

# physiker rundbrief

---

## Sonderheft Wärme (2004)

*Friedrich Wilhelm Dustmann*

Stoffumwandlung und Stoffpotential

*Georg Maier und Florian Theilmann*

Arbeitspapier Wärmelehre

*Joachim Herbst*

Rudolf Steiner zur Wandlung von Wärme in  
kinetische Energie

## Editorial

Hier also ein "Sonderheft" des Physikerrundbriefs (das schon deshalb recht wichtig genommen werden möge. . .) mit drei Beiträgen, die mit unserem Arbeitsschwerpunkten "Wärme" und "Stoff" bei den Arbeitstagen 2003 und 2004 zusammenhängen. Friedrich Wilhelm Dustmann trägt in seinem Text etwas zu seinem Vortrag von 2003 nach. Ich begrüße, dass Joachim Herbst Teile seines Anliegens trotz der kritischen Stimmung im letzten Januar noch einmal artikuliert – so entsteht auch für uns Leser die Möglichkeit zur konstruktiven Auseinandersetzung.<sup>1</sup>

Georg Maier und ich versuchen dem Diskurs eine neue Richtung zu geben, indem wir einen Weg schildern, ausgehend von der Wärme-Sinn-Erfahrung den Wärmebegriff im Kontext einer dadurch konstituierten "Wärmewelt" zu bilden. Wir möchten die Diskussion darüber nicht einem informellen Austausch im privaten Rahmen überlassen. Zur Weiterentwicklung der vorhandenen Konzepte und zur Vorbereitung der kommenden Arbeitstage laden wir – nach Rücksprache mit dem Sektionskollegium – zu einem "Arbeitstreffen Wärmelehre" nach Dornach ein, das hier im Glashaus in der Zeit 11.–14. Oktober 2004 stattfinden soll. Genauere Modalitäten werden noch bekanntgegeben, doch ist unser Anliegen, im interessierten Kreis konstruktive Ansätze zur Wärmelehre ausführlicher darzustellen und zu besprechen als es auf den Januartreffen möglich ist. Im Anschluss daran wird die Herbsttagung der Sektion stattfinden.

Wie schon im Rundbrief 8 erwähnt: das Institut hat einen neuen Platz im Internet: <http://www.forschungsinstitut.ch>. Da der Umzug des Internet-Auftritts des Goetheanums mit allerlei Ungewissheiten verbunden ist und eine Erreichbarkeit der Sektionsseiten über dort nicht gewährleistet ist, möchte ich Ihnen allen ans Herz legen, uns über die angegebene URL direkt zu besuchen. Dort finden sie unter der Rubrik "Publikationen" nicht nur das Archiv des Physikerrundbriefs, sondern neu auch eine durchsuch- und ausdrückbare Fassung der *Bibliographie Goetheanistische Naturwissenschaft* mit über 3000 Einträgen, die Herr Haas der Öffentlichkeit zur Verfügung stellt. Wir sind bemüht, dieses Angebot weiter zu entwickeln und zu aktualisieren – nutzen sie dieses grossartige Werkzeug! Zum Schluss erneut die Einladung oder Bitte in eigener Sache (sofern Sie nicht ohnehin Kunde sind), ein Abonnement oder Probehefte unserer Zeitschrift "Elemente der Naturwissenschaft" wohlwollend in Erwägung zu ziehen (gerade die letzten Hefte sind ausgesprochen vielseitig und interessant). Dieses wichtige Organ der wissenschaftlichen Arbeit braucht dringend mehr Leser und vor allem auch Abonnenten.

Herzlichen Gruss Ihr Florian Theilmann

---

<sup>1</sup>Weiteres Material findet sich unter <http://www.j-lorber.com/Themen/Physik/Steiner/Dornach>.

# Inhaltsverzeichnis

Editorial	2
Stoffumwandlung und Stoffpotential	4
Das Erscheinen und Verschwinden stofflicher Phänomene . . . . .	4
Stoffpotentiale als verallgemeinerte Kräfte . . . . .	6
Spezielle Anwendungen . . . . .	8
Verdampfen und Dampfdruck . . . . .	9
Schmelzpunktserniedrigung . . . . .	10
Diffusion . . . . .	11
Barometrische Höhenformel . . . . .	12
Arbeitspapier Wärmelehre	14
Wärme <i>versus</i> gefühlte Wärme . . . . .	14
Wärmewesen Mensch . . . . .	15
Szenen aus der Wärmewelt . . . . .	16
Grundfiguren des Wärmegeschehens . . . . .	17
Stufen physikalischer Begriffsbildung . . . . .	19
Wärme zwischen Extensivität und Intensivität . . . . .	20
Rudolf Steiners Bemerkung zur Wandlung von Wärme in kinetische Energie im Kontext der historischen philosophischen Trennung von Substanz und Energie bei Robert Julius Mayer	23
Der 4. Vortrag des 2. naturwissenschaftlichen Kurses von R. Steiner . . . . .	23
Die historisch philosophische Trennung des Energiebegriffes vom Stoffbegriff bei R. J. Mayer . . . . .	23
Die Götter und die Imponderabilien . . . . .	24
Der Kommentar R. Steiners . . . . .	25
Die Debatte an der Tagung . . . . .	28
Resümee . . . . .	29
(Email-)Adressen der Autoren	30

---

Physikerrundbrief Sonderheft Wärme  
Copyright Naturwissenschaftliche Sektion  
Dornach, April 2004  
Redaktion und Herstellung: Florian Theilmann

# Stoffumwandlung und Stoffpotential

VON FRIEDRICH WILHELM DUSTMANN

## Das Erscheinen und Verschwinden stofflicher Phänomene

Während des 6. Vortrages des Wärmekurses wurden drei Experimente vorgeführt, denen Rudolf Steiner eine große Bedeutung im Hinblick auf ein Verständnis des Wärmewesens zumaß. Im ersten Experiment ging es um die Stoffabhängigkeit des Dampfdrucks, im zweiten um das Schmelzen von Eis unter Druck und im dritten um die Schmelzpunktniedrigung bei Legierungen. Ich will hier vor allem an das zweite Experiment anknüpfen und deshalb kurz den Ablauf darstellen.

Ein Eisblock wird an den Enden auf Holzbrettchen gelegt und ein dünner Draht herumgeschlungen, an den unten ein schweres Gewichtstück gehängt wird, so dass der Draht von oben einen erheblichen Druck auf das Eis ausübt. Infolge dieses Druckes schmilzt das Eis unter dem Draht, so dass dieser etwas nach unten sinken kann. Nun schmilzt dort das Eis usw. und der Draht wandert allmählich durch den ganzen Block hindurch. Oberhalb des Drahtes schließt sich der Block aber sofort wieder, da sich wieder Eis bildet, wenn der Druck nachläßt, so dass er keineswegs in zwei Teile zerfällt, wie man vielleicht erwarten könnte.

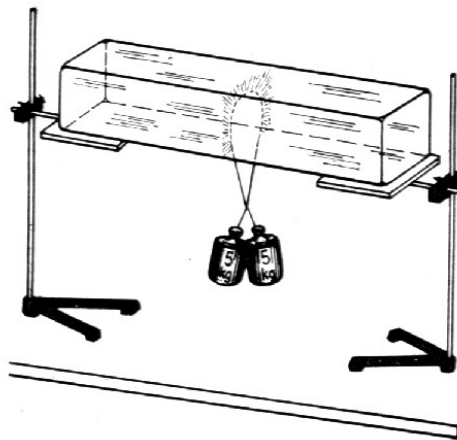


Abbildung 1: Eisverflüssigung unter Druck

Am nächsten Tag geht Steiner noch einmal auf dieses Experiment ein und vergleicht es mit einer völlig anderen Situation, aus der man aber nach seiner Aussage verhältnismäßig viel über das Wärmewesen lernen könne. Er bewegt einen Bleistift durch die Luft und weist darauf hin, dass er die Luft durchschneidet und sie sich hinter dem Bleistift wieder schließt, so wie sich der Eisblock hinter dem Draht wieder schließt. Wenn dies so hervorgehoben wird, muss wohl mehr als nur ein oberflächlicher Vergleich gemeint sein. Steiner weist denn auch ausdrücklich darauf hin, dass

das, was bei seinem Bleistiftexperiment die Luft im Raum macht, bei dem Experiment mit dem Eisblock in gewissem Sinn vom Wärmewesen ausgeführt wird. Man solle die Vorgänge in der Luft als Bild für das nehmen, was im Wärmewesen vorgehe, ohne dass dies den Charakter eines räumlich sichtbaren Vorganges hat.

Wir müssen uns die Frage stellen, in welchem Sinn die beiden Vorgänge eine Übereinstimmung aufweisen, die etwas über das Wesen der Wärme enthüllt. Wenn der Bleistift durch die Luft fährt, verschwindet im jeweiligen Raumbereich ständig die Luft als Phänomen und wird durch den Bleistift ersetzt um im nächsten Augenblick wieder der Luft Platz zu machen. Ein stoffliches Phänomen verschwindet, ein anderes taucht an seiner Stelle auf usw. Natürlich pflegen wir diesen Vorgang gewöhnlich nicht unter diesem Aspekt zu betrachten, da wir den gesamten Ablauf im Blick haben und feststellen, dass der Bleistift stets im Gesichtsfeld bleibt und nur seinen Ort ändert, ohne dass wesentliche Veränderungen an ihm auftreten. Auch für die Luft können wir ähnliche Invarianzbeobachtungen anstellen, wenn wir dafür sorgen, dass in die Luft schwebende Fremdkörper (z. B. Rauch) eingebracht werden, die die Luftbewegung sichtbar machen. Bei der üblichen Betrachtung wird die Aufmerksamkeit auf das gelenkt, was erhalten bleibt und „nur“ seinen Ort verändert. Man kann aber auch das Ziel der Aufmerksamkeit verschieben und auf das Verschwinden und Entstehen der Phänomene richten und kommt dabei vielleicht zu ganz anderen Betrachtungsweisen.

Wenden wir uns nun dem Eisexperiment zu, so stellen wir fest, dass auch dort unter dem Draht das Phänomen Eis (Festkörper) verschwindet und dem Phänomen Wasser (Flüssigkeit) Platz macht, denn der Draht kann sich nur durch eine Flüssigkeit, nicht aber durch einen Festkörper bewegen. Über dem Draht verschwindet offenbar das Wasser wieder und wird durch Eis ersetzt, denn sonst fiel der Block auseinander. Wir richten unsere Aufmerksamkeit jetzt nicht auf eine gedanklich erschlossene Konstanz des  $H_2O$ , das „nur“ seinen Aggregatzustand und damit sein Erscheinungsbild ändert, sondern auf die grundsätzliche Verwandlung der Phänomene (Eis  $\rightarrow$  Wasser  $\rightarrow$  Eis). Anders als bei dem Bleistiftexperiment kann man hier nicht an ein räumliches Ausweichen der Luft denken, die um den Bleistift herumströmt. Hier verschwindet das Eis wirklich an einer Stelle (unter dem Draht) aus dem Raum und taucht oberhalb wieder auf. Zwischen dem Verschwinden und Wiederauftauchen ist dort Wasser. Die *räumliche Bewegung* der Luft bei Ausweichen um den Bleistift wird hier als Bild für eine *Metamorphose der Erscheinungen* verwendet, die in einem Vernichten der einen Stofferscheinung und einem Erzeugen der anderen und umgekehrt besteht. Diese Möglichkeit einer „Bewegung“ in einer „unräumlichen Dimension“, nämlich das vorübergehende „Ausweichen“ des Eises in eine andere Stofflichkeit, ist offenbar ein charakteristisches Element des Wärmewesens. Auch in den vorausgegangenen Vorträgen findet man derartige Vergleiche räumlicher und unräumlicher Wirkungen. Erhitzt man eine Flüssigkeit, so kommt es in der Regel zur Temperaturzunahme und gleichzeitig zur Volumenausdehnung, also einer räumlichen Wirkung. Am Siedpunkt ändert sich dies: Die Temperaturzunahme unterbleibt zugunsten einer Stoffumwandlung, denn der eine Phänomenkomplex (Flüssigkeit) verschwindet und an seine Stelle tritt der andere (Gas).

