

Was ist Wärme?

Autor(en): **Dzung, L.S.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **88 (1970)**

Heft 24: **Sonderheft zum 70. Geburtstag von Dr. C. Seippel**

PDF erstellt am: **10.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-84534>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

réintégrer dans la roue cellulaire au niveau approprié, les portions de fluide plus ou moins polluées par le mélange, afin de maintenir entre les flux d'air pur et de gaz une zone tampon contribuant à réduire les gradients de concentration. Corrélativement le nombre d'ondes de compression et de détente se trouve doublé, ce qui est favorable à l'obtention d'un rapport de compression élevé sans préjudice du rendement. Une deuxième ressource consiste dans l'emploi d'un tambour cellulaire fixe et de distributeurs tournants remplaçant le stator de la construction actuelle; car le calcul et certains essais confirment que l'effet de la force centrifuge, tant sur les fronts d'onde que sur les couches limites, contribue à majorer dans de très grandes proportions, peut-être de 1 à 3, les pertes prépondérantes que sont celles par mélange et par échange de chaleur avec les parois des cellules.

Certes la construction de ces distributeurs tournants, et notamment leur équilibrage mécanique et thermique, posent bien des problèmes, mais l'avantage fondamental de ne soumettre à des parois tournantes que des fluides en principe homogènes, en sauvegardant leur écoulement théoriquement irrotationnel, paraît devoir encourager cette direction de recherches.

3. Conclusion

Cette brève évocation de certains aspects de la technique moderne des turbo-machines, du compresseur axial et de l'échangeur de pression, ainsi que leur rapprochement avec certains phénomènes thermoélastiques (harmonica chimique, entretien thermique des oscillations d'un tuyau d'orgue *J. W. Rayleigh*) qui n'ont pas encore trouvé d'application industrielle, montrent que le vaste domaine d'utilisation pour la compression ou la détente des fluides, des forces d'inertie, ou d'impulsions avec apport conjugué d'énergie intrinsèque (dont l'aspect moderne relativiste souligne l'étroite corrélation et la dépendance commune à l'égard des systèmes de référence) est encore loin d'avoir déployé toutes ses ressources.

Mais en dehors même de toute application industrielle nouvelle les progrès modernes de la mécanique des fluides auront joué un grand rôle dans l'imprégnation scientifique de l'industrie mécanique.

Tandis que certains mathématiciens auront su trouver quelque inspiration à leurs recherches dans les problèmes qui leur sont posés par les praticiens, ceux-ci et notamment les jeunes ingénieurs, feront bien d'acquiescer ou de conserver une légitime curiosité – que l'expérience révèle toujours plus ou moins féconde – pour les domaines voisins de la science dont l'étude, même au pis-aller superficielle, est propre à élargir leur horizon; et, tout en portant des fruits parfois inattendus, à procurer à ceux qui s'y vouent de profondes satisfactions intellectuelles.

Plus précisément la conjoncture actuelle paraît particulièrement encourageante pour les spécialistes de la mécanique des fluides, car non seulement le domaine s'en est considérablement élargi dans ces dernières années (magnétohydrodynamique, astronomie physique ...), mais, par un retour inattendu, cette mécanique au langage de laquelle il n'était plus fait qu'un appel restreint dans l'évocation d'un fluide abstrait de probabilité, se trouve réintroduite en physique théorique comme modèle, avec une signification beaucoup plus concrète, à la faveur des découvertes récentes (*F. London, L. Landau, effets W. Meissner et B. D. Josephson*) de la supraconductibilité, dans une interprétation nouvelle macroscopique de l'équation de *Schrödinger* (*R. Feynman*).

Souhaitons que ce tournant peut-être très important de la physique théorique contribue à encourager l'ingénieur, avide de connaître et de comprendre, mais que rebutent parfois les difficultés du sujet; et en dépit des assertions orgueilleuses d'une certaine «mathématique» sacrifiant l'expérience didactique au culte d'une abstraction prématurée, et à la poursuite d'une vaine généralité, que demeure toujours vraie la croyance des grands maîtres (*L. Euler, J. B. Gauss, J. B. Fourier, A. L. Cauchy, Lord Kelvin, M. Planck* etc.), que l'observation de la nature et l'expérimentation demeurent les sources les plus fécondes des grandes découvertes.

