

Die funktionelle Organisation des Nervensystemes¹⁾.

Von
W. R. HESS (Zürich).

(Als Manuskript eingegangen am 3. Dezember 1938.)

Auf dem weiten Gebiet der Lehre von den Lebensfunktionen hat in den vergangenen Jahren die Physiologie des Nervensystemes in verschiedener Hinsicht grosse Fortschritte gemacht. Auch die praktisch orientierte Medizin nahm an dieser Entwicklung Anteil, wobei sie vor allem eine kritischere und zugleich objektivere Einstellung gegenüber nervös bedingten Krankheitssymptomen gewonnen hat. So ist der Versuch wohl begründet, vor einem weiteren zur Hauptsache aus Nichtmedizinern bestehenden Zuhörererkreis in Form eines zusammenfassenden Überblickes von den Problemen zu berichten, welche das Nervensystem bietet.

Bei der Wahl dieses Themas war für mich noch ein anderer Grund massgebend. Die Behandlung desselben gewährt die Gelegenheit, zu bestimmten Grundlagen biologischer Forschung und Lehre Stellung zu nehmen.

Wie allem biologischen Geschehen, so liegen der Funktion des Nervensystemes stoffliche und energetische Umsetzungen zugrunde. Ihre Untersuchung und Klarstellung stützt sich dementsprechend auf die Gesetze der Physik und der Chemie. Tatsächlich arbeiten der Biophysiker und der Biochemiker mit den gleichen Hilfsmitteln wie Physiker und Chemiker, wenn sie die Nerventätigkeit im Sinne kausaler Zusammenhänge aufzuklären bestrebt sind!

Die Funktion des Nervensystemes bietet aber noch einen andern Aspekt. Wir fassen ihn ins Auge, wenn wir z. B. das geregelte Zusammenspiel körperlicher Funktionen zu begreifen suchen. Hier

¹⁾ Als Aulavortrag gehalten, Zürich am 17. November 1938.

handelt es sich um eine Frage der Ordnung, in welche die physikalischen und chemischen Einzelprozesse eingefügt sind und diese in grösseren Zusammenhängen erscheinen. Ordnung bedeutet gesetzmässige Beziehung einzelner Faktoren zu einem grösseren Ganzen. Im konkreten Fall ist das Verständnis der Ordnung — wie bei biologischen Geschehnissen im allgemeinen — im Verhältnis der Einzelvorgänge zu einem bestimmten Erfolg zu suchen, wobei als Erfolg die Erfüllung einer (im Zusammenhang mit der Lebenserhaltung stehenden) physiologischen Aufgabe zu gelten hat.

Die Kennzeichnung dieser beiden Betrachtungsweisen bedeutet Programm für die weitere Behandlung unseres Themas. Wir werden es also auf der einen Seite mit kausal orientierten Einblicken in die Vorgänge im Nervensystem zu tun haben, auf der andern Seite mit dem Verständnis der von diesem ordnungsmässig vollzogenen Leistungen. Indem die Beurteilung einer Leistung auf den «Ausgang» eines Vorganges Bezug nimmt, kann man Beschäftigung mit vitalen Ordnungsproblemen als final dem kausalen Denken gegenüberstellen. Beide Bezeichnungen können Anlass zu Kritik geben. Doch auf die Ausdrücke kommt es nicht an, sondern auf die Begriffe, welche mit ihnen verbunden werden. Demgemäss lege ich auf die vorangegangene Darlegung besonderes Gewicht (siehe Anmerkung ²⁾).

²⁾ Anmerkung bei der Drucklegung: Es scheint nicht überflüssig, durch besonderen Hinweis ein Missverständnis darüber auszuschliessen, dass Untersuchung bestehender Ordnung und die Kennzeichnung dieser Ordnung durch ihre Relation zu einem Erfolg nichts zu tun hat mit der Annahme einer zielmässig dirigierenden «Kraft», welche diese Ordnung geschaffen hat. Von diesem Problem ist grundsätzlich Abstand genommen, schon deshalb, weil jede Stellungnahme dazu wenigstens heute der wissenschaftlichen Grundlage entbehrt, also persönliche Ansicht, — wenn man will — Glaubenssache ist. Dessen muss sich jeder, der die Annahme einer zur Ordnung leitenden (gleichsam vorausschauenden) Direktive durch eine Wortschöpfung dokumentiert, bewusst sein — aber auch derjenige, welcher die final orientierte Ordnung mit kausaler Argumentation für erklärbar hält. — Bei dieser Sachlage ist eindeutige Trennung zwischen Untersuchung bestehender Ordnung und der Frage nach ihrem Entstehen der Weg, auf welchem der Biologe sich aus jener lähmenden Ängstlichkeit, vom Zweck zu reden, befreit, wo doch ganz offenkundig Fragen der Organisation und der Funktion (im Sinne des Physiologen) nur aus der Beziehung zum Zweck innerhalb des Lebensgeschehens verstanden werden können. Ausserhalb der naturwissenschaftlichen Problemstellung liegt hingegen die Frage, ob das Leben an sich einen Zweck habe.

