

ÜBER
DEN CHEMISCHEN UNTERSCHIED
ZWISCHEN DEM LEBENDIGEN UND
TOTEN ORGANISMUS.

VON

PAUL JENSEN
GÖTTINGEN.

Inhalt.

	Seite
I. Vorbemerkungen über Lebensstofftheorien	623
II. Lebensstofftheorie und naturwissenschaftliche Erkenntnis	627
III. Einwände gegen gewisse Formen von Lebensstofftheorien	631
IV. Zur Kritik der Enzymtheorie des Lebens	632
V. Kritik der gegen die Hypothese des „labilen Komplexes“ erhobenen Einwände	638
VI. Weitere Kritik der Enzymtheorie des Lebens	643
VII. Schlussbemerkungen über allgemein-naturwissenschaftliche Pro- bleme	644

I. Vorbemerkungen über Lebensstofftheorien.

In einer kürzlich in diesen Heften erschienenen Abhandlung über Causalität und Vitalismus wendet sich H. Winterstein¹⁾ ausdrücklich gegen die Ansicht, dass sich das lebendige System durch den Besitz bestimmter labiler Stoffe oder Stoffkomplexe von dem abgetöteten System unterscheide. Er nennt die angefochtene Anschauung „Lebensstoff-Theorie“ — als Analogon zur Lebenskraft-Theorie — und bezeichnet sie als eine Form des Vitalismus. Und gerade einige Sätze aus einer neueren Arbeit von mir sind es, die Winterstein auswählt, um das, wie er meint, Verfehlte der genannten Theorie zu illustrieren. Hiergegen muss ich entschieden Einspruch erheben, obgleich ich mit dem Verfasser sonst in weitgehendem Masse übereinstimme und selbst wiederholt für die von ihm verfochtenen Tendenzen mit allem Nachdruck eingetreten bin.

Keineswegs will ich in Abrede stellen, dass manche Darstellungen der in sehr verschiedenen Formen vertretenen Lebensstoff-Theorien vitalistische Missdeutungen nicht ausschliessen. Das gilt meines Erachtens z. B. für die Pflügersche Vorstellung vom „lebendigen Eiweiss“, das durch Polymerisierung sich vermehren und wachsen solle. Pflüger dachte sich bekanntlich das „lebendige Eiweiss“ jeder Zelle und auch des ganzen vielzelligen Organismus als ein einziges „Riesenmolekül“, „begabt mit der Eigenschaft, in allen seinen Radikalen mit grosser Kraft und Vorliebe besonders gleichartige

¹⁾ H. Winterstein, Causalität und Vitalismus vom Standpunkt der Denkökonomie. Anat. Hefte, Bd. 57, S. 681. 1919.

Bestandteile anzuziehen, um sie dem Molekül chemisch einzufügen und so in infinitum zu wachsen“¹⁾. Das ist eine Vorstellung, die ich selbst schon vor längerer Zeit scharf kritisiert habe²⁾. Winterstein hätte aber nicht eine Theorie, die sich derartiger Vorstellungen bedient, mit neueren Fassungen, wie ich z. B. sie vertrete, zusammenwerfen sollen.

Zur Charakterisierung einer solchen neueren Fassung der „Lebensstoff-Theorie“ seien einige Sätze aus einer früheren Darstellung von mir hier wiedergegeben³⁾: „Wir wollen hier schon etwas näher auf die Frage eingehen, worauf wohl in letzter Instanz der Unterschied zwischen dem lebendigen und dem unter möglichst wenig Änderungen abgestorbenen Organismus beruhe. Bestimmtes hierüber wissen wir noch nicht, aber wir haben jedenfalls anzunehmen, dass dieser Unterschied im Grunde ein solcher des chemisch-physikalischen Aufbaues sei.

Und zwar liegt es nahe anzunehmen, dass der lebendige Organismus vor allem durch den Besitz gewisser chemischer Verbindungen ausgezeichnet sei, die der tote nicht mehr enthält, die also beim Sterben eines lebendigen Systems zugrunde gehen. Was das für Verbindungen sind, ist uns leider noch nicht bekannt und so müssen wir denn diese Lücke in unserem tatsächlichen Wissen mit Hypothesen auszufüllen suchen.

Diese hypothetischen, für das lebendige System charakteristischen Verbindungen müssen folgende Voraussetzungen erfüllen: Einerseits müssen sie gewissen im toten System gefundenen Stoffen möglichst ähnlich gedacht werden und andererseits müssen sie so konstituiert sein, dass durch sie das ganze System eine derartige Beschaffenheit gewinnt, aus welcher alle

¹⁾ E. Pflüger, Über die physiologische Verbrennung in den lebendigen Organismen. Pflügers Arch., Bd. 10, S. 342. 1875.

²⁾ P. Jensen, Über den Aggregatzustand des Muskels und der lebendigen Substanz überhaupt. Pflügers Arch., Bd. 80, S. 189f. 1900.

³⁾ P. Jensen, „Leben“. Handwörterb. d. Naturwissensch., Bd. 6, S. 67f. Jena 1912.

die charakteristischen nachher zu besprechenden Vorgänge des lebendigen Systems abgeleitet werden können. So wie man z. B. die chemische Beschaffenheit eines explosiblen Körpers sich hypothetisch so vorzustellen hat, dass seine spezifischen energetischen Leistungen (plötzliche Entwicklung von mechanischer Energie, Wärme und Licht) und die bei der Explosion entstehenden stofflichen Produkte aus ihr abgeleitet werden können.

Auf Grund derartiger Überlegungen ist man zu der Annahme des ‚lebendigen Eiweisses‘ (Pflüger) oder, zweckmässiger ausgedrückt, der ‚Biogensubstanz‘ oder des ‚Biogens‘ (Verworn) gelangt, sehr komplizierter, den zusammengesetzten Eiweisskörpern vielleicht nahestehender Verbindungen, ——. Derartige chemische Verbindungen kann man also als besonders charakteristisch für das lebendige System ansehen. Damit ist aber keineswegs gesagt, dass die Biogensubstanzen etwa das ‚Lebendige‘ seien oder dass sich gerade an ihnen das Leben ‚abspiele‘. Denn sie stellen eben doch nur eine Stoffkategorie neben vielen anderen wichtigen Bestandteilen des lebendigen Systems vor und können daher, vom chemischen Standpunkt aus betrachtet, wohl als charakteristischer, kaum aber als wichtiger bezeichnet werden als viele andere Bestandteile des lebendigen Systems. Denn wir müssen uns vorstellen, dass im lebendigen System, als einem komplizierten chemischen System mit komplizierten Systembedingungen eine grosse Anzahl verschiedener reagierender Stoffe zum Lebensprozess zusammenwirken und dass dieser Prozess ebenso, wie er etwa durch ein abnormes Verhalten des Biogens, auch durch ein abnormes Verhalten der verschiedensten anderen reagierenden Bestandteile (verschiedener sonstigen organischen Verbindungen, etwaiger Katalysatoren, von Säure- oder Basen, des Wassers) zum Stillstand gebracht werden kann.“