Et puisque l'occasion nous en est donnée aujourd'hui en cet anniversaire du Dr. C. Seippel, réjouissons nous que notre ami puisse, tout en poursuivant sa tâche, se donner le témoignage d'avoir été parmi les meilleurs artisans des progrès, de la prospérité et de l'ennoblissement de l'industrie, à laquelle ses collaborateurs et lui, ont voué toute leur carrière.

DK 536.7

Was ist Wärme?

Von Dr. L. S. Dzung, Baden

1. Einleitung

Die Frage nach der Bedeutung des Wortes Wärme scheint auf den ersten Blick recht trivial. Wer versteht nicht den Wunsch, im Winter in der Wärme der Stube bleiben zu wollen? Doch haben manche Wörter in der exakten Wissenschaft eine andere präzisere Bedeutung als in der alltäglichen Sprache. So bedeutet Wärme in der Thermodynamik, mindestens in der modernen Fassung, etwas anderes als die Wärme in der Stube. Dem Ingenieur, der dauernd mit thermischen Maschinen zu tun hat, wird empfohlen, beim Gebrauch des Wortes Wärme in seinen wissenschaftlichen und technischen Berichten die beiden Bedeutungen auseinanderzuhalten. Obwohl die Wissenschaft nicht selten Wörter aus der Umgangssprache ableitet, so kann es trotzdem vorkommen, dass diese Wörter andere, wohldefinierte Bedeutungen erhalten, die von ihrem ursprünglichen Sinn abweichen.

Wissenschaftliche Begriffe wandeln sich oft im Laufe der Zeit. Die Vertiefung wissenschaftlicher Erkenntnis macht es notwendig, bestehende Begriffsbildungen zu revidieren. Als Helmholtz im Jahre 1847 die klassische Abhandlung «Über die Erhaltung der Kraft» schrieb, hatte

«Kraft» die Bedeutung der heutigen «Energie». Ähnlich erfuhr das Wort Wärme auch verschiedene Abwandlungen seiner Bedeutung.

Seit mehr als anderthalb Jahrhunderten hat man schon geglaubt, die Antwort auf die Frage «Was ist Wärme?» gefunden zu haben. Wenn man aber die anerkannten Lehrbücher über Thermodynamik nachschlägt, stellt man fest, dass der Begriff «Wärme» in keiner Weise einheitlich und abschliessend definiert war. Bis in die Gegenwart findet man immer noch Diskussionsbeiträge über die Bedeutung dieses Wortes in der Fachliteratur, zum Beispiel [1], [2], [3]. Es scheint daher nicht unangebracht, uns heute nochmals mit dieser Frage zu beschäftigen.

Bis zum Ende des letzten Jahrhunderts wurde das Wort «Wärme» ohne präzise und eindeutige Definition verwendet. Die vage Bedeutung in der Umgangssprache wurde übernommen. Darnach wurde mit Wärme jener Zustand bezeichnet, den man als heiss empfindet. In der wissenschaftlichen Sprache bezeichnete das Wort zuerst die Ursache dieses Zustandes. Es war dabei gleichgültig, ob diese Ursache die Ansammlung eines, dem Erhaltungssatz unter-

worfenen Wärmestoffes war. Die Experimente von Rumford und von Davy, welche die Wärmestoff-Hypothese eindeutig widerlegten, änderten nichts an dem Sinn des Wortes. Sie schienen eher Ausdrücke wie «Wärmeerzeugung» zu rechtfertigen.

