Michael Hagner

Lokalisation, Funktion, Cytoarchitektonik

Wege zur Modellierung des Gehirns

I. Modelle in den biomedizinischen Wissenschaften

Die allgemeinste Definition für ein Modell in den Wissenschaften dürfte dahingehend lauten, daß ein Ding durch ein anderes per Analogie oder per Metapher repräsentiert wird. Wissenschaftstheoretiker von Duhem bis Hesse und Lakatos haben nicht wenig Mühe darauf verwendet, den Ort von Modellen im wissenschaftlichen Denken zu fixieren. Dabei sind die historischen Beispiele zumeist in der Physik gesucht und gefunden worden. Erst Georges Canguilhem hat ausdrücklich darauf hingewiesen, daß Modelle in den biomedizinischen Wissenschaften ein Eigenleben führen und im Anschluß daran die These aufgestellt, daß innovative Modelle niemals ein Double des organischen Objekts sein dürfen, denen ein unmittelbarer Erklärungs- oder Anschauungswert zukommt, sondern daß die Differenz zwischen Objekt und Modell stets virulent bleiben muß, damit Forschungsfragen formuliert und reformuliert werden können.[1] Auch wenn Canguilhem sich ganz im Raum der traditionellen Wissenschaftstheorie bewegt und das Modell als Bestandteil wissenschaftlichen Denkens ganz explizit vom experimentellen Geschehen abgrenzt, lädt seine These gleichwohl dazu ein, den instrumentellen Charakter von Modellen in praktischen Forschungszusammenhängen näher zu untersuchen: welche Rolle spielt ein Modell für die experimentelle Praxis, wie kommt es ins Spiel, wie wird es eingesetzt, und was sind die Gründe für das mitunter rasche Verschwinden von Modellen? Mit diesen Fragen beabsichtige ich nicht, die wissenschaftstheoretischen Diskussionen um die prädiktive Zuverlässigkeit oder Schwäche von Modellen zu bereichern. Vielmehr gehört es zu den Zielen dieser Studie, den heuristischen und ausgesprochen variablen Charakter von Modellen in den biomedizinischen Wissenschaften und insbesondere in der Hirnforschung an einem Beispiel genauer zu fassen.

1 Vgl. Canguilhem 1963, 517–520; auch Asher 1934.

In der Geschichte der Hirnforschung sind Modelle, Metaphern und Analogien bis auf den heutigen Tag in ganz unterschiedlicher Weise zum Zuge gekommen. Im 18. Jahrhundert wurde das Gehirn als barockes Uhrwerk oder auch als ein aus vielen Fächern bestehendes Vorratshaus verstanden, im 19. Jahrhundert galt das Gehirn als Ausscheidungsorgan von Sinn, wurde aber auch mit dem galvanischen Apparat oder mit einem Automaten mit corticaler Klaviatur assoziiert. Bevor es dann um die Mitte des 20. Jahrhunderts zur kybernetischen Wende kam und das Gehirn mit medientechnischen Datenverarbeitungsmaschinen, Telekommunikationsmaschinen, Turing-Maschinen, Computern und Hologrammen in Verbindung gebracht wurde, war das allgemein anerkannteste Modell für das Gehirn das einer sensomotorischen Reflexmaschine.[2] Außer der ganz allgemeinen Feststellung, daß es sich bei dieser Aufzählung um an der Mechanik, Physik und Technologie orientierte Apparaturen handelt, läßt sich – so weit ich sehe – nur eine einzige weitergehende Gemeinsamkeit dieser Modelle feststellen. Sie alle nämlich fügen sich in einen jeweiligen allgemein akzeptierten wissenschaftlichen Problemhorizont. Dieser Horizont legt im weitesten Sinne die historisch-kulturellen Koordinaten für den wissenschaftlichen Umgang mit dem Gehirn fest. Er definiert die Ränder des Sagbaren und Machbaren, und deswegen können verschiedene Modelle, Praktiken, Theorien etc. vor einem Problemhorizont wirksam werden. Nun ist es historisch gewiß nicht sonderlich problematisch, daß beispielsweise im 19. Jahrhundert niemand mehr vom Gehirn als Uhrwerk redet, aber es bedarf der Erklärung, daß das mit dem rasanten Aufstieg der Hirnforschung im späten 19. Jahrhundert assoziierte Modell der sensomotorischen Reflexmaschine um 1900 in eine Krise gerät und für die weiteren Forschungsaktivitäten nicht mehr die zentrale Rolle spielt.

Wenn daraus die Schlußfolgerung zu ziehen ist, daß die historische Variabilität eines Modells im Wissenschaftsprozeß nicht bloß in markanten epistemischen Schnitten sichtbar wird, sondern auch in vergleichsweise stabilen Entwicklungen, in denen das Auftreten eines neuen Wissens- bzw. Tätigkeitsfeldes keinen Bruch bedeutet, stellt sich allerdings die Frage, ob ein Modell mehr ist als ein Bestandteil in einem komplexen Netzwerk der Wissensentstehung, das nicht am Anfang dieses Prozesses steht und auch nicht notwendigerweise eine herausragende Bedeutung haben muß.

2 Vgl. Pribram 1990.

II. Das Gehirn als sensomotorische Reflexmaschine und die Lokalisierung der geistigen Eigenschaften

Der Problemhorizont der Hirnforschung zwischen 1870 und 1900 bestand darin, daß geistige Qualitäten des Menschen im Gehirn lokalisiert wurden. Zwar wollte man nichts mit der älteren Organologie Franz Joseph Galls zu tun haben, aber die nach und nach entwickelten klinisch-experimentell definierten Krankheitsbilder von Aphasie, Agraphie, Alexie, Agnosie, Apraxie usw. legten nahe, daß Sprechen, Schreiben, Lesen, Erkennen (von Gegenständen) und sinnvolles Handeln nicht Ausdruck eines einheitlichen menschlichen Vermögens sind, sondern Ausdruck der Intaktheit einer umschriebenen Hirnregion. Gewiß gab es eine ganze Reihe von wissenschaftlichen Autoritäten, die das vehement leugneten, doch trugen sie durch ihre eigene Forschung zur weiteren Stabilisierung des Lokalisationismus bei.[3] Der Problemhorizont Lokalisation überschritt somit die Intention invidueller Wissenschaftler. Er bildete den allgemeinen Rahmen für eine ganze Anzahl von experimentellen Tätigkeiten, die trotz unterschiedlicher disziplinärer und fachlicher Ausrichtungen, experimenteller Techniken, wissenschaftlicher Objekte und differierender Ergebnisse miteinander konvergierten. Dabei lassen sich im wesentlichen drei Tätigkeitsfelder mit ihren jeweils eigenen Forschungspraktiken unterscheiden: Die elektrische Stimulation der Hirnrinde und gezielte cerebrale Läsionsexperimente gehörten in die Physiologie; die Erforschung und genaue funktionale Lokalisierung von Hirnläsionen bzw. Erkrankungen beim Menschen gehörte zur Neurologie und Psychiatrie; und schließlich wurde in der Anatomie die strukturelle Differenzierung funktionell isolierter Hirnareale untersucht.

In dieser für die Hirnforschung so wichtigen Phase war das herausragende Modell für das Gehirn das einer sensomotorischen Reflexmaschine, das ich das Meynert-Wernicke-Modell nennen möchte. Mittels dieses Modells konnten die verschiedenen Tätigkeitsbereiche in der Hirnforschung miteinander verknüpft werden, auch solche, die sich initial zwar nicht zu widersprechen schienen, keineswegs aber eine gegenseitige Bestätigung erbrachten. Mit anderen Worten: das Meynert-Wernicke-Modell diente als Instrument, um *Konjunkturen* zwischen experimenteller Physiologie, Pathologie der Hirnläsionen und Neuroanatomie herzustellen.[4]

3 Siehe Star 1989; Hagner 1993.

4 Konjunkturen lassen sich nicht nur zwischen einzelnen Experimentalsystemen herstellen, sondern auch – gewissermaßen auf einer sozial höheren Ebene – zwischen ganzen Forschungsbereichen. Auch diese Ereignisse sind nicht unbedingt vorhersehbar, und ihre Vernetzung kann ebenso zur Neukonstituierung bzw. Reorganisation von Forschungsbereichen führen.

Nach diesem ersten Lokalisierungsschub kam um 1900 erneut Bewegung in die Hirnforschung. Auf der einen Seite mehrten sich die kritischen Stimmen gegen die konzeptionelle Tragfähigkeit des Lokalisationskonzepts. Unter dem Stichwort Holismus verbarg sich zwar die Grundüberzeugung, daß die geistigen Phänomene ein Produkt der höheren Hirnfunktionen seien. Die Frage war indes, ob das komplexe Verhältnis von Struktur und Funktion aufgrund der anatomischen, physiologischen oder klinischen Analyse von einzelnen Hirnregionen abgehandelt werden könne, und ob eine Reduktion der Lebenserscheinungen auf chemische und physikalische Prozesse und insbesondere eine neurologische Betrachtung des menschlichen Geistes als Summe seiner Empfindungen und deren Verarbeitung im Gehirn ausreichend seien.[5] Damit wurde auch die metaphysische und forschungsstrategische Haltbarkeit der sensomotorischen Reflexmaschine in Frage gestellt. Freilich folgt aus dieser kritischen Hinterfragung nicht, daß die Lokalisationslehre aufgegeben worden wäre. Im Gegenteil trugen gerade solche Fragen und Ungereimtheiten zu einer verfeinerten topographischen Segmentierung des Gehirns bei, die unter dem Namen Cytoarchitektonik verhandelt wurde. Allerdings führten die Verschiebungen in der Forschungspraxis dazu, daß das sensomotorische Modell marginalisiert wurde und daß es zu neuen Vernetzungen in den bestehenden disziplinären und experimentellen Bereichen kam.

Cytoarchitektonik ist damit, so wird zu zeigen sein, eine von mehreren Antworten auf bestimmte Konstellationen in der Hirnforschung um 1900. In der bisherigen historischen Aufarbeitung der Cytoarchitektonik werden historische Traditionslinien gezogen, die wahlweise von der Anatomie des 18. Jahrhunderts (Francesco Gennari, Félix Vicq d'Azyr, Samuel Thomas Soemmerring)[6] oder doch wenigstens von der Anatomie Theodor Meynerts und Vladimir Betz' sowie der Neurophysiologie von Gustav Fritsch und Eduard Hitzig gezogen werden.[7] Mir kommt es in Ergänzung dazu darauf an, zu zeigen, daß die Verschiebungen im Forschungsprozeß Antworten auf Probleme innerhalb der Lokalisationsforschung darstellen und weniger aus einer langen Traditionslinie heraus zu erklären sind. Im folgenden werde ich zunächst auf die Entwicklung der Lokalisationslehre seit 1870 eingehen und insbesondere einige Aspekte der außerordentlichen Fruchtbarkeit des sensomotorischen Modells darstellen, um hernach Eigentümlichkeiten und Hintergründe der Neuorientierung in der Architektonik des Gehirns, wie sie zwischen 1900 und 1920 entwickelt wurde, herauszuarbeiten.

5 Siehe Peacock 1982, 92; Harrington 1992.
6 Vgl. Fulton 1937.
7 Vgl. Richter/Lindemann 1988.

Experiment, Läsion, Schnitt

Eduard Hitzig und Gustav Fritsch führten Experimente durch, in denen die Hirnrinde der Versuchstiere elektrisch stimuliert wurde. Entgegen der bis dahin gültigen Annahme führte die Reizung spezifischer Rindenareale zu selektiven Bewegungen einzelner Gliedmaßen.[8] Dadurch waren die Hirnforscher zum ersten Mal mit der Möglichkeit konfrontiert, daß hinter einem experimentell evozierten Lallen des Gehirns eine ganze Sprache verborgen sein könnte, deren weitere Dekodierung auf einer sukzessiven Lokalisierung von psychischen und physischen Qualitäten in den verschiedenen Regionen der Hirnrinde beruhte. Es war nicht so, daß man Hitzigs und Fritschs These von sog. motorischen Zentren in der Hirnrinde umgehend geglaubt hätte. Doch trotz verschiedener Zweifel war man sich in dem Punkte einig, daß es bestimmte abgrenzbare Areale in der Hirnrinde gab, die motorisch erregbar waren, andere nicht. Die in der Folgezeit kontrovers diskutierten Fragen bezogen sich darauf, ob diese Zentren exakt begrenzte Ränder aufwiesen oder eher ineinander übergingen; ob ein einzelnes Zentrum spezifisch auf eine Funktion ausgerichtet war, oder ob sich umgekehrt eine Funktion aus der Verbindung mehrerer Zentren zusammensetzte; ob die exakte topographische Lokalisation und Ausdehnung dieser Zentren bei verschiedenen Individuen gewisse Variabilitäten aufwiesen oder nicht; und schließlich, welche psychischen Qulitäten überhaupt als lokalisationsfähige Funktionen isoliert werden konnten. Gegen die ältere phrenologische Überzeugung, daß Talente und Eigenschaften wie Ordnungsliebe, Musikalität und mathematische Begabung in der Hirnrinde lokalisierbar seien, immunisierten sich die Hirnforscher der 70er Jahre des 19. Jahrhunderts, indem sie zunächst einmal diejenigen Qualitäten lokalisierten, die experimentell am besten beherrschbar waren – die sensorischen Fähigkeiten (insbesondere Hören und Sehen) und die Motorik.

