

Über die Funktion des Gehirns.

Von Univ.-Prof. Dr. Franz B r ü c k e, Wien.

Vortrag, gehalten am 28. Mai 1958.

Zuerst möchte ich den sehr anspruchsvollen Titel dieses Vortrages einengen: Es soll nur davon gesprochen werden, was man über das Gehirn als Maschine erfahren kann. Es kommt also für diese sehr eingeschränkte Betrachtungsweise nur das in Betracht, was man durch physikalische und chemische Methoden als direkte Äußerungen der Funktion an jene Strukturen feststellen kann, welche die gewöhnliche und die mikroskopische Anatomie im Gehirn aufgefunden hat. Es fällt also auch ein weiter Bereich des naturwissenschaftlich Erfassbaren fort, z. B. alle Schlüsse auf die Funktion des Gehirnes, welche man aus stets wiederkehrenden Verhaltensweisen von Tieren und Menschen unter experimentellen Bedingungen gezogen hat. Auch das wichtige Gebiet der Funktionsänderungen durch experimentell erzeugte oder krankhafte Veränderungen der Gehirnstruktur wird nicht berücksichtigt.

Wie N. W i e n e r betont hat, fällt das Bild, welches man sich vom Menschen als Maschine macht

sehr verschieden aus nach dem Zeitpunkt in der Geschichte der Technik in dem es entstanden ist. So hat vor 300 Jahren Descartes, welcher ja diese Betrachtungsweise eigentlich philosophisch eingeleitet hat, aus seiner vorwiegenden Beschäftigung mit der elementaren Mechanik und seiner mechanistischen Betrachtung optischer Erscheinungen heraus, für das Nervensystem den heute noch wichtigen Begriff des Reflexes geschaffen. Er stellte sich vor, daß durch die Sinnesorgane und die damit verbundenen Nerven Impulse zu Gehirnzentren geleitet werden, die dort wie an einer Spiegelfläche zurückgeworfen über Bewegungsnerven zu Muskeltätigkeit führen. Wir wissen heute, daß tatsächlich nach Reizung irgendeines Rezeptors in der Pheripherie ein Signal entsteht, welches über die hinteren Nervenwurzeln des Rückenmarkes, oder über einen Sinnesnerven dem Gehirn zugeleitet wird und es ist daher nötig, daß wir uns zuerst mit diesem Signal beschäftigen, da ja die Nerven nur Ausläufer von Zellen des Gehirns oder des Rückenmarkes sind. Die Signale haben nämlich prinzipielle Ähnlichkeit mit jenen, die auch vom Körper der Nervenzellen ausgehen, wenn sie in Erregung geraten.

Jede ruhende Nervenfasern und jede Nervenzelle zeigt in Ruhe eine elektrische Aufladung, das sogenannte Ruhepotential, welches dadurch zustande kommt, daß eine außerordentlich dünne Membran, die nicht mit der Zellmembran oder mit Bindege-

websmembranen verwechselt werden darf, mit Ionen besetzt wird, sodaß sie an der Innenseite negativ, an der Außenseite dagegen positiv geladen ist. Die äußeren Ionen sind im wesentlichen Natriumionen, die zwar wohl durch die Membran durchtreten könnten, jedoch durch einen bisher nicht genau bekannten energieverbrauchenden Prozeß immerfort aus dem Zellinneren abgepumpt werden. An der Innenseite werden Anionen festgehalten als Gegenionen zu den im Zellinneren sehr zahlreichen Kaliumionen, die von den Eiweißmolekülen gebunden werden. Sowie nun eine Erregung der Nervenstrecke stattfindet, wird die Membran vorübergehend völlig permeabel für Natriumionen, welche daher ins Innere der Nervenfasern eindringen, bald darauf kommt es auch zu einem Austritt von Kaliumionen. Dabei läßt sich die Membran um, sodaß ein Potentialsprung von 80—90 mV. entsteht, das sogenannte Aktionspotential. Dieses selbst depolarisiert nun angrenzende Teile des Nerven und so läuft die Erregung wie an einer brennenden Lunte nach beiden Seiten ab und zwar wenn es sich um eine dicke markhaltige Nervenfasern handelt schnell, wenn es sich um eine dünne Faser handelt langsamer. Unmittelbar nach der plötzlichen Permeabilitätsänderung wird die Nervenfasern unerregbar, sodaß Signale entlang einem Nervenkanal nicht mit beliebiger Frequenz gesendet werden können. Man kann jedoch sagen, daß bei schwacher