## Stoffpotentiale als verallgemeinerte Kräfte

Daraus ergibt sich die Frage nach einer begrifflichen Beschreibung der Erzeugungs- und Vernichtungsvorgänge stofflicher *Erscheinungen*. Tatsächlich ist ein solcher begrifflicher Rahmen insbesondere durch W. Gibbs bereits am Ende des 19. Jahrhunderts entwickelt worden, ohne dass dieser in größerem Umfang Eingang in das allgemeine wissenschaftliche Bewusstsein gefunden hat, weil Gibbs die entsprechenden Begriffe aus einem abstrakten Gedankenschema entwickelt hat, dessen Bezug zur alltäglichen Wirklichkeit in seinen Schriften unklar bleibt. Im Zentrum dieser Beschreibung stehen die Begriffe *Stoffmenge* und *Stoffpotential*. Letzteres wird heute gewöhnlich als *chemisches Potential* bezeichnet, da es auch bei chemischen Umsetzung eine wichtige Rolle spielt und deshalb eher von Chemikern als von Physikern verwendet wird.

Der Begriff der Stoffmenge ist bereits in einem früheren Aufsatz (Rundbrief Nr. 5) ausführlich erörtert worden und wird deshalb hier nur noch kurz gestreift. Dabei soll insbesondere darauf verwiesen werden, dass die Stoffmenge nicht im Sinne einer hypothetischen Teilchenzahl definiert wird, wie dies in modernen Lehrbüchern gewöhnlich geschieht, sondern phänomenologisch als Maß einer stofflichen Wirksamkeit, die sich z. B. bei chemischen Reaktionen zeigt. Wenn eine bestimmte Menge Eisen vollständig mit einer bestimmten Menge Schwefel zu Eisensulfid reagiert, ohne das vom Eisen oder Schwefel etwas übrig bleibt, dann hat man gleiche Stoffmengen verwendet. Gewogen wird aus Gründen der Zweckmäßigkeit nach wie vor mit der Waage, aber nicht auf die Schwere kommt es an, sondern auf die chemische Wirksamkeit der gewogenen Substanz, die für den jeweiligen Stoff proportional zur Masse ist, wobei die Proportionalitätskonstante stoffspezifisch ist.

In praktisch allen Bereichen der Physik finden wir das Zusammenspiel zweier konjugierter Größen wie Kraft und Weg, Druck und Volumen, Geschwindigkeit und Impuls, Temperatur und Entropie, elektrische Spannung und Ladung usw., deren Produkt eine energetische Größe ist. Einer der beiden Faktoren ist eine extensive Größe, d.h. etwas vereinfacht gesprochen: eine Größe, deren Maßzahl halbiert wird, wenn der Körper, dem sie zugeordnet ist, halbiert wird. Die andere Größe kann man als Kraft im allgemeineren Sinn interpretieren (Helmholtz) oder wie man heute wohl eher sagen würde als *Potential*, das die Veränderung der extensiven Größe steuert.

Die zur Stoffmenge konjugierte Größe ist das Stoffpotential, das die Tendenz eines Stoffes zur Umwandlung bzw. zum Verschwinden und Entstehen stofflicher Phänomene beschreibt. An Hand einiger Beispiele soll zunächst erläutert werden, wie man sich diesem Begriff von der Anschauung her nähern kann, d.h. eben nicht auf dem Weg über den Begriffsapparat der Thermodynamik. Wir nutzen zunächst eine Analogie: Wird an einer Stelle des Raumes eine größere Konzentration eines bestimmten Stoffes erzeugt, so tritt sofort die Tendenz zur Ausbreitung ein, d.h. der Stoff verteilt sich von selbst im umgebenden Raum. Wir kennen dies alle aus der täglichen Lebenserfahrung: Wird Kaffee frisch gemahlen, so verbreiten sich die Aromastoffe sofort im ganzen Raum und nach einigen Tagen hat der Kaffee erheblich an Aroma verloren. Eine stark parfümierte Person betritt einen Raum oder eine Apfelsine wird geschält

und bereits nach wenigen Sekunden wird der Duft überall wahrgenommen. Wir vergleichen diesen Vorgang nun mit einem anderen aus der Elektrizitätslehre: Führt man in einem Bereich des Raumes eine erhöhte Ladungskonzentration herbei, so stellt sich eine elektrische Potentialdifferenz zur Umgebung ein, die dazu führt, dass die Ladungen auseinanderstreben und sich gleichmäßig verteilen, sobald die Möglichkeit dazu gegeben ist (leitende Verbindung). Extensiv räumlich etabliert sich die Ladungsverteilung, während die Potentialdifferenz ein ideelles Element ist, das zur begrifflichen Erklärung der Veränderung herangezogen wird. Ganz analog verfährt man nun bei den oben skizzierten stofflichen Prozessen: Eine hohe Stoffdichte führt zu einem hohen Stoffpotential, was zur Folge hat, dass sich der Stoff in Bereiche niedrigeren Stoffpotentials ausbreitet, bis es schließlich zum Ausgleich gekommen ist, d.h. bis überall das gleiche Potential herrscht. Die von Rudolf Steiner im Wärmekurs mehrfach angesprochene Tendenz der gasförmigen Materie zum Zerstreuen findet hier also ihre begriffliche Beschreibung mit Hilfe des Stoffpotentials.

Ein anderes Beispiel, bei dem es weniger auf die Stoffkonzentration als auf Temperatur und Stoffart ankommt, ist das Gefrieren beim Wasser. Beim Abkühlen sinkt das Stoffpotential. Dies gilt sowohl für Wasser als auch für Eis, allerdings mit unterschiedlicher Änderungsrate. Am Gefrierpunkt sind beide Potentiale gleich groß. Deshalb können beide Phasen nebeneinander existieren. Unter  $0^{\circ}$  C ist bei Normaldruck das Stoffpotential des Eises geringer als das des Wassers, während es über  $0^{\circ}$  C größer ist, weil die Änderungsrate beim Eis größer ist. Unter besonderen Umständen (Fehlen von Verunreinigungen, Erschütterungsfreiheit) kann man erreichen, dass Wasser unter Normaldruck z. B. noch bei  $-5^{\circ}$  C in flüssiger Form vorliegt. Die Umwandlung ist gehemmt. Wie ein elektrischer Strom eines elektrischen Leiters bedarf, so kommt die Erstarrung nur zustande, wenn der notwendige Erstarrungskeim vorhanden ist. Eine plötzliche Erschütterung führt zum schlagartigen Verschwinden des Wassers und zum gleichzeitigen Auftreten des Eises. Aus diesem Grund tritt die Umwandlung unter  $0^{\circ}$  C sofort ein, wenn durch eine momentane Inhomogenität, die durch einen Stoß ausgelöst wird, ein solcher Erstarrungskeim geliefert wird, die Hemmung des Überganges also aufgelöst wird. Es erfolgt ein schlagartiger Übergang vom höheren Potential des Wassers zum niedrigeren des Eises, ohne dass es ein Nebeneinander beider Phasen gibt wie bei einem normalen Gefriervorgang.

Das dritte Beispiel ist aus dem Bereich der chemischen Stoffumwandlungen entnommen. Vergleicht man z. B. die Reaktionen verschiedener Metallpulver, wie etwa Magnesium, Zink, Eisen, Kupfer und Gold mit Schwefel, so stellt man unterschiedliche Heftigkeiten der Reaktion fest. Während Magnesium nach der Zündung heftig explodiert, reagiert Gold praktisch gar nicht mehr. Das Stoffpotential von MgS ist also sehr viel niedriger als das der Elemente Mg und S, während beim Goldsulfid kaum ein Unterschied besteht. Die Stoffe machen ohne äußeren Antrieb nur eine Umwandlung vom hohen zum niedrigeren Stoffpotential durch. Magnesium und Schwefel verschwinden wegen des großen Potentialunterschieds schlagartig und werden durch Magnesiumsulfid ersetzt, während Gold und Schwefel fast unverändert bleiben. Die anderen Metalle liegen hinsichtlich der Heftigkeit der Reaktionen in der angegebenen

Reihenfolge zwischen Magnesium und Gold. Dieser Sachverhalt drückt sich aus der folgenden Tabelle der Stoffpotentiale in den angegebenen Zahlen quantitativ aus. Die negativen Werte rühren daher, dass man die Stoffpotentiale der Elemente willkürlich gleich 0 setzt und die Reaktionsprodukte einen niedrigeren Wert haben müssen als die Ausgangsstoffe.

Verbindung	MgS	ZnS	FeS	CuS	AuS
Potential in kJ/mol	-347	-201	-100	-54	≈ 0

Es mag zunächst überraschen, dass alle Elemente das gleiche Potential haben sollen (nämlich 0). Eine kurze Überlegung zeigt uns aber, dass dies eigentlich nur Ausdruck der Tatsache ist, dass sich ein Element nicht in ein anderes umwandeln lässt. Stoffe auf gleichem Potential haben ja gerade die Eigenschaft, dass sie sich nicht ineinander umwandeln. Diese Anmerkung zeigt allerdings auch, dass diese Festlegung in dem Moment hinfällig wird, in dem Kernprozesse in Betracht gezogen werden, da dann auch Umwandlungen der Elemente möglich sind. Tatsächlich muss man unter diesen Umständen den Elementen unterschiedliche Potentiale zuweisen.

