Zur anatomischen Grundlegung der Kleinhirn-physiologie.

Mit Bemerkungen über Ataxie und Bewusstsein.

Von

Dr. **Oscar Kohnstamm** (Königstein i. T.).

Bei Erörterung der Frage, ob das Kleinhirn mehr als ein sensibles oder ein motorisches Organ zu betrachten sei, sind die neueren anatomischen Daten noch nicht genügend gewürdigt worden. Und doch sind diese vollständig genug, um ein annäherndes Bild von der Maschinerie zu geben, auf der sich die Thätigkeit des Organes abspielt. Als wesentliche und gesicherte Thatsachen sind nach meinen histologischen und kritischen Studien (2, 3) die folgenden zu betrachten:

Die Purkinje'schen Zellen sind die einzigen ableitenden Elemente der Kleinhirnrinde. Sie nehmen mit ihrem Körper und ihren Denditen die zuleitenden Neurone theils direct auf, theils durch Vermittlung anderer Rindenzellen. Ihre Axone gehen in der Hauptsache nach dem Brückengrau, den grossen Oliven und den centralen Kleinhirnkernen. Die weiteren cerebellofugalen Fasern sind Axone der centralen Kleinhirnkerne, die ich wegen ihrer gleichartigen Structur als ein System betrachte. Von diesen stellen die Bindearme, die Tractus cerebello-thalamici, eine mächtige corticopetale Verbindung mit dem Grosshirn her. Ihre im rothen Haubenkern der Gegenseite endigenden Fasern und Collateralen erregen die daselbst entspringende kreuzende Coordinationsbahn¹⁾, den Tractus rubro-spinalis

1) Coordinationszellen bilden die Ursprungskerne der secundär-motorischen Bahnen (Coordinationsbahnen). Sie haben histologisch meist den „motorischen“ Typus der Vorderwurzelzellen. Als Coordinationskerne habe ich ausser den zerstreuten Coordinationszellen des Rückenmarks beschrieben (2): den Nucl. reticularis, Nucl. Deiters, Nucl. intratrigeminalis tecti, Nucl. ruber tegmenti, Nucl. fascic. longitud. dorsal. („oberer Oculomotoriuskern“). Hierzu kommen die Riesenpyramiden der motorischen Zone, aus denen die Pyramidenbahn entspringt. Beim Kaninchen entspringt sie aus Pyramidenzellen, die nicht den „motorischen“ Typus tragen. Aus allen Coordinationsbahnen treten rechtwinklig umbiegende Collateralen oder Stammfasern in die Gegend der motorischen Vorderwurzelzellen.

(Monakow'sches Bündel, Held, Redlich, Probst, Verf.). So entsteht die doppelt gekreuzte Cerebello-rubro-spinalbahn, die jede Kleinhirnhälfte mit der gleichen Rückenmarks-Hälfte verbindet. Die *Fibrae cerebello-vestibulares* (Thomas [10]) verbinden den centralen Kern mit dem gleichseitigen Deiters'schen Kern, von dem der *Tractus vestibularis efferens* zu den Augenmuskelkernen und der gleichseitigen Rückenmark-Hälfte zieht. Den Deiters'schen Kern definire ich als die Gesamtheit der im Endgebiet des *Nervus vestibularis* gelegenen Coordinationszellen und schlage für ihn die systematische Bezeichnung *Nucl. tract. vestibularis efferentis* vor. Er schliesst ausser dem vestibulo-spinalen Reflexbogen die ungekreuzte Cerebello-vestibulo-spinalbahn. Diese mit der Cerebello-rubro-spinalbahn bilden die offenbar motorischen Ausstrahlungen des Kleinhirns, die motorischen Cerebellarbahnen.

Die direct oder mit Unterbrechung aus dem Rückenmark zum Kleinhirn aufsteigenden Spinalbahnen sind ebenso eindeutig als sensible („receptorische“ [1]) Einstrahlungen charakterisirt. Die Bahnen, die weder motorisch noch sensibel sind, können als intermediär bezeichnet werden. Hierher gehören ausser dem *Tract. cerebello-thalamicus* die Verbindungen mit den „Anhangsorganen“. Diese, das Brückengrau und die grossen Oliven¹⁾, sind dadurch gekennzeichnet, dass sie sowohl durch zuleitende als durch ableitende Bahnen mit dem Kleinhirn verbunden, also gewissermaassen in seinen Erregungskreis eingeschaltet sind.

