

physiker rundbrief

9 (2004)

Friedrich Wilhelm Dustmann

Knudsen-Effekt und chemische Wirkungen

Florian Theilmann

Was sind die ersten Schritte zum Verständnis
von Wärme?

Ingrid Hartmann

Betrachtungen zur Wärme und zur Entropie
ausgehend vom Wärmekurs

Editorial

Noch vor der Januartagung kann ein weiterer Physikerrundbrief erscheinen, der Ihnen drei Arbeiten aus der Auseinandersetzung mit dem Wärmekurs bringt. Friedrich Wilhelm Dustmann schildert uns einige neue Gedanken zu den Differentialgleichungen des 12. Vortrags, Ingrid Hartmann ihre Lesart des Wärmekurses hin auf ein methodisches Programm. In meinem Beitrag versuche ich, die *essentials* unserer letztlich sehr kleinen Arbeitszusammenkunft im Oktober zum Wärmebegriff wiederzugeben. Ich hoffe, Sie finden es ebenso lohnend wie ich, die drei Beiträge in ihren Anliegen und inhaltlich nebeneinander zu sehen!

Unsere Homepage, <http://www.forschungsinstitut.ch>, ist nun, in leicht veränderter Fassung, etabliert. Besonders nützlich ist die von Erwin Haas gewartete, durchsuch- und ausdrückbare Fassung der *Bibliographie Goetheanistische Naturwissenschaft* mit über 3000 Einträgen, die er uns zur Verfügung stellt. Wir sind bemüht, dieses Angebot weiter zu entwickeln und zu aktualisieren – nutzen sie dieses grossartige Werkzeug! Daneben gibt es ein wachsendes Angebot an Textdownloads, neu zum Thema “bildschaffende Methoden” und auch zu den unseligen “*chemtrails*”.

In eigener Sache zwei Hinweise: bitte beachten Sie als praktizierende Autoren die “Hinweise für Autoren”, die schildern, wie man mir die Herstellung des Rundbriefs erleichtern kann (<http://www.forschungsinstitut.ch/347.html> oder per mail/Post bei mir). Und ich darf Sie alle einladen, Exemplare unseres Jahresbericht für Ihre eigene Lektüre oder zur Weitergabe an Dritte anzufordern (über das Sekretariat der Sektion, Barbara Schmocker, fon/fax +41-(0)61-7064-210/-215)!

Zum Schluss erneut die Einladung oder Bitte (sofern Sie nicht ohnehin Kunde sind), ein Abonement oder Probehefte unserer Zeitschrift “Elemente der Naturwissenschaft” wohlwollend in Erwägung zu ziehen. Die Herstellung der Elemente ist stark defizitär und so bei der immer schwierigeren Finanzlage des Goetheanums (und damit der Sektion) im Moment ein Luxus mit ungewisser Zukunft. Dieses wichtige Organ der wissenschaftlichen Arbeit braucht darum dringend mehr Leser und vor allem auch Abonnenten – was sich ja auch lohnt: Gerade die letzten Hefte sind ausgesprochen vielseitig und interessant.

Herzlichen Gruss – auf Wiedersehen bei der kommenden Physikertagung

Ihr Florian Theilmann

Inhaltsverzeichnis

Editorial	2
F. W. Dustmann: Knudsen-Effekt und chemische Wirkungen	4
Die 2. Differenzialgleichung im 12. Vortrag des Wärmekurses	4
Der Knudsen-Effekt	5
Chemische Wirkungen	6
Thermodiffusion	7
F. Theilmann: Was sind die ersten Schritte zum Verständnis der Wärme?	9
Drei Hindernisse	9
Der Platz auf der Ofenbank	10
Welt ohne Gegenstände	11
Geben und Nehmen	12
Wieviele Dimensionen hat der Wärme-Raum?	13
I. Hartmann: Betrachtungen zur Wärme und zur Entropie ausgehend vom Wärmekurs	15
Einleitung	15
Zusammenfassungen der Vorträge	15
Aussagen der modernen physikalischen Forschung	25
Wahrscheinlichkeit und Entropie aus der Sicht der Thermodynamik irreversibler Prozesse	25
Die Entropie und der II. Hauptsatz der Thermodynamik	27
Entropieproduktion	28
Beispiel: Die Bénard - Zelle	29
Beispiel: Die Sonnenwirkung	29
Beispiel: Entropie und Information	30
Abschliessende Betrachtungen zu einer erweiterten Thermodynamik	31
Kontakt zu den Autoren	34

Physikerrundbrief 9
Copyright Naturwissenschaftliche Sektion
Dornach, November 2004
Redaktion und Herstellung: Florian Theilmann

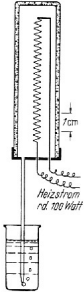
Knudsen-Effekt und chemische Wirkungen

VON FRIEDRICH WILHELM DUSTMANN

Die 2. Differenzialgleichung im 12. Vortrag des Wärmekurses

In diesem Aufsatz will ich versuchen einen nicht allzu bekannten physikalischen Effekt, der in den Bereich der so genannten Transportphänomene gehört, in Beziehung zu den chemischen Wirkungen zu setzen, von denen im 12. Vortrag des Wärmekurses im Zusammenhang mit der zweiten dort angegebenen Differenzialgleichung die Rede ist. Da sich die erste Differenzialgleichung auf die Wärmeleitung bezieht, wird durch den Kontext auf das hingewiesen, was man heute als Transportphänomene bezeichnet. Der Unterschied zwischen der ersten und der zweiten Gleichung besteht vom mathematischen Standpunkt aus betrachtet lediglich im Vorzeichen. Eine solche Vorzeichenumkehr bedeutet normalerweise, dass die zu beobachtende Wirkung in umgekehrter Richtung verläuft. Es gibt meines Erachtens keinen vernünftigen Grund dafür anzunehmen, dass dies hier anders gemeint ist. Während die Wärmewirkung vom Wärmeren zum Kälteren fortschreitet (im Sinne zunehmender Erwärmung), soll also die chemische Wirkung umgekehrt, d.h. vom Kälteren zum Wärmeren hin erfolgen. Natürlich könnte hier der erste Einspruch kommen: Es ist doch gar nicht sicher, dass du/dx der Temperaturgradient ist. Ich möchte darauf antworten: Es ist im Vortrag nirgendwo gesagt, dass er es nicht ist, und da er es noch wenige Sätze vorher war, gehe ich davon aus, dass er es auch in dieser Gleichung ist. Die Variable w , die auch in beiden Gleichungen vorkommt, bezieht sich in der zweiten Gleichung ausdrücklich auf etwas anderes, nämlich die chemische Wirkung, von der an keiner Stelle genau gesagt wird, worin sie besteht und wie man sie quantitativ erfassen kann. Was gemeint ist, muss sich aus dem Kontext des 12. Vortrags ergeben, und der liefert nur die Feststellung, dass sich die Wirkung in Richtung vom Kalten zum Warmen fortpflanzt und dass der Effekt in einem Wirkungsfeld beobachtbar ist, in dem Wärme und chemische Wirkungen *gemeinsam* auftreten. Wir müssen also nach Effekten suchen, die gerade dieses Verhalten zeigen. Im nächsten Abschnitt wird ein solcher Effekt vorgestellt, der zu Beginn des 20. Jahrhunderts von dem dänischen Physiker Martin Knudsen untersucht wurde.

Der Knudsen-Effekt



In einem porösen Tongefäß ist Luft eingeschlossen und wird von einer elektrischen Heizung mit einer Heizleistung zwischen 50 und 100 Watt erwärmt. An der Unterseite der Tonzelle wird eine Glasröhre nach außen geführt und taucht in ein Wassergefäß ein. Heizt man die Luft im Innern auf so, dehnt sie sich aus und entweicht durch das Glasrohr, was an den aufsteigenden Blasen zu erkennen ist. Das Überraschende ist nun, dass der Luftstrom zwar nach einiger Zeit schwächer wird, aber nie ganz aufhört, sondern in einen schwachen, gleich bleibenden Strom übergeht. Führt man das gleiche Experiment mit einem Glasgefäß durch, so hört der Luftstrom auf, sobald sich im Innern eine gleich bleibende Temperatur einstellt. Beim Tongefäß steigen aber auch bei konstanter innerer Temperatur immer noch Blasen auf. Was bedeutet das?

Offenbar tritt im Innern des Gefäßes, d. h. auf der warmen Seite, stetig neue Luft in Erscheinung, während im Außenraum, also im Kalten, das gleiche Quantum Luft verschwindet. Man könnte auch sagen, im Innern materialisiert sich Luft und im Äußeren entmaterialisiert sie sich. Natürlich sind hier die Begriffe „Materialisierung“ und „Entmaterialisierung“ anders gemeint als in modernen Science-Fiction-Romanen, wo Materie aus dem Nichts entsteht (oder vielleicht noch aus Energie). Materialisierung bedeutet hier, dass etwas als Materie (hier also als Luft) in Erscheinung tritt, und Entmaterialisierung, dass es als wahrnehmbares materielles Phänomen verschwindet. Man sollte prüfen, ob nicht genau dies gemeint ist, wenn Rudolf Steiner im Wärmekurs diese Bezeichnungen benutzt.

Gibt man der Luft nicht Gelegenheit zu entweichen, so stellt sich nach einiger Zeit ein stationärer Zustand ein, der dadurch gekennzeichnet ist, dass im Innern des Gefäßes eine größere Dichte herrscht, als wenn Innen und Außen durch ein Rohr mit großem Durchmesser (groß im Vergleich zur mittleren freien Weglänge) verbunden wären. Man stellt fest, dass

$$\frac{\rho_i}{\rho_a} = \sqrt{\frac{T_a}{T_i}}$$

ist. Sind Innen und Außen durch eine größere Öffnung verbunden, gilt bekanntlich

$$\frac{\rho'_i}{\rho_a} = \frac{T_a}{T_i}.$$

Also ist

$$\frac{\rho_i}{\rho'_i} = \sqrt{\frac{T_i}{T_a}} = \frac{p_i}{p_a}.$$

Man kann demnach auch sagen, dass im Innern der Druck höher ist als im Außenraum. In dieser Form (Druckerhöhung) wird der Knudsen-Effekt meistens vorgestellt. Dies ist für unsere Zwecke weniger interessant, da die Nähe zu den Differenzialgleichungen im 12. Vortrag nicht zu erkennen ist. Geeigneter ist der Aufbau, bei dem die Luft entweichen kann, da sie hier unmittelbar sichtbar wird und der Luftstrom (d.h.

dn/dt) gemessen werden kann. Mit dem hier beschriebenen einfachen Experiment kann man natürlich noch nicht die Gültigkeit der Differenzialgleichung demonstrieren. Dazu müsste man Gefäße mit unterschiedlichen Oberflächen und verschiedenen Wandstärken haben. Dies ist aber kein grundsätzlicher Einwand, denn der Nachweis wäre bei etwas größerem Einsatz wohl ohne weiteres zu leisten.

