

# Die Krankheiten des Willens.

Vorbereitender Teil:

Psychologie und Physiologie des Willens.

## b) Physiologie.

Eine »Physiologie des Willens« unmittelbar nach einer »Psychologie des Willens«? Ist denn dies keine bloße Übersetzung aus der Sprache des Psychologen in die des Physiologen?

Diese Frage muß entschieden verneint werden, denn es handelt sich in den beiden Teilen um ganz verschiedenartige Tatsachen. Die Psychologie hält sich an die der »Selbstbeobachtung oder inneren Erfahrung« zugänglichen Bewußtseinserscheinungen und untersucht deren ursächlichen Zusammenhang, in welchem sie den recht komplizierten Bewußtseinszustand bilden, den wir mit dem Worte »Wille« bezeichnen. Die Physiologie hingegen beschäftigt sich mit körperlichen Vorgängen, die sich im Nervensystem vollziehen, mit den psychischen Erscheinungen nicht die geringste Ähnlichkeit haben, jedoch zu diesen in der engsten Beziehung stehen, weil sie die unerläßliche Vorbedingung des Auftauchens derselben im Bewußtsein sind. Empfindungen und Vorstellungen, Gefühle und Triebe, kurz alle »psychischen Phänomene« sind an genau bestimmte Zustandsänderungen im zentralen Nervensystem u. z. im Gehirn gebunden.

Und gerade wie bestimmte Bewußtseinszustände in ihrem ursächlichen Zusammenhange den »Willen im psychologischen Sinne« konstituieren, so bilden alle, diesen Bewußtseinszuständen vorausgehenden und sie bedingenden Nervenzustände, u. z. wieder in ihrem ursächlichen Zusammenhange, den »Willen im physiologischen Sinne«. Man pflegt zu sagen, bestimmte Vorgänge im zentralen Nervensystem seien die somatische und bestimmte Bewußtseinszustände die psychische Repraesentation des Willens.

Aber gleich beim ersten Schritt in das physiologische Gebiet stoßen wir auf ein Hindernis. Die Analyse der Bewußtseinserscheinungen läßt sich auch für jene Leser faßlich darstellen, die keine eingehendere Kenntnis der Psychologie haben. Es handelt sich ja dabei um Tatsachen der sog. »inneren Erfahrung«, die jedem Menschen durch Selbstbeobachtung zugänglich sind. Die Physiologie des Willens dagegen wäre ohne die Kenntnis der Vorbegriffe der Nervenphysiologie geradezu unverständlich. Und selbst für den Fall, daß es sich nur um die ver-

meintliche Übersetzung des psychologischen Inhaltes in die physiologische Sprache handeln sollte, wäre die Kenntnis dieser Vorbegriffe erforderlich, weil ohne sie dem Leser der Übersetzung das physiologische Vokabular mangelte.

Mit Rücksicht auf den Leserkreis, für welchen diese Blätter bestimmt sind, ist es daher erforderlich, zuerst einige Grundlehren der Nervenphysiologie in einer möglichst knappen Faßung zu erläutern. Mag auch der Vorwurf, daß die vielen Vorbereitungen zur eigentlichen Aufgabe nicht gelangen lassen, begründet sein, so müßte doch der Vorwurf, dem Leser werde ein unverständlicher Lesestoff geboten, als ein noch schwerer lastender befunden werden. Das Bessere ist ja so oft des Guten Feind.

Über die physiologischen Vorgänge im tierischen Organismus mag uns zunächst eines der niedrigst organisierten tierischen Lebewesen, ein Urtier, belehren. Der tierische Grundstoff, *animales Protoplasma* oder Sarkode genannt, äußert sein Leben auf dreierlei Weise. Er empfindet, er bewegt sich und er assimiliert. Ein mikroskopisch kleines Klümpchen dieses tierischen Stoffes bildet bereits einen selbständigen tierischen Organismus. Man nennt ihn Wechseltierchen oder *Amoeba*.\*) Das ganze Protoplasmaklümpchen, welches die *Amoeba* bildet, aber auch jedes noch so kleine Teilchen von ihm äußert die angegebenen drei Funktionen.

Kriecht die *Amoeba* in mäßig temperiertem Wasser behaglich umher, so streckt sie lappige oder fadenförmige Protoplasmafortsätze wie Fangarme aus, zieht sie wieder ein und ändert auf diese Weise fortwährend ihre Gestalt und ihren Standort. Wird sie plötzlich von einem grellen Lichtstrahl oder von einem noch so schwachen elektrischen Strome getroffen, so zieht sie ihre Fangarme sofort ein und ballt sich zu einer ruhenden Kugel zusammen. Wie in einer Schrecklähmung verharrt sie in diesem Zustande, erholt sich aber bald und setzt ihre Bewegung weiter fort. Ein zweckmäßiges Benehmen kann man bei ihr beobachten, wenn sie mit einem ihrer Fangarme einen Fremdkörper z. B. die noch viel kleinere Algenart *Navicula* berührt. Sie bedeckt die Beute sofort mit einem Protoplasmaüberzug, drückt sie in ihren Zellkörper hinein, um sie auszusaugen. Den unverdaulichen Rest stößt sie heraus. Wird ihr aber Wasser, Nahrung oder Wärme entzogen, so stirbt sie nicht, sondern nimmt wieder die Kugelgestalt an und verfällt in einen dem Scheintode ähnlichen Zustand. Den Stoffwechsel stellt sie zwar ein, verliert aber die Lebensfähigkeit nicht. Kommt sie in günstige Lebensverhältnisse, so lebt sie wieder auf. Auch sorgt sie für die Erhaltung ihrer Art, denn sie kann ihren Protoplasmaleib in zwei Hälften teilen, von denen jede wieder zu einer selbständigen *Amoeba* wird.

Ein tierisches Wesen von der oben beschriebenen Beschaffenheit wird von Vorgängen in seiner Umgebung in einen Erregungszustand versetzt und beantwortet diese äußeren Reize mit einer »Änderung des eigenen stofflichen und dynamischen Gleichgewichtes.« Es empfindet. Durch Aufnahme von Nährstoffen und deren Verarbeitung, die man eben

\*) Fig. 1 auf Tafel I.  
Gräben

eben Assimilation nennt, speichert es in sich Spannkräfte auf und setzt sie auf äußere Reize hin unter Oxydationsvorgängen in lebende Kräfte um. Es wächst, kriecht, nimmt Nährstoffe auf, wirft Unbrauchbares heraus und teilt sich in zwei Lebewesen — kurz es bewegt sich, wobei es lebende Kraft verbraucht. Ohne Empfänglichkeit für äußere Reize, demnach ohne Empfindungsfähigkeit, gäbe es keine tierische Lebensäußerung.

Andererseits gäbe es auch keine solche Äußerung, wenn bei der feinsten Empfindungsfähigkeit keine äußeren Reize vorhanden wären, wenn das Lebewesen eine Umgebung hätte, die keine Reize ausüben könnte. Die im Organismus angehäuften Spannkräfte blieben gebunden wie im Schießpulver ohne den zündenden Funken.

Teilt sich die Amöbe, so lebt sie in zwei gesonderten Individuen weiter. Sie ist in diesem Sinne unsterblich, denn es bleibt nach ihr kein Leichnam. Selbstverständlich muß man jene Fälle ausnehmen, wo sie durch einen zu starken Reiz getötet wird. Natürlichen Todes aber stirbt sie nicht.

Worin bestand nun die weitere Entwicklung des tierischen Organismus? Zunächst darin, daß aus dem einheitlichen Protoplasmaleib, wie der der Amöbe, durch Teilung eine größere Zahl gleichartiger, gegen einander deutlich abgegrenzter Protoplasmaklumpchen, Zellen genannt, hervorging aber in einem organischen Zusammenhange blieb. Im Gegensatze zu der einzelligen Amöbe entstand ein vielzelliger tierischer Organismus. Man pflegt ihn ein Coenobium oder nach Haeckels Vorschlag *Coenamöbe* zu nennen. Ein solches Coenobium ist z. B. *Labyrinthula Cienkowskii*.

Das Zusammenleben (Symbiose) der im organischen Verband stehenden Zellen ist derart geordnet, daß jede Zelle für sich empfindet, für sich assimiliert und für sich, durch eigene frei werdende Spannkräfte Bewegungen ausführt, sich zusammenzieht und ausdehnt. Nur der Wechsel des Standortes wird gemeinsam mit den Schwesterzellen vollzogen. Während nun jede Zelle ihr eigenes Leben führt, ein Leben, das dem der anderen Zellen gleicht, ist das Leben des Ganzen eine Resultante aus den Lebensprozessen der Glieder. Und da jede Zelle in Bezug auf die drei tierischen Funktionen, Empfindung, Assimilation und Bewegung selbständig ist, so kann auch jede aus dem Zellverband austreten und durch Teilung ihres Protoplasmakörpers ein neues Coenobium begründen.

Die wichtigste Tatsache bei der weiteren Entwicklung der Tierwelt war aber die Anwendung des Prinzipes der Arbeitsteilung auf die tierische Organisation. Und diesen Grundsatz führte die Natur in einer so herrlich folgerichtigen Weise durch, daß sie dadurch der Tierwelt die Bahn zu einer unbegrenzten Vervollkommnung eröffnete.

Die Durchführung beruhte darin, daß eine Zellgruppe des Coenobiums die Empfindung, eine zweite Gruppe die Bewegung und eine dritte die Assimilation auf sich nahm. Je ausschließlicher sich aber eine Zelle nur der ihr allein übertragenen physiologischen Leistung widmete, eine desto höhere Vollkommenheit erreichte sie darin und wurde gleichsam eine Spezialistin auf ihrem Gebiete. Dafür büßte sie aber die Be-

fähigung zu anderen Leistungen ein. Die Empfindungszellen konnten nun weder assimilieren noch eine Bewegung ausführen und die der Bewegung dienenden weder empfinden noch assimilieren usw.

Ein solcher nach dem Prinzip der Arbeitsteilung eingerichteter tierischer Organismus erinnert an ein geordnetes Staatswesen. Man kann ihn mit Recht einen Zellstaat nennen: er besitzt einen Nährstand in den assimilierenden Zellen der Verdauungsorgane; er verfügt über Verkehrsmittel, welche ihm die der Bewegung dienenden Zellen der Muskulatur — die Kreislaufsorgane mit einbegriffen — beistellen; er hat auch Organe zur Vermittlung der wechselseitigen Beziehungen der Teile des Zellstaates zu einander und der Beziehungen zum Ausland, d. h. zu der Umgebung oder Außenwelt des Tieres. Die Nachrichten über das Ausland beehren den Zellstaat über die Bezugsquellen seiner Bedürfnisse und bringen von außen drohende Gefahren zu seiner Kenntnis, damit er ihnen erfolgreich begegnen kann. Alle diese Beziehungen der Glieder des Tierkörpers zu einander und die Beziehungen des Organismus zur Außenwelt besorgen die empfindenden Zellen oder, wie wir gleich hören werden, die Zellen des Nervensystems, dessen Funktion eben für unsere Aufgabe, für die physiologische Erklärung der Willenserscheinungen, von der größten Bedeutung ist. Und wie Menschen, die am Meere wohnen, tüchtige Matrosen zu werden pflegen, weil sie hier Gelegenheit zur Ausbildung für diesen Beruf finden, so werden Zellen, die auf der Oberfläche des Tierkörpers liegen, vorwiegend Empfindungszellen, weil die Oberfläche des Körpers von äußeren Reizen zuerst getroffen wird.

In jedem geordneten Staate muß es aber eine Zentralbehörde geben, in welcher alle Fäden der Verwaltung zusammenlaufen. Von ihr werden entsprechende Anordnungen, die dem Staate zweckdienlich sind, an alle Provinzen, Kreise und Bezirke geleitet. Bei dieser Zentralbehörde laufen auch die Nachrichten aus dem Auslande ein und regen zweckmäßige Verhaltensmaßregeln an. Auch im Zellstaate Tier ist ein solches Zentralorgan vorhanden, denn er ist wirklich bürokratisch angelegt. Die äußeren physischen Reize sind der sog. »Einlauf«. Sie werden von den oberflächlich gelegenen empfindenden Zellen, den Zellen der Sinnesorgane — dem Einreichungsbureau — aufgenommen und je nach Beschaffenheit des Reizes an bestimmte Teile des Zentralorgans — die Departements — verteilt, um hier von besonderen Zellgruppen — den Fachreferenten — bearbeitet und erledigt zu werden. Wir werden sehen, wie kompliziert der »innere Geschäftsgang« ist. Es ist gar nicht zu wundern, daß manches Geschäftsstück in »Verstoß gerät,« manches »ad acta« gelegt wird. Die wichtigeren Angelegenheiten müssen aber denn doch erledigt werden.

Diesen inneren Verwaltungsdienst im tierischen Zellstaate und den Verkehr mit der Außenwelt besorgt das Nervensystem und die Zentralbehörde ist das — Gehirn.

Die beiden Hauptbestandteile des Nervengewebes sind schon lange Zeit hindurch bekannt. Fontani, Arzt in Pisa und Florenz, entdeckte 1781 die Nervenfasern und Ehrenberg, Professor in Berlin, 1833 die

Nervenzelle im Rückenmarke der Taube. Auf dem deutschen Naturforschertage in Prag 1837 demonstrierte Purkyně, damals Professor der Physiologie in Breslau, zum erstenmal Nervenzellen aus dem Hirn des Menschen. Sie werden noch heute Purkyněsche Zellen genannt. Den Zusammenhang beider Elemente, der Nervenfasern und der Nervenzelle, klärte 1838 Remak auf.

Ein zufriedenstellender Einblick in den Bauplan und die Funktionen des Nervensystems ließ jedoch noch viele Jahrzehnte auf sich warten. Noch im Jahre 1881 konnte unser berühmter erblindeter Einsiedler von Perchtoldsdorf, kurz vorher noch eine der hervorragendsten Zierden der Wiener Universität, der Anatom Hyrtl den Ausspruch Fontanis über das Gehirn »Obscura textura, obscuriores morbi, functiones obscurissimae« als noch immer gültig in Erinnerung bringen. Hyrtl selbst nannte das Gehirn ein mit sieben Siegeln verschlossenes, in unverständlichen Hieroglyphen geschriebenes Buch.

Erst die unvergleichlich besseren Mikroskope der letzten zwei Jahrzehnte, neue feinere Untersuchungsmethoden, insbesondere die Färbung mikroskopischer Präparate aus dem Nervengewebe mit Silber-salzen, Berücksichtigung der embryonalen Formen des Nervensystems, klinische und pathologische Untersuchung des erkrankten Nervensystems usw. führten gegen Ende des 19. Jahrhunderts einen bemerkenswerten Fortschritt in der Neurologie herbei. In verhältnismäßig kurzer Zeit wurde eine solche Anzahl neuer Ansichten veröffentlicht, dass es geradezu unmöglich schien, sich in den Einzelheiten zurechtzufinden. Trotzdem befand sich der Keim einer neuen Lehre im Aufgehen. Es mußte nur ein universell denkender Geist aus all den einander auch vielfach widersprechenden Angaben einen leitenden Gedanken herausheben und das neugeborene Wesen auf einen glücklich gewählten Namen taufen.

Dies gelang Waldeyer. Im Jahre 1891 erschien sein, den damaligen Standpunkt der Nervenlehre zusammenfassendes und erläuterndes Werk »Über einige neuere Forschungen auf dem Gebiete des Zentralnervensystems.« Hier wendet Waldeyer zuerst das Wort Neuron an, welches der neuen Lehre den Namen Neurontheorie gegeben hat.

