

Der experimentelle Beweis für die Gültigkeit des Energieerhaltungsprinzips im Tier- und Menschenkörper.

Von D. Günther in Dortmund.

I. Versuche.

E. Becher¹⁾ hat in dem Streit für oder gegen die Energieerhaltung im tierischen Organismus auf Versuche hingewiesen, die merkwürdigerweise bis dahin in der philosophischen Literatur wenig oder gar keine Beachtung gefunden hatten, jetzt aber fast allgemein als entscheidender Beweis für die Energieerhaltung angesehen werden.

Nach früheren, noch sehr ungenauen Versuchen von Lavoisier, Despretz und Dulong mit nicht ausreichenden Mitteln und Forschungsmethoden haben Rubner²⁾, Laulanie³⁾ und Atwater⁴⁾ es unternommen, die Erhaltung der Energie im tierischen Körper ebenso zu prüfen, wie es für den Verlauf im anorganischen Naturreiche geschehen ist. Die Schwierigkeiten sind hier weit grösser, weil die Vorgänge mehr verwickelt sind, stets mehrere Energieumwandlungen ineinander greifen, und weil namentlich wegen der Eigenart des Organismus die Versuchsbedingungen und -anordnungen nicht beliebig abgeändert werden dürfen. Die Ergebnisse von Rubner und namentlich die für unsere Frage weit wertvolleren von Atwater sollen untersucht werden.

1. Bei beiden wurde verglichen die Menge der potenziellen Energie in den tatsächlich im Körper oxydierten Stoffen mit der Menge der vom Körper abgegebenen Energie, die bei den Versuchstieren Rubners nur in Wärme bestand, bei den Versuchspersonen Atwaters in Wärme und Muskelarbeit, wobei die Wärme direkt bestimmt wurde, die Arbeit durch eine Dynamomaschine sogleich in elektrische

¹⁾ E. Becher, Das Gesetz von der Erhaltung der Energie und die Annahme einer Wechselwirkung zwischen Leib und Seele. Zeitschr. f. Psychologie 46 [1907] 81—122; Energieerhaltung und psychologische Wechselwirkung. Zeitschrift f. Psychologie 48 [1908] 406—420.

²⁾ M. Rubner, Die Quellen der tierischen Wärme. Zeitschr. f. Biologie 12 [1894] 73—142.

³⁾ Laulanie in Arch. Physiol. (Paris 1898) 748 ff.

⁴⁾ W. O. Atwater, Meine Versuche über Stoff- und Kraftwechsel im menschlichen Körper. Deutsch von J. Friedländer und L. Asher, Ergebnisse der Physiologie (1904) 497—622.

Energie und diese in Wärme umgesetzt und als solche gemessen wurde¹⁾.

Rubner untersuchte Hunde unter verschiedenen Ernährungsbedingungen; einmal im Hungerzustande, dann bei Fütterung mit Fett, weiter mit Fleisch und Fett, und endlich mit Fleisch allein. Die Versuchsperioden umfassten 2—12 Tage, die ganze Versuchszeit 45 Tage. Die täglich umgesetzte Energiemenge schwankte zwischen 1100 und 4800 Kal. etwa. Die Differenzen zwischen der aus der Stoffzersetzung berechneten und der im Kalorimeter bestimmten Wärme betragen, für den Tag berechnet, in den einzelnen Versuchsperioden zwischen + 35 und - 27,1 Kal. oder + 3,15 % und - 1,20 %. Je länger der Versuch dauerte, um so günstiger war im allgemeinen das Resultat.

„Im Gesamtdurchschnitt aller Versuche von 45 Tagen sind nach der kalorimetrischen Methode 0,47 % weniger an Wärme gefunden, als nach der Berechnung der Verbrennungswärme der zersetzten Körper und Naturstoffe“²⁾. Rubner schliesst daraus: „Einfach und glatt verläuft die Rechnung . . . es gibt in diesem Haushalte kein Manko und keinen Ueberschuss“.

Ungleich wichtiger sind für uns Atwaters Versuche, da er sie an Menschen ausführte, Zeiten der Ruhe mit denen der Muskelarbeit abwechseln liess, und weil er mit einem ungeheuren Aufwand von Mitteln und Arbeit alle denkbaren Fehlerquellen aufs genaueste berücksichtigte. Im einzelnen muss auf die interessante Arbeit von Atwater verwiesen werden und auf den kurzen Auszug bei Becher,³⁾ wo die wichtigsten Ergebnisse, die für unsere Frage von Bedeutung sind, zusammengestellt sind. Es sei erwähnt, dass eine 12jährige kostspielige Arbeit nötig war, um die Vorbedingungen für die Versuche zu schaffen.

Aus den Ergebnissen sei folgendes angegeben: „So schwankt in den 25 Tagen der 7 Ruheexperimente mit gewöhnlicher Kost mit EO (der Versuchsperson) in Uebereinstimmung mit den Ziffern für die einzelnen Tage die Nettoausgabe zwischen 165 Kal. unter und 194 Kal. über der Nettoeinnahme (- 6,5 bis + 9,1 %). Diese Extreme finden sich an den ersten Tagen der betreffenden Versuche. Ueberhaupt ist beobachtet worden, dass die Resultate des Anfangstages eines Experimentes weniger befriedigend waren als die folgenden Tage. Betrachtet man jedes Experiment als Ganzes und vergleicht dann den Durchschnitt mehrerer Experimente mit einander, so wird die Skala der Schwankungen kleiner. Sie beläuft sich alsdann von 103 Kal. unter bis auf 62 Kal. über dem Nettoeinkommen pro Tag (- 4,1 % bis + 2,9 %). Dagegen finden wir im Durchschnitt von

¹⁾ Vgl. Atwater a. a. O. 612.