2. Traditionelle Darstellung

Wie der Begriff «Wärme» in der traditionellen Thermodynamik behandelt wird, soll am besten durch das klassische Werk von Planck [4] illustriert werden. Planck begann sein Buch mit dem Satz: «Der Begriff ‚Wärme‘ entspringt derjenigen Sinnesempfindung, die uns einen Körper bei direkter Berührung als warm oder kalt erscheinen lässt.» Wie man das Wort «entspringt» auch interpretiert, war dieser Satz sicher keine quantitative Definition der Wärme. Planck fand es offenbar nicht nötig, Wärme näher zu definieren. Dafür definierte er die Wärmemenge als die Grösse, welche bei Temperaturnausgleich von einem heissen Körper an einen kälteren Körper abgegeben wird. Das Mass der Wärmemenge war «die Temperaturerhöhung, welche ein mit dem sich abkühlenden Körper in Berührung gebrachter Normalkörper (Wasser) erfährt, vorausgesetzt, dass andere Ursachen der Temperaturänderungen, wie Kompression, ausgeschlossen sind.» Er unterstrich, dass dieser Vorgang der «Zuleitung von Wärme» von einem heissen zu einem kalten Körper mit der «alten Carnotschen Theorie der Wärme, die von der Auffassung der Wärme als eines unzerstörbaren Stoffes ausging», nichts zu tun hatte. Denn es wäre auch möglich, durch «Aufwand von Arbeit» beliebig viel Wärme zu erzeugen.

Aus dem ersten Teil dieses Zitats würde man ablesen, dass Wärme jene physikalische Grösse sei, welche nur infolge einer *Temperaturdifferenz* von einem Körper zu einem anderen zugeleitet wird. Die Wärmemenge ist das Mass der Wärme. Der letzte Teil des Zitats sagt aus, dass Wärme auch durch Arbeit erzeugt werden kann, d. h. es werden auch «andere Ursachen» zugelassen, die vorhin eben ausgeschlossen waren. Man ist zuerst geneigt, die Wärme, welche durch Temperaturdifferenz einem Körper zugeleitet wird und die Wärme, welche durch Arbeit in demselben Körper erzeugt wird, als gleichartig zu setzen und die Summe der beiden als die «gesamte in einem Körper enthaltene Wärme», eine Art «Wärmeinhalt», zu betrachten. Aber Planck warnte ausdrücklich vor dieser Betrachtungsweise.

Das Mass der Wärmemenge, nämlich die Temperaturerhöhung eines Normalkörpers, war auch nicht einwandfrei gewählt. Man ist selbstverständlich berechtigt, die Wärmemenge, welche der Normalkörper, beispielsweise 1 kg Wasser, bei Temperaturerhöhung von $14,5^\circ\text{C}$ auf $15,5^\circ\text{C}$ aufnimmt, als Wärmeeinheit zu definieren. Sie ist aber nicht exakt gleich derjenigen Wärmemenge, welche derselbe Normalkörper bei Temperaturerhöhung von $15,5^\circ\text{C}$ auf $16,5^\circ\text{C}$ aufnimmt. Weder das Intervall der empirischen Temperaturskala (die thermodynamische Temperatur kann ohne den zweiten Hauptsatz noch nicht definiert werden), noch die spezifische Wärme des Wassers kann als gleichmässig bei verschiedenen Temperaturlagen betrachtet werden. Man könnte sich zwar ein Verfahren ausdenken, welches gestattet, die Wärmemenge bei einer beliebigen Temperatur mit derjenigen bei einer anderen Temperatur exakt zu vergleichen. Das Verfahren ist aber recht kompliziert.

Die Behandlungsart von Planck ist typisch für viele andere Autoren bis in die jüngste Zeit, nicht nur für jene Epoche. Der Verfasser hatte im Frühling 1958 Gelegenheit, auf Vorschlag seines damaligen Vorgesetzten, Dr. h. c.

C. Seippel, die Vorlesung von Prof. *Wolfgang Pauli* über Thermodynamik und kinetische Gastheorie an der ETH Zürich zu besuchen. Pauli hatte nicht selber die Vorlesungen vorgetragen, sondern einen Assistenten hierzu beordert, der aber offenbar über die Stoffe nach Paulis Vorbereitung referierte. Dabei wurde die Menge von Eis, das beim Kontakt mit einem heisseren Körper schmilzt, als das Mass der Wärmemenge definiert. Diese Definition ist praktisch gleichwertig mit der Definition von Planck und hat den gleichen Nachteil. Die «Wärme» wurde, wie bei Planck, nicht definiert.

