©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Über

physikalische Weltanschauungen.

Von

Ernst Lecher.

Vortrag, gehalten den 9. März 1910.

Mit 7 Abbildungen im Texte.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Hochverehrte Versammlung!

Von vornherein bin ich nicht im Zweifel, daß ich heute einen schweren Stand habe und sehr an Ihre Nachsicht appellieren muß. Als mich vor etwa 5 Tagen der Herr Sekretär Ihres Vereines, an den heutigen Vortrag mahnend, frug, was ich eventuell an Hilfsmitteln brauche, antwortete ich — erschrecken Sie nicht! —: „Schwamm und Kreide"! Sie sahen nun allmittwochlich die Wiener Meister der Experimentier- und Projektionskunst; mit diesen kann ich nicht konkurrieren. Als Vorstand des I. physikalischen Instituts der Wiener Universität bin ich in experimentellen Dingen der ärmste Bettler in ganz Österreich und Deutschland, ohne Apparate, ohne Geld, ohne Hilfsmittel. Ich komme nur aus diesem äußeren Grunde heute „theoretisch".

Das war Entschuldigung Nr. 1.

Und nun gleich Entschuldigung Nr. 2!

Beim Ausarbeiten meines theoretischen Vortrages schwoll mir der Stoff an wie weiland dem alten Faust der Pudel hinter dem Ofen.

„Den ganzen Raum füllt es an,
Es will zum Nebel zerfließen."

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Oder mit anderen Worten: Statt des angekündigten Themas nur ein einzelnes Kapitel, etwa mit dem Titel:

Einiges über Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung.

I. Besprechung der Wahrscheinlichkeitskurve.

Nehmen wir an, ein Schütze schieße nach einer vertikalen Stange und wir wollten ein möglichst übersichtliches Bild seines Könnens erlangen. Dazu bedarf es einer längeren Beobachtung und wir zählen genau, bis er einige hundert Patronen verschossen hat.

Der Einfachheit wegen wollen wir uns um Abweichungen nach oben oder unten nicht kümmern, sondern nur darum, wie oft und wie weit er rechts oder links an der Stange vorbeigeschossen und wie oft er getroffen hat. Solche Treffer seien z. B. 33. Ich schreibe sie in der Mitte der horizontalen Linie (Fig. 1). In einer Entfernung 10 *cm* rechts oder 10 *cm* links flog die Kugel z. B. je 29 mal vorbei. Ich schreibe in die entsprechende Entfernung rechts und links die Zahl 29 usw. Auch in größeren Entfernungen, z. B. 100 *cm* rechts oder links, gingen einige wenige Kugeln vorbei, z. B. je 2; auch diese schreibe ich in die entsprechenden Entfernungen in Fig. 1 rechts und links ein. Diese Tabelle genau in allen Distanzen ausgefüllt, ergäbe die gesamten Schießresultate.

Ich kann das aber viel übersichtlicher machen, wenn ich das Ganze in die Form eines Diagrammes bringe. Statt der Zahlen, die in Fig. 1 stehen, ziehe ich (Fig. 2)

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

senkrechte Linien an den betreffenden Stellen und mache diese so lange, daß sie (in irgendeiner willkürlichen Einheit) den untenstehenden Zahlen entsprechen. Die oberen Endpunkte verbinde ich durch eine Kurve und diese Kurve heißt die Wahrscheinlichkeitskurve. Wir

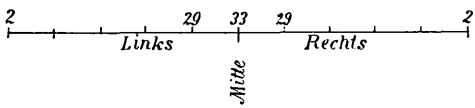

Fig. 1.

ersehen da mit einem Blick, wie oft der Schütze in die Stange geschossen und wie oft und in welcher Entfernung er rechts oder links vorbeigeschossen hat. Die Kurve ergibt, daß Abweichungen nach rechts oder links um so

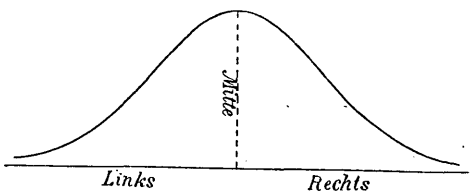

Fig. 2.

seltener vorkommen, je größer sie sind. Ein Abweichen von einigen Metern rechts oder links wird sehr selten sein.

Die Form der Kurve wird bei einem guten Schützen (Fig. 3), der mehr Treffer und weniger Fehler macht, ganz anders aussehen als bei einem schlechten (Fig. 4). Streicht während des Schießens ein Wind von links nach

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

rechts, oder verreißt der Schütze seine Büchse etwas nach dieser Seite, so haben wir wieder eine etwas andere Kurve (Fig. 5).

