

1931 D 56

**Das
Lebendige als Objekt
naturwissenschaftlicher
Forschung**

**Rede
beim Antritt des Rektorats
der Christian-Albrecht-Universität
am 5. März 1930**

gehalten von

Dr. Rudolf Höber

Professor der Physiologie

★

**KIEL 1930
Kommissionsverlag der Universität Kiel
Lipsius & Tischer**

Handwritten scribble

Hochansehnliche Versammlung!

Verehrte Kollegen!

Liebe Kommilitonen!

Der Augenblick der Uebernahme der höchsten akademischen Würde bedeutet wohl für jeden neuen Rektor angesichts der feierlichen Verpflichtung, die Universität nach bestem Können zu verwalten, und unter dem Eindruck, daß seine Erwählung das Zeichen einer Vertrauenskundgebung von Seiten seiner Kollegen darstellt, einen Augenblick ernsten Besinnens auf seine Kräfte. Gewohnt, seit mehr als drei Jahrzehnten vornehmlich dem Laboratorium anzugehören, empfinde ich für mein Teil den Augenblick als eine tiefe Caesur in meinem Leben. An die Stelle des abseits gelegenen Laboratoriums tritt die Oeffentlichkeit der Universität; ihre Selbstverwaltung stellt den Rektor jeden Tag vor neue und ihm teilweise fremde Aufgaben. Dadurch erscheint mir der Beginn meines Amtes als eine Art Abschied von meiner Wissenschaft, die von heute ab für längere Zeit hinter einer anderen Pflicht zurücktreten muß. So liegt es mir nahe, an diesem Haltepunkt zurückzublicken und im Kreise derer, die als Forscher, Lehrer und Schüler die Universitas literarum vertreten, auch meinerseits dem synthetischen Grundtriebe des menschlichen Geistes zu folgen und den Versuch zu machen, die Arbeit und die Ziele des Physiologen mit verwandten Bestrebungen zusammenzuordnen.

Freilich nicht in dem Sinn, daß ich an die alten Kardinalfragen nach den Grenzen des Erkennens der lebendigen Natur von neuem rühren wollte, weder insoweit die Fragen das Verhältnis von Leib und Seele betreffen, noch in Richtung der begreiflicherweise immer und immer wiederkehrenden Erörterung, ob es einmal möglich sein werde, die Lebensvorgänge auf Grund der Gesetze der Physik und Chemie ganz zu verstehen, und ob es heute notwendig sei, spezifisch vitale Kräfte zu postulieren, die den Physikern

und Chemikern für ihre Weltauffassung entbehrlich sind. In einer Zeit wie dieser, in der die rund um die ganze Erde verteilte, den gleichen Problemen zugewandte und sich gegenseitig andauernd kontrollierende Arbeit in den physiologischen Laboratorien tagtäglich neue Erkenntnisse zutage fördert und wir doch zweifellos erst am Anfang der Physiologie stehen, ferner in einer Zeit, in der die Physiker genötigt sind, ihr Weltbild von Grund auf umzuformen und damit auch die Physiologie mit einem neuen Fundament zu unterlegen, erscheint es mir nicht so dringlich, nach Antworten auf solche letzten Fragen zu suchen. Vielmehr möchte ich in dieser Stunde das Augenmerk auf nähere Orientierungspunkte richten.

Die Physiologie ist aus der klinischen Medizin hervorgegangen, und auch heute ist sie vielfach aufs allerengste mit ihr verbunden; es erübrigt sich, dies durch besondere Beispiele darzulegen. Insbesondere in Deutschland ist es nie anders gewesen, auch nicht in der Zeit, als in den sechziger Jahren des vorigen Jahrhunderts das erste eigentliche physiologische Institut in Leipzig unter Carl Ludwig die Pflanzstätte wurde, von der aus die experimentell-physiologische Forschung weit über Europa hinaus ausgebreitet wurde und die jungen Kliniker vieler Länder anfangen, das physiologische Laboratorium aufzusuchen. Welche Entwicklung kann auch natürlicher sein als die, daß als Vorschule der medizinischen Forschung die Schule für das Studium des normalen Lebendigen begründet und organisiert wird! Aber heute vollzieht sich unverkennbar ein Prozeß der Ablösung der Physiologie von der Medizin, hier zögernder und dort eiliger, eiliger in den angelsächsischen Ländern, besonders in Amerika, das „keine zerfallenen Schlösser und keine Basalte“ hat und wohl darum eher den Mut faßt, kurzerhand die historische Entwicklung zu ignorieren und die Physiologie statt an die Medizin an die anorganischen Naturwissenschaften anzugliedern, aber unverkennbar auch in England. Namentlich seit der Materialismus-Aera der Mitte des vorigen Jahrhunderts erhält die Physiologie immer deutlicher das Ansehen eines Januskopfes, der teils der Klinik und teils dem physikalischen und dem chemischen Laboratorium zugewandt ist. Heute aber bannen Physik und Chemie den Blick des Janus mehr und mehr, und schon

sehen wir, daß durch diesen Werdegang, durch diese — sagen wir kurzweg — Emanzipierung der Physiologie von der Medizin ebenso schwere wie merkwürdige Konflikte heraufbeschworen werden.