3. Axiomatische Begründung

Ein bedeutender Schritt zur Klärung der Begriffe wurde von *C. Carathéodory* [5] gemacht¹⁾, indem er versuchte, die Grundlage der Thermodynamik in eine logisch-mathematische Form zu bringen. Die Verbreitung dieses Gedankens verdankt man *M. Born* [7]. Die Carathéodory-Bornsche Darstellung wird heute von den meisten Autoren anerkannt und akzeptiert.

Wir versuchen nun, auf Grund der Grundgedanken von Carathéodory-Born den thermodynamischen Begriff Wärme schrittweise einzuführen. Dabei sollen nur diejenigen Begriffe, welche unmittelbar mit der Definition der Wärme zu tun haben, systematisch erläutert werden. Andere Begriffe, wie thermodynamische Eigenschaften, Zustände, Zustandsänderungen, Gleichgewicht, der nullte Hauptsatz und empirische Temperatur sind zwar auch für die logische Grundlage der Thermodynamik wichtig; da sie aber schon in vielen anerkannten Büchern korrekt und einheitlich definiert wurden, werden sie hier nicht mehr behandelt.

System. Der Inhalt innerhalb irgendeiner vorgeschriebenen Grenze wird als das zur thermodynamischen Betrachtung zugezogene System bezeichnet, dessen Eigenschaften studiert werden sollen. Die Grenze können sowohl materielle Wände oder geometrische Flächen sein, einfach-, mehrfach- oder nicht zusammenhängend, fest oder beweglich bezüglich beliebiger räumlicher Koordinaten. Der Inhalt kann entweder materielle Substanz sein oder sonst etwas, zum Beispiel Strahlungsenergie (Photonen). — Ein System kann aus mehreren Teilen bestehen. Jeder dieser Teile kann auch als ein System betrachtet werden.

Arbeit. Die Thermodynamik übernimmt die exakten Definitionen der Kraft und der Arbeit aus der Mechanik. Arbeit wird daher wie in der Mechanik als das skalare Produkt einer Kraft mit dem Verschiebungsvektor des Angriffspunktes definiert und gemessen. Die Hebung eines Gewichtes im Gravitationsfeld ist nach dieser Definition eine Arbeit. Die Arbeit bezeichnet immer eine Wechselwirkung zwischen zwei Systemen. (Man kann natürlich auch sagen: zwischen zwei Teilen eines Systems.) Die Kraft wird von einem System auf das andere ausgeübt. Wenn ein System A eine Arbeit leistet, so absorbiert das andere System B das gleiche Mass an Arbeit. In der Thermodynamik ist jede Wechselwirkung zwischen zwei Systemen eine Arbeit, wenn für die gleichen Zustandsänderungen (Prozess) des arbeitsleistenden Systems A, die äussere Wirkung durch diejenige einer mechanischen Arbeit an ein Ersatzsystem B' ersetzt werden kann und gemessen wird. Beispielsweise sei ein elektrischer Generator an eine Glühlampe angeschlossen.

¹⁾ D. G. Miller [6] behauptet, *Pierre Duhem* habe 15 Jahre vor *C. Carathéodory* schon ernsthaft versucht, die Thermodynamik durch wenige Axiome zu begründen und die Wärme über Arbeit und Energie zu definieren.

Der Generator (A) leistet hier eine Arbeit, weil die Glühlampe (B) durch einen Motor (B') ersetzt werden kann, welcher seinerseits mechanische Arbeit leistet. Für die Wirkungsweise des Generators spielt dieser Ersatz keine Rolle. Die Frage, ob das System B Arbeit absorbiert hat, kann jedoch nicht allein dadurch entschieden werden, indem man ein Ersatzsystem A' findet, welches mechanische Arbeit an B leistet und die gleiche Wirkung in B hervorruft [8].

