

Der anteil einfachster stoffe an den lebens-erscheinungen : Akademischer Vortrag gehalten am 31. Oktober 1913 in der aula der universität Bern. / von Leon Asher Professor der Physiologie.

Contributors

Asher, Leon, 1865-1943.
Sherrington, Charles Scott, Sir, 1857-1952.
Universität Bern. Medizinische Fakultät.
Royal College of Surgeons of England

Publication/Creation

Bern : Akademische Buchhandlung von Max Drechsel, 1913.

Persistent URL

<https://wellcomecollection.org/works/xqzty9pd>

Provider

Royal College of Surgeons

License and attribution

This material has been provided by This material has been provided by The Royal College of Surgeons of England. The original may be consulted at The Royal College of Surgeons of England. where the originals may be consulted. Conditions of use: it is possible this item is protected by copyright and/or related rights. You are free to use this item in any way that is permitted by the copyright and related rights legislation that applies to your use. For other uses you need to obtain permission from the rights-holder(s).



Wellcome Collection
183 Euston Road
London NW1 2BE UK
T +44 (0)20 7611 8722
E library@wellcomecollection.org
<https://wellcomecollection.org>

DER ANTEIL (4.)
EINFACHSTER STOFFE
AN DEN LEBENS-
ERSCHEINUNGEN

AKADEMISCHER VORTRAG

GEHALTEN AM 31. OKTOBER 1913 IN DER AULA DER UNIVERSITÄT BERN

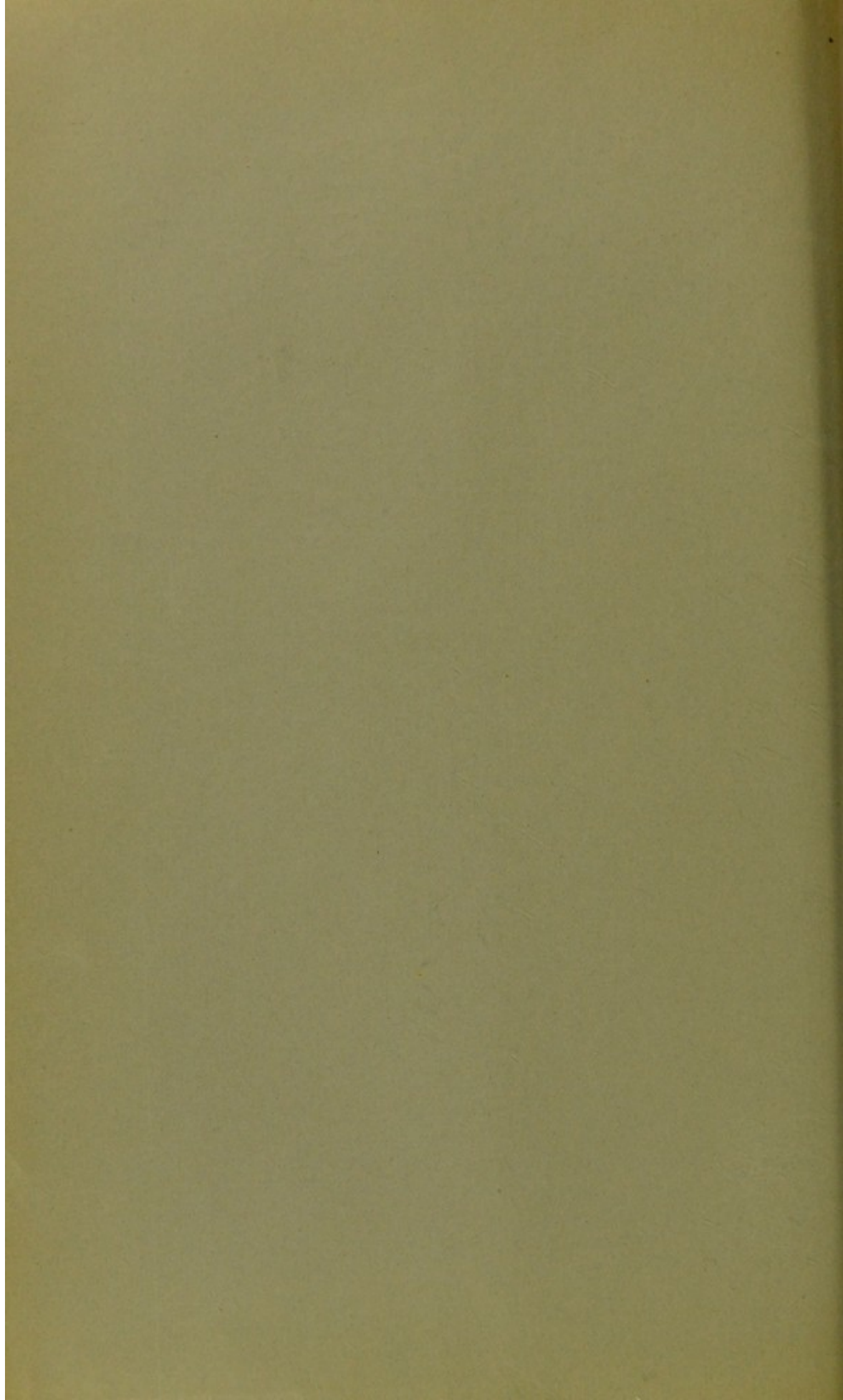
VON

LEON ASHER

PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE

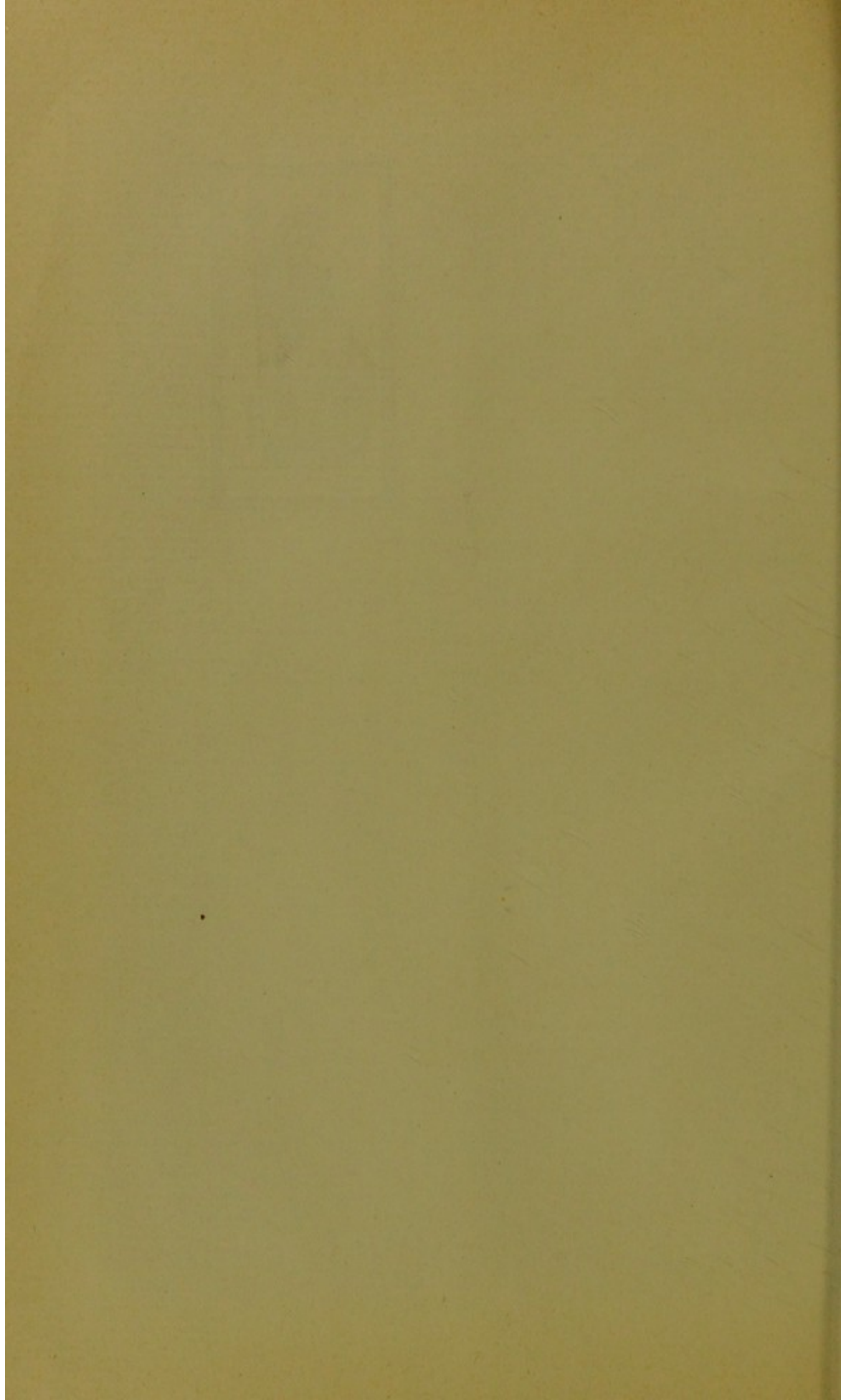


BERN
AKADEMISCHE BUCHHANDLUNG VON MAX DRECHSEL
1913



C. S. Sherrington





DER ANTEIL EINFACHSTER STOFFE AN DEN LEBENS- ERSCHEINUNGEN

AKADEMISCHER VORTRAG

GEHALTEN AM 31. OKTOBER 1913 IN DER AULA DER UNIVERSITÄT BERN

VON

LEON ASHER

PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE



BERN
AKADEMISCHE BUCHHANDLUNG VON MAX DRECHSEL
1913

WERKDRUCKEREI E. BOLLMANN, LAUPEN-BERN.