Das Neuron gilt gegenwärtig als eine in sich geschlossene Nerveneinheit. Und Bardeleben sagt in knappster Definition: »Neuronenlehre ist die Lehre vom Aufbau des Nervensystems aus Nerveneinheiten.«

Die neue Theorie fand viel Anklang u. z. zunächst deshalb, weil sich auf Grund derselben die Symptome der Nervenkrankheiten in einer überraschend einfachen und zutreffenden Weise erklären ließen. Aber nicht nur die Kliniker, sondern auch die Physiologen und die Vertreter der pathologischen Anatomie sind ihre Anhänger. Nur in den Reihen der Zoologen, insbesondere jener, die sich mit dem Nervensystem der wirbellosen Tiere beschäftigen, und unter den Histologen stehen die Gegner. Nicht wenige brechen bereits heute über die Neuronenlehre den Stab, obwohl sie erst im Anfange ihrer Entwicklung steht. Fast jeder neuen Lehre erging es ähnlich. Schrieb doch — um nur ein Beispiel anzuführen — der schlaue englische Staatskanzler und Großsiegelbewahrer Baco of Verulam, einer der klarsten Denker aller Zeiten,

ein Jahrhundert nach Copernicus ein vernichtendes Urteil über das heliozentrische System. In seinem 1623 erschienenen Werke »De dignitate et augmentis scientiarum« heißt es noch: »... und die Absurdität dieser Anschauungen brachte die Menschen dazu, daß sie an eine tägliche Drehung der Erde glauben, was doch grundfalsch ist.«

Lassen wir den Kampf für und wider das Neuron bei Seite. Er interessiert ja nur den Fachmann. Uns mag hier eine möglichst kurze Fassung der Grundlehren der Neuronentheorie genügen, soweit sie eben für das Verständnis des Folgenden erforderlich ist.

Die Nerveneinheit »Neuron«\*) besteht aus einer nackten Nervenzelle, deren Protoplasmaleib nach allen Richtungen des Raumes protoplasmatische Fortsätze ausstrahlen läßt. Ein Fortsatz pflegt sich vor den anderen gewöhnlich durch seine bedeutendere Länge auszuzeichnen. His schlug für ihn den Namen »Neurit« vor und der Vorschlag wurde angenommen. Der Neurit erhält in einer geringen Entfernung vom Zellkörper seines Neurons eine mit Mark gefüllte Scheide und wird dadurch zu einer Nervenfasern. Er gleicht jetzt dem Dochte einer mit Farbe bestrichenen Wachskerze. Die außen gelegene Farbstoffschichte der Kerze stellt die Scheide vor, das Wachs gleicht dem Marke und der Neurit, wie erwähnt, dem Dochte. Da der Neurit innerhalb der Nervenfasern als deren Achse läuft, so heißt er auch Achsenzylinder der Nervenfasern. In seinem Verlaufe gibt er stellenweise zarte Seitenfädchen ab, die aus der Nervenfasern austreten und zu anderen Neuronen führen. Man nennt sie Kommunikationsfasern oder Kollateralen. Erst nahe seinem Ende tritt der Achsenzylinder aus der Scheide heraus, wird somit wieder wie sein Anfangsstück ein hüllenloser Neurit und fasert sich schließlich zu einem Pinsel von Fäserchen auf, die zusammen das Endbäumchen oder Telodendron des Neuriten heißen.

Mehrere Nervenfasern, die parallel nebeneinander, von einer gemeinsamen Hülle umgeben, verlaufen, bilden einen Nervenstrang oder Nerven.

Wie bereits erwähnt, sendet das Neuron außer dem Neuriten noch zahlreiche, gewöhnlich kürzere Protoplasmafortsätze nach allen Seiten aus, die sich aber gleich nach ihrem Austritte aus dem Neuronkörper wie ein reichverästeltes Wurzelwerk oder wie eine feinverzweigte Baumkrone teilen und Dendriten genannt werden. Sie verleihen dem Neuron ein sternförmiges Aussehen.

Die Größe und Gestalt des eigentlichen Neuronleibes ist verschieden. Es gibt unter ihnen »Riesenformen im kleinsten Raume« die bis  $100 \mu$ \*\* im Durchmesser haben und noch mit freiem Auge wahrgenommen werden können, aber auch winzige Formen, die nur 20 bis  $10 \mu$  messen. Ihre Gestalt ist bald kugelig, bald ei- oder birnförmig, ja selbst tetraëdrisch usw. Das Protoplasma des Neuronkörpers zeigt eine feinfaserige Textur. Zwischen den Fäserchen liegen feinste Körnchen, die stellenweise gelb oder hellbraun gefärbt sind. Im Protoplasma

\*) Fig. 2. auf Tafel I.

\*\*\*)  $\mu = 0.001 \text{ mm}$ .

ist ein ziemlich großer bläschenförmiger Zellkern (nucleus) eingebettet, welcher ein Kernkörperchen (nucleolus) beherbergt. Und in diesem kann man oft noch ein Zentralkorn wahrnehmen.

Alle übrigen Sonderungen des Protoplasmas im Neuronleibe werden erst nach Anwendung sinnreich erdachter Methoden der Färbung oder chemischer Impregnierung des mikroskopischen Objektes wahrnehmbar. Sie sind für uns von keiner Bedeutung, weil sie gegenwärtig für das Verständnis der Neuronfunktionen noch keine Anhaltspunkte bieten. Es ist ja überhaupt die gefärbte und chemisch praeparierte Zelle nicht im stande, uns eine Anschauung von der lebenden Zelle zu vermitteln. Man kann nur annehmen, daß die durch Praeparation sichtbar werdenden Einzelheiten der Ausdruck einer schon in der lebenden Zelle vorhandenen Sonderung des Protoplasmas in verschieden geartete Teile sind. Die tote Zelle, gefärbt und chemisch impregniert, liefert im mikroskopischen Bilde nach Nissls Ausspruch nur ein Nervenzellenaequivalent des lebenden Neuronkörpers.

Mit Recht darf man nun fragen, wieso denn dieses recht kompliziert gebaute Gebilde eine Nerveneinheit genannt werden kann. Es gibt mehrere gute Gründe dafür. Als erster und wichtigster mag der gelten, daß jedes Neuron in sich abgeschlossen und auf sich begrenzt ist. Die Zweiglein aller seiner Fortsätze endigen frei. Sie legen sich an die Aestchen der Fortsätze des Nachbarneurons an oder zwischen diese Aestchen, um sie zu berühren. Ein direkter Übergang der Aestchen eines Neurons in die des Nachbarneurons, d. h. eine Verwachsung findet jedoch nicht statt. Es ist ein ähnliches Verhältnis, wie wenn sich zwei Menschen mit ihren Fingerspitzen berühren oder ihre Finger in einander legen. Überdies müßten die Hände noch Handschuhe tragen. Denn selbst die Berührung der Neuronaestchen ist keine direkte, sondern sie wird durch eine Zwischensubstanz, Neuroglia oder Glia genannt, vermittelt. Wie der Mensch bei seinen primitiven Lehmbauten dem Lehm Strohhalme und Bastfasern beimengt, um eine größere Festigkeit zu erzielen, so hat auch die Natur zwischen die Elemente der Nervensubstanz ein zellig-faseriges Bindegewebe als Kittsubstanz eingebettet. Dieses Verhalten der Neuronen, welches ihre morphologische Selbständigkeit und Abgeschlossenheit bedingt, heißt Kontiguität. Den Gegensatz zu ihr bildet die Kontinuität, bei welcher die Nervenaestchen direkt in einander übergehen, wie wenn die Hände zweier Menschen mit den Fingerspitzen verwachsen.

Die Gegner der Neurontheorie halten an der Kontinuität der Nervenzellenfortsätze fest und berufen sich auf das Nervensystem niederer Tiere, bei denen die Kontinuität zweifellos erwiesen ist. Aber bei höheren Wirbeltieren und insbesondere beim Menschen kann sie nur als eine seltene Ausnahme, dagegen die Kontiguität als Regel gelten.

Für die Auffassung des Neurons als Nerveneinheit spricht ferner der Umstand, daß jedes Neuron auch bezüglich seiner Ernährung von anderen Neuronen unabhängig, demnach auch trophisch selbständig ist. Seine Fortsätze sind nur Ausläufer des Neuronplasmas zum Zwecke einer Oberflächenerweiterung, durch welche nicht nur die Empfindlichkeit erhöht, sondern auch die Nahrungsaufnahme erleichtert und ge-

steigert wird. Wie innig aber der trophische Zusammenhang und die gegenseitige Abhängigkeit der Neuronteile von einander in Bezug auf die Ernährung ist, zeigt sich darin, daß der Neurit ohne den Neuronkörper und umgekehrt dieser ohne jenen nicht existieren kann. Wird der Neurit von seinem Neuronkörper abgetrennt und die Wiederverwachsung verhindert, so verkümmert nicht nur der Neurit, sondern das ganze Neuron. Die Teile existieren somit nur durch den Zusammenhang mit dem Ganzen und das Ganze durch den Zusammenhang seiner Teile. Es ist daher das Neuron wirklich eine Nerveneinheit. Diese Tatsache führte den bekannten Irrenarzt v. Gudden, den sein Verhängnis einen ruhmvollen Berufstod mit König Ludwig II. von Bayern im Starnberger See finden ließ, zu der Methode, nach Zerschneidung peripherer Nerven jene Neuronen im Zentralsystem (Rückenmark und Gehirn) zu bestimmen, zu welchen die den zerschnittenen Nerven zusammensetzenden Neuriten gehörten. Man findet die Neuronen leicht, weil auch sie infolge der Abtrennung der Neuriten verkümmern.

Der dritte Grund für die Annahme »Neuron ist eine Nerveneinheit« ist die funktionelle Selbständigkeit des Neurons. Sie ist eigentlich nur die Folge der anatomischen Selbständigkeit, die wir wieder als Folge der Kontiguität kennen lernten. Leicht wird die Funktion der Neuronen verstanden, wenn wir uns zunächst auf ein Neuronpaar beschränken, auf ein perzipierendes und ein expedierendes. Das erste steht mit einem oberflächlich gelegenen Sinnesorgan in Verbindung, welches äußere Reize von genau bestimmter Beschaffenheit aufzunehmen befähigt ist, z. B. den Reiz auf die Haut, wenn man eine heiße Platte berührt. Die Dendriten des perzipierenden Neurons führen diesem den Reiz zu und der Reiz versetzt das Neuron in einen Erregungszustand. Das perzipierende Neuron überträgt nun den eigenen Erregungszustand auf das zweite ihm angegliederte, d. h. mit ihm in Kontiguität stehende Neuron, welches das expedierende genannt wird. Die Übertragung besorgt der Neurit des perzipierenden Neurons. Das Endbäumchen dieses Neuriten legt nämlich seine Endfäserchen an die Zweiglein der Dendriten des expedierenden Neurons. Auf diesem Wege gelangt die Erregungswelle von dem ersten zum zweiten Neuron. Das zweite Neuron heißt aber das expedierende, weil es durch seinen Neuriten irgend ein Erfolgsorgan, zu dem eben sein Neurit geht, zu einer bestimmten Tätigkeit zwingt. In unserem Falle ist es ein Muskel, der, zur Kontraktion gezwungen, die Fingerspitzen von der heißen Platte weghebt. Der in diesem Neuronpaare ablaufende Vorgang wird ein Reflex genannt. Er besteht aus zwei Gliedern, die in einem ursächlichen Zusammenhange stehen. Die durch Berührung der heißen Platte verursachte Schmerzempfindung, welche durch Erregung des perzipierenden Neurons ins Bewußtsein tritt, ist das erste, die durch die Erregung des expedierenden Neurons hervorgerufene Muskelkontraktion ist das zweite Glied des Reflexes. Ein greller Lichtstrahl und der Lidschluß, ein Kitzel der Nasenschleimhaut durch stark riechende Stoffe und das Niesen, eine Reizung der Kehlkopfschleimheit und der Husten sind Beispiele von Reflexen.

Um nun das Wesen eines einfachen Reflexes anschaulicher zu machen, wollen wir uns eines Vergleiches bedienen. Der Vorposten, der die Vorgänge außerhalb des Truppenlagers wahrzunehmen hat, meldet die Annäherung des Feindes, der sich anschickt, eine vorgeschobene Truppenabteilung anzugreifen oder zu umgehen. Die Nachricht gelangt ins Hauptquartier zum Kommandanten und von diesem ergeht an den Führer der vorgeschobenen Abteilung die Weisung, sich auf das Lager zurückzuziehen. Der Führer erteilt nun seiner vorgeschobenen Abteilung den Befehl zum Rückmarsch, welcher auch sofort angetreten wird.

Wir haben vorhin den Fall angenommen, daß die Finger eine heiße Platte berühren und infolge des dadurch verursachten Schmerzes rasch weggezogen werden.

Das Sinnesorgan, welches den äußeren Reiz aufnimmt — in unserem Falle die Fingerhaut, welche der Wirkung des hohen Temperaturgrades ausgesetzt ist — stellt den Vorposten dar. Der perzipierende Neuron, dessen Erregung zur Ursache der Schmerzempfindung im Bewußtsein wird, ist der Kommandeur, das expedierende Neuron, auf das der Erregungszustand übertragen wird, ist der Führer der vorgeschobenen Abteilung und die Armmuskulatur, welche den Befehl zur Kontraktion erhält, ist samt den Fingern der Truppenkörper selbst. Die dabei mitwirkenden Estafetten sind aber die Dendriten und Neuriten der beiden assoziierten Neurone. Die Dendriten leiten, wie bereits erwähnt wurde, zum Neuronleib (cellulipetale Leitung), der Neurit vom Neuron hinweg (cellulifugale Leitung).

Durch einen äußeren Reiz kann aber die Erregung eines Neurons nur dann zustande kommen, wenn der Reiz eine gewisse Stärke besitzt, die man Reizschwelle nennt. Ist der Reiz »unterschwellig«, so wird das perzipierende Neuron nicht erfolgreich erregt und ist nicht im stande, seinen Erregungszustand zu dem expedierenden Neuron zuleiten. Dies geschieht erst dann, wenn die Erregung des ersten Neurons jenen erforderlichen Wert erlangt, den man Neuronschwelle nennt. Und damit das expedierende Neuron auf das Erfolgsorgan wirklich erfolgreich einwirken kann, muß wieder die Erregung dieses zweiten Neurons hinreichend kräftig sein, sie muß die Erfolgsschwelle erreichen.

Man kann sich nun leicht vorstellen, was vorgeht, wenn zwischen das mit dem Sinnesorgan verbundene perzipierende und das mit dem Erfolgsorgan verbundene expedierende Neuron eine Reihe von Zwischenneuronen eingeschaltet ist. In einer solchen Neuronkette wird die Erregungswelle von einem Neuron zum benachbarten geradeso übertragen, wie bei der bekannten Stoßmaschine der Bewegungsimpuls von der ersten elastischen Kugel bis zur letzten wandert, um nur diese letzte in Bewegung zu setzen.

Wie kommt es aber, daß bei einem und demselben Neuronpaar oder bei derselben Neuronkette die erwähnten Schwellenwerte nicht konstant sind, sondern bald höher, bald niedriger werden? Wie kommt es, daß diese Neuronverbindungen bald mehr, bald weniger erregbar sind? Es wurde auch für diese Erscheinung eine Erklärung gegeben, welche, wenn auch nur hypothetisch, doch besser ist als gar keine. Die Erklärung gründet sich auf verschiedene Grade der Kontiguität.

Auch im Menschenleben ist ja die Berührung und die Innigkeit des Verkehrs eine wechselnde. Der Freund drückt uns sonst die Rechte herzhaft; fühlt er sich gekränkt, reicht er die Fingerspitzen widerstrebend. Die Art des Handreichens und der Berührung ist eine bedeutungsvolle stumme Sprache. Auch die Neuronen verkehren in verschiedenen, wechselnden Graden der Intimität miteinander. Man schreibt ihnen nämlich eine sogenannte amoeboider Bewegung zu, infolge deren sie die Endästchen der Dendriten verlängern und verkürzen können, ähnlich wie die Amöbe ihre Fangarme. Bei Verlängerung der Dendritenästchen wird die Kontiguität eine viel innigere und die Erregung kann von einem Neuron auf das zweite leichter übergehen. Der Schwellenwert wird niedriger, die Erregbarkeit höher. Umgekehrt verhält es sich bei der Verkürzung der Fortsätze. Duval und Lépine schreiben diesem »Amoeboidismus der Neuronen« einen wichtigen Einfluß selbst auf die psychischen Prozesse zu. Der Genuß von Kaffee, Thee, Wein soll die Verlängerung der Neuronfortsätze herbeiführen, u. z. hauptsächlich bei den in der Großhirnrinde gelegenen Neuronen, an deren Funktion das psychische Leben gebunden ist. Deshalb üben diese Genußmittel eine die geistige Tätigkeit anregende Wirkung aus. Thee und Kaffee werden von orientalischen Dichtern als Getränke der Weisen und Philosophen gepriesen. Beim Einschlafen sollen sich dagegen die Dendriten langsam zusammenziehen, weshalb die psychische Tätigkeit nach und nach eingestellt wird. Hat die Verkürzung ihr Maximum erreicht, so soll sich der tiefe, traumlose Schlaf einstellen. Erst wenn nach einigen Stunden die Verlängerung der Dendriten wieder beginnt, sollen sich Träume einstellen und schließlich bei entsprechender Verlängerung das Erwachen eintreten. In ähnlicher Weise werden die Erscheinungen bei der Narkose mit Aether oder Chloroform erklärt. Auch diese Mittel sollen die Dendriten verkürzen und Bewußt- sowie Empfindungslosigkeit herbeiführen. Deshalb wird bei Aether- oder Chloroformvergiftung starker Kaffee als wirksames Gegenmittel gereicht.