Adiabate Wände. Wenn zwei Systeme verschiedener Temperaturen nebeneinander gebracht werden, so werden sich ihre Temperaturen mit der Zeit annähern. Wie schnell dieser Temperatúrausgleich stattfindet, hängt von der Art der Trennwand zwischen den Systemen ab. Bei einer dünnen Metallwand läuft der Ausgleichsvorgang sehr schnell ab, bei einer dicken Glaswand viel langsamer. Durch geeignete Wahl der Trennwand kann man im Prinzip erreichen, dass der Ausgleich für die in Betracht gezogene Zeitspanne praktisch nicht stattfindet. Eine Trennwand, welche jeglichen Temperatúrausgleich unterbindet, heisst adiabatisch. Adiabate Wände können natürlich nur asymptotisch, niemals absolut, verwirklicht werden.

Der erste Hauptsatz der Thermodynamik. Dieser Satz lautet: *Um ein in adiabaten Wänden eingeschlossenes System von einem Zustand auf einen andern zu bringen, bedarf es immer der gleichen Masse an Arbeit, unabhängig von der Art der Arbeit.* Eine unmittelbare Folge dieses Satzes besteht darin, dass eine Grösse, die (innere) Energie, definiert werden kann, die nur vom Zustand des Systems abhängt und nicht davon, wie der Zustand erreicht wird. Das Mass der Energie des Systems ist die Arbeit, welche notwendig ist, um das adiabatisch eingeschlossene System von einem willkürlich festgelegten Nullpunktzustand zu dem betrachteten Zustand zu bringen.

Wärme. Erst jetzt sind wir in der Lage, den Begriff «Wärme» zu definieren. Ist ein System nicht durch adiabate Wände geschlossen, so ist die Zunahme der Energie nicht gleich der Zufuhr an Arbeit. *Die Differenz zwischen der Energiezunahme eines Systems und der Arbeitszufuhr wird als die Zufuhr an Wärme oder Wärmezufuhr definiert.* Die Wärme ist daher eine zweite Art von Wechselwirkung, welche definitionsgemäss keine Arbeit ist. Der Energieaustausch zwischen zwei Körpern verschiedener Temperatur in der vorhin erwähnten Definition der «Wärmemenge» nach Planck ist hiernach ein Wärmefluss.

Nach diesen Definitionen sind Wärme und Arbeit Wechselwirkungen zwischen mindestens zwei Systemen. Ein System kann Wärme oder Arbeit von einem andern System absorbieren oder sie an ein anderes System abgeben. Nachdem Wärme oder Arbeit durch ein System aufgenommen worden ist, so hat das System eine höhere Energie. Die Wärme und die Arbeit existieren nicht im System. Sie bezeichnen nur die Durchflussvorgänge der Energie zwischen Systemen.

Das folgende Beispiel nach *E. A. Guggenheim* [9] soll die Bedeutung dieser Definition illustrieren: Das System sei ein elektrischer Heizkörper. Beim Einschalten an den Netzanschluss fliesst ein elektrischer Strom unter Spannung; d. h. elektrische *Arbeit* wird vom System «Netz» an das System «Heizkörper» geleistet. Im ersten Augenblick verursacht diese Arbeit ausschliesslich eine Zunahme der *Energie* des Heizkörpers. Mit der Energie erhöht sich auch die Temperatur. Durch die erhöhte Temperaturdifferenz zwischen dem Heizkörper und dem System «Umgebungsluft» wird *Wärme* vom Heizkörper an die Luft abgegeben. Die Arbeitszufuhr zum Heizkörper verteilt sich als Energiezu-

nahme des Heizkörpers und Wärmeabfuhr an die Luft. Im Beharrungszustand halten sich die Arbeitszufuhr und die Wärmeabfuhr im Gleichgewicht. Die Energie und die Temperatur des Heizkörpers bleiben konstant. Jetzt, aber nicht vorher, kann man von einer Erzeugung der Wärme durch Arbeit, oder besser Umwandlung von Arbeit in Wärme sprechen. Die Wärme wird schliesslich in thermische Energie der Luft umgewandelt.