Wer inmitten unserer grossartigen Gebirgslandschaften steht und den bewundernden Blick über die Felsen und die Schneelandschaften wandern lässt, der erblickt überall wie ein schmaler Streifen von Leben von den unteren Regionen herkommend die toten Gewalten zu überziehen strebt. Und wer am Ozeane vor der ungeheuren Fläche scheinbar leblosen Wassers steht, der kann, wenn der Wellenschlag am Strande spielt, sehen, wie das Wasser angefüllt ist mit unzähligen kleineren und grösseren Lebewesen. So vermengt sich in der Natur überall das Lebendige und das Tote miteinander und wir alle wissen, dass jedes Partikelchen in einem lebendigen Organismus wieder zu dem toten Materiale zurückkehrt, auf dem es sich, tief während des Lebens von ihm unterschieden, aufhält.

Die Wissenschaft hat sehr oft versucht, Merkmale aufzustellen, welche das Lebendige von dem Toten unterscheiden sollen, aber obwohl wir es im Gefühle haben, ist es noch nicht gelungen, einwandfreie, ganz entscheidende Kriterien aufzustellen. Andererseits fragt es sich, ob nicht innigere Beziehung zwischen totem anorganischen Material und Lebenserscheinungen bestehen und mit dieser Frage sollen sich meine nachfolgenden Ausführungen befassen.

Eine Zeit lang schien es, als ob wir die Geheimnisse des Lebens in den Eigenschaften von dem erblicken wollten, was wir als organisch zu bezeichnen pflegen. Ein ganzer Wissenszweig, die organische Chemie, beschäftigt sich mit den komplizierten Stoffen, welche in der Natur ausschliesslich in den belebten Wesen des Tier- und Pflanzenreiches vorkommen. Wenn auch die Kunst des Chemikers eine Substanz nach der anderen künstlich darzustellen gelernt hat, so bezweifeln wir doch nicht, dass die Natur mit spielender Leichtigkeit das schafft,

was nicht ohne grosse Schwierigkeiten vom Forscher erkämpft werden muss. Wir haben aber jedenfalls in den letzten Jahren staunenswerte Triumphe der Synthese erlebt; in rascher Aufeinanderfolge ist es gelungen, Zuckerarten, Abbauprodukte des Eiweisses, ja sogar die einfacheren Formen des Eiweisses selbst auf künstlichem Wege darzustellen und es ist sicher nicht eine Aussage eines falschen Propheten, wenn in Aussicht gestellt werden darf, dass in kürzerer oder längerer Zeit die Darstellung selbst der verwickelsten Stoffe des tierischen Körpers erreicht werden wird.

Aber die kühnen Hoffnungen, welche noch vor wenigen Jahren auf das Gelingen der Synthese der höchsten organischen Stoffe gesetzt wurden, sind enttäuscht worden, denn es kann kein Zweifel sein, dass so wertvoll und sogar notwendig die Fortschritte der organischen Chemie für die Erkenntnis der Lebenserscheinungen sind, trotzdem das eigentliche Wesen derselben nicht dadurch enthüllt wurde. Das vom Chemiker dargestellte Eiweiss ist ein totes Eiweiss und es gibt auch nicht, wie man sich früher mit einer Hypothese half, ein lebendiges Eiweiss, sondern Eiweiss bleibt stets ein toter Körper. Erst indem es in das Gefüge der lebendigen Zelle eingewebt ist, gewinnt es seine Bedeutung für die Lebenserscheinungen.

Ich will in diesem Augenblicke nicht dabei verweilen, welche ungeheuer wichtige Rolle und wohlbestimmte Aufgabe den organischen Stoffen im tierischen Organismus zukommt, sondern ich möchte Ihre Aufmerksamkeit darauf lenken, dass, wenn wir den organischen Körpern einen bescheideneren Anteil an den Lebenserscheinungen zuschreiben als die kühnen Träume nicht lang vergangener Zeiten wollten, es ebenso berechtigt ist, auch den einfachen Stoffen, welche wir im tierischen Organismus antreffen, einen bedeutsamen Anteil an den Lebenserscheinungen zuzuschreiben, oder anders ausgedrückt, dass die einfachen anorganischen Stoffe in den sinn- und planvollen Mechanismus des Lebens ebenso eingehen, wie die höchst zusammengesetzten chemischen Stoffe.

Es handelt sich hier nicht um Spekulation, sondern um eine Fülle von Tatsachen, welche von der modernen Biologie

erworben worden sind. Die Gründe welche dazu geführt haben, dem Anteil einfachster Stoffe an den Lebenserscheinungen nachzugehen, sind mannigfacher Natur. Einmal waren es ganz neue Erkenntnisse der sogenannten physikalischen Chemie, Erkenntnisse, welche uns vor allem einen ungeahnten Aufschluss über die statischen und dynamischen Eigenschaften der einfachsten Stoffe gelehrt haben, wenn sie sich in wässriger Lösung befinden, und in wässriger Lösung befinden sich alle diese Stoffe im tierischen Organismus. Andererseits sind es Gründe, die in einer anders gearteten Richtung des biologischen Forschungstriebes gelegen waren, nämlich in der Abkehr von der zwar in mancher Hinsicht ausserordentlich förderlichen und auch unbedingt aufklärend mechanischen Betrachtungsweise der Lebenserscheinungen, die aber, was die eigentliche Erkenntnis des Wesentlichen an ihnen anbetrifft, von vorneherein zu einer gewissen Sterilität verurteilt war.

Lassen Sie mich von einem biologischen Gesichtspunkt ausgehen, welcher für das ganze Gebiet, mit dem ich mich augenblicklich befasse, wegleitend geworden ist. Alle Lebewesen, sofern sie nicht im niedrigsten Zustande des Aufbaues von nur einer oder sehr wenigen Zellen verharren, sind durchströmt von einer Flüssigkeit, die wir als Blut bezeichnen. Wenn wir nun die Bestandteile dieses Blutes untersuchen, finden wir jederzeit in demselben eine bestimmte Anzahl von einfachen Salzen. Dass diesen einfachen Salzen eine bedeutende Rolle zukommen muss, geht daraus mit grösster Deutlichkeit hervor, dass so lange die Organismen normal sind, mit der grössten peinlichkeit darauf hingearbeitet ist, dass eine bewunderungswürdige Konstanz der anorganischen Bestandteile des Blutes gewahrt wird. Und dieses, trotzdem fortwährend Einflüsse vorhanden sind, um die Zusammensetzung tiefgehend zu ändern, denn wir nehmen fortwährend in unserer Nahrung Salze auf, und im Stoffwechsel der Zellen entstehen unausgesetzt einfache mineralische Bestandteile. Von den Mechanismen, welche der tierische Körper besitzt, um die Konstanz der Zusammensetzung seines Blutes zu wahren, nenne ich in erster Linie die Niere, welche als ein treuer Hüter darüber wacht,

dass auch nicht ein Partikelchen über das knapp zugemessene Mass störend im Blute verweilt. Was von dem Blute gilt, gilt auch von den Zellen selbst. Die Zusammensetzung der Zellen an einfachsten Stoffen ist zwar vielfach anders, als die des Blutes, aber die Konstanz innerhalb der Zelle ist in weitem Umfange gewahrt.

