

## Ueber die elektrische Erregbarkeit des Grosshirns.

Von

G. FRITSCH und E. HITZIG.

---

Die Physiologie vindicirt allen Nerven als eine nothwendige Bedingung des Begriffes die Eigenschaft der Erregbarkeit, d. h. die Fähigkeit, mit ihrer specifischen Energie auf alle Einflüsse zu antworten, durch welche ihr Zustand in einer gewissen Geschwindigkeit geändert wird. Nur für die Centraltheile des Nervensystems herrschen andere, freilich nur in wenigen Punkten allgemein acceptirte Ansichten. Es würde zu weit führen und auch dem speciellen Zweck der gegenwärtigen Arbeit nicht dienen, wenn wir aus der ungeheuren einschlägigen Literatur auch nur die uns zuverlässig scheinenden Resultate anführen wollten, welche durch die Reizversuche an allen einzelnen Theilen des Centralnervensystems gewonnen sind. Während jedoch rücksichtlich der Erregbarkeit der den Hirnstock zusammensetzenden Organe durch andere als die organischen Reize die grösste Meinungsverschiedenheit besteht, während in neuester Zeit ein heftiger Streit über die Erregbarkeit des Rückenmarkes entbrannt ist, hat seit dem Anfang des Jahrhunderts die Ueberzeugung ganz allgemein Platz gegriffen, dass die Hemisphären des grossen Gehirns durch alle den Physiologen geläufigen Reize absolut unerregbar seien. —

Haller und Zinn<sup>1)</sup> freilich wollten bei Verletzung der

---

1) Mémoires sur la nature sensible et irritable du corps animal. Lausanne 1756, t. I., p. 201 et suiv.

Marksubstanz des Grosshirns convulsivische Bewegungen gesehen haben. Indessen war man zu jener Zeit an eine strenge Begrenzung der angewandten Reize, welche freilich am Gehirn fast unübersteiglichen Hindernissen begegnet, zu wenig gewöhnt, als dass diese Angaben später Glauben gefunden hätten. Vielmehr ist es, wie schon Longet bemerkt, wahrscheinlich, dass jene Experimentatoren mit ihren Instrumenten bis zur Medulla oblongata vorgedrungen waren.

Longet<sup>1)</sup> selbst aber spricht sich hierüber folgendermassen aus:

„Sur des chiens et des lapins, sur quelques chevreaux, nous avons irrité avec le scalpel la substance blanche des lobes cérébraux; nous l'avons cautérisée avec la potasse, l'acide azotique etc., nous y avons fait passer des courants galvaniques en tout sens, sans parvenir à mettre en jeu la contractilité musculaire involontaire, à développer des secousses convulsives: même résultat négatif, en dirigeant les mêmes agents sur la substance grise ou corticale.“

Zu den gleichen Resultaten führten die Vivisectionen von Magendie<sup>2)</sup>.

Auf die übrigens ziemlich gleichlautenden Schlüsse von Flourens, die sich auf Ergebnisse von Durchschneidungen und Abtragungen stützten, werden wir in der Folge einzugehen haben.

Auch Matteucci<sup>3)</sup> fand das grosse und kleine Gehirn des Kaninchens gegen elektrische Reize vollkommen unerregbar.

Van Deen<sup>4)</sup>, mit dessen Namen man in neuerer Zeit die Lehre von der Unerregbarkeit der Cerebrospinalcentra verknüpft hat, ging in seinen Schlüssen noch beträchtlich weiter als alle Experimentatoren vor ihm und die meisten nach ihm. Während

1) Anatomie et physiologie du système nerveux de l'homme et des animaux vertébrés. Paris 1842. t. I. p. 644 u. a. and. O.

2) Leçons sur les fonctions et les maladies du système nerveux. Paris 1839, t. I. p. 175 u. a. and. O.

3) Traité des phénomènes électrophysiologiques des animaux. Paris 1843. p. 242.

4) Moleschott's Untersuchungen u. s. w. Bd. VII, H. IV, S. 381.

man früher neben dem Rückenmark wenigstens einigen basalen Hirnthteilen die Eigenschaft der Erregbarkeit gelassen hatte, sprach er dieselbe dem ganzen Centralnervensystem auf Grund seiner für das Kaninchen übrigens höchst mangelhaft beschriebenen Versuche, gänzlich ab.

Desgleichen sah Eduard Weber<sup>1)</sup> bei Experimenten mit dem Rotationsapparate am Grosshirn der Frösche keine Muskelzuckungen eintreten.

Budge<sup>2)</sup>, der auch selbst eine äusserst grosse Zahl von Säugern opferte, spricht sich abgesehen von vielen anderen ähnlich lautenden Stellen, folgendermassen aus:

„Wenn man nach dem jetzigen Standpunkte der Wissenschaft schliessen darf, dass in einem Nerventheile, in welchem nach einer Reizung keine Zuckungen eintreten, die Bewegungsfasern fehlen, so kann man mit der grössten Bestimmtheit behaupten, dass nicht eine einzige Faser solcher Nerven, die zu willkürlichen Muskeln hingehen, in den Hemisphären des grossen Gehirns verlaufe. Nicht ein einziger Beobachter sah Bewegung solcher Muskeln nach Reizung der genannten Centraltheile.“

Endlich führen wir noch die Meinung Schiff's<sup>3)</sup>, eines der erfahrensten Vivisectoren an:

„Dass die Reizung der Hirnlappen, der Streifenhügel und des kleinen Gehirns keine Spur von Zuckung in allen freien Körpermuskeln hervorruft, kann ich nach der Angabe vieler Forscher bestätigen. Auch die Eingeweide blieben bei der Reizung dieser Theile ruhig, wenn ich — wie dies bei solchen Versuchen unumgänglich nöthig ist — die Circulation erhalten hatte.“

Man sieht, auch in einer anderen Wissenschaft als der Physiologie dürfte es kaum eine Frage geben, über die die

1) R. Wagner's Handwörterbuch der Physiologie, Bd. III, Abthl. II, S. 16.

2) Untersuchungen über das Nervensystem. Frankfurt a. M. 1842. H. II. S. 84.

3) Lehrbuch der Physiologie des Menschen. Lehr. 1858—59. Bd. I. S. 362.

Ansichten so übereinstimmend lauteten, die so vollkommen abgeschlossen schien, als die Frage von der Erregbarkeit der Grosshirnhemisphären. Uebrigens wäre es ein Leichtes, noch mehr gleichlautende Citate zu häufen, wenn dies irgend einen Nutzen verspräche.

Nur ein Autor neben Haller und Zinn hat, so viel uns bekannt geworden, etwas Abweichendes gesehen, und dessen Angabe erregte bei Eckhard<sup>1)</sup>, der die Thatsache citirt, so wenig Glauben, dass er Namen und Quelle verschweigt. Die betreffende Stelle lautet: „Bei scheibenweiser Abtragung der „vorderen Gehirnappen giebt man an, lebhaftere Bewegungen in „den Vorderbeinen gesehen zu haben.“ An und für sich ist dies freilich nicht viel; denn man kann daraus nicht ersehen, wie der Versuch angestellt ist. Wäre er indessen mit den nöthigen Cautelen angestellt, so würde er ein wichtiges Princip beweisen, das Princip, dass man durch irgend einen Reiz, sei es der des Scalpells, oder der des Sauerstoffs, oder der des Bluts von den Vorderlappen aus Bewegungen willkürlicher Muskeln hervorbringen kann. Jedenfalls scheint dieser vereinzelt Beobachtung von keiner Seite weitere Folge gegeben zu sein; denn jene Stelle bei Eckhard ist die einzige von ihr hinterlassene Spur. —

Ehe wir nun zu unseren eigenen Versuchen übergehen, ist es erforderlich, diejenige Ansicht über die motorischen Vorgänge in den Centralorganen darzulegen, welche sich in Folge der oben erwähnten Versuche und der berühmten Hirnabtragungen von Flourens<sup>2)</sup> herangebildet hatte.

Diesem geistreichen und glücklichen Forscher gelang es, durch Anwendung wenigstens möglichst reiner Methoden zu Resultaten zu gelangen, die als Basis für fast alle hierher gehörigen später gewonnenen Kenntnisse betrachtet zu werden verdienen.

Nach zahlreichen Abtragungen des Grosshirns, die meist an Vögeln, doch auch an Säugethieren vorgenommen waren,

1) Experimentalphysiol. d. Nervensystems. Giessen 1867, S. 157.

2) Recherches expérimentales sur les propriétés et les fonctions du système nerveux dans les animaux vertébrés. 2<sup>ème</sup> édit. Paris 1842.

sah Flourens alle Zeichen des Willens und des Bewusstwerdens der Empfindungen verlöschen; während gleichwohl durch von Aussen eindringende Reize nun ganz maschinenmässig gewordene Bewegungen in allen Körpermuskeln ausgelöst werden konnten. Solche Thiere halten sich sehr wohl auf ihren Füssen, sie laufen, wenn man sie anstösst, Vögel fliegen, wenn man sie in die Luft wirft, sie wehren sich wenn man sie neckt, sie verschlucken in den Mund gebrachte Gegenstände und auch die Iris contrahirt sich auf den Lichtreiz. Niemals aber treten solche Bewegungen ohne Einwirkung eines äusseren Reizes ein. Des Grosshirns beraubte Thiere sitzen stets wie in sich versunken, wie schlafend da, und man ändert nichts an diesem Zustande, setzte man sie auch dem Verhungern nahe auf einen Berg von Nahrungsmitteln.

