

Aus dem Hirnforschungsinstitut der Universität Leipzig (Direktor: Prof. Dr. med. et phil. R. A. PFEIFER †) und dem Hirnpathologischen Institut der Deutschen Forschungsanstalt für Psychiatrie — Max-Planck-Institut — München
(Direktor: Prof. Dr. med. W. SCHOLZ)

Zur Gliaaarchitektonik der menschlichen Großhirnrinde im Nissl-Bild *

Von

WOLFGANG SCHLOTE

Mit 9 Textabbildungen

(Eingegangen am 1. Juli 1959)

Problemlage

Phylogenetische Höherentwicklung eines Gehirns zeigt sich an der Zunahme der Zahl verschieden gebauter Rindenfelder, also durch größere Differenzierung der laminären und arealen Architektonik.

Unsere Kenntnisse über den feineren Bau der Hirnrinde als Hauptsitz der nervösen Funktionen beruhen im wesentlichen auf Untersuchungen an Bau und Anordnung der Nervenzellen. Im Laufe der Onto- und Phylogenese kommt es aber innerhalb entsprechender gleich großer Rindengrauegebiete zu relativer Abnahme der Nervenzellzahl bei Zunahme des zwischenzelligen Raumes und der zwischenzelligen Organisation. Das hat HAUG 1951 durch Berechnung des Grauzellkoeffizienten (Verhältnis der Gesamtheit aller Teile eines Griseums zu den Nervenzellen) an Nissl-Präparaten berechnet.

Der zwischenzellige Raum wird von der Masse der neuronalen Fortsätze, von der Neuroglia mit ihren protoplasmatischen Ausläufern und den Gliafasern und von den intracerebralen Gefäßen mit ihrem mesenchymalen Begleitgewebe ausgefüllt. Im Nissl-Bild sind von der Glia nur die Zellkerne und teilweise ein schmaler Protoplasmasaum zu sehen. Die Zelleiber der Gliazellen mit ihren Ausläufern sind unter normalen Bedingungen nur mittels besonderer Metallimprägnationsverfahren nahezu vollständig sichtbar zu machen, und zwar immer nur eine der drei Gliazelltypen für sich, die Gliafasern nur durch weitere spezifische Färbungen. Da diese Methoden sehr ungleichmäßige Resultate ergeben, sind die Beziehungen der einzelnen Gliazellarten unter sich und zu einander heute noch immer umstritten.

Der Ansicht, daß zwischen den plasmatischen Ausläufern der Gliazellen reichlich Verbindungen bestehen, daß diese also ein kontinuierliches

* Umgearbeitete Fassung der Dissertation Leipzig 1956.

plasmatisches Reticulum, ein Syncytium bilden, bei dem die einzelne Gliazelle nur noch der künstlich herausgeschnittene Teil eines zusammenhängenden Ganzen ist, und die vor allem von METZ u. SPATZ (1924), KORBSCHE (1952), BAUER (1953) und in letzter Zeit SCHUCHARD (1958) vertreten sind, steht die immer mehr Anhänger gewinnende Auffassung von der Nichtexistenz eines syncytialen Zusammenhanges und dem Aufbau des Gliasystems aus voneinander getrennten einzelnen Zellindividuen gegenüber, wofür sich nach ACHUCARRO (1914), CAJAL (1913) und PENFIELD (1924) in letzter Zeit BAIRATI (1950), NIESSING (1936) und GLEES (1955) ausgesprochen haben.

Jüngste elektronenmikroskopische Befunde von HAGER (1959) rücken das Problem des Gewebzusammenhanges in ein neues Licht. Bei einer retikulären syncytialen Organisationsform müßten anastomosierende Verbindungen gerade an den Endstrecken der in nicht übersehbarer Weise verästelten Zellausläufer sichtbar sein. Jedoch lassen sich elektronenoptisch an den feinsten, in jeder Schnittrichtung getroffenen, durch scharfe Konturen begrenzten Zellfortsätzen eindeutige Anastomosierungen nie, Verzweigungen selten nachweisen. Es sind lediglich protoplasmatische Zellausläufer, zum Teil in feinsten Endaufzweigungen, feststellbar, die sich als dichter Filz ineinanderfügen und durch Interzellularfugen weitgehend konstanter Breite voneinander getrennt sind. Es bestehen also weder Anhaltspunkte für die Existenz irgendwelcher protoplasmatischer syncytialer Verbindungen zwischen den neuronalen und glösen Endausläufern unter sich oder untereinander, noch ist Raum für ein ubiquitäres protoplasmatisches Grundnetz zwischen den Fortsätzen bzw. eine zwischenzellige Organisation im Sinne BAUERS vorhanden. Nach diesen Befunden dürfte das glöse System aus einzelnen Zellen bestehen, die sich mit ihren Ausläufern lediglich eng berühren, aber nicht verbinden.

Nachhaltiger als bei einem syncytial zusammenhängenden Gewebe erhebt sich dann die Frage, ob das Gliasystem in seiner Ausprägung an allen Orten der Hirnrinde gleich ist oder ob es laminäre oder areale architektonische Verschiedenheiten aufweist. Unterschiede in der Architektur würden sich bei der Neuroglia zeigen in Unterschieden der Populationsdichte, der Zellgröße, der Form, Länge und Richtung der Zellausläufer, der Gruppierung der Zellen und der Anordnung in den verschiedenen Schichten und Feldern, wobei jede der drei Gliazellarten ein eigenes Verhalten zeigen könnte.

Aufgabe der vorliegenden Arbeit

Die vorhandene Literatur zeigt, daß das Studium der Gliarchitektur schwierig ist besonders wegen der Unzuverlässigkeit der elektiven Imprägnationsmethoden im normalen Menschengehirn. Die Methoden eignen sich also nicht zu vergleichenden architektonischen Studien an verschiedenen Fällen, wobei gerade größtmögliche Vollständigkeit der Bilder gefordert werden muß. Diese Forderung erfüllt die Nissl-Methode, durch welche alle drei Gliazellarten in lückenloser Weise, allerdings am zuverlässigsten durch ihre Kerne, dargestellt werden. Auch A. H. SCHROEDER hat das erkannt, nachdem er (1929) die Gliarchitektur

der Area frontopolaris (Brodmannsches Feld 10) mit den elektiven Färbemethoden für jeden Gliazelltyp untersucht hatte. Zum Zwecke vergleichenden Studiums mehrerer Felder der Hirnrinde (4, 7, 10, 17 und 44 nach BRODMANN) verwendete er dann die Nissl-Methode, reproduzierte die Gliazellen zeichnerisch nach ihren Zellkernen und stellte so Übersichtstafeln her (SCHROEDER 1931 u. 1935).

Man kann einwenden, daß das fast vollständige Fehlen des Pericaryons der Gliazellen und das Fehlen der Gliafasern im Nissl-Bild Aussagen über die Architektonik der Neuroglia verbiete, denn gerade diese könnten doch in verschiedenen Areae wesentliche Veränderungen zeigen. Hierzu ist zu sagen, daß die Gliafasern in ihrer Form, Dichte und Ausdehnung nur laminäre Verschiedenheiten aufweisen: In Schicht I und der oberen Hälfte von II ist ein Fasergeflecht nachweisbar, in den mittleren Rindenschichten fehlt es völlig, beginnt dann in VI wieder und erreicht im Mark fast die gleiche Dichte wie in Schicht I (WEIGERT 1890). Auch die Länge, Dicke und Art des Verlaufs der Gliafasern (gerade, gebogen, Wellen, Spiralen, Ausbiegungen) sind nach NIESSING in den einzelnen Laminae verschieden, in den verschiedenen Areae ist das Gefüge des Fasersystems aber gleich (NIESSING 1936). Was das Zellplasma der Gliazellen angeht, so soll nach den Angaben SCHROEDERS (1929, 1935) und BARGMANNs (1948) die Form und Größe der Gliazellen und die Verzweigungsart, Ausrichtung und Länge ihrer Ausläufer vor allem bei der Astroglia in den einzelnen Hirnschichten Unterschiede aufweisen, in den verschiedenen Areae aber nur wenig voneinander abweichen.

TRONCONI (1935) hat in einer ähnlichen Untersuchung wie SCHROEDER die Gliaarchitektonik in verschiedenen Feldern der Hirnrinde (aus den 5 cytoarchitektonischen Rindentypen v. ECONOMOS) untersucht und ebenfalls laminäre und areale Verschiedenheiten festgestellt; die Unterschiede hat er jedoch nicht so groß gefunden, daß eine Rindenfelddiagnose im Mikroskop durch die Architektonik der Glia möglich wäre. Auch PALEARI (1936) fand bei einer Untersuchung der Gliaverhältnisse im Bereich des Ammonshorns nur geringe morphologische Verschiedenheiten der Gliazellen. Anders liegen die Verhältnisse in den Stammganglien, in Zwischenhirn (STIGLIANI 1940), Kleinhirn (SCHROEDER 1928, JAKOB 1928) und Medulla oblongata, wo teilweise erhebliche und charakteristische Unterschiede in der morphologischen Ausprägung und in der Verteilung der einzelnen Gliazellarten vorhanden sind.

Für eine lückenlose Erfassung des architektonischen Verhaltens der Glia in der Großhirnrinde bleibt nach dem Gesagten vorläufig nur der Weg, mittels der Kerne der Gliazellen die Verteilung der drei Typen in den einzelnen Schichten und den verschiedenen Feldern zu untersuchen. Die sich ergebenden Unterschiede sind dann Unterschiede in der Populationsdichte der 3 Zelltypen; darin zeigt sich die Eigenart der Gliaarchitektonik eines Ortes in der Rinde. In den mit großer Mühe hergestellten Übersichtsbildern SCHROEDERs und TRONCONs sind die Dichteunterschiede sehr schwach ausgeprägt und Vergleiche mit anderen Areae

oder entsprechenden Bildern pathologischer Gehirne schwierig. Stellt man von den genannten Autoren gezeichnete Übersichtsbilder der gleichen Area einander gegenüber, so ergeben sich wenig Übereinstimmungen. Teilweise aus diesen Gründen konnte wohl BAUER noch 1953 schreiben: „Die Gliarchitektonik ist heute noch ein theoretisches Postulat.“ Es erweist sich, daß man nur mit genauen Zählungen jedes der 3 Zelltypen in jeder Schicht verschiedener Rindenfelder weiterkommt. Merkwürdigerweise sind Zahlenangaben in den genannten Arbeiten nur vereinzelt anzutreffen. Es wurden daher Zählungen jedes der 3 Zelltypen in je einer Area aus den 6 verschiedenen cytoarchitektonischen Rindentypen v. ECONOMOS (1925) vorgenommen; vom homotypisch granulären Typ 2 wurden drei Areae ausgezählt, um festzustellen, ob sich in Areae gleichen cytoarchitektonischen Baues Unterschiede in der Gliarchitektonik zeigen. Die errechneten Werte wurden auf Kurven dargestellt und damit übersichtliche Vergleichsmöglichkeiten geschaffen.