Die Betrachtung der im Blute vorkommenden einfachsten Stoffe enthüllt eine merkwürdige Tatsache, nämlich die, dass die im Blute vorkommenden Salze im selben Verhältnisse enthalten sind, wie im Meerwasser. Forscher, welche geneigt sind, historischen Betrachtungen nachzugehen, welche wohl mehr ein Anregungsmittel der Phantasie mit all ihren Vorzügen und Fehlern, weniger eine Quelle wirklich gesicherter objektiver Erkenntnisse sind, haben darin ein Erbe vergangener Tage erblickt, indem sie erklärten, dass die jetzt vorhandenen Lebewesen in letzter Linie abstammten aus jenem Ursprungsorte, aus dem die Sage schon menschliche Gebilde und Götter entstehen liess, aus dem Ozeane. Wenn man nüchterner denkt, wird man vielleicht mit Jacques Lœb die Ansicht hegen, dass die Zusammensetzung des Meerwassers an Salzen die besonders günstige ist, um die Lebenserscheinungen zu fördern. Tatsächlich sehen wir auch, dass nirgends eine so überreiche Fülle vielgestaltiger Lebensformen sich vorfindet, als wie in den Tiefen des Ozeanes.

Die Salze, um welche es sich hierbei handelt, sind in erster Linie Natrium, Kalium und Kalciumsalze, daneben auch etwa Magnesiumsalze. Die neuere physikalische Chemie, die ich vorhin erwähnt habe, hat uns gelehrt, dass, wenn diese Salze in wässriger Lösung aufgelöst werden, ein mehr oder weniger grosser Bestandteil derselben in Sonderteile zerfällt, welche wir als Ionen bezeichnen, d. h. Teilchen, welche mit einer elektrischen Ladung behaftet sind. Da immer gleich viel positive und negative Elektrizität vorhanden sein muss, sind die entstandenen Teile insgesamt mit gleich viel positiver wie mit negativer Elektrizität beladen. Wir nennen die mit positiver Elektrizität beladenen Teile die Kationen, die mit negativer Elektrizität beladenen Teile Anionen. Ein einfaches Beispiel wird klar machen,

worum es sich handelt. Wenn wir eine kleine Menge von Kochsalz in Wasser auflösen, finden sich infolge des Auflösungsprozesses nicht weniger als drei Bestandteile im Wasser, erstens das ungeteilte Kochsalz, zweitens positiv geladene Natriumkationen und negativ geladene Chloranionen. Je verdünnter die Lösung ist, umso mehr tritt der nicht gespaltene Teil zurück und umso mehr überwiegen die Kat- und Anionen. Dieser Vorgang ist durchaus nicht gleichgültig, denn durch die Aufteilung in die Ionen erlangen die Salzbestandteile ganz neue äusserst fruchtbringende Eigenschaften, gerade wegen ihrer elektrischen Ladung. Wenn wir uns bildlich ausdrücken wollen, gewinnen sie durch diese elektrischen Ladungen Kräfte, durch welche sie aus einem tatenlosen Schlummer zu einer sehr kräftigen und mannigfaltigen Tätigkeit erweckt werden.

Der Aufschluss über die wahre Bedeutung der soeben betrachteten einfachsten Stoffe, der Kationen, für die Lebenserscheinung ist nun durch eine grosse Reihe von Experimentaluntersuchungen der letzten Jahre gewonnen worden. Lassen Sie mich einen kurzen Überblick über einige derselben geben und Sie werden daraus erkennen, dass ich nicht zu viel behauptet habe, wenn ich vorhin erklärte, dass einfachste Stoffe ebenso bedeutsam für die Entfaltung der Lebenserscheinung seien, wie die hoch komplizierten Eiweisskörper und ähnliche Stoffe. Die Experimentalforschung unserer Tage ist, dank der eigentümlichen Einrichtung des höher zusammengesetzten tierischen Organismus, dass er sich in Wahrheit zusammensetzt aus einer Summe selbständiger Lebensteile, welche ohne im Verbande des Gesamtorganismus verbleiben zu müssen, dennoch ihre eigentümliche Lebenstätigkeit fortsetzen können und dank einer verfeinerten Versuchstechnik, in der Lage gewesen, planvoll die Lebensvorgänge der einzelnen Organe zu untersuchen und dabei festzustellen, dass sie ihre charakterischen Lebenserscheinungen ausserhalb des Organismus unvermindert stundenlang fortsetzen können, wenn nur die richtigen Bedingungen gefunden werden. Und als die wesentlichste Bedingung hat sich neben den längst bekannten, der Einhaltung von bestimmten Temperaturen und der Versorgung

mit Sauerstoff, die erwiesen, dass die Lösung, welche die herausgenommenen tierischen Teile umbadet, die vorhin genannten einfachsten Stoffe in der richtigen Mischung enthält.

Am leichtesten gelingt der Nachweis bei solchen Organen, deren sinnfälligste Lebenstätigkeit in der Bewegung besteht. Nehmen wir von einem beliebigen höheren Tiere ein Stück Darm, den Magen, das Herz, die Gebärmutter, die Blase, oder sonst ein ähnliches Organ, versenken wir dieselben in eine auf Körpertemperatur gehaltene Lösung, welche die Kationen Natrium, Kalium, Kalcium und eventuell Magnesium in demselben Verhältnis wie sie im Meerwasser oder im Blute der Tiere sich vorfinden, enthalten und lassen wir gleichzeitig andauernd Sauerstoff durchperlen, so können wir stundenlang das Spiel ihrer Bewegung beobachten und was für die Behandlung von Krankheiten sehr wesentlich ist, den Einfluss von Arzneimitteln auf dieselben studieren. Die Lebenserscheinungen unterscheiden sich prinzipiell in keiner Weise von denen, wie sie im Gesamtorganismus beobachtbar sind. Dabei muss betont werden, dass die Lösungen, in denen wir die Organe sich baden lassen, vollkommen frei von organischen Stoffen sein dürfen. Mit dieser Behauptung soll natürlich nicht ausgesagt werden, dass die organischen Stoffe an den Lebenserscheinungen keinen Anteil hätten. Diese Behauptung wäre irrig, denn die belebten Teile enthalten ja in ihrem Innern organische Bestandteile, aber was diese Experimente lehren, ist, dass diese organischen Bestandteile für sich ein toter Mechanismus sind, dessen Spiel erst ins Leben gebracht wird, wenn jene einfachsten Stoffe gleichzeitig mitvorhanden sind. Wie gross ihre Bedeutung ist, geht weiter daraus hervor, dass selbst sehr geringfügige Änderungen in der Zusammensetzung schon entweder den Ablauf des Lebens vollkommen stillstellen oder wenigstens in tiefgreifender Weise modifizieren. Beispielsweise hebt die Entfernung des Kalciumiones jede Möglichkeit der Bewegung auf.

Das Kalcium Ion spielt überhaupt eine sehr merkwürdige und nicht zu unterschätzende Bedeutung im Mechanismus der Lebenserscheinungen. Nicht allein ist es ein unbedingtes Er-

fordernis für alle Bewegungsvorgänge, sondern es ist auch notwendig für das Zustandekommen des nervösen Erregungsprozesses. Der Entwicklungsprozess des Eies wird sistiert, wenn der Umgebung ausschliesslich die Kalziumionen entzogen werden. Die Durchlässigkeit der tierischen Zellen wird gleichfalls aufs tiefste alteriert, wenn nichts weiter geändert wird, als der Kalkgehalt der sie umspülenden Flüssigkeit.

Nicht bloss das Kalziumion, sondern auch die anderen Ionen haben jedes einzelne seine spezifische Funktion. Von allen ist wohl das Natriumion der Träger der unentbehrlichsten und wesentlichsten Leistungen. Im tierischen Organismus ist kein vitaler Prozess denkbar, welcher bei völliger Abwesenheit von Natriumionen geschehen könnte.

Ich habe soeben die Entwicklung des Eies erwähnt, jenes Vorganges, bei dem wir uns dem Urquell und den tiefsten Geheimnissen des Lebensprozesses am nächsten befinden. Nichts kann wohl in bedeutsamerer Weise den Anteil der einfachsten Stoffe an dem eigentlichen Mechanismus der Lebenserscheinungen zu Tage treten lassen, als die geniale Entdeckung des oben genannten amerikanischen Biologen Jacques Loeb, welcher durch einfache Änderung in der Zusammensetzung der umgebenden Flüssigkeit an anorganischen Bestandteilen die unbefruchteten Eier von Seetieren zu derselben Entwicklung anregte, wie sie durch die natürliche Zeugung stattfindet. Ich möchte wenn ich Ihre Bewunderung für diesen Triumph, auf den die Experimentalwissenschaft stolz sein kann, zu erwecken versuche, Ihnen durchaus nicht den Wahn vorgaukeln, dass die Erzeugung des Lebens, welchem der platte Famulus Wagner nachgejagt ist, gelungen sei. Davon kann keine Rede sein, denn die Anlage der Bedingungen des Lebens waren im Ei gegeben und der Experimentator hat nur eine, allerdings sehr wichtige hinzugefügt.

