

Zur Frage der Eigengesetzlichkeit der theoretischen Biologie*)

Von Prof. F. G. DONNAN, London, Präsident der Chemischen Gesellschaft

Eingeg. 26. April 1939

I.

Das Problem der zwei Welten, nämlich der Lebewesen und der leblosen oder toten Dinge, reicht weit in die Antike zurück. Selbst heute bietet es uns eine brennende und noch offene Frage dar. Oft spricht man von der „synthetisierenden“ oder „organisierenden“ Wirkung der Lebewesen und vergleicht dieses Verhalten mit den „desorganisierenden“ Prozessen der unbelebten Natur. Vor einigen Jahren ist der englische Astrophysiker *Jeans* in der Tat so weit gegangen, daß er meinte, die zivilisierten Menschen verletzen die Gesetze der Thermodynamik, indem sie die Entropie der Welt vermindern, d. h. die „Organisation“ der Welt vermehren. Gewiß können sie das tun, aber nur auf Kosten einer gleichzeitig stattfindenden und zudem noch größeren Vermehrung der Entropie, d. h. Desorganisation der Welt. *Jeans* hat nämlich die Stoffwechselprozesse der Menschen und die Verbrennungsprozesse ihrer Maschinen ganz außer acht gelassen, vielleicht deshalb, weil er mehr gewöhnt ist mit *Maxwellschen* Dämonen zu operieren — diese „idealen“ Wesen bedürfen bekanntlich überhaupt keiner Nahrung. Eine Verletzung der thermodynamischen Gesetze kommt also hier nicht in Frage.

Es ist kaum nötig zu sagen, daß ein Organismus sich nicht auf die Dauer von seiner Umwelt abtrennen läßt. Die Wirkungen des Lebens hängen ja von dem Ungleichgewicht, d. h. von der verfügbaren Organisation, der verfügbaren freien Energie dieser Außenwelt ab: Ein Teil wird auf eine höhere Potentialstufe gehoben, gleichzeitig wird der Rest auf eine niedrigere gesenkt. Betrachtet man das ganze System, Organismus—Außenwelt, so findet man keine Verletzung der thermodynamischen Gesetze. Wie *Schrödinger* einmal bemerkt hat, steht die Entwicklung des organisierten Pflanzen- und Tierreichs auf unserer Erde in keinem Widerspruch mit den allgemeinen Gesetzen der Physik. Nur darf man nicht vergessen, die starke Organisation der Energie innerhalb der heißen Sonne mit in Betracht zu ziehen.

Ein Hauptproblem der biologischen Naturwissenschaft bildet die Auffindung der raumzeitlichen Verkettungsweisen der in Betracht kommenden Prozesse. Im Leben jedes Organismus mit seiner Umwelt sehen wir immer zweierlei Arten solcher Prozesse, nämlich diejenigen, welche die freie Energie oder die Organisation vermehren, und diejenigen, welche sie vermindern; die ersteren können nicht ohne die letzteren zustande kommen. Diese Verkettung dürften wir wohl „Mechanismus“ nennen, ohne „Mechanisten“ (im groben Sinne) genannt zu werden. Betrachten wir nun das Ganze, d. h. den ganzen Komplex von innerlich verketteten Prozessen des Organismus und seiner Außenwelt, so liefert die Anschauung einer bestimmten Zielsetzung dessen einfachste Beschreibung.

Diese Organisation der Prozesse, wobei gewisse der Organisation der Energie günstige Prozesse entstehen,

die nur in Verkettung mit den die freie Energie vermindernenden Prozessen zustande kommen, bildet ein Ganzes, welches die Kennzeichen aller von uns erdachten und zielgesetzten Maschinen besitzt. Mit anderen Worten, der lebende Organismus ist ein „Mechanismus“, eben deshalb, weil er als Ganzheit betrachtet eine bestimmte Zielsetzung aufweist.

Diese einfache thermodynamische Beschreibung zwingt uns deshalb, im Gebiet der Lebenserscheinungen weder die allgemeinen physikalischen Gesetze zu verneinen noch den Lebewesen eine eigene Qualität, eine eigene Gesetzmäßigkeit, zu verweigern. Diese Eigengesetzlichkeit dürfte in einer bestimmten Zielsetzung der Prozeß-Organisation bestehen, während die einzelnen Prozesse den physikalisch-chemischen Gesetzen gehorchen.

