

18. 7. 1927

Postverlagsort Leipzig

Stad
Büch
Elbi

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

HERAUSGEGEBEN VON
ARNOLD BERLINER

UNTER BESONDERER MITWIRKUNG VON HANS SPEMANN IN FREIBURG I. BR.

ORGAN DER GESELLSCHAFT DEUTSCHER NATURFORSCHER UND ÄRZTE
UND
ORGAN DER KAISER WILHELM-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTEN

VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN W 9

HEFT 28 (SEITE 569—584)

15. JULI 1927.

FÜNFZEHNTER JAHRGANG

INHALT:

Die neue Mechanik. Von LUDWIG FLAMM, Wien.
(Mit 4 Figuren) 569

Die Fortschritte in der Bearbeitung des Problems
der langfristigen Witterungsvorhersage in den
letzten drei Jahren. Von FRANZ BAUR, Berlin 578

BESPRECHUNGEN:

HARMS, J. W., Körper und Keimzellen. (Ref.:
Karl Bělář, Berlin-Dahlem) 581

BAUR, E., E. FISCHER und F. LENZ, Mensch-
liche Erblichkeitslehre und Rassenhygiene.
III. Auflage. Bd. I. (Ref.: J. Seiler, München) 584

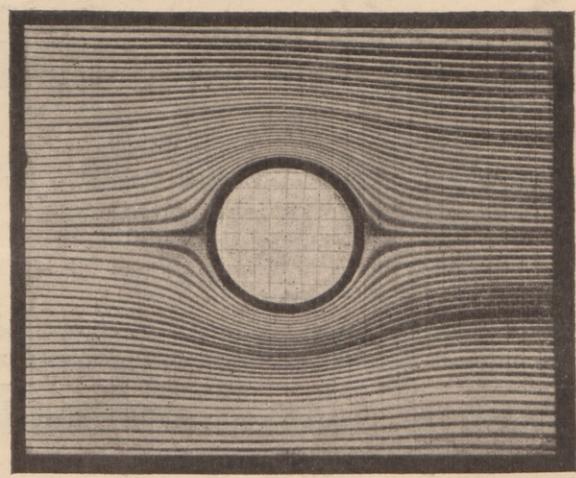


Abb. 88a: Laminare Strömung um einen Zylinder

Aus: **Technische Hydrodynamik**

Von

Dr. Franz Prášil

Professor an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich

Zweite, umgearbeitete und vermehrte Auflage

Mit 109 Abbildungen im Text. IX, 303 Seiten. 1926. Gebunden RM 24.—

VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN W 9

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

erscheinen wöchentlich und können im In- und Auslande durch jede Sortimentsbuchhandlung, jede Postanstalt oder den unterzeichneten Verlag bezogen werden. Preis vierteljährlich für das In- und Ausland RM 9.—. Hierzu tritt bei direkter Zustellung durch den Verlag das Porto bzw. beim Bezuge durch die Post die postalische Bestellgebühr. Einzelheft RM 1.— zuzüglich Porto.

Manuskripte, Bücher usw. an

Die Naturwissenschaften, Berlin W 9, Linkstr. 23/24, erbeten.

Preis der Inland-Anzeigen: $\frac{1}{1}$ Seite RM 150.—; Millimeter-Zeile RM 0.35. Zahlbar zum amtlichen Berliner Dollarkurs am Tage des Zahlungseingangs. Für Vorzugsseiten besondere Vereinbarung. — Bei Wiederholungen Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Klischee-Rücksendungen erfolgen zu Lasten des Inserenten.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr. 23/24
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53. Telegrammadr.: Springerbuch.

VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN W 9

Fragen der klassischen und relativistischen Mechanik

Vier Vorträge gehalten in Spanien im Januar 1921 von

T. Levi-Civita

Professor in Rom

Autorisierte Übersetzung

Mit 13 Textfiguren. VI, 110 Seiten. 1924. RM 5.40

Vorlesungen über Atommechanik

Von

Professor Dr. Max Born

Direktor des Instituts für theoretische Physik der Universität Göttingen

Unter Mitwirkung von

Dr. Friedrich Hund

Privatdozent an der Universität Göttingen

I. Band

Mit 43 Abbildungen. IX, 358 Seiten. 1925. RM 15.—; gebunden RM 16.50

(Bildet Band II von „Struktur der Materie in Einzeldarstellungen“)

Probleme der Atomdynamik

Erster Teil:

Die Struktur des Atoms

Zweiter Teil:

Die Gittertheorie des festen Zustandes

30 Vorlesungen, gehalten im Wintersemester 1925/26
am Massachusetts Institute of Technology von

Professor Dr. Max Born

Direktor des Instituts für theoretische Physik der Universität Göttingen

Mit 42 Abbildungen und 1 Tafel. VIII, 184 Seiten. 1926. RM 10.50; gebunden RM 12.—

Quanten

Redigiert von

H. Geiger

Mit 225 Abbildungen. X, 782 Seiten. 1926. RM 57.—; gebunden RM 59.70

(Bildet Band XXIII vom „Handbuch der Physik“, herausgegeben von H. Geiger und Karl Scheel)

Die neue Mechanik.

Von LUDWIG FLAMM, Wien.

Die Wellenmechanik E. SCHRÖDINGERS¹⁾, deren Darstellung der Zweck des folgenden Aufsatzes ist, greift auf Vorstellungen zurück, mit welchen rund vor hundert Jahren bereits HAMILTON große Erfolge erzielte. Es war eine Zeit, als HAMILTON wirkte, in welcher die erst noch herrschende Emissionstheorie des Lichtes durch die Wellentheorie immer mehr verdrängt wurde. Es mußte die hervorragenden Geister jener Zeit zum Nachdenken darüber veranlassen, daß viele optische Erscheinungen, zuvor in ausgezeichnete Weise durch die Bewegungen von Lichtkorpuskeln erklärt, nunmehr sich ebensogut aus der Wellentheorie ergaben. Die auf diese Weise sich darbietenden Analogien haben den Ausbau der Dynamik mächtig gefördert, aber die Nachwelt hat nur die Resultate HAMILTONS übernommen und deren Begründung auf einer mehr mathematisch formalen Grundlage vorgezogen. Noch FELIX KLEIN liebte die optischen Bilder zur Behandlung dynamischer Probleme, ohne bei seinen Zeitgenossen das gewünschte Verständnis zu finden.

Die neueste Entwicklung dieser von HAMILTON angebahnten Richtung führt zu einer natürlichen Erklärung des Quantenrätsels der Atommodelle, das bisweilen schon die Befürchtung hatte auftauchen lassen, wir würden unser hergebrachtes Kausalitätsgesetz nicht aufrechterhalten können. Mit Hilfe der Vorstellung einer bestimmten Art Wellen führt man die Quantenmechanik einfach auf Interferenzerscheinungen zurück, welche uns insbesondere aus der Optik lange vertraut sind. Das stellt allerdings eine überraschende Wendung dar, wenn man bedenkt, daß die klassische Erklärung der Interferenzerscheinungen mit der Quantentheorie als unvereinbar gehalten wurde. Die neue Wellenmechanik verdankt ihre Entstehung aber erst jener vielbesprochenen Krise, in welche die ursprüngliche Quantentheorie zuletzt geraten war²⁾.

Das Studium der Quantenerscheinungen hatte insbesondere auch zu einer Ungewißheit über die Art der Lichtausbreitung geführt³⁾. Zur Erklärung der Interferenz- und Beugungerscheinungen erweisen sich die Vorstellungen der klassischen Wellentheorie auch heute noch als unentbehrlich. Der photoelektrische Effekt und insbesondere bei den Röntgenstrahlen der Comptoneffekt finden hingegen ihre einfache Erklärung in der Lichtquantenhypothese. Diese gründet sich auf die älteste Fassung der Quantentheorie, nach welcher eine Wellen-

strahlung von der Frequenz ν nur in Energiequanten W auftritt, welche durch die PLANCKSche Formel

$$W = h\nu \quad (1)$$

gegeben sind. Die auftretende Konstante h ist universell und heißt das PLANCKSche Wirkungsquantum. Die von A. EINSTEIN begründete Lichtquantenhypothese bedeutet aber nichts anderes als eine Rückkehr zur NEWTONSchen Emissionstheorie des Lichtes, da sie eine korpuskulare Konzentration des durch Formel (1) gegebenen Energiequantums annimmt¹⁾. So birgt die Ausbreitung des Lichtes bereits ein seltsames Rätsel in sich, für eine Gruppe von Erscheinungen als wellenförmig, für eine andere Gruppe als korpuskular aufgefaßt werden zu müssen.

Das Rätsel der Lichtausbreitung hört auf, ein solches zu sein, wenn man wieder zu HAMILTONS Standpunkt zurückkehrt. Emissionstheorie und Wellentheorie des Lichtes dürfen dann nicht mehr als jene schroffen Gegensätze gelten, als die sie bei der Besprechung der Geschichte der Optik meist hingestellt werden. Beide Theorien können nach dem heute vorliegenden Tatsachenmaterial gar nicht in Widerspruch miteinander stehen, wenn wir hoffen sollen, überhaupt zu einem widerspruchsfreien physikalischen Weltbild zu gelangen.

Man pflegt das Brechungsgesetz als eine Widerlegung der Korpuskulartheorie des Lichtes und eine Bestätigung der Wellentheorie anzusehen. Die folgende Behandlung dieses Gesetzes nach beiden Theorien wird nicht nur erkennen lassen, daß ein solcher Widerspruch auf moderner Grundlage gar nicht mehr besteht, sondern auch aus der Forderung der Übereinstimmung der Resultate zu einer fundamentalen Beziehung führen.

Nach der NEWTONSchen Emissionstheorie hat man sich vorzustellen, daß die Lichtstrahlen durch Lichtkorpuskeln zustande kommen, welche von den leuchtenden Körpern ausgeschleudert werden. So wie zwischen Atomen selbst, treten auch zwischen den Körperatomen und den Lichtkorpuskeln bei genügender Annäherung anziehende oder abstoßende Kräfte auf. Die beim Durchgang des Lichtes durch irgendein durchsichtiges Medium auf jedes Lichtkorpuskel einwirkende Kraft ist die Resultierende aus den von den umgebenden Körperatomen ausgeübten Kräften. In einem homogenen Medium ist das Lichtkorpuskel nach allen Richtungen von den gleichen Körperatomen umgeben, welche eine im Mittel verschwindende resultierende Kraft hervorrufen. Aus diesem

¹⁾ Für das Lichtquantum findet sich in der neueren Literatur auch der Name „Photon“.

¹⁾ Abhandlungen zur Wellenmechanik. Leipzig 1927.

²⁾ N. BOHR, Naturwissenschaften 14, 1. 1926.

³⁾ M. PLANCK, Naturwissenschaften 14, 257. 1926.

Grunde kann man die Bewegung der Lichtkorpuskel in einem homogenen Medium als kräftefrei ansehen wie im leeren Raum, woraus die geradlinige und gleichförmige Ausbreitung des Lichtes mit Notwendigkeit folgt, wie sie in homogenen Medien ebenso wie im leeren Raum tatsächlich beobachtet wird. Tritt jedoch ein Lichtkorpuskel aus einem homogenen Medium in ein anderes über, so wirken von jenseits der Trennungsfläche andere Körperatome ein als von diesseits. In der Nähe der Trennungsfläche ergibt sich darum aus der Kraftwirkung der umgebenden Atome auf das Lichtkorpuskel eine nicht mehr verschwindende Resultierende, welche aus Symmetriegründen senkrecht zur Trennungsfläche orientiert ist. Das stärker anziehende Medium, gegen welches die an der Trennungsfläche auf das Lichtkorpuskel einwirkende Kraft orientiert ist, bezeichnet man als das optisch dichtere Medium. Die Kraft an der Trennungsfläche leistet an dem Lichtkorpuskel beim Übertritt aus dem optisch dünneren ins optisch dichtere Medium eine ganz bestimmte, nur von der Natur der beiden Medien abhängige Durchtrittsarbeit, welche für jede Durchtrittsrichtung die gleiche ist. Die Energie U des Lichtkorpuskels bleibt also im ersten homogenen Medium konstant, nimmt beim Übertritt ins optisch dichtere Medium um die charakteristische Durchtrittsarbeit zu und behält diesen vergrößerten Wert beim Durchgang durch das zweite homogene Medium wieder konstant bei. In jedem der beiden Medien besitzt also das Lichtkorpuskel seine ganz bestimmte Energie U und demzufolge auch seine ganz bestimmte Geschwindigkeit v , ganz unabhängig von der Richtung, in welcher das Licht auf die Trennungsfläche auftritt. Die Kraft an der Trennungsfläche hat aber auch im allgemeinen eine Änderung der Bewegungsrichtung des Lichtkorpuskels zur Folge, welche als Lichtbrechung wahrgenommen wird, zu deren Berechnung die Grundgesetze der Dynamik herangezogen werden müssen.

Die Erklärung der Lichtbrechung nach der Korpuskulartheorie ist durch Fig. 1 erläutert. Beim Übertritt aus dem Medium I ins optisch dichtere Medium II erfährt jedes Lichtkorpuskel eine senkrecht zur Trennungsebene FF' von I nach II orientierte Kraft. Es ändert sich demzufolge die Normalkomponente des Impulses

$$G = mv, \quad (2)$$

während die Tangentialkomponente *erhalten* bleibt. Der Impuls G_1 eines Partikels im ersten Medium steht mit dem Impuls G_2 im zweiten Medium *demzufolge* in der Beziehung

$$G_1 \sin \alpha_1 = G_2 \sin \alpha_2,$$

wobei α_1 den Einfallswinkel und α_2 den Brechungswinkel bedeutet. Die Gleichung läßt sich auch schreiben

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{G_2}{G_1}.$$

Einer bestimmten Energie U und Geschwindigkeit v des Lichtkorpuskels in jedem Medium kommt auch ein ganz bestimmter Impuls G zu. Der Quotient der beiden Impulse G_2 und G_1 ist also gleichfalls ganz unabhängig von der Richtung, in welcher das Licht auf die Trennungsfläche auftritt.