Allgemein wird zugegeben, daß bei der normalen Entwicklung des Nervensystems der Widerstand gegen die Fortleitung einer Erregung in einer Neuronkette desto kleiner wird, je häufiger die Neuronkette in Anspruch genommen wird. Früher verlegte man den Widerstand in den Übergang der Nervenerregung von der Nervenfaser in die Nervenzelle. Entsprechend der Auffassung des Neurons als einer funktionellen Nerveneinheit mußte der Widerstand — die sog. Hemmung — auf den Übergang der Erregung von Neuron zu Neuron verlegt werden. Ist der äußere Reiz zu schwach — wir nannten ihn unterschwellig, — so wird das perzipierende Neuron nicht erfolgreich erregt. Es kann auf das Nachbarneuron nicht wirken. Wird es aber von demselben unterschweligen Reiz wiederholt erregt, so wird sein Erregungszustand zusehends stärker und erreicht schließlich ohne jede Verstärkung des Reizes eine Intensität, die der Reizschwelle, beziehungsweise der Neuronschwelle gleichkommt, so daß jetzt seine Erregung auf das expedierende Neuron übergehen kann. Wiederholte Erregung durch unterschwellige Reize erniedrigt demnach die Neuronschwelle und macht das Neuron empfindlicher. Das Neuron wird gebahnt. Wieder-

holtes Pochen öffnet die Pforte und Übung macht den Meister. Und wie die ausgefahrene und frisch geschotterte Straße durch häufiges Befahren wieder wegsam wird, so wird auch die Neuronkette durch wiederholte Benützung zu einem bequemen Weg für die Erregungswellen.

Die durch häufig sich wiederholende Erregungswellen bedingte Bahnung der Neuronen und ihrer Ketten führt schließlich zur Ausschleifung ganz genau bestimmter Fortleitungsbahnen für bestimmte Reize. Und eben weil Übung den Meister macht, so verfeinern sich manche Neuronen und Neuronketten bis zu einem Grade, welcher die Vollendung der Ausbahnung oder das sog. Optimum der individuell zulässigen und möglichen Erziehung eines Neurons oder einer Neuronkette bedeutet.

Wie jede nach kürzerer oder längerer Einübung erreichte Stufe der Ausbildung des Neurons oder der Neuronkette, so bleibt auch das schließlich mühsam erreichte Optimum nur für eine ganz kurze Zeit unversehrt, falls keine weiteren Reize folgen. Die Neuronen dürfen nicht aus der Übung kommen, sonst vergessen sie das Erlernte. Andererseits dürfen sich aber die Reize nicht allzusehr häufen und auch nicht zu intensiv werden, damit sich keine Ermüdung oder gar bleibende Schwächung der Neuronen einstellt.

Es ist bekannt, daß sich nicht alle Straßen, Wege und Stege für alle Arten von Fuhrwerk gleich gut eignen. Auch mit den Leitungswegen für die Erregungswellen im Nervensystem verhält es sich ähnlich. Jeder solchen Welle steht eigentlich bei den in Nervensystem herrschenden Verhältnissen eine unendlich große Zahl von Bahnen zur Verfügung. Die nach Millionen zählenden Neuronen, ihre Neuriten mit den Kollateralenfäden und mit den Fäserchen der Endbäumchen, endlich die reichlich vorhandenen Dendriten machen es möglich, daß von jeder Stelle der Körperoberfläche zu jeder Stelle im Zentralnervensystem durch Bahnung ein Weg ausgebildet werden kann. Ein Beweis dafür ist die Erscheinung, daß bei gewissen pathologischen Zuständen ein minimaler äußerer Reiz seine Wirkung auf die ganze motorische Sphäre des Nervensystems ausbreiten kann. Dies ist z. B. der Fall bei der Strychninvergiftung. Es genügt dabei ein ganz geringer äußerer Reiz zur Auslösung heftiger, das gewöhnliche physiologische Maß weit übersteigenden Kontraktionen der Muskulatur, demnach zur Auslösung allgemeiner Krämpfe. Und warum? Weil das Strychnin die Neuronschwellen auf ein Minimum erniedrigt und den Erregungswellen nach allen Seiten die Wege ebnet, da diese Wege, wie erwähnt, in reichster Fülle vorhanden sind.

Eine allgemeine Ausbreitung der äußeren Reize wäre auch im gesunden Zustande des Nervensystems zu erwarten, wenn die ganze Körperoberfläche für alle Reize gleich empfänglich wäre und wenn alle Neuronen einen gleich hohen Schwellenwert besäßen. Da dies jedoch nicht der Fall ist, so kommt das wahre Wunderwerk zustande, daß in dem schier unentwirrbaren Labyrinth von Nervenbahnen, bei den nach allen nur denkbaren Richtungen möglichen Kommunikationswegen jede Erregungswelle doch nur einen einzigen gesetzmäßigen Weg im Nervensystem einschlägt, der nur ihr angehört, weil sie sich ihn selbst durch

häufige Benützung als den für sie zweckmäßigsten geschaffen und gebahnt hat.

Auf der allmählig fortschreitenden Ausbildung solcher Bahnen im Nervensystem beruht die Einübung sämtlicher Fertigkeiten. Das Kind lernt auf diese Weise gehen und sprechen, ja auch lesen und schreiben. Schwimmen und Turnen, Reiten und Tanzen usw. lernt man durch die auf der Bahnung der Neuronen beruhende Ausbildung und fortschreitende Kräftigung und Festigung des anfangs noch lockeren Zusammenhanges der Neuronketten. Und selbst die in der Psychologie immer noch so beliebte Assoziationslehre findet erst hier ihre physiologische Erklärung.

Was geht nun in einem Neuron vor, wenn es in Erregung versetzt wird? Die Antwort lautet ganz kurz: Stoffwechsel. Die Erregung ist nämlich ein Eingriff in die Molekularmechanik des Neurons und bewirkt zunächst oxydative Spaltungsvorgänge der Neuronmoleküle. Diesen Vorgang, bei welchem die Moleküle des Neurons unter Aufnahme von Sauerstoff zersetzt werden, nennt man Dissimilation. Sie allein müßte aber ein Neuron in kürzester Zeit vernichten. Es ginge an Erschöpfung oder Schwund seines eigenen Stoffes zu grunde. Dagegen ist aber in ausreichender Weise vorgesorgt. Kaum wird nämlich durch den dissimilatorisch wirkenden Reiz das Stoffgleichgewicht gestört, so wird durch eine dem tierischen Organismus eigene, für das Leben höchst wichtige Reguliervorrichtung sofort der Impuls zum Wiederersatz der Stoffe aus den vom Blute bereitwillig dargebotenen Nährsubstanzen gegeben. Der Dissimilation folgt die Assimilation auf dem Fuße. Diese Reguliervorrichtung hat man recht zweckmäßig Selbststeuerung genannt. Am besten ist sie uns vom Atemprozeß her bekannt. Kaum haben wir in einem Atemzug Luft in bestimmter Menge eingesogen, so werden wir zum Ausatmen gezwungen und umgekehrt. Das Inspirium schafft den Reiz zum Expirium und umgekehrt das Expirium den Impuls zum Inspirium.

Der Stoffwechsel ist aber zugleich die Ursache eines zweiten Vorganges, der sich auch in zwei entgegengesetzten Komponenten vollzieht und Energiewechsel heißt. Die im nicht erregten, ruhenden Neuron niedergeschlagenen Stoffe sind nämlich Träger gefesselter Arbeitsleistung, die nämlich nicht zur Wirkung gelangen kann, solange das Neuron nicht erregt wird. So ist auch, wie bereits erwähnt, das Schießpulver der Träger einer Arbeitsfähigkeit, die ohne den zündenden Funken gebunden bleibt. Auch der aufgezoogene Rammhammer stellt eine Arbeitsleistung vor, die zur Wirksamkeit kommt, wenn er losgelassen durch Auffallen den Pfahl in die Erde treibt. Man pflegt diese gefesselte Kraft gebundene, latente oder potentielle, auch virtuelle Energie zu nennen. Durch Dissimilation wird sie im Neuron entbunden und wird zur freien, äußeren oder aktuellen Energie, die entweder direkt oder erst durch Vermittlung anderer eingeschalteter Neuronen ein Erfolgsorgan in Tätigkeit setzen kann. Das eine Neuron kann einen Muskel zur Kontraktion bringen, das andere kann Drüsenzellen zur Absonderung veranlassen usw. Hat dann das Neuron seine Arbeitskraft ausgegeben und befindet sich in einem arbeitsunfähigem Zustande, so

muß durch Assimilation mit dem Ansatz neuer Substanz zugleich neue latente Energie in ihm aufgespeichert werden, gerade so wie der Dampfmaschine, welche ihren Brennstoff durch Verbrennung dissimilierte, neues Brennmaterial zugeführt werden muß, damit sie neue Arbeit leisten kann. Die wichtigste Tatsache für uns beruht aber darin, daß mit der Auslösung der aktuellen Energie der Molekülen des Neurons eine in Bezug auf die Richtung genau bestimmte Bewegungsform verliehen wird. Die Moleküle werden nämlich zu einer schwingenden Bewegung angeregt, welche sich nach je zwei entgegengesetzten Richtungen um eine Ruhelage vollzieht, um jene Ruhelage, die das Molekül in dem eben nicht erregten Neuron einnimmt. Und diese Molekularschwingung ist es, die ein Neuron auf das mit ihm durch Kontiguität verbundene oder auf ein Erfolgsorgan überträgt. Wir können uns wieder eines Vergleiches bedienen. Im galvanischen Element, z. B. in dem von Daniell konstruierten, finden chemische Prozesse statt, die an Dissimilation und Assimilation erinnern. Die Zinkplatte wird aufgelöst, das Kupfersalz zersetzt und die Kupferplatte verdickt. Aber diese chemischen Vorgänge sind keineswegs die eigentliche Tätigkeit des Elementes. Sie sind nur Mittel zum Zweck, indem sie im Elemente und in der Schließungsleitung des Elementes eine schwingende Bewegung der Moleküle erregen, die man den elektrischen Strom nennt — denn dieser ist ja auch nichts anderes als eine fortschreitende schwingende Bewegung der Moleküle in der Leitungsanlage. Und sie kann ebenfalls auf ein Erfolgsorgan als Energie übertragen werden. Sie kann die Türklingel tönen, den Telegraphenapparat klopfen lassen und das Zweirad oder einen ganzen großen Wagen in Bewegung setzen.

Für uns ist aber hauptsächlich jene besondere Art von Neuronen der Großhirnrinde wichtig, die sich einer Sonderleistung rühmen können, welche der der übrigen Neuronen ganz und gar unähnlich ist, trotzdem sie doch auch nur Neuronenarbeit ist. Kommt nämlich zu diesen Neuronen eine Erregungswelle, so geht naturgemäß wohl auch in ihnen zunächst dasselbe vor, wie in den übrigen Neuronen. Auch in ihnen findet infolge der Erregung eine Dissimilation statt, durch welche lebende Kräfte geweckt und eine oszillatorische Molekularbewegung erregt wird. Aber hier bricht mit einemmal alles ab, was sich dem Begriff »Bewegung« unterordnen ließe. Kein Erfolgsorgan ist da nach Art eines Muskels oder einer Drüse, kein Erfolgsorgan, das wir sinnlich wahrnehmen könnten, und deshalb auch keine sinnlich wahrnehmbare Erfolgsleistung, keine weitere physiologische, auf Bewegung zurückführbare Erscheinung. Das zeitlich-räumliche Geschehen, nämlich die Bewegung der Neuronmoleküle, setzt sich wunderbarerweise in ein rein zeitliches Geschehen um, und dieses ist die *E m p f i n d u n g*. Das Zeitlich-räumliche verwandelt sich in etwas rein Zeitliches und der erste, elementarste psychische Akt, der Grundakt des Willens, taucht im Bewußtsein auf. Neuronen dieser Art, die durch ihre Erregung, durch ihre aktuelle Energie und die dadurch erzeugte Molekularschwingung eine Empfindung ins Bewußtsein rufen, nennt man *sensible Neuronen* oder *E m p f i n d u n g s n e u r o n e n*.

Vergleicht man das Empfindungsneuron mit dem auf einen Muskel oder eine Drüse wirkenden expedierenden Neuron, so drängt sich selbstverständlich sofort die Frage auf, was denn das, wenn auch — wie eben gesagt wurde — sinnlich nicht wahrnehmbare Erfolgsorgan des sensiblen Neurons ist. Ein Erfolgsorgan muß ja da sein, ob nun ein materielles oder immaterielles, denn die Empfindung kann doch nicht in der Luft schweben. Sie muß unbedingt einen Träger haben, dessen Empfindung sie ist. Wer empfindet nun? Wer ist der Träger dieses Grundaktes des Willens?

Die Frage wurde von berufener und unberufener Seite in verschiedener Weise beantwortet; — aber man kann sagen, keine Antwort wäre besser gewesen. Wir sehen ab von der bekannten grob-materialistischen Ansicht, daß das Neuron selbst empfinde, indem es Empfindungen, Vorstellungen und Gedanken sezerniere, wie die Leberzellen die Galle oder die Nierenzellen den Harn. Die Annahme, daß das Neuron selbst empfinde, sei es nun durch Sekretion der Empfindungen oder auf irgend eine andere zartere Weise, ist eine plumpe Personifikation und weiter nichts.

Eine reine Dichtung, und zwar auch eine materialistische, wenn auch eine zartere, mehr bestechende als die angeführte, ist die Ansicht, daß die den Neuronen zufließenden Reize durch eine sich steigernde und immer höher entwickelnde Synthese Neuronen von immer höherem Funktionswert erziehen, die als Beziehungsmittelpunkte ihre Funktion nach verschiedenen Richtungen hin ausüben. Ihnen sei irgendwo in der Großhirnrinde ein hervorragend bevorzugtes Zentralneuron übergeordnet, welches durch eine besonders günstige Lage und durch außerordentlich reichliche und günstige Verbindungen dazu erzogen worden sei, den Sammelpunkt sämtlicher, den Empfindungsneuronen zugehender Reize und aller aus ihnen resultierenden bewußten Bewegungsimpulse, die ja Willenserscheinungen im physiologischen Sinne sind, zu repräsentieren. Dies geschehe derart, daß alles, was zu diesem Zentralneuron als Empfindung komme oder von ihm als Willensimpuls ausgehe, als »uns selbst angehend« als »wir selbst« gefühlt werde. Dieses Zentralneuron sei nun der Träger der Empfindungen, ja aller psychischen Akte. Eine hübsche und die Tatsachen bildlich nicht unzutreffend schildernde Dichtung — aber eben nur Dichtung. Sie hat denselben Wert wie die Anschauung, es gebe in jedem Empfindungsneuron ein ähnlich bevorzugtes Atom, welches die Empfindung trage. Erinnert dies alles nicht an die bekannte Annahme einer Seelenmonade durch Leibnitz, Herbart und Lotze?

Trotz dem Mißlingen aller bisherigen Versuche, einen Träger der psychischen Prozesse, also auch der Empfindung zu erforschen, dürfen wir aber diese Frage wegen ihrer fundamentalen Bedeutung für die Willenslehre nicht einfach ablehnen. »*Δός, πῆ σῶδ, καὶ τὴν γῆν κινήσω*« soll Archimedes mit Beziehung auf ein mechanisches Grundproblem gesagt haben. Wir können in einem ähnlichen Sinne sagen: »Erkläre mir das Wesen der Empfindung und ihres Trägers — und die ganze Willens-Theorie, ja die ganze Psychophysiologie ist fertig.«

Um nun der Lösung dieser Fundamentalfrage nur ein wenig näher zu kommen, müssen wir uns noch einmal vergegenwärtigen, was denn der Psycholog und was der Physiolog unter Empfindung versteht. Jener hält sich an das subjektive innere Erlebnis, an den Bewußtseinszustand, der ihm eine Empfindung eben zum Bewußtsein bringt, dieser an die Molekularschwingung im Empfindungsneuron. Jener hält die rein psychische, dieser rein somatische Seite des Vorganges fest.

