

Sind die Organismen mikrophysikalische Systeme?

(Entgegnung an P. Jordan)

Von

Erwin Bünning (Jena)

I.

Von mehreren Seiten ist die Vermutung ausgesprochen worden, wir könnten die biologischen Erscheinungen unserem Verständnis erheblich näher bringen, wenn die neuen Ergebnisse der Quantenphysik berücksichtigt werden. Es lag gewiß nahe, die oft schwierige, oder, wie es manchem Forscher scheint, sogar unmögliche Kausal-erklärung mit den in der Atomphysik aufgetretenen Schwierigkeiten in Zusammenhang zu bringen, also anzunehmen, daß dort ebenso wie hier nicht aus praktischen Schwierigkeiten, sondern prinzipiell, auf Grund von Naturgesetzen, eine kausale Erklärung unmöglich sei. Diese naheliegende Vermutung ist von Jordan¹⁾ zu einer Theorie ausgebaut worden, nämlich zur *Verstärkertheorie der Organismen*. Jordan meint, die den wichtigsten biologischen Prozessen zugrunde liegenden Reaktionen gehörten ins Gebiet der Vorgänge atomarer Größenordnung. Und diese (prinzipiell nur statistisch erfaßbaren) Vorgänge sollen die makroskopisch zutage tretenden Reaktionen dirigieren, so daß auch diese, im Gegensatz zu den anorganischen Makroprozessen, akausal seien.

Kürzlich hat Jordan seine Theorie in dieser Zeitschrift²⁾ genauer zu rechtfertigen versucht, und er ist dabei auch auf einige Einwände und Mißverständnisse zu sprechen gekommen. Obwohl dabei keineswegs schon alle älteren Einwände Berücksichtigung finden³⁾, sind die neueren Ausführungen doch in einigen Punkten etwas deut-

¹⁾ P. Jordan, Die Naturwissenschaften, Bd. 20, S. 815 (1932).

²⁾ Bd. 4, S. 215.

³⁾ Ich verweise hier vor allem noch auf die Ausführungen von O. Meyerhof, Die Naturwissenschaften, Bd. 22, S. 311 (1934).

licher geworden, so daß es mir lohnend erscheint, vom biologischen Standpunkt einiges zu der Theorie zu sagen.

In einem Punkt wird jeder Biologe J o r d a n Recht geben: Für die Biologie ist es unumgänglich, fundamentale Naturerkenntnisse der Physik daraufhin zu prüfen, welche Veränderungen sie für die physikalischen Voraussetzungen der Physiologie mit sich bringen. „Niemand wird vermuten wollen, daß ausgerechnet im Organischen die Quantenmechanik zugunsten der klassischen Mechanik außer Kraft gesetzt sei“⁴⁾.

Mit diesem Zugeständnis ist natürlich noch keine Zustimmung zur „Verstärkertheorie“ verbunden; denn die Gesetze der Quantenmechanik sind ja auch schon für die Atome der anorganischen makrophysikalischen Systeme gültig. Die zweite Prämisse, die zu jenem J o r d a n'schen Satz noch hinzukommen muß, um seine Theorie zu begründen, liegt in folgendem: Für anorganische Makrosysteme gelten die exakten Kausalgesetze, obwohl für jedes einzelne der Atome, aus denen sie zusammengesetzt sind, nur Wahrscheinlichkeitsgesetze seines Verhaltens bestehen; das beruht darauf, daß jene Systeme von jeder in ihnen vorhandenen Atomart *zahllose gleiche* und *gleichen Bedingungen* ausgesetzte Exemplare enthalten. Ganz anders ist es, so meint J o r d a n, im Organismus: Hier zeigen alle Teile höchst verwickelte Strukturen, die sich zum Teil bis in kolloidale und molekulare Dimensionen fortsetzen. Entsprechend besitzen auch die Materiemengen, die bei den feinsten, aber gerade entscheidend wichtigen physiologischen Reaktionen mitspielen, in vielen Fällen sicherlich nur molekulare Größe⁵⁾. J o r d a n meint also, „die Organismen seien mikrophysikalische und nicht makrophysikalische Systeme“⁶⁾. Mit dieser Behauptung steht und fällt die Theorie.