Was kann man von den Ergebnissen solcher Gliazellzählungen und der sich daraus ergebenden Gliarchitektonik erwarten? GLEES (1955) warnt mit Recht davor, einer eventuell vorhandenen differenten Verteilung der Glia in den einzelnen Areae ähnlich große Bedeutung beizumessen wie der Architektonik der Nervenzellen. Er glaubt, daß die nach seinen Untersuchungen unbedeutenden arealen Differenzen an Gefäß- und Nervenzelldichte gebunden sind und daß die Glia stets der nervösen Organisation folgt. Daß letzteres auf irgendeine Weise der Fall sein wird, möchten auch wir nicht bezweifeln, aber wie es erfolgt, ist durchaus noch unklar. Man muß also fragen:

Wechselt die Dichte der Gliazellen in den verschiedenen cytoarchitektonischen Schichten einer Area charakteristisch oder folgt sie der Schichtung nicht? Vollzieht sich der Übergang von der grauen in die weiße Substanz und die damit verbundene Änderung der Zelldichte ebenso wie die Art des Übergangs der Nervenzellen in der jeweiligen Area? Ist das kurvenmäßig aufgezeichnete gliarchitektonische Bild einer Area von dem einer anderen deutlich verschieden? Besteht wirklich eine Korrelation zwischen Glia- und Nervenzellarchitektonik, besteht sie vielleicht nur von seiten eines Gliazelltyps? Zeigt sich gegebenenfalls ein zahlenmäßig weitgehend paralleles (SCHROEDER 1931) oder ein kompensatorisches Verhalten (LENHOSSEK 1895). Bestehen Beziehungen zwischen Glia- und Myeloarchitektonik und zwischen Glia- und Angioarchitektonik? Bestehen Beziehungen zwischen Gliazellreichtum und Breite der Hirnrinde bzw. der einzelnen Laminae, sind breitrandige Areae gliazellärmer oder ist die Dichte der Glia unabhängig von der Größe des Raumes, über den sie sich ausbreitet?

Um Vergleiche zwischen Glia- und Nervenzellarchitektonik durchführen zu können, reicht es nicht aus, die Zahl der Gliazellen mit der Zahl der Nervenzellen in

Beziehung zu setzen, denn in den Körnerschichten z. B. gibt es sehr viel Nervenzellen, ihr Rauminhalt beträgt aber häufig zusammengekommen nicht so viel wie der Rauminhalt der Pyramidenzellen in Lamina III c, die viel weniger, aber dafür größere Zellen enthält. Eventuell vorhandene Beziehungen der Nervenzellplasmamasse zur Anzahl der Gliazellen hätte ebenso große Bedeutung wie solche zwischen den Nervenzellzahlen zu letzterer. Ein Maßstab für die vorhandene Nervenzellplasmamasse, am besten Volumenzelldichte genannt, ist nach v. ECONOMO (1925) die im Toluidinblau-gefärbten Präparat sichtbare Flächenausdehnung der Zellen, die man, wenn man sie als dreieckig ansieht, nach der Formel:

$$\frac{\text{Höhe} \times \text{Breite}}{2} \quad \text{Zellzahl/mm}^3$$

errechnen kann. Ich habe das nach den Zellgrößenangaben v. ECONOMOS in einigen der von mir untersuchten Areae getan und numerische Zelldichte und Volumenzelldichte der Nervenzellen den Gliazellzahlen gegenübergestellt. Bei den Gliazellen ist die Zellzahl stets auch ein Maßstab für die Zelldichte, da die Größenschwankungen der Zellen so gering sind, daß sie für diesen Zweck nicht ins Gewicht fallen.

Außer als Ausgangspunkt für die architektonischen Fragestellungen stehen mit den Gliazellzahlen Vergleichswerte für die Untersuchung von pathologischen Fällen auf Ausfall oder Vermehrung der Glia in der Hirnrinde zur Verfügung. v. ECONOMO weist mit Beziehung auf die Nervenzellarchitektonik darauf hin, daß es nur eine Frage der Feinheit der Methoden und der Schärfung des Blickes sei, wie weit z. B. angeborene, eventuell auch erworbene Ausfälle an Intelligenz anatomisch verfolgbar sind. Auch bei leichten Oligophrenien ließen sich bei genügender Ausdauer des Untersuchers Änderungen in der Nervenzellarchitektonik erkennen. Diese Überlegungen müssen auch für die Glia gelten. Es sei weiterhin angeführt, daß SCHROEDER 1931 bei einer Untersuchung der Area striata am Gehirn eines mit 70 Jahren verstorbenen Mannes, der 50 Jahre vorher das linke Auge verloren hatte, erhebliche Unterschiede der Gliaarchitektonik in den verschiedenen Schichten gegenüber dem Normalbild feststellte. Damit ergeben sich weitere Gesichtspunkte für Untersuchungen der laminären und arealen Gliaarchitektonik unter pathologischen Bedingungen.

Um später Ergebnisse von Zellzählungen aus verschiedenen Gehirnen exakt vergleichen zu können, müßten auch die normale individuelle Schwankungsbreite der Zellzahlen, die Unterschiede zwischen rechter und linker Hemisphäre, zwischen den Geschlechtern und die Veränderungen im Laufe des Alterns bekannt sein. Erst dann können auch Ergebnisse von Gliazellzählungen bei neurologischen und psychiatrischen Erkrankungen, wie sie z. B. FRIEDE 1955 durchgeführt hat, eine entsprechende Bewertung finden. In vorliegender Arbeit konnte nur erst gleichsam eine Stichprobe gemacht und relative Vergleichswerte geschaffen werden.

Methodik

Von großer Wichtigkeit ist die Einhaltung einer stets gleichen Schnittherstellung, da sonst unübersehbare Fehlermöglichkeiten entstehen (ROSE 1935). Hier wurde weitgehend nach der Methode gearbeitet, die v. ECONOMO 1925 bei der Untersuchung der Cytoarchitektonik angewandt hatte, einmal weil sie von v. ECONOMO nach langjährigen Studien als

optimal bezeichnet wurde, zum anderen, um Glia- und Nervenzellpopulation miteinander vergleichen zu können.

Als Untersuchungsobjekt wurde für die Hauptarbeit das Gehirn eines 62jährigen Mannes verwendet, der an Herz- und Kreislaufversagen verstorben war. Keine Gehirnkrankheiten, keine Geisteskrankheiten. Sektionsprotokoll: Alte Lungentuberkulose, frische Bronchopneumonie, Hypertrophie des rechten Ventrikels. Das Gehirn war normal konfiguriert, wies keine Bauanomalien, keine Anzeichen für Substanzschwund auf, Ventrikel normal weit. Keine Hirnarteriosklerose, keine Hirndruckzeichen. Das einige Stunden nach dem Tode entnommene Gehirn wurde sofort an der Konvexität ohne Läsion der Rinde von der Pia befreit und in 5%iges Formalin eingelegt. Am 3. Tag wurden an den vorher bestimmten Windungen in der linken Hemisphäre Scheiben von 5–7 mm Dicke senkrecht zu Oberfläche und -verlauf herausgeschnitten und über steigende Alkoholreihe und Ätheralkohol am 12. Tage in dünnes, am 15. in dickes Celloidin verbracht und am 18. Tag mit dem Schneiden begonnen. Die geeignetste Schnittdicke, die auch v. ECONOMO anwendet, ist 25μ . Erst diese Schnittdicke gibt einen guten räumlichen Eindruck von der Zellagerung. Bei Objektivvergrößerung 40 und Ocularvergrößerung 10 und unter Verwendung einer quadratischen Ocularblende von 3 mm Seitenlänge entsteht im Präparat ein quadratisches Feld von gerade 100μ Seitenlänge. Darin hat man eine gute Übersicht und kann andererseits einwandfrei die 3 Gliakernarten voneinander unterscheiden.

In den unteren Rindenschichten, etwa ab Lamina IIIc, liegen stets mehr oder weniger viele aufsteigende Radiärfaserbündel zwischen den Nervenzellen; dadurch entstehen nerven- und gliazellarme bis -freie Stellen im Nissl-Bild. FRIEDE hat in seiner Arbeit über den Gliaindex 1955 deshalb eine „sinnvolle“ Zählung angewendet, d. h. er hat diese Stellen einfach nicht mitgezählt. Dadurch kommt aber, was der Autor auch selbst betont, ein sehr subjektiver Faktor in die Zählung mit hinein, besonders in den mittleren Rindenschichten, wo die Faserbündel sich aufzweigen. Man kommt dann in die Gefahr, auch manchmal normalerweise vorhandene „Lücken“ zwischen den Nervenzellen bei der Zählung auszulassen. Ich hielt es deshalb für richtiger, die nervenzellarmen Stellen mitzuzählen.

Um die Unterschiede der Werte zwischen zellreichen und zellarmen Abschnitten möglichst auszugleichen, wurden in jeder Lamina 4 nebeneinander liegende Quadrate von je 100μ Seitenlänge ausgezählt, indem das Präparat auf dem Kreutztisch immer genau um Quadratbreite seitlich verschoben wurde. Dies gelang leicht, da die Ocularblende aus durchsichtigem Celluloid bestand und außer dem quadratischen Ausschnitt stets auch das ganze Gesichtsfeld sichtbar war. So konnte man auch darauf achten, daß man sich beim Zählen nicht aus der cytoarchitektonischen Lamina entfernte. Es wurden alle Gliazellkerne gezählt, die sich im Quadrat befanden, außerdem die von der oberen und rechten Begrenzungslinie geschnittenen Kerne.

Die Auszählung geschah in der Windungswand unterhalb der Windungskuppe, da dort die laminäre Schichtung am regelmäßigsten ist und die einzelnen Laminæ

etwa den durchschnittlichen Dickenwert zwischen Kuppe, seitlicher Furchenwand und Talgrund haben. Nach v. ECONOMO (1925) verhalten sich Kuppe und Wand fast gleich, im schmäleren Furchengrund finden sich etwa ein Drittel mehr Nervenzellen — und nach einigen Vergleichszellen von mir auch etwa um so viel mehr Gliazellen — pro Kubikmillimeter.