Chemische Wirkungen

Den Leser mag allmählich eine gewisse Skepsis ergriffen haben: Wieso soll denn ein einfacher Diffusionsvorgang, und um den handelt es sich ja wohl, als chemische Wirkung verstanden werden? Dies ist natürlich eine zentrale Frage, mit deren Beantwortung die hier vorgeschlagene Interpretation steht oder fällt. Betrachtet man den Vorgang unter dem Aspekt der modernen Mikrophysik, so erklärt man ihn dadurch, dass die Luftmoleküle durch die winzigen Kanäle des Tons hindurchdiffundieren und dieser Vorgang durch die Temperaturen gesteuert wird. Genauere Details findet man z. B. in Pohls „Einführung in die Physik“ [1]. Phänomenologisch betrachtet sind diese Luftmoleküle in den feinen Kanälen im Ton aber gar nicht als Luft greifbar. Vielmehr tritt diese erst im Innern des Gefäßes wieder als Objekt der Wahrnehmung in Erscheinung. Erscheinen und Verschwinden von Stoffen sind andererseits typisch chemische Wirkungen, die auch bei chemischen Reaktionen auftreten. Bei einer Knallgasreaktion verschwinden Wasserstoff und Sauerstoff und es erscheint Wasser. Tatsächlich beschreibt man in der modernen Thermodynamik das Erscheinen und Verschwinden von Stoffen mit Hilfe der Variablen *Stoffmenge* und *Stoffpotenzial* (bzw. *chemisches Potenzial*) unabhängig davon, ob es sich um chemische Reaktionen, Phasenübergänge zwischen verschiedenen Aggregatzuständen, Diffusionsvorgänge, optische Anregungen o. ä. handelt. Beim Verdampfen von Wasser verschwindet demnach eine bestimmte Stoffmenge der Flüssigkeit und es entsteht andererseits eine entsprechend große Stoffmenge Gas (Wasserdampf). Deshalb vertrete ich hier die Annahme, dass der Ausdruck „chemische Wirkung“ im Sinne des 12. Vortrages das Erscheinen und Verschwinden von Stoffen meint und zwar unabhängig davon welcher Vorgang im Sinne der Schulwissenschaft dafür verantwortlich gemacht wird. Ob diese Hypothese tragfähig ist, wird sich zeigen, wenn man damit arbeitet und stets prüft, ob man sich dabei in Widersprüche verwickelt.

Einen weiteren Anhaltspunkt bietet die Aussage, dass sich die chemischen Wirkungen im ultravioletten Teil des Spektrums zeigen. Im 14. Vortrag wird darauf noch einmal Bezug genommen, wobei sorgfältig zwischen chemischen Effekten (d.h. Wirkungen) und chemischen Vorgängen (d.h. Reaktionen) unterschieden wird. Bei den chemischen Effekten wirken offenbar nicht notwendigerweise verschiedene Stoffe aufeinander ein und wandeln sich dabei um, sondern etwas, was u. U. sogar außerhalb des Stofflichen steht (UV-Strahlung) wirkt auf Materie und bringt neue Stoffe zur Erscheinung. Damit soll nicht gesagt werden, dass die chemischen Effekte nicht auch bei chemischen Reaktionen wirksam werden, sondern nur, dass es sich um einen übergeordneten Begriff handelt, dass es sich nicht um etwas handelt, was nur in den Stoffen enthalten

ist, sondern diese auch von außen angreifen kann um einen Stoff zu erzeugen. Im Bereich der ultravioletten Strahlung findet dies im Kontext von **Stoffumwandlung** statt, d. h. bestimmte Stoffe verschwinden und andere entstehen, wobei aber insgesamt ein **Gesetz der Massenerhaltung** gilt. Geht man über den UV-Bereich hinaus zur γ -Strahlung, so kann auch Materieerzeugung auf einer intensiveren Ebene stattfinden, auf der die Massenerhaltung nicht mehr gilt.

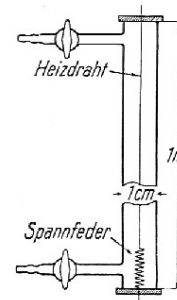
Thermodiffusion

Der Knudsen-Effekt betrifft eine Situation, in der nur eine Gassorte beteiligt ist, die durch eine poröse Trennwand in zwei Komponenten unterschiedlicher Temperatur aufgeteilt ist¹. Man kann den Effekt auch etwas abwandeln, indem man eine Gasmischung verwendet, die Tonwand fortlässt und in dem Gemisch einen Temperaturgradienten aufrecht erhält. Dies geschieht in dem Trennrohr nach Clusius, mit dem insbesondere auch Isotopengemische getrennt werden können.

Es zeigt sich, dass es in diesem Fall zu einer teilweisen Entmischung der Komponenten kommt. Die eine Sorte sammelt sich auf der heißeren Seite an, die andere auf der kälteren. Im senkrecht aufgestellten Trennrohr führt dies dann dazu, dass das kältere Gas auf der Außenseite durch Konvektion nach unten absinkt, während die heißere Komponente innen nach oben aufsteigt. Auf diese Weise reichert sich oben schließlich die eine Gaskomponente und unten die andere an. Man bezeichnet diesen Vorgang als Thermodiffusion (siehe Pohl [1]). Pohl gibt für die Thermodiffusion die folgende Differenzialgleichung an:

$$\frac{dn}{dt} = c q \frac{dT}{dx} \quad \text{mit} \quad c = \frac{\lambda p}{2T \sqrt{3mkT}},$$

wobei der Ausdruck für c durch eine m. E. etwas zu stark vereinfachte Ableitung aus der statistischen Mechanik gewonnen wird. Darin steht p für den Druck, T für die absolute Temperatur, λ für die mittlere freie Weglänge, m für die Molekülmasse und q für die Querschnittsfläche. Die eigentliche Differenzialgleichung ist genau von dem Typ, den Steiner im Wärmekurs angibt. Sie unterscheidet sich von der Wärmeleitungsgleichung durch das Vorzeichen. Zur Stofftrennung kommt es weil c von der Molekülmasse abhängt. Auf Grund der Thermodiffusion streben alle Stoffe zur wärmeren Seite hin. Nun überlagert sich diesem Vorgang die normale Diffusion und die thermische Ausdehnung, die die Gase wieder nach außen zur kälteren Seite treibt. Da die Thermodiffusion massenabhängig ist, erscheint auf der heißen Seite mehr Stoff mit der geringeren Molekülmasse als mit der größeren Molekülmasse, da die Masse im Nenner steht. Deshalb wird auf der heißeren Seite der Stoffmengenanteil



¹Dass bei dem beschriebenen Versuch Luft verwendet wird, also ein Gasgemisch, ist für den Effekt unwesentlich. Er ließe sich ebenso auch mit einer Gassorte zeigen.

mit der geringeren Molekülmasse allmählich größer, während auf der kalten Seite der Stoffmengenanteil mit der größeren Molekülmasse zunimmt. Für unsere Betrachtung wesentlich ist, dass eine Gleichung vom richtigen Typ nebst zugehörigem Phänomen existiert, die so genau zum Kontext des 12. Vortrages passt, wie es auf Grund der knappen Darstellung möglich ist.

Literatur

[1] R. W. Pohl: *Einführung in die Physik*, Band 1, §189, 16. Aufl., Springer-Verlag, Berlin - Göttingen - Heidelberg, 1964.

Anmerkung: In der kürzlich erschienen Neuauflage fehlt dieser Paragraph.

[2] H. Franke (Hrsg.): *dtv-Lexikon der Physik*, München, 1970.

Was sind die ersten Schritte zum Verständnis der Wärme?

VON FLORIAN THEILMANN

Am 1. März 1920 beginnt Rudolf Steiner seinen Wärmekurs [1] mit einer kurzen Standortbestimmung:

Die naturwissenschaftlichen Betrachtungen, die bei meinem letzten Aufenthalt hier gepflogen worden sind, sollen jetzt eine Art Fortsetzung erfahren. Ich werde ausgehen diesmal von demjenigen Kapitel physikalischer Betrachtungen, das insbesondere wichtig sein kann für die Grundlegung einer naturwissenschaftlichen Weltanschauung überhaupt, nämlich von der Betrachtung der Wärmeverhältnisse der Welt. Ich werde heute in einer Einleitung versuchen, Ihnen gerade darzulegen, inwiefern durch eine solche Betrachtung, wie wir sie jetzt pflegen wollen, eine Anschauung geschaffen werden kann für die Bedeutung der physikalischen Erkenntnisse innerhalb einer allgemein menschlichen Weltanschauung und wie dadurch der Grund gelegt werden kann zu einer Art pädagogischer Impulse für den naturwissenschaftlichen Unterricht. Wie gesagt, heute wollen wir von einer Art prinzipieller Einleitung ausgehen und sehen, wie weit wir damit kommen.

Verschiedenes wird hier gesagt: es wird explizit an den Lichtkurs [2] angeknüpft; das "insbesondere wichtige" Thema wird nicht als "Wärme" benannt, sondern als "Wärmeverhältnisse der Welt"; zwei Projekte werden genannt: es soll anschaulich werden, wie physikalische Erkenntnisse Bedeutung haben für ein umfassend(er)es Bild von Welt und Mensch und es deutlich werden, wie einen das für den naturwissenschaftlichen Unterricht zu pädagogischen Impulsen bringen kann. Letzteres fasse ich mir so mit anderen Worten zusammen: es geht nicht vorrangig um Fakten oder Themen, die man auch noch im Sinn haben kann oder muss, wenn man "Wärme" unterrichtet, sondern um einen *Schritt* hin zu einem anderen, neuen Blickwinkel auf die Welt und die Art, wie der Mensch in ihr steht. Mir scheint, dass gerade dieser Punkt Leitstern sein sollte für die Arbeit mit Steiners Kurs und ich will versuchen Einblick zu geben, wie Georg Maier und ich dieses Jahr damit gearbeitet haben.