Die Begründung, die J o r d a n für seine Behauptung gibt, ist keineswegs ausreichend. Allerdings wird mit Recht darauf verwiesen, daß schwächste Lichtwahrnehmungen schon durch wenige Lichtquanten erzeugt werden können. Aber diese Tatsache rechtfertigt ebensowenig wie der Hinweis auf die Gehirnzellreaktionen und die Kernreaktionen die allgemeine Behauptung, daß „für die Erforschung der zentralen Reaktionen des Organismus... nur die Mikrophysik die physikalischen Unterlagen bieten könne.“

⁴⁾ 1932, l. c. S. 819.

⁵⁾ 1934, l. c. S. 236.

⁶⁾ l. c. S. 242.

II.

Gegen die Annahme, daß die entscheidenden oder auch nur ein beachtlicher Teil der physiologischen Prozesse von akausalen Mikrovorgängen dirigiert wird, spricht schon die *Forschungsmethode* der Physiologie. Der Physiologe beobachtet bestimmte Erscheinungen und schließt aus diesen auf das Vorliegen bestimmter physikalisch-chemischer Bedingungen in der Zelle. Diese Schlüsse ruhen alle auf der *Voraussetzung*, daß die makrophysikalischen Gesetze bei den zellphysiologischen Prozessen gültig sind. Bei diesem Vorgehen ist auch bisher noch kein Physiologe auf einen Punkt gestoßen, wo sich ein Verfahren als unzulässig herausgestellt hätte. Im Gegenteil, die Erklärung überaus wichtiger und „zentraler“ physiologischer Prozesse mit Hilfe der makrophysikalischen Gesetze hat zu großen Erfolgen geführt. Beispiele: Zellatmung, Aufnahme von Stoffen in die Zelle, Reiz- und Giftwirkungen.

Schon an anderer Stelle ⁷⁾ habe ich darauf hingewiesen, daß zahlreiche Einrichtungen des Organismus erst durch die Sicherung eines ganz bestimmten Ablaufs der physiologischen Prozesse bedeutungsvoll werden. Es müßte für den Organismus sehr nachteilig sein, wenn die organischen Vorgänge ganz allgemein von akausalen Mikroprozessen dirigiert würden. — Man denke doch nur an die für die Leistungen des Organismus so charakteristischen Regulationen.

Selbst die Biologen, die an der Möglichkeit einer reiflosen Zurückführung der physiologischen Prozesse auf physikalisch-chemische Gesetze zweifeln, werden trotzdem der Jordanschen Theorie nicht zustimmen können. Jene Zweifel gründen sich ja nicht darauf, daß sich das Verhalten der Organismen nur statistisch erfassen lasse, sondern sie gehen viel eher von den erstaunlichen Regulationsleistungen, von dem zweckmäßigen Verhalten der Organismen, aus, also auch wieder von der Tatsache, daß der Organismus unter bestimmten Bedingungen in einer bestimmten, bei gleichen Versuchsbedingungen an einzelnen Individuen übereinstimmenden Weise reagiert. *Im Organismus müßte eine sich ins Makroskopische übertragende akausale Schwankung zum mindesten in der Regel zu einer Erkrankung oder zum Tod führen.*

⁷⁾ In den „Fortschritten der Botanik“, Bd. 2, S. 116 (1933).

III.

Können wir nun vielleicht auf einem mehr direkten Weg Anhaltspunkte für die Annahme gewinnen, daß sich die physiologisch wichtigen Zellstrukturen und Stoffmengen bis zu molekularen Dimensionen fortsetzen? Die Zellstrukturen, mit denen es der Physiologe „alltäglich“ zu tun hat, liegen im Gebiet des Makrophysikalischen. — Für viele überaus wichtige Zellvorgänge sind die semipermeablen Plasmagrenzschichten wichtig. Diese Schichten bestehen in einer Pflanzenzelle von wenigen μ Größe aus mehreren Millionen Molekülen, und zwar selbst dann, wenn wir nur einen monomolekularen Film annehmen und mit Riefenmolekülen von $20 \mu\mu$ Durchmesser rechnen. Ähnlich steht es mit allen anderen uns bekannten Zellstrukturen. Gewiß gibt es überaus wichtige Strukturfeinheiten, die sich der mikroskopischen Untersuchung entziehen. Aber diese sind dann, soviel wir wissen, nicht *einmalig*, sondern in großer Zahl in den Zellen vorhanden, so daß die ganze Zelle immer noch als ein makrophysikalisches System anzusehen ist. — Die kleinsten Organellen, die wir bei einzelligen finden, besitzen einen Durchmesser von einigen μ ; in ihnen haben noch Millionen Riefenmoleküle Platz. Selbst in einer überaus zarten Bakteriengeißel müssen wir immer noch mit $1000 \rightarrow 10\,000$ Molekülen rechnen. — Auch ein Centriol, und betrage dessen Durchmesser nur Bruchteile eines μ , kann noch aus vielen tausend Riefenmolekülen bestehen.

