

Wärmestrahlung

Gegenstand:

Wir beschäftigen uns mit drei Aussagen über die Wärmestrahlung, die man in Lehrbüchern findet, und die zum Teil miteinander im Widerspruch stehen, zum Teil einfach nicht korrekt sind. Man findet nicht unbedingt alle drei Aussagen in ein und demselben Lehrbuch.

- 1) Die Ausbreitung von Wärme erfolgt durch *Wärmestrahlung*, Wärmeleitung und Konvektion.
- 2) An das rote Ende des sichtbaren Spektrums schließt sich der Bereich der *Wärmestrahlung* an.
- 3) Mit dem Sonnenlicht kommt *Wärme* von der Sonne zur Erde, und diese äußert sich in einer Temperaturerhöhung des Körpers, von dem sie absorbiert wird.

Mängel:

Die elektromagnetische Strahlung, um die es hier geht, wird auch oft thermische Strahlung oder Temperaturstrahlung genannt. Man charakterisiert mit diesen Namen zunächst ein bestimmtes Verfahren der Erzeugung elektromagnetischer Strahlung: Ein Körper emittiert elektromagnetische Strahlung, weil er eine von Null verschiedene Temperatur hat. Es gibt auch andere Erzeugungsverfahren elektromagnetischer Strahlung. Die entsprechende Strahlung heißt dann nicht-thermische Strahlung. So werden die Mikrowellen eines Klystrons, die Lumineszenzstrahlung einer Halbleiterdiode oder Laserlicht nicht als thermische Strahlung bezeichnet.

Zunächst ein etwas trivialer, trotzdem aber wichtiger Einwand gegen eine der oben zitierten Formulierungen: Thermische Strahlung ist nicht auf den Infrarotbereich beschränkt. Sonnenlicht ist thermische Strahlung, aber die meiste Energie wird im sichtbaren Bereich des Spektrums transportiert. Die kosmische Hintergrundstrahlung ist thermische Strahlung. Ihr Energiemaximum liegt bei einer Wellenlänge von 1mm im Mikrowellenbereich. Das Plasma eines Fusionsreaktors emittiert thermische Strahlung im Röntgenbereich.

Ein schwerer wiegender, aber viel subtilerer Mangel hat mit der Aussage zu tun, elektromagnetische Strahlung transportiere Wärme. Um diese Aussage zu analysieren, müssen wir zunächst klären, was man damit überhaupt meint, wenn man sagt, bei irgendeinem Vorgang werde Wärme, oder Energie in Form von Wärme transportiert. Unter einem Wärmetransport versteht man allgemein einen Energietransport, der von einem Entropietransport begleitet ist. Energiestrom P und Entropiestrom I_S hängen miteinander zusammen über die Temperatur T :

$$P = T \cdot I_S \tag{1}$$

Im allgemeinen wird ein Energiestrom mehrere Anteile haben oder aus mehreren Energieformen bestehen: Wärme, Arbeit, elektrische und chemische Energie. Als Wärme bezeichnet man dann nur den Anteil, der durch Gleichung (1) beschrieben wird.

Um zu entscheiden ob oder zu welchem Anteil eine bestimmte elektromagnetische Strahlung Wärme ist, muss man also zum einen den transportierten Entropiestrom betrachten, zum anderen muss man die Temperatur der Strahlung kennen. Bei einer planck-verteilter Strahlung gibt es in dieser Hinsicht kein Problem. Es wird aber um so schwieriger, je selektiver der Strahler ist, weil man der Strahlung ihre Temperatur immer schlechter ansieht. Einfach sind die Verhältnisse erst wieder bei der Strahlung die von nichtthermischen Strahlern ausgeht, wie der Mikrowellenstrahlung eines Klystrons oder den elektromagnetischen Wellen eines Radiosenders. Hier ist der Entropiestrom praktisch Null und man wird diese Strahlungen nicht als Energie in Form von Wärme bezeichnen. Dass die Dinge so kompliziert sind, wird leicht übersehen, wenn man nur den Effekt der Einstrahlung elektromagnetischer Wellen auf einen Absorber sieht. Der Absorber wird erwärmt.

Wir kommen damit zu einem klaren Fehler in den oben angeführten Aussagen. Die Erwärmung des Absorbers ist völlig unabhängig davon, ob die einfallende Strahlung Wärme transportiert oder nicht. Sie beruht darauf, dass die Strahlung Energie transportiert, egal in welcher Form, und darauf, dass diese Energie im Absorber dissipiert wird. Eine völlig "entropiefreie" Strahlung, die von einem nicht-thermischen Strahler ausgeht, führt zu derselben Erwärmung wie thermische Strahlung von einem schwarzen Strahler, wenn nur beide Strahlungen dieselbe Energie transportieren, und beide vollständig absorbiert werden.