Drei Hindernisse

Es ist interessant zu sehen, dass er gut zwei Monate vorher, zu Beginn des Lichtkurses, das Vorhaben zwar ähnlich schildert (Anregung einer "gewisse[n] wissenschaftliche[n] Grundrichtung" bzw. "das Richtige zu haben" im Unterricht), aber es recht anders aufgreift: während der Lichtkurs mit einem breiten Exkurs über die Unterschiede von der konventionellen Art des Naturwissenschaft-Treibens und der Methode Goethes beginnt, führt uns Rudolf Steiner im Anfang des Wärmekurses mehrfach in vermeintliche Widersprüche ("Drei-Eimer-Versuch"), Paradoxien ("Achilles und die

Schildkröte”) oder drastische Schilderungen, die einen ratlos zurücklassen (“Da, wo die Sonne ist, würde man ein Loch finden, in den leeren Raum hineingehend”), ja offenbar zurücklassen sollen. Es ist, wie wenn die Zuhörer (oder wir Leser) statt eines ordentlich entfalteten, gelehrten Gedankens einen Eimer voll Eiswasser ins Gesicht geschüttet bekommen. Es soll etwas in Bewegung gebracht werden – aber was?

Lese ich den Anfang des Wärmekurses *darauf*, konturieren sich für mich drei miteinander verwobene Themen, eine dreifache Auseinandersetzung mit Hindernissen dafür, “wirklich” oder realistisch über die Wärme nachzudenken und zu reden:

- Die Vorstellung, Wärme sei etwas äusserlich Vorhandenes, an das ich mit Thermometermessungen oder durch die Sinneserfahrung anschliesse. Stattdessen geht es um Relationen, beim Messen und beim Fühlen (in diesem Kontext gehört, wie Wärme an mechanisches Geschehen oder mechanisch-kinematische Vorstellungen angeknüpft wird).
- Indem Wärme so mechanistisch bedacht und auch berechnet wird, bleibt etwas Wesentliches zu wenig beachtet: im Zusammenhang mit Wärme gibt es keinen Stillstand und kein zurück.
- Immer wieder stossen wir im Wärmekurs auf Stellen, wo Rudolf Steiner in einer Weise vom Raum spricht, die uns zumindest irritieren muss (vgl. oben) – was verstehen wir etwa, wenn er vom Räumlich- bzw. Unräumlich-Werden der Wärme spricht?

Es scheint, wie wenn es nötig wäre, die Attitüde, dass wir als Physiker ja eigentlich wissen, wie es sich etwa mit der Wärme verhält und Steiners Ausführungen jetzt auf unseren Wissensschatz geeignet beziehen sollen, für einen Moment hintenan stellen müssen. Wenn man noch einmal neu mit der Wärmelehre beginnen könnte, wo würde man denn hinkommen, wenn man als Ur-Rätsel etwa die genannten drei Punkte nimmt und nicht das Problem, Wärmegeschehen quantitativ beschreibbar zu machen?

Der Platz auf der Ofenbank

Im heute morgen eher kühlen Mittelraum des Glashauses macht die Hand auf dem Wollbezug eines leeren Stuhles, am Holz der Tische oder auf dem roten Linoleum der Tischoberfläche ganz verschiedene unmittelbare Wärmeerfahrungen: letztere ist deutlich am kühlfsten, obwohl sicher alle drei “Dinge” dieselbe Temperatur haben. Lauscht man diesen Erlebnissen nach, merkt man, wie man in dem, was an der Berührung Wärmeerfahrung ausmacht, gar nicht mit dem Ding da draussen beschäftigt ist. Wärme berührt uns innerlich – obwohl sie viel vom “wie” des Gegenüber verrät; ob etwas warm oder kalt ist, ja: wie warm oder kalt etwas ist, entscheiden wir am Einfluss auf unser jeweiliges Befinden im eigenen Leib. Die Wärmewelt ist insofern eine *Wohlfühlwelt*. Wie gross in diesem Zusammenhang die Bedeutung einer gewissen Selbstständigkeit der Wärmeorganisation gegenüber der Umwelt ist, ahnt man, wenn man

sieht, wieviel Zeit etwa Schildkröten mit Sich-Wärmen durch Sonne, Heizstrahler oder warme Unterlagen verbringen.

Schaut man von hier aus wieder auf den Beginn des Wärmekurses, lässt sich ein ganzer Abschnitt daraufhin lesen: “Und das, worauf es ankommt bei unserer Empfindung, das ist, dass wir nur in uns keinen Nullpunkt tragen. . .” (6. und 7. Absatz). Es scheint mir, dass da zweierlei liegt: einerseits der eher allgemein-menschenkundliche Hinweis darauf, wie sehr unser Tagesbewusstsein an die unendlich komplizierten leiblichen und seelischen Bedingungen geknüpft ist, von denen die Lebensvorgänge und insbesondere unsere Wärmekonstitution eben auch welche sind. Dann aber andererseits auch, dass *deshalb* die übliche, bequeme Unterscheidung von Subjektivem und Objektivem dem Wärmeerlebnis gar nicht sachgemäss ist. Die äusserliche Wärme ist, vielleicht in ganz ähnlichem Sinn wie äusserlich vorgestelltes Licht, ein transzendentes Konzept.

Später im ersten Vortrag (14. Absatz) begegnen wir diesem Motiv wieder. “Durch [durch die spezielle, gegenüber dem Restorganismus relativ isolierte Organisation des Auges] beobachten wir eigentlich niemals Licht – Licht ist Abstraktion –, sondern wir beobachten Farberscheinungen. Wenn wir Wärme beobachten, subjektiv, so ist dasjenige, was Empfindungsorgan bei uns ist, was Auffassungsorgan ist, unser ganzer Organismus. . .” Liest man die hier folgenden Schilderungen davon, wie ein weniger isoliertes Auge uns in die Welt stellen würde, kann einem ja schwindelig werden bei der Vorstellung des existenziellen Eintauchens in die Unmittelbarkeit von Helligkeit und Dunkelheit. Umgekehrt werden wir an den Gedanken herangeführt, dass unser unmittelbares Erlebnis vom Draussen-Sein der Farben eben an der speziellen Seh-Organisation hängt und insofern gar nicht selbstverständlich ist. Nicht, wie unsere verschiedenen Sinne verschieden auf die äusseren Gegenstände antworten würde also die Frage sein, sondern das Eingehen darauf, was sie erzählen und welche Art von Aussen jeweils entsteht.

Welt ohne Gegenstände

Was sind aber dann die Gegenstände der Wärmewelt? Da sind zunächst die Dinge um uns herum, die sich warm oder kalt *anfühlen* und etwa als Kleidungsstück, kalte Bank oder als Wärmflasche zu dieser Erfahrungswelt gehören. Die uns umgebende Luft bestimmter Temperatur und Feuchtigkeit oder ein Badewasser gehören dazu, aber auch Teile der Umgebung, mit denen wir gar nicht in Berührung sind oder sogar nicht sein können: der kalte Nachthimmel, die auch im November noch wärmende Sonne, eine kühle Wand oder die Glut im Feuer. Auf den ersten Blick scheint es so, als sei die Wärmewelt verständlich gleichsam als eine Eigenschaft der normalen Dingwelt – eben als ein Teil des “wie?” der gewohnten Gegenstände.

Nun gibt es in all dieser Vielfalt ein verbindendes Motiv, dem man etwa als Freund warmer Getränke begegnet. Gerade in der kalten Jahreszeit ist es ein Teil des Vergnügens, dass der heisse Tee oder Kaffee die Tasse wärmt, an der sich dann die kühlen Finger wohl fühlen, und auch die deutliche Wärmung nachdem man das warme Getränk

verschluckt hat. Da lässt sich zum einen auf die verschiedenen Phasen der Trinkbarkeit schauen, das Nippen winziger Mengen am brühheissen Getränk, die gar nicht so lange Spanne der angenehmen Trinktemperatur und das immer unerfreulicher Werden in Richtung des sprichwörtlichen kalten Kaffees.¹ Im Vergleich z. B. zum Warmhalten des Getränks in einer Thermoskanne ist es gerade so, dass das Sich-warm-Anfühlen des Behältnisses umso schwächer wird, je besser das Warmhalten gelingt. Heisser Tee in der Thermoskanne ist, solange er drin ist, eigentlich nicht im selben Sinne warm wie in der Tasse, die Kanne ist vielleicht sogar kühl; wird er ausgeschenkt, entfaltet er zwar die anfangs geschilderten Wärmewirkungen, aber dann bleibt er auch nicht heiss. Dieses Motiv, dass die gefühlte Wärme oder Nicht-Wärme, also unser eigenes Wärmer- bzw. Kühler-Werden auf der anderen Seite mit Kühler- oder Wärmer-Werden bezahlt wird (wenn das nicht aktiv durch Heizen verhindert wird), zieht sich durch das ganze Erfahrungsgebiet.

Indem wir die Sache so ansprechen, steht aber ein Umdeuten von “warm” und “kalt” an. Wenn es in der Optik nicht um draussen *Vorgestelltes* gehen soll, sondern um Helligkeit, Farbigkeit und Deutlichkeit von Bildern, dann ist auch mein Schreibtisch nicht äusserlich warm. Woran wir durch eine Empfindung für das eigene Affiziertwerden unseres Wärmehaushaltes teilhaben, ist die vielfältige Veränderung der Aussenwelt im Tageslauf oder etwa im Umfeld chemischer Vorgänge usw. Wir haben es eigentlich gar nicht mit den Gegenständen selbst zu tun, sondern mit *Prozessen*, an die wir da, wo wir selbst Prozess – und nicht der Gegenstand “Leib” – sind, anschliessen. Warm und kalt sind polare Qualitäten, und beide bezeichnen Mächtigkeiten der Einflussnahme des einen Prozesses auf den anderen, Grade der Intensität des Wirksamwerdenkönnens.