Flourens schloss hieraus, dass die Grosshirnhemisphären nicht der Sitz des unmittelbaren Principis (principe immédiat) der Muskelbewegungen, aber der einzige Sitz des Willens und der Empfindungen seien<sup>1)</sup>.

So befriedigend diese Versuchsreihe und die aus ihr gezogenen Schlüsse nun auch scheinen, so wenig lassen sich die gleich anzuführenden ferneren Resultate und Schlüsse Flourens mit auf anderen Wegen gewonnenen Erfahrungen vereinigen.

Wenn Flourens Thieren nur eine Hemisphäre abtrug, so wurden sie zwar auf dem Auge der gegenüber liegenden Seite blind, sie behielten aber ihre volle Willensherrschaft über sämtliche willkürliche Muskeln und nach Ueberwindung einer nicht einmal immer auftretenden Schwäche der gegenüberliegenden Körperhälfte unterschieden sie sich in nichts von nicht verstümmelten Thieren. Wenn er ferner anderen Thieren das Grosshirn scheinweise, sei es von vorn nach hinten oder von hinten nach vorn, sei es von oben nach unten oder von aussen nach innen, abtrug, so bemerkte er unter allen diesen Bedingungen eine gleichmässige allmähliche Abnahme der sinnlichen Wahrnehmungen und des Willens. Ueberschritt er aber eine

1) A. a. O. S. 35.

gewisse Grenze, so waren plötzlich alle diese der Seele zugeschriebenen Eigenschaften auf einmal erloschen und das Thier versank in den geschilderten traumhaften Zustand.

Ja noch mehr, wenn er mit der Abtragung an jener Grenze innehielt, so erlangte das Thier innerhalb weniger Tage die schon verlorenen Fähigkeiten wieder und konnte dann noch lange mit denselben seelischen Eigenschaften fortexistiren, als wenn es nichts von seiner Gehirnssubstanz eingebüsst hätte. Flourens schloss hieraus<sup>1)</sup>, dass die Hirnlappen mit ihrer ganzen Masse für die ungeschmälerte Ausübung ihrer Functionen eintreten, und dass es keinen gesonderten Sitz, weder für die verschiedenen Fähigkeiten, noch für die verschiedenen Wahrnehmungen gäbe. Er schloss ferner, dieses im Widerspruch mit dem ersten Schlusse, dass ein zurückgelassener Theil der Hemisphären den vollen Gebrauch sämtlicher Functionen wiedererlangen könne.

Am auffallendsten unter allen angeführten Versuchen ist jedenfalls der a. a. O. S. 101 unter II. beschriebene. Hier hatte Flourens einer Taube offenbar die ganze erreichbare Rinde des Grosshirns beider Seiten, also den gangliösen Theil abgetragen, den Theil, welchen man noch immer als den wesentlichen, als den die ersten Werkzeuge der Seele bergenden zu betrachten gewohnt war. Nichtsdestoweniger begann diese Taube schon vom 3. Tage an ihre seelischen Functionen wieder auszuüben, und am 6. Tage hatte sie Alles wiedererlangt, was ihr durch die Operation gänzlich genommen schien. — Gleichwohl hat man diese Versuche oder ihre Anwendbarkeit auf höhere Thiere noch wenig oder nicht angegriffen, und noch Schiff<sup>2)</sup> referirt darüber in demselben Sinne; wenn auch dieser Forscher wohl auf zu Tage liegende Verschiedenheiten in Bau und Function zwischen Thier- und Menschenhirn aufmerksam macht.

Es hatte sich also nach diesen und späteren, nur aus-

1) A. a. O. S. 99 u. 101.

2) A. a. O. S. 336.

bauenden Forschungen etwa folgende Ansicht über die centralen Stätten der Muskelbewegung gebildet:

In den meisten Theilen des Hirnstammes, dann auch hinab bis in das Rückenmark giebt es eine Anzahl von vorgebildeten Mechanismen, die einer normalen Erregung in ihrem Ganzen auf zwei Bahnen fähig sind. Die Eine verläuft von der Peripherie aus — die Bahn des Reflexes; die Andere strahlt vom Centrum her ein — die Bahn des Willens, der seelischen Impulse. Dieses Centrum liegt vermuthlich in der gangliösen Substanz der Grosshirnhemisphären, ohne dass jedoch die einzelnen Theile des psychischen auf die einzelnen Theile des organischen Centrum localisirt wären. Aber seine Erforschung, die Erforschung des wahrscheinlichen Sitzes, oder doch der nächsten Werkzeuge der Seele bleibt uns zunächst verschlossen, da das Substrat auf die uns geläufigen Reize mit keiner in die Erscheinung tretenden Reaction antwortet<sup>1)</sup>. — Was gegen diese Anschauungen von Seiten der klinischen Beobachtung etwa eingewendet werden konnte, wurde mit dem vielfach nicht ungerechten Hinweis auf die Mangelhaftigkeit und Vieldeutigkeit der Sectionen und auf die Einfachheit und Durchsichtigkeit jener Vivisectionen bald abgefertigt. Man führte endlich Fälle von angeborenem oder erworbenem Defect einzelner Hirnparthien ohne entsprechende Störung cerebraler Functionen zum Beweise an, wie unwesentlich doch das Hirn zum Leben sei.

Diese Anschauungen wurden selbst durch eine Reihe wohlconstatirter, andere Verhältnisse voraussetzender Thatsachen nur in beschränkten Kreisen allmählig modificirt. Seit lange (1825) war durch Bouillaud bekannt, dass der jetzt Aphasie benannte Symptomencomplex durch Zerstörung einer kleinen excentrischen Grosshirnpartie bedingt werden kann. In neuerer Zeit haben zahlreiche Autoren zur näheren Definirung dieses Satzes beigetragen. — Es existirt ferner eine nicht geringe

1) Vgl. hierzu die neuesten Lehrbücher der Physiologie, z. B. Ranke, Grundzüge u. s. w., S. 750 ff.; — L. Hermann, Grundriss, 3. Aufl. 1870. S. 426 und 436 f. u. s. w.

Zahl von Fällen in der Literatur, die im Leben Lähmung eines Armes, auch wohl eines Beines, bei der Section kleine Desorganisationen des Grosshirns zeigten. Leider ist aus den durch Andral<sup>1)</sup> von seiner bekannten Zusammenstellung gezogenen Summen nicht zu ersehen, wie viel derartige Fälle auf das Grosshirn selbst und wie viel auf seine grossen Ganglien kommen. Indessen muss man sich vollkommen dem anschliessen, was er am Ende dieser Betrachtung sagt:

„De ces faits comment ne pas conclure, que dans l'état actuel de la science on ne peut encore assigner dans le cerveau un siège distinct aux mouvemens des membres supérieur et inférieur? Sans doute ce siège distinct existe, puisque chacun de ces membres peut se paralyser isolément, mais nous ne le connaissons point encore.“

Dem wäre nur noch hinzuzufügen, dass man von den das Corp. striat. und den Thalam. optic. betreffenden Fällen abzu- sehen hat, sobald man diese Statistik zur Bestimmung des ersten Entstehungsortes der ausgefallenen Bewegung verwenden will, da in diesen beiden grossen Ganglien bereits Leitungsbahnen von den Hemisphären zur Peripherie gelagert sind. — Solche Thatsachen wiesen allerdings darauf hin, dass der Ursprung wenigstens einzelner seelischer Functionen an umschriebene Hirntheile geknüpft ist. Zu dem gleichen Schlusse kam auch Goltz dadurch, dass er von Fröschen, denen er das Grosshirn extirpirt hatte, noch einen in den Lobis opticus hausenden Rest von Intelligenz nachwies.

Der einzige, welcher auf Grund von anatomischen Untersuchungen, deren Möglichkeit freilich von Manchen angezweifelt wird, einen von der herrschenden Meinung durchaus abweichenden, aber ganz entschiedenen Standpunkt einnahm, war Meynert. Nach ihm zerfällt allerdings die als Heerd der Vorstellungen zu betrachtende Grosshirnrinde in viele mehr weniger umschriebene Gebiete, deren Bedeutung für die einzelnen Arten der Vorstellungen durch die in ihre Ganglienzellen ein-

1) Clinique médicale Paris 1834. T. V. p. 357 et suiv.



mündenden Nervenfasern seines sogenannten Projectionssystems bedingt wird.

Inzwischen werden durch die Resultate unserer eigenen Untersuchungen die Prämissen für viele auf die Grundeigenschaften des Grosshirns zu ziehende Schlüsse nicht wenig verändert.

Den Ausgangspunkt für diese Untersuchungen bildeten Beobachtungen, welche der Eine von uns am Menschen zu machen Gelegenheit hatte<sup>1)</sup>, und die die ersten durch directe Reizung der Centralorgane am Menschen hervorgebrachten und beobachteten Bewegungen willkürlicher Muskeln betreffen. Derselbe fand nämlich, dass man bei Durchleitung constanter galvanischer Ströme durch den hinteren Theil des Kopfes mit Leichtigkeit Bewegungen der Augen erhält, die ihrer Natur nach nur durch directe Reizung cerebraler Centren ausgelöst sein können. Insoweit nun diese Bewegungen nur bei Galvanisirung jener Kopfgegend auftreten, konnte man sie als bedingt durch Reizung der Vierhügel, worauf Manches hinwies, oder benachbarter Theile betrachten. Da indessen bei Anwendung gewisser, die Erregbarkeit erhöhender Kunstgriffe sich solche Augenbewegungen auch bei Galvanisirung durch die Schläfengegend zeigten, entstand die Frage, ob bei der letzteren Methode bis zur Basis vordringende Stromschleifen die Veranlassung der Augenbewegungen seien, oder ob das Grosshirn im Widerspruch mit der allgemeinen Ansicht doch elektrische Erregbarkeit besässe.