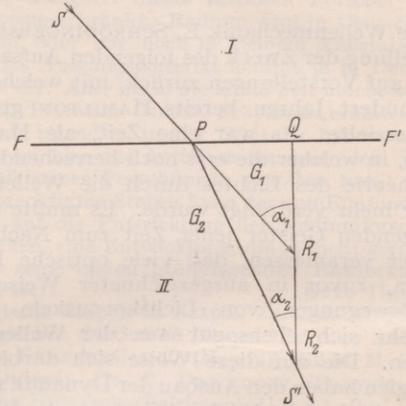


Fig. 1. Zur Erklärung der Lichtbrechung nach der Korpuskulartheorie.

Daher ist
$$\frac{G_2}{G_1} = n \quad (3)$$

eine nur von der Art der beiden Medien abhängige Konstante, der Brechungsexponent. So ergibt sich das SNELLIUSSCHE Brechungsgesetz

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = n,$$

d. h., der Quotient aus dem Sinus des Einfallswinkels und dem Sinus des Brechungswinkels hat für jede Einfallrichtung den gleichen Wert.

Nach den Vorstellungen der Wellentheorie sind die Lichtstrahlen die Bahnen der Lichtenergie, welche durch die von den leuchtenden Körpern ausgesendeten Lichtwellen fortgetragen wird. Der Energietransport findet senkrecht zu den Wellenflächen statt¹⁾. Demzufolge stehen die Lichtstrahlen senkrecht auf den Wellenflächen. Die Wellengeschwindigkeit u hat in jedem homogenen Medium einen ganz bestimmten Wert, der auch für alle Fortpflanzungsrichtungen der gleiche ist. Von zwei angrenzenden Medien bezeichnet man das Medium mit der kleineren Wellengeschwindigkeit als das optisch dichtere Medium. Eine durch die Trennungsfläche zweier Medien schief hindurchtretende Lichtwelle erleidet zufolge der veränderten Wellengeschwindigkeit eine Schwenkung, wodurch die Lichtstrahlenbrechung hervorgerufen wird.

Die Erklärung der Lichtbrechung nach der Wellentheorie ist durch Fig. 2 erläutert. Die verschiedene Wellengeschwindigkeit u_1 und u_2 in den beiden Medien hat eine Schwenkung der Wellenebene von AB in Medium I nach $A'B'$ in Medium II zufolge, wodurch der auf der Wellenebene

¹⁾ Dies gilt für die hier allein betrachteten isotropen Medien.

Demnach erfolgt die Bewegung zwischen zwei fixen Raumpunkten A und A' gerade so, daß das auftretende Wirkungsintegral für die durchlaufene Bahn einen extremen Wert besitzt gegenüber allen unter Erhaltung der Gesamtenergie W variierten Bahnen. Macht man auch hier von Gleichung (6) Gebrauch und setzt

$$G = \frac{W}{u}$$

in das Variationsprinzip ein, so ergibt sich nach Kürzen durch die Konstante W die Umformung

$$\delta \int_A^{A'} \frac{ds}{u} = 0.$$

Das ist aber nichts anderes als das FERMATsche Prinzip, welches besagt, daß das Licht zwischen zwei fixen Raumpunkten A und A' denjenigen Weg beschreibt, für den die Zeit zur Zurücklegung durch die Wellen gegenüber allen benachbarten Wegen ein extremer Wert ist. Das FERMATsche Prinzip bestimmt die Ausbreitung des Lichtes auf Grund der Wellentheorie. Es wird also tatsächlich durch Gleichung (6) die Korpuskulartheorie und die Wellentheorie des Lichtes ganz allgemein in Einklang gebracht.

Der Begriff von Wellenkörpern sozusagen bewährt sich also in der Optik recht gut. Es wäre zu begrüßen, wenn die Wellentheorie in irgendeiner Form dergleichen aufzuweisen hätte. Der Einfachheit halber pflegt man da den Betrachtungen allerdings den unbegrenzten Zug einfach harmonischer Wellen zugrunde zu legen. Man macht den Ansatz

$$\Psi = a \sin(2\pi\varphi)$$

mit der Phase

$$\varphi = \nu \left(t - \frac{s}{u} \right) - \vartheta,$$

wobei s die Länge des Strahlenweges und ϑ eine Phasenkonstante bedeutet. Diese einfache Formel gilt streng nur für konstante Wellengeschwindigkeit u . Für örtlich veränderliche Wellengeschwindigkeit kann sie mit genügender Näherung beibehalten werden, wenn man die zutreffende Voraussetzung macht, daß in Vergleich zu den raschen Oscillationen der Wellenlinie die Änderungen von u nur ganz allmähliche sind. Wo immer uns aber in der Natur Wellen entgegenreten, hat man es niemals mit unbegrenzten, sondern immer nur mit begrenzten Wellenzügen zu tun, mit sog. *Wellengruppen*. Diese sind wohlbekannt bei den der unmittelbaren Anschauung zugänglichen Wellen auf Wasseroberflächen. Jedermann geläufig ist die Wellengruppe, welche ein ins Wasser geworfener Stein erzeugt. Auffällig ist auch die Wellengruppe, welche durch ein auf dem Wasser dahinfahrendes Schiff erregt wird. Aber auch die vom Wind aufgeworfenen Wellen stellen keinen regelmäßigen Wellenzug dar, sondern zerfallen deutlich in Gruppen zusammengehöriger Wellen, mit einer höchsten

Welle in der Mitte, welcher immer kleiner werdende vorangehen und folgen.

Es lassen sich aber alle Wellengruppen durch Superposition eines spektralen Bereiches von unbegrenzten Wellenzügen aufbauen. Für den wichtigen Spezialfall eines sehr schmalen spektralen Bereiches von unbegrenzten Zügen harmonischer Wellen soll dies eingehender diskutiert werden. Jeder einzelne unter ihnen ist durch den obigen Ansatz dargestellt. Sie unterscheiden sich untereinander bloß durch eine verschiedene Schwingungszahl ν . Auch die Phasenkonstante ϑ kann stetig und monoton mit ν sich ändern. Die einen engen Frequenzbereich erfüllende Mannigfaltigkeit von unbegrenzten Wellenzügen wird zu irgendeiner Zeit t_0 an einer Stelle s_0 untereinander in Phasenübereinstimmung sein. Dort addieren sich sämtliche Amplituden und es resultiert die größtmögliche Intensität. An jeder Stelle $s \neq s_0$ kann zufolge der verschiedenen Wellenlänge der zur betrachteten Mannigfaltigkeit gehörigen Wellenzüge eine Phasenübereinstimmung zur selben Zeit nicht mehr bestehen, und zwar werden die Phasen um so mehr differieren, je stärker s von s_0 abweicht. In solchen Distanzen, in welchen die Phasen einmal in einem Bereich von vielen Wellenlängen differieren, hat die resultierende Welle eine im Vergleich zum Maximum bei s_0 nur mehr so kleine Amplitude, daß sie praktisch nicht mehr in Betracht kommt. Durch Interferenz der die Mannigfaltigkeit bildenden Wellenzüge resultiert also nur in der Nachbarschaft von s_0 eine beträchtliche Amplitude, während sich sonst die Wellen so gut wie vollständig auslöschen.

Die Verhältnisse liegen hier analog wie bei der Beugung einwilligen Lichtes an einem engen Spalt. Nur wird dort in den schiefen Büscheln die Phasenverschiebung durch Wegdifferenzen hervorgerufen, während sie hier durch verschiedene Wellenlänge entsteht. Aus dem gleichen Grunde wie dort hat man auch hier das Auftreten von Interferenzfransen um das Hauptmaximum zu erwarten.

Durch Superposition der betrachteten Mannigfaltigkeit unbegrenzter Wellenzüge entsteht also ein Wellenzug mittlerer Wellenlänge, wie er in Fig. 3 dargestellt ist¹⁾. Die Amplitude besitzt an einer Stelle einen maximalen Wert, nimmt aber nach beiden Seiten hin rasch ab, dabei noch stets kleiner werdende Nebenmaxima aufweisend. In einiger Entfernung vom Hauptmaximum wird die

¹⁾ Die analytische Darstellung erhält man durch Auswertung des Integrales

$$\Psi = a \int_{\nu_1}^{\nu_2} \sin(2\pi\varphi) d\nu.$$

Die Integration ist für konstantes s und t durchzuführen, doch ist zu beachten, daß u von ν abhängen kann. Es genügt, $\nu_2 - \nu_1$ als klein erster Ordnung zu betrachten und die Glieder höherer Ordnung zu vernachlässigen. Die Rechnung erfolgt analog L. FLAMM. Physikal. Zeitschr. 27, 604. 1926.

Amplitude so klein, daß man keine Welle mehr wahrnehmen wird. Der resultierende Wellenzug erfüllt also praktisch nur einen begrenzten Bereich und stellt eine Wellengruppe dar. Je enger der Spektralbereich der unbegrenzten Wellenzüge genommen wird, desto ausgedehnter ist die Wellengruppe, je breiter aber der Spektralbereich gewählt wird, auf um so weniger Wellen schrumpft die Wellengruppe zusammen.

Ist die Wellengeschwindigkeit u von der Frequenz ν unabhängig, so haben sämtliche Wellenzüge des betrachteten spektralen Bereiches dieselbe Wellengeschwindigkeit und rücken gemeinsam mit der Geschwindigkeit u fort. Mit ihnen wandert auch die Stelle der Phasenübereinstimmung sämtlicher Wellenzüge gleichfalls mit der Geschwindigkeit u weiter. Anders verhält sich der Fall von *Dispersion*, für welchen die Wellengeschwindigkeit u mit der Frequenz ν sich ändert. Hier werden die gleichen Phasen der verschiedenen Wellenzüge, welche zur Zeit t_0 an der Stelle s_0 sich

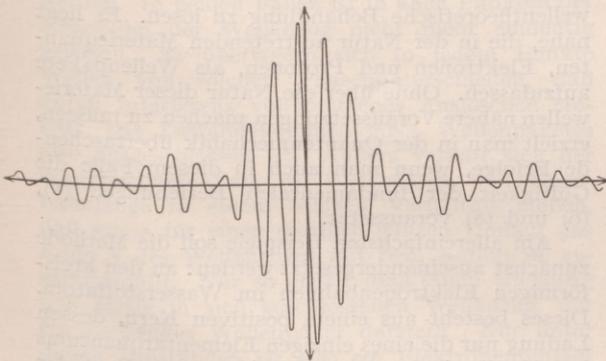


Fig. 3. Wellengruppe.

decken, in gleichen Zeiten um verschiedene Strecken fortwandern, so daß sie nicht mehr überlagert bleiben, sondern auf einen bestimmten Bereich von s auseinandergezogen erscheinen. Phasenübereinstimmung kann in dem betrachteten späteren Zeitpunkt nur mehr außerhalb dieses Bereiches stattfinden, in einem Punkte, welcher nunmehr die Lage des Maximums der durch Interferenz um ihn herum in gleicher Weise zustande gekommenen Wellengruppe bestimmt. Im Falle von *Dispersion* ist also die *Wellengeschwindigkeit* u wohl zu unterscheiden von derjenigen Geschwindigkeit v , mit welcher die Gruppe fortschreitet und darum als *Gruppengeschwindigkeit* bezeichnet wird¹⁾.

Im allgemeinen bewegt sich also die Gruppe mit

¹⁾ Ein Maß für die Phasenverschiedenheit der unbegrenzten Wellenzüge in der betrachteten Mannigfaltigkeit zu einer Zeit t und an einer bestimmten Stelle s ist der Ausdruck

$$\frac{\partial \varphi}{\partial \nu} = t - \frac{d \nu}{d \nu} s - \frac{d \vartheta}{d \nu}.$$

anderer Geschwindigkeit fort als die einzelnen Wellen, welche sie umfaßt, so daß die Wellen durch die Gruppe hindurch sich fortzubewegen scheinen. Am längsten bekannt ist diese Erscheinung bei den Wellen auf verhältnismäßig tiefem Wasser. Für sie ist die Gruppengeschwindigkeit gleich der halben Wellengeschwindigkeit. Hier laufen die Wellen in der Gruppe nach vorwärts und werden immer kleiner und kleiner, indem sie sich der vorderen Grenze nähern. Sie werden immer wieder durch neue Wellen ersetzt, welche von hinten nach vorne kommen.

Die Energie von Wellen ist dem Quadrat ihrer Amplitude proportional. Wellenenergie tritt darum nur in der Wellengruppe auf, und dort am meisten, wo die Amplituden am größten sind. Mit der Gruppe wandert die Energie weiter, und nicht mit den Wellen. Die Gruppengeschwindigkeit v spielt also die wichtige Rolle der Transportgeschwindigkeit der Wellenenergie. Letztere ist ebenfalls von der Wellengeschwindigkeit u streng auseinanderzuhalten.

Die auf die beschriebene Art aus unbegrenzten Wellenzügen erzeugte Wellengruppe zeigt den Amplitudenabfall erst in einer einzigen Dimension, und zwar in der Richtung der Wellenbewegung und dieser entgegen. Doch sind die einzelnen Wellen der Gruppe noch seitlich unbegrenzt.

