

MC. II 843
FRANKFURTER UNIVERSITÄTSREDEN

HEFT 4

BERICHT

des scheidenden Rektors
DR. IUR. FRANZ BÖHM
o. Professor der Rechte
bei der Rektoratsübergabe am 2. November 1949

DAS PHYSIKALISCHE WELTBILD IN DER BIOLOGIE

Rede beim Antritt des Rektorates
gehalten von
DR. PHIL. NAT. BORIS RAJEWSKY
o. Professor der Biophysik
und physikalischen Grundlagen der Medizin

Universitäts-
Bibliothek
Erlangen

Fahl



VITTORIO KLOSTERMANN · FRANKFURT AM MAIN

1952

DAS PHYSIKALISCHE WELTBILD IN DER BIOLOGIE
Von Professor Dr. B. R a j e w s k y, Frankfurt am Main

Hochansehnliche Versammlung!
Meine verehrten Herren Kollegen!
Liebe Kommilitoninnen und Kommilitonen!

Für die Entwicklung der wissenschaftlichen Forschung in unserer Zeit ist die Schnelligkeit charakteristisch, mit der die neuen, rein wissenschaftlichen Erkenntnisse in die neuen Güter aller Zweige der Produktion umgeformt werden. Diese Schnelligkeit erhöht die Tragweite der wissenschaftlichen Entdeckungen und Erfindungen derart, daß sie in kurzer Zeit zu Umwälzungen und Umschichtungen in dem ganzen System der Wirtschaft führen. Es ist jetzt nicht nur so, daß die Grundlagenforschung von heute die Technik von morgen ist, sondern daß darüber hinaus durch die Fortschritte der Forschung gänzlich neue Verhältnisse in der wirtschaftlichen und sozialen Struktur der Welt verursacht werden. Die Geschichte der Naturwissenschaften wird einst nicht nur von der Reihenfolge und dem Zusammenhang der Entdeckungen selbst berichten müssen, sondern auch von den tiefgreifenden Veränderungen in der Lebensweise der Menschheit, die sie zur Folge hatten.

An der Jahrhundertwende waren es drei für die Menschheit schicksalhafte Jahre, in welchen Entdeckungen gemacht wurden, die berufen waren, solche entscheidenden Änderungen unserer Auffassungen über die Natur und die in ihr waltenden Kräfte herbeizuführen. Es waren: 1895 Entdeckung der Röntgenstrahlen, 1898 Entdeckung der Radioaktivität, d. h. des spontanen Zerfalls der Materie, durch Becquerel und 1900 Entdeckung der atomistischen Struktur der Energie, die ihren Ausdruck in der Quantentheorie von Max Planck gefunden hat.

Diese Entdeckungen haben die Erforschung der letzten, bis dahin für nicht zerlegbar gehaltenen Bausteine der Materie — der Atome — ermöglicht. Die weitere Entwicklung der Atomphysik hat außerordentliche Erfolge

gehabt. Die Atome haben sich als komplizierte Systeme erwiesen, in denen weitere Urteilchen der Materie durch starke Kraftfelder zusammengehalten werden.

Es zeigte sich, daß gerade in diesen atomaren Systemen, sei es einzeln, sei es bei ihrer Vereinigung zu größeren Komplexen, den anorganischen und organischen Molekülen, die Quellen aller auf dieser Erde von der Natur gegebenen und von der menschlichen Hand verwertbaren Energien liegen. Nur die Schwerkraft hat ihre besondere Bedeutung behalten.

Die Atome lassen sich mit unserem Planetensystem vergleichen. Die äußere Hülle des Atoms bilden die Teilchen der negativen Elektrizität, die Elektronen, die wie Planeten um den Atomkern — die Sonne — kreisen. Der Atomkern besitzt eine positive Ladung, deren Größe der negativen Ladung der Elektronenhülle entspricht und diese nach außen hin kompensiert. Die Dichtigkeit des Atoms ist bei weitem geringer, als die unseres Planetensystems. Die Elektronen, die auf verschiedenen Bahnen um den Atomkern kreisen, sind von diesem wesentlich weiter entfernt, als die Erde von der Sonne. Es zeigte sich ferner, daß auch der Atomkern aus weiteren Bausteinen besteht, da die Kerne der radioaktiven Substanzen materielle Teilchen: Helium-Kerne, Elektronen, und zwar mit sehr großen Geschwindigkeiten versehen, sowie elektromagnetische Wellen, deren Durchdringungsfähigkeit die der Röntgenstrahlen beträchtlich übertrifft, aussenden können. Es ergab sich weiterhin, daß die chemischen Eigenschaften der Atome, die Emission des Lichtes und der Röntgenstrahlen ihren Ursprung in der Elektronenhülle der Atome haben. Die schwere Masse des Atoms ist dagegen im Atomkern konzentriert. Seine positive Ladung bestimmt den Platz des Atoms im periodischen System der Elemente. Er ist die Quelle der energiereichsten korpuskularen und Wellenstrahlungen. Durch diese Entdeckungen wurde die Physik vor die Aufgabe gestellt, die Kräfte, die die Bestandteile der Atome zusammenhalten, deren Bewegungen bestimmen und den Anlaß zu allen soeben beschriebenen Erscheinungen geben, zu erforschen.

Übertragen Sie nun, meine Damen und Herren, dieses Bild aus dem Mikrokosmos der Atome in den Makrokosmos, d. h. dehnen Sie die Dimensionen des Atoms etwa auf die Dimensionen des Planetensystems aus und Sie werden sich die Situation in einem Atom besser vorstellen

können. Es ist ein materielles System, das wesentlich verdünnter ist, als das Planetensystem, in dem einzelne „Teilchen“ sich in Riesenentfernungen von einander befinden. Im Falle des Wasserstoff-Atoms z. B. handelt es sich um einen Zentralkörper, den Atomkern, und ein einziges Elektron. Dieser Atomkern ist etwa 10000 Mal kleiner als der Abstand des Elektrons vom Mittelpunkt des Systems, während der Radius der Sonne nur etwa 400 Mal kleiner ist als der der Erdbahn. In den Atomen der anderen Elemente ist die Zahl der Elektronen größer, aber auch sie sind weit von einander entfernt. Man wird unwillkürlich geneigt sein, zu sagen, daß die Materie im wesentlichen aus den leeren Zwischenräumen, also aus dem Nichts, besteht. Und trotzdem resultieren aus der Wechselwirkung der einzelnen seltenen Stellen des Systems, wo sich die einzelnen Teilchen befinden, die wirkungsvollsten Erscheinungen, die letzten Endes das Wesen von dem allen, was wir die Natur nennen, darstellen. Die Anzahl der äußersten Elektronen des Atoms bedingt das chemische Verhalten der entsprechenden Substanz. Die Veränderungen der Bahn der Elektronen verursachen die Emission des Lichtes und der Röntgenstrahlen. Richtet man auf dieses System einen Lichtstrahl oder einen Röntgenstrahl, so können die einzelnen Planeten — die Elektronen — aus ihren Bahnen auf andere Bahnen verschoben werden oder sogar aus dem System herausgeschleudert werden. Sie brausen dann als mächtige Meteore in dem umgebenden Raum und können ihrerseits die anderen Atome, an denen sie vorbeifliegen, oder mit denen sie zusammenstoßen, in ihrer Struktur verändern, zur Emission des Lichtes oder der Röntgenstrahlung veranlassen. Aus dem Innern des Zentralkörpers des Systems können energiereiche Strahlungen ausgesandt oder mehr oder weniger große neue Planeten herausgeschleudert werden.

