

Energie Leben und Tod

Vortrag, gehalten in Wien in der „Wiener Urania“
am 7. Februar 1914

von

Franz Tangl

o. ö. Professor an der Universität Budapest



Berlin
Verlag von Julius Springer
1914

ISBN-13: 978-3-642-47304-3

e-ISBN-13: 978-3-642-47750-8

DOI: 10.1007/978-3-642-47750-8

**Alle Rechte, insbesondere das der
Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.**

I.

Das anziehendste und interessanteste, zugleich aber auch das dunkelste von den zahlreichen Geheimnissen, die die Natur dem menschlichen Geiste bietet ist wohl das Leben. Es ist auch eines der ältesten Probleme, wahrscheinlich so uralt wie das menschliche Denken selbst, das von keinem anderen Naturvorgange so unmittelbar herausgefordert wird, wie durch das am eigenen Leibe erfahrene Leben, das auch die zum Mystizismus geneigte Phantasie aufs mächtigste anregt. Schon die mit dem übermächtigen Erhaltungstrieb kaum vereinbare beschränkte Dauer des persönlichen Lebens — wohl eine der ersten und sichersten Erfahrungstatsachen der Lebensforschung — zwang auch den primitiven denkenden Menschen, bald in seiner Gedankenwelt mit der wundertätigen Kraft seiner Phantasie nach einem Mittel zu suchen, das als Beruhigung und Trost das Beängstigende des Lebensabschlusses mildern sollte. So finden wir denn auch in den früheren Perioden der Kulturgeschichte in der Deutung und Auffassung des menschlichen Lebens, durch die Verquickung mit den religiösen Anschau-

ungen, dem unmittelbaren Mitwirken von überirdischen richtenden Mächten und Kräften einen ausschlaggebenden Einfluß eingeräumt. Das ist mit dem die Denkrichtung bestimmenden ungeheuren Einfluß der religiösen Anschauungen einerseits und mit der primitiven Beschaffenheit der naturwissenschaftlichen Erkenntnis andererseits leicht zu erklären. Das auf diese Weise eingeführte mystische Moment wurde dann Jahrhunderte lang mit den die Lebensprozesse betreffenden Begriffen so innig verknüpft, daß es auch dann noch das Denken beherrschte, als mit der Entwicklung der Naturwissenschaften von der religiösen Vorstellung mehr oder minder unabhängige Anschauungen und Hypothesen über das Leben entstanden sind. Die letzte Ausstrahlung dieses mystischen Momentes, das, wie es leicht darzutun ist, das größte Hindernis für die Erforschung des Lebens ergab, war der Vitalismus, die wissenschaftliche Anschauung, daß bei allen Lebensprozessen eine besondere, in der leblosen Natur nicht vorhandene und auch den Naturgesetzen nicht gehorchende Kraft, die sogenannte Lebenskraft, tätig ist. Damit war eigentlich die Unnahbarkeit des Lebensproblems für die naturwissenschaftliche Erforschung ausgesprochen. Dieser, jeden Fortschritt hemmende Bann wurde erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts gebrochen, als die mächtige Entwicklung der Naturwissenschaften, vor allem der Physik und Chemie, auch die Wissenschaft vom Leben in ganz neue Bahnen lenkte und zu der Erkenntnis

führte, daß das Leben ein Naturvorgang ist, der nicht nur durch dieselben Gesetzmäßigkeiten geregelt wird, wie alle übrigen Vorgänge in der leblosen Natur, sondern auch in seinen Erscheinungen nichts aufweist, was die Annahme besonderer Kräfte oder „wirksamer Prinzipien“ erfordern würde. Mit dieser Erkenntnis hat das Geheimnis des Lebens seinen mystischen Schleier verloren, allerdings ohne damit auch ganz enthüllt zu werden. Von einer restlosen Erklärung des Lebens sind wir auch jetzt noch sehr weit entfernt, ja bei vielen Lebenserscheinungen — natürlich den Kompliziertesten — sind wir kaum am Anfange ihrer naturwissenschaftlichen Behandlung und können gerade über die allerwichtigsten Fragen, wie z. B. über den Ursprung und Entstehung des Lebens, über den Elementarmechanismus der allgemeinsten Lebenserscheinungen, nicht mehr als Hypothesen geben — allerdings durchaus auf naturwissenschaftlicher Grundlage.

So verlockend und lohnend es auch wäre, eine kritische Übersicht über die zahlreichen, zum Teile sehr geistreichen Hypothesen zur „Erklärung“ des Lebens zu geben, so habe ich sie doch nicht in meinen Vortrag aufgenommen. Auch liegt es mir fern, Ihnen etwa eine Hypothese vorzuführen. Im Gegenteil! Ich möchte zeigen, daß wir, ohne uns allzusehr auf das unsichere Gebiet der Hypothesen zu begeben, nunmehr von einem entsprechend gewählten Gesichtspunkte aus uns in eine so weitgehende Analyse der Lebensvorgänge und ihrer Beziehungen zu der leb-

losen Umgebung einlassen können, daß wir zu der Überzeugung gelangen, daß die Vorgänge in der lebenden und leblosen Natur ihrem Wesen nach gleich sind. Dieser Gesichtspunkt ist der energetische, d. h. die Anschauung, daß alle Lebensvorgänge ihrem Wesen nach Energieumwandlungen sind, eine Anschauung, die am kräftigsten und konsequentesten von W. Ostwald vertreten wird.

Wir wollen nun versuchen, das Leben von diesem energetischen Gesichtspunkte aus zu beschreiben und sehen, wie weit wir dabei gelangen können.

Jede energetische Erörterung muß natürlich von der genauen Beschreibung des Begriffes Energie ausgehen.

Was ist Energie?

Verlangen Sie von mir eine Definition, die Ihnen ermöglichen soll, unter diesem allgemeinen Begriff sich etwas vorzustellen, d. h. sich in Ihrem Bewußtsein ein Bild in Gestalt einer bestimmten Vorstellung zu schaffen, so werde ich diesem Verlangen kaum in befriedigender Weise nachkommen können. Ich weiß auch nicht ob das überhaupt gelingen kann. Nicht aber deshalb, weil die Energie gar nichts Reales, etwa nur ein abstrakter Begriff ist, sondern im Gegenteil, weil sie eine schon in der Erscheinungsform außerordentlich zahlreiche und verschiedenartige Mannigfaltigkeiten aufweisende Wirklichkeit ist. Ähnliche, wenn auch vielleicht nicht so große Schwierigkeiten haben wir bei allen allgemeinen Begriffen, wenn wir uns von

denselben eine anschauliche Vorstellung machen wollen.¹⁾

Diese Schwierigkeit wird sofort verständlich, wenn wir dem nachgehen, wie wir zur Erkenntnis der Energie gelangen. Die Quelle dieser Erkenntnis sind die Veränderungen, die Vorgänge in unserer Umgebung, die außerordentlich mannigfaltig sind und je nach ihrer Erscheinungsform als Lichterscheinungen, elektrische, magnetische, akustische Erscheinungen, Bewegungen usw. bezeichnet werden. Das, was sich in diesen Erscheinungen betätigt, ist Energie, die, je nach der Form, in der sie in Erscheinung tritt, verschieden bezeichnet wird: als Lichtenergie (eine besondere Art der strahlenden Energie), elektrische Energie oder Elektrizität, magnetische Energie oder Magnetismus, Wärmeenergie oder Wärme, Schallenergie (eine besondere Art der mechanischen Energie), Bewegungsenergie oder kinetische Energie, Schwereenergie, chemische Energie. Mit den angeführten ist die Reihe der bekannten Energiearten noch nicht erschöpft. Die Mannigfaltigkeit der Erscheinungsform der Energie wächst noch dadurch außerordentlich, daß jede Energieart verschiedene Abarten hat und daß verschiedene Energiearten miteinander verbunden erscheinen können. So gibt es z. B. eigentlich so viele Arten chemischer

¹⁾ So können wir uns z. B. wohl eine bestimmte Maschine, etwa eine Eisenbahnlokomotive oder einen Elektromotor vorstellen, aber dem allgemeinen Begriff Maschine entspricht kein bestimmtes Erinnerungsbild unseres Bewußtseins.

Energie als chemische Elemente, die wiederum durch ihre Verbindungen neue Kombinationen chemischer Energie abgeben. Diese Energie-Komplexe bilden das, was man Stoff nennt, dessen chemische Eigenschaften den in diskreten Teilchen — Atomen — vorhandenen chemischen Energien zukommen. Diese sind noch mit anderen Energieformen wie Schwere-(Gravitations)-energie, Bewegungsenergie, Volumenergie, Formenergie (Elastizität), Lichtenergie, Wärmeenergie verbunden, die dem Stoffe dann die charakteristischen Merkmale der Materie — wie Schwere, Masse, Volum, Formart, Farbe, Temperatur — verleihen. Die Materie ist also nach dieser, besonders von W. Ostwald vertretenen Ansicht, ein Komplex von verschiedenen Energiearten. Nichts nötigt uns, neben diesen Energiearten in der Materie noch etwas — etwa einen Träger dieser Energien anzunehmen.

Neben diesen „materiellen“ Arten der Energie gibt es auch „immaterielle“, die gelegentlich auch nicht an Materie gebunden, also ganz selbständig, vorhanden sein können, wie gewisse Arten der strahlenden Energie (Licht- oder elektrische Strahlen). Es ist von großer Bedeutung, daß materielle Energiearten in immaterielle umgewandelt werden können, und umgekehrt. So kann die chemische Energie, aus der die Kohle besteht, durch Verbrennen, in Wärmeenergie und strahlende Energie (Licht) umgewandelt werden, und im Akkumulator entsteht beim Laden aus der zugeführten elektrischen Energie chemische Energie.

Planck hat berechnet, daß, wenn 2 g Wasserstoff sich mit 16 g Sauerstoff verbinden, nicht 18 g Wasser entstehen, sondern um 3,2 Millionstel Milligramm weniger, aus letzterer Stoffmenge ist Wärme geworden.

Überhaupt ist es eine charakteristische Eigenschaft der Energie, daß ihre verschiedenen Erscheinungsformen in einander umgewandelt werden können — doch geschehen diese Umwandlungen alle ausnahmslos so, daß dabei die Menge der Energie unverändert bleibt. — Diese wichtige Tatsache ist in dem von J. R. Mayer und H. Helmholtz entdeckten energetischen Grundgesetze, in dem Erhaltungsgesetze oder, wie es auch genannt wird, im Energieprinzip oder I. Hauptsatze der Thermodynamik ausgesprochen. Es lautet: Energie kann nicht vernichtet und kann nicht neu geschaffen werden. Es kann demnach bei keinem Vorgange Energie verloren gehen, und jede Energieform, die neu erscheint, muß schon in irgendeiner anderen Form vorhanden gewesen sein. Bei allen physikalischen und chemischen Vorgängen verändert die Energie nur ihre Erscheinungsform und ihre Verteilung im Raum, die Gesamtsumme der Energie bleibt aber unverändert. So besteht z. B. der Vorgang, den wir beim Fallen eines Steines beobachten, in der Verwandlung der Distanz- oder Lageenergie des Steines in Bewegungsenergie, die sich in der mit einer gewissen Geschwindigkeit erfolgenden Bewegung betätigt. Beim Aufschlagen des Steines auf dem Boden werden

beide, der Stein und auch der Boden, mehr oder weniger deformiert, d. h. die Bewegungsenergie wird in Formenergie (Elastizität) umgewandelt, denn nur so kann die Gestaltsveränderung vor sich gehen, nach deren Ablauf die gesamte Bewegungsenergie in Wärmeenergie umgewandelt ist.