„Wir wollen nun auch hier die Frage aufwerfen, ob der

angedeutete Unterschied zwischen lebendigem und totem organischem System prinzipiell genannt werden könne. Hierauf ist folgendes zu antworten: Wenn dieser Unterschied wirklich im wesentlichen nur darin besteht, dass im lebendigen System Biogensubstanzen oder dgl. vorkommen und im toten nicht, und wenn diese Biogensubstanzen sich etwa so verhalten, wie wir annehmen, also im wesentlichen so wie andere chemische Verbindungen, dann haben wir die obige Frage mit Nein zu beantworten.“ „Wir werden später nochmals hierauf zurückkommen —.“ „Dann werden wir sehen, dass die Annahme von Biogensubstanzen oder ähnlichen den allgemeinen chemischen Gesetzen unterliegenden Substanzen für die Erklärung der Lebensprozesse im wesentlichen ausreicht —¹⁾.“

Dass die eben zitierten Auffassungen mit der von Winterstein formulierten Lebensstoff-Theorie, wonach „die eigenartigen Reaktionen des lebenden Systems als eine Struktureigentümlichkeit der Lebensmoleküle“²⁾ zu betrachten sind, nicht identifiziert werden dürfen, braucht wohl nicht weiter ausgeführt zu werden. „Lebensmoleküle“ als „Träger des Lebens“ u. dgl. lehne auch ich ab (s. S. 625).

Hierzu sei noch einiges hinzugefügt. Wenn unter „Lebensstoff“ ein Analogon zur „Lebenskraft“ verstanden werden soll, so muss ich die Bezeichnung „Lebensstoff-Theorie“ für die von mir vertretene Theorie zurückweisen; anders, wenn dadurch nur gesagt ist, dass die Theorie mit chemischen Verbindungen oder Komplexen rechnet, die zwar nur im lebendigen System vorkommen, sich aber im wesentlichen wie andere chemische Körper verhalten. Dann kann man diese kurze Bezeichnung gelten lassen. Und so werde ich sie, neben gelegentlichen spezielleren Bezeichnungen, auch verwenden.

¹⁾ P. Jensen, „Leben“. Handwörterb. d. Naturwissensch., Bd. 6, S. 68. Jena 1912.

²⁾ H. Winterstein, l. c. S. 722.

II. Lebensstofftheorie und naturwissenschaftliche Erkenntnis.

Nun sei zunächst noch einigen Einwänden und Missverständnissen von seiten Wintersteins begegnet. Hierbei haben wir es einerseits mit solchen zu tun, die das allgemeine naturwissenschaftliche Erkenntnisverfahren betreffen und andererseits mit spezielleren chemischen, physikalischen und physiologischen Einwänden.

Was den ersten Punkt anbetrifft, so nimmt Winterstein prinzipiellen Anstoss daran, dass ich zur Erklärung der Reizbarkeit die Annahme eines „labilen Komplexes“ für erforderlich halte und es beanstande, wenn man „das grosse Problem der Reizbarkeit durch den Hinweis auf Enzyme erledigt“. Da dann, wie ich sagte, doch wenigstens irgend ein Weg angegeben werden müsse, wie man sich mit Hilfe von Enzymen die Reizbarkeit in allen ihren Äusserungsweisen verständlich machen könnte¹⁾. Hiergegen wendet sich Winterstein mit den Worten: „Als ob es eine ‚Erklärung‘ wäre, wenn man die zu erklärende ‚Reizbarkeit in allen ihren Äusserungsweisen‘ von vornherein als die Eigenschaft eines ad hoc erfundenen ‚labilen Komplexes‘ ansieht²⁾!“ Eine Kritik, die ich durchaus nicht als berechtigt ansehen kann. Denn ich befolge bei jener Darlegung ein Verfahren, das allgemein in der Wissenschaft anerkannt ist, das ich schon oben³⁾ in dem Beispiel eines explosiblen Körpers angedeutet und das, wie ich schon früher a. a. O.⁴⁾ ausgeführt habe, einem allgemein gültigen Erklärungsprinzip entspricht: Bei unseren Erklärungsversuchen bedürfen wir wegen der Lückenhaftigkeit unserer

¹⁾ Siehe P. Jensen, Weitere Untersuchungen über die thermische Muskelreizung. Pflügers Arch., Bd. 160, S. 400. 1915.

²⁾ Winterstein, l. c. S. 722.

³⁾ Siehe oben S. 625.

⁴⁾ P. Jensen, Die Physiologie als Wissenschaft und Lehre, Jena 1912; „Leben“, Handwörterb. d. Naturwissensch., Bd. 6, S. 82. Jena 1912; „Erleben und Erkennen“, S. 18 ff. Jena 1919.

tatsächlichen Feststellungen ja in grossem Umfange der Hypothesen, d. h. Annahmen, die der Ausfüllung von Lücken zwischen den ermittelten Tatsachen dienen sollen. Diese Hypothesen bestehen einerseits in der Annahme von stofflichen Bestandteilen u. dgl. oder ganz allgemein von Grössen, andererseits von funktionalen (gesetzmässigen) Beziehungen zwischen den Grössen; und diese Hypothesen, nämlich die angenommenen Grössen und Beziehungen, müssen so gewählt sein, dass sie möglichst gut in den Zusammenhang passen, dass sie die einfachste, eine vollständige und eine analysierbare Ausfüllung der Lücken darstellen¹⁾. Wenn das der Fall ist, so sind damit die Voraussetzungen für wissenschaftliche Erklärungen gegeben, die dann darin bestehen, dass jede Erscheinung eines Systems durch die tatsächlich festgestellten und die hypothetisch angenommenen massgebend beteiligten Grössen und Gesetzmässigkeiten als eindeutig bestimmt nachgewiesen wird²⁾. Bei nicht abgeschlossenen Systemen kommen hierbei sowohl die Grössen und Gesetzmässigkeiten des Systems selbst als auch solche seiner Umgebung in Betracht.