Der Grund der Entwicklung ist leicht einzusehen und soll zunächst nur mit wenigen Worten angedeutet werden. Die Physiologie ist die Lehre von den Eigenschaften der lebenden Substanz. Will man diese studieren, so erscheint es als ein Gebot der Logik, das Studium bei den einfachsten Phänomenen zu beginnen. Ebensowenig wie der Chemiker mit der Erforschung der Konstitution des Eiweißmoleküls oder der Physiker mit der Analyse des Formwechsels einer am Himmel dahinziehenden Wolke anfängt, ebensowenig sollte naturgemäß der Physiologe das allerkomplizierteste Objekt, den Menschen oder überhaupt das Wirbeltier zum Ausgangspunkt seines Studiums machen. Diese einfache Ueberlegung zusammen mit der ausgesprochen skeptischen Haltung mancher Forscher gegenüber dem, was die Physiologen bisher erreicht haben, und zusammen mit der in staunenswertem Fortschritt befindlichen und dadurch faszinierenden Physikalisation der anorganischen Naturwissenschaften ist es, was den Blick des Janus physiologus schärfer auf die letztgenannten, auf die anorganischen Naturwissenschaften einstellt, um von ihnen aus den Weg zu den einfachsten Gebilden und Aeußerungen des Lebendigen zu erschließen.

Mancher wird dem vielleicht entgegen wollen, daß es gerade den Größten unter den älteren Physiologen gelungen ist, auch beim Studium der höchsten Lebewesen die Mittel der physikalischen Forschung mit Erfolg anzuwenden; sie werden auf Helmholtz hinweisen, der das Auge wie ein beliebiges optisches Instrument, auf Ludwig, der das Herz und Blutgefäßsystem als hydrodynamischen Apparat, als ein spezialisiertes Pumpwerk zur zweckentsprechenden Verteilung einer Flüssigkeit in Angriff nahm. Aber wir Nachfahren sind kaum geneigt, das als Physiologie im eigentlichen Sinne gelten zu lassen; denn das Leben spielt bei den dioptrischen Wirkungen des Auges nur eine beiläufige Rolle, seine Hauptbühne ist die Netzhaut, und die eigentlich physiologischen Probleme liegen beim Kreislaufsystem in

den Herz- und den Gefäßmuskeln, in ihrer Kontraktion, ihrem Stoffwechsel und ihrer Innervation.

Mancher wird auch streben, den Janusblick doch mehr in die Richtung der praktischen Medizin zu lenken unter dem berechtigten Hinweis darauf, daß gerade in der neueren Zeit etwa die glänzende Entwicklung der Lehre von den Drüsen mit innerer Sekretion, die Gewinnung so vieler Hormone aus ihnen, wie Adrenalin, Hypophysin, Insulin, Thyroxin, wie Parathormon, Prolan und Follikulin, und ihrer aller Ueberführung in die ärztliche Praxis ein unschätzbares und unauflösliches Produkt gleichzeitiger klinischer Beobachtung und experimenteller Laboratoriumsarbeit bilde, und daß so der Beweis geliefert sei, daß die Physiologie zur Medizin gehört. Aber auch wenn man keinen Augenblick zögert, alle diese Entdeckungen als große Fortschritte in der Erkenntnis zu würdigen, wird man doch die Frage aufwerfen können, ob die Definition des Lebendigen dadurch an Schärfe gewonnen hat, ob nicht seine Erforschung dadurch bloß in die Breite, aber nicht in die Tiefe wuchs.

An dieser Stelle will ich nun eine neue Frage anfügen: Inwieweit kann überhaupt das Lebendige als Objekt naturwissenschaftlicher Forschung angesehen werden, inwieweit kann es als ein naturwissenschaftliches Phänomen im landläufigen Sinne behandelt werden? Unter naturwissenschaftlicher Betrachtung des Lebendigen verstehe ich das Suchen nach gesetzmäßigen Abläufen in ihm, die Heraushebung von Gesetzen unter möglicher Vernachlässigung einmaliger Begleiterscheinungen und momentaner Umstände; es ist der Versuch, den Lebensvorgang als ein unindividuelles und zeitloses Phänomen aufzufassen; Vorbild ist das planvoll konstruierte Experiment des Physikers. Auch der Physiker lebt in einer Welt von Naturobjekten, anorganischen Naturobjekten, die seine Neugierde erregen. Aber es fällt ihm nicht ein, nach Gesetzen der Hydrodynamik zu suchen, indem er sich vor die heranbrandende Welle am Meeresstrand, vor einen Wasserfall mit seinem verspritzenden Gischt oder vor eine Nebelwand mit umherwirbelnden Wassertropfchen hinstellt, wo Reibung, Reflexion, Oberflächenspannung, Temperatur, elektrische Ladung, Luftströmung, Strahlung den Gang komplizieren, sondern er stellt syste-

matisch im Experiment eine Reihe möglichst einfacher, übersichtlicher Sonderfälle mit kleinen Varianten her, untersucht sie durch und gelangt so zu Ergebnissen, die sich dann meist mit mathematischer Sicherheit prophezeien, d. h. in eine mathematische Formel bringen lassen. Die heranbrandende Welle ist ein Individuum, ein einmaliges, so niemals wiederkehrendes Phänomen; es gilt, daraus das allgemein Gültige auf dem eben genannten Weg des Experiments herauszulesen. Das gleiche Verlangen hat der Physiologe, dessen Forschungsobjekte meistens ebenso kompliziert und oft ebenso individuell sind wie die Welle, wenigstens wenn es sich um den Menschen oder das höhere Tier handelt.