²⁾ Rubner a. a. O. 136.

³⁾ E. Becher a. a. O. (Bd. 46) 94 ff.

9 Experimenten die Ziffern für Netto-Ein- und Ausgabe tatsächlich in Übereinstimmung, nämlich 2268 resp. 2259 Kal.¹⁾.

Versuche mit einer anderen Person JCW verliefen noch günstiger. Die 4 grössten Variationen zwischen Ausgabe und Einnahme an einzelnen Tagen lagen zwischen $+4,6\%$ und $-4,7\%$ des Nettoeinkommens. Bei den folgenden Versuchen sind nicht mehr die an einzelnen Tagen festgestellten Schwankungen zwischen Einnahme und Ausgabe angegeben, sondern die Durchschnitte, für den Tag umgerechnet, aus einem Versuche oder mehreren (bis zu 14), wo jeder Versuch 3—4 Tage dauerte. Die 4 grössten für den Tag berechneten Durchschnittsvariationen in den einzelnen Experimenten von mehr als einer Tagesdauer lagen zwischen $+3,1$ und $-2,1\%$. In 12 Ruheexperimenten mit gewöhnlicher Nahrung, die 41 Tage dauerten, betrug die Totalsumme der Zahlen für das Einkommen 92101 Kal. und für die Ausgabe 92118 Kal.; den täglichen Durchschnitt gibt Atwater jedesmal mit 2246 und die Differenz mit 0 an. Genauer müsste es heissen 2246,4 und 2246,8 Kal. Die Differenz beträgt 0,4 Kal.

Bei gewöhnlicher Kost und Arbeitsleistung betrug in 2 Experimenten von 8tägiger Dauer die durchschnittliche Nettoeinnahme 3865 Kal., die Nettoausgabe 3829 Kal. Der Unterschied beträgt -36 Kal. oder $-0,9\%$. Bei 4 Versuchen von 12tägiger Dauer sind die entsprechenden Zahlen: 3539 Kal. und 3540 Kal., $+1$ Kal. oder 0% ; bei 14 Experimenten von 46tägiger Dauer 5120 Kal. und 5120 Kal., 0 Kal. (0%). Der Durchschnitt aller 20 Arbeitsexperimente mit gewöhnlicher Kost von 66 Tagen ergibt eine tägliche Einnahme von 4682 Kal., eine Ausgabe von 4676 Kal., einen Unterschied von -6 Kal. oder $-0,1\%$.

„Im Durchschnitt aller Experimente (32 mit 107 Tagen) mit gewöhnlicher Kost beträgt das tägliche Einkommen 3748 Kal. und die tägliche Ausgabe 3745 Kal. oder eine Differenz von $0,1\%$ des Ganzen“²⁾.

Aehnliche Verhältnisse findet man bei den Ruhe- und Arbeitsexperimenten bei besonderer Kost. Die Differenzen zwischen der täglichen durchschnittlichen Einnahme und Ausgabe schwanken zwischen $+48$ und -31 Kal. oder $+2,1$ und $-0,9\%$. Die Einnahmen und Ausgaben bei den Ruheexperimenten mit besonderer Kost während 26 Tagen betragen im Durchschnitt täglich 2290 und 2305 Kal., die Differenz $+15$ Kal. oder $0,7\%$; bei den Arbeitsexperimenten mit besonderer Kost während 10 Tagen 3719 und 3702 Kal., die Differenz -17 Kal. oder $-0,5\%$; bei den Ruhe- und Arbeitsexperimenten mit besonderer Kost während 36 Tagen 2687 und 2695 Kal., die Differenz $+8$ Kal. oder $+0,3\%$.

¹⁾ Atwater a. a. O. 616/617.

²⁾ Atwater a. a. O. 617.

„Nimmt man alle Experimente der Tabelle 41¹⁾ (45 mit 143 Tagen) zusammen, so findet sich ein Unterschied von 55 Kal. bei einer Gesamtsumme von ca. 500 000 gleich 1 : 10 000. In den Versuchen mit JCW, welche, wie oben erwähnt, die letzten waren und infolgedessen am freiesten von experimentellen Irrtümern sein dürften, stellt sich die Differenz auf 1 : 20 000“²⁾.

Die verhältnismässig grossen Differenzen zwischen Nettoeinnahmen und -ausgaben, die an einzelnen Tagen bestimmt wurden, die erst in dem Masse abnahmen, in dem man aus länger dauernden Beobachtungen die täglichen Durchschnitte berechnete, erklärt Atwater aus der Schwierigkeit, die Einnahme zu bestimmen.