Nach einer ganz anderen Seite hin lässt sich die Bedeutung einfachster Stoffe für die Lebenserscheinungen mit Leichtigkeit nachweisen. Das Leben ist wesentlich ein chemischer Prozess. Die von mir vorhin geschilderten Bewegungsvorgänge, welche ja allerdings für das betrachtende Auge das sinnfälligste sind,

dienen mittelbar oder unmittelbar in letzter Linie den chemischen Prozessen, welche gleich einer Flamme den eigentlichen Lebensvorgang unterhalten. Der namentlich bei höheren Tieren ausserordentlich intensive chemische Prozess, den wir Stoffwechsel nennen, und der in einer sehr grossen Reihe von Spaltungen und Synthesen besteht, hat gegenüber den chemischen Vorgängen, wie wir sie im Laboratorium benutzen, einen wesentlichen Unterschied, indem er zu einem sehr grossen, wenn nicht grössten Teile mit Hilfe von sogenannten Fermenten oder Enzymen zustande kommt. So gross ist der Eindruck, den diese Tatsache macht, dass man zeitweise geneigt gewesen ist, enzymatische und Lebensprozesse fast zu identifizieren, denn sie gleichen sich dadurch, dass sie nur innerhalb der Temperaturen, welche mit dem Leben verträglich sind, ablaufen, dass sie äusserst empfindlich sind gegen Gifte und eine grosse Anzahl von andern Schädlichkeiten, und dass mit einer schier verschwindenden, jedenfalls unwägbaren Substanzmenge die grössten chemischen Zustandsänderungen zustande gebracht werden. Lassen wir es für den Augenblick dahingestellt, wie weit zwischen enzymatischen und Lebensprozessen Verwandtschaft besteht, so können wir immerhin sofort feststellen, dass alle diese lebenswichtigen enzymatischen Prozesse in der feinsten Weise abhängig von dem Vorhandensein einfachster anorganischen Stoffe sind. Die letzteren können nach zwei verschiedenen Richtungen hin ihre Wirksamkeit geltend machen. Sie können auf das äusserste anregen und können andererseits vollständig hemmen. Es ist sehr interessant, einen vollständigen Parallelismus zwischen dem Verhalten der einfachsten Stoffe gegenüber den Enzymen mit ihrem Verhalten gegenüber den vorhin betrachteten Lebensvorgängen an muskulösen und nervösen Organen zu konstatieren. Beispielsweise verlieren zahlreiche Enzyme ihre Wirksamkeit, wenn man ihnen durch Dialyse ihren Salzgehalt entzieht und sie kehrt wieder, sobald die entfernten Salze wieder zugesetzt werden.

Für die Wirksamkeit der soeben betrachteten Enzyme sind nun zwei besonders einfachste Stoffe von grösster Wichtigkeit, nämlich das Wasserstoffion und das sogenannte aus Wasser-

stoff und Sauerstoff bestehende Hydroxylion, bekanntlich die beiden Bestandteile, aus denen das Wasser besteht. Das Vorhandensein von Wasserstoffionen bedingt, das, was die physikalische Chemie saure, die Hydroxylionkonzentration das, was alkalische Reaktion genannt wird. Nun hat sich gezeigt, dass die allerfeinsten Schwankungen in der Konzentration gerade dieser Ionen, Schwankungen, zu deren Messung wir die subtilsten Methoden anwenden müssen, auf das alleräusserste die Wirksamkeit der Enzyme beeinflussen. Ueberraschenderweise hat es sich nun ergeben, dass ausserdem eine ganze Reihe von Lebenserscheinungen auf genau die gleichen Schwankungen ausserordentlich fein reagieren. Ich will hier ein paar bezeichnende Beispiele anführen. Die Zuckerspaltung im tierischen Organismus, das Vermögen der weissen Blutkörperchen, eingedrungene Schädlichkeiten durch Aufnahme in ihren Körper hinwegzuräumen, die künstliche wie die natürliche Zeugung, die Oxydationsgeschwindigkeit in den Zellen, die rhythmischen Bewegungen einer ganzen Anzahl von tierischen Apparaten, die Art und Weise, wie unser Atemzentrum die Atembewegungen regelt, alles dieses sind Vorgänge, so verschieden sie auch sein mögen, deren Mechanismus in einer geradezu gesetzmässigen Abhängigkeit von den Wasserstoffionenkonzentrationen steht.

Es kann nicht Wunder nehmen im Zusammenhang hiermit zu erfahren, dass die tierischen Zellen und Säfte ein mit grosser Präzision spielendes Neutralitätsregulationsvermögen besitzen. Es sind Einrichtungen vorhanden, um zu verhüten, dass die Träger der sauren oder alkalischen Reaktion sich anhäufen. Wie jederzeit die normale Konzentration der Salze konstant gewahrt wird, so auch die neutrale Reaktion. Wenige Geschehnisse im Organismus werden durch eine gleich exakt wirkende Gesetzmässigkeit beherrscht, ein deutlicher Hinweis, in wie enge Grenzen das Leben hinsichtlich der Abweichung von der neutralen Reaktion gebannt ist.

Es ist klar, dass so auffallende und sicher festzustellende Tatsachen zum Nachdenken anregen und insbesondere dazu, den Versuch zu machen, ob nicht mit ihrer Hülfe Aufschlüsse über die tieferen Ursachen derselben gewonnen werden können,

Aufschlüsse, von denen man hoffen dürfte, den physikalisch-chemischen Prozessen, welche den Lebenserscheinungen zu Grunde liegen, näherzukommen. Es sind in dieser Beziehung einige hoffnungsvolle Ansätze vorhanden, von denen ich hier nur ganz kurz einiges skizzieren darf. Erstens hat sich gezeigt, dass sehr ähnliche Beziehungen, wie zwischen der Beeinflussung der Lebenserscheinung durch die genannten einfachen Ionen bestehen, auch zwischen denselben und dem Zustande des Eiweisses existieren, d. h. dass je nach der Art und den Mengenverhältnissen der Ionen das Eiweiss im festen oder im flüssigen Zustand oder in Übergangszuständen dazwischen sich befindet. Man kann daraus den Schluss ziehen, dass der Mechanismus von einer Reihe von Lebenserscheinungen in einem Wechselspiele zwischen Eiweiss und Ionen besteht. Zweitens hat sich konstatieren lassen, dass zwischen der Beeinflussung der Lebensvorgänge durch einfache Stoffe und der Beeinflussung der Reaktionsgeschwindigkeit chemischer Reaktionen durch die gleichen Stoffe eine weitgehende Analogie besteht. Wiederum ein Hinweis, dass die genannten Lebensvorgänge im Grunde genommen chemische Reaktionen sind. Von diesen Reaktionen interessieren den Biologen namentlich diejenigen, welche eine sehr grosse Verwandtschaft mit den durch Enzymen hervorgerufenen haben und das sind die sogenannten katalytischen Reaktionen. Unter katalytischen Reaktionen verstehen wir solche, welche durch die Gegenwart ausserordentlich geringfügiger Mengen einer anderen Substanz entweder ausserordentlich beschleunigt oder ausserordentlich verlangsamt werden, ohne dass die zugesetzten geringfügigen Mengen von Substanzen, welche die Beschleunigung oder die Verlangsamung einleiten, selbst in geringster Weise verändert werden, und ohne dass diese Substanzen in den entstehenden Reaktionsprodukten mit auftreten. Sie wirken gleichsam durch ihre blosse Gegenwart, ein Verhalten, dem genau etwas so geheimnisvolles und vorläufig unfassbares inne wohnt, wie den Lebensvorgängen selbst. Man hat katalytische und enzymatische Prozesse heutzutage fast vollständig identifiziert, sodass schon aus diesem Grunde der Einfluss der einfachen anorganischen Stoffe auf die katalytischen Prozesse von

