

Ziele und Ergebnisse der Hirnforschung

Von Konrad Akert

Manfred Bleuler zum 60. Geburtstag
(4. Januar 1963)

Menschliches Interesse am Gehirn geht weit zurück in die Urzeit, und soweit man die an zahlreichen Schädeln gefundenen Trepanationsspuren überhaupt interpretieren kann, darf man vermuten, daß schon damals, wie in den darauffolgenden Jahrtausenden geschichtlicher Ueberlieferung, zwei Motive zur Erforschung des Gehirns gegeben waren. Zunächst wirkte wohl der Drang nach Erkenntnis, nach Wissen um das Organ, welches in noch rätselhafter Weise zum Kern unseres Selbst gehört; entscheidend aber war sicher der Wille zum Heilen schwerer Erkrankungen, welche den Menschen bis an den Rand der Verzweiflung treiben können. Die doppelte Orientierung der Neuzeit hat dazu geführt, daß die Hirnforschung in der Gesamtstruktur der heutigen Universität zwei Wurzeln hat, die eine als Spezialgebiet der Biologie in den Naturwissenschaften, die andere in der Medizin, wo es die Grundlagen der Neurologie, Neurochirurgie und Psychiatrie zu vermitteln gilt.

Mit den Beziehungen zu Biologie und Medizin ist allerdings die akademische Einreihung der Hirnforschung noch nicht erschöpft. Das hängt damit zusammen, daß es mit dem Gehirn eine ganz besondere Bewandnis für den Menschen und sein ganzes Dasein hat. Der Physiker und Philosoph P. W. Bridgman sagte einmal: «Alles Wissen über das Universum hängt letzten Endes ab vom Stand der Kenntnis der Neurophysiologie und Psychologie.» In diesen und ähnlichen Worten sind Anliegen der Hirnforschung enthalten, die weit über medizinische und biologische Belange hinausreichen. Dabei geht es um den Gedanken, daß ein tieferer Einblick in die Gehirnfunktion nicht nur Wesentliches zum Verständnis des Menschen als Wissenden, sondern auch seiner sozialen Beziehungen und Bindungen — von den interindividuellen bis zu den internationalen — beizutragen hätte. Um solche Ansprüche universeller Natur überprüfen zu können, skizzieren wir im folgenden die wichtigsten Züge der Entwicklung bis zum heutigen Stand der Hirnforschung.

Drei Hauptetappen lassen sich erkennen: Die erste führte zur Entdeckung des Gehirns und seiner Stellung als Steuerorgan des Körpers und als Sitz oder Träger psychischer Funktionen. Die Entwicklung dieser Vorstellung ist eindeutig das Verdienst der Griechen und ihrer berühmten Aerzte, sie bedeutete für die damalige Zeit keine Selbstverständlichkeit. Einmal galt es gewissermaßen entgegen dem eigenen Empfinden, welches Gefühl und Bewußtsein in verführerischer Weise ins Herz projiziert, einem anatomischen Tatbestand Geltung zu verschaffen. Und auch die Erfassung der anatomischen Situation gelang nicht einfach, denn es setzte die Unterscheidung der Nerven von anderen Geweben und die Erfassung des Nervensystems als eines Ganzen, das heißt die Verknüpfung des Gehirns mit der Körperperipherie, den Sinnesorganen und Muskeln, voraus. — Im Buch des Corpus Hippocraticum über die «heilige Krankheit» (um 400 v. Chr.) steht der folgende Passus, der mit Voraussicht und Klarheit die Stellung des Gehirns umschreibt: «Und die Menschen sollen wissen, daß von nichts anderem als vom Gehirn sowohl Lust und Freude, Lachen und Spaß, als auch Sorgen, Aergernis, Trauer und Verzweiflung kommen; und daß wir uns durch das gleiche Organ Weisheit und Wissen aneignen und sehend und hörend wahrnehmen und unterscheiden, was gut und böse ist, was angenehm und widerwärtig... Durch das Gehirn werden wir wütend und aufgeregt; es vermittelt uns Aengste und Schrecken tagsüber und nachts, und es bringt Träume und Schlaflosigkeit, Fehlleistungen und mangelnde Einsicht in unsere Umgebung. Alle diese Dinge erleben und erleiden wir durch das Gehirn, wenn es nicht gesund ist, sondern entweder zu heiß oder zu kalt, zu feucht oder zu trocken oder wenn dasselbe sonst an einem ungewöhnlichen oder übernatürlichen Zustand leidet.»

Es dauerte allerdings Hunderte von Jahren, bis sich diese Idee, die zunächst noch auf spärlichem wissenschaftlichem Tatsachenmaterial beruhte, allmählich ins Denken und ins Weltbild der Zeitgenossen einfügte. Immerhin haben schon die alexandrinischen Aerzte und nach ihnen Galen (im 2. Jahrhundert n. Chr.), dessen medizinische Autorität bis ins späte Mittelalter reichte, vieles davon aufgenommen und verbreitet. So kam es schließlich, daß das Nervensystem nicht mehr mit dem Herzen, dem Zwerchfell und namentlich mit dem Blut um die Stellung des Koordinationsorgans im tierischen und menschlichen Organismus zu wetteifern hatte.

Die zweite Etappe galt der eigentlichen Erforschung des Organs, der Frage nach seiner Funktionsweise. Die Natur der nervösen Erregung wurde zu einem der Hauptgesprächsthemen der Physiologie. Da gab es ferner das Rätsel der Umwandlung von Reizenergie in die nervöse Energie und schließlich Fragen der Erregungssteuerung, wie wir heute sagen. Allgemein läßt sich feststellen, daß die Konzepte der Gehirnfunktion immer vom vorherrschenden naturwissenschaftlichen Weltbild beeinflusst waren. Immer wurde das Gehirn verglichen mit dem Typus Maschine, der dem neuesten Stand der Technik entsprach. War es im Altertum ein chemisches Aggregat, welches aus Säften gasförmige Substanzen lieferte, so folgten sich später hydraulische, mechanische, elektrische und schließlich elektronische Modelle.

Wohl einer der bedeutendsten Sprünge war der vom mechanischen zum elektrischen Modell. Es

handelte sich um die bekannten Untersuchungen des Bologneser Anatomen Galvani (1791), von welchen nicht nur die moderne Lehre der Bioelektrizität, sondern auch ganz allgemein die elektrische Physik ihren bedeutungsvollen Anfang und Aufschwung nahm. Von der richtigen Interpretation der elektrischen Natur der Nervenregung am Froschenkelpräparat bis zum ersten gültigen Nachweis des Aktionsstroms im Nerv durch Du Bois-Reymond (1848), dann zur verfeinerten Registrierung der Signale im Nervenstrang mit Hilfe von Elektronenröhrenverstärkern und Kathodenstrahlzilographen durch Gasser und Erlanger (1922) bis zur ersten Messung der Membranpotentiale am Einzelfaserpräparat durch den Japaner Kato (1934), führte eine schrittweise Folge von Bemühungen.