Geben und Nehmen

Lassen wir uns auf diese Sichtweise der Wärmeverhältnisse ein, kann man die Wärmewelt auch noch anders und dabei einheitlicher schildern: Wärme heisst, dass sich Vorgänge gegenseitig beeinflussen, Verwandlung wirkt auf Verwandlung, aber auch: es gibt unweigerlich Veränderung in der Welt, weil sich das Zusammenhängen von Vorgängen nicht vollständig abschirmen lässt². Wie das geschieht und welche Typen von Vorgängen sich identifizieren lassen, ist offenbar ein weites Feld. Gegenüber “Sedingen” wie der Sonne, dem kühlen Nachthimmel oder an einem Glutbecken, ist auch die Interaktion *lichthaft*, d. h. sie folgt optischen Prinzipien; gegenüber Tastdingen ist sie analog *stoffhaft*, sie offenbart sich an der Berührung. In [3] wird daneben eine mögliche “Klasseneinteilung” für Prozesse versucht, in der “bloss-physikalisches” Warm-Werden, chemische Vorgänge und Wärme im Kontext des Lebendigen unterschieden werden. Im selben Text wird auch darauf eingegangen, wie sich physikalisch-

¹Die analoge Geschichte liesse sich auch von kalten Getränken erzählen, wobei wiederum die zimmerwarme Limonade oder entsprechendes Bier den Tief- und Endpunkt darstellt.

²Statische Wärmezustände an einer Stelle werden mit Zinsen an anderer Stelle bezahlt. . .

thermodynamische Konzepte hier einordnen.

Schon das kleine Blockheizkraftwerk im Heizhaus am Goetheanum erweist sich unter diesem Blickwinkel als komplizierte Angelegenheit: die einfache Idee, mit einem Verbrennungsmotor Strom zu erzeugen und dessen Abwärme zu nutzen, führt in ein kompliziertes Netz von Wechselwirkungen. Wärmebedarf und Strompreise sind je nach Tageszeit verschieden, die Anlage muss einerseits eine breite Spanne von Wärmeleistungen abdecken können und andererseits möglichst lange unter optimalen, d. h. *festen* Betriebsbedingungen durchlaufen, aus wirtschaftlichen und abgastechnischen Gründen. Welcher Brennstoff ist am wirtschaftlichsten, sicher genug, am umweltfreundlichsten, gut zu beziehen oder zu lagern? Wie ist der Betreuungs- und Wartungsaufwand für die Anlage? Die reale Anlage hat als Herzstück nicht nur den Motor, sondern daneben auch zwei grosse Wärmespeicher (i. e. Wassertanks) als Puffer. Der Motor selbst ist dabei noch "klimatisch gepuffert", er steht in einer Kiste und bekommt vorgewärmte Luft, um die Verbrennung zu optimieren.

Die Pufferung und die Bereitstellung eines zusätzlichen Ölbrenners gleichen die gegensätzlichen Anforderungen "kontinuierlicher Betrieb" (Produktionsseite) und "flexibler Betrieb" (Verbraucherseite) aus. Die Wirkung des mit 180 kW laufenden Motors wird dabei auf geheimnisvolle Weise unsichtbar: einerseits verschwindet die mechanische Leistung im Stromnetz, andererseits die Hitze des Verbrennungsvorgangs fast völlig in den Thermosgefäßen des Wärmespeichers, übrig bleibt nur ein Strom erstaunlich sauberer, feuchtwarmer "Luft". Das komplexe Netzwerk der Fernwärmeleitungen vermittelt zwischen Puffer und Verbraucher durch *Austausch*, der als Transportvorgang von Wasser o. ä. räumliche und zeitliche Kontinuität hat, nicht – oder viel weniger – aber als Wärmevorgang: "hier wird es warm, da hinten kühlt sich der Wassertank ab".

Wieviele Dimensionen hat der Wärme-Raum?

Raum verstehen wir zunächst typischerweise synonym mit den Bewegungs- und Orientierungsmöglichkeiten, die uns unser physischer Leib gewährt. Es ist vielleicht kein unerschöpfliches, aber sicher ein grosses Thema, wie uns bereits die Seherfahrung der "bewaffneten Sicht" darüber hinausführt ("Spiegelraum", virtuelle Bilder usw.). Wenn wir in der Wärmelehre konventionell vorgehen, also *in terms of* äusserlicher Wärme argumentieren, verhalten wir uns ganz ähnlich wie in der konventionellen Optik: wir substituieren ein unbeobachtbares Etwas (Licht, Wärme, letztlich Bewegung von etwas), und erhalten auf diese Weise einen einfachen durchgängigen Gedanken in der Vielfalt der Erscheinungen. Die geschilderten Verhältnisse rund um das "hier und dort" der Wärme fordern auf, auch hier die Frage aufzuwerfen, was aus einem Verzicht auf substantiell vorgestellte Wärme folgt. Wenn es in der Optik ansteht, einen eigenständigen Sehraum ernst zu nehmen, ist analog die Frage gestellt, welche Art räumliches Verhältnis durch die Wärme (oder: zur Wärme) entsteht.

Die Gedankenfigur des Räumlich- und Unräumlich-Werdens der Wärme, die uns etwa durch den dritten Vortrag des Wärmekurses begleitet, bekommt auf diese Weise

noch eine andere Färbung. An den Tastgegenständen ist Wärmer- und Kälter-Werden im Verhältnis zur Umgebung immer raumerfüllend. Wenn wir einen Topf, der mit Eiswasser gefüllt ist, heizen (also “Wärme zuführen”) und das Thermometer steht, während das Eis schmilzt, dann kann insofern ganz real von einem Verschwinden der Wärme “aus dem Raum” geredet werden, als der Topfinhalt sich tatsächlich nicht wärmer anfühlt etc. als ohne Heizen. Dass für kalorische Mischversuche die Heizleistung nicht völlig verloren ist, steht auf einem anderen Blatt: das Heizen hat Eis in Wasser verwandelt, was sich in verminderter “Kühlungsfähigkeit” niederschlägt – doch diese Verwandlung ist für sich genommen “unwärmig”.

Wärme ist im Raum als Beziehung zwischen den Dingen, die “den Raum ausmachen”. Die Wärmewelt ist dabei die Welt der Veränderung an diesen Dingen, die Welt der Prozesse oder Vorgänge. Darin liegt, dass wir Wärme nicht als äusserlich *Gegebenes* verstehen, in dem Sinn, wie wir das materielle Dasein der Dinge als Gegebenes auffassen. Wärme ist, so verstanden, nicht Substanz, nicht Bestandteil oder Beimischung der äusserlichen Gegenstände, sondern gleichsam etwas zwischen den Dingen, vermittelnd, ausgleichend, anregend. Wir vollziehen damit in der Erkenntnisperspektive den Übergang vom Schauen auf eine “objektive Welt” hin zum Umgang mit einer “Tatsachenwelt” – und damit einen Sinneswandel, der in meinen Augen im Umgang mit den naturwissenschaftlichen Kursen explizit gefordert ist. Es geht mir nicht vorrangig um eine Ergänzung oder Erweiterung der üblichen Theorie (Betrachtungsart), sondern um Bewegung hin zu einem *methodisch anderen Griff* (der Thermodynamik da, wo sie tatsächlich sachgemäss ist, dann erst verständlich macht). So versteht sich dieser Beitrag auch, obwohl er oben darauf Bezug nimmt, als vorbereitende Lektüre zu [3].

Literatur

- [1] Rudolf Steiner: Geisteswissenschaftliche Impulse zur Entwicklung der Physik (Wärmekurs). Zweiter Naturwissenschaftlicher Kurs. Rudolf Steiner Verlag, Dornach 2000.
- [2] Rudolf Steiner: Geisteswissenschaftliche Impulse zur Entwicklung der Physik (Lichtkurs). Erster Naturwissenschaftlicher Kurs. Rudolf Steiner Verlag, Dornach 1987.
- [3] Georg Maier und Florian Theilmann: Arbeitspapier Wärmelehre. Der Physiker-rundbrief, Sonderheft Wärme (2004), pp. 14 – 22.

Betrachtungen zur Wärme und zur Entropie ausgehend vom Wärmekurs

VON INGRID HARTMANN

Einleitung

Diese Arbeit stellt eine Dokumentation von ausgewählten Rudolf Steiner Zitaten aus dem Wärmekurs GA 321 [10] dar, auf die ich insbesondere eingehen möchte. Themen wie Wärme, Gestalt und Entropie stehen im Vordergrund. Demgegenüber gestellt wird eine Zusammenstellung von Begriffen, Formeln und Aussagen aus der Sichtweise der modernen physikalischen Wissenschaft (im Speziellen der Thermodynamik irreversibler Prozesse).

Mit diesen Ausführungen möchte ich daraufhinweisen, daß vieles, was R. Steiner in GA 321 angeregt hat in der heutigen Forschung sozusagen aufgegriffen wurde. Es ist sicherlich auch eine Frage der allgemeinen Bewußtwerdung dieser Themen, daß sie immer mehr Beachtung finden. Darüber hinaus wurden neue technische und mathematische Möglichkeiten entwickelt, die andere Sichtweisen erlauben. Allerdings liegt der Thermodynamik irreversibler Prozesse eine rein materialistische Anschauung zu Grunde. Sie kommt so an das eigentliche Wesen, worauf es im Kern ankommt, nicht heran.

Da meiner Ansicht nach der Thermodynamik als solcher eine zentrale Bedeutung zu kommt, sollte insbesondere dieser Teil der Wissenschaft als Ausgangspunkt für eine erweiterte Sichtweise auf das geistige Gebiet gewält werden und so eine Einbettung der materiellen Sichtweise in eine umfassendere erfolgen, die auch die geistige Seite berücksichtigt. Die Möglichkeit einer Erweiterung der Thermodynamik sehe ich u.a in der Richtigstellung der Begriffe der Information und Entropie unter dem Aspekt der Gestaltbildung. Die Thermodynamik irreversibler Prozesse muß vom Kopf auf die Füße gestellt werden. Die Ordnung kommt primär aus dem geistigen Bereich, der gestaltbildend in den physischen greift, strukturbildend wirkt. An dieser Stelle finden die Gesetze der Thermodynamik irreversibler Prozesse ihren Platz. Ein erweitertes Verständnis des Informationsbegriffes beinhaltet Sichtweisen der Bildekräfte von R. Steiner und der morphischen Felder R. Sheldrakes.¹

GA 321, 1.Vortrag

- Aussagen zum *Organischen*
- Aussagen zur *Irreversibilität*

R. Steiner schreibt dazu im 1. Vortrag:

¹Umfangreichere Ausführungen dazu in [6]

“Wir sind heute nicht in der Lage, die physikalischen Anschauungen, die wir im Laufe des 19. Jahrhunderts von der Wärme ausgebildet haben, hinzutragen in das Gebiet des Organischen.” (S.14)

Arbeit wird demzufolge in Wärme und Wärme in Arbeit umgewandelt, was jedoch dem Bereich der unorganischen Materie zuzuordnen ist. Im Weiteren nimmt er Bezug auf die Umkehrbarkeit von Prozessen.