Ein anderes Beispiel ist die Verbrennung eines Brennstoff-Luft-Gemisches in einem geschlossenen Gefäss. Wenn die Verbrennung sehr schnell erfolgt, kann die Gefässwand als adiabatisch betrachtet werden, als solche kann sie keine Wärme durchlassen. Da bei der festen Gefässwand auch keine Arbeit übertragen wird, bleibt die Energie des Gemisches vor und nach der Verbrennung unverändert, obwohl die Temperatur nach der Verbrennung viel höher gestiegen ist als vor der Verbrennung. Die chemische Energie vor der Verbrennung wird nämlich in thermische Energie nach der Verbrennung umgewandelt. Es ist aber nicht richtig, hier von Erzeugung der Wärme durch Verbrennung zu sprechen. Schickt man jetzt Wasser durch ein Kühlrohrsystem innerhalb des Gefässes, so kann die Temperatur des Gemisches auf den Wert vor der Verbrennung gebracht werden, wobei Wärme vom Verbrennungsprodukt ans Wasser abgeführt wird. Diese Wärme, die schliesslich wieder nur als erhöhte Energie des Wassers zu finden ist, wird die «Verbrennungswärme» genannt. Je nach dem Endzustand unterscheidet man zwischen isobarer und isochorer Verbrennungswärme. Sie entsteht nicht bei der Verbrennung, sondern erst nachträglich durch einen (allenfalls nur gedanklichen) Kühlprozess.

4. Diskussion

Die hier dargelegte Einführung der Begriffe Energie, Arbeit und Wärme nach der Methode von Carathéodory-Born ist streng logisch.

J. H. Keenan und *A. H. Shapiro* [8] fanden, dass diese Methode nur eine der vier gleichwertigen Methoden sei, die Grundbegriffe der Thermodynamik axiomatisch zu definieren. Ohne auf die andern drei Methoden einzugehen, sei hier nur bemerkt, dass man bei denjenigen Methoden, bei denen der Begriff Wärme vor dem ersten Hauptsatz eingeführt wird, das in Abschnitt 2 schon hingewiesene Problem zuerst abklären muss, nämlich wie die Wärmemenge bei verschiedenen Temperaturlagen ohne Zurückführung auf Arbeit verglichen werden kann. Dieses Problem wurde nicht immer erkannt, geschweige abgeklärt, von Autoren, welche Wärme nach solchen Methoden definieren. Die spätere Arbeit aus der Schule von *J. H. Keenan* [10] verwendet wieder eine Definition der Wärme, welche mit derjenigen von Carathéodory-Born prinzipiell identisch ist.

Bedenken gegen die Carathéodory-Bornsche Darstellung und insbesondere gegen den Begriff der adiabaten Wand wurde von *U. Grigull* [11] geäussert. Anstelle der adiabaten Wand führt Grigull das isotherme Umgebungssystem ein, welches das betrachtete System umschliesst und zum Beispiel durch Zufuhr elektrischer Arbeit von aussen ständig auf der gleichen Temperatur wie das betrachtete System gehalten wird. Die Schwierigkeit dieser isothermen Wände besteht darin, dass man nicht unterscheiden kann, ob die Temperaturgleichheit durch Wärmeaustausch mit dem betrachteten System zustande kommt, oder durch Arbeitszufuhr von aussen wie behauptet. Ausserdem kann die Temperatur des Umgebungssystems nicht allein durch Arbeitszufuhr geregelt werden, denn es ist nicht ohne weiteres möglich, eine zu hohe Temperatur durch Arbeitsab-

fuhr zu erniedrigen (Wärmeabfuhr wäre möglich, aber «Wärme» ist noch nicht definiert).

Man kann die adiabate Wand auch so definieren, dass ein mit adiabaten Wänden abgeschlossenes System nur Arbeit mit einem andern System austauschen kann [10]. Um jedoch zu beurteilen, ob wirklich keine anderen Wechselwirkungen möglich sind, muss man das Fehlen des Temperaturengleiches verlangen, was wiederum auf dasselbe hinaus läuft wie die vorhin beschriebene asymptotische Annäherung.

