-Reservoiren* beruht. Dies wäre nur dann zulässig, wenn sich Zustände destillieren ließen, die ausschließlich Entropie enthalten, also insbesondere keinen Stoff und keinen Impuls, deren Quanten sich mit denen der Entropie umwandeln. Die in diesem Buch vertretene These zur Natur von Entropie läuft darauf hinaus, dass Entropie zwar ohne Stoff, nicht jedoch ohne Impuls zu haben ist.

5 Dieser Begriff ist griechischen Ursprungs. Er bedeutet „eine Farbe“ (mono-chromos) und bezieht sich von daher natürlich exklusiv auf optische oder elektromagnetische Phänomene. Gleichwohl soll der Begriff hier zur Umschreibung von Reservoiren entlehnt werden, die Elementarmengen nur einer Sorte enthalten. In diesem Zusammenhang sind sogenannte „Monochromatoren“ interessant, also Vorrichtungen mit denen sich Elementarmengen einer Sorte separieren, fragmentieren oder destillieren lassen.

Abbildung 1.2: Veränderliche Materiemenge

Graphik (leicht überarbeitet) und Text wurden dem Aufsatz „Was ist eigentlich Atomistik? ...“ von Gottfried Falk [1978] entnommen.

»Die Graphik zeigt zunächst, dass Materie keine einfach abgrenzbare physikalische Qualität ist, wie man aufgrund beschränkter Erfahrung anzunehmen geneigt ist. Auch wenn man „materie-undurchlässige“ Wände postuliert – von ihrer Realisierung ganz zu schweigen – hat man, wenn n die „Materiemenge“ im gewohnten Sinn der Umgangssprache misst, diese nicht in der Hand; sie ändert sich mit Zufuhr und Entzug von Energie. In manchen Zustandsbereichen ist die Änderung von n zwar nur geringfügig, so dass es aussieht, als sei der Wert von n konstant, aber in anderen Zustandsbereichen ist die Änderung von n bei der Zufuhr von Energie beträchtlich, und über hinreichend große Bereiche hinweg ist sie sogar beliebig groß.



Weiter zeigt die Graphik, dass jeder Temperaturbereich, zu dem ein kleinerer Wert der Teilchenzahl N gehört, durch Energiezufuhr und damit durch „Teilchen-Erzeugung“ die den Charakter einer N -Vervielfachung hat, in einen Temperaturbereich übergeht, zu dem ein größerer N -Wert gehört.

Im gewohnten Gebrauch des Wortes Teilchen drückt sich das so aus, dass die bei höherer Temperatur auftretenden Teilchen aus den bei kleinen T -Werten auftretenden Teilchen durch *Zerfall* hervorgehen, so wie Atome aus den Molekülen, die Ionen und Elektronen aus den Atomen usw. Umgekehrt sind

die zu kleineren T -Werten gehörenden Teilchen jeweils aus den zu größeren T -Werten gehörenden *zusammengesetzt*, so die Moleküle aus Atomen, die Atome aus Ionen und Elektronen, diese wieder aus Kernen und Elektronen usw. Man erhält so aus der Graphik die folgende Reihe:

Kristall \leftrightarrow Molekülaggregate \leftrightarrow Moleküle \leftrightarrow Atome \leftrightarrow Ionen + Elektronen \leftrightarrow Kerne + Elektronen + Positronen \leftrightarrow ...

Wir haben die Reihe nach links gleich bis zum makroskopischen Kristall hin fortgesetzt, denn es ist nicht einzusehen, warum sie mit den Molekülen enden sollte. Dass sie nach links überhaupt endet, liegt daran, dass die Energie und die Entropie jedes Systems nach unten beschränkt sind. Dagegen ist nicht zu erwarten, dass die Reihe nach rechts abbricht, denn es gibt keine prinzipielle obere Schranke für die Werte sowohl der Energie als auch der Entropie eines Systems wie des betrachteten. \leftarrow

Gründete man den Beweisgang auf „normale“ Wärme-Reservoirs und vor allem auf Carnotsche Maschinen, für deren Eigenschaften keine wesentlichen Einschränkungen herangezogen werden, dann muss er ins Leere gehen: Die *universelle* Identität zwischen den thermischen Dispersionspotentialen beliebiger Systeme und der Universellen Temperatur ist nicht mehr nachweisbar. Genau so wenig kann auf diesem Wege eine allgemeingültige Definition der Entropie der Wärmelehre erlangt werden.

Davon abgesehen, dass sich die vom „Zweiten Hauptsatz“ erzwungene Randbedingung nicht zugunsten einer universellen Aussage über das thermische Dispersionspotential auswerten lässt, scheitert der Beweisgang von vornherein an einem ganz anderen Umstand: Die vom „Zweiten Hauptsatz“ beschriebenen Zustandsunterschiede und die Anfangs- und Endzustände natürlicher Ausgleichsvorgänge liegen nicht in demselben Zustandsraum. Deswegen lässt sich der „Zweite Hauptsatz“ auch nicht über einen Widerspruch mit der Gewissheit validieren, dass Wärme stets von einem wärmeren zu einem kälteren Reservoir fließt.

Schlussfolgerung

Ohne zu wissen, ob der „Zweite Hauptsatz“ wahr ist, hängen alle auf ihm aufbauenden Aussagen – egal ob universeller oder spezifischer Art – logisch in der Luft. Das trifft natürlich insbesondere die Definition der Entropie: Sie hat sich zwar bewährt, aber aus mehreren Gründen kann sie nicht als eine universell gültige Definition betrachtet werden. Mit der gebotenen Entkopplung von ihrer bisherigen als universell verstandenen Definition ist also der Weg zur widerspruchsfreien mengenphysikalischen Definition der Entropie frei. Der dafür in diesem Buch entwickelte Ansatz wird zum Schluss dieser Zusammenfassung aufgegriffen.

1.3.4 Kritik des Satzes von der Entropiezunahme

Zielsetzung

Der „Satz von der Entropiezunahme in thermisch isolierten Systemen“ wird weithin als universelle Aussage über das zeitliche Verhalten einer Entropiemenge verstanden: Diese könne unter bestimmten Umständen mit der Zeit nur zunehmen. Um die mengenphysikalische Interpretation der Entropie nicht vorzubelasten, muss die Entropie zugunsten ihrer unbeschränkten Quellfähigkeit – d.h. zugunsten *in statu nascendi* uneingeschränkter Erzeugungs- und Vernichtungseigenschaften – von dieser Interpretation abgekoppelt werden.