höchster Bedeutung für das Verständnis der Lebensvorgänge ist, aber wir besitzen im Organismus auch nachweisbare ganz reine katalytische Prozesse, von denen ich als Beispiel hier nur ein besonderes bemerkenswertes moderner Erkenntnis anführen will. Beiläufig möchte ich erwähnen, dass gerade in unserer Wissenschaft das moderne, mehr wie in andern vielleicht, vor dem alten den Vorrang hat, weil sich die Erkenntnisse und die Methoden in so überraschend rascher Weise vervollkommen, vertiefen und anhäufen, dass historisch gewordenen häufig nur einen ausserordentlich geringen realen Wert hat. Das Beispiel betrifft das Eisen, das Eisen, welches bekanntlich ein Bestandteil unserer roten Blutkörperchen ist und dessen Funktion als Träger des Sauerstoffes eine altbekannte Tatsache ist. Jüngst hat der Heidelberger Forscher Warburg eine sehr wichtige neue Tatsache, das Eisen betreffend, entdeckt. Wir besitzen in unserem Körper unter anderem Fette, und namentlich kommen in jeder Zelle ausnahmslos höher zusammengesetzte sehr verwickelte Fettarten, die Zelllipide, vor, die eben durch ihr ausnahmsloses Vorkommen ihre hohe Bedeutung erraten lassen. Nun war es immer sehr auffallend, dass diese Fettarten ausserordentlich schwer zu oxydieren waren, während im lebenden Organismus dieselben mit der spielenden Leichtigkeit, die wir immer an ihm bewundern und beneiden, oxydiert werden. Warburg konnte nun zeigen, dass der Zusatz einer geringen Spur Eisen diese schwer oxydierbaren Fette auch ausserhalb des Körpers mit derselben Leichtigkeit oxydiert wie innerhalb, womit dem Organismus wiederum eines seiner Geheimnisse mit kühnem Griff entrissen worden war. Für unsere Zwecke ist das interessierende wiederum die Wirksamkeit eines einfachen Stoffes für einen sehr wesentlichen Lebensvorgang. Als drittes, etwas eingehender zu besprechendes Beispiel dieser Art wähle ich ein Gebiet, welches von jeher die berufenen, leider auch die ungerufenen Erforscher der Lebensvorgänge angelockt und gefesselt hat, nämlich das Gebiet der elektrischen Erscheinungen im tierischen Organismus, Erscheinungen, welche ja bekanntlich auch an der Wiege der modernen, für die Entwicklung der Technik unserer Tage so folgenschweren Elektrizitätslehre gestanden haben.

Nicht allein gibt es Sonderlinge in der Tierreihe, welche in sich selbst elektrische Batterien tragen und mit ihrem elektrischen Schlage ihren Feinden bedenklich gefährlich werden können, sondern auch in einer grossen Anzahl tierischen Geweben ist der Sitz elektromotorischer Kräfte nachgewiesen worden. Was das Wichtige an denselben ist, und ihre Berücksichtigung bei dem Versuche, die Lebensvorgänge aufzuklären, erheischt, ist die Tatsache, dass gerade bei jedem echten Lebensvorgange gesetzmässige elektrische Ströme nachweisbar sind, Ströme, die ihr enges Verknüpftsein mit dem eigentlichen Lebensprozesse dadurch verraten, dass die Geschwindigkeit ihres Ablaufs mit der Geschwindigkeit des Lebensvorganges übereinstimmt und dass Schädlichkeiten wie z. B. die Narkose und Gifte in derselben Weise die Entwicklung der elektromotorischen Kräfte hemmen, wie sie diejenige der Lebenserscheinungen selbst hemmen. Wenn sich auch die hochfliegenden Hoffnungen der ersten Pioniere auf diesem Gebiete nicht erfüllt haben, welche mit Hilfe der Elektrizität dem Wesen des Lebens näherzukommen wähten, so bietet doch das Studium der tierischen Elektrizität eine Fülle von beachtenswerten Aufklärungen. Dieses Studium hat noch den beachtenswerten Vorzug, dass es wiederum dank der modernen Technik mit sehr grosser Präzision am vollkommen unversehrten Lebewesen, insbesondere auch am unversehrten Menschen ausgeführt werden kann. Ich möchte an dieser Stelle ein Beispiel bringen, welches Ihnen zur Illustration davon dienen möge, worin die elektrischen Erscheinungen bestehen und in welcher Art man dieselben in Beziehung zu den Lebensvorgängen untersucht. Gerne hätte ich Ihnen diese Beobachtung am Menschen selbst vor Augen geführt, wenn es mir nicht aus äussern Gründen versagt wäre, über die modernen Hilfsmittel dazu zu verfügen. So müssen Sie sich mit der Wortbeschreibung begnügen.

Denken Sie sich, dass ein Mensch etwa in seine linke und in seine rechte Hand eine Elektrode nimmt, wie wir sie in ähnlicher Art an unsern wohl allgemein bekannten elektrischen Apparaten haben, und denken Sie sich diese Elektroden nach einem äusserst empfindlichen Galvanometer, einem Anzeiger elektrischer Ströme

abgeleitet, so wird dieses Galvanometer ausserordentlich rasch ablaufende, periodisch sich wiederholende elektrische Ströme anzeigen. Diese Ströme sind so ausserordentlich rasch, dass es einer ganz besonderen Art von Galvanometern bedurfte, um dieselben getreu anzuzeigen. Wir verdanken der Erfindungsgabe des holländischen Physiologen Einthoven einen ingeniösen Apparat, genannt das Saitengalvanometer, welches ausserordentlich schwache und mit grosser Geschwindigkeit verlaufende elektrische Ströme wirklich getreu wiedergibt. Das wesentlichste an dem Apparat ist, dass der Strom durch einen versilberten Quarzfaden, der einen Durchmesser von nur ein 2000stel eines Millimeters hat, angegeben wird. Die Bewegungen dieser Saite photographieren wir auf einer mit grosser Geschwindigkeit sich bewegendenden photographischen Platte und können hinterher in aller Musse auf den Photographien das studieren, worauf es ankommt. Es ergibt sich nun, dass diese elektrischen Ströme von der Tätigkeit des menschlichen Herzens herrühren, das mit allen andern tätigen Gebilden die Eigenschaft zeigt, elektrische Ströme, die im Zusammenhang mit seiner Tätigkeit stehen, zu entwickeln. Die elektrischen Ströme des menschlichen Herzens, die ich als Beispiel gewählt habe — ich hätte ebenso gut Ihnen von den Strömen anderer Muskeln, der Nerven, der Drüsen, des sich entwickelnden Eies, ja sogar der pflanzlichen Zellen berichten können — stehen in einer gesetzmässigen Abhängigkeit von der Tätigkeit der einzelnen Abteilungen des Herzens, sowohl, was die zeitliche Folge, wie auch die quantitativen Verhältnisse betrifft. Zahlreiche Untersuchungen haben gelehrt, dass die Erkenntnisse, welche die elektrische Untersuchung der Herztätigkeit uns erschliesst, nicht allein für den Erforscher der normalen Tätigkeit von hohem Interesse sind, sondern im höheren Grade noch für den Arzt, der es mit der Untersuchung von Herzkrankheiten zu tun hat. Ich habe das Beispiel des menschlichen Herzens gewählt, weil es wohl eindringlicher als irgend ein anderes Beispiel Ihnen die Bedeutung des Zusammenhanges zwischen Lebenstätigkeit und elektrischen Vorgängen vor das Auge rückt.

Es ist nicht wunderbar, dass man bei der engen Verknüpfung zwischen physiologischen, elektrischen Strömen und Lebens-

erscheinungen in beiden Fällen an ausserordentlich verwickelte Ursachen des Geschehens gedacht hat. Die Geschichte der Hypothesen über die Entstehung der tierischen Elektrizität ist ein nicht uninteressantes Kapitel von Irrwegen, welche die Wissenschaft leider so oft genötigt ist zu wandeln. Erst jetzt bietet sich die Möglichkeit einer rationellen Erklärung, welche in engstem Zusammenhang mit den Problemen steht, mit denen wir uns in dieser Rede beschäftigt haben.

Die neuere physikalische Chemie hat uns damit bekannt gemacht, wie elektromotorische Kräfte in Gebilden entstehen können, wie sie diejenigen des tierischen und pflanzlichen Körpers sind. Keine Zelle hat die geringste Verwandtschaft etwa mit einem galvanischen Element, einem Akkumulator, einem Influenzapparat oder einer Dynamomaschine, sondern sie ist eine flüssige Substanz. In Lösungen entstehen nun elektrische Potentialunterschiede und dementsprechend elektrische Ströme auf Grund von Eigenschaften, die ich vorhin schon besprochen habe. Wir hatten erfahren, dass die Salze, wie sie beispielsweise im tierischen Organismus vorkommen, in Lösungen teilweise in Ionen zerfallen sind. Nun braucht nur aus irgend einem Grunde z. B. ein Unterschied in der Konzentration der Ionen in der Lösung vorzukommen, und sofort haben wir Bedingungen für das Entstehen von elektrischen Kräften gegeben. Wir denken uns z. B. zwei Gefässe, welche mit einer verdünnten Salzsäure gefüllt sind, aber die Verdünnung sei in den beiden Gefässen eine verschiedene. Wenn wir die beiden Gefässe miteinander verbinden, so wird sich ein Ausgleich der Unterschiede der beiden Konzentrationen auf dem Wege der Diffusion herzustellen versuchen. Nun sind die Salzsäurepartikel zerfallen in ihre beiden Ionen. Gesetzt nun der Fall, dass die beiden Ionen mit einer verschiedenen Geschwindigkeit wandern, so wird hierdurch eine Trennung der beiden Ionen erfolgen. Nehmen wir an, dass das positiv geladene Ion etwas rascher wandert als das negativ geladene, so haben wir eine Trennung von positiver und negativer Elektrizität in einer einfachen Flüssigkeit. Leiten wir die beiden miteinander verbundenen, mit verschieden konzentrierten Lösungen gefüllten Gefässen nach