„Die Nettoausgabe kann durch Respirations- und Bombenkalorimeter genau gemessen werden, aber die physiologischen Bedingungen, welche die Nettoeinnahmen beeinflussen, sind derart, dass wenig Hoffnung für eine genaue Bestimmung besteht, wenn wir nicht den möglichen Durchschnitt von vielen Experimenten zu Hilfe nehmen“³⁾.

Die wichtigsten Ursachen der Unsicherheit liegen wahrscheinlich :

„1) In der Verschiedenheit der Stoffmengen in dem Verdauungskanal, welche zu Beginn und Ende der täglichen Versuchsperioden um 7 Uhr morgens nicht gleich gross sein kann,

2) in dem möglichen Irrtum betreffs der angenommenen Zusammensetzung von gewonnenen oder verlorenen Fetten und Protein, obgleich dieser Irrtum wohl nur gering sein kann, und

3) in den Verschiedenheiten des Bestandes von Kohlehydraten im Körper, welcher in diesen Versuchen nicht endgültig gemessen werden kann“⁴⁾.

„Es scheint nach allem, was hier gesagt worden ist, eine vergebliche Hoffnung, dass die Umsetzungen von Energie und Stoff im Körper jemals mit der Genauigkeit eines chemischen oder physikalischen Prozesses im Laboratorium gemessen werden könnten, ganz besonders nicht in individuellen Experimenten von kurzer Dauer“⁵⁾.

II Folgerungen aus den Versuchen.

Vorsichtig und kritisch wie die Versuche sind auch die Folgerungen, die Atwater selbst zieht. Es ist ihm durchaus zuzubilligen, dass die noch vorhandenen Unterschiede „innerhalb der Grenzen experimenteller Irrtümer und physiologischer Ungewissheit liegen“⁶⁾. Wenn man die Schwierigkeiten, die die komplizierten Vorgänge mit sich bringen, berücksichtigt, kommt man zu der Ueber-

¹⁾ Aus der Tabelle 41 sind die obigen Zahlen entnommen.

²⁾ Atwater a. a. O. 617/18.

³⁾ Atwater a. a. O. 620.

⁴⁾ Atwater a. a. O. 619.

⁵⁾ Atwater a. a. O. 619.

⁶⁾ Atwater a. a. O. 618.

zeugung, dass ein grosser Erfolg der experimentellen Forschung vorliegt. Gleiche oder grössere Unterschiede liegen überall innerhalb der unvermeidlichen Fehlergrenzen. Nur muss man sich hüten, etwa auf Grund der durchaus berechtigten Anerkennung auf experimentellem Gebiete Folgerungen zu ziehen, die in den Versuchen nicht begründet sind.

Atwater drückt sich vorsichtig aus: „Wenn das Gesetz von der Erhaltung der Energie in diesen Experimenten nicht vollkommen bewiesen wurde, so müssen die Abweichungen viel zu klein gewesen sein, um irgend welchen Vergleich mit der Summe der umgesetzten Energie vertragen zu können, und wenn man den Irrtümern usw. genügend Rechnung trägt, so darf man wohl sagen, dass die Versuche für die Personen, mit denen sie unternommen wurden, das Gesetz von der Erhaltung der Energie bewiesen haben“¹⁾. „Für praktische Zwecke sind wir berechtigt anzunehmen, dass das Gesetz im allgemeinen gilt“²⁾.

Auf praktische Zwecke ist Atwaters Versuch zunächst eingestellt, und für solche gelten auch seine Resultate. Wenn aber Physiologen und Philosophen durch Atwaters oder gar schon durch Rubners Versuche das Gesetz von der Erhaltung der Energie als exakt bewiesen betrachten³⁾, so gehen sie wohl zu weit. Becher⁴⁾ hat darauf aufmerksam gemacht, dass vielleicht nur ein kleiner Teil des Gehirns in direkter Beziehung zu geistigen Vorgängen steht, dass das ganze Gehirn nur etwa 2% vom Körpergewichte beträgt, dass dagegen der Energieaustausch des ganzen Körpers untersucht wurde. Daher könnte eine Energieänderung in den betreffenden Gehirnteilen verschwindend klein sein im Vergleich zum Energieaustausch des ganzen Organismus. Aber eine eingehende kritische Würdigung des Versuches in seiner Bedeutung für unser Problem finde ich nirgends. Man gibt ihm ohne genaue kritische Prüfung vielfach eine viel weitergehende Bedeutung, als Atwater selbst es getan hat.

Dem induktiven Beweise pflegt eine deduktive Ueberlegung voranzugehen, die das Problem in seiner Gesamtheit erfasst, die die Punkte auffindet, die durch das Experiment geprüft werden sollen, die die Anordnung des Versuches zweckmässig trifft für den beabsichtigten Beweis, die darum namentlich auch die möglichen Grössenordnungen in Rechnung zieht, die bei dem Experimente in Betracht kommen. Nur selten fällt einem Forscher ein Ergebnis

¹⁾ Atwater a. a. O. 622.

²⁾ Atwater a. a. O. 622.

³⁾ Vgl. Ebbinghaus, Psychologie. Systematische Philosophie. Kultur der Gegenwart² (Berlin und Leipzig 1908) I 6 192; Benno Erdmann, Wissenschaftliche Hypothesen über Leib und Seele (Cöln ohne Jahreszahl) 111 ff.; O. Külpe, Einleitung in die Philosophie (Leipzig 1918) 238; Bunge, Lehrbuch der Physiologie des Menschen (Leipzig 1901) 36/37; Verworn, Allgemeine Physiologie (Jena 1903).