Die Lichtwellen sind Raumwellen. Eine Wel-

Das Interferenzmaximum ist bestimmt durch

$$\frac{\partial \varphi}{\partial \nu} = 0.$$

Diese Bedingung liefert

$$s = \frac{d \nu}{d \left(\frac{\nu}{u} \right)} \left(t - \frac{d \vartheta}{d \nu} \right)$$

für den Ort größter Amplitude. Dieser bewegt sich also mit der Geschwindigkeit

$$v = \frac{d \nu}{d \left(\frac{\nu}{u} \right)} \quad (7)$$

und mit ihm die ganze Wellengruppe, die ja durch Interferenz immer im gleichen Umriß um das Maximum herum resultiert. Die durch Formel (7) gegebene Geschwindigkeit v heißt darum die Gruppengeschwindigkeit.

Um den Zusammenhang zwischen der Gruppengeschwindigkeit v und der Wellengeschwindigkeit u bequemer zu diskutieren, formt man die Gleichung (7) besser um in die Gestalt

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{u} + \nu \frac{d \left(\frac{1}{u} \right)}{d \nu}.$$

Wenn keine Dispersion vorliegt, ist u unabhängig von ν , das zweite Glied rechts verschwindet und man erhält $v = u$. Bei Auftreten von Dispersion ist aber u von ν abhängig, das zweite Glied rechts verschwindet nicht und man bekommt $v \neq u$. Die Gruppengeschwindigkeit v ist ferner größer oder kleiner als die Wellengeschwindigkeit u , je nachdem mit steigender Frequenz ν die Wellengeschwindigkeit zunimmt oder abnimmt.

lengruppe der betrachteten Art bedeutet für solche erst eine Energiekonzentration um eine der Wellenflächen. Ein Wellenkörper müßte aber die Energiekonzentration nur um einen Punkt darstellen. Eine Mannigfaltigkeit von Wellengruppen mit Wellennormalen, welche in einem engen räumlichen Winkelbereich alle möglichen Orientierungen aufweisen, geben durch Superposition ein Wellenpaket¹⁾. Dieses weist ein Interferenzmaximum bloß in einem Punkte auf, von diesem ausgehend, nimmt die Amplitude nach allen Richtungen bald zu verschwindenden Beträgen ab. Ein solches Wellenpaket hat also die Energie um einen Punkt konzentriert, und zwar immer in gleicher Art um denjenigen Punkt, in welchem die betrachtete Mannigfaltigkeit von Wellengruppen in Phasenübereinstimmung sich befindet. Die Geschwindigkeit des Wellenpaketes bleibt die Gruppengeschwindigkeit $v^2)$. Ein solches Wellenpaket stellt ein geeignetes Modell eines Wellenkörpers dar.

Daß ein solcher Energieknoten, welchen ein Wellenpaket darstellt, die Bewegungsgesetze der Mechanik befolgt, das ist heute auf Grund des speziellen Relativitätsprinzips allein einleuchtend, nach welchem auf eine Masse nach der Formel $U = mc^2$ zu schließen ist³⁾.

Die Quantentheorie fordert noch, daß Gesamtenergie W und Frequenz ν eines Wellenkörpers in der durch die fundamentale PLANCKSche Formel (1) gegebenen Beziehung stehen. Dies muß einfach als Tatsache hingenommen werden, eine Begründung dafür kann nicht gegeben werden, es stellt aber ein Axiom dar, welches mit klassischen Gesetzen nicht in Widerspruch steht und zur Erklärung sämtlicher Quantenerscheinungen ausreicht, wie sich zeigen wird.

Zufolge der PLANCKSchen Formel (1) läßt sich die fundamentale Beziehung (6), welche die Übereinstimmung zwischen Korpuskulartheorie und Wellentheorie gewährleistet, auch schreiben

$$Gu = h\nu.$$

Da zwischen Wellengeschwindigkeit u , Frequenz ν und Wellenlänge λ die Gleichung besteht

$$u = \nu\lambda,$$

so ergibt sich noch einfacher

$$G = h \frac{\nu}{\lambda}. \quad (8)$$

Die reziproke Wellenlänge bedeutet die auf die Längeneinheit entfallende Anzahl von Wellenlängen und wird kurz *Wellenzahl* genannt. Wie nach (1) die Gesamtenergie der Schwingungszahl, so ist nach (8) der Impuls der Wellenzahl proportio-

nal. Der Proportionalitätsfaktor ist in beiden Fällen der gleiche, nämlich das PLANCKSche Wirkungsquantum.

Korpuskulartheorie und Wellentheorie sind so aufeinander zurückgeführt. Einer bestimmten Schwingungszahl der Wellen kommt eine bestimmte Gesamtenergie der Korpuskel zu, einer bestimmten Wellenzahl entspricht ein bestimmter Impuls. Die Korpuskeln bewegen sich mit derjenigen Geschwindigkeit, welche durch alle terrestrischen Methoden zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit direkt gemessen wird, der Gruppengeschwindigkeit¹⁾, ihre Bahn sind die Lichtstrahlen. Änderungen der Wellengeschwindigkeit entsprechen Kraftfelder, welche auf die Korpuskeln einwirken.

So lassen sich alle geometrisch-optischen Probleme auch durch punktmechanische Betrachtungen behandeln. Als besonders fruchtbringend erwies sich aber die Umkehrung dieses Gedankens, wie es schon HAMILTON tat, punktmechanische Probleme durch wellentheoretische Behandlung zu lösen. Es liegt nahe, die in der Natur auftretenden Materiequanten, Elektronen und Protonen, als Wellenpakete aufzufassen. Ohne über die Natur dieser Materiewellen nähere Voraussetzungen machen zu müssen, erzielt man in der Quantenmechanik überraschende Erfolge, wenn man auch in diesem Falle die Gültigkeit der fundamentalen Beziehungen (1), (6) und (8) voraussetzt.

Am allereinfachsten Beispiele soll die Methode zunächst auseinandergesetzt werden: an den kreisförmigen Elektronenbahnen im Wasserstoffatom. Dieses besteht aus einem positiven Kern, dessen Ladung nur die eines einzigen Elementarquantums ist. Um ihn kreist ein einziges Elektron. Nach der BOHRschen Theorie der Serienspektren kann das Elektron nur eine diskrete Anzahl von Kreisbahnen um den Zentralkern beschreiben, deren Radien r durch die speziellen Werte des Impulsmomentes

$$Gr = n \frac{h}{2\pi} \quad (n \text{ ganze Zahl})$$

bestimmt sind.

Das Elektron beschreibt seine kreisförmigen Bahnen unter der Einwirkung des Kraftfeldes des Zentralkernes. Wenn man das Elektron nun als Wellenpaket betrachtet, so müssen auch dessen Wellen im Kreise herumlaufen. Den Grund hierfür wird man darin zu suchen haben, daß dem Kraftfeld eine Unhomogenität der Wellengeschwindigkeit entspricht. Es handelt sich also um eine Analogie zu der bekannten Erscheinung, daß in inhomogenen Medien die Lichtstrahlen gekrümmt sind.

Die Wellenvorstellung läßt erkennen, daß nur bestimmte Kreisbahnen möglich sind. Beginnt man nämlich auf irgendeiner der Kreisbahnen die nach Formel (8) durch den Impuls G bestimmte Wellenlänge aufzutragen, wie dies

¹⁾ DRUDE-GEHRCKE, Lehrbuch der Optik, 3. Aufl., S. 114. Leipzig 1912.

¹⁾ L. FLAMM, Physik. Zeitschr. 27, 607. 1926.

²⁾ Gegeben durch Formel (7).

³⁾ Eine bemerkenswerte Bestätigung liefert auch die Geschichte der Physik; denn auf Grund solcher Vorstellungen wurden die HAMILTONSchen kanonischen Grundgleichungen der Dynamik entdeckt und die HAMILTON-JACOBSche Integrationsmethode begründet. L. FLAMM, Die Grundlagen der Wellenmechanik. Physik. Zeitschr. 27, 600. 1926.

in Fig. 4 ausgeführt ist, so wird in irgendeinem Ausgangsquerschnitt AB nach einem Umlauf im allgemeinen der Endpunkt N des Wellenzuges mit dem Anfangspunkt M sich nicht decken. Führt man also die Welle auf der Kreisbahn nur einmal herum, beim Querschnitt AB beginnend und wieder endend, so tritt dort im allgemeinen eine Unstetigkeit auf, indem die Welle mit verschiedener Phase beginnt und endet. Man kann in einem solchen Falle den Wellenzug gar nicht auf einen Umlauf beschränken, sondern muß ihn noch weiter führen. Es ist möglich, daß nach einer bestimmten ganzen Anzahl von Umläufen das Ende des Wellenzuges die gleiche Phase wie der Anfang besitzt; dann kann man Anfang und Ende ineinanderschließen zu einem stetigen Wellenzug, welcher eine endliche Anzahl von Umläufen umfaßt. Möglicherweise tritt auch keine Phasenübereinstimmung des Anfangs und Endes des Wellenzuges für eine endliche Anzahl ganzer Umläufe ein; dann muß der Wellenzug unbegrenzt fortgeführt werden. In beiden Fällen ist in allen Punkten der Kreisbahn der Wellenzug nicht mehr eindeutig gegeben. Es überlagern sich in jedem Punkte Wellen von solchen Phasenunterschieden, daß durch Interferenz vollkommenes Auslöschen eintritt, das Zustandekommen eines Wellenpaketes also ausgeschlossen ist. Anders verhält sich der ausgezeichnete Fall, wo Wellenlänge und Kreisbahnlänge in einem solchen Verhältnis stehen, daß schon für einen einzigen ganzen Umlauf das Ende N des Wellenzuges mit dem Anfang M zusammenfällt. Nur so erhält man einen eindeutig und stetig in sich geschlossenen Wellenzug, der ein kreisendes Wellenpaket darstellt. Nur unter diesen Umständen ist also ein Elektronenumlauf möglich.

Eindeutig und stetig ist der Wellenzug nur dann, wenn die Wellenlänge ein ganzzahliger Bruchteil der Kreisbahnlänge ist, also unter der Bedingung

$$\lambda = \frac{2\pi r}{n}$$

Aus (8) folgt daraus der Impuls

$$G = \hbar \frac{n}{2\pi r}$$

Diese Gleichung läßt sich auch schreiben

$$Gr = n \frac{\hbar}{2\pi}$$

und stellt genau die oben angeführte BOHRSCHE Quantenbedingung für die stationären Kreisbahnen dar. Diese von BOHR axiomatisch aufgestellte Gleichung wird aus der Wellenpakettheorie als Folgerung erhalten.

Auch alle anderen in sich geschlossenen Elektronenbahnen, wie die Bahnellipsen des Elektrons im Wasserstoffatom, können nur dann bestehen, wenn die nach Formel (8) durch den Impuls G bestimmte Welle sich längs der Bahn eindeutig und stetig ineinanderschließt. Die Gesamtzahl der auf die Bahnlänge entfallenden Wellenlängen muß auch

hier eine ganze Zahl sein. Nur ist zu beachten, daß bei einem längs der Bahn veränderlichen Impuls G nach (8) auch die Wellenlänge λ variabel ist. Die Ganzzahligkeitsforderung für die längs der Bahn auftragbaren Wellenlängen führt mithin auf eine Integralbedingung

$$\oint \frac{1}{\lambda} ds = n.$$

Nach Multiplikation mit h schreibt sich dieselbe Gleichung zufolge (8)

$$\oint G ds = n\hbar.$$

Das ist die allgemeine Formulierung der Quantenbedingung für die stationären Bahnen, aus der sich die oben behandelte BOHRSCHE Bedingung für Kreisbahnen als spezieller Fall ergibt. Wie A. EINSTEIN gezeigt hat¹⁾, lassen sich die gebräuchlichen SOMMERFELDSCHEN Quantenbedingungen für die einzelnen Freiheitsgrade unmittelbar daraus herleiten. Diese rein formal aufgestellten Gesetze bildeten die Grundlage aller auf analytischem Wege erzielten Erfolge der BOHRSCHEM Theorie der Atome und Moleküle. Es ist ein beachtenswerter Erfolg der Wellenvorstellungen, daß diese Quantenbedingungen sich als notwendige Folgerungen aus ihnen ergeben.

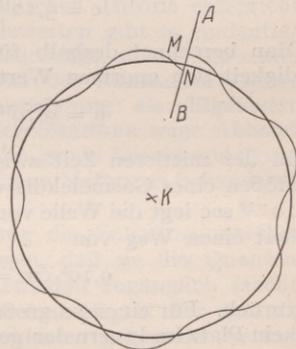


Fig. 4. Kreisendes Elektron als Wellenpaket.

Die Vorstellung der Wellenpakete führt aber nicht nur bei den Elektronen zum Erfolg, sondern bewährt sich auch angewendet auf die Atome selber. Es soll dies an dem Beispiele der Quantelung des idealen einatomigen Gases gezeigt werden. Zwischen den Zusammenstößen nimmt man beim idealen Gas die Bewegung der Gasmoleküle als kräftefrei an, also geradlinig und gleichförmig. Unter diesen Umständen hat man auch die Bewegung der Materiewellen eines Atommoleküls als geradlinig und gleichförmig zu betrachten.

Die Wellengeschwindigkeit berechnet sich nach Formel (6) zu

$$u = \frac{W}{G}$$

Ist keine potentielle Energie V vorhanden, so reduziert sich W auf U , und man erhält auf Grund der Formeln (5) und (2) nach Kürzen durch m einfacher

$$u = \frac{c^2}{v}$$

Die Geschwindigkeit v einer Masse kann nach

¹⁾ Verhandl. d. Deutsch. physikal. Ges. 19, 82. 1917.

dem speziellen Relativitätsprinzip nur kleiner als die Vakuumlichtgeschwindigkeit c sein. Nach der erhaltenen Formel ist die Wellengeschwindigkeit u dann notwendig größer als die Vakuumlichtgeschwindigkeit. Weil der Energietransport mit der Gruppengeschwindigkeit v und nicht mit der Wellengeschwindigkeit erfolgt, so bedeutet deren Überlichtgeschwindigkeit keinen Widerspruch mit dem speziellen Relativitätsprinzip.