Intermezzo

Zu den universellen Eigenschaften physikalischer Mengengrößen gehört insbesondere deren Quantisierung sowie die Strömbarkeit und gegebenenfalls die Umwandlungsfähigkeit der damit verbundenen Quanten. Beide Eigenschaften *müssen* zum Tragen kommen, wenn man die gibbssche Fundamentalform nicht als Summe von Energieströmen, sondern als Summe gewichteter Inventarunterschiede interpretiert: Inventarunterschiede kommen nämlich nicht nur durch den Austausch von Quanten zustande, sie entstehen auch durch eine Verschiebung ihres Umwandelungsgleichgewichtes, mit der im allgemeinen auch die Änderung der Mengen von Quanten *anderer* Sorten verbunden ist.

Für den Stoff ist seine Quantisierung und die Umwandlungsfähigkeit seiner Quanten, den Atomen und Molekülen, allgemein akzeptiert und elementarer Bestandteil jedes Diskurses über Stoffeigenschaften. Weniger gegenwärtig ist dagegen die Tatsache, dass die Dissoziations- und Assoziationsfähigkeit stofflicher Quanten dazu führen muss, dass sich die Stoffmenge eines Systems auch unter stoff-adiabaten Bedingungen aufgrund der Verschiebung chemischer Reaktionsgleichgewichte ändert (siehe dazu die Abbildung 1.2).

Dabei spielt es eine wesentliche Rolle, dass sich die Mengen beliebiger Stoffkomponenten als Extensionen ein und derselben Stoffelementarmenge messen lassen. Deshalb ergibt sich der chemische Beitrag zur Änderung des energetischen Inventars eines Systems, in welchem *ein einziges* umfassendes stoffliches Umwandelungsgleichgewicht herrscht, unter stoff-adiabaten Bedingungen aus dem Produkt des stofflichen Inventarunterschieds und eines entsprechend definierten chemischen Potentials.

Für den Impuls würde dasselbe gelten, doch da in die gibbssche Fundamentalform eines jeden Systems grundsätzlich der Beitrag eines *externen* Impuls-Reservoirs eingetragen wird – einer einzigen an- und abschwellenden „riesigen“ Impulsportion –, kommt die Portionierbarkeit von Impulsmengen und deren Umwandlungsfähigkeit interpretatorisch nicht zum Tragen. Gleichwohl legt die isotrope maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung Zeugnis von dem umfassenden Umwandelungsgleichgewicht ab, in dem sich die (ruhemassebasierten) Impulsportionen eines Systems befinden.

Ein Auftrag zur Suche nach den Quanten der Entropie und nach deren Umwandelungsgesetzmäßigkeiten ist auf der Agenda der Physik bisher nicht aufgetaucht. Durch eine mengenphysikalische Interpretation der Entropie wird dies nachgeholt.

Ansatzpunkte

Methodisch sauber interpretiert gründet der sogenannte „zweite Teil des Zweiten Hauptsatzes“ auf einer *willkürlichen* Randbedingung für das thermische

Dispersionpotential eines Systems, die im Widerspruch mit der ansonsten abgeleiteten Identität zwischen Universeller Temperatur und thermischem Dispersionpotential steht.

Folgende Gründe haben meiner Auffassung nach entscheidend dazu beigetragen, dass diese Randbedingung fälschlicherweise im Sinne einer zeitlichen Aussage, nämlich als „Satz über die Zunahme von Entropie“ interpretiert wird:

- Fehlende Reflexion universeller Eigenschaften physikalischer Mengengrößen.
- Missverständnis über das Wesen eines „reversiblen Prozesses“, der lediglich eine ausgewählte Teilmenge aus der Menge aller dem System zugänglichen Gleichgewichtszustände bildet.
- Methodisch unakzeptable Übertragung von Gleichgewichtsgrößen auf instationäre Systeme.

Die Kritik des Satzes über die Zunahme der Entropie erfolgt im wesentlichen im Kapitel 6.3.

Methodische Fehler bei der Interpretation eines entropischen Inventarunterschieds

Der Satz über die Entropiezunahme in thermisch isolierten Systemen (die also wärme- bzw. entropieundurchlässige Wände aufweisen) beruht auf folgender Ungleichung, die für den Entropieunterschied zweier Zustände A und B mittels diverser Annahmen abgeleitet wird:

$$S_B - S_A \geq 0 \quad (1.3.9)$$

Für eine methodisch widerspruchsfreie Interpretation dieser Ungleichung muss man sich an die dafür gemachten Prämissen halten. Dazu gehört insbesondere, dass die beiden Zustände A und B, für deren Entropieunterschied die Ungleichung (1.3.9) gelten soll, als Gleichgewichtszustände eingeführt sind.

Deshalb fallen sämtliche Interpretationen aus, die ein *nicht-stationäres* System unter Entropiezunahme in einen stationären Zustand übergehen sehen. Das betrifft den „Wärmetod“ des Universums genauso wie zum Beispiel ein thermisch oder chemisch inhomogenes System, das sich selbst überlassen wird. Dass bei solchen Ausgleichsvorgängen die Anzahl der vom System besetzten Mikrozustände zunimmt, folgt aus einer ganz anderen Betrachtungsweise und hat mit der Ungleichung (1.3.9) nichts zu tun.

Tatsächlich wird mit der Ungleichung (1.3.9) nicht mehr und nicht weniger gefordert, als dass ein „reversibler Weg“ existiert, um das entropische Inventar eines thermisch isolierten Systems zu erhöhen. Dies darf voraussetzungsgemäß nur durch Bestromung mit Mengen wie zum Beispiel Impuls oder elektrischer Ladung geschehen.

Auch wenn diese Vorgänge gemeinhin als absolut „irreversibel“ gelten – vor der Wärmelehre bestehen sie gleichwohl als spezifische Teilmenge der Menge aller dem System zugänglichen Gleichgewichtszustände („Prozessuale Zustandsmenge“), weil sie sich in eine Folge von Gleichgewichtszuständen auflösen lassen. Nicht die Präparierung eines Gleichgewichtszustandes ist wichtig, sondern lediglich sein stationäres Inventar.

