

Zweiter naturwissenschaftlicher Kursus

gehalten von Dr. Rudolf Steiner.

an der freien Waldorfschule.

Als Manuskript ge-
druckt! Vom Autor
nicht durchgesehen.

5

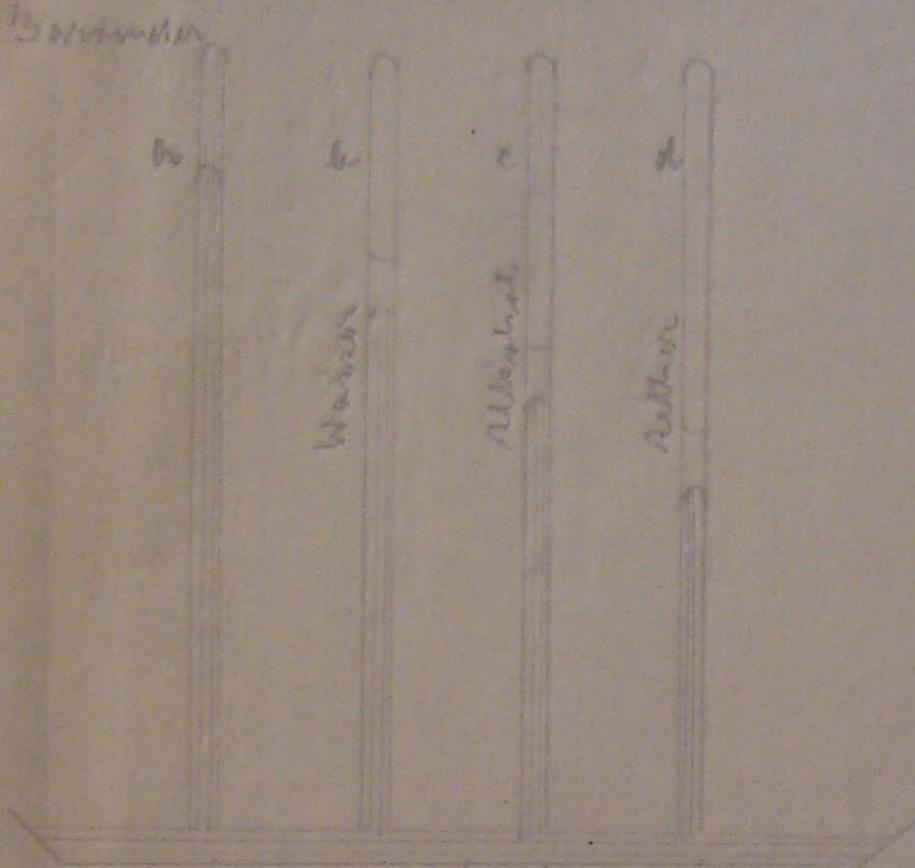
VI. Vortrag.

Stuttgart, am 6. März 1920-

Meine lieben Freunde!

Wir werden heute zunächst einige Erscheinungen anschauen, welche aus dem Gebiete sind, der Zusammenfassung von Wärme, Druck und Ausdehnung der Körper. Denn Sie sehen, dass durch die zusammenschauenden Betrachtungen desjenigen, was wir erfahren können an solchen Erscheinungen, sich uns gerade der Weg öffnen wird zum Verständnis dessen, was das Warme eigentlich ist. Wir werden zunächst einmal die Erscheinung betrachten, die sich hier ergibt durch den Inhalt dieser drei Röhren. In der ersten Röhre rechts haben wir eine Quecksilbersäule, wie man sie in einer Barometer-Röhre hat, und oben etwas Wasser. Wasser, welches in einer solchen Weise in einem Raum drinnen ist, verdunstet fortwährend. (Wir können diese Verdunstung) Wir haben das Wasser in dem sogenannten Vakuum, in dem leeren Raum, und wir können sagen: Wasser verdunstet; die kleine Menge Wasser, die drinnen ist, verdunstet fortwährend; wir können diese Verdunstung durch die Anwesenheit des Wasserdampfes, der drinnen ist, konstatieren. Wenn Sie vergleichen die Quecksilbersäule in ihrer Höhe, wie sie hier in dieser Röhre ist, mit der Quecksilbersäule hier drinnen, die unter dem normalen Luftdruck steht, über welcher hier also kein verdunstetes Wasser, also kein Wasserdampf ist, so werden Sie sehen, dass diese Quecksilbersäule tiefer steht wie jene. (Vergleichen Sie Figur la und lb). Diese Quecksilbersäule kann natürlich nur tiefer stehen als diejenige im Barometer, wenn der Druck, der oben ausgeübt wird, vorhanden ist, während hier oben kein Druck vorhanden ist von irgend etwas; es ist ein leerer Raum, sodass diese Quecksilbersäule nur entgegensteht dem