Von den aufsteigenden Spinalbahnen gelangt die Mehrzahl in die Rinde des Wurms. Kurz zusammengefasst stellt sich ihr Verlauf so dar: Die hinteren Wurzeln steigen in den Hintersträngen auf und endigen an den Hinterstrangkernen. Ein Theil der Hinterstrangfasern ist in Zellen des grauen Substanz unterbrochen, von denen wieder „endogene“ aufsteigende Hinterstrangfasern

1) Es ist viel gestritten worden, ob die Oliven-Kleinhirnfasern zu oder vom Kleinhirn leiten. Da für beide Annahmen eindeutige Degenerationsbefunde vorliegen und die Oliven nicht Ursprungskerne spinaler Bahnen, wie Kölliker will, sein können, weil sie nach hoher Hemisection intact bleiben (v. Monakow, Verfasser), so ist dem tektonischen Gesetz, nach dem in Bezug auf jeden Kern zuleitende und ableitende Neurone vorhanden sein müssen, durch die Formel genügt: Es gibt *Fibrae cerebello-olivares* und *Fibrae olivo-cerebellares*. Ferner sind die grossen Oliven wahrscheinlich Endkerne für die absteigende „centrale Haubenbahn“ und für einige Fasern des *Tract. antero-lateralis ascendens*.

entspringen. Diejenigen Keilstrang-Fasern, die sich, ohne Unterbrechung im Keilstrang-Kern, dem Strickkörper anschliessen, sind wahrscheinlich von letzterer Art. — Von den Hinterstrangkernen entspringen ausser den inneren Bogenfasern, die nachher in der medialen Schleife zum Sehhügel ziehen, zahlreiche Fasern, die direct oder mit Unterbrechung in den Nucli arciformes dem Kleinhirn zustreben.

Die „cinereopetalen“ Elemente der hinteren Wurzeln, die in's Hinterhorn eintreten, endigen an den Zellen der grauen Substanz. Von den Zellen der Clarke'schen Säule entspringt die Kleinhirn-Seitenstrangbahn (*Tract. spino-cerebellaris dorsalis*), von anderen Zellen der grauen Substanz die in der vorderen Commissur kreuzenden Fasern des *Tract. antero-lateralis ascendens*. Von diesen gelangt ein Theil mit dem Strickkörper in's Kleinhirn (*Fibrae spino-cerebellares ventro-dorsales* [ad *Corpus restiforme*]), ein Theil endigt im Seitenstrang-Kern, dessen Axone im Strickkörper zum Kleinhirn ziehen. Die Hauptmasse steigt in der Brücke, den Bindearm umschlingend, als *Tract. spino-cerebellaris ventralis* (Gowers'scher Strang sensu strictiore) zur Rinde des Unterwurms. Der Rest gelangt in enger räumlicher Beziehung zur medialen und lateralen Schleife in's Dach der Vierhügel und den ventralen Sehhügelkern. Das sind die Edinger'schen Fasern (*Fibrae spino-tectales* und *Fibrae spino-thalamicae*).

Von sämmtlichen Fortsetzungen der hinteren Wurzeln gelangt also nur die an die Hinterstrangkerne angeschlossene Thalamusschleife und die Gruppe der Edinger'schen Fasern zu den Endstätten des Schleifensystems, von denen Fasern zur Grosshirnrinde entspringen. Die Mehrzahl geht in's Kleinhirn! Von den sensiblen Hirnnerven ist es besonders der Bogengang-Nerv, der eine mächtige Fasermasse dahin sendet (directe sensorische Kleinhirnbahn Edinger's).

Die Function anlangend wissen wir aus der Pathologie der Tabes, dass die dem Muskelgefühl entsprechenden Sensationen („Receptionen“) in den Hintersträngen geleitet werden. Die Symptomatologie der Syringomyelie und der Brown-Séquard'schen Halbseitenläsion (vergl. Oppenheim [6]) lehrt, dass die Leitung der Temperatur- und Schmerzsensationen an die in der grauen Substanz entspringenden kreuzenden Neurone des *Tract. antero-lateralis ascendens* gebunden ist. Die Leitung der tactilen Hautsensibilität geschieht vermuthlich auf allen aufsteigenden Bahnen. Da nun ein erheblicher Theil aller dieser Systeme in's Kleinhirn geht, so ergibt sich der sehr wahrscheinliche Schluss, dass von jeder

Qualität zahlreiche Fasern in's Kleinhirn gelangen, und nicht etwa nur eine kleine Auswahl solcher, die für die Coordination besondere Wichtigkeit hätten.