Mit dieser Feststellung liegt der Konfliktstoff zwischen Physiologie und Medizin, der mögliche und neuerdings oft wirkliche Konfliktstoff, der schon vorher berührt wurde, offen zutage, der Gegensatz in beider Betrachtungsweise, der in antithetischen Schlagworten, wie: hie Heilkunst — hie Laboratoriumswissenschaft, hie Goethe — hie Newton, hie idiographische — hie nomothetische Darstellung zum Ausdruck gebracht ist. Der Arzt, der die krankhaften Anlagen eines Hülfe Bedürftigen erforschen will, hat vor sich eine Persönlichkeit mit ihrer individuellen körperlichen und seelischen Konstitution, die irgendwie im Vorleben entstand, zum Teil ererbt wurde, die er nicht experimentell analysieren, aber mit Glück vielleicht künstlerisch erfassen kann, — ein Forschungsobjekt, vor dem der physikalisch orientierte, laboratoriumsgewohnte Physiologe wegen seiner Stachligkeit zurückschreckt. Goethe, dem es ein Greuel war, wie Newton den Lichtstrahl zerschnitt und ihn durch enge Löcher und Spalte in dunkle Räume zwängte, und damit, wie es ihm schien, die Natur verfälschte, hätte vielleicht zum Objekt hydrodynamischer Forschungen die heranbrandende Welle als ein Phänomen der reinen Natur vor einer Röhre mit Wasser, die in einem Druckgefälle liegt, bevorzugt. Der Arzt wird angesichts der maßlosen Kompliziertheit seines einmaligen Untersuchungsobjekts Patient oft nur versuchen können, es hypothetisch zu begreifen, indem er die Lebens- und Leidensgeschichte genau beschreibt und vergleicht, ähnlich dem idiographisch verfahrenen Historiker, der mit dieser Methode die mögliche

Ursache für das einmalige, nie sich rekapitulierende Ereignis herausfindet, daß Caesar den Rubikon überschritt. Der nomothetisch arbeitende Physiker dagegen diagnostiziert nicht, sondern beweist. Ihm strebt der entsprechend eingestellte Physiologe zu und sucht zu dem Zweck nach geeigneten lebendigen Forschungsobjekten, d. h. erstens nach den relativ seltenen Objekten, bei denen die exakte quantitative Durchmessung eines natürlichen oder experimentell hervorgerufenen Vorgangs einen gesetzmäßigen, wozumöglich mathematisch formulierbaren Ablauf erkennen läßt und zweitens nach möglichst einfachen oder künstlich vereinfachten Objekten, die der Analyse von Grundphänomenen des Lebens, wie Atmung, Stoffaufnahme, Teilung, Ausscheidung, Erregbarkeit, Kontraktionsvermögen, weniger Schwierigkeiten entgegenstellen als der Mensch. Er strebt also nach einer Physiologie von unten an Stelle einer Physiologie von oben, nach einer Physiologie, die auf den Fundamenten der im Verhältnis zum Lebendigen sehr einfachen Physik errichtet wird, statt den Bau im Dach am blauen Himmel anzufangen.

Läßt sich zeigen, daß dieses Programm durchführbar ist? Was dessen ersten Punkt anlangt, das Aufsuchen von Objekten, die gesetzmäßige Abläufe erkennen lassen, so sollte man sich vielleicht zuerst darüber einigen, was hier unter einem Gesetz zu verstehen ist. Selbst in der heutigen Physik werden ja bekanntlich über diese Frage lebhafteste Kämpfe ausgefochten, — ich erinnere an die Rolle, die die statistische Betrachtungsweise nach den Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung in den gegenwärtigen atomphysikalischen Erörterungen spielt. In der Physiologie und erst recht in der Medizin wird man wegen der sehr großen Zahl möglicher und wirklicher Beeinflussungen des zu untersuchenden Objekts meist das Wort Gesetz besser vermeiden und gegen das der Regel eintauschen, der Regel, die ihre Ausnahmen hat, — mehr oder weniger an Zahl. In dieser Hinsicht gibt es alle Abstufungen. Nehmen wir als Beispiel die Größe des chemischen Umsatzes! Wenn wir ihn beim Menschen nach seinem Energiewechsel bemessen, und in Kalorien ausdrücken, so können wir näherungsweise angeben, wieviel Kalorien in 24 Stunden produziert werden, wenn die Körpergröße, das Lebensalter, eine bestimmte Art

Berufsarbeit, die Zusammensetzung der Kost, zahlenmäßig ausgedrückt so und so beschaffen sind. Dabei wird freilich nicht annähernd die Präzision in der Voraussage erreicht, die wir vorfinden, wenn wir an die Stelle des außerordentlich komplizierten chemischen Systems Mensch einen einfachen chemischen Vorgang setzen, bei dem wir die Größe des erfolgten Umsatzes auf Sekunden genau angeben können, wenn wir Anfangskonzentration, Temperatur, Druck, Belichtungsstärke festlegen können. Aber diesen übersehbaren Verhältnissen nähern wir uns immerhin schon bedeutend, wenn wir statt des hochdifferenzierten Organismus eines Menschen etwa das weit einfachere Wesen eines Seesterneies wählen, für das wir bei bestimmter Temperatur und genügender Sauerstoffversorgung auf die Minute genau prophezeien können, in welchem Moment nach dem chemischen Anstoß des Systems durch die Befruchtung mit einem Spermium die 1. Furchungsebene, wann die 2. und wann die 3. auftreten wird.