Es ist ohne weiteres verständlich, daß ein Atom der Materie trotz seiner winzigen Dimensionen ein außerordentlich intensives Kraftfeld in seinem Innern besitzt, dem, verglichen mit den Abmessungen des Atoms, ein außerordentlich großer Energievorrat entspricht. Welche Gesetzmäßigkeiten aber beherrschen und regeln die Kraftfelder und die Energieumwandlungen im Atom? Das war das Problem, das dem 20. Jahrhundert gestellt wurde.

Gerade zu Beginn des neuen Jahrhunderts, im Jahre 1900, erfolgte die maßgebende Entdeckung, dieses Mal nicht der experimentellen, sondern

der theoretischen Physik, der es vorbehalten war, das Geheimnis der elementaren Energieumwandlungen in der Materie aufzuhellen. Der theoretische Physiker Max Planck folgerte aus seinen Berechnungen, daß die Energieübertragungen und Energieumwandlungen in den atomaren Systemen nicht kontinuierlich, sondern diskontinuierlich stattfinden, wobei immer bestimmte, genau definierte Energiemengen — Quanten nannte sie Planck — im Spiele sind. Danach sollte also nicht nur die Materie, sondern auch die Energie, wenigstens soweit es sich um atomare Vorgänge handelt, atomistische Struktur haben. Die Planck'schen Quanten sollten Atome der Energie sein, und dementsprechend die Strahlung, z. B. das Licht, nicht einen kontinuierlichen Fluß von elektromagnetischen Wellen, sondern einzelne Energieblitze darstellen, die sich als Teilchen verhalten. Photonen nennt sie die heutige Physik. Die kühne Schlußfolgerung Planck's wurde anfänglich zurückhaltend von der Physik aufgenommen. Bald erkannte man aber, daß es sich dabei um eine Entdeckung handelte, die eine neue Epoche in der Erforschung des physikalischen Weltbildes, das sich dem menschlichen Geist darbietet, eingeleitet hat. Die Annahme Max Planck's ist längst keine Hypothese mehr, sondern eine fest fundierte Theorie der elementaren Vorgänge in der Materie. Neben der Mechanik der materiellen Teilchen besteht heute die Quantenmechanik, die alle energetischen Vorgänge in gleich befriedigender Weise beschreiben kann, wie die klassische Physik es bezüglich des Verhaltens und der Bewegungen materieller Körper tat.

Eine der wesentlichen Vorstellungen der Quantentheorie besteht nun darin, daß bei der Wechselwirkung zwischen der Energie und der Materie es sich stets um einen Zusammenstoß oder eine Wechselwirkung zweier Teilchen, eines materiellen Teilchens und eines Energieteilchens, handelt. Die beiden gehorchen grundsätzlich denselben Gesetzen der Mechanik; z. B. bei der Wechselwirkung zwischen der Strahlung und Materie, also bei allen Vorgängen der Strahlenemission (sichtbares Licht, ultraviolette Strahlen, Röntgenstrahlen, Elektronen, Gamma-Strahlen des Radiums), bei der photo-elektrischen Emission der elektrischen Teilchen usw. wird ein Energiequant durch das Atom abgegeben oder aufgenommen. Auf Kosten der aufgenommenen Energie des Quants finden dann die Veränderungen in der Struktur des Atoms statt, und zwar nur in einem solchen Ausmaß, wie die Energiemenge des Quants es gestattet.

Damit wurde zunächst für die mathematisch-physikalische Behandlung der elementaren Vorgänge in der Materie die scharfe Abgrenzung der Begriffe „Energie“ und „Materie“ durchbrochen. Der genialen Intuition Einstein's verdanken wir die Aufstellung des Äquivalenzgesetzes zwischen der Energie und Materie. Eine bestimmte Menge der Materie entspricht einer genau zu berechnenden Energiemenge. Damit war die Möglichkeit der Umwandlung der Materie in Energie und der Energie in Materie vorgezeichnet. Seitdem eilte die experimentelle Erforschung der Atome von einem Triumph zum anderen, wobei die Quantentheorie und Quantenmechanik als sichere Wegweiser dienten. Die Zerstrahlung der Materie, d. h. die Umwandlung der Materie in Energie wurde nachgewiesen und umgekehrt die Materialisation der Strahlung, d. h. die Umwandlung der Energie in Materie wurde entdeckt. Zur gleichen Zeit zeigte sich, daß nicht nur die Ausbreitung der Energie, z. B. der Strahlung, Wellennatur besitzt, sondern daß auch die fliegenden materiellen Teilchen von Wellen, die keine elektromagnetischen, sondern besondere Materie-Wellen sind, begleitet werden. Die Wellenpakete gehorchen ebenfalls den Gesetzen der Mechanik. Es entstand ein neues Gebiet der Mechanik — die Wellenmechanik, die sich ebenfalls als ein unentbehrlicher Weg zur Beschreibung des Naturgeschehens erwiesen hat. Die heutige Physik kennt keinen grundsätzlichen Unterschied zwischen Energie und Materie. Sie sind lediglich verschiedene Erscheinungen oder Verkörperungen von einem Ursubstrat, das das letzte Wesen der von uns wahrnehmbaren Welt darstellt und dessen Erscheinungsformen von den wahrnehmbaren Wirkungen abhängig sind, denn unser physikalisches Weltbild können wir nur auf Grund der wahrnehmbaren *Wirkungen* dieses Substrats aufbauen.