Nachdem ein vorläufiger Versuch des Einen von uns ein rücksichtlich des Kaninchens generell positives Resultat ergeben hatte, schlugen wir zur definitiven Lösung der letzteren Frage den folgenden Weg ein.

1) Hitzig: Ueber die galvanischen Schwindелеmpfindungen und eine neue Methode galvanischer Reizung der Augenmuskeln. Verhandl. der Berl. med. Gesellsch vom 19. Jan. 1870 in Berl. klin. Wochenschrift 1870 Nr. 11. Eine ausführliche Bearbeitung wird demnächst erfolgen.

Den bei den ersten Versuchen nicht narkotisirten, später aber narkotisirten Thieren, Hunden, wurde durch eine Trepankronen der Schädel an einer möglichst planen Stelle eröffnet. Dann wurde mit einer schneidenden, vorn gerundeten Knochenzange entweder die eine ganze Hälfte des Schädeldachs oder nur dessen den Vorderlappen bedeckender Theil entfernt. In den meisten Fällen wurde nach Benutzung der einen Hemisphäre mit der anderen Hälfte des Schädeldachs in genau derselben Weise verfahren. In allen diesen Fällen liessen wir jedoch, nachdem uns einmahl ein Hund aus einer leichten Verletzung des Sin. longitud. verblutet war, eine diesen Blutleiter schützende mediane Knochenbrücke vollkommen intact. Nun wurde die bis dahin unversehrte Dura leicht incidirt, mit der Pincette erfasst und bis zu den Knochenrändern vollständig abgetragen. Hierbei schon äussern die Hunde durch Schreien und charakteristische Reflexbewegungen lebhaften Schmerz. Später aber, wenn der Luftreiz erst längere Zeit eingewirkt hat, werden die Reste der harten Hirnhaut noch bei Weitem empfindlicher, ein Umstand, der bei Anordnung der Reizversuche auf das Sorgfältigste in Betracht gezogen werden musste. Die Pia konnten wir jedoch durch mechanische oder irgend welche andere Reize in jedem Grade beleidigen, ohne dass das Thier ein Zeichen von Empfindung von sich gab.

Die elektrischen Reizvorrichtungen waren in folgender Weise angeordnet: die Pole einer Kette von 10 Daniell gingen über einen Commutator nach zwei Klemmschrauben einer Pohl'schen Wippe, aus der das Kreuz entfernt war. An den beiden gegenüberliegenden Klemmschrauben mündeten die den Strom einer secundären Inductionsspirale zuführenden Leitungsdrähte. Von dem mittleren Klemmschraubenpaar führten zwei Drähte zu einem als Nebenschliessung eingeschalteten Rheostaten von 0—2100 S. E. Widerstand. Die Hauptschliessung setzte sich über einen du Bois'schen Schlüssel zu zwei kleinen, isolirten, walzenförmigen Klemmschrauben fort, die andererseits die Elektroden in Gestalt von sehr feinen, vorn mit einem ganz kleinen Knöpfchen versehenen Platindrähten trugen. Diese Platindrähte liefen durch zwei Korkstückchen, deren vorderes sie

nicht parallel, sondern in einem kleinen Winkel durchbohrten, so dass die Knöpfchen durch eine leichte Verschiebung schnell ihre Entfernung von einander ändern konnten. In der Regel betrug diese Entfernung etwa 2—3 Mm. Es war nothwendig, den Platindrähten einen nur geringen mechanischen Widerstand und die Knöpfchen zu geben, da sonst jede Unsicherheit der Hand, ja selbst die Respirationsbewegungen des Gehirnes sofort zu Verletzungen der weichen Masse des Centralorganes führten. —

Die benutzte Kette bestand aus Siemens-Halske'schen Pappémenten, die nach einer früher angestellten Untersuchung nicht die volle elektromotorische Kraft eines Daniell und je einen Widerstand von etwa 5 S. E. hatten. In der Regel war der Widerstand der Nebenschliessung nur niedrig, nemlich auf 30—40 S. E. bemessen. Die Stromstärke war dabei so gering, dass metallische Schliessung nur eben eine Gefühlssensation auf der mit dem Knöpfchen berührten Zunge hervorrief. Beträchtlich höhere Stromstärken, sowie die Ausschaltung der Nebenschliessung wurden nur zu Controllversuchen benutzt. — Bei den übrigens viel seltener vorgenommenen Reizversuchen mit dem Inductionsstrom hing der Widerstand der Nebenschliessung natürlich von der jedesmaligen Spiralenstellung ab. — Wir benutzten zu den meisten Versuchen ebenfalls einen Strom, der gerade eine Gefühlssensation auf der Zunge hervorbrachte. —

Unter Anwendung dieser Methode gelangten wir zu folgenden Resultaten, die wir als Ergebniss einer sehr grossen Zahl für das Gehirn des Hundes grösstentheils bis in die kleinsten Einzelheiten übereinstimmender Versuche vortragen, ohne alle diese Versuche selbst zu beschreiben. Bei der gegebenen genauen Beschreibung der Methode und bei Berücksichtigung der noch im Folgenden zu erwähnenden Momente, ist die Wiederholung unserer Versuche ohnedies so leicht, dass Bestätigungen nicht lange werden auf sich warten lassen. —

Ein Theil der Convexität des grossen Gehirnes des Hundes ist motorisch (diesen Ausdruck im Sinne von Schiff gebraucht) ein anderer Theil ist nicht motorisch.

Der motorische Theil liegt, allgemein ausgedrückt, mehr nach vorn, der nicht motorische liegt nach hinten. — Durch elektrische Reizung des motorischen Theiles erhält man combinirte Muskelcontractionen der gegenüberliegenden Körperhälfte.

Diese Muskelcontractionen lassen sich bei Anwendung ganz schwacher Ströme auf bestimmte, engbegrenzte Muskelgruppen localisiren. Auf stärkere Ströme betheiligen sich bei Reizung der gleichen oder sehr benachbarter Stellen sofort andere Muskeln und zwar auch Muskeln der correspondirenden Körperhälfte. Die Möglichkeit isolirter Erregung einer begrenzten Muskelgruppe ist indessen bei Anwendung ganz schwacher Ströme auf sehr kleine Stellen, die wir der Kürze wegen Centra nennen wollen, beschränkt. Ganz geringe Verschiebung der Elektroden setzt zwar in der Regel noch die gleiche Extremität in Bewegung; wenn indessen zuerst z. B. Streckung erfolgte, so ergibt die Verschiebung Beugung oder Rotation. Die zwischen den von uns so bezeichneten Centren liegenden Theile der Hirnoberfläche fanden wir zwar bei der beschriebenen Reizmethode und bei Verwendung der minimalen Stromstärke unerregbar. Wenn wir indessen entweder die Entfernung der beiden Elektroden von einander oder die Stromstärke vergrösserten, so liessen sich dennoch Zuckungen hervorbringen; aber diese Muskelcontractionen ergriffen den ganzen Körper derart, dass sich nicht einmal wohl unterscheiden liess, ob sie einseitig oder doppelseitig waren.

Beim Hunde ist die Oertlichkeit der bald näher zu bezeichnenden Centra sehr constant. Die genaue Constatairung dieser Thatsache unterlag zuerst einigen Schwierigkeiten. Wir haben dieselben indessen dadurch beseitigt, dass wir zuerst diejenige Stelle aufsuchten, die bei der geringsten noch erregenden Stromstärke die stärkste Zuckung der betreffenden Gruppe ergab. Dann senkten wir eine Stecknadel zwischen den beiden Elektroden in das Gehirn des noch lebenden Thieres ein und verglichen nach Herausnahme des Gehirns die einzelnen so markirten Punkte mit denen der Spirituspräparate früherer Versuche. Wie constant die gleichen Centra gelagert sind,

ergiebt sich am Besten aus der Thatsache, dass es uns zu wiederholten Malen gelungen ist, das gewollte Centrum ohne anderweite Eröffnung des Schädels im Mittelpunkt einer einzelnen aufgesetzten Trepankrone zu finden. Nach Abtragung der Dura zuckten die von dort abhängigen Muskeln mit derselben Sicherheit, als wenn die ganze Hemisphäre freigelegt gewesen wäre. Im Anfang freilich hatten wir auch bei ganz freiem Operationsfeld grössere Schwierigkeiten. Denn wenn auch freilich, wie bekannt, die einzelnen Hirnwindungen ganz constant sind, so zeigt doch ihre Entwicklung in ihren einzelnen Theilen und ihre Lagerung zu einander ganz bedeutende Verschiedenheiten. Es findet sich sogar eher als Regel, wie als Ausnahme, dass die correspondirenden Gyri der beiden Hemisphären desselben Thieres in einzelnen Theilen verschieden gebildet sind. Ausserdem ist einmal die mittlere Partie der Convexität mehr entwickelt, ein anderesmal sind es die nach vorn oder nach hinten gelagerten Theile<sup>1)</sup>. Rechnet man dazu die Nöthigung dem Gehirn in nicht geringer Ausdehnung seine Hüllen zu lassen, ferner die Verdunkelung des Bildes durch die jedesmal andere aber die Gyri meist undeutlich machende Gefässvertheilung, so wird man sich, wenn es nun leicht geht, über die anfänglich von uns gefundenen Schwierigkeiten nicht gerade wundern.