Beurteilen wir auf Grund dieser Überlegungen die Einwendungen Wintersteins! Mit den Worten: „Als ob es eine ‚Erklärung‘ wäre“ usw.³⁾, wird gerade das angefochten, was ich oben⁴⁾ als ein Postulat jeder guten Hypothese glaubte anführen zu müssen, nämlich dass die angenommenen Grössen und funktionalen Beziehungen gut in den Zusammenhang passen müssen. Denn letzteres ist nur dann der Fall,

¹⁾ P. Jensen, „Leben“. Handwörterb. d. Naturwissensch., Bd. 6, S. 82 und 87 f. Jena 1912.

²⁾ Näheres hierüber bei P. Jensen, „Erleben und Erkennen“. S. 18 ff. Jena 1919.

³⁾ Siehe oben S. 627.

⁴⁾ S. diese Seite oben.

wenn man mit Hilfe der Hypothese das auch wirklich dem Verständnis näher bringen oder „erklären“ kann, was man mit ihr zu erklären wünscht¹⁾. Ein Beispiel möge das noch erläutern: Arrhenius machte die Hypothese der elektrolitischen Dissoziation, weil dadurch verschiedene, sonst unerklärbare Tatsachen verständlich wurden. Zu diesem Zweck war die Hypothese aufgestellt und ihn erfüllte sie daher auch. Winterstein könnte, entsprechend dem Zitat auf S. 627, auch hier sagen, die Hypothese sei „ad hoc“ erfunden worden. Eine Hypothese ad hoc nennen wir aber doch nur eine solche, die zwar eine einzelne Erscheinung „erklären“ könnte, mit anderen Tatsachen und Erklärungen aber schlecht vereinbar oder unvereinbar ist. Demgegenüber berücksichtigt die Hypothese vom „labilen Komplex“ den gesamten lebendigen Stoff- und Energiewechsel.

Nun kann man, entsprechend meiner oben zitierten Formulierung einer guten Hypothese, ferner noch fragen, ob die Annahme eines „labilen Komplexes“ die einfachste, eine vollständige und eine analysierbare Ausfüllung der Lücken in unseren tatsächlichen Feststellungen sei. Vielleicht hat Winterstein bei seinem zuvor erörterten Einwand an etwas Derartiges gedacht?

Was zunächst die Frage der Einfachheit betrifft, so sind hierüber die Ansichten bekanntlich geteilt. Wenn die Gegner einer chemisch und physikalisch einwandfreien Lebensstoff-Theorie ohne einen „labilen Komplex“ auszukommen glauben, so erscheint das ja vielleicht einfacher; aber damit bleibt dann

¹⁾ Dass damit noch keine fertige wissenschaftliche Erklärung gegeben sein soll, brauche ich wohl nicht besonders zu versichern, da ich mich so oft über das Wesen der wissenschaftlichen Erklärung geäußert habe: Schon in meiner Schrift über „Organische Zweckmässigkeit, Entwicklung und Vererbung vom Standpunkte der Physiologie“ (Jena 1907), wo auf S. 106 bis 157, 186—197 und 200—207 implizite schon alles enthalten ist, was ich später in den bereits oben genannten Abhandlungen „Physiologie als Wissenschaft und Lehre“, „Leben“ und „Erleben und Erkennen“ ausdrücklich formuliert habe.

eben die Lücke, die durch die Hypothese ausgefüllt werden soll, bestehen. Von dem Zustandekommen der Reizbarkeit, Erregung usw. kann man sich dann, wie ich zum Missfallen von Winterstein äusserte (s. oben S. 627), zur Zeit überhaupt keine Vorstellung machen. Zu einer solchen Vorstellung verhilft uns aber die Hypothese vom labilen Komplex. Und da sie ohne unnötiges und störendes Beiwerk vor allem nur der Tatsache der „Reizbarkeit“ oder ausserordentlichen Zersetzlichkeit bestimmter Teile des lebendigen Systems, was doch im wesentlichen mit „chemischer Labilität“ identisch ist, ein stoffliches Substrat gibt, das man sich so einfach wie nur möglich denken mag, so kann ich in diesem Verfahren keinen Verstoß gegen das Prinzip der Einfachheit und damit der Denkökonomie erblicken. Dem Prinzip einer vollständigen und einer analysierbaren¹⁾ Ausfüllung der Lücken lässt die Hypothese in der von mir vertretenen sehr allgemeinen Form ferner allen wünschenswerten Spielraum. Diese Allgemeinheit, die der Hypothese den Vorzug der Anpassungsfähigkeit verleiht, damit freilich auch ihre Anwendbarkeit erschwert, kann erst bei sehr viel weiter fortgeschrittenen tatsächlichen Kenntnissen einer spezielleren Ausgestaltung weichen. Dessen muss man sich selbstverständlich bewusst sein, dass für den zur Zeit noch nicht näher analysierbaren „labilen Komplex“ nach Möglichkeit eine Analyse anzustreben ist, womit auch das Problem der Vollständigkeit der Hypothese weiter gefördert würde. Daher halte ich es für ein Missverständnis, wenn Winterstein (l. c. S. 722) von einer forschungshemmenden Scheinerklärung spricht und wenn Höber fürchtet, dass dadurch die Probleme des Stoffwechsels „auf ein totes Geleise gefahren“ werden²⁾.

¹⁾ Dass diese Prinzipien zugleich mit dem der eindeutigen Bestimmtheit (s. später S. 645) u. a. neben dem Prinzip der Denkökonomie nicht vernachlässigt werden dürfen, darauf möchte ich hier nachdrücklichst hinweisen.

²⁾ R. Höber, *Physikalische Chemie der Zelle und der Gewebe*. 4. Aufl. Berlin 1914. S. 668.

III. Einwände gegen gewisse Formen von Lebensstofftheorien.

Nun noch zu einigen spezielleren chemischen und physikalischen Einwänden Wintersteins!