Höheren Atmosphärendruck, als ihn das Gleichgewicht haltend. Hier wird sie



heruntergedrängt. Wenn wir abmessen, werden wir finden, dass wir hier von dieser Höhe ab eine höhere Quecksilbersäule haben; um was sie hier höher ist, wird durch den Druck, die sogenannte Spannkraft des darinnen befindlichen verdunsteten Wassers bewirkt, das heißt, es wird die Quecksilbersäule mehr heruntergedrängt. Wir sehen also, dass Dampf immer auf die Wand drückt, und zwar unter einem bestimmten Wärmezustand ausgeübt. Das können wir da-

durch konstatieren, dass wir den Teil dieser Glasröhre (obere Teil) erwärmen. Sie werden sehen, wenn die Temperatur höher wird, wird die Quecksilbersäule sinken, das heißt, der Druck wird größer werden. Wir werden also sehen, dass ein Dampf um so mehr auf die Wände drückt, je höher seine Temperatur ist. Sie sehen die Quecksilbersäule jetzt schon sinken, und sehen, wie die Spannkraft, die Druckkraft mit der Temperatur wächst. Das Volumen, das dann der Dampf einnehmen will, wird größer.

In der zweiten Röhre haben wir über dem Quecksilber Alkohol. (Fig. 1c). Wiederum sehen Sie den Alkohol da drinnen flüssig einen gewissen Rauminhalt hindurch. Er verdunstet ebenfalls, daher ist auch diese Säule weniger hoch als die linke am Barometer. Wenn ich abmesse, werde ich aber auch finden, dass sie hier weniger hoch ist, als früher die Säule unter dem Einfluß des verdunsteten Wassers. Wir müssen warten, bis hier die Säule wiederum so hoch steigt, als sie vor der Erwärmung war. Dann würden wir finden, dass abhängt die Spannung auch von der Substanz selber, die wir verwenden. Diese Spannung ist also größer bei Alkohol als bei Wasser. Auch hier könnte ich wiederum denselben Versuch machen. Sie werden sehen, dass die Spannung wesentlich höher wird, wenn wir die Temperatur erhöhen. Wenn wir den Dampf

so weit abkühlen, dass wir ihn wieder haben unter derselben Temperatur wie früher, dann steigt das Quecksilber; also bei geringerer Temperatur geringere Spannkraft. Sie sehen, die Quecksilbersäule steigt; d. h. die Spannkraft beim Alkoholdampf ist wesentlich größer.

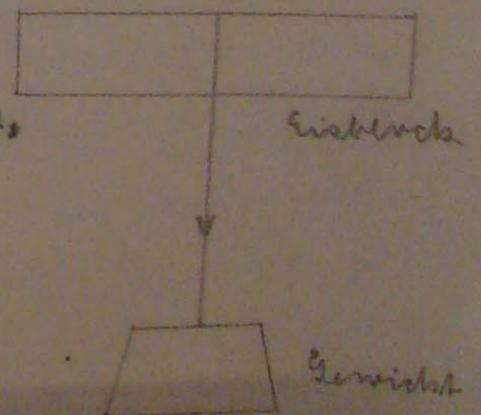
In der dritten Röhre haben wir unter sonst gleichen Verhältnissen Äther eingefüllt, der wiederum verdunstet. Sie sehen, die Säule ist hier sehr niedrig. Daraus ersehen Sie, dass, wenn wir Äther unter sonst gleichen Verhältnissen haben, drückt er wesentlich anders, als verdunstetes Wasser drückt. Es hängt also ab der Druck, der auf die Umgebung von einem Gase ausgeübt wird von der Temperatur, aber auch von der Substanz selber. Auch hier können Sie sehen, dass das Volumen wesentlich größer wird, dass der verdunstete Äther also wesentlich stärker drückt.

