

Aus dem C. und O. Vogt - Institut für Hirnforschung
der Universität Düsseldorf

Direktor: Professor Dr. A. Hopf

ZUR NEUROANATOMIE UND NEUROPATHOLOGIE DES CORPUS STRIATUM, GLOBUS PALLIDUS UND NUCLEUS SUBTHALAMICUS BEIM MENSCHEN

**Eine morphometrisch-statistische Struktur-
analyse an 13 Normal- und 15 Choreagehirnen**

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin.
Der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Herwig Lange
und
Gerhard Thörner

1974

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung und Problemstellung	7
2.	Material, Methoden und Statistik	11
2.1.	Material	11
2.2.	Methoden	23
2.2.1.	Hirngewicht	23
2.2.2.	Schrumpfungsfaktor	23
2.2.3.	Schnittserienvolumina	26
2.2.4.	Numerische Zelldichte	35
2.2.5.	Gliaindex	36
2.2.6.	Absolute Zellzahl	37
2.2.7.	Volumetrische Zelldichte	38
2.2.8.	Gliavolumenindex	40
2.2.9.	Absolutes Zellvolumen	40
2.2.10.	Nervenzellmessung	40
2.2.11.	Mittleres Einzelvolumen der Zellen	41
2.3.	Statistik	41
3.	Ergebnisse	42
3.1.	Hirngewicht, lineare Dimensionen und Schrumpfungsfaktor der Hemisphären	42
3.1.1.	Hirngewicht	42
3.1.2.	Lineare Dimensionen der Hemisphären	44
3.1.3.	Schrumpfungsfaktor	46
3.2.	Hemisphäre	56
3.3.	Cortex	56
3.4.	Striatum	62
3.4.1.	Frischvolumen	62
3.4.2.	Korrigierte numerische Zelldichten	65
3.4.2.1.	Kleine Nervenzellen	65
3.4.2.2.	Grosse Nervenzellen	69
3.4.2.3.	Verhältnis der numerischen Dichten der kleinen und grossen Nervenzellen	70
3.4.2.4.	Gliazellen	74
3.4.3.	Gliaindex	80
3.4.4.	Absolute Zellzahlen	83
3.4.4.1.	Kleine Nervenzellen	83
3.4.4.2.	Grosse Nervenzellen	86
3.4.4.3.	Gliazellen	86
3.4.5.	Volumetrische Nervenzelldichte	91
3.4.6.	Korrigiertes absolutes Nervenzellenvolumen	96
3.4.7.	Kerndurchmesser der kleinen Nervenzellen	100
3.5.	Pallidum laterale und mediale	104
3.5.1.	Frischvolumen	104
3.5.2.	Korrigierte numerische Nervenzelldichte	109
3.5.3.	Korrigierte numerische Gliazelldichte	117
3.5.4.	Gliaindex	122
3.5.5.	Absolute Zellzahlen	127
3.5.5.1.	Absolute Zahl der Nervenzellen	127
3.5.5.2.	Absolute Zahl der Gliazellen	135
3.5.5.3.	Vergleich der absoluten Zahlen von Nerven- und Gliazellen	142
3.5.6.	Volumetrische Nervenzelldichte	142

3.5.7.	Volumetrische Gliazelldichte	151
3.5.8.	Gliavolumenindex	156
3.5.9.	Korrigiertes absolutes Nervenzellenvolumen	163
3.5.10.	Korrigiertes absolutes Gliazellevolumen	170
3.5.11.	Berechnetes mittleres Nervenzellvolumen	176
3.5.12.	Berechnetes mittleres Gliazellevolumen	181
3.6.	Nucleus subthalamicus	185
3.6.1.	Frischvolumen	185
3.6.2.	Korrigierte numerische Nervenzelldichte	192
3.6.3.	Absolute Nervenzellzahl	198
3.6.4.	Volumetrische Nervenzelldichte	201
3.6.5.	Korrigiertes absolutes Nervenzellenvolumen	206
3.6.6.	Lineare Dimensionen und Rotationsellipsoid- volumina der Nervenzellen und Nervenzellkerne	210
3.6.7.	Berechnetes mittleres Nervenzellvolumen	217
3.7.	Korrelationen	224
3.7.1.	Korrelationen zwischen Hemisphären und Cortex- frischvolumen	224
3.7.2.	Korrelationen zwischen den Nuclei	224
4.	Diskussion	255
4.1.	Normalgehirne	255
4.2.	Choreagruppen	275
4.2.1.	Subchorea	277
4.2.2.1.	Chorea minor et gravidarum	277
4.2.2.2.	Chorea minor mit Striatumnekrosen	278
4.2.3.	Atypische Chorea	279
4.2.4.	Chorea Huntington	281
5.	Zusammenfassung	291
6.	Zitierte Literatur	295
7.	Anhang	304

Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole

B	= Breite
Co	= Cortex
D	= Schnittabstand
F	= Schnittfläche
gr.Nz	= grosse Nz des Striatum
Gz, bzw. GZ	= Gliazelle
HG, bzw. Hgw	= Hirngewicht
Hi	= Hirn
Hs	= Hemisphäre
kl.Nz	= kleine Nz im Striatum
L	= Länge
l oder lat	= lateral
m oder med	= medial
num	= numerisch
NZ	= Nervenzelle
Ns	= Nucleus subthalamicus
Pa	= Pallidum
SF	= Schrumpfungsfaktor
SF _g	= Über das Hirngewicht ermittelter SF
SF _l	= Über die linearen Dimensionen des Hirns ermittelter SF
Ssv	= Schnittserienvolumen
St	= Striatum
vol	= volumetrisch

Statistische Symbole

n	= Umfang der Stichprobe
x	= Mittelwert der Stichprobe
s _x	= Standardabweichung der Stichprobe
s _{x̄}	= Standardfehler des Mittelwertes
VB	= Vertrauensbereich
t	= Prüfgrösse des t-Testes
p	= Wahrscheinlichkeit
α	= Irrtumswahrscheinlichkeit
r	= Korrelationskoeffizient der Stichprobe

a = Achsenabschnitt
 b = Regressionskoeffizient der Gleichung
 $y = a + bx$ oder $x = a' + b'y$
 $s_{y \cdot x}$ = Standardfehler der Schätzung von y aus x

Signifikanzsymbole

*	$0,05 \geq P > 0,01$	5% Niveau
**	$0,01 \geq P > 0,001$	1% Niveau
***	$P \leq 0,001$	0,1% Niveau

Symbole zu den Zeichnungen

 = Normalfälle (Gruppe 1)
 = Subchorea (Gruppe 2)
 = Chorea minor (Gruppe 3a)
 = Chorea gravidarum (Gruppe 3b)
 = Chorea minor mit Striatumnekrosen (Bu 11)
 = Wert vor Abzug der Nekrosen
 = atypische Chorea
 = Chorea Huntington
 = männlich (in den Zeichnungen wird meist nur ein Geschlecht gekennzeichnet)
 = weiblich
 = zusammengefasste Werte für Männer und Frauen

1. EINLEITUNG und PROBLEMSTELLUNG

Zu den Zielen der quantitativen Neuroanatomie gehört es, zur Klärung von physiologischen, pathologischen, sowie onto- und phylogenetischen und vergleichend-anatomischen Fragestellungen beizutragen.

In neuerer Zeit wird daher in der Architektonik des Zentralnervensystems aus Gründen der Exaktheit und besseren Vergleichbarkeit angestrebt, qualitativ-subjektive Befunde durch objektive Methoden zu ergänzen.

Hierzu muss das Gehirn in seine Teile und Einzelkomponenten aufgegliedert werden: Die Grisea (Areae und Nuclei) mit Perikarya, Neuropil, Glia und Blutgefäßen werden hierdurch sowohl absolut als auch relativ biometrisch erfasst, ihre physiologische Variabilität bestimmt, sowie ihre Abhängigkeit von Geschlecht, Alter und anderen Faktoren geprüft. Die so gewonnenen Daten sind eine entscheidende Hilfe bei der Erforschung und Beschreibung normaler Struktur- und Funktionszusammenhänge des ZNS und gestatten eine differenzierte Abgrenzung zum Beispiel gegenüber pathologischen Prozessen.