Die Bedeutung der revolutionären Entwicklung der modernen Physik, die zwar keine grundsätzlichen Konstruktionen und Fundamente der klassischen Physik der Vergangenheit gestürzt oder zertrümmert hat, die aber einen ungeheueren Aufbruch neuer Ideen und Vorstellungen mit sich brachte, wurde durch die Erfolge in der Verwirklichung technischer Konsequenzen der neuen Erkenntnisse noch mehr hervorgehoben. Den Höhepunkt erreichte diese Entwicklung durch die Hahn'sche Entdeckung der Atomspaltung und die daraus entstandene Möglichkeit der technischen Verwertung der Atomenergie, vor allem für die Atombombe. Die Atomphysik ist damit zu der „populärsten“ Wissenschaft geworden und hat unange-

fochten den Rang der wichtigsten Disziplin eingenommen. Die Menschheit scheint am Beginn der neuen Ära der Atomenergie zu stehen. Das 20. Jahrhundert wird in wissenschaftlicher Hinsicht oft als Jahrhundert der Atomphysik bezeichnet. Doch ist das zum Mindesten nicht ganz richtig. Die unmittelbar greifbaren technischen Erfolge der neuen physikalischen Erkenntnisse, der suggestive Glanz der sich jagenden Entdeckungen und die Explosionsflammen der Atombombe haben die Errungenschaften einer anderen naturwissenschaftlichen Disziplin überstrahlt und deren nicht minder großartige Erfolge im grellen Licht der sensationellen Entdeckungen der Physik weniger sichtbar gemacht. Diese andere Disziplin ist die Erforschung des Lebendigen, der lebenden Materie, der Organismen — die Biologie.

Gerade in Zusammenhang mit den neuen Entdeckungen der Physik haben sich in den letzten Dezennien in der biologischen Forschung grundlegende Wandlungen vollzogen. Die Biologie, die in der Vergangenheit fast ausschließlich zu den beschreibenden Naturwissenschaften gehörte, hat diesen Weg verlassen und ist in den Bereich der exakten Wissenschaften übergetreten. Auch in der Biologie sind zahlreiche revolutionisierende Entdeckungen und Umwälzungen im Bereich der leitenden Vorstellungen erfolgt. Die praktischen Konsequenzen dieser Entdeckungen und Gedankengänge einerseits, die Konsequenzen für die weitere Entwicklung und die zu erwartenden neuen Erfolge andererseits sind so weittragend, daß man, wie mir scheint, berechtigt ist, von dem 20. Jahrhundert als von dem Jahrhundert der Biologie und nicht der Atomphysik zu sprechen.

Die Erfolge der biologischen Forschung waren nicht so *sensationell* wie die der Atomphysik, für unsere Erkenntnis der Naturgesetze aber nicht minder bedeutungsvoll und weittragend: die Entdeckung der Möglichkeit der künstlichen Mutationen der Erbanlagen, insbesondere der Mutationen durch Strahlung, die Entdeckung und Erforschung der Viren, der Wachstumsstoffe und der antibiotischen Stoffe, z. B. des Penicillins und Streptomycins, die Entdeckung der Mutabilität der Bakterien und der Bakteriophagen, die außerordentlichen Erfolge der Entwicklungsmechanik sind nur einige Beispiele der neuen Errungenschaften in der Biologie. Ihre außergewöhnlich große Bedeutung für die Menschheit liegt auf der Hand und hat sich bereits in größten Maßstäben ausgewirkt. Neue wirksame Heil-

mittel sind daraus bereits entstanden und brachten Umwälzungen auf dem Gebiete der Medizin. Weitere Entwicklung auf diesem Wege verspricht neue, bisher ungeahnte Möglichkeiten. Die genetischen Forschungen haben der Landwirtschaft neue Kulturpflanzen oder erhebliche Ertragssteigerungen gebracht. Man braucht sich nur z. B. an die Süßlupine zu erinnern oder daran, daß die Auffindung von hybriden Sorten von Mais eine Steigerung der Ernte um viele Millionen Tonnen möglich gemacht hatte, um die Tragweite der Ergebnisse der neuzeitigen biologischen Forschung zu ermessen.

Der charakteristische Zug der neuen Entwicklung in der biologischen Forschung ist der, daß die Biologie von dem Studium der *Formen* zu der Untersuchung der *Vorgänge* in der lebenden Materie übergegangen ist und sich der Mittel des exacten Experiments zu bedienen begann. Es hat sich dabei bald gezeigt, daß zur Erforschung der Vorgänge im biologischen Medium eine unmittelbare Anwendung der Erkenntnisse und der experimentellen Mittel anderer nicht-biologischer Wissenschaften wie Physik, Chemie u.a.m. erforderlich ist. Die biologische Forschung in ihrer heutigen Form ist infolgedessen eine Synthese fast aller naturwissenschaftlichen Disziplinen, vor allem der reinen Biologie, der Physik und der Chemie. Es ist deshalb verständlich, daß sowohl das physikalische, als auch das chemische Weltbild sich in den Vorstellungen der Biologie spiegeln.

Das exakte Studium biologischer Vorgänge führte bald zu der Erkenntnis, daß die makroskopischen Erscheinungen und Prozesse im Biologischen in ähnlicher Weise, wie es bei den physikalischen Erscheinungen und Vorgängen der Fall ist, auf die elementaren Vorgänge im Mikrokosmos der Biologie zurückgeführt werden müssen, und daß es sich hierbei wiederum in ähnlicher Weise wie auf dem Gebiete der Physik um *einzelne* Elementarvorgänge und Wechselwirkungen handelt, die sich zwischen den elementaren mikroskopischen und submikroskopischen Untereinheiten der lebendigen Materie abspielen.

Einige markante Beispiele mögen das erörtern: Das menschliche und tierische Auge reagiert auf einzelne Lichtquanten, und die Vorgänge, die sich dabei an den Rezeptionsorganen abspielen, bestehen in ihrem Anfangsstadium aus elementaren Energieumsetzungen, die den Quantengesetzen unterliegen. Bei den Geruchsempfindungen ist die Sachlage eine