Reizung eines Rezeptors die Aktionspotentiale zwar nicht schwächer, aber in langsamerer Reihenfolge, bei starker in rascher und anhaltender Folge ablaufen. Die Rezeptoren zeigen allerdings die sehr zweckmäßige Eigenschaft der Adaptation, das heißt, selbst bei Fortbestehen des Reizes hören die ausgesendeten Signale meist nach einiger Zeit wieder auf. Wenn wir z. B. eine Hautstelle mit einem kalten Metall berühren, oder einen kalten Lufthauch darüber streichen lassen, dann ist das Kältegefühl nur im ersten Augenblick intensiv, hört aber bald auf. Verhindert man z. B. durch Bestreichen mit Menthol die Adaptation, dann bleibt das kühle Gefühl länger erhalten und die Impulsserien erreichen weiterhin das Gehirn. Wir kennen das alle z. B. vom Lutschen eines Pfefferminzbonbons.

Man muß sich nun vorstellen, daß in jedem Augenblick sehr zahlreiche zentripetale Impulse, bestehend aus Serien von langsameren oder schnelleren Aufeinanderfolgen von Aktionspotentialen zum Zentralnervensystem geleitet werden. Vor allem wird dies in unseren Sinnesnerven stattfinden. Es ist nun einerseits die örtliche Anordnung von derartigen Impulsen in unseren verschiedenen Nerven, oder ihre zeitliche Aufeinanderfolge, welche als Erregungsmuster die Informationen zu unserem Gehirn bringt.

Eine gewisse örtliche Anordnung läßt sich nun auch an dem gerade beim Menschen so mächtig

entwickelten Großhirn in gewissen Rindenbezirken feststellen, so z. B. für Berührungsimpulse von der Haut in der hinteren Zentralwindung. Bei elektrischer Reizung dieser Stellen tritt auch eine gewisse Mißempfindung in der zugehörigen Hautstelle auf und man kann feststellen, daß z. B. die Tastfläche der Hand, oder die Gegend der Lippen ein geschlossenes und gegenüber etwa der großen Hautfläche des Rückens sehr ausgedehntes Gebiet einnimmt. Man hat aber festgestellt, daß z. B. die Impulse vom Daumen nicht mit der gleichen Geschwindigkeit in diesen Endstationen ankommen, wie die Impulse etwa vom kleinen Finger, sodaß auch diese zeitlichen Verhältnisse für die Lokalisation einer Empfindung von Wert sein dürften.

Man kann nun in neuerer Zeit das Ankommen von solchen Sinnesimpulsen im Gehirn direkt beobachten und messen und zwar mit Hilfe von leistungsfähigen und störungsfreien Verstärkern, wie man sie zur sogenannten Elektroenzephalographie verwendet. Die ankommenden Impulse, die aus Nervenzellen stammen, welche mit den Sinnesrezeptoren in Verbindung stehen, werden nämlich mit deren zentralen, im Gehirn sich verzweigenden Ausläufern zu Nervenzellen der Großhirnrinde geleitet und erzeugen an diesen Zellen analoge Depolarisationsvorgänge, wie wir sie an Nervenfasern schon kennengelernt haben. An jeder Nervenzelle des Gehirnes enden zahlreiche Ausläufer anderer Zellen mit