Bei den hier angeführten Beispielen bleibt zunächst offen, wie man zu quantitativen Werten für die Potentiale kommt. Das ist in der Tat ein schwieriges Problem, da es kein einfaches Messgerät oder -verfahren für die Potentiale gibt. Man muss sie vielmehr häufig auf komplizierten Umwegen mit Hilfe thermodynamischer Formeln aus anderen messbaren Größen (z. B. der Wärmetönung) ausrechnen. Dadurch hat das Stoffpotential den Ruf bekommen eine schwer durchschaubare Größe zu sein, die einer elementaren Anschauung nicht zugänglich ist. In Wirklichkeit ist der Begriff aber nicht schwerer zu verstehen als etwa der des elektrischen Potentials oder der Spannung. Bei der elektrischen Spannung ist man nur in der glücklichen Lage durch das Ohm'sche Gesetz einen einfachen Zusammenhang zwischen der Spannung und der leicht messbaren elektrischen Stromstärke zu haben, so dass es einfach ist Spannungsmesser zu bauen. Außerdem hat man im Hintereinanderschalten von elektrischen Spannungsquellen einen einfachen Mechanismus der Addition von Potentialunterschieden, der in vergleichbarer Form bei Stoffpotentialen nicht vorhanden ist. Man kann die Bedeutung des Stoffpotentials oder der Stoffspannung (Potentialdifferenz) an Hand der Beispiele aber recht gut verstehen, wenn man die Zahlenwerte zunächst einfach als gegeben hinnimmt. Es ist ein Irrtum zu glauben, dass man die Bedeutung einer Größe erst dann verstanden habe, wenn man weiß, wie man zu den Maßzahlen gelangt.

## Spezielle Anwendungen

Da sich dieser Aufsatz vor allem an Physiker wendet, sollen solche Anwendungen im Vordergrund stehen, bei denen es nicht um chemische Umwandlungen im engeren Sinn geht, sondern um physische Veränderungen der Stoffe, also Ausbreitungsbestrebungen, Phasenumwandlungen usw. Die während des 6. Vortrages des Wärmekurses gezeigten Experimente können uns dabei bis zu einem gewissen Grade als Ausgangspunkt und Leitlinie dienen, da sie sich auf solche Vorgänge beziehen.



## Verdampfen und Dampfdruck

Das erste der gezeigten Experiment stellt die Koexistenz der Gasphase und der flüssigen Phase dar. Die Absenkung der Quecksilbersäule bei Anwesenheit von Flüssigkeit und Dampf gegenüber der Situation beim reinem Vakuum liefert uns im Wesentlichen eine Messung des Dampfdrucks. Es wird auch gezeigt, dass dieser von der Temperatur abhängt. Es geht also im Grunde um die Messung einer Dampfdruckkurve, auch wenn das Experiment nicht vollständig durchgeführt wurde.

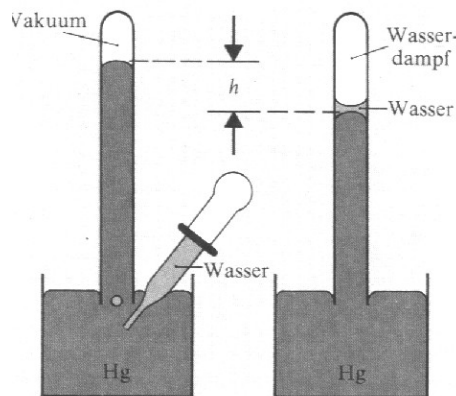


Abbildung 2: Messung des Dampfdrucks

Da bei konstanter Temperatur nichts verschwindet oder entsteht, müssen wir in diesem Fall davon ausgehen, dass die Stoffpotentiale in beiden Phasen übereinstimmen:  $\mu_{fl} = \mu_{gas}$ . Befindet sich zunächst über der Flüssigkeit nur ein leerer Raum, so ist  $\mu_{fl} > \mu_{gas}$ , d. h. ein Teil der Flüssigkeit verschwindet und über ihr tritt Dampf auf, bis schließlich die Gleichheit der Stoffpotentiale hergestellt ist. Erwärmt man das Rohr von außen, so verdampft mehr Flüssigkeit und der Dampfdruck steigt. Auf der ideellen Ebene begleiten wir diesen Vorgang mit der Vorstellung, dass sich beide Stoffpotentiale beim Erwärmen absenken, wobei allerdings die Änderungsrate bei Gasen deutlich größer ist als bei Flüssigkeiten. Bei Erwärmung sinkt deshalb das Potential des Gases unter das der Flüssigkeit, so dass Flüssigkeit verschwindet und Gas entsteht, bis sich bei der erhöhten Temperatur wieder ein Gleichgewicht bei ebenfalls höherem Druck einstellt. Wir können dies auch quantitativ untersuchen, wenn wir einen kleinen Exkurs in die Thermodynamik wagen:

$$\mu_{fl}(p, T) = \mu_{gas}(p, T) \quad \text{und} \quad \mu_{fl}(p + \Delta p, T + \Delta T) = \mu_{gas}(p + \Delta p, T + \Delta T) \quad (1)$$

Entwickelt man die zweite Gleichung nach Taylor bis zum linearen Glied und zieht die erste Gleichung ab, so erhält man:

$$\frac{\partial \mu_{fl}}{\partial p} \Delta p + \frac{\partial \mu_{fl}}{\partial T} \Delta T = \frac{\partial \mu_g}{\partial p} \Delta p + \frac{\partial \mu_g}{\partial T} \Delta T \quad (2)$$

Aus der Thermodynamik übernehmen wir nun die bekannten Relationen  $\partial\mu/\partial T = -s$  und  $\partial\mu/\partial p = v$ , worin  $s$  und  $v$  die spezifische Entropie bzw. das spezifische Volumen sind (bezogen auf jeweils 1 mol). Setzen wir dies in (2) ein, so erhalten wir für  $\Delta T \rightarrow 0$  die bekannte Gleichung von *Clausius-Clapeyron*:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{s_g - s_{fl}}{v_g - v_{fl}} = \frac{Q}{(v_g - v_{fl})T}, \quad (3)$$

worin  $Q$  die Verdampfungswärme (bzw. Schmelzwärme) ist. Aus (3) lässt sich wiederum die Dampfdruckkurve ableiten, um die es offenbar in dem von Rudolf Steiner vorgestellten Experiment geht. Üblicherweise wird die Gleichung (3) nicht auf diesem einfachen Weg mit Hilfe des chemischen Potentials begründet, sondern etwas aufwendiger durch Betrachtung eines Gedankenexperimentes mit einem speziellen Kreisprozess.

### Schmelzpunktserniedrigung

Der Schmelzpunkt ist ähnlich wie der Siedepunkt dadurch bestimmt, dass die Stoffpotentiale der Flüssigkeit und des Festkörpers bei dieser Temperatur und unter Normaldruck gleich sind. Wird nun z. B. der Druck auf einen Eisblock vergrößert, so steigt das Stoffpotential des Eises an, d. h. bei  $0^0$  C ist unter diesen Bedingungen  $\mu_{Eis} > \mu_{Wasser}$ , so dass Eis verschwindet und zu Wasser wird. Da dieser Vorgang Schmelzwärme benötigt, sinkt die Temperatur etwas ab, so dass auch das Stoffpotential abnimmt und der Schmelzvorgang nicht weiter fortschreitet. Das neue Gleichgewicht stellt sich bei einer etwas niedrigeren Temperatur ein, d. h. der Schmelzpunkt hat sich nach unten verschoben. In dem gezeigten Versuch bildet sich oberhalb des Drahtes sofort wieder Eis, denn dort ist jetzt wegen der geringeren Temperatur und des fehlenden Druckes  $\mu_{Eis} < \mu_{Wasser}$ . Die Schmelzwärme wird wieder frei und die Temperatur kann auf den ursprünglichen Wert ansteigen.

Bei der quantitativen Behandlung der Schmelzpunktserniedrigung benötigt man Informationen über die Abhängigkeit des Stoffpotentials von der Temperatur und vom Druck. Bei Flüssigkeiten und Festkörpern kann man diese Abhängigkeit relativ genau durch eine lineare Funktion der folgenden Art darstellen, wenn die Abweichungen von den Normalbedingungen nicht zu groß werden:

$$\mu = \mu_0 + \alpha(T - T_0) \quad \text{bzw.} \quad \mu = \mu_0 + \beta(p - p_0) \quad (4)$$

$\alpha$  und  $\beta$  bezeichnet man als Temperatur- bzw. Druckkoeffizient des Stoffpotentials. Die Werte müssen empirisch bestimmt werden. Am normalen Schmelzpunkt gilt  $\mu_{0,Eis} = \mu_{0,Wasser}$  und am um  $\Delta T$  veränderten Schmelzpunkt (unter Druck):

$$\mu_{0,Eis} + \alpha_{Eis}\Delta T + \beta_{Eis}\Delta p = \mu_{0,Wasser} + \alpha_{Wasser}\Delta T + \beta_{Wasser}\Delta p \quad (5)$$

Da die jeweils ersten Summanden gleich sind, folgt hieraus die Schmelzpunktserniedrigung:

$$\Delta T = \frac{\beta_{Wasser} - \beta_{Eis}}{\alpha_{Eis} - \alpha_{Wasser}} \Delta p \quad (6)$$

Dies ergibt eine Schmelzpunktserniedrigung von 0,0075 K/bar. Die Kleinheit des Effekts erklärt, warum der ausgeübte Druck in dem beschriebenen Experiment sehr groß sein muss. Im Prinzip ist die Gleichung (6) übrigens nichts anderes als eine verkappte Formel von Clausius-Clapeyron (s.o.).

Etwas problematisch ist es, dass Rudolf Steiner bei der Besprechung dieses Experimentes den Eindruck erweckt, als sei eine solche Schmelzpunktserniedrigung durch Druck typisch für feste Körper. Das ist jedoch keineswegs der Fall. Es hängt vielmehr damit zusammen, dass Eis beim Erstarren eine Volumenausdehnung zeigt (Anomalie des Wassers), während im Normalfall eine Volumenabnahme eintritt. Drückt man auf das Eis, so versucht man das Volumen zu verringern, was zur Folge hat, dass das Eis wieder schmilzt. Bei Stoffen, deren Volumen beim Erstarren geringer wird, zeigt sich dementsprechend eine Schmelzpunktserhöhung.

Eine andere Art der Schmelzpunktserniedrigung erreicht man durch Hinzufügen eines Fremdstoffes. Fügt man z. B. dem Wasser Salz oder Alkohol zu, so bekommt die neue Flüssigkeit ein niedrigeres Stoffpotential als reines Wasser, da die Stoffdichte des Wassers in der Mischung geringer ist als im reinen Wasser. Für einen Eiswürfel, der in einer solchen Mischung schwimmt, gilt  $\mu_{Eis} > \mu_{Fl}$ , d. h. er schmilzt selbst dann noch, wenn die Temperatur bereits unter  $0^{\circ} \text{C}$  ist. Durch den Bedarf an Schmelzwärme sinkt die Temperatur solange ab, bis die Stoffpotentiale wieder gleich sind. So stellt sich ein neues Gleichgewicht bei einer tieferen Temperatur ein. Der Schmelzpunkt ist also gesunken.