Trotz dieser eindeutigen Vorteile biometrischer Methoden gegenüber der rein qualitativen Beurteilung fanden diese Verfahren bisher in neuroanatomischen und neuropathologischen Untersuchungen des menschlichen Gehirns wenig Anwendung. Dies hat folgende Gründe: Das menschliche Gehirn ist einer metrischen Erforschung nur schwer zugänglich, da für quantitativ-architektonische Untersuchungen große histologische Schnittserien angefertigt werden müssen. Außerdem ist es zur Beurteilung, ob ein Wert inner- oder außerhalb des physiologischen Streubereiches liegt, erforderlich, entsprechende Schnittserien einer statistisch repräsentativen Stichprobe zu erstellen. Der hierfür notwendige grosse technische und personelle Aufwand läßt solche Vorhaben meist scheitern. Dies ist leicht verständlich, wenn man bedenkt, dass eine Schnittserie einer menschlichen Hemisphäre bis zur vollständigen Fertigstellung etwa neun Monate Zeit erfordert. Bei einem Kollektiv von 34 Hemisphären - wie bei unseren Untersuchungen - entspricht dies einer Arbeits-

leistung von 25 MTA - Jahren.

Sind diese Schnittserien erstellt, treten weitere Schwierigkeiten auf: Die am Zentralnervensystem anwendbaren Zähl- und Meßverfahren sind bisher nicht automatisierbar. Sämtliche Daten müssen einzeln visuell und manuell vom Untersucher erfasst und abgespeichert werden. Hinzu kommt, dass die Begrenzung des relativen Fehlers häufig einen großen Stichprobenumfang erfordert. Der hierbei auftretende große Datenanfall macht die Anwendung von statistischen Prüfverfahren und den Einsatz von elektronischer Datenverarbeitung notwendig. Weiter muß das Gehirn - wie eingangs erwähnt - in seine Einzelkomponenten aufgegliedert werden, es müssen also möglichst viele dieser Parameter biometrisch erfasst und korreliert werden. Untersuchungen nur eines Parameters besitzen eine geringe Aussagekraft.

Tabelle 1 zeigt eine Übersicht von Publikationen, die für unsere Arbeit relevante Ergebnisse enthalten.

Detaillierte quantitative Untersuchungen am menschlichen Gehirn wurden bisher fast ausschließlich an kleinen Fallzahlen durchgeführt, die keine repräsentative Gruppe darstellen. Nie wurden gleichzeitig sowohl die Volumenanteile der Grisea als auch die numerischen und volumetrischen Verhältnisse der sie aufbauenden Nerven- und Gliazellen mittels quantitativ-makroskopischer und -mikroskopischer Methoden erfasst und miteinander korreliert.

In der vorliegenden Untersuchung menschlicher Gehirne sollen folgende Probleme einer biostatistischen Analyse unterzogen werden:

Wie groß sind die Volumina der Großhirnhemisphäre, der Großhirnrinde, des Striatums, des Pallidums und des Nucleus subthalamicus?

Wie verhalten sich die numerischen Zelldichten und absoluten Zellzahlen von Nervenzellen und Gliazellen in den extrapyramidal-motorischen Kernen Striatum, Pallidum und Nucleus subthalamicus?

Wie groß sind die Volumenanteile der Perikarya von Nervenzellen und Gliazellen an den Volumina dieser Kerngebiete?

Wie verhält sich das Neuropil?

Haben Alter und Geschlecht einen signifikanten Einfluß auf die Größe dieser Hirnteile und Nuclei?