feinsten, am Ende knopfförmig aufgetriebenen Fasern und es kommt nun wohl auf die Anzahl der gleichzeitig tätigen zuleitenden Fäserchen an, eine wie große Fläche der Zelloberfläche elektrisch umgeladen wird. Wenn die erregte Oberflächenstelle groß genug ist, dann sendet die Nervenzelle selbst wieder ein Signal, ein Aktionspotential aus. Durch feinste, mit einer geeigneten, leitenden Flüssigkeit gefüllte Glaskapillaren, die man mit ihrer Spitze an die Oberfläche einer Nervenzelle heranbringt, oder sogar in diese einstechen kann, beobachtet man also heute die Aktivität einer einzelnen Gehirnzelle und kann nun bei Erregung einer peripheren Nervenfaser feststellen, welche Zellen im Gehirn mit ihr in funktioneller Verbindung stehen. Man kennt jedoch auch chemische Stoffe, wie z. B. Strychnin, welche Nervenzellen erregen und kann daher z. B. an einer Stelle der Großhirnrinde ein mit Strychnin getränktes Filtrierpapierstückchen auflegen und die daraufhin ausgesendeten Signale an einer anderen Stelle des Gehirnes auffangen. Auch auf diese Weise gelingt es Faserverbindungen in verschiedenen Teilen des Gehirnes festzustellen. Besonders schön kann man an der Rinde des Hinterhauptlappens die ankommenden Signale beobachten, wenn man das Auge mit Lichtblitzen reizt. Die Entladungen der einzelnen Nervenzellen, oder auch von Gruppen zugleich erregter Nervenzellen sind stets Spitzen, die manchmal zuerst eine kleine positive

Vorzacke zeigen, wahrscheinlich dann, wenn die Erregung in den Endästen der zuleitenden Nervenfasern ankommt, dann folgt die große negative Schwankung und zum Schluß wieder eine positive Zacke.

Sehr große Mengen von Nervenzellen scheinen sich beim sogenannten großen epileptischen Anfall gleichzeitig zu entladen und daher sieht man dabei im Elektroenzephalogramm große spitze Zacken und kann gleichzeitig feststellen, daß diese zur gleichen Zeit und in gleichen Abständen entstehen, wie die Entladung einzelner Zellen.

Trotzdem darf man nicht annehmen, daß die geschilderten Signale mit der Ursache unserer bewußten Empfindungen identisch sein können. Es zeigt sich nämlich, daß sie auch dann in der Hirnrinde ankommen können, wenn wir bewußtlos sind. So sieht man sie z. B. in leichter Narkose bei der Reizung eines peripheren Rezeptors sehr deutlich über dem Hauptempfindungsgebiet der Rinde.

Es muß demnach noch ein eigener Mechanismus vorhanden sein, welcher die bewußte Empfindung und die Verarbeitung solcher Empfindungen zu Gedanken ermöglicht. Tatsächlich hat man in den zentralen Gebieten des Mittelhirns und in gewissen Nervenzellhaufen des großen sensiblen Umschaltapparates (des Thalamus opticus) ein derartiges System gefunden. Es besteht aus kleinen mit Fasermassen verfilzten Nervenzellen, in welchen sich anato-

misch keinerlei klare Bahnen erkennen lassen. Schädigt man diesen Apparat beim Tier durch Koagulation, oder wird er beim Menschen durch Blutungen, Erweichungen oder Geschwülste zerstört, dann tritt tiefe Bewußtlosigkeit ein. Zwar kann man durch äußere Reize die Tiere oder Menschen noch erwecken und z. B. zur Nahrungsaufnahme bewegen, aber sowie der äußere Reiz wegfällt, verfallen sie in einen schlafähnlichen Zustand.

Man kann nun auch im Elektroenzephalogramm charakteristische Wellen wahrnehmen, die offenbar mit diesem Apparat in Zusammenhang stehen. Eigentlich besteht überhaupt der größte Teil der ableitbaren Wellen nicht aus den früher beschriebenen spitzen Signalwellen, sondern aus eigentümlich langsam an- und abschwellenden Wellen von verschiedener Frequenz und mehr oder weniger ausgeprägter Rhythmik.