In der rechten und linken Wand jeder untersuchten Windung wurden nun je 4 solche nebeneinanderliegende Quadrate in jeder Lamina ausgezählt, dies wurde an mindestens 5 weiteren Schnitten aus der gleichen Area wiederholt, so daß also von jeder Lamina mindestens 40 Quadrate gezählt sind. So wurde in jeder der untersuchten 8 Areae verfahren. Von dem erhaltenen Zellwert wurde der Durchschnitt errechnet, getrennt für Astroglia, Oligodendroglia, Mikroglia und auch für alle drei Gliazelltypen zusammen. Da ein Quadrat von $100\ \mu$ Seitenlänge ausgezählt wurde und die Schnittdicke $25\ \mu$ beträgt, muß die erhaltene Durchschnittszahl nur noch mit 4 multipliziert zu werden, um die Zellzahl für einen gedachten Kubus von $100\ \mu = 0,1\text{ mm}$ Seitenlänge zu erhalten. Nach den so errechneten Zellzahlen sind die beigegefügtten Gliazellkurven aufgestellt; auf einen solchen Würfel sind auch die Nervenzellzahlen v. ECONOMOS bezogen. Eine Nachprüfung in verschiedenen Areae ergab im wesentlichen Übereinstimmung zwischen dessen Zahlen und Nervenzellwerten aus meinen Präparaten; nur schienen die Nervenzellwerte v. ECONOMOS in den Körnerschichten etwas zu hoch. Sonst aber zeigt die Übereinstimmung, daß das verwendete Gehirn vom Standpunkt der Nervenzellarchitektonik normal war und daß Vergleiche möglich sind.

Auch an Nissl-Präparaten anderer Gehirne wurden in Stichproben Zellzählungen aller drei Gliazellarten vorgenommen; die Ergebnisse liegen in der Schwankungsbreite der Werte des ersten Gehirns.

Morphologie der Gliazellen im Nissl-Bild

Wenn die Ergebnisse von Gliazellzählungen im Nissl-Präparat vergleichbar sein sollen, muß Klarheit über die Möglichkeiten und Grenzen ihrer Unterscheidbarkeit herrschen. Wenn die Ansichten über einzelne unwichtigere Kriterien, z.B. die Sichtbarkeit des Protoplasmasaumes und die Anwesenheit von Kernkörperchen, auch uneinheitlich sind, so sind doch die Unterscheidungsmerkmale so eindeutig, daß eine Trennung ohne Schwierigkeiten gelingt, wenn die reinen Formen jedes der 3 Zelltypen vorliegen. Sie werden unten beschrieben.

Neben den reinen Formen in ihrer normalen Spielbreite gibt es nun, wenn auch seltener, Zwischenformen (METZ u. SPATZ 1926, BAUER 1953, SCHROEDER 1931). Bei meinen Zählungen habe ich solche im Nissl-Bild auftretenden Übergangsformen fast stets einem der 3 Typen zuordnen können. Damit entsteht zwar ein subjektiver Faktor, doch dieser ist wegen der relativen Seltenheit der Übergangsformen von geringer Bedeutung. Alle nichttypischen Formen wegzulassen, empfahl sich nicht,

denn dann ist kein Vergleich mit Arbeiten möglich, in denen alle Gliakerne ohne Differenzierung gezählt wurden, und es läßt sich kein Gliaindex berechnen.

Die Endothelzellkerne der Capillaren lassen sich von den Gliazellkernen gut unterscheiden. Die Capillaren werden meist von einer Vielzahl verschiedenartiger anderer Zellkerne begleitet, die sie von allen Seiten umgeben. Darunter finden sich stets Oligodendrogliazellen, oft auch Astrocyten, dann aber auch die sogenannten Adventitialzellen (Pericyten JAKOB 1927). Diese lassen sich morphologisch von der Mikroglia, wie sie im nervösen Gewebe vorkommt, nicht immer leicht unterscheiden, und es erhebt sich die alte Frage nach der Herkunft der Mikroglia, die hier nicht weiter diskutiert werden soll. Auch der Abstand dieser Zellen vom Gefäß ist verschieden, und die Entscheidung im Einzelfall, ob noch Adventitialzelle oder schon Zelle des nervösen Gewebes, wird oft schwierig. Bei meinen Zählungen habe ich daher zur Mikroglia außer den im Hirngewebe vorhandenen Zellkernen auch diese pericapillären Zellen gerechnet und mitgezählt. An allen größerkalibrigen Gefäßen war eine klare Unterscheidung stets möglich, da hier die Gefäßwände einschließlich der adventitiellen Schicht einen geschlosseneren Komplex bilden.

Die Unterscheidung zwischen Kleinganglienzellen, also Körnerzellen, und Astrocyten, scheint bei oberflächlicher Betrachtung nicht einfach zu sein, besonders in den Körnerschichten und im Occipitalhirn mit seiner starken Verkörnelung aller cytoarchitektonischen Schichten, noch mehr, wenn teilweise progressive Formen von Astrocyten vorliegen, worauf auch SCHROEDER 1931 hinweist. Nach einiger Übung ist die Unterscheidung jedoch in jedem Falle möglich. Chromatindichte im Kern und Cytoplasmareichtum um den Kern herum sind bei Astrocyten und Körnerzellen im normalen Nissl-Präparat oft völlig gleich, aber im Gegensatz zur Astroglia liegen die Kerne der Nervenzellen meist exzentrisch im Cytoplasma, haben eine dickere Kernmembran, einen deutlich größeren Nucleolus und bei guter Zellfärbung einen dunkelvioletten Farbton; die Astrogliakerne sind stets hellblau gefärbt.

Morphologie der 3 Zelltypen

Astroglia

Der Zellkern hat nach meinen Messungen einen Durchmesser von 4 bis 7,5 μ , nach KOELLIKER 8–10 μ , erscheint als rundes bis ovales, hellblaues Bläschen mit dünner Kernmembran, großem deutlichem, stets vorhandenem Nucleolus und sehr wenig Chromatin, das fein und regelmäßig im Kern verteilt ist.

Das Vorhandensein von Nucleolen ist umstritten. Während die Astrocytenkerne nach PENFIELD keine Nucleoli enthalten, bestreiten CREUTZFELDT und METZ (1924) und GLEES (1955) die Anwesenheit nucleolenartiger intranuclearer Strukturen nicht. Nach SPIELMEYER finden sich in dem Kern der Astrocyten oft 1 oder 2 kernkörperartige Gebilde. WAHREN (1956) ist dem Vorkommen echter Nucleolen in den Kernen der Astroglia mit Hilfe der Feulgenreaktion nachgegangen. Er stellte fest, daß im Striatum eines Jugendlichen 58% der Makrogliakerne einen feulgennegativen, offenbar ribonucleotidhaltigen Nucleolus besaßen. Diese

Kernkörperchen haben nicht die homogene Dichte und die scharfe Abgrenzung, wie sie den Nervenzellnucleolen zukommt; die Zahl ist inkonstant, es kommen häufig mehrere Nucleolen vor. Dies entspricht auch elektronenmikroskopischen Befunden (HAGER, persönliche Mitteilung).

Um die Zellkerne herum sieht man meist rötlich-violette Protoplasmaanteile liegen. Regelmäßig ist dies bei den Astrocyten in Schicht I der Fall; die hier besonders großen Kerne und die sehr häufig vorkommenden Astrogliakerngruppen oder Glomeruli (ich zählte bis zu 5 dicht beieinander liegende Kerne) werden von einem breiten Protoplasmasaum umgeben, der sternförmig in die Peripherie ausläuft. Dies sollen Stadien nicht vollzogener amitotischer Zellteilung, also mehrkernige Gliazellen sein (GIERCKE 1885, NIESSING 1936). Gruppen von 2—3 Astrocyten finden sich auch oft in anderen Schichten (IIIa, IIIb, IV). In Schicht I und II oft, selten auch in anderen Schichten sah ich unvollständige Teilungsformen der Astroglia, wie es auch A. H. SCHROEDER (1931) und SCHAFER (1938) angegeben haben. Zwei Astrocytenkerne von halbmondförmiger Gestalt liegen dicht aneinander, die Nucleoli befinden sich an dem einander zugekehrten Teil der Kernmembran; ein gemeinsamer Protoplasmasaum umgibt die beiden Kerne. Echte Mitosen sind im normalen Gehirn an Gliazellen nur sehr selten zu beobachten. In den Pyramidenzellschichten IIIa, b, c und Va bilden etwa 30% der Astrocyten Satelliten- oder Trabantenzellen der Nervenzellen. Sie machen damit etwa 25% der Trabantenzellen der Nervenzellen aus, die anderen 75% werden von der Oligodendroglia gebildet. In einzelnen Fällen kann eine Nervenzelle aber auch nur von Astrocyten begleitet sein, in IIIc sah ich einmal 7 Astrocyten um eine Nervenzelle. Im Alter soll es, nach Ergebnissen von BAUN (1951) bei Pferden, zu einer Zunahme dieser gliösen Begleitzellen um die Nervenzellen kommen.

Häufiger als die Oligodendrogliazellen legen sich die Astrocyten dicht an Capillaren an, sie „gehen in Pericytenstellung“, wie es NIESSING (1951) bei Dursttieren in verstärktem Ausmaße beobachtet hat. In den Körnerschichten II und IV sind die Astrocytenkerne etwas kleiner als in den Pyramidenschichten. In der Molekularschicht I und in der Spindelzellschicht VI bieten sie ein sehr wechselgestaltiges Bild, sie erhalten unter Verlust der normalen oval-runden Gestalt eckige Umrisse und zeigen alle möglichen unregelmäßigen Formen. In Schicht VI sind sie oft deutlich größer — wie auch in Schicht I —, häufig aber auch kleiner, bleiben jedoch stets klar erkennbare hellblaue Bläschen. Diese unregelmäßig gestalteten Astrocytenkerne in Schicht I und VI gehören meist faserbildenden Zellen an. Das stimmt damit überein, daß bei Gliafaserfärbungen in den mittleren Rindenschichten kaum Gliafasern erscheinen; dort gibt es fast nur protoplasmatische Astrocyten. Zwischen beiden Formen gibt es morphologisch, wie auch SCHROEDER feststellte, alle Übergänge.

Oligodendroglia

HORTEGA (1921) u. PENFIELD (1924) unterscheiden 4 Typen von Oligodendrogliazellen. Diese Einteilung wird von LORETI (1938) und ZUNINO (1949) bestätigt:

1. Die Robertsonsche Form, klein, mit 4–5 kurzen Fortsätzen im Silberbild, als Begleitzellen von Nervenzellen und Gefäßen in der Hirnrinde, nach KRYSPIEXNER (1943) auch im Striatum, Claustrum und Nucleus amygdalae.