⁴⁾ Becher a. a. O. (Bd. 48) 409.

ohne solche Vorarbeit durch Zufall in den Schoss. Bei der Prüfung des Energieerhaltungsprinzips vom Standpunkte der Wechselwirkung aus müsste man sich vorher klar darüber sein:

1) Wie ist der Verlauf der etwaigen Energieveränderung?

2) Um welche Grössenordnung der Energiemenge wird es sich voraussichtlich handeln?

Zu 1 wäre zu überlegen, ob bei dem Einwirken von physischen und psychischen Faktoren aufeinander nur einseitig physische Energie entweder dauernd neu aufträte oder endgültig vernichtet würde, oder ob Vermehrung und Verminderung abwechselten, oder ob die Summe der physischen Energien konstant bliebe. Die erste Annahme ist wohl nicht ernstlich vertreten worden, kann also ausser Betracht bleiben. Wenn eine Aenderung stattfindet, dann ist von vornherein ein Wechsel von Verminderung und Vermehrung wahrscheinlich. Dürfen wir annehmen, dass vielleicht bei den mehr rezeptiven psychischen Vorgängen, wie etwa bei der Wahrnehmung ohne besondere Aufmerksamkeit, wo also der Leib auf die Seele wirkt oder zu wirken scheint, eine Minderung der physischen Energie eintritt, bei der Wirkung der Seele auf den Körper dagegen, etwa bei Willensimpulsen, eine Vermehrung? Wenn eine Wechselwirkung stattfindet, so wird die Beeinflussung zwischen Leib und Seele stets eine gegenseitige sein, und wenn in dem einen Momente vielleicht ein Ueberschuss an physischer Energie sich ergibt, so wird bei dem ständigen Wechsel der leiblichen und geistigen Vorgänge und damit ihrer gegenseitigen Beeinflussung in kurzer Zeit ein Ausgleich stattfinden. Auch könnte gleichzeitig Vermehrung der Energie an der einen Stelle mit Verminderung an einer anderen Stelle verbunden sein, wie z. B. ein Willensimpuls oft gleichzeitig ist mit einer Sinneswahrnehmung. Ostwald lässt während des Denkens einen Teil der „gewöhnlichen Energien“ sich in geistige verwandeln, die während der kurzen Zeitdauer des Denkens für sich bestehen, dann aber sogleich wieder zurückverwandelt werden, ähnlich wie bei der strahlenden Energie während ihrer Existenzdauer in dieser Gestalt die an den wägbaren Dingen haftende Energie scheinbar verschwunden ist¹⁾.

Die Kurve der physischen Energie würde danach oberhalb und unterhalb der Normallinie, die die Konstanz der Energie bedeutete, in kurzen Zeitabschnitten oszillieren und sich nicht allzu weit davon entfernen. Sicher könnte man annehmen, dass nach einem Tage, besonders des Morgens um 7 Uhr, wo die täglichen Berechnungen Atwaters abschlossen, nach einem ausgleichenden Schläfe das schwankende Gleichgewicht in der physischen Energie so ziemlich wieder hergestellt sein werde. Ausserdem lassen die für den einzelnen Tag ermittelten Werte für die Schwankungen noch den weitesten Spielraum. So war die Nettoausgabe für eine Person zwi-

¹⁾ Vgl. W. Ostwald, Vorlesungen über Naturphilosophie (Leipzig 1902) 378.

schen 165 Kal. unter und 194 Kal. über der Nettoeinnahme. Die 4 grössten Variationen an einzelnen Tagen bei einer anderen Person, an der die Versuche als die günstigsten bezeichnet werden, betragen immer noch $+4,6$ bis $-4,7\%$, das sind etwa 90 Kal. über und ebensoviele unter der Gleichlage, also eine Gesamtspannung von 180 Kal.

Selbst Experimente von mehreren Tagen, ich greife solche mittlerer Dauer von 9, 8 und 4 Tagen heraus, ergaben noch einen Durchschnittsunterschied für den Tag in Ausgabe und Einnahme von $+18$, -36 und $+6$ Kal., d. h. die Unterschiede betragen am Ende je eines Versuches $+9 \times 18$ Kal. = 162 Kal., -8×36 Kal. = -288 Kal. und $+4 \times 6$ Kal. = 24 Kal. Die Unterschiede, an jedem einzelnen Tage bestimmt, waren natürlich erheblich grösser als die durchschnittlichen. Es bleibt also selbst bis zu einer Zeit von 9 und mehr Tagen noch reichlich Spielraum für Energieänderungen. Je länger man die Zeiträume nimmt, aus je mehr Experimenten mit verschiedenen Personen in Ruhe und Arbeit und bei wechselnder Kost man den Durchschnitt berechnet, um so mehr müssen auch nach der Wechselwirkungstheorie bei nicht konstanter physischer Energie Gesamteinnahme und -ausgabe sich nähern. Die günstigen Durchschnittszahlen aus 45 Experimenten in 143 Tagen beweisen demnach für unsere Frage nicht viel.

