It will doubtless be urged, that on my part also it is an assumption, that the cells to the left of the line Z — U. K. Z. give origin to the larva. In a sense this is true, but the one assumption is prima facie as good as the other; and on the further evidences to be adduced it is a good deal better. (Schluss folgt.)

Das Energieprinzip und die energetische Betrachtungsweise in der Physiologie.

Von Dr. **F. Mareš**,

Professor der Physiologie an der böhmischen Universität zu Prag.

(Schluss.)

Fast alle im Tierkörper frei werdende Wärme entwickelt sich bei der Muskelthätigkeit. Man nimmt an, dass dabei Verbrennungen namentlich der Kohlenhydrate im Muskel stattfinden. Seitdem Hermann und namentlich Pflüger gezeigt haben, dass die Muskelthätigkeit vom gleichzeitigen Sauerstoffverbrauch unabhängig ist, stellt man sich auch vor, dass es sich dabei um exothermale Stoffumwandlungen mit Kohlensäureabspaltung handelt. So wird also die Kohlensäurebildung als direkter Ausdruck des Stoffumsatzes bei der Muskelthätigkeit angenommen. Nun zeigen aber die Untersuchungen von Fleteher (The Journal of Physiol. vol. 23, S. 79), dass die Thätigkeit eines ausgeschnittenen Froschmuskels von keiner Vermehrung der Kohlensäureausscheidung begleitet ist, wenn Muskelstarre sich nicht einmischt. Es zeigt sich zwar während der Muskelthätigkeit eine bedeutende Vermehrung der ausgeatmeten Kohlensäure, auch zeigt das aus dem thätigen Muskel kommende Blut vermehrten Kohlensäuregehalt, welche Vermehrung aber ausbleibt, wenn bloß Blutserum durch den Muskel geleitet wird. Schon Minot glaubte dieser Beobachtung entnehmen zu müssen, dass die Kohlensäure zu den im thätigen Muskel entstehenden Stoffwechselprodukten nicht gehört. Nun zeigt Fletcher, dass im ausgeschnittenen Muskel keine Kohlensäurevermehrung während der Thätigkeit stattfindet. Es ist also eine offene Frage, wo und wie die Kohlensäure entsteht, welche im Blute und den Atmungsausscheidungen während der Muskelthätigkeit konstant vermehrt erscheint.

Daraus ist nun so viel zu entnehmen, dass die Muskelthätigkeit an sich mit der Kohlensäurebildung nicht unmittelbar verbunden zu

---

what is written above concerning the part unknown needs no justification. But if it be imagined possible, that here directly from the fertilised egg the sexual form as it occurs in the horse can arise, a reference to the account of Maupas' results of investigations into the life-histories of a number of Nematoda will dissolve the illusion. (Vide: Arch. Zool. Exper. V. 8, p. 463—624, 11 pl., 1900.)

sein braucht, und dass somit auch die Wärmebildung bei dieser Thätigkeit nicht notwendig mit Kohlensäurebildung verbunden ist. Demnach wäre die Kohlensäureausscheidung kein sicheres Maß der gleichzeitigen Kohlensäurebildung, und diese wäre in keinem unmittelbaren Zusammenhang mit der Wärmebildung. Somit wäre die ausgeatmete Kohlensäure, welche die Hauptmasse des ausgeschiedenen Kohlenstoffs bildet, ein sehr unsicheres Datum für die Berechnung der im Tierkörper entwickelten Wärme.

In den Arbeiten der Schule Pflüger's wurde beim Vergleichen der Wärmeproduktion mit dem Atmungsgasaustausche mehr Gewicht auf den Sauerstoffverbrauch als auf die Kohlensäureausscheidung gelegt. Eine Vergleichung ist aber noch keine Berechnung. Der Sauerstoffverbrauch wird nun von Laulanié der Berechnung der Wärmeproduktion im Tierkörper zu Grunde gelegt, wobei der respiratorische Quotient zur Bestimmung der thermogenen Wirksamkeit des verbrauchten Sauerstoffs dient. Die Bestimmung der ausgeatmeten Kohlensäure hat hier also eine untergeordnete Bedeutung. Es hat schon R. Mayer den Versuchen von Dulong und Despretz gegenüber den Einwand erhoben, dass der Sauerstoffverbrauch mit der Wärmeentwicklung nicht parallel zu gehen braucht; auch Cl. Bernard hat darauf hingewiesen, dass der eingeatmete Sauerstoff nicht direkt zu Verbrennungen verwendet wird; nach Hermann und Pflüger ist die Wärme entwickelnde Muskelthätigkeit von gleichzeitiger Sauerstoffaufnahme in weiten Grenzen unabhängig. Es kann also Wärmeproduktion ohne gleichzeitigen Sauerstoffverbrauch, und umgekehrt, erhöhter Sauerstoffverbrauch ohne gleichzeitige Steigerung der Wärmeproduktion stattfinden.

Im allgemeinen steigt und sinkt wohl der Atmungsaustausch mit der Wärmeproduktion, so dass beide Größen im großen und ganzen verglichen werden können; aber das Verhältnis zwischen ihnen ist kein streng paralleles, nicht nur in quantitativer, sondern auch in zeitlicher Hinsicht, so dass eine Berechnung der Wärmeproduktion auf Grund des Atmungsgaswechsels nur einen komparativen Wert haben kann, zu exakten thermochemischen Gleichungen aber unzulänglich ist.

9. Die bisher angeführten Voraussetzungen zur Berechnung des Energiewechsels aus dem Stoffwechsel sind als den Stoffwechsel allein betreffend für das eigentliche energetische Ziel von untergeordneter Bedeutung. Wir wollen sie also gelten lassen und über die Gründe, welche für ihre Richtigkeit angeführt werden könnten, nicht streiten. Denn dieser Streit wäre belanglos gegenüber der Grundvoraussetzung solcher Berechnungen, welche energetischer Natur ist. Rubner hält es für eine notwendige Folge des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft, dass sich die Berechnung der von einem Organismus frei gemachten Spannkräfte aus den zersetzten Nahrungsstoffen

mit der direkten kalorimetrischen Methode decke (Z. f. B. 3, 365). Kraft und Stoff können sich auf physiologischem Gebiete nicht anders verhalten wie in der unbelebten Natur. Wenn sich die Nahrungsstoffe im Tierkörper spalten, so können sie keine größere oder geringere Wärmemenge liefern, als wenn sie den gleichen Prozess außerhalb des Körpers vollenden. Wenn ein Stoff in einem Kalorimeter und im Tierkörper in gleiche Produkte zerfällt, so muss die produzierte Wärmemenge dieselbe sein (Z. f. B. 30, 81).

Das alles ist im allgemeinen zweifelsohne richtig, aber unter der Voraussetzung, dass ein lebender Organismus sich ebenso verhält wie ein physikalisches Kalorimeter; d. h., dass der Stoffwechsel mit dem Energiewechsel im Organismus zeitlich vollkommen zusammenfällt. Nun ist aber diese Voraussetzung sehr zweifelhaft, ja geradezu antiphysiologisch. In dem Wechsel der aus den Nahrungsstoffen austretenden Energie bis zur Form der aus dem Körper austretenden Wärme liegt ja das, was man Leben nennt; und das gerade wird hier eliminiert. Wenn man nur auf die Ausgangs- und Endstoffe, welche den lebenden Körper passieren, Gewicht legt, den Körper selbst aber außer Acht lässt, so kann man sich denken, dass man ein physikalisches Kalorimeter vor sich hat; durch dieses eigenmächtige Verkennen des eigentlichen physiologischen Problemes wird man aber dennoch aus der Physiologie keine Physik machen können.

Vom physikalischen Gesichtspunkte aus betrachtet erscheint der lebende Körper vielmehr einer Kraftmaschine ähnlich als einem Kalorimeter. Man kann ihn als ein System betrachten, in welchem zeitlich unbestimmte Energiepotentiale autoregulatorisch bestimmten Bedürfnissen entsprechend ausgelöst werden. Denken wir uns eine in ununterbrochenem Gange begriffene Kraftmaschine, welche die durch Verbrennung von Kohle frei werdende Energie zunächst in ihr eigenes Arbeitspotential, z. B. in elastische Spannung, vollkommen umwandeln würde; aus diesem eigenen Energiepotentiale würde die Maschine Arbeit und Wärme leisten, und zwar autoregulatorisch bestimmten Bedürfnissen gemäß, also zeitlich unbestimmt. In dem Maße, als das Energiepotential dieser Maschine verbraucht werden würde, würde durch weitere Verbrennung von Kohle seine Erneuerung erfolgen, so dass die Maschine in ununterbrochenem Gange erhalten werden könnte. Eine beliebige mit irgend einem Energieakkumulator arbeitende Maschine würde sich so verhalten.