Mathematisch betrachtet beinhaltet die Ungleichung (1.3.9) eine Forderung an das thermische Dispersionspotential, die ihre Abweichung von der Universellen Temperatur *erzwingt*.

Schlussfolgerung

Mit der verzeitlichten Interpretation der Ungleichung (1.3.9) leistet sich die Wärmelehre einen fundamentalen Widerspruch zu ihrer Entropiedefinition, indem die Universelle Temperatur als die zur Entropie energiekonjugierte dispersive bzw. intensive Größe erkannt wird. Diesen Widerspruch löst sie auf, indem eine adiabat quellfreie universelle Entropie für alle sog. reversiblen Prozesse zuständig ist, während eine adiabat quellende Entropie nur bei sog. irreversiblen Prozessen auftaucht.

Der „zweite Teil des Zweiten Hauptsatzes“ beinhaltet auch die Aufforderung, die zu (1.3.9) adäquate Ungleichung mit umgekehrtem Vorzeichen

$$S_B - S_A < 0 \quad (1.3.10)$$

physikalisch zu interpretieren. Dies sollte im Rahmen einer mengenphysikalischen Interpretation der Entropie möglich sein.

1.3.5 Steckbrief einer quantisierten Entropie

Ausgangssituation

Im Rahmen der Wärmelehre wird ein physikalisches Verständnis der Entropie weder angestrebt noch erwartet. Vielmehr schaut man auf die statistische Mechanik, welche eine Schlussfolgerung über die zeitliche Entwicklung „ihrer“ Entropie macht, die es zu erlauben scheint, die wahre Natur von Entropie darin zu sehen, dass sie ein Maß für die Ordnung bzw. die Unordnung eines Systems darstellt.

Diese Situation ist unakzeptabel. Die Physik ist deshalb aufgefordert, den *Status quo ante* – nämlich den Status vor Einführung des „Zweiten Hauptsatzes“ – wiederherzustellen und durchaus im Sinne der kalorischen Theorie der Wärme

nach dem Wesen von Wärme als „kalorischer Substanz“⁶ zu fragen. Auf die Erlungenschaft des „Ersten Hauptsatzes“, der die Gesetzmäßigkeit der Umwandlung von Quanten beliebiger Sorten betrifft, muss dabei nicht verzichtet werden.

Methodische Stringenz

Der Verzicht auf die Deutungshoheit für eine eigens definierte mengenartige Größe ist einzigartig in der Physik. Dabei gibt es einen „silver bullet“, einen Königsweg für den Umgang mit mengenartigen Größen: Impuls, Drehimpuls bzw. Spin, elektrische Ladung, magnetisches Moment oder Stoffmenge jeweils beliebigen Ausmaßes lassen sich grundsätzlich auf dieselbe Weise detektieren und bemessen wie jeweils eine der Elementarmengen oder Quanten, die für die Anhäufung der Menge einer bestimmten Sorte verantwortlich zeichnen.

Umgekehrt erlaubt es die Kenntnis von Quanten, Atomen, Elementarteilchen etc. und ihren jeweiligen spezifischen Eigenschaften, auf bestimmte Eigenschaften einer Ansammlung von ihnen zurückzuschließen:

- Bestimmte Eigenschaften von Elementarteilchen, welche jeweils einzigartige physikalische Objekte darstellen, können für ihre Ansammlungen (nahezu) beliebiger Extension hochgerechnet werden.

Wir hätten also viel gewonnen, wenn die Quanten der Entropie bekannt wären. Die Entropie eines Zustands ließe sich dann sowohl entsprechend Gleichung (1.3.8) aus der Anzahl der in ihm befindlichen Entropiequanten als auch entsprechend Gleichung (1.3.7) aus dem Verhältnis bestimmter Größenwerte bestimmen, die sich gleichermaßen an einem entropiehaltigen Zustand und an einem Entropiequant messen lassen.

Hinweise auf die Quantisierung von Entropie

Die Physik ist voller Hinweise, dass Entropie gequantelt auftritt. Selbst im Beweisgang zur Identifizierung des thermischen Dispersionspotentials mit der Gastemperatur fällt uns ein solcher Hinweis entgegen: Für diesen Beweisgang werden isotherme Wärmeübergänge betrachtet, wie sie beispielsweise mit der Verschiebung stofflicher Phasengleichgewichte verbunden⁷ sind. Ein solcher

6 Substanz ist nach dem lateinischen Wort *substantia* das „woraus etwas besteht“. In der Philosophie bedeutet „Substanz“ das selbstständige oder wesentliche Seiende. Eine physikalische Menge ist substanziell, weil (mindestens) eine physikalische Relation besteht, die die Größenwerte der Menge zweier Systeme vergleicht.

7 Dass ein Phasengemisch als isothermes Wärme-Reservoir für einen Carnotschen Kreisprozess gar nicht in Frage kommt, spielt in diesem Zusammenhang keine Rolle. Vergleiche die Diskussion in Abbildung 6.12.

Wärme- bzw. Entropieübergang lässt sich etwa durch die Dissipation elektrischer Energie erreichen, die einer Batterie entnommen werden kann. Beide Zustandsänderungen – die der Batterie und die der koexistierenden Phasen – lassen sich (zumindest theoretisch) jeweils aufs Elementarquantum an Ladung und Stoff genau bestimmen. Was läge da näher als zu erwarten, dass der energetische Bote zwischen Batterie bzw. Heizdraht einerseits und stofflichem Phasengemisch andererseits, also die Entropie, ebenfalls als Ansammlung von Quanten auftritt?