Ein anderes Beispiel: In der Dampfmaschine wird Kohle verbrannt, d. h. die chemische Energie der Kohle wird in Wärmeenergie verwandelt, mittels dieser wird Wasser verdampft, d. h. Wärmeenergie wird in die Volumenergie des Dampfes verwandelt. Diese Volumenergie, die sich als die Spannung des Dampfes äußert, verwandelt sich bei der durch den Dampf bewirkten Bewegung der Kolben in Bewegungsenergie, diese wiederum in die Bewegungsenergie der rotierenden Masse einer Dynamomaschine und in dieser weiter in elektrische Energie, die dann schließlich durch einen entsprechenden Draht strömend zu Wärmeenergie und Lichtenergie wird.

Das Erhaltungsgesetz allein genügt aber nicht zur Erklärung der Naturvorgänge, weil es gar nichts darüber aussagt, wann und unter welchen Bedingungen Energieumwandlungen entstehen und in welcher Richtung diese verlaufen. Und doch sehen wir, daß alle Vorgänge in einer bestimmten Richtung verlaufen und nur unter gewissen Bedingungen eintreten. So fließt z. B. Wasser von selbst stets von einem höher gelegenen Ort zu einem tiefern, nie umgekehrt und eine Höhendifferenz — das Gefälle — ist die Bedingung, daß über-

haupt ein Fließen eintritt. Hat ein Gegenstand eine Temperatur von z. B. 10° C, so wird seine Temperatur in einer wärmeren Umgebung steigen, weil er Wärmeenergie aufnimmt, in einer kälteren Umgebung kühlt er ab, weil er Wärmeenergie abgibt. Spontaner Übergang von Wärmeenergie findet also stets nur in einer Richtung statt, und zwar stets von einem Orte mit höherer Temperatur zu einem mit niedrigerer. Die umgekehrte Richtung kann die Wärmeenergie von selbst nie einschlagen und die Bedingung dazu, daß sie von einem Orte zu einem anderen übergehe, ist, daß zwischen beiden eine Temperaturdifferenz besteht. Dieselbe Rolle, die die Temperatur bei der Wärmeenergie, spielt der sogenannte Druck bei der Volumenergie des Dampfes, die Spannung oder Potentialdifferenz bei der Elektrizität, die Geschwindigkeit bei der Bewegungsenergie. Diese Eigenschaften der einzelnen Energien, von denen es abhängt, ob die betreffende Energieform in andere umgewandelt werden kann, werden die Intensität (die Stärke) jener Energien genannt. Damit eine Energieumwandlung geschehe, müssen räumliche Intensitätsunterschiede der sich betätigenden Energien vorhanden sein. Bei jedem Vorgange, der von selbst verläuft, geht die beteiligte Energieform von Stellen höherer Intensität zu Stellen niederer Intensität.

Mit diesem Intensitätsgesetz ist — wie Ostwald sagt — wohl die notwendige, aber nicht die zureichende Bedingung eines Energievorganges gegeben. Es können

nämlich Intensitätsunterschiede bestehen ohne daß etwas geschieht. Eine gespannte und arretierte Feder besitzt große elastische Spannung — trotzdem findet erst dann eine Veränderung statt, wenn die Arretierung ausgelöst ist. Zwischen den Polen einer galvanischen Kette besteht eine große Spannung, es geschieht aber nur dann etwas, es entsteht nur dann ein elektrischer Strom, wenn durch leitende Verbindung die Möglichkeit geboten wird, die Spannungsunterschiede auszugleichen. Kann eine Energie ihrem Bestreben, die Intensitätsunterschiede auszugleichen, folgen, so heißt sie ausgelöst, und der Vorgang bzw. Eingriff, der dazu führte, heißt Auslösung.

Haben wir so die notwendige und aus reichende Bedingung einer Energieumwandlung erhalten, so haben wir noch die Erklärung dafür zu suchen, warum alle natürlichen Vorgänge in einer bestimmten Richtung und umkehrbar verlaufen. Kein Vorgang kann von selbst rückläufig vor sich gehen. Diese Tatsache wird auch als die Irreversibilität der Naturvorgänge bezeichnet.

Diese Einsinnigkeit in der Richtung alles natürlichen Geschehens gründet sich auf das charakteristische Verhalten der Wärmeenergie. Erstens entsteht sie am leichtesten aus allen anderen Energiearten, so daß bei jedem Vorgange ausnahmslos ein Teil der sich umwandelnden Energieformen in Wärmeenergie umgewandelt wird. Das wird sofort verständlich, wenn wir daran denken, daß bei jedem Vorgang, der schließ-

lich mit räumlichen Verschiebungen eines ganzen Körpers oder wenigstens minimaler Teile derselben einhergeht, sich eine Wirkung betätigt, die man Reibung (oder Widerstand) nennt. Bei der Überwindung dieser Reibung entsteht stets Wärme, und zwar aus der Energie, die sich beim Vorgange betätigt.

Die zweite ausschlaggebende Eigenschaft der Wärmeenergie ist, daß, während alle Energieformen vollständig in Wärme umgewandelt werden können, die Wärmeenergie nie vollständig in andere Energieformen umgewandelt werden kann. Es bleibt stets eine von der Temperatur abhängende Menge der Wärmeenergie zurück, die überhaupt in keine andere Energieform verwandelt werden kann, die also nicht mehr umwandlungsfähig ist. Daraus folgt, daß bei jeder Energieumwandlung, bei welcher Wärmeenergie entsteht, die Menge der umwandlungsfähigen Energie, die auch freie Energie genannt wird, abnehmen muß. Das wird durch eine weitere Eigenschaft der Wärmeenergie noch deutlicher. Die Wärmeenergie hat nämlich von allen Energiearten am meisten das Bestreben, sich im Raume auszubreiten, sich zu zerstreuen. Das geschieht durch den Vorgang, der als Wärmeleitung bezeichnet wird. Diese Zerstreutendenz der Wärme ist so groß, daß es kein Mittel gibt, ja auch theoretisch unmöglich ist, die Zerstreung (Dissipation) der Wärme durch Leitung zu verhüten. Diese Zerstreung führt dann zu einer Ausgleichung der räumlichen Temperaturdifferenzen, denn sie dauert ununterbrochen und

unaufhaltsam fort, so lange, bis Temperaturgleichheit eingetreten ist. Diese Temperaturlausgleichung bedeutet aber eine Abnahme der Umwandlungsfähigkeit der Wärmeenergie, weil innerhalb eines Raumes mit gleicher Temperatur die Wärme sich überhaupt nicht mehr in andere Energiearten umwandeln kann, da dies an das Bestehen von Temperaturdifferenz gebunden ist, mit deren Größe auch die Umwandlungsfähigkeit wächst.

Weil nun, wie eben gesagt wurde, bei jedem natürlichen Vorgange durch Reibung Wärmeenergie erzeugt wird, die sich zerstreut, so muß jeder Vorgang zu einer Zerstreung der Energie und damit zu einer Abnahme der umwandlungsfähigen, der freien Energie führen. Damit sind wir zum zweiten energetischen Grundgesetz oder dem II. Hauptsatz der Thermodynamik gelangt, das von Sadi Carnot entdeckt und von Clausius genau formuliert wurde. In der eben ausgesprochenen Form wird es auch das Zerstreungsgesetz genannt. Es hat auch noch andere Bezeichnungen. Die gebräuchlichste Bezeichnung ist das Entropiegesetz oder Entropieprinzip. Am einfachsten stellt man sich unter Entropie jenen Teil der Wärmeenergie vor, der bei der gegebenen Temperatur nicht mehr in andere Energiearten umgewandelt werden kann, der also seine Umwandlungsfähigkeit verloren hat. Da nach dem Zerstreungsgesetz bei allen Vorgängen auf Erden durch Zerstreung die Menge der umwandlungsfähigen Energie

abnimmt, so muß nach dem Erhaltungsgesetz die Menge der umwandlungsunfähigen Energie, der Entropie um denselben Betrag zunehmen. Man kann demnach das Zerstreungsgesetz auch in folgender Form aussprechen: alle irdischen Vorgänge führen zu einer Vermehrung der Entropie. Man hat auch den Wertbegriff mit dem Energiebegriff verbunden und mit Recht jenen Teil der Energie als den wertvolleren bezeichnet, der umwandlungsfähig ist, mithin kann man dann die Zerstreung als Entwertung der Energie auffassen.

Das Entropie- oder Zerstreungsgesetz erklärt es nun vollständig, warum es in der Natur nur unumkehrbare Vorgänge gibt. Zum Rückläufigmachen eines Vorganges bis zum Anfangszustand ist nämlich genau dieselbe Menge freier Energie nötig wie zum natürlichen Verlaufe, da aber bei letzterem die freie Energie zerstreut wurde, so fehlt sie zum Rücklauf, also kann dieser nicht von selbst zustande kommen.

Unsere Erörterung über die Vorgänge in der leblosen Natur können wir nunmehr kurz dahin zusammenfassen: die Gegenstände der Natur sind Komplexe von verschiedenen Energien, und alle Vorgänge und Veränderungen Energieumwandlungen. In der Wirklichkeit gibt es nur solche Vorgänge, bei welchen die Menge der vorhandenen Energien unverändert bleibt (Erhaltungsgesetz) und die Menge der

freien Energie abnimmt (Zerstreuungsgesetz); alle Vorgänge der Natur führen demnach zu einer Vermehrung der Entropie.

Wir können das Entropiegesetz nicht ohne ein gewisses beängstigendes Gefühl aussprechen, wenn wir daran denken, daß die Vorgänge auf der Erde seit undenklichen Zeiten ununterbrochen verlaufen und unaussprechliche Mengen freier Energie verbraucht haben und so auch in ihrem zukünftigen Verlauf verbrauchen werden. Man muß doch da unwillkürlich fragen: ja woher wurden und woher werden diese ungeheuren Mengen freier Energien genommen? Wo sind sie denn auf Erden? Auf Erden sind sie nicht, doch strömt die freie Energie ununterbrochen in riesiger Menge in Form der strahlenden Energie aus der Sonne auf die Erde, wo sie zum allergrößten Teile in Wärme und dann in die anderen Energiearten umgewandelt wird. Die Quelle der gesamten freien Energie auf Erden ist also beinahe ausschließlich die strahlende Energie der Sonne.

Die für unsere weitere Erörterungen wichtigste Umwandlung dieser strahlenden Energie, ist ihre Umwandlung in chemische Energie, die ausschließlich in Pflanzen vor sich geht. Dieser Vorgang ist die wichtigste Verbindungsbrücke zwischen anorganischer und organischer Welt.

II.

Nun wollen wir uns der organischen Welt zuwenden. Vor ihrer energetischen Betrachtung wird es aber

zweckmäßig sein, die wichtigsten charakteristischen Eigenschaften der Gebilde und Vorgänge dieser Welt zu überblicken.

Die organische Welt ist die Gesamtheit der Lebewesen, der Organismen, die durch den Leben genannten Zustand als auch durch ihre Form, Struktur und chemische Beschaffenheit ausgezeichnet und erkennbar sind.

Von diesen Eigenschaften ist die äußere Form der am wenigsten wichtige und nur insofern von biologischer Bedeutung, als sie durch die Struktur und chemische Beschaffenheit bedingt ist. Biologisch viel bedeutungsvoller ist die Struktur.