Ein Organismus wird durch das Bild einer solchen Maschine viel zutreffender charakterisiert als durch ein Kalorimeter. Das Muskelsystem repräsentiert das eigentliche Energiepotential des tierischen Organismus; die vom Tiere geleistete Arbeit und ziemlich alle von ihm entwickelte Wärme entsteht durch die Muskelthätigkeit; diese Thätigkeit ist aber kein einfacher chemischer Verbrennungsprozess, sondern eine

physiologische Verrichtung, welche durch das Nervensystem entsprechend den Bedürfnissen des Organismus geregelt wird. Von welcher Art das im Muskelsystem aufgespeicherte Energiepotential sein möchte, ist unbekannt, und es giebt zur Zeit auch kein Maß, seine Größe zu bestimmen.

Man nimmt gewöhnlich an, dass das Muskelpotential chemischer Natur sei, und dass es durch Zersetzung der den Muskel zusammensetzenden Stoffe ausgelöst werde. Namentlich sieht man in der Verbrennung des im Muskel während der Ruhe aufgespeicherten Glykogens die eigentliche Energiequelle der Muskelthätigkeit, weil dasselbe infolge dieser Thätigkeit aus dem Muskel verschwindet. Diese Ansichten sind jedoch nur indirekt erschlossen, und sind sogar mit einigen Thatsachen nicht in Einklang zu bringen. Die Annahme einer Stoffumwandlung als Quelle der Muskelenergie ist ziemlich problematisch; die Vermehrung des alkoholischen Extrakts aus dem thätig gewesenen Muskel nach Helmholtz, die Bildung der Milchsäure nach du Bois-Reymond sind ziemlich unbestimmte Anzeichen einer solchen Stoffumwandlung. Durch die Untersuchungen von Fletcher ist auch die Kohlensäurebildung bei der Muskelthätigkeit zweifelhaft geworden. Und wenn sie auch stattfinden mag, so kann ihre Bedeutung auch eine andere sein als die eines bloßen Auswurfstoffes, welcher bei der Energie entwickelnden Stoffumsetzung entsteht. Die in meinem Laboratorium von Dr. Lhoták v. Lhota ausgeführten Untersuchungen über die Einwirkung der Kohlensäure auf die Muskelfunktion (Arch. f. Physiol. 1902) haben gezeigt, dass die Kohlensäure die Auslösung des Muskelpotentials hemmt, so dass sie seine völlige Erschöpfung verhindert und die Arbeitsfähigkeit des Muskels konserviert. Demnach könnte man die Kohlensäurebildung bei der Muskelthätigkeit als eine zweckmäßige Sekretion auffassen, welche mit dem Prozesse der Energieauslösung im Muskel nicht direkt zusammenzuhängen braucht, da sie denselben moderiert.

Eine Umwandlung der die Hauptmasse des Muskels ausmachenden Proteinstoffe findet bei der Muskelthätigkeit nicht in dem Maße statt, dass man sie als Quelle der Muskelenergie ansprechen könnte. Es bleibt also nur die Annahme der Verbrennung des Glykogens übrig; nun ist aber die Muskelthätigkeit direkt an Sauerstoffverbrauch nicht gebunden, und sie ist auch noch dann möglich, wenn alles Glykogen aus dem Muskel verschwunden ist. Der Sauerstoff- und Glykogenverbrauch im Muskel kann auch anders erklärt werden als durch die Annahme, dass die Verbrennung des Glykogens die direkte Quelle der Muskelarbeit und Wärme ist.

Es ist also kein unanfechtbarer Nachweis erbracht, dass die Energiequelle der Muskelthätigkeit in einem Stoffumsatze liegt; keine Thatsache zwingt dazu, anzunehmen, dass das Muskelpotential che-

mischer Natur ist. Diese Annahme empfiehlt sich auch aus Erklärungsgründen nicht, weil die chemische Energie die am wenigsten bekannte Energieform ist, und ihre direkte Umwandlung in die mechanische Energie der Muskelthätigkeit ein ungelöstes Problem vorstellen würde. Damit soll nun nicht gesagt sein, dass das Muskelpotential thatsächlich nicht chemischer Natur ist, sondern nur so viel, dass dies eine Annahme ist, neben welcher auch andere Annahmen Platz haben können. Es handelt sich nur um die Freiheit, sich vorstellen zu dürfen, dass das Muskelpotential nicht chemischer Natur ist, so dass es ohne Stoffumwandlung ausgelöst werden kann. Es könnte die Form der mechanisch-elastischen, oder der kapillar-elektrischen, der osmotischen oder der Oberflächenenergie u. s. w. haben.

Keine von den bis jetzt bekannten physikalisch-chemischen Energieformen ist geeignet, das Muskelpotential vollkommen zu erklären; seine Charakteristik ist durchaus physiologischer Natur. Dieses Potential wird durch den Nervenreiz ausgelöst, und zwar im Verhältnisse der Quantität und vielleicht auch Qualität des Reizes; die ausgelöste Energie wird zugleich durch den Zustand des Muskels selbst, z. B. Spannung, mit bestimmt. Gifte, z. B. Veratrin, verändern die Auslösungsweise des Potentials; die Kohlensäure ändert den zeitlichen Verlauf der Auslösung, hemmt auch dieselbe, so dass sie die völlige Erschöpfung des Potentials verhindert. In der Ermüdung des Muskels zeigen sich ähnliche Aenderungen; die Auslösung wird gehemmt und vermindert. Die Erholung des Muskels stellt das Potential wieder her und erleichtert seine Auslösung; und dazu ist vor allem Ruhe, Zeit nötig. Uebung vergrößert das Muskelpotential und erleichtert zweckmäßig seine Auslösung. Dies alles verschwindet mit dem Tode des Muskels.

Wir können das Muskelpotential als eine eigentümliche Energieform bezeichnen und sie physiologische Energie nennen. Die Mannigfaltigkeit der Energieformen ist durch die bis jetzt bekannten wahrscheinlich noch nicht erschöpft; es werden ja immer neue Formen entdeckt, z. B. Röntgen-, Becquerelstrahlen. Es wäre ein Vorurteil, wollte man die physiologische Energieform gewaltsam den bekannten physikalischen Energieformen unterordnen. Die derzeitigen physikalischen und chemischen Kenntnisse sind noch in vielem anderen ganz unzulänglich, um physiologische Verrichtungen zu erklären. Dadurch soll aber dem entgegengesetzten Vorurteil kein Vorschub geleistet werden, dass die physiologischen Verrichtungen sich niemals auf physikalisch-chemische Vorgänge werden zurückführen lassen.

Die physiologische Energieform ist dem allgemeinen Energieprinzip untergeordnet; es darf mit diesem Begriff die alte Vorstellung der Lebenskraft nicht verwechselt werden. Das physiologische Muskelpotential wird durch die Muskelthätigkeit, Arbeit- und Wärmebildung,

im äquivalenten Verhältnisse vermindert; durch Erholung wird es wiederhergestellt. Nun kann man sich vorstellen, dass zu dieser Wiederherstellung des physiologischen Potentials die chemische Energie der Nahrungsstoffe aufgewendet wird, ebenso wie das Arbeitspotential des Akkumulators einer Kraftmaschine durch Verbrennung von Kohle erhalten wird. Die Nahrungsstoffe repräsentieren ein Vorratspotential, wozu sich gerade die chemische Energie durch ihre leichte Aufbewahrbarkeit und große Konzentration eignet. Diese Nahrungsstoffe selbst sind tote Stoffe, auch wenn sie sich innerhalb lebender Zellen befinden, d. h., ihre chemische Energie lässt sich durch Reize in verhältnismäßiger Weise nicht auslösen. Um physiologisch wirksam zu sein, müssen sie lebendig werden, sie müssen in die lebendige Substanz selbst aufgenommen oder assimiliert werden. Energetisch gesagt: die chemische Energie muss in die physiologische Form umgewandelt werden.

Nun könnte eben diese Umwandlung mit der Stoffzersetzung verbunden sein, gerade so, wie die Umwandlung der chemischen Energie in das Arbeitspotential einer Kraftmaschine mit der Verbrennung der Kohle verbunden ist. Nach dieser Vorstellung würde der Stoffumsatz mit dem assimilatorischen oder anenergischen Prozesse verbunden sein, während die Auslösung des physiologischen Potentials oder der katenergische Prozess ohne Stoffumsatz vor sich gehen könnte. Auf diese Weise würde es begreiflich sein, dass die katenergische Thätigkeit vom Sauerstoffverbrauch und vom Zufluss von Nahrungsstoffen in ziemlich weiten Grenzen unabhängig ist und dass thatsächlich dabei keine erhebliche Stoffzersetzung unzweifelhaft erwiesen ist.

Demgegenüber würde der anenergische Prozess mit Sauerstoffverbrauch und Stoffzersetzung (Verschwinden des Glykogens) verbunden sein, wie ja thatsächlich die Erholung des Muskels nebst Ruhezeit Sauerstoff- und Nährstoffzufuhr braucht. Vielleicht könnte auch die Kohlensäurebildung dem anenergischen Prozesse zugeschrieben werden, da dieselbe, wie erwähnt, nur in mit Blutumlauf versehenen Muskeln infolge deren Thätigkeit vermehrt erscheint; auf diese Weise ließe sich auch der den katenergischen Prozess hemmende Einfluss der Kohlensäure erklären.