Im Normalzustande ist die Größenordnung der Molekülgeschwindigkeit der Gase

$$v = 10^5 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}.$$

Sie ist ziemlich klein gegen die Vakuumlichtgeschwindigkeit

$$c = 3,10^{10} \frac{\text{cm}}{\text{sec}}.$$

Man berechnet deshalb für die Wellengeschwindigkeit den enormen Wert

$$u = 9,10^{15} \frac{\text{cm}}{\text{sec}}.$$

In der mittleren Zeit zwischen zwei Zusammenstößen eines Gasmoleküls von der Größenordnung 10^{-10} sec legt die Welle von so hoher Geschwindigkeit einen Weg von

$$9,10^5 \text{ cm} = 9 \text{ km}$$

zurück. Für einen so großen geradlinigen Weg ist kein Platz im Innern der gebräuchlichen Gasbehälter. Doch wie die Gasmoleküle, so müssen auch deren Wellen von den Wänden des Gefäßes reflektiert werden. Viele tausende Male werden diese Wellen mithin regulär zwischen den Wänden eines gebräuchlichen Gasbehälters hin- und herreflektiert, ehe das Gasmolekül durch einen Zusammenstoß wieder in eine andere Bahn geworfen wird und damit zugleich seine Wellen eine neue Kette von ungestörten Reflexionen beginnen. Die Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Zusammenstößen eines Gasmoleküls reicht somit hin, daß seine Wellen im ganzen Gefäßvolumen kräftig interferieren. Es gibt nur eine diskrete Anzahl von Wellenlängen und Strahlrichtungen, welche durch Interferenz sich verstärken, die sog. Eigenschwingungen des Hohlraumes, alle anderen heben sich auf. Darum können auch die Gasmoleküle im Behälter nur in solchen diskreten Bewegungszuständen auftreten, welche den Eigenschwingungen des Hohlraumes zugeordnet sind.

In der Theorie der Hohlraumstrahlung und der spezifischen Wärme spielen die Eigenschwingungen schon seit längerem eine fundamentale Rolle. Für ihre Anzahl im Volumen V und in dem Wellenzahlintervall

$$\frac{1}{\lambda} \text{ bis } \frac{1}{\lambda} + d\left(\frac{1}{\lambda}\right)$$

gilt die bekannte Formel

$$dZ = V \cdot 4\pi \left(\frac{1}{\lambda}\right)^2 d\left(\frac{1}{\lambda}\right).$$

Auch die Gasmolekülwellen können nur in dieser

Anzahl bestehen. Um den Zustand der Gasmoleküle selbst einzuführen, hat man nach (8)

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{G}{h}$$

einzusetzen und erhält

$$dZ = \frac{V \cdot 4\pi G^2 dG}{h^3}$$

als die Anzahl der Moleküle im Volumen V in den Impulsgrenzen

$$G \text{ bis } G + dG.$$

Der Zähler des Bruches stellt nichts anderes dar als den sog. Phasenbereich dieser Gasmoleküle, der Nenner die sog. PLANCKSche Elementarphasenzelle. Phasenbereich gebrochen durch die Elementarphasenzelle als Anzahl der in den Phasenbereich hineinfallenden Quantenzustände war die formale Grundlage, auf welcher M. PLANCK die Gasquantelung durchführte, um zur Berechnung der chemischen Konstante zu gelangen. Genau diese Formel erhält man als Folgerung aus der Wellenvorstellung.

Vielfach hat man überhaupt gezweifelt, ob die Anwendung der Quantentheorie auf die Gasmoleküle gerechtfertigt sei, da die Bewegung derselben keine periodischen Komponenten, nicht einmal einfaches Hin- und Herpendeln in sich trage. Wie man sieht, sind es die Molekülwellen, welche das periodische Hin- und Herpendeln besorgen und die Quantelung der Gasmoleküle verursachen. Im Falle der erstbehandelten stationären Elektronenbahnen in den Atomen greift das Partikel mit seinen Wellen sozusagen beständig die ganze Bahn ab, um so zwangsläufig deren Dimensionen auf seine Zustände abzustimmen. Die Gasmoleküle aber greifen mit ihren Wellen sozusagen das ganze Gefäßvolumen ab und besorgen so eine Anpassung der Molekülzustände an die Gefäßdimensionen. So bringt die Wellenvorstellung in anschaulicher Weise ein Verständnis für das Bestehen diskreter Quantenzustände.

Die Wellenvorstellungen bedürfen aber noch einer Ergänzung. Das Wellenpaket, Fig. 3, dem ein endlicher Energiebetrag zukommt, wurde durch Überlagerung eines engen Frequenzbereiches von unbegrenzten, unendlichlangen Wellenzügen erhalten. Ein solcher Wellenzug von einer einzigen ganz bestimmten Frequenz würde eine unendlich große Energie besitzen, soll die Amplitude überhaupt endlich sein. Bei dem im Atom auf periodischen Bahnen umlaufenden Elektronen sind die Wellenzüge in sich geschlossen und endlich. Auf den innersten Elektronenbahnen umfassen sie sogar nur eine ganz geringe Anzahl von Wellen. Solche endliche Wellenzüge haben auch bei ganz bestimmter Frequenz und endlicher Amplitude eine endliche Energie, welche gleichförmig über die ganze Bahn verteilt ist. Möglicherweise tritt das Elektron auf den Quantenbahnen im Atommern in Wellenpaketen dieser Art auf.

Eine solche Annahme zieht allerdings eine

gewaltige Umwälzung unserer bisherigen Anschauungen nach sich. Man kann dem Elektron nicht mehr einen bestimmten Ort auf seiner Atombahn zuordnen, es füllt vielmehr sozusagen die Bahn gleichmäßig aus. Die Erfahrung scheint dem nicht zu widersprechen, da keine Erscheinungen bekannt sind, bei denen der Ort des Elektrons auf der Atombahn eine Rolle spielt. Die Quantengesetze finden ihr Auslangen mit diesem einfachen Wellenbilde.

Auf diesen Anschauungen fußend, hat E. SCHRÖDINGER die Quantenmechanik auf ganz neue Grundlagen gestellt. Demnach besteht deren Aufgabe darin, die eindeutigen und stetigen Wellen aufzufinden, welche im Atominnern auftreten können. Diese treten an die Stelle der stationären Elektronenbahnen der BOHRschen Theorie. Bekannt ist die Wellengeschwindigkeit u an jeder Stelle im Atominnern, welche durch das Kraftfeld nach den Formeln bestimmt ist, welche aus der Äquivalenz von Korpuskulartheorie und Wellentheorie sich ergeben haben. Die zu lösende Aufgabe ist genau die gleiche, wie sie bei allen Eigenschwingungsproblemen vorliegt.

Als Grundlage der stationären Probleme der Quantenmechanik nimmt mithin E. SCHRÖDINGER die aus der Optik wohlbekannte Wellengleichung

$$\Delta \psi + \frac{4 \pi^2}{\lambda^2} \psi = 0,$$

in welcher Δ den LAPLACESchen Operator bedeutet. Im vorliegenden Falle ist die Wellenzahl durch die fundamentale Gleichung (8) bestimmt, zufolge deren die Wellengleichung sich umformt in

$$\Delta \psi + \frac{4 \pi^2}{h^2} G^2 \psi = 0.$$

Den Impuls G kann man mittels des Energiesatzes durch das Potential $V(xyz)$ als Ortsfunktion ausdrücken. Die meisten Quantenprobleme lassen sich hinreichend genau mit der NEWTONschen Mechanik behandeln. Für diese kann man den Energiesatz schreiben

$$\frac{G^2}{2m} + V = E,$$

worin E die Gesamtenergie im Sinne der klassischen Mechanik bedeutet. Damit erhält man die Wellengleichung in der für die Integration geeigneten Gestalt

$$\Delta \psi + \frac{8 \pi^2 m}{h^2} (E - V) \psi = 0. \quad (9)$$

Die eindeutigen, endlichen und stetigen Lösungen dieser Differentialgleichung führen auf die gesuchten Wellen.

Das vorliegende Problem ist von der gleichen Art wie das der Eigenschwingungen einer eingespannten Saite oder das einer eingespannten Membran sowohl hinsichtlich der Art der zu lösenden Differentialgleichung als auch hinsichtlich der den Integralen auferlegten Bedingungen. Ein Unterschied liegt nur darin, daß bei der Saite und der Membran die Wellen sich bloß durch Reflexion an

den Einspannungsstellen in sich schließen, während im Falle des Atomproblems die Wellen infolge der inhomogenen Wellengeschwindigkeit kreisen.

Charakteristisch für diese Art von Problemen ist aber das Bestehen nur einer diskreten Anzahl von Lösungen, welche die Eigenfunktionen der Differentialgleichung heißen. Auch gibt es solche Lösungen nur für diskrete Werte der Koeffizienten der Differentialgleichung, welche die Eigenwerte der Differentialgleichung heißen. Die Aufgabe, die eindeutigen, endlichen und stetigen Lösungen zu finden, wird das Eigenwertproblem der Differentialgleichung genannt.

So kann auch die in Gleichung (9) als Koeffizient enthaltene Gesamtenergie E nur in einer diskreten Anzahl von Eigenwerten auftreten, welche den Energiestufen der BOHRschen Theorie entspricht. Nur bei diesen Energiewerten gibt es eindeutige, endliche und stetige Wellenzüge, welche die stationären Elektronenbahnen der BOHRschen Theorie repräsentieren. „Quantisierung als Eigenwertproblem“ betitelt E. SCHRÖDINGER seine Abhandlungen¹⁾, in denen er eine große Anzahl von Quantenproblemen nach solchen Methoden behandelt²⁾.

Die große Bedeutung der SCHRÖDINGERSchen Theorie ist darin gelegen, daß sie die Quantenmechanik nunmehr Methoden zugänglich macht, welche von der klassischen Physik her geläufig sind. Den Quantenproblemen gegenüber versagt zwar die klassische Mechanik. Diese scheint nur in der Makrophysik zu gelten. Doch unterliegt die Mikromechanik den klassischen Gesetzen der Wellentheorie. Daß auch die klassische Mechanik wellentheoretisch sich behandeln läßt, hat bereits HAMILTON erkannt. Makromechanik und Mikromechanik zusammen lassen sich also nur auf dem Boden einer Wellentheorie in einheitlicher Weise zur Darstellung bringen.

Die Verhältnisse scheinen also in der Mechanik ganz analog wie in der Optik zu liegen. Auch die geometrische Optik kann eine ganze Reihe optischer Erscheinungen ganz ohne Wellenvorstellungen erklären. Die Interferenz- und Beugungserscheinungen erhält man aber nur auf dem Boden der Wellenoptik, aus der sich aber zugleich die Gesetze der geometrischen Optik folgern lassen. Wie die geometrische Optik mit den Begriffen Lichtpunkt und Lichtstrahl arbeitet, so benützt auch die klassische Mechanik den Massenpunkt und seine Bahn. Aus diesem Grunde wird sie von E. SCHRÖDINGER treffend auch als geometrische Mechanik bezeichnet. Seine wellentheoretische Behandlung der mechanischen Probleme nennt er undulatorische Mechanik oder Wellenmechanik. Die Quantenerscheinungen lassen es unvermeidlich erscheinen, daß

¹⁾ Ann. d. Physik (4) 79, 361. 1926; 79, 489. 1926; 80, 437. 1926; 81, 109. 1926.

²⁾ In Anschluß erschienen: Über den Compton-effekt; Ann. d. Physik (4) 82, 257. 1927. Der Energieimpulssatz der Materiewellen; Ann. d. Physik (4) 82, 265. 1927.

man auch von der geometrischen Mechanik zur Wellenmechanik übergeht. Sie erheischen in der Mechanik dieselbe Entwicklung, welche sich hundert Jahre früher schon in der Optik vollzogen hat.

Die SCHRÖDINGERSCHE Theorie kennt als Quantenzustände in den Atomen nur die verschiedenen Wellen, welche sich als Eigenlösungen der Differentialgleichung (9) ergeben. Eine anschauliche Diskussion dieser Verhältnisse hat E. SCHRÖDINGER an dem linearen Problem des PLANCKSchen Oscillators durchgeführt. An der Hand dieses Beispiels hat er auch den Übergang von der Mikromechanik zur Makromechanik behandelt¹⁾.

Etwas älteren Datums als die SCHRÖDINGERSCHE Theorie ist die HEISENBERGSche Quantenmechanik²⁾. Diese besteht in einem speziellen Rechenverfahren, welches auf rein phänomenologischem Wege aufgestellt wurde, um die in den einschlägigen Beobachtungen vorliegenden Gesetzmäßigkeiten zu formulieren. Mit ihr stimmt die SCHRÖDINGERSche Theorie in ihren numerischen Ergebnissen überein, wie sich herausgestellt hat, insbesondere auch in den Abweichungen gegen die ursprüngliche Theorie, wie die Verschiebung einiger Reihen von Quantenzuständen genau um ein halbes Quantum. Den Grund dieser Harmonie hat E. SCHRÖDINGER darin erkannt³⁾, daß auch die Methoden der HEISENBERGSchen Quantenmechanik größtenteils als Folgerung aus der Wellenmechanik sich ergeben.

Abarten der HEISENBERGSchen Quantenmechanik sind die BORN-JORDANSche und die DIRACsche Theorie. Aber auch die Rechenverfahren der SCHRÖDINGERSchen Theorie sind damit vollkommen äquivalent⁴⁾. Doch bietet die SCHRÖDINGERSche Theorie den Vorteil, daß sie die Probleme nach geläufigen, gut ausgearbeiteten vorliegenden mathematischen Methoden behandelt. Darum bedienen sich seither auch die Anhänger der phänomenologischen Betrachtungsweise meist der bequemeren Methoden der SCHRÖDINGERSchen Theorie zur Behandlung der quantenmechanischen Probleme, nicht ohne ihre Abneigung gegen manche SCHRÖ-

DINGERSche Interpretation zu verschweigen. Solche philosophische Gegensätze zwischen Verfechtern einer hypothesenfreien Physik und den Befürwortern fruchtbringender Hypothesen hat es immer gegeben, schließlich entscheidet nur der Erfolg.