Auch im Beweisgang für den zweiten Teil des „Zweiten Hauptsatzes“ ist ein solcher Hinweis verborgen. Dieser sagt aus, dass die Entropie eines thermisch abgeschlossenen Systems nicht abnehmen könne, d.h. entweder konstant bleiben oder zunehmen müsse. Im Lichte der Quantentheorie bedeutet die Zunahme einer physikalischen Menge in einem System, über dessen Begrenzung diese Menge nicht fließen kann, dass innerhalb des Systems Quanten dieser Menge erzeugt worden sind. Für das Verständnis dieses Produktionsvorgangs ist die Betrachtung von Quanten wesentlich, weil es sich letztlich um einen Umwandlungsvorgang handelt, bei dem Quanten unterschiedlicher Sorten einbezogen sind, von denen die einen erzeugt und die anderen vernichtet werden. Wenn also von einer Produktion von Entropie die Rede ist, dann muss im gleichen Atemzug die Frage nach ihren Quanten gestellt werden. Nebenbei bemerkt: Die an dem Prozess der Erzeugung von Entropie beteiligten Quanten sind stets wohlbekannt.

Auch die Diskussion des Wesens thermischer Gleichgewichte wird letztlich die Frage aufwerfen, ob zugunsten einer Einheit der Physik nicht auch hier die Quantelung von Entropie zu erwägen sei: Um chemische, mechanische und thermische Gleichgewichte gleichermaßen als lokale Fließgleichgewichte auffassen zu können, müssten Elementarquanten des „Wärmestoffs“ existieren, die sowohl fließen als auch quellen (also vernichtet und produziert werden) können.

Der unmissverständlichste Hinweis auf die Quantelung der Entropie leitet zugleich zu einer These über das Wesen der Entropie über – Wärme wird auch als Strahlung transportiert, präziser: Die Zustandsänderung eines Systems durch Abstrahlung bzw. Absorption von Licht⁸ entspricht der durch Wärmeabgabe bzw. -aufnahme. Unter quantentheoretischem Gesichtspunkt ist Licht als Photonenmenge d.h. als Menge von Lichtquanten aufzufassen. Das gibt zu folgender Frage Anlass: Liegen mit den Quanten des Lichts zugleich auch die Quanten der Entropie vor?

8 Der Einfachheit halber soll hier mit dem Begriff „Licht“ das gesamte Spektrum elektromagnetischer Wellen bzw. Photonen zusammengefasst werden.

Hinweise auf die Identität von Entropie- und Lichtmenge

Die einzigen Quanten, die in thermodynamischen Systemen allgegenwärtig sind, in ihrem Ausmaß und in ihren Umwandlungseigenschaften hier jedoch keinerlei Berücksichtigung gefunden haben, sind Photonen, d.h. die Elementaranregungen des elektromagnetischen Feldes. Dies darf als ein gewichtiger Grund betrachtet werden, folgende These auf den Prüfstand stellen zu dürfen:

„Entropie = Licht“

Dabei sollte die Tatsache, dass Licht im Gewand von „Wärmestrahlung“ schon immer als eine Erscheinungsform von Wärme akzeptiert wurde, den Schrecken mildern, der einen angesichts dieser These befallen könnte.

Eine weitere Entkrampfung der Situation wird durch die Zusammenschau der Temperaturabhängigkeit zweier Größen möglich, deren Beziehung bisher nicht ausreichend gewürdigt wurde: Der Photonendichte der Hohlraumstrahlung einerseits und die ihr zuzuschreibende Entropiedichte andererseits. Die Temperaturabhängigkeit beider Größen, die jeweils unabhängig voneinander abgeleitet wird, ist kubischer Natur: Photonen- und Entropiedichte der Hohlraumstrahlung hängen gleichermaßen nur von T^3 ab.

Demnach ist die „phänomenologische“ Entropie der Hohlraumstrahlung auch als Anzahl der im Hohlraum vorhandenen Elementarquanten von Licht gegeben. Beide Größen – Entropiedichte sowie die Photonendichte als Extensionsdichte der „Lichtmenge“ – unterscheiden sich (zumindest in diesem Falle) nur durch eine physikalische Konstante. Dieser Zusammenhang wird detailliert im Kapitel 5.3 betrachtet.

Insbesondere für die quantentheoretische Ableitung der „Hohlraumstrahlung“ müssen keine Annahmen über die topologische Beziehung zwischen stofflichen und photonischen Elementarmengen gemacht werden. Obwohl man sich die mit der Strahlung wechselwirkenden stofflichen Elementarmengen grundsätzlich als „photoaktive“ Begrenzung desjenigen Hohlraumes vorstellt, der die fragliche Strahlung einschließt, können die stofflichen und photonischen Elementarmengen genauso gut auch räumlich homogen miteinander vermischt auftreten. So sprach Albert Einstein bei seiner quantentheoretischen Ableitung des planckschen Strahlungsgesetzes auch nicht von Hohlraumwandung und -strahlung, sondern von einem Gas mit gleichen Molekülen, die in eine Temperaturstrahlung eingebettet sind [Einstein 1916, 320].

Dadurch mutierte insbesondere das Standardsystem der Wärmelehre, ein in einem Kolbensystem eingeschlossenes Gas, zu einer Ansammlung geometrisch begrenzter Gas- und Lichtteilchen, welche im übrigen beide jeweils impulsbehaftet sind.

Schlussfolgerung

Sollte diese Beziehung zwischen Licht und Entropie verallgemeinerbar sein, so würden sich mehrere radikale Konsequenzen ergeben:

- Ist Entropie als quantisierte Lichtmenge aufzufassen, dann lässt sich die Entropie eines Zustands direkt, insbesondere durch „Abzählen“ der ihm zugehörigen Photonen bestimmen.
- Sollte ein Aggregat induziert emittierter Photonen als Lichtmolekül aufzufassen sein, so wäre die Entropie eines Zustands durch „Abzählen“ der in ihm enthaltenen Lichtmoleküle bestimmt.
- Ist die Entropie eines Zustands direkt messbar, dann liegt damit das zu ihr konjugierte thermische Potential fest: es bestimmte sich dann zwangsweise, nämlich aus dem Verhältnis von Änderungen des Inventars an Energie und Entropie, die spezifisch miteinander verwoben sind. (Dieser Zusammenhang ist im Hinblick auf das chemische Potential wohlbekannt.)

Dann ließen sich auch die Karten für die Bereitstellung von Arbeitsstoffen zur Nutzung in Wärmekraftmaschinen nocheinmal völlig neu mischen. Auch die Bedeutung, die die Kohärenz von Licht für die Entropie eines Zustands hat, brächte einen völlig neuen Aspekt in die Wärmelehre. Wie immer, wenn Dinge neu aufgerollt werden müssen, kann man sich aus altgewohnten Blickwinkeln heraus noch keine angemessene Vorstellung von den möglicherweise gegebenen neuen Möglichkeiten machen.