ähnliche. Wir kennen Riechstoffe, bei deren Wahrnehmung es sich mit großer Wahrscheinlichkeit um die „Wirkungen“ einzelner Moleküle des Riechstoffes handelt. Die sogenannten Lockstoffe im Insektenreich sind ebenfalls in so geringen Konzentrationen wirksam, daß es auch hierbei notwendig ist, anzunehmen, daß in den entsprechenden Empfangsorganen die einzelnen Moleküle des Lockstoffes die betreffende „Reaktion“ herbeiführen. Die experimentelle Genetik, insbesondere die Strahlengenetik, hat zu der Erkenntnis geführt, daß die makroskopischen Mutationen der Tiere und Pflanzen ihren Ursprung ebenfalls im Mikrokosmos der Organismen haben. Die Erbanlagen sind in den kleinsten Untereinheiten des Zellkerns, in den sogenannten Genen, gelagert. Die Gene sind organische Molekülkomplexe, die nur 3000 bis 4000 Atome umfassen. Ihr Volumen beträgt $1,77 \cdot 10^{-17} \text{ cm}^3$. Durch Strahlung werden diese kleinsten Untereinheiten verändert, und diese Veränderung führt durch eine lange Reihe von biologischen Folgereaktionen zu der makroskopischen Veränderung des Organismus. Der ursprüngliche elementare Vorgang einer Mutation besteht dabei in der Energieumsetzung, die durch ein einzelnes durch Strahlung erzeugtes Ionenpaar hervorgerufen wird. Auch dem biologischen Geschehen müssen wir deshalb zunächst eine Summe von einzelnen Elementarvorgängen zugrunde legen, die zwar von einander unabhängig und deshalb zufallsmäßig stattfinden, jedes einzelne jedoch im weiteren Geschehen mit einer Reihenfolge *kausal* gebundener Prozesse verknüpft ist. Das Wesen des biologischen Geschehens liegt dementsprechend nicht in den zu allertiefst stehenden elementaren, zufallsmäßig gestalteten Vorgängen, *sondern in der kausalen Verbundenheit und Zwangsläufigkeit der sich daran anschließenden Folgereaktionen*: werden in einem Gen, das, wie schon gesagt, ein aus etwa 3000 bis 4000 Atomen bestehendes molekulares Gebilde darstellt, bei der Bestrahlung an irgend einer Stelle elementare Energieumsetzungen infolge der Bildung eines Ionenpaares stattfinden, so ist dieser Vorgang zunächst zufällig und rein physikalisch. Auf Kosten der umgesetzten Energie, die nicht an der Stelle der Umsetzung zu bleiben braucht, sondern von Atom zu Atom im Molekülkomplex wandern und sich schließlich an irgend einer anderen Stelle des Komplexes in einer, wahrscheinlich chemischen Veränderung auswirken kann — erfolgt die Veränderung des Gens in seiner Gesamtheit, und es wird eine modifizierte biologische Einheit geschaffen, deren Wechselwirkung mit den anderen,

mit ihr *kausal* verbundenen Einheiten dann *zwangsweise* verläuft. Von der Anzahl dieser kausalen Verbindungen, und dementsprechend auch der Folgereaktionen, hängt es ab, ob das „biologische Geschehen“ im Mikrokosmos des Gewebes verbleibt oder zu einer makroskopischen Erscheinung führt, z. B. zu veränderten Flügeln der Drosophila-Fliege. Niels Bohr und später Pasqual Jordan sahen in diesen Eigentümlichkeiten der Vorgänge im biologischen Medium einen „Verstärkermechanismus“ der Organismen und verbanden damit die Vorstellung, daß ein submikroskopischer Elementarvorgang eine lawinenartig verlaufende Folge von Reaktionen verursacht. Die ursprüngliche elementare Einwirkung sollte auf diese Weise zu makroskopischen Maßstäben verstärkt werden. Wir haben soeben gesehen, daß die Berechtigung für eine solche Vorstellung nicht immer vorliegt. Sie kann jedoch bei einigen, von uns schon erwähnten Reaktionen vermutet werden, so z. B. bei der Einwirkung von aktiven Stoffen, wie wir dies bei Lockstoffen und einigen Geruchstoffen gesehen haben. Möglicherweise werden in diese Kategorie die Vorgänge fallen, wie wir sie z. B. bei der Antigen-Antkörper-Reaktion kennen, bei der Hormon-Wirkung und dergleichen. Bei allen diesen Reaktionen ist das wesentliche Merkmal die Zufallsmäßigkeit der am Anfang des Geschehens stehenden Vorgänge und deren Elementarcharakter. Sie sind grundsätzlich an die molekularen Einheiten gebunden, und die Energiebeträge, die dabei zur Wechselwirkung und zur Umsetzung kommen, sind von der Größe, die von diesen molekularen Einheiten aufgenommen oder abgegeben werden kann, abhängig. Die energetischen Prozesse sind dabei in der Regel quantelt und unterliegen den Gesetzmäßigkeiten der Quantentheorie. Es ist deshalb verständlich, daß auch bei einer größeren biologischen Einheit eine wesentliche Veränderung, z. B. ihre Aktivierung oder Inaktivierung, durch einen einzelnen elementaren Akt, der mit einem, *makroskopisch gesehen*, winzigen Energiebetrag verbunden ist, hervorgerufen werden kann. Dieser Energiebetrag wird nämlich nicht von der gesamten getroffenen Einheit aufgenommen oder abgegeben, sondern nur von einem Teil dieser Einheit, z. B. von einer Molekülgruppe, die auf den betreffenden Energiebetrag abgestimmt ist. Es erfolgt also eine für die atomaren Vorgänge charakteristische *Energiekonzentration*, so daß eine *wirksame* Energieumsetzung stattfinden kann, jedoch nur in der betreffenden Molekülgruppe. Durch die Veränderung dieser Gruppe aber wird zugleich der

gesamte Komplex — die biologische Einheit — verändert, die dann gegebenenfalls Veränderungen anderer mit ihr verbundener Einheiten und schließlich des Organismus bedingt.

Solche Vorgänge können nicht nur bei der Einwirkung äußerer Faktoren, z. B. der verschiedenen Strahlungen, der mechanischen Schwingungen wie bei Ultraschall, hochfrequenter elektrischer Schwingungen wie bei Kurzwellen und dergleichen auftreten; sie sind in gleicher Weise möglich im Gefolge der Lebensprozesse selbst, da diese infolge der dabei ablaufenden chemischen, physikalischen und „biologischen“ Vorgänge einen ständigen Energieaustausch und eine ständige Energieumsetzung darstellen. In ihrer tiefsten Natur sind diese Prozesse *Elementarvorgänge zufälliger Art*. Nur infolge ihrer großen Anzahl ergibt sich daraus ein durchschnittliches Verhalten, ein durchschnittlicher Ablauf, den wir als physiologische Gesetzmäßigkeiten erkennen und bezeichnen. Im *Einzelnen* unterliegen diese Prozesse jedoch nicht den biologischen, sondern physikalischen und, in Zusammenhang damit, chemischen Gesetzen und können nur auf der Grundlage des physikalischen Weltbildes dargestellt und gedeutet werden. Es ist daher erforderlich, auch bei dem Aufbauen des Vorstellungssystems der Biologie statistische Auffassungen der Physik, die Quantenstruktur der Energie und den quantenhaften atomaren und molekularen Energieaustausch neben den rein biologischen Feststellungen und Schlußfolgerungen mitzubenutzen. Sie spielen zweifellos auch in der Biologie die gleiche maßgebende Rolle wie in der Physik. *Freilich aber sind sie in der Biologie nicht allein entscheidend.*

So ergibt sich eine wissenschaftliche Aufgabe, die den Inhalt der Biophysik, die ich vertrete, bildet: die Grenzen und die Auswirkungen der physikalischen Gesetze im biologischen Geschehen zu erkennen und in das sich der wissenschaftlichen Erfassung darbietende Weltbild einzubauen.