“Aber ich kann nicht ohne weiteres einen organischen Prozess umkehren. Auch grosse anorganische Prozesse kann ich nicht umkehren, zum Beispiel sind planetarische Prozesse nicht umkehrbar.” (S.28)

R. Steiner wendet sich gegen umkehrbare Rechnungen, was formal als Analogon zu sehen ist.

“Eine Rechnung kann ich vorwärts und rückwärts behandeln, mit der Wirklichkeit deckt sich meist nicht, was ich mit der Rechnung erfasse. Diese Rechnung schwebt über der Wirklichkeit. Man muss sich klar darüber sein, inwiefern unsere Vorstellungen und Rechnungen nur Vorstellungsinhalte sind. Trotzdem sie umkehrbar sind, gibt es keine umkehrbaren Prozesse in der Wirklichkeit. Das ist wichtig, denn wir werden die ganze Wärmelehre auf Fragen dieser Art aufgebaut sehen: Inwiefern sind innerhalb des Gebietes der Wärmeverhältnisse Naturprozesse umkehrbar, und inwiefern sind sie es nicht?” (S.28/29)

Der Aspekt der Irreversibilität wird in der Thermodynamik der irreversiblen Prozesse aufgegriffen. Eine Erweiterung auf organische Prozesse erfolgt ebenfalls innerhalb dieser Theorie. Weiter unten wird darauf spezieller eingegangen. Von der mechanischen Wärmetheorie Clausius wird zu einer erweiterten Wärmetheorie für offene Systeme übergegangen. Die organischen Systeme sind offensichtlich offene, die bei der Betrachtung im geschlossenen System (Clausius) nicht behandelt werden können.

GA 321, 2.Vortrag

- Berücksichtigung *nichtlinearer Terme*
- *Sonnenwirkung*
- Gerade die Wärmelehre bietet die Möglichkeit einer Erweiterung der materialistischen Auffassung

An Hand der Temperaturabhängigkeit der Volumenänderung zeigt R. Steiner die Notwendigkeit der Einbeziehung nichtlinearer Terme.

$$V = V_0(1 + 3\alpha t) \longrightarrow V = V_0(1 + 3\alpha t + 3\alpha^2 t^2 + \alpha^3 t^3) \quad (1)$$

Nichtlineare Terme werden gerade in der Thermodynamik irreversibler Prozesse einbezogen und führen zu einer Erweiterung der Beschreibung.

Im 2. Vortrag erwähnt R. Steiner die fundamentale Bedeutung der Sonnenwirkung:

“Ohne dass Sonnenwirkung da wäre, können wir all diese Erscheinungen, die auch unter dem Einfluss des Wärmewesens stattfinden, auf der Erde überhaupt nicht haben.” (S.41/42)

Beispielrechnungen weiter unten zeigen die Wirkung der Sonne für die Lebensprozesse. R. Steiner geht im folgenden noch ausführlicher auf die Sonne ein:

“Indem er sich die Sonne in ihrer Erwärmfähigkeit nur nach dem Muster der aus dem Irdischen gewonnenen Begriffe vorstellt, verirdischt er die Sonne, statt das Terrestrische durch das Solare zu klären. Das ist es, was dann dazu geführt hat, dass man genötigt worden ist, für die Dinge, die früher aus dem Kosmischen erklärt worden sind, irdische Erklärungen zu finden. Da man abgesehen hat davon, die Kräfte zu suchen, die vom Planetensystem ausgehen müssen, wenn ein fester Körper, z.B. Eis flüssig wird, zu Wasser wird, indem man abgesehen hat, sie im Planetensystem zu suchen, musste man sie hineinverlegen in das Innere des Körpers selber [. . .] man musste diesen unglückseligen Molekülen und Atomen die Fähigkeit zuschreiben, die von innen heraus nun bewirken sollten, dass ein Festes in Flüssiges, ein Flüssiges in Gasförmiges übergeführt wird, die Fähigkeiten, die man früher hergeleitet hatte von dem, was tatsächlich im Raum gegeben war, aber allerdings im ausserirdischen Kosmos.” (S.44)

”Vorwärts kommen wir dadurch, dass wir gerade in einem solchen Gebiet, wie der Wärmelehre, den Anschluss wiederum zu gewinnen versuchen an umfassendere, weiter ausgreifendere Ideen, als sie die neuere materialistische Physik gehabt hat.”(S.45)

GA 321, 3.Vortrag

- Erweiterung der drei Dimensionen auf die *vier Dimensionen*
- *Strukturbildung*

Am Beispiel des (T,Q)-Diagramms verweist R. Steiner darauf, dass Q in der vierten Dimension die Umformung bewirkt:

“Dasjenige, was ich von aussen hinzufügen muss beim Gas, ist beim festen Körper von selbst da. Aber nun können Sie, in dem Sie das Gas abkühlen, zurückgehend wiederum zum Siedepunkt, aus dem Dampf die Flüssigkeit gewinnen; indem Sie weiter abkühlend zurück gehen bis zum Schmelzpunkt, können Sie aus der Flüssigkeit wiederum die festen Körper gewinnen. Das heisst, Sie können einfach durch Vorgänge, die zusammenhängen

mit dem Wärmewesen, das hervorrufen, dass Sie nicht mehr nötig haben, von aussen die Formung zu bilden, sondern dass die Formung sich von innen her selbst bildet.” (S.58/59)

“Wir müssen also sagen: Es muss aufgesucht werden eine bestimmte Beziehung zwischen der Formung des festen Körpers und dem Entgegenwirken durch den Wärmedruck gegen das allseitige Zerfliessen des Gases. Wenn wir diese Beziehung aufsuchen, können wir hoffen, in das Wesen des Zusammenhanges zwischen der Wärme und den Körpern wirklich einzudringen.”(S.59)

Strukturbildungsprozesse werden durch die Thermodynamik irreversibler Prozesse beschrieben. Die Herangehensweise ist jedoch materialistisch.

GA 321, 4.Vortrag

- 3. *Dimension* Raum muss verlassen werden, wo Wärme wirkt.

R. Steiner stellt Betrachtungen zur vierten Dimension an:

“Nun macht sich ja die moderne Physik zur Aufgabe, behufs Erklärungen der Erscheinungen innerhalb des dreidimensionalen Raumes zu bleiben. Und indem sie sich diese Aufgabe setzt, muss sie, da man innerhalb des dreidimensionalen Raumes das Wesen der Wärme nicht finden kann, an dem Wärmewesen vorübergehen. Sie kann das Wärmewesen nur durch seine äusserungen im drei-dimensionalen Raum erfassen.” (S.65)

Wo Wärme wirkt muss man den dreidimensionalen Raum verlassen:

“Vielleicht das Wichtigste, was zu dieser Umwandlung führt, vollzieht sich ausserhalb des dreidimensionalen Raumes.”(S.69)

“Das hat aber eine sehr bedeutende, universelle Konsequents, denn es nötigt mich dazu, dass ich mich bei der äusseren Natur auch in ihren leblosen in ihren unorganischen Erscheinungen geführt denke in ein Wesen, das sich selbst nicht innerhalb des dreidimensionalen Raumes ausdrückt, das gewissermassen waltet hinter dem dreidimensionalen Raum. Und dieses ist ein Entscheidendes in bezug auf die Beobachtung des Wärmewesens selber.” (S.69)

GA 321, 5.Vortrag

- Zurückführung auf den *Menschen*

R. Steiner macht aufmerksam darauf, dass das eigentlich Physikalische wiederum auf den Menschen zurückgeführt werden muss:

„... , dass bei allen zukünftigen physikalischen Betrachtungen das eigentlich Physikalische wiederum zurückgeführt werde auf den Menschen.“ (S.78)

„Wir kommen in dem Augenblick, wo wir aufsteigen ins Imaginative aus dem Raum hinaus. Wir sind dann selbst nicht mehr im Raum.“ (S.82)

„... , sondern in dem allgemeinen Raum und der allgemeinen Zeit leben sie drinnen.“ (S.83)

„Das heisst, wir müssen so innig verwachsen mit der Welt auch für die physikalischen Vorstellungen, wie wir verwachsen für die mathematischen ...“ (S.84)

„Während wir uns von unserer eigenen Materialität entfernen, nähern wir uns immer mehr und mehr demjenigen, was draussen in der Welt vorgeht.“ (S.84)

Ich möchte hier unterstreichen, dass es ganz entscheidend ist, den Menschen insbesondere an dieser Stelle einzubeziehen. So wie wir in der Wärme darinnen stehen, stehen wir m. E. in der Information - im erweiterten Sinne - darinnen, was bei einer umfassenderen Sichtweise eine Einbeziehung höherer Dimensionen erfordert.