Wenn wir nun zuerst einiges darüber berichten, was nach physikalischen und chemischen Gesichtspunkten beurteilt über die Funktionen des Nervensystemes bekannt ist, so sind die zwei Zustandsformen — Ruhe und Erregung — zu unterscheiden. Die letztere ist durch gesteigerte Umsetzungen insbesondere hinsichtlich des Sauerstoffverbrauches und der Kohlensäurebildung gekennzeichnet. Dieser Atmungsstoffwechsel ist bei den Nervenfasern allerdings minimal, mit feinsten Instrumenten aber doch messbar. Bei den Nervenzellen erreicht der Stoffwechsel indessen einen recht erheblichen Umfang. Dementsprechend besteht hier auch eine sehr leicht nachweisbare Abhängigkeit vom Sauerstoff. Es genügt, dass seine Zufuhr — z. B. infolge Unterbrechung des Blutstromes zum Gehirn — unterbleibt, und es zeigen sich schon in wenigen Sekunden schwere Funktionsstörungen, u. U. Bewusstlosigkeit. Die Abhängigkeit der Nerventätigkeit vom Sauerstoff hat darin seine «Ursache», dass ihre Leistungen an das Freiwerden von Energie im Sinne des Physikers geknüpft sind; denn die vitalen Vorgänge laufen nur im Gefälle fließender Energie. Die Quelle des treibenden Stromes ist End aller End die Verbrennung von Nahrungsstoffen. Deshalb der Sauerstoffbedarf! Diese Zusammenhänge sind streng kausal, selbst in quantitativer Hinsicht, also nicht anders als in der unbelebten Natur.

In Begleitschaft der Energieumsetzung treten typische elektrische Erscheinungen auf, die sogenannten Aktionsströme. Sie haben ihren Grund in Verschiebung elektrischer Ladungen innerhalb des nervösen Substrates. Diese Verschiebungen scheinen zum Wesen des Erregungsprozesses zu gehören. Die heute zur Verfügung stehenden, äusserst empfindlichen Instrumente lassen sie in ihrem Zeitverlauf und andern Einzelheiten so genau studieren, dass in den letzten Jahren ungeahnt tiefe Einblicke in die Funktionsweise des Nervensystemes erhalten werden konnten.

Ein Beispiel: Es besteht die Möglichkeit, nicht nur Erregungen, welche ein Nerv bei einem Berührungszreiz dem Zentralnervensystem zuführt, photographisch oder akustisch zur Darstellung zu bringen und damit exakt zu analysieren, sondern auch die im Zentralnervensystem einlaufenden Erregungen objektiv nachzuweisen. Ja selbst durch Kopfhaut und Schädelkapsel des Menschen hindurch lassen sich elektrische Phänomene aus dem Gehirn registrieren und kausale Zusammenhänge mit Vorgängen im Gehirn feststellen (Elektro-Encephalogramm).

Auf Grund physikalischer Untersuchungen erkennt man auch, dass der Erregungsprozess sich wie eine Welle fortpflanzt. Es werden also immer weitere Abschnitte des Nervensystemes mit in den Erregungsprozess einbezogen. Indem die Ausbreitung je nach der Stelle, wo die Erregungswelle ihren Ausgang nimmt (ich denke an die verschiedenen Sinnesorgane, jedes selbst wieder mit einer Grosszahl von Angriffsstellen) variiert, sind die Auswirkungen der ins Nervensystem eintretenden Reize ausserordentlich mannigfaltig. Die Zahl der möglichen Formen von Erregungsgebilden ist praktisch unendlich gross. Aber auch die Zustandsbedingungen des Nervensystemes — physikalisch, physikochemisch und chemisch definiert — sind von entscheidender Bedeutung. Wenn uns ein Sinnesreiz trifft, so ist das Ergebnis je nach Umständen ein anderes; denn von den Zustandsbedingungen hängt die Reaktionsbereitschaft ab. Die Analyse der Eigenschaften verschiedener Nerven lässt ferner erkennen, dass es verschiedene Arten von Nerven gibt. Die Geschwindigkeit, mit der die Erregungswelle fortgeleitet wird, ist u. a. bei solchen Differenzierungen ein wichtiges Kriterium. — Durch einen oben eingefügten Hinweis haben wir mit einem wichtigen Abschnitt der Lehre von der Funktion des Nervensystemes engere Fühlung genommen, nämlich mit der *Sinnesphysiologie*. Im Prinzip handelt es sich um Einwirkungen der Umwelt auf das organische Geschehen. Sogenannte Sinneszellen spielen dabei Vermittlerrolle. Sie sind zum Teil hoch empfindlich und auf bestimmte Zustandsänderungen abgestimmt. Dieser *Abstimmung* entsprechen verschiedene *Sinnesphären*. Wirkt ein mechanischer Druck, so bedeutet dies ein Ansprechen des Tastsinnes. Ist die Erregung durch eine Substanz verursacht, die mit der Atmungsluft in die Nase kommt, so tritt der Geruchssinn in Funktion. Beim Hören sind die Schallwellen, beim Sehen das Licht die korrespondierenden, d. h. adäquaten Sinnesreize. Die Zuordnung der einzelnen Sinnesapparate zu bestimmten Reizformen ist kausal bedingt, d. h. in besonderen physikalischen und chemischen Einrichtungen verankert. In diesem Zusammenhang muss noch beigefügt werden, dass *nicht alle physikalischen und chemischen Zustandsänderungen der Aussenwelt vom Nervensystem aufgenommen werden können*. Es gibt z. B. lösliche und flüchtige Stoffe ohne Geschmack und ohne Geruch; ebenso können wir unter Einfluss bestimmter Energieformen kommen, auf welche kein Sinnesorgan anspricht. Hierher gehören z. B. das Ultraviolett und das Ultrarot im Spektrum elektromagnetischer Wellen, ferner die durch den Radioapparat ins Hörbare um-