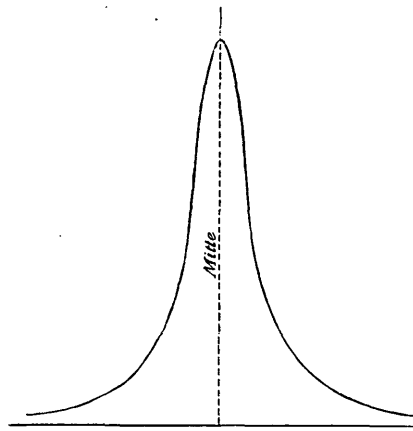

Fig. 3. Guter Schütze.

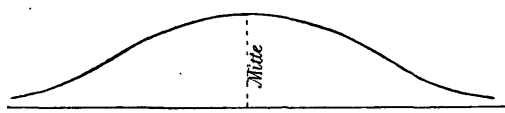

Fig. 4. Schlechter Schütze.

Vielleicht darf ich ein anderes Exempel für den Begriff Wahrscheinlichkeitskurve ausführen.

Fragen wir vielleicht: Welches ist die Größe irgendeines Volksstammes? Wie groß ist z. B. der erwachsene männliche Japaner? Damit verbindet jedermann gewiß

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

eine bestimmte Vorstellung und es ist auch gleich ganz klar, daß diese Frage nur dann beantwortet werden kann, wenn ich meine Messungen der Körperlänge auf möglichst

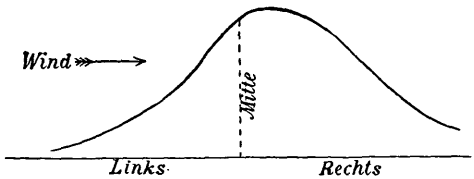

Fig. 5. Schießresultat bei Wind.

viele Japaner erstrecke. Je mehr, desto besser. Um eine Übersicht zu gewinnen, mache ich es so: Ich zähle alle Japaner, welche eine Körperlänge von zirka 1·50 *m* haben, zusammen, ebenso alle, welche zirka 1·55 *m* lang

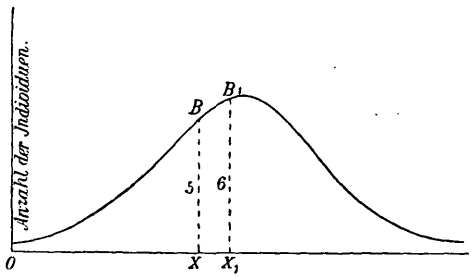

Fig. 6. Körperlänge der Japaner.

sind; hier wird die Zahl etwas anders sein usf. Ich kann dann eine Tabelle machen oder, was noch übersichtlicher sein wird, wieder ein Diagramm anlegen. Ich denke mir nun einen Japaner horizontal hingelegt, Füße in *O*, Kopf

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

in X (Fig. 6). Die senkrechte Linie XB sei ein willkürlicher Maßstab für die Anzahl Japaner, welche die Körperlänge OX haben; es bedeute XB z. B. 5 Millionen Individuen. Eine größere Körperlänge $O\ X_1$ komme öfter vor; darum muß $X_1 B_1$ z. B. 6 Millionen bedeuten usf. Die Verbindungslinie aller B Punkte hat den in Fig. 6 dargestellten Verlauf. Die Horizontallinie bedeutet Körperlänge, die Vertikalerhebung der Kurve die Anzahl der Individuen mit dieser Körperlänge, wobei natürlich der Horizontal- und Vertikalmaßstab in zwei ganz verschiedenen beliebigen Einheiten ausgedrückt ist. Wir sehen, daß eine Körpergröße die wahrscheinlichste ist; kleine Abweichungen nach oben oder unten sind häufig, große Abweichungen nach oben oder unten werden immer seltener. Besonders große Riesen oder besonders kleine Zwerge kommen auch, aber nur in ganz geringer Zahl vor, da ja die Kurve sowohl nach rechts als links rasch absinkt.

Aus der Form, der Breite und Steilheit der Kurve, was sich alles leicht in mathematischen Formeln ausdrücken läßt, kann der Physiker alles Mögliche ablesen.

Nach dieser Erläuterung des Wesens der Wahrscheinlichkeitskurve bespreche ich nun einige Anwendungen.

II. Maxwells Gesetz der wahrscheinlichen Verteilung der Molekulargeschwindigkeiten.

Wenn ich ein Gas in einem Gefäß habe, drückt dieses von innen her gegen die einschließenden Wände. Dieser Gasdruck hat mit dem Drucke, wie ihn ein schwerer

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Körper auf seine Unterlage ausübt, gar nichts zu tun; es ist dieser Gasdruck nach allen Seiten hin, also auch nach oben oder unten, gleich groß. Verkleinere ich den Gasraum auf die Hälfte, so verdoppelt sich dieser Gasdruck; verkleinere ich auf $^1/_3$ oder $^1/_4$, so wird der Gasdruck 3- oder 4 mal so groß und so fort — Druck und Volumen stehen, wie der Mathematiker sagt, in umgekehrtem Verhältnis. Dieses „Mariottesche" Gasgesetz ist sehr einfach und ebenso einfach sind andere Gasgesetze.