Diese thermodynamische Betrachtungsweise oder, besser gesagt, die moderne auf quantentheoretischer Grundlage aufgebaute statistische Thermodynamik, die Wissenschaft par excellence der Makrosysteme, kann uns von einigem Nutzen sein für ein besseres Verständnis der biologischen Ganzheiten. Wenigstens wird sie uns vor dem Fehler hüten, den Wald vor Bäumen nicht zu sehen.

II.

Ohne Bäume gibt es aber keinen Wald. Die speziellen Forschungen der letzten zwei oder drei Dezennien haben unsere Kenntnisse der einzelnen Strukturen und Prozesse der Organismen ganz enorm gesteigert. In dieser großen Entwicklung der Biologie haben Biochemie und Biophysik sowie die moderne genetische Vererbungslehre wohl die Hauptrollen gespielt, obgleich mehrere Untersuchungen über das ganzheitliche Verhalten der Organismen unter bestimmten Bedingungen, wie z. B. die meisterhaften Studien von *Pavlov* in Leningrad und *Frisch* in München, sicherlich den gleichen Rang erworben haben. Seit mehr als einem Jahrhundert haben die Chemiker die in der lebenden Zelle und bei niedriger Temperatur verlaufenden komplexen chemischen Reaktionen bewundert. Allmählich ist man zu dem richtigen Schluß gekommen, daß das Geheimnis in der katalytischen Wirkung der Fermente zu suchen sei, aber über die Natur der Fermente und deren spezifische Wirkungen wußte man zuerst gar nichts. Auf diesem verwickelten und dennoch höchst wichtigen Felde der Biochemie verdanken wir den Forschern der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft eine geradezu wunderbare Aufklärung. Genannt seien vor allem die meisterhaften Untersuchungen von *Otto Warburg* und Mitarbeitern, welche in Verbindung mit denen anderer deutscher Chemiker die Natur und die Zeitfolge der miteinander verketteten Reaktionen in bestimmten Fällen aufgedeckt haben. Man hat sogar in gewissen Fällen die aktiven prosthetischen Gruppen von den ihnen zugehörigen Proteinmolekülen reversibel abscheiden können und vermittels dieses glücklichen Kunstgriffs die chemische Rolle der Atomgeber und Atom-acceptoren klar erwiesen.

*) Vorgetragen vor der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften im Harnack-Haus, Berlin-Dahlem, am 20. Februar 1939.

Diese Arbeiten eröffnen der Wissenschaft der Lebensprozesse ein neues und in höchstem Maße verlockendes und fruchtbares Feld. Es scheint z. B., daß in der chemischen Aktivität der prosthetischen Gruppen die großen Proteinmoleküle eine wichtige und vielleicht entscheidende Rolle spielen. Sind diese Proteinmoleküle in jedem Falle ganz spezifisch, so wäre diese Aktivierung möglicherweise der Resonanz zuzuschreiben. Sollte es sich aber ergeben, daß sie nicht so spezifisch sind, dann könnte man vielleicht die Ursache der Reaktionserleichterung zum Teil in der Fähigkeit der mit einer Fülle von Frequenzen versehenen Proteinmoleküle finden, die Energien der prosthetischen Reaktionen aufzunehmen und zu verteilen.

Diese wohlbekannten Untersuchungen bieten ein glänzendes Beispiel von der Kraft und dem Erfolg der Analyse, welche nicht nur die Natur, sondern auch zugleich die quantitative Zeitfolge der miteinander verketteten Prozesse aufgeklärt hat; in ihr dürfte man jene oben erwähnte raumzeitliche Organisation der Lebensprozesse erblicken, worin die Enzyme und Co-Enzyme die Rolle der zeitlichen Organisatoren spielen. Kurz gesagt, ersieht man in den Warburgschen Arbeiten über die Fermentwirkungen, wie die physikalisch-chemische Feinanalyse eines biologischen Gebiets möglicherweise zur Aufklärung einer auf ganzheitlichem Wege erschlossenen Eigengesetzlichkeit führen könnte.

III.