Es wird geltend gemacht, dass wir „in der Chemie keine Stoffe kennen, die sich ständig von selbst zersetzen und wieder aufbauen und wachsen“¹⁾, wie das der Lebensstoff tun solle. Das halte ich im allgemeinen auch für richtig und habe daher gegen die Behauptung, dass das „lebendige Eiweiss“ selbst alle die eben genannten Leistungen vollbringe, schon vor langer Zeit Einspruch erhoben²⁾. Später habe ich dann dargelegt, wie man sich die Entstehung des „Biogens“ („Lebensstoffs“) unter den im lebendigen System obwaltenden chemisch-physikalischen Bedingungen etwa vorstellen könnte. Dort ist angenommen, dass das Biogen sich aus den reagierenden Bestandteilen des Systems bildet und dass zwischen dem Assimilierungsmaterial und den Assimilierungsprodukten, zu denen auch das Biogen gehören würde, ein chemisches Gleichgewicht besteht³⁾. Um Missverständnissen vorzubeugen, sei darauf hingewiesen, dass diese Ansicht nicht zu verwechseln ist mit einer anderen, wonach zwischen Assimilierung und Dissimilierung ein chemisches Gleichgewicht vorhanden sei⁴⁾; denn das würde ja heissen, dass die Dissimilierung ein umkehrbarer Prozess wäre, dass also aus Dissimilierungsprodukten wie CO_2 , H_3N usw. unter den in der tierischen Zelle obwaltenden Bedingungen wieder Assimilierungsprodukte, also auch Biogen, werden könne. Das nimmt

¹⁾ Siehe Winterstein, l. c. S. 720. Das gesperrt Gedruckte ist von mir in dieser Weise hervorgehoben worden.

²⁾ P. Jensen, Über den Aggregatzustand des Muskels und der lebendigen Substanz überhaupt. Pflügers Arch., Bd. 80, S. 189f. 1900. Vgl. auch oben S. 625.

³⁾ P. Jensen, Die Länge des ruhenden Muskels als Temperaturfunktion. Zeitschr. f. allg. Physiol. Bd. 8, S. 335f. 1908 und Artikel „Leben“ im Handwörterbuch d. Naturwissensch. Bd. 6, S. 83f. Jena 1912.

⁴⁾ M. Verworn, Allgemeine Physiologie. 5. Aufl. S. 594f. Jena 1909.

aber wohl niemand an. Vielmehr stellt das bei „Stoffwechselfgleichgewicht“ bestehende „Gleichgewicht“ zwischen Assimilierung und Dissimilierung oder genauer zwischen Assimilierungsprodukten und Dissimilierungsprodukten einen stationären Zustand dar, wobei die Umwandlung der ersteren in die letzteren ein irreversibeler Prozess ist.

IV. Zur Kritik der Enzymtheorie des Lebens.

So wie ich heute die Sachlage beurteile, scheint es mir, dass man für die Erklärung des Ruhestoffwechsels zur Not mit Enzymen auskommen könnte; d. h. wenn es gilt, den stationären Stoffwechsel¹⁾, nämlich den auch ohne Reize stattfindenden stetigen assimilatorischen Aufbau und dissimilatorischen Abbau in den lebenden Zellen, zu erklären. Dagegen würden, wie wir S. 633 ff. sehen werden, zur Erklärung der Reizerscheinungen die uns bisher bekannten Enzyme nicht ausreichen, so dass wir zu diesem Zwecke Enzyme mit ganz neuen hypothetischen Eigenschaften annehmen müssten, wie die folgende Untersuchung zeigen wird. Und ähnliches würde, was nicht unbeachtet bleiben darf, auch für den Versuch gelten, die phylogenetische Entstehung der lebendigen Systeme und ihre ontogenetische und phylogenetische Entwicklung zu erklären²⁾.

Auf die Frage, wie man sich mit Hilfe von Enzymen, nämlich durch das Zusammenwirken von Aktivierung und Paralyse derselben, die Tatsachen des Ruhestoffwechsels etwa verständlich machen könnte, möge nicht weiter eingegangen werden.

Dagegen müssen wir uns mit dem Problem des Reizstoffwechsels ausführlicher befassen und wollen einmal

¹⁾ Siehe P. Jensen, „Leben“, S. 72 ff. und 88 f.

²⁾ Siehe unten S. 643.

untersuchen, wie weit wir hier mit Enzymen zu kommen vermögen und was für Schwierigkeiten sich dabei erheben.

In allen Fällen würden wir es mit Enzymen resp. Zymogenen zu tun haben, denen wir ganz besondere Eigenschaften zuschreiben müssten, von denen hier nur drei hervorgehoben seien:

Diese Enzyme müssten erstens die Fähigkeit haben, beim Fehlen von Reizen gar nicht oder nur wenig zu wirken und bei Einwirkung von solchen sehr schnellerhebliche Reaktions-Beschleunigungen herbeizuführen; und zwar müssten diese Wirkungen unter Umständen schon bei ganz ausserordentlich geringen Energie-Einwirkungen stattfinden, wie sie beispielsweise die gerade eben die Reizschwelle erreichenden Tast-, Schall- und Riechreize darstellen.

Zweitens müssten die gedachten Enzyme die Fähigkeit besitzen, eine Wirkung von wellenförmigem Ablauf zu liefern, wie wir es bei der Erregungswelle sehen.

Und drittens müsste ihre Erhaltung sehr empfindlich von verschiedenen Bedingungen abhängen, bei deren Wegfall das lebendige System zu sterben pflegt. In dieser Hinsicht sei nur die in der Atmung zum Ausdruck kommende Abhängigkeit vom freien Sauerstoff namhaft gemacht.

Sehen wir also nach, wie weit wir Eigenschaften der genannten Art auf Grund unserer bisherigen Erfahrungen über Enzyme diesen zuzuschreiben in der Lage sind und ob unsere Erklärungsversuche der Lebenserscheinungen auf diese Weise geringeren Schwierigkeiten begegnen, als wenn wir von der Hypothese eines „Lebensstoffes“ Gebrauch machen.

Indem wir uns zu dem ersten der drei obigen Punkte wenden, haben wir zu fragen, wie weit wir Wirkungen äusserer Faktoren auf enzymhaltige chemische Systeme kennen, die wir den Wirkungen von Reizen gleichstellen können, wobei

chemische, elektrische, elektromagnetische (speziell photische), thermische und mechanische Reize berücksichtigt werden müssen, zumal ihre niedrigen Schwellenwerte. Doch scheint es mir zwecknässig, vor der speziellen Behandlung dieser Fragen zunächst ganz allgemein auf die verschiedenen durch äussere Faktoren „Reize“ -- erzeugten Bedingungen hinzuweisen, unter denen Enzyme in Tätigkeit gesetzt und überhaupt in ihren Wirkungen beeinflusst werden können. Hierbei ist an folgende Wirkungen äusserer Agentien zu denken ¹⁾:

a) Unmittelbare „Aktivierung“ des Enzyms resp. Zymogens, indem die äussere Einwirkung („Reiz“) selbst den „Aktivator“ darstellt.

b) Mittelbare „Aktivierung“, indem der „Aktivator“ erst durch den „Reiz“ erzeugt wird ²⁾.

c) Aktivierung des Enzyms mittels der durch den „Reiz“ bewirkten Entfernung eines „Paralysators“.

d) Erhöhung der Reaktionsfähigkeit des „Substrates“ durch den „Reiz“.

e) Änderung der räumlichen Anordnung von Enzym und Substrat durch den „Reiz“ (Wirkungen des Schüttelns u. dgl.).