Diese Aufgabe betrifft jedoch nicht nur *die Vorgänge* des biologischen Mikrokosmos. Auch das Werden und das Bestehen der biologischen Strukturen kann nur unter Anwendung derselben Gesichtspunkte und Richtlinien erforscht werden. Auch hier sind die physikalischen Zusammenhänge die *Träger* der biologischen Notwendigkeit und Zweckmäßigkeit. Die Darstellung der biologischen Formen erfordert deshalb jedenfalls die Erfassung der in diesen Formen und Strukturen verborgenen physika-

lischen Gesetzmäßigkeiten, deren sich das Lebendige bedient. Nur dann wenn der physikalische Rahmen erkannt und beschrieben worden ist, kann er mit biologischem Inhalt gefüllt und zu einem vollständigen und verständlichen Bild geformt werden.

Wir wollen nun zu dem Bilde, das wir von dem Atom entworfen haben, zurückkehren.

Bei einem schweren Atom, z. B. bei einem Uran-Atom, sind es 92 Elektronen, die um den Atomkern herum auf den verschiedensten Bahnen kreisen. Die Elektronenhülle des Uran-Atoms ist dementsprechend dichter besetzt, als die des Wasserstoff-Atoms. Sie stellt aber trotzdem einen sehr verdünnten Schwarm von Teilchen dar. Die Planeten des Atomsystems — die Elektronen — sind der elektrischen Anziehungskraft der positiven Ladung des Kerns unterworfen und, da sie sich auf ganz bestimmten Bahnen um den Atomkern herum bewegen, ist immer ein ganz genau definierter Mindestbetrag der Energie oder der Arbeit erforderlich, um sie auf eine andere Bahn zu verschieben oder aus dem Atomsystem zu entfernen. Diese Energiebeträge variieren in weiten Grenzen: von einigen wenigen Volt bis zu etwa 100 000 Volt. So ist z. B. bei dem Wasserstoff-Atom eine elektrische Spannung von etwa 13,5 Volt erforderlich, um das Elektron aus dem Atomverband zu entfernen. Bei dem Uran-Atom, dessen Atomkern 92 Mal größere elektrische Ladung besitzt als ein Wasserstoff-Kern, sind rund 105 000 Volt erforderlich, um die innersten Elektronen aus dem Atom herauszulösen. Die gesamte aufzuwendende Energie ist in jedem einzelnen Fall infolge der sehr kleinen Masse des Elektrons, absolut genommen, nicht groß. Sie beträgt also z. B. bei dem Uran-Atom maximal $1,05 \cdot 10^5$ eV oder $3,8 \cdot 10^{-15}$ cal. Da aber die Zahl der Atome, sagen wir, in 1 ccm Materie unter den üblichen Verhältnissen sehr groß ist (sie schreibt sich mit 22 Nullen), (ich will Ihnen die Bedeutung dieser Zahl an einem von Aston seinerzeit gebrachten Beispiel erläutern: würden wir ein Glas Wasser nehmen, und jedes Atom von diesem Wasser irgendwie bezeichnen, sagen wir, blau färben, dieses Wasser z. B. in den Main gießen und dann abwarten, bis sich dieses gekennzeichnete Wasser mit dem Wasser aller Meere und Ozeane der Erde gleichmäßig vermischt, dann irgendwo im Ozean mit einem Glas eine Wasserprobe wieder entnehmen, so würden sich in dieser Probe immer noch etwa 100 blau gezeichnete

Atome finden), so wird infolge der Größe der Zahl der Atome pro ccm die Gesamtenergie bei den Prozessen, bei denen ein wesentlicher Anteil der Atome der Substanz diesen Prozessen unterworfen ist, sehr beträchtliche Ausmaße annehmen und kann ohne Schwierigkeiten für technische Zwecke in größtem Maßstab benutzt werden. Unsere elektrische Beleuchtung, die drahtlose Telegraphie und Telephonie, das Fernsehen und die zahlreichen, technisch verwerteten photochemischen Reaktionen, aber auch die schöne, so beliebte braune Farbe der Menschen, die vom Ferienurlaub zurückkommen, beruhen darauf. Auch die größte (ihrer Ausbeute nach) chemische Reaktion auf dem Erdball — die Assimilation in den grünen Blättern der Pflanzen gehört dazu. Es ist dies alles die Folge der Wechselwirkung und der Energieumwandlungen, die sich in der Elektronenhülle der beteiligten Atome „von selbst“ abspielen oder von der menschlichen Hand künstlich eingeleitet werden. Es handelt sich dabei immer darum, durch vernünftige Überlegungen (man nennt sie oft: geniale Ideen) solche Bedingungen zu schaffen, daß die im Mikrokosmos der Materie ablaufenden Vorgänge durch die Vermehrung ihrer Anzahl sich spontan, oder durch technische Mittel erzwungen, zu makroskopischen Prozessen verstärken und dann technisch verwertet werden können.

Im Atomkern mit seiner wesentlich größeren Konsistenz der Materie und dementsprechend (nach dem Äquivalenzprinzip der Energie und Materie) beträchtlich größeren verborgenen Energie ist die Situation noch viel günstiger als in der Elektronenhülle des Atoms. Der Energievorrat, der in einem Atomkern, z. B. Urankern, schlummert, beträgt $0,85 \cdot 10^{-8}$ cal. Die Freimachung dieser Energie bedeutet den Gewinn von etwa 25 Millionen Kilowattstunden pro Gramm Uran. Es ist deshalb verständlich, daß die Physiker unseres Jahrhunderts unentwegt versucht haben, den Zugang zu den Energievorräten des Atomkerns zu finden. Durch die Arbeiten vieler Atomforscher, insbesondere aber durch die entscheidende Entdeckung Otto Hahn's, wurde der Schlüssel zu dem bis dahin verschlossenen Tor dieses Gebietes gefunden und die Richtigkeit des von der Physik konstruierten Bildes durch die „Experimente“ in New Mexico, Nagasaki, Hiroshima, Bikini usw. in sehr eindrucksvoller, aber auch beängstigender Weise bewiesen. Dabei kam das wesentliche Merkmal aller dieser elementaren Vorgänge im Mikrokosmos der Materie anschaulich zur Geltung: in einem Uran- oder einem Plutoniumblock wird spontan