Die Auseinandersetzungen um die soeben aufgezählten Fragen sind ein Indiz dafür, daß die Ergebnisse von Hitzig und Fritsch zwar einen neuen experimentellen Raum eröffneten, aber für sich genommen stabilisierten sie weder den Lokalisationsgedanken, noch führten sie zu einer *Vitalisierung* der sensomotorischen Maschine. Genau an diesem Punkt kommt die Verbindung der experimentellen Physiologie mit hirnanatomischen Untersuchungen und klinischen Falldarstellungen von Hirnläsionen ins Spiel.

Ein wichtiger Impuls für die Hirnanatomie in den 60er Jahren kam aus der Psychiatrie. 1867 hielt Wilhelm Griesinger einen programmatischen „Vortrag zur Eröffnung der psychiatrischen Klinik zu Berlin", in dem er anomale Aktionen der Ganglienzellen in der Hirnrinde dafür verantwortlich machte, daß „Bilder,

8 Hierzu siehe Hagner 1993.

Worte, Vorstellungen aller Art ausgelöst werden, welche der Wirklichkeit nicht mehr entsprechen".[9] Zur Erläuterung dieser Vorgänge bediente sich Griesinger eines Vergleichs aus dem bis dahin erfolgreichsten Arbeitsgebiet der Neurophysiologie, der Rückenmarksphysiologie. Üblicherweise wirken die Zellen des Rückenmarks in harmonischer Weise zusammen und ermöglichen auf diese Weise das koordinierte Gehen: „sie [die Ganglien-Zellen] verarbeiten die erhaltenen sensitiven Eindrücke des berührten Bodens und reagiren motorisch so, dass eine vollständige Harmonie mit der Aussenwelt und mit dem Willen des Individuums herauskommt."[10] Bei Funktionsstörungen der Zellen kommt es nach Griesinger automatisch auch zu Gangstörungen. In dieser Analogie werden gleichzeitig das ganze Dilemma *und* die Hoffnungen einer hirnorganisch orientierten Psychiatrie sichtbar. Denn in den Rückenmarkswurzeln ließen sich sensorische und motorische Abschnitte problemlos identifizieren, im Hinblick auf eine solche Differenzierung im Gehirn jedoch waren alle Versuche fehlgeschlagen. Deswegen war der Vergleich höchst spekulativ, aber zugleich war die Annahme einer prinzipiellen strukturellen und funktionellen Gleichartigkeit von Gehirn und Rückenmark ein Anknüpfungspunkt für die weiteren wissenschaftlichen Bemühungen. Während jedoch die experimentalphysiologischen Untersuchungen zum Nachweis einer funktionellen Gleichartigkeit in den 60er Jahren keine verwertbaren Resultate ergaben, war die Hirnanatomie erfolgreicher.

Im Mai 1868, noch zu Griesingers Lebzeiten, verteidigte der spätere Wiener Professor für Psychiatrie, Theodor Meynert, die hirnanatomische Richtung in der Psychiatrie damit, daß er das Gehirn als eine Maschine bezeichnete, deren vollständiges naturwissenschaftliches Verständnis dann erreicht sei, wenn der anatomische Bau sowie die physikalischen und chemischen Gesetzmäßigkeiten seiner Funktion aufgeklärt würden.[11] Seine Entscheidung für die Hirnanatomie begründete Meynert damit, daß Probleme der Psychologie und der Physiologie des Gehirns noch im „dichtesten und hoffnungslosesten Dunkel" verborgen seien, während der Hirnbau „in höchst lesbarer Schrift" den Seelensitz ausdrücke.[12] Solche markanten Sätze bildeten gewissermaßen die Begleitmusik für Meynerts hirnanatomische Untersuchungen. Zu jenem Zeitpunkt hatte Meynert bereits eine kurz darauf großes Aufsehen erregende Entdeckung gemacht. Er fand nämlich zwei Typen von Nervenfasern in der Hirnrinde: sog. Projektionsfasern (Verbindung von tiefer gelegenen Hirnteilen mit dem Cortex) und sog.

9 Griesinger 1872, 142f.
10 Ebenda, 142.
11 Vgl. Meynert 1868, 573f. – Zu Meynert vgl. Lesky 1965, 373–378; Krauss 1989, 216–222; Hirschmüller 1991, 109–115.
12 Ebenda, 591.

Assoziationsfasern (Verbindung der Cortex-Areale untereinander). Meynert war sich zweifellos bewußt, daß er damit als erster die Griesingerschen Analogien substantiiert hatte, und er entwickelte sogleich eine psychophysische Theorie der Hirnfunktionen.[13] Danach dienen die Projektionsfasern dem Transport der sinnlichen Eindrücke von den Sinnesorganen in den Cortex, die Assoziationsfasern dienen der Verknüpfung von Wahrnehmungen und Vorstellungen und gewährleisten somit die Ordnung des Denkens und der koordinierten Bewegung bzw. Handlung. Denken, Bewußtsein oder Intelligenz waren für Meynert letztlich nichts anderes als eine Funktion der Assoziationsfasern, wobei die häufige und intensive Wiederholung einer Assoziation zur Verfestigung entsprechender Bahnen führt, die nach und nach eine gewisse Kontinuität der Persönlichkeit mit sich bringt. Meynerts Lokalisationismus ging davon aus, daß alle Nervenzellen im Gehirn im Prinzip die gleiche Funktion haben und daß die Verschiedenheit der Funktion in den diversen Hirnarealen Folge der unterschiedlichen Verknüpfung zwischen den einzelnen Elementen sei. Daß die Bildung eines einheitlichen Selbst bzw. der Individualität nicht das Resultat der Rückenmarksfunktionen war, führte Meynert einzig auf die mangelnde Verknüpfung seiner Elementarteile zurück. Das „Ich" war für ihn ein Konglomerat aus Vorstellungen, deren Gegensätzlichkeiten aus Intensitätsunterschieden bestehen, die durch den Gehirnmechanismus, also durch dichte Bündelung von Assoziationsfasern, bedingt werden.[14]

Innerhalb dieses Modells gab es für Meynert keine Hierarchie und kein Zentrum, sondern nurmehr eine dynamisch wirksame Konstruktion aus unzähligen Bestandteilen. Die vollständige Version von Meynerts Hirnlehre war also keineswegs identisch mit einer Lokalisationslehre, die das Gehirn in einzelne funktionale und strukturell unterschiedliche Areale aufteilte. Beispielsweise ging er in seinen ersten Arbeiten noch davon aus, daß „ein fortwährendes Nebeneinander von sensorischen und motorischen Elementen in der Hirnrinde"[15] bestehe, was jedoch nach den Experimenten von Hitzig und Fritsch als wenig wahrscheinlich gelten mußte. Doch Meynerts Ansatz einer funktionellen Differenzierung nach strukturellen Gesichtspunkten konnte nahtlos in die Lokalisationslehre eingepaßt werden, insbesondere als der mit Meynert zeitweise kooperierende Anatom Vladimir Betz anhand von unterschiedlichen Zelltypen die Gehirnoberfläche in eine vordere und eine hintere Region einteilte. Zwar ordnete er diesen beiden weder motorische noch sensorische Funktionen zu, wies allerdings darauf hin, daß die im vorderen Teil vorherrschenden sog. „großen Pyramidenzellen" auch

13 Vgl. Leidesdorf 1865, 45–55; Meynert 1867/68.
14 Vgl. Meynert 1892, 37.
15 Meynert 1867/68, 113.

in den von Hitzig und Fritsch stimulierten Arealen dominierten.[16] Die anatomischen und physiologischen Untersuchungen führten also zu einer gegenseitigen Verstärkung der jeweiligen Schlußfolgerungen.

Die vorläufige Durchsetzung der sensomotorischen Maschine als Bezugspunkt für die weitere Forschung gelang durch die klinisch-pathologische Erkenntnis, daß ausgerechnet eine genuin menschliche Fähigkeit wie die Sprache in das sensomotorische Raster hineinpaßte. Zwar führten die bei Hirnläsionen beobachteten Sprachstörungen seit den Veröffentlichungen Paul Brocas in den 60er Jahren insbesondere in Frankreich zur Ausbildung einer Aphaseologie, aber der für die weitere Lokalisationsforschung ebenso wichtige Schritt geschah 1874, als Carl Wernicke, ein Schüler Meynerts, seine Aphaseologie als eine Synthese aus Anatomie, Physiologie und klinischer Pathologie vorstellte.[17]

Wernicke war nicht mehr so vorsichtig wie Betz und unterteilte den Cortex in einen vorderen, motorischen Anteil, der zudem „Bewegungsvorstellungen" enthält, und einen hinteren, sensorischen Anteil, der zudem „Erinnerungsbilder" abgelaufener Sinneseindrücke enthält. Dieser Satz, den Wernicke zu einem der „Fundamente der neueren Gehirnphysiologie"[18] deklarierte, war keineswegs Lehrbuchwissen, sondern mußte sich vornehmlich auf die Untersuchungen von Meynert, Betz und Hitzig berufen.

Die Charakterisierung des Gehirns als sensomotorische Maschine wurde zum Herzstück der Aphaseologie, indem Wernicke der seit Broca bekannten motorischen Aphasie die von ihm selbst so bezeichnete sensorische Aphasie an die Seite stellte. Er führte sie auf eine Läsion im hinteren Teil der ersten linken Temporalwindung der Hirnrinde zurück, weil sich dort das zentrale Ende des Hörnerven und damit das Zentrum für „Klangbilder" befinde.[19] Als klinisches Symptom hob Wernicke ein mangelndes Sprachverständnis bei erhaltener Sprachfähigkeit hervor; zum Verwechseln der Wörter und Agrammatismus komme es auf Grund des Fehlens der von dem Lautbild geübten Korrektur. Darüber hinaus beschrieb er die Unterbrechung zwischen motorischen und sensorischen Zentren als „Leitungsaphasie", die er in die Insel-Region lokalisierte, und die primär durch Wortfindungsstörungen ausgezeichnet sei. Mit der Definition der Leitungsaphasie ergänzte Wernicke die Zweiteilung in einen motorischen und einen sensorischen Komplex und erklärte den normalen Sprachvorgang als einen „psychischen Reflexbogen"[20] zwischen diesen beiden Arealen. Für Wernicke waren es nicht

16 Betz 1874, 579f.
17 Zur Bedeutung der Sprache siehe Marx 1966; Hagner 1994a.
18 Wernicke 1874, 6.
19 Ebenda, 19.
20 Ebenda, 69.

psychologische Kategorien, mit denen er Phänomene wie Sprache und andere psychische Qualitäten erklärte, sondern ein sensomotorischer Prozeß, dessen materielle Grundlage er in Meynerts Assoziationsfasern zu finden glaubte. Die sensomotorische Reflexmaschine, die Daten aufnahm, transformierte und wieder auswarf – mehr waren Sprechen, Schreiben, gesprochene Sprache Verstehen und Lesen für Wernicke nicht – war somit in einem ersten hirnphysiologischen Umriß vollendet.