gesetzte Strahlungsenergie. Auch für die in neuerer Zeit vom Physiker näher erforschten Ultraschallwellen sind wir taub, obwohl deren Energie sehr gross ist. Unser Organismus ist eben so gebaut, dass er nur auf jene Faktoren Appell hat, welche für sein ganzes Verhalten in der Natur eine Bedeutung haben. Er ist nur auf jene energetischen und stofflichen Zeichen eingerichtet, deren Entzifferung ihm im Kampfe ums Dasein von Nutzen ist.

Soll unsere Darstellung selbst ihren Zweck erreichen, d. h. zielrichtig geordnet sein, so müssen wir allerdings diesen letzten Hinweis in einem andern Zusammenhang besprechen; denn mit kausaler Betrachtung, die uns hier beschäftigt, hat er nichts zu tun! Dagegen gehört die Frage hierher, durch welche Mechanismen die Empfindlichkeit verschiedener Sinnesorgane an die Intensität des Reizes angepasst wird. Das Phänomen der Anpassung, welche die sogenannte Reizschwelle je nach Umständen in erstaunlicher Breite verändert, ist beim Auge am eindrucksvollsten. Misst man die Lichtmenge, welche nach langem Aufenthalt im Dunkeln eine Lichtempfindung eben noch auszulösen vermag, so findet man sie reichlich 1000 mal kleiner als bei dem auf Helle eingestellten Auge. Gewisse Unterschiede im nervösen Empfangsapparat des Auges, der Retina, dokumentieren objektiv die Umstellung, und wenn wir heute auch den Prozess der Hell-, bzw. Dunkeladaptation noch nicht durchschauen, so ist der Weg, den die aufklärende Forschung zu gehen hat, doch eindeutig gekennzeichnet. Er führt in kausaler Betrachtungsweise über die Anwendung physikalischer, physikochemischer und chemischer Erfahrungen auf das biologische Problem.

Um auch nur einigermaßen zur Kenntnis zu bringen, was die physiologische Forschung bis heute in diesem Sinne dem Verständnis eröffnet hat, hätten wir noch sehr vieles zu sagen. Unsere Darlegungen müssen aber in diesem Zusammenhang genügen, damit wir nun auch dem andern Aspekt physiologischer Erkenntnisse unsere Aufmerksamkeit widmen können. Es geschieht dies wieder am besten an Hand eines konkreten Beispielles: Wir beobachten einen Menschen bei einer manuellen Verrichtung und stellen dabei fest, dass seine Bewegungen nach einer bestimmten Ordnung ablaufen. Man spricht von koordinierter Bewegung und meint damit: richtiges Zusammenspiel bestimmter Muskelgruppen, wohlgemessene Abstufung der aufgewendeten Kräfte und geregelte zeitliche Folge verschiedener Teilakte der Verrichtung. Hier erhält nun früher Gesagtes seine Erläuterung: In der Bezugnahme des als

Verrichtung bezeichneten Vorganges auf das (zweckmässige) Ergebnis liegt der Schlüssel für das Verständnis der Ordnung. Indem wir sie begreifen, denken wir final. Erinnern wir uns der vielen manuellen Fertigkeiten, durch welche der Mensch die verschiedensten Zwecke erreicht, halten wir uns besonders auch die verschiedenen Bewegungsformen vor Augen, durch welche wie der Mensch so das Tier – z. B. der Vogel im Flug – den Ort verändernd einem Ziel zustrebt, so kennen wir eindrucksvolle Beispiele, in welchen sich die Relation zwischen Vorgang und Ziel offenbart. Gleichzeitig ahnen wir die Bedeutung und den Reichtum an Fragen, welche dieser Aspekt des Lebens bietet. An diesem Ort ist die Feststellung am Platz, dass — wie die Funktionen des Bewegungsapparates — so auch die Leistungen der Sinnesorgane und die Tätigkeit des Zentralnervensystemes unter diesem Gesichtswinkel begriffen sein wollen!

Zwei typische Funktionen sollen nun dazu dienen, die zwei Aspekte, von denen die Rede war, einander gegenüberzustellen:

Jede Berührung der Hornhaut des Auges wird sofort durch einen raschen Lidschlag beantwortet. In kausaler Betrachtung stellt sich der Vorgang folgenderweise dar: Der leise mechanische Druck auf die Hornhaut wirkt als Reiz. Er erregt dort Elemente des Tastsinnes.