Alle Lebewesen sind organisiert, sie können in mehr oder weniger charakteristische Teile, Organe und diese in Elementarteile zerlegt werden. Diese Elementarteile, in welche die Lebewesen zerlegt werden können und die bei allen gewisse gemeinsame Eigenschaften aufweisen, sind die Zellen. Es gibt mikroskopische Lebewesen, die nur aus einer einzigen Zelle bestehen, z. B. die Protozoën, Bakterien; die Mehrzahl der Lebewesen besteht aus vielen Millionen Zellen. Je größer der Körper eines Organismus, desto größer ist die Anzahl der Zellen, die in allen Lebewesen mikroskopische Gebilde sind, deren Größe von der Größe der Lebewesen unabhängig ist. So sind z. B. die Zellen des Elephanten nicht größer als die der Maus oder eines ganz kleinen Körpers und kleiner als manche Protozoënzelle. Alle Lebensvorgänge

verlaufen in den Zellen, sie sind die lebenden Elemente der Organismen, die auch in den mehrzelligen Organismen — die einen Zellenstaat darstellen, eine gewisse beschränkte Selbständigkeit in ihren Funktionen haben. Es ist sehr interessant und von großer Bedeutung, daß die lebende Substanz, die einen Organismus bildet, ganz gleich, ob ihre Menge kleiner als ein Wassertropfen ist oder mehrere Zentner wiegt, aus solchen mikroskopisch kleinen Körnern, als welche wir die Zellen ansehen können, besteht. Die Zerteilung in so kleine Teilchen, die gegeneinander durch Oberflächen abgegrenzt sind, scheint eine der Bedingungen der Entstehung von Lebensprozessen zu sein. Durch die Aufteilung in kleine Teilchen wird nämlich die Oberfläche der Substanz ganz außerordentlich vergrößert. Das folgende Beispiel soll Ihnen das veranschaulichen. Ein Würfel, dessen Seitenlänge 1 cm ist, hat eine Oberfläche von 6 cm². Teilt man diesen Würfel in 1000 gleiche kleinere Würfel, deren Seitenlänge 0,1 cm ist, so beträgt ihre gesamte Oberfläche 60 cm², und wenn man ihn in 1 Million teilt, so ist die Oberfläche der Würfelchen 600 cm².

Durch die Aufteilung in Zellen wird also die Oberfläche der lebenden Substanz außerordentlich vergrößert, die Oberfläche, durch die die Zelle mit ihrer Umgebung in Berührung steht. Für die Bedeutung der Oberfläche genügt es, darauf hinzuweisen, daß durch sie der Strom geht, der die zum Lebensunterhalt nötigen Stoffe in die Zelle schafft und schädliche

oder unnütze Stoffe aus der Zelle entfernt. Je größer die Oberfläche um so ausgiebiger und schneller kann dieser Strom sein.

Darin liegt zum großen Teile die Bedeutung der zellulären Organisation der Lebewesen!

Die Lebewesen sind aus solchen chemischen Elementen aufgebaut, die man auch in der anorganischen Welt findet — nur sind sie nicht so zahlreich. Es gibt nicht ein einziges chemisches Element in den Organismen, das man nicht auch in der anorganischen Welt finden würde! Es ist das eine fundamentale Tatsache von der allergrößten Bedeutung, daß am Aufbau der anorganischen und organischen Welt dieselben chemischen Elemente beteiligt sind! Im ganzen sind es etwa 12 Elemente und von diesen wiederum nur 4, die den größten Teil der lebenden Substanz aufbauen, der Kohlenstoff, der Sauerstoff, der Wasserstoff und der Stickstoff. Der größte Teil der lebenden Substanz besteht aus Wasser, bei allen Lebewesen mehr als die Hälfte, bei manchen mehr als $\frac{9}{10}$; — das was noch übrig bleibt, besteht zum größten Teil aus Kohlenstoffverbindungen, die auch organische Verbindungen genannt werden. Sie haben die gemeinsame Eigenschaft, daß sie vollständig verbrannt, also oxydiert werden können und daß aus allen dabei Kohlensäure und Wasser entsteht. Sieht man von Wasser ab, so kann man aussprechen, daß die lebende Substanz zum allergrößten Teile aus organischen Stoffen besteht. Daß sie auch anorganische

enthält, geht daraus hervor, daß alle Organismen beim Verbrennen eine Asche hinterlassen.

Es ist für die einheitliche Auffassung der Lebensvorgänge aller Lebewesen von großer Bedeutung, daß trotz der außerordentlichen Verschiedenheit in der anatomischen Struktur und der Lebensäußerungen (denken Sie z. B. an eine Amöbe, einen Baum und den Menschen) alle aus ganz ähnlichen organischen Verbindungen aufgebaut sind. In allen besteht die organische Substanz zum allergrößten Teile aus Eiweißkörpern, Fetten und Kohlenhydraten und in allen finden sich daneben in viel geringerer Menge beinahe dieselben anorganischen Salze. Die organischen Körper, die außer den angeführten sich vorfinden, entstehen aus letzteren. Eigentlich sind es aber nur die Eiweißkörper, die ausnahmslos in allen Zellen vorkommen, so daß man diese als die wichtigsten Bestandteile der lebenden Substanz ansehen muß, um so mehr, als Fette und Kohlenhydrate auch aus Eiweiß entstehen können. Also ohne Eiweiß keine lebende Substanz, woraus dann ohne weiteres folgt, daß die Eiweißkörper die wichtigste Rolle bei der Erzeugung der Lebenserscheinungen spielen.

Die Lebewesen bestehen demnach aus einem Komplex von organischen Stoffen, die mit einer bestimmten nie fehlenden Menge anorganischer Verbindungen, Aschebestandteilen und mit meist mehr als der doppelten Menge Wasser die Zellen aufbauen.

Ich möchte Sie daran erinnern, daß der Name

„organische Stoffe“, mit welchem die Kohlenstoffverbindungen bezeichnet werden, noch aus jener Zeit stammt, als man glaubte, daß diese Stoffe nur in Organismen unter Mithilfe der Lebenskraft entstehen können. Tatsächlich kommen sie in der Natur nur in Organismen vor oder gingen aus diesen hervor. Heute ist aber die Chemie schon so weit fortgeschritten, daß auch die Organismen aufbauenden organischen Stoffe künstlich aus den Elementen aufgebaut werden können. Dem genialen Berliner Chemiker Emil Fischer, der auch die Kohlenhydrate künstlich aufbauen konnte, ist es vor einigen Jahren auch gelungen, Verbindungen darzustellen, die beinahe alle Eigenschaften des Eiweißes zeigten, so daß wir nicht mehr weit davon sind, auch mit dem natürlichen Eiweiß ganz identisches Eiweiß künstlich erzeugen zu können. Das ist das schwierigste Problem gewesen, dessen Lösung manche Vitalisten enttäuscht haben mag, wenn sie sich auch an den fadenscheinigen Trost klammern zu können glaubten, daß das, was künstlich erzeugt wird, doch nur totes Eiweiß ist, was doch etwas ganz anderes wäre als lebendes Eiweiß. Nun, das ist ein großes Mißverständnis, dem auch viele Physiologen zum Opfer gefallen sind. Es gibt ebenso wenig ein lebendes Eiweiß, wie es kein lebendes Fett, wie es kein lebendes Wasser gibt! Kein Mensch hat je ein lebendes Eiweiß gesehen, man hat immer nur lebende Zellsubstanz gesehen! Das ist aber ein gewaltiger Unterschied! Eine Substanz allein, mag sie auch das Eiweiß sein,

kann nie leben, dazu ist immer ein Komplex verschiedener, miteinander in gewissen chemischen und physikalischen Beziehungen stehender Substanzen nötig, in den Mengeverhältnissen, wie sie in der Zellensubstanz vorhanden sind. „Denn auf die Mischung kommt es an“, läßt schon Goethe seinen Wagner bei der Erzeugung des Homunculus sagen!

Wenn auch Struktur und chemische Beschaffenheit zu den wesentlichen Eigenschaften der Organismen gehören, so werden sie doch erst durch die Lebenserscheinungen zu Lebewesen.

Bei der außerordentlichen Mannigfaltigkeit der Lebensäußerungen, die wir an den verschiedenen Lebewesen erfahren, wollen wir vor allem jene herausfinden, die allen Lebewesen gemeinsam sind. Denn es muß doch gemeinsame Merkmale geben, die uns befähigen, von der Hefezelle, die wir nur unter dem Mikroskope sehen, ebenso wie von einem Apfelbaum oder einem Käfer oder einem Menschen auszusagen, daß sie leben.

Die augenscheinlichste Lebenserscheinung sind die verschiedenen Bewegungen, die in der mannigfaltigsten Art sowohl bei niederen als höheren Lebewesen in Erscheinung treten und besonders bei den tierischen Organismen hervortreten. Sie können sich als Bewegung einzelner Teile, der sogenannten Bewegungsorgane äußern und sind je nach der Beschaffenheit dieser Organe — wie z. B. die mikroskopischen einfachen Bewegungshärchen (Cilien) der Protozoen oder

einzelner Zellen und die kompliziert gebauten Muskeln — sehr verschieden. Die Bewegungen können mikroskopisch klein sein und sich nur auf einzelne Zellbestandteile beschränken. Sie können als Flüssigkeitsbewegungen, als Flüssigkeitsströme in Erscheinung treten, die bei dem Transport gelöster Substanzen zu und aus den Zellen und aus dem Organismus hinaus eine große Rolle spielen usw.

Die Bewegungen sind aber Lebenserscheinungen, die in den seltensten Fällen ununterbrochen verlaufen. Allerdings gibt es auch solche: z. B. das Strömen des Blutes, Saftströmung in den Pflanzen. Die meisten Bewegungen werden aber nur zeitweilig ausgeführt und daß es Leben ohne Bewegungen gibt, beweisen z. B. die ruhenden, nicht keimenden Samen, die trotz ihrer scheinbaren Unveränderlichkeit nachweisbar leben.

Eine viel seltenere Lebenserscheinung ist das Leuchten, also Lichtbildung. Es gibt Pflanzen und Tiere, die gelegentlich Licht aussenden, das von ihren Zellen gebildet wird. Es gibt leuchtende Bakterien, da sind die leuchtenden pelagischen Tiere, die das Meeresleuchten erzeugen, die Johanniskäfer usw.

Eine viel häufigere Lebenserscheinung ist die Bildung von Elektrizität, die aber nur bei einigen Tieren in solcher Menge erfolgt, daß sie ohne weiteres bei Berührung bemerkt werden kann, wie bei den elektrischen Fischen, von welchen manche, wie der Zitteraal oder die Zitterrochen, dabei starke elektrische

Schläge austeilen. Diese haben besondere Organe, in welchen sich Elektrizität in größerer Menge ansammelt. Doch wird in allen Organismen Elektrizität erzeugt, allerdings nur in so geringer Menge, daß sie nur mit den feinsten Instrumenten nachgewiesen werden kann.

Zu den Lebenserscheinungen gehören die Funktionen jenes Organes, das nur bei höheren Tieren entwickelt ist, das Nervensystem, das bei dem Menschen sowohl anatomisch wie in seinen Leistungen die höchste Stufe erreicht hat. Das Nervensystem mit seinen Endorganen vermittelt die Beziehungen zwischen Veränderungen der Außenwelt und den Lebewesen und beeinflußt den Verlauf der Lebenserscheinungen anderer Organe, z. B. der Muskelbewegungen. Diese verlaufen dadurch in ganz bestimmter Reihenfolge und Stärke, wie wir das bei den Reflexen, den instinktmäßigen Bewegungen und schließlich bei den willkürlichen Bewegungen sehen. Was diesen Bewegungen die eben genannten charakteristischen Eigentümlichkeiten verleiht, das ist eben die Funktion, die Lebensäußerung des Nervensystems, dessen weitest entwickelte Leistung die Erzeugung der psychischen Erscheinungen ist, die in ihrer Gesamtheit das ergeben, was man Bewusstsein nennt.