einem Galvanometer ab, so zeigt uns dieses das Vorhandensein eines elektrischen Stromes an. Wir nennen derartige elektrische Ketten, welche Ströme nur durch Konzentrationsunterschiede entstehen lassen, Konzentrationsketten. Es gibt noch andere Mittel, um in Lösungen, wie sie der Inhalt und die Umgebung tierischer Zellen darstellen, elektromotorische Kräfte entstehen zu lassen und zwar durch die einzelne Trennung der Ionen der Salze, beziehentlich auch der schwachen Säuren und schwachen Basen. Denken wir uns z. B. zwei Lösungen durch eine Membrane voneinander getrennt, welche nur die eine Ionensorte hindurchlässt, die andere aber nicht, so haben wir wiederum eine Bedingung gegeben, dass sich an der Grenze dieser Membrane positive und negative Ionen voneinander trennen und sobald diese getrennt sind, ist eine elektromotorische Kraft vorhanden. Der tierische Organismus gibt nun reichlich Gelegenheit, den genannten Fall zu realisieren. Ich habe Ihnen in einem früheren Teile meiner Rede die Salze genannt, welche im Blute vorhanden sind. Es zeigt sich nun bei der Untersuchung der verschiedenen Zellen, dass der Salzgehalt der Zellen von dem des sie umspülenden Blutes verschieden ist und dass diese Verschiedenheit, so lange die Zellen normal sind, festgehalten wird. Daraus geht hervor, dass an den Zellgrenzen ein Mittel der Trennung für die Salzbestandteile gegeben sein muss oder, wie wir es auch ausdrücken können, dass an den Zellgrenzen Membranen vorhanden sind, welche wie eine Art von Sieb die Ionen voneinander trennen können. Diese Theorie der Entstehung von elektrischen Kräften nennen wir Membrantheorie und sie ist wie jede gute Theorie nicht bloss ein spekulativer Gedanke, sondern sie lässt sich durch das Experiment verifizieren. Und noch ein drittes Prinzip gibt es, um mit Hülfe einfachster Stoffe die sog. bioelektrischen Ströme, d. h. die Ströme im lebendigen Organismus zu erklären. Dieses Prinzip ist folgendes. Denken wir uns nebeneinander zwei Lösungsmittel, die sich entweder gar nicht oder wenigstens schlecht miteinander mischen, z. B. flüssige Fette und Wasser, oder Benzol und Wasser, und lösen wir in den beiden Lösungsmitteln entweder die gleichen oder auch verschiedene Salze

auf, so kann es zu folgenden Fällen kommen. Erstens können die Ionen in den beiden Lösungsmitteln verschieden rasch wandern und dann haben wir, wenn Sie sich meiner vorhin gegebenen Ausführung erinnern, sofort eine Bedingung der Trennung der Ionen, demnach eine Bedingung für das Entstehen von elektrischen Strömen. Der andere Fall, der eintreten kann ist der, dass das eine Lösungsmittel bei der Wanderung der Ionen aus dem andern Lösungsmittel in es hinein nur dem einem Ion den Eintritt gestattet, dem andern entgegengesetzten Ion aber den Eintritt verwehrt. Dann wirkt die zweite Flüssigkeit durch diese Eigenschaft geradezu wie eine absolut trennende Membrane und wiederum haben Sie die Bedingung für das Entstehen von elektrischen Strömen gegeben. Die beiden von mir soeben Ihnen kurz skizzierten Arten der Entstehung von elektrischen Strömen sind durch Rechnung und Experiment genau untersucht worden und es hat sich ergeben, dass auf diese Weise elektromotorische Kräfte von genau der gleichen Grössenordnung entstehen, wie wir sie in den Strömen des tierischen Organismus wiederfinden. Auch sonst zeigen sich eine grosse Reihe von Analogien zwischen den hier geschilderten Strömen und den Strömen des tierischen Organismus. Was nun aber vor allem bei dieser Auffassung des Entstehungsmodus der tierischen Elektrizität wertvoll erscheint, ist der Umstand, dass wir nicht mehr allen möglichen Phantasiegebilden nachzujagen, nicht mehr alle möglichst unwahrscheinlichen, im Körper absolut nicht wiederfindbaren mechanischen Analogien auszusinnen brauchen, sondern dass wir eine der eigenartigsten Lebenserscheinungen mit Hilfe physikalisch chemischer Prozesse an den einfachsten Stoffen, die wir überhaupt im Organismus kennen, zu erklären vermögen.

Dieselbe Betrachtungsweise, welche uns dazu verholfen hat, das Entstehen der tierischen Elektrizität mit Hülfe des Anteils einfachster Stoffe und einfachster Vorgänge zu verstehen, hat sich auch für einen Vorgang von noch tieferer Bedeutung begleitend erwiesen. Zu den Grundphänomenen des tierischen Lebens gehören die beiden Erscheinungen gegensätzlicher Natur,

die Ruhe und die Erregung. Unter Erregung verstehen wir den Zustand in den ein lebendes Gebilde gerät, wenn es durch einen Reiz zu der ihm eigentümlichen Tätigkeit erweckt wird. Alles das was wir Tätigkeit unserer Muskeln, unserer Nerven, unseres Gehirns, unserer Sinnesorgane nennen, ist der Ausfluss des Erregungsstandes, in den sie durch passende Reize geraten sind. Kein Mechanist, wie sieghaft er auch immer glaubte, die Lebenserscheinungen restlos durch das Spiel der Atome erklären zu können, hat je gewagt, die Behauptung aufzustellen, dass er das Grundphänomen der Erregung aufgeklärt habe. Und ich glaube, wir stehen auch jetzt noch sehr weit von der Aufklärung des Erregungszustandes. Bei dieser Sachlage müssen wir uns bescheiden, den Versuch zu machen, die Bedingungen festzustellen, von denen das Zustandekommen der Erregung abhängt. Eine Aufgabe, die es wert ist, dass viel Mühe daran gesetzt wird, denn die Lösung dieser Aufgabe verheisst uns eine grosse Reihe theoretischer Erkenntnisse und dürfte uns in unserem praktischen Handeln unter Umständen recht nützlich sein können. Man kann nicht sagen, dass die Lösungen dieser Aufgabe, wie sie bis vor kurzem gegeben wurden, sehr gelungen waren.

Unser bestes Mittel, um zu studieren, unter welchen Bedingungen die Erregung zu Stande kommt, ist, dass wir tierische Gebilde reizen und die vornehmste Stelle in unserem Rüstzeug der Reizmittel, welche uns zur Verfügung stehen, ist die Elektrizität, denn bei Anwendung des elektrischen Reizes können wir so ziemlich alle Variablen variieren, von denen wir vermuten dürfen, dass sie bei den natürlichen Reizen eine Rolle spielen könnten. Wir können die Stärke des Reizes, die Zahl der Reize in der Zeiteinheit und schliesslich die Form des Reizes variieren. Welchen Wert diese Dreiheit der Variablen hat, erhellt am besten, wenn wir zum Vergleich die Abhängigkeit unserer Tonempfindungen von den Schallreizen heranziehen. Der Ton entsteht bekanntlich durch Schwingungen der Luft. Von der Grösse der Schwingung, der sog. Amplitude, hängt die Stärke, von der Zahl der Schwingungen hängt die Höhe, von der Form der Schwingungen hängt die Klangfarbe

des Tones ab. Dies wird zum Verständnis dienen, welche Bedeutung die Variierungsfähigkeit des elektrischen Reizes hat. Eine grosse Anzahl von Forschern haben auf Grund ihrer vielfältigen und mit den exaktesten Hilfsmitteln angestellten Versuche als Ergebnis derselben versucht, ein Erregungsgesetz aufzustellen, zwar zunächst nur ein elektrisches Erregungsgesetz, aber da die durch elektrische Reize geweckte Lebens-tätigkeit der tierischen Gebilde sich in nichts von der durch die unbekannten natürlichen Reize ausgelösten Tätigkeit wesentlich unterscheidet, würde das nichts an der prinzipiellen Bedeutung für das Verständnis der Bedingungen, unter welchen die Erregung zu Stande kommt, ändern. Aber wie gesagt, bis vor kurzem hat keines der zahlreich aufgestellten Gesetze vor der Fülle der Lebenserscheinungen standhalten können. Erst neuerdings hat Nernst, dem wir so viele Grosstaten auf seinem eigensten Wissensgebiete der physikalischen Chemie verdanken, uns mit einem Gesetze beschenkt, welches ganz auf den Prinzipien aufgebaut ist, die ich im vorstehenden entwickelt habe.