Es wurde da nun eine Hypothese, die sogenannte kinetische Gastheorie eingeführt, welche alle diese Gesetze als selbstverständlich erscheinen läßt. Nach dieser Hypothese besteht ein Gas aus vielen Trillionen Teilchen (Molekeln), die sich mit einer gewissen Geschwindigkeit durcheinanderbewegen. Sie sind wie ganz kleine elastische Kügelchen, stoßen aneinander, stoßen an die Wände und gerade dieses Bombardement der Molekel gegen die Wand erzeugt den Gasdruck.

Denken wir uns einen Ballsaal, in dem Blinde tanzen, sie stoßen aneinander und sie stoßen an die Wand. Ist diese Wand beweglich, so muß sie von außen zurückgedrückt werden; wir wollen von außen einen Hausknecht hinstellen, der die Wand festhalten soll. All das Anprallen der einzelnen Tänzer wird sein Gefühl als eine von innen, vom Ballsaale her, wirkende Druckkraft summieren. Nehmen wir nun an, daß der Tanzraum auf die Hälfte oder ein Drittel verkleinert wird, so stoßen die Tänzer dann zweimal oder dreimal so oft, unser

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Hausknecht muß die Wand zweimal, dreimal so stark gegen die Tänzer zurückstemmen. Das ist das Mariottesche Gesetz nach der kinetischen Gastheorie. Wenn ich einen Gasraum N-mal verkleinere, stoßen die Gasmolekel N-mal so oft, der Gasdruck nach außen muß N-mal so groß werden.

Man hat also den Druck aus der Bewegung des Gases erklärt. Mißt man diesen Druck und kennt man die Gesamtmasse des eingeschlossenen Gases, so läßt sich leicht die Durchschnittsgeschwindigkeit der Gasmolekel berechnen. Man findet so, daß ein Luftmolekel bei normaler Temperatur sich mit einer Geschwindigkeit von etwa 500 Meter per Sekunde bewegen muß.

Andererseits läßt sich leicht ausrechnen, daß irgendein Körper, ob schwer oder leicht, also auch so ein Luftmolekel, das sich mit dieser Geschwindigkeit von 500 m pro Sekunde vertikal nach aufwärts bewegt, infolge der Erdanziehung immer langsamer wird und bei einer Höhe von 12·5 km wieder anfängt, zur Erde zurückzufallen. Höher als 12·5 km könnte also die Luft nicht hinaufreichen. Nun steigen unsere Luftballons viel höher; astronomische und meteorologische Beobachtungen ergeben für die Luftatmosphäre sogar eine Höhe von mindestens 200 km. Ein solcher Widerspruch hätte der Gastheorie natürlich den Todesstoß versetzt. Hier nun hat Maxwell den Begriff der Wahrscheinlichkeit eingeführt.

Daß sich nämlich alle die vielen Trillionen Molekel in einem bestimmten Gasquantum mit ein und derselben Geschwindigkeit bewegen, ist sehr unwahrscheinlich; je

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

nach Art des Anpralls werden sich schnellere und langsamere Teilchen vorfinden. Die Wahrscheinlichkeitskurve, die Maxwell hier für die Geschwindigkeit ausrechnet, hat ungefähr dieselbe Form wie die Kurve in Fig. 2. Die Gasteilchen haben also eine gewisse mittlere Schnelligkeit (gerade wie die Japaner eine gewisse mittlere Körpergröße). Manche Molekel bewegen sich aber rascher oder langsamer und es gibt — allerdings nur in kleiner Zahl — auch bedeutende Abweichungen von dieser mittleren Geschwindigkeit. Solche einzelne sehr rasch fliegende Molekel können natürlich weit über die Erdfläche hinausfliegen und die wirklich beobachtete Höhe unserer Luftatmosphäre erklärt sich so ganz ungezwungen.

Von solchen Wahrscheinlichkeitsüberlegungen macht die kinetische Gastheorie noch oft ausgiebigen Gebrauch. Sie berechnet z. B. die mittlere Weglänge eines Gasmolekels, die Anzahl der Kollisionen usw. Es würde weit über den Rahmen der mir zu Gebote stehenden Zeit hinausgehen, wenn ich mich darüber ausließe.

III. Zweiter Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie.

Eine weitere Anwendung des Wahrscheinlichkeitsprinzipes liefert uns der zweite Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie.

In der Natur finden wir Materie und an diese Materie geknüpft Energie, d. h. die Fähigkeit, Arbeit zu leisten. Wie die Materie unzerstörbar und ewig, aber in

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

allen möglichen Formen als anorganische oder organische Materie, als chemische Verbindung, als Gestein oder als Blume, als Tier auftritt, so ist auch die Energie unzerstörbar und ewig, verwandelt sich aber fortwährend in die verschiedensten Erscheinungsformen.

