

Größenbestimmung und Darstellung von Rindenfeldern

Von

Gottfried Heinze

Bei architektonischen Studien an Durchschnitts- und Ausnahmegehirnen hatte ich aus einer Anzahl vorliegender Arbeitsmethoden diejenigen auszuwählen und eventuell weiterzuentwickeln, die mir am geeignetsten erschienen. Da ich bei der Bearbeitung von etwa 15 Hemisphären einige Erfahrungen sammeln konnte, möchte ich die Methoden, die sich bewährt haben und die neue Gesichtspunkte bringen, in möglichst knapper Form zur Diskussion stellen.

I. Will man an Schnittserien die Größe bestimmter Hirnrindenfelder erfassen und sie mit den entsprechenden Gebieten anderer Hemisphären vergleichen, muß man als erstes untersuchen, ob sich die *Schrumpfungsvorgänge*, die während der technischen Bearbeitung stattfinden, bei jeder Hemisphäre gleich auswirken oder ob ein Gehirn stärker als ein anderes schrumpft. In letzterem Falle würde die Anwendung von allgemeinen Schrumpfungskoeffizienten, wie sie mehrfach errechnet wurden, jedes Meßergebnis fälschen.

Die zu untersuchenden Gehirne kommen nach einer gewissen Formalinhärtung in unser Institut. Leider konnte bisher die Verweildauer im Formalin nicht ganz einheitlich durchgeführt werden. Auf jeden Fall sind aber die Menschengehirne so hart, daß sie sich durch ihr Eigengewicht nicht mehr verformen. Diese Formalingröße kann als Ausgangsgröße dienen. Deshalb wird sie auf Photographien festgehalten, die zur Garantie einer 1:1-Reproduktion mit Maßstäben versehen wurden. Oberflächenaufnahmen der ganzen Hemisphäre und der einzelnen Blöcke mit ihren Schnittflächen erlauben, alle nötigen Maße abzulesen, soweit sie nicht schon am Gehirn selbst bestimmt wurden. Aus dem Verhältnis der Formalin- zur Präparatgröße läßt sich der Schrumpfungskoeffizient berechnen. Die Durchführung ist aber mit einigen Schwierigkeiten verbunden:

Die Gesamtschrumpfung ergibt sich als Produkt der „Sagittalschrumpfung“ und der „Frontalschrumpfung“. Mit Sagittalschrumpfung ist die

Verkürzung der Länge Frontalpol—Okzipitalpol gemeint, mit Frontalschrumpfung die Verkürzung der Umrißlinie der Schnitte der Frontalserie (sonst auch „Linearschrumpfung“ genannt).

Die Sagittallänge der formalingehteten Hemisphären ist bekannt oder kann auf der Photographie nachgemessen werden. Die Sagittallänge der zu Präparaten geschnittenen Hemisphäre („Präparatlänge“) errechnet man aus dem Produkt der Zahl der Schnitte und der Schnittdicke, so, wie die Schnittdicke vom Mikrotom angegeben wird. Mechanische Effekte durch den Druck des schneidenden Messers werden der Einfachheit halber nicht von der Schrumpfung getrennt. Der Quotient $\frac{\text{Formalinlänge}}{\text{Präparatlänge}}$ ist der gesuchte Koeffizient für die Sagittalschrumpfung.

Um die frontale Schrumpfung zu ermitteln, müßten die Umrißlinien aller Blockanschnitte zu den Umrißlinien der entsprechenden Präparate in Beziehung gesetzt werden. Leider ist das nach dem Schneiden nicht mehr möglich, da auch bei sauberstem Anschnitt etwa die ersten 50 Schnitte eines Blockes nicht vollständig werden. Hat man aber einen vollen Schnitt, befindet man sich in einer ganz anderen als der photographierten Ebene. Die Messung wäre mit einem Kurvimeter möglich, unmittelbar bevor ein Block angeschnitten wird, nach Abtragung des bedeckenden Paraffins. Ist aber dieser Moment verpaßt, bleiben nur Notlösungen übrig wie etwa folgende:

Man bestimmt an den ersten Präparaten eines Blockes die Entfernungen von gegenüberliegenden Windungen oder Furchen an verschiedenen Stellen in verschiedenen Durchmessern. Werden diese Werte zu den gleichen Messungen am photographischen Bilde in Beziehung gesetzt, lassen sich verschiedene Vertikal-, Diagonal- und Horizontalkoeffizienten am Rechenschieber ablesen. Ein Mittelwert des Quotienten $\frac{\text{Photodurchmesser}}{\text{Präparatdurchmesser}}$ ist der gesuchte Frontalkoeffizient.