oder durch einen künstlichen Eingriff aus irgend einem beliebigen Atomkern ein elementares Teilchen, ein Neutron, ausgelöst. Es besitzt absolut genommen, also nach makroskopischen Maßstäben gemessen, einen winzigen Energiebetrag, der jedoch in den Relationen des Mikrokosmos eine außerordentlich große Bedeutung hat. Er vermag nämlich in den benachbarten Atomkernen seinerseits neue ähnliche Vorgänge zu verursachen, und sogar jeweils zwei oder mehr neue Neutronen auszulösen. Diese wiederholen den Vorgang, und so steigt die Anzahl der befreiten Neutronen und infolgedessen auch die Summe der frei gewordenen Energie immer weiter an, und zwar sehr schnell, lawinenartig. Ist das zur Verfügung stehende Stück der Materie, des Urans, klein, dann erlischt der Prozeß nach der Befreiung einer gewissen Energiemenge, die sich etwa in einer entsprechenden Erwärmung des Uran-Stückchens oder Aussendung mehr oder weniger intensiver Strahlungen aller Arten äußern mag. Durch die Vergrößerung der zur Verfügung stehenden Substanzmenge kann man jedoch die beschriebene, sogenannte Kettenreaktion weitergehen lassen, und damit den Betrag der gewonnenen Energie beliebig steigern. Mit verhältnismäßig geringen Substanzmengen nimmt er grandiose Ausmaße an. Die gewonnene Energie kann Großstädte mit einem Schlag vernichten, ja, es ist die Umwandlung des ganzen Erdballes in einen Novastern denkbar.

Das Charakteristische und das Wesentliche bei all diesen Vorgängen im Mikrokosmos der Materie sind zwei Merkmale: 1. Die Zufälligkeit sowohl des ersten, als auch der nachfolgenden Elementarereignisse (es kann ein jeder Atomkern das erste entscheidende Neutron aussenden, und es können beliebige Atomkerne in der Nachbarschaft die Reaktion weiterleiten; 2. Durch eine geeignete Konstellation in der Materie kann die Wechselwirkung der elementaren Teilchen und der elementaren Energiebeträge so verstärkt werden, daß daraus ein makroskopischer Prozeß entsteht.

Es ergibt sich hieraus die zwingende Notwendigkeit, bei der wissenschaftlichen Behandlung dieser Vorgänge statistisch vorzugehen und dementsprechend zu folgern, daß den streng kausal bedingten Gesetzmäßigkeiten des Makrokosmos die statistischen Gesetzmäßigkeiten des Zufalls der elementaren Vorgänge zugrunde liegen. Maßgebend sind dabei die Kräfte-, Energie- und Masse-Verhältnisse, die in den atomaren Systemen vor-

liegen. Sie bestimmen die energetischen Vorgänge, von denen wir soeben gesprochen haben, sie bestimmen das Entstehen der chemischen Verbindungen und damit aller der Stoffe, deren sich die Natur in so bewundernswerter Weise bedient, oder die der Mensch für seine Zwecke künstlich geschaffen hat. Sie bestimmen auch alle natürlichen und technischen Energieverwertungsprozesse.

Der wichtigste Vorgang ist dabei — er steht zweifellos im Anfang des uns umgebenden Makrokosmos — die Bildung größerer Komplexe der Materie (unbelebter und lebendiger), die uns umgeben, und die wir letzten Endes auch selbst sind. Der grundsätzliche Vorgang und zugleich die Hauptursache in diesem Werden der Welt ist wohl darin zu sehen, daß bei einer genügenden Annäherung der einzelnen atomaren Systeme aneinander eine Situation erreicht werden kann, bei der die in einem Atomsystem herrschenden Kräfte das andere Atomsystem unmittelbar beeinflussen und eine Wechselwirkung der elementaren Teilchen und Energiebeträge zwischen den beiden Systemen stattfindet. Es entsteht auf diese Weise ein Kraftfeld, das die beiden Atomsysteme oder deren viele umfaßt. Der erste Vorgang der Annäherung zweier oder mehrerer Systeme aneinander kann — meistens ist es so — *zufälliger Natur* sein. Sobald aber sich ein gemeinsames Kräftefeld gebildet hat, ist das *weitere Geschehen* *zwangsläufig* durch die in Frage kommenden Kräftewirkungen und die sie beherrschenden Gesetzmäßigkeiten bestimmt. So ist es in einer übersättigten Salzlösung: Nachdem sich darin ein Kristallisationskeim gebildet hat, ist das weitere Geschehen vorbestimmt. Unter dem Einfluß der zwischenatomaren Kräfte beginnt die Kristallbildung. Die dem Keim benachbarten Atome oder die Atome, die durch die thermische Molekularbewegung *zufällig* dahin gebracht werden, ordnen sich in regelmäßige Strukturen ein, die über ein Mikrokriställchen zu dem, was wir als feste Körper bezeichnen, auswachsen. In ähnlicher Weise gehen offenbar auch die Vorgänge vor sich, die die Bildung großer organischer Moleküle einleiten. Eine „*zufällig*“, unter den entsprechend gestalteten Bedingungen des benachbarten Mediums entstandene, einfache chemische Verbindung ordnet sich nach Maßgabe der ihr durch das Kräftespiel des umgebenden Feldes zur Verfügung stehenden Freiheitsgrade in ein System ein, das solange „*spontan*“ wächst, bis die gegenseitigen Beeinflussungsmöglichkeiten der einzelnen atomaren Partner erschöpft sind. Es bedarf keiner besonderen Erläuterung.

daß die auf diese Weise gebildeten Systeme stabil, aber auch unstabil, d. h. empfindlich oder unempfindlich, gegen die äußeren Einwirkungen sein können. Durch das Wechselspiel der Kräfte in dem *ganzen* System bedingt, können sie Stellen aufweisen (das ist meistens an der Peripherie des Systems der Fall), die entweder besonders empfindlich sind, oder aber besonders leicht in Wechselwirkung mit den anderen atomaren Komplexen bei genügender Annäherung eintreten. So entstehen die sogenannten aktiven Stoffe.