So sehen wir die Energie des von dem Berge mit wilder Gischt in die Mühle einstürzenden Baches verschwinden, ruhig und gebändigt fließt das Wasser unten wieder ab. Dafür aber treibt es in der Mühle irgendeine Dynamomaschine und es erscheint eine andere Energie, die eines elektrischen Stromes, welche wieder in der Glühlampe verschwindet und sich da als neue Energie des Lichtes manifestiert usf. Unsere Wissenschaft Physik handelt ja eigentlich immer nur von diesen gegenseitigen Umwandlungen der einzelnen Energieformen.

Von diesen vielen Umwandlungen wollen wir hier nur die eine, die von mechanischer Arbeit in Wärme, und umgekehrt die von Wärme in mechanische Arbeit näher betrachten.

Daß mechanische Arbeit sich in Wärme verwandelt, sehen wir bei jeder Reibung; indem Sie ein Zündhölzchen anzünden, verwandelt sich Ihre Muskelkraft in soviel Wärme, daß die Zündmasse entflammt. Das Umgekehrte haben wir in jeder Dampfmaschine, in jeder Lokomotive, wo die Wärme der glühenden Kohle zu mechanischer Arbeit wird.

Der erste Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie gibt nun an, daß immer, während eine bestimmte Arbeitsmenge verschwindet, eine ganz bestimmte Wärme-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

menge erscheint, und umgekehrt, daß immer, wenn eine bestimmte Wärmemenge verschwindet, eine ganz bestimmte Arbeitsmenge erzeugt wird. Dieser Umtausch vollzieht sich in der Natur nach einem ganz bestimmten, ewig gleich bleibenden Kurswerte. Eine Wärmeeinheit ist immer gleich 427 Arbeitseinheiten, wobei wir uns mit der Definition dieser Einheiten nicht länger aufhalten wollen. Die Zahl 427 bedeutet das sogenannte mechanische Wärmeäquivalent und man nennt den ersten Hauptsatz auch den Satz der Äquivalenz von Wärme und Arbeit.

Nun der zweite Hauptsatz, der bedeutend schwerer zu verstehen und zu erklären ist.

$$\left.\begin{array}{l}\text{Arbeit} \rightsquigarrow \text{Wärme} \\ \text{Wärme} \overset{?}{\rightsquigarrow} \text{Arbeit}\end{array}\right\} \text{Zweiter Hauptsatz.} \qquad 1)$$

Die Bedeutung dieses Fragezeichens ist folgende. So oft ich (erste Zeile) mechanische Arbeit in Wärme verwandeln will, geht das immer ohne jegliche Einschränkung. Soviel Arbeitseinheiten Sie mir auch geben, für je 427 derselben liefere ich Ihnen prompt eine Wärmeeinheit.

Viel weniger reell werde ich Sie aber bedienen können, wenn Sie das Umgekehrte von mir verlangen. Wenn Sie mir z. B. 100 Wärmeeinheiten geben und sagen: Ich bitte mir diese in 100mal 427 Arbeitseinheiten umzutauschen, so werde ich bedenklich den Kopf schütteln und Sie zuerst bitten müssen, obiges Fragezeichen gütigst zu bemerken.

Nun berufen Sie sich auf den ersten Hauptsatz und sagen mir, ich bekomme doch pro Wärmeeinheit 427 Ar-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

beitseinheiten? Gewiß, aber bei allem Entgegenkommen meinerseits kann ich von den mir angebotenen 100 Wärmeeinheiten nur einen Teil, diesen allerdings zum vollen Kurswert umtauschen; den Rest der nicht verwendeten Wärmeeinheiten erhalten Sie zurück und wenn Sie ungeduldig fragen warum, muß ich um Geduld bitten, es geht nicht, der zweite Hauptsatz verbietet es.

Das Problem ist von größter praktischer und theoretischer Bedeutung. Die Verwandlung der Wärme in Arbeit bildet ja den Lebensnerv aller Industrie und die theoretischen Folgen dieses Problems beherrschen alle Teile der Physik und darum auch der anderen Naturwissenschaften.

Über das möchte ich nun ausführlicher sprechen. Wenn Sie mir Aufmerksamkeit schenken, geht's vielleicht auch ohne mathematischen Formelkram, nur in Form einer wissenschaftlichen Abendunterhaltung.

Sie wollen also für Wärme Arbeit erhalten und ich will Sie bedienen. Zunächst möglichst gut, ideal gut und ein zweites Mal nur so gut, wie es uns Sterblichen in der Praxis wirklich möglich ist.

a) Möglichst gute Bedienung. Die Wärme, die Sie mir geben, steckt in irgendeinem warmen Körper, z. B. in einer glühenden Metallkugel. Für jede Wärmeeinheit, die ich aus dieser Metallkugel wegnehme, kann ich Ihnen 427 Arbeitseinheiten liefern. Ich nehme zunächst eine Wärmeeinheit aus der Kugel und dafür erhalten Sie 427 Arbeitseinheiten; die Kugel ist etwas kälter geworden: Ich nehme eine zweite Wärmeeinheit

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

heraus und gebe Ihnen weitere 427 Arbeitseinheiten; die Kugel hat sich noch mehr abgekühlt. Da aber jede Abkühlung schließlich ihre Grenze hat, muß ich mit einem weiteren Umtausch einhalten.