Aufgrund der Tatsache, dass sich Max Plancks Quantenthese von 1900 keineswegs auf Energie sondern vielmehr auf Licht als Menge bezog (siehe das Kapitel 4.3.3), darf die Entropie zusammen mit der Lichtmenge als dienstälteste quantisierte Größe der Physik bezeichnet werden.

Die Seiten 35 bis 308 des Buches sind nicht Teil dieser Ausgabe

8. Anhänge

8.1 Quellen

8.1.1 Literatur

Literatureinträge, deren Jahresangabe mit einem Pfeil (→) abschließen, stehen auch als PDF-Datei im Internet zur Verfügung. Entsprechende Links werden auf www.cbloess.de/entropy/de/ gelistet.

- Abdulgatov, I.M. und B.G. Alibekov (1980): The Equation of State for n-Heptane in the Supercritical Region. *Russian Journal of Physical Chemistry* 54 (6), 803-5
- Ahlers, F.J. und N.E. Fletcher, J. Ebbecke und T.J.B.M. Janssen (2004): Surface acoustic wave driven quantized current transport. *Current Applied Physics* 4, 529
- Baehr, Hans Dieter und Stephan Kabelac (¹⁴2009): *Thermodynamik: Grundlagen und technische Anwendungen*. Springer Verlag (Berlin etc.)
- Becker, Richard (²1961): *Theorie der Wärme*. Springer Verlag (Berlin etc.)
- Bergmann, Ludwig und Clemens Schaefer (¹¹1998): *Lehrbuch der Experimentalphysik Band 1: Mechanik, Relativität, Wärme*. Verlag Walter de Gruyter (Berlin)
- Bergmann, Ludwig, Clemens Schaefer und Rainer Kassing (²2005): *Lehrbuch der Experimentalphysik Band 6: Festkörper*. Verlag Walter de Gruyter (Berlin)
- Bischof, Marco (⁶1995): *Biophotonen. Das Licht in unseren Zellen*. Verlag Zweitausendeins (Frankfurt am Main)
- Blöss, Christian (1983→): *Empirische Temperatur und Entropie*. Arbeitsheft 4 der Werkstatt für Dezentrale Energieforschung (Berlin)
- Blöss, Christian (1986→): Facing some problems with entropy, in: Kilmister, Clive William (ed.): *Disequilibrium and self-organisation*. D. Reidel (Dordrecht etc.) 141-53
- Blöss, Christian (1988→): *Jenseits von Darwin. Globale Katastrophen und die Entwicklung des Lebens – neue Perspektiven der Naturgeschichte*. Eichborn (Frankfurt am Main)
- Blöss, Christian (²1988a→): *Der Entropie-Begriff. Ein Irrtum und seine Folgen für die Thermodynamik*. Heft 3 der Schriftenreihe DABEI-Colloquium. Deutsche Aktionsgemeinschaft Bildung, Erfindung, Innovation (Bonn)
- Blöss, Christian und Hans-Ulrich Niemitz (1997→): *C14-Crash. Das Ende der Illusion, mit Radiokarbonmethode und Dendrochronologie datieren zu können*. Mantis Verlag (Gräfelfing)
- Blöss, Christian (2008→): *Zeitenquantelung*. In: *Zeitensprünge* 3/08. Mantis-Verlag (Gräfelfing), 550-562
- Brandes, Tobias (2008→): *Thermodynamik und Statistische Mechanik*. Vorlesungsmanuscript am Institut für Theoretische Physik der TU Berlin, WS 2006/2007
- Brock, William Hodson (1997): *Viewegs Geschichte der Chemie*. Friedrich Vieweg & Sohn (Braunschweig etc.)
- Carathéodory, Constantin (1909): *Untersuchungen über die Grundlagen der Thermodynamik*. *Math. Annal.* 67: 355–86
- Carnot, Sadi (1824, reprint ³1995): *Betrachtungen über die bewegende Kraft des Feuers und die zur Entwicklung dieser Kraft geeigneten Maschinen*. Verlag Harri Deutsch (Thun etc.)