GA 321, 8.Vortrag

- Forderung nach *Offenheit* des Systems
- Geist - *Wärme (Grenzgebiet)* - Materie

R. Steiner betont ausdrücklich, dass die Experimentalanordnung niemals als ein geschlossenes System angesehen werden darf:

„Stehe ich denn jemals mit meinem Experimentieren innerhalb irgendeines geschlossenen Systems?“ (S.123)

„Dass ich niemals die Experimentalanordnung als ein geschlossenes System ansehen darf, sondern mir bewusst bleiben muss, dass diese ganze Experimentieranordnung unter den Einflüssen der Umgebung steht und auch der Energien, die eventuell aus dieser Umgebung wirken.“ (S.124)

In der Physik der Selbstorganisation wird darauf eingegangen. Die Systeme werden als offen behandelt. Jedoch m. E. nicht offen genug, da es dabei nicht zur Einbeziehung des Menschen selbst kommt. über die Wärme als Grenzgebiet äussert sich R. Steiner mit Betrachtungen zum Perpetuum Mobile:

”Das Perpetuum mobile entsteht nur nicht, weil das System sich nicht selbst überlassen wird, weil die ganze Umgebung darauf wirkt.” (S.125)

“Wenn man in der Tatsachenwelt stehen bleibt, muss man sagen: Ein Perpetuum mobile will fortwährend entstehen. Nur die Konstitution des Weltenalls verhindert dies.” (S.126)

Die Schlussfolgerung, die daraus zu ziehen ist, besteht nicht in der Behandlung von Teilen, die irgendwoher herausgenommen worden sind und nunmehr von der Umgebung abgetrennt, sozusagen tot betrachtet werden, sondern in der Einbeziehung der ganzen Umgebung, was durch die Einbeziehung des Menschen geschieht. Durch die Einbeziehung des Menschen lasse ich es im Weltzusammenhang, behandle es im Dasein. R. Steiner ordnet das Gebiet der Wärme zwischen Geist und Materie an:

”So stellt sich für mich die Wärme hinein zwischen zwei sehr stark voneinander verschiedene Gebiete, die essentiell verschieden sind: das Geistgebiet und das Materiegebiet. Zwischen drinnen steht das Wärmegebiet.” (S.129)

GA 321, 10.Vortrag

- Dasjenige, was die *Gestaltung* in der Natur *bewirkt*, ist *selbst nicht da*.

R. Steiner geht darauf ein, dass unserer Wille der Wärme verwandt ist, Vorstellung mit Gestalt in Zusammenhang steht, dass wir in unserem Willen das Wesen der Wärme erleben können:

”Wenn ich äusserlich die Gestaltungen in der Natur sehe, so ist dasjenige, was die Gestaltungen bewirkt, nicht da. Es ist in Wahrheit nicht da. Es ist so nicht da, wie das Geistig-Seelische in einem Leichnam nicht da ist, aber drinnen gewesen ist. Wenn ich also mein Auge auf die äussere Natur richte, so muss ich sagen: Da ist irgendwie in der Gestaltung wirksam - ich will jetzt nicht sagen, wirksam gewesen, sondern wirksam werdend, da ist irgendwie wirksam dasselbe, was in mir als Vorstellung lebt.” (S.157)

Eine *erweiterten Thermodynamik* könnte die Einbeziehung höherer Dimensionen, das, was *Gestalt bewirkt* berücksichtigen.

GA 321, 11.Vortrag

- *Raum und Gegenraum*
- *Druckwirkung materieller Art* und
- *Saugwirkung geistiger Art*

Wille	↔	Vorstellung
Raumgestalt	↔	Raumlos
<i>Druck</i>		<i>Saugen</i>
Raum	intensive Bewegung Gebiet des Wärmewesens	raumlos

Bei Clausius in der mechanischen Wärmetheorie ist Wärme Bewegung. Es ist eine rein auf den Raum, auf die räumlichen Bewegungen rücksichtnehmende Überzeugung. R. Steiner führt dazu aus:

”Wärmewesen: In ihm ist ein Leben, ein lebendiges Weben, welches dadurch sich offenbart, dass überall die Tendenz zum Materialisieren durchdrungen wird von der Tendenz zu entmaterialisieren.” (S.169)

”Wärme ist Bewegung: Sie ist Bewegung, aber intensiv zu denkende Bewegung, Bewegung, bei der in jedem Raumteil, wo Wärme ist, das Bestreben besteht, materielles Dasein zu erzeugen und materielles Dasein wieder verschwinden zu lassen.” (S.169)

”Dass ich selbst mein Dasein vollbringe in dem Medium der Wärme, das gestaltet, dass fortwährend materiell Wirkungen das heißt Raumwirkungen, übergehen in unmaterielle Wirkungen, also in solche Wirkungen, die keinen Raum mehr einnehmen. Ich erlebe also in mir tatsächlich, was die Wärme in Wahrheit ist, intensive Bewegung, die fortwährend herüberpendelt aus dem Gebiet der Druckwirkungen in das Gebiet der Saugwirkungen.” (169)

R. Steiner schreibt weiterhin zum Wärmewesen:

”Fortwährendes Gleichgewichtssuchen zwischen Druckwirkungen materieller Art und Saugwirkungen geistiger Art.” (170)

”Da aber kommen wir zum unmittelbaren Ergreifen des Wärmewesens als einer intensiven Bewegung, als eines Pendelns zwischen Saug- und Druckwirkungen, aber nicht so, dass die eine Seite als Saugwirkungen räumlich ist und die andere Seite der Druckwirkungen auch räumlich ist, sondern dass wir aus dem Gebiet des Materiellen, des dreidimensionalen Raumes überhaupt, hinauskommen, schon wenn wir die Wärme erfassen wollen.”(S.171)

GA 321, 12.Vortrag

- *qualitative Umwandlung von Energien* (bzw. andere Zahlenarten)

$$w = c q \frac{du}{dx} dt \quad (2)$$

- u - Temperatur
- q - Querschnitt
- c - Konstante

Wärmewirkung:

$$w = + c q \frac{du}{dx} dt \quad (3)$$

Chemische Wirkung:

$$w = - c q \frac{du}{dx} dt \quad (4)$$

Lichtwirkung:

$$w = \sqrt{-1} c q \frac{du}{dx} dt \quad (5)$$

R. Steiner unterstreicht, dass bei den Formelansätzen die Qualitätsunterschiede der Energien einzubeziehen sind. Bei der Wärmewirkung ist es das positive Vorzeichen: +, der Wärmeäther. Bei der chemischen Wirkung ist es das negative Vorzeichen: -, der chemische Äther und bei der Lichtwirkung die imaginäre Zahl: i, der Lichtäther.

”Es verwandelt sich ein Wärmequantum in ein Quantum chemischer Energie und umgekehrt. Das dürfen wir nicht sagen, sondern dann, wenn so etwas geschieht, ergibt sich die Notwendigkeit, andere Zahlenwerte einzuführen. Dann ergibt sich die Notwendigkeit, wirklich die Hauptsache nicht darin zusehen, dass mechanisch die eine Energieart die andere anregt, sondern dass man es zu tun hat mit einem wirklich qualitativen Umwandeln, was sich schon in der Zahl fassen lässt, wenn die eine Energie, wie man sagt, in die andere übergeht.” (S.187)

In der erweiterten Thermodynamik, müsste eine *einheitliche Formulierung* für den Ansatz dieser *drei Gleichungen* gefunden werden können.

GA 321, 13.Vortrag

- Aussagen zur *Entropie*
- *Zeitliche Entwicklung der Gesetze der Physik*

R. Steiner entwickelt noch einmal ausführlicher das Schema zwischen ponderablem und imponderablen Gebiet:

- z Leben
- y chemische Effekte
- x Licht
- Wärme
- x' Gasgebiet
- y' Flüssiges Gebiet
- z' Festes Gebiet
- U
- x in x' Lichterfülltes Gas
- y in y' Flüssigkeit mit chemischen Effekten
- z in z' Lebenserfülltes Festes

“Wärme besteht als Gleichgewichtszustand zwischen beiden. Wärme ist dasjenige, was der Gleichgewichtszustand ist zwischen Äther und ponderable-Materiellem, was Äther ist und zu gleicher Zeit Materie, ist etwas Duales, daher weist es auf das hin, was wir überall im Gebiet der Wärmeerscheinungen finden, Niveauunterschiede, ohne die wir im Gebiet der Wärme nichts machen können.” (S.196/197)

- x und x' war eins
- y und y' war eins
- z und z' war eins

“Bezeichnen wir die oberen Gebiete als Äthergebiete, die unteren als die ponderablen Gebiete, so ist es selbstverständlich, dass wir die Wärme auffassen als dasjenige, was nun besteht schon in seiner Wesenheit als Gleichgewichtszustand zwischen beiden, und wir haben in der Wärme gefunden dasjenige, was der Gleichgewichtszustand zwischen ätherischem und Ponderable-Materiellem ist, was also Äther ist und zu gleicher Zeit Materie, was wir überall in der Wärme finden: die Niveauunterschiede, ohne die wir überhaupt im Gebiet der Wärmeerscheinungen nichts machen können, gar nichts betrachten können.” (196/197)

“So werden sie die zwei polarischen Gegensätze des Wärmegebietes: das Äthergebiet und das ponderable materielle Gebiet, auch in einer ursprünglichen Einheit zu denken haben.” (S.197)

R. Steiner stellt fest, dass die physikalischen Gesetze nicht ewig sind:

”Physik ist nicht ewig.” (S.192)

“Denn in dem Augenblick, wo wir hinauskommen zu der Sphäre, wo die Schwerkraft aufhört und alles nach aussen strömt, in dem Augenblick hört unser ganzes physikalisches Weltbild auf.” (S.198)

R. Sheldrake [9] kommt in seinen Werken ebenfalls auf diese Problematik zu sprechen. Er scheidet, dass die physikalischen Gesetze veränderlich sind, da eine zeitliche Entwicklung der Gesamtprozesse vorliegt. Wie R. Steiner erwähnt, bummelt der Weltenprozess nach dem II. Hauptsatz der Thermodynamik aus. Die Welt geht dem Wärmetod entgegen, da die Entropie einem Maximum entgegen geht. Er nimmt jedoch eine Erweiterung dieser Anschauungsweise vor, indem er darauf hin weist, dass der Weltenprozess nach einer Seite ausbummelt, von der anderen Seite jedoch nachlaufen Prozesse, die ihn ausgleichen. Es tritt ein Kreislauf zwischen Weltentod und Welten Schöpfung ein. Diesen Kreislaufgedanken sozusagen aufgegriffen, finden wir in der Theorie der Selbstorganisation im Gedanken des Fließgleichgewichtes [2, 7] wieder, was die Idee des Kreislaufes in offenen Systemen aufgreift. Jedoch wie erwähnt aus materialistischer Sicht.