Ich kann also Wärme nur so in Arbeit verwandeln, daß irgendein heißer Körper sich abkühlt. Die Wärme, die ich in Arbeit verwandeln kann, hängt also ab von der Anfangstemperatur des heißen Körpers und von seiner Endtemperatur am Schlusse der Abkühlung.

Je größer dieses Intervall der Temperatur des heißen Körpers und der Temperatur des abgekühlten Körpers ist, desto mehr kann ich von den mir übergebenen 100 Wärmeeinheiten in Arbeit verwandeln. Immer aber bleibt etwas unverwandelte Wärme übrig. Auch das, was wir einen kalten Körper nennen, enthält immer noch Wärme! Nur wenn ich bis zum absoluten Nullpunkt, der bei —270° C liegt, herunterkönnte, wäre es möglich, alle Wärme in Arbeit umzusetzen.

Das Fragezeichen in obiger Formel 1) hat also hierin seine — erste — Begründung. Ich hoffe, das ist leicht verständlich.

Bleiben wir aber weiter bei unserem Exempel. Ich habe Ihnen z. B. aus der heißen Kugel mit den 100 Wärmeeinheiten vielleicht 80 Wärmeeinheiten in 80mal 427 Arbeitseinheiten umgetauscht. Und nehmen wir nun an, es reute Sie dieser Umtausch; Sie wollen die ganze Bestellung wieder rückgängig machen und retournieren mir die überlieferten 80mal 427 Arbeitseinheiten. Daß ich diese wieder in Wärme zurückverwandeln kann, ist selbstver-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

ständlich nach der ersten Zeile der Formel 1); darüber ist nichts weiter zu reden. Die Frage, die uns jetzt interessiert, lautet vielmehr so: Kann ich, indem ich die gewonnenen 80 mal 427 Arbeitseinheiten in 80 Wärmeeinheiten zurückverwandle, auch wieder die Kugel auf ihren alten heißen Zustand bringen? Kann ich also genau den alten Ausgangszustand wieder herstellen? Ist der ganze Prozeß umkehrbar (reversibel)? Können Sie Ihre Bestellung vollständig rückgängig machen?

Theoretisch lautet die Antwort ja. Es lassen sich Vorgänge ausdenken, welche einen solchen vollständig umkehrbaren oder reversiblen Prozeß ermöglichen würden.

Ich habe Sie in diesem Falle, trotzdem ich Ihrem Ansuchen nach einem vollständigen Umtausche nicht nachkommen konnte, so gut bedient, als unter den gegebenen Verhältnissen möglich war. Wenn Sie mir irgendeinen heißen Körper geben und mir sagen, ich kann ihn z. B. bis auf 0° C abkühlen und ich soll Ihnen dafür so viel Wärme als möglich in Arbeit verwandeln, so muß ich einen Vorgang wählen, der umkehrbar oder reversibel ist, wo also Ihr Auftrag vollständig rückgängig gemacht werden kann. Kein Konkurrent der Welt könnte die Sache dann besser machen. Jeder Maschinenbauer wird möglichst diesen Weg gehen.

b) Schlechte Bedienung. Bei allen Prozessen nämlich, die nicht umkehrbar sind, kommen Sie viel schlechter weg. Nehmen wir z. B. wieder unsere heiße Kugel mit 1000° C, in der 100 Wärmeeinheiten drin-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

stecken. Ich bringe nun diese Kugel in ein gut mit Watta umhülltes Wassergefäß, dabei wird das Wasser natürlich warm, ohne daß Wärme verloren gegangen ist. Ich habe immer noch die mir übergebenen 100 Wärmeeinheiten, aber nicht mehr in der heißen Kugel konzentriert. Alles ist auf einer tieferen Temperatur. Wenn ich jetzt anfangen will, diese in meinem warmen Topfe enthaltenen 100 Wärmeeinheiten in Arbeit zu verwandeln, habe ich nicht mehr die große Temperaturdifferenz wie ursprünglich. Ich kann jetzt durch Abkühlung bis 0° C viel weniger Wärme, z. B. nur 20 Wärmeeinheiten in Arbeit verwandeln. Die 100 Wärmeeinheiten, die Sie mir gegeben, habe ich also hier zwar immer noch, aber die „**Ausnützbarkeit**" dieser — jetzt in einem niedertemperierten Körper enthaltenen 100 Wärmeeinheiten ist kleiner geworden.

Dabei ist noch ein weiterer Nachteil eingetreten, der im Naturgeschehen eine unendlich wichtige Rolle spielt. Jetzt können Sie die Bestellung nicht mehr rückgängig machen. Es ist mir ganz unmöglich, die Kugel wieder auf ihren ursprünglich glühenden Zustand zurückzubringen. Sie wurden also jetzt viel schlechter bedient als früher, der Vorgang ist nicht umkehrbar, irreversibel.