Die vermittelnde Tätigkeit des Nervensystems steht so in inniger Beziehung zu einer allgemeinen Eigenschaft der Lebewesen, die aber auch bei solchen niederen Lebewesen vorhanden ist, die kein Nerven-

system besitzen. Es ist die allen Lebewesen zukommende Eigenschaft der Reizbarkeit. Diese Eigenschaft offenbart sich darin, daß die Lebewesen auf gewisse physikalische oder chemische Einwirkungen aus der Außenwelt, mit einer charakteristischen, längeren oder kürzeren Reihe von Lebensäußerungen antworten. Die Einwirkungen, welche die Lebenserscheinungen auslösen, heißen Reize. Das Licht ist ein Reiz; wenn es in mein Auge fällt, löst es eine Verengung meiner Pupille aus, also eine Bewegung der Regenbogenhautmuskeln und dann eine Lichtempfindung, was durch Auslösung der Tätigkeit der Netzhaut, des Sehnerven und des Gehirns zustande kommt. Alle diese Erscheinungen bleiben aus, wenn die Netzhaut, auf welche das Licht den Reiz ausübt, ihre Reizbarkeit verliert. So wie das Licht, können für andere Organe Temperatur, Druck, Schall, Gerüche usw. als Reize dienen.

Die Reizbarkeit ist eine außerordentlich wichtige Eigenschaft und Fähigkeit der Lebewesen, denn sie vermittelt die Beziehungen zwischen den Organismen und der Außenwelt, und auf ihr beruhen die Wechselwirkungen zwischen beiden. Bei Lebewesen, die kein Nervensystem besitzen, vermittelt eine andere Zellsubstanz diese Beziehung, denn jede lebende Substanz ist gewissen Reizen gegenüber empfänglich. Die Bedeutung der Beziehungen zwischen Außenwelt und Organismus tritt ganz besonders in der Tatsache hervor, hervor, daß eigentlich das Milieu, das Medium, in

welchem die Organismen leben, Luft oder Wasser, erst durch ihre physische und chemische Einwirkung (Temperatur, Druck, Sauerstoffgehalt) die Lebenserscheinungen auslöst, indem es die sogenannten allgemeinen Lebensbedingungen schafft, die also ihrem Wesen nach auch Reize sind.

Die wesentlichste, mit dem Begriffe des Lebens aufs innigste verknüpfte Lebenserscheinung sind die ununterbrochenen chemischen Vorgänge, die vom ersten bis zum letzten Augenblicke des Lebens in den Zellen verlaufen. Die Gesamtheit dieser chemischen Vorgänge wird der Stoffwechsel oder Stoffumsatz genannt.

Es ist eine ganz allgemeine populäre Ansicht, daß das Leben auf Verbrennungsprozessen beruht, und damit ist eigentlich das Wesentliche getroffen, denn Oxydationen, Verbrennung, machen den größten Teil der chemischen Prozesse in allen Organismen aus. Die früher angeführten Stoffe, Eiweiß, Fett und Kohlenhydrate, die in der Zellsubstanz vorhanden sind, werden oxydiert, d. h. sie werden mit dem Sauerstoff, der allen lebenden Zellen zugeführt wird, vereinigt. Dem entsprechend finden sich bei allen Lebewesen besondere Einrichtungen, Organe, Atmungsorgane, mittels welcher stets die entsprechende Menge Sauerstoff in den Organismus geschafft wird. Wie bei allen Oxydationen, werden aus den oxydierten Stoffen einfachere gebildet, die nicht mehr weiter oxydiert werden, gerade so, wie beim Verbrennen dieser Stoffe außerhalb

der Organismen. Es entstehen auch dieselben Oxydationsprodukte. Man kann z. B. Zucker und Fett vollständig verbrennen, dabei entstehen aus ihnen Kohlensäure und Wasser. Ganz dieselben Produkte liefern diese Substanzen beim Verbrennen in der lebenden Substanz.

Der einzige Unterschied ist nur der, daß in der Zelle die organischen Stoffe bei viel niedrigerer Temperatur oxytiert werden als bei den künstlichen Verbrennungen. Wollen wir den Zucker verbrennen, so müssen wir ihn weit über 100° C erhitzen, bis er zu brennen anfängt, in unserem eigenen Leibe verbrennt er ebenso vollständig bei 38° C und, was ganz besonders wunderbar ist, vollzieht sich diese Oxydierung außerordentlich rasch. Bereits 10 Minuten, nachdem wir z. B. Zucker gegessen haben, kann man schon Kohlensäure nachweisen, die aus der Verbrennung dieses Zuckers stammt. Es sind eben in der Zelle chemische und physikalische teils schon bekannte, teils noch unbekanntere Einrichtungen vorhanden, die es ermöglichen, daß die Oxydationen mit großer und, was sehr wichtig ist, mit regulierbarer Geschwindigkeit ablaufen können. Es sind das Einrichtungen, wie wir sie mit ähnlicher Vollkommenheit künstlich im Laboratorium noch nicht herstellen können. Es ist von großer prinzipieller Wichtigkeit, daß bei diesen in den Zellen ablaufenden Oxydationen auch genau ebensoviel Wärme entsteht, als bei der Verbrennung außerhalb des Körpers. Alle Oxydationen im Organis-

mus sind mit Wärmebildung verbunden. Da nun die Oxydation in den Zellen ununterbrochen und in allen lebenden Zellen verlaufen, so findet in allen Lebewesen eine ununterbrochene Wärmebildung statt.

Wie Sie dem eben Gehörten entnehmen können, werden im Stoffwechsel bei den Oxydationen gerade diejenigen organischen Stoffe zersetzt, die wir nicht nur in der Zellsubstanz vorfinden, sondern die wir als ihre chemischen Bestandteile kennen lernten. Beim Stoffwechsel verbraucht also die Leibessubstanz gewissermaßen sich selbst. Natürlich nimmt durch diesen Verbrauch die Menge der lebenden Substanz ab, was mit der Erhaltung des Lebens nur kurze Zeit vereinbar ist, wenn nicht für Ersatz gesorgt wird. Das ist dadurch erreicht, daß jedes Lebewesen in seiner Organisation Einrichtungen findet, die es befähigen, die im Stoffwechsel verbrauchten Stoffe durch neue, den verbrauchten ähnliche zu ersetzen. Diese Fähigkeit ist die Grundbedingung der Erhaltung des Lebens! Die Vorgänge, durch welche die zersetzten Stoffe ersetzt werden, heißen in ihrer Gesamtheit die Ernährung und die Stoffe die Nährstoffe. Die Vorgänge der Ernährung sind je nach Entwicklungsstufe und anatomischer Beschaffenheit der Organismen ungemein mannigfaltig, bald einfacher, bald aus einer ganzen Reihe von miteinander verknüpften Organfunktionen verknüpft. Es ernährt sich eine Bakterienzelle, es ernährt sich ein Baum, der Mensch usw. So verschieden nun die Ernährungsvorgänge in ihren Einzelheiten auch

sein mögen, dem Wesen nach sind sie bei allen Lebewesen identisch: es wird aus der Umgebung durch automatisch sich regulierende physiologische Leistungen die Nährstoffe enthaltende Nahrung in den Körper der Lebewesen befördert und dort physikalisch und chemisch so umgeändert und zerlegt, daß aus den zugeführten Nährstoffen die verbrauchten Stoffe der lebenden Substanz wieder neu erzeugt und vollständig ersetzt werden. Die bei weitem meisten Lebewesen können zu diesem Zwecke bloß organische Stoffe verwenden, die für die Tierwelt den drei Gruppen: Eiweißkörper, Fette und Kohlenhydrate, entnommen werden. Dagegen können gewisse Pflanzen unter bestimmten Bedingungen — von welchen wir noch sprechen werden — aus anorganischen Verbindungen die organischen erzeugen, während die tierischen Organismen das unter gar keiner Bedingung können. Deshalb sind die Tiere auf die Pflanzenwelt angewiesen. Alle organischen Nährstoffe die in der Nahrung der Tiere enthalten sind, stammen aus der Pflanzenwelt, denn das Fleisch, mit dem sich die Fleischfresser ernähren, stammt von Pflanzenfressern, welche die zum Aufbau ihres Körpers nötigen organischen Stoffe doch nur mit der Pflanzennahrung erhalten.

Die Pflanzen sind überhaupt die einzigen Gebilde der Natur, in welchen organische Stoffe aus anorganischen gebildet werden, so daß die gesamten organischen Stoffe der Erde aus Pflanzen stammen, die wir so als großartige Fabriken organischer Verbindungen be-

trachten können. Eben diese Tatsache war es ja, auf die sich der Aberglaube der Lebenskraft Jahrhunderte lang stützte, konnte er doch darauf hinweisen, daß die organischen Stoffe nur dort entstehen, wo Leben ist. Mit der ersten künstlichen Erzeugung einer organischen Verbindung durch den Chemiker Wöhler im Jahre 1828 wurde dieser Aberglaube erschüttert und, wie ich schon erwähnte, durch die geniale Tat Emil Fischer's endgültig vernichtet. Wenn wir auch noch nicht alle Einzelheiten der Entstehung der organischen Stoffe in der Pflanze kennen, das eine können wir nun sicher behaupten, daß prinzipiell dieselben oder ähnliche Prozesse dabei mitspielen wie bei der künstlichen Erzeugung im Laboratorium. Nicht unerwähnt darf ich lassen, daß alle Lebewesen, Pflanzen und Tiere mit der Nahrung auch anorganische Stoffe, Salze, zuführen, die sowohl zum Aufbau der Zellsubstanz als auch zu den Lebensprozessen benötigt werden.

Dieser soeben geschilderte Ersatz der verbrauchten Stoffe bildet den zweiten Abschnitt des Stoffwechsels. Dieser besteht demnach aus zwei Perioden, die allgemein als Dissimilation oder Abbau und als Assimilation oder Aufbau bezeichnet werden. Beim Abbau also werden organische Stoffe hauptsächlich durch Oxydation in einfachere zerlegt, durch den Aufbau werden die beim Abbau zerlegten Stoffe ersetzt.

Diese zwei Perioden des Stoffwechsels müssen aber in einem Organismus durchaus nicht etwa ab-

wechselnd einander ablösen; es kann zur selben Zeit in einem Organ Aufbau und Abbau, ja sogar in ein und derselben Zelle Aufbau und Abbau gleichzeitig ablaufen. Das ist einesteils durch die zellige Struktur der Organe möglich, wo jede Zelle ein eigenes chemisches Laboratorium darstellt, andererseits dadurch, daß die Zellsubstanz selbst durch ihren eigentümlichen mikroskopischen Bau eine räumliche Trennung verschiedener chemischer Prozesse innerhalb der Zellgrenzen zuläßt. Man kann wirklich jeden Organismus mit einer großartig angelegten chemischen Fabrik vergleichen, in welcher die Arbeiten in den einzelnen Abteilungen durch eine wunderbar organisierte Verbindung untereinander zu einem einheitlichen Betriebe vereinigt sind. Und dieser Betrieb ruht nie, denn die Stoffwechselvorgänge dauern ununterbrochen vom Anfange bis zum Ende des Lebens!

III.

So sind wir nun, nachdem wir die wichtigsten Eigenschaften der Lebewesen und die wichtigsten Lebenserscheinungen überblickt haben, bei der Frage angelangt, in welchen Beziehungen diese zur Energie und den Energieumwandlungen stehen, die wir in der anorganischen Welt angetroffen haben.

Alle Lebenserscheinungen sind Vorgänge, Veränderungen — sind diese Vorgänge ebenso wie alle Vorgänge der anorganischen Welt Energieumwandlungen? Das ist die Kardinalfrage!