GA 321, 14.Vortrag

- *Druck* - ponderabel
- *Saugen* - imponderabel

R. Steiner weist darauf hin, dass der Raum zerreißt beim Übergang vom Ponderablen zum Imponderablen:

“Der Raum zerreißt, der Raum enthüllt uns dasjenige, was in seinem Inneren ist, während er uns in seinen gewöhnlichen drei Dimensionen, die wir vor uns haben, nur seine Aussenseite zeigt. Der Raum führt uns in sein Inneres.”(S.210)

“Indem wir weiter aufsteigen vom Ponderablen ins Imponderablen und gerade durch das Gebiet der Wärme gehen müssen, finden wir dass die Wärme überall da herausquillt, wo wir aus den Druckwirkungen der ponderablen Materie in die Saugwirkung des Imponderablen hineinkommen.” (S.210/211)

Über die Wärmeleitung sagt R. Steiner, dass sie an die Materie gebunden ist im Gegensatz zu dem, was wir ja auch aufgezeigt haben als die sich ausbreitende Wärme selbst.

“Die sich ausbreitende Wärme selber finden wir ja jetzt als dasjenige, was da herausquillt, wenn der Raum zerreißt, aus dem Inneren des Raumes in sein Aussenwirken.” (S.211)

Eine erweiterte Thermodynamik müsste meiner Ansicht nach auf diese beiden Tendenzen des *Saugens* und *Drückens* verstärkt eingehen.

Aussagen der modernen physikalischen Forschung

Die nachfolgenden Darlegungen basieren auf den Arbeiten von Ebeling und Feistel [1–3]. Ausgangspunkt ist der Grundwiderspruch: II. Hauptsatz der Wärmelehre nach Clausius und der hohe Strukturierungsgrad der uns umgebenden Welt [2, 7].

Frage: Wie können sich in einem System spontan Strukturen bilden, ohne im Widerspruch zum II. Hauptsatz zu stehen (insbesondere biologische Systeme).

Zahlreiche Arbeiten [2, 7] auf diesem Gebiet führten zu folgenden Ergebnissen.

“In offenen Systemen, denen von aussen ständig Energie und Stoff zugeführt wird, können sich stationäre Nichtgleichgewichtszustände mit hohem Ordnungsgrad ausbilden. In Folge der grossen Abweichung vom Gleichgewicht, wird das Verhalten durch nichtlineare Gleichungen beschrieben und es können mehrere stationäre Lösungen existieren. Durch Untersuchung der Stabilität findet man die physikalisch relevante Lösung, die stabil gegenüber Fluktuationen ist. Instabile Zustände zeigen im Gegensatz dazu ein Aufschaukeln von Fluktuationen, da das System bestrebt ist in den stabilen Zustand überzugehen. Der Endzustand kann einen höheren Ordnungsgrad einnehmen.” [1]

Was spielt bei der Strukturbildung eine Rolle?

1. Entropieexport durch Energie- und Stoffaustausch mit der Umgebung
2. Grosse Abweichung vom Gleichgewicht in offenen Systemen, überkritischer Abstand vom thermodynamischen Gleichgewicht
3. Nichtlinearität der Grundgleichungen
4. Stabilität gegenüber Fluktuationen
5. Amplifikation der Abweichungen von instabilen Zuständen
6. Spontane Strukturbildung und Selbstorganisation
7. überschreitung kritischer Parameter
8. Prigogine - Glansdorf - Evolutionsprinzip

Wahrscheinlichkeit und Entropie aus der Sicht der Thermodynamik irreversibler Prozesse

Die Zustände eines Systems seien mit X_i bezeichnet:

$$X_i, i = 1, 2, 3, \dots, W \quad (6)$$

Das Eintreten des Ereignisses X_i findet mit der Wahrscheinlichkeit p_i statt:

$$0 \leq p_i \leq 1 \quad (7)$$

mit

$$\sum_{i=1}^w p_i = 1 \quad (8)$$

Das Mass der Unbestimmtheit eines Ereignisses ist [1], [2]:

$$-\log_b p_i \quad (9)$$

Mit der Basis:

$$-\log_b p_i = -k \ln p_i \text{ mit } k = \frac{1}{\ln b} \quad (10)$$

Für $p_i = 1$ ist die Unbestimmtheit 0. Für $p_i = 0$ ist die Unbestimmtheit unendlich. Nach Boltzmann und Planck wird die statistische Entropie als Mittelwert der Unbestimmtheit definiert.

$$S^B = M[-k \ln p_i] = -k \sum_{i=1}^w p_i \ln p_i \quad (11)$$

Bei Gleichverteilung folgt:

$$S^B = k \ln W \quad p_i = 1/W \quad (12)$$

Shannon definiert als *Informationsentropie*

$$H = - \sum_{i=1}^w p_i \log_b p_i, \quad (13)$$

Die Grösse H ist ein Mass für die bei voller Aufklärung des Zustandes gewonnene Information. Es ist üblich die Basis $b = 2$ zu wählen und die Information in bit anzugeben. Für den Spezialfall $p_k = 1, p_i = 0, i \neq k$ gilt $H = 0$, d.h. die Information ist Null, weil das Ergebnis von vornherein feststeht. Für eine Gleichverteilung $p_i = \frac{1}{W}$ ist der Informationsgewinn bei Aufklärung des Zustandes maximal. Es folgt:

$$H = \log_b W. \quad (14)$$

Ein Vergleich zeigt, dass die Informationsentropie und die Boltzmannsche Entropie proportional sind. Für die spezielle Basis

$$b = e^{-k} \quad (15)$$

stimmen beide Ausdrücke überein

$$S^B = H. \quad (16)$$

Die Statistische Entropie ist somit ein Mass für die Unordnung und damit ein Mass für Strukturiertheit.

Das Maximum der statistischen Entropie (Gleichverteilung) entspricht dem geringsten Grad an Strukturiertheit.

Die Entropie und der II. Hauptsatz der Thermodynamik

Die Entropie ist eine extensive Zustandsgrösse.

$$S = S(U, V, n_i). \quad (17)$$

Es gilt die Additionsregel:

$$S = S_1 + S_2 \quad (18)$$

Für das Differential der Entropie gilt:

$$TdS = dU + pdV - \sum_i \mu_i dn_i, \quad (19)$$

n_i - Molzahlen.

In einem offenen System kann eine extensive Grösse so dargestellt werden:

$$dS = dS_e + dS_i, \quad (20)$$

mit dS_i der Entropie im Inneren und mit dS_e der Entropie, die von aussen zugeführt wird. Es gilt stets:

$$dS_i \geq 0, \quad (21)$$

mit

$$dS_i = 0, \quad (22)$$

für reversible und mit

$$dS_i > 0 \quad (23)$$

für irreversible Prozesse. Für ein abgeschlossenes System gilt:

$$dS_e = 0, \quad dS = dS_i \geq 0. \quad (24)$$

Für das Gleichgewicht gilt:

$$S \rightarrow \text{Max}, \quad dS = 0. \quad (25)$$

Für offene Systeme (z.B. biologische) gilt:

Die Entropieänderung eines beliebigen Systems setzt sich aus zwei Komponenten zusammen, von denen der im Innern produzierte Anteil stets positiv sein muss.

$$dS_i \geq 0. \quad (26)$$

Die Änderung der Entropie durch Export- und Importsysteme kann dagegen sowohl negativ als auch positiv sein. Ein System, dem Entropie von seiner Umgebung entzogen wird, bzw. das mit Negentropie gefüttert wird, kann eine *Abnahme der Gesamtentropie* zeigen.

Bei offenen Systemen lässt sich der Austauschterm dS_e im Prinzip beliebig gestalten

$$dS = dS_e + dS_i. \quad (27)$$

Es ist:

$$dS < 0, \quad (28)$$

wenn

$$|dS_e| > dS_i, \quad dS_e < 0 \quad (29)$$

d.h. der Export grösser als die Produktion im Innern ist.

Das ist nur *jenseits eines kritischen Punktes in Gleichgewichtsferne* möglich.

Für stationäre dissipative Zustände gilt:

$$dS = 0 \rightarrow dS_e = -dS_i < 0. \quad (30)$$

$$dS_i > 0 \rightarrow dS_e < 0, \quad (31)$$

d.h. das System muss Entropie abgeben, um die Entropieproduktion im Innern auf Grund irrev. Prozesse kompensieren zu können.

In offenen System können sich ohne Widerspruch zum II. Hauptsatz Strukturen bilden und aufrechterhalten werden.

Es stellt sich ein *Fliessgleichgewicht* ein.

Ein stationärer Nichtgleichgewichtszustand, der stabil gegenüber kleinen Schwankungen ist.

Entropieproduktion

Das Thermodynamische Gleichgewicht entspricht unter gegebenen Bedingungen dem höchsten Grad an Unordnung. Zustände mit höherer Strukturiertheit sind demnach im Bereich des Nichtgleichgewichts zu suchen. Für Prozesse ausserhalb des Gleichgewichts gilt ebenfalls der II. Hauptsatz:

$$dS_i > 0, \quad (32)$$

wobei das Ungleichheitszeichen gilt.

Bei Nichtgleichgewichtszuständen ist die Entropie kleiner als ihr Maximalwert:

$$S < S_{max}. \quad (33)$$

Das bedeutet jedoch, dass die Zustände des Nichtgleichgewichts eine höhere Strukturiertheit besitzen als Gleichgewichtszustände. Im Nichtgleichgewicht wird statt der

Entropie die Entropieproduktion P betrachtet. Sie ist auf Grund der Gibbsschen Fundamentalgleichung für jeden irreversiblen Prozess positiv ist.

$$P = \frac{dS_i}{dt} > 0, \quad (34)$$

Beispiel: Die Bénard - Zelle

Wird eine Flüssigkeitsschicht (z.B. Silikonöl) von unten kräftig erhitzt, so entsteht eine Temperaturgefälle:

$$T_G > T_O. \quad (35)$$

Für $(T_G - T_O) < \Delta T_{krit.}$ befindet sich die Flüssigkeit in Ruhe. Wärme wird nur durch Wärmeleitung transportiert. Für $(T_G - T_O) > \Delta T_{krit.}$ treten Konvektion, Rollzellen auf.

Wärmeleitung Konvektion

Gleichgewicht Nichtgleichgewicht

Hochorganisierte Strukturen entstehen, die durch *kooperative Bewegung* der Flüssigkeit erzeugt werden.

Es erfolgt ein Entropiestrom durch die Grenzfläche (nur Wärmeaustausch mit der Umgebung):

$$\frac{dS_e}{dt} = \frac{q}{T_G} - \frac{q}{T_O} = q \frac{T_O - T_G}{T_O T_G} < 0. \quad (36)$$

Das System exportiert Entropie - und zwar im stationären Fall in dem Umfang, wie Entropie im Innern produziert wird (Leitungs- und Reibungsverluste).