In der Kleinhirnrinde wirken die Leiter der Körpersensibilität auf die Purkinje'schen Zellen, von denen die motorischen Cerebellarbahnen angeregt werden. Hierbei ist volle Gelegenheit gegeben, dass die Bewegungsform nach zeitlichem Ablauf, Stärke und Ausgiebigkeit, sowie nach ihrer Zusammensetzung aus antagonistischen und synergistischen Componenten fortlaufend beeinflusst wird durch die während und in Folge der Bewegung wechselnden, peripher entstehenden Sensationen. Da die Maschinerie zur Erfüllung solcher Zwecke vorhanden ist, darf man schliessen, dass eine derartige Gegenwirkung auch stattfindet, — wie das durch klinische und physiologische Erfahrung bestätigt wird. — Nachdem nun festgestellt ist, dass das Kleinhirn darauf eingerichtet ist, Sensationen aller Qualitäten (mit Ausnahme der höheren Sinne!) auf die motorischen Aeusserungen des Organismus einwirken zu lassen, erhebt sich die Frage, welche Bewegungsfolgen Schmerz- und Temperaturreize etwa haben können. Dass ausser den in Sehnen-, Gelenk- und Muskelnerven entstehenden centripetalen Erregungen auch die tactilen Sensationen, die durch Druck und Spannung der Haut ausgelöst werden, zum Bewegungs- und Lagesinn beitragen, ist klar. Aber auch die von wunden Hautstellen und ermüdeten Muskeln ausgehenden Schmerzen haben beträchtlichen kinematischen und energetischen Einfluss auf den Ablauf der Bewegung (Zuntz und Schumburg). Die so ermöglichte Schonung empfindlicher Körpertheile lässt den Zufluss von Schmerzsensationen zu Bewegungscentren als sehr zweckmässig erscheinen. Temperaturreize haben ebenfalls bedeutenden Einfluss auf den Bewegungshabitus. Es gibt ein Temperaturminimum, unterhalb dessen die Gliedmaassen nicht mehr optimal bewegt werden. Die Kältesteifheit der Finger rührt wenigstens zum Theil von Störungen der Sensomobilität her, bei der gewiss auch das Kleinhirn beteiligt ist. Ebenso dürfte es im Spiel sein bei der Aufrechterhaltung des durch Temperaturreize regulirten Reflextonus, auf dem wesentlich die „chemische Wärmeregulation“ beruht.

Es erscheint daher nicht nur nicht unverständlich, sondern zweckvoll, dass Schmerz- und Temperaturbahnen in's Kleinhirn einströmen, was augenscheinlich auf dem Wege des Tract. antero-lateralis und speciell des Gowers'schen Stranges geschieht.

Das Kleinhirn ist ein besonders reich entfalteter Reflexapparat für die Stabilität und Locomotion des Körpers. Das Centralnervensystem ist eine Uebereinanderschichtung von Reflexapparaten, von denen jeweilig der niedere in den Dienst des höheren zu treten bereit ist. Eine Anzahl reflectorischer Bewegungskombinationen leistet schon der spinale Reflexbogen, mehr der cerebellare und der thalamische, die complicirtesten der cerebrale. Alle diese Reflexapparate besitzen u. A. zwei Eigenschaften, die man gewohnt ist nur dem cerebralen zuzuschreiben, nämlich das Localzeichen und die intellectuelle Regulirung, Beides im objectiven Sinne genommen. Als objectives Localzeichen bezeichne ich, ähnlich wie Sherrington, diejenige Besonderheit (den Index) der Reflexmodification, die von der Veränderung der Auslösungsstelle abhängt. Objective Localzeichen sind beim decapitirten Frosch, ja bei enthaupteten Schmetterlingen und bei gewissen Medusen (*Tiaropsis indicans*, citirt nach Sherrington [8]) nachzuweisen. Objectiv-intellektuelle Regulirung nenne ich denjenigen Zusammenhang zwischen Reiz und Reaction, vermöge dessen die letztere je nach dem Reiz modificirt und zweckentsprechend ausfällt, ohne dass ich dabei irgend einen Bewusstseinsvorgang als nothwendige Begleitung voraussetze. Unter den Begriff der objectiv-intellektuell regulirten Reaction fallen fast alle Reflexe, denn es gibt kaum einen, dem nicht eine zweckvolle und lebenserhaltende Bedeutung zukäme, und der nicht in grösserem oder kleinerem Umfang modificirbar wäre. Der mit der menschlichen Zweckhandlung einhergehende Erregungsvorgang unterscheidet sich von unbewussten Reflexen durch die Qualität¹⁾, Intensität und Extensität der Sensationen und Associationen, die in einem gewissen Grad vorhanden sein müssen, um Bewusstsein zu bedingen, d. h. um aus der Möglichkeit der Bewusstheit, dem virtuellen Bewusstsein, das actuelle psychische Phänomen hervorgehen zu lassen. Das Attribut „intellectuell“ in dem Begriff der intellectuellen Regulirung ist nicht willkürlich in einem neuen Sinn gebraucht, sondern soll meine Ueberzeugung ausdrücken, dass die intellectuell regulirte Reaction nach ihrem Wesen und nach dem äusseren Kriterium der Zweckmässigkeit der bewussten Zweckhandlung gleichwerthig und dass das Hinzutreten des Bewusstseins zu einer zweckmässigen Reaction etwas Accidentelles, etwas weniger Wesentliches ist. Meine Hypothese gründet sich darauf, dass es sub-