Untersuchen wir nunmehr, welche von den eben genannten Wirkungen durch diejenigen Faktoren, die für den Organismus Reize darstellen, erzielt werden können und ob sich alle wesentlichen Reizwirkungen etwa als Enzymreaktionen auffassen liessen.

¹⁾ Siehe hierüber die Zusammenfassungen von C. Oppenheimer, Die Fermente und ihre Wirkungen. 4. Aufl., Leipzig 1913, besonders Bd. 1, S. 57 ff. Ferner H. Euler. Allgemeine Chemie der Enzyme. Wiesbaden 1910.

²⁾ Analog der unter a) und b) angeführten unmittelbaren und mittelbaren Aktivierung gibt es auch eine direkte und indirekte Paralysierung von Enzymen, je nachdem, ob der „Reiz“ selbst den „Paralysator“ darstellt oder diesen erst erzeugt.

Wir beginnen mit der chemischen Reizung. Hierfür stehen uns hauptsächlich die obigen Punkte a—d zur Verfügung. Chemische Reize können entweder selbst „allgemeine Aktivatoren“ darstellen, wie Säuren, Alkalien, Neutralsalze es sind, oder „spezifische“ Aktivatoren, wie „Kinasen“ oder „Ko-Enzyme“ (a). Ferner aber könnte der chemische Reiz auch erst zur Erzeugung eines Aktivators (b) oder zur Entfernung eines Paralytators (c) führen, so dass dann also eine indirekte Aktivierung des Enzyms durch den Reiz stattfände. Endlich wäre eine chemische Reizung auch in der Weise denkbar, dass durch den Reiz das reaktionsfähige Substrat eine derartige Änderung erführe, dass dadurch seine Angreifbarkeit durch das Enzym erhöht würde (d)¹⁾.

Auch die elektrische Reizung liesse sich vielleicht in ähnlicher Weise wie die chemische erklären, da sie ja in dem elektrolythaltigen lebendigen System mit stofflichen Änderungen einhergeht und daher als eine Art von chemischer Reizung aufgefasst werden könnte. Jedoch ist zu beachten, dass man bisher hauptsächlich nur hemmende Wirkungen elektrischer Ströme auf Enzyme festgestellt hat²⁾.

Und letzteres gilt auch für elektromagnetische Reize³⁾. Freilich ist damit die Möglichkeit einer (direkten oder indirekten) Aktivierung des Enzyms oder auch des Substrates, entsprechend den Punkten a—d, nicht ausgeschlossen. Diese Frage müsste noch näher untersucht werden.

Für die Erklärung der Wirkung thermischer Reize⁴⁾ kommt die Tatsache in Betracht, dass die Enzymreaktionen, so wie auch andere chemische Prozesse, durch Zunahme der Temperatur beschleunigt werden, und zwar im allgemeinen ent-

¹⁾ Oppenheimer, l. c. Bd. 1, S. 64 und Euler, l. c. S. 67 und 80.

²⁾ Oppenheimer, l. c. Bd. 1, S. 68.

³⁾ Oppenheimer, l. c. Bd. 1, S. 62 f. und Euler, l. c. S. 177 ff.

⁴⁾ Siehe hierüber Oppenheimer, l. c. Bd. 1, S. 59 ff. und Euler, l. c. S. 167 ff.

sprechend der van't Hoff'schen Temperatur-Regel¹⁾. Es liesse sich annehmen, dass die gedachten Enzyme des lebendigen Systems bei gewöhnlicher Temperatur des ruhenden Systems keine merkliche Reaktionsbeschleunigung hervorrufen, wohl aber bei Einwirkung eines „Wärmereizes“. Diese Temperaturwirkung könnte entweder eine direkte oder eine indirekte, durch beschleunigte Aktivator-Erzeugung vermittelte, sein.

Über die Abhängigkeit von Enzymreaktionen von mechanischen Reizen endlich ist bisher (besonders wenig ermittelt²⁾). Bekannt ist von solchen Wirkungen nur eine Inaktivierung, die nach dem Schütteln von Enzymlösungen beobachtet wurde; eine Erscheinung, mit der wir für unsere Zwecke vorläufig nichts anfangen können. Nicht einmal der einfachste Fall, nämlich die etwaige Abhängigkeit der Enzymwirkungen vom hydrostatischen Druck, ist bisher untersucht worden. Dafür also, dass Enzyme durch Druck, Stoss und ähnliche mechanische „Reize“ aktiviert oder irgendwie wirksamer gemacht werden könnten, liegen keinerlei Anhaltspunkte vor. Und man muss es doch für sehr unwahrscheinlich halten, dass durch eine leise Berührung, wie sie zur Reizung der Tastorgane unserer Haut ausreicht, oder durch die geringen Flüssigkeitsbewegungen, die zur Erregung der Hörzellen und der Sinneszellen der Bogengang-Ampullen genügen, merkliche Beschleunigungen von Enzymreaktionen zu erzielen sind³⁾. Mit anderen Worten: Wir müssten, um hier

¹⁾ Diese sagt bekanntlich aus, dass bei einem Temperaturzuwachs von 10° C die Reaktionsgeschwindigkeit sich verdoppelt bis verdreifacht. Häufig ist bei Enzymen diese Beschleunigung noch eine erheblich grössere, was aber dadurch verdeckt werden kann, dass die Zersetzung, der die Enzyme in wässrigen Lösungen unterliegen, ebenfalls mit der Temperatur zunimmt.

²⁾ Siehe hierüber Herzog in Oppenheimer, l. c. Bd. 2, S. 879 ff.

³⁾ Nach einer von v. Frey ausgesprochenen Hypothese (vgl. M. von Frey, Vorlesungen über Physiologie, 2. Aufl., S. 305, Berlin 1911) würde der Tastreiz in der Weise wirken, dass durch ihn eine Flüssigkeitsverschiebung, vielleicht unter Eintritt von Konzentrationsänderungen, zustande käme. Eine solche

mit Enzymen auszukommen, diesen eine bisher bei ihnen unbekannte ganz ausserordentliche Empfindlichkeit „Reizbarkeit“ — zuschreiben, also eine Hypothese „ad hoc“ machen, um diese Wendung auch zu gebrauchen¹⁾.