III. Das Gehirn als Landkarte

Die letzten drei Jahrzehnte des 19. Jahrhunderts führten zu einer weitgehenden Akzeptanz der Lokalisationstheorie geistiger Funktionen. Wie eben skizziert, läßt sich diese Entwicklung als das Resultat eines arbeitsteiligen Prozesses begreifen, der auf vielfältigen Verbindungen zwischen den drei Arbeitsbereichen des physiologischen Experiments, der hirnanatomischen Untersuchung und der klinischen Fallstudie basierte. Die durch Meynert und Wernicke angebahnte Rasterung des Gehirns führte zwar zur funktionellen Zuordnung bestimmter Hirnareale, aber umgekehrt wurde den Hirnforschern dadurch überhaupt erst vor Augen geführt, daß sie über die allermeisten Abschnitte der Hirnrinde so gut wie gar nichts wußten und von einer funktionalen Aufgliederung, die über Sensorik und Motorik hinausging, weit entfernt waren. Anders gesagt legte das Modell der sensomotorischen Maschine vorerst die epistemischen Ränder fest, innerhalb derer cerebrale Lokalisierung möglich war, doch die nun einsetzenden Versuche, das Gehirn als ein Koordinatensystem zu etablieren, in das Forschungsdaten und Befunde eingetragen werden konnten, ließen sogleich Fragen des Gültigkeitsbereichs der jeweiligen Repräsentationsform dringlich werden.

Wir haben gesehen, daß die anatomischen und klinischen Repräsentationsformen nicht zu einer vollständigen Überlappung, aber doch zu einer gegenseitigen Abstützung führten. Wie aber gestaltete sich dieses Verhältnis, wenn man nicht von einer einzigen Läsionsart ausging, sondern ein ganzes Sammelsurium von klinischen Befunden zusammenfaßte? Dieses Problem wird bei dem Wiener Physiologen Sigmund Exner deutlich. Er teilte die Hirnrinde willkürlich in 366 Quadrate ein (Abb. 1) und entnahm aus 167 ihm bekannten Krankengeschichten bzw. Sektionsbefunden die hirnorganischen Symptome der Patienten bzw. den genauen Ort der Hirnläsion.[21] Sodann übertrug er diese Informationen in die Quadrate eines *leeren* Gehirns. Auf diese Weise verzeichnete Exner beispielsweise alle Sprachstörungen in den betreffenden Regionen und erstellte damit

21 Vgl. Exner 1881.

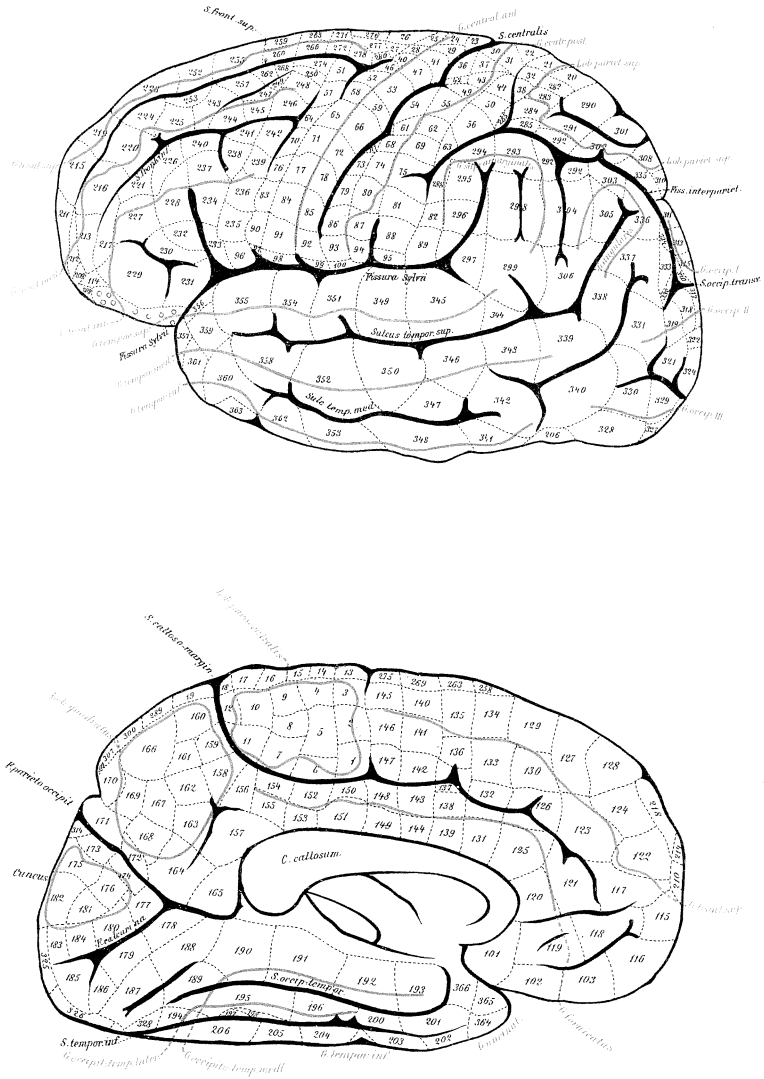

Abb. 1: Die Einteilung der Hirnrinde (Ausschnitt aus Exner 1881).

eine Hirnlandschaft, in der Sprache fast überall repräsentiert war, nach der Häufigkeit des Auftretens allerdings in verschiedenen Helligkeitsabstufungen (Abb. 2). Mittels dieses Verfahrens schloß Exner auf einen sog. „gemäßigten Lokalisationismus", d. h., daß eine komplexe Funktion wie etwa die Sprache nicht auf eine oder ein paar Regionen reduziert werden konnte. Außerdem

postulierte er einen fließenden Übergang zwischen den einzelnen Feldern. Zwar vermochte er bestimmte Hirnabschnitte zu identifizieren, die mit bestimmten Funktionen nichts zu tun hatten, doch die grundsätzliche Annahme von scharf begrenzten, „circumscripten Regionen", wie Hitzig und manche andere sie postulierten, gab Exners Methode nicht her. Und noch entscheidender war, daß sich eine Aufteilung der Hirnrinde in einen vorderen motorischen und einen hinteren sensorischen Bereich, also die konstruierte materielle Entsprechung der sensomotorischen Maschine, keineswegs so eindeutig ergab, wie es Wernicke und andere behauptet hatten. Damit war eine Differenz entstanden, die nicht auf theoretischen oder konzeptuellen Einwänden beruhte, sondern einzig und allein auf der praktischen Entscheidung für eine bestimmte Form der Repräsentation.

Exners Entscheidung, aufgrund von vielen Fällen einen Durchschnitt bzw. ein allgemeines Bild zu konstruieren, war in einer Zeit der allgemeinen Festlegung von Normen, aus denen gleichzeitig die Abweichung definiert wurde, naheliegend und weitgehend akzeptiert. Die Schwierigkeit bestand allerdings darin, daß bei Krankengeschichten erst dann eine Gewähr für Vollständigkeit und Genauigkeit gegeben war, wenn eine Anschlußfähigkeit an andere Darstellungsformen plausibel gemacht werden konnte. Zwar näherten sich Exners cerebrale Landschaften dem Ideal einer vollständigen Kartierung an, indem sie Spuren erzeugten, die Anatomen, Pathologen und Physiologen eine erste Orientierung verschaffen konnten. Umgekehrt mußten deren weitere Untersuchungen die Gültigkeit von Exners Bildern erweisen oder sie modifizieren. Eine Einteilung des Gehirns in funktionale Felder hatte bereits Franz Joseph Gall vorgenommen. Doch weil seine Methode auf einer inakzeptablen Korrelation von Verhaltensbeobachtung und der Ausprägung von verschiedenen Abschnitten des Gehirns beruhte, war die organologische Einteilung in Felder von den übrigen Hirnforschern weitgehend verworfen worden. Erst mit den neuen Repräsentationsmöglichkeiten des Gehirns, den neuen Techniken der Physiologie und Anatomie am Ende des Jahrhunderts kehrte die Idee einer Kartierung des Gehirns um so wirkungsvoller zurück.

Das Beispiel Exners legt nahe, daß diese Aufteilung erstens ihrer materiellen Darstellungsweise geschuldet war und zweitens an ihrer weiteren praktischen Verwertbarkeit gemessen wurde. Exner konnte sein leeres Gehirnmodell beliebig mit weiteren Daten anfüllen und damit eine immer größere Genauigkeit erreichen. Entscheidend war jedoch die Frage, inwieweit die Hirnkarten in der weiteren Beschäftigung mit dem Gehirn nützlich waren, und zwar sowohl für die Ärzte am Krankenbett, als auch für die experimentelle Forschung. Dieser Punkt galt nicht nur für Exners Hirnkarten, sondern wurde auch für die anatomischen Einteilungsverfahren relevant. Welche Entscheidungskriterien sollten angelegt werden, wenn etwa aufgrund der myelogenetischen Methode 35 Hirnfelder

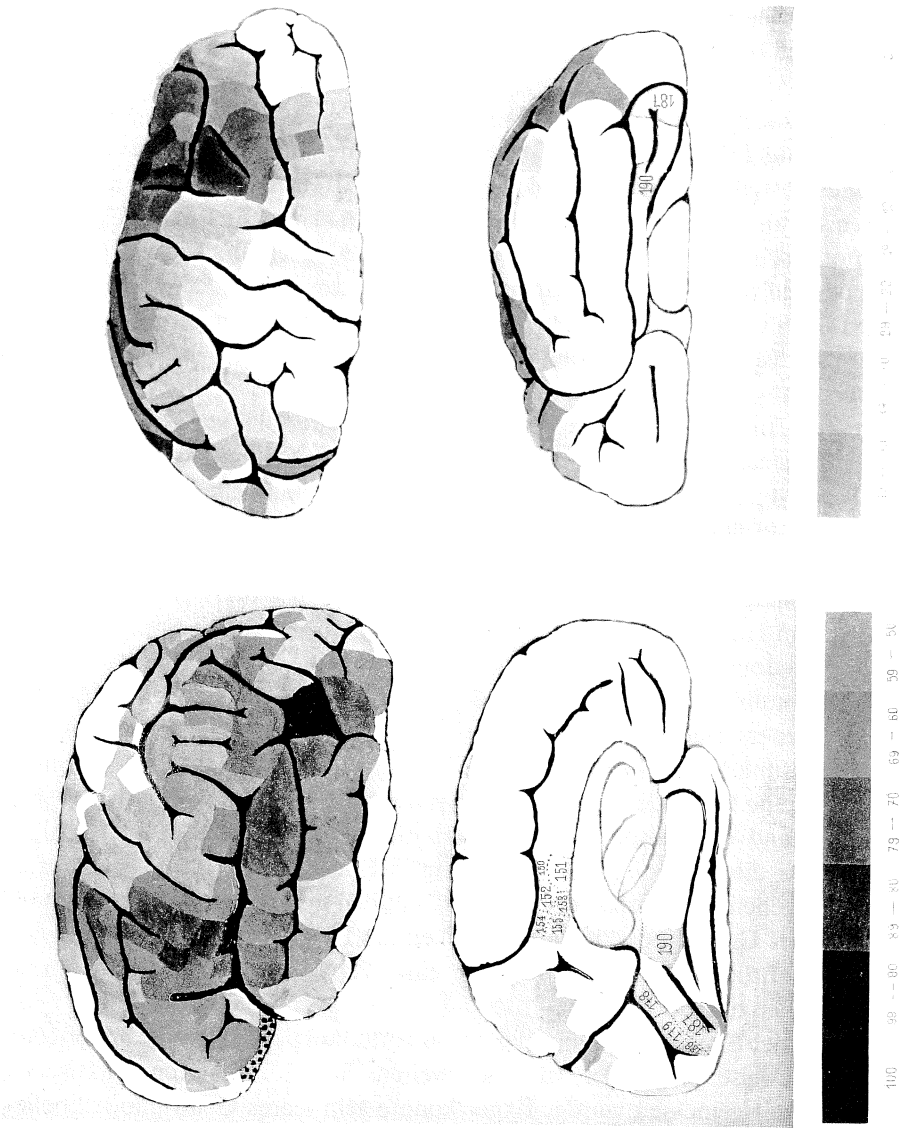

Abb. 2: Das Rindenfeld der Sprache (linke Hemisphäre). Dazu heißt es: „[Es] ist in jedem Quadrat ein Helligkeitston aufgetragen, welcher der Procentzahl, die die Berechnung des Rindenfeldes für dieses Quadrat ergeben hat, entspricht. Es sind zwölf Helligkeitstöne verwendet; sie finden sich in der jeder Tafel beigedruckten Scala. An dieser Scala sind Zahlen angebracht, welche die Procente angeben, denen jeder Ton entspricht. Bei Vergleichung der Tafeln dieser Serie erkennt man die ungleiche Intensität der verschiedenen „Rindenfelder" (Exner 1881, 180).

gezählt wurden, wenn aber die cytoarchitektonische Analyse zu 52 Feldern führte und eine myeloarchitektonische bzw. vergleichend architektonische Analyse des Gehirns sogar ca. 200 Felder ergab? Die Differenzen zwischen diesen Einteilungen wurden genau in dem Spektrum von visueller Repräsentationsform des Gehirns und Vernetzungsfähigkeit jener Repräsentation mit anderen Methoden bzw. Forschungsrichtungen auf produktive Weise gelöst.