Von weit größerer Bedeutung für die experimentelle Durchdringung der Lebensphänomene nach Art physikalischer Versuche ist die Erfüllung des zweiten Programmpunktes, die Vereinfachung des Objekts. Bis zu einem gewissen Grade ist dies freilich eine *contradictio in adjecto*. Denn das Lebendige ist seinem Wesen nach immer etwas sehr Kompliziertes; es ist ein labiles, fortwährend in verschiedenartiger physikalischer und chemischer Umänderung befindliches Gebilde. Freilich, auch eine Welle hört auf eine Welle zu sein, wenn wir sie zu einem Wasserfaden vereinfachen, der in einem bestimmten Strombett mit bestimmtem Gefälle fließt. Immerhin ist das Material der Welle doch wenigstens prinzipiell etwas Einheitliches und Unveränderliches. Aber trotz der Strukturiertheit und trotz der Labilität der Strukturteile gelingt beim lebenden Organismus oft die erfolgreiche Vereinfachung, erfolgreich in Bezug auf die Erkenntnis von Grundphänomenen des Lebendigen. Ich denke dabei also nicht an die schon seit langem hergebrachte experimentelle Vereinfachung, wie sie beim höher differenzierten Tier etwa durch die operative Wegnahme des einen oder anderen Organs, durch Überlebenlassen eines dem Körper entnommenen, isolierten und isoliert durchbluteten Organs oder dergleichen erreicht wird. Sondern ich habe

eine viel tiefer gehende Vereinfachung, sozusagen eine Atomisierung des lebenden Organismus im Auge, um zu den Lebenselementen vorzudringen. Es handelt sich also um Ziele, wie sie etwa ein Chemiker verfolgt, wenn er teils durch das Studium einfacher Verbindungen, teils durch Abbau von Verbindungen mit ungemein verwickelter Konstitution zu erfahren strebt, welche vergleichbaren Atomanordnungen im Molekül bestimmten physikalischen oder chemischen Eigenschaften, wie Oxydierbarkeit, Zerfallsbereitschaft, Geruch, Farbe, optischer Aktivität, Löslichkeit, zugrunde liegen.

Ich will an ein paar Beispielen zu erläutern versuchen, wie der Physiologe entsprechenden Zielen nachgeht, wobei naturgemäß das Individuum, der Organismus und selbst das einzelne Organ mehr oder weniger, oft ganz aus dem Interessenkreis des Forschenden heraustritt.

Claude Bernard hat uns vor etwa 50 Jahren gelehrt, daß zu den allgemeinen Kriterien des Lebens die Narkotisierbarkeit gehört. Solange man nur an die Narkose denkt, die der Chirurg an seinem Patienten ausübt, um ihn einzuschläfern und die Schmerzhaftigkeit des Eingriffs zu beseitigen, solange erscheint die Narkose einigermaßen mysteriös. Narkotisierbar sind aber nicht bloß Mensch und höheres Tier, narkotisierbar ist auch das niedere wirbellose Tier, ist die höhere und niedere Pflanze, sind Protozoen und Protophyten, also die einzelne Zelle. Unter Narkose ist dabei in jedem Fall die reversible Hemmung eines für das Leben charakteristischen Phänomens, die Hemmung der Atmung, der Stoffaufnahme, der Erregbarkeit oder der Kontraktilität zu verstehen. Es hat sich nun allmählich ergeben, daß zu der genannten hemmenden Wirkung, zur narkotischen Lähmung, nur solche Substanzen befähigt sind, die durch ganz bestimmte physikochemische und physiologisch-physikochemische Eigenschaften ausgezeichnet sind; Narkotika vermindern meistens die Oberflächenspannung des Wassers und werden meist leicht an Grenzflächen absorbiert, sie sind meist relativ öllöslich und durchdringen dadurch die ölartige Grenzfläche aller lebenden Zellen. Der ursprünglich rein biologische Begriff der Narkose wurde so ins Gebiet der physikalischen Chemie verschoben — Narkotika sind Stoffe von den und den physikochemischen, an Grenzflächen sich äußernden Eigenschaften — und man konnte nun die Frage

aufwerfen, welche Rolle die Grenzflächen bei der narkotischen Hemmung der physiologischen Grundphänomene spielen. Diese Frage kann heute in halbwegs zufriedenstellender Weise nach mehreren Richtungen beantwortet werden, je nach der Grenzfläche, die man im einzelnen Fall der Betrachtung unterzieht.