Es ergibt sich also, dass die Enzymtheorie der Reizbarkeit jedenfalls noch sehr starke Zumutungen an uns stellt, deren sich diejenigen Autoren, die mit Enzymen alles glauben machen zu können, meistens nicht bewusst zu sein scheinen.

Die zweite der oben genannten²⁾ besonderen Fähigkeiten, die man nach der Enzymtheorie des Lebens den Enzymen zuschreiben müsste, nämlich Wirkungen von wellenförmigem Ablauf zu erzielen, könnte man ihnen prinzipiell wohl zuerkennen. Man hätte hier von der Tatsache Gebrauch zu machen, dass die Enzymwirkungen durch die Anhäufung der Reaktionsprodukte gehemmt werden. Wenn wir aber an den empfindlichen Mechanismus der inneren Selbststeuerung der Stoffwechselprozesse und an das fein abgestufte Zusammenwirken von Erregungen und Hemmungen, überhaupt an die Vorgänge im Zentralnervensystem denken, so müssen wir an die Enzyme Anforderungen stellen, von denen vorläufig nicht abzusehen ist, wie sie sie erfüllen sollen.

Und das gilt auch für den dritten der obigen Punkte, nämlich für die Erhaltungsbedingungen der Enzyme. Wir wissen wohl, dass Enzyme durch die verschiedensten Einwirkungen zerstört werden können, z. B. auch; wenn sie innerhalb eines Tierkörpers von ihren normalen Wirkungsstätten verschleppt werden³⁾. Aber beispielsweise die Erklärung der

Konzentrationsänderung könnte dann wohl auch — unter der Voraussetzung ausserordentlich empfindlicher Enzyme! — eine Aktivierung von Enzymen zur Folge haben. Auf die Hörzellen etc. aber wäre auch dieser letztere, schon recht hypotesenreiche, Erklärungsversuch nicht anwendbar.

¹⁾ Siehe oben S 627 und 629.

²⁾ Siehe oben S. 633.

³⁾ Oppenheimer, l. c. Bd. 1, S. 104 ff.

Tatsache, dass schon eine kurzdauernde Vorenthaltung von Sauerstoff Enzyme irreversibel ausser Funktion zu setzen vermag, wie dies im allgemeinen für die „Lebens-Enzyme“ gälte, würde die Enzymtheorie zu Hilfsannahmen nötigen, deren hypothetischer Charakter hinter demjenigen der entsprechenden Erklärungsversuche durch den „labilen Komplex“ zum mindesten nicht zurückstehen dürfte.

Nach alledem ist die Leistungsfähigkeit einer etwaigen Enzymtheorie des Lebens vorläufig wenigstens recht gering und es ist daher eine Täuschung, wenn man sich beruhigt der Meinung überlässt, dass die Enzyme für alles aufzukommen vermögen. Gewiss kann man sagen, dass die auf den „labilen Komplex“ aufgebaute Theorie auch nicht mehr zu erklären imstande sei. Sie hat aber einen erheblichen Vorzug vor der Enzymtheorie: Während die erstere den Enzymen zu den Eigenschaften, die wir an ihnen kennen, solche hypothetisch hinzufügen muss, die nicht nachgewiesen werden konnten und mit den anderen zum Teil schlecht zusammenpassen dürften, gesteht die andere Theorie es offen ein, dass wir es hier mit bisher unbekanntem Körpern zu tun haben, deren Beschaffenheit wir aber in stetiger Fühlung mit unseren chemischen und physikalischen Erfahrungen aus ihren Wirkungen zu erschliessen bestrebt sind.

V. Kritik der gegen die Hypothese des „labilen Komplexes“ erhobenen Einwände.

Wie verhalten sich zu den erörterten Schwierigkeiten der Enzymtheorie des Lebens nun diejenigen der von mir vertretenen Lebensstoff-Theorie?

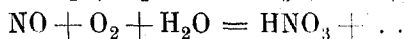
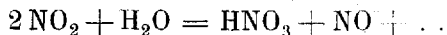
Winterstein behauptet, dass wir „in der Chemie keine Stoffe kennen, die sich ständig von selbst zersetzen und wieder aufbauen und wachsen und alle die Eigenschaften haben, die

das Biogen zum ‚Träger des Lebens‘ geeignet machen“¹⁾). Dieser Einwand ist gegenüber meiner Hypothese vom „labilen Komplex“ in jedem Punkte hinfällig. Dass der labile Komplex sich nach meiner Ansicht nicht „von selbst“ aufbaut und wächst, habe ich schon oben auf S. 625 und 631 betont und richtiggestellt. Aber auch der etwa so formulierte Einwand, dass wir in der Chemie keine Stoffe kennen, die unter denselben Bedingungen ständig entstehen und vergehen, wäre nicht stichhaltig.

Das lässt sich zunächst an Analogien aus der anorganischen Chemie dartun. Manche sind ganz alt. Es sei nur an das Beispiel der Fabrikation der englischen Schwefelsäure erinnert, das ich im Anschluss an Verworn schon vor längerer Zeit für diesen Zweck genauer erläutert habe²⁾). Greifen wir aus dem genannten Prozess den folgenden Teilvorgang heraus:



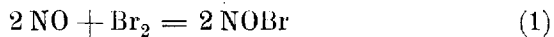
Die Kombination $\text{HNO}_3 + \text{SO}_2$ kann hier als der „labile Komplex“ angesehen werden. Dieser, durch die Entstehung der HNO_3 kaum zustande gekommen, setzt sich sofort in $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NO}_2$ um, wird aber immer wieder neu gebildet, indem die HNO_3 unter denselben Bedingungen, unter denen sie zerfällt, auch stets wieder hergestellt wird, und zwar aus NO_2 und aus NO , nach den folgenden Gleichungen:



¹⁾ Winterstein, l. c. S. 720.

²⁾ P. Jensen, Über den Aggregatzustand des Muskels und der lebendigen Substanz überhaupt. Pflügers Arch., Bd. 80, S. 194 f. 1900. Gegenüber dem Vorwurf des Vitalismus darf ich bemerken, dass ich damals meines Wissens als erster unter den Physiologen ausdrücklich darauf hingewiesen habe, dass wir in den vorliegenden physiologischen Fragen von der Anwendung der Gesetze der chemischen Massenwirkung und des chemischen Gleichgewichts Aufklärungen zu erwarten haben (l. c. S. 195).