Wir wollen auch hier wiederum die Erscheinungen festhalten, da wir gerade durch die Anschauung über die Erscheinungen zu unserem Resultate kommen wollen.

Nun eine Erscheinung, die ich Ihnen besonders vorführen will, ist diese: Sie wissen aus den vorhergehenden Betrachtungen und auch sonst aus der elementaren Physik, dass wir feste Körper in flüssige, flüssige in feste Körper überführen können, indem wir sie über den sogenannten Schmelzpunkt bringen, nach oben oder unten. Nun, wenn ein flüssiger Körper wieder fest wird, also unter den Schmelzpunkt heruntergebracht wird, so tritt er uns zunächst als fester Körper entgegen. Das Merkwürdige, und was wir wieder ins Auge zu fassen haben bei unserer Überschau, ist dieses, dass, wenn wir jetzt beim festen Körper einen stärkeren Druck anwenden als derjenige war, unter dem er sich verfestigt hat, kann er wiederum flüssig werden, also er kann unter einer tieferen Temperatur wieder flüssig werden als diejenige ist, in der er zum festen Zustand übergeht. Sie wissen, bei 0° geht das Wasser über in den festen Zustand, wird zu Eis. Es müsste also das Eis bei allen Temperaturgraden, die unterhalb null liegen, ein fester Körper sein. Wir werden nun hier an diesem Eis ein Experiment machen, durch das Sie sehen werden, dass, ohne dass man die Temperatur erhöht - würden wir es unter

gewöhnlichen Verhältnissen flüssig machen wollen, so würden wir die Temperatur erhöhen müssen, - aber wir werden die Temperatur nicht erhöhen, sondern wir werden die Temperatur auf das Eis einen mächtigen Druck ausüben lassen. Diesen Druck üben wir einfach aus, dass wir das Gewicht anhängen. Es wird hier das Eis durchschmelzen, Sie werden also sehen, dass das Eis hier durchgeschnitten wird, weil es sich unter dem durch den Draht ausgeübten Druck verflüssigt. Sie werden nun erwarten, dass indem dieser Eisblock durch den Draht zu Wasser wird in der Mitte, nun links und rechts die beiden Eisstücke herunterfallen. Wenn wir es schneller machen würden, würden wir das Experiment gelingen sehen. (*Anm.:* Das Durchschneiden des Eisblockes geht so langsam vor sich, dass am Ende der Stunde darüber Folgendes gesagt wird:) Wenn Sie jetzt hier hintreten, werden Sie sehen, dass wenn Sie auch warten würden, bis der Schnitt richtig durchgeführt ist, Sie doch nicht zu fürchten hätten, dass zwei Eisstücke herunterplumpsen würden. Es wird sofort wiederum über unserem Draht das Eis zusammenwachsen und der Draht geht ganz durch, fällt unten durch, der Eisblock bleibt ganz. Sie sehen daraus, dass da, wo der Druck ausgeübt wird durch Vermittlung des Drahtes, Flüssigkeit entsteht. Aber in dem Augenblick, wo der Druck wieder nicht ausgeübt wird darüber, hat sich die Flüssigkeit sogleich wiederum zum Eis verfestigt; d. h. es wächst wiederum zusammen. Diese Verflüssigung des Eises durch den Druck hält eben nur stand, wenn die Temperatur dieselbe bleibt unter dem Einfluß des betreffenden Druckes. Man kann also auch einen festen Körper unter dem Schmelzpunkt der Flüssigkeitssubstanz zurückverflüssigen. Er braucht aber dann die Fortdauer dieses Druckes um flüssig zu bleiben. Hört der Druck auf, dann tritt wiederum der feste Zustand ein. Das ist das, was Ihnen entgegengetreten sein würde, wenn Sie hier noch einige Zeit warten würden. —