Die Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse von der linken Hemisphäre des Normalgehirns A 58. Nach den Blocknummern (I beginnt am Frontalpol) werden die Sagittal- und die Frontalschrumpfungen aufgeführt und als Produkt beider die Gesamtschrumpfung. Das heißt, zur Korrektur der Schrumpfung muß jedes Messungsergebnis mit dieser Zahl multipliziert werden. Der Prozentwert der Schrumpfung läßt sich berechnen nach der Formel:

$$100 - (100 : \text{Koeffizient}).$$

Tabelle 1

Block	Sag.	Front.	Gesamt	Proz.
I	1,35	1,23	1,66	39,7
II	1,38	1,21	1,67	40,0
III	1,41	1,22	1,72	41,8
IV	1,41	1,22	1,72	41,8
V	1,31	1,20	1,57	36,4
VI	1,31	1,18	1,55	35,5

In der Tabelle 2 werden die Gesamtschrumpfungskoeffizienten von den von mir untersuchten Gehirnen angegeben. Es handelte sich um in Paraffin eingebettete Gehirne verschiedenen Alters mit verschiedenen Todesursachen. A 58 gilt als Durchschnitt, A 49 bis El 10 stammen von optisch begabten Menschen, El 9 von einem Sprachtalent, El 11 von einem großen Musiker. Für die Frontal-, Parietal- und Okzipitalgebiete wurden von mehreren Blöcken die Mittelwerte errechnet.

Tabelle 2

Gehirn	frontal	parietal	okzipital
A 58 l	1,67	1,72	1,56
r	1,66	1,68	1,65
A 49 l	1,65	1,89	1,74
r	1,66	1,70	1,55
El 4 l	1,55	1,66	1,52
r	1,63	1,68	1,60
El 7 l	1,55	1,59	1,54
El 8 l	1,96	1,96	1,78
El 10 l	1,70	1,72	1,62
El 9 l	1,47	1,50	1,45
El 11 l	1,61	1,50	1,38
r	1,65	1,57	1,50
Durchschnitt	1,64 39%	1,68 40,5%	1,57 36%

Als Ergänzung sind die entsprechenden Werte von der linken Hemisphäre eines gut entwickelten Gorillagehirns interessant, die die Tabelle 3 zeigt.

Tabelle 3

Block	Sag.	Front.	Gesamt	Proz.
I	1,43	1,30	1,86	46,2
II	1,45	1,27	1,84	45,7
III	1,45	1,26	1,83	45,4
IV	1,35	1,26	1,70	41,2

Die Resultate lassen erkennen, daß die Schrumpfung viel unterschiedlicher ist — auch bei den gleichen Blöcken von der linken und rechten Hemisphäre des gleichen Gehirns — als anzunehmen war. Sie schwankt (nach Paraffineinbettung) bei dem untersuchten Material zwischen 27,5 % und 49,0 %. Es schrumpft jeder Block — und damit jede Hemisphäre und jedes Gehirn — anders. Es wird wohl jeder Gewebsteil seine eigene Schrumpfungseigung haben. Einzelne Untersuchungen, gleichmäßig über die Hemisphäre verteilt, ergeben Mittelwerte, die eine Korrektur von Messungsergebnissen erlauben. Für die Bestimmung der Schrumpfung wäre es vorteilhaft, möglichst viele Blockanschnitte zu haben. Möglichst wenige Blöcke verlangt die Kontinuität der Schnittserie. Ein gutes Mittelmaß bestimmt der beabsichtigte Zweck. — Aus den Tabellen ist zu folgern, daß die Schrumpfung beim Menschengehirn von frontal nach parietal größer wird und okzipital

unter den Frontalwert sinkt. Bei der Gorillahemisphäre liegen die Werte höher und zeigen die stärkste Schrumpfung frontal. Es lassen sich wohl Beziehungen zur Dichte der einzelnen Gewebsteile, zur Mark- und Rindenstruktur vermuten. Ob dabei gleichzeitig etwas über den Grad der Differenzierung ausgesagt wird, müssen weitere Untersuchungen zeigen.