Die große Entwicklung der Physik und Chemie während der letzten vierzig Jahre hat bekanntlich viele zu der Hoffnung geführt, daß die Erscheinungen der Lebewesen letzten Endes mit den experimentellen Methoden und Denkart dieser Wissenschaften aufzuklären sind. Die großen Erfolge der physikalisch-chemischen Physiologie sowie der Biochemie und der Biophysik bilden ohne Zweifel eine starke Stütze für eine solche Hoffnung. Streng genommen wäre es dann nicht mehr richtig, von eigenen Gesetzen der Lebenserscheinungen zu sprechen, sondern vielmehr von einer zukünftigen Erweiterung und Vertiefung der Physik und Chemie. Es ist aber nicht zu verkennen, daß es das Studium des totalen Verhaltens der Lebewesen, als lebender Ganzheiten, war, welches die Biologie zu solchen der Physik und Chemie fremden finalistischen Anschauungen, wie Zweck, Anpassung usw., geführt hat. In neuerer Zeit haben einige Biologen, wie der verstorbene englische Physiologe *J. S. Haldane*, General *Smuts* in Südafrika und *Adolf Meyer* in Deutschland, den Versuch gemacht, eine eigengesetzliche (autonome) Auffassungsweise der Wissenschaft der Organismen zu gründen, welche Holismus genannt wird. Sie besagt, daß Organismen individuelle Ganzheiten sind. Danach wäre das totale Verhalten einer individuellen Ganzheit durch keine Summierung der Eigenschaften ihrer Teile zu erklären. Es existiere eine Stufenfolge oder Rangordnung der Ganzheiten. Die Atome und Moleküle sind auch Ganzheiten, aber ihre Stufe oder Rangordnung wäre niedriger als diejenige des sie enthaltenden Organismus. Aus den dem Verhalten der Atome oder Moleküle zugehörigen eigenen Gesetzen wären die Gesetze der höheren Ganzheit, des Organismus, nicht ohne weiteres zu erhalten. Jede Art von Ganzheit hätte eine eigene Komplexität, die von ihrer eigenen, d. h. spezifischen, Organisation abhinge. Man könnte vielleicht den Holismus als das Prinzip der spezifischen Komplexität der individuellen ranggeordneten Ganzheiten betrachten. Diese holistische Betrachtungsweise verdankt *Adolf Meyer* ihre modernste Richtung und auch wohl ihre Entwicklung und Verbreitung. In dieser Entwicklung spielt das „Prinzip der holistischen Simplifikation“ eine große Rolle, wonach aus den Gesetzen

einer gegebenen Ganzheit, z. B. eines lebenden Organismus, die Gesetze der niedrigeren Ganzheiten durch Weglassung der spezifischen Komplexität der höheren Ganzheit zu erhalten wären.

Es ist das besondere Verdienst von *Adolf Meyer*, diese holistische Theorie mathematisch aufgefaßt und ausgedrückt zu haben. Die praktische Schwierigkeit seiner Simplifikationsmethode besteht i. allg. in der Aufstellung der Regeln, wonach man die der höheren Ganzheit inwohnende Komplexität wegnehmen soll. Denn die mathematischen Gesetze der Naturwissenschaft lassen sich gewöhnlich nicht als einfache Summen von stufenweise verwandten Gruppen von Funktionen ausdrücken.

Obwohl nun einige hervorragende Vertreter der Biologie, wie z. B. *Driesch* und *Hartmann*, diese holistische Betrachtungsweise in ziemlich scharfer Weise kritisiert haben, so ist doch zu bemerken, daß die moderne Physik schon den Kern des Holismus enthält, worauf ausgezeichnete Vertreter der Quantentheorie kürzlich hingewiesen haben. Die Wellenfunktion eines einzigen Elektrons operiert bekanntlich in einem vierdimensionalen Raum von den drei Dimensionen des gewöhnlichen Raums und der einzigen Dimension der Zeit. Hat man es mit zwei Elektronen zu tun und würden die Wellenfunktionen noch in demselben vierdimensionalen Raum operieren, dann wäre keine Ganzheit, d. h. keine höhere Komplexität vorhanden. Bekanntlich operieren sie aber in einem sieben-dimensionalen Raum. Die Rangordnung der Gesetzlichkeit ist jetzt eine höhere geworden.

Die Gesetze der modernen quantenstatistischen Mechanik arbeiten mit einem *Gibbs'schen* Ensemble von Zuständen und den ihnen zugehörigen Eigenfunktionen. Das Wirkliche der modernen Atomphysik ist nicht ein einziges Atom, sondern ein statistisches Ensemble von Atomen, d. h. eine wahre Ganzheit.

Schließlich sei bemerkt, daß der berühmte englische Astrophysiker *Eddington* die Eigenschaften oder wenigstens die Massenverhältnisse der physikalischen Elementarteilchen aus den Eigenschaften des Weltalls zu berechnen sucht.