Dem Erregungsprozess im Tastorgan liegen physikalische Zustandsänderungen zugrunde. Dasselbe gilt für die Erregungsleitung durch Nerven ins Gehirn. Innerhalb des Zentralnervensystemes wandert die Erregung weiter und gelangt so auf nervöse Elemente, welche durch zentrifugale Fasern mit jenen Muskeln in Beziehung stehen, durch welche die Augenlider bewegt, d. h. geschlossen werden. Das Ganze entspricht dem Mechanismus eines Reflexes. Er ist die Beantwortung eines sensiblen Reizes in Form einer gebahnten unwillkürlichen Betätigung bestimmter Erfolgsorgane.

Neben dem eben beschriebenen Cornealreflex vermittelt das Nervensystem noch eine sehr grosse Zahl anderer Reflexvorgänge; hinsichtlich ihrer Detailstruktur bestehen gewisse Unterschiede; die einen sind einfacher, die andern komplizierter aufgebaut. Alle arbeiten aber automatisch und nach dem selben technischen Prinzip. Der Weg, den die Erregung nimmt, kann, soweit die Reflexbahn der Untersuchung zugänglich ist, mit elektrischen Apparaten verfolgt werden, wobei man auch die Geschwindigkeit, mit der die Erregungs-

welle sich von Abschnitt zu Abschnitt fortpflanzt, messen kann. Die Durchtrennung der Bahn an irgendeiner Stelle genügt, die Kette der kausal miteinander verknüpften Geschehnisse zu unterbrechen, den Reflex zu zerstören.

Bei der Kennzeichnung des Reflexes wird stets noch eine Eigentümlichkeit betont: es wird je nach dem speziell ins Auge gefassten Reflex der von ihm erfüllte Zweck genannt. Mit diesem Hinweis wechselt man, auch wenn man sich dessen nicht klar ist, grundsätzlich den Standpunkt der Beurteilung; denn man hat durch ihn eine Beziehung zu einem «Erfolg» als Endergebnis hergestellt. Im konkreten Fall des Cornareflexes liegt es klar zutage: der erregende Faktor ist ein auf das Auge gelangter Fremdkörper. Für die leicht verletzliche Hornhaut bedeutet er eine Gefahr. Der Lidschlag bezweckt die Beseitigung dieses Gefahrmomentes. Diese zweckorientierte Ordnung wird noch offenkundiger, wenn wir mitberücksichtigen, dass vom gleichen Reiz auch die Tränendüse zu gesteigerter Funktion erregt wird. Es ergiesst sich ein Schwall von Flüssigkeit über die Hornhaut, wodurch die reinigende Wirkung des Lidschlages unterstützt wird.

Das zweite Beispiel: Sie ergreifen eine Frucht. Hierbei wird eine Vielzahl von Muskeln, welche Ober- und Unterarm, die Hand und die Finger bewegen, zur Tätigkeit aufgerufen und zwar in bestimmter Kombination, unter genauer Abstufung hinsichtlich der Intensität der erzeugten Kräfte und des zeitlichen Ablaufes des ganzen Bewegungsaktes. Die Untersuchung im Sinne kausaler Erklärung lässt feststellen, wie die einzelnen Muskelfasern ihre Erregung von einem speziellen Kleinorgan, der sogenannten Nervenendplatte empfangen. Nach neuesten Untersuchungen scheint sich beim Mechanismus der Erregungsübertragung noch eine chemisch definierbare Vermittler-substanz einzuschieben. Die Nervenendplatten ihrerseits werden durch die physikalisch und chemisch charakterisierte Nerven-erregung aktiviert, welche aus dem Rückenmark entspringt. In den hier gelegenen Zellkörpern, zu denen die Muskelnerven gehören, nimmt der betrachtete Prozess indessen nicht seinen Ursprung. Auch diese Ganglienzellen spielen nur die Rolle von Vermittlern der Impulse, welche ihnen vom Grosshirn zugeleitet werden. Beobachtungen am Menschen mit krankhaften Zerstörungen in der Hirnrinde, in Übereinstimmung damit geeignete experimentelle Untersuchungen am Tier, weisen uns eindeutig auf ziemlich begrenzte Teile der Hirnrinde hin, die sogenannte motorische Zone, von wo aus die einzelnen Muskelgruppen in Funktion gesetzt werden können. Aber auch

die sogenannte motorische Zone ist nur Etappe. Wir wissen heute mit Bestimmtheit, dass ihre Funktionen in engerer Wechselwirkung mit benachbarten Hirnteilen stehen. Noch weiter rückwärts nach dem Substrat suchend, welches primär den Impuls aussendet, verlieren wir die objektiv verfolgte Spur. Aus der Selbstbeobachtung können wir nur sagen, dass ein Willensimpuls dazu gehört. Ein objektiv fassbarer zugehöriger Prozess ist z. Zt. nicht bekannt. Hingegen ist man sich darüber im klaren, dass ein Willensimpuls auch nicht von ungefähr entsteht! Jedenfalls steht im konkreten Fall die Initiative zum Handeln im Zusammenhang damit, dass wir die Frucht erblickt haben. Die Entstehung des Impulses muss also irgendwie mit dem Sehakt in Beziehung stehen. Hiezu gehört in erster Linie die rein optische Abbildung auf der Netzhaut des Auges. Diese führt zu einer Erregung bestimmter Nervenbahnen, die auf indirektem aber genau bekanntem Wege in den Hinterhauptklappen des Gehirnes führen. Erst die Einbeziehung weiterer benachbarter Hirnabschnitte führt dazu, dass der optische Eindruck gedeutet, d. h. dass die Frucht erkannt wird. Auch diesem «Erkennen» liegt physikalisches, physikalisch-chemisches und chemisches Geschehen in Substraten mit materiell und energetisch definierbaren Eigenschaften zugrunde.