Günstiger wären vielleicht Versuche kürzerer Dauer, bei denen die Versuchspersonen während der ganzen Zeit sich einmal ruhig verhielten, dann im wesentlichen wahrnehmend, darauf wollend und physische Handlungen verrichtend. Diese Versuche könnten aber nur einige Stunden dauern, und das steht im Widerspruch mit den zu fordernden physiologischen Bedingungen, für die ja selbst die Versuchszeit von einem Tage zu kurz ist, woraus die unsicheren Resultate für die kurzen Zeiten stammen sollen.

Aus dem Wechsel der Ruhe- und Arbeitsexperimente Atwaters lässt sich nicht viel entnehmen. Zwar überwiegt bei den Arbeitsexperimenten im Durchschnitt die Einnahme, bei den Ruheexperimenten die Ausgabe; aber die einzelnen sich auf eine Reihe von Tagen erstreckenden Versuche derselben Art weisen widersprechende Ergebnisse auf.

Von noch grösserer Wichtigkeit ist es, dass man sich darüber klar wird, um welche Energiemengen die im Körper umgesetzten durch psychischen Einfluss vermehrt oder vermindert werden könnten. Die ganze Anordnung der Versuche muss sich danach richten. Es ist schwer, von vornherein darüber etwas auszumachen. Aber durch Analogien gewinnen wir doch Anhaltspunkte. Die Energie setzt sich physikalisch zusammen aus Kraft \times Weg. Die Kraft steht im Verhältnis zur Masse bei gleicher Beschleunigung. Nur da, wo wir grosse Massen haben, wie bei den molaren Bewegungen, bei der Wärme in festen und flüssigen Körpern und den chemischen Verbindungen, kommen grössere Energiemengen in Betracht. Je feiner

die Materie wird, wie bei den Gasen, Elektronen und dem Aether, wenn man ihn annehmen und als Materie bezeichnen will, um so geringer werden die Energiemengen, die bei dem Wechsel der Vorgänge umgesetzt werden. Soll nun die Materie des Gehirns auf etwas Immaterielles wirken, so verlieren wir die aus der mechanischen Denkweise gewohnte Anschaulichkeit, da das Geistige keine Masse hat und keine Bewegung aufnehmen kann. Aber das bedeutet keine Unmöglichkeit der Einwirkung und der Energieänderung. Beim Aether, dem man gewöhnlich keine Masse zuschreibt, und bei nichtmechanischer Naturauffassung fehlt die Anschaulichkeit ebenso, die überhaupt mehr den Schein einer Erklärung als wirkliche Erklärung bietet. Jedenfalls dürfen wir annehmen, wenn überhaupt das Physische bei der Einwirkung auf das Psychische Energie abgibt, so sind es geringe Mengen.

Bei der Einwirkung des Geistes auf den Körper könnte man eher grössere Energiemengen vermuten, da Materie in Bewegung gesetzt oder in der Bewegung gehemmt wird. Aber es ist zu bedenken, dass die Einwirkung nur auf winzige Teile des Gehirns stattzufinden braucht, dass sie im wesentlichen in der Auslösung von grösseren Energiemengen bestehen kann, wo ein geringer Eingriff die Stabilität aufhebt. Bei Einwirkungen der Aussenwelt auf unser Nervensystem z. B. handelt es sich auch um solche Auslösungen durch oft sehr kleine Energiemengen. Ein einzelner Ton mit verschwindend geringer Energie bewirkte nach den Versuchen von H. Berger¹⁾, dass ein doch nicht allzu eng begrenzter Teil der Hirnrinde die Temperatur innerhalb einer halben Minute um $0,02^{\circ}$ erhöhte. Nach Zwaardemaker²⁾ verhält sich hier die durch den Reiz übermittelte Energie, wenn man sie sehr hoch einschätzt, zu der des kalorischen Effektes wie 1 : 700. Wenn in diesem Falle die Energie im wesentlichen aus dem reichlich in den chemischen Verbindungen des Körpers vorhandenen Vorrat genommen wird und nur ein winzig kleiner Energieaustausch mit der Aussenwelt notwendig ist, so können wir dasselbe bei der Beeinflussung des Körperlichen durch das Geistige vermuten.

Einen gewissen Anhaltspunkt können wir gewinnen, wenn wir die Energiemengen bestimmen, die der menschliche Körper an den Sinnesflächen mit der Aussenwelt austauscht, und zwar zum allergrössten Teil aufnimmt. Der Materialist und der Anhänger des Parallelismus betrachten diese Energiemengen als hinreichend, um die physiologischen Vorgänge durch Auslösung oder sonstwie zu bewirken, die für eine leiblich-seelische Wechselwirkung in Frage kämen. Die Wechselwirkung erfordert sicher nicht einen grösseren Umsatz von Energien zwischen Physischem und Seelischem, als er

¹⁾ Hans Berger, Untersuchungen über die Temperatur des Gehirns (Jena 1910).

²⁾ Zwaardemaker, Energetik der finitiven Prozesse. Ergebnisse der Physiologie Bd. 12 S. 623.

besteht zwischen den Massen des Körpers oder wenigstens der Nerven einerseits und der gesamten einwirkenden Aussenwelt anderseits. Wenn die Energien von Tönen während einiger Stunden den Körper in die Bewegungen eines Rasenden versetzen können, so brauchte eine psychische Kraft nicht mehr Energie dazu aufzuwenden.