Analoges Beispiel: Laser.

Beispiel: Die Sonnenwirkung

Es wird das System: Sonne - Erde betrachtet.

Wie Ebeling und Feistel in [2] ausführlich dargestellt, werden folgende Abschätzungen zur Bestimmung des Entropieflusses pro Sekunde, der durch die Sonne abgepumpt wird, getroffen. Es wird angenommen, dass im Mittel $1,2 * 10^{17} W$ kurzweilige Strahlung mit einer Temperatur T von 5800 K absorbiert werden und dass die gleiche Menge Strahlung mit einer Strahlungstemperatur von 257 K emittiert wird.

Der Entropieexport infolge der Strahlung beträgt nun

$$\frac{\text{Entropieande.}}{\text{Zeiteinheit}} = \frac{\text{Warmestromaufnahme}}{T_{auf}} - \frac{\text{Warmestromab.}}{T_{ab}} \quad (37)$$

$$= 10^{17} W \left(\frac{1}{5800k} - \frac{1}{260k} \right), \quad (38)$$

$$= -4 * 10^{14} \frac{W}{K}. \quad (39)$$

Daraus ergibt sich die Fähigkeit der Strukturierung.

Es arbeitet sozusagen eine Photonenmühle:

Aufnahme von Hochtemperatur- Photonen.

Abgabe von Niedertemperatur Photonen.

Wäre das nicht so, würde sich auf Grund der vielen irrev. Prozesse, die auf der Erde ablaufen, mehr Entropie anhäufen.

Die Erde kann aber Entropie exportieren und so die potentielle Möglichkeit zur Strukturbildung erhalten.

Beispiel: Entropie und Information

Die Unbestimmtheit wird nach Shannon für ein System mit n Zuständen durch

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i \quad (40)$$

bestimmt [1].

Die Boltzmann- Gibbs Entropie beträgt:

$$S = -k \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i. \quad (41)$$

Ein Vergleich zeigt:

$$\Delta S = k\Delta H. \quad (42)$$

Die Änderung der Unbestimmtheit ist mit der Änderung der Entropie gleichzusetzen [3] [4].

Allgemein gilt:

$$\Delta S \geq k\Delta H, \quad \text{die Szilard - Brillouin - Relation} \quad (43)$$

Die Menge der übertragenen Information ΔI ist durch die Verringerung der Unbestimmtheit gegeben.

$$\Delta I = -\Delta H \quad (44)$$

Somit gilt

$$-\Delta I \leq k^{-1} |\Delta S|. \quad (45)$$

Die Informationsübertragung ist stets kleiner als die Entropieübertragung.

$$dS = dS_e + dS_i, \quad dS_i \geq 0. \quad (46)$$

Nur in offenen Systemen, die Entropie abgeben, kann sich die Unbestimmtheit verkleinern, Information gewonnen werden.

Da im Thermodynamischen Gleichgewicht die *Entropie S* und die *Informationsentropie H* gegen ein *Maximum* gehen, erfordern *Informationsprozesse Nichtgleichgewichtsbedingungen*.

Abschliessende Betrachtungen zu einer erweiterten Thermodynamik

Eine Zusammenschau des Dargelegten zeigt, dass vielen Fragen, die R. Steiner angeregt hat, sozusagen nachgegangen wurde. In der Thermodynamik irreversibler Prozesse werden Systeme als offen behandelt, nichtlineare Gleichungen kommen zum Einsatz, der Zeitpfeil der Irreversibilität wurde eingeführt. Strukturbildung wird erklärbar infolge Entropieexportes. Die statistische Entropie wurde als ein Mass für Unordnung entdeckt und kann somit zur Beschreibung der Strukturiertheit von Systemen betrachtet werden. Bei der Abgabe von Entropie kann die Unbestimmtheit verkleinert werden und in dem oben definierten Sinne Information gewonnen werden. Diese materialistische, statistische Interpretation der Information, Wärme und Entropie geht jedoch an dem eigentlichen Wesen dieser Begriffe vorbei. Gestaltbildung, Formbildung kann aus dem so definierten Informationsbegriff nicht erfolgen. Die Thermodynamik irreversibler Prozesse kann allein die physische Basis abgeben. Die andere Seite - der geistige Bereich - muss einbezogen werden, um eine wirkliche Wärmelehre zu schaffen. Die Schnittstelle zu einer Erweiterung könnte in einem umfassenderen Informationsbegriff gesehen werden (dazu [6]). Informare - in Form bringen - beinhaltet bei weitem mehr. Gestaltbildende Kräfte, wie die Bildekräfte R. Steiners und die morphischen Felder R. Sheldrakes [8], die dem geistigen Bereich zuzuordnen sind, könnten so Berücksichtigung finden. Die Systeme sollten in diesem Sinne noch offener in Bezug auf die Informationsaufnahme der formbildenden Kräfte gedacht werden. Information in diesem Sinne ist nicht Endresultat der Strukturbildung, sondern der Anfang. Die Ordnung kommt primär aus dem geistigen Bereich, der gestaltbildend in den physischen greift, strukturbildend wirkt. An der physischen Stelle finden die Gesetze der Thermodynamik irreversibler Prozesse ihren Platz. Der Thermodynamik sollte im Gebäude der Physik der zentrale Platz einnehmen. Die Wärme – wenn man sie allumfassend sieht, spielt eine verbindende Rolle, die beides, die Wärme in uns und ausser uns vereint. Die Wärme nimmt eine vermittelnde Rolle zwischen Gestaltbildung und Gestalt ein. Auch wir selbst stehen darinnen. Wir können mit der Wärme in Beziehung treten, in dem wir den Wärmesinn, den Lebenssinn entwickeln. Es gilt, die Wärme in uns aufzusuchen. Die Wärme in uns ist die Verbindung zur Wärme in der Welt. In dem so gefassten Wärmebegriff ist der Mensch einbezogen, denn auch er steht in der Wärme (geistiger, physischer). Wärme und Leben stehen in engem Zusammen-

hang. Eine wirkliche Wissenschaft des Lebendigen, kann nur eine Wärmelehre sein. Eine Lehre der Herzenswärme, die zum Leben führt. Die Kräfte des Lebens, die aus der Liebe heraus entstehen, sind der Quell dieser Wissenschaft. Mit dem Blick des Herzens beginnt eine Interaktion, ein Miteinander, eine Prozess des Verstehens wird in Gang gesetzt. In diesem Sinne ist auch die Saugwirkung R. Steiners zu verstehen. Sie ist die Ausdehnung, die erfahrbar ist, bei der Bildung innerer Wärme. Die Harmoniebildung und das, was ihr förderlich ist, muss im Mittelpunkt stehen und nicht der Kampf ums Dasein. Aufgaben einer solchen Wissenschaft können in der Findung von Indikatoren, die Leben und Harmonie bzw. Abweichungen davon anzeigen, gesehen werden. Formbildung wird greifbar.

An folgenden Aussagen müsste eine Erweiterte Thermodynamik irreversibler Prozesse anknüpfen:

1. TD irreversibler Prozesse basiert auf materialistischen Annahmen
2. Potentielle Rolle der TD ist ihre zentrale Rolle im Gebäude der Physik
3. Information in der TD irrev. Prozesse ist das Resultat dieser (materialistischen) Prozesse selbst.
4. Dieser Fakt muss vom Kopf auf die Füße gestellt werden: Information ist nicht Endresultat, wie es diese Theorie sieht, sondern Ausgangspunkt (aus geisteswissenschaftliche Sicht).
5. Ein erweiterte Verständnis des Informationsbegriffes in Zusammenhang mit Gestaltbildung ist erforderlich.
6. Die Systeme sollten noch offener gesehen werden. Neben der Energie- und Stoffaufnahme muss es noch die Möglichkeit der Informationsaufnahme geben, wobei diese sehr weitgefasst sein sollte und z.B. die Bildekräfte R. Steiners bzw. die morphischen Felder R. Sheldrakes berücksichtigen könnte. Durch diese Aufnahme der Information würde die Negentropieaufnahme im Rahmen der Theorie der irrev. Prozesse noch vergrößert werden können.
7. Eine Steuerung der kritischen Parameter aus einer höheren Dimension heraus wäre denkbar, was im Einvernehmen mit R. Steiners Bemerkungen zur Wärme und der vierten Dimension stehen würde. (Siehe oben die Ausführungen zur TD irrev. Prozesse in Bezug des Zusammenhanges Wärme und Entropie).
8. Eine Entwicklung von Indikatoren, die Leben und Harmonie bzw. Abweichungen davon anzeigen, sollte vorgenommen werden.

Literatur

- [1] Ebeling, W. (1976) Strukturbildung bei irreversiblen Prozessen. BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig

- [2] Ebeling, W., Feistel, R. (1982 2. ed. 1986) Physik der Selbstorganisation und Evolution. Akademie-Verlag, Berlin
- [3] Ebeling, W. (1989) Chaos, Ordnung und Information. Urania-Verlag, Leipzig, Jena, Berlin
- [4] Ebeling, W., Freund, J., Schweitzer, F. (1998) Komplexe Strukturen: Entropie und Information. B. G. Teubner-Verlag, Stuttgart, Leipzig
- [5] Haken, H. (1978) Synergetics: An Introduction. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York
- [6] Hartmann, I. (2004) Mathematisch-Physikalische Korrespondenz, Heft 218
- [7] Nicolis, G., Prigogine, I. (1977) Self-Organization in Non-Equilibrium Systems: From Dissipative Structures to Order through Fluctuations. John Wiley & Sons, New York
- [8] Sheldrake, R. (1992) Das Gedächtnis der Natur. Scherz Verlag, Bern, München, Wien
- [9] Sheldrake, R. (1993) Denken am Rand des Udenkbaren. Scherz Verlag, Bern, München, Wien
- [10] Steiner, R. (1982) Geisteswissenschaftliche Impulse zur Entwicklung der Physik. GA 321 Rudolf Steiner Verlag, Donach, Schweiz

Email-Adressen der Autoren

Friedrich Wilhelm Dustmann: DustmannFW@aol-com

Florian Theilmann: florian.theilmann@goetheanum.ch

Ingrid Hartmann: c/o Uwe.Hartmann@fh-stralsund.de