Nun sind alle Vorgänge in der Natur irreversible. Die wirklich umkehrbaren Prozesse sind nur ideelle Gedankenprozesse, in der Natur gibt es keine.

Darin liegt die große Bedeutung des Fragezeichens in der Formel 1).

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Die Ausnützbarkeit der Wärme sinkt oder die Unausnützbarkeit (Entropie) steigt. Dieses Steigen der Entropie ist ein mindest ebenso wichtiges Naturgesetz wie das Gesetz von der Erhaltung der Energie. Ich würde nie gewagt haben, eine so illustre Versammlung mit meinen fast kindlich anmutenden Beispielen zu belästigen, wenn ich mich nicht dabei mit der Hoffnung geschmeichelt hätte, daß so manchen von Ihnen vielleicht das erste Mal der Begriff und die Wichtigkeit des zweiten Hauptsatzes oder Entropiesatzes klar würde. Mich reizte die Aufgabe, das Wesentlichste dieses Satzes in populäre Form zu bringen.

Von all der Energie, die Gott einmal geschaffen, kann auch nicht der allerkleinste Teil jemals verschwinden; die einzelnen Erscheinungsformen aber der Energie, als da sind: Wärme, mechanische Bewegung, elektrische Energie, Licht, Lebensenergie usw. verwandeln sich fortwährend ineinander. Dabei wird jedoch die Wärmeform bevorzugt. Für diese hat die Natur eine besondere „Vorliebe“.[1]) Immer mehr und mehr werden sich die einzelnen Energieformen so in Wärme verwandelt haben, daß eine Rückwandlung unmöglich; schließlich gibt es keine Elektrizität, keine mechanische Bewegung, nur mehr Wärme; das Ende der Welt ist der „Wärmetod“.

Diese Vorliebe der Natur für die Wärmebewegung bildet den wichtigsten Inhalt des zweiten Hauptsatzes. Es

---

[1]) Dieser Ausdruck rührt vom Berliner Physiker Planck her.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

muß schließlich alle Energie in diese Form kommen, in eine ungeordnete Bewegung der allerkleinsten Bestandteile des Körpers. W. Thomson sprach von einer „Dissipation", Pfaundler von einer „Entartung" der Energie, ich möchte lieber an einen egalisierenden, an einen demokratischen Zug im Naturgeschehen denken.

Gibt es da kein Entrinnen? Wie, wenn wir Wärme, ohne sie zu vermehren, von selbst irgendwo konzentrieren können, so daß die Temperatur stiege?

Ein Dampfer, der von Europa nach Amerika geht, verbraucht eine Unmenge Kohle, trotzdem die horizontale reibungslose Fortbewegung des Schiffes gar keine Energie benötigt. Die ganze Energie der verheizten Kohle verwandelt sich nur in Reibung. Es hat also diese Unmenge verheizter Kohle eigentlich nur den Ozean erwärmt. — Eine unglaubliche Verschwendung! Können wir diese Wärmemenge nicht wieder verwenden? Ihre erste Antwort, hochverehrte Anwesende, wird wohl die sein, daß diese Wärmemenge über den ganzen Ozean zerstreut ist. Gut, diese nur räumliche Zerstreuung hat aber mit unserem theoretischen Problem gar nichts zu tun.

Denken wir uns einen kleinen kreisförmigen Kanal und ein Schiffsmodell mit Kohlen geheizt, das nur in diesem kleinen Kanal rundherum fährt, dann haben wir die ganze Reibungswärme in unserem kleinen Modell beisammen; von einer räumlichen Zerstreuung der Energie kann nicht mehr die Rede sein. Trotzdem können wir die verlorene Arbeitsmenge nie wieder zurückge-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

winnen; der Hauptsatz verbietet es; die Wärmemenge ist da, jedoch die Temperaturdifferenz fehlt.

Ich glaube aber, wenn Sie scharf nachdenken, werden Sie nicht ganz befriedigt sein. Sie werden sich sagen, die erzeugte Wärme im Wasserkanal besteht in Bewegung der Molekel. Diese Bewegung ist ganz ungeordnet, geht nach allen Richtungen. Wie, wenn wir Wichtelmännchen gewännen, wenn wir irgendwelche kleine Geister, Mikrophysiker engagierten, die diese ungeordnete Bewegung ordneten, die Stoßrichtung dieser Bewegung nach einer einzigen Seite hin dirigierten, dann müßten wir doch durch den einseitigen Anprall dieser Molekel die verlorene Arbeit wieder genau herausbekommen. Es ließen sich nun wirklich einige Vorrichtungen ausdenken, welche etwas Derartiges ermöglichten — aber nur für Wichtelmännchen, für Mikrophysiker. Wenn also so winzige Wichtelmännchen zur Herrschaft kämen, wäre es mit der Herrlichkeit des zweiten Hauptsatzes zu Ende.