Aber der Empfindende selbst, sei er nun Psycholog oder Physiolog, ist doch, wenn er die Welt um sich naiv ohne Reflexion betrachtet, wie der Laie geneigt und gewohnt, die Reaktion seines Gehirnes auf äußere Reize mit der Ursache, dem Reize selbst, zu vertauschen. Er wähnt, mit seinem Wesen in die Außenwelt zu dringen und dort Licht, Farben, Töne usw. zu finden, während doch die Welt auf ihn eindringt und ihm ihre Sendboten als Reize zuschickt. Außerhalb des Empfindenden gibt es aber weder etwas Leuchtendes noch etwas Tönendes, weder etwas Warmes noch etwas Kaltes, weder Süßes noch Bitteres. Es gibt in der Außenwelt nur einen Weltenraum, der hier mehr und dort minder dicht mit Materie gefüllt ist, deren kleinste diskrete Teilchen in fortwährender gesetzmäßiger Bewegung begriffen sind, welche Bewegung auf unsere Sinnesorgane als Reiz übertragen wird. Und die Chemiker schätzen die Zahl dieser kleinsten selbständigen Teilchen der Materie, der Moleküle, in einem Raum von der immerhin noch anständigen Größe eines Stecknadelköpfchens, demnach in einem Kubikmillimeter, wenn es mit einem gasförmigen Grundstoffe wie Wasserstoff oder Sauerstoff gefüllt ist, auf 22.395 Billionen. Und da jedes Molekül dieser Grundstoffe zweiatomig ist, so beträgt die Zahl der Atome in diesem Raume das Doppelte. Das absolute Gewicht eines Wasserstoffmoleküls beträgt dem entsprechend 4 Quadrillionstel eines Milligramms und das des Atoms nur die Hälfte. Aber erst die Lichtaetheratome, die 450 bis 790 Billionen Schwingungen mit einer Wellenlänge oder Schwingungsweite von 700 bis 390  $\mu\mu^*$ ) in der Sekunde ausführen müssen, damit wir die farbigen Strahlen des Spektrums empfinden, mögen die reinsten Zwerglein gegen die Riesenatome des Wasserstoffs und Sauerstoffs sowie der übrigen chemischen Elemente sein.

Unsere Außenwelt ist demnach eine Welt schwingender Moleküle, eine gleichgiltige, empfindungs- und gefühllose Materie mit ihrer unaufhörlichen, aber gesetzmäßigen Bewegung. Und durch diese Bewegung wird erst in uns Wärme, Licht, Ton. Ohne sie gäbe es keine psychische Erscheinung, weder Empfindung noch Gefühl, daher auch keinen Willen. Mit dem letzten empfindenden Wesen stiege der letzte Ton und der letzte Farbenstrahl ins Grab. Und träte einst im Weltenraume ein Zustand ein, daß alle lebende Kraft gebunden würde und alle die Schwingungen aufhörten, so hätte selbst ein mit

\*)  $\mu\mu$  = ein Mikromi = 0.001  $\mu$  = 0.000001 mm. Der rote Lichtstrahl wird durch 450 bis 470 Billionen Schwingungen in der Sekunde bei einer Wellenlänge von 700 bis 650  $\mu\mu$ , der violette durch 720 bis 790 Billionen bei einer Wellenlänge von 430 bis 390  $\mu\mu$  verursacht.

hundert Sinnen ausgestattetes Wesen keine einzige Empfindung, daher auch keine Kenntnis von der Außenwelt.

Aber selbst die Gesamtheit unserer Sinne ist nicht im stande, alle die in der Außenwelt vorkommenden Bewegungsformen zu empfinden. Einen Beweis liefern z. B. die kräftigen magneto-elektrischen Ströme, die dauernd die Erde umfließen. Von ihnen wissen wir nichts. Wir erfahren nur etwas von ihrer Existenz durch Vermittlung des Eisens, welches auf sie reagiert. Wie viele Erscheinungen mag es geben, von denen uns die Sinne nichts melden. Noch vor kurzer Zeit, wußten wir nichts von der Existenz der Röntgenstrahlen, von der strahlenden Materie des Radiums, vom Argon usw. Und doch war dies alles schon von jeher vorhanden. Die Unzulänglichkeit unserer Sinne ist somit eine Schranke, die uns nur einen Teil der außerhalb unseres Körpers wirklich vorhandenen Bewegungsformen empfinden läßt. Wer darf nun unter diesen Verhältnissen behaupten, es gebe nur jene materiellen Qualitäten, die wir mit unseren Sinnen als existent erkennen? Wer darf widersprechen, wenn von irgend jemandem behauptet wird, die Empfindung, ja jede psychische Erscheinung überhaupt sei an eine durch unsere jetzigen Sinne nicht näher bekannt gewordene Substanz geknüpft? Kann denn eine solche Substanz nicht wenigstens zeitweilig an die wägbare Substanz unseres Körpers gebunden sein? Eine solche Annahme darf mit demselben Recht gemacht werden, wie die, das psychische Geschehen sei ein rein materieller Vorgang. Ja man kann dreist behaupten, daß die Annahme, welche eine zweite nicht wägbare Substanz statuiert, ein besser begründetes Recht für sich habe als die Behauptung, die das psychische Geschehen rein körperlich deutet. Denn es ist durch ein tief in der menschlichen Natur eingegrabenes Empfinden und ein in der menschlichen Natur tief wurzelndes Gefühl begründet, das Psychische vom Körperlichen zu scheiden und die Identität beider als etwas für das menschliche Begreifen Unverständliches zu halten. Der Blindgeborene darf ebensowenig leugnen, daß es Farben gebe wie der Taubgeborene die Töne leugnen darf deshalb, weil gerade dem einen das Reich der Farben und dem anderen das Reich der Töne verschlossen ist.

Dies alles anzuführen war erforderlich, um auf die oben aufgestellte Grundfrage nach dem Erfolgsorgan des Empfindungsneurons, nach dem Träger der Empfindung, die vom physiologischen Standpunkte einzig mögliche Antwort geben zu dürfen, daß eine Antwort gegenwärtig wenigstens nicht möglich ist und daß man sich höchstens nur zu ganz willkürlichen Annahmen flüchten muß. Es ist betäubend, daß wir gerade bei dem ersten, den Willen konstituierenden Element keine mehr befriedigende Auskunft zu geben vermögen. Wir müssen uns mit der Einsicht trösten, daß das innerste Wesen der Dinge und der Erscheinungen auf Grund der sinnlichen Erfahrung nicht begriffen werden kann, weil diese Erkenntnis über die endliche, von der Materie abhängige und durch sie beschränkte menschliche Einsicht hinausgeht. Wir müssen uns aber auch trösten mit dem Gedanken, daß es eine fortschreitende Entwicklung gibt, welche eine fortschreitende Einsicht und Erkenntnis gestattet. Vielleicht führt sie einst dem Ziele näher.

Aber mit Sicherheit dürfen wir behaupten, daß jede Empfindung eine materielle, auf Bewegung zurückführbare Grundlage hat in der Erregung der Empfindungsneuronen in der Großhirnrinde. Und da aus Empfindungen, wie wir gleich sehen werden, Vorstellungen u. z. wieder durch Erregung von besonderen Neuronen der Großhirnrinde hervorgehen und aus Empfindungen und Vorstellungen dann Gefühle und Strebungen, kurz alle psychischen Vorgänge, aus denen sich der Bewußtseinsinhalt des Willens aufbaut, so beruht schließlich der Wille auf der Erregung von Neuronen der Großhirnrinde. Wir dürfen also auch behaupten, die Großhirnrinde sei überhaupt das Organ des Bewußtseins, jedoch eben nur in dem Sinne, daß die in ihr ablaufenden physiologischen Vorgänge die körperliche Grundlage oder — modern gesagt — die »somatische Repräsentation« des Bewußtseins und somit auch des Willens sind.

Behaupten dürfen wir dies aber nur dann, wenn wir einen unwiderleglichen Beweis dafür anführen können. Aber den Beweis sind wir noch schuldig, denn wir haben bisher eigentlich nur behauptet.

Den Beweis liefern zunächst Experimente an Tieren, jedoch nur dann, wenn die Resultate der Versuche auf Menschen übertragbar sind. Ferner beweisen dies auch die Beobachtungen am Krankenbette.

Zunächst lehrte das Experiment an Tieren, daß die Abtragung der Großhirnhemisphären alle Leistungen aufhebt, die sonst immer als Folgen bewußter Antriebe angesehen werden.

Dieses grobe Experiment gab den Anlaß zum ersten Aufdämmern einer richtigen Anschauung über die Bedeutung und die Funktion der Großhirnrinde.

Und welcher Fortschritt seither! Im Altertum hielt man das Gehirn für ein Schleim absonderndes Organ und nannte es einen Phlegmahälter. Das Rückenmark galt für das Knochenmark der Wirbelsäule, die Nerven für Sehnen. Aristoteles wundert sich, wie man in die schmutzige breiige Hirnmasse die Psyche versetzen könne. Im schönen roten Blute pulsire sie. Descartes versetzte das Seelenleben in das »einzige unpaare Organ« des Gehirnes, die Zirbeldrüse — weil die Seele als einheitliches Wesen in paarig angelegten Teilen des Gehirnes nicht wohnen könne. Heute wissen wir, daß die Zirbeldrüse der Überrest der Anlage eines Cyplopenauges auf dem Scheitel ist.

Erst der bekannte und vielgeschmähte Josef Gall, der Begründer verrufenen Phrenologie, fand das nachträglich von Broca wiederentdeckte Sprachzentrum in der Großhirnrinde und schritt an die Lokalisation der damals angenommenen »Seelenvermögen« in einzelne Bezirke der Hirnoberfläche. Er verpfuschte aber sein vielverheißendes Werk durch die Annahme, daß bei einem jeden Menschen die am stärksten entwickelten Seelenvermögen zu einer hervorragend massigen Entwicklung jener Hirnrindenteile führten, in welchen sie ihren Sitz hätten. Und die starke Entwicklung der Hirnrindenbezirke führe wieder zu einer Vorwölbung der Schädeldecke über den kräftig angelegten Hirnrindenteilen. Man könne daher durch Betasten des Schädels auf besondere Anlagen bei dem betreffenden Menschen schließen.

Aber der eigentliche Kern der Lehre Galls war gesund. Dies beweist seine 1809 der Akademie in Paris vorgelegte Denkschrift. Die zur Begutachtung eingesetzte Kommission, zu welcher auch einer der hellsten Sterne an dem damaligen naturwissenschaftlichen Himmel, Cuvier und der »Brecher der Ketten Geisteskranker« Pinel gehörten, fällt ein in allen Punkten vernichtendes Urteil. Solche Kommissionen haben der Wissenschaft höchst selten gute Dienste geleistet. Napoleon, der die Kommission gegen Gall beeinflussen ließ, hatte es nachträglich leicht, sich zu rühmen: »J'ai beaucoup contribué à perdre Gall et ses rêveries germaniques.«

Wäre man der Anregung Galls mit kritischem Sinne gefolgt, so wäre vielleicht schon vor einem Jahrhundert der richtige Weg zu einer erfolgreichen Erforschung des Zentralnervensystems betreten worden. Seine Lehre wurde aber von der Wissenschaft abgelehnt und seine Saat ging nicht auf.

Erst als Broca 1861 das schon Gall bekannte Sprachzentrum in der unteren Stirnwindung wieder entdeckte, kam man auf die Lokalisationslehre wieder zurück.

Der Grundgedanke dieser Lehre sagt, daß die einzelnen Sinnesqualitäten wie Gesicht, Gehör u. s. w. und auch die willkürlichen Bewegungsantriebe für einzelne Körperteile in genau bestimmten Bezirken der Großhirnrinde lokalisiert sind, d. h. daß sie in diesen Bezirken ihre »zentrale körperliche Repräsentation« haben. Dies beweist, wie oben erwähnt wurde, die klinische Erfahrung und das Tierexperiment.

Vergleicht man die psychischen Störungen, die ein Kranker klinisch darbot, mit den Veränderungen im Gehirn, die sich nach dem Tode des Kranken durch Sektion nachweisen lassen, so ist man imstande, den gesetzmäßigen Zusammenhang einer psychischen Störung, z. B. einer Ausfallserscheinung, wie es die eingetretene Blindheit oder Taubheit, der Verlust der Fähigkeit zu sprechen, zu lesen oder zu schreiben ist, mit den sichtbaren und auf bestimmte Regionen der Großhirnrinde begrenzten Erkrankungen festzustellen. Das Experiment an Tieren ergänzt dann den Befund in zutreffender Weise. Man trägt gewisse Teile des bloßgelegten Tiergehirnes mit dem Messer ab und studiert die sich ergebenden Ausfallserscheinungen.

Beide Methoden, die klinisch-anatomische und die vivisektorisch-experimentelle zeitigten eine Reihe höchst bedeutsamer Ergebnisse. Mit einemmal wurde die Großhirnrinde das die ganze Tätigkeit des Nervensystems auf dem Gebiete des psychischen Lebens und auf dem Gebiete der willkürlichen Bewegungsantriebe gleichsam repräsentierende, in sich einigende, regulierende und beherrschende Organ. Nicht die geringste psychische Regung, keine Empfindung, keine Vorstellung, kein Gefühl, keine Strebung, kein bewußter Bewegungsantrieb ohne Mitwirkung der Großhirnrinde. Die geringste Erkrankung oder Verletzung, die sie treffen, haben sofort auf psychischem oder auf psychomotorischem Gebiete eine ungewöhnliche Erscheinung zur Folge.

Was die Einzelheiten der Lokalisation betrifft, so sind jene wichtig, die für die normale Entwicklung des Willens von Bedeutung sind.

Sichergestellt wurde bisher, daß die Hinterhauptlappen des großen Gehirnes zu dem Gesichtssinn in Beziehung stehen, die Schläfenlappen dagegen zum Gehörsinn.\*)

Wenn gewisse Neuronen in der Rinde des Hinterhauptlappens erkranken und zugrunde gehen, so stellt sich bei dem Kranken ein eigentümlicher, höchst bemerkenswerter Zustand ein. Der Kranke sieht, denn das Auge ist gesund. Er nimmt Gesichtssreize, nämlich alle Schwingungen des Lichtäthers, die der Mensch überhaupt wahrnehmen kann, auf. Es entsteht auf seiner Netzhaut das normale umgekehrte und verkleinerte Bildchen des gesehenen Gegenstandes. Der Kranke muß also wirklich sehen. Er beklagt sich ja auch gar nicht darüber, in Finsternis wandeln zu müssen. Aber es mangelt ihm jegliche Fähigkeit, die ihm zuteil gewordene Empfindung zu deuten. Er weiß nämlich nicht, was er sieht — gerade so wie das neugeborene Kind zwar sieht, aber nicht weiß, was es sieht. Der Kranke versteht das Gesehene nicht mehr, er weiß es nicht mehr in die Fülle der anderen Empfindungen einzuordnen. Man nennt diesen krankhaften Zustand *Seelenblindheit*. Wir können aus dieser Erscheinung schließen, daß im Hinterhauptlappen Neuronen gelegen sind, die dem Gesichtsinne dienen und durch reichliche Verbindungen mit Neuronen, die zu anderen Sinnesqualitäten in einer gleichen Beziehung stehen, derart verbunden sind, daß sie die assoziative Verknüpfung und Einordnung herbeiführen, auf welchem Prozesse ja das Verständnis des Wahrgenommenen, kurz das intellektuelle Leben beruht.

Ebenso geht es Kranken bezüglich des Gehörsinnes, wenn bestimmte Neuronen in der Rinde der Schläfenlappen degenerieren. Der Kranke hört, aber er weiß nicht, was er hört. Er versteht die ihm früher geläufigste Sprache nicht mehr. Alles klingt ihm eben wie eine fremde, unverständliche Sprache. Man nennt einen solchen Kranken »*seelentaube*«.