IV. Die myelogenetische Lokalisationslehre

Die Einteilung des Gehirns in funktionale Felder hatte keineswegs bloß praktische Gründe, sondern verfolgte letztlich die gleichen Ziele wie Gall, nämlich ein bis ins Detail gehendes Verständnis der geistigen Eigenschaften zu erreichen. Schon Meynerts Anatomie hatte die enge Verklammerung von Gehirn und Psyche deutlich gemacht, aber je erfolgreicher die Lokalisationsforschung war, je mehr Zentren *isoliert* wurden, desto klarer und eindringlicher formulierten die Hirnforscher ihren Anspruch, im Kanon der Wissenschaften vom Menschen ein gewichtiges Wort mitzureden. Auch wenn verschiedentlich Warnungen vor einer neuen Lokalisationsmanie geäußert wurden, auch wenn selbst Wernicke klarstellte, daß bloß bestimmte Funktionen wie z. B. Sehen, Hören, Bewegen, Sprechen, Schreiben und Lesen cerebral lokalisierbar seien, zielten die Ansprüche nun erheblich weiter. Es ging nämlich auch um eine Lokalisierung von Männlichkeit, Weiblichkeit, Vernunft, Verstand, Emotion, Trieb usw. Zu diesem Zwecke waren die bis dahin vorgenommenen Einteilungen in ein Links-Rechts- und in ein Hinten-Vorne-Schema nicht mehr als eine vorläufige Annäherung.[22]

Einen ersten Höhepunkt in dieser Entwicklung markierte die myelogenetische Lokalisationslehre, die im wesentlichen das Werk des Leipziger Psychiaters und Anatomen Paul Flechsig ist. Flechsig war neben Meynert und Wernicke der Hauptvertreter der sog. Hirnpsychiatrie.[23] Noch als Assistent in der Pathologie hatte er Untersuchungen an fötalen und kindlichen Gehirnen durchgeführt und dabei herausgefunden, daß alle Leitungsbahnen des Gehirns noch einen Reifungsprozeß der sukzessiven Myelinisierung durchmachen.[24] Aus diesem Befund leitete Flechsig ein Ordnungsprinzip ab, das strukturelle und funktionale Gesichtspunkte aus der Perspektive der embryonalen Reifung betrachtete, was

22 Zur Geschichte der Links-Rechts-Lokalisation, die hier nicht weiter thematisiert wird, siehe Harrington 1987.

23 Zu Flechsig vgl. Stingelin 1989.

24 Vgl. Flechsig 1876, 1894, 1897. – Vgl. auch die retrospektive Darstellung in Flechsigs Autobiographie: Flechsig 1927, 8f.

zum sog. myelogenetischen Grundgesetz führte: Danach basiert die funktionelle Gliederung der Hirn- und Rückenmarksfasern auf etwa gleichzeitiger Myelinisierung bei gleichartigen Fasergruppen und sukzessiver Myelinisierung bei ungleichartigen Gruppen. Auf diesem Wege „bestätigte" Flechsig die bereits akzeptierte Annahme von motorischen und sensorischen Zentren im Cortex, beide aus Projektionsfasern bestehend. Den größeren Teil der Hirnrinde machen jedoch die von Flechsig als „Assoziationszentren" bezeichneten Gebiete aus, die zum einen mit den Projektionszentren und zum anderen durch Assoziationsfasern untereinander verbunden sind. Nach Flechsig werden hier Sinneseindrücke gespeichert, geordnet und verarbeitet, Erinnerungen ausgelöst und kombiniert, so daß sie als komplexe Zentren höherer geistiger Funktionen anzusehen sind. Dabei unterschied er drei große Assoziationszentren von hinten nach vorne.[25] Die Wichtigkeit dieser Zentren knüpfte Flechsig an den Umstand, daß ihre relative Größe im Verhältnis zu den Sinneszentren ein Parameter für die geistige Individualität sei.[26]

Mit der Postulierung von Assoziationszentren wurden die durch das Modell der sensomotorischen Maschine vorgegebenen Ränder in einer anderen Weise aufgeweicht als durch Exners Hirnkarten, denn jene Zentren waren gewissermaßen die materiellen Garanten für das Zusammenspiel von anatomischer Darstellungsform und politisch-sozialem Anspruch der Lokalisationslehre. Flechsig selbst ging in der Parallelschaltung von menschlicher Verhaltensweise und Hirnstruktur so weit, daß er eine „Moralphysiologie" oder „physiologische Sittlichkeitslehre" forderte, wobei das Gehirn eine Art Kampfplatz zwischen höheren und niederen Trieben darstellte.[27] Seine Theorie zielte nicht nur auf die Ätiologie der psychiatrischen Erkrankungen, denn – ähnlich wie Wernicke zur gleichen Zeit – hielt er Geisteskrankheiten für Erkrankungen des Assoziationssystems, „gewöhnliche" Gehirnkrankheiten für solche des Projektionssystems;[28] die auf der Anatomie basierende Psychiatrie verstand sich vielmehr auch als Leitwissenschaft einer hierarchischen Gesellschaftsordnung, in der sich die „moralisch und intellectuell Minderwertigen" einer „geistig-sittlichen Aristokratie zu unterwerfen" hatten.[29] Die Diskussion, an der Flechsig und andere sich damit lautstark beteiligten, drehte sich um Reizbegriffe wie Dekadenz, Degeneration oder Rassenfragen. Auch ohne im Detail auf diese Diskussionen einzugehen, in die

25 Vgl. Flechsig 1896a, 78–85.
26 Vgl. Flechsig 1897, 66.
27 Flechsig 1896b, 4f.
28 Flechsig 1896a, 87.
29 Ebenda, 35. – In ähnlicher Weise, mit vergleichbar politischem Vokabular argumentiert auch Meynert 1891.

namentlich Flechsig verwickelt war, sollte deutlich geworden sein, daß die hirnanatomischen Bemühungen und die Lokalisationsfrage integraler Bestandteil des intellektuellen Diskurses im Fin de siècle waren. Gewiß gab es kontroverse Ansichten darüber, ob die bis dahin gültigen Fundamente der Lokalisationsforschung – das sensomotorische Modell, die Projektions- und Assoziationsfasern, Wernickes Aphaseologie oder die myelogenetische Lehre – stark genug waren, derart weitreichende Aussagen zu treffen. Doch es waren genau diese Fragen und Anforderungen, die die Hirnforschung für sich selbst formuliert hatte, die auch für die Cytoarchitektonik relevant wurden. Festzuhalten bleibt, daß das Modell der sensomotorischen Maschine quasi durch eine Co-Produktion von bestimmten Repräsentationstechniken und durch zunehmend breiter gefaßte sozio-politische Ambitionen der Hirnforschung unter Beschuß geriet. Diese Veränderung vollzog sich nicht so sehr in kontroversen theoretischen Debatten, sondern in Verschiebungen innerhalb der Forschungspraxis.

V. Die architektonische Kartierung des Gehirns

Die rasche Entwicklung der Architektonik des Gehirns von eher bescheidenen Anfängen kurz vor der Jahrhundertwende bis hin zu einem umfassenden Forschungsprogramm, das sich bereits einige Jahre später herauskristallisierte, vollzog sich vor demselben Problemhorizont wie die Untersuchungen von Meynert bis Flechsig. Bereits 1897 hob der junge Oskar Vogt die Notwendigkeit einer Interaktion von Psychologie, Hirnphysiologie und Hirnanatomie hervor;[30] später weitete sich diese Forderung zu dem mehrfach formulierten Anspruch aus, durch eine Kombination dieser drei Fächer eine empirische Lösung des Leib-Seele-Problems zu finden.[31] Trotz der nahtlosen Anknüpfung an die bestehenden Vorstellungen über die Reichweite der Hirnforschung vollzogen sich die ersten Schritte einer systematischen Architektonik in Abgrenzung zu Flechsigs Theorie der Assoziationszentren, was insofern eine gewisse Brisanz hatte, als Vogt 1894/95 für einige Monate bei Flechsig gearbeitet und dessen Labor im Streit verlassen hatte.[32] Nur kurze Zeit später wies Vogt darauf hin, daß auch die von Flechsig so

30 Vogt 1897.
31 Vgl. z. B. Vogt/Vogt 1919, 284f.
32 Das Lebenswerk des Ehepaars Cécile und Oskar Vogt und insbesondere die eng damit verbundene Geschichte des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Hirnforschung in Berlin-Buch ist Gegenstand verschiedener historischer Untersuchungen, wobei eine erste umfassende Darstellung – wenn man von dem nicht unproblematischen Roman Tilman Spenglers einmal absieht (Spengler 1991) – durch Jochen Richter (1994) in Vorbereitung ist. Die bisherigen historischen Würdigungen sind

bezeichneten Assoziationsfelder Projektionsfasern enthielten.[33] Damit war nicht die Myelogenetik als solche diskreditiert, aber deren Schlußfolgerungen für die Lokalisierung der geistigen Qualitäten paßten nicht mehr zu den von Flechsig vorgenommenen Grenzziehungen. Vogt folgerte daraus, daß ein anderes Repräsentationsverfahren als die Myelogenetik zur Kartierung des Gehirns führen müsse und begann mit der Suche nach Möglichkeiten, Mark und Rinde des Cortex nach Anordnung, Zahl, Größe und grober Morphologie der Nervenzellen und Leitungsfasern einzuteilen. Dabei interessierte ihn das strukturelle Gesamtbild, und nicht – wie in der Histologie – die einzelnen geweblichen Elemente (vgl. Abb. 3).

Diese Entscheidung, die eine *Bifurkation*[34] in der Hirnanatomie hervorrief, war von außerordentlicher Bedeutung. Wenn Cécile und Oskar Vogt später rückblikkend darauf hinwiesen, die „heuristische Idee" habe darin bestanden, „daß sich funktionelle Verschiedenheiten in Strukturdifferenzen äußern und daß unter den physiologisch wichtigen Strukturunterschieden jene eine besondere Rolle spielen, welche O. Vogt als architektonische bezeichnet hat",[35] so ist der Hinweis auf eine ausschließlich physiologische Ursache für diese Entscheidung zwar berechtigt, weil die Vogts von Anfang an Anschluß an experimentalphysiologische Verfahren suchten, aber er ist längst nicht hinreichend. Denn um 1900 konnte die Histologie mit ebenso großem Recht behaupten, von funktionalen Gesichtspunkten geleitet zu sein. Zu jener Zeit hatte die Neuronentheorie die Theorie der Retikularisten verdrängt.[36] Das bedeutete, daß das Neuron als individuelle biologische Einheit angesehen wurde, die in ihrem Verhältnis zu einem benachbarten Neuron (Synaptologie) zu untersuchen wäre. Der fundamentale Unterschied zwischen den beiden Methoden bestand darin, daß es mit den histologischen Untersuchungen einer einzelnen Zelle oder Zellgruppe ganz undenkbar war, zu einer lokalisatorischen Kartierung der Hirnrinde vorzustoßen – und genau das war Vogts Anliegen. An diesem Punkt vollzog sich also das genaue Gegenteil einer *Konjunktur*, nämlich die gezielte und von den Vogts sogleich institutionell verankerte Abspaltung eines anatomischen Darstellungsverfahrens von einem bis dahin lose zusammenhängenden Ensemble verschiedener solcher Verfahren. Erst dieser Schritt führte zu einer scharfen Konturierung des Unternehmens Cytoarchitektonik.

weitgehend von Schülern der Vogts verfaßt worden. – Vgl. Kirsche 1986, dort auch weiterführende Literatur.

33 Vogt 1897. – Erst viel später konnte Mieczyslaw Minkowski zeigen, daß (beim Affen) alle Hirnwindungen Projektions- und Assoziationsfasern besitzen (vgl. Minkowski 1923/24).