Genau genommen bedeutet das Erkennen der Frucht aber doch nicht Impuls zur Handlung. Im Grunde ist es die Begierde nach der Frucht. Ihre sinnliche Wahrnehmung spielt lediglich die Rolle des auslösenden Faktors. Wenn wir nun weiter der Ursache der Begierde nachgehen, so endet unsere Nachforschung mit der Feststellung eines Zusammenhanges zwischen unseren körperlichen Bedürfnissen nach Nahrung und dem Gehalt der Frucht an Nährstoffen.

Unser Gedankengang ist damit auf die zweckorientierte Betrachtungsweise hinübergeleitet worden. Wir erkennen in dem Mechanismus des Ergreifens die Beziehung zur Erfüllung eines Zweckes. Was uns direkt zu Gesicht kommt, ist dabei die Endphase eines Geschehnisses, welches noch viel komplizierter ist als eben beschrieben, aber immer geordnet, d. h. auf ein Ziel ausgerichtet. In die Synergie ist vor allem eine hochdifferenzierte Leistung des Zentralnervensystemes eingegliedert, welches die Handlung organisiert. Es selbst ist wieder an die Mitwirkung von Sinnesapparaten geknüpft, indem die treffsichere Erreichung der begehrten Frucht nur durch eine fortlaufende Kontrolle des Bewegungsablaufes gewährleistet ist. Wer dabei in Betracht zieht, dass diese Kontroll-

funktion sich nicht nur auf die End-, sondern auf jede Einzelphase der Zweckhandlung erstreckt, der erhält einen Begriff von Ordnung im Aufbau des ganzen «dynamischen Gebildes», dessen Ablauf man Reaktion nennt und das wir durch Bezugnahme auf seinen Zweck zu begreifen suchen. Es wäre verlockend, diese Skizze durch Einzeichnung von Details zu einem fertigen Bilde auszuführen! Wir würden dabei von einem stufenförmigen Aufbau der Handlung erfahren, der sich sowohl auf der motorischen wie auf der sensorischen Seite erkennen lässt. In diesem Sinne wäre u. a. vom Verhältnis der «führenden» Rolle des Auges und der sogenannten Tiefensensibilität zu sprechen, welche letztere Spannungsreize aus Gelenken und Muskeln regulierend zur Geltung bringt. Wir müssten vor allem auch die Tatsache näher erläutern, wie die Organisation des Bewegungsaktes so getroffen ist, dass der Zweck mit einem Minimum von Kräften erreicht wird usw. — All dies können wir nur andeuten, um die Vorstellung lebendig zu machen, wie viele Einzelgeschehnisse in die Ordnung einbezogen und von ihr beherrscht werden. Je weiter unser Verständnis greift, um so tiefer unsere Bewunderung der organisatorischen Gestaltungskraft, welche uns die Natur in den Leistungen des Nervensystemes offenbart. Dieser Eindruck wird noch betont, wenn wir erfahren, wie der Genuss der Frucht weitere zweckentsprechende Mechanismen mobilisiert: Der Geschmackreiz führt dazu, dass sich reichlich Speichel über die gekaute Masse ergießt. Auch die Magen- und Bauchspeicheldrüsen antworten mit Abgabe ihrer Verdauungssäfte. Indem diese die chemischen Agenzien enthalten, welche die Nährstoffe der Frucht verdauen, wird nun im Innern des Körpers die mit dem Erfassen der Frucht eingeleitete Handlung sinngemäss weitergeführt, und dem Endzweck, d. h. der endgültigen Aneignung der Nährstoffe zugeführt. Ja die innervatorische Organisation arbeitet so prompt und zielsicher, dass mit der Ausschüttung der Verdauungssäfte gar nicht zugewartet wird, bis die Frucht im Munde ist. Der blosse Anblick und die Erwartung des kommenden Geschmackreizes genügt u. U. als Sekretionsreiz, so dass die Verdauung sofort beginnen kann, wenn die Nährstoffe in Mund und Magen gelangen; (sog. bedingter Reflex).