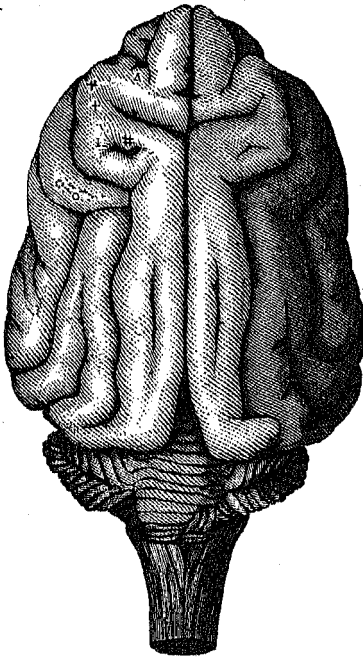
Um die Wiederholung unserer Versuche ferner zu erleichtern, geben wir nachstehende genauere Daten über die Oertlichkeit der einzelnen motorischen Centra, wobei wir uns der Nomenclatur von Owen<sup>2)</sup> anschliessen.

Das Centrum für die Nackenmuskeln (s.  $\Delta$  der Abbild.) liegt in der Mitte des praefrontalen Gyrus, dort wo die Oberfläche dieser Windung den steilen Abfall nach unten nimmt. Das äusserste Ende des postfrontalen Gyrus birgt in der Gegend des Endes der frontalen Fissur (s.  $\dagger$  der Abbild.) das Centrum für die Extensoren und Adductoren des Vorderbeines. Etwas nach rückwärts davon und mehr der Coronalfissur genähert

1) Vgl. hierzu auch Reichert: Der Bau des menschl. Gehirns. Leipzig 1861, Abthl. II, S. 77.

2) On the anatomy of vertebrates. Vol. III. London 1868, p. 118.

(s. + der Abbild.) liegen die der Beugung und Rotation des Gliedes vorstehenden Centralgebiete. Die Stelle für das Hinterbein (s. # der Abbild.) befindet sich ebenfalls im postfrontalen Gyrus, aber medianwärts von der für das Vorderbein und etwas mehr nach hinten. Der Facialis (s. ∞ der Abbild.) wird von dem mittleren Theile des supersylvischen Gyrus innervirt. Die betreffende Stelle übertrifft häufig an Ausdehnung 0,5 C<sup>m</sup>. und erstreckt sich von der Hauptknickung oberhalb der sylvischen Furche aus nach vor- und abwärts.



Wir müssen hinzufügen, dass es nicht in allen Fällen gelang, von der erstgenannten Stelle aus die Nackenmuskeln in Bewegung zu setzen. Die Rücken-, Schwanz- und Bauchmuskeln haben wir zwar oft genug von den zwischen den bezeichneten Punkten liegenden Partien aus zur Contraction gebracht,

indessen liess sich eine circumscribte Stelle, von der aus sie isolirt zu reizen waren, nicht mit Bestimmtheit feststellen. Die ganze nach rückwärts von dem Facialis-Centrum liegende Partie der Convexität<sup>1)</sup> fanden wir auch gegen ganz unverhältnissmässige Stromintensitäten absolut unerregbar. Selbst bei Ausschaltung der Nebenschliessung, also bei Einwirkung eines Stromes von 10 Daniell erfolgte keine Muskelzuckung.

Der Charakter der durch Reizung dieser motorischen Centren hervorgebrachten Zuckungen ist je nach Art der Reizung ein verschiedener. Die Reizung durch einfache metallische Schliessung des Kettenstromes giebt nur eine einfache, ziemlich schnell vorübergehende Zuckung. Wenn man, anstatt die Kette in ihrem metallischen Theile zu schliessen, dies durch Aufsetzen der Elektroden thut, so bedarf man zur Erzielung des gleichen Effects grösserer Stromstärken. Also auch hier gilt das Gesetz von du Bois-Reymond. Die metallische Wendung ergiebt stets einen *ceteris paribus* grösseren Reizeffect als die blosser Schliessung, ohne dass jedoch dabei zwei Zuckungen (die zweite für die Oeffnung) eintreten. Nicht selten zeigte sich aber bei dieser Art der Reizung auch Tetanus der betreffenden Muskelgruppe, namentlich wenn es sich um die Zehenbenger handelte, obwohl weitere Reizmomente nicht Platz griffen. — Hatte zuerst die eine Elektrode, sei es auch nur kurze Zeit, eingewirkt, so brachte gleich darauf die andere an derselben Stelle einen grösseren Reizeffect hervor als sie vorher und bald darauf vermochte.

Während nun dies ganz übereinstimmt mit dem, was man von den Eigenschaften peripherischer Nerven weiss, können wir aus einem gleich zu nennenden Grunde nicht unterlassen, auf ein hiervon abweichendes, übrigens physiologisch höchst interessantes Reizmoment kurz aufmerksam zu machen. Es

---

1) Wir vermeiden absichtlich die Bezeichnung nach Lappen, da beim Hunde weder eine deutliche Lappenbildung existirt, noch auch das, was man etwa dafür ansehen kann, den menschlichen Hirnlappen der Lagerung nach entspricht, endlich auch, weil man bisher so gut wie gar nicht weiss, welche Theile beim Hunde als bestimmten Theilen des Menschen adaequat zu betrachten sind.

handelt sich um ein durchaus constantes Vorwiegen der Anode. Ja es scheint so als ob innerhalb der minimalen Stromstärken nur die Anode Zuckungen auslöst. Wir haben zur Feststellung dieses Punktes, zunächst weil seine Kenntniss zur Erleichterung der Untersuchung sehr nothwendig ist, folgende Versuche gemacht und oft wiederholt.

1) Bei der gewöhnlichen Entfernung der Elektroden von einander wurde diejenige Stelle aufgesucht, von der aus man mit der minimalen Stromstärke Zuckungen auslöste, und um ganz sicher zu gehen, wurde erst mehrmals metallisch geschlossen. Alsdann wurde bei offener Kette der Strom gewendet, ohne dass die Elektroden ihren Platz veränderten und von Neuem geschlossen. Nun blieb die Zuckung aus. Wurde nun wieder geöffnet, gewendet, geschlossen, so war der Reizeffect etwas grösser als bei den ersten Schliessungen. Dies liess sich beliebig oft wiederholen. Wenn nun die eine oder die andere der Elektroden unter wiederholten Kettenschliessungen ihren Platz verliess, so konnte dies die Kathode sein, ohne dem Reizeffect Abbruch zu thun. Die Anode durfte sich aber nicht weit von dem Reizpunkt entfernen, ohne dass entweder Ruhe oder Zuckungen in anderen Muskelgruppen auftraten. —

2) Die Anode ruhte auf dem Streckcentrum, die Kathode auf dem Beugecentrum für die vordere Extremität. Schliessung gab Streckung, Wendung — (bei geschlossener Kette) Beugung, Wendung — Streckung, Wendung — Beugung und so fort. Es wurde also jedesmal das der Anode entsprechende Centrum erregt. —

Es hat Angesichts neuerer physiologischer Untersuchungen etwas recht Verlockendes, an diese Thatsache Betrachtungen über chemische Vorgänge bei der Nerventhätigkeit zu knüpfen. Indessen ziehen wir vor, uns dessen für jetzt zu enthalten. Die neuen Thatsachen, welche sich uns bei dieser Untersuchung zeigten, sind so mannigfaltig, und ihre Consequenzen erstrecken sich nach so vielen Richtungen hin, dass es für die Sache wohl von geringem Vortheil wäre, alle diese einer genauen Durchforschung bedürfenden Pfade auf einmal wandeln zu wollen.

Hier müssen wir noch anfügen, dass bei etwas längerer Kettenschliessung die stärker erregende Wirkung des Wechsels der Elektroden sich auch in folgender Art äussert. Hatten wir eine Zuckung hervorgebracht, dadurch dass die Anode sich auf einem Centrum, die Kathode auf einer bei der benutzten Strom-



stärke indifferenten Stelle befand und liessen wir die Kette etwas länger geschlossen, so löste manchmal nach vorgängiger Oeffnung die Schliessung des gewendeten Stromes eine einzelne, sehr selten eine einmal wiederholte Zuckung aus. Das heisst nach etwas längerer Einwirkung der Anode reagirt die centrale Nervensubstanz eine kurze Zeit lang selbst bei minimalen Strömen auch auf die Kathode. Man muss für diesen Versuch aus mehreren Gründen nur ganz schwache Ströme verwenden, namentlich auch weil stärkere Ströme durch Elektrolyse die Substanz sofort zerstören. —

Bei der Reizung mit tetanisirenden Inductionsströmen sind die Reizeffecte ihrer Art nach nicht ganz so constant. Häufig treten tonische Contractions der betreffenden Muskelmassen ein, die erst nach längerer Zeit in ihrer Intensität nachlassen. Häufig ist ein anfängliches Contractionsmaximum vorhanden, dem schon nach secundenlanger Dauer des Stromes ein so beträchtlicher Nachlass folgt, dass man die Contraction für ganz erloschen halten könnte, wenn nicht im Momente der Oeffnung noch eine geringe Bewegung im Sinne der nachlassenden Contraction erfolgte. Zu diesen Verschiedenheiten, sowie zu einigen gleich zu erwähnenden Erscheinungen scheint die Individualität des Versuchstieres — seine grössere oder geringere Reizbarkeit in ursächlichem Verhältniss zu stehn.