Die bisherigen Ausführungen verwenden lauter Begriffe der phänomenologischen Thermodynamik nach der makroskopischen Anschauung. Es ist zwar möglich, die makroskopischen Erscheinungen mikroskopisch zu deuten, etwa nach der kinetischen Gastheorie oder der statistischen Mechanik. Aber die Gültigkeit der thermodynamischen Gesetze hängt nicht von solchen Deutungen ab.

Zur Einführung des Begriffes «Wärme» setzen wir die Kenntnis des ersten Hauptsatzes voraus; dieser muss daher ohne den Begriff «Wärme» formuliert werden. Mit dem zweiten Hauptsatz müssen und wollen wir uns hier nicht befassen. Er und die damit zusammenhängenden Begriffe wie Reversibilität, Entropie und thermodynamische Temperatur sind für die Definition der Wärme irrelevant. Es ist daher gleichgültig, ob man die Entropie phänomenologisch definiert oder nach der statistischen Mechanik oder Informationstheorie [1]. Eine «Schaufelrad-Arbeit» wird wie in der Mechanik eindeutig als Arbeit betrachtet und nicht als Arbeit aus dem Energie abliefernden System und als Wärme an das Energie absorbierende System [12].

M. Tribus [1] fand es nötig, die Definition des Systems zuerst zu erweitern, um den Begriff «Wärme» nach der Geflogenheit in der technischen Literatur zu rechtfertigen. Er betrachtet ein System als: (a) einen Raumteil, (b) eine Gruppe von Teilchen vermischt mit andern Teilchen und (c) einen möglichen Zustand in einem Raumteil. Man kann aber leicht zeigen, dass durch geeignete Wahl der Systemgrenze (a) und (b) identisch sind [2]). Beim Fall (c) handelt es sich eher um die verschiedenen Freiheitsgrade in der Energiebesetzung. Gegen die Bezeichnung solcher Freiheitsgrade als «koextensive Systeme» [3] oder als «Subsysteme» [1] ist allerdings nichts einzuwenden. Der Energiefluss zwischen solchen Subsystemen soll besser als Relaxationserscheinung, nämlich als Ausgleichsvorgang in einem System, und nicht als Wärmefluss betrachtet werden. Die Verbrennung ist ein Beispiel solcher Ausgleichsvorgänge. Die Umwandlung der chemischen Energie in die thermische Energie gilt nicht als Wärmefluss.

Das gleiche kann auch über den magnetischen Spinenergiezustand im Fall negativer absoluter Temperatur [13] gesagt werden. Die Möglichkeit, dass innerhalb desselben Raumteils Zustände existieren, die durch Temperaturen verschiedener Vorzeichen beschreibbar sind, bedeutet nichts anderes als ein zusätzlicher Energiefreiheitsgrad. Diese Umwandlung der Energie zwischen den beiden Freiheitsgraden ist auch kein Wärmefluss. Handelt es sich aber um einen Energiefluss vom einen System mit negativer Temperatur zu einem andern räumlich getrennten System, so ist die bisherige Definition der Wärme anwendbar. Die Tatsache, dass beispielsweise die negative Temperatur der Spinenergie und die positive Temperatur der Gitterenergie im gleichen Raumteil existieren, stört diese Anschauung nicht. Wegen der viel grösseren Relaxationszeit der Spin-Gitter-Wechselwirkung gegenüber der Spin-Spin-Wechselwirkung [13] muss man bei Betrachtung der Energie bei negativer Temperatur nur die Spinenergie berücksichtigen.

R. A. Gaggioli [3] empfiehlt, die Wörter «Wärme» und «Arbeit» nicht als selbständige Substantive zu verwenden, sondern nur im Sinne eines Eigenschaftswortes, zum Beispiel in der Form wärmeartig, arbeitsartig oder Wärme-
fluss, Wärmewechselwirkung. Diese Anwendungsart ist sicher korrekt, doch scheint es nicht notwendig, sich auf solche Redewendungen zu beschränken, so lange der Durchgangskarakter von Wärme und Arbeit erkannt wird.