II. Es kommt nun darauf an, eine *Meßmethode* zu finden, deren zeitlicher Aufwand in einem tragbaren Verhältnis zu den zu erwartenden Resultaten steht. Zur Oberflächenmessung von Rindenfeldern bewährte sich eine Methode, die ich aus schon beschriebenen weiterentwickelte:

Auf dem Präparat werden unter dem Mikroskop die Grenzen der architektonischen Einheiten durch Punkte markiert. Die Entfernung dieser Punkte, d. h. die lineare Ausdehnung eines Feldes auf diesem Präparat, wird mit einem Kurvimeter gemessen, am besten bei 5–10facher Vergrößerung unter einem photographischen Vergrößerungsapparat. Die Zahlen trägt man untereinander in eine vorbereitete Liste ein. Die Entfernung der verwendeten Schnitte ergibt sich aus den Schnittnummern und den Schnittdicken.

Zum Verständnis der Berechnung läßt sich die Oberfläche graphisch darstellen, indem auf der Abszisse (horizontal) die Schnittentfernung und auf der Ordinate die gemessenen Kurvimeterzahlen eingetragen werden. Der Oberflächenberechnung liegen Trapeze zugrunde, die am Anfang und am Ende, wo die zu messenden Gebiete noch nicht oder nicht mehr erscheinen, von einem Dreieck begrenzt werden. Wenn a, b, c in Millimetern die Rinden- ausdehnung auf den ersten gemessenen Schnitten bedeuten und x, y, z diejenigen auf den letzten, ergibt sich die Oberfläche aus der Formel:

$$\begin{aligned} & \frac{a}{2} \cdot h \quad (\text{Dreieck von 0 zum ersten Schnitt mit } a \text{ mm Feldausdehnung, } h \text{ Ent-} \\ & \text{fernung zum Schnitt 1)} \\ & + \frac{a+b}{2} \cdot h + \frac{b+c}{2} \cdot h + \dots \quad (\text{die ersten Trapeze)} \\ & + \frac{x+y}{2} \cdot h + \frac{y+z}{2} \cdot h \quad (\text{die letzten Trapeze)} \\ & + \frac{z}{2} \cdot h \quad (\text{das letzte Dreieck zum Punkt 0, auf dem das Feld in der Ent-} \\ & \text{fernung } h \text{ nicht mehr erscheint}). \end{aligned}$$

Man sieht, wenn h stets gleichgroß ist, errechnet man die Oberfläche aus: $(a + b + c + \dots + x + y + z) \cdot h$. — Es ist also wichtig, die Entfernung h stets gleich zu halten, um viele einzelne Multiplikationen zu sparen. Wenn $h = 1$ mm ist, braucht man nur zu addieren. Gemessen werden alle Rindenteile, auch diejenigen, die nicht an der Oberfläche liegen. Bei Schrägschnitten gilt die Rinde als vollständig, wenn mindestens fünf Rindenschichten getroffen sind.

Der prinzipielle Fehler der Methode liegt darin, daß an allen Schrägschnitten der Rinde die Messungsergebnisse zu niedrig werden. Nur die zur Schnittebene senkrecht verlaufenden Furchen werden ganz ausgebreitet und genau meßbar. Parallel zum Messer verlaufende Furchen stellt das gleich-

mäßig arbeitende Mikrotom viel zu klein dar. Nur sehr komplizierte Methoden erlauben, solche Oberflächen zu erfassen (5). Ferner ist zu bedenken, daß die Hemisphärenaußenseiten gekrümmt sind. Die Messungsergebnisse haben also nur relativen Wert. Die Vergleichbarkeit bleibt erhalten, wenn die Furchen in den zu vergleichenden Gebieten ähnliche Verlaufsrichtung haben und annähernd gleich tief sind. Beim Vergleich von Menschengehirnen mag das im allgemeinen der Fall sein. Beim Studium der Furchen und Windungen, das unbedingt jeder architektonischen Arbeit vorausgehen soll, muß man aber darauf achten und Besonderheiten festhalten, die bei der Beurteilung solcher Messungen zu berücksichtigen sind.