Bei anhaltender Verwendung stärkerer Ströme nämlich treten wohl Symptome der Erschöpfung auf — die Erforderniss stärkerer Ströme zur Erzielung desselben Effects, auch wohl gänzliches Ausbleiben der Zuckungen. Sehr oft kommt es dabei zu blutigen Suffusionen der Rindensubstanz. Häufiger jedoch beobachtet man namentlich auch nach schwachen Strömen eine Reihe von Erscheinungen, denen der entgegengesetzte Sinn untergelegt werden muss.

Eduard Weber<sup>1)</sup> hatte bereits angegeben, dass nach Oeffnung eines das Froschrückenmark tetanisirenden Stromes Nachbewegungen in allen Körpermuskeln eintreten. Diese Thatsache scheint ganz in Vergessenheit gerathen zu sein.

---

1) R. Wagner's Handwörterb. d. Physiol. Bd. III, Abth. II, S. 15.

Wenigstens sollten wir meinen hätte sie sonst von den Vertheidigern der Erregbarkeit des Rückenmarks wohl als ein Argument benutzt werden können.

Etwas ganz Aehnliches findet sich nun nach Tetanisiren der Hirnsubstanz. Schon nach einer Reizung von wenig Sekunden Dauer treten Nachbewegungen in der abhängigen Musculatur ein, die im Gebiet des Facialis einen deutlich zitternden Charakter tragen. Die Extremitäten zeigen mehr das Bild klonischer Krampfbewegungen — Unterschiede, die jedenfalls von der verschiedenen Art der Muskelanheftung abhängig sind. Diese localen Krampfanfälle können sich, auch wenn man dem Gehirn Ruhe lässt, mehrfach wiederholen. In einzelnen Fällen traten sie auch nach Misshandlung der Hirnsubstanz mit Schliessungen des Kettenstromes auf. In der Regel wurden sie aber nach Reizung mit diesen Strömen nicht beobachtet. Bei zweien unserer Versuchsthiere bildeten sich aus diesen Nachbewegungen wohlcharakterisirte epileptische Anfälle heraus. Der Anfall begann halbseitig mit Zuckungen in der vorher gereizten Musculatur, breitete sich aber dann auf alle Körpermuskeln aus, so dass es zu einem vollständigen Strecktetanus kam. Die Pupillen waren dabei ad maximum erweitert. Eins von den Thieren hatte zwei, das andere drei solcher Anfälle. Man könnte einwenden, dass die Hunde schon früher epileptisch gewesen seien. Der eine Hund hatte sich aber bereits 6 Jahre lang bei derselben Herrin befunden, ohne je an Krämpfen gelitten zu haben. Die Antecedentien des anderen blieben unbekannt. —

Wir gehen nun zur Wiederlegung der Einwände über, die man gegen unsere Versuche erheben könnte.

Der erste Einwand, der bei elektrischen Reizversuchen immer von Sachverständigen<sup>1)</sup> und nicht Sachverständigen vorgebracht wird, stützt sich auf die Stromschleifen, welche zu

1) Uebrigens dürfte es für den einen oder den anderen Leser nicht überflüssig sein, zu bemerken, dass unter den vielen Aerzten, denen wir unsere Versuche demonstrirt haben, sich auch mehrere gerade in dieser Beziehung sehr competente Fachgelehrte befanden, z. B. die Herren Prof. Nasse (Marburg) und Munk (Berlin).

entfernteren Theilen gelangen können. Dieser Einwand ist, wenn wir von der Frage absehen, ob Rinden oder Marksubstanz des Grosshirns erregbar seien, leichter als irgend ein anderer zu beseitigen. Einmal waren die von uns zu den beweisenden Experimenten verwandten Ströme überhaupt nur schwach. Da aber die Substanz des Gehirns einen sehr grossen Widerstand besitzt, da ferner andere, leitende Theile nicht in der Nähe lagen, da endlich die Entfernung der Elektroden von einander nur gering war, so konnte nach den Gesetzen der Stromvertheilung in nicht prismatischen Leitern die Stromdichtigkeit schon in sehr geringer Entfernung von den Einströmungsstellen nur eine minimale sein. Dies würde schon a priori den fraglichen Einwand hinreichend widerlegen. Indessen haben wir noch eine ganze Reihe directer Beweise für uns. Sollten die Stromschleifen erstens zu den peripherischen Nerven gelangen, so lagen ihnen immer die Nerven der gleichnamigen Seite näher, und sie hatten nicht den entferntesten Grund sich ausschliesslich zu der anderen Seite zu begeben. Ferner lagen ihnen noch sehr viel näher als irgend welche andere in Frage kommende Nerven, die motorischen Augenerven derselben Seite. Der so bewegliche, so im labilen Gleichgewicht balancirte Bulbus bildet ohne Präparation zu erfordern das vorzüglichste physiologische Rheoskop, er würde sich auch bei minimalen Stromschleifen viel eher bewegen, als eine Vorderextremität, von den Hinterextremitäten gar nicht zu reden. Es giebt aber an der ganzen Convexität, so weit man sie freilegen kann, nicht eine einzige Stelle, von der aus man selbst mit stärkeren als die von uns gewöhnlich benutzten Ströme irgend eine Bulbus-Bewegung erzielen kann. Hiermit wäre auch ein Theil derjenigen Frage, welche den Einen von uns zur Aufnahme dieser Untersuchungen veranlasste, erledigt.

Endlich führen wir noch eine Thatsache von hohem physiologischen und pathologischen Interesse an. Es ist die, dass mit der Verblutung die Erregbarkeit des Gehirns ungemein schnell sinkt, um schon vor dem Tode fast ganz zu erlöschen. Unmittelbar nach dem Tode ist sie auch gegen die stärksten

Ströme sofort ganz verloren, während Muskeln und Nerven noch vortrefflich reagiren. — Dies scheint uns zu erfordern, dass Versuche über die Erregbarkeit der Centralorgane bei ungestörter Circulation vorgenommen werden. —

Man könnte zweitens meinen, wenn auch nicht peripherische Nerven oder das Rückenmark, von dem genau dasselbe zu sagen wäre, wie von jenen, so würden doch andere Hirnprovinzen als die grossen Hemisphären von Stromschleifen getroffen. Wenn sich dies so verhielte, so würde auch der Nachweis der elektrischen Erregbarkeit anderer Hirnprovinzen ein wichtiger Fund sein. Denn auch von den Meisten unter ihnen wird ja gegenwärtig allgemein behauptet, dass sie der directen Erregung unzugänglich seien. Indessen verhält es sich, wie selbst für die elektrische Reizung bewiesen werden kann, eben nicht so. Diejenigen Theile, denen überhaupt, wenn auch von wenigen Forschern, directe Erregbarkeit vindicirt worden war, sind hinterer Theil (Cauda) des Corp. striatum, Thalam. optic., Hirnschenkel, Vierhügel, Brücke. Sehen wir zunächst einmal vom Corp. striatum ab, so liegen die sämtlichen übrigen eben angeführten morphologischen Bestandtheile des Gehirns so weit nach hinten, dass sie alle bei Frontalschnitten erst getroffen werden, wenn man nach rückwärts bei den nicht mehr reagirenden Theilen des Grosshirns anlangt. Einzig ausgenommen ist das Corpus striat., dessen Cauda gleichwohl auch schon im Bereich der unerregbaren <sup>1)</sup> Zone liegt. Es wäre also möglich, dass gerade der vordere oder mittlere Theil dieses Ganglion, der Theil welcher unerregbar sein sollte, erregbar und die Ursprungsstätte unserer Reizeffecte wäre. Von vornherein war Letzteres schon darum unwahrscheinlich, weil bei gleicher Stromstärke die Zuckungen schon aufhörten, sobald die Elektroden um wenige Millimeter ihren Ort veränderten. Denn wenn man durch die beiden gedachten Einströmungsstellen und einen senkrecht unter ihrer Verbindungslinie liegenden Punkt im Corp. striat. gerade Linien legt, so erhält man ein gleichseitiges Drei-

1) Unerregbar nennen wir hier ohne Präjudiz alle diejenigen Gebiete, von denen aus keine Zuckungen hervorzubringen sind.

eck, dessen gleiche Seiten Strombahnen des geringsten Widerstandes abgeben würden. Da nun der Widerstand beider annähernd gleich sein muss, so müsste *ceteris paribus* auch der Reizeffect derselbe sein, was nicht der Fall ist.