Damit soll nicht gesagt sein, dass diese Vorstellung der Wirklichkeit entspricht, sondern nur soviel, dass durch sie manche Thatsachen in Zusammenhang gebracht werden könnten; und weiter, dass die Vorstellung, als ob die katenergische Muskelthätigkeit unmittelbar mit einem Stoffumsatze zusammenhinge, nicht notwendig und ausschließlich durch Thatsachen geboten ist. Es scheint vielmehr, dass gerade diese Vorstellung sich nur auf das Aeußerliche stützt und die intimen physiologischen Erscheinungen außer Acht lässt. Man nimmt an, dass

die vom Organismus geleistete Energie unmittelbar aus der Verbrennung der Nahrungsstoffe herrührt, weil ein Tier Sauerstoff und Nahrungsstoffe einnimmt, und diese Einnahmen seine einzige Energiequelle darstellen. Würden dem Tiere auch andere vom Stoffe unabhängige Energiequellen offen sein, so würde sich vielleicht jenes chemische Vorurteil in der Physiologie nicht so tief eingewurzelt haben. Davon zeugt die in der Physiologie bisher wenig gewürdigte energetische Studie des Botanikers Pfeffer. Nach Pfeffer wird für verschiedene physiologisch wichtige Verrichtungen die Betriebskraft nicht unmittelbar durch chemischen Umsatz geliefert, sondern es treten andere als chemische Energiepotentiale als nächste Quelle der Betriebskraft in den Vordergrund, wie z. B. osmotische, Oberflächen-, Ausscheidungsenergie. So wird ein bestimmter chemischer Umsatz als Mittel und Zweck für Schaffung anderweitiger leistungsfähiger Energiepotentiale verständlich. Die immer wiederkehrende Tendenz, die in der Atmung disponibel werdende Energie direkt als Quelle aller Betriebskraft anzusprechen, ist ein Zeugnis dafür, dass eine klarere Auffassung der obwaltenden Verhältnisse nicht Gemeingut geworden ist. Die summarische Bezugnahme auf die Atmung ist in kausaler Hinsicht ganz unbefriedigend, so lange jeder Aufschluss darüber fehlt, wie die Ueberführung der disponibel werdenden chemischen Energie in mechanische Leistungen vermittelt wird. Das kausale Verständnis fordert in jedem Falle die Reduktion auf die nächsten Faktoren, und in diesem Sinne entspringt eben nicht alle Betriebskraft im Organismus aus chemischer Energie. Der Aufbau und die Erhaltung des Organismus sind ohne Zusammenwirken von Stoff- und Kraftwechsel unmöglich und alle Vorgänge sind in irgend einer, wenn auch noch so indirekten Weise mit dem chemischen Umsatz verkettet. Aber es fehlt die genügende Einsicht in die Mechanik einzelner Funktionen, um das Verhältnis zwischen Stoff- und Kraftwechsel in jeder Hinsicht präzisieren zu können.

Für ein Tier wird man wohl andere Energiequellen als die Zersetzung seiner Nahrungsstoffe nicht annehmen wollen, obzwar auch hier ein wenigstens formales „bis auf weiteres“ nicht schaden würde, um ein Vorurteil zu vermeiden (Eibebrütung!). In letzter Linie entspringt wohl alle vom Tiere geleistete Energie aus der chemischen Energie der Nahrungsstoffe; aber der Verlauf der Linie ist ziemlich indirekt und ihre Krümmungen so gut wie unbekannt. Ebenso wie die chemische Energie der Nahrungsstoffe aus der strahlenden Energie der Sonne entspringt, dieser Ursprung aber durch die organische Thätigkeit der grünen Pflanze vermittelt wird, ebenso kann diese chemische Energie nur durch organische Thätigkeit in Wärme und Arbeit des Tierkörpers umgewandelt werden. Das Verhältnis zwischen dem Stoffumsatze und den Energieleistungen ist hier ein sehr verwickelt vermitteltes, so dass darin beträchtliche zeitliche Verschiebungen vorkommen können.

Zwischen der aus den Nahrungsstoffen austretenden Energie und der vom Tiere geleisteten Arbeit und Wärme liegt ja eben das Leben, oder energetisch ausgedrückt, das zeitlich unbestimmte physiologische Potential, gerade so, wie in einer Kraftmaschine zwischen der durch Verbrennung von Kohle frei gewordenen Energie und der von der Maschine geleisteten Arbeit das zeitlich unbestimmte Arbeitspotential ihres Akkumulators liegt.

10. Betrachten wir von diesem Gesichtspunkte aus die Berechnungen des Energiewechsels aus dem Stoffwechsel. Nehmen wir an, ein Maschineningenieur wollte die energetische Bilanz einer im ununterbrochenen Gange begriffenen und mittelst eines Energieakkumulators arbeitenden Kraftmaschine in der Weise vornehmen, dass er aus der in einem willkürlich abgegrenzten Zeitabschnitt ausgeschiedenen Kohlensäure die Menge der zu gleicher Zeit in der Maschine verbrannten Kohle bestimmen würde, daraus die der Maschine zugeführte Energie berechnete, um diese mit der von der Maschine zu gleicher Zeit geleisteten Energie zu vergleichen. Er wird die gesuchte Gleichung finden, unter der Bedingung, dass zu gleicher Zeit das Energiepotential der Maschine sich nicht geändert hat, oder anders gesagt, dass der energetische Zustand des Systems am Anfang und am Ende des Versuches gleich geblieben ist. Würde es nun aber dem Ingenieur unmöglich sein, den energetischen Zustand seines Systems zu bestimmen und zu kontrollieren, so würde er wahrscheinlich seine Bilanz auf diese Weise nicht vornehmen.

In dieser Lage befindet sich ein Physiologe, welcher die energetische Bilanz des Tierkörpers auf Grund des Stoffwechsels berechnen will. In seiner Rechnung fehlt der Hauptfaktor, die lebendige Maschine selbst mit ihrem physiologischen Potential, welches er weder bestimmen noch kontrollieren kann. Will er seine Rechnung dennoch machen, so kann er es nur unter der unbewiesenen und unbeweisbaren Voraussetzung, dass sich der energetische Zustand des Tierkörpers während des Versuches nicht geändert hat.

Man begnügt sich gewöhnlich, dieser Voraussetzung in der Weise zu entsprechen, dass man die Forderung aufstellt, die Temperatur des Tierkörpers müsse am Anfang und am Ende des Versuches gleich sein. Durch die Temperatur, bezw. durch die im Tierkörper enthaltene freie Wärme ist aber sein energetischer Zustand nur ganz äußerlich bestimmt. Man hat bisher kein Mittel zur Bestimmung des energetischen Zustandes des lebenden Tierkörpers; man kann denselben am Anfang und am Ende des Versuches nicht verbrennen, um sein Energiepotential als Verbrennungswärme zu messen. Nebstdem wäre es möglich, dass gerade das physiologische, d. i. das durch einen Reiz auslösbare Energiepotential bei der Verbrennung gar nicht als Verbrennungswärme zum Vorschein kommen müsste; denn in einem materiellen

Systeme sind Energiepotentiale denkbar, welche bei der Verbrennung des Systems nicht als Verbrennungswärme frei werden.

Das physiologische Energiepotential wird namentlich durch das Muskelsystem repräsentiert. Man könnte also der Voraussetzung des Gleichgewichts im energetischen Zustande des Tierkörpers in der Weise zu entsprechen suchen, dass man die Muskelthätigkeit während des Versuches möglichst einschränkte. Diese Forderung wird auch bei den Energie- und Stoffwechselbilanzversuchen gestellt, sie ist aber bei einem Tiere nicht leicht zu erfüllen. Und wenn sie auch vollkommen erfüllt werden könnte, so würde vielleicht die vollkommene Muskelruhe das energetische Gleichgewicht wieder im entgegengesetzten Sinne stören, indem dabei die anenergetischen Prozesse Uebergewicht erhalten könnten. Man hat, um bei den Energie- und Stoffwechselversuchen das Muskelsystem vollständig auszuschließen, zur Kurarisierung des Tieres gegriffen (Z. f. B. Bd. 42, S. 309); dadurch aber wird nicht das Muskelsystem selbst, sondern gerade der regulierende Einfluss des Nervensystems auf die Muskelthätigkeit ausgeschlossen. Die Ausschließung des Muskelsystems aus dem Energiewechsel würde eine fast vollständige Aufhebung dieses Energiewechsels bedeuten.

Wie alle organischen Verrichtungen, so ist auch die Thätigkeit des Muskelsystems durch zweckmäßige Selbstregulierung ausgezeichnet, so dass die Funktionsfähigkeit des Systems in gewissen Grenzen konstant erhalten wird. In dem Maße, als der Muskel durch die katenergische Thätigkeit Arbeit und Wärme leistet, wird sein physiologisches Potential durch die anenergische Thätigkeit wieder erneuert. Diese beiden Thätigkeiten bedingen sich gegenseitig, so dass ihr Zusammenwirken einen stationären Zustand hervorbringt. Das gegenseitige Verhältnis zwischen der anenergischen und katenergischen Thätigkeit ist vom stofflichen Gesichtspunkte aus unter der Bezeichnung des Assimilierungs- und Dissimilierungsprozesses von Claude Bernard nachdrücklich hervorgehoben worden, und es wurde namentlich von Hering zu einer Theorie ausgearbeitet, welche die physiologischen Erscheinungen der Muskelthätigkeit, insbesondere aber der Sinnesthätigkeit ausgezeichnet zu erklären im stande ist.