Welche Energiemengen tauscht der Körper durch die Sinnesorgane täglich mit der Aussenwelt aus?¹⁾

1) Die Augen. Man nehme eine Pupillenweite von 3 mm an und eine durchschnittliche Helligkeit während 12 Stunden von 1000 Meter-Kerzen. Dann ist die Energie der Lichtstrahlen, die auf die Pupillenfläche treffen, 600 Erg in der Sekunde; im Tage = 12 Stunden 0,5 gr Kal.

2) Die Ohren. Die Energie des Tageslärms kann man schätzen auf 5×10^{-3} Erg in der Sekunde, auf 400 Erg im Tage von 24 Stunden. Dazu kommt die Energie der eigenen Stimme und die der Mitmenschen während 5 Stunden im Tage. Das sind 100 000 Erg. Danach ist die Summe aller Energien, die im Laufe eines Tages unsere Ohren treffen, höchstens $\frac{1}{500}$ gr. Kal.

3) Kälte und Wärme als Sinnesreize. Hier nimmt der Körper bald die Energien auf, bald gibt er sie ab. Es ist schwer, diese Mengen abzuschätzen; sie wechseln auch stark je nach den Verhältnissen. Zwaardemaker glaubt, dass ihre Gesamtsumme im Tag höchstens 1 gr Kal. erreicht. Ganz winzige Energiemengen wirken noch auf die Geschmacks- und Geruchsnerven ein, die man nicht bestimmen kann, die aber gewiss erheblich kleiner sind als die bisher angegebenen Energien für die anderen Sinne. Mit 2 gr Kal. im Tage haben wir den Energiegehalt höchstens einzuschätzen, der die äusseren Sinnesflächen erreicht. Noch unsicher ist es, was davon den anschliessenden Teilen des Nervensystems übertragen wird. Sicher ist es nur ein Teil, während der andere reflektiert wird oder als Zerstreungswärme in die übrigen Teile des Körpers übergeht. Beim Licht sollen nur etwa 2% von den spezifischen Sinneselementen, den Nerven, absorbiert werden.

Denkt man sich in einer Fiktion diese Energien, die in Wirklichkeit als eintretende und austretende in verschiedener Richtung im Körper verlaufen, in derselben Richtung zentripetal durch das Nervensystem ohne Verlust fortgeleitet und dann beim Uebergang ins Psychische ganz vernichtet, so würde das im Tage 2 gr Kal. ausmachen. Die Einwirkung der Seele auf den Leib würde zum Teil wenigstens den Verlust kompensieren. Aber sehen wir davon ab, und setzen wir denselben Umsatz in gleicher Richtung noch einmal an, so ergibt sich für den Tag ein Gesamtumsatz von 4 gr Kal. Die Aenderung des Energiegehaltes könnte also höchstens in einem unwahrscheinlichen Grenzfalle 4 gr Kal. im Tage betragen. Oder wie man sich die Energieveränderung auch denken mag, der Umsatz

¹⁾ Die folgenden Angaben sind entnommen: Zwaardemaker a. a. O. 601.

auf psycho-physiologischem Gebiete ist auf dem Standpunkte der Wechselwirkung nicht grösser anzunehmen als der zwischen Körper und Aussenwelt durch die Sinne. Die Aenderung im physischen Energiegehalt würde aber bei der Wechselwirkung wegen des ständigen Ausgleichs nur einen geringen Bruchteil des soeben errechneten Umsatzes betragen, wenigstens wenn die Versuche sich auf einen Tag oder gar auf bedeutend längere Zeit erstrecken.

Das wird man keine Ausflucht nennen können, kein Zurückweichen vor empirischen Tatsachen hinter Fehlergrenzen. Gerade die empirische Methode verlangt, dass man sich über diese Vorfälle Klarheit verschafft.

Was können unter diesen Voraussetzungen noch Atwaters Versuche beweisen? Die durch die Sinne aufgenommenen Energien wurden bei den Versuchspersonen ausser etwa noch möglichen unbekanntem Strahlungsenergien vernachlässigt, also ein grösserer Betrag, als die Versuche günstigstenfalls an Vermehrung oder Verminderung der Energie durch psycho-physische Wechselwirkung hätten feststellen können. Das nimmt dem Versuche natürlich von vornherein jede Bedeutung. Es ist wohl unnötig zu bemerken, dass keine Kritik an den wertvollen Versuchen überhaupt beabsichtigt sein kann, sondern es soll nur darauf hingewiesen werden, dass sie nicht ausreichen, die Energieerhaltung im Menschen- und Tierkörper zu beweisen.

2. Neuere Untersuchungen bieten uns noch weitere Anhaltspunkte. Versuche von Benedikt und Carpenter¹⁾ haben ergeben, dass äusserst anstrengende geistige Arbeit eine Vermehrung der Sauerstoffaufnahme um 1,57 gr in der Stunde zur Folge hat. Das bedeutet einen vermehrten Energieumsatz von 5260 gr Kal.