34 Dieser Begriff wurde auf dem Symposium von Rudolf Stichweh als Komplementärbegriff zur *Konjunktur* eingeführt.

35 Vogt/Vogt 1926, 1190.

36 Siehe dazu den Überblick von Breidbach 1993.

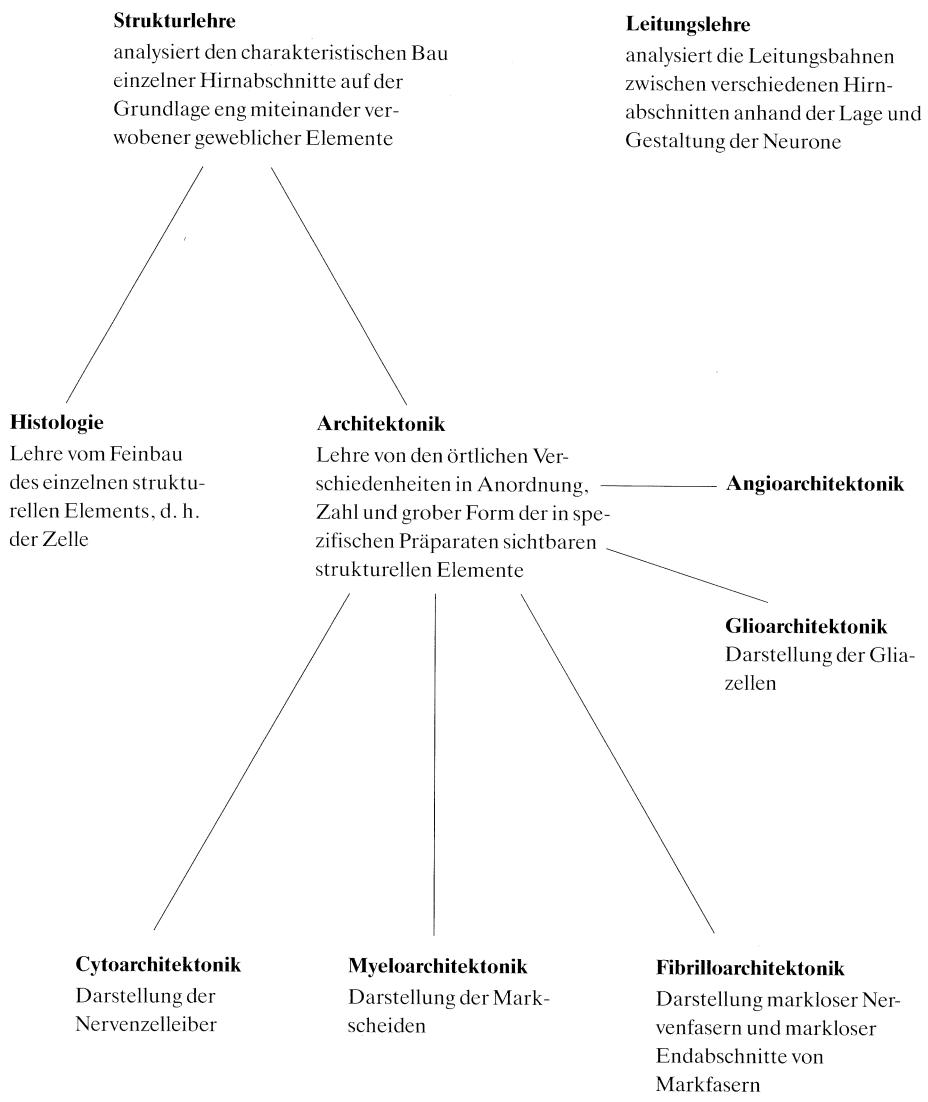

Abb. 3: Die Aufteilung der mikroskopischen Anatomie des Gehirns (nach Vogt/Vogt 1928).

Abgesehen von dieser allgemeinen Festlegung der Forschungsstrategie standen, wie Abbildung 3 zeigt, auch innerhalb der architektonischen Methode mehrere Möglichkeiten zur Verfügung, und es stand keineswegs von vornherein fest, welcher Weg der günstigste sein würde. Klar war bloß, daß die Kartierung des Gehirns abhängig war von den Darstellungstechniken, vor allem von der Schnitttechnik und von der Färbemethode, die nämlich beide darüber entschieden, welches Strukturmerkmal der Gehirnzelle überhaupt relevant wurde. Die Frage, welche der verfügbaren Färbemethoden zur breiteren Anwendung kam, wurde erstens nach dem technischen Entwicklungsstand dieser Methode und zweitens nach der Kompatibilität der Darstellungsformen untereinander entschieden. Nach der strengen Definition der Vogts waren die funktionalen Felder eindeutig eingrenzbar, und deswegen durfte die Anzahl der Felder, ermittelt durch verschiedene Darstellungstechniken, nicht differieren. Aber genau das geschah bei der bevorzugten Anwendung der cyto- und der myeloarchitektonischen Techniken.[37] Sie erzeugten *Divergenzen,* die nicht ohne weiteres eine reproduktive Kohärenz aufwiesen, denn man hatte es zunächst einmal mit zwei verschiedenen Landkarten zu tun. Die eine bestand aus 52 Feldern, die andere aus ca. 200, und es stellte sich naheliegenderweise die Frage, welche Landkarte den psychologischen Überlegungen besser Genüge tat.

Neben und gemeinsam mit den Vogts war es Korbinian Brodmann, der die cytoarchitektonische Einteilung der Großhirnrinde begründete und zugleich die Entdeckung machte, daß der Cortex-Aufbau bei allen Säugetieren prinzipiell gleich ist. Auf der Basis vergleichender Untersuchungen nahm Brodmann eine topographische oder strukturelle Einteilung der corticalen Areale vor. Nun ging er so vor, daß er eine homogene und mehr oder weniger deutlich begrenzbare Gruppe von angefärbten Zelleibern als ein einzelnes Areal hervorhob.[38] Dabei kam es entscheidend darauf an, die zahllosen anatomischen Hirnschnitte in einer genau festgelegten Ordnung unter das Mikroskop zu legen, denn nur auf diese Weise waren Strukturunterschiede von Zellverbänden und damit zuverlässige Abgrenzungen eines bestimmten Areals möglich. Nach dieser Methode erstellte Brodmann eine Hirnkarte des Menschen mit einer groben Einteilung des Cortex in Regionen und diese wiederum unterteilt in 52 Felder oder Areale (Abb. 4).

Das zunächst wenig erfreuliche Resultat dieser Kartierung war, daß sie keine Lokalisation im ursprünglichen Sinn einer psychophysischen Zuordnung erlaubten, d. h., die Felder waren nicht identisch mit den Arealen der Kliniker, Physiologen und Anatomen. Brodmann machte das am Beispiel der Aphasie deutlich:

37 Die drei anderen Methoden wurden bisweilen zur Ergänzung herangezogen, erlangten aber zu keinem Zeitpunkt die Bedeutung der ersten beiden. – Vgl. Vogt/Vogt 1928, 19–21.

38 Vgl. Brodmann 1909, 9.

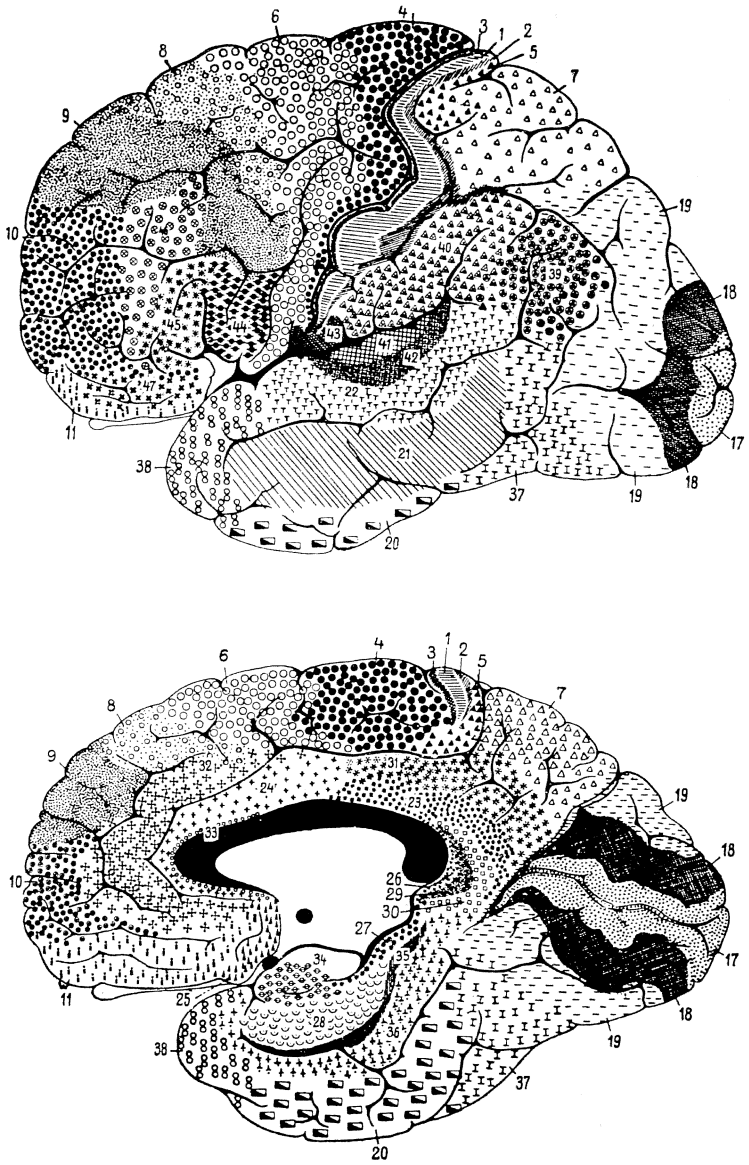

Abb. 4: Die cytoarchitektonische Einteilung der Hirnrinde (oben die laterale, unten die mediale Hemisphärenfläche) beim Menschen (Brodmann 1909).

„erstens, daß eine Aphasie, gleichviel ob es sich um eine motorische oder sensorische Unterart handelt, niemals an ein einzelnes Strukturzentrum, also etwa an ein einziges unserer cytoarchitektonischen Felder gebunden sein kann, sondern daß sie stets einen Komplex solcher Felder umfaßt, und zweitens, daß den ‚Aphasiezentren' eine weit größere Ausdehnung zukommt, als man früher anzunehmen gewohnt war."[39] Für die Lokalisationsidee war diese Schlußfolgerung mißlich, denn sie zog etliche von deren älteren Postulaten in Zweifel. Aber auch für die Architektonik stellte sich nun die Frage, inwieweit ihre Feldereinteilung bestimmten abgrenzbaren Funktionen entsprach. Gleichwohl hob Brodmann mit Entschiedenheit hervor, daß die Anatomie die Grundlage aller funktionalen Lokalisation sei. Die Existenz circumscripter Felder nahm er aufgrund scharf abgegrenzter, unter dem Mikroskop unterscheidbarer Strukturen für bestimmte Funktionen an. Brodmann zählte motorische und sensorische Regionen dazu, aber im Gegensatz zu Flechsig wies er psychische Zentren, Assoziationsschichten, Denkorgane, Vorstellungszellen usw. nicht nur mit dem Argument zurück, daß es dafür keinerlei anatomische Anhaltspunkte gebe, er bezog sich auch auf Wilhelm Wundts Theorie, wonach Geistestätigkeiten zu komplex seien, um sie in einer umschriebenen Region zu orten und daß vielmehr das ganze Gehirn als psychisches Zentrum anzusehen sei.[40] Im Vergleich zu den organologischen Hoffnungen Hitzigs, Wernickes oder Flechsigs war die Cytoarchitektonik in der Version Brodmanns damit zu einer eher anti-lokalisatorischen Sichtweise gelangt.

Trotz mancher Übereinstimmungen hinsichtlich sensorischer und motorischer Zentren war das sensomotorische Modell nun schlicht überfordert, denn es gab genügend architektonisch klassifizierbare Felder, für die keinerlei Funktionsäquivalent aufzufinden war. Damit ergab sich noch ein weiteres Problem, denn solange die Brodmann-Felder bloß morphologisch *existierten,* war der Wert der Architektonik noch erheblich zweifelhaft.