2. Die Cajalsche Form, mit größerem blassem Kern, längeren Fortsätzen, vergleichbar den Schwannschen Zellen, vorkommend in der weißen Substanz als Begleitzellen der markhaltigen Nervenfasern und der Gefäße (interfasciculäre und perivasculäre Oligodendroglia).

3. Die Paladinosche Form, in der weißen Substanz, soll die markhaltigen Nervenfasern im Silberbild handschuhfingerförmig einhüllen.

4. Die Schwannzellen-ähnliche Form mit reichlichem Protoplasma, mono- oder bipolar ausgerichtet, in Brücke, Medulla oblongata und spinalis, die Nervenfasern umgebend [soll nach GAGEL und BODECHTEL (1930) zum Teil Astroglia sein].

Für uns kommen nur die beiden ersten Typen in Betracht. Die Kerne der Robertsonschen Form haben einen Durchmesser von etwa $3\ \mu$, sind stets gleichmäßig rund, haben eine derbe Kernmembran und viel und dicht gelagertes Chromatin, so daß sie meist gleichmäßig dunkelblau wie Lymphocytenkerne erscheinen; ein Nucleolus ist bei dieser Form nicht erkennbar. Protoplasmasäume sind nur sehr selten sichtbar. Dieser Oligodendroglia-typ findet sich in der gesamten Hirnrinde mit geringen Größenschwankungen um etwa $0,5\ \mu$ Durchmesser.

In der äußeren Pyramidenschicht beginnen diese Zellen, die Nervenzellen als Trabanten zu umgeben; in IIIb liegen meist 2–3, in IIIc regelmäßig 4–5 Oligodendrogliazellen in verschiedenen Ebenen um die Nervenzellen herum. Sehr häufig liegen die Trabanten in Lacunen an der Basis der Nervenzelle, ohne daß aber deren Zellgrenzen unterbrochen wären. In Lamina IIIc gibt es auch entfernt von Nervenzellen Oligodendroglia-gruppen bis zu 7 Zellen um einzelne Astrocyten. Wenige Oligodendrogliazellen befinden sich meist auch entlang den Gefäßwänden. In der inneren Körnerschicht finden sich noch größere Oligodendroglia-glomeruli: In Lamina IVa der Calcarinarinde fand ich eine Gruppe von 9, in IVc sogar eine Zellpyramide von 12 Oligodendrogliazellen. In der inneren Pyramidenschicht V und der oberen Spindelzellschicht VIa gibt es meist 3–6 Oligodendroglia-trabanten um die Nervenzellen und oft 6–7 frei als Glomeruli. In der nervenzellarmen Lamina VIb wird jede Nervenzelle von 3–7 Oligodendrogliazellen begleitet. Hier sind etwa 60% der Oligodendrogliazellen Trabanten von Nervenzellen.

In der unteren Hälfte der inneren Pyramidenschicht Vb treten vereinzelt deutlich größere Oligodendrogliazellen (Durchmesser $4\ \mu$) auf; deren Anzahl vergrößert sich in VIa und VIb immer mehr, außerdem werden die Zellen heller, bläschenhaft, bleiben aber rund und immer noch viel chromatinreicher als die Astrocyten. Manchmal ist ein Nucleolus zu erkennen. Diese größeren helleren Kerne entsprechen der Cajalschen Form. In Lamina VIb sind Robertsonsche und Cajalsche Formen zu etwa gleichen Teilen vorhanden, an der Rinden-Mark-Grenze ändert sich

das Verhältnis zugunsten der großen hellen Cajalschen Form, hinter der, wie auch KRYSPIN-EXNER (1943) es betont, die Astrocytenkerne in der Größe häufig zurücktreten.

Mikroglia

Mikrogliakerne sind nach meinen Messungen bis zu $10\ \mu$, nach GLEES durchschnittlich $12,5\ \mu$ lang, bipolar-länglich ausgerichtet, spindel- oder stäbchenförmig, aber auch nieren- und bohnenförmig gebogen oder flaschen-, birnenförmig und dann kleiner bis zu $6\ \mu$. Sie haben eine derbe Kernmembran und meist einen kleinen, aber deutlich sichtbaren Nucleolus. Sie bestitzen ebenso gut verteiltes, aber wesentlich mehr Chromatin als die Astrocyten. Auch ist das Chromatin in größeren Brocken abgelagert als bei den Astrocyten. Hinsichtlich ihres Chromatinreichtums stehen die Mikrogliakerne zwischen den Astrocyten- und den Oligodendroglia-kerne. Zu etwa 30% besitzen sie kappenartig den beiden Kernpolen aufsitzendes Protoplasma, nach den beiden Richtungen ausstrahlend. Über dem gesamten Rindenquerschnitt sind sie gleichmäßig verteilt, an der Rindenmarkgrenze vermindert sich ihre Anzahl.

Zwischenformen

finden sich in allen Schichten. Die Astrocyten können kleiner und chromatinreicher sein, behalten zum Teil Protoplasma-reste um den Kern herum und ähneln dann, soweit sie rund bleiben, Oligodendrogliazellen. Von länglicher oder bohnenförmiger Gestalt, ähneln sie morphologisch mehr den Mikrogliazellen. Die normal kleine runde dunkle Oligodendrogliazelle kann unter Chromatinverlust oval erscheinen oder an einer Stelle eine Eindellung zeigen und damit eine Zwischenform zur Mikrogliazelle darstellen. Es gibt auch Kerne vom normalen kleinen Durchmesser der Oligodendrogliazellen, die jedoch wesentlich chromatinärmer sind; das sind sicher quer zur Längsachse des Kernes getroffene Mikrogliazellen.

Inwieweit sich wirklich eine Gliazellart in die andere umwandeln kann, ist noch sehr umstritten. Verschiedene Autoren glauben, daß eine echte Umwandlung möglich ist. So behauptet BAUER (1953), daß die Oligodendrogliazellen in Mikrogliazellen, und FERRARO u. DAVIDOFF (1928), daß sie sich in Körnchenzellen, also in eine unter pathologischen Bedingungen auftretende Form von Mikrogliazellen verwandeln könne. HORTEGA u. PENFIELD (1927) glauben aus der Verminderung der Zahl der Oligodendroglia bei Myelinzerfallsvorgängen den Schluß ziehen zu können, daß sich Oligodendrogliazellen in Astrocyten umwandeln. Die von manchen Seiten behauptete Umwandlung von Astrocyten in Körnchenzellen wird von STRUWE (1926) und SCHOLZ (1933) nicht anerkannt.

Elektronenmikroskopisch konnten FARQUHAR u. HARTMANN (1957) die 3 Gliazelltypen zwar voneinander unterscheiden, sie betonen jedoch ebenfalls, daß es relativ viel Formen gäbe, die man hinsichtlich ihres Typs nicht identifizieren könne. Aus der somit unbestrittenen Tatsache, daß rein morphologisch Zwischenformen

feststellbar sind, kann man jedenfalls nicht auf die Existenz echter Übergangsformen schließen; es ist durchaus möglich, daß die normalen morphologischen Variationsbreiten der einzelnen Gliazelltypen sich überschneiden.

Architektonische Ergebnisse

Die untersuchten Hirnrindenfelder sind:

Typ 1. Heterotypisch agranulärer Pyramidentyp 1: Area praecingularis LA aus dem Gyrus limbicus.

Typ 1(2). Agranulär-granulärer Pyramiden-Mitteltypus 1(2): Area frontalis intermedia FC aus der 1. Frontalwindung, Grenze zwischen hinterem und mittlerem Drittel derselben.

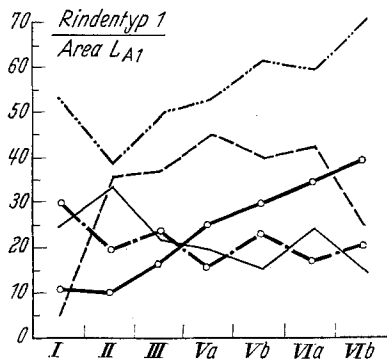


Abb. 1

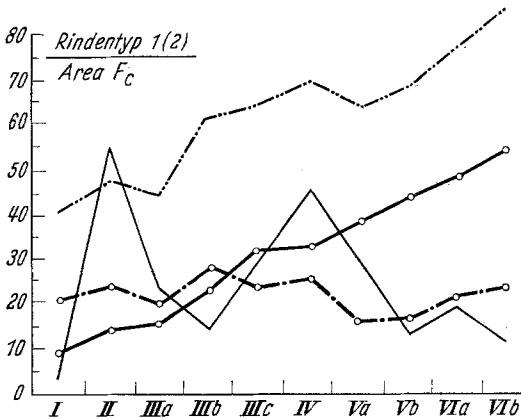


Abb. 2

Typ 2. Homotypisch granulärer Pyramidentyp 2: 1. Area frontalis granularis FDAus der Übergangswindung zwischen 1. und 2. Frontalwindung, 5 cm hinter dem Stirnpol. 2. Area frontalis granularis limbica FDL aus der dorsalen frontolimbischen Brückenwindung, mittlere Partie. 3. Area partialis superior PE aus dem Gyrus arcuatus medialis des Lobulus parietalis superior.

Typ 3. Homotypisch-granulärer mittelgroßzelliger Partialtyp 3: Area supramarginalis PF, aus Pars anterior des Gyrus supramarginalis im Lobulus par. inf.

Typ 4. Homotypisch-granulärer kleinzelliger polarer Typ 4: Area parastriata OB aus dem Gyrus descendens Ecker.

Typ 5. Heterotypisch-granulöser Rindentyp 5: Area striata OC aus der gleichen Windung.

Aus jedem der 5 Rindentypen von Economos wurde also eine Area untersucht; aus dem homotypisch-granulären Typ 2 drei Areae, um Unterschiede in der Gliaarchitektonik bei gleicher Cytoarchitektonik

festzustellen. Von jeder untersuchten Area wurde ein Kurvenbild (Abb. 1—8) zusammengestellt. Auf diesen sind einander gegenübergestellt:

Numerische Zelldichte und Volumenzelldichte der Nervenzellen (siehe S. 577), Astroglia- und Oligodendrogliazellzahlen getrennt und eine Summenkurve der Zellzahlen aller 3 Gliazelltypen. Die Mikroglia wurde nicht eigens dargestellt, da sie — wie mehrere andere Autoren festgestellt haben und wie ich bestätigen kann — sehr regelmäßig in der ganzen Rinde verteilt ist.