## Diffusion

Die Ausbreitungstendenz der Materie wurde bereits oben qualitativ besprochen. Mathematisch kann man diesen Vorgang durch die Gleichung

$$\vec{j} = -L\vec{\nabla}\mu \quad (7)$$

beschreiben, worin  $\vec{j}$  der Stoffstrom (Stoffmenge pro Zeiteinheit) ist. Der *Leitwert*  $L$  ist im Allgemeinen keine Konstante. Der Diffusionsvorgang wird vom Stoffpotential beherrscht, obwohl man bei seiner quantitativen Beschreibung gewöhnlich ohne diese Größe auskommt, da man ausschließlich mit den Dichten oder Konzentrationen arbeitet. Man vermeidet hier also die Verwendung des Stoffpotentials, da sie keine Vereinfachung der Beschreibung im Vergleich zur üblichen mit Hilfe der Diffusionsgleichung

$$\vec{j} = -D\vec{\nabla}\nu \quad (8)$$

(1. Fick'sches Gesetz) bringt. Hierin ist  $D$  der Diffusionskoeffizient und  $\nu$  die Stoffdichte (Stoffmenge pro Volumeneinheit). Der Vorteil dieser Gleichung besteht darin, dass nur die Stoffdichte vorkommt, die durch die Kontinuitätsgleichung mit der Stromdichte  $\vec{j}$  verknüpft ist. Auf diese Weise gewinnt man leicht eine Feldgleichung für das Dichtefeld. Den Zusammenhang zwischen Gleichung (7) und (8) findet man, wenn

man die Beziehung zwischen  $\mu$  und  $\nu$  kennt. Aus (7) gewinnt man zunächst

$$\vec{j} = -L \frac{\partial \mu}{\partial \nu} \vec{\nabla} \nu \quad (9)$$

Bei hinreichender Verdünnung (also in Gasen und schwach konzentrierten Lösungen) gilt stets eine Gesetzmäßigkeit der Art<sup>1</sup>

$$\mu = \mu_0 + RT \ln \frac{\nu}{\nu_0}. \quad (10)$$

Der Anteil  $RT \ln(\nu/\nu_0)$  beschreibt gewissermaßen die Tendenz des Gasigen sich im Raum zu verteilen, zu zerstreuen, wie Rudolf Steiner im Wärmekurs sagt. Setzt man (10) in (9) ein, so folgt

$$\vec{j} = -L \frac{RT}{\nu} \vec{\nabla} \nu \quad (11)$$

Der Vergleich mit (8) zeigt, dass  $D = \frac{LRT}{\nu}$  ist, dass also  $D \sim 1/\nu$  ist, wenn  $L$  nicht von  $\nu$  abhängt. Dies ist ein Ergebnis, welches sonst aus der kinetischen Gastheorie gewonnen wird, da dort gezeigt wird, dass  $D = \frac{1}{3} \lambda \bar{v}$ , worin  $\lambda$  die mittlere freie Weglänge und  $\bar{v}$  die mittlere Geschwindigkeit ist. Bekanntlich ist  $\lambda$  und damit auch  $D$  proportional zu  $1/\nu$ . Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass die Stoffausbreitung bei Diffusion einem ähnlichen Gesetz folgt wie die Wärmeausbreitung oder der Ladungsstrom nach dem Ohm'schen Gesetz. Es drängt sich natürlich die Frage auf, ob die zweite Differentialgleichung im 12. Vortrag des Wärmekurses, die sich nur im Vorzeichen der Leitzahl von der Wärmeleitungsgleichung unterscheidet, mit dieser Stoffausbreitungsgleichung identifiziert werden kann. Das Vorzeichen in Gleichung (7) bringt ebenso wie in der Wärmeleitungsgleichung zum Ausdruck, dass die Wirkung in Richtung sinkenden Potentials, also entgegen dem Potentialgradienten, erfolgt. Da es in diesem Punkt jedoch keinen Unterschied zwischen der Wärmeleitungsgleichung und der Diffusionsgleichung gibt, kann sich der von Steiner angesprochene Sachverhalt nicht auf die Diffusionsgleichung beziehen, wenn wir davon ausgehen, dass das Minuszeichen tatsächlich die Stromrichtung beschreiben soll. Eine wirkliche Umkehr der Stromrichtung haben wir nur im elektrischen Fall, wo der Elektronenstrom *mit* und *nicht entgegen* dem Potentialgradienten fließt.

### Barometrische Höhenformel

Bei einer der früheren Physikertagungen hat Florian Theilmann verdeutlicht, dass es problematisch ist, wenn man zur Beschreibung der inneren Vorgänge eines Fluids den Druckbegriff verwendet, weil Druck eigentlich nur an der Grenze zwischen Fluid und

<sup>1</sup>Für Kenner der Thermodynamik sei hier kurz die Herleitung der Formel für verdünnte Gase mit Hilfe der Gibbs-Funktion  $G$  angedeutet: Für isotherme Veränderungen gilt  $dG = V dp$ . In verdünnten Gasen kann das Gasgesetz  $V = nRT/p$  angesetzt werden. Setzt man dies ein, so erhält man  $\Delta G = nRT \ln(p/p_0)$ . Daraus folgt wegen  $\mu = G/n$  zunächst die Formel  $\mu = \mu_0 + RT \ln(p/p_0)$ . Nach dem Gasgesetz ist  $p$  bei konstanter Temperatur proportional zur Stoffdichte, also ergibt sich die Formel (10).

Festkörper auftritt. In diesem Zusammenhang ergibt sich die Frage, wie unter solchen Umständen die barometrische Höhenformel hergeleitet werden kann, da man dabei gewöhnlich von der Vorstellung ausgeht, dass die oberen Luftschichten einen Schweredruck auf die darunter liegenden ausüben. Wenn wir auf den Druckbegriff verzichten, sollte die Höhenformel zunächst nicht für den Luftdruck formuliert werden, sondern für die Stoffdichte in der Atmosphäre. Deshalb wird in diesem Abschnitt untersucht, wie man die Formel

$$\nu = \nu_0 e^{-\frac{mgh}{RT}} \quad (12)$$

ohne Rückgriff auf die mechanische Vorstellung des Schweredruckes gewinnen kann. Darin ist  $\nu$  die Stoffdichte und  $m$  die Molmasse. In der Atmosphäre wird das Geschehen im Wesentlichen von zwei Tendenzen bestimmt, der Tendenz zum Zerstreuen des Gasigen einerseits und der Schwere andererseits. Das Zusammenspiel dieser beiden Tendenzen bestimmt die Dichteverteilung (12). Da es sich um eine stabile Gleichgewichtssituation bei konstanter Temperatur handelt, müssen wir davon ausgehen, dass in der gesamten Atmosphäre das gleiche Stoffpotential vorliegt, denn sonst müsste es Veränderungen in der Stoffdichte geben. Nach Gleichung (10) und der zugehörigen Fußnote haben wir für den „Zerstreungsanteil“ des Potentials den Term  $RT \ln(\nu/\nu_0)$  zu wählen und für den Schwereanteil die bekannte Formel  $mgh$ . Also ist

$$\mu(h) = mgh + RT \ln \frac{\nu(h)}{\nu_0} \quad (13)$$

Da in der Höhe  $h$  das gleiche Potential wie am Boden herrscht, ist  $\mu(h) = \mu(0) = 0$ . Dabei setzen wir die Integrationskonstante  $\nu_0 = \nu(0)$ :

$$mgh + RT \ln \frac{\nu(h)}{\nu_0} = 0 \quad \iff \quad \nu(h) = \nu_0 e^{-\frac{mgh}{RT}} \quad (14)$$

Wir sehen, dass die isotherme atmosphärische Dichteverteilung eine unmittelbare Folge der Gleichheit des Stoffpotentials in der gesamten Atmosphäre ist. Die mechanische Vorstellung des Drückens verschiedener Luftschichten aufeinander wird nicht benötigt. Stattdessen gehen Vorstellungen wie die folgenden in die Betrachtung ein: Ist die Stoffdichte an einer Stelle der Atmosphäre zu hoch, so ist dort auch das Stoffpotential größer als in der Umgebung. Die Tendenz zum Zerstreuen setzt sich sofort gegenüber der Schwere durch und verringert die Dichte an dieser Stelle, bis wieder das Gleichgewicht der Potentiale hergestellt ist.

## Literatur

- [1] G. Falk, F. Herrmann (Hrsg.): Konzepte eines zeitgemäßen Physikunterrichts, Heft 2 u. 4, Hannover, 1978 u. 1981, Schroedel-Verlag.
- [2] R. Baierlein: Thermal Physics, Cambridge, 1999, University Press.

# Arbeitspapier Wärmelehre

VON GEORG MAIER UND FLORIAN THEILMANN

Dieser Text ist eine erste schriftliche Darstellung des zu den Dornacher Forschungstagen im Februar 2004 vorgetragenen Zugangs zum Wärmebegriff. Die Frage, wie sich Wärme verstehen lässt, wenn auf Vorstellungen eines mikroskopischen Gewimmels oder eines quasi-(fein)stofflichen Etwas verzichtet werden soll, war ja vielfältig Thema der Arbeitstage und von Publikationen und es wurden vielerlei Gesichtspunkte dazu vorgebracht. So finden sich etwa (vgl. [1–3])

- eine gründliche Aufarbeitung des Materials zur Wärme-Sinn-Erfahrung und des philosophischen Kontextes durch Martin Basfeld, sowie
- die Einbettung der extensiven Seite des Wärmegeschehens in mögliche Erfahrungskontexte (Experimente), vor allem durch die Arbeit von F. W. Dustmann,
- verschiedene Aktualisierungen der klassischen Elementenlehre bzw. der Darstellung im Wärmekurs, sowie Bezüge zu Evolutionsstufen des Kosmos durch diverse Autoren.

Wir wollen das Thema noch einmal prinzipieller angehen und damit eine Diskussionsgrundlage für das Wärmesymposium im kommenden Oktober (vgl. Editorial) geben. Der Ansatz ist zunächst ein konsequentes Ausgehen von der Wärmeerfahrung – jeder Sinn vermittelt einen besonderen Weltbezug, und so, wie der Gesichtssinn durch seine “Eigenart”, die besondere Art von Verbundensein mit der Welt, die er konstituiert, seine eigenen Begriffsstrukturen fordert, fordert dies auch die Wärmeerfahrung. Daran seien hier die ersten Fragen gestellt.

## Wärme *versus* gefühlte Wärme

Die Sache scheint klar: Ob Wasser in einem Topf kalt, warm oder heiss ist, lässt sich durch Hineinfassen mit der Hand (oder evtl. auch ein Darüber-Halten derselben) feststellen. Das, was mit der *Temperatur* des Wassers angesprochen wird, das Warm-Sein, lässt sich so mit gewissen Einschränkungen sinnlich feststellen. Schütten wir ähnlich grosse Mengen kalten und heissen Wassers zusammen, erhalten wir warmes Wasser, einen *Ausgleich* der polaren Qualitäten heiss und kalt, so dass ein quantitativer Aspekt, ein Soundsoviel des Warm-Seins sich als Vorstellung anbietet. Die extensive Grösse “Wärme” ist dabei allerdings hochgradig flüchtig, sie lässt sich nur durch konsequentes Abschotten der Wärmeprobe, also des *warmen Stoffs*, von allen Umwelteinflüssen bewahren.