Nicht zufrieden mit diesen, wenn auch schlagenden aprioristischen Beweisen betreten wir auch den Weg des directen Beweises. Zu diesem Zwecke gaben wir Carlsbader Insectennadeln eine dichte isolirende Hülle dadurch, dass wir sie wiederholt in eine Lösung von Gutta percha in Chloroform tauchten. Nur die Spitze und der Kopf wurde leitend erhalten. Senkten wir diese Nadeln nun in den nach rückwärts gelegenen Theil des Grosshirns ein, so erhielten wir selbst bei unendlich viel stärkeren Strömen keine Spur einer Zuckung, bis die dann mehrere Ctm. tief eingedrungenen Rheophoren die Hirnschenkel berührten. Dann aber bekam das Thier unter einem heftigen Sprunge allgemeine MuskelerSchütterungen. Anders wenn in gleicher Weise die vordere Hälfte des Hirns erregt wurde. Hätte man anzunehmen, dass bis zum Corp. striat. gelangende Stromschleifen die bei oberflächlicher Reizung auftretenden Zuckungen auslösten, so müssten die Letzteren beim Eindringen der Elektroden sich einfach allmählich verstärken. Dies war indessen nicht der Fall, sondern die Zuckungen erstreckten sich vielmehr auf andere Muskeln und zeigten überhaupt ein anderes Verhalten, worauf jetzt nicht näher eingegangen werden soll. Folglich lässt sich mit Bestimmtheit annehmen, dass weder das genannte Ganglion noch die den Hirnstock zusammensetzenden Gebilde an den von der Convexität aus erregten Zuckungen einen Antheil hatten.

Ein anderer Einwand, der erhoben werden könnte und der gegen alle früheren erfolgreichen Reizversuche an den Centralorganen (Rückenmark, Hirnstock) erhoben worden ist, würde sich auf reflectorisches Zustandekommen der Contractionen stützen. Auch dieser Einwand lässt sich durch schlagende Beweise entkräften.

Reflexe könnten ausgelöst werden durch die Nerven der Dura und die der Pia mater, denn vor Erregungen benachbarter Nerven der Schädelbedeckungen waren wir durch aus-

giebige Freilegung der Hirnoberfläche geschützt. Ausserdem lagen an dem einen Wundrande die theilweise abgelösten temporalen Muskelmassen. Diese ihre Erregbarkeit wohl bewahrenden Gebilde hätten uns schon schwache Stromschleifen sofort verrathen müssen. Sensible Fasern im Grosshirn selbst sind aber noch nicht nachgewiesen oder überhaupt angenommen worden. Auch giebt die gänzliche Unempfindlichkeit seiner Substanz nicht den geringsten Anhaltspunkt für eine solche Annahme.

Was nun die Dura angeht, so haben wir schon oben<sup>1)</sup> angeführt, dass ihr eine gewisse Empfindlichkeit schon im physiologischen Zustande innewohnt, dass dieselbe sich aber nach Eröffnung der Schädelkapsel sehr schnell steigert. Es empfiehlt sich deshalb auch, hurtig zu operiren, weil anderenfalls das Versuchsthier, selbst wenn es festgebunden ist, durch die gewaltigsten Sprünge die Schonung der Hirnsubstanz bei Abtragung dieser Membran sehr erschwert. Hat man sie aber einmal bis zu den Knochenrändern abgetragen, so ist man vor Reflexen von ihren Nerven aus hinreichend geschützt. Wir versicherten uns dessen auf verschiedene Weise. Erstens lösten wir bei unseren Reizversuchen ja gekreuzte Zuckungen aus, während Reflexe immer zuerst auf derselben Seite auftreten (Pflueger). Zweitens hörten die Zuckungen bei geringer Ortsveränderung aber bei gleicher Entfernung von den Resten der Dura auf. Drittens hörten sie selbst dann auf, wenn wir der Dura näher rückten, vorausgesetzt dass wir nicht gerade motorische Centra trafen. Ja wir erhielten, immer unter der zuletzt genannten Voraussetzung, nicht einmal Zuckungen, wenn die Elektroden dicht an der Dura aber noch auf der Hirnsubstanz standen. Berührten wir jedoch viertens die Dura selbst, so traten in vielen Fällen, auch wenn kein Strom sie durchfloss, auf den elektrischen Reiz aber immer die heftigsten Reflexbewegungen in einer höchst charakteristischen Form auf. Diese sahen aber ganz anders aus, wie unsere anderweiten Reizeffecte. Zunächst trugen sie immer das Bild der Zweckmässigkeit; Zu-

1) In Uebereinstimmung mit Longet u. A.

rückwerfen des Kopfes, Contractionen der Rückenmuskeln, Geschrei und Winseln selbst in der Morphinum-Narkose, selten Bewegungen der Extremitäten. Ganz anders das Bild unserer Reizversuche. Hier liegen häufig selbst nicht narkotisirte Thiere unbeweglich, gleichgültig da, während wir bald eine vordere, bald eine hintere Extremität durch den elektrischen Reiz in Bewegung setzen.

Die Pia kann man freilich nicht in gleicher Weise zurückpräpariren; im Gegentheil muss man mit ihr so schonend wie möglich umgehen. Denn die Verletzung eines einzigen ihrer zahllosen, strotzenden Gefässe überströmt das Operationsfeld mit Blut und kann den ganzen Versuch scheitern, das Thier nutzlos geopfert sein lassen. Indessen hindert dies nicht den Beweis ihrer Unwesentlichkeit für das Zustandekommen unserer Reizeffecte. Abgesehen von allen den Gründen, die wir schon gelegentlich der Besprechung der Dura anführten, ist Folgendes mehr als genügend. Wir fanden die Pia (wie auch Longet u. A.) unempfindlich. Wir umschnitten sie über einem motorischen Centrum mit Schonung der grösseren Gefässe, ohne dass der Reizeffect sich änderte. Wir trugen sie an einer solchen Stelle ab — die Zuckungen blieben nie aus. Wir stachen isolirte Nadeln in die Hirnsubstanz ein, auch dann noch zuckten die Muskeln, wenn es im Bereich der motorischen Sphäre geschah, sie zuckten unter keiner von allen diesen Bedingungen, wenn wir die hintere Grenze dieser Sphäre überschritten. Es dürfte übrigens von Interesse sein, an dieser Stelle einzuschalten, dass weder die Morphinum- noch die Aether-Narkose einen wesentlichen Einfluss auf das Gelingen der Versuche hat.

Endlich wird man fragen, wie es denn kam, dass so viele frühere Forscher, darunter die glänzendsten Namen, zu entgegengesetzten Resultaten gelangten. Hierauf haben wir nur eine Antwort: „Die Methode schafft die Resultate.“ Es ist unmöglich, dass unsere Vorgänger die ganze Convexität freigelegt haben, denn sonst hätten sie Zuckungen erhalten müssen. Die hintere seitliche Wand des Schädeldachs des Hundes, unter der allerdings keine motorischen Theile liegen, empfiehlt sich durch ihre Formation für das Aufsetzen der ersten Trepan-

krone. Hier begann man wahrscheinlich die Operation und versäumte nach vorn aufzubrechen, indem man von der irrigen Ansicht ausging, dass die einzelnen Felder der Oberfläche gleichwerthig seien. Man fusste auf der Eingangs entwickelten, noch heut weit verbreiteten Annahme von der Allgegenwärtigkeit aller seelischen Functionen in allen Theilen der Grosshirnrinde. Hätte man an eine Localisation der seelischen Functionen auch nur gedacht, so würde man die scheinbare Unerregbarkeit einzelner Theile des Substrats als etwas Selbstverständliches betrachtet und keinen seiner Theile ununtersucht gelassen haben. Denn dass wir mit unsern Reizen Vorstellungen zu erwecken oder doch etwa erweckte am viviseirten Thiere zur Anschauung zu bringen vermöchten, hat wohl keiner der bisherigen Forscher vorausgesetzt.

Dies führt uns zur Besprechung einer Frage, die wiewohl unberechtigter Weise an uns gerichtet werden könnte. Man könnte die Erklärung der Beobachtungen von uns verlangen, die in hinreichender Zahl über chirurgische Verletzungen des Gehirns ohne Störung irgend welcher Function vorliegen<sup>1)</sup>. Es wäre zunächst gar nicht unsere Sache, diesen anscheinenden Widerspruch zu lösen. Denn ehe diese Verpflichtung uns obläge, müsste man uns nachweisen, dass gerade die Parteen, von denen wir reden, verletzt oder verloren waren — ein etwas schwieriges Unternehmen. Von anderen Theilen der Convexität wissen aber weder wir noch Andere etwas Genaueres; ausgenommen etwa das, was man von der dritten Stirnwindung weiss und das spricht gerade für uns. Wie gesagt, der Wider-

---

1) Auch der Eine von uns (Hitzig) hat einen solchen Fall während seiner Thätigkeit als dirigirender Arzt am allgemeinen Garnisonlazareth zu Berlin im Jahre 1866 beobachtet. Einem Soldaten (Angelmeier) war ein Granatsplitter genau in die Glabella gedrungen und hatte dort ein dreieckiges Loch gemacht. Aus diesem Loche entleerte sich während wenigstens 14 Tagen immerwährend Gehirns substance. Schliesslich heilte die Wunde von selbst zu. Sehr geistreich war dieser Kranke nicht, im Gegentheil schien er trägen Verstandes. Da man ihn indessen vorher nicht gekannt hatte, so war nicht zu entscheiden, ob er nicht von Natur geistig arm war. Grobe motorische oder sensible Störungen bot er jedenfalls nicht dar.



spruch ist nur ein scheinbarer, die Theile des Grosshirns sind nicht gleichwerthig.

Es scheint uns weiterhin sehr am Platze, an folgende diesen Punkt vollkommen treffende Bemerkung Griesinger's<sup>1)</sup> zu erinnern.