Bevor wir uns den heutigen Vorstellungen zuwenden, muß noch eine andere Entwicklungsschleife kurz erwähnt werden: Die Identifizierung der Nervelemente mit Hilfe des Mikroskops und histologischer Methoden. Die erste mikroskopische Untersuchung am Nerv wurde schon 1674 von dem Holländer Anton Leeuwenhoek, dem Erfinder des Mikroskops, gemacht. Damals ging es um die Entscheidung, ob die Nerven analog dem Gefäßsystem auf Röhren bestehen — unendlich feine vielleicht —, welche den Nerven-«Saft» fortleiten. Erst 200 Jahre später wurden schließlich die entscheidenden Beobachtungen gemacht, nämlich von August Forel in Zürich und Wilhelm His in Leipzig, welche die Neurone als «Bausteine» des Nervennetzes sicherstellten. Diese Erkenntnis war folgenschwer. Vor allem führte sie zu einer Spaltung in der Hirnforschung, die bis heute spürbar vorhanden ist. Im einen Lager war man mikroskopisch orientiert und arbeitete am Bauelement, an der Nervenzelle; während man im andern Lager versuchte, den Ueberblick über Zusammenhänge zu gewinnen und das Gehirn als Makrokosmos in seiner Ganzheit zu begreifen.

Verfolgen wir zunächst die Arbeit der Mikroskopiker noch etwas weiter. Neue Methoden mußten entwickelt werden, um die feinsten elektrischen, thermischen und mechanischen Regungen einzelner Zellen, ihren Energieverbrauch und Stoffumsatz zu bestimmen, und die Aufgaben wurden um so verwickelter, als die mikroskopische Technik den Beweis erbrachte, daß im Nervensystem nicht ein einziger Typus von Zellen, sondern eine Vielfalt von strukturell verschiedenen Arten besteht, die vermutlich auch verschiedene Funktionen ausüben.

Die Neuronentheorie hatte aber noch eine weitere Konsequenz: Zwischen den individuellen Einheiten wird die Erregung fortgeleitet, somit kommt den Berührungsstellen der unter sich verknüpften Neurone eine besondere Bedeutung zu.

Der englische Physiologe Sherrington war der erste, der die funktionelle Tragweite dieser Anordnung voraussah und die als «Synapsen» bezeichneten Kontakte als die eigentlichen Elemente der Steuerungsdynamik erkannte. An diesen Stellen kann die Erregung nicht nur von Element zu Element übertragen, sondern auch unterbrochen werden. Erst diese Gegensätzlichkeit von Hemmung und Förderung der Erregungsausbreitung gewährleistet Ordnung und Sicherheit einer Zentrenanlage.

Dem eifrigen Forschen der letzten fünf Jahrzehnte ist es schließlich zu verdanken, daß man sich von Struktur und Funktion der Synapsen ein einigermaßen zuverlässiges Bild machen kann. Hervorzuheben ist dabei vor allem die Tatsache, daß Ventil- und Uebermittlungsfunktionen an diesem strategisch wichtigen Punkt von chemischen Substanzen ausgeführt oder maßgeblich beeinflusst werden. Und dieser grundlegenden Einsicht verdankt der moderne und so fruchtbare Zweig der Neuropharmakologie und Psychopharmakologie seine Erfolge.

Wenden wir uns weiter der Tätigkeit der einzelnen Zelle zu, so fällt auf, daß es trotz der erwähnten Vielheit von Typen eine einheitliche «Sprache» unter Neuronen gibt. Sie ist einfach und eindeutig; statt 25 Buchstaben hat sie ein einziges Signal: den Nervimpuls. Jedes Neuron teilt seinen Erregungsinhalt mit, indem es Impulse sendet oder nicht sendet — nach dem Prinzip eines binären Codes. Die ganze Vielfalt von Signalen aus der Umwelt, auch die menschliche Sprache, wird durch die Sinnesorgane in diesen Kode übersetzt und darin weiterverarbeitet, bis schließlich nach Durchlaufen von langen Nervenzellketten eine Meldung an den motorischen Apparat bereitliegt. Wir denken an den motorischen Apparat meist als Potentialschwankung von rund 1/1000 Sekunde Dauer, der die Zelle mit einer Geschwindigkeit von rund 3 bis 300 Stundenkilometern durchreißt. Er entspringt einer durch außerordentlich geringe Leistung aufrecht erhaltenen Polarisationsspannung der Zellmembran von 1/10 Volt, die in wenigen Millisekunden wieder regeneriert ist. Das ganze Gehirn hat im Wachzustand eine Betriebsleistung von kaum mehr als 20 Watt. Nun ist aber die elektrische Erscheinung nur als Teilphänomen der Erregung zu betrachten, und zwar als dasjenige, das heute am bequemsten gemessen und sichtbar gemacht werden kann. In der Analyse der Kommunikationsvorgänge hat diese Betrachtungsweise im Hinblick auf die Vergleichsmöglichkeit mit elektronischen Rechengertäten weitere Vorteile. Ueberdies ließen sich mit dieser Methode zahlreiche Grundregeln der Kommunikation ableiten, die sich kaum ändern werden, auch wenn sich schließlich unsere heutige Auffassung von der Natur des Impulses noch weiteren Wandlungen unterzieht. — Entscheidend ist zum Beispiel die

Tatsache, daß der Impuls Standardgröße besitzt, welche von der Intensität der Erregung unabhängig ist. Dagegen sind die Impulsfrequenz und der Rhythmus der Entladungen von der Erregung der Zelle abhängig. Im Prinzip arbeitet also das Nervennetz mit Frequenzmodulation, was in einem enggeschalteten, unbedingt isolierten Leitersystem wohl angemessen scheint.