Dieser prinzipielle methodische Fehler läßt sich durch nichts korrigieren. Er ist zu vermeiden, wenn statt Oberflächenbestimmungen Volumenmessungen durchgeführt werden. Mit Hilfe eines Planimeters wird statt der linearen Feldausdehnung die gesamte Rinde eines Areals als Fläche gemessen. Die übrigen Bedingungen bleiben die gleichen wie oben. Diese Methode kostet mehr Zeit, und die Fehlermöglichkeit besteht darin, daß in vielen Präparaten unter dem Vergrößerungsapparat die Grenze Rinde zu Mark nicht genau zu erkennen ist. Die Grenzen müssen dann auf benachbarte Präparate übertragen werden, die für diese Zwecke besonders behandelt wurden.

Die beschriebene Methode zur Oberflächenmessung kann also *vergleichbare relative* Werte geben. Kommt es auf ein genaues Erfassen der Größe an, muß das Volumen bestimmt werden. Multipliziert man die Ergebnisse der Volumenmessung mit den Schrumpfkoeffizienten, so erhält man *absolute* Größenangaben.

III. Die Flächen oder Volumengrößen sind nicht unbedingt ein Maßstab für die funktionelle Leistungsmöglichkeit. Ein großes Feld kann in einem großen Gehirn einen geringeren Anteil an der Gesamtgröße haben als ein kleineres Feld in einem kleinen Gehirn. Es erscheint mir aber wesentlich, zu wissen, welche Rolle einem bestimmten Gebiet — nach seiner Größe beurteilt — im Rahmen der Funktionsgemeinschaft von mehreren Rindenfeldern zukommt. Deshalb lege ich besonderen Wert auf *Prozentangaben*, die sich auf die höheren architektonischen Einheiten beziehen, z. B. auf Regionen oder ganze Hemisphären.

IV. Das Prinzip, für Maßangaben das Organ als Bezugssystem zu wählen, bewährt sich bei der Orientierung an der Hemisphäre. Angaben wie Schnitt Nr. X, 15 mm vom Okzipitalpol, vermitteln gar keine Vorstellung, wenn man nicht die ganze Länge kennt (die meist nicht angegeben wird). Und wenn nicht zufällig die Sagittallängen gleich sind, liegt der 15. Millimeter bei verschiedenen Gehirnen in verschiedenen Ebenen, was Vergleiche sehr erschwert.

Ich ging deshalb dazu über, die Frontalserie in 200 „*Schnittebenen*“ zu unterteilen (unter Hinzufügung von einer Dezimalstelle); denn für den Photographen ist es ein leichtes, die Sagittalanseht einer Hemisphäre so zu vergrößern, daß sie auf dem Bild genau 20 cm lang wird. Dadurch findet man zur eigenen Orientierung oder zur Darstellung die jeweilige Schnittebene mit dem Lineal.

Bei einer vollen Schnittserie berechnet man die Sagittallänge der Präparatgröße (Sp.) aus der Zahl der Schnitte, multipliziert mit der Schnittdicke — wobei die nicht ganz vollständigen Blockanschnitte und -endstücke sinnvoll eingegliedert werden sollen. Die jeweilige Präparatebene (Pe.) ergibt sich aus Schnittnummer · Schnittdicke.

Die Schnittebene (Se.) ist: $\frac{\text{Pe.} \cdot 200,0}{\text{Sp.}}$

z. B. für Präparatebene 65,0 mm bei einer Sagittallänge von 130,0 mm:

$$\frac{65,0 \cdot 200,0}{130,0} = \text{Se. } 100,0.$$

Nach einer Einstellung am Rechenschieber lassen sich alle gesuchten Werte für eine Hemisphäre ablesen, und die Eintragung in eine Liste erlaubt, von verschiedenen Gehirnen die Präparate gleicher Ebenen sofort zu finden. Wird in einer Anmerkung noch die Angabe der Formalinlänge und der Länge post sectionem gemacht, dann ist die Umrechnung nach jeder Maßeinteilung möglich. — Steht keine volle Schnittserie zur Verfügung, muß man doch in der Lage sein, die jeweiligen Blöcke räumlich genau einzuordnen, und man kann dann in gleicher Weise vorgehen. Die Anwendung dieses Prinzips auf Horizontal- oder Sagittalserien geschieht ohne Schwierigkeiten.