Als weitere Beispiele seien die von M. Trautz und seinen Schülern näher untersuchten eigenartigen labilen Verbindungen genannt, die, ganz ähnlich wie der hypothetische Lebensstoffkomplex, sich zwar nicht isoliert darstellen lassen, deren Zustandekommen aber thermodynamisch und kinetisch abzuleiten ist¹⁾. Es sei nur ein konkretes Beispiel angeführt²⁾. Nach Trautz verläuft der Vorgang



in zwei rasch aufeinander folgenden Phasen:



Das chemische Gleichgewicht der Gleichung (2) wird unmessbar schnell erreicht und NOBr_2 ist ein ausserordentlich vergängliches Zwischenprodukt, das nur unter den Bedingungen der Gleichungen (2) und (3) ganz flüchtig entsteht und, kaum entstanden, entweder in NOBr (unter NO -Aufnahme) oder in $\text{NO} + \text{Br}_2$ zerfällt.

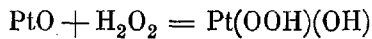
Endlich lässt sich für unsere Beweisführung noch eine ganz andersartige Gruppe von Beispielen heranziehen, nämlich — die Enzyme und Katalysatoren! Liefern doch gerade diese Stoffe in dem Augenblick, wo sich, nach der üblichen Vorstellung, ihre Moleküle mit denen des von ihnen beeinflussten Substrates verbinden, „labile Komplexe“. Das „Zwischenprodukt“ oder der „Zwischenkörper“, der sich bei der „Zwischenreaktion“ durch Addition von Molekülen des Katalysators und des Substrates bildet³⁾, ist der „labile Komplex“, der in dem betreffenden chemischen System unter

¹⁾ Siehe die zusammenfassende Darstellung nebst Literaturübersicht von M. Trautz, Der Verlauf der chemischen Vorgänge im Dunkeln und im Licht. Sitzungsber. d. Heidelberger Akad. d. Wiss., math.-naturwiss. Klasse, Heidelberg 1917.

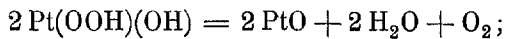
²⁾ M. Trautz und V. P. Dalal, Die Geschwindigkeit der Nitrosylbromidbildung $2 \text{NO} + \text{Br}_2 = 2 \text{NOBr}$. Zeitschr. f. anorg. und allg. Chemie, Bd. 102, S. 149. 1918.

³⁾ Siehe Oppenheimer, l. c. Bd. 2, S. 901 ff.

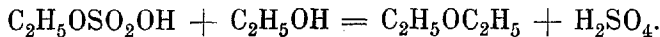
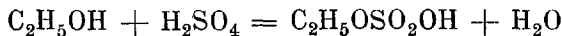
denselben Bedingungen ständig entsteht und wieder zerfällt. Er wird z. B. bei der Spaltung der H_2O_2 durch Platinmohr durch das Platinperoxyd dargestellt, das sich nach der Gleichung



bildet und gleich wieder zerfällt nach der Gleichung



oder der „labile Komplex“ ist die bei der Synthese des Äthyläthers als Zwischenprodukt auftretende Äthylschwefelsäure, die unter denselben Bedingungen entsteht und wieder zerstört wird, entsprechend den Gleichungen:



Und da dasselbe ebenso für die organismischen Enzyme gilt, so haben wir auch auf biologischem Gebiete genug der gewünschten Analogien. Also gerade die Enzyme, aus denen durch die Enzymtheorie der Reizung eine Waffe gegen die Theorie des labilen Komplexes geschmiedet werden sollte, können zur Unterstützung der letzteren herangezogen werden. Wir sehen hier, dass die Enzymtheorie der Reizung nur einen speziellen Fall der „Theorie des labilen Komplexes“ darstellt; aber freilich, wie oben dargelegt wurde, einen solchen, der besondere Schwierigkeiten bereitet.

Ausser dem hiermit abgewiesenen Einwand erklärt Winterstein dann ferner, dass die Lebensstoff-Theorie mit „den Tatsachen der Experimentalforschung im Widerspruch“ stehe¹⁾. Dieser Widerspruch wird hauptsächlich darin gesehen, dass im Hungerstoffwechsel und bei Abtötung von Zellen infolge des umfangreichen Zerfalls des angeblich besonders energiereichen Lebensstoffes nicht ungewöhnlich grosse Energiemengen frei werden und in die Erscheinung treten. Hier liegt aber ein Irrtum vor. Mag auch die Annahme einer besonderen

¹⁾ Winterstein, l. c. S. 721.

Energiespeicherung bei der Synthese des Lebensstoffes von dem einen oder anderen Vertreter einer derartigen Theorie gemacht worden sein, so ist eine solche Annahme doch keineswegs ein integrierender Bestandteil jeder Lebensstoff-Theorie. Die oben angeführten Beispiele von labilen Komplexen und labilen Verbindungen ($\text{HNO}_3 + \text{SO}_2$, NOBr_2 , Zwischenprodukt der Enzymreaktion) zeigen das zur Genüge. Man darf sich nicht durch den häufig angestellten Vergleich des labilen Komplexes mit einem explosiblen Körper wie Nitroglycerin oder Chlorstickstoff täuschen lassen, durch den in erster Linie die chemische Labilität des Lebensstoffes erläutert werden soll. Diese Labilität kann man sich aber, wie auch die obigen Beispiele zeigen, in sehr verschiedener Weise zustande kommend denken. Man kann sich vorstellen, dass die bei der Herstellung des Lebensstoffes stattfindende negative Wärmetönung nicht grösser ist als etwa diejenige, die mit dem Umbau von Nahrungseiweiss in arteigenes Körpereiwiss verbunden ist. Was dem an sich schon so grossen Energiegehalt des Eiweissmoleküls durch etwaige seine Labilität erhöhende Änderungen an Energie noch hinzugefügt würde, könnte doch verhältnismässig recht wenig sein. Ferner vermag ja aber die Labilität eines Komplexes allein schon durch die Kombination zweier unter den obwaltenden Bedingungen miteinander reagierender Körper, wie z. B. $\text{HNO}_3 + \text{SO}_2$, zu entstehen oder durch eine Konstellation nach Art des Komplexes Enzym + Substrat, gegenüber denen Winterstein den genannten Einwand wohl kaum dürfte erheben wollen. Diese Frage ist überhaupt experimentell nicht so einfach zu lösen, da ja, abgesehen von anderen hier nicht zu diskutierenden Punkten, über den Prozentgehalt einer Zelle an Lebensstoff gar nichts auszusagen ist.

Also auch die in diesem Abschnitt behandelten Einwände Wintersteins gegen die Hypothese des labilen Komplexes können nicht als zutreffend angesehen werden.