Für die Architektonik kam es deswegen vordringlich darauf an, eine Bestätigung ihrer Felder durch andere Darstellungstechniken zu erreichen, die ihren funktional relevanten Status beglaubigten. Funktionale Differenzierungen konnten um 1900 entweder durch die Analyse von Hirnverletzungen beim Menschen oder durch physiologische Stimulationsexperimente versucht werden. Solche Experimente waren bereits von Charles Sherrington und A. S. F. Grünbaum vor allem zur genaueren Lokalisierung der motorischen Region durchgeführt worden.[41] Auch Cécile und Oskar Vogt lenkten ihr Interesse frühzeitig auf eine

39 Ebenda, 316.
40 Vgl. ebenda, 301–303.
41 Vgl. Sherrington/Grünbaum 1902.

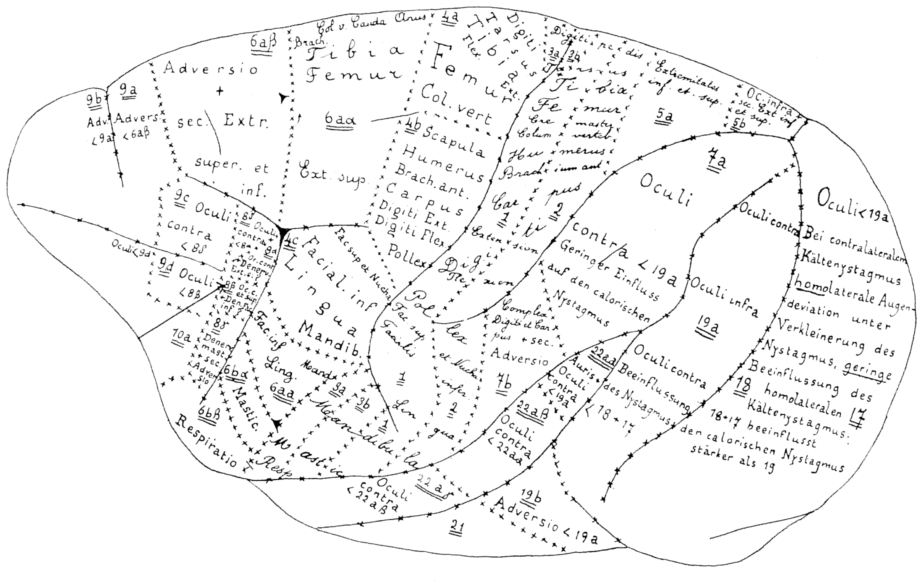

Abb. 5: Die reizphysiologische Rindenfelderung der Konvexität der Großhirnhemisphären der Meerkatze (Vogt/Vogt 1926). Die Einteilung der Areale korreliert in etwa mit der cytoarchitektonischen Einteilung Brodmanns (vgl. Abb. 4).

Korrelierung der cytoarchitektonischen Untersuchungen des Gehirns mit corticalen Stimulationen.[42] Dazu wurden in den Experimenten genau die Stellen markiert, bei deren Stimulation es zu Verhaltensänderungen des Versuchstiers kam (vgl. Abb. 5). Es konnte als ein erster Erfolg gewertet werden, daß diese Experimente mit der Brodmannschen Einteilung harmonierten. Zwar war man weit entfernt davon, jedes Brodmann-Feld reizphysiologisch identifizieren zu können, doch die Erkenntnis, daß verschiedene motorische Funktionen architektonisch differenzierbar waren, ermutigte die Vogts, den einmal beschrittenen Weg fortzusetzen.

Eine Annäherung an die ursprüngliche These Vogts war jedoch mit den bis dahin zur Verfügung stehenden Reizmethoden im Tierversuch nicht zu erreichen. Deswegen war es für das Programm der Vogts außerordentlich wichtig, daß vergleichbare Experimente auch am Menschen durchgeführt werden konnten. Voraussetzung dafür waren die zahlreichen Soldaten des ersten Weltkrieges, die durch Splitter- und Schußverletzungen neben vielfältigen anderen neuro-psychiatrischen Symptomen auch vermehrt unter epileptischen Anfällen litten.

42 Vgl. Vogt/Vogt 1907.

Dadurch wurden neurochirurgische Operationen in großem Stile ermöglicht. Eine der führenden Figuren war dabei der Breslauer Neurologe und Neurochirurg Otfried Foerster, der für seine Operationen die Brodmannsche bzw. Vogtsche Einteilung des Gehirns als Wegweiser benutzte. Die elektrischen Reizungen der verschiedenen Areale während der Operation waren nun nicht ein zusätzlich durchgeführtes Experiment, sondern dienten einer genaueren Lokalisation beispielsweise eines epileptogenen Focus. Sie schufen damit die Voraussetzung für eine noch exaktere Kartierung, was effektivere und sicherere neurochirurgische Eingriffe nach sich zog. Experiment und therapeutische Handlung waren somit identisch; ihr Erfolg wurde in klinischer Hinsicht durch den post-operativen Verlauf bestimmt, in wissenschaftlicher Hinsicht durch die Übereinstimmung der Architektonik mit der Reiz-Physiologie. Hier erreichte Foerster harmonierende Resultate mit den Untersuchungen der Vogts, wie der Vergleich zwischen den Abbildungen 5 und 6 zeigt.[43] Noch spektakulärer freilich waren die Ergebnisse, die einzig und allein durch den unmittelbaren Zugriff auf den lebenden Menschen ermöglicht wurden. So konnte Foerster in einen Abschnitt seiner Gehirnkarte (etwa im Bereich der vorderen Zentralwindung) einen menschlichen Funktionsablauf eintragen: „Rhythmische Kau-, Leck-, Schluck-, Schmatzbewegungen. Grunz-, Krächzlaute, Singultus" (siehe Abb. 6).[44] Diese artifizielle Provokation bedeutete eine unbeeinflußbare Manipulation von Äußerungen, die in lebensweltlichen Zusammenhängen wenigstens teilweise dem Willen unterworfen waren. Foersters Patienten, obwohl sie während der Operation wach waren, waren damit hilflose Objekte einer elektrischen Stimulation und Simulation, die ihnen Gefühle wie „Wallen, Kribbeln, elektrische Empfindungen, Strangulationsempfindungen, Muskelermüdungsgefühl"[45] zumutete, wenn parietal gelegene Rindenfelder gereizt wurden. In den von Foerster durchgeführten Experimenten erwies sich die Architektonik als eine höchst effektive Landkarte für die Orientierung im Gehirn. Dabei ist die Effektivität in einem doppelten Sinne zu verstehen: zum einen als methodisches Hilfsmittel für eine nun endlich erfolgversprechende Chirurgie des Gehirns, zum anderen als Re-Präsentation des psychischen Apparates, dessen vollständige Entschlüsselung das Ziel der Architektonik war. Mit anderen Worten trug die gegenseitige Abstützung von Architektonik

43 Vgl. Foerster 1923, 1925, 1926.

44 Vgl. dazu Foerster 1925, 539f.

45 Ebenda, 543. – Daß Foerster seine Hirnoperationen nur in Lokalanästhesie ausführte, begründete er damit, daß „dieses Verfahren viel schonender [sei und] in Allgemeinnarkose exakte Rindenreizungen unmöglich" seien (ebenda, 550). Diese Verfahrensweise, ermöglicht durch die Schmerzunempfindlichkeit des Gehirns, ist bis auf den heutigen Tag die unabdingbare Voraussetzung für eine neurochirurgische Therapie der Epilepsien.

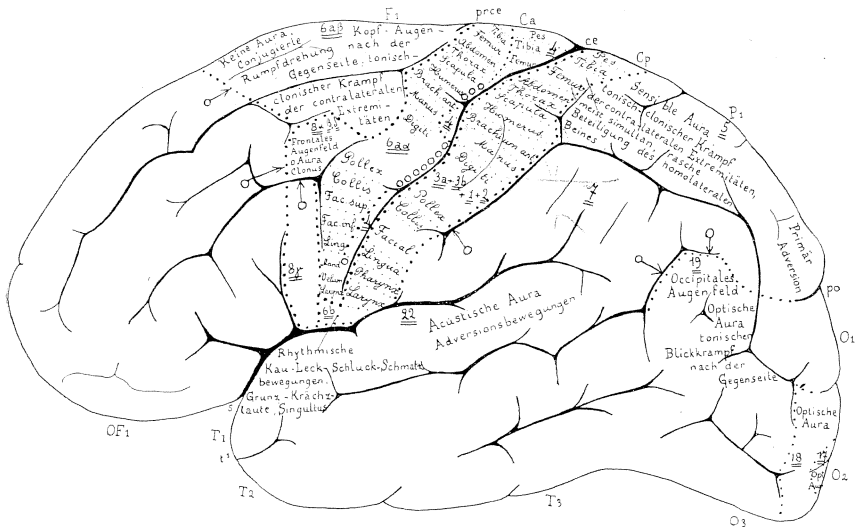

Abb. 6: Die von Otfried Foerster erzielten Reizergebnisse auf der Konvexität der menschlichen Großhirnrinde (Vogt/Vogt 1926).

und Neurochirurgie zur Etablierung, Ausweitung und damit auch wachsenden Autorität beider Arbeitsbereiche bei.

Vor diesem Hintergrund ist auch die Bewältigung der Schwierigkeiten zu sehen, die sich durch die von den Vogts selbst durchgeführte myeloarchitektonische Analyse, die auf einer anderen Färbetechnik basierte, ergaben. Wie bereits erwähnt, gelangten sie auf diesem Wege zu einer viel größeren Anzahl von Rindenfeldern als Brodmann. An dieser Unterteilung hielten die Vogts auch in späteren Arbeiten noch fest,[46] doch zeigen die Abbildungen der Ergebnisse ihrer weiterhin durchgeführten physiologischen Reizexperimente, daß ihre Rindeneinteilung an Brodmann orientiert und von einer Einteilung in ca. 200 Felder weit entfernt war, selbst wenn diverse Brodmann-Felder in a und b unterteilt wurden (Abb. 5). Die Bevorzugung der Cytoarchitektonik war eine pragmatische Entscheidung, weil diese Technik mit der Physiologie in höherem Maße vernetzungsfähig war und dadurch die Seriosität des architektonischen Programms unter Beweis stellte. Daraus folgte jedoch nicht, daß die myeloarchitektonische Einteilung unbedingt falsch sein mußte. Foerster beispielsweise bezog sich in seinen Arbeiten salomonisch auf die cyto- und die myeloarchitektonische Zählung, obwohl die erstere für seine Belange weitgehend ausreichte. Auch die Vogts ließen sich durch die Divergenzen zwischen den beiden Techniken, die

46 Vgl. etwa Vogt/Vogt 1919, 404f.; Vogt/Vogt 1926, 1190.

vorerst nicht befriedigend aufzulösen waren, nicht daran hindern, die Myeloarchitektonik weiterhin als eine probate Methode anzuwenden. Sie gingen sogar noch weiter und behaupteten, daß die 200 corticalen Felder „die Hauptursache unseres so komplizierten Seelenlebens“[47] seien, obwohl sie dafür jeglichen architektonischen Beweis schuldig blieben. In ihrer Überzeugung, daß eine empirische Lösung des Leib-Seele-Problems in dem Moment erreicht sei, wenn für jedes Element der Bewußtseinserscheinungen ein physiologisches Korrelat gefunden würde und dadurch der Verlauf der seelischen Phänomene vollständig abgeleitet werden könnte,[48] wurden sie durch die experimentell simulierten Grunzlaute oder Strangulationsgefühle wohl eher bestärkt als irritiert. Für die Fortsetzung ihres Unternehmens war es dann nur konsequent, daß genetische Forschungsansätze[49] ebenso in die Hirnforschung integriert wurden wie Konstitutionsforschung, Neurochemie oder physikalische Technik, was schließlich im großen Stil im Kaiser-Wilhelm-Institut für Gehirnforschung realisiert wurde.[50]