Das Dritte, was wir uns vor Augen führen wollen, was eine weitere Stütze sein wird für unsere Betrachtungen, das ist das Folgende: Wir könnten nehmen irgend welche geeignete - denn im Prinzip gilt es eigent-



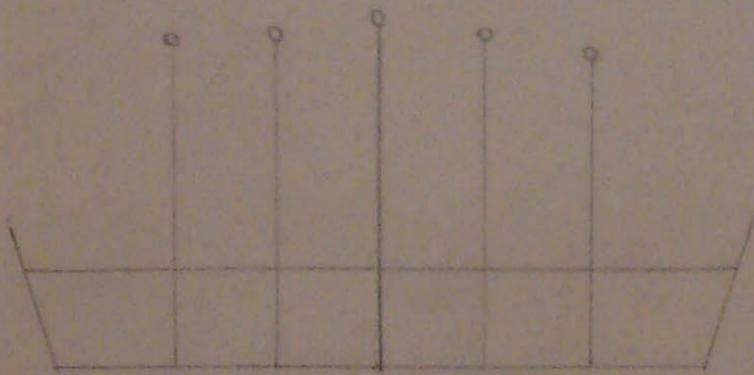
lich für alles das, was wir betrachten wollen, für alle diejenigen Körper, die miteinander eine Legierung eingehen, d. h. sich verbunden können, dass sie sich durchdringen, ohne chemische Verbindungen zu werden. Wir haben hier in einem Probiergläschen Blei. Blei ist nun ein Körper, der bei 327°C schmilzt, also aus dem festen in den flüssigen Zustand übergeht; in einem anderen Probiergläschen haben wir Wismut, das bei 269°C schmilzt; und hier haben wir Zinn, das bei 232°C schmilzt. Wir haben also drei Körper, welche alle Schmelzpunkte haben über 200°C . Wir werden nun diese drei Körper, indem wir sie zuerst schmelzen, also in den flüssigen Zustand überführen, miteinander zu einer Verbindung mischen, so dass sie dann durcheinandergehen, ohne in eine chemische Verbindung einzugehen. Sie werden nun sich leicht denken können, wenn wir irgend eines dieser drei Metalle, die ja durchaus einen Schmelzpunkt über 200°C haben, einfach in kochendes Wasser hineintun, so bleiben sie fest, denn Wasser hat nur einen Schmelzpunkt von 0°C und einen Siedepunkt von 100°C . Es kann also keines dieser drei Metalle in diesem Wasser zum Schmelzen kommen. Nun wir werden aber den Versuch machen, in eben siedendes Wasser die Legierung, die Ineinanderfügung der drei Metalle hineinbringen; also in Wasser von 100°C . Doch jetzt kann konstatiert werden, was da eigentlich zu Grunde liegt: Wir halten das Thermometer herein in die Legierung der drei Metalle und stellen fest, in dem noch flüssigen Metallgemisch drinnen eine Temperatur von 175°C . Sie sehen daraus: Keines der einzelnen Metalle würde bei dieser Temperatur noch flüssig sein; jedes wäre schon fest. Die Legierung der drei Metalle ist noch flüssig, sodass wir daraus sagen können: Wenn wir Metalle durcheinandermischen so kann die Erscheinung eintreten, dass der Schmelzpunkt, der Punkt, bei dem das Metallgemisch flüssig ist, eigentlich tiefer ist, als der Schmelzpunkt eines jeden der einzelnen Metalle. Sie sehen also, wie sich Körper gegenseitig beeinflussen. Und wir werden gerade aus dieser Erscheinung eine wichtige Grundlage zu schöpfen haben in unserer Überschau über die Wärmeerscheinungen. Nun geben wir noch flüssig die Metalllegierung bei 100° glatt hinein in das sie-

dende Wasser, das also ebenfalls 100° hat, und jetzt lassen wir das Wasser abkühlen. Beobachten wir nun die Temperatur wiederum; es ist die Metallegierung noch innen flüssig; sie wird dann fest werden. Das heißt: Wir kommen zum Schmelzpunkt herunter, und wir können dann, indem das Wasser unter den Siedepunkt geht konstatieren, in dem Punkt der Temperatur auf den das Wasser kommt, wenn die Metallegierung fest wird, also wo sie ihren Schmelzpunkt hat. (bei 94°). Sie sehen also, der Schmelzpunkt des Metallgemisches ist wesentlich tiefer, als der Schmelzpunkt jedes einzelnen Metalles.