Die frontal geschnittene Hemisphäre gliedert sich nach Schnittebenen etwa folgendermaßen:

Tabelle 4

	Schnittebenen
Frontalpol	0,0
Beginn des Rostrum corp. callosi	40,0 — 48,0
Temporalpol	48,0 — 52,0
Ende des Splenium corp. callosi	123,0 — 135,0

Den Wert dieser Einteilung für systematische Vergleiche möge die Tabelle 5 zeigen. Nach Angabe des jeweiligen Gehirns folgt die Schnittebene des Präparats, auf dem die Fasern des Splenium corporis callosi nicht mehr getroffen sind. Danach sind die Schnittebenen aufgeführt, in denen die okzipitalen Rindenfelder — Area praeoccipitalis (19), A. occipitalis (18) und A. striata (17) nach Brodmann — zum ersten Male abgrenzbar sind. Man beachte die unterschiedlichen Lagebeziehungen der Felder zum Balkenende und der Felder untereinander, die großen Unterschiede zwischen den einzelnen Gehirnen und zwischen linker und rechter Hemisphäre der gleichen Gehirne.

Diese vorstehend erörterten methodischen Schwierigkeiten treten bei vielen architektonischen Arbeiten auf, werden von jedem Bearbeiter anders gelöst, und es ist deshalb fast unmöglich, die Resultate auf einen Nenner zu bringen. Die oben erörterten Lösungsversuche haben sich an ziemlich großem Material bewährt, und sie sollen einen Beitrag leisten zu der Notwendigkeit, sich auf gewisse Methoden zu einigen. Denn nur das Durcharbeiten von großem Material mit vergleichbaren Methoden kann verlässliche Resultate bringen.

Tabelle 5

Gehirn	Balkenende	Beginn der Felder		
		19	18	17
A 58 l	130,1	127,0	133,2	141,2
r	131,8	126,9	133,5	143,2
A 49 l	129,0	131,2	139,2	142,3
r	125,0	122,0	130,8	138,1
El 4 l	128,6	123,5	128,6	136,3
r	132,2	129,0	137,0	140,2
El 7 l	123,0	128,7	133,2	136,2
El 8 l	125,3	125,3	129,8	134,3
El 10 l	129,5	128,0	135,5	138,6
El 9 l	127,2	127,2	135,0	140,7
El 11 l	123,8	125,3	130,2	134,9
r	123,6	129,0	136,7	143,2

Zusammenfassung

1. Es wird eine Methode beschrieben, mit der man das Ausmaß der Schrumpfung erfassen kann, die das in Formalin fixierte Gehirn während des Bearbeitungsprozesses durchmacht, bis es in mikroskopierbaren Präparaten vorliegt. Die Ergebnisse solcher Untersuchungen werden mitgeteilt.

2. Es wird eine Methode zur Oberflächenmessung dargestellt, die relativ schnell zu vergleichbaren Resultaten führt. Auf eine Methode zur Volumenmessung wird hingewiesen.

3. Es wird befürwortet, Meßergebnisse nicht als Flächen- oder Raummaße mitzuteilen, sondern in Prozentsätzen der übergeordneten Einheiten (Regionen, Hemisphären) auszudrücken, weil dadurch die Bewertung, die Vorstellung und die Vergleichbarkeit erleichtert werden.

4. Zur räumlichen Orientierung innerhalb der Hemisphäre und zur Darstellung wird eine Einteilung in „Schnittebenen“ vorgeschlagen, die unabhängig von den eigentlichen Hemisphärengrößen ist. Der Wert dieser Einteilung wird an Untersuchungen über die Ausdehnung der okzipitalen Rindenfelder gezeigt.

Literatur

1. Gurewitsch, Chatschaturian, Chatachaturow, Methodik der Zeichnung zytoarchitektonischer Karten und Messung der Felder. Zeitschr. ges. Neur. u. Psychol., **114** (1928). — 2. Kreht, H., u. Gerhard, E., Zur Volumen- und Oberflächengröße der Area striata. Journ. Psychol. u. Neur., **45** (1933). — 3. Lagerlöf, H., Torgersrud, T., Zur Kenntnis der Gewichts- und Volumenveränderungen bei Formalinfixation. Journ. Psychol. u. Neur., **46** (1934). — 4. Popoff, N., Zur Kenntnis der Größe der Area striata und die Methodik ihrer Ausmessung. Journ. Psychol. u. Neur., **34** (1927). — 5. Sapir, I. D., Zur individuellen Architektur der Großhirnrinde des Menschen. Journ. Psychol. u. Neur., **39** (1929). — 6. Sarkissow, S. A., Über die Schrumpfung des Gehirns bei Paraffineinbettung. Journ. Psychol. u. Neur., **41** (1930).