Bei allen durch Selbstregulierung unterhaltenen stationären Zuständen entstehen aber periodische Schwankungen, um einen mittleren Zustand, weil die Regulierung immer zeitlich etwas verschoben ist, etwas nachhinkt. Diese zeitliche Verschiebung findet auch in dem Verhältnisse zwischen der katenergischen und anenergischen Thätigkeit statt, indem die letztere sich um so mehr verspätet, als die erstere intensiver und andauernder gewesen ist. Diese zeitliche Verschiebung offenbart sich namentlich in den Erscheinungen der Erholung des Muskels nach intensiver Arbeitsleistung, welche vor allem Zeit braucht.

Die Perioden im stationären Zustande des Energiewechsels offen-

baren sich beim Organismus äußerlich durch das Wachen und Schlafen und finden ihren energetischen Ausdruck namentlich in der täglichen periodischen Schwankung der Körpertemperatur. Nebstdem können aber auch kürzere Perioden vorkommen, je nachdem der Organismus gleichmäßig thätig ist, oder aber größere und intensivere Arbeitsleistungen vornimmt, welche ihn dann zum längeren Ausruhen zwingen. Die energetische Betrachtungsweise in der Physiologie kann von der Erforschung der Ermüdungs- und Erholungserscheinungen namentlich des Muskelsystems eine Aufklärung und Sicherung ihrer Grundlagen erwarten.

11. Die energetischen Bilanzen, in welchen der Energiewechsel aus dem Stoffwechsel berechnet wird, sind nach den bis jetzt veröffentlichten Versuchen als gelungen zu betrachten: die aus dem Stoffwechsel berechnete Wärme stimmt mit der vom Tiere thatsächlich abgegebenen vollkommen überein. Daraus wird aber geschlossen, dass sich ein Organismus ebenso wie ein physikalisches Kalorimeter verhält, so dass man den Tierkörper selbst als Kalorimeter zur Bestimmung der Verbrennungswärme der Nahrungsstoffe benützen könnte (Z. f. Biol. Bd. 30, S. 140). Namentlich wird aber darauf Nachdruck gelegt, dass durch diese Versuche die Geltung des Gesetzes der Energieerhaltung im Organismus erwiesen ist.

Diese Schlussfolgerungen sind meiner Meinung nach verkehrt. Denn sie gründen sich auf die unbewiesene Voraussetzung, dass im Verlaufe des Versuches der energetische Zustand des Tierkörpers gleich geblieben ist. Diese Voraussetzung ist aber viel zweifelhafter als die Geltung des Energieprinzips in der Physiologie. Man sollte also dieses Prinzip voraussetzen und aus der Uebereinstimmung der aus dem Stoffwechsel berechneten Wärme mit der vom Tiere thatsächlich abgegebenen schließen, dass der energetische Zustand des Tierkörpers sich im Verlaufe des Versuches nicht geändert hat. Diese Schlussfolgerung hätte nicht nur eine logisch bessere Berechtigung, sondern auch eine physiologisch größere Bedeutung, weil man auf diese Weise die Bedingungen feststellen könnte, unter welchen der energetische Zustand des Tierkörpers auf gleichem Niveau erhalten, bezw. erhöht werden kann. Es würde auch niemand in dem Falle, wenn die Berechnungen nicht übereinstimmen würden, schließen, dass das Energieprinzip in der Physiologie keine Gültigkeit habe, sondern dass sich der energetische Zustand des Tierkörpers während des Versuches geändert hat.

Das Bestreben nach dem Nachweis der Geltung des Energieerhaltungsprinzips in der Physiologie entsprang dem Bedürfnisse, den Begriff der Lebenskraft als Quelle der tierischen Arbeit und Wärme zu überwinden. Zu diesem Behufe mussten Voraussetzungen gemacht werden, welche den Tierkörper als ein physikalisch-chemisches System darstellten, welches seinen Zustand im Verlaufe des Versuchs nicht än-

dert. Diese Bedeutung haben die Forderungen eines Stoffwechsel- und Energiegleichgewichts bei solchen Versuchen, um den Tierkörper in der willkürlich abgegrenzten Versuchszeit als ein stofflich und energetisch vollkommenes System ansehen zu können. Denn das Energieerhaltungsprinzip gilt nur für energetisch vollständige oder abgeschlossene Systeme.

Nun ist aber der alte Begriff der Lebenskraft als Quelle der tierischen Arbeit und Wärme durch die allgemeinen Betrachtungen R. Mayer's schon längst überwunden, und seine Wiederaufnahme ist ohne Verletzung des Gesetzes des logischen Grundes unmöglich geworden. Es wird auch dieser Begriff in jenem Sinne heute von niemand angenommen. Wenn man im Sinne des Neovitalismus von einer Lebenskraft spricht, so hat dieser Begriff nicht die Bedeutung einer Kraft als Energiequelle, sondern die Bedeutung einer richtenden oder gesetzgebenden Kraft, wie sie R. Mayer selbst im Sinne hatte, als er die Lebenserscheinungen mit einer wundervollen Musik verglich, bei welcher nur in dem Zusammenwirken aller Instrumente die Harmonie liegt: in der Harmonie nur liegt das Leben. Diesem Begriff ist aber vom physikalisch-chemischen oder energetischen Gesichtspunkte aus gar nicht beizukommen, weil er von einer ganz anderen Betrachtungsweise der Lebenserscheinungen ausgeht.

Es ist also unzeitgemäß, sich um Beweise der Gültigkeit des Energieprinzips in der Physiologie zu bemühen; es wäre auch verlorene Mühe, weil ein solcher Beweis auf dem bisher eingeschlagenen Wege gar nicht zu erbringen ist. Der Beweis müsste an einem energetisch vollkommenen oder abgeschlossenen Systeme versucht werden. Ein Tierkörper in einem willkürlich abgegrenzten Zeitabschnitt seines Lebens ist aber kein solches System; man kann seinen energetischen Zustand vor und nach dem Versuche nicht bestimmen, man kann, wie Rosenthal sagt, keine Inventur aufnehmen. Der beweisende Versuch müsste sich über das ganze Leben eines Individuums erstrecken, mit der Eifurchung beginnen und mit der Verbrennung der Leiche enden. Wäre ein solcher Versuch möglich, so könnte er zeigen, dass die Energiewandlung durch einen Organismus nach dem Aequivalenzgesetze erfolgt. Und auch ein solcher Versuch wäre doch noch unvollständig, weil dabei das Energiepotential unbestimmt bliebe, mit welchem die Eifurchung beginnt, und es bliebe zweifelhaft, ob das gesamte Energiepotential des Tierkörpers durch seine Verbrennung als Wärme frei wird.

12. Dagegen wäre es an der Zeit, jene Voraussetzungen einer Prüfung zu unterziehen, welche gemacht werden mussten, als es sich in der Physiologie um die Ueberwindung des Begriffes der Lebenskraft durch das Energieprinzip handelte. Diese Voraussetzungen stellen den Tierkörper dar als ein physikalisch-chemisches Objekt, als ein energetisch

und stofflich konstantes Gebilde. Da er aber kein solches ist, so wird die Forderung aufgestellt, aus ihm ein solches zu machen, d. i., den Tierkörper in Stoff- und Energiewechselgleichgewicht zu bringen. Diese Voraussetzungen und Forderungen sind offenbar antiphysiologisch, sie rühren aus der Zeit her, als man die Physiologie in Physik und Chemie ohne Rest aufzulösen suchte, um dem Gespenst der Lebenskraft zu entgehen. Da nun dieses Gespenst gebannt ist, so kann die Physiologie wieder als selbständige Wissenschaft auftreten und antiphysiologische Voraussetzungen und Forderungen aus ihrem eigenen Gebiete verbannen.

Die am meisten charakteristische Eigenschaft, durch welche sich ein Organismus bei objektiver Betrachtungsweise von den physikalisch-chemischen Körpern unterscheidet, ist seine stetige Veränderlichkeit und Anpassung. J. Gaule hebt bei Gelegenheit seiner Untersuchungen über die Veränderlichkeit des Froschorganismus hervor (Pflgr.'s Arch. Bd. 87, S. 473), dass die Physiologie von den Veränderungen des Organismus wenig Notiz genommen hat. Das rührt vielleicht daher, dass sie den Begriff des Normalen eingeführt hat. Aber giebt es nicht mehrere, verschiedene normale Organismen derselben Art? Das Bestreben, aus der Physiologie eine exakte Wissenschaft zu machen, scheint dem zu widerstreben; so gut wie der Physiker mit den Eigenschaften bestimmter Aggregatzustände, der Chemiker mit denen bestimmter Substanzen rechnet, so gut will auch der Physiologe ein gesetzmäßiges Verhalten seiner Lebewesen konstatieren. Nun ist aber ein Organismus in stetiger Veränderung begriffen; und doch gehen alle davon aus, dass ein Organismus ein bestimmtes Ganzes sei, das bestimmte Reaktionen erwarten lasse, gerade als ob wir es bei einem Tiere zu thun hätten mit einem physikalischen oder chemischen Körper oder einer Maschine. „Das Leben, sagt Gaule, ist nicht ein Vorgang, bei dem der Organismus ruhig bleibt, fortwährend wird in ihm eingerissen und wieder aufgebaut. Nur sind es morphologische Gebilde, die immer zum Opfer fallen und wieder erscheinen. Und darin besteht die Reform, die ich vorschlagen möchte. Geben sie das Bild, als sei der Organismus eine Maschine, welche die Umwandlung der Kräfte vollzieht, auf. Stellen sie sich das Leben vor als einen chemischen Prozess, der sich die Gefäße, in denen er sich vollzieht, selbst bildet."