Trotz all diesen und anderen interessanten Einzelheiten muß man sich klar darüber sein, daß der Nervimpuls ein Uebermittlungselement darstellt, aber nicht selbst mit der Verarbeitung, der Analyse und Synthese von Erregungsmustern in direkte Beziehung gesetzt werden kann. Äquivalente der letztgenannten Vorgänge erblickt man heute in sehr vielgestaltigen, zum Teil sehr langsamen und diskreten Potentialschwankungen, die vor allem im Innern der Nervenzellen und an den winzigen Aufnahmeorten der kleinsten Fortsätze, Dendriten genannt, registriert werden können. Diesen Phänomenen, wie übrigens dem Nervimpuls, liegen sicher komplexe, das heißt ebensosehr chemische, strukturelle wie elektrische Änderungen zu Grunde. Dabei ist man sich in zunehmendem Maße bewußt, daß die Nervenzelle ihre Anregungen nicht ausschließlich aus dem neutralen Verbindungsnetz empfängt, sondern auch auf die chemischen, thermischen, osmotischen Veränderungen des umgebenden Säftestromes unter Umständen empfindlich reagieren kann. Dadurch gelangt das Neuron in die Einflußsphäre der peripheren Organe, unter anderem der Leber, der Hormondrüsen. Aber auch die Neurone selbst sind — wie Drüsenzellen — befähigt, chemische Körper auszuschleiden, durch welche sie sich gegenseitig beeinflussen können. Ueber die Mannigfaltigkeit dieser stofflichen Vorgänge beginnt man sich erst in neuester Zeit Rechenschaft abzulegen, obwohl man seit langem von der hohen Wirksamkeit chemischer Reize auf das Nervensystem weiß. Schon Sigmund Freud, der Vater der Psychoanalyse, hat im Jahre 1905 vorausgesagt, daß wahrscheinlich bestimmte Substanzen der Gonaden in umschriebenen Gebieten des Gehirns angreifen und sexuelle Spannung auslösen. Der wissenschaftliche Nachweis gelang kürzlich einer Gruppe von englischen Neuroendokrinologen.

Leider genügt die Kenntnis des einzelnen Elements noch nicht, um in seine Funktion im Verband und in das Funktionieren des Verbandes zuverlässige Einsicht zu gewähren. Was wissen wir heute über die Arbeitsweise eines Nervennetzes? Geben wir zu, daß es noch herzlich wenig ist und wir das wenige in viele Worte kleiden müßten. Diese Verlegenheit wird jedoch verständlich, wenn man sich zunächst von der strukturellen Komplexität des Gehirns eine Vorstellung zu machen versucht; über die genügend konkrete Angaben vorliegen. Die folgenden Daten und Ueberlegungen entnehme ich zum Teil einem Buch des amerikanischen Hirnforschers C. J. Herrick, «Brains of Rats and Men», das bei uns leider viel zu wenig bekannt ist: Zu den wichtigsten Merkmalen der Nervenzellen gehören die gegenseitigen Verbindungen. Eine einzelne Zelle besitzt sehr zahlreiche und reich verzweigte Protoplasmafortsätze mit Hunderten von individuellen Endfüßchen, durch welche sie — im Sinne von Auffangs- und Uebermittlungsorganen — den Erregungsaustausch mit anderen Nervenzellen pflegt. Rechnen wir aus, daß im menschlichen Gehirn schätzungsweise 10 Milliarden, also 10¹⁰, Neurone vorkommen, so wird uns der Hämatologe entgegenen, daß ebenso viele und noch mehr rote Blutkörperchen in unserem Kreislauf zirkulieren. Dabei handelt es sich aber um Zellen, die für sich allein existieren; und wenn zum Beispiel zwei Millionen Blutkörperchen doppelt so viel ausrichten wie eine Million, so stimmt das für eine gleiche Zahl von Nervenzellen nicht, weil eben der Funktionswert der Nervenzellen wesentlich von der Komplexität der Verbindungen abhängig ist. Also würden zum Beispiel zwei Millionen Nervenzellen gemeinsam eine Hirnleistung vollbringen, die unvergleichlich viel höher steht als das Doppelte von einer Million Neuronen. Wenn man eine Million Hirnzellen in Gruppen von zwei miteinander in allen möglichen Kombinationen in Verbindung treten läßt, so würde die Zahl dieser Verbindungen 10²⁷ betragen. Das ist nun wirklich eine immense Zahl, wenn man weiß, daß in dem für uns existenten Universum «nur» rund 10²⁹ Protonen errechnet worden sind. Und dabei ist das erwähnte Beispiel nicht etwa eine Uebertreibung. In Wirklichkeit kommt noch hinzu, daß sich auf diesem komplizierten Netz die Nervimpulse jagen, und zwar in endlosen Rhythmen von bis zu hundert und mehr pro Sekunde. So wäre schon in wenigen Minuten intensiver Hirnaktivität die Zahl der aktivierten Verbindungen ungeheuer groß.

Zahlen sagen hier mehr als Worte über das Problem der Komplexität der Hirnfunktion. Sie weisen aber auch auf eine Situation hin, die zu einer Umorientierung des Denkens zwingt, welche ungefähr derjenigen vom Newtonschen System der mechanischen Physik zur modernen Quantenlehre entspricht. Es handelt sich darum, daß eine völlig neue Methode und Sprache zur Erfassung und logischen Verarbeitung der Beobachtungen notwendig wird. Diese Umstellung in der Hirnforschung ist zurzeit in vollem Gange. Noch vor wenigen Jahren bestand Hoffnung, daß es der einst möglich sein würde, das Spiel der Nervimpulse im Netzwerk der Neuronen wie an aufleuchtenden Lämpchen einer riesenhaften Signalanlage zu verfolgen und eine fortlaufende Korrelation mit den nach außen projizierten Lebensäußerungen, dem Verhalten, herzustellen. Eine solche Korrelation kann nicht mehr unmittelbar, sondern nur durch Herbeiziehung probabilistisch gehaltener mathematischer Formulierungen hergestellt werden. Schon vor vielen Jahren sind

sich die Elektroingenieure und Physiker der Uebermittlungstechnik darüber klar geworden, daß komplexe Kommunikationssysteme nur mit Hilfe von neuen Theorien und logischen Hilfsmitteln verständlich werden, und sie haben damit die heute vielgenannte Informationstheorie begründet. Dabei ist es kein Zufall, daß Hirnforscher von Anfang an zu enger Mitarbeit zugezogen wurden, denn es war selbstverständlich, daß die Kenntnis der Neurophysiologie für die Weiterentwicklung von Hilfsmitteln menschlicher Kommunikation eine unerläßliche Voraussetzung bedeutete. So entstand als letzte Phase in der Entwicklung der Mikrokosmiker eine Symbiose zwischen Information und Hirnforschung, und zum erstenmal seit der Begründung der Neuronentheorie tauchen wieder Hoffnungen auf, daß eine Lösung des erwähnten Unvereinbarkeitskonflikts vielleicht doch noch möglich sein werde.