Schon ein Pionier der Ableitung von Gehirnströmen der Pole A. Beck, hatte um 1890 festgestellt, daß das tierische Gehirn auch bei vollkommener Ruhe und ohne das Auftreten besonderer Sinnesreize dauernde elektrische Schwankungen erkennen läßt. Die Analyse solcher Ruheschwankungen verdankt man vorwiegend dem Jenaer Psychiater Berger, welcher auch den Ausdruck Elektroenzephalographie geprägt hat. Bei einem Menschen, der in vollkommener Ruhe, bei geschlossenen Augen,

aber nicht im Zustand des Schlafes dasitzt, beobachtet man eine ziemlich regelmäßige Wellentätigkeit von etwa 8—10 pro sec., den sogenannten α -Rhythmus. Wird nun der Befehl gegeben, die Augen zu öffnen, oder wird ein Gehörsreiz, ein Berührungsreiz etc. ausgeübt, dann macht der Rhythmus sogleich einer viel rascheren unregelmäßigen Tätigkeit von geringerer Spannung Platz, dem sogenannten β -Rhythmus. Dies tritt übrigens auch dann ein, wenn z. B. die Versuchsperson eine Kopfrechnung durchführt. Bei Tieren ist der Ruherhythmus meist nicht so gleichmäßig wie beim Menschen, aber der Übergang zum β -Rhythmus ist sehr deutlich und über das ganze Gebiet der Hirnrinde ausgedehnt. Genau den gleichen Übergang zu raschen unregelmäßigen Rhythmen beobachtet man nun auch bei elektrischer Reizung des oben beschriebenen zentralen Zell- und Fasernetzes (des sog. retikulären Systems). Man spricht von einer „arousal reaction“, was etwa mit Weck- oder Aufmerksamkeitsreaktion übersetzt werden könnte. Es ist übrigens bemerkenswert, daß bei Tieren nur die oberflächlich gelegenen Teile der Hirnrinde auf Reizung des retikulären Systems so reagieren, wie eben beschrieben: Tiefere Teile des Gehirns, besonders die stammesgeschichtlich älteren, wie z. B. das Ammonshorn zeigen bei Erregung durch Sinnesreize eine hohe, ungemein rhythmische Tätigkeit als Ausdruck der „arousal reaction“.

Wir wissen nun, daß das zentrale Zell- und Faser-
netzwerk bei jeder Art von Sinnesreiz miterregt
wird: Von allen zentripetalwärts leitenden Empfin-
dungsbahnen zweigen Fasern zu diesem System ab.
Dies gilt nicht nur für das Hautsinnesorgan, son-
dern ebenso für das Auge, das Ohr und das Riech-
organ, das Gleichgewichtsorgan und schließlich
stehen auch Teile der Hirnrinde, die nicht unmittel-
bar mit Sinnesempfindungen zu tun haben, mit
diesem System in leitender Verbindung. Nur im
Schlaf und in der Narkose ist das retikuläre Rinden-
system ausgeschaltet, während zumindest in leichter
Narkose die eigentliche Signalübermittlung zur
Großhirnrinde noch funktioniert. Es läßt sich nun im
wachen Zustand an Tieren feststellen, daß jedesmal,
wenn ein Signal in der Hirnrinde ankommt, nach
kurzer Zeit auch eine langsame elektrische Welle
verzeichnet werden kann, die der Tätigkeit des re-
tikulären Systems entspricht.

Man hat daher gemeint, daß dieses System dazu
dient, sozusagen das ganze Gehirn in einen erhöh-
ten Aktivitätszustand zu versetzen, um es ihm zu
ermöglichen, die ankommenden Signale zu analy-
sieren und zur zweckmäßigen motorischen Reaktion
zu verwerten. Eine gewisse, wenn auch recht flache
Analogie wäre etwa das Anheizen der Röhren eines
Radioapparates. Wenn z. B. im Schlaf dieses System
ausgeschaltet ist, dann kommt es zu einer verän-
derten elektrischen Wellentätigkeit im EEG: Vor

allen treten langsame im Wachzustand normalerweise nicht beobachtete Rhythmen auf. In ganz tiefer Narkose allerdings hört die elektrische Tätigkeit gänzlich auf.