Nun wir haben diese Erscheinungen wiederum zu den anderen hinzugefügt, um eben eine weitere ausgebreitete Grundlage für die Übersicht zu haben, und wir können jetzt noch einige Betrachtungen anknüpfen an dasjenige, was wir uns gestern schon vor Augen geführt haben über den Unterschied des festen, des flüssigen, des gas- oder dampfförmigen Zustandes. Sie wissen, dass feste Körper, nämlich eine größere Anzahl von Metallen und anderen mineralischen Körpern nun nicht in unbestimmten Gestalten, sondern in ganz bestimmten Gestalten, den sogenannten Krystallgestalten auftreten. Sodass wir sagen können: Unter den gewöhnlichen Verhältnissen unter denen wir auf der Erde leben, treten uns die festen Körper in Krystallformen, also in ganz bestimmten Gestaltungen entgegen. Das muß natürlich darauf aufmerksam machen, nachzudenken darüber, wie solche Krystallgestalten entstehen, welche Kräfte bei diesen Krystallgestalten zu Grunde liegen. Wir müssen nun, um Vorstellungen über diese Dinge zu gewinnen, darauf sehen, wie sich nun etwa die ganze Summe von auf der Erdoberfläche befindlichen, und nicht mit der Erdenmasse direkt zusammenhängenden festen Körper verhalten. Sie wissen, wenn wir einen festen Körper irgendwo in der Hand halten, und lassen ihn los, so fällt er zur Erde. Man deutet das in der Physik gewöhnlich so, dass man sagt: Die Erde zieht diese festen Körper an, sie übt einen Druck aus; sie übt eine Kraft aus. Unter dem Einfluß dieser Kraft, der Schwerkraft oder Gravitation fällt der Körper zur Erde. Wenn wir irgend einen flüssigen Körper haben - etwas Ähnliches hat sich schon hier gezeigt - und ihn dann abkühlen, so wird er uns, wenn er fest wird, auch auftreten können in bestimmten Krystallge-

stalten. Die Frage wird nun entstehen: wie ist überhaupt das Verhältnis derjenigen Kraft, welcher alle festen Körper zunächst unterliegen, der Schwerkraft zu den Kräften, welche ja doch auch da sein müssen und auf eine bestimmte Art bewirken müssen, dass sich feste Körper in krystalinischen Gestalten ausleben. Sie können sich leicht denken, dass die Schwerkraft als solche, durch die ein Körper zur Erde fällt - wenn wir überhaupt von einer Schwerkraft reden wollen zunächst - sie kann es nicht sein, die zu gleicher Zeit mit der Bildung der Krystalformen etwas zu tun hat. Denn dieser Schwerkraft unterliegen alle Krystalformen wie ein Körper auch äußerlich gestaltet sein mag, er folgt dieser Schwerkraft. Wir finden, wenn wir eine Anzahl von festen Körpern so behandeln, dass wir ihnen ihre Unterlage entziehen, dass sie alle in parallelen Linien zur Erde fallen. Wir können dieses Fallen eben in der folgenden Weise darstellen.