Die Annahme, daß in den kleinsten uns bekannten Zellstrukturen noch wieder feinere Strukturen enthalten sind, die nur in *geringerer Zahl* bestehen, entbehrt jeglicher Begründung.

IV.

Sollten aber nicht vielleicht von einzelnen wichtigen Molekülarten nur einige wenige in jeder Zelle vorkommen? Wenn diese Voraussetzung bei *allgemein wichtigen* Zellvorgängen irgendwo gegeben ist, müßte sie zum mindesten für Katalysatoren (Fermente) und Reizstoffe zutreffen. Nehmen wir einige Beispiele.

Eine Hefezelle von 7μ Durchmesser enthält allein von dem Ferment Katalase $20\,000$ Moleküle⁸⁾.

Manche Pflanzenzellen zeigen eine recht hohe Empfindlichkeit bei der Auslösung von Plasmaströmung durch bestimmte Stoffe. Bei *Vallisneria* kann eine Lösung von $1,5 \cdot 10^{-7}\%$ Histidin noch Plasma-

⁸⁾ D. B. H a n d, *Ergebn. d. Enzymforschung*, Bd. 2, S. 278 (1933).

strömung auslösen⁹⁾. Nehmen wir an, von dem Histidin gelange innerhalb der Versuchszeit nur soviel in die Zellen hinein, daß die Konzentration dort $1,5 \cdot 10^{-8}\%$ erreicht. Eine Zelle habe ein Gewicht von nur $1 \cdot 10^{-8}$ g (das wäre eine würfelförmige Zelle von etwa mehr als 20μ Länge). Unter diesen Voraussetzungen gelangen in jede Zelle $1,5 \cdot 10^{-18}$ g Histidin, d. h., die Anzahl der Moleküle liegt in der Größenordnung 10^4 . (Molekulargewicht: 155; Gewicht eines Moleküls: $155 \cdot 1,65 \cdot 10^{-24}$ g.)

Als weiteres Beispiel für eine überaus empfindliche und wichtige physiologische Reaktion wähle ich die Wirksamkeit des Auxins, des Wuchsstoffes, der beim pflanzlichen Wachstum und bei den Reizbewegungen eine hervorragende Rolle spielt. Eine „Avena-Einheit“ (AE) dieses Stoffes bedingt an den hochempfindlichen Keimscheiden des Hafers eine Krümmung von 10° , wenn diese Wuchsstoffmenge in einem Agarwürfel von 2 cmm der Pflanze einseitig geboten wird. Nehmen wir an, nur der zehnte Teil dieser Menge gelange in die Pflanze. Das Volumen der Keimscheidenhälfte, in die das Auxin hineindiffundiert, möge einige cmm betragen, so daß von der $\frac{1}{10}$ AE vielleicht nur der zehnte Teil, also $1 \cdot 10^{-2}$ AE in jeden cmm der Pflanze gelange; eine würfelförmige Zelle von etwas mehr als 20μ Länge wird dann $1 \cdot 10^{-7}$ AE erhalten. Nun entspricht 1 AE $3 \cdot 10^{-11}$ g¹⁰⁾, jede Zelle enthält also etwa $3 \cdot 10^{-18}$ g Auxin. Das Molekulargewicht beträgt rund 350. Danach liegt die Zahl der Moleküle in jenen $3 \cdot 10^{-18}$ g in der Größenordnung 10^4 .