Wie sehr insbesondere Oskar Vogt an der direkten Korrelation von Hirnaufbau und geistigen Qualitäten festhielt, wird vor allem an der berüchtigten Analyse von Lenins Hirn sichtbar. Für seine vorläufigen Schlußfolgerungen aus jener Analyse bezog sich Vogt nämlich nicht auf die cyto- oder die myeloarchitektonische Kartierung, sondern er argumentierte mit der Schichtdicke der Hirnrinde. Diese sog. stratigraphische Lokalisierung unterschied seit Brodmann insgesamt sechs Schichten der Hirnrinde,[51] jedoch stellte Brodmann seine Arbeiten in dieser Richtung bald ein, weil er keine Möglichkeit sah, eine Beziehung dieser Schichten zu etwaigen Funktionsdifferenzen herzustellen. Vogt hingegen war weniger vorsichtig und schloß aus einer verbreiterten III. Rindenschicht und zahlreichen großen Pyramidenzellen in Lenins Hirn auf einen „Assoziationsathleten“.[52] Unabhängig davon, daß Vogt diese Ansicht späterhin nicht mehr wiederholt hat,[53] blieb sein Traum von der Cytoarchitektonik als einer Leitwissenschaft mit weitgehenden Autoritätsbefugnissen, die zur eugenischen Höherzüchtung intellektuell wertvoller und sozial nützlicher Eigenschaften beitrug,[54] unerschüttert. Dabei verschlug es nichts, daß Cécile und Oskar Vogt natürlich genau wußten, anhand der Architektonik den Mechanismus der nervösen Prozesse im Gehirn nicht aufschlüsseln zu können. An ein Verständnis des Zusammenwirkens der einzelnen Areale im Gehirn war erst zu denken, wenn die Leitungsbahnen, also die Verbindungswege innerhalb des Cortex und mit den sub-corticalen Hirnregionen, anatomisch und physiologisch faßbar wurden. Diesen Weg, der über die Aufklärung der Struktur und Funktion der Synapsen führte, die den Kontakt zwischen den einzelnen Nervenzellen herstellen, hatten sich die Vogts durch ihre Grundsatzentscheidung für die Architektonik von Anfang an verbaut. Die Bifurkation zwischen Histologie und Architektonik legte somit die Ränder des Machbaren für die beiden Techniken klar fest: die Histologie konnte niemals ein einzelnes, einer körperlichen oder geistigen Funktion zugeordnetes Areal repräsentieren, die Architektonik konnte niemals die neurophysiologischen Funktionsmechanismen eines solchen Areals bzw. mehrerer Areale aufklären.[55]

47 Vogt/Vogt 1919, 443.

48 Vgl. ebenda, 284.

49 Die relativ eigenständige Abteilung für Genetik in Berlin-Buch stand unter der Leitung des russischen Genetikers Nikolai Timoféeff-Ressovskij und beschäftigte sich mit Genvariationen (durch experimentelle Mutationen wie z. B. Strahleneinwirkung) und deren phänotypischer Ausprägungen bei Drosophila. Das Interesse Vogts für die Genetik basierte auf seiner sog. Pathoklisenlehre, die besagt, daß die Krankheitsneigung einer einzelnen architektonischen Einheit eine Variation darstellt, die im Prinzip den gleichen Gesetzen unterliegt wie die von der Genetik untersuchten *gesunden* Variationen.

50 Siehe dazu den Überblick von Spatz 1961. – Vgl. auch Richter 1976, 1994; Richter/Lindemann 1988.

51 Brodmann war nicht der erste, der eine solche stratigraphische Einteilung vorgenommen hat. – Vgl. dazu die Tabelle bei Brodmann 1909, 15.

52 O. Vogt 1930, 110f.

VI. Schluß

Die Strategien zur Ausfüllung des Problemhorizontes einer cerebralen Lokalisierung der psychischen Qualitäten des Menschen zwischen 1870 und 1920 wurden in experimentalphysiologischen, anatomischen und klinischen Verfahrensweisen entwickelt. Am Beginn dieses Zeitraums erwies sich die sensomotorische Reflexmaschine als pragmatisches Modell für eine Vernetzung jener drei Verfahrensweisen, wobei vor allem Wernickes Aphaseologie – gewissermaßen als Umsetzung von Meynerts Hirnanatomie – die Tauglichkeit des Modells vorführte. Diese Vorgabe bewegte sich in einem Repräsentationsraum, der von „medientechnischer Datenverarbeitung“ besetzt war. Sowohl die Sinnesphysiologie seit Helmholtz als auch die Lokalisationslehre haben hier Anleihen gemacht.[56] Gerade Wernicke hat kompromißlos die Grenzpfähle verrückt, wenn er das

53 Ganz im Gegensatz zu seinen Schülern, die der Zusammenhang von Schichtdicke und Lenins Auffassungsfähigkeiten nicht in Ruhe gelassen hat. – Siehe Hassler 1959, 56f.; Spatz 1961, 412; Kirsche 1986, 34; vgl. auch Richter 1991.

54 Siehe hierzu Richter 1995.

55 Auch wenn die Vogts sich indigniert gegen Santiago Ramon y Cajals These richteten, daß der einzige Weg zur Erkenntnis der Hirnfunktion über die Synaptologie führe, konnten sie gleichwohl keine annähernd plausible Alternative anbieten. – Vgl. Vogt/Vogt 1928, 29.

56 Vgl. dazu Lenoir 1993; Hagner 1994b.

Verständnis des gesprochenen Wortes als eine psychophysische *Verlängerung* des Hörens, das Lesen als eine Verlängerung des Sehens auffaßte. Der Hinweis auf das Gehirn als Datenverarbeitungsmaschine und die Analogie zur Medientechnologie ist hilfreich für die Erklärung des Lokalisationismus im späten 19. Jahrhundert, aber bereits zur gleichen Zeit wurden andere Repräsentationsweisen wirksam, die nicht von einer klinischen oder physiologischen Definition bestimmter Hirnzentren ausgingen, sondern die sich der Erstellung einer funktionellen Landkarte des Gehirns mittels anatomischer Techniken verschrieben und sukzessive zu einer Marginalisierung des sensomotorischen Modells führten. Sowohl die myelogenetische Methode Flechsigs als auch die Architektonik des Gehirns sind Beispiele für eine Bewegung aus dem vorgegebenen Repräsentationsraum heraus, ohne daß jedoch der Problemhorizont aufgegeben worden wäre. Anders gesagt spielte das Modell der sensomotorischen Reflexmaschine für die architektonische Analyse der Hirnrinde keine tragende Rolle, sondern wurde durch eine Reihe von Verfahren zur Modellierung des Gehirns selbst ersetzt. Die spezifischen Methoden zur Sichtbarmachung von Zellstrukturen sollten eine Abgrenzung von funktionalen Arealen ermöglichen, die genauer war als bisherige Versuche. Die Entscheidung darüber, welcher Methode der Vorzug zu geben war, läßt sich ebenfalls nur unter pragmatischen Gesichtspunkten verstehen. Zunächst einmal kam es zu einer Bifurkation zwischen Architektonik und Histologie. Diese beiden Repräsentationsweisen hatten es mit vollkommen verschiedenen epistemischen Objekten zu tun. Die Histologie konzentrierte sich auf verschiedene Typen und Klassen von individuellen Nervenzellen. Hingegen repräsentierte die Architektonik eine gewaltige Anzahl von ununterscheidbaren Zellen, die auf eine Weise als Masse sichtbar gemacht wurde, daß nur noch die Differenz der Globalstruktur zu einer anderen signifikant war: in der horizontalen Ebene der Hirnoberfläche als ein neues funktionales Feld, in der Vertikale als eine neue Schicht.

Nach dieser Entscheidung richtete sich die nächste Frage darauf, nach welchem Ordnungsprinzip diese Massen von Zellen sichtbar gemacht werden sollten. Es ist eine banale Einsicht, daß es in der Geschichte der Mikroskopie um kaum mehr als das Verhältnis vom Sichtbaren zum Unsichtbaren geht. Wenn ein Stück Hirnmaterial auf einem Objektträger befestigt wird, muß stillschweigend vorausgesetzt werden, daß es sich um den Teil eines Ganzen handelt, daß aber in diesem Teil das Ganze – nicht das ganze Gehirn, aber beispielsweise ein ganzes Cortex-Areal – vollständig repräsentiert ist. Wenn etwas nicht dargestellt ist auf einem solchen Zeichenträger, folgt daraus nicht die Annahme, daß es *nicht da* wäre, sondern daß es nicht *angefärbt* wurde. Da nun aber nicht mit derselben Technik alle Bestandteile gleichzeitig angefärbt werden konnten, kam es notwendig zu Differenzen, die nicht einer ontologischen Realität entsprachen, sondern

der Präparationsweise des zu untersuchenden Objektes. Es war nicht entscheidend, ob es *richtige* oder *falsche* Strukturen gab, auf die man die Architektonik gründete. Fibrillen hätten ebenso wie Gliazellen oder die Myelinisierung der Fasern als epistemische Bestandteile für die Erstellung größerer funktionaler Areale dienen können. Daß die Vogts und Brodmann sich für die Cyto- und Myeloarchitektonik entschieden, hing erstens mit ihrer einfacheren technischen Durchführbarkeit zusammen, und zweitens wurde die Praktikabilität der beiden Methoden mittels einer weiteren Methode – der elektrophysiologischen Stimulation – sozusagen kalibriert. Es war zu keinem Zeitpunkt davon die Rede, daß die eine Methode richtige und die andere Methode falsche Ergebnisse produzierte. Das heißt mit anderen Worten, daß es für die Architektonik des Gehirns darauf ankam, Konjunkturen mit anderen Darstellungs- bzw. Manipulationstechniken zu erzeugen, um ihren eigenen Anspruch als funktionale Topographie des Gehirns zu stabilisieren. Für die klinische Medizin, insbesondere für die Chirurgie der Kriegsverletzten und für die Neurologie war es von hohem Nutzen, daß die gegenseitige Abstützung von Architektonik und elektrischer Stimulation der Hirnrinde zu deren präziserer Kartographierung führte.

Der zweite Aspekt, um den es geht, ist die stets virulente epistemologische und politische Relevanz der Hirnforschung. Die Verschiebungen in der Lokalisationspraxis, wie sie in der Entwicklung von Meynert, Hitzig und Wernicke, Exner und Flechsig bis hin zur Architektonik zum Ausdruck kamen und schließlich in einem großen Kaiser-Wilhelm-Institut ihre institutionelle Beglaubigung fanden, dienten der weiteren Konsolidierung eines Anspruchs, den die Hirnforschung sich seit dem 19. Jahrhundert zunehmend auf die Fahnen geschrieben hat, nämlich eine führende Rolle im Ensemble der Wissenschaften vom Menschen zu spielen. Dieser Anspruch fand seine wissenschaftswirkliche Entsprechung in der Materialität von 30 000 Hirnschnitten, in der Auslösung von Grunzen, Krächzen und Kribbeln bei den Foersterschen Patienten und in der III. Schicht von Lenins Cortex. Gegen diese Art von Reduktionismus hat sich bereits zu jener Zeit ein Protest formiert, der seine Kontur in der Neuropsychologie Kurt Goldsteins, Lev Vygotzkys und Aleksandr Lurijas erhalten hat.[57] Doch hat dieser Protest nichts daran ändern können, daß die Unterwerfung des Gehirns unter immer neue Darstellungsformen den weitaus größeren Anteil am Siegeszug der Hirnforschung im 20. Jahrhundert beanspruchen kann.