Eine holistische Bewegung der modernen Physik ist deshalb gar nicht zu verkennen. Die zukünftige Entwicklung der Theorie der Organismen, als Ganzheiten betrachtet, auf holistische Art wäre auch nicht zu verneinen. Man könnte aber dagegen einwenden, daß eine solche Entwicklung zu keinen der Biologie eigenen Gesetzen, sondern nur zu einer weiteren Verallgemeinerung der physikalischen Gesetze führen würde. Damit treffen wir in der Tat den wahren Kern der Frage der Eigengesetzlichkeit der theoretischen Biologie.

IV.

Es ist nun von großer Wichtigkeit, daß sich der tiefste Denker der modernen Atomphysik, *Niels Bohr*, mit diesem „Kernproblem“ beschäftigt hat. In der erkenntnistheoretischen Auffassungsweise dieser Erscheinungswelt hat das Studium der Atome und Moleküle eine gänzlich neue Situation hervorgebracht. Kurz gesagt, es ist nicht möglich, in unserer wissenschaftlichen Betrachtung das beobachtete Objekt von dem Beobachter und seinen Instrumenten vollständig zu trennen. Diese in dem jetzigen Zustand der Wissenschaft prinzipiell unvermeidbare und unberechenbare Gegenwirkung zwischen den Objekten und den messenden Instrumenten begrenzt die Möglichkeit, von einem Verhalten der Mikroobjekte zu sprechen, das vollständig unabhängig von den Beobachtungsmitteln

ist. Je nach den benutzten Versuchsmethoden werden wir deshalb nach der *Bohrschen* Auffassungsweise zu komplementären Beschreibungsweisen dieser Mikrowelt geführt, welche doch in keinem logischen Konflikt miteinander stehen.

Dieses *Bohrsche* Prinzip der Komplementarität zeigt, daß eine mehrfache und dennoch logische Betrachtungsweise derselben Welt möglich und in der Tat notwendig ist. Wir dürften sogar von einer mehrfachen Gesetzmäßigkeit derselben Dinge sprechen. Die eigenen Gesetze brauchen aber nicht eine einheitliche Erscheinungswelt in mehrere zueinander ganz fremde und abgetrennte Subwelten einzuteilen.

Wollte man nun versuchen, die Struktur und das Verhalten eines ganzen Lebewesens nach den Meßmethoden der modernen Atomphysik genügend eingehend und genau zu messen, so würde das, wie *Bohr* tief sinnig bemerkt hat, zum Tod des Organismus führen. Die vollständige Beschreibung des totalen Verhaltens eines Lebewesens nach den Methoden der Atomphysik wäre also nach diesem sog. Exklusionsprinzip von *Bohr* prinzipiell unmöglich. Das ganzheitliche und historische Verhalten eines Lebewesens ließe sich deshalb nur durch ihm eigene Gesetze beschreiben. Je nach den Versuchsmethoden, nämlich den mikrophysikalischen und den ganzheitsbiologischen, könnte man komplementäre Betrachtungsweisen aufstellen, die in keinem logischen Widerspruch zueinander stehen und deren Kombination die uns allein mögliche Wirklichkeit darstellt. Nach dieser *Bohrschen* Auffassungsweise würden die eigenen biologischen Ganzheitsgesetze gar kein Mysterium in eine allgemeine homogene Naturwissenschaft mit hineinbringen. Es gäbe nur eine Welt, deren uns verschieden aussehende Erscheinungsgruppen von der verschiedenen Begrenzung unserer Beobachtungsmöglichkeiten herrühren. Die Eigengesetzlichkeit der theoretischen Biologie käme so durch die tiefen Gedankengänge eines Großmeisters der Physik schließlich in ihr Recht.

V.

Es gibt nun noch eine andere, mit der *Bohrschen* vielleicht etwas verwandte Betrachtungsweise der Lebewesen, die m. E. den biologischen Ganzheitsgesetzen eine bestimmte Eigengesetzlichkeit sichern dürfte. Nach der modernen Physik wird der Zustand eines gegebenen Systems durch die Wahrscheinlichkeiten bestimmt, wonach die verschiedenen bestimmenden Parameter die verschiedenen ihnen möglichen Werte annehmen können. Unter bestimmten Bedingungen sind diese Wahrscheinlichkeiten keine Zeitfunktionen, d. h. sie hängen i. allg. nicht von der früheren Geschichte des Systems ab. Abhängigkeit von der früheren Geschichte nannte man in der alten Makrophysik Hysterese. Sie wurde gewöhnlich einer ungenügenden Kenntnis gewisser verborgener, d. h. unbeobachteter und unkontrollierbarer Mikroparameter zugeschrieben. Diese Hysterese, d. h. das historische oder geschichtliche Ganzheitsverhalten gewisser physikalischer Systeme, hat *Boltzmann* mittels Integro-differentialgleichungen zu beschreiben versucht, und *Vollerra*, der berühmte italienische Mathematiker, hat die Theorie der Integro-differentialgleichungen entwickelt und auf das Verhalten verschiedener Systeme angewandt.