Die neue Konzeption ist zwar prinzipiell immer noch mechanistisch; sie ist aber von ihren Vorläufern des 19. Jahrhunderts recht verschieden, und wenn sie sich als Arbeitshypothese ebenso fruchtbar auswirkt wie jene, so werden viele Hirnforscher damit einstweilen zufrieden sein.

Noch ein weiterer Gesichtspunkt muß im Zusammenhang des Nervennetzes erwähnt werden: die Gedächtnisfunktion. Dabei muß man sich vergegenwärtigen, daß potentiell alle Impulse oder Impulsgruppen eine Spur hinterlassen. Leider liegen über die Speichermechanismen keine oder wenig konkrete Angaben vor. Sicher hat man es mit einer Leistung zu tun, die das bisher in der Technik Erreichte um vielfache Potenzen übertrifft. In neuester Zeit haben die Biochemiker bei der Erforschung des in den Chromosomen des Zellkerns niedergelegten Erbgedächtnisses bedeutende Fortschritte gemacht. Die Erfolge der Zusammenarbeit auf den Gebieten der experimentellen Genetik und der Chemie der Makromoleküle haben bewirkt, daß die Hirnforscher mit größerer Aufmerksamkeit die im Laufe von neuraler Aktivität zu beobachtenden Veränderungen an der für die Nervenzellen besonders charakteristischen Nissl-Substanz, die aus Ribonukleinsäuren besteht, verfolgen. Es bestände die Möglichkeit, daß das Individualgedächtnis wenigstens teilweise auf Strukturen beruht, die den Trägern des Erbgedächtnisses verwandt oder ähnlich sind. Die Prägungsmechanismen, bei welchen sich nach dieser Idee kleine Konfigurationsänderungen der Makromoleküle vollziehen, könnten zum Teil elektrischer Natur sein. Das sind zwar keine Tatsachen, aber immerhin Ausblicke mit großem heuristischem Wert. Sie deuten vor allem auch auf die in einem Hirnforschungsinstitut zu erwartende Zusammenarbeit zwischen Biochemikern, Elektroingenieuren und Ultrastrukturforschern hin.

In der dritten und letzten Entwicklungsphase der Hirnforschung geht es um den zerebralen Makrokosmos, die Beziehung von Gehirn und Verhalten. Als Ausgangspunkt dieser Anstrengungen dienten Beobachtungen über psychische Veränderungen, wie sie bei Hirnkrankheiten und vielen anderen körperlichen Krankheiten zutage treten und wie sie jeder beim Genuß eines Rausch- oder Betäubungsmittels an sich selbst erleben kann.

Die wissenschaftlichen Bemühungen um die zerebrale Lokalisation des Bewußtseins gehören auch in dieses Kapitel — zu diesem Problem sind zwar Zugänge vorhanden in Form von konkreten Methoden und Beobachtungen, aber eine Erklärung des Phänomens ist und bleibt wahrscheinlich außerhalb der Möglichkeiten einer physikalisch-chemischen Untersuchung.

Dagegen ist es möglich, Gehirnfunktion und Verhalten in ihren Wechselbeziehungen einer objektiven Analyse zu unterziehen. Eine wissenschaftlich fundierte Korrelation war aus technischen Gründen bis ins 19. Jahrhundert hinein unmöglich. Während der Blütezeit der anatomischen Präparationstechnik im 18. Jahrhundert wurde zwar ausgezeichnetes in der Beschreibung des Gehirns geleistet, aber die Bezugnahme auf psychische Funktionen beschränkte sich auf eine symbolisch-animistische Interpretation der zerebralen Strukturformen und wirkt heute absurd. Der interessanteste Versuch mit untauglichen Mitteln war zweifellos derjenige von Franz Josef Gall (1758—1828), einem der bedeutendsten Hirnanatomen der vorhistorischen Ära. Seine Korrelation zwischen Charakter und Persönlichkeit einerseits und Gehirn- bzw. Schädelform andererseits basierte auf sorgfältigen Studien der Lebensgeschichte und eingehender Vermessung der Schädelformen hervorstechender Mitmenschen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden in einer Lokalisationslehre zusammengefaßt, die eine Zeitlang florierete, bis sie als völlig irrig erkannt wurde. Wenn wir auch heute über die topographischen Vorstellungen der Phrenologen lächeln, so steht doch fest, daß sie auf die später entwickelten Lokalisationslehren des 19. Jahrhunderts einen bedeutenden Einfluß ausgeübt haben.

Die ersten ernstzunehmenden Bemühungen waren diejenigen der klinischen Neurologen, welche versuchten, Krankheitsherde im Gehirn zu lokalisieren und mit definierten somatischen und psychischen Ausfallerscheinungen in Beziehung zu setzen. Die wichtigsten Hilfsmittel waren das Mikroskop, die Zerlegung des Gehirns in Tausende von Serienschnitten mit dem Mikrotom und die Technik der histochemischen Gewebsdifferenzierung.

Berühmt, weil viel umstritten, ist die Arbeit von Broca über das motorische Sprachzentrum (1861). Anfängliche Vereinfachungen und Verallgemeinerungen riefen bald nach verfeinerten Auslegungen und komplexeren Methoden. Nicht der Ausfallherd allein, sondern auch die darauf folgende Reihe von funktionellen und anatomischen

Veränderungen des Gehirns: Abbau und Degeneration einerseits, Wiederaufbau und eventuelle Regeneration andererseits, wurden Gegenstand klassischer Untersuchungen. Und in diesem Zusammenhang dürfen wir der besonderen Leistungen der Zürcher Neurologischen Forschung unter Gudden, Forel, Bleuler, von Monakow, Minkowski und ihrer Schüler gedenken. Gleichzeitig machten hier die Hirnanatomie, die Lehre von Gehirnbahnen und Zentren und die Krankheitsforschung große Fortschritte und lieferten die Grundlagen der auch heute noch geltenden Vorstellungen über den Bau des Gehirns. In dieser Zeit fand die Hirnforschung endlich die verdiente Beachtung an den Universitäten, und in verschiedenen Teilen der Welt wurden neue Institute gebaut, sogar mit dem Plan internationaler Zusammenarbeit, der dann vom Ersten Weltkrieg zunichte gemacht wurde.