„Sie überzieht die Rinde wie ein gleichmäßiges Netz“ (SCHROEDER). Die geringen Schwankungen ihrer Zahlen in den einzelnen Laminae blieben bei der Zählung innerhalb der Fehlergrenze. Das zahlenmäßige Verhältnis der Mikroglia zur Astroglia (Agl) und Oligodendroglia (Ogl) zusammen genommen beträgt im Durchschnitt aller Schichten und Areae 1:5,3.

Maßgebend für Vergleichszählungen an gesunden und erkrankten Gehirnen muß die absolute Zellzahl pro $0,1 \text{ mm}^3$ sein, für Vergleiche zwischen Glia- und Cytoarchitektonik am normalen Gehirn aber ist der Kurvenverlauf, die Richtung und Größe des laminären Wechsels von Nervenzell- und Gliazellwerten in den einzelnen Areae wichtiger. Schon ein kurzes Betrachten der Kurvenbilder zeigt, daß

weder Agl noch Ogl jenen oft außerordentlich starken laminären Wechsel ihrer Zahlen aufweisen wie die numerische und Volumenzelldichte der Nervenzellen. Ihre Verteilung über die Rinde ist gleichmäßiger. Schon jetzt kann gesagt werden, daß die Behauptungen, daß die Gliaarchitektonik

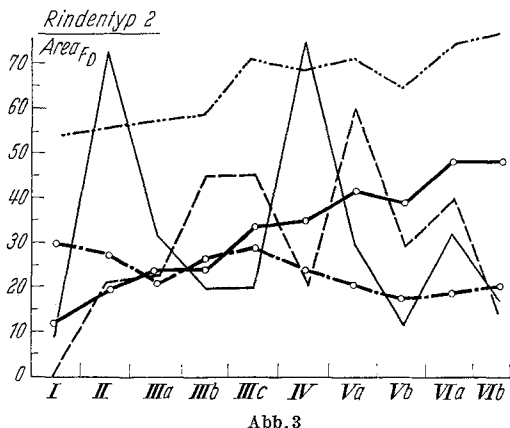


Abb. 3

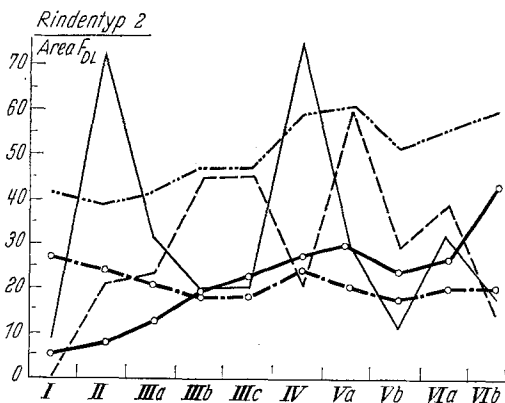


Abb. 4

Abb. 1—4. — Numerische Zelldichte der Nervenzellen; --- Volumenzelldichte der Nervenzellen; Numerische Zelldichte der drei Gliazellarten zusammen; ○—○ Astrogliazellen; □—□ Oligodendrogliazellen; Ordinate: Zellzahl pro $0,1 \text{ mm}^3$; Abszisse: Schichten der Hirnrinde

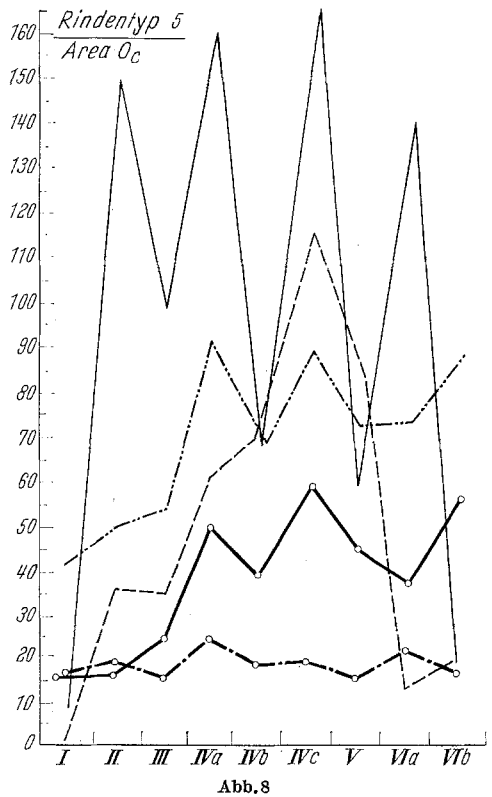
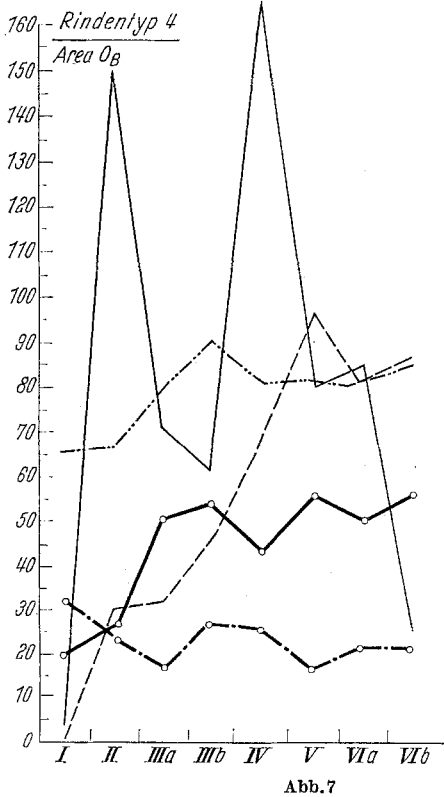
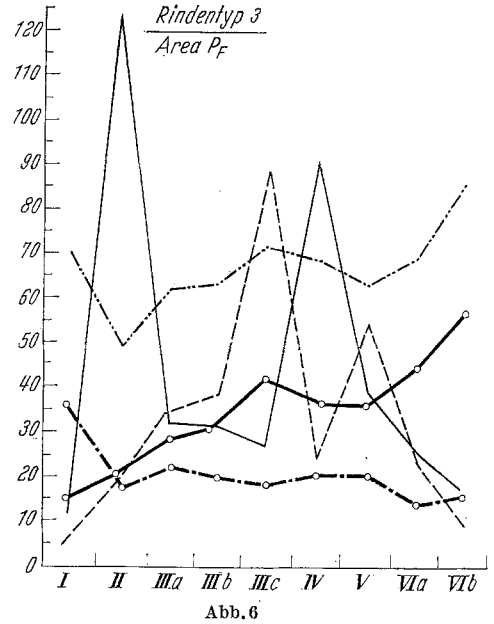
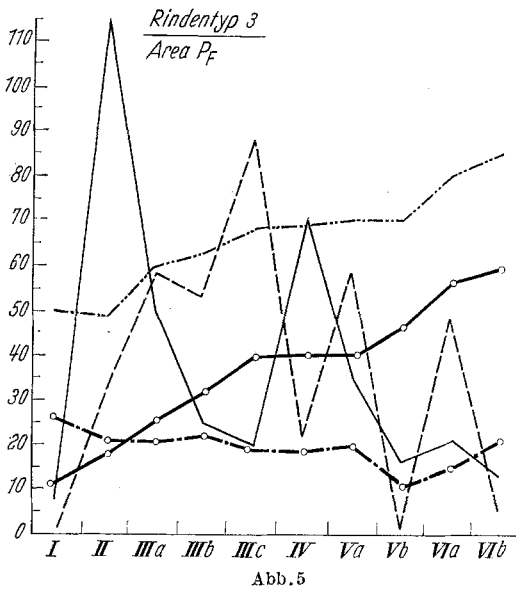


Abb.5—8. — Numerische Zelldichte der Nervenzellen; --- Volumenzelldichte der Nervenzellen;
- - - Numerische Zelldichte der drei Gliazellarten zusammen; ○ — Astrogliazellen; ○ — Oligo-
dendrogliazellen; Ordinate: Zellzahl pro 0,1 mm²; Abszisse: Schichten der Hirnrinde

sich prinzipiell gleichsinnig (SCHROEDER) oder kompensatorisch (LENHOSSEK) zur Cytoarchitektonik verhalte, nicht zu Recht besteht. Ebenso wenig richtig ist die Meinung KRYSPIN-EXNERS (1952), daß die Agl in den mittleren Rindenschichten keine zahlenmäßige Unterschiede in den einzelnen Areae aufweise.

Astroglia

Die Agl zeigt hinsichtlich der Verteilung über die einzelnen Laminae ein in allen Areae wiederkehrendes, verhältnismäßig gleichmäßiges Verteilungsbild, am besten verfolgbar in der homotypisch granulären Area FDL. In Lamina I findet sich eine hohe Zellzahl, bedingt durch die vielen faserbildenden Astrocyten, die am Aufbau der gliösen Membrana limitans piaee beteiligt sind. In II und III sinkt die Zahl und erreicht in IV oder auch in IIIc einen neuen Höhepunkt, meist in Übereinstimmung mit dem Ansteigen der Nervenzellzahlen in der inneren Körnerschicht bzw. in der inneren Pyramidenschicht. Es folgt in V ein Absinken der Astroglia gleichsinnig mit der Verminderung der Nervenzellzahl, in VIb steigen dann die Agl-Zahlen regelmäßig wieder gering an durch Hinzutreten der faserbildenden Astrocyten des Markes. Die Gliazzellzahlen in I und VIb können also nur bedingt mit cytoarchitektonischen Gegebenheiten in Beziehung gesetzt werden. Die Werte der Agl schwanken innerhalb der einzelnen Areae zwischen 15 und 30 Zellen pro $0,1 \text{ mm}^3$.

Areale Besonderheiten: Das Absinken der Kurve von II auf III ist besonders deutlich in den granulären Areae OB und OC, in denen die Pyramidenschichten ja gegenüber den Körnerschichten sowohl zahlenmäßig als auch wahrscheinlich in ihrer funktionellen Bedeutung (ECONOMO 1925) zurücktreten. In PE und PF bleiben die Zahlen in III gleich, bzw. steigen leicht an; dies ist vielleicht eine Eigenheit des Parietallappens, dem beide Areae angehören.