Erstens kann man zeigen, daß das, was der Physiologe gewöhnlich unter Atmung versteht, nämlich oxydative Spaltung einer organischen Verbindung unter gleichzeitiger Produktion von Kohlensäure, nicht bloß eine Lebensäußerung eines Organismus, eines einzelnen Organs oder einer isolierten Zelle ist, sondern daß die Atmung, wenn auch abgeschwächt, noch von den Trümmern einer Zelle, von ihren strukturierten Resten, von den Zellstromata oder von Zellgranula vollzogen, und daß diese Restatmung dann ebenso wie die Atmung des unversehrten Organismus reversibel wegnarkotisiert werden kann. Wesentlich ist dabei das Vorhandensein einer Struktur, also das Vorhandensein von Grenzflächen, und man kann deshalb die Hypothese entwickeln, daß die Atmung teils dadurch zustande kommt, daß die zu veratmende Substanz an den Grenzflächen adsorptiv angereichert und dadurch ihre aktive Masse vergrößert wird, teils dadurch, daß in den Grenzflächen sauerstoffübertragende oder dehydrierende Fermente verankert sind. Die Narkotika wirken dann als stark adsorbierbare Stoffe dadurch atmungswidrig, daß sie dank ihrer größeren Adsorptionsaffinität entweder die zu veratmende Substanz von der Oberfläche verdrängen, oder daß sie die katalysierenden Fermente zudecken. Diese Hypothese enthält die Anweisung, ein Modell für die Narkose der Atmung zu konstruieren: getrocknetes und zu Kohle verbranntes Blut hat durch seinen Eisengehalt die Fähigkeit der Sauerstoffübertragung auf organische Verbindungen; Blutkohle atmet. Man kann nun diese Atmung gerade so, d. h. mit den gleichen Narkotika hemmen, wie die einer lebenden Zelle. Man sieht also, wie man zur Analyse eines Grundphänomens des Lebendigen das Objekt sukzessive weitgehend und mit Erfolg vereinfachen kann. Wählen wir noch eine andere Grenzfläche, um die Narkose entsprechend der gewonnenen physikalisch-chemischen Grundlage generell als Grenzflächen-

phänomen zu charakterisieren. Die Oberfläche der Zelle, die Grenzfläche zwischen Protoplasma und Zellmedium ist der Ort, an dem sich in einer bisher nur zum Teil verständlichen Weise die Aufnahme von Nahrungsstoff, die Abgabe von Zerfallsprodukten des Zelleibs, kurz der Stoffaustausch vollzieht. Es läßt sich nun zeigen, daß bei manchen Zellen die Möglichkeit der Aufnahme einer bestimmten Kategorie von Stoffen davon abhängt, daß deren Molekularvolumen eine gewisse Größe nicht überschreitet; man schließt daraus, daß die Zelloberfläche eine Art Sieb darstellt, welches die kleinen Moleküle von den großen abfiltert, wie ein Drahtsieb kleine Steine von den großen trennen läßt. Narkotika können diesen Stoffaustausch der Zellen hemmen; es liegt also nahe, anzunehmen, daß die Moleküle der adsorbierbaren Narkotika die Sieblöcher verstopfen, und man kann auch daraufhin wieder die physiologischen Verhältnisse modellmäßig, nämlich mit einer künstlichen Membran aus Kollodium imitieren, deren Durchlässigkeit in erster Linie auf der Existenz von Poren mit molekularer Dimension beruht, die durch Narkotika mehr oder weniger verschlossen werden können.

Schließlich wollen wir noch eine dritte Sorte von Grenzflächen betrachten, nämlich die Neurofibrillen als die den Reiz leitenden Elemente im Nerven. Der Nerv ist ja das typisch erregbare Organ und Hemmung der Erregbarkeit der vulgärste Ausdruck der Narkose. Wenn nun ein Nerv durch einen elektrischen Strom gereizt wird, so beruht dies nach einer Hypothese von Nernst auf einer Grenzflächenpolarisation, d. h. auf einer Ionenkonzentrationsänderung an den Grenzflächen des Nerven. Diese Hypothese ist durch zahlreiche Beobachtungen gestützt worden. Wenn wir nun wiederum die Frage stellen, worauf die allbekannte Narkotisierbarkeit des Nervensystems zurückzuführen ist, so können wir abermals antworten, daß wahrscheinlich eine Adsorptionshaut von Narkotikum die polarisierbare Grenzfläche zudeckt und sie der Einwirkung der polarisatorischen Ionenkonzentrationsänderung entzieht.

Ich wende mich einem zweiten Beispiel einer allgemeinen Lebensäußerung zu, um daran wiederum klar zu machen, wie man durch Vereinfachung der lebenden Objekte die Vorbedingungen für die Erklärung dieser Äußerungen herstellen kann. Wir betrachten das Phänomen der Erregung. Wenn