Noch vorher kam es unter dem Einfluß der von Spencer und namentlich von Darwin einleuchtend begründeten Evolutionslehre zu wichtigen Neuerungen in der Hirn- und Verhaltensforschung: Die Evolutionstheorie fand in der Hirnforschung begeisterte Aufnahme, so durch Hughlings Jackson in England, durch Edinger in Deutschland und durch die Brüder Herriek in Amerika. Ohne auf diese hochinteressante Entwicklung hier näher einzugehen, müssen wir zwei prinzipiell wichtige Folgen der Lehre Darwins festhalten: Gehirn und Verhalten wurden sowohl in ontogenetischem wie in phylogenetischem Zusammenhang auf ihren schichtweisen Aufbau untersucht, wobei sich als allgemeines Prinzip die Überlagerung primitiver, entwicklungsmäßig früher Schichten durch differenziertere, neu hinzukommende Schichten im Sinne der fortschreitenden Enzephalisation herausstellte. Diese Schichtenhypothese, in Verbindung mit Haeckels biogenetischem Grundgesetz, hat nicht nur in der Hirnanatomie, sondern auch in den psychologischen Deutungen Sigmund Freuds (id — ego — super-ego) und in der naturphilosophischen Erkenntnistheorie Nicolai Hartmanns ihren deutlichen Niederschlag gefunden.

Eine zweite und vor allem praktisch wichtige Konsequenz der Evolutionslehre war die Reaktivierung der experimentellen Forschung. Der Vergleich von Gehirnen verschiedener Tierarten mit dem menschlichen Hirn wurde plötzlich sinnvoll, und gleichzeitig erwachte das Interesse am Tierversuch. Endlich war die Möglichkeit zur Erforschung eines lebenden Gehirns geboten, nachdem man während Jahrhunderten fast ausschließlich am toten Organ vergeblich Aufschluß über seine organisatorischen Leistungen gesucht hatte.

So kam es, daß im Jahre 1870 die ersten erfolgreichen Versuche am lebenden Großhirn des narkotisierten Hundes durchgeführt wurden, die zur sukzessiven Entdeckung der sogenannten Bewegungszentren und der Sinnessphären führten. Einer der Pioniere war Eduard Hitzig, damals Direktor der Psychiatrischen Anstalt Burghölzli in Zürich. Seit jener Zeit bis zum heutigen Tag wurden in immer verfeinerten Methoden diejenigen Areale im Gehirn und namentlich an der leicht zugänglichen Hirnoberfläche abgetastet, welche mit den gesamten Skelettmuskeln beider Körperhälften direkt und indirekt in Verbindung stehen — eine Art Klaviatur des Bewegungsapparates. Die elektrische Reizelektrode wurde zu einer Art Zauberstab, mit dessen Hilfe sich die Geschehnisse einer bis ins Feinste differenzierten Organisation der Motilität auftrafen.

Gab die elektrische Reizung vor allem Einblick in die Lokalisation zentraler Potenzen, so eröffnete uns die Jahrhundertwende die Registrierung der zerebralen Aktionsströme ein neues Wirkungsfeld, wobei vor allem die Impulse, die ins Hirn hineingehen, auf ihren Leitungsweg verfolgt werden konnten. Im Zuge dieser Forschung wurden namentlich von Adrian und Woolsey Gehirnkarten aufgenommen, die über die detaillierten Verknüpfungen der vielen Millionen von Reizempfängern auf der Körperoberfläche, der Augen, des Gehörs und des Riechapparates Aufschluß geben. In diesen Bereichen feierte das grandiose Lehrgebäude Darwins seine ersten Triumphe der Neurobiologie, indem gerade in bezug auf die zentrale Organisation sensomotorischer Leistungen eine grundsätzliche Übereinstimmung im Bau und Funktionsplan des Tier- und Menschengehirns zutage trat. Tatsächlich wurden nämlich im Laufe der Jahrzehnte nicht nur die Gehirne unzähliger Tierarten und -gattungen untersucht, sondern auch die gefahr- und schmerzlosen Explorationen am Menschen wurden möglich gemacht. Und obwohl mit zeitraubenden und schwierigen, für Heilzwecke ausgeführten Operationen verbunden, wird diese Phase der elektrischen Durchforschung des Menschenhirns noch bis weit in die Zukunft die spezialisierten Equipen der neurochirurgischen Kliniken in ihrem Banne halten.

Wer je solche Untersuchungen miterlebt oder selbst ausgeführt hat, wird bestätigen, daß die Ordnung und das differenzierende Auflösungsvermögen der zentralen Strukturen, die der Kontrolle der Sinnes- und Bewegungsfunktionen obliegen, einen noch im Experiment faszinierenden Grad erreichen. Aber auch das: Die unter Bedingungen der totalen Narkose gewonnenen Resultate elektrischer Reizung und Ableitung vermitteln immer nur begrenzte Ausschnitte, Teilschablonen oder Bruchstücke von natürlichen Bewegungs- und Sinnesleistungen. Es ist ganz offenkundig, daß das im Narkosezustand befindliche Gehirn zwar vieles preisgibt, aber eben doch nicht alles, was dem natürlichen Gesamtverhalten auch nur annähernd entspricht.

Damit kommen wir auf eine der modernsten und fruchtbarsten Phasen der Hirnforschung zu sprechen, in welcher es möglich wurde, auf direkteste Weise in die Erregungsvorgänge des wachen Gehirns einzugreifen und gewissermaßen mitzuhören. Der große Wurf, 1949 mit dem Nobelpreis ausgezeichnet, gelang dem Zürcher Physiologen W. R. Hess. Eine überragende Grundkonzeption und eine bis ins feinste Detail ausgearbeitete Technik des experimentellen Vorgehens bildeten

die Voraussetzungen. In einer beispiellosen Systematik der punktförmigen Abtastung bisher unerreichtbarer und unerschlossener Gehirnabschnitte in der Tiefe des Zwischenhirns wurde Elementar-Element aus dem gesamten Verhaltensrepertoire der Katze herausgeholt, was normalerweise durch natürliche Umgebungsreize ausgelöst wird. Vor allem die angeborenen, eingebauten Schablonen der Selbst- und Erhaltungstriebtriebe kamen zum Vorschein, und deren funktionelle Organisation und die Lokalisierung der verantwortlichen Nervenstrukturen konnten weitgehend aufgeklärt werden.