Der Reformgedanke Gaule's verdient volle Anerkennung, insofern er verlangt, dass diejenigen antiphysiologischen Voraussetzungen, welche die Physiologie gemacht hat, um möglichst bald die Exaktheit der Physik und Chemie zu erreichen, aufgegeben werden sollen, weil ein Organismus kein konstantes physikalisch-chemisches Gebilde ist, sondern gerade durch seine stetige Veränderung und Anpassung charakterisiert ist. Durch jene antiphysiologischen Voraussetzungen hat die Physiologie nichts mehr als eine Pseudoexaktheit erlangt, und

zwar um den Preis ihrer Stellung als selbständige Wissenschaft. Ja, jene Voraussetzungen sind zu förmlichen Vorurteilen geworden, welche den Fortschritt der Physiologie durch Vorspiegelung falscher Probleme hemmen. Keine Wissenschaft kann völlig voraussetzungslos vorgehen, jede muss aber vorurteilslos sein und ihre Voraussetzungen sofort aufgeben oder korrigieren, wenn sie sich als unnötig, hinderlich, oder gar verfehlt gezeigt haben.

Wenn aber Gaule an dem Bilde eines Organismus als Maschine Anstoß nimmt aus dem Grunde, weil die Organe einer Maschine unveränderlich sind, während die Organe eines Tierkörpers in einer stetigen Veränderung begriffen sind, und wenn er verlangt, man solle dieses Bild aufgeben und das Leben sich als einen chemischen Prozess vorstellen, der sich die Gefäße, in denen er sich vollzieht, selbst bildet, so meine ich demgegenüber, dass jedes Bild zulässig ist, welches zur Darstellung des Zusammenhanges der Erscheinungen nützlich ist, unter der Bedingung allerdings, dass das Bild nicht für die Wirklichkeit selbst gehalten werde. Das Bild eines Organismus als Maschine ist sehr nützlich zur Veranschaulichung des Energiewechsels und der zweckmäßigen Selbstregulierung seiner Verrichtungen; es wird dieses Bild auch von niemand für den Ausdruck der Wirklichkeit gehalten werden, weil anderweitige wesentliche Unterschiede zwischen einem Organismus und einer Maschine augenfällig sind. Demgegenüber scheint mir die Vorstellung des Lebens als eines chemischen Prozesses, der sich seine Gefäße selbst bildet, nicht viel Anschauliches zu enthalten.

13. Die chemische Betrachtungsweise ist in der Physiologie nicht neu, im Gegenteil, sie ist zu einem eingewurzelten Vorurteil geworden, welches die Physiologie viel mehr beeinträchtigt als die energetische oder Maschinenbetrachtungsweise. Die chemische Betrachtungsweise spiegelt der Physiologie falsche Probleme vor, indem man glaubt, dass man das organische Geschehen einmal auf einen chemischen Prozess wird zurückführen können. Nun haben sich aber die bisherigen Begriffe und Kenntnisse der Chemie für die Erklärung der physiologischen Erscheinungen als unzulänglich erwiesen, und so macht sich jetzt eine Auffassung geltend, als „sei die Chemie und Physik überhaupt außer stande, zur Lösung des Rätsels vom Leben etwas Entscheidendes beizutragen", wie Ostwald (Naturw. Rundschau 1901, S. 546) sagt, indem er demgegenüber auf die möglichen Fortschritte der Chemie, namentlich der Enzyme hinweist und ihre Wichtigkeit für die Physiologie hervorhebt.

Die Enzymwirkungen sind für die Physiologie keine neue Entdeckung, und es ist auch keine neue Erkenntnis, dass durch dieselben das Rätsel vom Leben nicht gelöst werden kann. Die großen Hoffnungen, welche in dieser Beziehung in neuerer Zeit erweckt werden, rühren daher, dass die Chemiker den Enzymwirkungen größere Aufmerksamkeit widmen und ihre Analogie mit chemischen Katalysen

hervorheben. Namentlich aber hat dazu die Entdeckung der Zymase der alkoholischen Gärung beigetragen, durch welche ein bisher für vital gehaltener Prozess sich als ein enzymatischer gezeigthat. Und so wird in gläubigen Gemütern die Hoffnung rege, dass der Lebensprozess überhaupt vielleicht einmal als ein enzymatischer wird erklärt werden können.

Hofmeister (Naturw. Rundschau 1901, S. 581) hat es versucht, ein Bild der zukünftigen Biochemie der Enzyme zu entwerfen, welches in der Annahme so vieler spezifischer Enzyme besteht, als es in einer Zelle verschiedene chemische Reaktionen giebt. Die Darstellung der gesamten im Protoplasma sich abspielenden Vorgänge durch eine zusammenhängende Kette chemischer und physikalischer Formeln zu geben, sagt Hofmeister, ist die mühsame Aufgabe der Zukunft. Aber schon heute darf man sagen, dass die Betrachtung der Zelle als einer mit chemischen und physikalischen Mitteln arbeitenden Maschine nirgends zu Problemen führt, welche die Annahme anderer als bekannter Kräfte unvermeidlich erscheinen ließen, und dass, soweit abzusehen, hier für jene Resignation, die sich einmal in einem „Ignorabimus", das andere Mal in vitalistischen Schlussfolgerungen äußert, kein Anlass vorliegt.

Das Gespenst der Lebenskraft scheint noch immer die Ruhe wissenschaftlicher Träume zu stören, und der bewährte Zauberspruch, dass im Leben keine anderen als die bekannten Kräfte wirken, wird noch immer wirkungsvoll dagegen gesprochen. Nun sind aber auch die Enzyme so ziemlich unbekannte Kräfte; es sind auch keine bekannten Stoffe; bekannt sind nur Wirkungen, exothermale Spaltungsprozesse, deren unbekannte Ursachen Enzyme genannt werden. Es ist die Frage, ob die energetische Betrachtungsweise diesen Zusammenhang nicht besser aufklären würde, als die stofflich-chemische. Oppenheimer (Die Fermente und ihre Wirkungen, Leipzig 1900) definiert den Begriff „Ferment" als das materielle Substrat einer eigenartigen Energieform, die von lebenden Zellen erzeugt wird, und welche im stande ist, die Auslösung potentieller Energie chemischer Stoffe zu bewirken.

Was nun die Lösung des Rätsels vom Leben durch die Erforschung der Enzyme anbelangt, so ist hier zu bedenken, dass die Enzyme Produkte der Zellenthätigkeit sind, also das Leben voraussetzen und ihm dienstbar sind. Die lebenden Zellen machen und beherrschen bestimmte Prozesse, wozu sie sich eigenartiger Agentien, der Enzyme, bedienen; das sind aber gerade nur die exothermalen Spaltungsprozesse. Die synthetischen endothermalen Aufbauprozesse dagegen sind die Prärogative der lebenden Substanz selbst und werden von derselben direkt verrichtet. Cl. Bernard bezeichnete diese schöpferischen organischen Aufbauprozesse als das quod proprium vitae, und betrachtete die Prozesse der organischen Zerstörung nicht als direkte Oxydationen,

sondern als Fermentationen. Die Enzymtheorie der organischen Spaltungsprozesse ist also gar nicht neu, ebenso wie die Erkenntnis, dass durch dieselbe nicht das Leben selbst erklärt werden kann.

Es wird vielleicht in der Zukunft gelingen, die chemische Natur und Wirkungsweise der Enzyme aufzuklären und dieselben den chemischen Katalysatoren anzureihen; ja es kann möglicherweise auch gelingen, Enzyme künstlich herzustellen und die spezifischen organischen Spaltungsprozesse nachzuahmen. Aber eine Wissenschaft, welche ihre Hoffnungen auf zukünftige Kenntnisse stellt, dokumentiert sich dadurch als Glaube. Vielleicht wird die Zukunft solche Hoffnungen gar nicht erfüllen, vielleicht werden ihr solche Aufgaben, welche ihr unsere Unwissenheit zu lösen auferlegt, als falsch gestellte Fragen erscheinen, deren Lösung vielmehr Erkenntnis als Kenntnisse erfordert hätte.