Diese Bezirke der Großhirnrinde, welche die erwähnte große Bedeutung für den Gesichtssinn und den Gehörsinn haben, nennt man das Seh- und Gehörzentrum. Auch bezüglich des Geschmacksinnes, des Geruchsinnes und des Hautsinnes sind schon wenigstens annähernd solche Zentren bekannt.

Viel genauer noch wie die Sinneszentren sind diejenigen Bezirke der Großhirnrinde bekannt, wo sich alles lokalisiert, was der Körperbewegung als deren psychischer Anteil anhaftet. Die Erregung der Neuronen dieses motorischen Zentrums bringt die ausgeführte Bewegung zum Bewußtsein. Aber man wird sich nicht nur der bereits ausgeführten Bewegung, sondern auch der durch sie erzielten Lage des bewegten Körperteiles bewußt. Die mit der ausgeführten Bewegung zusammenhängenden Empfindungen, die Haut-, Sehnen- und die Muskelempfindungen sind es eben, die uns über die Lage des Körperteiles unterrichten. Für uns ist aber besonders wichtig, daß von diesem motorischen Zentrum auch der bewußte Bewegungsantrieb ausgeht, der eben die Bewegung zu einer gewollten, willkürlichen macht.

\*) Vgl. Fig. 3 auf Tafel I.

Das motorische Zentrum liegt in den Zentralwindungen und in deren nächsten Umgebung.\*)

Seine Bedeutung wurde auch durch das Experiment an Tieren klar gelegt. Wird bei einem Säugetier am bloßgelegten Gehirn irgend eine Stelle innerhalb der Zentralwindungen elektrisch gereizt, u. z. mit einem so schwachen Strom, daß keine Stromschleifen auf das Nachbargesamt übergreifen, so werden ganz bestimmte Muskeln oder Muskelgruppen isoliert zur Kontraktion angeregt. Die Reizung des obersten Abschnittes der Zentralwindungen bewirkt eine Bewegung der Beine. Der etwas tiefer liegende Abschnitt wirkt auf die Rumpfmuskulatur; dann folgen die Abschnitte für die Muskeln des Halses, des Nackens, der Arme und des Antlitzes.

Sehr merkwürdig verhält sich die Innervation jener Muskelgruppen, die der Sprache dienen. Die Muskeln der Lippen, des Gaumensegels, des Zunge und des Rachens werden wohl bezüglich der gewöhnlichen Leistungen auch von den beiden Zentralwindungen innerviert; handelt es sich aber um eine Sprachbewegung, so geht der Impuls von der unteren Stirnwindung, dem sog. Brocaschen Sprachzentrum\*) aus. Bei rechtshändigen Menschen ist in der Regel nur das in der linken unteren Stirnwindung gelegene Zentrum ausgebildet, das rechte ungeübt. Bei Linkshändigen verhält es sich umgekehrt.

Im Sprachzentrum sind somit Neuronen gelegen, die zusammen als Koordinationsorgan in Tätigkeit treten, um das so komplizierte Zusammenspiel der Sprachmuskeln, nämlich die in genau bestimmter Reihenfolge und in genau abgegrenzten Abstufungen ablaufenden Zusammenziehungen der Laut- und Artikulations-Muskulatur zu regulieren. Erst durch diese Koordination der Muskelkontraktionen kommt die wunderbare Mechanik der Vokal- und Konsonantenbildung zu stande.

Überaus interessant ist der Symptomenkomplex, der auf eine Erkrankung oder Vernichtung der Neuronen dieses Zentrums folgt. Da das Brocasche Zentrum ein motorisches ist, so beruhen die klinischen Erscheinungen in einem Ausfall der Sprachbewegungen. Man nennt diese Erkrankung die motorische Aphasie. Der aphasische Kranke kann mit den Muskeln der Lippen, des Unterkiefers, der Zunge, des Gaumensegels, des Rachens — demnach mit den Muskeln des gesamten Artikulationsapparates — alle möglichen sonstigen Bewegungen ausführen, aber die Sprachbewegungen hat er gänzlich vergessen. Es fehlt ihm die Fähigkeit alle jene zum Sprechen erforderlichen Bewegungskombinationen, die den Laut erzeugen, ihn modulieren und artikulieren, auszuführen. Er ist jetzt darauf angewiesen, diese Bewegungen neuerdings mühsam einzutüben, wie ein Kind das Sprechen lernt, wobei das bisher nicht benützte und daher ohne Übung gebliebene Zentrum in der anderen Hirnhemisphäre in Anspruch genommen und erzogen werden muß. Ähnlich kann ja auch die ungeübte linke Hand nach Verlust der Rechten für gewisse Fertigkeiten, z. B. für das Schreiben eingeübt werden.

\*) Fig. 3 auf Tafel II.

Während nun der eine Kranke die motorische Fähigkeit zu sprechen verliert, büßt ein anderer wieder das Verständnis der Sprache ein. Er erkennt die gehörten Wörter nicht wieder. Es schwinden »die Klangbilder der Wörter«, wie sich Helmholtz ausdrückt, aus dem Bewußtsein. Und weil keine Klangbilder da sind, tritt auch keine reaktive Sprachbewegung ein. Wird der Kranke angesprochen, so gibt er deutlich zu verstehen, daß er die an ihn gerichteten Fragen, die ihm geltenden Mitteilungen nicht versteht. Dies ist das Bild der sensorischen Aphasie, bei welcher das sensorische Sprachzentrum, d. i. die zentrale Endigung der sensorischen Sprachbahn, die sich vom Ohr bis zum Schläfenlappen zieht, gelitten hat. Es ist dieses Bild dem der uns bereits bekannten Seelentaubheit recht nahestehend. Groß ist die Zahl der Abarten der Aphasie. Sie kann noch mit anderen Ausfallserscheinungen verbunden sein, z. B. mit der Unfähigkeit zu lesen (Alexie) oder zu schreiben (Agraphie) usw. Es sind dies alles Erscheinungen, welche für die aus der Assoziation der Neuronen hervorgehenden Leistungen der Großhirnrinde von grundlegender Bedeutung sind.

Noch eine zweite Krankheit belehrt uns über die Bedeutung der Großhirnrinde, eigentlich der Neuronen derselben, für das psychische Leben. Es ist dies die progressive Paralyse, die auch vor allem die Großhirnrinde in Mitleidenschaft zieht. Außer vielfachen Störungen koordinierter, willkürlicher Körperbewegungen zeigt sich bei dieser Krankheit eine sich allmählich steigernde Einbuße des geistigen Besitzstandes, die endlich zu einem Zustand völliger Verblödung, zur *Dementia paralytica*, führt. Zu dieser überaus knappen Symptomenangabe mag nur noch eine gerade für unser Thema wichtige Tatsache hingefügt werden. Man kann bei Paralytikern beobachten, wie Tag für Tag immer andere Vorstellungen und Begriffe aus dem Bewußtsein schwinden und wie der Urteilsumfang sich einengt. Und dabei ist es eben am meisten bemerkenswert, daß Begriffe und Urteile, die der höchsten Stufe geistiger Entwicklung, der Vollendung der Intelligenz angehören, wie die religiösen, ethischen, ästhetischen Begriffe und Urteile, die im Laufe der individuellen Entwicklung als die letzten erworben werden, zuerst verschwinden. Und was ist nun der pathologisch-anatomische Befund, die somatische Repraesentation dieser Krankheit?

Selbst makroskopisch ist zu sehen, daß die Großhirnrinde atrophisch geworden ist. Der Gewichtsverlust dokumentiert dies am besten. Die genauen Wägungen Meynerts weisen eine Einbuße von fast 100 g binnen Jahresfrist nach. Daran beteiligen sich im Durchschnitt der Fällen hauptsächlich der Stirnlappen und die vordere Zentralwindung. Doch bleiben auch Schläfe-, Scheitel- und Hinterhauptlappen sowie die Brocasche Windung nicht unversehrt, welcher Umstand die als Begleiterscheinung auftretenden Seh- und Gehörstörungen und aphatischen Symptome erklärt. Mikroskopisch findet man aber Zerfall oder Nekrose der Nervenlemente, sowohl der Neuriten wie der Neuronkörper, wobei es scheint, daß der Zerfall früher die Neuriten ergreift und daß der Neuronkörper nur deshalb leidet, weil er, wie wir ja wissen, nutritiv an den normalen Zustand des Neuriten gebunden ist. Infolge dessen

erscheint aber die Großhirnrinde in den von der Krankheit ergriffenen Windungen auf eine bedeutend dünnere Schichte reduziert. Und überall, wo die eigentlichen Nervenlemente, Neuronkörper und Neuriten zugrunde gehen, wuchert die Binde substanz, die Neuroglia.

Außer der progressiven Paralyse beweist noch eine andere pathologische Erscheinung die Abhängigkeit psychischer Prozesse von der Mitwirkung der Neuronen der Großhirnrinde. Nach einer Gehirnerschütterung stellt sich manchmal ein merkwürdiger Gedächtnisausfall ein, infolge dessen der Kranke keine Kenntnis von dem ihm zugestoßenen Unfall und keine Erinnerung an die dem Unfall unmittelbar vorausgegangenen Ereignisse hat. Der Gedächtnisschwund bezieht sich auf Stunden oder auf einige wenige Tage. Gussenbauer berichtet über einen solchen Fall in der Wiener klinischen Wochenschrift 1894, Nr. 53. Er erklimmte mit einem Freunde einen Alpengipfel in der Schweiz. Sein Genosse stürzte ab und erlitt eine Hirnerschütterung, die so glücklich verlief, daß der Kranke vollständig genas. Aber alle Erinnerungen an Ereignisse der letzten zwei Tage, die dem Sturze vorangegangen waren, schwanden für immer aus dem Gedächtnisse. Keine Empfindung, kein Gefühl, kein Streben oder Verlangen, kurz weder ein objektives noch ein subjektives Element, welches in der kritischen Zeit Inhalt des Bewußtseins gewesen war, blieb als Erinnerungsbild übrig. Was aber vor 48 Stunden geschehen war, daran wußte sich der Genesene sehr gut zu erinnern. Über ähnliche Fälle berichten Rouillard\*) und Ribot.\*\*\*) Der Verfasser dieser Blätter hatte selbst Gelegenheit, einen solchen Fall bei einem Studierenden in Prag zu beobachten. Der Gedächtnisschwund erstreckte sich bei diesem Kranken nur auf die Zeit von zwei bis drei Stunden. Zwischen 10 und 11 Uhr Vormittags wurde er nämlich von einem epileptiformen Anfall betroffen, fiel bewußtlos nieder und schlug mit dem Kopfe an die Kante einer Schulbank an. Er wurde im bewußtlosen Zustande nach Hause überführt. Die Bewußtlosigkeit dauerte ziemlich lang und noch am nächsten Tage war das Sensorium nicht ganz klar. Nach seiner Genesung wußte er sich an die Ereignisse des betreffenden Vormittags nur bis zu dem Momente zu erinnern, als er vor 8 Uhr das Schulzimmer betreten hatte, also an Erlebnisse, die sich täglich in derselben Reihenfolge wiederholten, wie Erwachen, Aufstehen, Ankleiden, Frühstück, Verlassen der Wohnung und Gang zur Schule. Was aber von acht Uhr an vorgegangen war, was und von wem vorgetragen worden war, daran konnte er sich gar nicht mehr erinnern. Sein Erinnern hörte mit dem Betreten des Schulzimmers auf und knüpfte an den Augenblick wieder an, wo er sich mit völlig wiedergekehrtem Bewußtsein im Bette liegend fand.

Man nennt eine solche Gedächtnisstörung retrograde Amnesie. Ähnliche, auf die Erlebnisse einer bestimmten Zeit beschränkte Gedächtnisdefekte kommen wohl auch bei hysterischen Personen vor. Hier ist es aber nur eine Unfähigkeit, durch eigenes aktives Besinnen die Erlebnisse ins Gedächtnis heben zu können. Aber die hysterische

\*) Essai sur les amnésies. 1885.

\*\*\*) La mémoire et ses troubles 1882.

Person kann sich auf die vergessenen Erlebnisse infolge einer von anderen Personen geleisteten Erinnerungshilfe wieder besinnen, während der von retrograder Amnesie betroffene Mensch dies weder durch Hilfen und durch Suggestion vermag.

Offenbar handelt es sich um eine sehr hochgradige Herabsetzung oder auch um einen gänzlichen Schwund der Erregbarkeit gewisser Neuronen und Neuronketten in der Großhirnrinde, wobei auch deren Assoziationsbahnen Schaden gelitten haben müssen. Es sind dies gerade Neuronen und Neuronketten, die erst in der jüngsten Zeit, unmittelbar vor dem Unfall, erregt worden sind, also noch nicht oft erregt gewesen sein können, so daß sie noch nicht gehörig gebahnt und ihre Assoziation noch nicht festgefügt worden ist. Dagegen bleiben die früher häufig in Anspruch genommenen Neuronen und Neuronketten, weil sie besser gebahnt und fester gefügt sind, auch nach dem Unfall funktionsfähig.

Aus all diesen Erscheinungen geht nun hervor, daß die psychischen Prozesse in ihrem Zusammenspiel stets irgend eine Alteration erfahren, wenn die Großhirnrinde von einer Krankheit oder von einer Verletzung betroffen wird. Je mehr Neuronkörper zu grunde gegangen sind, desto größer ist der Ausfall an Erinnerungsbildern früherer Empfindungen, desto größer wird die sog. psychische Desorientierung, bis sie schließlich in völlige Demenz ausartet. Der normale Verlauf der psychischen Erscheinungen ist somit an die normale Funktion der unversehrten Großhirnrinde, speziell ihrer Neuronen, gebunden.

Meynert stellte fest, daß die ganze willkürliche Muskulatur und die sämtlichen Sinnesorgane durch leitende Bahnen mit den Neuronen der Großhirnrinde verbunden sind. In diesen Bahnen herrscht, wie wir bereits früher dargetan haben, das Gesetz der isolierten Leitung, so daß jede Erregungswelle von der Peripherie bis zur Großhirnrinde durch die peripheren Nerven, das Rückenmark und Gehirn bis zur Rinde ihren genau bestimmten gesetzmäßigen Weg wandelt. Die Summe dieser Bahnen nennt Meynert das Projektionssystem. Und entsprechend der Teilung des Großhirns in zwei Hemisphären ist auch dieses Projektionssystem in zwei Hälften geschieden mit einer bis auf Ausnahmen gültigen Anordnung, daß die Motilität und Sensibilität der rechten Körperhälfte der linken Hirnhemisphäre und umgekehrt die der linken Körperhälfte der rechten Hirnhemisphäre untersteht.

Die Großhirnrinde ist somit das somatische oder physiologische Organ des Bewußtseins, der körperliche Träger der psychischen Vorgänge, kurz des Seelenlebens. Und es gibt auch im ganzen Nervensystem wirklich kein zweites Gebilde, welches den Anforderungen, die an den »Träger eines einheitlichen Bewußtseins« von vornherein gestellt werden müssen, durch seinen anatomischen Bau auch nur annäherungsweise entspräche. Nur die Großhirnrinde, in deren Neuronen sich der ganze Körper projiziert oder widerspiegelt, ist dazu geeignet, da in ihr die gegenseitige Verknüpfung der Neurongruppen untereinander und die Verbindung derselben mit der empfindenden Körperoberfläche und mit der Muskulatur in idealer Weise durchgeführt ist. Sie ist die Endstation aller von außen herkommenden Erregungen und

die Ausgangsstation aller willkürlichen Bewegungsantriebe. Sie ist demnach auch das somatische Willensorgan. Und die erwähnte Verknüpfung der verschiedenen Sinnesqualitäten dienenden Neurongruppen unter einander führt, wie wir gleich sehen werden, infolge der Beschaffenheit der uns umgebenden Dinge zur Bildung von Allgemeinvorstellungen, die die Grundlage der Intelligenz bilden.

Eine jede Erregung der Neuronen in der Großhirnrinde hinterläßt nämlich Spuren als bleibendes Zeichen ihres Ablaufes, ebenso wie der Lichtstrahl auf photographisch praepariertem Papier eine bleibende Spur seiner Wirksamkeit hinterläßt, indem er das Papier an der getroffenen Stelle schwärzt. Die Wirkung der Erregung bleibt in den Neuronen erhalten und dauert auch dann fort, wenn der Reiz längst aufgehört hat zu wirken. Als Beweis dafür werden von Meynert auf dem Gebiete des Gesichtsinnes die bekannten Nachbilder angeführt. Aber eigentümliche »Nachbilder der Empfindung«, wenn man so sagen darf, finden wir auf allen Sinnesgebieten.