57 Siehe z. B. Goldstein 1934; Vygotzky 1965. – Zur russischen Neuropsychologie insgesamt vgl. Joravsky 1989.

Literatur

Asher, Leon (1934): Modelle und biologische Systeme. Scientia 55, 418–421.
Betz, Vladimir (1874): Anatomischer Nachweis zweier Gehirncentra. Centralblatt für die medizinischen Wissenschaften 12, 578–580, 595–599.
Breidbach, Olaf (1993): Nervenzellen oder Nervennetze? Zur Entstehung des Neuronenkonzeptes, in: Ernst Florey/Olaf Breidbach (Hrsg.), Das Gehirn – Organ der Seele? Zur Ideengeschichte der Neurobiologie, Berlin, 81–126.
Brodmann, Korbinian (1909): Vergleichende Lokalisationslehre der Großhirnrinde in ihren Prinzipien dargestellt auf Grund des Zellenbaues, Leipzig.
Canguilhem, Georges (1963): The Role of Analogies and Models in Biological Discovery, in: Alistair C. Crombie (ed.), Scientific Change. Historical Studies in the Intellectual, Social and Technical Conditions for Scientific Discovery and Technical Invention, from Antiquity to the Present, London, 507–520.
Exner, Sigmund (1881): Untersuchungen über die Localisation der Functionen in der Grosshirnrinde des Menschen, Wien.
Flechsig, Paul (1876): Die Leitungsbahnen im Gehirn und Rückenmark des Menschen, Leipzig.
Flechsig, Paul (1894): Zur Anatomie und Entwickelungsgeschichte der Leitungsbahnen im Grosshirn des Menschen. Berichte über die Verhandlungen der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften, Mathematisch-physikalische Klasse, Bd. 46, 164–167.
Flechsig, Paul (1896a): Gehirn und Seele. Rede, gehalten am 31. October 1894 in der Universitätskirche zu Leipzig. 2. Aufl., Leipzig.
Flechsig, Paul (1896b): Die Grenzen geistiger Gesundheit und Krankheit. Rede, gehalten zur Feier des Geburtstages Sr. Majestät des Königs Albert von Sachsen am 23. April 1896, Leipzig.
Flechsig, Paul (1897): Über die Associationscentren des menschlichen Gehirns, in: 3. Internationaler Congress für Psychologie in München vom 4. bis 7. August 1896, München, 49–73.
Flechsig, Paul (1927): Meine myelogenetische Hirnlehre. Mit biographischer Einleitung, Berlin.
Foerster, Otfried (1923): Die Topik der Hirnrinde in ihrer Bedeutung für die Motilität. Deutsche Zeitschrift für Nervenheilkunde 77, 124–139.
Foerster, Otfried (1925): Zur Pathogenese und chirurgischen Behandlung der Epilepsie. Zentralblatt für Chirurgie 25, 531–556.
Foerster, Otfried (1926): Zur Pathogenese des epileptischen Krampfanfalls. Deutsche Zeitschrift für Nervenheilkunde 94, 15–56.
Fulton, John F. (1937): A Note on Francesco Gennari and the Early History of Cytoarchitectural Studies of the Cerebral Cortex. Bulletin of the Institute of the History of Medicine 5, 895–913.
Goldstein, Kurt (1934): Der Aufbau des Organismus, Haag.
Griesinger, Wilhelm (1872): Vortrag zur Eröffnung der psychiatrischen Klinik zu Berlin (1867), in: ders., Gesammelte Abhandlungen, Bd. 1, Berlin, 127–151.
Hagner, Michael (1993): Die elektrische Erregbarkeit des Gehirns. Zur Konjunktur eines Experiments, in: Hans-Jörg Rheinberger/Michael Hagner (Hrsg.), Die Experimentalisierung des Lebens. Experimentalsysteme in den biologischen Wissenschaften 1850/1950, Berlin, 97–115.
Hagner, Michael (1994a): Vom Stottern des Menschen zum Stocken der Maschine, in: Hans-Jörg Rheinberger/Rainer Nägele/Norbert Haas (Hrsg.), Im Zug der Schrift, München, 14–34.
Hagner, Michael (1994b): Hirnbilder. Cerebrale Repräsentationen im 19. und 20. Jahrhundert, in: Michael Wetzel/Herta Wolf (Hrsg.), Der Entzug der Bilder, München, 145–160.
Harrington, Anne (1987): Medicine, Mind, and the Double Brain, Princeton.
Harrington, Anne (1992): Other „Ways of Knowing": The Politics of Knowledge in Interwar German Brain Science, in: dies. (ed.), So Human a Brain. Knowledge and Values in the Neurosciences, Boston – Basel, 229–244.

Hassler, Rolf (1959): Cécile und Oskar Vogt, in: Kurt Kolle (Hrsg.), Große Nervenärzte. Bd. 2, Stuttgart, 45–64.
Hirschmüller, Albrecht (1991): Freuds Begegnung mit der Psychiatrie. Von der Hirnmythologie zur Neurosenlehre, Tübingen.
Joravsky, David (1989): Russian Psychology. A Critical History, Oxford.
Kirsche, Walter (1986): Oskar Vogt 1870–1959. Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften der DDR, Mathematik–Naturwissenschaften–Technik, Jg. 1985, Nr. 13.
Krauss, Wolfgang (1989): Das Organ der Seele, in: Jean Clair/Cathrin Pichler/Wolfgang Pircher (Hrsg.), Wunderblock. Eine Geschichte der modernen Seele, Wien, 209–225.
Leidesdorf, Max (1865): Lehrbuch der psychischen Krankheiten, 2. Aufl., Erlangen.
Lenoir, Timothy (1993): Farbensehen, Tonempfindung und der Telegraph. Helmholtz und die Materialität der Kommunikation, in: Hans-Jörg Rheinberger/Michael Hagner (Hrsg.), Die Experimentalisierung des Lebens. Experimentalsysteme in den biologischen Wissenschaften 1850/1950, Berlin, 50–73.
Lesky, Erna (1965): Die Wiener medizinische Schule im 19. Jahrhundert, Graz – Köln.
Marx, Otto M. (1966): Aphasia Studies and Language Theory in the 19th Century. Bulletin of the History of Medicine 40, 328–349.
Meynert, Theodor (1867/68): Der Bau der Gross-Hirnrinde und seine örtlichen Verschiedenheiten, nebst einem pathologisch-anatomischen Corollarium. Vierteljahresschrift für Psychiatrie 1, 77–93, 198–217; 2, 88–113.
Meynert, Theodor (1868): Ueber die Nothwendigkeit und Tragweite einer anatomischen Richtung in der Psychiatrie. Wiener Medizinische Wochenschrift 18, 573–576, 589–591.
Meynert, Theodor (1891): Über das Zusammenwirken der Gehirntheile. Verhandlungen des X. Internationalen medizinischen Kongresses, Berlin, 4.–9. August 1890, Bd. 1, Berlin, 173–190.
Meynert, Theodor (1892): Zur Mechanik des Gehirnbaues (1872), in: ders., Sammlung von populärwissenschaftlichen Vorträgen über den Bau und die Leistungen des Gehirns, Wien, 17–40.
Minkowski, Mieczyslaw. (1923/24): Etude sur les connexions anatomiques des circonvolutions rolandiques, pariétales et frontales. Schweizer Archiv für Neurologie und Psychiatrie 12, 71–104, 227–268; 14, 255–278; 15, 97–132.
Peacock, Andrew (1982): The Relationship Between the Soul and the Brain, in: F. Clifford Rose/William F. Bynum (eds.), Historical Aspects of the Neurosciences, New York, 83–98.
Pribram, Karl H. (1990): From Metaphors to Models: the Use of Analogy in Neuropsychology, in: David E. Leary (ed.), Metaphors in the History of Psychology, Cambridge, 79–103.
Richter, Jochen (1976): Oskar Vogt und die Gründung des Berliner Kaiser-Wilhelm-Instituts unter den Bedingungen imperialistischer Wissenschaftspolitik. Psychiatrie, Neurologie und medizinische Psychologie 28, 449–457.
Richter, Jochen (1991): Medicine and Politics in Soviet-German Relations in the 1920s. A Contribution to Lenin's Pathobiography, in: Eric Fierens et al. (eds.): Proceedings of the XXXIInd International Congress of the History of Medicine, Antwerp, 3–7 September 1990, Brüssel, 1063–1071.
Richter, Jochen (1994): Das Kaiser-Wilhelm-Institut für Hirnforschung und die Topographie der Großhirnhemisphären. Ein Beitrag zur Institutionengeschichte der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft und zur Geschichte der architektonischen Hirnforschung, in: Bernhard vom Brocke/Hubert Laitko (Hrsg.), Institutsgeschichten und ihre Bedeutung für die historische Untersuchung der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft/Max-Planck-Gesellschaft, Bd. 1, Berlin (im Druck).

Richter, Jochen (1995): Rasse – Elite – Pathos. Eugenische Zukunftsvisionen der von Oskar Vogt begründeten Moskauer Schule der architektonischen Hirnforschung. Mitteilungen der Magnus-Hirschfeld-Gesellschaft (im Druck).

Richter, Jochen/Lindemann, Marianne (1988): Die Berliner und die Moskauer Schule der architektonischen Hirnforschung, in: Hans Schadewaldt/Karl-Heinz Leven (eds.): Proceedings of the XXX International Congress of the History of Medicine, Düsseldorf 31. VIII. – 5. IX. 1986, Düsseldorf, 923–936.

Sherrington, Charles/Grünbaum, A. S. F. (1902): Observations on the Physiology of the Cerebral Cortex of the Higher Apes (Preliminary Communication). Proceedings of the Royal Society of London 69, 206–209.

Spatz, Hugo (1961): Geschichte des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Hirnforschung, in: Jahrbuch der Max-Planck-Gesellschaft, Teil 2, 407–421.

Spengler, Tilman (1991): Lenins Hirn, Reinbek.

Star, Susan Leigh (1989): Regions of the Mind. Brain Research and the Quest for Scientific Certainty, Stanford.

Stingelin, Martin (1989): Die Seele als Funktion des Körpers. Zur Seelenpolitik der Leipziger Universitätspsychiatrie unter Paul Emil Flechsig, in: Friedrich A. Kittler/Manfred Schneider/Samuel Weber (Hrsg.), Diskursanalysen 2: Institution Universität, Opladen, 101–115.

Vogt, Cécile/Vogt, Oskar (1907): Zur Kenntnis der elektrisch erregbaren Hirnrindengebiete bei den Säugetieren. Journal für Psychologie und Neurologie 8, 280–450.

Vogt, Cécile/Vogt, Oskar (1919): Ergebnisse unserer Hirnforschung. Journal für Psychologie und Neurologie 25, 277–462.

Vogt, Cécile/Vogt, Oskar (1926): Die vergleichend-architektonische und die vergleichend-reizphysiologische Felderung der Grosshirnrinde unter besonderer Berücksichtigung der menschlichen. Die Naturwissenschaften 14, 1190–1194.

Vogt, Cécile/Vogt, Oskar (1928): Die Grundlagen und die Teildisziplinen der mikroskopischen Anatomie des Zentralnervensystems, in: Wilhelm v. Möllendorf (Hrsg.), Handbuch der mikroskopischen Anatomie des Menschen, Bd. 4, 1. Teil, Berlin, 1–30.

Vogt, Oskar (1897): Flechsig's Associationscentrenlehre, ihre Anhänger und Gegner. Zeitschrift für Hypnotismus 5, 347–361.

Vogt, Oskar (1930): 1. Bericht über die Arbeiten des Moskauer Staatsinstituts für Hirnforschung. Journal für Psychologie und Neurologie 40, 108–118.

Vygotsky, Lew S. (1965): Psychology and Localization of Functions (1934). Neuropsychologia 3, 381–386.

Wernicke, Carl (1874): Der aphasische Symptomencomplex. Eine psychologische Studie auf anatomischer Basis, Breslau.

Objekte, Differenzen und Konjunkturen

Experimentalsysteme im historischen Kontext

Herausgegeben von Michael Hagner,
Hans-Jörg Rheinberger und Bettina Wahrig-Schmidt

Akademie Verlag

Gedruckt mit Unterstützung des Ministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Schleswig-Holstein, der Gottfried Roder-Stiftung, Lübeck, der Karl Mayer Stiftung, Vaduz, und der Possehl-Stiftung, Lübeck

Titelbild: M. C. Escher, „Möbius strip II“ (Holzschnitt, 1963)
© 1994 M. C. Escher/Cordon Art, Baarn, Holland. All rights reserved.

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme
Objekte – Differenzen – Konjunkturen : Experimentalsysteme im historischen Kontext / hrsg. von Michael Hagner … [Mit Beitr. von: Klaus Amann …]. – Berlin : Akad. Verl., 1994
ISBN 3-05-002585-9
NE: Hagner, Michael [Hrsg.]

© Akademie Verlag GmbH, Berlin 1994
Der Akademie Verlag ist ein Unternehmen der VCH-Verlagsgruppe.

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier.
Das eingesetzte Papier entspricht der amerikanischen Norm ANSI Z.39.48 – 1984 bzw. der europäischen Norm ISO TC 46.

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Photokopie, Mikroverfilmung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden.
All rights reserved (including those of translation into other languages). No part of this book may be reproduced in any form – by photoprinting, microfilm, or any other means – nor transmitted or translated into a machine language without written permission from the publishers.

Lektorat: Peter Heyl
Satz: deutsch-türkischer fotosatz, Berlin
Druck: GAM Media GmbH, Berlin
Bindung: Dieter Mikolai, Berlin
Einbandgestaltung: Ralf Michaelis

Printed in the Federal Republic of Germany