Ganz ähnlich steht es mit der Wirkung des *b*-Auxins¹¹⁾ ($C_{18}H_{30}O_4$), das noch bei einer Verdünnung von 1:10 Milliarden zu einer Wachstumshemmung von Wurzeln führt. Jost¹²⁾ hat diese Verdünnung mit Recht, nämlich im Vergleich zur physiologischen Wirksamkeit anderer Stoffe als phantastisch bezeichnet. Und doch ergibt die Durchrechnung, daß vom *b*-Auxin bei der angegebenen Verdünnung einige tausend oder zehntausend Moleküle auf eine Zelle entfallen.

Also selbst bei den empfindlichsten physiologischen Reaktionen sind schon von den Stoffen, die nur *auslösend* oder als *Katalysatoren*

⁹⁾ H. Fitting, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. 77, S. 1 (1932).

¹⁰⁾ F. Kögl u. A. J. Haagen Smit, Kon. Akad. Wet. Amsterdam, Bd. 34, S. 1415 (1931).

¹¹⁾ F. Kögl, Ber. d. d. chem. Ges., Bd. 68 A, S. 16 (1935).

¹²⁾ L. Jost, Zeitfchr. f. Bot., Bd. 28, S. 260 (1935).

wirken, mindestens etwa zehntausend Moleküle in jeder Zelle vorhanden. — Im Pflanzenreich kenne ich keinen biochemischen Vorgang, bei dem irgendeine Molekülart noch in erheblich geringerer Menge beteiligt sein könnte.

Auch die an Jordan anknüpfende Argumentation von Bavinck¹³⁾ ist nicht beweisend. Bavinck meint, im Organismus gäbe es ebenso wie eine untere auch eine obere Grenze des Determinismus; die in der Zelle vorhandenen verwickelten chemischen Strukturen seien nicht mehr so wie die einfachen Moleküle von ganz bestimmter, ein für allemal festliegender Art und Größe, und eine Wiederholung genau gleicher Struktur an vielen Molekülen innerhalb eines Organismus sei unwahrscheinlich. — Ich halte es schon nicht für richtig, hier von einer „oberen“ Grenze im Gegensatz zu jener unteren zu sprechen. Beweisend ist der Hinweis auf die Riefenmoleküle ja höchstens dann, wenn sie an physikalischen Mikroprozessen beteiligt sind. Hier würde also keine obere Grenze vorliegen, sondern die untere Grenze wäre an Reaktionen der Riefenmoleküle gebunden. Vor allem aber fehlt wieder der Nachweis, daß es solche an akautalen Vorgängen beteiligte und nur in geringer Zahl in den Zellen vorhandenen Riefenmoleküle wirklich gibt.

V.

Wie steht es nun aber mit den Strahlenwirkungen, auf die Jordan hinweist? In der Tat können nicht nur in den Sinnesorganen der höheren Organismen, sondern auch in anderen tierischen und pflanzlichen Zellen durch wenige Quanten erhebliche physiologische Wirkungen hervorgerufen werden. Jedoch dürfen diese Fälle keineswegs als die Regel gelten. Beispielsweise sind die Pflanzenzellen für den sichtbaren Teil des Spektrums ausnahmslos viel unempfindlicher. Die (im Vergleich zu anderen Pflanzen) hochempfindlichen Haferkeimscheiden reagieren im Blau ($\lambda_{436\mu\mu}$) noch bei $0,22$ Erg (qcm/Sek) mit schwachen phototropischen Krümmungen¹⁴⁾. Bei dieser Wellenlänge beträgt die Größe eines Quants etwa $4 \cdot 10^{-12}$ Erg. Nehmen wir an, nur die äußerste Spitze von $0,1$ mm Höhe sei lichtempfindlich, und in dieser seien etwa 100 Zellen enthalten, so entfällt auf jede Zelle noch eine Quantenzahl der Größenordnung 10^5 . (Berechnung der Quantengröße nach:

¹³⁾ B. Bavinck, *Scientia* (Milano), Bd. 57, S. 28 (1935).