Um dieses wichtige Gesetz der Erregung Ihnen klar zu machen, will ich von einigen Erfahrungstatsachen ausgehen, die man bei Reizexperimenten an tierischen Nerven und Muskeln findet. Ihnen allen ist der Wechselstrom bekannt. Wir wenden in der Praxis unseres Laboratoriums, wie übrigens auch in der ärztlichen Praxis den Wechselstrom sehr häufig in der Form der allbekannten Induktionsapparate an, aber es gibt auch noch andere für den wissenschaftlichen Gebrauch vielleicht bessere Formen der Apparatur für die Erzeugung von Wechselströmen. Gehen wir nun aus von einer bestimmten Frequenz der Wechselströme, so ergibt sich, dass wir bei einer bestimmten Frequenz — von einer Aenderung der Form wollen wir hier ganz absehen, dieselbe vielmehr ganz festhalten — eine bestimmte Stromstärke brauchen, um gerade das tierische Gebilde zu erregen. Nun zeigt die experimentelle Erfahrung, dass, wenn wir die Frequenz des Wechselstroms steigern, wir stärkere Intensitäten des Stromes brauchen, um das tierische Gebilde grade zu erregen. Schliesslich können wir experimentell zu so hohen Frequenzen kommen, dass event. das tierische Gebilde gar nicht

erregt wird. Es ist ja bekannt, dass die D'Arsonval Ströme mit ihren ungeheuer grossen Frequenzen straflos beim Menschen angewandt werden dürfen, weil sie kein Reizvermögen mehr besitzen. Aus diesen genannten Tatsachen geht hervor, dass eine Beziehung zwischen der Frequenz der Reize und der Stärke des Stromes, welche gerade zu erregen vermag, besteht. Die Formulierung dieser Beziehung macht den Inhalt des Nernst'schen Erregungsgesetzes aus, welches lautet, dass der Schwellenreiz, welcher ein tierisches Gebilde zu erregen vermag, proportional ist der Quadratwurzel aus der Wechselzahl des Wechselstromes. Dieses Gesetz in seiner grossen Einfachheit hat sich in den vielfältigen Erfahrungen auf das glänzendste bewährt und mehr als ein Physiologe hat im Laufe der letzten Jahre eingestehen müssen, dass es wenige Gesetze unserer Wissenschaft gibt, welche theoretisch und experimentell so wohl fundiert sind.

Ein Verständnis des Erregungsvorganges mit Hilfe dieses Gesetzes erwächst uns aber erst, wenn es uns möglich ist, über die Ursachen dieser eigentümlichen gesetzmässigen Beziehung klar zu werden. Und darüber ist es nicht schwer, Klarheit zu gewinnen. Es ist gerade das Verdienst von Nernst, dass er den umgekehrten Weg gegangen ist, den ich eingeschlagen habe, um Ihnen das Verständnis des Nernst'schen Gesetzes zu erleichtern. Indem er von einem klar fassbaren, experimentell auf das genaueste prüfbaren Prinzip ausging und dann untersuchte, ob nicht dieses Prinzip in den Erregungserscheinungen tierischer Gebilde zur Geltung käme. Das Prinzip ist das folgende: Durch Wechselströme können Polarisationen, d. h. die Anhäufung entgegengesetzt geladener Ionen an Elektroden oder was für uns wichtiger ist, an Membranen, an Grenzflächen, wie wir sie im tierischen Organismus haben, entstehen. Nun ergibt sich, dass zwischen der Wechselzahl des elektrischen Stromes und der Stromstärke, die eben genügt, um Polarisation, d. h. Konzentrationsunterschiede der Ionen an Membranen zu erzeugen, eine gesetzmässige Beziehung besteht, nämlich die, dass diese genannte Stromstärke proportional ist mit der Quadratwurzel aus der Wechselzahl-

Hier tritt also wieder dasjenige ein, was ich vorhin als das Nernst'sche Gesetz bezeichnet habe. Wenn also für die Erregung von tierischen Gebilden und für die Entstehung von kleinsten Konzentrationsunterschieden an Ionen und zwar Ionen, wie sie in den tierischen Zellen und Säften vorkommen, dasselbe Gesetz gilt, so ist es wohl eine notwendige Denkfolge, dass wir eine gemeinsame Grundlage für beide Erscheinungen annehmen. Und hiermit ist die Brücke geschlagen zwischen den Prinzipien, die ich Ihnen für die Entstehung der tierischen Elektrizität entwickelt habe, und dem Prinzip, welches wir der Erregung, diesem Grundphänomene der Lebenserscheinungen, unterliegend erkannt haben. Denn für beides, tierische Elektrizität sowohl wie Erregung ist das bestimmende Moment das Auftreten von Konzentrationsunterschieden an entgegengesetzt geladenen Ionen der Salze, die im tierischen Organismus vorkommen.

Ich möchte nicht verfehlen, des Verständnisses wegen kurz zu resümieren, was der eigentliche Sinn des von uns jetzt erkannten gewesen ist. Derselbe besteht darin, dass kleine Unterschiede in der Concentration von Ionen, d. h. also von einfachsten Stoffen, den Erregungsprozess auszulösen vermögen. Die Erregung, das am meisten charakteristische Zeichen des lebendigen Zustandes jeder Art tierischen Zelle, ist abhängig von Wirksamkeiten, die in den Eigenschaften der Ionen beruhen. Fehlen dem Organismus diese Bestandteile oder ist sogar nur eine Störung in den relativen Verhältnissen, in welchen sie sich in den Geweben vorfinden, eingetreten, so leidet darunter die Erregung oder ist sogar vollständig unmöglich, mag auch noch so sehr für das mit dem schärfsten Mikroskope bewaffneten Auge des Anatomen die wunderbar feine Struktur der Zelle unversehrt erhalten sein und mag auch der Chemiker die kompliziertesten organischen Substanzen in der Zelle durch seine analytischen Methoden unverändert nachweisen können.

Hier ist nun Gelegenheit gegeben, zu verhüten, dass meine Darstellung eine ausschliesslich einseitige bleibe. Wenn es mir gelungen sein sollte, Ihnen zu zeigen, dass einfachste Stoffe

nicht bloss nebensächlich, sondern ganz wesentlich an den Lebenserscheinungen ihren Anteil haben, so möchte ich doch betonen, dass an den Ursachen hierzu das eigentümliche Gefüge der lebendigen Zelle an organischem Material nicht minder sein gehäuftes Mass an Teilnahme besitzt. Denn dass Konzentrationsunterschiede der Ionen auftreten und zu Wirkung gelangen können, liegt an der Art und Weise, wie die organischen Substanzen in die Struktur der Zelle eingewebt sind. Davon, weil gar nicht Gegenstand meines Vortrages, dass in letzter Linie die Lebenserscheinungen, die wir erörtert haben, von der Wechselwirkung des anorganischen und organischen abhängen, will ich hier erst gar nicht sprechen.

Wir haben gesehen, dass an dem einen Grundphänomen der Lebenserscheinungen, der Erregung, einfachste Stoffe ihren massgebenden Anteil haben. Diese Erkenntnis gemahnt uns, auch noch flüchtig eines andern Grundphänomens zu gedenken, der Hemmung. Erregung und Hemmung gehören so innig zusammen wie der Tag und die Nacht, wie ein Wellenberg und ein Wellental. Es könnte Ihnen merkwürdig vorkommen, dass wir dem Gegensatze von Erregung, dass wir der Stillstellung des Geschehens eine ebenso hohe Bedeutung zumessen, wie dem Geschehen selbst. Aber es ist so, genau wie in einer Uhr, wo auch nicht ein ungehemmtes und sinnloses Ablaufen des Uhrwerkes gestattet ist, sondern wo planvoll in die Bewegungen des Antriebes ein regelndes Hemmen eingreift, und so erst der feine Mechanismus des Uhrwerkes entsteht. Man kann sogar sagen, dass die Hemmung eine höhere Lebenserscheinung ist, denn Hemmung wird erst da notwendig, wo besonders urkräftig waltende Lebensprozesse sich geltend machen. Ich habe in einem früheren Abschnitte meiner Rede Ihnen kurz berichtet, dass der höhere Organismus aus Sonderteilen zusammengesetzt ist, die ihr eigenes selbständiges Leben haben. Es fliesst ihnen nicht zu von einer geheimnisvollen Zentralkraft, die irgendwo ihren Sitz hat, sondern es entspringt in ihnen selbst, aus Prozessen, die ihnen, wie unser Altmeister Hering gesagt hat, ureigen sind. Es ist klar, dass, wo so selbständige Gewalten neben einander existieren, leicht die

Gefahr entstehen könnte, dass zügellos die eine sich Übergriffe gestatten könnte und dann wäre es vorbei mit der Coordination und der Harmonie, die notwendig ist, wenn viele solche Teile zu einer Gesamtheit vereinigt sind, die wir Organismus nennen. Die Hemmung ist demnach eines der vornehmsten Mittel, mit denen die Natur den Organismus ausgestattet hat, um als geordneter Mechanismus bestehen zu können. So bedeutsam ist das Wechselspiel von Erregung und Hemmung, dass es nicht allein merkbar ist in den vielfältigen Bewegungen, die wir auszuführen haben, nicht allein die Tätigkeit der unserem Willen vollständig entzogenen lebenswichtigen inneren Organe beherrscht, sondern dass es auch tief eingewoben ist in jene feineren Regungen, welche unseren Sinnesempfindungen und den geistigen Prozessen zu Grunde liegen.