„Gegen die meisten dieser Beobachtungen liessen sich mancherlei Bedenken erheben. In fast allen Fällen ist nur die Intelligenz im engeren Sinne beachtet, die Gemüthsbeschaffenheit und der Willenszustand ganz unbeachtet geblieben, und auch an die Intelligenz wurden gewöhnlich nur die geringsten Anforderungen gemacht, z. B. die Beantwortung einfacher, ärztlicher Fragen, um sie für unverletzt zu erklären. In keiner dieser Beobachtungen ist die Intelligenz in ihrem ganzen Umfange geprüft worden, und in vielen derselben, nämlich in allen Hospitalbeobachtungen war eine Vergleichung des Geisteszustandes nach der Erkrankung oder dem Substanzverluste mit dem früheren schlechterdings unmöglich u. s. w.“

Griesinger hat hier, wie es seine Materie erheischt, lediglich den psychischen Zustand im Auge. Genau das, was er von der Erforschung des Zustandes der Seele verlangt, können wir mit noch grösserem Recht rücksichtlich somatischer Functionen fordern. Wo sind die Untersuchungen über Muskeleigenschaften oder die Qualitäten des Tastsinnes, die gerade hier mehr am Platze wären, als an manchen anderen Orten, an denen sie, ein wissenschaftlicher Humbug, nur dazu dienen, harmlosen Lesern Sand in die Augen zu streuen! Wie wohlbegründet diese unsere Forderung ist, das werden einige Versuche lehren, von denen im Folgenden noch die Rede sein wird. —

Blicken wir nun auf die bisherigen Resultate unserer Untersuchungen zurück und fragen wir uns, was durch dieselben an Kenntniss der Eigenschaften des Centralorgans gewonnen ist, so liegt uns die Pflicht ob zu unterscheiden zwischen dem, was mit Recht als sicher gefolgert werden darf, und dem was nur wahrscheinlich gemacht worden ist.

1) Die Pathologie und Therapie der psychischen Krankheiten. 2. Aufl., Stuttgart 1861, S. 4.

Als einen sicheren Erwerb können wir die zweifellos bewiesene, in jedem Augenblick zu reproducirende Thatsache bezeichnen, dass auch centrale Nervenorgane zunächst auf einen unserer Reize mit einer in die Erscheinung tretenden Reaction antworten. Dies allein hätte schon eine nicht geringe principielle Bedeutung für die Physiologie, insofern damit der Widerspruch in der Definition beseitigt wird, auf den neuerdings Fick mit Recht hingewiesen hat und an den der Anfang dieser Arbeit anknüpft.

Ebenso sichergestellt ist die Thatsache, dass ein beträchtlicher Theil der die grossen Hemisphären zusammensetzenden Nervenmassen, man kann sagen fast ihre eine Hälfte, in unmittelbarer Beziehung zur Muskelbewegung steht, während ein anderer Theil offenbar wenigstens direct nichts damit zu schaffen hat. So einfach, so selbstverständlich dies nun scheinen mag, so wenig war man bisher hierüber in's Klare gekommen. Wir beziehen uns zu diesem Zwecke auf das gelegentlich des historischen Ueberblicks Gesagte. Sprach man von solchen Centren im Gehirn, so wurden noch in neuester Zeit nur basale Theile, Pons, Thalami u. s. w. angeführt<sup>1)</sup>, und bei der Erklärung jener Sectionsbefunde hielt man sich vorsichtig in möglichst allgemeinen Ausdrücken. Nur wenige Gehirnanatomen, unter denen namentlich Meynert zu nennen, hatten sich bisher, allerdings in anderer Weise als Gall, für eine strenge Localisation der einzelnen psychischen Facultäten ausgesprochen.

Werfen wir jedoch die Frage auf, ob die von uns ausgelösten Reizeffekte durch directe Einwirkung auf diejenigen Centren der grauen Rinde, in denen der motorische Willensimpuls entsteht, hervorgebracht werden, oder ob man an Reizung der Markfaserung zu denken hat, oder ob noch ein Drittes möglich ist, so muss unsere Antwort bei Weitem reservirter gehalten werden.

---

1) Vergl. z. B. Griesinger a. a. O. S. 4 und viele andere Autoren, doch auch derselbe S. 23.

Nehmen wir selbst an, der Beweis für Auslösung der fraglichen Bewegungserscheinungen durch die gangliöse Substanz sei geliefert — und er ist es nicht — so wäre damit noch nicht bewiesen, dass nun bei denjenigen Bewegungserscheinungen, die durch inneres Geschehen frei werden, grade dieser Theil der Rinde das Substrat abgiebt für das erste nach aussen gerichtete Glied in der Kette, welche beginnt mit dem ersten Entstehen eines sinnlichen Eindrucks, und ihr vorläufiges Ende findet mit dem als Muskelbewegung erscheinenden Ausdruck des Wollens.

Es ist vielmehr nicht undenkbar, und kann namentlich durch das, was wir in anatomischer Beziehung über den anastomosirenden Bau dieser Theile wissen, nicht ausgeschlossen werden, dass der Hirntheil, welcher die Geburtsstätte des Wollens der Bewegung einschliesst, noch ein anderer oder vielleicht ein vielfacher ist, dass die von uns Centra genannten Gebiete nur Vermittler abgeben, Sammelplätze, auf denen ähnliche aber zweckmässigere Anordnungen der Muskelbewegungen geschehen, als in der grauen Substanz des Rückenmarks und der Hirnbasis. In wie weit sogar eine gewisse physiologische Berechtigung, dieser Anschauung einen Platz zu lassen, von uns aufgedeckt ist, werden wir bald sehen.

Nachdem wir in dieser Zurückhaltung den rein psychologischen Möglichkeiten den weitesten Spielraum gegönnt haben, und wir heben dies ausdrücklich hervor, wenden wir uns zu der Erörterung der Frage nach dem Werth der grauen und der weissen Substanz für das Zustandekommen der von uns beschriebenen Reizeffecte. Wird die Frage in dieser Form gestellt, so dürfte es zu einem Theil bereits jetzt möglich sein sie befriedigend zu beantworten. Wollte man aber statt der allgemeineren Begriffe graue und weisse Substanz die Worte Fasern und Zellen sich einander gegenüberstellen, so liesse sich auch die Möglichkeit einer Lösung bisher nicht absehen. Denn da sich in der grauen Substanz Fasern und Zellen untrennbar mischen, ist eine isolirte Untersuchung der einzelnen morphologischen Bestandtheile unausführbar. Selbst wenn also der directe Beweis der Erregbarkeit auch für die graue Substanz

geführt worden wäre, würde man immer noch einwenden können, dass nicht die Ganglienzellen, sondern die zwischen ihnen verlaufenden Nervenfasern dieser Substanz den eigentlich erregten Theil abgäben. — Für den Augenblick steht die Frage so, dass wir durch die oben angeführten Versuche über das Einstechen isolirter Nadeln die Erregbarkeit der Marksubstanz hinlänglich bewiesen haben. Da nun die wesentlichen nervösen Bestandtheile der Marksubstanz — die Nervenfasern — sich mit den gleichen anatomischen Eigenschaften in die Rindensubstanz fortsetzen, liegt kein Grund vor eine wesentliche Aenderung ihrer physiologischen Eigenschaften eher anzunehmen als ihre anatomische Continuität durch neue Gebilde unterbrochen wird. Aus diesem Grunde lässt sich die Erregbarkeit eines Theiles der Fasern, auch der Rinde, mit Recht voraussetzen. Ob dieselben nur allein oder ob auch die Zellen erregbar sind, das ist, wie gesagt, mit den bisherigen Mitteln nicht hinlänglich sicher zu entscheiden.

Gleichwohl lässt sich auf indirectem Wege ein einigermaßen wahrscheinlicher Schluss auf die Function, wenn auch nicht auf die Erregbarkeit des zelligen Theiles der Rinde ziehen. Wir sahen bei Beschreibung unserer Experimente, dass auf die minimale Stromstärke Muskelcontractionen nur eintreten, wenn die Elektroden sich auf ganz bestimmten Stellen befinden und dass sie aufhören oder in andern Muskeln erscheinen, wenn die Elektroden sich von den gedachten Stellen auch nur um ein Geringes entfernen. Dies Verhalten lässt nur zwei Möglichkeiten zu. Entweder der Reiz wird durch die in unmittelbarer Nähe der Elektroden liegenden Ganglienzellen selbst aufgenommen und durch sie in Muskelbewegung umgesetzt, oder gerade an diesen Stellen treten reizbare Markfasern besonders nahe an die Oberfläche, so dass sie für die Erregung besonders günstig gelagert sind. Da nun kein anderer Grund zu erkennen ist, wegen dessen die fraglichen Markfasern sich gerade hier den Ganglienzellen am Meisten nähern sollten, als um ihrem Schicksale, in jene einzutreten, entgegenzugehen, so kann man allerdings annehmen, dass gerade jene Gangliennassen

zur Production organischer Reize für gerade jene Nervenfasern bestimmt sind.