Auch durch eine Anzahl von zentral erregenden Pharmaka kann man die oben geschilderte „arousal reaction“ auslösen, sie verschwindet aber, wenn im Tierversuch z. B. durch einen Querschnitt das Mittelhirn von seinen Verbindungen zur Großhirnrinde abgetrennt und so der Hauptteil des retikulären Systems verloren gegangen ist. Ein solcher Stoff ist z. B. das bekannte ähnlich dem starken Kaffeegenuß erregende Pervitin. Auch Adrenalin, ein im menschlichen Körper, ja sogar im Mittelhirn selbst vorkommendes Hormon hat ebenfalls diese Wirkung.

Nun ist Adrenalin ein Stoff, der besonders bei starker Gemütsregung wie Angst oder Zorn aus der Nebenniere freigesetzt wird und die bekannten Begleiterscheinungen wie: Herzklopfen, Blässe, Erweiterung der Lidspalte und der Pupille, Zittern etc. hervorruft, die wir als Ausdruck solcher Gemütsbewegungen kennen. Wir wissen, daß die Adrenalinausschüttung auch durch elektrische Reizung gewisser Teile des Gehirnes (Zwischenhirn) hervorgerufen werden kann. Und diese Teile liegen am kopfwärts gerichteten Ende der beschriebenen retikulären Substanz, ja sie sind sogar mit ihr vermischt. Man kann sich daher gut vorstellen, daß

starke zur Hirnrinde aufsteigende Erregungsvorgänge, besonders heftige Schmerzen, diesen adrena-
linausschüttenden Apparat gleichzeitig miterregen. Meist allerdings wird diese Miterregung erst nach geistiger Verarbeitung von bedrohlichen Sinneswahrnehmungen, oder (wie etwa in banger Erwartung) durch bloße Gedanken ausgelöst werden. Sie wissen, daß bei einzelnen Menschen diese körperlichen Erscheinungen sehr verschieden stark auftreten und bei manchen Naturvölkern galt es als männlich, diese Auswirkungen des Schreckens oder der Angst bewußt zu unterdrücken, um so unerschrocken zu wirken. Diese indirekten Erregungen scheinen zum Teil mit der Funktion der Stirnlappen zusammenzuhängen: Man hat besonders in Amerika bei heftigen Schmerzen oder bei Gemütskrankheiten, die mit Angst einhergehen, operativ die Verbindungen zwischen Stirn- und Zwischenhirn durchtrennt. Derartige Patienten empfinden zwar durchaus noch Schmerzen, aber sie werden von ihnen nicht mehr gequält oder geängstigt — ein Zustand der gewisse Ähnlichkeit mit jenem hat, der bei starken Schmerzen nach Injektion von Morphin auftritt. Auch bei diesem schmerzstillenden Stoff ist die Wirkung weniger auf die Schmerzempfindung, als vielmehr auf die begleitende Unruhe und auf die seelische Verarbeitung der Schmerzempfindung gerichtet.

Es ist auch bemerkenswert, daß es einen stark beruhigenden Stoff gibt, nämlich das Alkaloid Serpasil aus einer indischen Droge namens *Rauwolfia serpentina*, welcher gleichzeitig zu einer Entleerung des Mittelhirnes und auch peripherer Nervenfasern von Noradrenalin und Adrenalin führt.

Eine andere bemerkenswerte pharmakologische Eigentümlichkeit ist es, daß stark schmerzstillende Stoffe wie Morphin und seine Verwandten im Ganzen sehr ähnliche Wirkungen haben wie die oben beschriebene Abtrennung des Stirnhirnes: Menschen unter Morphinwirkung nehmen zwar ihre Schmerzen durchaus wahr, aber es fehlt dem Schmerz die beunruhigende und angsterregende Qualität.

Im Übrigen gibt es im Gehirn der Tiere und des Menschen Stellen, deren elektrische Erregung als sehr angenehm empfunden wird. Eine derartige Stelle ist z. B. das septum pellucidum, welches bei Nagetieren ziemlich mächtig entwickelt ist. Heilt man im Tierversuch einer Ratte eine feine Elektrode in diese Gegend ein und bringt im Käfig eine Taste an, durch deren Betätigung das Tier sich selbst einen elektrischen Reiz beibringen kann, dann beobachtet man, wie die Tiere durch lange Zeit und mit großer Häufigkeit auf die Taste drücken. Nur wenn man beruhigende Mittel verabreicht, dann nimmt die Reizhäufigkeit ab.