Diese Ausführungen mögen genügen, um die Funktion des Nervensystemes im Aspekt zweckorientierter Ordnung aufzuzeigen. Weiter ins Einzelne zu gehen und auch andere Sektoren aus der Gesamtheit nervöser Funktionen in Betrachtung zu ziehen, ist wohl nicht nötig. Wir könnten — was das Prinzip betrifft — nur bereits

gewonnene Einsicht bestätigen. Um so dankbarer ist hier die Aufgabe, die an konkreten Beispielen gewonnene Erkenntnis nun zu einer umfassenden Übersicht über den Bau- und Funktionsplan des Nervensystemes zu erweitern. Wir sind uns darüber im klaren, dass «Plan» wie Ordnung im Lebensgeschehen aus der Beziehung eines Vorganges zu seinem Zweck verstanden werden muss. Betrachten wir die verschiedenartigen Leistungen des Nervensystemes unter diesem Gesichtswinkel, so fällt uns fürs erste auf, dass die Funktionsziele in zwei verschiedenen Sphären liegen. Wenn wir gehen oder zugreifen oder einen Gegenstand auch nur mit dem Blick verfolgen, so ist die Ordnung auf ein Objekt der Umwelt ausgerichtet. Anders liegen die Verhältnisse z. B. bei der Funktion des Herzens, der Atmung, bei der Temperaturregulierung usw. — Hier hat das Nervensystem Leistungen zu regulieren, welche auf die Herstellung bestimmter Zustandsbedingungen im Innern des Körpers abzielen.

Entsprechend diesen Verhältnissen gelangen die Leistungen des gesamten Nervensystemes in zwei verschiedenen Richtungen zur Geltung; tatsächlich bestehen zwei getrennte Organisationen nebeneinander. Man spricht vom animalen und vom vegetativen Nervensystem. Das eine regelt das Verhalten des Individuums zu seiner nähern und fernern Umgebung, das andere ordnet die «internen» Angelegenheiten.

Aufs erste mutet es merkwürdig an, dass im letztern wieder zwei Instanzen nebeneinander tätig sind und zwar derart, dass ihr Einfluss auf das einzelne Organ gegensinnig ist. Die eine fördert, die andere hemmt z. B. die Herztätigkeit. In diesem Antagonismus kommt — organisatorisch betrachtet — eine klar umschriebene Trennung der Gewalten zum Ausdruck, welche zwei verschiedenen Strebungen entspricht. Die eine zielt auf möglichst grosse Bereitschaft zur Kraftentfaltung ab, wobei gesteigerte Blutzirkulation und Atmungstätigkeit im Vordergrund stehen; die andere Strebung bezweckt Sparung und Ersatz des im Betrieb verausgabten Materiales. Damit verstehen wir auch die Gegensätzlichkeit. Es ist die alte und immer wieder neue Geschichte vom Gleichgewicht zwischen Aufwand und Ersatz, von Ausgaben und Einnahmen, die für den Fortbestand eines jeden «Organismus» — wie er auch geartet sei — entscheidend ist. Dass dabei die Erfolge des Sparens auf der Einnahmenseite stehen, ist klar, ebenso, dass gegensinnige Einflussnahme auf eine Teilfunktion auf weite Sicht nicht Gegensatz bedeutet. Der Wettstreit beider

Instanzen ist lediglich das organisatorische Mittel, momentane Leistungsbereitschaft und Aufrechterhaltung der Leistungsfähigkeit in Einklang zu bringen, wobei automatisch auch Ökonomie im Aufwand der Betriebsmittel und Schutz der einzelnen Organe erreicht wird.

Im animalen, also dem nach der Umwelt orientierten Sektor des Nervensystemes, ist der Funktionsplan anders, und zwar soweit es das *P r i n z i p* betrifft, einfacher. Hier herrscht *n u r e i n e S t r e b u n g*, und für die Durchführung ist *e i n* System massgebend, welches die wenig geeignete Bezeichnung «cerebrospinales Nervensystem» trägt. Es ist es, welches von der Aussenwelt die Sinnesreize entgegennimmt, aus ihnen durch Assoziationsvorgänge Erregungsbilde konstruiert, die (natürlich nicht räumlich gedachte) Abbildungen der Aussenwelt darstellen. Das *C. N. S.* ist es auch, welches, wie dargelegt, unsern Skelettmuskelapparat beherrscht, seine zielgerichteten Handlungen *k o m p o n i e r t*. Ergänzend ist noch zu sagen, dass die zutage tretenden Leistungen Ausdruck struktureller Organisationen sind, die man *Z e n t r e n* nennt. Eine wichtige Rolle in diesem Funktionsbereich fällt der Hirnrinde zu. In keinem Falle ist sie aber ausschliesslicher Sitz der organisierenden Zentren. Ja es ist fraglich, ob sie überhaupt die führende Rolle spielt und nicht vielleicht mehr nur als kombinatorisches *I n s t r u m e n t* anzusehen ist. Jedenfalls bedarf es der Mitarbeit tieferer Hirnschichten, so dass ganz streng genommen und schematisch ausgedrückt für jede vollwertige Einzelleistung die «Ganzheit» des Nervensystemes notwendig ist.