Das Niveau der Agl-Zellzahlen in der Pyramidenschicht III liegt am höchsten in den agranulären Areae LA, FC, FD: Über 25 Kerne pro $0,1 \text{ mm}^3$. Niedriger liegt es in den granulären Areae PE, FDL, PF und OB: Etwa 20 Kerne. Am niedrigsten ist der Agl-Wert von III in der granulösen Area striata OC: Etwa 15 Kerne. Als mögliche Erklärung kann auf das eben erwähnte Verhältnis von Körner- und Pyramidenzellschichten in granulären Areae (im Gegensatz zu agranulären Areae) hingewiesen werden.

Von der Erhöhung der Agl-Werte in Schicht IV machen nur die Areae OB, FD und PE Ausnahmen, hier liegt das Niveau von IIIc schon so hoch, daß die Werte in IV nicht mehr steigen, sondern gering sinken. Der körnerzellarme Zwischenstreifen IVb in der Areae striata (Vicq d'Azyrsche Streifen) zeigt auch ein Absinken der Agl-Zahl; in IVc steigt diese dann wieder leicht, erreicht aber nicht die Höhe von IVa.

Die Lamina Vb zeigt gemäß dem starken Absinken der Nervenzellzahl in den granulären Areae PE, FD und FDL auch ein Absinken der Agl-Zahlen, in der heterotypisch agranulären Area LA dagegen steigt die Zahl der Agl-Zellen. Von V bzw. Vb auf VIa steigen die Agl-Zahlen in allen Areae an gemäß der Erhöhung der Nervenzellzahlen in der Spindelzellschicht. Davon machen nur die schmalrindigen Areae OB und OC Ausnahmen.

Ein Vergleich von gezeichneten gliaarchitektonischen Übersichtsbildern SCHROEDERS und TRONCONIS mit entsprechenden Kurvenbildern der vorliegenden Arbeit ergibt häufig Übereinstimmungen. Als Beispiel ist die Verteilung der Astroglia in einer „heterotypisch granulösen Area“

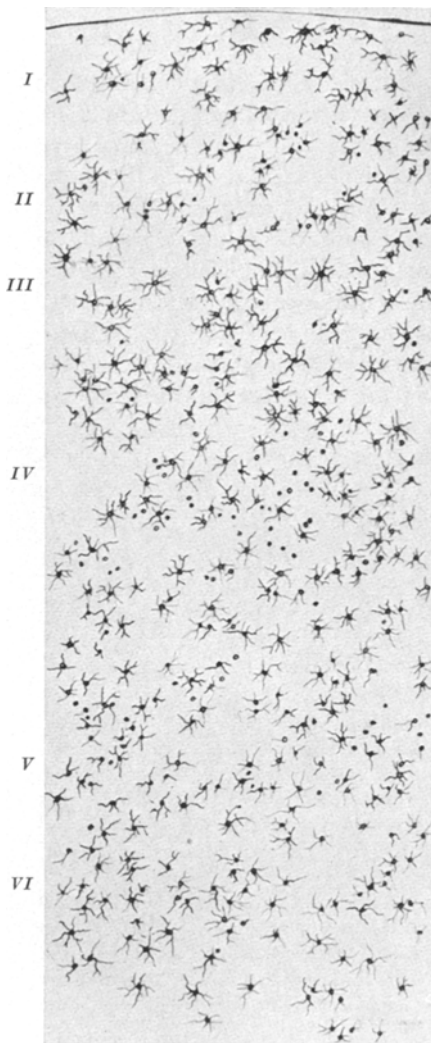


Abb. 9. Campo corticale di tipo eterotopico granuloso (nach TRONCONI)

vom Rindentyp 5 aus der Arbeit TRONCONIS hier wiedergegeben (Abb. 9). Die Gegenüberstellung mit der Area OC (Abb. 8) läßt Ähnlichkeiten zwischen beiden Darstellungen erkennen. Ich möchte aber durch die Beigabe dieses Bildes verständlich machen, daß feinere Unterschiede zwischen Laminae und Areae sowie schwache pathologische Vermehrungen oder Verminderungen der Gliazellzahl auf diesen Übersichtstafeln, deren Herstellung außerdem sehr mühevoll und zeitraubend ist, im entscheidenden Fall nicht feststellbar sein können; dazu müssen feste Zahlenangaben vorliegen.

Oligodendroglia

Die Ogl zeigt ein auch schon von anderen Autoren festgestelltes, in allen Areae wiederkehrendes Verhalten: Ihre Anzahl pro $0,1 \text{ mm}^3$ steigt von den äußeren zu den inneren Rindenschichten mehr oder weniger kontinuierlich an. Das meist recht steile Ansteigen der Kurve in VIb ist durch das Hinzutreten der Cajalschen Ogl-Zellen des Markes in dieser Schicht bedingt. Der Schwankungsbereich der Ogl-Zahl zwischen den einzelnen Laminae innerhalb der Rinde ist viel größer als der der Agl-Zahl; er liegt zwischen 10 und 55 Kernen pro $0,1 \text{ mm}^3$.

Areale Besonderheiten: Das Steigen der Kurve von I—VI ist am stetigsten in den agranulären Areae LA und FC zu sehen, die Kurve zieht auch über die nervenzellarme Vb hin weiter. In FD und FDL entsteht in Vb eine Einsenkung, in diesen

Areae hebt sich Va stark gegen die zellarme Vb ab; in LA ist eine so deutliche Scheidung zwischen den beiden Schichten nervenzellarchitektonisch nicht vorhanden, da Vb schon Spindenzellen aus der VIa enthält.

Bei PF setzt die vorübergehende Verminderung der Ogl-Zellzahlen schon in IV ein, und zwar gemeinsam mit einem deutlichen Sinken der Volumenzelldichte, wie es in keiner anderen Area sichtbar ist. Wenn der ansteigende Lauf der Kurve also auch in Schicht IV und V in manchen Areae vorübergehend unterbrochen wird, so steigt er doch in VIa stets an; ausgenommen wieder die Areae OB und OC mit ihrer Verkümmern der Spindenzellschicht. In diesen letztgenannten Areae zeigt die Ogl wieder ein sehr deutliches Mitgehen mit der Volumenzelldichte der Nervenzellen; eine Ausnahme davon bildet lediglich die VI. Schicht in OB. Es ist dies die nervenzelldichteste Schicht der Hirnrinde (240 Zellen pro $0,1 \text{ mm}^3$), die Körnerzellen liegen hier so eng nebeneinander, daß für Gliazellen scheinbar kaum mehr Platz bleibt, bei der Zählung jedenfalls im Vergleich zu anderen Körnerschichten verhältnismäßig weniger Zellen registriert werden.

Nach diesen Befunden ist es nicht mehr zweifelhaft, daß es eine laminäre und areale Gliederung der Neuroglia gibt. Daß nervenzellarchitektonische areale Grenzen auch Grenzen im gliaarchitektonischen Aufbau sein können, wird bei Betrachtung der Areae LA und FDL und der Areae OB und OC deutlich, die jeweils benachbart sind und auf dem gleichen Schnitt liegen; die Stellen, an denen gezählt wurde, befinden sich nur wenige Millimeter von der jeweiligen arealen Grenzlinie entfernt. Diese letztere ist zwischen LA und FDL ein Windungstal, zwischen OB und OC Anfang, bzw. Ende des Vicq d'Azyrschen Streifens. Die gliaarchitektonischen Kurvenbilder zeigen deutliche Unterschiede.

Betrachtet man andererseits die Kurvenbilder der 3 Rindenfelder FD, FDL und PE, die alle dem gleichen cytoarchitektonischen Rindentyp 2 (homotypisch-granulär) angehören, aber weit voneinander entfernt liegen, so kann man sich von der Ähnlichkeit auch der Gliazellkurven überzeugen; jedoch sind durchaus Verschiedenheiten vorhanden. Innerhalb eines nervenzellarchitektonischen Rindentyps sind also verschiedene gliaarchitektonische Bautypen möglich.

Wovon ist nun die Häufigkeit der Gliazelltypen in den einzelnen Liminae und Areae abhängig? Die Astroglia zeigt, wie oben beschrieben, mehrfach ein deutlich gleichsinniges Verhalten mit der numerischen Zelldichte der Nervenzellen, ohne daß eine Parallelität der Kurvenverläufe vorhanden wäre. In manchen Areae wieder lassen sich keine Beziehungen feststellen. Mit der Volumenzelldichte bestehen nur insoweit Übereinstimmungen, als diese mit der numerischen Zelldichte zusammenfällt. SCHROEDER (1931) und TRONCONI (1935) glauben, daß die Angioarchitektonik großen Einfluß auf die Gliaarchitektonik hat. Untersucht man die Agl, die ja hierfür vor allem in Betracht kommt, daraufhin, so lassen sich — unter Zugrundelegung der angioarchitektonischen Arbeiten PFEFFERS (1930) — keine eindeutigen Zusammenhänge feststellen. Dort, wo Dichte der Angioarchitektonik und Agl-Reichtum

zusammenfallen (sprunghafter Abfall in V nach hohen Werten in IV in mehreren Areae, z. B. FC, FDL, OB), ist die Angioarchitektonik auch ein Spiegelbild der Nervenzellarchitektonik. Letzteres ist aber, wie PFEIFER (1930) betont, durchaus nicht überall der Fall. Wo Nervenzell- und Gliaarchitektonik nicht übereinstimmen, kann aber auch die Angioarchitektonik die Diskrepanzen nicht klären. Als Beispiel möge die Area striata OC dienen; hier ist nicht ganz verständlich, warum der Agl-Wert in IV c niedriger liegt als in IV a, trotzdem die letztere Schicht wesentlich nervenzellreicher ist. Man könnte nun annehmen, daß der Agl-Reichtum in IV a in diesem Fall durch einen besonderen Gefäßreichtum bedingt ist. Dies ist jedoch nicht so; die gefäßreichste Schicht in der Area striata ist gerade IV c.