5. Schlussfolgerung

Der Begriff «Wärme» wurde von Carathéodory-Born in einer logischen Weise eingeführt und definiert, wie schon in vielen guten Büchern der Thermodynamik erläutert. Verschiedene, wenn auch nicht immer gleichwertige Methoden [8] stehen zur einwandfreien Definition der Wärme offen. Diese Methoden unterscheiden sich durch die Reihenfolge der Einführung anderer, notwendiger Begriffe, wobei der physikalische Inhalt der Begriffe jeweils erhalten bleibt. Trotzdem kommt es vor, dass das Wort «Wärme» in einem andern, nicht klar beschriebenen Sinne gebraucht wird. Es ist nicht empfohlen, diesen Missbrauch durch eine neue erweiterte Definition [1] zu sanktionieren.

Die technische Literatur verwendet nicht immer streng korrekte Ausdrücke nach einheitlichen Definitionen. Ein Kraftwerk erzeugt elektrische Arbeit, die nicht immer mit einer Kraft im heutigen Sinne zu tun hat. Der Rohstoff des Kraftwerkes ist beispielsweise chemische Energie. Der Prozess ist keine «Energieerzeugung». Dieses Wort ist sogar ein Verstoß gegen den ersten Hauptsatz. Soll man die wissenschaftliche Bedeutung der Begriffe «Kraft», «Energie» usw. deshalb ändern, um solche Redewendungen zu rechtfertigen? Ich glaube, es ist wünschenswert, darnach zu streben, dass in den technisch-wissenschaftlichen Schriften die exakten Bedeutungen solcher Ausdrücke gebührend berücksichtigt werden. Es soll selbstverständlich nicht nahegelegt werden, etwa den Ausdruck «power plant» wörtlich zu übersetzen statt durch das weniger passende Wort «Kraftwerk». Es stört sicher niemanden, wenn solche Ausdrücke auch wie in der alltäglichen Sprache mit ersichtlichem Sinne verwendet werden. — Die Wärme in der Stube bedarf weiterhin keiner näheren Definition.

Literaturverzeichnis

- [1] *M. Tribus*: Generalizing the meaning of "heat". "Int. J. Heat Mass Transfer", 11 (1968), p. 9—14.
- [2] *L. S. Dzung*: Note on the meaning of "heat". "Int. J. Heat Mass Transfer" 11 (1968), p. 1575—6.
- [3] *R. A. Gaggioli*: More on generalizing the definitions of "heat" and "entropy". "Int. J. Heat Mass Transfer" 12 (1969), p. 656—60.
- [4] *M. Planck*: Vorlesungen über Thermodynamik. 8. Aufl., Berlin 1927, de Gruyter (1. Aufl. 1897).
- [5] *C. Carathéodory*: Untersuchungen über die Grundlage der Thermodynamik. „Math. Ann.“ 67 (1909), S. 355—86.
- [6] *D. G. Miller*: Ignored intellect — Pierre Duhem. "Physics Today" 19, No. 12 1966, p. 47—53.
- [7] *M. Born*: Kritische Betrachtung zur traditionellen Darstellung der Thermodynamik. „Phys. Zeits.“ 22 (1921), S. 218—24, 249—54, 282—86.
- [8] *J. H. Keenan, A. H. Shapiro*: History and exposition of the law of thermodynamics. "Mech. Eng." 69 (1947), p. 915—21.
- [9] *E. A. Guggenheim*: Thermodynamics, Amsterdam 1949, North-Holland.
- [10] *G. N. Hatsopoulos, J. H. Keenan*: A single axiom for classical thermodynamics. "Trans. ASME J. Appl. Mech." 29 E (1962), p. 193—99, Discussion 30 E (1963), p. 313—35.
- [11] *U. Grigull*: Zum ersten Hauptsatz der Thermodynamik. „Forschung Ing.-Wes.“ 29 (1963), S. 153—54.
- [12] *M. Tribus*: Thermostatistics and Thermodynamics. Princeton 1961, van Nostrand, p. 139.
- [13] *P. Grassmann*: Negative absolute Temperaturen. „Phys. Bl.“ 13 (1957), S. 391—94.