Nun ist aber für uns grobgeschlachtete Menschen eben dieser zweite Hauptsatz in seiner mathematischen Formulierung so oft ein treuer Freund und verläßlicher Berater gewesen, er ist eines der wichtigsten Hilfsmittel gewesen zur Entdeckung zahlreicher neuer physikalischer Beziehungen und Erscheinungen. Es entsteht nun die große Frage: Ist dieser Satz wirklich absolut richtig oder fällt er, wenn wir kleine Dämonen zur Hilfe rufen könnten? Ist es nur ein Satz für uns Riesen, die kein Atom oder Molekel in die Pinzette nehmen können, oder sind

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

seine Tage gezählt, wenn nur einmal in späteren Jahrtausenden unsere physikalischen Hilfsmittel feiner sein werden als heute? Wie kommt es denn, daß die Folgen dieses Satzes im Bereiche der ganzen Physik und Chemie richtig sind, wenn die Prämissen dieses Satzes eine Wahrheit auf Kündigung, nur eine Wahrheit infolge der Unzulänglichkeit unseres derzeitigen Könnens bedeuten?

Hier Klarheit geschaffen zu haben, ist das Hauptwerk des größten Wiener Physikers Boltzmann. Nach ihm (nach seinen berühmten H-Theorien) ist der zweite Hauptsatz ein Wahrscheinlichkeitsergebnis. Da alle Körper, auch die kleinsten, mit welchen wir physikalisch, d. h. wirklich operieren, immer noch eine Unzahl von Molekeln enthalten, so kann man auf einen solchen großen Komplex die Gesetze der Wahrscheinlichkeitsrechnung anwenden. Die gegenseitigen Beziehungen solcher Molekel werden immer in jener Richtung ablaufen, daß der wahrscheinlichste Endzustand resultiert und das ist der ungeordnetste, — fast wie im österreichischen Parlament! Jede Ordnung ist unwahrscheinlich. Es ist absolut unwahrscheinlich anzunehmen, daß bei einer molekularen Bewegung ohne äußeren Grund eine einzige Richtung bevorzugt wird, ebenso unwahrscheinlich, wie daß alle Einwohner Wiens ohne äußeren Grund in einem bestimmten Zeitpunkte plötzlich alle nach Norden oder Süden blicken würden.

Was wir also früher Vorliebe des Naturgeschehens für die Wärmeform der Energie nannten, was wir als einen egalisierten, demokratischen Zug im Naturgeschehen

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

ansprachen, ist nur ein Ablaufen der Erscheinungen nach dem wahrscheinlichsten Zustande hin. Das ist der Sinn unseres Satzes und dieser Sinn gilt nur für Ergebnisse, die als Summe sehr zahlreicher Einzelfälle erscheinen. Ein solcher Einzelfall, den unser Mikrophysiker beobachtet, kann eine Ausnahme bilden. Alles aber, was wir Menschen beobachten, somit das ganze Universum, unterliegt der Herrschaft des zweiten Hauptsatzes.

Das ganze Universum??

Darauf gibt das H-Theorem von Boltzmann ein merkwürdiges Postskriptum.

Wir sahen früher an der Wahrscheinlichkeitskurve, daß große Abweichungen von dem wahrscheinlichsten Werte auch vorkommen können, aber nur sehr, sehr selten und nur, wenn wir sehr, sehr viele Fälle beobachten. Wenn nun das Universum unendlich ist, so kann dann und wann, sehr, sehr selten, aber doch manchmal eine Abweichung vom wahrscheinlichsten Endzustand vorkommen. Vielleicht also gibt es irgendwo im Sternenhaufen oder noch weiter draußen in den äußersten Tiefen unbekannter und ungeahnter Weltexistenzen einen Materienkomplex, für den gerade jetzt der zweite Hauptsatz nicht gilt. Während wir hier auf Erden der Egalisierung der Energie, dem Wärmetode immer näher kommen, beginnt da draußen die Möglichkeit vielleicht eines neuen Lebens.

Der Trost ist aber sehr gering, denn nach der Wahrscheinlichkeit werden solche Neugeburten im Laufe der Zeiten immer seltener.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

IV. Bedeutung der großen Zahlen in der Physik und in den anderen Wissensgebieten.

Ich habe bis jetzt den Ausdruck „Zufall“ vermieden. Nun unterliegt es aber keinem Zweifel, daß bei jeder Wahrscheinlichkeitsrechnung ein vollständiges Ausschließen des Zufalles unmöglich ist. Widerspricht dieser bloße Gedanke an die Möglichkeit eines Zufalles nicht dem „exakten“ Charakter der Physik? Und die Physik steht doch an der Spitze aller exakten Wissenschaften. Wenn Ausnahmen (und wenn auch noch so selten) möglich sind, kann dann noch von einem „Gesetze“ die Rede sein? Gewiß! Unser Finanzminister setzt den voraussichtlichen Gewinn des Lottos ruhig ins Budget, trotzdem die Einzelnummern, welche die armen Spielopfer des Kulturstaates Österreich wählen, vom bloßen Zufalle abhängen; unsere Versicherungsgesellschaften haben es ebenso mit lauter unbestimmbaren Einzelfällen zu tun, die große Zahl aber dieser Einzelfälle ermöglicht die Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung und das Resultat wird um so genauer und sicherer sein, je größer die Zahl dieser Einzelfälle ist.