man auf die Muskeln des Oberarms zwei Elektroden aufsetzt, die zu einem Saitengalvanometer hinlaufen, und wenn man dann willkürlich seine Muskeln anspannt, so produzieren sie einen Wechselstrom, welcher den im Mikroskop sichtbaren Metallfaden des Galvanometers in lebhaftes Schwingungen versetzt, die photographisch registriert, eine sehr unregelmäßig hin- und herschwingende Stromkurve ergeben, die aus großen und kleinen, verschieden weit voneinander entfernten Zacken, über 100 in der Sekunde, besteht. Wir nennen die Ströme Aktionsströme. Statt mit einem Saitengalvanometer kann man seine Armmuskeln auch mit einer Lautsprecheranordnung verbinden und die unregelmäßigen Aktionsströme, die die Muskeln bei der willkürlichen Innervation produzieren, in Schallschwingungen umsetzen, die als ein Rauschen weithin hörbar sind. Nun besteht die Oberarmmuskulatur aus vielen Tausenden von Muskelfasern, an die viele Tausende von Nervenfasern da und dort im Verlauf der langgestreckten Oberfläche der einzelnen Muskelfasern herantreten; es fragt sich daher, ob nicht vielleicht an die Stelle der verwirrenden Unregelmäßigkeit der groß- und kleinzackigen Aktionsstromkurve, die das Symptom der Erregung darstellt, ein viel einfacheres, verständlicheres Bild treten würde, wenn wir eine einzelne der mikroskopisch feinen Muskelfasern während der Willkürinnervation auf ihr elektrisches Verhalten untersuchen könnten. Diese anscheinend sehr schwer zu lösende Frage läßt sich durch einen kleinen Kunstgriff beantworten: man sticht eine sehr dünne, eine Doppelelektrode bildende Nadel in seinen Oberarm und verbindet sie wieder mit dem Saitengalvanometer. Das stromableitende Ende der Nadel ist so fein, daß es nur einer oder ganz weniger der vielen tausend Muskelfasern anliegt. Spannt man jetzt seinen Muskel willkürlich ganz wenig an, so erscheint auf dem Filmstreifen eine Stromkurve von vollkommener Regelmäßigkeit, aus gleich hohen, im gleichen Abstand aufeinanderfolgenden Zacken bestehend, bei schwächster Anspannung nur etwa 6 pro Sekunde an Zahl, die, mit dem Lautsprecher abgehört, dem Ohr als eine regelmäßige Folge von Knacken imponieren. Spannt man seinen Muskel stärker an, dann rücken die Zacken näher aneinander, folgen sich also rhythmisch schneller. Was für den Muskel gilt, kann man auch für den Nerven, für den moto-

rischen sowohl wie für den sensiblen zeigen. Es bedarf dazu nur einer sehr subtilen Technik des Experimentierens: man muß bei einem Tier einen freigelegten Nerven so durchschneiden, daß von den Hunderten von Fasern, die ihn zusammensetzen, nur eine einzige übrig bleibt, die die Erregung, d. h. den Aktionsstrom weiterleitet. Es zeigt sich dann, daß der sensible Nerv auch auf einen Dauerreiz mit einem ganz einfachen regelmäßigen und langsamen Rhythmus antwortet, der umso geschwinder wird, je stärker man reizt.

Aus all dem kann man mehrere wichtige Schlüsse ziehen. 1. Die komplizierte Form der Aktionsstromkurve, die man von dem in Spannung befindlichen Oberarm, ebenso wie von dem aus vielen Einzelfasern bestehenden Nerven ableitet, rührt nur davon her, daß die große Zahl der rhythmischen Erregungswellen, die der großen Zahl der Fasern entspricht, sich übereinander lagern und miteinander interferieren.

2. Da es nicht zu bezweifeln ist, daß der langsame Aktionsstromrhythmus der einzelnen Muskelfaser von 10 pro Sekunde und weniger auch ein etwa 10maliges Zucken der Muskelfaser oder, wie wir sagen, einen unvollkommenen Tetanus hervorrufen, so folgt daraus, daß der vollkommene Tetanus, d. h. die gleichmäßige Anspannung, die wir bei unseren Muskeln hervorrufen, dadurch zustande kommen muß, daß auch die asynchronen Tätigkeiten all der vielen rhythmisch zuckenden Einzelfasern miteinander interferieren.

3. Die streng rhythmische Antwort des Nerven auf einen Dauerreiz und ihre Frequenzzunahme mit der Verstärkung des Reizes ist in einer hier nun nicht weiter darzulegenden Weise aus dem Vorhandensein einer Refraktärphase des Nerven abzuleiten. — Kurz, es gelingt, tief in das Wesen der Erregungsphänomene einzudringen, wenn man nur im Experiment auf die letzten elementaren Einheiten der komplexen erregbaren Organe, auf die einzelnen Muskel- oder Nervenfasern zurückgeht.

Schließlich will ich noch an einem letzten Beispiel den Sinn solcher weitest gehender experimenteller Vereinfachungen komplizierter lebender Objekte darlegen. Ich knüpfe dabei an Pflügers alte Grundthese an: „Leben ist Stoffwechsel“, d. h. ein Strom von Stoffen durchdringt den lebenden Körper, indem die als Nahrungstoffe eingehenden

chemischen Verbindungen, auch wenn sie wie die Eiweißkörper, Fette und Kohlehydrate an sich höchst beständig sind, so daß wir sie jahrelang unverändert an der Luft aufheben können, doch alsbald zerfallen, wenn sie mit der lebenden Substanz in Kontakt geraten. Noch vor 25 Jahren brachte man diesen merkwürdigen Umstand mit der Existenz hypothetischer, äußerst zerfallsbereiter Stoffe in Zusammenhang, die ein Charakteristikum des Lebens seien. Heute weiß man, daß selbst ein so komplizierter Stoffwechsel, wie der des Muskels, von diesem losgelöst werden kann, indem man unter mehreren Atmosphären Druck aus dem abgekühlten Muskel einen Saft herauspreßt, in dem sich noch der Stoffwechsel abspielt. Heute weiß man, daß jedes Protoplasma eine Kollektion von Fermenten enthält, von denen von Jahr zu Jahr, fast von Monat zu Monat immer neue isoliert werden, und deren Eigenschaften uns lehren, daß der Stoffwechsel keinen explosiven Zerfall der Nahrungsstoffe bedeutet, sondern eine lange Kette von aufeinander folgenden Reaktionen, in der jede Teilreaktion, von einem eigenen Ferment verursacht, neue Reaktionsprodukte liefert, die in der darauf folgenden Teilreaktion als Ausgangsprodukte auftreten, die ihrerseits von einem weiteren Ferment der Umwandlung zugeführt werden. So ist heute festgestellt, daß, wenn der hauptsächlichste Energiespender unseres Körpers, der Traubenzucker, in den Organen, so wie in offener Flamme, zu Kohlensäure und Wasser verbrannt wird, zahlreiche Reaktionsstufen durchlaufen werden, in denen nacheinander Methylglyoxal, Milchsäure, Brenztraubensäure, Acetaldehyd, Aethylalkohol, Essigsäure auftreten, und deren jeder ein nachweisbares Ferment zugeordnet werden kann. Das bedeutet einen gewaltigen und prinzipiellen Fortschritt in der Erkenntnis, wenn man mit dem Ende des 18. Jahrhunderts vergleicht, in dem Lavoisier die Fundamente zu der Lehre von der tierischen Verbrennung legte, ohne freilich über deren Natur etwas äußern zu können; sowohl der Stoffwechsel der lebenden Materie, wie auch seine Initianten, die Fermente, haben heute das ihnen anhaftende Mysterium abgestreift.