Daß die Wellenvorstellung auch für nichtstationäre Atomprozesse unentbehrlich ist, hat als erster A. EINSTEIN erkannt¹⁾. Er wies darauf hin, daß man auf Grund der von L. DE BROGLIE entwickelten Vorstellungen auch Beugungserscheinungen zu erwarten habe, welche die Bewegung der Gasmoleküle modifizieren müßten, sowie deren Wellenlängen in die Größenordnung der Moleküldurchmesser kämen. Auf Grund der Formel (8) wird dies bei genügend tiefer Temperatur der Fall sein. Auf Veranlassung NERNSTS von P. GÜNTHER bei Wasserstoff über Gasentartung angestellte Experimente, welche plötzlich ein beschleunigtes Sinken der Viscosität mit abnehmender Temperatur zeigen, deutet A. EINSTEIN auf diese Weise. Die daran anknüpfenden Bemerkungen EINSTEINS zusammen mit den Arbeiten L. DE BROGLIES bezeichnet E. SCHRÖDINGER als die Anregung zur Aufstellung seiner Theorie. Daß auch Beobachtungen an langsamen Elektronen auf Beugungs- und Interferenzerscheinungen hinweisen, wurde im Anschluß an EINSTEIN von W. ELSASSER bemerkt²⁾.

E. SCHRÖDINGER hat seine Theorie auch auf nichtstationäre Probleme erweitert. Ganz allgemein gilt nicht mehr die einfache Wellengleichung (9), sondern muß durch eine kompliziertere ersetzt werden. Auch die HEISENBERGSche Theorie behandelt nichtstationäre Probleme, früher nach ihren eigenen Methoden, jetzt meist mittels der SCHRÖDINGERSchen Wellengleichung.

So bietet sich uns heute das erfreuliche Bild, daß eine neue Quantenmechanik sich entwickelt, welche die Krise der alten Quantentheorie zu überwinden verspricht. Die Entwicklung begann sozusagen von entgegengesetzten Seiten und endete mit dem gleichen Ergebnis. In dieser Beziehung steht die Theorie von HEISENBERG zur Theorie von SCHRÖDINGER. Wie auch immer die Weiterentwicklung sich gestalten mag, für den Nichttheoretiker hat die SCHRÖDINGERSche Theorie den Vorzug, daß sie anschauliche Bilder bietet, welche eine Art Verständnis der Quantenerscheinungen für jedermann ermöglicht.

¹⁾ Berliner Ber. 1925, S. 9 ff.

²⁾ Naturwissenschaften 13, 711. 1925.

¹⁾ Naturwissenschaften 14, 664. 1926.

²⁾ A. LANDÉ, Neue Wege der Quantentheorie. Naturwissenschaften 14, 455. 1926.

³⁾ Ann. d. Physik (4), 79, 734. 1926.

⁴⁾ HEISENBERG, Quantenmechanik. Naturwissenschaften 14, 989. 1926.

Die Fortschritte in der Bearbeitung des Problems der langfristigen Witterungsvorhersage in den letzten drei Jahren¹⁾.

Von FRANZ BAUR, Berlin.

In einem vor drei Jahren im Ausschuß für Klima- und Wetterkunde der D.L.G. gehaltenen Vortrage über den damaligen Stand des Problems

¹⁾ Auszug aus einem auf der Wintertagung der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft am 1. Februar 1927 erstatteten Bericht.

der langfristigen Witterungsvorhersage¹⁾, konnte ich nur über spärliche tastende Einzelversuche berichten. Seitdem ist aber die Forschung auch auf diesem Gebiete in das Stadium systematischer Untersuchung getreten. Es sind vornehmlich drei

¹⁾ Vgl. Naturwissenschaften 12, H. 18. 1924.

Wege, auf denen nach Gesetzmäßigkeiten gesucht wird, um zu einer Vorhersage des Wetters auf längere Zeit hinaus zu kommen.

Da sind zunächst die Forschungen des Amerikaners CLAYTON zu nennen, der auf den *Solar-konstantenmessungen* seines Landsmannes ABBOT und dessen Mitarbeiter aufbaut. Auf Grund mehrjähriger (fast) täglicher Beobachtungen mit dem Spektroholometer, das die Intensitätsverteilung im Sonnenspektrum auszumessen gestattet, auf 2000 bis 3000 Meter hohen Bergstationen der chilenischen Anden, die sich durch außerordentliche Lufttrockenheit und Luftreinheit auszeichnen und dadurch für Strahlungsbeobachtungen ganz besonders geeignet sind, kam ABBOT zu der Schlussfolgerung, daß die Solarkonstante, also die auf gleiche Sonnenentfernung umgerechnete, durch die Erdatmosphäre noch nicht geschwächte Sonnenstrahlung tatsächlich keine Konstante, sondern längeren und kürzeren Schwankungen unterworfen sei. Da die ganzen atmosphärischen Vorgänge, die unser Wetter bilden, letzten Endes auf die Sonnenstrahlung als Energiequelle zurückzuführen sind, müssen natürlich zeitliche Schwankungen in der Wärmemenge, welche die Erde als Ganzes von der Sonne erhält, für den Ablauf der Witterungsvorgänge von Bedeutung sein. Der Gedanke, nach Zusammenhängen zwischen den ermittelten Schwankungen der Solarkonstante und den Witterungsvorgängen zu suchen, war daher sehr naheliegend.

CLAYTON glaubt nun gewisse Gesetzmäßigkeiten in der Luftdruckverteilung in Abhängigkeit von den Änderungen der Solarkonstante gefunden zu haben. Auf Grund seiner Untersuchungen hat er auch für New York Temperaturvorhersagen auf 5 Tage ausgegeben. Er unterschied dabei warme, normaltemperierte und kalte Tage und bezeichnete als normaltemperierte Tage solche mit einer Abweichung zwischen $+4$ und -4° F. Das Eintreffen der Voraussagen wurde durch Mittelbildung nachgeprüft. Die Mittelbildung ergab bei den Tagen, für die „warm“ vorausgesagt war, eine mittlere Abweichung von $+0,9^{\circ}$, für „kalt“ $-1,3^{\circ}$ F. Ein besseres Bild des Erfolges würde die Angabe der Zahl der Treffer und Fehl-voraussagen ergeben haben, doch sieht man auch schon aus den Mittelwerten, im Vergleich zum Spielraum der normalen Tage, daß der Erfolg nicht sehr groß gewesen sein kann, sonst würden die Abweichungen nicht so nahe bei Null liegen. Andererseits scheint allerdings ein gewisser kleiner Erfolg dagewesen zu sein, da die mittleren Abweichungen wenigstens dem Vorzeichen nach mit den Vorhersagen übereinstimmen. Versuche mit Voraussagen bis auf 27 Tage schlugen gänzlich fehl. Auch die früher von CLAYTON auf Grund der Solarkonstantenmessungen für Argentinien gegebenen Vorhersagen waren wenig zuverlässig.

Zu diesem Wege der Bearbeitung des Problems der langfristigen Witterungsvorhersage ist zu

bemerken, daß es noch durchaus nicht erwiesen ist, daß die von ABBOT festgestellten Strahlungsschwankungen tatsächlich auf Änderungen der Solarkonstanten zurückzuführen sind, vielmehr ist es möglich, daß dieselben in Änderungen des Trübungsgrades, d. h. der Durchlässigkeit der Atmosphäre, ihre Ursache haben. Das würde allerdings die CLAYTONSchen Untersuchungsergebnisse nicht entwerten, sondern nur ihre physikalische Deutung verändern. Es würde sich dann eben nicht um Zusammenhänge zwischen Solarkonstante und Witterung, sondern um Zusammenhänge zwischen dem Trübungsgrad und der Witterung handeln. Für wenige Tage wissen wir auch aus unseren europäischen Erfahrungen, daß Zusammenhänge zwischen Trübungsgrad und Witterung, insbesondere voraussichtlichem Niederschlag, bestehen. Sie sind auch mancherorts schon mit Vorteil zu Wetterumschlagsvorhersagen verwendet worden, und auch der Landwirt, der die Augen offen hat für die Vorgänge in der Natur, weiß ohne instrumentelle Beobachtung und ohne Zahlen, daß das Wetter sicherer und länger hält, solange der Himmel dunkelblau ist, wie wenn er zwar noch wolkenlos ist, aber doch milchigbläulich, weißlich, erscheint. Zum Problem der langfristigen Witterungsvorhersage gehören indes diese Tatsachen nicht mehr.

Das, was den CLAYTONSchen Untersuchungen über Zusammenhänge der Strahlungsänderungen mit dem *folgenden* Wetter zurzeit noch mangelt, um sie als gesichertes Glied in die mit dem Problem der langfristigen Witterungsvorhersage zusammenhängende Wissensgruppe einreihen zu können, ist der Umstand, daß der ihnen zugrunde liegende Beobachtungszeitraum noch zu kurz und in ihnen zu wenig von entscheidenden mathematischen Kriterien Gebrauch gemacht ist, um ein Urteil darüber abgeben zu können, ob es sich bei den gefundenen Zusammenhängen um wirkliche physikalische Gesetze oder um Zufälligkeiten, die nur gerade den untersuchten Zeitabschnitten eigen waren, handelt.

Die *zweite* Methode der Versuche, zu einer langfristigen Witterungsvorhersage zu kommen, ist die der *Periodenforschung*. Gelingt es, nachzuweisen, daß der zeitliche Ablauf der meteorologischen Elemente in der Hauptsache durch physikalisch reelle Perioden oder in gesetzmäßiger Weise Amplitude und Periodenlänge verändernde Rhythmen erzeugt wird und unperiodische Einflüsse nur einen sehr geringen Anteil haben, so kann durch entsprechende Extrapolation der festgestellten Perioden und Rhythmen der Verlauf der einzelnen meteorologischen Elemente für einen gewissen Zeitraum im voraus ermittelt und damit der Witterungscharakter desselben oder auch der ungefähre Zeitpunkt einer größeren Witterungsänderung vorausgesagt werden. Der Grundgedanke ist sehr einfach, die praktische Ausführung aber außerordentlich schwierig, da die Natur uns nicht den Gefallen tut, daß die Witterungs-

erscheinungen nach klar hervortretenden Perioden ablaufen.

Am aussichtsreichsten ist nach meiner Überzeugung zunächst die Erforschung der *mehrfährigen Perioden* im Witterungsablauf. Nach meinen Untersuchungen kann man die Annahme, daß in den Luftdruckschwankungen über dem Atlantischen Ozean und den angrenzenden Festländern physikalisch reelle Rhythmen von 2,3, $3-3\frac{1}{2}$ und etwa $7\frac{1}{2}$ Jahren enthalten sind, als eine Hypothese mit Wahrheitsgehalt bezeichnen. Bei der $7\frac{1}{2}$ jährigen Schwankung, die aus Jahresmitteln gewonnen wurde, bleibt allerdings zunächst die Frage offen, ob sie selbst in dieser Dauer reell oder nur der rechnerische (durch die Mittelbildung über ganze Jahre bewirkte) Ausdruck für eine reelle Periode kürzerer Dauer ist. Die 2,3jährige Periode wurde auch in den Niederschlagsschwankungen von Bayern (BAUR), im Temperaturverlauf von Deutschland (BAUR) und in 78jährigen Regenmessungen von Windsor und benachbarten Gebieten (A. E. DOUGLASS) gefunden, und deckt sich mit der 28-Monatsschwankung der Wasserpiegel der schwedischen Seen von AXEL WALLÉN. Eine $3-3\frac{1}{2}$ jährige Periode hat auch G. ANGENHEISTER aus den Monatsmitteln des Luftdrucks von neun ziemlich äquatorial gelegenen Stationen abgeleitet, und C. BRAAK in den Schwankungen der meteorologischen Elemente im Indischen Ozean und A. DEFANT in den Anomalien des meridionalen Druckgefälles über dem nördlichen Atlantischen Ozean aufgezeigt. Eine etwa siebenjährige Periode findet sich nach A. E. DOUGLASS in den relativen Abständen der Jahresringe 500jähriger gelber Fichten im nördlichen Arizona. Es wäre aber verfrüht, auf Grund der bisherigen Untersuchungen über mehrjährige Witterungsperioden die Extrapolation zum Zwecke der Vorhersage des Witterungscharakters ganzer Jahre zu wagen. Dazu bedarf es erst noch eingehenderer Forschungen und weiterer mathematischer Vertiefung des Problems.

Weit häufiger als nach mehrjährigen Perioden der Witterung wird nach *kürzeren Rhythmen* des Wetters geforscht, obwohl hier die Verhältnisse, mathematisch gesehen, schwieriger liegen, da die kurzen Rhythmen offenbar noch weniger konstante Periodenlängen und konstante Amplituden aufweisen als die langen. Die ungeheuer zahlreichen Versuche, Rhythmen von einigen Tagen oder Wochen Dauer im Ablauf der Wetterbestandteile festzustellen, sehen zumeist über diese in den physikalischen Verhältnissen begründeten Schwierigkeiten hinweg, so daß sie ernsthaft für das Problem der langfristigen Witterungsvorhersage nicht in Betracht kommen. Bemerkenswert sind jedoch die Untersuchungen der Italiener VERCELLI und MATTEUZZI, die speziell auf die Feststellung von Gesetzmäßigkeiten im Luftdruckverlaufe und auf die Vorhersage der zukünftigen Luftdruckverteilung für die Dauer etwa einer Woche gerichtet sind. Sie gehen von der Annahme aus, daß die Amplituden der Luftdruckwellen veränderlich,

die Schwingungen also *gedämpft* sind und zerlegen die Luftdruckkurve auf graphischem Wege. Die Vorhersage gründet sich auf das Bild, das sie von den zukünftigen Änderungen der Luftdruckverteilung dadurch gewinnen, daß sie die Extrapolation der ermittelten Schwingungen über den letzten Beobachtungstag hinaus nicht nur für eine, sondern für mehrere Stationen durchführen.