Der extensive Charakter des Warm-Seins rückt die Wärme selbst in die Nähe des Stoffhaften. Gegenüber Mischversuchen ist die Vorstellung eines Wärme-Fluidums eigentlich recht natürlich: Stoff erscheint wie durchsetzt von einer feinstofflicheren Qualität, die in der Materie in unterschiedlichem Mass bewahrt ist (“Wärmekapazität”),

innerhalb derselben diffundiert (“Wärmeleitung”) und die bestimmten Erhaltungsgesetzen genügt. Der Begriff “Dissipation” (Zerstreuung) gehört ebenso in diesen physikalischen Begriffskosmos wie etwa die Alltagsbegriffe “Wärmeverlust” oder “Wärmequelle”. Temperatur erscheint als eine Art Anzeiger für den Gehalt an Wärme in einem bestimmten Materie-Körper (der auch eine bestimmte Menge Flüssigkeit oder Gas sein kann), eventuelle Komplikationen werden als funktionale Abhängigkeit der Materialgrößen von der Temperatur behandelt. Diese Sicht der Wärme korrespondiert innerhalb des Vorstellungsgefüges der Physik mit einer ebenfalls im Wesentlichen stoffhaft-extensiven Energie [4].

An dieser Stelle ist man allerdings schon in eine gewisse Opposition zur Wärmelerfahrung selbst geraten. Fast eindrucksvoller, sprich: irritierender noch als der bereits im Wärmekurs geschilderte Drei-Eimer-Versuch<sup>1</sup> ist es, Zeigefinger der einen Hand und dagegen die ganze andere Hand in Gefässe mit recht heissem Wasser derselben Temperatur zu halten: der einzelne Zeigefinger hat es so deutlich kühler, dass man versucht ist, den Thermometern nicht zu glauben. . . Dergleichen lässt sich beliebig ausbauen, vgl. [5]. Damit stehen Abstriche an zu naiven Identifikationen an – etwa der von gefühlter Wärme und Temperatur, oder dem Ausgleich von Wärmemengen und Temperaturzuständen (vgl. auch [6]). Doch die Konzeption einer irgendwie stoffartig-extensiv-äusserlichen Wärme bildet weiter den Rahmen für solche Erwägungen: Wärme ist selbstverständlich “etwas, *das da ist*”. Was wäre aber, wenn uns gefühlte Wärme gar nicht auf Wärme “draussen”, also etwa irgendwelche Temperaturzustände, verweist?

## Wärmewesen Mensch

In unseren Breiten sind wir die meiste Zeit des Jahres mehr oder weniger latent damit beschäftigt, unsere Kleidung den jeweiligen Gegebenheiten draussen und drinnen anzupassen: Jetzt im Frühjahr herrschen am Morgen nach der sternklaren Nacht draussen Temperaturen um den Gefrierpunkt; wir bewegen uns im morgenkühlen Haus mit Pullover oder einer leichten Jacke, draussen mit dickerer Jacke, Schal und Mütze. Wenn der Tag sonnig ist, sieht einen der Mittag vielleicht mit Mütze, aber ohne Jacke und Schal draussen herumgehen, im sonnigen Zimmer steht dann sogar schon das Fenster offen, weil man sonst dort schwitzen müsste. Gegen Abend ist es im Schatten dann schnell wieder kühl, so dass auch die Jacke wieder zum Einsatz kommt. Für den Aufenthalt draussen ist dabei entscheidend, womit wir beschäftigt sind: je mehr wir uns bewegen, desto sommerlicher wird die Kleidung sein, etwa beim Sport oder beim Holzhacken – auch wenn es temperaturmässig kalt ist. Wind, Sonne, Nässegrad der Kleidung verändern jeweils die Situation.

Daneben gibt es eine Art jahreszeitliche Gewöhnung an die eben so herrschenden

---

<sup>1</sup>Man hat drei Gefässe, mit kaltem (A), lauwarmen (B) und recht warmen Wasser (C). Hält man die Hände eine Weile in Gefässe A und C und dann zusammen in B, vermittelt die A-Hand, das lauwarmer Wasser sei heiss, die C-Hand, dasselbe Wasser sei eiskalt.

Umgebungsverhältnisse in Sachen Wärme, was uns besonders in den Übergangsjahreszeiten zu Bewusstsein kommt. Der ruhende Mensch ist allerdings immer ein wenig "schutzbedürftig", was die Wärme angeht. Bei Thomas Mann ist der Neuankömmling auf dem Zauberberg ein wenig irritiert darüber, dass der bereits eingewöhnte Vetter der alpinen Kühle nur mit einem Pullover begegnet ("Uns friert nicht!"). Für das obligatorische Ruhestündchen auf dem Balkon wickelt man sich aber dennoch fachmännisch, ja rituell in die bereitliegenden Wolldecken... Während fiebrige Zustände einen eher unabhängiger vom Raumklima machen, wird beginnendes Fieber oft von Kälteempfindung begleitet. So scheint diese (Un-)Abhängigkeit von der messbaren Temperatur eher ein Maß für Aktivität und Nicht-Aktivität, sei es in äusserem Sich-Bewegen, sei es was Lebensvorgänge angeht.

Geht man vor diesem Hintergrund noch einmal zum Drei-Eimer-Versuch, lässt sich die dabei zu machende Erfahrung eindeutig lesen: was wir spüren ist nicht die Temperatur, sondern wir spüren, ob wir gewärmt werden (so ist es für die A-Hand, vgl. oben) oder, im Gegenteil, gekühlt (so ist es für die C-Hand). Und auch die geschilderte Abhängigkeit von der Grösse der Berührfläche fügt sich da ein: der eingetauchte Finger stört unseren "Wärmeorganismus" bei sonst gleichen Modalitäten eben weniger als es die ganze Hand tut. Umgekehrt verweisen verschiedene Wärmeerfahrung (in gewissem Rahmen) dann auf verschiedene Temperaturen von Elementen der Umgebung, wenn die Modalitäten sonst gleich sind, also Berührungsstelle und -fläche, Vorgeschichte, Verfassung usw.; der Wärmesinn teilt uns nicht mit, wie warm es draussen ist, sondern wie unsere Organisation damit, wie es draussen ist, gerade zurechtkommt! So ist es nicht ein Temperaturhaftes "warm" ("kühl"), das wir sinnlich spüren, sondern ein "erwärmend" ("kühlend") – aber dabei ist die Erfahrung so sicher und unbestreitbar wie bei jedem anderen Sinn. Indem wir in diesem Sinne Wärmezustände verschiedener Körperorte unterscheiden, wird auch der eigene Leib eher zum Objekt.

## **Szenen aus der Wärmewelt**

Wärmeerfahrung verweist uns auf die Affektionen unserer Wärmeorganisation durch unsere Umgebung und "geht uns darum nahe", insbesondere, wenn nicht Gekühlt-Werden, sondern Überhitzung droht. Sie ist insofern eine Verwandte der unteren Sinne, vor allem des Lebenssinns. Andererseits: Ob die Tischplatte aus Kunststoff oder lackiertem Metall bzw. Stein ist, lässt sich entscheiden, wenn wir die Hand darauf ruhen lassen: letztere Materialien fühlen sich bei Raumtemperatur über den ersten Berührungsmoment hinaus deutlich kühler an als Plastik. Wärmeerfahrung kann also durchaus auch Auskunft über Qualitäten geben, die die berührte Stofflichkeit betreffen. Unter diesem Gesichtspunkt reiht Steiner den Wärmesinn im 2. Kapitel des "Fragment" [7] zwischen Gesichtssinn und Gehörsinn ein<sup>2</sup> (so wie man im unseren Beispiel auch noch einmal an die Platte klopfen könnte und dann wüsste, ob man es mit Metall oder Stein

---

<sup>2</sup>Im 6. Kapitel wird dann auch die Nähe der Wärmeerfahrung zum entsprechenden Lebensprozess geschildert.



zu tun hat). Wärmeerfahrung stellt uns in die Welt, obwohl ihr “Thema” die eigene Befindlichkeit ist.

Steigen wir bei einigermassen gutem Wetter auf einen höheren Berg, wird normalerweise, trotz der uns umgebenden Kühle (oder gar Kälte) und trotzdem wir Anorak und Faserpelz inzwischen ausgezogen haben, Schweiss fliessen. . . Für die Gipfelrast wird man dann dankbar in ein trockenes Hemd schlüpfen (die nasse Kleidung wird nun als *unangenehm* kühl erlebt) und sich ein eher windgeschütztes Flecklein suchen. Scheint nun die Sonne, sollte es sich ganz gut aushalten lassen: zwar sind die Temperaturen der Umgebung niedrig (auch zum Sitzen legt man sich etwas unter), doch wir werden *gewärmt*! Die analoge Situation am Abend oder in der Nacht kann allerdings lebensgefährlich, oder wenigstens gesundheitsschädlich sein. Der Wanderer wird sich nicht nur vor Wind zu schützen suchen, sondern auch den offenen Himmel meiden und sich möglichst in allerlei zusätzliche (Schlaf-, Biwak-) Säcke und Schichten hüllen. Diese spenden zwar nicht selbst Wärme, erwärmen sich aber durch uns und bilden dadurch ein freundlicheres Milieu – wir suchen gleichsam Unterstützung in der Umgebung für das Halten der Eigenwärme.

Anders ist es, wenn man ein Feuer entfachen und unterhalten kann: nun übernimmt das brennende Holz die Rolle des wärmenden Gestirns. Damit es brennt, braucht es nicht nur geeignetes Material und Luft, sondern der Vorgang erfordert selbst eine gewisse Hitze, umso mehr, je grösser (oder feuchter) das Brennmaterial ist; nach einer Anfangsphase mit dünnem Holz wird ein gut unterhaltenes Feuer aus einem Glutbett bestehen, auf dem frisches Brennmaterial immer wieder zusammengeschieben und aufgehäuft wird. Während das eigentliche Feuer, die Flamme, im Zentrum brennt und Frischluft zieht, ist es die (ständig entstehende) Glut, die die Umstehenden wärmt oder Fleisch brät – und auch das frische Holz röstet, das dadurch zum Brennen kommt.