Wir können sagen: Welche Gestalt auch immer irgend welche festen Körper haben, sie fallen in der Richtung einer Senkrechten auf die Erdoberfläche zur Erde. Wenn wir nun andererseits wiederum die Senkrechten ziehen

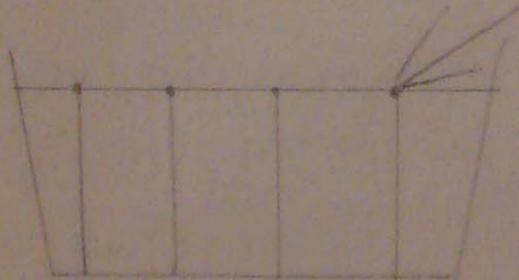


auf diese zueinander parallelen Linien, bekommen wir eine parallele Fläche zur Erdoberfläche. Wir können alle möglichen senkrechten Schwerlinien, die wir durch irgendeine welche Körper bekommen, so behandeln, dass wir eine gemeinsame zur Erdoberfläche parallele auf diese Schwerli-

nien senkrechte Fläche ziehen. Diese Fläche ist zunächst eine gedachte. Wir fragen uns: Wo ist diese Fläche wirklich? Sie ist bei flüssigen Körpern **w i r k l i c h**. Eine Flüssigkeit, die ich nehme, die ich in ein Gefäß gebe, bei der kann ich sehen, wie das, was ich sonst als eine Senkrechte auf die einzelnen Schwerlinien ziehe, als Flüssigkeitsniveau wirklich vorhanden ist.

Wie ist denn das eigentlich? Was bedeutet denn das eigentlich?

Dies, was ich jetzt zusammengestellt habe ist etwas ungeheuer Schwerwiegendes. Denn denken Sie sich einmal das Folgende: Es würde jemand sagen, wie um Ihnen zu erklären, wie es sich verhält mit der Niveaufläche der Flüssigkeit. Da ist ein Gefäß. Da drinnen habe ich eine Flüssigkeit; die bildet eine Niveaufläche. Jedes Teilchen hat das Bestreben zur Erde zu fallen. Dadurch, dass die Kräfte in der Flüssigkeit selber verhindern, dass die Teilchen zur Erde fallen, dadurch wird die Niveaufläche gebildet; die ist da wirklich vorhanden, und die Flüssigkeit macht, dass das entsteht. Denken Sie, wenn Sie nun eine Anzahl von festen Körpern nehmen, die Sie fallen lassen, so zeichnet Ihnen die Natur selber das hin, was ich hier behufs dieser Erklärung hier hingeseichnet habe. Und Sie müssen sich die Niveaufläche hinzudenken. Ich sagte daher früher: Bei festen Körpern ist die Niveaufläche zunächst gedacht als die Senkrechte auf die Schwerlinien. Wenn Sie diesen Gedanken durchdenken, finden Sie das Merkwürdige, dass dasjenige, was Sie sonst machen um Gedanken hineinzubringen in die Flüssigkeit, das macht eine Anzahl von festen Körpern vor Ihnen. Nun zeichne ich Ihnen gewissermassen dasjenige auf, was



in der Flüssigkeit materiell da ist. Wir können sagen: Der Körper von niedrigerem Aggregatzustande, der feste Körper in seinem Verhalten auf der Erdoberfläche, der verrät uns wie im Bild dasjenige, was eigentlich bei der Flüssigkeit da ist. Was bei der Flüssigkeit materiell da ist, das Wasser, das die Verwirklichung dieser Linie als Falllinie verhindert, das wird bildlich, wenn ich den festen Körper in seinem ganzen Verhältnis zur Erde betrachte.

Denken Sie, was ich dadurch kann. Dadurch würde ich, wenn ich mir aufzeichne die Schwerlinien die Niveaufläche hinter dem Eindruck eines Falles eines ^{Systems} von festen Körpern, dadurch würde ich ein Bild bekommen der Schwerkraftwirkung. Das würde direkt ein Bild sein von der flüssigen Materie.