Das Rätsel vom Leben wird durch keine Wissenschaft gelöst werden, weil es ein metaphysisches, alle menschliche Erfahrung übersteigendes Rätsel ist. Die Aufgabe der Wissenschaft besteht nicht darin, das Wesen des Lebens aufzuklären, oder überhaupt die wahre Wirklichkeit aufzudecken, sondern darin, die Objekte und Geschehnisse menschlicher Erfahrung gesetzmäßig zu ordnen. Die Lebenserscheinungen bilden unter anderen Naturerscheinungen eine durch eigentümliche Gesetzmäßigkeiten wohl charakterisierte Gruppe von Objekten und Geschehnissen, und die Aufgabe der Physiologie ist es, diese Gesetzmäßigkeiten aufzustellen, nicht aber das Wesen der Lebenserscheinungen zu erforschen. Das Bestreben, die Lebenserscheinungen auf physikalisch-chemisches Geschehen zurückzuführen, die Physiologie in Physik und Chemie aufzulösen, zielt dahin, nachzuweisen, dass das biologische Geschehen im Grunde identisch ist mit dem physiko-chemischen Geschehen. Dieses Ziel ist metaphysisch und sein Verfolgen muss die Wissenschaft auf metaphysische Irrwege führen.

14. Die Mannigfaltigkeit der Lebenserscheinungen ist bedeutend größer als die der anderen Naturerscheinungen. Zur gesetzmäßigen Ordnung der Lebenserscheinungen bedarf die Physiologie mehrerer Gesichtspunkte und Betrachtungsweisen, als deren in der Physik und Chemie üblich und zureichend sind.

In erster Linie nimmt die Physiologie den Gesichtspunkt der Physik und Chemie ein und betrachtet die Organismen als bloße Naturobjekte oder Körper, deren Veränderungen ihren Bedingungen nach festgestellt und gesetzmäßig geordnet werden sollen. Von diesem Gesichtspunkte aus ergiebt sich der kausale Zusammenhang der Lebenserscheinungen; eine mechanisch-kausale oder physikalisch-chemische Theorie der Lebenserscheinungen ist die Frucht dieser rein objektiven Betrachtungsweise.

Es ist zweifellos, dass durch die rein objektive Betrachtungsweise ein großer Teil der physiologischen Aufgabe gelöst werden kann, ja

es ist zuzugeben, dass gewisse Gebiete der Physiologie keine andere Betrachtungsweise zulassen als die rein objektive. Ein Physiologe kann zu seinen Untersuchungen ein solches Gebiet wählen, wo außer dem rein objektiven kein anderer Gesichtspunkt anzuwenden ist. Nun wird aber leicht eine solche Abstraktion von anderen möglichen Gesichtspunkten als deren Negation aufgefasst, und die rein objektive Betrachtungsweise als die wissenschaftlich allein zulässige erklärt, durch welche die ganze Aufgabe der Physiologie vollständig gelöst werden kann. Diese Meinung führt nun allzu leicht dazu, dass man die rein objektive Betrachtungsweise für die rein objektive Existenzweise der Organismen hält und in der physikalisch-chemischen Theorie der Lebenserscheinungen ihr eigentliches Wesen, die „objektive Wahrheit" erblickt.

Die Lebenserscheinungen zeigen Gesetzmäßigkeiten, welche durch die mechanisch-kausale Formel allein nicht ausgedrückt werden können. Die zweckmäßige Selbstregulierung physiologischer Verrichtungen ist durch das rein kausale Verhältnis des Erfolgens nur einseitig erklärt; denn dieses Erfolgen geschieht in einer ganz bestimmten Richtung, welche zur Erhaltung des Organismus hinzielt. Hier ist der teleologische Gesichtspunkt unumgänglich, und er wird unwillkürlich auch von denjenigen eingenommen, welche ihn aus dem Grunde verwerfen, dass er in der Physik und Chemie unzulässig, weil unnötig ist, obzwar in der Technologie und im Maschinenwesen der teleologische Gesichtspunkt üblich, ja in erster Linie maßgebend ist. Man wollte diesen Gesichtspunkt als irreführend und unwissenschaftlich aus der Biologie ausschließen, in der Meinung, dass die rein kausale Erklärung der physiologischen Verrichtungen, wenn sie einmal gegeben werden könnte, vollkommen ausreichend wäre und dass die teleologische Betrachtungsweise nur unsere Unwissenheit in Betreff der kausalen Instrumentation der physiologischen Verrichtungen anthropomorphistisch verschleiere. Man stellte die kausale Betrachtungsweise in Widerspruch zu der teleologischen, als wenn die eine die andere ausschließen würde. Schon Lotze hatte gezeigt, dass beide Betrachtungsweisen koordiniert sind, indem sie sich gar nicht widersprechen, sondern einander gegenseitig ergänzen; ihr gegenseitiges Verhältnis ist kein aut-aut, sondern ein et-et.

Die Organismen sind zunächst Objekte des beobachtenden Physiologen, der ihre Veränderungen gesetzmäßig nach kausalen und teleologischen Gesichtspunkten zu ordnen hat. Nebstdem aber können die Organismen auch etwas für sich selbst sein, worauf schon die teleologische Gesetzmäßigkeit ihres Verhaltens hinweist. Der beobachtende Physiologe, welcher ja selbst ein lebender Organismus ist, kann seine Aufmerksamkeit auf diejenigen Lebenserscheinungen richten, welche er selbst unmittelbar erlebt und welche in ihm allein sich vollziehen.

Dadurch wird der psychologische Gesichtspunkt gewonnen. In neuerer Zeit macht sich in der Physiologie eine Richtung geltend, welche die vollständige Verbannung des psychologischen Gesichtspunktes aus der Physiologie verlangt. Die Physiologie soll danach die Lehre von den körperlichen Lebenserscheinungen sein, durch welche Definition alles Psychische aus dem Gebiete der Physiologie ausgeschlossen wird. Das Arbeitsgebiet der Physiologie solle nur soweit reichen, als es sich um objektiv an den Organismen wahrnehmbare Erscheinungen handelt. Die objektive Physiologie solle alle subjektiven Elemente aus ihrem Gebiete verbannen. Alle psychischen Dinge müssten der Physiologie fern und der Psychologie überlassen bleiben. Eine reinliche Scheidung von Physiologie und Psychologie müsse für die Zukunft unbedingt angestrebt werden (Verworn, Z. f. allg. Physiol. Einleit.).

Es ist zweifelsohne, dass eine reinliche Scheidung zwischen der rein objektiven und der psychologischen Betrachtungsweise in der Physiologie dringend notwendig ist. Das soll aber nicht Ausscheidung dieser und ausschließliche Anwendung der anderen bedeuten. Eine solche Definition oder vielmehr Grenzeneinengung auf die rein objektive Physiologie kann sich ein Physiologe oder eine physiologische Zeitschrift auferlegen, die Physiologie aber nicht. Es ist richtig, dass die psychologische Betrachtungsweise irreführend und verwirrend werden kann, wenn sie auf Gebieten angewendet wird, wo durch dieselbe gar nichts gewonnen, sondern eher alles verworren werden kann. Es wäre ein Missbrauch der psychologischen Betrachtungsweise, wenn man das Seelenleben der Protisten, die Entwicklung des psychischen Lebens im Protistenreich, die Molekularpsychologie und ähnliches dadurch erforschen wollte. Es wäre unangemessen von Sinnesorganen, Empfindungen oder gar von Gefühlen der Pflanzen zu sprechen. In solchen Gebieten ist die rein objektive Betrachtungsweise und auch eine rein objektive Nomenklatur unbedingt anzustreben.

Das bedeutet aber nicht, dass die psychologische Betrachtungsweise aus der Physiologie überhaupt verbannt werden muss; es soll nicht einmal das bedeuten, dass es bei Protisten und Pflanzen überhaupt keine psychischen Erscheinungen giebt. Es handelt sich um die reinliche Scheidung der physiologischen Betrachtungsweisen und die Abgrenzung jener Gebiete, wo ihre Anwendung erforderlich und notwendig, weil nützlich ist.

Es ist nicht einmal möglich, alle psychischen Dinge aus dem Gebiete der Physiologie zu verbannen und der Psychologie aufzubürden; diese würde die meisten an die Physiologie zurückbefördern, alle jene nämlich, wo es sich um die Feststellung der körperlichen Bedingungen dieser psychischen Erscheinungen handelt. Diese Feststellung erfordert eine psychologisch-subjektive und eine physikalisch-objektive Betrachtungsweise, wie sie thatsächlich nebeneinander und sich gegenseitig

ergänzend in der Sinnesphysiologie angewendet werden. E. H. Weber, Purkyně, Helmholtz, Hering, Goltz werden wohl niemals zu den reinen Psychologen gezählt werden, sie bleiben eine Zierde der Physiologie.