- Clausius, Rudolf (1850, reprint 1996): Über die bewegende Kraft der Wärme und die Gesetze, welche sich daraus für die Wärmelehre selbst ableiten lassen. Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften Bd. 99. Verlag Harri Deutsch (Thun etc.)
- Clausius, Rudolf (1865): Über verschiedene für die Anwendung bequeme Formen der Hauptgleichungen der mechanischen Wärmetheorie. *Annalen der Physik* 125, 353
- Coulon, R. und L. Galatry, B. Oksengorn, S. Robin, Vodar (1954): Perturbation de quelques fréquences d'absorption infrarouges par le gaz comprimés a des pressions de l'ordre de 1.000 atm. *Le Journal de Physique et le Radium* 15 (Juillet-Aout-Septembre) 641-3
- Daniel, Herbert (1997): *Physik Band 1: Mechanik, Wellen, Wärme*. Verlag Walter de Gruyter (Berlin)
- Demtröder, Wolfgang (⁴2010): *Experimentalphysik Band 3: Atome, Moleküle und Festkörper*. Springer Verlag (Berlin etc.)
- Dransfeld, Klaus und Paul Kienle (2002): *Elektrodynamik und spezielle Relativitätstheorie*. Physik II: Einführungskurs für Studierende der Naturwissenschaften und Elektrotechnik. Oldenbourg Wissenschaftsverlag (München)
- Ehlotzky, Fritz (2004): *Quantenmechanik und ihre Anwendungen*. Springer Verlag (Berlin etc.)
- Einstein, Albert (1905 \rightarrow): Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen. *Annalen der Physik*. 322(8) 549–60
- Einstein, Albert (1916 \rightarrow): Strahlungs-Emission und -Absorption nach der Quantentheorie. *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft* 18: 318–23
- Einstein, Albert (1917 \rightarrow): Zur Quantentheorie der Strahlung. In: *Physikalische Zeitschrift* XVIII, 121-128 (zuerst abgedruckt in den Mitteilungen der Physikalischen Gesellschaft Zürich Nr. 18 von 1916).
- Falk, Gottfried (1978 \rightarrow): Was ist eigentlich Atomistik? – oder: Die physikalische Größe „Menge“. *Konzepte eines zeitgemäßen Physikunterrichts Heft 2: Thermodynamik – nicht Wärmelehre, sondern Grundlage der Physik*, 2. Teil: Das Größenpaar Menge und chemisches Potential. Schroedel Verlag (Hannover)
- Falk, Gottfried (1979 \rightarrow): *Die begriffliche Struktur der Physik*. *Konzepte eines zeitgemäßen Physikunterrichts Heft 3: Ein moderner Physikkurs für Anfänger und seine Begründung*. Schroedel Verlag (Hannover)
- Falk, Gottfried (1990): *Physik, Zahl und Realität*. Birkhäuser Verlag (Basel)
- Falk, Gottfried und Wolfgang Ruppel (1976): *Die Physik des Naturwissenschaftlers: Energie und Entropie*. Springer Verlag (Berlin etc.)
- Falk, Gottfried und Wolfgang Ruppel (³1983): *Die Physik des Naturwissenschaftlers: Mechanik, Relativität, Gravitation*. Springer Verlag (Berlin etc.)
- Feynman, Richard (⁴2001): *Feynman Vorlesungen über Physik (1). Mechanik, Strahlung, Wärme*. Oldenbourg Wissenschaftsverlag (München)
- Gerthsen, Christian und Dieter Meschede (²²2003): *Gerthsen Physik. Die ganze Physik zum 21. Jahrhundert*. Springer Verlag (Berlin etc.)
- Giancoli, Douglas C. (³2010): *Physik. Lehr- und Übungsbuch*. Pearson Studium (München)
- Grimsehl, Ernst und Walter Schallreuter, Kurt Altenburg (²⁷1991) *Lehrbuch der Physik Bd. I: Mechanik, Akustik, Wärmelehre*. Verlag B.G. Teubner (Leipzig)
- Golze, Dorothea (2008 \rightarrow): *Phlogiston vs. Sauerstoff*. Referat im Rahmen fakultätsübergreifender Schlüsselqualifikationen „Naturwissenschaft für Querdenker“ an der Universität Leipzig
- Greiner, Walter und Ludwig Neise, Horst Stöcker (²1993): *Thermodynamik und statistische Mechanik*. Verlag Harri Deutsch (Thun etc.)
- Greve, Ralf (2003): *Kontinuumsmechanik: Ein Grundkurs für Ingenieure und Physiker*. Springer Verlag (Berlin etc.)
- Hoffmann, Dieter (2008:) *Max Planck: Die Entstehung der modernen Physik*. Verlag C.H. Beck (München)

- Kittel, Charles und Herbert Krömer (⁵2001): Thermodynamik. Oldenbourg Wissenschaftsverlag (München)
- Kneubühl, Fritz Kurt und Markus Werner Sigris (⁶2005): Laser. Vieweg + Teubner Verlag (Wiesbaden)
- Langensiepen, Fritz (1981): Ein verbessertes Verfahren zur Bestimmung des Planckschen Wirkungsquantums mit in der Schule vorhandenen Mitteln. Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 30 (11), 321-8
- Lüdecke, Dorothea und Christa Lüdecke (2000): Thermodynamik: Physikalisch-chemische Grundlagen der thermischen Verfahrenstechnik. Springer Verlag (Berlin etc.)
- Meyers Großes Konversations-Lexikon, Autorenkollektiv (1909➔). Band 20. Verlag des Bibliographischen Instituts, Leipzig und Wien
- Müller, Ingo (1973): Thermodynamik. Die Grundlagen der Materialtheorie. Bertelsmann-Universitätsverlag (Düsseldorf)
- Müller, Ingo (³2001): Grundzüge der Thermodynamik. Mit historischen Anmerkungen. Springer Verlag (Berlin etc.)
- Nolting, Wolfgang (⁷2010): Grundkurs theoretische Physik Band 4: Spezielle Relativitätstheorie, Thermodynamik. Springer Verlag (Berlin etc.)
- Pertigen, Eno (1988➔): Der Teufel in der Physik. Eine Kulturgeschichte des Perpetuum mobile. Verlag Schelzky & Jeep (Berlin)
- PTB Physikalisch-Technische Bundesanstalt (2007➔): Das Internationale Einheitensystem (SI). PTB Mitteilungen 117 (2). Verlag für neue Wissenschaft GmbH (Bremerhaven)
- Pietschmann, Herbert (2003): Quantenmechanik verstehen: Eine Einführung in den Welle-Teilchen-Dualismus für Lehrer und Schüler. Springer Verlag (Berlin etc.)
- Popper, Karl (²1965): Logik der Forschung. Mohr (Tübingen)
- Popper, Karl (¹¹2005): Logik der Forschung. Gesammelte Werke III. Mohr Siebeck (Tübingen)
- Schilling, Hans-Dieter (2004➔): Wie haben sich die Wirkungsgrade der Kohlekraftwerke entwickelt und was ist künftig zu erwarten? Beitrag in der Sparte „Rationelle Energieverwendung – Wirkungsgrade“ auf www.energie-fakten.de
- Schilpp, Paul Arthur (1979): Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher (Philosophen des 20. Jahrhunderts). Kohlhammer Verlag (Stuttgart)
- Schneider, Frank (¹⁰2007➔): Physikalische Chemie I. Manuskript für Vorlesungen am Institut für Physikalische und Theoretische Chemie der Universität Siegen.
- Schwister, Karl (³2008): Kleine Formelsammlung Chemie. Hanser Verlag (München)
- Simonyi, Károly (³2001): Kulturgeschichte der Physik: Von den Anfängen bis heute. Verlag Harri Deutsch (Thun etc.)
- Sommerfeld, Arnold (1977): Thermodynamik und Statistik. Vorlesungen über Theoretische Physik Band V. Verlag Harri Deutsch (Thun etc.)
- Stephan, Peter u. Karlheinz Schaber, Karl Stephan, Franz Mayinger (¹⁷2007): Thermodynamik. Grundlagen und technische Anwendungen Band 1: Einstoffsysteme. Springer Verlag (Berlin etc.)
- Straumann, Norbert (1986➔): Thermodynamik. Lecture notes in physics 265. Universität Zürich
- Thomas, Barry A. und Robert A. Spicer (1989): The evolution and palaeobiology of land plants. Croom Helm (London)
- Weber, Reinhard (2007): Physik (Teil 2). Springer Verlag (Berlin etc.)
- Würfel, Peter (1978➔): Die Menge von Licht. Konzepte eines zeitgemäßen Physikunterrichts Heft 2: Thermodynamik – nicht Wärmelehre, sondern Grundlage der Physik, 2. Teil: Das Größenpaar Menge und chemisches Potential. Schroedel Verlag (Hannover)