Hans Berger fand durch Messen der Temperatursteigerung im Gehirn, dass fortlaufendes Rechnen eine Zunahme der Energie an Wärme um 28,18 mkg in der Stunde hervorruft. Das sind etwa 66 gr Kal. Er nimmt an, dass die Wärmeenergie ungefähr 2% des Gesamtenergieumsatzes ausmacht, so dass die Gesamtsteigerung der Energie in der Stunde 1226 mkg oder 2871 gr Kal. beträgt. Daraus, dass die von ihm gefundene Zahl nur halb so gross ist wie die von Benedikt und Carpenter angegebene, schliesst er, „dass sicherlich ein ganz beträchtlicher Teil der gefundenen Stoffwechselzunahme bei geistiger Arbeit auf begleitende Muskelbewegungen und andere Umstände zurückzuführen ist und nur ein kleiner Teil der Zunahme des psycho-physiologischen Umsatzes zu gute gerechnet werden kann“²⁾.

Die Grosshirnrinde hat noch eine Reihe von physiologischen Prozessen zu regeln, die mit den psycho-physiologischen, den mit

¹⁾ Vgl. H. Berger, Ueber den Energieumsatz im menschlichen Gehirn. Zeitschr. f. Psychol. 82 [1919] 81—96.

²⁾ H. Berger a. a. O. 92.

Bewusstsein verknüpften, nicht verbunden sind. Betrachtet man sechstündige äusserst anstrengende Geistesarbeit als die Höchstleistung im Tage, so würde diese eine Zunahme des Energieumsatzes um etwa 17 kg Kal. hervorrufen, wenn man die Zahlen von Berger zu Grunde legt. Davon entfielen ein nicht zu bestimmender Teil auf die psycho-physischen Prozesse. Zur Auslösung dieses Umsatzes wäre nur eine geringe auf Rechnung der seelischen Einwirkung kommende Energiemenge nötig, deren Grösse nicht zu vermuten ist. Vielleicht könnte man wieder an das Verhältnis von 1 : 700 denken, wie Zwaardemaker es zwischen Reizenergie und kalorischem Effekt in einem Falle geschätzt hat.

Recht einfach hat Berger den von ihm angenommenen psychischen Energieanteil bestimmt. Er sagt: „Die einfachste Annahme ist dann wohl die, dass die chemische Energie der Gehirnrinde bei dem Dissimilationsvorgange in Wärme, elektrische Erscheinungen und eben auch in psychische Energie umgesetzt wird. Diese jeweils entstehende psychische Energie, die also ein physisches Äquivalent haben muss, wird sofort wieder zurückverwandelt in Nervenprozesse, die zum Teil äusserlich in Erscheinung treten in den von Preyer nachgewiesenen, lebhaften geistige Vorgänge begleitenden, unwillkürlichen Bewegungen, und in bleibende Veränderungen der Rinde“³⁾.

Die elektrische Energie, die im Gehirn auftritt, ist so gering, dass sie praktisch unberücksichtigt bleiben kann. Von der Gesamtzunahme des Energieumsatzes von 1226 mkg in der Stunde zieht Berger den Wärmeanteil von 28 mkg ab. Es bleibt ein Rest von 1198 mkg. „Wir nehmen somit an, dass bei geistiger Arbeit ein Betrag von 1198 mkg. in einer Stunde in psychische Energie umgewandelt wird. Das macht für die Minute fast 20 mkg aus“⁴⁾.

Die einfachste Lösung ist nicht immer die richtige. Das Verschwinden solcher Energiemengen aus der physischen Welt und ihre Umwandlung in psychische Energie ist doch aus den beobachteten Tatsachen in keiner Weise zu begründen, wenn Berger auch Recht hat mit der Behauptung, dass diese Mengen noch innerhalb der Fehlergrenzen der besten bis jetzt angestellten Stoffwechselversuche liegen. Man könnte fragen: Was wird aus der sofort in unwillkürliche Bewegungen zurückverwandelten psychischen Energie? Wenn Wärme, so durfte diese nicht zu Gunsten der psychischen Energie mit nur 2% angesetzt werden. Wenn ohne geistige Arbeit 2% des Energieumsatzes auf die Wärme und 98% auf andere physische Funktionen entfallen, so könnte das doch auch bei dem erhöhten Umsatze der Fall sein, so dass für psychische Energie gar nichts oder nur ein kleiner Bruchteil übrig bliebe. Doch auf diese physiologischen Fragen kann hier nicht eingegangen werden. Zu bemerken ist nur, wie hier ein Physiologe so leichten Herzens das Energieprinzip preisgibt.

¹⁾ H. Berger a. a. O. 95. — ²⁾ H. Berger a. a. O. 95.