Da haben es die Physiker doch viel besser als so ein Finanzminister, viel besser als die größte Assekuranzgesellschaft. Die Zahl der Einzelfälle ist in unserem Falle eine ganz enorme; in einem Tropfen Wasser, einem kleinen Tautröpfchen sind mehr Molekel, als es gedruckte Buchstaben gibt in allen Büchern der Erde und allen Bibliotheken, die jemals waren, und jedes dieser Molekel

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

ist wieder eine Welt für sich, aufgebaut aus Tausenden von Unterbausteinen, den sogenannten Elektronen. Bei solch großen Zahlen ergibt die Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung nur Resultate, welche den Namen „exakt" verdienen.

Es waren, wie ich glaube, Poincaré und besonders F. Exner, die zuerst die Aufmerksamkeit darauf lenkten, daß jede physikalische Beobachtung nur Mittelwerte aus einer solchen Unmasse von Einzelereignissen gibt.

Beim Gasdruck sahen wir schon, daß er ein Mittelwert aus den Einzelstößen von Trillionen Gasmolekeln ist.

Vielleicht gestatten sie noch irgendein anderes Beispiel. Während ein fester glühender Körper durch ein Prisma betrachtet alle Regenbogenfarben zeigt, ergeben glühende Gase nur bestimmte charakteristische Farbenlinien. Es ist kein Zweifel, daß auch ein glühendes Gas ein vollständiges Spektrum gibt, nur ist hier die Intensitätsverteilung der Strahlung nach einer Wahrscheinlichkeitskurve angeordnet, die ganz besonders steil verläuft. Betrachten wir eine der gelben Natriumlinien (Fig. 7). Man sieht, daß hier auch rote und violette Strahlen weggehen, aber in so geringer Menge, daß wir sie gewöhnlich nicht bemerken. Die wirklich beobachtete scharfe gelbe Spektrallinie ist der mittlere Teil der Wahrscheinlichkeitskurve.

Hier und überall ist das Endresultat, das physikalische Gesetz, nur der Mittelwert einer Riesensumme von Einzelereignissen, die alle so verlaufen, daß sie das unter den gegebenen Versuchs- und Beobachtungsbedingungen Wahrscheinlichste darstellen.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Darum stehen auch, wie F. Exner in seiner vorjährigen Rektoratsrede ausführte, die Gesetze der Physik an Genauigkeit weit über den Ergebnissen aller anderen Wissenschaften und ganz besonders der Geisteswissenschaften. Wir glücklichen Physiker brauchen (abgesehen von Beobachtungsfehlern) kein Mittel aus unzähligen Einzelbeobachtungen zu nehmen, denn wir beobachten das Mittel selbst. Der Historiker, der Linguist, der

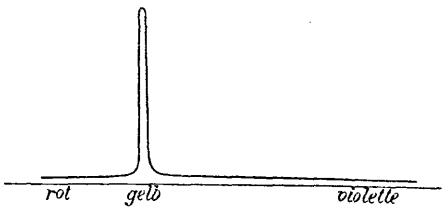

Fig. 7. Natrium-Strahlung.

Nationalökonom hat immer Einzelerscheinungen, aus der er in manchen Fällen eine mittlere Erfahrung ableiten kann. Diese Erfahrung kann aber, weil die Einzelfälle so gering an Zahl, lange nicht, was Exaktheit anlangt, auf gleicher wissenschaftlicher Höhe stehen wie die physikalischen oder chemischen oder eventuell auch manche biologischen Gesetze. Dieses Übergewicht der einen Wissenschaft über die anderen ist natürlich nicht Verdienst der Arbeiter, sondern begründet in der Natur der Sache.

* * *

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Ich habe Ihre Geduld schon lange genug in Anspruch genommen. Meine Absicht war, Ihnen, hochansehnliche Versammlung, heute einiges über das Wesen der Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen und vor allem die Wichtigkeit vorzuführen, welche solche Spekulationen für unser physikalisches Weltbild bieten. In einem größeren Werke über „Physikalische Weltanschauungen“ gehört dieses Kapitel mit an eine erste Stelle und so bitte ich zum Schlusse nochmals: Nehmen Sie gütigst diesen einen Teil für das Ganze.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien

Jahr/Year: 1910

Band/Volume: 50

Autor(en)/Author(s): Lecher Ernst

Artikel/Article: Über physikalische Weltanschauungen. 309-334