¹⁴⁾ F. A. F. C. Went in Kostytschew-Went, *Lehrbuch der Pflanzenphysiologie*, Bd. 2, S. 353 (1931).

$$\varepsilon = h \cdot \nu; \quad h = 6,6 \cdot 10^{-27} \text{ Erg. sec.}$$

$$\text{und: } \nu = \frac{c}{\lambda}; \quad c = 3 \cdot 10^{10} \text{ cm/sec.}$$

Zur Tötung eines Individuums von *Bacterium coli* durch ultraviolettes Licht ($\lambda_{252,6 \mu\mu}$) sind $2,75 \cdot 10^{-5}$ Erg, bei der Einwirkung von Röntgenstrahlen ($\lambda_{0,1537 \mu\mu}$) $1,40 \cdot 10^{-7}$ Erg erforderlich¹⁵). Die Quantengröße beträgt im Ultraviolett schon fast $1 \cdot 10^{-11}$ Erg; trotzdem wäre immer noch eine Quantenzahl in der Größenordnung von 10^6 zur Abtötung eines Individuums erforderlich; bei der Einwirkung von Röntgenstrahlen allerdings brauchten nur ganz wenige Quanten absorbiert zu werden. — Bei *Bacillus prodigiosus* ist nur die Absorption von 2 α -Teilchen notwendig, um Abtötung zu bedingen, und von diesen beiden ist offenbar schon eines allein tödlich¹⁶).

Gerade diese Tatsache, daß oft mehr Quanten absorbiert werden müssen, als physiologisch wirksam sind, könnte uns möglicherweise der J o r d a n s c h e n Vorstellung nähern: Die physiologisch wirksame Reaktion kann vielleicht nur beim Zusammentreffen der Quanten mit Molekülen ganz bestimmter Art eintreten. Und diese Molekülart ist anscheinend (da ja so viele Quanten „vorbeigehen“) nur in wenigen Exemplaren in der Zelle vorhanden. — H e r č i k hat aus dem eben mitgeteilten Befund an *Bac. prodigiosus* den Schluß gezogen, daß nur die Hälfte des Bakterienleibes strahlenempfindlich ist. Hinsichtlich der oben erwähnten Versuche mit *Bact. coli* könnte der Befund, daß die Strahlenabsorption entweder eine Abtötung des Individuums bedingt, oder überhaupt keinen erkennbaren Einfluß (etwa auf die Wachstumsgeschwindigkeit) hinterläßt, für die Richtigkeit der J o r d a n s c h e n Vorstellung sprechen.

Aber selbst wenn wirklich eine Reaktion zwischen wenigen Quanten und wenigen Molekülen stattfindet, entsprechen die Bedingungen keineswegs schon notwendig den bei den H e i f e n b e r g s c h e n Unbestimmtheitsrelationen vorausgesetzten Umständen. Es müßte vielmehr noch die zusätzliche Annahme gemacht werden, die betr. Molekülart sei für alle erdenkbaren Beobachtungsmittel (z. B. für alle Lichtarten) so empfindlich, daß Beschaffenheit und Lage der Moleküle durch jede Art der Beobachtung notwendig derart tiefgreifend geändert werden, daß die zu untersuchende physiologische Wirkung (etwa eines α -Teilchens) nach Beendigung der Molekül-

¹⁵) R. W y c k o f f, Journ. gen. Physiol., Bd. 15, S. 351 (1932).

¹⁶) H e r č i k, F., Strahlentherapie, Bd. 47, S. 374 (1933).

beobachtung nicht mehr möglich ist. Für diese Annahme sprechen keine Erfahrungen. — Kurz gesagt: Auch auf dem Gebiete der physiologischen Strahlenwirkungen brauchen wir bis jetzt nicht damit zu rechnen, daß ein Problem von derselben prinzipiellen Schwierigkeit auftritt wie etwa bei der gleichzeitigen Bestimmung von Ort und Geschwindigkeit eines Elektrons.

Was wäre auch für die Biologie gewonnen, wenn wir von noch so vielen äußeren Umständen wüßten, daß ihre physiologische Wirkung im Einzelfall prinzipiell nicht mit Sicherheit, sondern nur mit einer aus der statistischen Regel folgenden Wahrscheinlichkeit vorausgesagt werden kann? Wir haben schon hervorgehoben, daß sich die charakteristischen Leistungen des Organismus ganz gewiß nicht aus solchen akausalen Streuungen erklären, aus Streuungen, die einmal zum Nutzen, im zweiten Fall aber zum Schaden führen können.