8.1.2 Abbildungen

Um die Buttons für das Kapitel 1.1 („Wegweiser“) zu erzeugen, wurde auf die Website <http://de.cooltext.com> zurückgegriffen.

Die Graphik in Abbildung 1.2 entstammt dem Artikel „Was ist eigentlich Atomistik?“ von Gottfried Falk [1978] und steht auf der Internetseite des „Karlsruher Physikkurses“ (<http://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de/>) zum Download bereit.

Die beiden Bilder in Abbildung 2.2 wurden „Meyers Großem Konversations-Lexikon“ von 1905 entnommen (Stichworte „Dampfmaschine“ und „Elektromagnetische Motoren“). Es ist unter www.zeno.org/Meyers-1905/ im Internet zu finden.

Das Foto in Abbildung 2.3 von Dr. Mirko Junge wurde dem Artikel „James Prescott Joule“ unter <http://de.wikipedia.org/> entnommen.

Die Graphik in Abbildung 3.1 wurde mit DataPlot erzeugt, einem Programm, das der „Rummel-Kiste“ von Jürgen Rathlev (www.rathlev-home.de/) entnommen werden kann.

Der Abdruck der Graphik in Abbildung 3.5 erfolgt mit freundlicher Genehmigung von Mag. Christian Primetshofer/Universität Wien, Fakultät für Physik. Sie wurde dem Physik-Wiki der Universität Wien entnommen. (<https://elearning.mat.univie.ac.at/physikwiki/>)

Der Abdruck der Graphik in Abbildung 4.2 erfolgt mit freundlicher Genehmigung von Dr. Franz Josef Ahlers, Physikalisch Technische Bundesanstalt, Braunschweig (<http://www.ptb.de/>).

Der Abdruck des Fotos in Abbildung 5.3 und der Graphik in Abbildung 6.9 erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Harri Deutsch Verlages (www.harri-deutsch.de). Beide wurden dem Werk „Thermodynamik und Statistik. Vorlesungen über Theoretische Physik Band V“ von Arnold Sommerfeld in der Ausgabe von 1977 entnommen.

Der Abdruck der Illustration von Laurent Taudin in Abbildung 6.15 erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Max-Planck-Instituts für Wissenschaftsgeschichte, Berlin. Die Illustration fand im Rahmen der Ausstellung „Albert Einstein – Ingenieur des Universums“ (Berlin 2005) Verwendung, um die Theorie des Historikers Thomas S. Kuhn über die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen zu verdeutlichen. Unter der Adresse <http://einstein-virtuell.mpiwg-berlin.mpg.de/> kann die Ausstellung weiterhin im Internet besucht werden.

Die schematischen Diagramme in Abbildung 7.4 sowie das Messdiagramm in Abbildung 7.5 wurden freundlicherweise von Kai Schaeffer, Schaeffer AG (<http://www.schaeffer-ag.de/>), zur Verfügung gestellt.

8.1.3 Sonstiges

Die Übersetzung des Mottos¹¹⁸ auf Seite 2 entstammt der „freien Nachbildung“ der Makâmen des Hariri durch Friedrich Rückert (²1837): Die Verwandlungen des Ebu Seid von Serûg oder die Makâmen des Hariri. Johann Friedrich Cotta (Stuttgart etc.)

8.2 Verzeichnisse

8.2.1 Begriffe (Glossar)

Um die Zusammenstellung von Erklärungen der Begriffe, die in diesem Buch verwendet werden, besser verlinken¹¹⁹ und aktuell halten zu können (und nicht zuletzt auch aus Platzgründen), wird die entsprechende Liste im Internet zur Verfügung gestellt. Die aktuelle digitale Version des Glossars finden Sie unter folgender Internetadresse: www.cbloess.de/entropy/de.

Das Glossar ist wie eine hierarchisch strukturierte Hilfedatei aufgebaut, in der die einzelnen Erklärungen, soweit dies möglich ist, nach inhaltlichen Gesichtspunkten eingeordnet sind. Um einen bestimmten Begriff schnell nachzuschlagen, suchen Sie diesen bitte im Index oder nutzen Sie die Suchfunktion.

8.2.2 Stichworte (Index)

Auch das Verzeichnis von Stichworten finden Sie in einer digitalen Version unter folgender Internetadresse: www.cbloess.de/entropy/de. Der damit ein-

118 Der Autor stieß auf das Gedicht Hariris vor vielen Jahren erstmals in Sigmund Freuds „Jenseits des Lustprinzips“. Seine Abhandlung beendete Freud mit diesen Worten: „Nur solche Gläubige, die von der Wissenschaft einen Ersatz für den aufgegebenen Katechismus fordern, werden dem Forscher die Fortbildung oder selbst die Umbildung seiner Ansichten verübeln. Im übrigen mag uns ein Dichter (Rückert in den *Makamen des Hariri*) über die langsamen Fortschritte unserer wissenschaftlichen Erkenntnis trösten: »Was man nicht erfliegen kann, muß man erhinken. (...) Die Schrift sagt, es ist keine Sünde zu hinken.« Mit Beginn des Jahres 2010 sind die Werke Freuds gemeinfrei und können u.a. auf der Internetseite des Projektes Gutenberg-DE eingesehen werden.

119 Die Idee zu einer Hypertext-Fassung des Glossars entstand, weil die Einträge in der ursprünglichen Text-Fassung mehr und mehr von ↑Hinweisen auf andere Einträge zergliedert wurden.

hergehende Komfortverlust für den Leser wird in Teilen dadurch aufgewogen, dass es auf diesem Wege seinen Lesebedürfnissen mit der Zeit besser angepasst werden kann.