Die Hemmung, der Widerpart der Erregung, ist genau so abhängig von einfachsten Stoffen, wie die Erregung. Wir hatten gesehen, dass der elektrische Strom ein besonders gutes Mittel ist, um die Erregung hervorzurufen, aber er ist gleichzeitig ein Mittel, um die Hemmung zu erzeugen, ja beide Wirkungen, die erregende wie die hemmende vermag er gleichzeitig hervorzurufen. Die Erkenntnis dieser Wirkung des elektrischen Stroms gehört mit zu den ältesten Erwerbungen unserer Wissenschaft. Applicieren wir einen konstanten elektrischen Strom einem Nerven oder einem Muskel, so entsteht an dem einen Pole, an der Kathode, Erregung und gleichzeitig an dem andern Pole der Anode Hemmung. Wie die Erregung als eine Funktion der Ionen erkannt worden ist, so ist die Hemmung gleichfalls eine Ionenwirkung. Es ist eigentlich nicht sehr wunderbar, dass wo die Elektrizität aus zwei polaren Gegensätzen besteht, und wo jederzeit die Ionen mit polar entgegengesetzten Elektrizitäten auftauchen, dass auch ihre Wirkungen entgegengesetzter Natur sein sollten. Dieses ein Beispiel aus dem umfangreichen Gebiete der Hemmung möge genügen. Worauf es mir hier nur im Momente ankommt, ist der Hinweis darauf, dass die Hemmung genau wie die Erregung nicht anders zustande kommen kann, als unter der Anteilnahme einfachster Stoffe.

Nicht allein am Nerv und Muskel offenbaren die Ionen ihre hemmenden Wirkungen, sondern auch an andern Erscheinungen, in denen sich das Leben manifestiert. So z. B. in den Absonderungen von Drüsen; auch lässt sich hemmende Wirkung von Ionen an einer ganzen Anzahl von physikalisch chemischen Prozessen nachweisen, die an Material sich abspielen, welches dem ganz ähnlich ist, aus welchem der tierische Körper sich aufbaut. Es ist daher sehr naheliegend, eine Beziehung zwischen den genannten Lebenserscheinungen und den physikalisch chemischen Prozessen zu vermuten, doch ich kann hier nicht verweilen, sondern möchte nur Ihre Aufmerksamkeit darauf lenken, dass die Erkenntnis von der doppelten Wirkungsweise der Ionen in den Lebensprozessen eine eminente Bedeutung hat, die weit über die Bedürfnisse der blossen Theorie hinausgehen. Wir sehen im erkrankten Organismus sehr häufig abnorme Erregungszustände der Muskeln und der Nerven. Wir haben im Lichte der mitgeteilten Erfahrungen daran zu denken, ob nicht diese unerwünschten Erregungen von Änderungen in den Verhältnissen herrühren, in denen sich die von mir behandelten einfachsten Stoffe in den Zellen und Säften befinden. Und anderseits müssen wir uns fragen, ob wir nicht durch die gleiche Betrachtungsweise Winke für ein nützliches Handeln in der Bekämpfung derartiger Zustände erhalten. Diese Betrachtungsweise hat tatsächlich Erfolge gezeitigt. So führen wir jetzt eine Reihe von Krampfzuständen darauf zurück, dass die Zusammensetzung unseres Körpers in Bezug auf die Kalcium-Ionen eine Störung erlitten hat und eine Regelung dieser Verhältnisse vermag in einer nicht geringen Anzahl von Fällen die entstandenen Leiden zu mildern und aufzuheben. Das furchtbare Krankheitsbild des durch Wundvergiftung entstandenen Tetanus, der Wundstarrkrampf, wird durch Zufuhr eines Salzes, welches in unseren Säften vorkommt, sehr wirksam bekämpft. Die inneren Sekrete, deren hohe Bedeutung für das Wohl und Wehe, ja sogar für die Existenzfähigkeit unseres Körpers die Forschungen der letzten Jahre gelehrt haben, haben sich nicht als Mittel mit konstanter Wirkung erwiesen, sondern wie jüngst der Vortragende zeigen konnte, sind dieselben in ihrer Wirkung

auf das feinste durch das Hinzutreten oder Fehlen von einfachsten Stoffen der unbelebten Natur regulierbar.

Ich habe in allen meinen Ausführungen Ihnen versucht zu zeigen, wie der Mechanismus des Lebens unverständlich ist, wenn man nicht des Anteiles gedenkt, den die einfachsten Stoffe an diesem Mechanismus haben. Ja ich gehe sogar noch weiter und behaupte, dass die Möglichkeit dieses Mechanismus erst gegeben ist durch die Eigenschaften, welche jenen einfachsten Stoffen inne wohnen. Warnend möchte ich aber meine Stimme erheben, als ob in jenen einfachsten Stoffen, also etwa in den Ionen, ein Fetisch zu erblicken wäre, den wir als Lebensspender zu verehren hätten. So wenig wie ich den höchsten Eiweisskörpern, die lange Zeit für manche Forscher die Rolle dieses Fetisches in den Lebenserscheinungen gespielt haben, diese Stellung einräumen möchte, so wenig tue ich es für die einfachen Stoffe der unbelebten Natur. Auch die organische Struktur, so bewundernswürdig sie sein möge, ist es nicht, welche das Walten der Lebenserscheinungen in seinen letzten Gründen zu erklären vermöchte. Wie und wo wir es auch anpacken, welchen einzelnen Baustein des lebendigen Körpers wir auch ins Auge fassen mögen, seien es die feineren anatomischen Strukturen, seien es die hoch komplizierten organischen Stoffe, seien es die einfachen anorganischen Salze, jedes für sich ist nichts weiter als ein Totes. Erst in der Wechselwirkung aller Faktoren, welche an den Lebenserscheinungen ihren Anteil haben, wird das Leben geboren. Nun könnte vermutet werden, dass zum Ablauf einer Lebenserscheinung das Hinzutreten von einer geheimnisvollen Kraft gehörte, welche die alten Forscher die Lebenskraft nannten, eine Lebenskraft, der auch eine Reihe neuerer Forscher huldigen. Aber jede einzelne Lebenserscheinung, sei sie noch so verwickelt, verläuft nicht allein an einem Material, welches dem Reiche der Physik und Chemie angehört, sondern sie ist auch ausschliesslich den Gesetzen unterworfen, welche wir in diesen beiden Reichen herrschen lassen. Wir können uns der zwingenden Gewalt der Tatsache nicht entziehen, dass alle Erfolge unserer Wissenschaft darin bestanden haben und bestehen und demnach wohl auch bestehen werden, die einzelnen Lebens-

erscheinungen als Prozesse zu begreifen, die ausschliesslich physikalischen und chemischen Gesetzen unterworfen sind. Das Problem des Lebens, das übersinnliche, wie ich sagen möchte, liegt anderswo und liegt tiefer. Dass überhaupt in einem lebendigen Organismus jeder Zeit die Bedingungen gegeben sind für das gesetz- und planmässige Walten der Lebenserscheinungen, dass in der Natur fortwährend jene wunderbare und so verschiedenartige Fülle von kleinen Welten, Tierindividuen genannt, entstehen und erhalten bleiben, in denen wie in der grossen Welt, die uns umgibt, alles nach einem Plan und einem Gesetz geschieht, darin liegt das eigentliche Problem des Lebens. Wenn einmal die Gesetze und die Bedingungen für die Einhaltung derselben gegeben sind, dann verläuft alles, mag es noch so kompliziert sein, nach den bewährten Regeln, die die Physik und die Chemie uns an die Hand gibt. Die letzteren zu verfolgen, das ist die Aufgabe, welche den mühsamen Tagesbetrieb des wissenschaftlichen Arbeiters auszumachen hat. Dort hat er seine realen Erfolge zu suchen. Aber er darf dabei den Sinn für das Problem der Ursachen, welche ihm erst die Möglichkeit geben, dass seine wissenschaftlichen Forschungsobjekte überhaupt in ihrer Eigenart existieren, niemals verlieren.