Nun mag es Skeptiker geben, die sagen: Ist denn all das, was da im Experiment klar gelegt worden ist, wirklich das Leben oder Teil des wirklichen Lebens? Aber mir scheint,

es wird immer so gehen, daß, wenn einer der hier als Grundphänomene des Lebens bezeichneten Prozesse auf die Grundsätze der Physik und der Chemie zurückgeführt ist, man dazu neigen wird, ihn nicht mehr als Lebensphänomen gelten zu lassen. Das ist ein wenig wie in Schillers „Göttern Griechenlands“; es ist wie ein wenig Sperrung gegen die „entgötterte Natur“ im Vergleich zu der Zeit, „da sie noch die schöne Welt regierten, schöne Wesen aus dem Fabelland“. Beachten wir zum Beispiel etwa unsere Einstellung zu dem Mechanismus des Gaswechsels in den Lungen. Wir sind heute, namentlich seit der Erforschung der Atmung unter den extremen Bedingungen des Gebirgsklimas in Höhen oberhalb 4000 Metern, davon überzeugt, daß die Versorgung des Blutes mit Sauerstoff abgesehen von der Bindung an das in den Erythrozyten gespeicherte Hämoglobin eine reine Angelegenheit von Diffusion und Absorption, ein rein physikalischer Vorgang ist, und fassen sie auch als solchen auf. Aber bei gewissen Fischen, bei denen in Anpassung an ihre besonderen Lebensverhältnisse der Sauerstoff auch gegen ein steiles Spannungsgefälle, also in scheinbarem Widerspruch mit dem Absorptionsgesetz befördert werden kann, spricht man wohl von einer merkwürdigen Aeüßerung der Aktivität des Lebens — wie von einem Wesen aus dem Fabelland, einem inwendigen Alchymisten, wie Paracelsus sagen würde. Doch gewiß nur bis zu dem Augenblick, in dem auch dieser Gastransport, diese Arbeitsleistung auf ein physikalisches oder chemisches Prinzip zurückgeführt ist.

Es erweist sich so überhaupt mehr und mehr, daß das Lebendige sich durch die Besonderheit und Unvergleichbarkeit in der Konstellation der bekannten Stoffe und Kräfte vom Leblosen abhebt, wobei es die unermessliche Vielfältigkeit und Kompliziertheit der Faktoren neben den kleinen Dimensionen der Zellen als Lebenseinheiten sind, die immer wieder an der Möglichkeit, das Lebendige verstandesgemäß zu durchdringen, zweifeln oder verzweifeln lassen, jedenfalls die Angleichung der Erforschung an das physikalische und chemische Experiment so sehr erschweren. Hat doch sogar jede Art Lebewesen ihr eigenes, ihr artspezifisches Eiweiß als Baumaterial, aus dem wohl die artspezifische Gestalt, das artspezifische Verhalten und die artspezifische Formentfaltung nach dem Prinzip der Reaktionen mit Folgereaktionen

entspringen. Sind doch nicht bloß artspezifische, sondern sogar individualspezifische Gestalt und Verhalten von der individuellen Zusammenordnung der Gene als Träger der Vererbung abhängig, für die die Vererbungsforschung bewiesen hat, daß sie oft zu mehr als 100 in der mikroskopischen Substanzmenge eines Chromosoms anwesend sind, und daß jedes einzelne von ihnen an bestimmter Stelle und in bestimmtem Abstand von den übrigen im Chromosom gelegen und für die Entwicklung einer bestimmten körperlichen Eigenschaft notwendig ist, die aber wegen ihrer submikroskopischen Dimension der Feststellung ihrer chemischen oder physikochemischen Natur vorläufig die größten Schwierigkeiten entgegenstellen müssen.

Aus solchen Gründen der naturgegebenen Schwierigkeiten kann der Physiologe selten mit dem Physiker konkurrieren, der sich seine Experimentalbedingungen meistens in freier Willkür zusammenstellt. Er wird auch deshalb vernünftigerweise die Gebiete im Reich des Lebenden zur Erforschung bevorzugen, in denen er auch heute seine Kräfte erfolgreich erproben kann, und sich nicht in der Erstürmung noch unzugänglicher Gebiete aufreiben.