Stellt man ähnliche Betrachtungen für die Ogl an, so fällt, wie oben gezeigt, häufig ein gleichsinniges Verhalten mit der Volumenzell-dichte der Nervenzellen, also der Masse der gefärbten Nervenzellsubstanz, auf. Die hohen Werte der Ogl in Lamina V und VI sind durch die zunehmende Zahl der meist von diesem Zelltyp gebildeten glösen Trabanten der Nervenzellen sicher ganz wesentlich bedingt. Der in allen Areae erkennbare Anstieg der Ogl-Werte von den oberen zu den unteren Rindenschichten hin ist aber ein deutlicher Hinweis auch auf Beziehungen der Ogl zur Myeloarchitektonik; der Anteil markhaltiger Nervenfasern in der Hirnrinde nimmt bekanntlich von den unteren zu den oberen Rindenschichten hin ab. Besonders deutlich zeigt sich ein Zusammenhang mit dem Markfaserreichtum in den Areae FC und LA; sie sind unistriär, d. h. die Markfasern sind von den mittleren Rindenschichten an in so großer, nach unten stetig zunehmender Zahl vorhanden, daß eine Unterscheidung von oberem und unterem Baillargerschem Streifen nicht mehr möglich ist. Entsprechend verläuft auch die Ogl-Kurve stetig ansteigend ohne Unterbrechung wie in keiner anderen Area. Daß die Ogl in ihrem zahlenmäßigen Auftreten auch deutlich von der Myeloarchitektonik abweichen kann, zeigt die Lamina IV b in Area OC, die den dichtfaserigen Vicq d'Azyrschen Streifen enthält. Die Ogl zeigt hier ein deutliches Absinken ihrer Zellzahl. Ein gleiches Verhalten findet sich in den Schichten IV c und V in OC: IV c ist markfaserarm, V sehr markfaserreich; die Ogl verhält sich entgegengesetzt dazu, jedoch wieder gleichsinnig zur Volumenzell-dichte der Nervenzellen.

Diese Betrachtungen zeigen, daß lineare, überall in gleicher Deutlichkeit erkennbare Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Gewebs-elementen nicht existieren. Die Verhältnisse sind komplizierter. Hat schon ECONOMO betont, daß die Myeloarchitektonik nicht stets das Negativbild der Cytoarchitektonik darstellt und hat PFEIFER festgestellt, daß zwischen Cyto- und Angioarchitektonik keine allgemeine Kongruenz besteht, so waren einfache Abhängigkeitsverhältnisse in den

Beziehungen zur Gliaarchitektonik auch nicht zu erwarten. Die Verhältnisse müssen in jeder Area gesondert betrachtet werden. Es kann aber soviel gesagt werden, daß zahlenmäßige Zusammenhänge bestehen, 1. zwischen Astrogliazellzahl und numerischer Zelldichte der Nervenzellen, 2. zwischen Oligodendrogliazellzahl und Volumenzelldichte der Nervenzellen einerseits und Markfaserreichtum der Rinde andererseits. Zahlenmäßige Beziehungen zwischen Astrogliazellen und Gefäßreichtum sind nur dort feststellbar, wo die Angioarchitektonik auch ein Spiegelbild der Nervenzellarchitektonik ist. Rückschlüsse auf die normale Funktion der Gliazellen allein auf Grund dieser zahlenmäßigen Beziehungen zu anderen Gewebeelementen sind nur sehr bedingt zulässig. Erst nach Bestätigung an einem größeren Material und in Zusammenhang mit Ergebnissen aus anderen Forschungsrichtungen erhalten sie eine Bedeutung. So könnten die Beziehungen zwischen Oligodendrogliazellzahl und Volumenzelldichte der Nervenzellen die Annahme einer trophischen Funktion der Oligodendroglia bestätigen, und die Zusammenhänge zwischen Oligodendrogliazellzahl und Markfaserreichtum der Hirnrinde auf die mögliche Bedeutung dieser Gliazellart für Bildung und Struktur-erhaltung der Markscheiden hinweisen. Der Vergleich zwischen Astrogliazellzahlen und Gefäßreichtum könnte zeigen, daß die Astroglia nur im Dienste der Nervenzellen die bekannten engen Beziehungen zum Gefäßsystem unterhält.

Daß die Dichte der Gliazellen in einer Lamina völlig unabhängig von deren Breite ist, beweisen 2 Gegenüberstellungen: In Area PF enthält die 0,30 mm breite Lamina II 50 Gliakerne, die mit 0,29 mm fast ebenso breite Lamina IV jedoch 68 Kerne. Andererseits befinden sich in Area OP 80,5 Gliakerne in der 0,18 mm breiten IVc und 81, also praktisch ebenso viele Kerne, in der mit 0,26 mm viel breiteren Va. Dies spricht neben dem Fehlen faserbildender Astrocyten in den mittleren Rindenschichten gegen eine allgemeine Stützfunktion der Neuroglia in der Hirnrinde unter normalen Bedingungen, bei deren Annahme man ein gleichmäßig die Hirnrinde durchziehendes, in breiten Laminae ebenso dichtes Glianetzwerk wie in schmalen voraussetzen müßte. Daß die astrocytäre Faserglia an der äußeren und inneren Oberfläche des Gehirns außer anderen Aufgaben auch mechanische Funktionen hat, und daß die Gliafasern unter pathologischen Bedingungen im Zuge der Raumauffüllung mechanische Aufgaben erfüllen (BRAND 1941), sei unbestritten, aber innerhalb der normalen Hirnrinde scheinen der dichte Gefäßbaum mit seinen Verästelungen und das Geflecht der neuronalen und gliösen protoplasmatischen Fortsätze selbst die Gewebekontinuität zu gewährleisten und so viel Stabilität zu gewähren, daß es eines zusätzlichen ubiquitären Stützgewebes, wie es z.B. in Leber, Milz und Niere das retikuläre Bindegewebe mit seinen Fasern darstellt, nicht bedarf. Innerhalb des nervösen Parenchyms in der Hirnrinde scheinen normalerweise kaum solche Zugwirkungen aufzutreten, welche einen Reiz für die Faserbindung darstellen könnten. So kommt es auch bei Volumenverminderung des Gehirns bei zu allgemeiner Atrophie führenden Hirnprozessen in erster Linie an den äußeren und inneren Oberflächen des Gehirns zu einer Vermehrung von Gliafasern gemäß den dort sich auswirkenden Zugbeanspruchungen (Chaslinsche Randsklerose, Ventrikelwandgliosen, perivaskuläre Gliosen).

Abschließend möchte ich bemerken, daß ich für wesentlichlicher als die unternommenen Deutungsversuche die durch vorliegende Arbeit möglich gewordene Feststellung halte, daß es eine zahlenmäßig fixierbare, gliaaarchitektonische Felderung der Hirnrinde mit oft sehr starken laminären und arealen Differenzen gibt. Durch die gewonnenen Zahlen stehen außerdem Vergleichswerte für Gliazellzählungen an den Hirnrinden anderer normaler und pathologischer Gehirne zur Verfügung.

Zusammenfassung

Verschiedenheiten in der Verteilung der 3 Gliazelltypen Astroglia, Oligodendroglia und Mikroglia in den einzelnen Schichten verschiedener nervenzellarchitektonischer Felder der Großhirnrinde wurden erstmals von SCHROEDER festgestellt, und zwar durch zeichnerische Wiedergabe der Zellen nach Nissl-Präparaten und nach Anwendung der Metallimprägnationsverfahren. Die sichere Erfassung architektonischer Verschiedenheiten der Neuroglia ist jedoch nur durch Zellzählungen möglich; die Zählung muß wegen der Unzuverlässigkeit der Metallimprägnationsverfahren an Nissl-Präparaten erfolgen.

In der vorliegenden Arbeit wurden unter Zugrundelegung der 5 Rindentypen von v. ECONOMO an 8 verschiedenen nervenzellarchitektonischen Feldern (Areae) der normalen menschlichen Großhirnrinde Zählungen jedes der 3 Gliazelltypen getrennt in jeder Rindenschicht (Laminae) durchgeführt. Die Methodik der Schnittherstellung und der Zählung und die morphologische Unterscheidung der 3 Gliazelltypen im Nissl-Bild werden beschrieben. Nach den erhaltenen Zahlenwerten wurden Kurven aufgestellt. Die Ergebnisse sind folgende:

1. Deutliche Unterschiede in der Verteilung der Gliazellen bestehen sowohl zwischen den einzelnen Hirnrindenschichten als auch zwischen den nervenzellarchitektonischen Feldern.

2. Astroglia und Oligodendroglia zeigen eine deutlich voneinander verschiedene, in der gesamten Hirnrinde mit bestimmten Abweichungen wiederkehrende Verteilung über die einzelnen Rindenschichten.

3. Die Mikroglia dagegen überzieht die Hirnrinde, wie auch andere Untersucher festgestellt haben, wie ein gleichmäßiges Netz.

4. Eine prinzipielle Parallelität oder ein kompensatorisches Verhältnis zwischen Nerven- und Gliazellzahlen ist nicht feststellbar.

5. Zahlenmäßige Zusammenhänge bestehen a) zwischen Astrogliazellen und numerischer Zelldichte der Nervenzellen und b) zwischen Oligodendrogliazellen und Volumenzelldichte der Nervenzellen einerseits und Markfaserreichtum der Rinde andererseits.

6. Zahlenmäßige Zusammenhänge zwischen Astrogliazellen und dem Gefäßreichtum bestehen nur dort, wo die Angioarchitektonik auch ein Spiegelbild der Nervenzellarchitektonik ist.

7. Die Zelldichte der Gliazellen innerhalb einer Rindenschicht ist unabhängig von deren Breite.

Rückschlüsse auf die normale Funktion der Gliazellen sind allein auf Grund der festgestellten zahlenmäßigen Beziehungen zwischen ihnen und den übrigen Gewebeelementen nicht möglich. Nach Bestätigung an einem größeren Material und in Zusammenhang mit Ergebnissen aus anderen Forschungsrichtungen könnten diese Beziehungen jedoch wesentliche Bedeutung haben.

Für die Erfassung des Verhaltens des gliösen Interstitiums unter pathologischen Bedingungen ist der Nachweis des Vorhandenseins einer laminär und areal differenten Gliazellarchitektonik in der Hirnrinde von Wichtigkeit. In den gewonnenen Zahlen stehen hiermit Vergleichswerte zur Verfügung.