Sieht jemand eine Glocke, so hat er eine Empfindung von ihrer Gestalt, Größe und Farbe. Wie die Empfindung der Gestalt und Größe zustande kommt, ist hier nicht von Belang. Hört der Mensch dazu noch die Glocke, die er eben sieht, läuten, so kommt noch eine Gehörempfindung dazu. Hält er die Glocke selbst in der Hand und betastet sie, so erhält er überdies noch eine Tastempfindung, endlich Muskel-, Haut- und Sehnenempfindungen infolge des Zuges, den die Glocke als schwerer Körper ausübt. Hört nun hierauf derselbe Mensch eine Glocke tönen, ohne sie sehen und betasten zu können, so stellt sich infolge der wirklich vorhandenen Schallwellen eine Gehörempfindung ein, die durch die Erregung der Neuronen des Schläfenlappens bedingt ist. Aber auf Grund der früheren Erregungen, die den Neuronen im Sehzentrum zugeführt wurden, als der Hörende die Glocke noch in der Hand hielt und sie ansah, stellt sich wieder eine Erregung gewisser Neuronen zu den Hinterhauptslappen, demnach im Sehzentrum ein, so daß der Mensch jetzt wieder ein Bild der Glocke vor sich hat, als ob er sie sähe. Es wird somit eine Gesichtsqualität ins Bewußtsein gerufen ohne den äußeren Reiz, der eine Erregung der Neuronen im Sehzentrum hervorbrächte. Diese auf Grund früherer Gesichtsempfindung auftauchende Nachempfindung, der man allerdings, wie schon im ersten Teile angegeben wurde, nachsagt, sie sei gegen die vorausgegangene Empfindung abgeblaßt, ist ein Erinnerungsbild oder eine Reproduktion der Empfindung. Wir wollen sie Vorstellung nennen. Es muß daher den Neuronen ein Gedächtnis zugesprochen werden. Im Grunde ist der Vorgang der Bahnung der Neuronen durch wiederholte Erregung ja auch ein Beweis für die Merkfähigkeit, also für ein Gedächtnis der Neuronen. Denn die Einübung für eine bestimmte Leistung beruht immer darauf, daß von der vorhergehenden Erregung und Funktion etwas gemerkt wird, was dann durch jede nachfolgende Erregung und Tätigkeit vervollständig und vollkommener gestaltet wird.

Wie ist nun der Vorgang der Reproduktion physiologisch zu erklären? Eine schwierige und wichtige Frage! Meynert schätzt die Zahl der Neuronen in der Großhirnrinde auf etwa 600 Millionen. Es ist dies

gewiß eine hinreichende Menge von Angriffsobjekten für all die ungezählten Reize, die von der Außenwelt, aber auch von unserem Körper, der — wie wir wiederholt bemerkten — für die Großhirnrinde auch Außenwelt ist — der Hirnrinde zugeführt werden. Diese Zahl der Neuronen reicht vollständig hin, um für die somatische Repraesentation jeder im Bewußtsein auftauchenden Empfindung und für deren Erinnerungsbild je ein besonderes Neuron gleichsam als Wohnkämmerchen beizustellen. Und diese Kämmerchen liegen hübsch säuberlich gesondert neben einander in den einzelnen Sinneszentren, stehen aber durch Seitengänge mit einander in inniger Verbingung, so daß der regste Verkehr der Inwohner mit einander ermöglicht wird.

Wie wird aber ein Neuronkörper zum Wohnkämmerchen und körperlichen Repraesentanten der Empfindung und das andere Neuron zu dem des Erinnerungsbildes derselben, nämlich der Vorstellung?

Auch für diesen Vorgang vermag man sich auf Grundlage der Neurontheorie ein auf Bewegung zurückführbares Bild zu konstruieren, welches allerdings nur ein bildlicher Ausdruck für das wirkliche Geschehen ist, jedoch uns zu einer Ausschauung dieses so wichtigen Vorganges verhilft. Und was anschaulich gemacht wird, wird auch verständlich gemacht. Deshalb mag dieses Bild hier Platz finden mit dem Ausspruch, vorläufig die Anschaulichkeit der angegebenen Vorgänge in den Neuronen zu vermitteln, bis von anderer Seite eine bessere Ver sinnlichung an seine Stelle gesetzt werden wird.

Daß der Versuch, irgend eine Naturerscheinung durch eine vorläufige Annahme anschaulich zu machen, von der Physik wiederholt mit Erfolg gemacht wurde, ist eine bekannte Tatsache. Zwei Naturerscheinungen, die auf diesem Wege ihre Erklärung fanden, werden für uns hier vorbildlich sein. Es ist die Polarisisation des Lichtstrahles und die magnetische Induktion.

Wenn ein von einer Erregungswelle noch unberührtes Neuron zum erstenmal erregt wird, so wird selbstverständlich zunächst die bekannte Zustandsänderung mit Dissimilation und deren Folgeerscheinungen eintreten. Aber gleich die erste Erregungswelle fängt an das Neuron zu bahnen. Und diese Bahnung können wir uns als einen der Polarisisation eines Lichtstrahles ähnlichen Vorgang vorstellen. Im normalen, nicht polarisierten Lichtstrahl kann jedes Lichtaetheratom in einer zum Strahl normalen Ebene alle möglichen Schwingungsrichtungen einschlagen. Diese Schwingungsrichtungen sind die Durchmesser eines auf dem Strahl normal stehenden Kreises, dessen Mittelpunkt die Ruhelage und dessen Halbmesser die Schwingungsweite des Aetheratoms vorstellt. Das Atom kann nun jeden Durchmesser entlang schwingen. Wird aber der Lichtstrahl durch Reflexion oder Brechung polarisiert, so wird die Schwingungsrichtung seiner Atome auf eine einzige beschränkt. Die Atome können dann nur entlang einen einzigen Durchmesser des erwähnten Kreises schwingen, z. B. nach der Reflexion nur entlang jenen Durchmesser, der zur reflektierenden Spiegelebene parallel läuft.

Ebenso denken wir uns, daß jedes Molekül des noch von keiner Erregungswelle getroffenen Neurons in jeder beliebigen Richtung um

den Punkt, der seine Ruhelage vorstellt, zu schwingen vermag. Die Moleküle sind in der Schwingungsrichtung von einander unabhängig. Das eine kann vertikal im Raume schwingen, das zweite in irgend einer horizontalen Richtung, während ein drittes eine Zwischenrichtung einschlagen kann. Werden die Moleküle z. B. durch den Stoffwechsel zu solchen unregelmäßigen Schwingungen veranlaßt, so hemmen sich die Schwingungen, heben sich gegenseitig auf und geben keine positive oder aktive Resultierende. Das Neuron leistet nichts.

Wird aber das Neuron von einer zugehörigen Erregungswelle, die den erforderlichen Schwellenwert besitzt, getroffen, so wird es polarisiert, d. h. alle Moleküle werden gezwungen, eine und dieselbe Schwingungsrichtung einzuhalten, während die anderen früher möglichen Schwingungsrichtungen unterdrückt und von nun an nicht mehr eingeschlagen werden können. So werden sämtliche Moleküle eines Neurons zu einem einheitlichen System zusammengehöriger, in demselben Sinne schwingender Elemente gefügt. Und diese Einzelschwingungen der Moleküle geben eine Resultierende, die immer wiederkehrt, so oft dieselbe Erregungswelle das Neuron trifft. Ist aber die Erregungswelle unterschwellig, so vermag sie nicht auf einmal alle Moleküle, sondern nur eine beschränkte, ihrer Intensität entsprechende Zahl derselben zu der gleichen Schwingungsrichtung zu zwingen — und die Resultierende ist deshalb schwächer als bei Erregungswellen mit vollem Schwellenwert. Aber selbst eine unterschwellige Erregungswelle ist im Stande, ein Neuron zu polarisieren, wenn sie es in kurzen Intervallen wiederholt trifft. Mit jeder Wiederholung des Reizes werden immer mehr Moleküle zur Schwingung in der bestimmten Richtung gezwungen, bis endlich alle dieselbe Richtung einschlagen. Jetzt ist das Neuron für einen bestimmten Reiz, z. B. einen Lichtreiz gleichsam adaptiert, es ist ein Neuron von spezifischer Leistung.

Wir wissen aber, daß die Schwingung der Neuronmoleküle die somatische Grundlage einer im Bewußtsein auftauchenden Empfindung ist. Auf diese Weise ist es leicht erklärlich, daß ein bestimmter äußerer Reiz eine bestimmte Empfindung im Bewußtsein zur Folge hat. Wird z. B. der Reiz bewirkt durch genau 450 Billionen Schwingungen der Lichtaetheratome in der Sekunde, so erzeugt er im Nervensystem eine Erregungswelle, die infolge der isolierten Leitung, also auf der für diesen äußeren Reiz besonders geschaffenen Bahn zu einem Neuron in der Rinde der Hinterhauptslappen gelangt, hier eine Schwingungsergebnisse verursacht, welche im Bewußtsein die Empfindung »äußerstes Spektralrot« zur Folge hat.

Und jetzt gehen wir zur zweiten Erscheinung über, welche die Physiker auch durch eine Hypothese recht anschaulich erklären. Auch diese Hypothese soll für uns ebenso vorbildlich werden, wie vorhin die Theorie der Lichtaetherschwingungen. Es ist dies, wie bereits angegeben wurde, die Erscheinung der sog. magnetischen Induktion.

Wird einem unmagnetischen Eisenstab ein Magnetpol entsprechend nahe gebracht, so wird der Eisenstab magnetisch. Dasselbe geschieht, wenn man den Eisenstab mit einem Magnetpol berührt oder mit dem

Pol seiner ganzen Länge nach streicht. In dieselbe Kategorie der Erscheinungen gehört auch die Magnetisierung eines Eisenstabes durch einen elektrischen Strom, der den Eisenstab umkreist. Die Physiker nehmen an, daß der Eisenstab aus Elementarmagneten oder magnetischen Molekülen besteht und daß jedes dieser Moleküle, so klein es auch sein mag, polar-magnetisch ist, d. h. einen Nord- und einen Südpol besitzt. Stellt man sich diese Moleküle kugelförmig vor, so muß die eine Kugelhälfte nordmagnetisch, die andere südmagnetisch sein. Im gewöhnlichen Eisen sind die magnetischen Moleküle ungeordnet gelagert. Das eine Molekül wendet die Nordhälfte nach rechts, die Südhälfte nach links, das zweite nach oben und unten, das dritte nach vorn und hinten u. s. w. Durch den genäherten Magnetpol werden aber die magnetischen Moleküle derart gesetzmäßig gerichtet, daß sie alle ihren Nordpol nach dem einen Ende des Eisenstabes und den Südpol nach dem anderen wenden. Durch diese Lagerung seiner magnetischen Moleküle wird eben der Eisenstab polar-magnetisch. In derselben Weise werden die magnetischen Moleküle des Eisenstabes auch geordnet oder gerichtet, wenn man ihn mit einem Magnetpol streicht oder ihn vom elektrischen Strom umkreisen läßt. Nun zeigt aber bei der Induktion der Eisenstab ein ungleiches Verhalten, je nachdem er aus weichem (kohlenarmen) oder hartem (kohlenreichen) Eisen besteht. Entfernt man den induzierenden Magnetpol vom Weicheisenstab, so hört der Stab auf magnetisch zu sein, denn seine Moleküle geraten gleich wieder in Unordnung. Der Harteisenstab bleibt aber auch nach Entfernung des induzierenden Poles magnetisch. Seine Moleküle behalten die ihnen erteilte geordnete Lage.

Wir müssen nun in analoger Weise zwei Arten von Neuronen annehmen, von denen die eine Art sich dem weichen, die andere dem harten Eisen ähnlich verhält. Die durch eine hinreichend starke Erregungswelle zu einer gleichgerichteten Schwingung gezwungenen Moleküle in den Neuronen der ersten Art kehren nach dem Aufhören der Erregungsursache wieder zu ihrer früheren ungeordneten Lagerung zurück. Als Folge der ersten Erregung bleibt zum Ausdruck der durch sie bewirkten Bahnung des Neurons nur eine größere Beweglichkeit der Neuronmoleküle, so daß sie einer folgenden Erregungswelle einen geringeren Widerstand entgegensetzen und sich leichter zu einer gleichgerichteten Schwingung verhalten lassen. Deshalb darf auch jede folgende Erregungswelle schwächer sein, um denselben Erfolg zu erzielen, wie die erste stärkere Welle. Das Neuron wird von jeder nachfolgenden Erregungswelle leichter angesprochen. Dabei muß festgehalten werden, daß ein Neuron dieser Art immer nur dann erregt werden kann und daß seine Moleküle nur dann zu einer gemeinsamen gleichgerichteten Schwingung verhalten werden können, wenn die Erregung durch einen äußeren, diesem Neuron zugewiesenen physischen Reiz hervorgebracht wird, der durch ein mit dem Neuron verbundenes Sinneswerkzeug aufgefangen und weiter geleitet wird. So wird z. B. ein bestimmtes Neuron dieser Art, welches in den Hinterhauptslappen gelegen ist, nur dann tätig sein, wenn zu ihm ein von 450 Billionen Schwingungen der Lichtaetheratome in der Sekunde erzeugter Reiz

vom Auge aus als Erregungsursache gelangt. Und diese Erregung hat immer wieder — so oft sie sich einstellt — dieselbe Empfindung »Spektralrot« zur Folge. Dieser physische Reiz ist unbedingt nötig, denn ohne einen solchen Reiz gibt es keine Empfindung. Die Neuronen dieser Art sind demnach Empfindungsneuronen.

Die Neuronen der zweiten Art haben die Eigenschaft, daß ihre Moleküle die gemeinsame Schwingungsrichtung, die ihnen durch die erste Erregung aufgezwungen wird, längere Zeit beibehalten, wie das magnetische Hart Eisen die geordnete Lage seiner magnetischen Moleküle. Die Folge davon ist nun die, daß diese Neuronen bei dem festgefügt System ihrer in gleicher Richtung schwingenden Moleküle auch durch disparate Erregungen angesprochen werden, so z. B. durch Erregungswellen, die von Neuronen anderer Nervenzentren zu ihnen überleitet werden. Ein solches Neuron im Sehzentrum, dessen Moleküle ursprünglich durch einen Lichtreiz von 450 Billionen Lichtätherschwingungen in der Sekunde zur gemeinsamen, gleichgerichteten Schwingung gezwungen wurden, reagiert mit derselben Schwingung seiner Moleküle auch auf eine Erregungswelle, die von einem Neuron des Hörzentrums herkommt. Es ist also bei ihnen der adäquate äußere Reiz wie bei den Empfindungsneuronen nicht erforderlich. Um dies zu verdeutlichen, wollen wir zu unserem Beispiel von der Glocke zurückkehren.

Da die Dinge um uns herum mehrere Eigenschaften haben, so regen sie gleichzeitig mehrere Empfindungen an, wie wir es bezüglich der Glocke, die ein Mensch in der Hand hält und schwingt, angegeben haben. Er sieht die Glocke, er hört ihren Ton, er hat von ihr eine Tastempfindung usw. Es werden demnach gleichzeitig Neuronen im Hinterhaupt- und im Schläfenlappen sowie im Zentrum für taktile und andere Reize erregt. Diese Empfindungen sind aber nur scheinbar ein gleichzeitiger Bewußtseinsinhalt, vielmehr führen sie einen Wettstreit um die Besitzergreifung des Bewußtseins. Jetzt tritt die Gesichtsempfindung für einen Moment in den Vordergrund, so lang das Auge die Glocke fixiert. Hierauf wird, wenn die Glocke läutet, die Gehörempfindung aufdringlicher und verdrängt für einen Augenblick die Gesichtsempfindung aus dem Bewußtsein. Aber alle diese streitenden Empfindungen verschwinden als solche aus dem Bewußtsein, sobald die Glocke entfernt wird und weder gesehen noch gehört oder betastet werden kann.