In zwei in den *Acta Biotheoretica* kürzlich erschienenen Aufsätzen habe ich nun den Versuch gemacht, die Methodik der Integro-differentialgleichungen auf das historische Ganzheitsverhalten lebender Systeme anzuwenden. Nach dieser Betrachtungsweise wären die Lebewesen durch eine

stark entwickelte und ihnen vielleicht eigentümliche Hysterese ausgezeichnet. Deshalb habe ich die Lebewesen historische oder chrono-holistische Systeme genannt. Um Mystik zu vermeiden, habe ich diese historische Betrachtungsweise mittels Zeitintegralen der prinzipiellen Unmöglichkeit zugeschrieben, den momentanen Zustand eines Lebewesens vollständig durch Beobachtungen zu bestimmen. Der Zustand wäre, wenigstens teilweise, durch die frühere Geschichte des Systems festgelegt, und dieser geschichtliche (historische) Teil ließe sich grundsätzlich durch keine beobachtbaren Parameter bestimmen. Die Lebewesen wären deshalb geschichtlich verbundene Systeme, welche einer speziellen mathematischen Darstellung bedürfen.

Die Methodik der Integro-differentialgleichungen, und der Integralgleichungen überhaupt, ist in dieser Beziehung sehr verlockend und hoffnungsvoll. Denn durch die speziellen Kernfunktionen der Integralglieder besitzt man ein Mittel, sowohl Gedächtnis als auch Zweck zu symbolisieren. Es ist das Verdienst von *Adolf Meyer*, auf die Nützlichkeit dieser Methodik für die mathematische Darstellung des totalen Verhaltens der Lebewesen ganz unabhängig von mir hingewiesen zu haben.

Wenn man nun in der Integro-differentialgleichung das historische Integralglied ausschaltet, bekommt man eine gewöhnliche Differentialgleichung, wie sie oft in der Physik vorkommt. Nach *Meyer* wäre das ein Beispiel seines Prinzips der holistischen Vereinfachung.

Es sei mit allem Nachdruck betont, daß hier nur von einer möglicherweise nützlichen mathematischen Methodik die Rede ist und nicht von einer schon entwickelten und inhaltsvollen Theorie. Die Ausbildung dieser Methodik zu einer solchen Theorie ist eine Frage der Zukunft. Wenn mir nun *Driesch* den Vorwurf eines „leeren“ Formalismus gemacht hat, so ist das wohl ein Zeichen, daß er nicht nur meine Meinung völlig mißverstanden hat, sondern von der Mächtigkeit der mathematischen (funktionellen) Darstellung keine oder wenig Kenntnis besitzt.

VI.

Man darf jetzt mit Recht von einem Streben gewisser Gruppen von Biologen sprechen, eine theoretische Biologie zu gründen und zu entwickeln. Von den Arbeiten der Philosophen und der modernen Logistiker absehend, sei besonders die „*Professor-Dr.-Jan-van-der-Hoeven-Stiftung für theoretische Biologie*“ erwähnt, die mit der Universität zu Leiden verbunden ist. Die *Acta Biotheoretica* und andere periodisch erscheinende Schriften dieser Stiftung werden von den Professoren *C. J. van der Klaauw* und *J. A. J. Barge* in Leiden und von Prof. *Adolf Meyer* in Hamburg geleitet.

Was den eigentlichen Zweck dieser Gründung anbetrifft, erlaube ich mir einige Worte zu zitieren: „*Les Acta Biotheoretica seront un périodique biologique international, destiné à promouvoir la biologie théorique et consacré aux recherches sur les théories biologiques et sur les fondements mathématiques et logiques de la biologie*“. Das Zustandekommen dieser Stiftung und ihrer Zeitschriften ist ein sicheres Zeichen des schnell wachsenden Interesses für die theoretische Ausbildung der allgemeinen Biologie. Sowohl dieses Zeichen wie die sehr interessanten Schriften von *Max Hartmann* über die wissenschaftliche Philosophie der Biologie (und der Wissenschaft überhaupt) haben mir den Gedanken nahegelegt, daß eine Diskussion über die Frage der Eigengesetzlichkeit der theoretischen Biologie vor der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft vielleicht nicht ohne Interesse sein würde. [A. 52.]