Wie dem auch sei — es ist aus dem Gesagten ersichtlich, daß überall in der Materie, mit der wir zu tun haben, sich Kräftefelder ausspannen und dementsprechend mehr oder weniger geordnete Systeme entstehen. Die thermische Molekularbewegung, deren Ursache wir noch nicht kennen, und die rein zufallsmäßig gestaltet ist, arbeitet ständig *gegen* die Aufrechterhaltung dieser Strukturen, zugleich aber auch *für* deren Bildung. In gleicher Weise verursachen die in die einzelnen geordneten Systeme eindringenden Energie-Einwirkungen Störungen in deren Gefüge. Es ist dabei verständlich, daß eine an irgend einer Stelle eines geordneten Komplexes hervorgerufene Störung sich sehr leicht in dem ganzen Komplex fortpflanzen und zur Umgestaltung des ganzen Komplexes führen kann. So ist es möglich, daß durch eine Energie-Einwirkung, die nur einen kleinen Teil eines großen Komplexes erfaßt, eine entscheidende Änderung des Ganzen herbeigeführt wird, die sich nunmehr aus dem Mikrokosmos in den Makrokosmos überträgt. Es tritt hierbei offenbar wiederum eine Verstärkung der elementaren Wirkung bis zu einer makroskopischen Reaktion ein. Die geschilderte Sachlage beherrscht den größten Teil der uns bekannten Materie. Wir wissen heute, daß sogar Flüssigkeiten kristalline Struktur, wenn auch nicht so scharf ausgeprägt wie die festen Körper, aufweisen. Nur bei Gasen finden wir, soweit unsere Kenntnisse heute reichen, einen ungeordneten Zustand, der ausschließlich den Gesetzen der statistischen Verteilung unterliegt.

Gehen wir nunmehr von diesen Betrachtungen, die sich hauptsächlich auf die unbelebte Materie bezogen haben, zur Analyse der lebendigen Substanz über, so stoßen wir hier sofort auf die Feststellung, daß es sich im Biologischen um eine Welt von organisierten und zwar *autonom* organisierten Strukturen handelt. Man hat in der Vergangenheit oft das Leben-

dige als organisierte Substanz bezeichnet. Wir haben soeben gesehen, daß auch die anorganische Welt „organisiert“ ist. In dieser Hinsicht kann also heute kein Unterschied zwischen der unbelebten und lebendigen Materie gesehen werden. Die Besonderheit der biologischen Organisation liegt in der Autonomie der einzelnen Struktur-Einheiten. Von den vielen Unterschiedsmerkmalen des Lebendigen, die in der Vergangenheit in Betracht gezogen wurden, verblieben heute nur zwei. Das sind: 1. Die spontane Vermehrungsfähigkeit der lebenden Systeme, der Organismen; 2. Die geistigen Eigenschaften der höheren Stufen lebender Systeme.

Inwieweit diese grundsätzlichen Unterschiede Einschränkungen unterworfen sind, wissen wir heute noch sehr wenig. Jedenfalls müssen wir den zweitangeführten Unterschied, die geistigen Eigenschaften des Lebendigen, außerhalb unserer Betrachtung lassen. Sie berühren die höhere Sphäre, die alles regiert, und vor der sich die Naturwissenschaft nur in Ehrfurcht verneigt — das Göttliche. Wenden wir uns aber den übrigen Eigenschaften und Erscheinungen der lebendigen Substanz zu, so sind wir berechtigt und verpflichtet, die Spiegelung des von der physikalischen Forschung gezeichneten Weltbildes in den Erscheinungen und Formen des Lebendigen zu suchen, zu erkennen und damit verständlich zu machen.

Den ersten Schritt hat die Biologie in dieser Richtung getan, nachdem ihr die Physik ein wirksames Forschungsmittel zur Verfügung gestellt hat: das Mikroskop. Es war die Entdeckung der Grundeinheiten des lebenden Gewebes — der Zellen, der Zellkerne, Chromosomen usw. Damit wurde die Grundlage zur Erkennung und Beschreibung elementarer biologischer Strukturen gegeben und zugleich die erste, allerdings noch sehr grobe Möglichkeit vorgezeichnet, den Ablauf der Vorgänge im Mikrokosmos des Lebendigen zu verfolgen. Mit der Vertiefung der Erforschung der lebendigen Substanz wurde es immer deutlicher, daß die Zellen und die Zellkerne zwar die Grundbausteine des lebenden Gewebes sind, daß sie aber sehr große und sehr kompliziert gebaute Systeme darstellen, in denen sich weitere mikroskopische und submikroskopische Vorgänge abspielen, die die eigentlichen Träger der Lebensprozesse sind. Durch die Entdeckung immer kleinerer lebender Organismen und deren Untereinheiten gelangte die biologische Forschung unmittelbar an die Grenzen des Bereiches der

anorganischen Welt. Die kleinsten, bisher bekannten Untereinheiten der lebenden Zelle, die Gene, die zwar Komplexe von nur einigen tausend Atomen sind, jedoch eine maßgebende Bedeutung für die *makroskopischen* Eigenschaften des gesamten Organismus besitzen, und die Viren, die kleinsten Krankheitserreger, die als organische Riesenmoleküle aufgefaßt werden müssen, sind die beiden Mikroeinheiten der biologischen Welt, von denen wir wissen, daß ihr einziger Unterschied gegenüber den entsprechenden unbelebten Einheiten der Materie in ihrer Fähigkeit zur Selbstvermehrung oder in ihrer sogenannten „biologischen“ Aktivität besteht. Verschiedene Viren konnten kristallisiert, ihr Molekulargewicht bestimmt, ihre Struktur erforscht werden. Alle Gesetzmäßigkeiten der Physik und der organischen Chemie gelten für die Viren. Sie können in vitro in ihre Elementarteile zerlegt und wieder aufgebaut werden. Vom physikalischen und chemischen Standpunkt aus unterscheiden sie sich in nichts von den Viren, die sich im lebenden Organismus von selbst vermehren und ihre Aktivität entfalten. Sie besitzen aber nicht gerade diese geheimnisvollen Eigenschaften des Lebendigen.

Diese Beispiele zeigen, daß zum mindesten die materielle Struktur der lebenden Substanz sich zwanglos in die Vorstellungen der Physik einordnen läßt, und es bleibt die Frage zu untersuchen, ob auch die elementaren und zusammengesetzten makroskopischen Erscheinungen in der lebendigen Materie dem physikalischen Weltbild entsprechen.