VI.

Wie steht es nun mit dem von J o r d a n angeführten Beispiel der Chromosomenvorgänge? Es geht sicher zuweit, wenn J o r d a n auf Grund der M e n d e l'schen Vererbungsregeln ganz allgemein von einer „Atomistik der Erbanlagen“ spricht; denn die den Vererbungsregeln zugrundeliegenden Zellvorgänge sind mindestens zum Teil physikalische Makroereignisse. Wo es sich nur um Regeln handelt, die sich aus der Verteilung *ganzer Chromosomen* während der Reduktionsteilung ergeben, sind die Bedingungen für die Ausschaltung der makrophysikalischen Gesetze noch nicht gegeben. Wenn gleich wir also bei einer Kreuzung noch keine exakte Voraussage über die Beschaffenheit eines einzelnen Individuums der Tochtergeneration machen können, sondern nur eine aus der statistischen Regel gewonnene Wahrscheinlichkeitsangabe, so handelt es sich doch ebenso wie bei der Voraussage eines einzelnen Wurfs mit dem Würfel nicht um eine prinzipielle, sondern nur um eine praktische Schwierigkeit. — Wie leicht hier Fehlschlüsse entstehen können, zeigen die Ausführungen von A l v e r d e s¹⁷⁾, die sich weitgehend mit denen J o r d a n's berühren. A l v e r d e s meint im Anschluß an einen Hinweis auf H e i f e n b e r g's Unbestimmtheitsrelationen: „Wie in Physik und Chemie, so stehen wir auch in der Biologie einer Schranke gegenüber, an der die Unbestimmbarkeit beginnt... Paaren wir z. B. eine rotblühende und eine weißblühende Wunder-

¹⁷⁾ F. Alverdes, Die Totalität des Lebendigen. Leipzig 1935.

blume, so wissen wir nicht, wie groß die Nachkommenchaft sein wird; wir können nur angeben, daß die Tochtergeneration einheitlich rosa blühen wird und daß die Enkelgeneration 25% rotblühende, 25% weißblühende und 50% rosablühende Pflanzen umfassen wird; über das einzelne Individuum aber vermögen wir nicht im vorhinein zu sagen, welche Blütenfarbe ihm eigentümlich sein wird.“ Es fehlt jegliches Argument für die Annahme, daß hier nicht nur eine praktische, sondern eine prinzipielle Schwierigkeit vorliegt. Die Verteilung der Chromofomen während der Reduktionsteilung unterliegt zwar (ebenso wie das Ergebnis des Würfeln!) dem „Zufall“, aber an diesem Vorgang der Chromofomenverteilung beteiligen sich zahlreiche Moleküle, so daß wir ihn nicht als einen Mikrovorgang betrachten dürfen.

Wie ist es nun dort, wo nur ein einzelnes Gen an einem biologischen Vorgang beteiligt ist? Nehmen wir an, ein Gen bestünde wirklich nur aus einem einzigen Molekül. Selbst dann sind keineswegs schon notwendig die Bedingungen der Heisenbergschen Unbestimmtheitsrelation gegeben. Das läßt sich nicht nur aus allgemeinen Erwägungen, sondern auch direkt aus den biologischen Tatsachen ableiten. Denken wir doch z. B. daran, daß ein Gen während der ontogenetischen Entwicklung streng kausal wirkt. Welches Recht hätten wir sonst, die bei gleichen Kulturbedingungen auftretenden individuellen Verschiedenheiten als genotypisch bedingt anzusehen? Das Vererbungsexperiment bestätigt uns aber dieses Recht.