Kehren wir jedoch noch einmal zu dem beschriebenen zentralen retikulären System zurück, dem

eine so merkwürdige, von der eigentlichen Signalübermittlung unabhängige Rolle zukommt. Wir haben gehört, daß jedes Sinnesorgan, ja jedes System von Nervenfasern, welches Signale von der Peripherie zum Gehirn bringt, Verbindungen mit diesem „zentrencephalen“ System besitzt. Dies scheint von großer Bedeutung für die gleichzeitige Bewertung von Signalen aus verschiedensten Gebieten zu sein und hier ergeben sich höchst bemerkenswerte Beziehungen zu den bekannten bedingten Reflexen von P a v l o v.

Bekanntlich besteht die Grundanordnung solcher Versuche darin, daß ein sogenannter „unbedingter“ Reiz (z. B. das Einbringen von Fleisch in das Maul eines Hundes), welcher eine bestimmte Reaktion hervorruft (z. B. im genannten Fall Speichelfluß) mit einem anderen Reiz verknüpft wird, der an und für sich diese Reaktion nicht beeinflußt. Bei häufiger Wiederholung des Versuches gewinnt dann dieser „bedingte“ Reiz die Fähigkeit, Wirkungen des „unbedingten“ Reizes auch dann hervorzurufen, wenn dieser fortgelassen wird. Französische und amerikanische Autoren haben nun folgende Versuchsanordnung durchgeführt: Man ließ einen bestimmten Ton einwirken, der in den ersten Versuchen im Elektroenzephalogramm eine „arousal reaction“ hervorrief. Wurde dieser Ton jedoch im Verlauf von Tagen oft angewendet, dann verschwand im EEG die charakteristische Reaktion, der Ton

wurde indifferent und insofern für die Gehirnstromableitung unwirksam. Nun wurde als unbedingter, stets wirksamer Reiz ein Lichtblitz verwendet, der in kurzen Abständen rhythmisch wiederholt wurde und in der Sehrinde im gleichen Rhythmus die oben beschriebenen scharfen Signale auslöste. (Spitzen im EEG). Dieser unbedingte Reiz wurde nun mit dem vorher unwirksam gemachten Ton so verbunden, daß stets in bestimmten zeitlichem Abstand nach dem Ton die Serie von Lichtblitzen begann. Dies führte zunächst dazu, daß die vorher durch Gewöhnung unterdrückte „arousal reaction“ über der Gehirnrinde wieder auftrat, wenn der Ton begann. Bei häufiger Wiederholung der Kombination von Reizen geschah jedoch etwas noch weit bemerkenswerteres: Nach Ablauf der gewohnten Zwischenpause zwischen dem Ton und den Lichtblitzen, begann spontan über der Occipitalrinde, aber vor allem im retikulären System des Mittelhirns die Serie der scharfen und unverkennbaren Signale im EEG und zwar auch dann, wenn die Lichtblitze noch gar nicht begonnen hatten, bzw. absichtlich weggelassen wurden.

Man muß demnach annehmen, daß das zentrale retikuläre System ein wichtiges Substrat für das Zustandekommen von bedingten Reflexen ist und daß seine Funktion vor allem auch darin besteht, daß es vorübergehende, aber funktionell wichtige Verbindungen zwischen verschiedenen Sinneswahr-

nehmungen bzw. ihrem Einfluß auf die Großhirnrindengebiete herstellen kann. Es ist begreiflich, daß derartige Beobachtungen große Hoffnung auf eine Bereicherung unserer objektiven Kenntnisse von der Funktion des Gehirnes erwecken. Da die Reaktionen des EEG aber auch von Giften und Medikamenten abhängig sind, so ist auch in der Richtung der Aufklärung von Arzneiwirkungen auf das Gehirn ein großer Fortschritt zu erwarten.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1958

Band/Volume: [98](#)

Autor(en)/Author(s): Brücke Franz

Artikel/Article: [Über die Funktion des Gehirns. 69-84](#)