Der gleiche Grundgedanke, nämlich periodische Gesetzmäßigkeiten im Luftdruckverlaufe aufzudecken und dadurch zu einer Vorhersage der Luftdruckverteilung und aus ihr zu einer Voraussage der Witterung zu kommen, liegt auch den WEICKMANNschen Untersuchungen zugrunde, nur ist die Methode, die er anwendet, von der VERCELLI'schen verschieden. WEICKMANN ist der Anschauung, daß im Luftdruckgang Punkte vorhanden sind, in bezug auf welche der Kurvenverlauf symmetrisch ist, und daß derartige *Symmetriepunkte* nicht eine zufällig eintretende Erscheinung sind, sondern alljährlich in größerer Zahl, mindestens aber im Winter und Sommer einmal, eintreten. Die Vorhersage des Luftdrucks geschieht dann in der Weise, daß nach Feststellung eines Symmetriepunktes für die Folgezeit gerade der umgekehrte Ablauf des Luftdruckganges erwartet werden kann, wie er vor dem Symmetriepunkt sich ereignete. Die Bedenken, die sich gegen diese Methode erheben, bestehen vor allem darin, daß die kurzen Rhythmen im Witterungsverlaufe großem Wechsel unterworfen sind. Die Periodenlängen und Amplituden bleiben nicht konstant; ab und zu kommt es vor, daß man geradezu von einem plötzlichen Abbrechen eines vorher mehr oder minder klar ausgeprägten Rhythmus sprechen kann. Das hat seinen tieferen Grund in dem un stetig oder, wie man in Analogie mit einem Ausdruck der Atomphysik sagen könnte, „*quantenhaft*“ verlaufenden Geschehen in der Atmosphäre. Die im Zusammenhang mit Schwankungen der atmosphärischen Zirkulation zwischen den Subtropen und den Polen der Erde vor sich gehenden Verlagerungen von Luftmassen ganz verschiedener Temperatur und verschiedenen Feuchtigkeitsgehaltes, erfolgen gewissermaßen ruckweise und in Teilstücken, deren Größe von den physikalischen Konstanten eben dieser Luftmassen sowie von der Verteilung von Land und Meer auf der Erdoberfläche abhängt. Mit jeder solchen größeren Verlagerung wird auch der Schwingungszustand der Atmosphäre über ein und demselben Ort verändert, wie Berichterstatter an dem Polarluft einbruch im März 1926 für Berlin nachwies. Es ist daher zum mindesten fraglich, ob auf dem von WEICKMANN eingeschlagenen Wege in nächster Zeit irgendwelche Witterungsvorhersagen für längere Zeiträume möglich werden. Immerhin müssen aber natürlich auch die kurzperiodischen Witterungsschwankungen ebenso wie die Zusammenhänge der Witterung mit Änderungen der Sonnenstrahlung und des Trübungsgrades der Atmosphäre weiter verfolgt werden.

Die erwähnte Analogie des atmosphärischen Geschehens mit den un stetigen Vorgängen im Innern der Atome legt den Gedanken nahe, auch das Problem der langfristigen Witterungsvorhersage mit den Mitteln der *mathematischen Statistik* anzupacken, die in der Atomtheorie und auf anderen Gebieten der Physik, auf denen die Anwendung der klassischen Mechanik bisher versagt hat, glänzende Erfolge erzielte. Unter Zugrundelegung der Arbeitshypothese, daß die Witterungserscheinungen in hohem Maße von den vorausgegangenen Zuständen der Atmosphäre, also von der *Witterungsvorgeschichte*, abhängig sind, ist der mathematisch statistische Weg der Bearbeitung des Problems der langfristigen Witterungsvorhersage zur Zeit tatsächlich der aussichtsreichste. Es ist der Weg, den G. T. WALKER (Indien), OKADA (Japan), WIESE (Rußland), F. M. EXNER (Wien) und andere beschritten haben. Neu begründet und weiter ausgebaut wurde die Methode vom Berichtersteller, der auch durch mehrere Arbeiten den Nachweis erbracht hat, daß der grundlegenden Hypothese in der Tat ein hoher Wahrheitsgehalt zukommt. Ein großer Vorzug dieser Methode, durch den sie im grundsätzlichen Gegensatz zu den bisherigen Methoden der täglichen Wettervorhersage steht, ist es, daß sie eine *Vorausberechnung* des Witterungscharakters gestattet, die jeder in ganz gleicher Weise ausführen kann, der über die nötige Vorbildung und über das erforderliche Nachrichtenmaterial verfügt. Dadurch ist eine objektive, lehrbare Vorhersage möglich, deren Genauigkeitsgrad nur von dem erreichten Stand der Forschung, aber nicht — wie bei der täglichen Vorhersage — von subjektiven Einflüssen, wie Befinden oder Interesse des Vorhersagers am kommenden Wetter, abhängig ist.

Zunächst habe ich aus theoretischen Gründen auf diesem Wege die Vorausberechnung des Mittelwertes der Temperatur der Jahreszeiten in Deutschland durchgeführt. Wenn man die gleiche Methode auch auf kleinere Zeiträume anwendet, tunlichst unabhängig von den Kalendermonaten, sondern nach phänologischen und meteorologischen Gesichtspunkten und auf andere Wetterbestandteile ausdehnt, so kommt man allmählich dazu, was der Landwirt von einer langfristigen Witterungsvorhersage erhofft. Die damit verbundene

Arbeit ist freilich überwältigend groß, so daß man nicht erwarten darf, daß das Problem von heute auf morgen gelöst wird. Gerade diese Forschungen ermöglichen aber auch mit der Zeit einen *Einblick in die physikalischen Zusammenhänge* der großen Witterungserscheinungen, wodurch auch anderen Forschungsmethoden der langfristigen Witterungsvorhersage die Wege bereitet werden.

Das *experimentum crucis* der Meteorologie — vielleicht überhaupt jeder wirklichen „Wissenschaft“ — ist die *Vorhersage*. Um die erreichten Erkenntnisse in der Praxis zu erproben, habe ich daher in den „Mitteilungen der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft“ nach der erwähnten Methode aufgestellte Vorhersagen veröffentlicht.

Die Vorhersagen bestanden in der Regel aus mehreren Teilen, denen jeweils ein verschieden hoher Grad der Eintreffwahrscheinlichkeit zukam. Diese wurde in der Regel mit angegeben; soweit das nicht der Fall war, lag nach den zum Verständnis der Vorhersagen und ihres Zweckes vorausgesandten einleitenden Bemerkungen die Wahrscheinlichkeit zwischen 80% und 90%. Die seit dem 1. Januar 1925 veröffentlichten Vorhersagen enthielten einschließlich einer im Jahre 1926 für Ungarn gegebenen Vorhersage des Niederschlagscharakters des Juli, im ganzen 29 Teilvorhersagen. Von diesen hatten

- 8 eine Eintreffwahrscheinlichkeit von 90—99%,
die alle eintrafen;
- 18 eine Eintreffwahrscheinlichkeit von 80—89%,
von denen 15 (= 83%) eintrafen,
- 3 eine Eintreffwahrscheinlichkeit von 70—79%,
von denen 2 (= 66%) eintrafen.

Ein endgültiges Urteil aus der Erfahrung heraus kann natürlich erst auf Grund eines größeren Materials gefällt werden. Immerhin ist aber die Übereinstimmung des Verhältnisses der eingetroffenen Teilvorhersagen zur Anzahl derselben mit den angegebenen Eintreffwahrscheinlichkeiten eine so gute, daß auch schon aus dem Erfolg der wenigen bisher gegebenen Vorhersagen wenigstens der Schluß gezogen werden kann, daß die eingeschlagene Forschungsrichtung brauchbar und die Fortsetzung dieser Untersuchungen in größerem Maßstabe sowohl für den Fortschritt der Wissenschaft als auch im Hinblick auf die Nutzenanwendung von größter Bedeutung ist.

Besprechungen.

HARMS, J. W., **Körper und Keimzellen.** (Monographien aus dem Gesamtgebiet der Physiologie der Pflanzen und der Tiere, Bd. 9.) Berlin: Julius Springer 1926. X, 1023 S. und 309 Abbild. In zwei Teilen. 14 × 22 cm. Preis geb. RM 66.—, geb. RM 69.—.

Eine „vergleichend-anatomische und -physiologische Darstellung der Gesamtbeziehung zwischen den Keimzellen und dem Körper“. In welcher Weise der Verf. das Thema gefaßt hat, mag eine kurze Inhaltsangabe zeigen. Im 1. Kapitel wird eine allgemeine Übersicht über die Sachlage gegeben und insbesondere die Differenzierung der Keimbahn berücksichtigt; auch

wird hier bereits das Geschlechtschromosomenproblem angeschnitten. Im 2. Kapitel („Beziehungen zwischen Soma und Keimzellen während der progressiven Periode“) wird in der Hauptsache die Entwicklung der Keimzellen und ihre Differenzierung behandelt, wobei besonders auf die Spermiohistogenese der Säugetiere eingegangen wird; auch hier wird das Geschlechtschromosomenproblem berührt. Im 3. Kapitel („Somatische Elemente der Keimdrüsen“) wird die Morphologie der Zwischenzellen, des Corpus luteum und des BIDDERSchen Organs nebst Exkursen über ihre mutmaßliche physiologische Funktion behandelt. In die

Darstellung sind einige neue experimentelle Befunde des Verf. eingeflochten. Kapitel 4 („Die bisexuelle Veranlagung der Tiere“) enthält zunächst eine Darstellung des Geschlechtschromosomenmechanismus und dann eine Übersicht über die verschiedenen Fälle experimenteller Beeinflussung der Geschlechtsbestimmung: also die bekannten Versuche von BALTZER, CORRENS, die „Lecithintheorie“ von LEUPOLD, die Überreiferversuche R. HERTWIGS und seiner Schule, die Intersexualitätsversuche von GOLDSCHMIDT, ferner die sog. normale Geschlechtsumwandlung bei *Asterina*, Fröschen und Fischen, die durch Parasitismus und Krankheit bewirkte Geschlechtsumwandlung, ferner Geschlechtsumwandlung durch Transplantation nach Kastration, dann die „hormonale Geschlechtsumwandlung“ (Zwicke) und schließlich die „experimentell physiologische Geschlechtsumstimmung“, die der Verf. an Krötenmännchen erzielt hat; auch hier werden neue Versuchsergebnisse des Verf. ausführlich dargestellt und mit Abbildungen belegt. In Kapitel 5 („die zu den Keimdrüsen direkt oder indirekt in Beziehungen stehenden Organe“) wird zunächst ein Überblick über die allgemeinen und sekundären Geschlechtsmerkmale gegeben, dann wird insbesondere auf die Beeinflussung des Wachstums durch die Keimdrüsen eingegangen und eine Übersicht über die Beziehung der Keimdrüsen zu anderen sekundären Geschlechtscharakteren gegeben. Schließlich wird Hermaphroditismus und Gynandromorphismus besprochen. Kapitel 6 („allgemeines über die Inkretion“) enthält zunächst phylogenetische Betrachtungen über diesen Vorgang, die sich jedoch auf einen kleinen Absatz beschränken. In der Hauptsache wird die Korrelation zwischen den Keimdrüsen und den verschiedenen inkretorischen Organen ausführlich dargestellt. Kapitel 7 enthält einen kurzen Exkurs über die Beziehungen zwischen den Vitaminen und den Keimdrüsen. Kapitel 8 („Beziehungen zwischen Soma und Keimdrüsen während der stationären Phase“) gibt zunächst einen Überblick über die Funktion der Keimdrüsen im weitesten Sinne (a) Rhythmik der Geschlechtszellenproduktion, b) Brunstzyklen, c) Begattung, Befruchtung, Parthenogenese — dieser Abschnitt enthält in der Hauptsache eine kurze Skizze der LOEBSCHEN Lysintheorie und der problematischen Angaben über Parthenogenese bei Säugetieren — d) Trächtigkeit und Geburt, e) Beziehungen zwischen Keimdrüsenzyklus und den Organen der Brutpflege — hier werden in der Hauptsache die Milchdrüsen berücksichtigt — und eine Erörterung des Problems des Keimdrüsenhormons. Verf. stellt sich hierbei auf den Standpunkt, daß in der Hauptsache die Keimzellen dieses Hormon produzieren. Kapitel 9 („Defekt- und Transplantationsversuche, um die Abhängigkeit der sekundären Merkmale von der Gonade zu beweisen“) enthält zunächst eine ausführliche Darstellung des Einflusses der Kastration (und der Unterentwicklung der Keimdrüsen) auf Formbildungs- und Stoffwechselfvorgänge. Der zweite Abschnitt des Kapitels behandelt die „Substitutions- und Transplantationsversuche zur Bekämpfung der Ausfallserscheinungen nach Kastration“. Kapitel 10 enthält verschiedene Daten über die Schädigung der Gonaden durch verschiedene Faktoren und ihre Konsequenzen. In Kapitel 11 („Inkretion der Gonaden und Reizleitung“) wird (in der Hauptsache an Hand von Versuchen über die Beeinflussung der Daumenschwielen des Frosches) das Problem erörtert, ob die Keimdrüsenhormone direkt, d. h. auf dem Wege der Blutbahn, ihre Wirkung ausüben oder durch Vermittlung des Nervensystems. Verf. entscheidet sich für die erstere Alternative. Im Kapitel 12

werden die Beziehungen zwischen Keimzellen und Altern erörtert, wobei insbesondere auf die Altersveränderungen des Somas sehr ausführlich eingegangen wird. Hier werden auch die bekannten Verjüngungsexperimente berücksichtigt, bei deren Diskussion Verf. zum Resultat kommt, daß nur regenerationsfähige Organe, d. h. solche, die teilungsfähige Zellen enthalten, verjüngt werden können. Kapitel 13 („Gonaden, Psyche und Lebensintensität“) enthält mehr allgemeine Betrachtungen über den Einfluß der Kastration und der Sistierung der Geschlechtsfunktionen auf Temperament und Geschlechtstrieb.