## **Grundfiguren des Wärmegeschehens**

Im Feuervorgang und in dem Menschen, der ihn unterhält, spielen sich Vorgänge ab, die auf eine gewisse “Wärmeumgebung” angewiesen sind und sich ihrerseits als erwärmend mitteilen. Letzteres spielt nicht nur beim Feuer eine Rolle, sondern auch für Räume, in denen viele Menschen zusammenkommen, oder auch schon bei der Wahl der Zudecke für einen Schläfer. Insofern wärmt nicht nur das Lagerfeuer den Wanderer, sondern auch ein klein wenig der Wanderer das Feuer – die “Vorgangskomplexe” Feuer und Mensch sind füreinander jeweils Teil der Wärmeumgebung. Diese Grundfigur tritt überall auf, wo wir von “Wärme” sprechen: es geht um Beziehungen, um Relationen zwischen Vorgängen, die sich gegenseitig beeinflussen. Schauen wir das genauer an:

- Während der Charakter der Vorgänge im Menschen (und in anderen Lebewesen) eher der ist, äussere Änderungen auszugleichen (das Achten auf Kleidung etc. erscheint insofern als eine veräusserte Fortsetzung der entsprechenden physiologischen Reaktionen), ist der Brennvorgang im Prinzip bis zum explosionsartigen

Charakter steigerbar und nur durch die nötige, im Vorgang selbst stattfindende Erschliessung der (oder: das Sich-Einstellen von) Brennbedingungen gehindert (und ist insofern “änderungssteigernd”). Die blosse Erwärmung, das Schmelzen, Verkochen oder Vergasen von Substanzen zeigt ein eigenes Gesicht: verschiedene Grade von *Widerstände* gegen ein passives Sich-Erwärmen; zugehörige physikalische Grössen, etwa “Wärmekapazität” und die “latenten Wärmen” bei Phasenübergängen, bezeichnen, dass etwa ein Warmes ein Kaltes nicht erwärmen kann, ohne selbst dabei abzukühlen, sprich: seine Erwärmungsfähigkeit abzuschwächen.<sup>3</sup>

- Die Wärmeerfahrung ist *asymmetrisch* bezüglich kalt und warm und begründet dadurch eine Skala für die Frage “Wie warm ist es?": “zu kalt” wird anders erlebt als “zu warm”<sup>4</sup> – mit ersterem kommt unsere Organisation offenbar weit besser zu recht als mit letzterem. Aber nicht nur die Leibeserfahrung begründet eine Skala dafür, “Wie warm”, also “wie wärmend” resp. “kühlend” es ist, vielfältigste Weltvorgänge haben ihre charakteristischen Wärmebedingungen: um ein Stück Fleisch längere Zeit vor dem Verderben zu bewahren braucht es ein Tiefkühltruhe, Joghurt hält sich einige Zeit schon im Kühlschrank, wir sprechen von “Zimmertemperatur” als dem Milieu, in dem wir uns normal gekleidet gerne bewegen, finden warmes Essen zu kalt, zu heiss oder eben genau richtig (und genau dann erfreulich), unterziehen Lebensmittel Wärmebehandlungen, um sie haltbar zu machen, wobei es auf Mindesttemperaturen ankommt; steigert sich die “Wärmeintensität”, so schmilzt Plastik, lässt sich Papier oder ein Holzspan anzünden, kommen Gegenstände ins Glühen, schmelzen Metalle,... Gewöhnliche Thermometer bilden offenbar eine Art Spezialisierung dieser allgemeinen Situation.

Was wir soweit geschildert haben ist eine Art Hierarchie von Wirkensmächtigkeit in Wärmevorgängen der Wärmewelt, und das Ausgreifen der Wärmevorgänge in ihre räumliche Umgebung<sup>5</sup>, dass nämlich Lebens-, chemische und im obigen Sinne physikalische Vorgänge in der Welt auf Bedingungen angewiesen sind, die sie auf andere solche Vorgänge beziehen – so wie sich brennender Scheit und Glutbett gegenseitig bedingen. “Wärme” *lässt sich in diesem Kontext ansprechen als der gegenseitig umgebungsbildende Zusammenhang von Vorgängen.*

---

<sup>3</sup>Vereinfachend liesse sich vielleicht so einteilen: typische Lebensvorgänge mit einem dynamischen Gleichgewicht zwischen Lebewesen und Wärmeumgebung, unter Einbeziehung von Verhaltensweisen und Hilfsmitteln; von selbst ablaufende chemische Prozesse, sich dabei selbst verzehrend; Affektionen physikalischer Zustände, das Prozesshafte ist reduziert auf das Da-Sein des stofflichen Systems.

<sup>4</sup>Wenn die Umgebung gefährlich kalt oder heiss ist, näherten sich die Erfahrungsqualitäten wieder an.

<sup>5</sup>“Raum” muss hier durchaus nicht als dreidimensionales Gefäss verstanden werden, sondern konstituiert sich ganz unmittelbar (im Sinne von [8]) durch die Elementarrelation des “Nebeneinander”.

## Stufen physikalischer Begriffsbildung

Die Verallgemeinerung der verschiedenen Qualitäten und Grade von “wärmend” und “kühlend” von der Wärmeerfahrung auf organische, chemische und physikalische Vorgänge führt uns dazu, der Sache nach von einer “Intensität der Wärme” zu sprechen. Die Struktur von Aussagen in diesem Kontext wäre in etwa so: “hier herrscht Tiefkühl-Intensität, das heisst, Lebensvorgänge sind praktisch zum Erliegen gekommen”, oder: “Hier herrscht Siede-Intensität, das heisst, Wasser verdampft merklich und Eier sind nach einigen Minuten gar gekocht”. Die Ausgangsfrage hier ist gleichsam “Wie warm ist es?”; der nächste Abstraktionsschritt beim Beantworten dieser Frage vereinheitlicht dieses Konzept auf ein (typischerweise physikalisches) Referenzsystem, das nun sogar mit einer quantitativen Skala versehen werden kann: wir sprechen von *Temperatur*.

Physikalische Vorgänge aller Art zeigen die anfangs geschilderte charakteristische Widerständigkeit gegen Änderungen ihres Temperaturzustandes. F. W. Dustmann hat in [1] sehr schön dargestellt, wie eine saubere operationelle Durcharbeitung dieses Themas stoffspezifische Kenngrößen (“Wärmekapazitäten” usw.) und daneben eine Erhaltungsgrösse, gleichsam die physikalische Wärme liefert. Dies ist das Reich der Kalorik; Referenzsystem war lange aus praktischen Gründen Wasser, was sich auch in der Masseinheit niederschlug. Indem *Energie* immer weniger operationell – und stattdessen immer formaler – aufgefasst wird, ist die Kompatibilität zu anderen “Geschehenssystemen” wie Mechanik oder Elektromagnetismus Motiv dafür, auf eine gemeinsame Masseinheit überzugehen. Die Ausgangsfrage ist hier so etwas wie “Wieviel von diesem Stoff da kann ich durch diesen Prozess erwärmen?”. Tabellenwerte mit der Einheit *Joule* geben Antwort. Dass es in diesem Gebiet erhaltene Rechengrößen gibt, erscheint als Ausdruck davon, dass die physikalischen Wärmevorgänge den angedeuteten passiv-widerständigen Charakter haben – auf diesem Wege kommt nichts “Neues” in die Welt, sondern es vollziehen sich Ausgleichsvorgänge...

Koppeln wir Wärmevorgänge an mechanisches Geschehen – typischerweise Volumen- oder Druckänderungen von Gasen – werden die Vorgänge nicht mehr durch nur energetische Gesichtspunkte verständlich: die physikalische Wärme ist normalerweise nicht mehr erhalten, allerdings kann die *Wärme pro Temperatur* erhalten sein (oder doch wenigstens nicht abnehmen). Letzteres ist gewissermassen die “Alltagssituation”, die immer dann der Fall ist, wenn Stoff- oder Erwärmungsaustausch mit der Umgebung eintritt. Die Vorgänge haben dann insgesamt eine Richtung, sowohl zeitlich, als auch auf einer Art Wertigkeitsskala mit dem Kriterium “wie nützlich sind die Ergebnisse des Prozesses?” (hier liegt eine Nähe zur Chemie). Urbildhaft liegt diese Situation in der Spannung zwischen wärmendem Sonnenschein und kühlendem Nachthimmel, in den sich unsere Welt als eine Art “rhythmische Kaskade von Vorgängen” einfügt. Die Wärmewelt in ihrer vollen Fülle ist dabei ein hochgradig rückgekoppeltes System; das Hinwegsehen über den Zusammenhangscharakter dieser Welt ist, was den Klimawandel zu dem Thema gemacht hat, das es heute ist. Umgekehrt ist Klimamodellierung umso realistischer, je feinmaschiger und komplexer die Wechselwirkungen der “Weltbestandteile” und -vorgänge berücksichtigt werden.

Physikalische Begriffe entstehen so gesehen durch Reduktion von Gesichtspunkten. Die Wärmewelt besteht aus einer unübersehbaren Vielzahl von miteinander wechselwirkenden Austausch-, Abkühlungs- oder Erwärmungs- und Umwandlungsvorgängen incl. Sonne und Sternenhimmel. Vereinfachung solcher Wechselwirkungen führt zum Konzept des *offenen Systems*, das an (*Wärme-*)*Bäder* gekoppelt vorgestellt wird. Unter bestimmten Gesichtspunkten mag sich ein Geschehen sogar als *abgeschlossen* betrachten lassen; es kann dann Sinn machen, interne und externe Austauschvorgänge getrennt zu bilanzieren – sofern man dabei auf Erwärmung und Abkühlung schaut, kommt dabei der ganze Konzept-Kanon rund um *Reversibilität* und *Entropie* ins Spiel. Bei Versuchen wie der reversiblen Expansion von Gasen o. ä. ist “Wärme” noch ein Stück weit emanzipiert von messbaren Temperaturen im Gas (als extensiv bzw. als Erhaltungsgröße benimmt sich eher so etwas wie  $Q/T$ , vgl. auch adiabatische Vorgänge). Verzichtet man zudem auf nicht-thermische Interaktionen, bewegt man sich in der *Kalorimetrie* (“ $Q \propto mT$ ”). Verzichtet man sogar noch auf den Gesichtspunkt des Warm-Seins *von etwas*, ist Wärme auf *Temperatur* reduziert – Wärme ist dann auch nicht mehr Eigenschaft von etwas Stofflichem, sondern selbst “etwas” geworden.

## Wärme zwischen Extensivität und Intensivität

Die aktuellen Versuche zur Kondensation von Bosonen (und neuerdings Fermionen) in gemeinsame Grundzustände brauchen niedrigste Temperaturen innerhalb der zu präparierenden Gas-Körper. Es ist klar, dass bei solchen Sätzen die oben gemachten Abstraktionen mitschwingen: es hat keinen Sinn, einem Dutzend Alkali-Atomen eine messbare Temperatur zuzuschreiben, wenn man Wärme an Thermometerständen messen will. Was die Forscher meinen, ist eine Verringerung bzw. Abstimmung des äusserlich beobachtbaren Gewimmels von “Gasatomen”. Die Brownsche Bewegung ist dabei aber nicht nur (evtl. wärme-korrelierte) Beobachtung an stofflichen Systemen, sondern im Projekt “kinetische Gastheorie” wird ja der Versuch gemacht, thermische Eigenschaften von makroskopischen Stoffsystemen als mechanische Wirkung solcher mikroskopischen Bewegungen zu deuten. In der Formel “Wärme=Bewegung” liegt dabei eine feine Implikation: die *sekundäre Qualität* Wärme soll auf *primäre Qualitäten* zurückgeführt werden (sie wird äusserliches Geschehen im äusserlich aufzufassendem Raum – und erst dadurch zum wissenschaftlichen Gegenstand).