Nehmen wir die Bewegungen! Sie mögen in welcher Form immer vor sich gehen, ganz gleich, ob es sich um mikroskopische Bewegungen handelt oder um Bewegungen, bei welchen große Massen, z. B. der ganze Körper eines großen Tieres, ihre Lagerung im Raume ändern, es wird bei allen Massen eine Geschwindigkeit erteilt, gerade so wie bei den anorganischen Bewegungen, die, wie wir sahen, eine Betätignug der Bewegungsenergie sind. So sind auch die organischen Bewegungen Äußerungen der Bewegungsenergie. Auch die Einzelvorgänge in den Bewegungsorganen lassen sich als Erscheinungen der verschiedenen Formen der mechanischen Energie erkennen. Die Bewegungsorgane der Tiere sind die Muskeln, die die Bewegung ausführen, indem sie sich zusammenziehen, wobei sie dicker und kürzer werden. Diese Gestaltsveränderung beruht darauf, daß die feinen Fasern, aus welchen der Muskel besteht, mit großer Geschwindigkeit quellen, d. h. Wasser aufnehmen, wobei sie kürzer und dicker werden. Ganz denselben Vorgang kann man bei einem Hanfseil sehen, das sich beim Anfeuchten verkürzt, weil seine Fasern quellen. Die Quellung ist die Erscheinung einer besonderen Form der mechanischen Energie.

Ebenso lassen sich alle übrigen Bewegungserscheinungen an den flüssigen Bestandteilen der Organismen als Umwandlungen verschiedener Formen der mechanischen Energie erkennen.

Das Leuchten mancher Organismen beruht auf der Erzeugung von Lichtenergie aus chemischer

Energie, es ist also eine Energieumwandlung, wie man sie auch in der anorganischen Welt findet. Es ist kein Temperaturleuchten, bei welchem das Licht bei hoher Temperatur erzeugt wird und eigentlich aus Wärmeenergie entsteht, sondern es ist kaltes Licht, wie das Licht des Phosphors und anderer phosphoreszierender Körper, bei welchen das Licht unmittelbar aus chemischer Energie entsteht.

Die Elektrizität in den lebenden Organismen entsteht durch Umwandlung von chemischer Energie in elektrische Energie, prinzipiell genau in derselben Weise, wie in einem galvanischen Elemente.

Und der Stoffwechsel? Bei jeder chemischen Reaktion findet eine Reihe von Energieumwandlungen statt, bei welchen sich chemische Energie teils in ihre verschiedenen Abarten, teils sich in andere Energieformen umwandelt. Das geht auch beim Stoffwechsel vor sich, bei dem chemische Energie in jene Energiearten umgewandelt wird, die sich in den verschiedenen Lebenserscheinungen, von welchen wir einige soeben anführten, sich betätigen. Diese Umwandlungen der chemischen Energie finden nur während der Abbauprozesse, der Oxydationen, statt, bei welchen chemische Energie verbraucht wird, eben indem sie sich in andere Energieformen umwandelt. Es ist eine prinzipiell sehr wichtige Tatsache, daß bei diesen Energieumwandlungen ein Teil der sich umwandelnden chemischen Energie stets unmittelbar in Wärme verwandelt wird, denn es folgt daraus, daß es keine Er-

zeugung von Lebenserscheinungen ohne Wärmebildung gibt.

Auch der Aufbau von organischen Stoffen aus anderen chemischen Verbindungen ist eine Umwandlung chemischer Energie. Die tierischen Organismen können zu diesen Umwandlungen nur organische Stoffe benützen, die bereits die entsprechende chemische Energie enthalten. Dagegen können die Pflanzenzellen, die den grünen Farbstoff Chlorophyll enthalten, aus den anorganischen Stoffen Kohlensäure und Wasser, die keine durch Oxydation umwandelbare chemische Energie enthalten, organische Verbindungen erzeugen, indem sie die strahlende Energie der Sonne in chemische Energie umwandeln, die dann in den organischen Verbindungen enthalten ist.

Sie dürfen aber nicht glauben, daß, so charakteristisch auch die Stoffwechselforgänge für die Lebewesen sein mögen, dieselben in der leblosen Natur nicht vorkommen. So sind z. B. die Vorgänge in der Kerzenflamme durchaus den Stoffwechselforgängen ähnlich. Die Flamme selbst besteht aus glühenden Kohlentelchen, die zu gasförmiger Kohlensäure verbrannt, aber fortwährend durch neue ersetzt werden. Letztere entstehen aus dem flüssigen Gemisch, das im Docht emporsteigt und in der hohen Temperatur der Flamme zersetzt wird. Also auch hier ununterbrochener Verbrauch von chemischer Energie und Ersatz durch automatische Zufuhr von neuer.

Während alle angeführten Lebenserscheinungen ganz

sicher und restlos als Energieumwandlungen erkannt werden konnten, sind es eigentlich bloß die Funktionen des Nervensystems, die der energetischen Analyse Schwierigkeiten machen. Wie ich Ihnen erwähnte, ist das Nervensystem jenes Organ, das die Beziehungen zwischen Außenwelt und Organismus zum allergrößten Teile beherrscht, indem es auf äußere Einwirkungen, — Reize —, eine bestimmte Reihe von Lebenserscheinungen betätigt. Sehen wir die Verhältnisse etwas genauer an. Was sind die Reize: Licht, Schall, Druck, Geruch, Geschmack, Temperatur usw.? Alle Erscheinungsformen der Energie. Wie vollzieht sich ihre Wirkung? Nehmen wir das Licht. Es wirkt nicht überall als Reiz, nur wenn es auf die Netzhaut im Auge fällt. Die Netzhaut ist das sogenannte Endorgan des Sehnerven. Wie das Licht die Netzhaut trifft, wird es in Wärme umgewandelt, und es beginnt dort sofort eine weitere Energieumwandlung in der Netzhaut selbst; es entstehen chemische Prozesse, bei welchen ein Teil der chemischen Energie teils in Wärme, teils in Bewegungsenergie gewisser Netzhautelemente umgewandelt wird. Es ist offenbar, daß die Einwirkung des Lichtes Energieumwandlungen ausgelöst hat. Die Reizwirkung ist demnach ebenso ein Auslösungsvorgang wie das Lösen der Sperre einer gespannten Feder oder das Schließen eines elektrischen Schlüssels usw.: es wird eine Energieumwandlung eingeleitet, die vorher gehemmt war. Das was für das Licht gilt, kann für alle Reize nachgewiesen werden: alle sind

Auslösungsvorgänge, also Energieumwandlungen. Bei allen Reizen geht — wie Ostwald sagt — Energie durch die Oberfläche des Körpers. Dieser Durchgang findet durch die Endorgane der Sinnesnerven, die Sinnesorgane, statt.

Hat der Reiz auf ein Sinnesorgan eingewirkt, so beginnt die Funktion des Nervensystems. Die Energieumwandlungen, die im Endorgan ausgelöst wurden, wirken selbst als Auslösungsvorgänge, die wieder in den Nervenfasern, die mit dem Endorgan zusammenhängen, Veränderungen auslösen, welche die Eigenschaft haben, in den Nervenfasern fortzuschreiten, etwa so wie das Feuer in einer Zündschnur oder Elektrizität in einem Leitungsdraht. Diese fortschreitende Veränderung wird Nervenerrregung, Innervation, genannt. Diese fließt mit ziemlicher Geschwindigkeit durch die Nerven, aber unvergleichlich langsamer wie die Elektrizität durch die Leitungsdrähte; ihre Geschwindigkeit beträgt etwa 30 m in der Sekunde. Ist diese Erregung durch die Nervenfasern bis in die Zellen der Gehirnrinde gelangt, so löst sie wieder in diesen eine Reihe von Vorgängen aus, die sich als Entstehung von Wärmeenergie oder elektrischer Energie und, was besonders charakteristisch ist, als Erscheinungen äußern, die ausschließlich an den Zellen der Gehirnrinde zu betrachten sind und als Empfindungen bezeichnet werden. Kehren wir zu dem Beispiel des Lichtes zurück, so löst der Reiz, der auf die Netzhaut gewirkt hat, die Erregung der Sehnervenfasern aus,

die Erregung wird durch diese bis zu einer Stelle der Großhirnrinde geleitet, wo in den Zellen die Gesichtsempfindung entsteht. Da von zahllosen Nervenfasern von den verschiedenen Sinnesorganen durch die Reize Erregungen in die Gehirnrinde gelangen, entstehen dort zahlreiche Empfindungen, die in ihrer Gesamtheit und durch ihre gegenseitigen Beziehungen das ergeben, was Bewußtsein genannt wird.

Sind diese Vorgänge auch als Energieumwandlungen aufzufassen? Es ist festgestellt, daß sie wie alle Lebenserscheinungen ohne Umwandlung von chemischer Energie nicht entstehen können, daß die Erregungszustände der Gehirnrinde, wie alle übrigen Organfunktionen mit Wärmeproduktion und mit Erzeugung von Elektrizität einhergehen. Also genau so wie bei allen anderen Lebenserscheinungen, nur kennen wir die Bedingungen nicht, die die besondere Erscheinungsform der Nervenerrregung geben. Wir wissen nur, daß es eine fortschreitende Umwandlung chemischer Energie ist, aber welche Energiearten sich dabei betätigen, wissen wir nicht. W. Ostwald hat die kühne Hypothese ausgesprochen, daß dabei eine besondere Energieart entsteht, die er Nervenenergie nennt; eine Abart wäre die psychische Energie, die in den Gehirnzellen auftritt. Es könnte sich aber auch um eine Kombination bekannter Energien handeln. So lange man diese Nervenenergie oder psychische Energie nicht messen kann, bleibt Ostwalds Ansicht nur eine Hypothese, die übrigens viel mehr von philo-

sophischer als von naturwissenschaftlicher Seite mit metaphysischen und erkenntnistheoretischen Argumenten bekämpft wird. Allerdings setzen sich viele mit der Erklärung, daß Ostwalds Hypothese nur eine Phrase ist, einfach darüber hinweg. Es gilt eben auch für Ostwalds Tat das Wort Goethes: „Ein großer Vorsatz scheint im Anfang toll“. Es fehlt allerdings auch nicht an Stimmen, die das Wagnis Ostwalds als „kopernikanische Tat“ bezeichnen (E. Schenkl).

Man möge Ostwalds Hypothese als waghalsig, leer, nichtssagend oder unbefriedigend nennen, so viel wird man aber bei unbefangener Beurteilung doch zugeben müssen, daß sie keinen Widerspruch enthält und nicht mehr Denkschwierigkeiten verursacht, wie etwa die in der Physik jetzt herrschende Ansicht, daß die Masse des Radiums verschwindet und sich in strahlende Energie umwandelt. Für sie spricht die Tatsache, daß eben alle übrigen Lebenserscheinungen Energieumwandlungen sind, daß die Vorgänge im Nervensystem, wie alle Lebenserscheinungen, mit Verbrauch von chemischer Energie einhergehen und an diese gebunden sind, daß die Reize, mit welchen diese Nerven- und Gehirnfunktionen in Beziehung stehen, selbst Energievorgänge sind. Das letztere ist deshalb von besonderer Bedeutung, weil Energieumwandlungen nur mit Energieumwandlungen in Beziehung stehen können, andere Beziehungen der Naturvorgänge kennt unsere Erfahrung überhaupt nicht. Dabei darf nicht

übersehen werden, daß bei solchen Organismen, die noch kein Nervensystem haben, die Reizleitung bzw. die Erregungsleitung durch ein anderes Protoplasma, das auch andere Funktionen verrichtet, besorgt wird. Es gibt eben einen allmählichen Übergang zur Nervenfunktion, eine philogenetische Entwicklung der letzteren, was nicht verständlich wäre, wenn die eine Lebenserscheinung — Reizleitung ohne Nerven — eine Energieumwandlung wäre und die andere nicht. Daß man die spezifischen Vorgänge im Nervensystem noch nicht zu messen vermag, kann kein entscheidender Einwand dagegen sein, daß sie nichts anderes als Energieumwandlungen darstellen, denn es dauerte doch mehr als ein Jahrhundert, bis es gelang, die Elektrizität zu messen. Jedenfalls ist die Ostwaldsche Hypothese von außerordentlicher prinzipieller Bedeutung, weil sie eine Basis zur naturwissenschaftlichen Behandlung der Nerven- und Gehirnphänomene schafft, die nur dann möglich ist, wenn diese Vorgänge mit den übrigen Lebenserscheinungen wesensgleich sind.