1) = Rhythmus? — Vgl. Anmerkung am Schluss der Abhandlung.

corticale und im Unbewussten arbeitende Apparate gibt, deren Function nur nach Art der intellectuellen Arbeit zu verstehen ist, wie wir sie auch im Bewusstsein als solche erleben. Wer sich klar gemacht hat, welche schwierigsten mechanisch-statischen Probleme das Kind beim Gehenlernen, der Erwachsene beim Radfahren und Schwimmen, gleichsam experimentell ausprobierend und die zweckmässige Bewegungsform auswählend, löst, wird bescheiden zugeben, dass kaum der geschickteste Mathematiker theoretisch construiren kann, was er in der Praxis spielend zu Stande gebracht hat. Ich behaupte nun, dass Beides, Theorie und Praxis, von verschiedenen Hirnthteilen mit principiell den gleichen Mitteln geleistet wird, dass aber die bewusste Zweckhandlung nur einen kleinen Ausschnitt aus dem weiten Reich der objectiv-intellektuellen Regulirung, nur einen Zweig am Baume der organischen Zweckmässigkeit bedeutet. Die sogenannten höheren intellectuellen Processe werden ermöglicht durch die Fixirung ihrer Phasen in der Münze begrifflich-sprachlicher Symbole. Der allgemeine Begriff der intellectuellen Regulirung ¹⁾ deckt ungefähr dasselbe Gebiet wie Pflüger's Princip der mechanischen Teleologie, nach dem das Bedürfniss dem Lebewesen zur Ursache der Befriedigung des Bedürfnisses wird. Die objectiv-intellektuelle Regulirung betrifft nicht allein Bewegungs-, sondern auch Secretionsvorgänge, von denen Pawlow im Einzelnen gezeigt hat, dass sich der Beschaffenheit der Speisen die Zusammensetzung der Verdauungssecrete zweckmässig anpasst. Der Ablauf der Reactionen ist der causal-naturwissenschaftlichen, am Ende sogar der energetischen Behandlung principiell zugänglich. Die Entstehung der Maschinerie, auf der sich die Reaction abspielt, mit den durch sie repräsentirten Umformungsgesetzen ²⁾, gehört zu den entwicklungsmechanischen Problemen, von denen sich immer wieder eine causal lösbare Componente abspalten lässt.

Die sensible Function des Kleinhirns ist nicht damit erschöpft, dass es eine breite Angriffsfläche für die centripetale Regulirung

1) Ich fand bis jetzt keinen besseren Ausdruck. Auch „unbewusste Intelligenz“ will mir nicht gefallen, weil sie nicht das vom Bewusstsein Abgeleitete, sondern das Primäre ist. Finigermassen entsprechend ist: „intellectuell-reflectorische Anpassung“. Vergl. Anmerkung S. 251.

2) Vgl. den Begriff der Dominanten bei Reinke (7). Dominanten sind die durch die feinste Structur gegebenen, für Richtung und Art der Energie-Umsetzungen maassgebenden Kräfte (nicht energetischer Natur). Die Reflexdominanten sind entweder angeboren (primitive Reflexe, Instinct) oder erworben (Remanenz! Siehe S. 247).