Vollkommen natürlich benimmt sich das mit feinsten Reizelektroden versehene Tier (inzwischen ist die Technik auch bei anderen Gattungen und beim Menschen erprobt), und wenn die elektrischen Reizimpulse in die Schaltungen der zerebralen Nervenstrukturen eingreifen, so resultieren Verhaltensweisen, die sich der Spontanaktivität einfach aufzulagern scheinen. Tiere werden plötzlich «durstig» oder «hungrig», und wie von unbezähmbaren Trieben oder Affekten besessen, verschaffen sie sich die entsprechende Befriedigung durch Trinken und Fressen. Hochbedeutsam ist auch die Auslösung des Schlafes oder eines explosiven Aggressionsdranges. Für den Biologen und Psychologen ist es natürlich von größtem Interesse, daß die physiologischen Verhaltensweisen durch lokalisierte elektrische Reizung in voraussagbarer Weise reproduziert werden können.

Die Hessischen Untersuchungen wurden von seinen Schülern weitergeführt und fanden seit 1951 in zahlreichen Forschungslaboratorien der Welt ihre Fortsetzung. Erwartungsgemäß stellten sich bald weitere Fortschritte ein. Eine wichtige Ergänzung ergab sich dank dem Einsatz der fortschreitenden Radiotechnik. Die Entwicklung von Miniaturzubehör ermöglichte es, statt einer einzigen oder nur wenigen gleichzeitig viele Sonden ins Gehirn einzuführen, und die drahtlose Übertragung von Reizsignalen erweiterte den Aktionsradius und den Freiheitsgrad des Versuchstieres. Kombiniert mit der Ableitung von Aktionsströmen, gestattet diese Modifikation das simultane «Abhören» von Hirnströmen von multiplen Zentren des Zentralnervensystems, während das Versuchstier eine künstlich ausgelöste Handlung ausführt. Es gibt nun allerdings vorläufig hier eine Grenze, indem die Anwesenheit allzu vieler — auch noch so feiner — Sonden für das normale Funktionieren des Gehirns eine allzu große traumatische Belastung darstellt. Immerhin war es doch ein Ereignis, das die Hirnforscher des 19. Jahrhunderts kaum zu erhoffen wagten, als der Amerikaner Lilly die Aktionsstromveränderungen von gleichzeitig mehreren Hunderten von «Hirnpunkten» an Bildschirmen verfolgen konnte.

Noch eine andere Variante der Hessischen Untersuchungstechnik muß hier erwähnt werden. Der amerikanische Psychologe Olds kam auf den Gedanken, dem Versuchstier selber die Schalthebel des elektrischen Reizapparates in die Hand zu geben. «Wiederum tat sich eine Tür auf. Je nach der Lokalisation der Elektroden lernten die Versuchstiere die Taste zu drücken, um sich damit in fast rastloser Tätigkeit elektrische Hirnreize zu applizieren — oder aber sie verhielten sich wie gebrauchte Kinder ablehnend gegenüber der künstlichen Reizquelle. Die Korrespondenz zwischen den von Hess ermittelten Lokalisationsgebieten einzelner Triebhandlungen und den von Olds als «reward areas» (Belohnungsareale) oder etwas kühn als «pleasure centers» bezeichneten Hirnregionen war frappant. Unerwartete Einblicke eröffneten sich damit in die neurale Apparatur, die dem höher entwickelten Tier und dem Menschen positive und negative Stimmungen und damit Antrieb oder Hemmung von angeborenen und angelernten Handlungen vermitteln. Kein Wunder, daß die Psychologen und Philosophen aufhorchten. Dabei geht es wohlverstanden nicht um die Lokalisation von Lust und Unlust, wohl aber um die Tatsache, daß die nervösen Energiequellen, die unser Handeln mitbestimmen, an definierten Punkten im Gefüge des Zentralnervensystems erfaßt werden können. Zudem befinden wir uns erst am Anfang. Aber hier wie andernorts in den Wissenschaften und in der Technik erweist sich meist der erste Durchbruch als das entscheidende Ereignis. Ausweitung und Ausleuchtung sind die Sache der Nachfolgenden. Mit jeder neu gewonnenen Tatsache aber steigt die Aussicht, einmal dem Patienten, bei dem die Triebssysteme in ihrem innersten Gefüge durcheinander gekommen sind, direkte Hilfe zu bringen.

Bisher begab sich, daß die elektrische Reizung des Gehirns fast ausnahmslos angeborene triebhafte Mechanismen des Verhaltens mobilisiert. Gerade beim Menschen spielen erlernte Fähigkeiten eine ungleich größere Rolle. Wie weit sind unsere Kenntnisse in dieser Beziehung gediehen?

Auch in diesem Sektor wurden die Entdeckungen nicht an einem Tage gemacht, aber die größte Leistung verdanken wir auch wieder einem einzigen genialen Forscher, dem russischen Physiologen I. P. Pawlow. Seine Arbeiten über die bedingten Reflexe und Reaktionen sind hinlänglich bekannt. Im Prinzip war es eine verblüffend einfache Versuchsanordnung, entscheidend aber war das eiserne Festhalten an der neurobiologischen Konzeption, das zum Erfolg führte. Wenn Hess sich seinerzeit am Beispiel der Blutversorgung und Hämodynamik von der peripheren Ordnung stufenweise zu den höchsten Regulationszentren des Gehirns leiten ließ, so leistete Pawlow Ähnliches, indem er bei simplen Reflexen der Verdauungstätigkeit begann. Daß ein Tier «lernte», die Fütterungszeit am Vorseignal des Glockentones zu antizipieren, gab Pawlow den Anstoß, die dynamischen Vorgänge der Assoziation zweier primär unabhängiger zerebraler Prozesse genauer ins Auge zu fassen. Sein Versuch einer Generalisation vom bedingten Speicheldrüsenreflex auf die integrative Tätigkeit des Gehirns trug ihm zwar zunächst namentlich im Westen fast mehr Spott und Kritik als Bewunderung ein. Dazu kam, daß er vieles in seinem großen Lehrgebäude mangels der technischen Hilfsmittel unerforscht und unbewiesen lassen mußte. Wie sehr aber Pawlow seiner Zeit

voraus war, geht aus der Tatsache hervor, daß die von ihm postulierten und von dem amerikanischen Neuropsychologen Lashley und seiner Schule experimentell bestätigten sogenannten Plastizitäts- und Adaptationsprozesse des Gehirns nunmehr allgemeine Anerkennung gefunden haben.