Damit haben wir die in der Physiologie möglichen, üblichen und nützlichen Betrachtungsweisen noch nicht erschöpft. Ein physiologischer Beobachter erlebt bei dieser Thätigkeit Mannigfaltiges; neben den Empfindungen als Objekten erlebt er Neugier, Erwartung, Zweifel, Gewissheit, Lust — Unlust; er strengt seine Aufmerksamkeit an, schließt, wählt, entscheidet sich, handelt. Dies alles sind wirklich Lebenserscheinungen, ja man könnte meinen, dass gerade in diesen Erlebnissen das Leben selbst bestehe, und nicht in den Empfindungen — Objekten. Man könnte diese Betrachtungsweise die eigentlich vitalistische nennen. Nun ist es Frage, ob dieser spezifisch vitalistische, rein subjektive, d. i. auf das Subjekt selbst gerichtete Gesichtspunkt aus der Physiologie auszuschließen und der Psychologie allein zugewiesen werden solle, ja man könnte fragen, ob nicht ein solcher Gesichtspunkt vielleicht vollständig zu negieren sei. Wir lassen diese Fragen beiseite und wollen einfach zusehen, ob dieser vitalistische Gesichtspunkt thatsächlich in der Physiologie üblich und nützlich ist. Das ist er in der That; Lust- und Unlust-Gefühle und wählende Thätigkeiten werden den geringsten Lebewesen zugesprochen; die am meisten charakteristischen Begriffe der Physiologie sind gerade von diesem vitalistischen Gesichtspunkte aus gebildet: Thätigkeit, Aktivität; ja sogar die Hauptbegriffe der Naturwissenschaft überhaupt haben diesen Ursprung: Kraft, Energie.

Alle genannten Gesichtspunkte und Betrachtungsweisen sind in der Physiologie üblich und nützlich; sie ergänzen sich gegenseitig zu einer Gesamtübersicht der großen Mannigfaltigkeit der Lebenserscheinungen. Es ist unmöglich, die ganze Aufgabe der Physiologie von einem einzigen Gesichtspunkte aus unter strenger Ausschließung aller anderen zu lösen. Ja die ausschließliche Anwendung einer einzigen Betrachtungsweise, z. B. der rein objektiven, würde ein so verzerrtes Bild des Zusammenhanges der Lebenserscheinungen entwerfen, dass es einem wissenschaftlich unverdorbenen Menschen lächerlich erscheinen müsste.

Man muss aber deutlich erkannt haben, dass es sich hier um Gesichtspunkte und Betrachtungsweisen des Beobachters handelt, nicht aber um Existenzweisen der wahren Wirklichkeit, wie sie an sich sein möchte. Ist man sich darüber nicht klar, so kann man leicht die Betrachtungsweise mit der Existenzweise verwechseln; so wurde namentlich die rein objektive Betrachtungsweise für die „objektive", das ist an sich wahre Existenzweise eines Organismus angesehen, und die physikalisch-chemische oder kausal-mechanische Theorie der Lebenserscheinungen für die „objektiv" wahre Erkenntnis des eigentlichen

Wesens des Lebens gehalten. Da es nun nur eine wahre Wirklichkeit geben kann, so wurde der mechanisch-materialistische Wahn unvermeidlich; oder es mussten zwei grundverschiedene Wirklichkeiten, die rein objektive und die rein subjektive, angenommen werden, welche im Organismus unvereinbar und unbegreiflich nebeinander bestehen würden.

Der Kampf zwischen Mechanismus und Vitalismus, der in neuerer Zeit wieder zu entbrennen droht, ist ein Kampf zwischen zwei metaphysischen Glaubensbekenntnissen. Denn die rein objektive mechanisch-kausale Betrachtungsweise kann neben der rein subjektiven oder vitalistischen geübt werden, beide stören sich nicht und schließen sich nicht aus, sondern ergänzen sich gegenseitig. Streit entsteht, wenn Betrachtungsweisen mit Daseinsweisen verwechselt werden; ein Kampf zwischen zwei Alliierten, welche sich gegenseitig wegen metaphysischer Nebel verkennen. Diese Nebel entspringen der Anmaßung, die an sich wahre Wirklichkeit naturwissenschaftlich zu erkennen. Soll die Wissenschaft Wahrheit suchen? Versteht man unter Wahrheit die an sich bestehende Wirklichkeit: Nein! Versteht man darunter die Uebereinstimmung des Denkens mit dem gesetzmäßigen Verhalten der Objekte menschlicher Erfahrung: Ja! Dieses ist die eigentliche menschliche Wahrheit, es giebt hier keine andere. Zur Erforschung dieser Wahrheit sind alle Betrachtungsweisen heranzuziehen, welche dazu beitragen können. Eine Wissenschaft von der wahren Wirklichkeit, Metaphysik genannt, kann noch heutzutage nicht und namentlich nicht als Naturwissenschaft auftreten.

15. R. Mayer's neue Betrachtungsweise des Naturgeschehens tritt in neuerer Zeit in den Vordergrund. Die Energetik reiht sich der physikalisch-chemischen oder stofflich-mechanischen Betrachtungsweise an und wird dieselbe vielleicht einmal in Vielem ersetzen, da sie geeignet ist, die Beziehungen zwischen den Erscheinungen einfacher und ohne phantasiereiche Hypothesen darzustellen. Der Kampf um die energetische Auffassungsweise, welche nach Helm eine Methode ist, in einer bilderfreien Sprache von den Naturvorgängen reden zu können, dieser Kampf um eine vorurteilslose Naturauffassung würde vielleicht sofort geschlichtet werden, wenn man allgemein darüber im klaren wäre, dass es sich hier um eine Betrachtungsweise, und zwar eine sehr einfache und nützliche handelt, und nicht um eine neue metaphysische Lehre.

In der Physiologie bilden mechanisch-stoffliche Hypothesen noch immer die Grundlage objektiver Betrachtungen, ja man ist sogar noch darüber in Zweifel, ob energetische Prinzipien hier Geltung haben, da man dafür mühsam Beweise zu erbringen sucht. Und doch ging die Anregung zur energetischen Auffassung von der Physiologie aus. In der Muskelphysiologie sind energetische Darstellungen von Fick einge-

führt worden, namentlich zur Feststellung des Verhältnisses zwischen Arbeit und Wärme bei der Muskelthätigkeit. Wie vorteilhaft die energetische Darstellung der Muskelthätigkeit wäre, ersieht man an den bisher üblichen stofflichen Hypothesen, in welchen unbekannte chemische Doppelprozesse, variabel zu denkende Anziehungen der Atome u. ähnl. figurieren. Rollet (Pflgr.'s Arch. Bd. 64, S. 564) hat eine Uebersicht solcher Hypothesen gegeben und ein Verzeichnis stofflicher Aenderungen zusammengestellt, welche anzunehmen wären, wollte man die Erscheinungen der Muskelthätigkeit, namentlich auch die Ermüdungserscheinungen erklären. In energetischer Darstellung würde sich alles viel einfacher gestalten.

Die stofflichen Hypothesen sind in der Physiologie deshalb so tief eingewurzelt, weil die zu den physiologischen Verrichtungen nötige Energie als chemische Energie der Nahrungsstoffe zugeführt wird; so glaubt man ohne stoffliche Hypothesen physiologisch gar nicht denken zu können, und kann sich keine physiologische Thätigkeit ohne Stoffumwandlung vorstellen. Der Energiewechsel wird auf diese Weise zu einer Nebenerscheinung des Stoffwechsels.

Die energetische Betrachtungsweise würde die Physiologie von manchen Vorurteilen befreien; aber sie könnte über sie dieselbe Gefahr bringen, welcher die mechanisch-materialistische Naturauffassung die Physiologie ausgesetzt hat. Diese Gefahr liegt auf metaphysischen Abwegen, auf welche die rein objektive Betrachtungsweise geraten kann, wenn man glaubt, aus der Betrachtung der Objekte die „objektive", d. i. die an sich wahre Wirklichkeit erkennen zu können. In der Physik und Chemie ist diese Gefahr nicht so drohend wie in der Physiologie, wo sie zum Durchbruch kommen muss. Die mechanisch-materialistische Betrachtungsweise geriet auf metaphysische Abwege, als sie vorgab, die Bewegung der Materie als die wahre Wirklichkeit erkannt zu haben und dann in der Physiologie gezwungen wurde, bei der Erklärung der psychischen Erscheinungen aus der Bewegung der Materie durch ein „Ignorabimus" ihren Bankerott zu erklären. Diese Gefahr hat die Energetik zu vermeiden.

Der eifrigste Vorkämpfer der energetischen Naturauffassung, Ostwald (Naturphilosophie, 1902), will den Physiologen Mut machen zur Bekämpfung des Neovitalismus, der pessimistisch die „Unerklärlichkeit" der Lebenserscheinungen behauptet. Ostwald meint, dass die energetische Naturauffassung hinreicht, um die reiche Mannigfaltigkeit der Lebenserscheinungen vollständig darzustellen. Es sei eine physiologische Thatsache, dass ein geistiger Vorgang niemals ohne Energieaufwand stattfindet. Daraus könne man vermuten, dass es sich bei den geistigen Vorgängen um die Entstehung und Umwandlung einer besonderen Energieart handelt, nämlich der geistigen Energie. Man könne annehmen, dass die verbrauchte chemische Energie dazu ver-

wendet worden ist, um die geistige zu erzeugen. Im Verlaufe des Denkprozesses werde diese Energie wahrscheinlich in Wärme umgewandelt. Für die schließliche Bilanz sei es gleichgültig, ob im Organismus eine Zwischenform in Gestalt von geistiger Energie existiert oder nicht.