der Bewegungen liefert. Es ist vielmehr kürzlich von M. Lewandowsky (5) gezeigt worden, dass Thiere, denen eine Hälfte des Kleinhirns exstirpiert war, Störungen des Lagegefühles zeigten, indem sie sich unnatürliche Stellungen der Glieder gefallen liessen; d. h. die durch die veränderte Lage ausgelösten Sensationen kamen nicht mehr in hinreichendem Maasse zur Wirkung auf die motorischen Centren der Grosshirnrinde. Ganz ähnliche Störungen werden bekanntlich durch Läsionen dieser letzteren Centren bedingt. Schon desshalb ist es wahrscheinlich, dass eine innige Verbindung zwischen Kleinhirnrinde und Centralwindungen besteht. Eine solche wird gegeben durch den Bindearm, der vom centralen Kleinhirnkern zum ventralen Thalamuskern leitet, von welchem letzterem aus Fibræ thalamocorticales nach den Centralwindungen ziehen. Eine corticofugale Bahn zum Kleinhirn wird hergestellt durch die frontale und die temporo-occipitale Brückenbahn zu den Zellen der Nuclei pontis, deren Axone grossentheils in die Kleinhirnrinde gelangen. Dadurch ist das Kleinhirn in den Associationskreis der Grosshirnrinde eingeschaltet. Uebrigens ist die Kleinhirnrinde in Bezug auf die Verknüpfung ihrer Zellen und auf kurze und längere Associationsfasern kaum weniger complicirt, wenn auch gleichmässiger gebaut, als jene.

Die corticofugalen Bahnen zur Brücke, mit Ausnahme der Pyramidenbahn¹⁾, sind nach obigen Ausführungen zwar centrifugal, aber nicht motorisch. Sie sind wohl mit den intracerebralen Associationsbahnen zu vergleichen, wie sie zu den sensuellen Centren, z. B. zur Sehspähre, ziehen. Dieselben können kaum anders fungiren, als dass sie die betreffenden sensiblen Apparate erregen, was der eigentlichen Association entspricht, oder dass sie ihre Erregbarkeit erhöhen. Erhöhung der Erregbarkeit der centralen Sehzellen würde unter Umständen diejenige Erniedrigung der Reizschwelle bedeuten, die der Aufmerksamkeit zu Grunde liegt. Nach den Befunden von Held, Ramón y Cajal und Wallenberg (12) kommen nun centrifugal gerichtete Neurone zu sensiblen Endkernen ebenso den subcorticalen Theilen der Sinnesleitungen zu.

Es liegt am nächsten, auch von ihnen anzunehmen, dass sie die Erregbarkeit ihrer Endkerne in positivem und negativem Sinne zu be-

1) Die zahlreichen Collateralen der Pyramidenbahn zum Brückengrau dienen wohl mehr der eigentlich motorischen Beeinflussung des Kleinhirns und der motorischen Cerebellarbahnen.

einflussen vermögen. Sie würden dann den Namen „Einstellungsbahnen“ verdienen. Als Associations- und Einstellungsbahnen zum Kleinhirn möchte ich auch jene corticopontinen Systeme auffassen.

Durch die vorausgegangenen Erörterungen sollte plausibel gemacht werden, dass im Kleinhirn Sensationen aller Art eintreffen und verwerthet werden, dass ferner das Organ in den Associationskreis des Grosshirns eingeschaltet ist. Zum Zweck des Nachweises, dass es mit principiell denselben Mitteln, wenn auch für andere und beschränktere Aufgaben arbeitet als jenes, bedarf es noch der Untersuchung, wie weit derartige subcorticalen Apparate im Stande sind, individuell erworbene Eindrücke aufzubewahren und zu verwerthen, inwieweit eine „Remanenz“¹⁾ vorausgegangener Erregungen kommende Erregungen bahnend beeinflusst. Man hat mit Recht das Maass der Remanenz als einen Gradmesser der nervösen Organisation der Thiere bezeichnet. Für weniger zulässig aber halte ich es, die physiologisch nachweisbare Fähigkeit eines Thieres, „Erfahrungen zu machen“, als entscheidendes Kriterium für das Vorhandensein psychischer Vorgänge zu erklären. Zwischen der objectiv nachgewiesenen Verwerthung individueller Erfahrungen und der Remanenz ist keine Grenze zu ziehen, und Beides muss daher in den Begriff der Remanenz zusammengefasst werden. Da von dieser gleich gezeigt werden soll, dass sie ohne psychische Begleiterscheinungen bestehen kann, fällt mit der individuellen Erfahrung auch das letzte objective Kriterium des Bewusstseins. —