Wir können weitergehen. Wenn wir bei irgend einer Temperatur das

Wasser nun genügend lang in einem Gefäße darinnen lassen - deshalb sagte ich die Dinge sind alle relativ - so trocknet es aus. Irgendwie verdunstet das Wasser immer, d. h., es ist eigentlich nur ein relativer Zustand vorhanden, bei dem wir sagen können: Das Wasser bildet eine Niveaufläche, es muß nur in seiner Form von den anderen Seiten gehalten werden, während es nach der einen Seite eine Niveaufläche bildet. Es verdunstet fortwährend; im Vakuum also schneller. Deshalb können wir sagen: Wenn wir hier Linien zeichnen (Fig. oben) nach denen das Wasser eigentlich fortwährend strebt, - so müssen die Kraftlinien des Wassers sein, deren Richtungen als Wege dann wirklich dann eingehalten werden, wenn das Wasser verdunstet. Wenn ich aber diese Linien, nach denen das Wasser strebt, zeichne, bekomme ich nichts anderes, als ein Bild eines Gases, das in einem allseitig geschlossenem Raum ist und nach allen Seiten zerstreut. An der Oberfläche des Wassers ist ein Streben darnach, dass das, wenn ich es zeichne, um das Streben zu erklären, ein Bild ist von dem, was wirklich vorgeht, wenn ich ein Gas freilasse und es sich nach allen Seiten verbreitet: Sodass ich wieder sagen kann: Dasjenige, was ich an der Flüssigkeit bemerke als Kraft, das ist mir ein Bild desjenigen, was beim Gas wirklich ist, was beim Gas materielle Wirklichkeit ist. Wir haben eine kuriose Tatsache: Wenn wir in einer gewissen Weise richtig Flüssigkeiten betrachten, so nehmen wir wahr in diesen Flüssigkeiten Bilder des gasförmigen Zustandes. Wenn wir feste Körper betrachten, nehmen wir wahr Bilder des flüssigen Zustandes.

In jedem folgenden Zustand nach unten entstehen Bilder des vorhergehenden Zustandes. Dehnen wir das bis nach oben aus. Wir können sagen: In festen Körpern entdecken wir die Bilder des Flüssigen. In flüssigen Körpern entdecken wir die Bilder des Gasförmigen. Im gasförmigen Körper entdecken wir die Bilder der Wärme.-

Das wird dasjenige sein, was wir insbesondere morgen näher durchzuführen haben werden. Aber ich will noch das sagen: Wir haben versucht, heute den Gedankenübergang^a zu finden von den Gasen zur Wärme - es wird morgen

schon noch klarer werden. Und wenn wir diesen Gedankenweg weiter verfolgen werden:

Im Festen die Bilder des Flüssigen,
Im Flüssigen die Bilder des Gasigen,
Im Gasigen die Bilder der Wärme,

dann haben wir ja einen wichtigen Schritt gemacht; wir haben die Möglichkeit gewonnen, an den Bildern, die sich uns an dem gasigen Zustand ergeben haben, in dem menschlichen Beobachtungsfelde Offenbarungen der Wärme und zwar des wirklichen Wärmewesens dann zu haben. Wir gewannen die Möglichkeit, das, wovon wir jetzt immer sprechen mußten, dass es ein zunächst Unbekanntes ist, dadurch aufzuklären, dass wir in der richtigen Weise seine Bilder im gasförmigen Zustand suchen. Allerdings - wir müssen das richtig tun. Wenn man einfach den Umfang der Erscheinungen, den wir schon beobachtet haben, so beschreibt, wie es die gegenwärtige Physik gewohnt ist; wenn man so von den Gasen redet, kommt man zu nichts. Aber wenn man richtig ins Auge fasst dasjenige, was sich uns für Körper unter dem Einfluß von Druck und Temperatur ergeben hat, dann werden wir sehen, dass wir tatsächlich vor dem Ergebnis stehen werden, dass uns zunächst das Gasige verrät, was eigentlich das Wärmewesen ist.

Nun wirkt aber das Wärmewesen weiter beim Erkalten in flüssige und feste Zustände hinein. Und wir werden in die Notwendigkeit versetzt werden, nun zu verfolgen, am gasigen Zustand werden wir am besten sehen können anschaulich, was das Wärmewesen ist; am flüssigen und festen Zustand werden wir sehen müssen, ob das Wärmewesen eine besondere Veränderung für sich selbst erlebt, um dann herauszubekommen, durch diesen Unterschied, wo es sich offenbart im Gasförmigen, wo es uns seine Bilder zeigt, und im Flüssigen und Festen; auf das wirkliche Wesen der Wärme selbst zu kommen. Davon morgen mehr.