Nach all dem können wir mit vollem Rechte behaupten: die Lebenserscheinungen sind Energieumwandlungen, und das Leben selbst ist ein Komplex von miteinander in gesetzmäßigen Beziehungen stehenden Energieumwandlungen.

Jetzt fragt es sich nur mehr, ob für die Lebenserscheinungen auch die energetischen Grundgesetze, das Erhaltungsgesetz und das Entropiegesetz gelten.

Schon die Geschichte der Entdeckung des Erhal-

tungsgesetzes könnte als Beweis der Gültigkeit dieses Gesetzes für die Lebewesen sein. Wurde doch der Arzt Julius Robert Mayer vor allem durch Beobachtungen am Menschen zu der Entdeckung des Erhaltungsgesetzes geführt, und der andere große Entdecker H. Helmholtz holte die ersten Anregungen zu seiner Entdeckung aus seinen Untersuchungen der Muskelkontraktionen, mit denen er damals als Physiologe beschäftigt war. Heute ist die Gültigkeit schon so sehr in das Bewußtsein übergegangen, daß manche Physiologen sie als axiomatische, a prioristische Forderung aufstellen. Die Gültigkeit wurde auch experimentell bewiesen durch die Versuche Rubners an Tieren und neuerdings durch die äußerst präzisen Versuche von Atwater und Benedict am Menschen. Der Beweis wurde damit erbracht, daß aus den im Stoffwechsel oxydierten Nährstoffen berechnet wurde, wie viel Wärme aus der verbrauchten chemischen Energie entstehen mußte, während gleichzeitig die in derselben Zeit tatsächlich produzierte Wärme in einem speziell zu diesem Zwecke gebauten Kalorimeter, in dem sich die Tiere bzw. Menschen aufhielten, unmittelbar bestimmt wurde. Die berechneten und gefundenen Werte stimmen vollkommen überein.

Mit diesen hochbedeutsamen Versuchen wurde auch gleichzeitig die wichtige Tatsache bewiesen, daß die gesamte in Lebenserscheinungen umgewandelte Energie — im tierischen Organismus — ausschließlich aus der chemischen Energie der zersetzten organi-

schen Nährstoffe stammt, und zweitens, daß die gesamte umgewandelte chemische Energie noch im Organismus schließlich in Wärmeenergie übergeht. Eine Ausnahme bildet nur jener Teil der chemischen Energie, der eventuell in einer anderen Energieform, z. B. als mechanische Arbeit, oder als nicht verwendete chemische Energie mit den verschiedenen Exkreten und Sekreten abgegeben wird.

Aus der Tatsache, daß in den Lebewesen die Gesamtheit der Energieumwandlung in eine Wärmebildung ausgeht, die zu Temperaturerhöhung und Wärmeabgabe führt, oder, wie man das auch ausdrückt, daß die Wärmetönung des Lebens stets positiv ist, folgt schon sicher, daß die Lebenserscheinungen mit einer Zerstreung der freien Energie verbunden sind. Tatsächlich kennen wir keinen Lebensvorgang — mit Ausnahme der Kohlenhydratsynthese durch die Chlorophyllkörper — der nicht mit Energiezerstreung verbunden wäre. Wohl kann man auch im Tierkörper einzelne Stoffwechselvorgänge nachweisen, die mit Erzeugung von freier Energie verbunden sind, doch wissen wir von diesen, daß sie nur so zustande kommen, wenn gleichzeitig viel mehr freie Energie zerstreut wird. Es ließ sich in neuerer Zeit auf Grund des sogenannten W. Nernstschen Wärmetheorems für die wichtigsten Stoffwechselvorgänge auch berechnen, wie groß die Abnahme der freien Energie bei ihnen ist. (Die Berechnung haben meine Schüler J. Baron und M. Polányi ausgeführt.)

Wir können es demnach als bewiesen betrachten, daß auch das Zerstreungsgesetz (Entropiegesetz) für alle Lebenserscheinungen ebenso gültig ist wie für alle natürlichen Vorgänge auf der Erde. Die Gesamtheit der Lebensvorgänge auf der Erde führt also ebenso wie die Vorgänge in der anorganischen Welt zu einer Abnahme der freien Energie und damit zu einer Vermehrung der Entropie.

Ganz besonders möchte ich da betonen, daß auch die Kohlenhydratsynthese, die in den grünen Pflanzenzellen durch die Chlorophyllkörper ausgeführt wird, eigentlich auch mit Energiezerstreuung einhergeht wie ein jeder Lebensvorgang. Denn wohl wird aus der in die Zellen eintretenden strahlenden Energie chemische Energie erzeugt und damit die Menge dieser Energie in der Pflanze vermehrt, aber diese neugebildete chemische Energie ist nur ein ganz geringer Teil der in die Zelle eingedrungenen strahlenden Energie, deren größter Teil in Wärme umgewandelt und zerstreut wird. Die Vermehrung der chemischen Energie in der Pflanze ist auch nur auf Kosten einer größeren Menge freier Energie möglich. Immerhin wird aber durch die Umwandlung von strahlender Energie in chemische, Energie vor Zerstreung bewahrt und so gewissermaßen freie Energie konzentriert und konserviert.

Nachdem wir nunmehr erkannt haben, daß die Lebenserscheinungen Energieumwandlungen sind wie

alle Vorgänge der anorganischen Welt, daß für sie die energetischen Grundgesetze ebenso gültig sind, so sind wir nunmehr zu dem Schlusse berechtigt, daß es zwischen den Vorgängen der anorganischen und organischen Welt keine Wesensverschiedenheit besteht, so verschieden mannigfaltig ihre Erscheinungsformen auch sein mögen.

Für den Forscher, der in der Entwicklung der Wissenschaften die Tendenz und den Fortschritt der Auffindung der einheitlichen Grundlage alles Geschehens erblickt, ist diese Erkenntnis erhebend, Forschungsmut und Forschungsfreude schaffend. Sie ist auch außerordentlich fruchtbar und erfolgversprechend, denn sie hat endgültig mit der Lebenskraft aufgeräumt und die Bahn zur Erforschung des Lebens freigelegt. Sie gibt uns die Basis, auf welcher die Lebenserscheinungen mit den exakten Methoden der Physik und Chemie analysiert werden können, und berechtigt uns auch zu der Hoffnung, daß auch solche Lebensprozesse, die vorderhand einer solchen Analyse noch nicht zugänglich sind, es werden.

Von einer restlosen energetischen Erklärung aller Lebenserscheinungen sind wir freilich noch weit entfernt und für viele nur auf Hypothesen angewiesen. Denn wir kennen wohl die Basis, auf der alle Lebensprozesse verlaufen müssen, — das ist das Erhaltungsgesetz, — wir kennen den Rahmen und die Richtung, die diesen Vorgängen vom Entropiegesetz vorgeschrieben sind, aber die verwickelten Einzelheiten der Vorgänge

selbst sind uns noch ziemlich unbekannt. Was aus der chemischen Energie unmittelbar wird, wie viel und welche Energiearten aus ihr entstehen, die näheren Bedingungen dieser Umwandlungen kennen wir nicht, wie wir auch nicht angeben können, aus wie viel Energiearten eine Lebenserscheinung aufgebaut ist. Wir wissen auch noch vieles andere nicht, ja viel mehr ist das noch nicht Erforschte als das Aufgedeckte, wie das bei allen jungen Wissenschaften ist. Und jung ist die wissenschaftliche Physiologie, kaum 100 Jahre alt und noch jünger die energetische Forschung, kaum 50!

Immerhin kann ich Ihnen doch an einigen wichtigen physiologischen Problemen zeigen, wie die energetische Auffassung und Forschung, deren Lösung in ganz neue Bahnen gelenkt hat, die auch zu praktisch bedeutsamen Resultaten führten. Da ist das Problem der Muskelarbeit! Durch Zusammenziehung (Verkürzung und Verdickung) leistet der Muskel mechanische Arbeit wie eine Maschine, die eine Last hebt und befördert. Die mechanische Arbeit kann man genau messen und sie zur Beurteilung der Güte der Maschine benutzen, die durch den Wirkungsgrad der Maschine ausgedrückt wird. Dieser Wirkungsgrad gibt an, wieviel Prozente der in die Maschine eingeführten Energie — z. B. bei der Dampfmaschine die in Wärme umgewandelte chemische Energie der Kohle — in mechanische Arbeit umgewandelt werden kann. In derselben Weise hat man den Wirkungsgrad der Muskelarbeit bestimmt: man hat mittels entsprechend ein-

gerichteter Stoffwechselfersuche ermittelt, wieviel chemische Energie der Muskel verbraucht, während er eine genau bestimmte mechanische Arbeit, z. B. Hebung eines Gewichtes, ausführte. Da stellte sich die interessante Tatsache heraus, daß die Muskelmaschine der Tiere und des Menschen einen etwa dreimal größeren Wirkungsgrad hat als die Dampfmaschine. Letztere kann von der Energie der Kohle nur etwa 10% in mechanische Arbeit verwandeln, während der Muskel von der chemischen Energie seiner Nährstoffe etwa 35%. Also ist unser Muskel eine viel vollkommene Maschine als unsere beste Dampfmaschine!

Diese Feststellung hat nicht nur theoretisches Interesse, sondern auch ein eminent praktisches! Man weiß längst, daß je mehr Arbeit ein Tier oder der Mensch leisten muß, um so mehr Nahrung bedürfen sie. Der Wirkungsgrad der Muskelarbeit gibt die Basis, auf welcher berechnet werden kann, um wie viel mehr Nahrung zugeführt werden muß, um die gewünschte Arbeit leisten zu können! Daß diese Frage bez. die Frage, ja nicht mehr zu geben, als unbedingt nötig ist, ein großes ökonomisches Interesse hat besonders bei Massenfütterungen, braucht keine weitere Begründung.

Das Energieprinzip wird aber nicht bloß bei der Ernährung der Arbeitstiere praktisch zur Geltung gebracht, die ganze moderne Fütterungslehre beruht auf demselben ebenso wie die Ernährungslehre des Menschen. Das Nahrungsbedürfnis wird durch das

Bedürfnis an chemischer Energie bestimmt, es ist also ganz rationell, daß man die nötige Nahrungsmenge nach der in ihr enthaltenen, im Organismus umwandelbaren Energie berechnet, je nach den physiologischen Leistungen, die ausgeführt werden müssen. So bedarf z. B. ein Mensch von 70 kg Gewicht pro Tag 2400 Kalorien¹⁾ chemischer Energie, die in seinem Körper in Wärme umgewandelt wird. Dieselbe Wärmemenge entsteht, wenn 375 g Braunkohle verbrannt werden, Das ist das Energiebedürfnis des Menschen bei Ruhe; arbeitet er, so erhöht sich dieses Bedürfnis auf 3000 Kalorien bis 5000 Kalorien, also über das Doppelte. Diese Menge chemischer Energie muß mit der Nahrung zugeführt werden.

Wird mit der Nahrung weniger Energie zugeführt, als der Organismus benötigt, so zehrt er von jener Energie, die in seinen eigenen Zellen enthalten ist, wodurch natürlich die Masse seiner lebenden Substanz abnimmt. Wird mehr zugeführt, so kann die überflüssige chemische Energie im Körper, hauptsächlich in Form von Eiweis oder Fett abgelagert werden. Das erstere geschieht bei der embryonalen Entwicklung und beim Wachstum, während beim Mästen hauptsächlich

¹⁾ Die Menge der chemischen Energie wird dadurch bestimmt, daß sie durch Verbrennen in Wärme umgewandelt wird, die dann leicht in einem Kalorimeter gemessen werden kann. 1 Kalorie nennt man die Wärmemenge, die die Temperatur von 1 kg Wasser um einen Grad Celsius zu verändern vermag, d. h. um einen Grad erhöhen, wenn sie zugeführt oder um einen Grad erniedrigen, wenn sie entzogen wird.