Nun hört man diese Glocke wieder läuten, aber ohne sie sehen oder betasten zu können. Sofort stellt sich, wie bekannt, auf Grund der jetzigen Gehörempfindung allein, die Glocke in ihrer Gestalt, Größe, Farbe so vor unser geistiges Auge, als ob sie wirklich Lichtstrahlen in unser Auge reflektierte. Wir haben, wie bekannt, eine Vorstellung von der Gestalt, Größe und Farbe der Glocke im Bewußtsein ohne jede Erregung des Gesichtssinnes. Und die Gesichtsvorstellung »Glocke« ist ein mehr oder minder treues Abbild der Gesichtsempfindung »Glocke«.

Auf Grund dieser Tatsache wird den Neuronen ein Gedächtnis zugeschrieben, welches die körperliche Grundlage unseres Gedächtnisses im psychologischen Sinne ist. Aber es ist freilich nur die Fähigkeit, auf Grund der durch äußere Reize verursachten Empfindung eines

Dinges nachträglich die Vorstellung dieses Dinges ohne den früheren äußeren Reiz ins Bewußtsein heben zu können.

Die oben angeführte Annahme der Polarisation der Neuronen erklärt uns nun den somatischen Vorgang beim Auftauchen der Vorstellungen im Bewußtsein, die sog. Reproduktion, auf eine anschauliche Weise, indem sie ihn wieder nur auf Neuronenerregung, demnach auf Bewegung zurückführt.

Wir nehmen zu diesem Behufe an, es sei mit jedem Neuron erster Art ein solches zweiter Art in innigster Kontiguität, so daß der Erregungszustand vom ersten sofort auf das zweite übergeht. Man könnte beide einen Neuronzwilling nennen, ähnlich wie man zwei gesetzmäßig verwachsene Krystalle derselben Mineralart einen Krystallzwilling nennt.

Das Neuron erster Art ist aber ein Empfindungsneuron, welches nur durch äußere Reize, z. B. durch Lichtaether- oder durch Schallwellen u. dgl. erregt werden kann. Infolge dieses Reizes tritt eine Empfindung ins Bewußtsein und eine Erregungswelle in das mit dem Empfindungsneuron eng verbundene Neuron zweiter Art. Der äußere Reiz ist also durch Vermittlung des Empfindungsneurons auch der Erreger des zweiten Neurons. Da sich nun bei gleichen Ursachen gleiche Folgen einstellen müssen, so muß in beiden verbundenen Neuronen ein und dasselbe System schwingender Moleküle geschaffen werden. Beide werden in demselben Sinne polarisiert, d. h. alle ihre Moleküle schwingen übereinstimmend in derselben Richtung. Der einzige Unterschied beruht nur darin, daß sich das Molekularsystem im Empfindungsneuron nach dem Aufhören der Reizwirkung bald wieder auflöst, während es sich im zweiten Neuron eine längere Zeit hindurch unverändert erhält. Es ist demnach begreiflich, daß beide verbundenen Neuronen infolge der übereinstimmenden Schwingungsrichtung ihrer Moleküle denselben Effekt im Bewußtsein hervorbringen müssen. Nur ist der von dem Empfindungsneuron, welches ja vom äußeren Reiz direkt getroffen wird, hervorgebrachte Effekt — nämlich die Empfindung — intensiver und heller als der vom zweiten mittelbar erregten Neuron. Und da sich die Effekte beider im übrigen bis auf den Helligkeitsgrad vollkommen decken, so wird der Effekt des zweiten durch den des ersten Neurons verdeckt und übertönt. Es taucht daher im Bewußtsein bloß die Empfindung auf und der Effekt des zweiten Neurons kommt gesondert nicht zum Bewußtsein.

Das Schema I auf Tafel II erläutert diesen Vorgang für den Fall, daß jemand z. B. von der Glocke gleichzeitig eine Gehör-, Gesichts- und Tastempfindung im Bewußtsein hat.

Der Kreisbogen *BB* stelle die uns nicht näher bekannte Bewußtseinssphäre vor, die Kreise *Ghz* und *Gsz* das Gehör- und Gesichtszentrum und *Ta—Z* das Zentrum für taktile Reize.

Im Kreise *Ghz* sei *e* ein Empfindungsneuron und *v* das mit ihm eng verbundene Neuron zweiter Art. Dieselbe Bedeutung haben in *Gsz* *e'* und *v'*, ferner in *Ta—Z* *e''* und *v''*.

Vom Ohre *O* gelange eine durch Schallwellen verursachte Erregungswelle zu *e*. Sie hat in der Bewußtseinssphäre *BB* die Empfindung *E* zur Folge. Von *e* übergeht die Erregungswelle auf *v*. Der Erregungszustand in *v* bringt in *BB* den Effekt *V* hervor (wegen des geringeren Helligkeitsgrades repräsentiert durch den

kleineren punktierten Kreis, welcher von  $E$  gedeckt wird, so daß in  $BB$  bloß  $E$  wirksam ist).

Ganz gleich ist der Vorgang in  $Gsz$ . Reiz vom Auge  $A$  zu  $e'$ . Die Gesichtsempfindung  $E'$  in  $BB$ . Übergang der Erregungswelle von  $e'$  auf  $v'$ . Effekt von  $v'$  in  $BB$  ist  $V'$ , verdeckt von  $E'$ .

Das Gleiche geschieht in  $Ta-Z$ . Der Reiz von  $HF$ , von der Haut der tastenden Fingerspitzen kommt als Erregungswelle zu  $e''$ ; in  $BB$  taucht die Tastempfindung  $E''$  auf. Überleitung der Erregung von  $e''$  auf  $v''$ . Effekt von  $v''$  in  $BB$  ist  $V''$  und wird von  $E''$  verdeckt.

Es taucht somit im Bewußtsein gleichzeitig eine Gehör-, Gesichts- und Tastempfindung auf. Alle zusammen liefern die Gesamtempfindung »Glocke«. In Wirklichkeit ist der Prozeß allerdings viel komplizierter, da die Empfindungen zusammengesetzt sind. Mit dem Grundton der Glocke hört man gleichzeitig, wie bei allen Metallinstrumenten Obertöne, die die Klangfarbe des Glockentones bestimmen. Und die Empfindung eines jeden Obertones wird von einem anderen Neuron ins Bewußtsein gehoben. Ebenso zusammengesetzt ist die Gesichtsempfindung, da man ja außer der Farbe und dem Glanze der Glocke auch ihre Größe und Gestalt wahrnimmt. Und zur spezifischen Tastempfindung gesellen sich noch andere durch die Haut vermittelte Empfindungen, wie die der Temperatur und dann die Muskel- und Sehnenempfindungen u. s. w.

Das Schema II auf Tafel II erläutert den Vorgang in den Neuronen der Großhirnrinde für den Fall, daß bloß die Gehörempfindung als Folge der Einwirkung der Schallwellen auf das Ohr zum Bewußtsein gelangt, dagegen in den übrigen Sinneszentren keine Erregung durch äußere Reize bewirkt wird.

Der Einfachheit wegen beschränken wir uns nur auf zwei Zentren, auf  $Ghz$  und  $Gsz$ .

Zu  $e$  in  $Ghz$  kommt vom Ohre  $O$  die durch Schallwellen hervorgerufene Erregungswelle. Die Folge ist  $E$  in  $BB$ , und da von  $e$  aus  $v$  erregt wird, auch das verdeckte  $V$  in  $BB$ . Alles genau so wie im Schema I.

Zu  $e'$  in  $Gsz$  kommt aber keine Erregungswelle vom Auge  $A$ , weil man die Glocke bloß hört, aber nicht sieht. Daher in  $BB$  keine Gesichtsempfindung  $E'$ . Aber von  $v$  im Gehörzentrum wird auf dem Assoziationswege  $v - v'$  das Neuron  $v'$  im Gesichtszentrum erregt. Und dieses  $v'$  bringt in  $BB$  einen Effekt hervor, der von keinem  $E'$  verdeckt wird, sondern selbständig auftritt. Dieser Effekt ist  $V'$ , eine Reproduktion der früheren Gesichtsempfindung  $E'$  oder die Gesichtsvorstellung der Glocke.

Weil nun das Neuron zweiter Art, welches mit einem Empfindungsneuron in einer so engen Kontiguität steht, die Reproduktion der Empfindung oder die Vorstellung im Bewußtsein wachruft, so nennen wir es ein Reproduktions- oder Vorstellungsneuron. Wir müssen nur noch daran erinnern, daß die Vorstellungsneuronen verschiedener Sinneszentren unter einander in assoziativer Verbindung stehen, so daß bei entsprechender Bahnung der Erregungszustand von einem Neuron zum anderen übergehen kann, auch wenn diese Neuronen in verschiedenen Sinneszentren gelegen sind. Wird nun ein Empfindungsneuron in einem bestimmten Sinneszentrum erregt, so geht die Erregung auf sein Vorstellungsneuron über und von diesem auf Vorstellungsneuronen in anderen Sinneszentren. Im Bewußtsein taucht nun eine einzige Empfindung auf und neben ihr gleichzeitig mehrere auf denselben äußeren Gegenstand bezügliche Vorstellungen als Erinne-

rungsbilder früherer Empfindungen. Es entwickelt sich auf diese Weise die Gesamtvorstellung eines mit mehreren Eigenschaften begabten Dinges. Hört man das Wort »Glocke«, so stellt sich eben die Gesamtvorstellung »Glocke«, als Erinnerungsbild aller Eigenschaften der Glocke ein.

Die eben entwickelten Anschauungen über die Vorgänge in den Neuronen der Großhirnrinde erklären uns nun manche pathologische Erscheinung wie z. B. die Seelenblindheit, die Aphasie u. s. w. Wir werden später sehen, welche Hilfe wir auf diese Weise auch für die Deutung der Willensstörungen gewonnen haben. Hier mag nur noch kurz die Pathogenese der oben genannten pathologischen Zustände auf Grund der gemachten Annahmen erörtert werden.

Was geht bei der Seelenblindheit im Nervensystem vor? Wir wissen, daß der Kranke sieht. Er erkennt aber das Gesehene nicht. Er weiß das Gesehene nicht zu deuten, d. h. er vermag es nicht in den Komplex der übrigen Vorstellungen einzuordnen. Welche Organe sind also erkrankt? Offenbar jene, in denen die Erinnerungsbilder an das früher Gesehene körperlich deponiert waren. Das sind aber die Vorstellungsneuronen des Gesichtszentrums in den Hinterhauptlappen der Großhirnrinde. Sowohl die Neuronen selbst als auch ihre Assotiationsbahnen haben gelitten. Und zur Bekräftigung dieser Deutung mag eine Tatsache dienen. Charcot, einer der bedeutendsten Neurologen der letzten Jahrzehnte, stellt fest, daß bei Seelenblinden die Gesichtsvorstellungen selbst in den Träumen fehlen. Auch bei Seelentauben sind die Vorstellungsneuronen und ihre Assotiationsbahnen beschädigt. Da nun die durch Reproduktion der Empfindungen und ihrer Beziehung zu anderen psychischen Zuständen mangelt, ist die Orientierung und somit die Deutung des Gehörten unmöglich.

Und bei der Aphasie? Ist sie motorisch, so fehlt der reichhaltige Schatz jener erworbenen Bewegungsvorstellungen, welche die Sprache bedingen. Der Kranke hat keine Erinnerung mehr daran, welche Bewegungen er mit den Lippen, der Zunge, dem weichen Gaumen, dem Rachen u. s. w. ausführen soll, um einen bestimmten Vokal oder Konsonanten zu artikulieren. Jede Bewegung setzt nämlich, wie bereits in dem psychologischen Teil (Seite 19) angeführt wurde, eine ganze Reihe von Empfindungen ins Bewußtsein. Den Bewegungsempfindungen entsprechen aber wieder deren Erinnerungsbilder, die Bewegungsvorstellungen im Brocassen Zentrum. Zum Sprechen ist aber erforderlich, daß beim Sprechen diese Vorstellungen immer wieder ins Bewußtsein treten, denn nach diesen Erinnerungsbildern richten sich eben die auszulösenden artikulierenden Bewegungen der Sprachorgane. Verschwinden diese Vorstellungen infolge einer Erkrankung ihrer Erreger, der Vorstellungsneuronen im Sprachzentrum, so steht der Kranke in Bezug auf die Sprache ebenso da, wie das Kind, welches die Sprachbewegungen noch nicht erlernt hat.

Ähnlich sind die Verhältnisse bei der sensorialen Aphasie. Wie bekannt, werden durch die Erregung der Vorstellungsneuronen im Gehörzentrum Gehörvorstellungen der gehörten Wörter und Worte d. h. deren Klangbilder im Bewußtsein wachgerufen. Diese Vorstellungs-

neuronen übertragen ihren Erregungszustand auf Vorstellungsneuronen im Sprachzentrum, mit welchen sie in Verbindung stehen. Die Erregung der letzteren führt dem Bewußtseins wieder Bewegungsvorstellungen zu. Erst jetzt ist die, diesen Bewegungsvorstellungen entsprechende Intervention der Sprachmuskulatur zu den erforderlichen Artikulationsbewegungen möglich. Erkrankten nun die Vorstellungsneuronen im Gehörzentrum, so fehlen die Klangbilder. Der Kranke versteht das Gehörte nicht. Es werden daher vom Gehörzentrum aus keine Vorstellungsneuronen des Sprachzentrums erregt, und da sich keine Bewegungsvorstellungen einstellen, bleibt auch die Innervation und Bewegung der Sprachmuskulatur aus.

Auch die Erscheinungen bei retrograder Amnesie sind von unserem Standpunkte aus leicht begreiflich. Warum vergißt der Kranke gerade die Erlebnisse, die dem Unfall unmittelbar vorangehen? Nun weil die eben erst gebahnten und polarisierten Vorstellungsneuronen noch ein labiles Schwingungssystem ihrer Moleküle besitzen und ihre Assoziationsbahnen noch nicht hinreichend gefestigt sind. Sowohl die Neuronen wie ihre Assoziationsbahnen wurden doch erst in den wenigen letzten Tagen oder gar erst in den letzten Stunden in Anspruch genommen und können daher nicht die Widerstandskraft einer Schädigung entgegenstellen, wie die schon seit längerer Zeit wiederholt erregten und dadurch geübten Neuronen.

Der eben angeführte Umstand bietet einen Anlaß zur Ergänzung unserer Anschauungen über die Vorstellungsneuronen. Wenn sie gesund bleiben und auch keine Verletzung erfahren, so behalten sie die ihren Molekülen durch die erste Erregung aufgezwungene Schwingungsrichtung einige Zeit hindurch bei. Es ist aber zu diesem Behufe notwendig, daß neue Erregungswellen die Neuronen in gewissen Intervallen immer wieder in Erregung versetzen. Geschieht dies nicht, so lockert sich das Gefüge der Moleküle immer mehr und mehr, bis sich die Polarisationswirkung ganz verliert. Sieht man eine Person zum erstenmal, so bleibt ihr Erinnerungsbild, die Vorstellung zurück und kann durch Erregung des Vorstellungsneurons, welches ihr Träger ist, immer wieder ins Bewußtsein gehoben werden. Wird aber das Vorstellungsneuron lange Zeit hindurch nicht erregt, da die Person nicht zum zweitenmal gesehen und da auch von ihr nicht gesprochen wird, so schwindet ihr Erinnerungsbild aus dem Gedächtnis. Dies ist gewöhnlich der Fall, wenn die gesehene Person uns gleichgültig ist. Sieht aber jemand den Herrscher seines Vaterlandes auch nur ein einzigesmal, so erhält sich das optische Erinnerungsbild für lange Zeit, ohne daß die Person des Herrschers wiedergesehen wird. Das Vorstellungsneuron im Gesichtszentrum wird nämlich nachträglich häufig erregt. Da sieht man das Bildnis des Herrschers, liest oder hört dessen Namen u. s. w., und das Vorstellungsneuron im Gesichtszentrum wird bei jedem dieser Anlässe miterregt und in seiner Funktion geübt und gefestigt.

Zwei Einwendungen können gegen die eben angeführten Annahmen, die sich auf die Funktion der Neuronen der Großhirnrinde im gesunden und kranken Zustande beziehen, erhoben werden. Die erste Einwendung betrifft den Umstand, daß bei einer Erkrankung oder bei

einer zufälligen Verletzung eines Sinneszentrums gerade die Vorstellungsneuronen leiden. Neuron ist doch Neuron, ob es nun Empfindungen oder Vorstellungen zum Bewußtsein bringt.