Der Neovitalismus wird hier im metaphysischen Sinne aufgefasst, als handle es sich um die Erkenntnis des eigentlichen Wesens des Lebens, welche von der physikalisch-chemischen Forschung nicht erreicht werden könne. Dagegen wird hier die Energetik angeführt, welche diese Aufgabe lösen und so den Neovitalismus überwinden kann. Die Energetik wird hier also auch im metaphysischen Sinne genommen und es wird ihr die vom überwundenen wissenschaftlichen Materialismus nicht gelöste Aufgabe zugewiesen. An Stelle der alten „Materie" tritt die „Energie", indem die Materie in einen Komplex räumlich geordneter Energien aufgelöst wird. Nun soll also die Energie die psychischen Erscheinungen erklären, das Rätsel der Sphinx lösen, welche den Materialismus verschlungen hat. Die energetische Lösung des Rätsels lautet nun: die Schwierigkeit des Parallelismus zwischen Geist und Materie rührt nur daher, dass man für die physische Welt die Annahme machte, sie bestehe aus nichts als bewegter Materie; in einer solchen Welt kann freilich der Gedanke keine Stelle haben. Wir, die wir die Energie als letzte Realität ansehen, empfinden von solchen Unmöglichkeiten nichts.

Voltaire ergötzte sich an dem Gedanken Locke's: denkende Materie; dieselbe Freude würde er vielleicht auch an der denkenden Energie haben. Sieht man die Energie als letzte Realität an, so betritt man metaphysischen Boden, wo man sofort von der Sphinx angehalten wird, um ihre Rätsel zu lösen. Nun sind aber Rätsel meistens menschliche Artefakte, mit welchen sich die Naturwissenschaft nicht abgeben sollte. Ein solches Artefakt ist auch das Rätsel des psycho-physischen Parallelismus, das sich das menschliche Denken konstruiert, wenn es über die wahre Wirklichkeit nachgrübelt.

Ostwald geht von der in neuerer Zeit auch in naturwissenschaftlichen Kreisen mehr und mehr anerkannten Erkenntnis aus, dass die menschliche Erfahrung der Inbegriff aller Erlebnisse ist und dass diese Erlebnisse im wesentlichen Vorgänge in unserem Bewusstsein sind. Die übliche Unterscheidung einer Innen- und Außenwelt bedeutet ein Hinausgehen über die Erfahrung, da wir uns in erster Linie nur der inneren Erlebnisse bewusst sind und nur infolge gewisser Eigenschaften einen Teil dieser inneren Erlebnisse der Wirkung einer vorhandenen Außenwelt zuschreiben.

Ist dem nun so, dann ist das Rätsel des psycho-physischen Parallelismus eine metaphysische Täuschung, welche entsteht, wenn man über die Erfahrung hinausgeht und zwei verschiedene Betrachtungs-

weisen derselben Erfahrung für zwei verschiedene Wirklichkeiten ansieht. Der Vitalismus bedeutet die subjektive oder innere Betrachtungsweise unserer Erlebnisse, der Mechanismus die äußere. Ja man könnte behaupten, dass die vitalistische Betrachtungsweise die eigentlichere und ursprünglichere ist, weil sie sich auf die unmittelbaren Erlebnisse bezieht, während die objektive Betrachtungsweise von dieser ursprünglichen Wirklichkeit unserer Erfahrung abstrahiert, über dieselbe hinausgeht und bestimmte Erlebnisse der Wirkung einer vorhandenen Außenwelt zuschreibt, welche sie sich als existierend denkt.

Alle Wissenschaft ist durch die menschliche Erfahrung bedingt und beschränkt; was nicht erfahren, d. i. erlebt werden kann, entzieht sich jeder menschlichen Erkenntnis. Bestehen nun Erlebnisse wesentlich in Vorgängen des Bewusstseins, dann ist eigentlich alle Wissenschaft vom vitalistischen Gesichtspunkte aus aufzufassen, nämlich vom Gesichtspunkte des menschlichen Erlebens. Wir schreiben einen Teil unserer Erlebnisse der Wirkung einer Außenwelt zu, setzen diese als existierend und nennen sie Energie. Nun ist diese fremde Existenz für uns unerkennbar, weil wir sie nicht selbst erleben können. Auf diese Weise wird die Energie zu einem Symbol einer uns fremden Existenz, welche wir uns nach unserer eigenen Wirkungsfähigkeit, die wir unmittelbar erleben, nachbilden. Es ist also unmöglich, aus dem Begriff der Energie das Leben und Denken zu erklären, weil dieser Begriff das Leben und Denken voraussetzt, und wir das Leben und Denken unmittelbar erleben.

Die Wissenschaft soll uns eine Weltanschauung geben. Diese Weltanschauung, sagt Ostwald, ist eine Frage der Zweckmäßigkeit und Einfachheit, und wir sollen sie so ausbilden, dass wir die thatsächlichen Erlebnisse in kürzester und übersichtlichster Gestalt darzustellen und zu ordnen vermögen. Dazu dienen uns Begriffe, Regeln, nach welchen wir bestimmte Eigentümlichkeiten der Erscheinungen beachten. Nun ist die Energie und Energetik ein solcher Begriff und eine Regel zur Darstellung und Ordnung unserer Erlebnisse. Sie soll uns aber nicht das Erleben selbst erklären, weil dieses das unmittelbar Erkannte ist, das durch nichts Fremdes und Unerlebbares erklärt werden kann.

Die energetische Betrachtungsweise wird also den Vitalismus in diesem Sinne nicht überwinden. Der Kampf in metaphysischen Nebeln soll vermieden werden. Die Energetik wird aber zur ökonomischen und hypothesenfreien Darstellung des Zusammenhanges der Lebenserscheinungen viel beitragen können. Durch das Pflegen der energetischen Betrachtungsweise sollen aber die anderen, sofern sie nützlich sein können, nicht ausgeschlossen werden. Wird man einmal allgemein darüber ins Klare kommen, dass es sich hier nicht um metaphysische Glaubensbekenntnisse, sondern um empirische Betrachtungsweisen

menschlicher Erfahrungsthatsachen handelt, dann wird auch in der Wissenschaft der Streit der Theorien aufhören und Freiheit und Verträglichkeit einkehren.

Prag, im Januar 1902.

Eine Sperrvorrichtung an den Zehen des Sperlings (*Passer domesticus* L.).

(Vorläufige Mitteilung.)

Von **Josef Schaffer** in Wien.

O. Thilo[1]) hat uns mit einer Reihe von wunderbaren Einrichtungen bei verschiedenen Tieren bekannt gemacht, welche dazu dienen, einen Körperteil dauernd in einer und derselben Stellung zu erhalten, ohne dass diese Arbeit durch andauernden Muskelzug, der auch physiologisch undenkbar wäre, geleistet wird.

Sicherlich hat schon mancher Forscher und Laie darüber nachgedacht, wie es den Vögeln möglich ist, stundenlang, oft nur auf einem Beine sitzend, einen Ast oder Zweig umklammert zu halten, ja in dieser Stellung ruhig zu schlafen.

Es ist von vorneherein wahrscheinlich, dass auch da besondere mechanische Vorrichtungen getroffen sind, durch welche diese dauernde Griffstellung ohne Muskelkontraktion gesichert wird.

In der That ist eine Einrichtung bereits bekannt, welche den Vogel geradezu zwingt, die Zehen zu beugen, wenn er sich auf einen Ast zum Sitzen niederlässt. Bergmann und Leuckart[2]) schreiben darüber: „Eine Einrichtung am Vogelschenkel hat nicht wenig Bewunderung erregt, welche dazu dient, ein festes Zugreifen der Klauen um einen Gegenstand, wie einen Baumzweig, ohne Anstrengung eines Muskels, durch das bloße Gewicht des sich setzenden Vogels zu bewirken. Die Sehne eines die Zehen bewegenden und am Becken befestigten Muskels läuft über die Vorderfläche des Kniegelenkes, so dass eine Krümmung des Kniees ohne weiteres die Sehne spannen und die Beugung der Zehen bewirken muss“. Diese automatische Beugung der Zehen allein setzt jedoch nicht, wie Stannius[3]) glaubt, die Vögel in den Stand, im Schlafe bei gebogenem Knie ohne weitere willkür-

---

1) Sperrvorrichtungen im Tierreiche. — Biol. Centralblatt, Bd. XIX, 1899, S. 503. — Bd. XX, 1900, S. 452. Kinematik im Tierreiche. — Ebenda, Bd. XXI, 1901, S. 513.

2) Anatomisch-physiologische Uebersicht des Tierreiches. Stuttgart 1852, S. 341.

3) Lehrbuch der vergl. Anatomie der Wirbeltiere. Berlin 1846, S. 276.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Biologisches Zentralblatt

Jahr/Year: 1902

Band/Volume: 22

Autor(en)/Author(s): Marées Friedrich v.

Artikel/Article: Das Energieprinzip und die energetische Betrachtungsweise in der Physiologie. 328-350