Dies sind auch die Beweggründe, aus denen heraus der Physiologe oft das ganze lebendige Naturreich durchstöbert, ob ihm die gütige Natur nicht aus all ihren mannigfaltigen Formen eine in den Schoß wirft, mit der sie ihm das erstrebte, sonst unausführbare Experiment schon selber vorgemacht hat, einen Herzmuskel ohne untrennbar eingestreute Ganglienzellen wie beim Pfeilschwanzkrebs, eine Niere ohne Glomeruli wie beim Anglerfisch, eine Zusammenfassung der rätselvollen Nebennierenrinde zu einem besonderen Organ bei Haifischen und Rochen, eine Riesenzelle mit einem Zellsaftraum von 1 ccm Inhalt wie bei der Kugelalge *Valonia*, die durch ihre Größe unvergleichlich bessere Aussichten für die Untersuchung des Stoffaustauschs bietet, als die gewöhnlichen Zellen. Solche Funde beglücken den Physiologen; sie locken ihn über Ländergrenzen und führen ihn über Ozeane zu fremden Forschungsstätten mit einer den Fernerstehenden merkwürdig anmutenden Begierde. Solche Studien führen ihn aber auch wiederum, — und damit komme ich noch einmal auf den Anfang meines Vortrages zurück — oftmals

fernab von derart Lebensstudien, die beim Kliniker die Forderung des Tages sind.

Ich möchte in diesem Punkte aber nicht mißverstanden werden. Als Lehrer kenne ich für den Physiologen keine ernstere Verpflichtung als die, die jungen Mediziner mit allen Mitteln, die ihm dafür zu Gebote stehen, auf den späteren verantwortungsvollen Beruf des Arztes vorzubereiten und ihnen bis zu den gestrigen Erkenntnissen des normalen Lebensablaufs all das zugänglich zu machen, was den Kranken zugute kommen kann. Der Patient kann ja nicht warten, bis die Forschung über irgendwelche Wege und Umwege eine völlig befriedigende Lösung für das Rätsel gefunden hat, das der kranke Organismus dem Arzt aufgibt. Aber er muß beanspruchen können, daß all die vielen Mittel und Maßnahmen, die dank der Forschung heute schon zu Gebote stehen, zu seinen Gunsten erschöpft werden. Wenn dann aber im Gebiet der Forschung Wege und Ziele der Physiologen und der Kliniker vielfach divergieren, so mag man darin nur wieder einmal der alltäglichen Erfahrung gewahr werden, daß jeder in seiner Art Wesen und Wert des gleichen Gegenstandes der Betrachtung und der Versenkung zu erfassen strebt. An der Wand eines Raumes, sei eine flache, gerahmte Tafel aufgehängt! Der Physiker, der vor ihr steht, mag daran denken, daß davon weitaus das meiste nur scheinbare Masse ist, da im Verhältnis zu ihrer Größe die Atome weite Abstände voneinander einhalten und innerhalb der Atome selber Kern und Elektronen in planetarischen Verhältnissen freien Raum zwischen sich lassen; der Chemiker mag vor der gleichen Tafel über die Konsitution ihres Materials nachsinnen, über die der Holzteile und der verschiedenen darauf gestrichenen Farben; den Maler fesselt an dem Tafelgemälde Farbverteilung, Linienführung und Pinselstrich; der Kunstfreund aber steht ergriffen vor dem Zauber der Darstellung einer Prophetengestalt. Aehnlich die, die das Lebendige erforschen! Der Physiologe, der auf die Grundphänomene ausgeht, sieht im Nervensystem Grenzflächen, über die Polarisationswellen hinlaufen; der Neurologe, dem es auf das Verstehen der Reaktionen auf äußere und innere Reize ankommt, verfolgt die Zusammenschaltung der Nerven und die daraus resultierenden gegenseitigen und mannigfaltigen Beeinflussungen

des Erregungsablaufs, der Nervenarzt versenkt sich teilnahmsvoll in den leidenden Menschen, der sich ihm vertrauensvoll öffnet.

So betrachtet, breitet sich wieder einmal vor uns aus das endlose Gefilde naturwissenschaftlicher Forschung, deren Ziele trotz aller großen und unaufhaltsamen Fortschritte überall noch in weiter Ferne liegen. Aber gerade die Endlosigkeit des starken Ringens nach Erkenntnis sorgt — nach einem schönen Wort von Planck — unablässig dafür, daß ihm seine beiden edelsten Triebe erhalten bleiben und immer von neuem angefacht werden, die Begeisterung und die Ehrfurcht. Glückliche sind die, die mit diesen Empfindungen an dieser Arbeit teilnehmen können; wir begegnen ihnen heute in allen Zonen des Erdballs und spüren das atemraubende und zugleich zuversichtliche Hindrängen zu den fernen Zielen. Und auch wir in Deutschland, auch wir in unserer Universität gehören zu ihnen; dankerfüllt stellen wir fest, daß auch in Zeiten großer wirtschaftlicher Not eine weise Ordnung des Staates in dem sicheren Bewußtsein, damit der Allgemeinheit zu dienen, immer wieder Mittel und Wege schafft, daß die deutsche Universität in althergebrachter und bewährter Weise ihre Kräfte in dem Ringen einsetzen kann. So mag jeder von uns, Lehrer wie Schüler, von dem faustischen Drang nach Regung seiner Kräfte erfüllt sein, der ihn bis zuletzt bekennen läßt:

Nur der verdient sich Freiheit wie das Leben,
der täglich sie erobern muß.