Mit demselben Recht können wir auch sagen, Knochen ist Knochen und Muskel ist Muskel. Warum werden bei einer chronischen Phosphorvergiftung, an welcher Arbeiter in Fabriken für Phosphorzündhölzchen leiden, gerade die Kieferknochen ergriffen und nekrotisch gemacht? Man behauptet, daß kariöse Zähne dem Gifte als Eintrittspforten zu dienen pflegen. Aber die Phosphornekrose stellt sich auch bei einem völlig intakten Gebiß ein. Warum erkranken bei der chronischen Bleivergiftung gerade die Streckmuskeln der Gliedmaßen u. z. am meisten und als die ersten die Strecker des Unterarmes? Es haben sehr viele Krankheiten im Körper ihren sog. »Praedilektionsort«, in welchem sie sich hauptsächlich einnisten und Schaden stiften. Vielleicht sind die Vorstellungsneuronen infolge der vielseitigen Verbindung ihrer Dendriten mit den Telodendren anderer Neuronen zahlreicheren Quellen einer Schädigung ausgesetzt.

Die zweite Einwendung richtet sich gegen die Annahme einer stabilen Leistung der Vorstellungsneuronen. Wie ist die Beibehaltung der gleichen Schwingungsrichtung der Moleküle möglich, da doch der Dissimilations- und Assimilationsprozeß die Moleküle fortwährend auflöst und neu aufbaut?

Denken wir uns eine recht komplizierte Maschinenanlage, z. B. eine Buchdruckerpresse, welche Zeitungspapier aufnimmt und die fertigestellte Zeitung, bereits gefaltet, hergibt, oder eine der neuen Setzmaschinen für Buchdruck, bei welcher der Setzer wie auf einer Schreibmaschine, einem Klavierspieler ähnlich, Tasten niederdrückt, um die Lettern dem Satze hinzuzufügen. Zahllose Rädchen, Wellen und Muttern greifen in einander, um das Maschinenwerk im Gange zu erhalten. Die Maschine wird schadhaft. Es muß eine kleine Schraube oder ein Rädchen ausgewechselt werden, dann wieder ein zweites Rädchen und nachher wieder eine Schraubenmutter. So wird im Laufe der Zeit ein Bestandteil nach dem anderen durch einen neuen gleichgeformten ersetzt — aber die Maschine bleibt dieselbe, die sie war. Ihr Gefüge wird nicht geändert.

Bei der Dissimilation und Assimilation handelt es sich bloß um einen Austausch der Atome im Neuronmolekül, denn der Stoffwechsel ist ja ein chemischer Vorgang, der immer nur zur Auflösung und Neubildung von Molekülen führt, seinem Wesen nach also nur Atomaustausch oder Atomwanderung bedeutet. In demselben Moment aber, in welchem ein Atom aus dem Neuronmolekül austritt, um eine neue Verbindung mit einem oder mehreren ihm erst zugeführten und außerhalb des von ihm eben verlassenen Moleküls befindlichen Atomen einzugehen, tritt ein dem Neuronmolekül frisch zugeführtes Atom sofort an seine Stelle. Es ist ja bekannt, daß ein Atom für sich allein nicht existieren kann, sondern nur im Molekularverband mit wenigstens einem einzigen anderen Atom. Und »das Alleinsein des Atoms« oder der sog. »status nascendi«, den die Chemiker annehmen, wenn ein Atom die Verbindung mit den übrigen Atomen seines Moleküls löst,

um in ein anderes, aber erst werdendes Molekül einzutreten, dauert keine meßbare Zeit.

Es ist nun leicht einzusehen, daß der Stoffwechsel seine eigenen Bahnen wandelt, ohne das gegenseitige Verhältnis der Neuronmoleküle zu einander zu alterieren. Denn diese Moleküle werden zwar durch den Stoffwechsel zu einem steten Atomaustausch gezwungen aber in ihrer Existenz und Schwingung gar nicht bedroht.

Die Vorgänge beim Empfinden und beim Vorstellen eines Außendinges verlegten wir der Einfachheit und des leichteren Verständnisses wegen jedesmal nur in je ein Hirnrindenneuron. In Wirklichkeit sind die Vorgänge unvergleichlich komplizierter. Sehen wir eine Person zum erstenmal, so wird dabei keineswegs nur ein Empfindungsneuron im Sehzentrum erregt, da ja gleichzeitig verschiedene Qualitäten durch den Gesichtssinn wahrgenommen werden. Die verschiedenen gefärbten Körperteile, Haare, Augen, Gesicht, der verschiedenfarbigen Kleidungsstücke, die Größen- und Gestaltverhältnisse, ja selbst die Bewegungen der gesehenen Person u. s. w. wirken auf verschiedene Neuronen des Sehentrums und rufen, da sie zugleich im Bewußtsein auftauchen, eine optische Gesamtempfindung hervor, die wieder durch Erregung der mit den Empfindungsneuronen verbundenen Vorstellungsneuronen zur Urheberin des optischen Erinnerungsbildes der gesehenen Person, nämlich einer Gesamtvorstellung wird. Auch die Empfindungen und Vorstellungen auf anderen Sinnesgebieten sind zusammengesetzt, wenn auch nicht in so hohem Grade wie die der Gesichtssphäre. Wenn wir nun bisher beim Entstehen der Gesamtempfindung oder Gesamtvorstellung eines Außendinges innerhalb einer Sinnessphäre nur je ein Neuron als Träger annahmen, so stellten wir ein jedes solches Neuron eben nur als den Repräsentanten eines ganzen Komplexes gleichzeitig erregter Neurone derselben Sinnessphäre hin.

Es waren drei wichtige aber auch schwierige Probleme, die uns zuletzt beschäftigten. Sie bezogen sich auf die Assoziation, Reproduktion und Lokalisation, drei Momente, die für die Erklärung der krankhaften Willenserscheinungen von hervorragender Bedeutung sind. Wir waren deshalb bestrebt, die somatische Grundlage der beiden psychischen Erscheinungen der Assoziation und Reproduktion in der Übertragung des Erregungsstandes von den Neuronen des einen Sinneszentrums auf die eines anderen und von den Empfindungsneuronen auf ihre Vorstellungsneuronen zu suchen. Die den psychischen Vorgängen als Grundlage dienenden somatischen Prozesse verlegten wir aber je nach der Beschaffenheit der sie auslösenden äußeren Reize bald in diesen bald in jenen Bezirk der Großhirnrinde nach dem Prinzip der Lokalisation.

Bis in die neuere Zeit pflegte man diese Bezirke förmlich nach geographischer Methode wie abgeschlossene Landschaften abzugrenzen und sie nach der Art und Weise Galls mit Etiketten zu versehen, welche den Namen eines Sinnes- oder eines Bewegungszentrums trugen. Aber der Physiolog als Geograph konnte seine Aufgabe nicht erschöpfend lösen. Man darf sich nicht auf die Untersuchung der Oberfläche der Hirnrinde beschränken, sondern muß ihre einzelnen Schichten und die

Verteilung verschiedener Neuronformen in ihnen zum Gegenstande der Untersuchung machen. Dadurch tritt die mikroskopische Anatomie der Hirnrindenschichten und die Physiologie der verschiedenen Formen der Neuronen in ihnen an die Stelle der bisher betriebenen anatomischen und physiologischen Abzirkelung der Zentren. Der leitende Gedanke dabei ist, daß gleichgeformte Neuronen dieselbe Funktion haben. Es entsprechen den oberflächlich in der Hirnrinde gelegenen Neuronen in deren tieferen Schichten desselben Bezirkes keineswegs gleichgestaltete Neuronen mit derselben Funktion. Im Gegenteil schieben sich die Nester bestimmter Neuronformen schichtenweise über- und untereinander ähnlich wie die einzelnen Schichten geologischer Formationen. Der Physiolog darf also künftighin die Hirnrindenzentren nicht wie ein Geograph, sondern er muß sie wie ein Geolog studieren. Nicht ein bestimmter oberflächlicher Hirnrindenbezirk — nicht die Landschaft auf der Hirnoberfläche — sondern das Lager oder Nest gleichgeformter und gleich funktionierender Neuronen soll für ihn der Ausdruck eines physiologischen Zentrums werden. Hiermit sind wir wieder an einem durch die Neurontheorie gesetzten Wendepunkte in der physiologischen Forschung angelangt.

Was die neue Richtung bringen wird, dürfte uns vielleicht schon die Fortsetzung dieser Zeilen sagen. Diese wird zunächst der physiologischen Lehre vom Gefühl und Streben gewidmet sein. Und diese beiden psychischen Zustände sind es hauptsächlich, die durch ihre krankhafte Richtung auch den Willen krank machen.

(Fortsetzung folgt.)

---



### Erklärung der Figuren auf Tafel I.

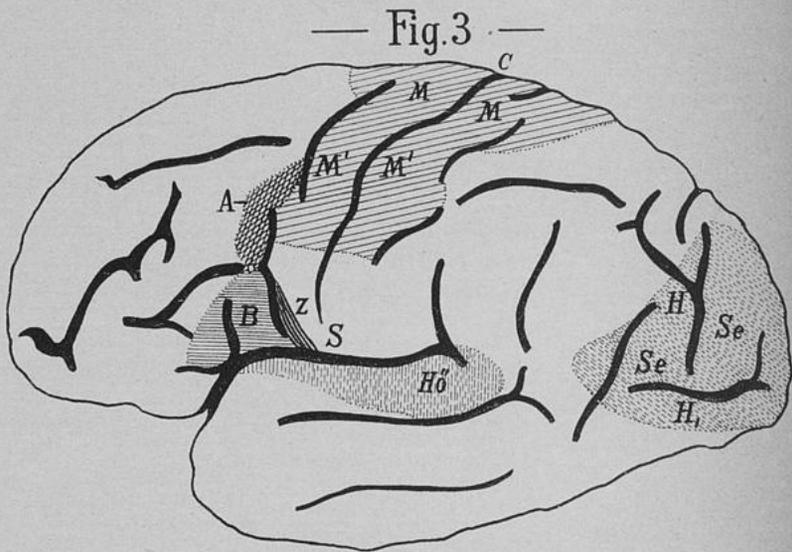
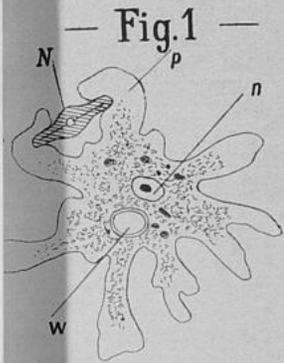
- Fig. 1 — Amoeba mit Zellkern *n* und Wasserblase *w*. Die Protoplasmafortsätze *p* und *p'* legen sich wie Fangarme um die Alge „Navicula“ *N*.
- Fig. 2 — Schematisches Bild eines Neurons. Im Zellkörper der große Zellkern mit Kernkörperchen und Zentralkorn. Die Dendriten *d* mit ihren feinsten Endverzweigungen. Der Neurit *n*, seine äußere Hülle *S*, die Markscheide *m*, die Kollateralen *K*. Die punktierte Doppellinie *l* soll den bald längeren bald kürzeren Verlauf einer Nervenfasers andeuten. Das Endstück des Neuriten *n'* tritt aus den Scheiden und hört auf ein Achsenzylinder der Nervenfasers zu sein. Sein Endbäumchen oder Telodendron *t*. Die Pfeile geben die cellulipetale und cellulifugale Leitungsrichtung an.
- Fig. 3 — Die Oberfläche der linken Hemisphäre des Großhirns mit einigen wichtigeren Furchen und Windungen. Die Zentralfurche *c*, vor ihr die vordere, hinter ihr die hintere Zentralwindung, Das motorische Zentrum für die Beine *M'*, für die Arme *M''*, für die Antlitzmuskulatur *A*, für die Zungenmuskeln *Z*, das Brocasche Sprachzentrum *B*, Sylvische Spalte *S*, Hörzentrum *Hö*, Hinterhauptsfurchen *H'* und *H* (Affenspalte), Sehzentrum *Se*.

### Erklärung des Schemas 1 und 2 auf Tafel II.

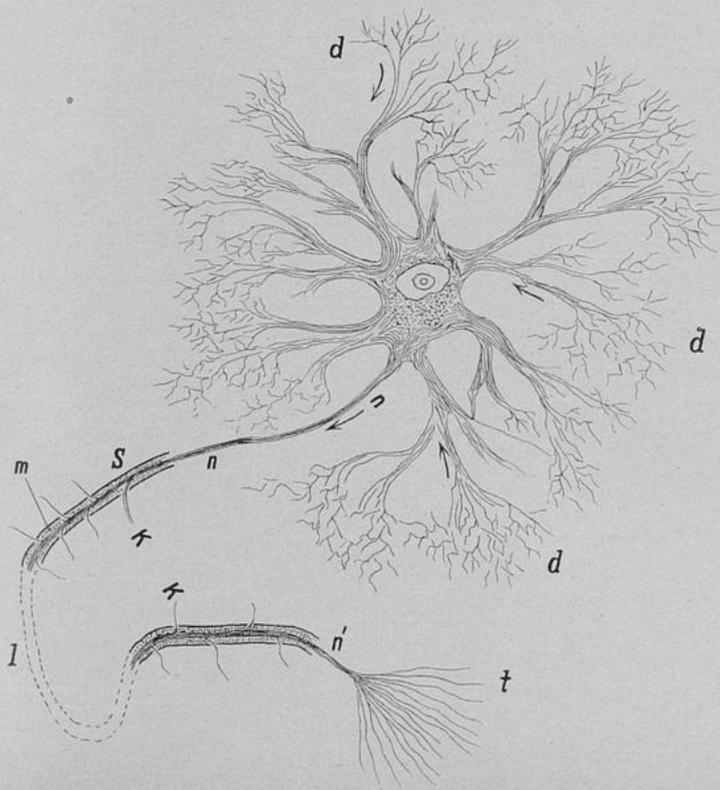
Im Texte auf Seite 44 und 45.

---

— Taf. I —



— Fig.2 —

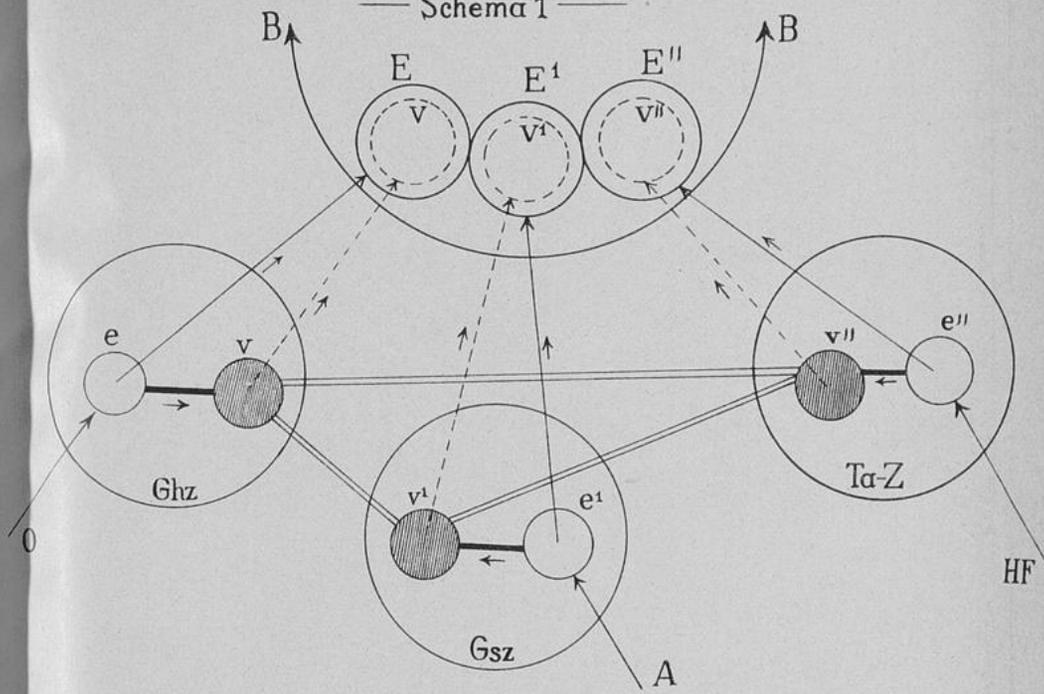


0

0

— Taf. II —

— Schema 1 —



— Schema 2 —