Fett abgelagert wird. Von diesen ist der komplizierteste Vorgang die embryonale Entwicklung, bei der die einzelnen Organe, viele mit einer ziemlich komplizierten Struktur aufgebaut werden. Dieser Aufbau erfordert ebenso wie der Bau eines Hauses oder einer Maschine Arbeit, die sich beim Organismus als Verbrauch von chemischer Energie offenbart. Diese Arbeit, die der Aufbau eines Embryo aus der Eizelle bis zu seiner vollen Reife erfordert, konnte bei einigen Tieren gemessen werden, ich habe sie Entwicklungsarbeit genannt. Für die bisher untersuchten wenigen Tiere — Seidenspinner, Fisch und Huhn — konnte die interessante Gesetzmäßigkeit festgestellt werden, daß auf gleiche Embryogewichte bezogen die Entwicklungsarbeit bei allen gleich ist, daß diese also von der Differenzierung, von der Entwicklungsstufe des Tieres unabhängig ist. Das will bedeuten: die Erzeugung von 1 gr Huhn erfordert dieselbe Arbeit wie die von 1 gr Seidenspinner, dabei ist das Huhn viel komplizierter gebaut und viel höher organisiert.

IV.

W. Ostwald definiert die Lebewesen als stationäre Gebilde mit der Fähigkeit automatischer Nahrungsbeschaffung und mit der Fähigkeit der Neubildung ähnlicher Gebilde, der Zeugung. Als stationär bezeichnet W. Ostwald ein Gebilde, das nur durch ununterbrochene, mit Zerstreuung endigende Energieumwandlungen aufrecht erhalten werden kann, im

Gegensätze zu den stabilen Gebilden — z. B. dem Tisch — die ohne Energieaufwand bestehen. Auch die Flamme ist ein stationäres Gebilde, sie besteht nur so lange, als die Veränderungen in ihr anhalten. Die stationären Gebilde befinden sich in einer Art schwankenden Gleichgewichtes — es ist auch „dynamisches Gleichgewicht“ genannt worden — indem die verbrauchte Energie ersetzt wird. Dieser Verbrauch und Ersatz werden durch die automatische Selbstregulierung geregelt, die auf den innigen Beziehungen beruht, die zwischen den einzelnen Teilen des Organismus bestehen. Dieses Gleichgewicht läßt sich bei allen Lebewesen durch gewaltsame Eingriffe zerstören, oder es entwickeln sich allmählich solche Störungen des Stoffwechsels — Krankheiten, die diesen zum Stillstand bringen. In beiden Fällen hört das Leben auf, es tritt der Tod ein. Aber auch ohne Krankheit oder gewaltsame Zerstörung ist die Lebensfähigkeit bei allen Lebewesen zeitlich beschränkt. Nach einer gewissen Zeit hört bei allen die Fähigkeit der Selbstregulierung des Stoffwechsels von selbst auf, was zum Tode führt. Mag nun der Tod auf diese oder jene Weise eintreten, immer bedeutet er das Aufhören der ununterbrochen verlaufenden, miteinander in gesetzmäßiger Wechselbeziehung stehenden Energieumwandlungen, die an einem stationären Komplex bestimmter chemischer Energien vor sich gegangen sind. Mit dem Aufhören des stationären Zustandes dieses Energiekomplexes hört auch die individuelle Existenz des Lebewesens auf.

Der Begriff des Individuums setzt sich nämlich aus den Eigenschaften seiner körperlichen Beschaffenheit und aus der Summe der Lebensäußerungen zusammen, die in einer charakteristischen Kombination vorhanden sind. Da nun alle Lebenserscheinungen, die höchsten Äußerungen des menschlichen Geistes ebenso wie die einfachen Vorgänge der Ernährung, den Umwandlungen jener miteinander verbundenen chemischen Energien entspringen, die den Körper des Lebewesens aufbauen, so müssen eben alle Lebenserscheinungen bedingungslos aufhören, sobald jener Komplex zerfällt.

Der Tod bedeutet demnach die vollständige Vernichtung des Individuums.

Die Vernichtung ist so vollständig wie die Vernichtung der Flamme beim Auslöschen — die, wie gesagt auch ein stationäres Gebilde ist.

Der Tod ist eine allgemeine Eigenschaft der Lebewesen. Ja eigentlich sind Leben und Tod miteinander viel inniger verknüpft, als wie man sich das meist vorstellt. Denn so paradox es auch klingen mag — jede Lebensäußerung ist nur durch Vernichtung einer gewissen Menge lebender Substanz möglich. Bei den Stoffwechselfvorgängen wird stets ein Teil der Zellsubstanz verbraucht, wobei natürlich in diesem verbrauchten Teil, der auch seine chemische Beschaffenheit verändert, jede Lebenserscheinung aufhört, man kann also sagen, dieser Teil stirbt. Mit dem Leben keimt also gewissermaßen auch schon der Tod! Geht nun der Stoffwechsel in der übrigen lebenden Substanz

weiter, so wird der verbrauchte Teil durch neugebildete lebende Substanz ersetzt; hört der Stoffwechsel auf, so stirbt die ganze Zelle. Was für eine Zelle gilt, gilt auch für einen ganzen Zellstaat. Es wird allerdings von vielen namhaften Forschern — am eindringlichsten von A. Weismann — behauptet, daß der Tod nur eine erworbene Eigenschaft jener Lebewesen wäre, die aus einem Zellstaate bestehen, während er bei den einzelligen Wesen nicht vorkäme. Diese sollen unsterblich sein!

Meiner Ansicht nach ist aber diese Ansicht nicht zutreffend. Die Einzelligen vermehren sich nämlich durch einfache Teilung. Aus einer Zelle werden auf diese Weise zwei Zellen, die sich dann weiter teilen, so daß nach A. Weismann in diesen eigentlich die ursprüngliche Mutterzelle weiter lebt. Also wäre sie unsterblich! Tatsächlich bedeutet aber die Entstehung der Tochterzellen doch den wirklichen Tod der Mutterzelle: sie hört körperlich und funktionell auf, als Individuum zu existieren. Körperlich, da die in die Tochterzellen übergegangene Substanz bald durch Abnützung und durch neuen Ansatz verändert wird und diese Veränderungen bei jeder Teilung zunehmen. Funktionell: weil mit der Zweiteilung das einheitliche Individuum aufhört und die Tochterzellen durch körperliche Veränderung und verschiedene äußere Einwirkungen neue Individuen werden. Für die Mutterzelle ist ihre Zweiteilung ein „Tod ohne Leiche“.

Es gibt also auch bei den Einzelligen keine Unsterblichkeit! Andererseits findet auch bei den mehrzelligen

Lebewesen in den Geschlechtszellen ein Übergang von lebender Substanz der Eltern in die neue Generation statt, wenn auch in relativ kleinerer Menge, die dann in allen Zellen dieser Generation sich vorfindet; da spricht man aber nur von der Kontinuität des Keimplasmas, die aber mit der sogenannten Unsterblichkeit der Einzelligen dem Wesen nach identisch ist.

Die Bedingungen, welche den Tod als biologische Notwendigkeit erscheinen lassen würden, kennen wir noch nicht. Sicher sind es noch unbekannte chemische Veränderungen der lebenden Substanz, die mit einer bestimmten Geschwindigkeit fortschreiten. Ermöglicht wird das vielleicht dadurch, daß der Aufbau der verbrauchten Zellsubstanz doch nie so vollständig ist, daß der Ersatz mit dem Verbrauchten völlig identisch wäre.

Das hängt möglicherweise mit jener allgemeinen Eigenschaft der Lebewesen zusammen, daß jeder Vorgang in der lebenden Substanz eine gewisse Veränderung — eine Spur — hinterläßt, die es bewirkt, daß derselbe Vorgang nie unter ganz gleichen Bedingungen sich wiederholen kann. Diese Eigenschaft der Lebewesen bildet die Grundlage der Erinnerung, im weitesten Sinne des Wortes (E. Hering). Da jede Lebenserscheinung solche Erinnerungsspuren hinterläßt, muß die lebende Substanz eine fortschreitende Veränderung erleiden und höchstwahrscheinlich sind es diese, die an Intensität und Ausdehnung fortwährend zunehmend in späteren Lebensperioden zu den Erscheinungen des Alterns führen (W. Ostwald). Im allgemeinen

charakterisiert das Altern die allmähliche Abnahme der Energieumwandlungen, sowohl der Zahl als auch ihrer Intensität nach. Es ist auch nachgewiesen, daß immer weniger chemische Energie verbraucht, daß aber auch der Ersatz immer ungenügender wird, was zu einer Abnahme der Körpermasse führt. Nimmt mit fortschreitendem Altern die Fähigkeit, chemische Energie in Lebenserscheinungen umzuwandeln, immer mehr und mehr ab, so muß dieser Vorgang notwendigerweise zum Tode führen. Doch wird der Tod nicht bei allen Lebewesen durch die Alterserscheinungen eingeleitet, es können also nicht diese als die allgemeinen Bedingungen des Todes betrachtet werden. Es gibt auch Lebewesen, bei welchen der Tod im Gegenteil gerade im Augenblicke der vollsten Entwicklung und höchster Leistung erscheint, wie z. B. bei manchen Schmetterlingen, die unmittelbar nach vollbrachter Geschlechtstätigkeit sterben.

Der Tod tritt bei den mehrzelligen Organismen nicht in allen Zellen gleichzeitig auf, manche Organe leben noch lange weiter oder behalten ihre Lebensfähigkeit noch lange bei. So konnte herausgeschnittene Nervensubstanz von Froschembryonen in Lymphe tagelang erhalten und zur Erzeugung neuer Nervenfasern gebracht werden (Harrison); ebenso gelang es, Stücken von Hühnerembryoherzen monatelang lebend zu erhalten (Carrel).

Das Erlöschen aller Lebenserscheinungen bedeutet aber nicht immer den Tod, zu dessen Charakteristik

noch die Vernichtung der Lebensfähigkeit gehört. Es gibt nämlich einen Scheintod oder latentes Leben genannten Zustand, in welchem wenigstens bei manchen Tieren und Pflanzen absolut kein Lebenszeichen zu bemerken ist, die aber trotzdem nicht tot sind, weil sie, unter entsprechende Bedingungen gebracht, Lebenserscheinungen äußern können. Da sind die schon seit 200 Jahren bekannten Würmer, die Rädertierchen, in den eingetrockneten Dachrinnen oder die zu den Spinnentieren gehörenden Barentierchen. Beide haben eine weit entwickelte Organisation, Nervensystem, Sinnesorgane etc. Sie können in eingetrocknetem Zustande, in dem sie von einem Sandkorn nicht zu unterscheiden sind, leblos Jahre lang verweilen; angefeuchtet zeigen sie bald ihre charakteristischen Lebenserscheinungen. In einem ähnlichen Zustande befinden sich auch die Samen, die ihre Keimfähigkeit sehr lange Zeit bewahren können. Allerdings nicht Jahrtausende lang, wie das von dem Mumienweizen behauptet wurde — der aber noch nie auskeimte — wenn Betrug ausgeschlossen war.