8.2.3 Abbildungen

1.1: Rationale Kritik des „Zweiten Hauptsatzes“	20
1.2: Veränderliche Materiemenge	26
2.1: Lavoisiers System elementarer Substanzen	38
2.2: Kraftmaschinen um 1900	44
2.3: Mechanisches Wärmeäquivalent und Kalorie	48
2.4: „Reactio sine Actio“	50
2.5: Die Achillesferse der Wärmelehre	54
2.6: Bezeichnungen für die Terme in den Gleichungen (2.2.1-2)	58
2.7: „Mysterium Cosmographicum“ von 1596	69
2.8: Mechanisches Pensum eines Impuls-Reservoirs	86
3.1: Kalibrierungen eines Gasthermometers	104
3.2: Quecksilber- und Terpentinöl-Thermometer	117
3.3: Der „Nullte Hauptsatz“	120
3.4: Transitivität der Temperatur	122
3.5: Jollysches Gasthermometer	131
4.1: Münchhausiade physikalischer Größen	157
4.2: Das „Elektrische Dreieck“	182
5.1: Spätantike Münze mit Janus-Kopf.	193
5.2: Zustandsänderungen der „Hohlraumwandungselemente“	212
5.3: Die spektrale Energiedichte der Hohlraumstrahlung	216
6.1: Ableitung des „Elementarschlusses“	232
6.2: Ableitung der „Elementarannahme“	233
6.3: Validierung des „Zweiten Hauptsatzes“	234
6.4: „Elementarschluss“ ohne universelle Gültigkeit	236
6.5: „Die Rollen und ihre Darsteller“	240
6.6: Energieflussdiagramm einer Carnotschen Verbundmaschine	242
6.7: Allgemeingültige Definition Carnotscher Kreisprozesse	246
6.8: Konventionelle Definition Carnotscher Kreisprozesse	248
6.9: Infinitesimal schmaler Carnot-Kreisprozess	254
6.10: Gescheiterter Beweis des „Elementarschlusses“	258
6.11: Gescheiterte Validierung des „Zweite Hauptsatzes“	264
6.12: Isotherme Wärme-Reservoir?	266

6.13: Reversible und irreversible Zustandsänderung	268
6.14: Gescheiterter Beweis der „Elementarannahme“	271
6.15: Wissenschaftler bei seiner täglichen Arbeit	284
7.1: Rotations- und Schwingungszustände eines Hantelmoleküls.	289
7.2: Rotations-Schwingungs-Spektrum von gasförmigem HCl	291
7.3: Rotations-Schwingungs-Spektrum von gepuffertem HCl	292
7.4: Energiekonforme Abbildung zweier carnotscher Kreisprozesse	301
7.5: Zwei Carnotprozesse mit einem Kohlendioxid-Stickstoff-Gemisch	303

8.2.4 Inhaltsverzeichnis über alle Ebenen

Ein Inhaltsverzeichnis, das die Überschriften auch der untersten, vierten Kapitel-Ebene einschließt, finden Sie unter: www.cbloess.de/entropy/de.

8.2.5 Errata

Finden Sie einen Sachverhalt oder eine Schlussfolgerung auch nach vertiefter Beschäftigung weiterhin fehlerhaft oder unverständlich, dann könnte das Fehlerverzeichnis unter www.cbloess.de/entropy/de vielleicht Abhilfe schaffen. Sollten Sie dort nichts dazu finden, dann betrachten Sie das bitte als Aufforderung, dem Autor einen entsprechenden Eintrag zu übermitteln: [post@cbloess.de?subject=Möglicher Fehler in Ihrem Buch „Entropie“](mailto:post@cbloess.de?subject=Möglicher+Fehler+in+Ihrem+Buch+„Entropie“). Auch für die Kenntlichmachung von Druckfehlern wird Ihnen der Autor dankbar sein.

8.3 Editorische Notizen

Das Manuskript entstand zuerst ohne größere Formatierungen in einzelnen inhaltlich abgegrenzten kurzen Absätzen. Diese Struktur habe ich beibehalten, so dass man sich weiterhin absatzweise am Text „entlanghangeln“ kann.

Die unterste der vier Kapitel-Ebenen wurde aus ästhetischen Gründen nicht mehr mitnummeriert. Die im Text gegebenen Kapitelverweise können diese Ebene also nicht mehr auflösen. Meist erschließt sich die genaue „Sprungadresse“ aus den Überschriften der vierten Ebene, die im externen Inhaltsverzeichnis aller vier Ebenen (siehe 8.2.4) mit aufgeführt sind.

Die „Entropie“ ist eine physikalische Größe ersten Ranges. Ihre Definition weicht jedoch radikal von dem an sich zuständigen universellen Schema ab: Anstatt den Quantencharakter der Entropie in den Mittelpunkt zu stellen, geht es ausschließlich um ihre Verträglichkeit mit dem „Zweiten Hauptsatz“ der Thermodynamik. Diese Ausnahmesituation beruht auf einem radikalen Missverständnis über das Wesen der Wärmelehre.

Mit ihr entstand eine neue Art der Naturbetrachtung, die sich allerdings erst Jahrzehnte später mit der Quantentheorie entfalten sollte: Nicht die Prozesse eines Systems stehen im Mittelpunkt, sondern einzig seine Zustandsvielfalt. Die Wärmelehre war ihrer Zeit weit voraus, doch am Ende vermochte sie sich nicht aus der mechanistischen Denktradition zu lösen. Und so blieb in deren Windschatten ein elementarer Sachverhalt unaufgeklärt: Mit dem „Zweiten Hauptsatz“ ist zugunsten einer universellen Definition der Entropie keinerlei Beweiskraft verbunden.

Stellt man sich der Herausforderung, die Entropie – im Einklang mit einem zentralen Aspekt physikalischer Mengengrößen – nach ihren Quanten bemessen zu wollen, so eröffnen sich neue Perspektiven für die Physik, mit denkbaren Folgen auch für die Energietechnik.

ISBN 978-3-8391-6620-8



9 | 783839 | 166208