In unserer Darlegung der Funktionsordnung des Nervensystemes machen wir einen weitem Schritt, wenn wir nun die *W e c h s e l b e z i e h u n g e n* zwischen dem vegetativen und dem animalen Funktionsbereich des Nervensystemes untersuchen. Jenes bereits erwähnte Symptom vom Speichelfluss beim Anblick einer leckeren Speise ist das gegebene Beispiel, diese Frage konkret zu besprechen. Wir müssen dabei allerdings wissen, dass die Innervation der Speicheldrüsen vom vegetativen Nervensystem besorgt wird, während das Sehen und Erkennen z. B. der begehrten Frucht, eindeutig in den Aktionsbereich des animalen Sektors gehört. — Eine in entgegengesetzter Richtung sich geltend machende Verbindung zwischen beiden Abschnitten des Nervensystemes kommt zum Ausdruck, wenn wir infolge langdauernder Beanspruchung unserer Sinnesapparate, insbesondere auch der assoziativ tätigen Zentren, müde werden und uns der Schlaf «übernimmt». Das Ziel der «Schlafhandlung» ist Restitution der in der Wachphase erschöpften Kraftreserven des

Zentralnervensystemes. Somit liegt die Schlaf funktion in der Sphäre des Vegetativen, wobei nun aber auch Organe des animalen Abschnittes in ihrem Verhalten beeinflusst, nämlich ruhig gestellt werden. Die Funktionsbereitschaft sowohl der Sinnesorgane wie der Zentren und des Bewegungsapparates ist im Schlaf gehemmt.

Andere Beispiele solcher Induktionen, bei welchen das Vegetative ins Animale hinübergreift, sind Hunger und Durst. Sie treten auf, wenn im Körper die Nährstoffe bzw. der Wasservorrat knapp werden. Wer sich an Situationen erinnern kann, wo er z. B. durch grosse Wasserverluste nach einem Marsch bei Hitze nach Wasser lechzte, der ist sich auch im klaren über den zwingenden Akzent, mit dem sich diese Beziehung geltend macht. Alles Sinnen und Trachten ist darauf gerichtet, das den Durst stillende Wasser zu erreichen; die im vegetativen System wurzelnde Begierde wird zum Motiv des Handelns. So schliesst sich nun die Lücke, die wir bei der Frage nach dem primären Impuls offen lassen mussten. Das Ziel — in seiner primären Form — wird in der vegetativen Sphäre abgesteckt, während der animale Abschnitt die differenzierten, nach der Aussenwelt orientierten Leistungen organisiert. Mit der Erreichung des Zieles wird die treibende Kraft abgesättigt. Indem sich die zwei Hauptabschnitte in ihren Leistungen ergänzen, ist ein Kreis geschlossen, welcher in der funktionellen Einheit des normalen Individuums zum Ausdruck kommt. — Bei dieser Darstellung entgeht mir natürlich nicht, dass es auch «höhere» Ziele gibt, welche nicht in der Absättigung körperlicher Bedürfnisse verankert sind. Diese Tatsache steht indessen mit dem Gesagten nicht in Widerspruch; ihre Besprechung würde dazu führen, den beim Menschen reich entfalteten Gefühlsregungen ihren Platz im Funktionsplan des Nervensystemes zuzuweisen, welche speziell im kollektiven Leben die Initiative zum Handeln liefern.

Mit diesem letzten Hinweis ist der Schlußstein im Gesamtaufbau des Nervensystemes gelegt, und wir können damit auch unsere Darlegungen zum Abschluss bringen. Wir dürfen und wollen indessen einer Frage nicht aus dem Wege gehen, welche schon gestreift worden ist, ohne dass wir sie dort ausdrücklich erwähnten. Es handelt sich um den Zusammenhang zwischen Bewusstsein und Funktion des Gehirnes. In objektiver Beurteilung von Beziehungen wurde gezeigt, wie Hunger und Durst, wie auch die in der Gefühlswelt verankerten höheren Strebungen zu Initianten des Handelns werden; in subjektiver Betrachtung ist es eigentlich das Bewusstsein jener Zustände, welche uns in Spannung versetzen und zu einem Ver-