Dies alles ist auf mehr als 900 Seiten (die restlichen 48 Seiten enthalten ein ausführliches Literaturverzeichnis), abgehandelt und mit zahlreichen vortrefflich reproduzierten Textabbildungen illustriert.

Man sieht, daß die Reichhaltigkeit des Tatsachenmaterials die Vielseitigkeit seiner Auswahl und die Ausführlichkeit der Darstellung nichts zu wünschen übrig läßt. Um so mehr die Darstellung selbst. Schon die oben gegebene Inhaltsangabe wird vielleicht erkennen lassen, daß die Disposition des Buches manche Schattenseiten aufweist. Manches (wie z. B. der Geschlechtschromosomenmechanismus, die innere Sekretion der Keimdrüsen), ist an mehreren oft weit auseinanderliegenden Stellen behandelt, so daß man sich das Tatsachenmaterial mühsam zusammensuchen muß. Zum Teil mag dies daran liegen, daß der Verf. die Erscheinungen und ihre naturwissenschaftliche Analyse vielfach nicht geschlossen darstellt, sondern oft (wenn auch nicht immer) die Methoden, mit deren Hilfe die behandelten Ergebnisse gewonnen worden sind, der Stoffgruppierung zugrunde legt. Dies gilt z. B. für die Darstellung der inneren Sekretion: die Ergebnisse von Kastrations-, Transplantations- und anderen Versuchen werden gesondert aufgezählt.

Aber dieses Prinzip mag nur zum Teil Ursache dieser Disposition sein, denn es bleibt trotz allem unverstänlich, weshalb z. B. das Geschlechtschromosomenproblem an drei verschiedenen Stellen behandelt wird und weshalb die Auswahl des Tatsachenmaterials gelegentlich einen ganz willkürlichen Eindruck macht. So werden z. B. die Reifungsteilungen so gut wie gar nicht behandelt, wohl aber die Anfänge der Chromosomenkonjugation, die sogar bildlich dargestellt werden.

Aber die Disposition ist nicht das einzige, was an dem Buche unangenehm auffällt; einen mindestens ebenso bedenklichen Eindruck macht die Darstellung im einzelnen. Zunächst ist es gar nicht so leicht herauszufinden, was der Verf. von den mitgeteilten Tatsachen und Deutungen für verlässlich und annehmbar hält, da er es in der Regel unterläßt, am Ende jeden Abschnittes quasi das Resumé zu ziehen und seine Stellungnahme vielmehr mehr oder weniger promiscue in die Darstellung verflucht. Dies mag zum Teil an der Art der Disposition liegen, ist aber um so bedauerlicher, als nicht nur gelegentlich einander widersprechende Angaben und Interpretationen anderer Autoren nebeneinander gleichsam als gleichberechtigt wiedergegeben werden (z. B. auf S. 42—45, wo von den Vererbungsträgern die Rede ist), sondern weil vor allem der Verf. selbst an verschiedenen Stellen des Buches zu ein und demselben Problem in verschiedener Weise Stellung nimmt, sich also — kurz gesagt — des öfteren widerspricht.

Dies tut er z. B. fast unausgesetzt, so oft von den Geschlechtschromosomen die Rede ist. Die Ansichten des Verf. über die Rolle der Geschlechtschromosomen finden sich an nicht weniger als 16 Stellen des Buches. Auf S. 39, 63, 214, 220, 229, 295, 345, 413 und 457

werden die Geschlechtschromosomen als geschlechtsbestimmende Faktoren (Geschlechtsdifferenziatoren) im Sinne der Chromosomentheorie der Geschlechtsbestimmung bezeichnet, während er sich an 7 anderen Stellen für HÄCKERS Indexhypothese ausspricht. Welche Gegensätze die Darstellung solcherart vereinigt, mögen zwei Zitate zeigen. Auf Seite 220 heißt es: „durch die Kenntnis der Geschlechtschromosomen ist nicht nur die Entstehung des Geschlechts dem Verständnis erschlossen worden, sondern auch die mit den Geschlechtsfaktoren korrelativ verknüpften Faktoren sind uns jetzt klar.“ Und auf S. 252 heißt es: „die Chromosomen sind also etwas Sekundäres und haben die Aufgabe, bei geschlechtlich stark ausdifferenzierten Tieren die Kontinuität des spezifisch geschlechtlichen Stoffwechsels in der Keimplasmarrelation aller Zellen, Keim- und Somazellen, in gleichsinnig geschlechtlicher Weise zu regeln.“ Und auf S. 41 wird von den Chromosomen im allgemeinen gesagt: „Tatsache scheint mir zu sein, daß sie uns oft einen überraschend klaren Einblick in die Mechanik der Vererbung geben, trotzdem sind sie nur der physiologisch-chemische Niederschlag für das Gesamtgeschehen in der Zelle.“ An zwei Stellen (S. 251 und 282) aber finden sich diese Widersprüche in einem Satz vereinigt: So bespricht der Verf. auf S. 251 die Untersuchungen von JUNKER über die Geschlechtschromosomen des Männchenovars von *Perla* und fährt dann fort „Trotzdem (d. h. im Gegensatz zu JUNKER, der den Geschlechtschromosomen höchstens einen Einfluß auf die sekundären Geschlechtsmerkmale einräumen will; d. Ref.) glaube ich, daß sie als Indices wirken können.“ Wie wirkt ein Index?

Bei einer derartigen Darstellungsweise kann es auch nicht wundernehmen, daß auch an anderen Stellen verschiedenes unklar bleibt. Auf S. 214, 220 und 403 wird die geschlechtsbegrenzte Vererbung mit der geschlechtskontrollierten Vererbung verwechselt, resp. identifiziert, während auf S. 284 und 402 die „bisexuelle Veranlagung der Tiere“ ganz richtig dargestellt wird und auf S. 229, die Geschlechtschromosomen ganz im Sinne der Chromosomentheorie der Geschlechtsbestimmung als Differenziatoren (wenn auch nicht mit diesem Ausdruck), bezeichnet werden. (Man muß sich aber dann doch wieder fragen, ob der Verf. die Situation richtig verstanden hat, wenn er auf S. 588 schreibt, daß „in den Faktoren des einen Geschlechts die Faktoren des anderen latent vorhanden sind“.) Welchen Grad die Verworrenheit der Darstellung erreichen kann (und nicht nur an dieser Stelle), möge folgendes Zitat zeigen (nach einer kurzen Besprechung der bekannten Zertationsversuche CORRENS' [die n. b. in der Hauptsache an *Melandrium* durchgeführt worden sind], aus denen das Vorhandensein von männchen- und weibchenbestimmenden Pollenkörnern erschlossen werden kann, fährt der Verf. fort): „da aber nun bisher bei Pflanzen mit Ausnahme der Lebermoose und der Wasserpest (Santos 1924) und einige weiter oben erwähnte höheren Pflanzen (während die Lichtnelke und die Zaunrebe wohl im männlichen Geschlecht heterozygot sind), keine Heterochromosomen gefunden worden sind, so lassen sich diese Befunde nicht direkt auf die Tiere übertragen“ (S. 256). Es ist fast, als hätte der Verf. nicht nur bei Abfassung dieser Stelle vergessen, was er auf S. 250 geschrieben hat (dort ist nämlich von den Geschlechtschromosomen von *Melandrium* die Rede), sondern es ist als wäre auch die eben zitierte Stelle seinem Gedächtnis bereits entfallen gewesen, als er den sich fast unmittelbar anschließenden Satz, „jedoch scheinen die Verhältnisse ähnlich wie bei den Tieren zu liegen, wie das eine weiter oben schon erwähnte Untersuchung von SANTOS an

der Wasserpest zeigt“, schrieb. Daß auch an anderen Stellen sehr viele Ansichten und Tatsachen schief dargestellt werden, sei nur erwähnt und durch einige besonders charakteristische Zitate belegt. Auf S. 2 und 3 heißt es, daß die „Ergebnisse“ von WOODRUFF, HARTMANN und seinen Schülern (gemeint ist die erfolgreich durchgeführte dauernd agame Züchtung von Protisten) zeigen, „daß geschlechtliche Fortpflanzungsvorgänge dem ursprünglichen Organismus nicht zukommen“, oder: auf S. 82 steht zu lesen: „das Wesen der Fortpflanzung durch Keimzellen oder die geschlechtliche Fortpflanzung ist unabhängig von der geschlechtlichen Differenzierung. Das zeigt die Iso- und Autogamie bei Protozoen, das zeigt weiter die weitverbreitete Parthenogenese“...

Manches ist auch direkt unrichtig dargestellt; ein Fehler, der wohl kaum zu vermeiden ist, schwerlich aber dann entschuldigt werden kann, wenn es sich um so fundamentale Dinge handelt, wie die Frage nach der erbungleichen Teilung, die schließlich in fast jedem größeren Lehrbuch erörtert wird und deren gegenwärtiger Stand einem entwicklungsphysiologisch orientierten Forscher eigentlich bekannt sein mußte. Auf S. 21 wird im Anschluß an die Darstellung der Chromatindiminution bei *Ascaris megalocephala* dieser Vorgang als ein „gewisser Anhaltspunkt“ dafür, „daß im Sinne WEISMANNs die Somazellen erbungleich geteilt werden, vorausgesetzt, daß das Chromatin Träger der Vererbung ist“ bezeichnet. Daß BOVERI in einer ausführlichen Arbeit, die wohl klassisch genannt werden kann, einwandfrei nachgewiesen hat, daß die Chromatindiminution bei *Ascaris* nicht auf erbungleicher Teilung beruht, scheint dem Verf. unbekannt geblieben oder entfallen zu sein.

Zum Teil mögen manche dieser Mängel auf Versehen beruhen; diese Erklärung drängt sich einem auf, wenn man das Buch auf seinen Stil hin ansieht. Auf Schritt und Tritt begegnet man Sätzen, die als Musterbeispiele dafür, wie man mit der deutschen Sprache selbst in einer wissenschaftlichen Abhandlung nicht umgehen sollte, gelten können. Z. B.: Bei der Schilderung des Chromosomenzyklus der Hymenopteren heißt es auf S. 235: „andererseits haben die Männchen bei der Bildung der Spermatozoen keine Reduktion, so daß wieder befruchtete weibliche Wintereier entstehen müssen, die die volle Chromosomenzahl mit 2 X haben und daher Weibchen sein müssen.“ Oder (S. 245): „es steht also bei Fröschen und Kröten fest, daß Geschlechtschromosomen nicht zur Differenzierung des Geschlechtes nötig sind.“ Oder (S. 462): „Die meisten Autoren, die sich mit den Beziehungen der Keimdrüsen zum somatischen Organismus beschäftigt haben, stehen auf dem Boden der inneren Sekretion.“ Oder (S. 936): „Alles was in moderner Zeit über Verjüngung geredet und geschrieben wird, ist bestenfalls Bekämpfung der senilen Ausfallserscheinungen, um damit, wenn das gelingt, das Stadium des physiologischen Todes zu erreichen.“ Und auf S. 524 ist von „kreisförmigen Veränderungen“ des Feldmaushodens“ (gemeint sind „cyclische“) die Rede.

Zwei Seiten der Darstellung können aber auf diese Weise nicht erklärt werden; erstens die oft denkbar ungeeignete Art und Weise, in der der Verf. den Leser mit Tatsachen und Problemen bekannt macht. So schildert er als erstes Beispiel der geschlechtsbegrenzten Vererbung (und zwar an einer Stelle, wo von ihrem Zusammenhang mit dem Geschlechtschromosomenmechanismus die Rede ist) die Vererbung der Hornlosigkeit (bei Kreuzung von Suffolk- und Dorsetschafen) natürlich nur, um zum Schluß gestehen zu müssen, daß man diesen komplizierten Erbgang vorläufig nicht

befriedigend erklären kann. Auf S. 285 wird eine Tabelle RIDDLES abgedruckt (für deren Zusammenstellung offenbar RIDDLE selbst verantwortlich zu machen ist), deren STUDDIUM aber wohl bei jedem Leser das Mühlradzitat aus dem Faust (oder ein Äquivalent) als Reaktion auslösen dürfte. Man kann schwerlich annehmen, daß diese didaktischen Mißgriffe darauf beruhen, daß der Verf. bei der Abfassung dieser Stellen es an der nötigen Sorgfalt hat fehlen lassen; hat er sich doch die Mühe genommen, MORGANS instruktives Schema der geschlechtsbegrenzten Vererbung der Augenfarbe von *Drosophila* formelhaft zu transscribieren (S. 225, 226) und dadurch den Leser gezwungen, sich die Dinge, die er an MORGANS Schema ohne weiteres ablesen kann, mühsam zu erarbeiten. Auch CORRENS bekannte Darstellung der geschlechtsbegrenzten Vererbung bei *Abraxas* hat der Verf. mit Zutatun versehen, die eher verwirrend als klärend wirken dürften.

Die letzte Schattenseite der Darstellung, die neben der eingangs charakterisierten Disposition den schwerwiegendsten Mangel des Buches darstellt, ist die Art und Weise, in der der Verf. verschiedene Behauptungen und Mutmaßungen aufstellt, resp. äußert, ohne sie ausreichend zu begründen. Zumal es sich dabei meist um Dinge von allgemeinerer Bedeutung handelt.