Für uns ist wichtig: Selbst wenn wir die ganze Erhöhung des Energieumsatzes auf rein psychische Ursachen zurückführen (was schon wegen der erhöhten Sauerstoffaufnahme nicht möglich ist), oder in psychische Energie sich verwandeln lassen (was wegen der gesteigerten Tätigkeit im Gehirn und auch wohl im ganzen Körper nicht möglich ist), so läge dieser Betrag von etwa 17 kg Kal. im Tag bei weitem noch innerhalb der Fehlergrenzen von Atwater. Dieser hat für einzelne Tage Schwankungen von 165 kg Kal. unter und 194 kg Kal. über der Gleichlage, in den günstigsten Fällen noch eine Spannung von 180 kg Kal. Dagegen verschwinden die 4 gr Kal., die wir nach den gemachten Voraussetzungen für eine mögliche Energieänderung nötig haben; dagegen ist der ganze erhöhte Energieumsatz bei geistiger Arbeit gering. Selbst bei den Durchschnittszahlen für einzelne mehrtägige oder für mehrere Experimente während längerer Zeit ergaben sich Unterschiede von vielen tausend Grammkalorien für den Tag. Auch bei dem günstigsten Gesamtergebnis von 12 Ruheexperimenten in 41 Tagen, wo Atwater den täglichen durchschnittlichen Unterschied in Einnahme und Ausgabe mit 09 angibt, war noch ein Gesamtunterschied von 17 000 gr Kal., der über 200 mal so gross ist als der gesamte Energieumsatz zwischen Sinnesflächen des Körpers und Aussenwelt während der ganzen 41 Tage. Alle Experimente mit 143 Tagen ergaben noch einen Unterschied von 55 000 gr Kal., d. i. etwa das Zweihundertfache des eben erwähnten Umsatzes in der ganzen Zeit.

3. Zusammenfassend können wir sagen, der grosse Wert der Versuche von Rubner und Atwater liegt auf einem anderen Gebiete als auf dem hier in Frage stehenden. Praktische Gesichtspunkte standen im Vordergrund. Atwater gibt sie an: „Abgesehen von dem eigentlichen Zweck der Experimente, genaue Ziffern über die Umsetzung von Kraft und Stoff und die Produktion von Kohlendioxyd, Wasser und Wärme unter verschiedenen Arbeits- und Ruhebedingungen und zu verschiedenen Tageszeiten zu erhalten, wurden noch vier verschiedene Fragen eingehend studiert:

1) Die Beziehung zwischen Muskularbeit und Kraft- und Stoffwechsel, einschliesslich der Frage nach dem Nutzungswerte des Körpers als Motor.

2) Vergleichung von Kohlehydraten und Fetten als Kraftquellen für Muskularbeit.

3) Die Erlangung des positiven Beweises, dass die im Eiweiss enthaltene Energie in Muskularbeit umgesetzt wird.

4) Kraft- und Stoffwechsel während des Fastens¹⁾.

Die zu erzielenden „genauen Ziffern über Umsetzung von Kraft und Stoff“ beziehen sich nicht in erster Linie auf die Energieerhaltung, sondern auf den physiologischen Nutzeffekt der Nährstoffe. Es sollte namentlich das Isodynamengesetz geprüft werden, das sagt,

¹⁾ Atwater a. a. O. 521.

dass die einzelnen Nährstoffe nach dem im Körper zur Geltung kommenden Energiegehalte sich vertreten, nicht in einem anderen von Just. v. Liebig angenommenen Verhältnis. Unter diesem Gesichtspunkte waren die Versuchsanordnungen zweckmässig getroffen. Für die Erhaltung der Energie kann man aus den Versuchen nur entnehmen, dass das Psychische nicht eine fortlaufende, im gleichen Sinne sich addierende Energieverminderung oder -vermehrung bewirkt, die sich täglich auf grössere Beträge von Kilogrammkalorien beläuft.

Die Berechnung eines mittleren Wertes aus vielen Versuchen ist oft vorteilhaft in der physikalisch-chemischen Forschung, nicht bei der Prüfung der Frage, ob im Organismus durch Wechselwirkung zwischen Leib und Seele das Energieprinzip verletzt werde; denn annähernde Uebereinstimmung in Einnahme und Ausgabe muss sich ergeben nicht nur, weil die physikalisch-physiologischen Fehler eliminiert werden, sondern auch weil die mögliche Energievermehrung und -verminderung sich umsomehr ausgleicht, je länger die Versuche dauern, je mehr die Versuchsanordnungen wechseln. Dazu kommt, dass wir durch Analogieschlüsse zur Annahme berechtigt sind, dass eine Energieänderung, wenn sie stattfinden sollte, sich in sehr engen Grenzen bewegt, die vielleicht ein Millionstel des täglichen Körperumsatzes betragen. Die geringen Werte bei der Unmöglichkeit, den Betrag durch längere Beobachtung wesentlich zu steigern, lassen leider die Hoffnung nur gering erscheinen, unser Problem durch das Experiment am tierischen oder menschlichen Organismus zu entscheiden.

Wenn auch die besten Versuche die Möglichkeit einer Energieänderung im Organismus nicht ausschliessen, so wird man doch auch auf dem Boden der Wechselwirkung das Energieerhaltungsprinzip nicht preisgeben, wenn irgend eine Möglichkeit besteht, es aufrechtzuerhalten. Massgebend für die Beibehaltung muss die Erkenntnis sein, dass die Natur (im weitesten Sinne) im ganzen gesetzmässig aufgebaut und eingerichtet ist. Die niedere Gesetzmässigkeit wird durch die höhere nicht aufgehoben, sondern gehoben. Im Energieerhaltungsprinzip, das alle Vorgänge in der Natur umschliesst, das eine Norm für alle anderen Gesetze ist, können wir einen Ausfluss dieser allgemeinen Gesetzmässigkeit vermuten, wenn wir auch nicht im einzelnen angeben können, wie es mit der inneren Natur des Seins und Wirkens verknüpft ist.