Zur Beweisführung bedurfte es freilich neuer Methoden, vor allen Dingen einer objektiven und quantitativen Erfassung psychischer Leistungen: von Wahrnehmungs- und Denkprozessen, Aufmerksamkeits- und Erinnerungsvermögen. Auch ist es verständlich, daß die Komplexität des menschlichen, ja sogar des Säugetiergehirns unüberbrückbare Schwierigkeiten bot und man deshalb immer primitivere Stufen von Lern- und Gedächtnisvorgängen bei niedrigeren Tieren zu untersuchen begann. Zu den interessantesten Forschungen auf diesem Gebiet zählen die von J. Z. Young (London), der die assoziativen Vorgänge im Gehirn des Tintenfisches mit Hilfe von kombinierten elektrophysiologischen, anatomischen und psychometrischen Hilfsmitteln abzuklären versuchte. Einfache Situationen, wie Rückzug beim Nahen eines Feindes oder das Erfassen, Heimtschaffen und Verschlingen einer Beute, wurden im Sinne einer Netzwerkanalyse aufgedeckt. Pawlow wäre wohl nicht überrascht gewesen, zu vernehmen, daß das Intelligenzverhalten des Oktopus im Sinne der ketten- und stufenweisen Etablierung von Assoziationssystemen verständlich wird. Neuerdings ist es auch gelungen, assoziative Verbindungen im Sinne Palows direkt auszulösen, indem ein elektrischer Hirnreiz statt des Metronomschlags oder des Glockensignals benützt wird. Die zeitlichen Abläufe, die Stabilität und Wahrscheinlichkeit intrazerebraler Prozesse wird damit zum Prüfstein der Forscherequipen, die vornehmlich aus Mathematikern, Elektroingenieuren, Psychologen, Neurophysiologen und Hirnanatomern bestehen.

Wohl am meisten hätte sich Pawlow gefreut, wenn er die jüngst zustande gekommenen Zeitrasterfilme hätte sehen können, die von lebenden Hirngewebskulturen aufgenommen werden konnten. Pomerat in Texas und seine Mitarbeiter haben in dieser Darstellungsweise wahre Meisterschaft entwickelt, wobei die Lebensäußerungen von Nervenzellverbänden über Stunden mikrokinematographisch reproduzierbar werden. Damit ist zum erstenmal dem beobachtenden Auge die Möglichkeit gegeben, einen allfälligen Gestaltswandel der Nervenzelle während eines definierten Funktionsablaufes zu verfolgen. Nun ist eine Gewebekultur allerdings noch kein Gehirn, sondern ein nur schwach organisierter Zellverband. Ist es aber nicht hochbedeutend, wenn wir hören, daß die Nervenfortsätze tatsächlich Bewegungen ausführen und daß dabei neue Verbindungen entstehen und alte sich auflösen können?

Noch ein weiterer Aspekt der Pawlowschen Assoziationsversuche muß hier erwähnt werden, weil er bedeutungsvoll in die Zukunft weist. Durch die Anwendung seiner Technik beim Menschen ist es gelungen, Organfunktionen unter bewußter Kontrolle zu bringen, die sonst gewöhnlich ohne unser Bewußtsein ablaufen. Wenn man also zum Beispiel den Pupillarreflex mit Tonsignal konditioniert, so daß sich die Pupille — den scharfen Lichtstrahl antizipierend — schon auf das Warnsignal kontrahiert, so bedeutet es nur einen kleinen Schritt von hier, das Tonsignal noch mit einem Wortbefehl: zum Beispiel «Schließen», zu verknüpfen, den sich die Versuchsperson schließlich selbst mitteilen oder denken kann. Auf diese Weise ist es möglich, nicht nur das Pupillenspiel, sondern zum Beispiel auch den Herzrhythmus in die Hand zu bekommen. Dabei erinnert man sich an die außerordentlichen Leistungen der Selbstsuggestion, die uns von Trägern der indischen Kultur als besonders eindrücklich bekannt sind. Im Hinblick auf die sogenannten psychosomatischen Krankheiten, in denen das Nervensystem eine wesentliche Uebermittlerrolle spielt, scheinen diese Weiterentwicklungen der Pawlowschen Plastizitätsgesetze von größter Wichtigkeit, da durch lernbare assoziative Bemühungen Schichten des Gehirns sich beeinflussen lassen, die vorher einer bewußten Kontrolle nicht zugänglich waren. Dazu gehören meines Erachtens nicht nur Systeme, die mit der Innervation von einzelnen vegetativen Organen zu tun haben. Vielmehr eröffnet sich die Gelegenheit, auch ganz andere Funktionen assoziativ zugänglich zu machen, und mit diesem Vorschlag nähern wir uns dem Tätigkeitsfeld der sogenannten Psychotherapie. Es ist leider so, daß hüben und drüben, das heißt bei Hirnforschern und Psychotherapeuten, die Meinung weit verbreitet ist, daß ihre respektiven Arbeitsgebiete wie von einem breiten, unüberbrückbaren Meeresarm getrennt seien. Ich teile diese Auffassung nicht. Psychotherapie ist eine vorwiegend verbale Verbindungsaufnahme und Auseinandersetzung zwischen zwei Gehirnen. Der Erfolg der verbalen Reizwirkung wird dabei ausschließlich durch äußere Kontrollkreise gesteuert, und der Psychotherapeut hat, weil ihm bisher keine Mittel zur Verfügung standen, sich gewöhnt, auf die Frage nach den inneren Veränderungen zu verzichten und sich mit indirekten Anzeichen zu begnügen. Es steht außer Zweifel, daß Auseinandersetzen und Mitfühlen beim Patienten Heilungsprozesse auslösen können. Solange man sich aber keinen Einblick in die sich dabei abspielenden zerebralen Vorgänge zu verschaffen vermag, bleibt die Psychotherapie weitgehend irrational und teilweise ins Dunkel der Magie gehüllt. Eine gezielte Therapie ist erst dann möglich, wenn auch die Prinzipien der inneren, das heißt zerebralen Organisation genauer bekannt sind und mitberücksichtigt werden können. Dabei bedeutet diese wissenschaftliche Orientierung für den Psychologen und Psychiater weder Verzicht noch Vereinfachung, sondern im Gegenteil eine gewaltige Komplizierung seiner Aufgaben und seiner Verantwortlichkeit.

Damit sind wir bei einem Punkte angelangt, wo es sich lohnt, noch einmal von den Zielen zu sprechen. Erkennen und Heilen sind, wie ich einleitend ausführte, die Motive und Zielsetzungen der Hirnforschung. Vielleicht ist es gut, diese doppelte Orientierung nochmals in Erinnerung zu

rufen. Denn aus dem Bisherigen ist wohl klar geworden, daß bei der Erkundung des Gehirns dem Menschen zum Teil unheimliche Mittel und Kräfte zufallen, deren Mißbrauch Unheil und Verderben stiften könnte. Diese Problematik wissenschaftlicher Erkenntnis ist nicht neu, besonders nicht im Zeitalter der Atomkräfte. Erkenntnis macht uns frei oder aber zum Sklaven. Inwiefern dies für die Früchte der Hirnforschung heute schon und in der Zukunft zutreffen könnte, diese Frage gäbe Stoff für eine längere Betrachtung. Beruhigen wir uns mit dem Gedanken, daß das Drängen nach Erkenntnis stets vom Willen zum Helfen und Heilen geleitet sein möge. Ueber das Verständnis und die Heilung von Hirnkrankheiten sei hier noch einiges angefügt.