VI. Weitere Kritik der Enzymtheorie des Lebens.

Zu den angeführten Schwierigkeiten einer etwaigen Enzymtheorie des Lebens kommen aber, wenn man sie auf alle Hauptprobleme des Lebens anwenden will, noch weitere hinzu, die oben S. 632 genannt aber bisher überhaupt noch nicht diskutiert worden sind: nämlich die Probleme der Entwicklung, besonders der phylogenetischen. Hier steht gleich an der Spitze die Frage nach der Entstehung des Lebens auf der Erde. Wenn man, wofür meines Erachtens gewichtige physikalisch-chemische Gründe sprechen¹⁾, die Bildung der „lebendigen Ursysteme“ im Gegensatz zu den üblichen Ansichten von der Urzeugung in Zeiten verlegt, wo sich noch kein tropfbar flüssiges Wasser zu bilden vermochte, so kommen wir damit zu Vorstellungen über die primitiven Lebensvorgänge, bei denen wir mit den heutigen Enzymen kaum etwas anfangen können. Auch wenn man sich die noch lange nicht genügend gewürdigte fundamentale Eigenschaft der phylogenetischen Entwicklungsfähigkeit²⁾ der lebendigen Systeme verständlich zu machen versuchen will, kommt man wohl zu anderen „Triebkräften“, als sie uns die heutigen Enzyme darbieten. Für die Entstehung der meisten Zellenzyme pflegen wir das Leben schon vorauszusetzen; wie sind dann aber die Enzyme entstanden, die erst die Lebensmöglichkeit liefern sollten? Diese und ähnliche Fragen zeigen, dass es wenig befriedigend ist, sich immer auf die Leistungsfähigkeit der Enzyme vertrösten zu lassen und auf das Suchen nach anderen Erklärungsmöglichkeiten zu verzichten. Man darf das Prinzip der Denkökonomie auch nicht missbrauchen und sich die Erkenntnis unnötig erschweren, indem man bei seinen Erklärungsversuchen

¹⁾ Siehe P. Jensen, Organische Zweckmässigkeit, Entwicklung und Vererbung vom Standpunkt der Physiologie. Jena 1907, S. 203 ff.

²⁾ Siehe hierüber P. Jensen, Organische Zweckmässigkeit etc., S. 21 f. und Artikel „Leben“, Handwörterb. d. Naturwiss. Bd. 6, S. 86 f.

gewaltsam mit weniger beteiligten Grössen und funktionalen Beziehungen¹⁾ auszukommen sucht, als vielleicht der Wirklichkeit entspricht. Auch sollte man nicht zu dogmatisch und einseitig die Lebenserscheinungen vom Standpunkte der anorganismischen Natur beurteilen. Wie ich schon a. a. O. aussprach²⁾, müssen wir „das, was die ‚Materie‘ von selbst hervorbringen kann, nicht, wie es gewöhnlich geschieht, vorwiegend nach dem bemessen, was sie an anorganismischen Systemen erzeugt hat, sondern vielmehr der unermesslichen Mannigfaltigkeit der Lebenserscheinungen den Massstab dafür entnehmen“.

VII. Schlussbemerkungen über allgemein-naturwissenschaftliche Probleme.

Die letzten Bemerkungen führen mich zu einigen weiteren Äusserungen über die Wintersteinsche Schrift. Trotz freudiger Zustimmung zu ihrer wesentlichen Tendenz kann ich nicht umhin es auszusprechen, dass Winterstein in wichtigen Punkten seine Vorarbeiter nur sehr teilweise zu kennen und manches Mal bis zu dem schon vor ihm Erkannten nicht vorgedrungen zu sein scheint. In dem Abschnitt „Der denkökonomische Ursachenbegriff“ finde ich von dem, was der Verfasser auf S. 690f. über das Wesentliche des naturwissenschaftlichen Erklärens anführt, manches anfechtbar und unvollständig, was besser schon hauptsächlich von R. Avenarius³⁾ und J. Petzoldt⁴⁾ entwickelt worden ist. Ohne darauf näher einzugehen, verweise ich nur auf meine die An-

¹⁾ Siehe oben S. 628 f.

²⁾ Siehe „Leben“, S. 86.

³⁾ R. Avenarius, *Kritik der reinen Erfahrung*. 2. Aufl., Leipzig 1907 und 1908. Ferner: *Der menschliche Weltbegriff*. 3. Aufl., Leipzig 1912.

⁴⁾ J. Petzoldt, *Einführung in die Philosophie der reinen Erfahrung*. Leipzig 1900 und 1904. Ferner: *Das Weltproblem vom Standpunkte des relativistischen Positivismus aus*. 2. Aufl., Leipzig 1912.

schauungen der genannten Forscher fortführenden Untersuchungen¹⁾, insbesondere auf den von jenen ausgebildeten Begriff der „eindeutigen Bestimmtheit“. Gegenüber Wintersteins Darlegungen über den Begriff der Ursache erinnere ich an die lapidaren Sätze von Avenarius²⁾ über diesen Gegenstand und den von ihm so klar herausgearbeiteten Begriff der „Komplementär-Bedingung“³⁾. Den Zweckbegriff ferner, die Cossmannsche Teleologie, die Entelechielehre von Driesch und die „Dominanten“ und „nichtenergetischen Kräfte“ von Reinke habe ich selbst schon in erschöpfenderer Weise behandelt⁴⁾. Auch in der kritischen Auseinanderlegung der prinzipiellen Schwächen der vitalistischen Lehren glaube ich selbst schon früher nicht unerheblich über das von Winterstein Gebotene hinausgegangen zu sein⁵⁾. Angesichts des gegen mich erhobenen Vorwurfes des Vitalismus darf ich mir diese Hinweise wohl erlauben. Selbstverständlich bedeutet das keinen Widerspruch gegen den sehr berechtigten Wunsch, dass wichtige Aufklärungen und Anregungen der erörterten Art recht oft wiederholt werden möchten.

¹⁾ P. Jensen, *Erleben und Erkennen*. Jena 1919, S. 18 ff.

²⁾ *Kritik der reinen Erfahrung*. 2. Aufl., Bd. 1, S. 29 f.

³⁾ *Ebenda*, S. 29.

⁴⁾ P. Jensen, *Organische Zweckmässigkeit etc.* S. 106—157.

⁵⁾ l. c. S. 127 ff. und Artikel „Leben“ im *Handwörterbuch der Naturwiss.* Bd. 6, S. 87 f.