Dass der Weg zur Remanenz nicht nothwendig durch das Bewusstsein geht, kann nur aus der Selbstbeobachtung entnommen werden. Diese aber lehrt, dass fast alle die complicirten Associationen des Bewegungssinnes, die beim Erlernen der Turnkünste, des Radfahrens und anderen Sports zum Zwecke der Stabilität erworben werden, sich unterhalb der Bewusstseinsschwelle abspielen. Wenn ferner nach Zerstörung centraler Theile (Apoplexie, Hirnoperationen) allmählich andere Apparate compensirend eintreten und die ursprünglich verloren gegangene Function übernehmen, so werden offenbar unter Controle centripetaler Erregungen neue Wege eingeübt, d. h. individuell erworbene Eindrücke werden als dauernder

1) Allgemeiner Ausdruck für die den Gedächtnissvorgängen zu Grunde liegenden Nervenprocesse, der aber keine psychische Begleiterscheinung voraussetzt (1).

Besitz verwerthet, ohne dass etwas von diesen Einübungsvorgängen in's Bewusstsein kommt. Hier kann man einwenden, dass schon früher benutzte Bahnen nur während der Dauer der Reizerscheinungen vorübergehend ausser Gebrauch kamen. Da lehrt nun einwandfrei die moderne Operation der Sehnentüberpflanzung¹⁾, dass ein ganz neues Stärkeverhältniss der Innervation von Extensoren und Flexoren im Unbewussten eingeübt werden kann, wobei z. B. das cortico-spinale Neuron für die Extension eine Verbindung mit dem spino-muskulären Neuron für die Flexion eingeht. Die Fähigkeit, „Erfahrung zu machen“, ist also nicht an Bewusstsein gebunden, und aus der physiologisch constatirten Remanenz darf kein Schluss auf Bewusstheit gezogen werden²⁾. Die psychologischen Begriffe haben eine strenge Berechtigung nur im Bereich der menschlichen Sinnesphysiologie und Psychologie, worin ich mit v. Uexküll (11) übereinstimme, und vor Allem sind sie als Erklärungsprincipien in der vergleichenden Physiologie zu vermeiden. Hingegen ist es unter diesem Vorbehalt unverfänglich und dem philosophischen Bedürfniss nach Continuität entsprechend, wenn man die Fähigkeit der Bewusstheit, ein virtuelles Bewusstsein und Sensorium nicht an einem scharf bestimmten Punkt der phyletischen Reihe, sondern mit der einfachsten belebten Form oder mit dem einfachsten Nervensystem beginnen lässt.

Beim Menschen wird es vielleicht einmal möglich sein, die Bedingungen des Hinzutretens der Bewusstheit zu einem genau definirten physiologischen Zustand (nach Qualität, Intensität und Extensität der Sensationen und Associationen) in grösserer Allgemeinheit zu formuliren, als dies in der Weber-Fechner'schen Formel schon geschehen ist. Heute besteht jedenfalls keine Berechtigung, das virtuelle Bewusstsein des Menschen mit einem bestimmten anatomischen Querschnitt beginnen zu lassen und es etwa dem Kleinhirn kategorisch abzusprechen. Dies Organ ist vielmehr in Folge seiner Grosshirnverbindungen in der Lage, sich an den zu Bewusst-

1) Verbindung der Sehne eines gelähmten Muskels mit gesunder Muskulatur des Antagonisten unter Wahrung der Zugrichtung des zu ersetzenden Muskels (Nicoladoni).

2) Die Remanenz (das objective Gedächtniss) ist gerade so unabhängig vom Bewusstsein wie die Intelligenz (s. o.). Das „unbewusste Denken“ und die Intuition sind keine Ausnahmen, sondern die Norm. Weiter kann auf dies interessante Gebiet hier nicht eingegangen werden.

seinserscheinungen führenden Associationsvorgängen auf's Innigste zu betheiligen. Vielleicht ist es auch fähig, für sich allein z. B. Schwindelgefühl zu erwecken. Es entspricht der oben skizzirten Auffassung des virtuellen Bewusstseins als allgemeiner Eigenschaft der belebten oder der nervösen Substanz, allen Theilen des menschlichen Nervensystems virtuelles Bewusstsein zuzuschreiben. Selbstverständlich könnte etwa das Sensorium des Rückenmarks nach Querdurchtrennung desselben mit dem Ichgefühl nicht mehr in associative Verbindung treten, d. h. nicht mehr zu innerer Wahrnehmung kommen. Das Beispiel zeigt, dass diese philosophisch vielleicht empfehlenswerthe Annahme unbeweisbar ist und zu physiologischen Constructionen keine Verwendung finden darf.