halten Anlass geben, das auf Lösung dieser Spannung abzielt. Wie fügt sich dieses fundamentale Problem in den Rahmen der gegebenen Darstellung von den Funktionen und der funktionellen Organisation des Nervensystemes? D a s s d a s p s y c h i s c h e G e s c h e h e n e i n A u s d r u c k v o n p h y s i k a l i s c h e n u n d c h e m i s c h e n V o r g ä n g e n i m N e r v e n s y s t e m, i n b e s o n d e r e i m Z e n t r a l n e r v e n s y s t e m d a r s t e l l t, s t e h t a u s s e r F r a g e. D r o s s e l u n g d e r B l u t z u f u h r z u m G e h i r n f ü h r t i n w e n i g e n S e k u n d e n z u B e w u s t l o s i g k e i t, e i n H e r z v e r s a g e n z. B. z u O h n m a c h t. A b e r n i c h t n u r d a s B e w u s t s e i n a l s s o l c h e s, a u c h d e r B e w u s t s e i n s i n h a l t e r w e i s t s i c h a l s v o n d e r S t r u k t u r d e s G e h i r n e s u n d d e n i n i h m s t a t t f i n d e n d e n s t o f f l i c h e n u n d e n e r g e t i s c h e n U m s e t z u n g e n a b h ä n g i g. B e w e i s e d a f ü r s i n d c h a r a k t e r i s t i s c h e S y m p t o m e i m p s y c h i s c h e n V e r h a l t e n b e i b e s t i m m t e n E r k r a n k u n g e n o d e r E n t w i c k l u n g s s t ö r u n g e n d e s G e h i r n e s; i n d e r g l e i c h e n R i c h t u n g w e i s e n d i e E r f a h r u n g e n ü b e r d i e t y p i s c h e B e e i n f l u s s b a r k e i t d e s B e w u s t s e i n s g r a d e s u n d d e s B e w u s t s e i n s i n h a l t e s d u r c h d a s E i n g r e i f e n o b j e k t i v d e f i n i e r t e r S u b s t a n z e n. I c h d e n k e u. a. a n d i e N a r k o s e u n d R a u s c h z u s t ä n d e n a c h O p i u m - u n d K o k a i n g e n u s s. S o l c h e u n d a n a l o g e F e s t s t e l l u n g e n w e i t e r v e r f o l g e n d, m ü s s e n w i r j e d e n Z w e i f e l a u f g e b e n, d a s s a u c h k o m p l i z i e r t e p s y c h i s c h e V o r g ä n g e u n d G e s e t z m ä s s i g k e i t e n, d i e h e u t e e r s t m i t p s y c h o l o g i s c h e n M e t h o d e n a n a l y s i e r t w e r d e n, i h r e n s t r e n g k a u s a l e n A s p e k t b e s i t z e n u n d e i n e E r k l ä r u n g i m S i n n e k a u s a l e r B e t r a c h t u n g f o r d e r n. E b e n s o s i c h e r i s t e s a b e r, d a s s d a s K o l l e k t i v u m n e r v ö s e r E i n z e l p r o z e s s e, w e l c h e s i n s B e w u s t s e i n t r i t t, f i n a l o r i e n t i e r t i s t. D i e O r d n u n g p s y c h i s c h e r T ä t i g k e i t k a n n, w i e j e d e a n d e r e L e b e n s o r d n u n g, n u r s o b e g r i f f e n w e r d e n, d a s s m a n s i e i n R e l a t i o n z u e i n e m Z w e c k o d e r — w a s d a s s e l b e h e i s s t — z u r E r f ü l l u n g e i n e r A u f g a b e s e t z t. D a s s d i e s e i n w e i t e s t e r F a s s u n g u n d i n o f t k o m p l e x e r E r s c h e i n u n g s f o r m v e r s t a n d e n s e i n w i l l, m a g z u r S i c h e r u n g e i n e r r i c h t i g e n I n t e r p r e t a t i o n d e s G e s a g t e n n o c h b e s o n d e r s b e t o n t w e r d e n. — I n k o n s e q u e n t e r V e r f o l g u n g d e r F r a g e n a c h d e n F u n k t i o n e n d e s N e r v e n s y s t e m e s s i n d w i r h i e m i t a u f e i n e r E b e n e a n g e l a n g t, i n w e l c h e r s i c h F r a g e n s t e l l e n, w e l c h e d i e I n t e r e s s e n s c h o n v i e l e r N a t u r f o r s c h e r u n d Ä r z t e i n A n s p r u c h g e n o m m e n h a b e n. U m i n u n s e r e r n ä c h s t e n U m g e b u n g z u b l e i b e n, e r w ä h n e i c h n u r v. M O N A K O W u n d B L E U L E R, b e g r e i f l i c h e r w e i s e M ä n n e r, d e r e n A r b e i t s f e l d d o r t l a g, w o d i e M e d i z i n s i c h m i t d e m P s y c h i s c h e n b e f a s s t. E s w ä r e — i c h b i n ü b e r z e u g t — e i n e v i e l v e r s p r e c h e n d e A u f g a b e, a u f d e r G r u n d l a g e d e s v o m P h y s i o l o g e n g e z e i c h n e t e n F u n k t i o n s p l a n e s d e s N e r v e n s y s t e m e s s i c h m i t V o r s t e l l u n g e n a u s e i n a n d e r-

zusetzen, die von Erfahrungen über g e s t ö r t e psychische Leistungen ihren Ausgang genommen haben. Auch könnte man vielleicht mit Erfolg den Versuch wagen, von der Psycho-Physiologie eine tragfähige Brücke zur reinen Psychologie zu schlagen. – Wir sehen also Wege der Weiterentwicklung gewonnener Einsicht. Ihre Verfolgung geht aber über die Aufgabe, die wir uns für heute gestellt haben, hinaus, und wir beschränken uns darauf, gerade noch soviel zu sagen, als nötig ist, um die Gesamteinstellung gegenüber dem aufgerollten l e t z t e n P r o b l e m der Physiologie des Nervensystemes zu kennzeichnen:

Wenn man sich darüber klar ist, dass bewusste Wahrnehmung und bewusster Wille Funktionsäusserungen des Zentralnervensystemes darstellen, denen physikalische und chemische Prozesse zugrunde liegen; wenn man nicht daran zweifelt, dass die Ordnung, welche im Bewusstseinsinhalt zum Ausdruck kommt, zielmässig orientiert ist: Was das Bewusstsein seinem W e s e n nach darstellt, ist und bleibt wohl mit naturwissenschaftlicher Methode und Denkweise unfassbar. Hier muss sich der Physiologe trotz aller Kenntnisse über Einzelmechanismen und Organisationen im Nervensystem bescheiden! Er kann nur, wie jeder gesund fühlende und denkende Mensch dankbar feststellen, dass das «Bewusstsein» ihm gegeben ist.