Daß die makroskopischen Formen und Erscheinungen in der lebenden Substanz und in den Organismen sich mit den Methoden und Vorstellungen der physikalisch-naturwissenschaftlichen Forschung beschreiben und verständlich machen lassen, haben bereits mit größten Erfolgen die Cytologie und die Physiologie, die beiden Grunddisziplinen der biologischen Forschung, bewiesen. Diese Frage bedarf also keiner weiteren Diskussion. Den Ablauf der *elementaren* Vorgänge in der organischen Substanz haben wir an einigen, freilich nur wenigen, Beispielen bereits erörtert, und die sich dabei ergebende Parallelität zu dem im physikalischen Weltbild zusammengefaßten System der Wechselwirkung zwischen den elementaren Bestandteilen materieller Komplexe aufgezeigt. Auch in der lebenden Materie besteht dasselbe Prinzip der Überführung des elementaren Geschehens im Mikrokosmos in die im Makrokosmos wahrnehmbaren Vor-

gänge und Formen. An den Beispielen von Genen und Viren sahen wir, daß die Erforschung der submikroskopischen Lebensuntereinheiten in das Gebiet der molekularen Physik und Chemie führt, und daß diese Unter-einheiten unmittelbar als molekulare Gebilde betrachtet werden müssen, wenn man allerdings den kaum aussichtsreichen Versuch, ihre Lebens-merkmale zu deuten, unterläßt.

Wenn von den Viren mit Sicherheit gesagt werden kann, daß sie die wich-tigsten Eigenschaften lebendiger Organismen besitzen, und wir hierbei einen Fall vor uns haben, bei dem ein gut übersichtbarer Molekularkomplex, der allen Gesetzmäßigkeiten der Molekularphysik und -Chemie gehorcht, durch eine uns unbekannte Ursache „lebendig“ wird, so ist bei den Genen die Sachlage doch eine andere. Die Gene sind keine selbständigen Orga-nismen. Sie sind Untereinheiten, die in den Chromosomen des Zellkerns eingebettet sind. Wir können heute nicht mit Sicherheit entscheiden, ob die Gene das lebendige Prinzip wie die Viren bereits enthalten. Es ist möglich, daß sie einfache Molekülkomplexe sind, die in einer bestimmten Weise an dem Mechanismus der Lebensvorgänge beteiligt sind. Unter allen Umständen aber sind auch Gene den Gesetzmäßigkeiten der Mole-kularphysik unterworfen.

Die biologische Forschung ist noch nicht soweit fortgeschritten, daß *alle*, oder wenigstens die Mehrheit der kleinsten, an den Elementarvorgängen beteiligten Untereinheiten biologischer Strukturen bekannt sind. Die Klä-rung des hier vorliegenden Sachverhaltes ist eine der aktuellsten Aufgaben der modernen Biologie. Die Erkennung des Primats dieser Aufgabe ist allerdings in der Biologie nicht so allgemein üblich, wie etwa in der Physik und Chemie. Während die physikalische Betrachtung einer beliebigen makroskopischen Erscheinung fast immer auf der Analyse des Geschehens im Mikrokosmos der Materie beruht und die Deutung der Erscheinung in der Einordnung der elementaren Vorgänge in ein zusammenhängendes System besteht, blieb die Betrachtungsweise in der klassischen Biologie im Bereiche der makroskopischen und mikroskopischen Erscheinungen stecken. Die moderne biologische Forschung hat mit diesem Vorgehen gebrochen, und die *Molekularbiologie* befindet sich heute im schnellen Aufbau. Das physikalische Weltbild dient dabei als Rahmen, auf dem das biologische System gewebt wird. Hierbei tritt jedoch mit voller Deutlichkeit der grund-sätzliche Unterschied zwischen der Sachlage in der Physik und in der Bio-

logie zu Tage, nämlich die dominierende Bedeutung der Organismen als einer in sich geschlossenen Ganzheit. Die einen Organismus aufbauenden Bestandteile und deren Wechselwirkung werden nämlich durch die im Organismus ablaufenden Lebensprozesse beeinflusst. Die in der Biologie geläufige „organismische“ Auffassung der Lebensvorgänge, die sonst nur allzu leicht ins Feld geführt wird, wenn ein naturwissenschaftlich nicht faßbarer Tatbestand des Biologischen einer scheinbaren Erklärung bedarf, gewinnt im Rahmen unserer Gedankengänge einen besonderen Inhalt. Zunächst will es widersprüchlich erscheinen, das biologische Geschehen auf zufällige Elementarakte zurückzuführen und zugleich von der Ganzheit des Organismus zu sprechen. Fassen wir aber die besprochenen Tatsachen, die uns nicht nur die derzeitige Zusammensetzung der belebten Materie, sondern auch deren Entstehungsgeschichte verständlich machen, zusammen, so wird uns deutlich, daß jeder der zufälligen Elementarakte in einem geschichtlich gewordenen und geformten System erfolgt. Das heißt aber, daß vom ersten vorstellbaren Akt an jeder Vorgang zugleich eine die Zukunft determinierende Strukturierung bedeutet. Jeder vorhergegangene Akt bedeutet eine Wegbereitung für jeden folgenden. Die Wahrscheinlichkeit, mit der ein späteres zufälliges Ereignis eintritt, wird durch die besondere Konstruktion des Gesamtkomplexes in einer ganz bestimmten Richtung eingengt und die Möglichkeit, wie sich ein zufälliges Ereignis im Lebendigen auswirken kann, erhält eine ganz bestimmte Richtung. Die hochkomplizierte Struktur eines lebenden Organismus, wie sie sich uns heute darstellt, ist doch das Abbild der Geschichte des Lebendigen vom ersten organischen Molekül an. Der hierarchische Aufbau des lebenden Gewebes führt von den molekularen Untereinheiten zu den größeren selbständigen Einheiten, die sich wiederum in die größeren Komplexe organisieren und schließlich die Organismen bilden. Dabei sind alle Bausteine des Ganzen durch das Wechselspiel der sie verbindenden Kräfte voneinander abhängig und sind an den ebenfalls voneinander abhängigen Lebensprozessen, die in dem ganzen System ablaufen, beteiligt. In diesem komplizierten Mechanismus liegen zutiefst als Wegweiser die physikalischen Gesetzmäßigkeiten des atomaren und molekularen Geschehens. Die Auffindung der entsprechenden elementaren Vorgänge und der für sie geltenden Gesetze ist die Aufgabe der Biophysik und der Biochemie, dieser beiden neuen Zweige der modernen Biologie.

Es ist aus dem Gesagten ersichtlich, wie vielseitig die Methoden und Wege der biologischen Forschung sein müssen. Die Biologie ist zweifellos die umfassendste wissenschaftliche Disziplin unserer Zeit.

Man nennt oft die Physik die Königin der Naturwissenschaften. Neben dem Königreich der Physik ist aber in den letzten Dezennien eine mächtige, auf federalistischer Grundlage gebildete Republik der Biologie entstanden, in der die verschiedensten Disziplinen zur Erreichung eines gemeinsamen Zieles koordiniert sind. Und es sieht so aus, als ob die Lösung der Hauptaufgabe der Biologie, der Aufbau eines biologischen Weltbildes, nur auf dieser federalistischen Grundlage möglich ist.