Hingegen liegt die Frage, inwieweit subcorticalen Apparaten die Fähigkeit der Remanenz zukommt, nicht ausserhalb des Bereiches der experimentellen Forschung. So könnte man an vorher grosshirnlos gemachten Thieren centrale Läsionen oder Sehnenüberpflanzungen vornehmen und beobachten, ob und wie die anfänglichen Ausfallserscheinungen compensirt werden (s. o.). Die Compensation wird vermuthlich eintreten, womit die Möglichkeit subcorticaler Remanenz bewiesen wäre, an der ja überhaupt kaum gezweifelt werden kann.

Wenn aber überhaupt für ein subcorticales Organ, so sind für das Kleinhirn die anatomischen Bedingungen zur Remanenz gegeben. Man darf daher den Ausspruch wagen, dass die Einübung complicirter Bewegungen zum Theil auf der Remanenz cerebellarer Reflexe beruht. Das Kleinhirn enthüllt sich uns dann als ein in erster Linie sensibler Apparat, bestimmt zur Aufnahme und Aufbewahrung mannigfaltiger sensibler Erregungen niederer Art und zu ihrer Verwerthung und Umschaltung auf motorische Bahnen. Neben der Form beeinflusst es in hohem Maasse die Stärke der motorischen Innervation. Daher Luciani's Asthenie und Ataxie nach Kleinhirnläsionen, daher die klinische Beobachtung von Paresen, die dem Herd gleichseitig sind, daher wohl auch die von Ewald hervor gehobene Wirkung des Nervus vestibularis auf den Muskeltonus.

Der Muskeltonus wird unter allen Umständen reflectorisch unterhalten. Nach Abtrennung des Rückenmarks vom Gehirn erzeugen die spinalen Centren schon für sich allein eine Hypertonie, die nach Durchschneidung hinterer Wurzeln erschlaft. Die tabische Ataxie und Hypotonie wird durch die Erkrankung der hinteren Wurzeln

und der Hinterstränge verursacht, denn die anderen aufsteigenden und die absteigenden Bahnen sind im Allgemeinen intact. An welchen motorischen Centren greift nun die Störung an? Wenn auch die Ableitung durch die kurzen spinalen Reflexbögen nicht unbetheiligt ist, so bleibt doch die Hauptfrage: Leidet vorzüglich die corticopetale Ausstrahlung der Hinterstrangkern zur Thalamus-schleife oder die Kleinhirnverbindung jener Kerne? Die trotz einzelner Unterschiede unverkennbare Aehnlichkeit der cerebellaren mit der tabischen Ataxie entscheidet zu Gunsten der vorzugsweisen Betheiligung des Kleinhirns. Da im Niveau der Oblongata hauptsächlich der Goll'sche Strang erkrankt ist, so trifft die Schuld für den Ausfall der cerebellopetalen Innervation die Systeme, die vom Nucleus gracilis zur Wurmrinde führen¹⁾. Die nächste Frage ist, ob sich die Innervationsstörung vom Kleinhirn vorzugsweise durch die Bindearme zum Grosshirn fortsetzt oder auf dem Wege der motorischen Cerebellarbahnen (s. o.) zum Rückenmark. Wir entscheiden uns für die letztere Annahme, weil die pathognomonische Hypotonie für eine Functionsstörung der subcorticalen Coordinationsbahnen spricht, als deren Hauptvertreter wir die vestibulo- und die rubro-spinale Bahn kennen gelernt haben.

Wie ich früher zu begründen versucht habe (4), ist der Tonus der Vorderwurzelzellen abhängig von der arithmetischen Summe der ihnen auf der cortico-spinalen Pyramidenbahn und auf den subcorticalen Coordinationsbahnen zufließenden Innervationsgrößen. Da nach Ausfall der Pyramidenbahn im Wesentlichen Hypertonie eintritt, muss mit ihr ein hemmendes Moment weggefallen sein, während der tonisirende Einfluss durch die subcorticalen Coordinationsbahnen repräsentirt ist. Ich nehme desshalb an, dass bei der Tabes die Ursprungskerne der subcorticalen Coordinationsbahnen, vorzüglich der Nucleus Deiters und der Nucleus ruber tegmenti, eine Einbusse an Innervation erleiden. Danach beruht die tabische Ataxie und Hypotonie auf einer centripetal bedingten Functionsstörung der motorischen Cerebellarbahnen. Die compensatorische Uebungsbehandlung der Tabes bahnt neue Wege, die von der vestibularen und der optischen Sinnesfläche direct oder über Grosshirn und Kleinhirn zu den subcorticalen Coordinationskernen führen. In dieser Anschauung liegt eine Versöhnung der sensiblen und der motorischen Theorie der tabischen Ataxie.