Literatur

- ACHUCARRO, P.: Contribucion al estudio gliotectonico de la corteza cerebral. Trab. Labor. Invest. biol. Univ. Madrid **12** (1914). — ALZHEIMER, A.: Beiträge zur Kenntnis der pathologischen Neuroglia. Histol. Arb. Großhirnrinde **3** (1910). — BAIKATI, A.: Appunti sulla gliaarchitettonica del nevrasso dell'uomo. Monit. zool. ital. **57**, 105 (1950). — Problemi vecchi e nuovi della glia. Sist. nerv. **2**, 217 (1950). — BARGMANN, H.: Histologie und mikroskopische Anatomie des Menschen. Stuttgart 1948. — BAUER, K. F.: Organisation des Nervengewebes und Neurencytiumentheorie. München, Berlin: 1953. — BAUN, F.: Histologisch-statistische Untersuchungen am Großhirn des Pferdes mit besonderer Berücksichtigung der Mengen- und Artverhältnisse der Gliazellen zu den Ganglienzellen. Diss. 1951, Hannover, Tierärztliche Hochschule. — BIANCHI, L.: Qualche considerazione sui metodi per il conteggio della cellule nervose. Anat. Anz. **92**, 233 (1942). — BLANES, T.: Sobre algunos puntos dudosos de la estructura del bulb. olfactorio. Rev. Trimest. Micrograf. 1898. — BOLSI, D.: Riv. Pat. nerv. ment. **48**, 11 (1936) (zit. nach BAUER). — BRAND, E.: Zur Morphogenese pathologischer Gliafaserstrukturen mit besonderer Berücksichtigung gewebsmechanischer Momente. Z. ges. Neurol. Psychiat. **173**, 178 (1941). — CARILLO, R.: Morphologische Erscheinungen der Astroglia und Mikroglia mit der Silberfärbemethode von Hortega, abgeleitet von Golgi. Arch. argent. Neur. **19**, 99 (1938). — CAJAL, S. RAMON Y: Sobre un nuevo proceder de impregnacione de la neuroglia y sus resultados en los dentros nerviosos del hombre y animales. Trab. Labor. Invest. biol. Univ. Madrid **11** (1913). — CREUTZFELDT, H. G., u. A. METZ: Die morphologische und funktionelle Differenzierung der Neuroglia. Zbl. ges. Neurol. Psychiat. **38**, 416 (1924). — ECONOMO, C. v., u. G. N. KOSKINAS: Die Cytoarchitektonik der Hirnrinde des erwachsenen Menschen. Berlin, Wien: 1925. — FARQUHAR, M. G.: Neuroglial structure and relationships as seen with the electron microscope. Anat. Rec. **121**, 291 (1955). — FARQUHAR, M. G., and J. F. HARTMANN: Neuroglial structure and relationships as revealed by electron microscopy. J. Neuropath. Neurol. **16**, 18 (1957). — FANANAS, G.: Contribucion al estudio de la neuroglia del cerebello. Trab. Labor. Invest. biol. Univ. Madrid **14** (1916). — FERNANDEZ-MORAN, H.: Elektronenmikroskopische Untersuchungen der Glia. Exp. Cell Res. **1**, 309 (1950). — FERRARO, A., and L. M. DAVIDOFF: The reaction of oligodendroglia to injury of the brain. Naunyn-Schmiedeberg's Arch. exp. Path. Pharmak. **6**, 1030 (1928). — FRIEDE, W.: Gliaindex und Hirnstoffwechsel. Wien Z. Nervenheilk. **7**, 143 (1955). — GAGEL, O., u. G. BODECHTEL: Die Topik und feinere Histologie der Ganglienzellgruppen in der Medulla oblongata und im Ponsgebiet mit einem kurzen

Hinweis auf die Gliaverhältnisse und die Histopathologie. *Z. Anat.* **91**, 130 (1930). — GIERCKE, R.: Die Stützsubstanz des Zentralnervensystems. *Arch. mikrosk. Anat.* **25/26** (1885). — GLEES, P.: *Neuroglia. Morphology and function.* Oxford 1955. — GOLGI, W.: *Contribuzioni alle fina anatomia degli organi centrali del sist. nerv.* Milano 1886. — GRINO, A.: Morphological details of the oligodendroglia. *J. Neuro-path. exp. Neurol.* **7**, 113 (1948). — HAGER, H.: Elektronenmikroskopische Untersuchungen über die Struktur der sogenannten Grundsubstanz in der Groß- und Kleinhirnrinde des Säugetiers. *Arch. Psychiat. Nervenkr.* **198**, 574 (1959). — HAUG, H.: Der Grauzellkoeffizient des Stirnhirnes der Mammalia in einer phylogenetischen Betrachtung. Diss. Erlangen 1951. — HORTEGA, P. DEL RIO: La glia de escasas radiaciones (oligodendroglia). *Bol. Soc. esp. Hist. Natur.* **21** (1921). — HORTEGA, P. DEL RIO, and W. PENFIELD: Cerebral cicatrix. Reaction of neuroglia and microglia to brain wounds. *Johns Hopk. Hosp. Bull.* **41**, 278 (1927). — JAKOB, A.: Normale und pathologische Anatomie und Histologie des Großhirns. Leipzig, Wien: 1927. — Das Kleinhirn. (Abschnitt über die Gliaaarchitektonik nach einer Arbeit A. H. SCHROEDERS). In: Möllendorff, Hdb. d. mikroskop. Anat. d. Menschen, IV, 1. Berlin: Springer 1928. — KERSEMAN, J.: Genesis of microglia in the human brain. *Arch. Neurol. Psychiat. (Chicago)* **41**, 24 (1939). — KOELLIKER, A.: Handbuch der Gewebelehre des Menschen. Band II. Leipzig, 6. Aufl. 1896. — KORBSCHE, W.: Beitr. zur Auffassung W. HOLZERS vom Bau der Neuroglia. Sitz.-Ber. d. Ges. dtsch. Neur. u. Psych. Zbl. Neur. **120**, 228 (1952). — KRYSPIN-EXNER, W.: Beiträge zur Morphologie der Glia im Nissl-Bild. *Z. Anat. Entwickl. Gesch.* **112**, 389 (1943). — Über die Architektonik der Glia im ZNS des Menschen und der Säugetiere. *Proc. of the 1st Internat. Congr. Neuropath. Rom 1952*, Bd. III, S. 504. — KUHLENKAMPFF, H.: Quantitativ-morphologische Untersuchungen an Nz und Glia. Sitzungsber. d. Jahresvers. d. Deutsch. Ges. f. Neurol., Hamburg 1952. *Zbl. ges. Neurol. Psychiat.* **122**, 18 (1953). — LINDENBERG, R., u. W. NOELL: Über die Abhängigkeit der postmortalen Gestalt der Astrocyten von prämortalem, bioelektrisch kontrolliertem Sauerstoffmangel. *Dtsch. Z. Nervenheilk.* **168**, 499 (1952). — LENHOSSEK, M. v.: Der feinere Bau des Nervensystems im Licht neuester Forschungen. Berlin: 1895. — LORETI, F.: Configurazione dell'olig. interfascicolare e sua omologia colla cellula dello Schwann. *Riv. Pat. nerv. ment.* **52**, 135 (1938). — LUMSDEN, C. E., and C. M. POMERAT: Normal oligodendrocytes in tissue culture. *Exp. Cell Res.* **2**, 103 (1951). — METZ, L., u. H. SPATZ: Die Hortegaschen Zellen und über ihre funktionelle Bedeutung. *Z. ges. Neurol. Psychiat.* **89**, 138 (1924). — Die drei Gliazellarten und der Eisenstoffwechsel. *Z. ges. Neurol. Psychiat.* **100**, 428 (1926). — NIESSING, K.: Über systemartige Zusammenhänge der Neuroglia und über ihre funktionelle Bedeutung. *Gegenbaurs Jb.* **78**, 537 (1936). — Zellreaktion der Makroglia bei Narkose. *Z. mikr.-anat. Forsch.* **56**, 173 (1951). — PALEARI, G.: Beitrag zur Kenntnis der menschlichen Großhirnrinde. Verteilung der Neuroglia in der Gegend des Ammonshorns. *Riv. Pat. nerv. ment.* **48**, 543 (1936). — PENFIELD, W.: Oligodendroglia and its relation to classical neuroglia. *Brain* **47**, 430 (1924). — PETERSEN, H.: Histologie und mikroskopische Anatomie, 6. Abschnitt. München 1935. — PFEIFFER, R. A.: Grundlegende Untersuchungen für die Angioarchitektonik des menschlichen Gehirns. Berlin 1930. — Die angioarchitektonische areale Gliederung der Großhirnrinde. Leipzig 1940. — RETZIUS, K.: Die Neuroglia des Gehirns des Menschen und der Säugetiere. *Biol. Unters. N. J.* **6** (1894). — ROSE, M.: Cytoarchitektonik und Myeloarchitektonik der Großhirnrinde. Hb. d. Neurologie, herausg. v. Bumke und Foerster, 1. Bd., S. 588, Berlin: Springer 1935. — SCHAFFER, K., u. D. MISKOLCZY: Histopathologie des Neurons. Budapest und Leipzig: 1938. — SCHOLZ, W.: Einiges über progressive und regressive Metamorphose der astrocytären Glia. *Z. ges. Neurol. Psychiat.* **147**, 489 (1933). — SCHROEDER, A. H.: Die Gliaaarchitektonik des menschlichen Kleinhirns. *J. Psychol.*

Neurol. (Lpz.) (1928). — Glio-arquitectura del campo 10 de la corteza cerebral humana. Actas de la I. Conf. Latino-Americana de Neurologia, Psiquiatria y Medicina Legal. Buenos Aires: 1929. — Über das Prinzip der Endigung der Opticusfaser und über die funktionelle Gliederung in der Calcarinarinde. Z. ges. Neurol. Psychiat. **121**, 508 (1929). — La gliaarquitectura de la corteza cerebral y cerebelosa del hombre. Actas Congr. Intern. Biol. Montevideo, VII, 1931. — Gliaarchitektonik der menschlichen Großhirnrinde. Hb. d. Neurologie, herausg. v. Bumke und Foerster, 1. Bd., S. 791, Berlin: Springer 1935. — SCHUCHARDT, E.: Zur funktionellen Organisation des Nervengewebes (Eine Arbeitshypothese). Z. mikr.-anat. Forsch. **64**, 285 (1958). — SPIELMEYER, W.: Histopathologie des Nervensystems. Berlin 1922. — STIGLIANI, F.: Beobachtungen über Cytologie und Architektonik der Glia im Diencephalon. Arch. De Vecchi Anat. pat. **2**, 473 (1940). — STÖHR, PH.: Lehrbuch der Histologie und der mikroskopischen Anatomie des Menschen. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer 1951. — STRUWE, F.: Über die Fettspeicherung der drei Gliaarten. Z. ges. Neurol. Psychiat. **100**, 450 (1926). — TRONCONI, V.: Studio sullo nervoglia umana. Riv. Pat. nerv. ment. **45**, 223 (1935). — WAHREN, W.: Kernuntersuchungen an der Makroglia. J. Hirnforsch. **2**, 440 (1956). — WEIGERT, K.: Bemerkungen über das Neurogliagerüst des menschlichen ZNS. Anat. Anz. 1890. — ZUNINO, B.: Bemerkungen über Oligodendroglia. Arch. esp. Morph. **7**, 85 (1949).

Dr. W. SCHLOTE,

Hirnpathologisches Institut der Deutschen Forschungsanstalt für Psychiatrie,
Max-Planck-Institut, München 23, Kraepelinstr. 2