Ob nun eine gewisse gewöhnlich zusammenwirkende Summe dieser organischen Reize genau dieselbe Bewegungsäusserung hervorbringt wie unser elektrischer Reiz, das lässt sich durch die bisher angewendeten Methoden ganz und gar nicht entscheiden. Denn die einfache Lehre von den specifischen Energien genügt hier nicht, wir müssen vielmehr für die gefundenen neuen Thatsachen einen neuen Gesichtspunkt entwickeln. Wir haben hier nicht Nervenfasern, die geraden Weges zum Endorgan verlaufen, sondern ehe von der centralsten Stelle des Grosshirns entspringende Fasern dorthin gelangen können, haben sie erst eine Anzahl von mehr und mehr peripher gelegenen Stationen zu passiren, in deren jeder ihre frei gewordenen Spannkkräfte in einer bestimmten, nicht genauer bekannten Weise umgesetzt werden, damit daraus das werde, was wir eine zweckmässige Bewegung nennen. Es ist nun selbstverständlich, dass wir durch einen auf irgend einem Punkte dieser Bahn angebrachten Reiz höchstens nur das zur Anschauung bringen können, was auf der mehr peripher gelegenen Strecke und den mehr peripher gelegenen Stationen vor sich zu gehen pflegt, während die Functionen der centraleren Stationen sich der Beobachtung entziehen. Ja selbst dies lässt sich nur mit einer gewissen Beschränkung aussprechen, insofern als zur Hervorbringung einer bestimmten Bewegungsmodalität die Erregung einer grösseren Summe von Fasern erforderlich ist, die gleichwohl in den Centralorganen nicht so bequem beisammen liegen, als im Stamm eines peripheren Nerven. Indessen giebt es einen anderen Weg, die Frage nach der Bedeutung der einzelnen Theile der Rinde experimentell zu lösen; es ist die Exstirpation circumscripiter und genau bekannter Theile derselben. Auch diesen langwierigen Weg haben wir in folgender Weise zu betreten begonnen.

Zwei Hunden wurde, nachdem die Weichtheile zurückpräparirt waren, der Schädel durch eine Trepankrone an der Stelle eröffnet, wo wir das Centrum für die rechte vordere Extremität vermutheten. Wir wählten das Centrum für eine Extremität,

weil an einer solchen etwaige motorische Erscheinungen am deutlichsten hervortreten mussten, und wir wählten nicht das Centrum für die hintere Extremität, weil dessen Lage uns möglicherweise der Eröffnung des Sin. longitudin. ausgesetzt hätte. Alsdann wurde die Dura der freigelegten Stelle entfernt, es wurde durch elektrische Reizung festgestellt, dass wir die gewollte Stelle getroffen hatten, die Pia wurde soweit als erforderlich umschnitten und nun mit einem feinen Scalpellstiel ein wenig von der Rindensubstanz herausgehoben. In dem einen Falle war das entfernte Stück etwa so gross wie eine kleine Linse, in dem andern Falle etwas grösser. Dann wurde die Hautwunde durch Knopfnäthe vereinigt. In dem ersten Falle hatte das Thier bei der ganzen Operation nur einige Tropfen Blut verloren, in dem andern Falle war die Blutung nicht unbedeutend. Der erste Fall heilte per primam, der andere Fall nicht. Beide Versuchsthiere boten aber nur dem Grade nach verschiedene Symptome dar. Der Art nach war ihr Krankheitsbild rücksichtlich der motorischen Störungen so conform als möglich. Diese vollkommene Uebereinstimmung der Resultate beider Versuche und deren Wichtigkeit für sämtliche aus unsern andern Versuchen entspringenden Anschauungen veranlasst uns, ihrer schon hier Erwähnung zu thun, obwohl wir vor irgend einer Publication gern noch mehr gleichlautende Erfahrungen gesammelt hätten. Die Nothwendigkeit dieser Arbeit einen vorläufigen Abschluss zu geben, verhinderte uns bisher daran, und im Uebrigen wird man sehen, dass für die von uns ad hoc zu ziehenden Schlüsse schon ein einziger gelungener Versuch genügt.

Beide Versuchsthiere zeigten nun unmittelbar nach der in der Morphinum-Narkose vorgenommenen Operation etwas allgemeine Schwäche, die bald vorüberging. Dann aber beobachtete man in Kurzem Folgendes:

I. Beim Laufen setzten die Thiere die rechte Vorderpfote unzweckmässig auf, bald mehr nach innen, bald mehr nach aussen als die andere, und rutschten mit dieser Pfote, nie mit der anderen, leicht nach aussen davon, so dass sie zur Erde

fielen. Keine Bewegung fiel ganz aus, indessen wurde das rechte Bein etwas schwächer angezogen.

II. Beim Stehen ganz ähnliche Erscheinungen. Ausserdem kommt es vor, dass die Vorderpfote mit dem Dorsum statt mit der Sohle aufgesetzt wird, ohne dass der Hund etwas davon merkt.

III. Beim Sitzen auf dem Hintertheil, wenn beide Vorderpfoten auf der Erde stehen, rutscht das rechte Vorderbein allmählig nach Aussen davon, bis der Hund ganz auf der rechten Seite liegt.

Unter allen Umständen kann er sich aber sofort wieder aufrichten. Die Hautsensibilität und die Sensibilität auf tiefen Druck zeigt an der rechten Vorderpfote keine nachweisbaren Abweichungen.

Am schlagendsten fiel bei dem ersten Hunde<sup>1)</sup> noch zu einer Zeit als die Wunde längst geheilt, alle Reaction vorbei war, am 15. und sogar noch am 28. Tage nach der Operation folgender Versuch aus.

Man setzte dem Hunde, während er stand, die rechte Vorderpfote auf ihren vorderen, oberen Rand so nach innen und hinten, dass sie zwischen den anderen 3 Beinen stand. Verhinderte man nun durch Streicheln den Hund, Ortsbewegungen vorzunehmen, so liess er die Pfote beliebig lange in dieser unbequemen Stellung. Kam aber irgend ein Bewegungsimpuls über ihn, so lief er davon, sein krankes Bein fast ebenso munter bewegend, wie die andern drei. Derselbe Versuch war mit dem linken Beine gar nicht zu machen, da das Thierchen dieses Glied immer schon wieder zurückzog und in seine frühere bequeme Stellung brachte, ehe man damit in die gewollte Stellung kommen konnte. —

Wir ersparen uns auch hier alle weiteren Schlüsse und Betrachtungen, namentlich gewisse Vergleiche mit der menschlichen Pathologie für eine andere Gelegenheit, und constatiren nur Folgendes als wesentlich für die vorliegende Arbeit. Die

---

1) Der zweite wird hier nicht erwähnt, da er aus experimentellen Gründen nur dreibeinig war.

beiden Versuchsthiere hatten durch Exstirpation eines Theils des von uns sogenannten Centrum für die Vorderextremität die Möglichkeit, die Letztere zu bewegen, nur unvollkommen verloren, und an der Sensibilität wahrscheinlich gar nichts eingebüsst. Aber sie hatten offenbar nur ein mangelhaftes Bewusstsein von den Zuständen dieses Gliedes, die Fähigkeit, sich vollkommene Vorstellungen über dasselbe zu bilden war ihnen abhanden gekommen; sie litten also an einem Symptome, welches in einer sehr ähnlichen Weise bei einer Form der Krankheitsgruppe Tabes vorkommt, nur dass Verletzung einer sensibeln Leitungsbahn hier sicher nicht vorlag. Man könnte sich, um diesen Zustand näher zu bezeichnen, vielleicht so ausdrücken: Es bestand noch irgend eine motorische Leitung von der Seele zum Muskel, während in der Leitung vom Muskel zur Seele irgendwo eine Unterbrechung vorhanden war. Möglicherweise betraf diese Unterbrechung die Endstation der hypothetischen Bahn für den Muskelsinn, jedenfalls hatte sie aber ihren Sitz an Stelle des von uns verletzten Centrum.

Wie dem nun auch sei, es ist sicher, dass eine Verletzung dieses Centrum die willkürliche Bewegung des von ihm sicher in einer gewissen Abhängigkeit stehenden Gliedes nur alterirt, nicht aufhebt, dass also irgend einem motorischen Impulse noch andere Stätten und Bahnen offen stehen um geboren zu werden und um zu den Muskeln jenes Beines zu eilen, dass unsere Reservation (S. oben S. 27) vollkommen am Platze war. Es ist aber ferner ebenso sicher, dass eine solche Verletzung, obwohl ihre Erheblichkeit gegen die Abtragungen von Flourens, Hertwig u. A. verschwindet, sehr deutlich wahrnehmbare Symptome hervorbringt, wenn man nur den rechten Ort trifft; und zwar sind die Symptome gerade an demjenigen Gliede wahrnehmbar, dessen Muskeln sich vorher auf elektrische Reizung der nun zerstörten Massen contrahirten.

Hieraus geht zur Evidenz hervor, dass bei den früheren colossalen Verstümmelungen des Hirns entweder andere Theile gewählt worden sind, oder dass den feineren Verrichtungen der Bewegungsmechanismen nicht die nöthige Aufmerksamkeit



geschenkt wurde. Es geht ferner aus der Summe aller unserer Versuche hervor, dass keineswegs wie Flourens und die Meisten nach ihm meinten, die Seele eine Art Gesamtfuction der Gesamtheit des Grosshirns ist, deren Ausdruck man wohl im Ganzen aber nicht in seinen einzelnen Theilen durch mechanische Mittel aufzuheben vermag, sondern dass vielmehr sicher einzelne seelische Functionen, wahrscheinlich alle, zu ihrem Eintritt in die Materie oder zur Entstehung aus derselben auf circumscripte Centra der Grosshirnrinde angewiesen sind. —

Berlin, den 28. April 1870.

---