Die Situation ist im Prinzip dieselbe, aber vielleicht noch etwas deutlicher, bei anderen Arten von Strahlung. Wir betrachten z.B. den Schall. Auch wenn Schall absorbiert wird, erwärmt sich der Absorber und die Erwärmung hängt nur von der transportierten Energie ab, nicht aber davon, ob der Schall Wärme transportiert oder nicht. In der Tat ist auch beim Schall beides möglich. Eine "monochromatische", ebene Schallwelle transportiert keine Entropie, also auch keine Wärme. Thermischer Schall dagegen, d. h. Phononen, die von einem warmen Körper emittiert und von einem kälteren absorbiert werden, transportieren Wärme. Das ist der Mechanismus der Wärmeleitung.

Also: Man kann aus einer Erwärmung beim Absorptionsvorgang einer Strahlung nicht auf einen Wärmetransport durch die Strahlung schließen.

Tatsächlich wird gerade in den Fällen, in denen man das Argument der Erwärmung gern heranzieht, nämlich beim Sonnenlicht und bei der Infrarotstrahlung, die von einem glühenden Körper ausgeht, bei der Absorption viel mehr Entropie erzeugt, als die Strahlung selbst transportiert.

Wenn das *Warmwerden des Absorbers* einer Strahlung kein Beweis dafür ist, dass die Strahlung Wärme transportiert, gibt es aber doch einen anderen, fast ebenso einfachen Indikator dafür, ob elektromagnetische Strahlung Entropie transportiert: das *Kaltwerden der Strahlungsquelle*. Wenn sich ein heißer Körper, der keine materielle Verbindung mit der Umgebung hat, *abkühlt*, genauer, wenn seine Entropie abnimmt, muss der Körper Entropie abgegeben haben, denn da nach dem zweiten Hauptsatz Entropie nicht vernichtet werden kann, besteht die einzige Möglichkeit der Entropieabnahme darin, die Entropie mit der elektromagnetischen Strahlung abzugeben. Diese Erfahrung macht man allerdings längst nicht so oft und so deutlich wie die der Erwärmung eines Körpers durch die Absorption elektromagnetischer Strahlung.

Herkunft:

Die Wärmestrahlung wurde untersucht lange bevor man in der Lage war zu erkennen, dass die Natur der Strahlung dieselbe wie die des Lichts ist, und bevor man den Zusammenhang zwischen Energie und Wärme verstanden hatte. Der Name "strahlende Wärme" stammt wahrscheinlich von Scheele/1/. Pictet/2/ meinte noch 1790, dass sowohl Licht als auch Wärme allein vorkommen. Insbesondere glaubte er gezeigt zu haben, dass Mondlicht nicht von Wärme begleitet wird. In den ersten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts wuchs aber schließlich die Überzeugung von der Identität von Licht- und Wärmestrahlen. Zur endgültigen Klärung der Frage bedurfte es aber noch zweier großer Theorien: der Elektrodynamik von Maxwell und der statistischen Thermodynamik des Lichts von Planck /3/.

Entsorgung:

Man sage nicht, Wärmetransport sei charakteristisch für die Infrarotstrahlung.

Von der elektromagnetischen Strahlung, etwa der von der Sonne, sage man, dass sie Energie, nicht aber dass sie Wärme transportiert. Damit ist die bei der Absorption entstehende Wärme schon erklärt. Eine Aussage über die transportierte Entropie ist dann wichtig, wenn man wissen will, mit welchem Wirkungsgrad eine Wärmekraftmaschine, die die aufgenommene Entropie ja nur wieder mit Wärme abführen kann, aus Sonnenwärme elektrische Energie gewinnen kann. Als Begründung dafür, dass elektromagnetische Strahlung Entropie, und damit Wärme transportiert, führe man nicht die Erwärmung des Absorbers, sondern die Abkühlung der Strahlungsquelle an.

Dass warme Körper elektromagnetische Strahlung emittieren, sagt man am besten, ohne die Strahlung genauer zu benennen (Wärmestrahlung, thermische Strahlung, Temperaturstrahlung). Wenn man möchte, kann man den *Strahler* mit einem Namen versehen: thermischer Strahler oder Temperaturstrahler.

/1/ Mach, E.: Die Principien der Wärmelehre. – Verlag von Johann Ambrosius Barth, Leipzig 1919. – S. 126

/2/ Pictet, M. A.: Essai sur le feu. – Genève 1790

/3/ Planck, M.: Vorlesungen über die Theorie der Wärmestrahlung. – Verlag von Johann Ambrosius Barth, Leipzig 1913