Im übrigen ist die Eindeutigkeit der Genwirkung gar nicht so sehr verwunderlich. Erstens müssen ja Vorgänge, an denen sich nur ein Molekül beteiligt, keineswegs notwendig akausal sein; zweitens ist die Wirkung eines Gens während der ontogenetischen Entwicklung physikalisch nicht als *ein* Vorgang, sondern als eine große Zahl von Vorgängen aufzufassen. Selbst wenn jeder dieser Vorgänge für sich akausal wäre, müßte daher doch ebenso wie bei den anorganischen Makroprozessen, die sich ja auch aus akausalen Mikroereignissen zusammensetzen, ein eindeutig bestimmbares Ergebnis resultieren. Ein Gen wird z. B., wie sich aus den Versuchen H ä m m e r l i n g s an der Alge *Acetabularia* schließen läßt, dadurch wirken, daß es bestimmte formbildende Stoffe herstellt, und zwar von ein und demselben Stoff *sehr viele* Moleküle¹⁸⁾. Selbst wenn also bei den einzelnen Reaktionen, an denen das Gen beteiligt ist,

¹⁸⁾ J. H ä m m e r l i n g, Die Naturwissenschaften, Bd. 22, S. 829 (1934).

einmal ein anderer Stoff entstehen sollte, ist der normale Entwicklungsablauf doch gesichert.

Ob das Auftreten einer *Genänderung*, einer Mutation, im Einzelfall nicht streng kausal ist, können wir noch nicht mit Sicherheit ausschließen.

VII.

Auf die Vorgänge in Gehirnzellen will ich nicht ausführlich eingehen. Sicher sind aber auch hier zahlreiche Leistungen nur durch strenge Kausalität verständlich. Ob wir bei der Untersuchung der Gehirnvorgänge bis zur messenden Beobachtung einzelner Atome vordringen müssen, wissen wir nicht. — Auf jeden Fall aber ist folgender Schluß von Alverdes¹⁷⁾ unhaltbar. Alverdes meint, die Frage nach der strengen Kausalität des Organismus sei prinzipiell unentscheidbar; „denn die Lebensläufe greifen weit ins Mikroskopische hinein; im Gehirn z. B. sind die einzelnen Nervenzellen nur mit bewaffnetem Auge zu erkennen, und erst innerhalb dieser spielen sich jene Vorgänge ab, die man als materielle Grundlage der psychischen Funktionen anzusprechen hat.“ Mikroskopische Vorgänge sind keine Mikrovorgänge im Sinne der Atomphysik!

VIII.

Fassen wir kurz zusammen:

1. Die Organismen lassen zum mindesten in der Regel nichts von einer Verstärkung akausalere Mikroprozesse erkennen.
2. Die Jordansche Theorie würde uns auch gar nicht die charakteristischen Leistungen des Organismus verständlich machen, weil für diese Leistungen (wenigstens zumeist) das *Nichtzutreffen* jener Theorie geradezu *notwendig* ist.
3. Nur in einigen wenigen Fällen bleibt es *nicht ausgeschlossen*, daß wichtige biologische Vorgänge auf Grund der atomphysikalischen Gesetze akausal sein könnten.

Offenbar hat Jordan die biologische Bedeutung der Fälle, in denen wir uns den Bedingungen seiner Theorie noch am weitesten *annähern*, erheblich überschätzt. Den Grund sehe ich darin, daß er als Nichtbiologe bei biologischen Betrachtungen an den ihm nächstliegenden Organismus denkt und auch dabei in erster Linie an die für ihn am wichtigsten Vorgänge, nämlich an die Prozesse in dem

Gehirn feines eigenen Körpers. Vielleicht mag J o r d a n es für einen Fehler halten, daß ich soviel über biologische Vorgänge gesprochen habe, die ihm weniger „zentral“ erscheinen. Daher möchte ich zum Schluß noch betonen, daß die von mir herausgegriffenen Beispiele mit Problemen zusammenhängen, auf die wir nicht nur in einzelnen Klassen des Tier- und Pflanzenreichs stoßen, die vielmehr so allgemein biologisch sind, daß wir beim Studium der wichtigsten Leistungen jeder beliebigen Tier- und Pflanzenzelle auf sie geführt werden. J o r d a n dagegen hat lediglich auf einige Spezialfälle hingewiesen, die nicht einmal in jedem Organismus anzutreffen sind. Seine Theorie, das „Wesen des Organischen“ bestehe in dem Vorliegen von Verstärkeranordnungen, muß abgelehnt werden.