1) Vgl. Stscherbak's (9) Kleinhirn-Hinterstrangbahn.

Anmerkung bei der Correctur.

Bei intellectueller (bewusster oder unbewusster) Arbeit wird von der gesamten Energiemenge A , die zur Unterhaltung des physiologischen Vorgangs der Sensation und Association ausgelöst wird, ein Quantum i für peripherische Innervation aufgewandt, ein weiteres Quantum z bewirkt eine feinste structurelle Zustandsänderung des Nervensystems, wobei wahrscheinlich Wärme (w) frei wird. Von der Zustandsänderung wird ein Theil sofort wieder ausgeglichen durch Zuführung einer äquivalenten Energiemenge e ; ein Theil bleibt als Substrat neu erworbener Dominanten, als Substrat der Remanenz. Die zur Herstellung dieser Dominanten nothwendig gewesene Energiemenge $d = z - e$; $z = d + e$. Möglicher Weise wird ausser den genannten Factoren noch ein weiteres Energiequantum frei (y), das in specieller Beziehung zum Bewusstseinsphänomen steht. Die Formel $A = i + w + e + d + y$ scheint auf alle Erregungsprocesse anwendbar.

„Intellectuell-reflectorische Anpassung“ (S. 245) wäre das erste Glied einer Reihe mit den weiteren Gliedern: Functionelle Anpassung der Gewebe (z. B. Knochen) an Beanspruchungen und schliesslich: artenbildende Anpassung. Bei allen dreien ist eine Aussonderung des weniger Tauglichen im Spiel. Vergl. die Selection der zweckmässigen Bewegungsform S. 245 oben.

Schon bei einfachsten geistigen Processen wie der räumlichen Anschauung, spielt das „unbewusste Denken“ seine Rolle (Helmholtz), indem es die Dimensionen der Raumwahrnehmung construirt. Ebenso bei allen anderen Denkvorgängen, von deren Ablauf um so weniger in's Bewusstsein kommt, je glatter und widerstandloser er abrollt. Ein Grenzfall ist die Intuition.

Bewusst gewesene Sensationen werden besser reproducirt als unbewusste, weil Sensationen von solcher Beschaffenheit und Stärke, dass sie zum Bewusstsein kommen, sich fester dem Gedächtniss einprägen.

L i t e r a t u r.

- 1) Beer, Bethe, v. Uexküll, Vorschläge zu einer objectivirenden Nomenclatur in der Physiologie des Nervensystems. Centralbl. f. Phys. Bd. 13 S. 6.
- 2) Kohnstamm, Ueber die Coordinationskerne des Hirnstammes und der absteigenden Spinalbahnen. Nach den Ergebnissen der vergl. Degenerations-

- p methode. Monatsschr. f. Psych. u. Neurol. 1900 u. Wandervers. südwestl. Neurol. u. Irrenärzte. Arch. f. Psych. 1899.
-
- 3) Kohnstamm, Ueber die gekreuzt aufsteigende Spinalbahn etc. Neurol. Centralbl. Bd. 19 S. 6. 1900.
-
- 4) Kohnstamm, Ueber Coordination, Tonus und Hemmung. Zeitschr. f. phys. u. diätet. Therapie Bd. 4 S. 2.
-
- 5) Lewandowsky, Ueber die Verrichtungen des Kleinhirns. Centralbl. f. Physiol. Bd. 15 S. 8.
-
- 6) Oppenheim, Ueber Brown-Séquard'sche Lähmung. Arch. f. Anat. u. Phys. Phys. Abth. Suppl.-Bd. 1899.
-
- 7) Reinke, Ueber die in den Organismen wirksamen Kräfte. Hamburger Naturforscher-Versammlung 1901. „Die Umschau“ Bd. 5 S. 41. 1901.
-
- 8) Sherrington, The spinal cord. Schäfer's text book of physiology. London 1899.
-
- 9) Stscherbak, Ueber die Kleinhirn-Hinterstrangbahn und ihre physiologische und pathologische Bedeutung. Neurol. Centralbl. Bd. 19 S. 1090. 1900.
-
- 10) Thomas, Le cervelet. Paris 1897.
-
- 11) v. Uexküll, Vergl. sinnesphysiologische Untersuchungen. Zeitschr. f. Biologie Bd. 32.
-
- 12) Wallenberg, Das mediale Opticusbündel der Taube. Neurol. Centralbl. Bd. 17. 1898.