Wilhelm Griesinger (1817—1868) hat bereits vor rund hundert Jahren das Stichwort gegeben, als er behauptete, daß Geisteskrankheiten im Prinzip Hirnkrankheiten seien. Dieser Satz hat zu vielen fruchtbaren Diskussionen Anlaß gegeben. Trifft sein Inhalt zu, so würde das die Möglichkeit in Aussicht stellen, daß die Hirnforschung dereinst das Geheimnis der Schizophrenie lüften wird. Besteht dazu berechtigte Hoffnung? Ich glaube es und möchte meine Auffassung folgendermaßen begründen: Erstens ist der negative Beweis, daß nämlich bis heute keine chemisch-physikalischen Gehirnveränderungen bei den endogenen Psychosen nachgewiesen wurden, nicht stichhaltig; denn in den Naturwissenschaften haben im allgemeinen nur positive Befunde Beweiskraft. Jedenfalls sollte dieser Umstand nicht zum Rückzug zwingen, sondern im Gegenteil zu vermehrten Anstrengungen anspornen. Zweitens ist einleuchtend, daß schon ganz kleine Ursachen große Folgen in einem Komplex auslösen können, in welchem zwischen physikalisch-chemischen und psychischen Vorgängen nur mathematisch-statistische Korrelationen ermittelt werden können. Was etwa mit «kleiner Ursache» gemeint sein könnte, dürfte am Beispiel der phenylketonurischen Idiotie, einer Form des Schwachsinn, hervorgehen. Noch ist es selten gelungen, das Gehirn eines durchschnittlich Begabten von dem eines Idioten mikroskopisch zu unterscheiden. Aber kürzlich stellte es sich heraus, daß in einer besonderen Gruppe von Schwachsinnigen ein bestimmtes Ferment in der Leber von Geburt an fehlt, welches eine bestimmte Funktion beim Abbau von Eiweißbestandteilen ausübt. Wäre dieses Ferment beim Erwachsenen nicht vorhanden, so hätte dies keine besonderen Folgen. Aber beim Neugeborenen bildet es einen kritischen Faktor des Stoffwechselsapparates, dem bei der Hirnreifung eine entscheidende Rolle zukommt. Fehlt es während der ersten Lebenswochen, so verlangsamt sich die Reifung der Nervenzellen. Damit ist diese besondere Form des Schwachsinn verständlich gemacht, und ihre Verhütung ergibt sich durch gewisse diätetische Maßnahmen. Das heißt natürlich nicht, daß bei den endogenen Psychosen ebenfalls ein oder mehrere Fermente zu fehlen brauchen. Wichtig ist vor allem die Tatsache, daß kleinste Mengen einer bestimmten Substanz eines anderen Organs dem Gehirn während einer definierten Periode des Wachstums zugeführt werden müssen, da sonst eine verhängnisvolle Funktionsstörung des Gehirns eintritt, die nur elektronenmikroskopisch oder allenfalls mikrochemisch einwandfrei erfassbare Veränderungen mit sich bringt. Wenn wir von einer kritischen Vulnerabilitätsperiode während der Hirnentwicklung hören, so erinnern wir uns an die schädliche Rolle von Viren während gewisser Stadien der embryonalen Entwicklung des Gehirns. Töndury (Zürich) hat hierüber eindrückliches Material gesammelt, und seine sorgfältigen Untersuchungen regen zur Vermutung an, daß dereinst bei embryonalen Viruserkrankungen nicht nur relativ grobe Hirnmißbildungen und Fehlentwicklungen der Sinnesorgane, sondern auch vielleicht sehr diskrete, aber psychophysiologisch folgenreiche Veränderungen gefunden werden. Im einen Fall ist es eine endogene Fermentstörung, im andern ein Virus; gemeinsam sind molekular-biologische Vorgänge während einer kritischen Zeitspanne. Im Hinblick auf solche Gegebenheiten besteht kein Grund, die Anwendung naturwissenschaftlicher Methoden in der Schizophrenieforschung aufzugeben.

Schließlich ein dritter Punkt: Der Medizingeschichte entnehmen wir das Beispiel der Infektionskrankheiten. Wie lange hat es gedauert, bis die «Miasma»-Theorie durch den Infektionsbegriff abgelöst wurde! Statt mit giftigen Dünsten hatte man es endlich mit etwas Greifbarem: Mikroben, zu tun. So wurde der bisher neblige Begriff der Ansteckung durch die Entdeckung von mikrobiellen Krankheitserregern rationalisiert. Wir können aber von der Geschichte der Infektionskrankheiten noch mehr lernen: nämlich die Tatsache, daß Bakterien allein noch keine Krankheit erzeugen. Dazu gehört außerdem ein Mensch mit seiner Anlage einerseits und seinen psychologischen, sozialen und wirtschaftlichen Problemen andererseits. Immer mehr dringt die Einsicht durch, daß Krankheiten multifaktoriell bedingte Vorgänge sind, die multifaktoriell analysiert werden müssen. Das trifft in besonderem Maße für sogenannte «Geistes»-Krankheiten zu. Wie es heute keinem Arzt einfallen würde, die Tuberkulose ausschließlich als soziales Problem zu behandeln und die Infektiosität der Tuberkelbazillen abzulehnen, so falsch wäre es, die Bedeutung von Hirnfunktionsstörungen bei den Geisteskrankheiten zu verkennen. Diese letzteren zu erforschen ist Ziel und Aufgabe der Hirnwissenschaften; während die Psychiater, Sozialmediziner, Soziologen und Seelsorger andere Aspekte der Geisteskrankheiten im Auge behalten müssen.

Noch hat die moderne Hirnwissenschaft erst eine kurze Strecke zurückgelegt, und sie hat einen neuen genen Anhaltspunkt da zu sein, welche die vorzeichen. Um die großen Aufgaben der Zukunft zu lösen, braucht es aber nicht nur teure Apparate und Energien, welche begeisterungsfähigen jungen Gehirnen entstammen.

Antrittsvorlesung an der Universität Zürich, gehalten am 27. Oktober