Auch bei den höheren Tieren, bei Säugetieren und auch beim Menschen kann ein ähnlicher Zustand beobachtet werden. Ein solcher ist der Winterschlaf, in dem allerdings ein außerordentlich geringer Stoffwechsel vor sich geht, was ganz sicher auch von dem Scheintod des Menschen gilt, den angeblich einige — z. B. die indischen Fakire — willkürlich hervorrufen können.

Ob es überhaupt ein „latentes Leben“ ohne jede geringste Spur eines Lebensvorganges, vor allem ohne jede Spur eines Stoffwechsels gibt, scheint mir nicht erwiesen zu sein. Die scheinbar nicht lebenden Pflanzensamen verlieren allmählich ihre Keimfähigkeit; wir wissen von ihnen, daß sie, auch wenn sie nicht keimen, einen Stoffwechsel haben. Allerdings sollen sie in eingetrocknetem Zustande monatelang in luftleerem Räume aufbewahrt werden können, ohne die geringste Spur von Kohlensäure-Produktion, um dann beim Anfeuchten doch noch auszukeimen. Der Mangel von Kohlensäureproduktion unter den angeführten Versuchsbedingungen beweist aber noch nicht das Fehlen jeden Stoffwechsels.

Es wäre sehr wichtig, ganz zweifellose Beweise dafür zu haben, daß tatsächlich nicht der geringste Stoffwechsel bei solch einem latenten Leben stattfindet. Das wäre dann, wie in der anorganischen Welt ein stabiler Zustand, der sich aber von dem stabilen Zustand der anorganischen dadurch unterscheiden würde, daß er auch die Bedingungen zu stationären Veränderungen enthält. Die näheren Umstände dieses Überganges vom latenten Leben zum aktuellen Leben kennen zu lernen, hätte schon deshalb erhöhtes Interesse, als außer den Protozoën alle Lebewesen ihr Dasein eigentlich mit einem solchen latenten Leben beginnen. Alle entstehen aus der Eizelle, die aber einen, wenn auch sehr geringen Stoffwechsel aufweist, sonst aber keine Lebenserscheinungen äußert. Erst in

dem Momente der Befruchtung — als der Samenfaden eingedrungen ist — schnellen die Stoffwechselvorgänge in die Höhe, die Vermehrung der Eizelle beginnt und damit das eigentliche embryonale Leben. Freilich scheint da auf den ersten Blick ein gewaltiger Unterschied zwischen diesem Befruchtungsvorgang und der früher erwähnten Art, latentes Leben zum aktuellen zu erwecken, zu bestehen. Bei der Befruchtung wird das latente Leben in der Eizelle durch den lebenden Samenfaden angeregt, bei den eingetrockneten Rädertierchen oder bei den Samen durch ein faches Anfeuchten. Daß der Unterschied nicht daran liegt, daß hier ein anorganisches Mittel und dort ein lebendes Material einwirkt, zeigen die berühmten Versuche des genialen amerikanischen Forschers Jacques Loeb, dem es gelungen ist, durch einfache physikalische und chemische Eingriffe Eier niederer Tiere, Seeigel, künstlich zu befruchten und zur Entwicklung zu bringen. Ja es ist ihm im vergangenen Jahr gelungen, nach dem Vorgange von Bataillon Froscheier durch ein einfaches Anritzen mit einer Nadel zur Entwicklung zu bringen, so daß sich eine ganz normale Larve und diese zu einem fertigen Frosche entwickelte. Die Versuche von Loeb sind deshalb von ungeheurer Bedeutung, weil sie die ersten erfolgreichen Schritte sind, den sonst so mystisch erscheinenden Leben weckenden Befruchtungsvorgang auf einfache physikalische und chemische Vorgänge zurückführen. Sie lassen auch die Hoffnung zu, daß es doch noch gelingen wird,

alle die Bedingungen kennen zu lernen, unter welchen chemische Vorgänge zu stationären Stoffwechselfvorgängen werden können. Nur wenn wir alle diese Bedingungen kennen, dann erst werden wir wissen, wie das Leben aus seinen Elementarvorgängen entsteht und wie es aus diesen aufgebaut werden kann. Davon sind wir aber noch sehr weit entfernt, ja unser Wissen ist da noch so mangelhaft, daß wir eigentlich gar nicht wissen, wie weit wir von der Möglichkeit einer künstlichen Erzeugung von Lebenserscheinungen sind. Wir wissen nur sicher, unter welchen Bedingungen Leben nicht entstehen kann und unter welchen Bedingungen jetzt Lebewesen auf natürlichem Wege entstehen können. Von allen jetzt vorhandenen Lebewesen wissen wir, daß sie von Lebewesen abstammen, daß sie also durch Zeugung von Lebewesen hervorgegangen sind. Wie sind aber die ersten Lebewesen entstanden? Darauf könnte man nur mit einer der zahlreichen, teils sehr geistreichen, aber doch nicht ganz befriedigenden Hypothesen antworten. Experimentell wurde nur so viel festgestellt, daß, wenn durch große Hitze oder mittels chemischer Eingriffe alle lebenden Keime in irgendeiner organischen Substanz getötet werden und der Zutritt von neuen lebenden Keimen verhütet wird, kein Leben in jener Substanz entsteht. Es gibt also keine Urzeugung! Nun ist aber dieser Schluß durchaus nicht zulässig, denn man kann doch höchstens nur so viel aussprechen, daß es unter solchen Umständen keine Urzeugung gibt. Leider

ist die Verneinung jeglicher Urzeugung in der Biologie schon zu einem Dogma geworden, das möglicherweise gangbare Wege der Lebensforschung versperrt, auf welche die Erfahrung hindeutet, daß mit der fortschreitenden Erkenntnis der Lebensvorgänge, die Grenze zwischen organischer und anorganischer Welt immer undeutlicher und verschwommener wird. Vielleicht gibt es tatsächlich keine scharfe Grenze zwischen diesen beiden Welten, deren Wesenseinheit durch die Wesensgleichheit der Elementarvorgänge erwiesen ist!

Nicht ganz 50 Jahre energetischer Forschung haben zur Erkennung der Einheitlichkeit der Welt unserer Erfahrung mehr geleistet als alle früheren Jahrhunderte zusammen! Erst sie machte der Lebenswissenschaft die großartigen Schätze der Physik und Chemie zugänglich, die aber von ihrer vollen Verwertung noch weit entfernt sind. Ist es da möglich, schon jetzt die Grenze unserer Erkenntnis stecken zu wollen? Wer hätte im 18. Jahrhundert zu Galvanis Zeiten, als dieser mit seinen berühmten Froschschenkelversuchen die Berührungselektrizität (die später galvanische Elektrizität benannt wurde) entdeckte, die Existenz der elektrischen Wellen auch nur ahnen können? Und hätte der Recht behalten, der die damals doch wohl begründet erscheinende Behauptung ausgesprochen hätte, daß es ein Ding der absoluten Unmöglichkeit ist und auch immer sein wird, daß man von Europa nach Amerika elektrisch hinüber spreche? Und ist

es in der Wissenschaft vom Leben anders? Wer kann es heute voraussagen, daß die Annahme, die heute als kühn, philosophisch unannehmbar gilt, nicht doch als richtig erkannt werden wird?

Die Fortschritte der Wissenschaften zwingen uns zur Vorsicht und Bescheidenheit in der Voraussage der Grenzen des Erkennens. Wir können uns nicht mehr anmaßen, diese mit dem Machtspruch des „Ignorabimus“ festzulegen. Nur die Grenzen unseres jetzigen Wissens kennen wir und sollen wir kennen, und die Richtung unserer Erkenntnis, die wie jeder Naturvorgang, einsinnig und unumkehrbar, nur ein Vorwärts zuläßt. Da ist es doch viel richtiger, wenn wir uns an die Worte eines der größten Denker und mächtigsten Förderers der naturwissenschaftlichen Erkenntnis, an die Worte Ihres einzigen E. Mach halten, mit welchen ich auch meinen Vortrag schließen will: „Für den Naturforscher gibt es kein Problem, dessen Lösung weiterer Vertiefung nicht bedürftig wäre, aber auch keines, das er als unlösbar betrachten müßte!“

Verlag von Julius Springer in Berlin.

Das Leben.

Sein Wesen, sein Ursprung und seine Erhaltung.
Präsidentialrede, gehalten zur Eröffnung der „British Association for
the Advancement of Science“ in Dundee, September 1912,

von E. A. Schäfer,

LL. D., D. Sc., M. D., F. R. S., Prof. der Physiologie an der Universität Edinburgh.

Autorisierte Übersetzung aus dem Englischen

von Charlotte Fleischmann. 1913.

Preis M. 2,40.

Biologie des Menschen.

Aus den wissenschaftlichen Ergebnissen der Medizin für weitere
Kreise dargestellt.

Bearbeitet von Dr. Leo Heß, Prof. Dr. Heinrich Joseph, Dr.
Albert Müller, Dr. Karl Rudinger, Dr. Paul Saxl, Dr.
Max Schacherl.

Herausgegeben von Dr. Paul Saxl und Dr. Karl Rudinger.

Mit 62 Textfiguren. 1910.

Preis M. 8,—; in Leinwand gebunden M. 9,40.

Organische Synthese u. Biologie.

Von Emil Fischer.

Zweite, unveränderte Auflage. 1912. Preis M. 1,—.

Synthese der Zellbausteine in Pflanze und Tier.

Lösung des Problems der künstlichen Darstellung der Nahrungsstoffe.

Von Prof. Dr. Emil Abderhalden,

Direktor des Physiologischen Instituts der Universität zu Halle a. S.

1912. Preis M. 3,60; in Leinwand gebunden M. 4,40.

Abwehrfermente.

Das Auftreten blutfremder Substrate und Fermente im tierischen
Organismus unter experimentellen physiologischen und pathologischen
Bedingungen.

Von Prof. Dr. Emil Abderhalden,

Direktor des Physiologischen Instituts der Universität zu Halle a. S.

Vierte, vermehrte Auflage. Mit 55 Textfiguren und 4 Tafeln. 1914.

In Leinwand gebunden Preis M. 12,—.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.

Verlag von Julius Springer in Berlin.

Physiologisches Praktikum. Chemische und physikalische Methoden. Von Prof. Dr. Emil Abderhalden, Direktor des Physiologischen Instituts der Universität zu Halle a. S. Mit 271 Figuren im Text. 1912.

Preis M. 10,—; in Leinwand gebunden M. 10,80.

Die chemische Entwicklungserregung destierischen Eies. (Künstliche Parthenogenese.) Von Jacques Loeb, Professor der Physiologie an der University of California in Berkeley. Mit 56 Textfiguren. 1909.

Preis M. 9,—; in Leinwand gebunden M. 10,—.

Über das Wesen der formativen Reizung. Vortrag, gehalten auf dem XVI. Internationalen Medizinischen Kongreß in Budapest 1909. Von Jacques Loeb, Professor der Physiologie an der University of California in Berkeley. 1909. Preis M. 1,—.

Umwelt und Innenwelt der Tiere. Von Dr. med. h. c. J. von Uexküll. 1909.

Preis M. 7,—; in Leinwand gebunden M. 8,—.

Instinkt und Erfahrung. Von C. Lloyd Morgan, D. Sc., LL. D., F. R. S., Professor an der Universität zu Bristol. Autorisierte Übersetzung von Dr. R. Thesing. 1913.

Preis M. 6,—; in Leinwand gebunden M. 6,80.

Die Naturwissenschaften. Wochenschrift für die Fortschritte der Naturwissenschaft, der Medizin und der Technik. Zugleich Fortsetzung der von W. Sklarek begründeten Naturwissenschaftlichen Rundschau. Begründet von Dr. A. Berliner und Dr. C. Thesing. Herausgegeben von Dr. Arnold Berliner und Prof. Dr. August Pütter. Jährlich 52 Nummern im Umfang von je ca. 48 Spalten. Preis vierteljährlich M. 6,—.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.