Mit der Wärmeerfahrung als Ausgangspunkt liegt die Sache anders: diese ist durchaus primär, weil (oder im Sinne von) existentiell, und verweist uns auf unseren Zusammenhang mit einer Wärmeumgebung, die unter diesem Gesichtspunkt von derselben Art ist wie unsere “Wärmeorganisation”. In uns und in den Prozessen der Wärmeumgebung “herrscht” gleichsam Wärme, im Zusammenhängen der Vorgänge miteinander “wirkt” sie. Im Herrschen von Wärme liegt ein intensiver und völlig unräumlicher Charakter dieses Weltbereiches, im Wirken wird Wärme extensiv, sie greift in den Raum hinaus (die Temperatur ist die jeweilige Wirkensmächtigkeit). Die Kinetische Deutung der Wärme verfehlt ebenso wie die Anbindung von Wärme an die Thermometer, dass typisch Wärme nicht die extensive Wirkungsseite ist, sondern gerade das

Aufgespanntsein und Sich-Ausleben zwischen den Polen Extensivität und Intensivität. Die ganze uns umgebende Welt – der Himmel, die Atmosphäre, die uns umgebenden Dinge bis hin zu unserer Kleidung – ist unsere Wärmeumgebung und damit auch Wärmewelt. Die Stofflichkeit der Welt trägt dabei die jeweils aktuelle Wärmeintensität als Bedingung ihrer Prozesse, ja kann sogar – als metamorphes Gestein, Jahresring eines Baumes usw. – Spuren der speziellen “Wärmebiographie” bewahren. Der Ausblick von diesem Gesichtspunkt zeigt Wärme als konkrete, aber nicht nur “bloss-physikalisch”, sondern auch “atmosphärisch” aufzufassende Daseinsbedingung unserer Selbst. . .

Wir sind als Erkenntnissuchende in der Situation, Wärme aus einem unwillkürlich nahem Verhältnis zur Raumes- und Stoffwelt heraus verstehen zu wollen. Während die einzelnen Konzepte im Umfeld der Wärmelehre durchaus sachgemäss sein mögen, braucht es eine Verschiebung des *Deutungsrahmens*, um der metaphysischen Vorstellung von “Wärme als etwas” zu entgehen. Die oben gemachte Beschreibung von Wärme als Prozesszusammenhang verbindet das Erfahrbare mit der Physik; sie möge nicht als schiere Definition gelesen werden, sondern als Schlüssel für eigene Begriffsbildung: behauptet, aber nicht durchgeführt seien hier in diesem Sinne sinnvolle Lesarten etwa für die Diskussion um das Aus-dem-Raum-heraus-Fallen der Temperatur oder von Phasenübergängen im dritten Vortrag, die Schilderungen über das Menschenwesen im Spannungsfeld von Vorstellen und Wille in der “Regenbogenmeditation” (4. Vortrag) oder im 10. Vortrag. Der Zusammenhangscharakter der Wärme ordnet sich zwanglos als “Bild des Lichtes” (vgl. 6. Vortrag) innerhalb des “Spektrums der Natur” (13. und 14. Vortrag) ein. Auch konventionelle Termini lassen sich so ansprechen: “adiabatisch” heisst, dass das Wirken in der Umgebung vermieden wird, “reversibel” gestaltet sich Wirkung so, dass eine Beschreibung gleichsam “punkt-mechanisch” möglich ist usw. Das “Ausbummeln” des Weltenprozesses ist eine Vorstellung, die innerhalb des beschränkten Blickwinkels auf thermisch-mechanischen Austausch gebildet wird. Schon die Wärmeerfahrung verweist allerdings auf eine kosmisch-kosmologische Dimension des Themas.

## Literatur

- [1] Friedrich Wilhelm Dustmann. Zur Phänomenologie der Wärme. *Elemente der Naturwissenschaft*, **69**: S. 45–60, 1998.
- [2] Martin Basfeld. *Wärme: Ur-Materie und Ich-Leib*. Verlag Freies Geistesleben, Stuttgart, 1998.
- [3] Wilfried Sommer. Bewegung in ihrem Bezug zu den Elementen. *Elemente der Naturwissenschaft*, **76**: S. 51–60, 2002.
- [4] Florian Theilmann. Energie und ihr Umfeld, unmetaphysisch bedacht. *Erziehungskunst*, 11: S. 1205–1216, November 2002.

- [5] Martin Basfeld. Phänomen – Element – Atmosphäre. Zur Phänomenologie der Wärme. In Gernot Böhme, Hrsg., *Phänomenologie der Natur*, S. 190–222. Suhrkamp Verlag, Frankfurt a. M., 1997.
- [6] James Gorman. Beyond Brrr: The elusive Science of Cold. New York Times (10.2.2004), Science Desk.
- [7] Rudolf Steiner. *Anthroposophie – Ein Fragment*. Rudolf Steiner Verlag, Dornach, 2002. GA 45.
- [8] Rudolf Steiner. *Der Goethesche Raumbegriff*, XVI.5. Rudolf Steiner Verlag, Dornach, 1995. GA 1.

# Rudolf Steiners Bemerkung zur Wandlung von Wärme in kinetische Energie im Kontext der historischen philosophischen Trennung von Substanz und Energie bei Robert Julius Mayer

VON JOACHIM F. HERBST

Auszüge aus dem 4. Vortrag des 2. naturwissenschaftlichen Kurses von R. Steiner (März 1920) werden vorgestellt und in Zusammenhang mit der historischen philosophischen Trennung von Substanz und Energie bei R. J. Mayer (geschrieben ca. 1841-1851) gebracht. Die dimensionale Überlegung und die Frage der "Wandlung" von Stoff und Energie wird in Bezug auf moderne Weltbilder von Wärme und Energie diskutiert. Leitfaden der Überlegung ist, dass das einfache, populär hauptsächlich durch Einsteins " $E = mc^2$ " bekannte Konzept der Stoff- Energie- Wandlung als Bild für spirituelle Zustände oder seelische Vorgänge (z. B. "E = Jenseits") für den tiefen Kontext einer anthroposophischen Betrachtung oder einer allgemein etwas tiefer spirituellen Überlegung versagen muss: Je nach Entscheidung ist entweder Energie auch die Energie eines Stoffes – und damit nicht frei – oder alles ist Energie, dann aber der Stoff auch (z. B. konstante Veränderung der Energie synonym der "Festgehaltenen Prozesse" bei Rudolf Steiner).

## **Der 4. Vortrag des 2. naturwissenschaftlichen Kurses von R. Steiner**

Der 4. Vortrag des 2. naturwissenschaftlichen Kurses gliedert sich in 3 Hauptteile, von denen

1. der erste eine Demonstration und Herleitung der Volumen-Druck-Gesetze in Gasen (Boyle-Mariotte) ist,
2. der zweite vor dem Hintergrund der technischen Anwendung des Gesetzes in Wärme - Kraftmaschinen eine Diskussion der Wandlung von Wärme in Arbeit (kinetische Energie) ist, die uns interessiert, und
3. der dritte ist unter Bezugnahme auf seelische Analogien eine Debatte der Sinne zum Thema, die im Folgenden parallel diskutiert wird.

## **Die historisch philosophische Trennung des Energiebegriffes vom Stoffbegriff bei R. J. Mayer**

Peter Buck hat in einem Beitrag auf der Januartagung der Physiker in Dornach 2004 aus dem Inhalt der vom ihm herausgegebenen Bücher [1] unter Beibringung einiger Kopien vorgetragen. Daraus möchte ich die vorgetragene historisch philosophische

Trennung des Energiebegriffes vom Stoffbegriff bei R. J. Mayer an 2 Zitaten wiedergeben.

Zunächst geht R. J. Mayer auf die Findung einer einheitlichen Grundursache aller Erscheinungen aus

”Es gibt in Wahrheit nur eine einzige Kraft. Im ewigen Wechsel kreist dieselbe in der toten wie in der lebenden Natur. Dort und hier kein Vorgang ohne Formveränderung der Kraft! . . .

Die Wärme ist eine Kraft; sie lässt sich in mechanischen Effekt verwandeln. (Wenn hier eine Verwandlung der Wärme in mechanischen Effekt statuiert wird, soll damit nur eine Thatsache angesprochen werden, die Verwandlung aber keinesfalls erklärt werden. [. . .] Die echte Wissenschaft begnügt sich mit positiver Erkenntnis und überlässt es willig dem Poeten und Naturphilosophen, die Auflösung ewiger Rätsel mit Hilfe der Phantasie zu versuchen).”

Anders also als die populistischen Nachfolger, die speziell im 20. Jahrhundert aufbauend auf das einsteinsche Masse-Energie-Äquivalent  $E = mc^2$ , das die Wandlung von Masse in Licht beschreibt, das komplette Mysterium predigen, hinterlässt R. J. Mayer noch eine differenzierte Diskussion seines Äquivalentes mit einer offenen Deutung der Wandlung, die sogar naturphilosophisch durchgeführt werden dürfte – (Die modernen endlosen Involvierungen spiritueller Debatten mit der vulgären Identifikation Energie = Geist, Geist = Materie und ” $E = mc^2$ ” = Materie ist Geist und Geist ist Materie, Geist wird in Materie verwandelt, etc. . . . für die Wandlung Masse in Licht sind ja hinlänglich bekannt und werden in den Quantenphilosophien zum Exzess getrieben, s. u.). Daher ein Exkurs zu den Göttern, die bis zum Ende das Thema begleiten werden:

## **Die Götter und die Imponderabilien**

Diese spirituelle Implikation des Problems war gerade im 20. Jahrhundert stark in der Diskussion und R. J. Mayer schreibt:

”Während wir der Bewegung das Recht zu sein, die Substantialität, *alta voce*, vindizieren, müssen wir der Wärme und der Elektrizität eine Materialität unbedingt absprechen. Sprechen wir es aus, die große Wahrheit: Es gibt keine immateriellen Materien! Wir fühlen, . . . dass wir mit den Imponderabilien die letzten Reste der Götter Griechenlands aus der Naturlehre bannen wollen, aber wir wissen auch, dass die Natur in ihrer einfachen Wahrheit größer und herrlicher ist, als jedes Gebilde von Menschenhand und als alle Illusionen des geschaffenen Geistes.”

Hier muss zunächst geklärt werden, dass im Text



- Bewegung, ähnlich dem ungeklärten Begriff Kraft, die moderne kinetische Energie mit der Materie meint.
- *”Alta voce”* mit hoher (erhabener) Stimme heißt.

R. J. Mayer geht hier den Weg, Wärme und Elektrizität statt zu unwägbaren (imponderablen = nicht - wiegbaren) Materien zu machen, also zu Massen, die nur nicht messbar sind, Wärme und Elektrizität zu den Göttern Griechenlands und damit in das Reich der geistigen Wesen und Gestalten zurückzuführen. – Ein ähnliches Problem haben wir in der modernen Philosophie in der Biologie, in der die eine Partei die Seele retten möchte, indem sie sie außerhalb der Atome definiert, und eine andere Partei die ganze Seele an der Materie und den Atomen festmacht. Wobei die Frage entsteht, ob eine Seele außer den Atomen oder das Sehen der Seele im Atom die größere Ehre ist.