So ist z. B. an mehreren Stellen von der „nucleogenen Entstehung der Inkrete“ als einer einwandfrei bewiesenen Tatsache die Rede. Der Verf. läßt dabei ganz außer acht, daß selbst der Austritt geformter Substanzen aus dem Kern noch sehr umstritten ist, und der Austritt gelöster Stoffe erst recht. Sonst hätte er doch wohl wenigstens an einer Stelle seine Annahme ausführlich zu begründen versucht. Ähnliche Bedenken muß die ohne zureichende Begründung aufgestellte Behauptung, daß das Internephridialorgan der Gephyreen mit dem Interrenalssystem der Wirbeltiere homolog ist (S. 498), erregen. Und derlei Äußerungen begegnet man noch öfters: den Plastosomen wird eine „wichtige Rolle bei der Aktivierung der Entwicklungsvorgänge“ zugeschrieben (S. 93), oder: während der Wachstumsperiode des Eies sollen „die organbildenden Substanzen oder Harmentzyme abgelagert werden“ (S. 41). (Als Beispiel wird die durch Beobachtungen anderer Autoren sehr in Frage gestellte Angabe JOERGENSENS, daß während des Bukettstadiums die Enden der Chromosomen aus dem Kern heraustreten und abgeschnürt werden, angeführt (S. 86). Und die (gewiß nicht unbegründete, aber alles andere als bewiesene) Annahme, daß die Chromosomen Enzyme produzieren, wird schlechtweg als bewiesen hingestellt. (S. 39 und 345). Aber das sind noch wenigstens Ansichten, die auf gewissen tatsächlichen Grundlagen beruhen und über die sich schließlich diskutieren läßt.

Es finden sich aber gelegentlich Aussprüche, die die oben zitierten an Gewagtheit noch wesentlich überbieten. Auf S. 5 heißt es (im Anschluß an die Besprechung der „potentiellen Unsterblichkeit“ der Protisten): „Hier läßt sich in klarer Weise das Gesetz von der Erhaltung der Kraft auch auf die lebende Substanz übertragen. — Wir haben so auch ein Gesetz von der Erhaltung des Lebens.“ Und auf S. 890 vermutet der Verf., daß sich bei der Regeneration eines neuen *Ctenodrilus*-Individuums aus einem einzigen Segment „vielleicht in den Zellen ähnliche Prozesse abspielen, wie wir sie bei der Endomixis der Paramaecienkulturen kennengelernt haben“.

Trotz allem dürfte das Buch als Sammlung der auf die inkretorische Seite des Geschlechtsproblems bezüg-

lichen Tatsachen demjenigen, der die Mühe eines eingehenden Studiums desselben nicht scheut, gute Dienste leisten.

KARL BĚLAŘ, Berlin-Dahlem.
BAUR, E., E. FISCHER und F. LENZ, *Menschliche Erblichkeitslehre und Rassenhygiene*. III. Auflage. Bd. I. München: J. F. Lehmanns Verlag 1927. XII, 596 S., 172 Abbildungen, 9 Tafeln mit 54 Rassenbildern. 16 × 23 cm. Preis geh. RM 16.—, geb. RM 18.—.

Vorerst ist der I. Band, die Menschliche Erblichkeitslehre in dritter, vermehrter und verbesserter Auflage, erschienen (mit 601 Seiten, gegenüber 442 der II. Auflage). Der Preis ist erfreulicherweise erstaunlich niedrig geblieben). Der II. Band wird im Laufe des Jahres folgen. Daß der II. Auflage, die 1923 erschien, so rasch die III. folgen konnte, spricht schon an und für sich für das vorliegende Lehrbuch, das heute für jeden Kliniker und ebenso für den Genetiker zu einem unentbehrlichen Nachschlagewerk geworden ist und den Lernenden in vorbildlicher Weise in die menschliche Erblichkeitslehre einführt.

Die Anordnung des Stoffes ist die alte geblieben. In einem ersten Abschnitt leitet BAUR in knapper und unübertrefflich klarer Form in die Grundlagen der Erblichkeitslehre ein. Es ist zu begrüßen, daß BAUR zu der von ihm geschaffenen Terminologie der Variationserscheinungen (Modifikation, Kombination, Mutation), die in der Genetik heute fast allgemein im Gebrauche ist, zurückgekehrt ist, denn die Begriffe Para- und Idiovariation haben sich nicht eingebürgert und werden das auch nicht mehr tun. Es wäre zu wünschen, daß auch FISCHER in späteren Auflagen dem Rechnung tragen würde.

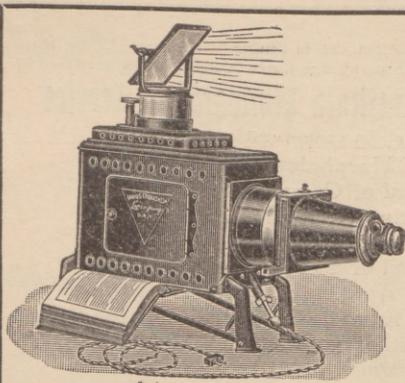
Im Kapitel über die Vererbung des Geschlechtes könnte die Bemerkung vielleicht unklare Vorstellungen schaffen, daß „bei den meisten Organismen die Y-Chromosomen völlig wirkungslos sind, d. h. in ihnen liegende ‚Erbfaktoren‘ äußern sich nicht“. In Wirklichkeit liegt die Sache ja so, daß aus naheliegenden Gründen der Nachweis von Erbfaktoren, die im Y-Chromosom liegen, schwer ist. In einzelnen Fällen aber, namentlich an *Drosophila*, doch auch an einigen anderen Objekten, ist er jedoch erbracht.

Wie in den früheren Auflagen bringt das zweite Kapitel (von FISCHER) die Behandlung der Rassenunterschiede des Menschen, der Vererbung der normalen Eigenschaften. Das dritte Kapitel (von LENZ) stellt unser Wissen über die krankhaften Erbanlagen zusammen. Namentlich dieser Abschnitt ist stark erweitert worden und zeugt nicht nur von einer erstaunlichen Belesenheit des Autors, sondern auch von sorgfältiger kritischer Bewertung der Forschungsergebnisse und nicht zuletzt von großer Darstellungskunst.

Ob es nicht zweckmäßig wäre, den vierten Abschnitt: Methoden der menschlichen Erblichkeitsforschung (von LENZ) dem Abschnitt von BAUR folgen zu lassen? Mancher Anachronismus in der Darstellung wäre so behoben und der Lernende würde nicht gleichsam post festum auf das aufmerksam gemacht, was speziell bei der menschlichen Erblichkeitsforschung in methodischer Beziehung zu beachten ist.

Ein letzter, besonders interessanter Abschnitt (von LENZ) bringt die Erblichkeit der geistigen Begabungen. Um die Verwertbarkeit des I. Bandes zu erhöhen, ist dieser Auflage erfreulicherweise ein Autoren- und Sachregister erstmalig beigegeben.

J. SEILER, München.



Listen frei!

Janus-Epidiaskop

(D. R. Patent Nr. 366044 und Ausland-Patente)

Der führende Glühlampen-Bildwerfer zur Projektion von

Papier- und Glasbildern

Verwendbar für alle Projektionsarten!

Qualitäts-Optik

höchster Korrektion und Lichtstärke für Entfernungen bis zu 10 Meter! Auch als „Tra-Janus“ mit 2. Lampe bei um 80% gesteigerter Bildhelligkeit lieferbar!

Ed. Liesegang, Düsseldorf

Postfach 124

VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN WIEN I

Österreichische Botanische Zeitschrift

Herausgegeben von

Professor Dr. Richard Wettstein

Wien

unter redaktioneller Mitarbeit von

Professor Dr. Erwin Janchen, Wien, und Professor Dr. Gustav Klein, Wien

Die „Österreichische Botanische Zeitschrift“ erscheint in einem Gesamtumfang von jährlich etwa 20 Bogen, in vier einzeln berechneten Heften

Soeben erschien:

Band LXXVI, Heft 2

Seite 89—168. Mit 5 Abbildungen im Text und 2 Tafeln.

Preis: RM 8.—

Inhaltsverzeichnis:

Der mikrochemische Nachweis der Alkaloide in der Pflanze. Von Prof. Dr. G. Klein. — Häutung bei einer pennaten Diatomee. Von Dr. Lothar Geitler. — Zytologische Studien über die Kulturrassen von Brassica oleracea. Von Franz Netroufal. — Versuch einer dauernd agamen Kultur von Coprinus ephemerus (Bull.) Fr. Von Franz Janiczek. — Regionale Moorforschung in Europa. Sammelbericht. Von Prof. Dr. F. Vierhapper. — Besprechungen. — Akademien, Botanische Gesellschaften, Vereine, Kongresse usw. — Botanische Sammlungen, Museen, Institute usw. — Personalsnachrichten.

Vor kurzem erschien:

Band LXXVI, Heft 1

88 Seiten, mit 7 Textabbildungen und 1 Tafel.

Preis: RM 8.—

Inhaltsverzeichnis:

Über Bau und Entwicklung der neuen volvakalen Gattung Chloroceras. Von Josef Schiller. — Der mikrochemische Nachweis von organisch gebundenem Schwefel und Magnesium in der Pflanze. Von Prof. Dr. Gustav Klein. — Rhodospora sordida, nov. gen. et n. sp., eine neue Bangiacee des Süßwassers. Von Dr. Lothar Geitler. — Bestimmung der Stammpflanzen von Holzkohlen aus prähistorischen und subrezentem Fundorten Steiermarks. Von Josef Bauer. — Nachweis und Physiologie des Harnstoffes in der höheren Pflanze. Von Karl Tauböck. — Über einige Fälle von Unfruchtbarkeit kultivierter Pflanzen fremder Florenggebiete. (Javanische Studien.) Von Doz. Dr. H. Cammerloher.

VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN W 9

Vor kurzem erschien:

Die Linsenoptik in der Schule

Anleitung zu den Versuchen und zur rechnenden Behandlung

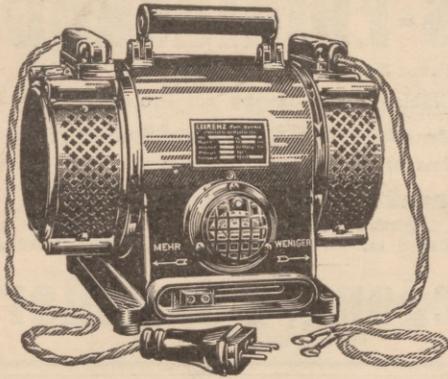
Von

Dr. Wilhelm Volkmann

Oberstudienrat an der Staatlichen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht Berlin

Mit 85 Abbildungen. 104 Seiten. 1927. RM 7.50

(Bildet Heft 12 der „Abhandlungen zur Didaktik und Philosophie der Naturwissenschaften“, herausgegeben von K. Metzner, Berlin)



Wir bauen

Einanker-Umformer

zum Laden sowie für anderen Bedarf.

Sonder-Ausführungen für den
naturwissenschaftlichen

Unterricht

Hochfrequenz-Maschinen

bis zu 8000 Perioden für alle
Anwendungszwecke

Maschinen für Sender

der drahtlosen Telegraphie und Telephonie

Vorrichtung zur

Konstanthaltung der Tourenzahl

und Spannung

(Lorenz-Drehzahl-Regler
nach System Dr. Schmidt)

Mittelfrequenz-Maschinen

für Meßzwecke

mit konstanter Frequenz und
sinusförmigem Strom



C. LORENZ
AKTIENGESELLSCHAFT
BERLIN - TEMPELHOF

Von allen Arbeiten, die in den nachstehenden Zeitschriften
erscheinen, werden kurze Auszüge durch das

Wistar Institute Bibliographic Service

im voraus veröffentlicht:

Journal of Morphology and Physiology
The Journal of Comparative Neurology
The American Journal of Anatomy
The Anatomical Record
The Journal of Experimental Zoology
American Anatomical Memoirs
American Journal of Physical Anthropology
Folia Anatomica Japonica (Tokio, Japan)
Biological Bulletin
The Journal of Parasitology
Stain Technology
Australian Journal of Experimental Biology
and Medical science (Adelaide, South Australia)

Durch

The Wistar Institute Bibliographic Service

sparen Sie Zeit beim Verfolgen der laufenden
zoologischen Forschung. Keine Veröffentlichung
entgeht Ihnen, wenn Sie sich abonnieren auf

Advance Abstract Sheets . . \$ 3.00 pro Jahr

Erscheint in Abständen von wenigen Tagen

Bibliographic Service Cards . \$ 5.00 pro Jahr

Mit vollständigen biographischen Angaben

THE WISTAR INSTITUTE

Thirty-sixth Street and Woodland Avenue
PHILADELPHIA U.S.A.

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

Soeben erschien:

Der phasenverschobene Strom Seine Messung und seine Verrechnung

Von

Dipl.-Ingenieur Richard F. Falk

Ingenieur bei den Siemens-Schuckert-Werken

Mit 52 Textabbildungen. IV, 92 Seiten. 1927.
RM 6.60

Soeben erschien:

Hochspannungstechnik

Von

Dr.-Ing. Arnold Roth

Technischer Direktor der Ateliers de Constructions Elec-
triques de Delle in Villeurbanne (Rhône), früherer Leiter der
Apparaten- und Transformatoren-Versuchsabteilung von
Brown, Boveri & Cie. in Baden

Mit 437 Abbildungen im Text und auf 3 Tafeln
sowie 75 Tabellen. VIII, 534 Seiten.
Gebunden RM 31.50

Hierzu eine Beilage vom Verlag Julius Springer in Berlin W 9