Die Tradition geht hier einen merkwürdigen Weg: Obwohl nach offizieller Physik die Elektrizität und die Wärme wieder massiv sind (Masse der elektrischen Felder und somit auch der Wärme) und die Massen sogar durch Experimente gemessen wurden, sind Wärme und Elektrizität in der Vulgarphilosophie merkwürdig leer: Ähnlich der *”Action at a distance”* (Definition der Kraft bei Newton) ist ihr Zusammenhang zum Geistigen finsternisartig ungeklärt. Seit der Zeit Mayers sind also nicht nur die Götter verschwunden, die er wieder berufen wollte, sondern auch die imponderablen Massen sind, obwohl gemessen, noch schemenhafter geworden. (Der Weg *”massive Geister”* anzunehmen, was zu tun schon logisch die einzig *”wahre”* Alternative wäre, ist bis auf Ansätze in der Alchemie und im Neuplatonismus, wenig begangen worden (C. G. Jung spricht sich gemäßigt dafür aus in seinem Alchemie-Kommentar).)

## Der Kommentar R. Steiners

Schon Schelling erwähnt in seiner Philosophie der Offenbarung, dass wir das Geistige wieder in den Blick des Materiellen und das Materielle wieder in den Blick des Geistigen rücken müssen. Auch R. Steiner macht die Einheit von Geist und Materie mehrfach zum Thema seiner Vorträge und Sprüche . . .

*”Geist ist niemals ohne Materie, Materie niemals ohne Geist”* (Spruch der Lehrerkonferenz)

Ein kürzester Blick in das jenseitige Reich, wie es im Okkulten oder Hellsehenden studiert wird, zeigt, dass Platituden wie  $E = mc^2$  der Komplexität der Erscheinungen nicht gerecht werden. Das Seelische hat, mit und ohne Körper, Wärme, Kraft, Farben und Formen, es hat Bewusstsein und Willen, wie R. Steiner es vielfach beschreibt. Es wird in Logen und Einweihungen dieses auch von Physikern gelegentlich geistig erklimmt, ist aber bisher nicht in die wirkliche Physik eingearbeitet worden (Fortsetzung des Gedankens folgt im Resümee).

Was nun die Wandlung von Wärme in kinetische Energie betrifft, so diskutiert R. Steiner auf ca. 5 Seiten die philosophischen Probleme dieses Begriffes: Interessant ist, dass auf der Ebene R. J. Mayers, bei der Behauptung also:



Abbildung 1: Bild von gesehen von Erhard Bätzner gemalt von Franz Wenzel und beschrieben von G. Weigl in "Die entschleierte Aura" Aquamarin Verlag, ähnlich den Aurabüchern Leadbeaters, entstanden in den 1930er Jahren.

- "Erst war Wärme da und dann war Wärme weg und mechanisch Arbeit da" und
- "Der Vorgang ist ungeklärt",

gar kein philosophisches Problem entsteht. Erst die gekürzten Varianten späterer Zeit, die gewissermaßen die magische Wandlung von Wärme in kinetische Energie mit einem gewissen Wechsel der Seinsebene ähnlich  $E = mc^2$  propagieren, werfen philosophische Probleme auf.

R. Steiner erklärt auf Seite 64 ff. der GA 321, dass Wärme als eine Art höhere Dimension zu betrachten sei. Er weist auch ähnlich R. J. Mayer schon auf die spirituelle Dimension der Wärme hin, indem er zeigt, dass die Wärme schon als Ordinate im Koordinatensystem zu den 3 Raumdimensionen eine 4 Dimension bilden würde:

"Eine einfache Überlegung, die allerdings mit etwas subtilen Begriffen angestellt werden muss, zeigt Ihnen, dass es unmöglich ist, wenn wir die im Raum, also in der dritten Dimension, waltende Wärme betrachten, zu bleiben bei der dritten Dimension des Raumes. . . . Sehen sie, hier liegt ein sehr wichtiger Punkt, wo gewissermaßen schon innerhalb der unorganischen Naturerscheinungen, der physikalischen Erscheinungen, eine Art Rubikon zu einer höheren Weltanschauung durchschritten werden muss. . . . Und man muss schon sagen: Weil so wenig der Versuch gemacht wird, hier an diesen Punkten zu einer Klarheit zu kommen, deshalb herrscht auch diese Klarheit so wenig auf dem Gebiete unserer höheren Weltanschauung."

Und ich glaube sagen zu können, dass R. Steiner bei diesen Aussprüchen durchaus in einem Bewusstsein war, in der Wärme das Spirituelle ähnlich dem Bild oben zu denken wahrzunehmen und zu fühlen. Warme Luft war für ihn sicher kein  $O^2$ ,  $S^2$ , . . .

Daraus ließe sich mit etwas Toleranz folgern, dass die moderne Beschreibung: "*Wärme ist gefangene kinetische Energie mit potentieller Energie wie z.B. in chemischen Verbindungen oder elektrischen Felder gebunden (Es gibt natürlich auch Lichtwärme, Kernwärme, und Graviationswärme und eigentlich Wärmeerscheinungen zu allen Energieformen)*" an sich geteilt wird, wenn sie nicht den Geist verleugnet. Dass aber eben wegen der Leugnung der spirituellen Dimension die offizielle Anschauung doch total kritisiert wird.

"Daher hängt auch sehr viel daran, dass wir in der Physik solche Verhältnisse bekommen, wie sie hier in diesen Betrachtungen werden versucht werden. Es würde sich sonst immer das herausstellen, dass auf der einen Seite versucht würde, in der populären Welt eine auf geistigen Grundlagen fußende Weltanschauung zu verbreiten, dass dann aber die Physiker geltend machen würden: Wir erklären alle Erscheinungen durch rein mechanische Vorgänge. - Das führt dazu, dass die Menschen dann sagen: Ja, im Raume sind überhaupt nur mechanische Vorgänge; Leben muss auch

ein mechanischer Vorgang sein, Seelenvorgänge müssen auch mechanische Vorgänge sein, Geistesvorgänge auch. Die strenge Wissenschaft will nichts wissen von irgendwelchen geistigen Grundlagen der Welt. Und die strenge Wissenschaft wirkt als eine besonders intensive Autorität aus dem Grunde, weil die Leute sie nicht kennen." (R. Steiner)

Im Zitat liegt eine gute allgemeine Kritik der nicht spirituellen Wissenschaft, die klar zu verstehen gibt, dass sich die Wissenschaft durch die "Ungeklärtheit" der Physik, ähnlich wie die katholische Kirche durch die Ungeklärtheit der populären geistigen Grundlage eben die Autorität ähnlich der katholischen Kirche verschafft (vorausgesetzt, dass sich "geistbildenden" und die "streng mechanischen" Kräfte der Gesellschaft in einer gewissen Allianz befinden). - Ein Vorschlag zur Einheit von Geist und Materie als Lösung dieser Trennung folgt im Resümee. - Danach wird im Vortrag die elektrische Erscheinung der Diskussion hinzugefügt und es folgt die Debatte der "Wärme - mechanische Energie - Wandlung", die in einer längeren Beschreibung einmündet, in der er die Wärme auf den Menschen bezieht und seelische Phänomene einschließt und die in einer hinreißenden Regenbogenallegorie endet.

## **Die Debatte an der Tagung**

Man könnte aus dem Gesamteindruck des Textes von R. Steiner schließen, dass er in einem Vergleich mit der Wärmeerzeugung beim Menschen sagen wollte, dass ähnlich wie der innere Wille (oder die innere Wärme) über die Zwischenstufe des Bewusstseins in äußere Elektrizität (entsprechend Wille) und die äußere Arbeit übergeht, die Wärmewandlung in kinetische Energie eben eine Wandlung in der Einheit ist und kein Wechsel der Seinsebene Materie in Geist mit "Wunder":

Wir haben diese Überlegungen an der Tagung aufgenommen und unter anderem am Beispiel der Wärmekraftmaschine festgestellt, dass ja eben nicht

1. am Anfang ein Kolben mit warmen Gas und

2. nachher eine kinetische Energie besteht,

sondern, dass

1. zunächst ein ruhender Kolben und Wärmeenergie und

2. später ein bewegter Kolben und kinetische Energie bestehen.

Nach modernen Begriffen hat sich die in der Wärme "gefangene" Bewegung/ Energie auf den Kolben ausgewirkt/ übertragen, es ist aber nie Energie von der Substanz getrennt worden, sondern immer in den Substanzen gewandert oder anders gesagt: Als Einheit betrachtet hat sich im Gesamtsystem eine Transformation vollzogen.

## Resümee

Nimmt man nun die Frage als geklärt an, dass sich in der Wärme nur das "Sein" evolviert, also Stoff (Substanz) und Energie sich nie trennen (es gibt keine "massefreien Energiepartikel" um meinen Freund W. Schlätz vom Lorber - Verlag zu zitieren), bleibt die Frage der Spiritualität:

Zusammenfassend versucht R. J. Mayer die Götter zu retten, indem er die Imponderabilien stürzt, was als gescheitert angesehen werden muss. Die moderne Physik ist zu diesem Thema nichtssagend, Rudolf Steiner und andere geben Hinweise, Brücken und Konstrukte zur Einheit.

Fragt man sich nun woher die landläufige Formulierung Energiewandlung = Vergeistigung oder der Begriff der substanzfreien Energie rühren, so zeigt sich, dass spirituelle Tatsachen hier verstümmelt ausgedrückt werden:

- Zum einen wirken auf in allen Maschinen Geister, was zumindest dem Seelischen/ dem Weltschmerz nach auch in einem Tagungsbeitrag wunderbar ausgedrückt wurde,
- zum anderen wird in der Maschinen aus Material, z., B. Kohle, etwas erzeugt, dass der Seele dienen kann, z.B. eine heiße Badewanne.

Die moderne Formulierung: "Aus Wärme wird kinetische Energie" deutet also diesen Materie- in Seelennutzen- Verwandlungsprozess an. (Nicht nur die Wandlung in kinetische Energie betreffend, wird natürlich Energie genau wie Schwingung für alles Jenseitige hergenommen). Insgesamt aber zeigt die Überlegung klar die Unhaltbarkeit der modernen Begriffe, die bis in das Standardmodell hinein benutzt werden, in denen obige Argumente, Wellenfunktionen und relativistische Energie mit dem " $E = mc^2$ " - Spott verkrüppelte Substitute für geistige Begriffe sind, denen wir eine farbenreiche, warme und umfassende Theorie der Spiritualität entgegenstellen sollten.

... Ob dabei die Materie - Physiker ko-abhängig mit den geistbildenden Kräften der Gesellschaft sind??? :-)

Solche Überlegungen müssen aphoristisch bleiben, schon wegen der Unklarheit der Begriffe (Materie, Atom, Seele, etc. ...), aber gerade so können sie oft anregender sein als in blockartiger Klarheit.

## Literatur

- [1] Peter Buck (Hrsg.): Robert Mayer – Dokumente zur Begriffsbildung des mechanischen Äquivalentes der Wärme (Bd. I), und Robert Mayer – Die universelle Anwendung des Prinzips vom Mechanischen Äquivalent der Wärme (Bd. 2). Franzbecker, Bad Salzdetfurth 1980.

## (Email-)Adressen der Autoren

**Friedhelm Dustmann:** DustmannFW@aol.com.

**Georg Maier** georg.maier@bluewin.ch

**Florian Theilmann:** florian.theilmann@goetheanum.ch

**Joachim Herbst** J-HERBST@t-online.de