Tabelle 1: Zusammenstellung bisheriger morphometrischer Untersuchungen menschlicher Gehirne

A u t o r	Anzahl d. Gehirne (Hemi- sphären)	Präparation (Härtung, Einbettung Färbung)	Frisch- volu- menkor- rektur	V o l u m e n						Volumetrische Zelldichten			Numerische Zelldichten			Nervenzell- messungen
				HG.	Hi.	Hs.	Co.	St.	Pa.	Ns.	St.	Pa.	Ns.	St.	Pa.	
BUCHSTAB (1884)	?	?	nein			x										
JABGER (1910, 1914)	19	Formalin	nein			x	x									
DUNLAP (1927)	59	Formalin, ? Weigert, Nissl	nein	x										(NZ)	(NZ)	
ROSE (1933)	1(1)	Formalin, Pa- raffin, ?				x	x	x	x							
LÖRCH LORENZ (1949)	5	Formalin Agar-Gelatine	nein	x			x									
HARMAN CARPENTER (1950)	1(1)	?, Celloidin Weigert, Pal	nein						x	x						
V. BONIN SHARIFF (1951)	1(1)	?	nein	x					x	x	x					
STELMANIAK (1952)	9(18)	Formalin	nein			x			x	x						
NAMBA (1957)	1(1)	Formalin, Pa- raffin, W., N.	nein											kl.NZ		
JUNGCLAASS, ORTHNER, SEIDLER (1960, 1968, 1974)	58(116)	Formalin Gelatine	ja			x			x	x				gr.NZ		
TREFF (1966)	3	Formalin, Paraf- fin, Weig., Nissl	nein									NZ GZ	NZ	kl.NZ Gr.NZ GZ	NZ	Striatum Pallidum
FÜSSENICH (1967)	5(6)	Formalin, Paraf- fin, Weig., Nissl	nein								x		NZ GZ			NZ Nucleus GZ subthalam.
MIELKE (1968)	2	Formalin, Paraf- fin, Weig., Nissl	ja	x	x					x			NZ GZ		NZ GZ	Pallidum
SABUNCU (1969)	19(19)	Formalin, Pa- raffin, Nissl	nein										NZ GZ			
SCHLENSKA (1969)	7(14)	Formalin Formalose	nein	x		x	x	x	x	x						
TABUCHI (1969)	5	Formalin, Cell., Weil, Nissl, HE	nein	x										kl.NZ gr.NZ		Striatum
SCHRÖDER (1970, 1971)	28(34)	Formalin, Paraffin, Weigert, Nissl	nein	x								NZ GZ		kl.NZ gr.NZ GZ		Striatum
WESSELY (1970), PAUL (1971), KRETSCHMANN (1971)	31(62)	Gefroren Gelatine	ja	x	x	x	x	x	x							
ZILLES (1972)	78(156)	Gefroren Gelatine	ja	x	x	x	x									
selbst (1974)	28(34)	Formalin, Paraf- fin, Weigert, Nissl	ja	x		x	x	x	x	x			NZ GZ	NZ	kl.NZ gr.NZ GZ	NZ Nucl. subth.

Lassen sich gesetzmäßige Volumenbeziehungen zwischen diesen einzelnen Strukturen finden?

Wie groß ist ihr Streubereich?

Welche geweblichen Veränderungen lassen sich im Bereich dieser Strukturen bei Chorea Huntington quantitativ feststellen?

Wie groß sind die Veränderungen im Striatum, Pallidum und Nucleus subthalamicus?

Wie verhalten sich die Volumina von Großhirnhemisphäre und Großhirnrinde?

Welche Gewebsanteile greift diese heredo-degenerative Erkrankung bevorzugt an?

Handelt es sich um einen primär nur auf das Striatum beschränkten Krankheitsprozess mit konsekutiver, transneuronaler Degeneration der nachgeschalteten Kerngebiete Pallidum und Nucleus subthalamicus oder wird im Pallidum und Nucleus subthalamicus ein gleichartiger Krankheitsmechanismus wirksam?

Lassen sich lichtmikroskopisch quantitative Veränderungen im Bereich dieser Strukturen auch bei anderen Choreaformen feststellen?

Unterscheiden sich diese Veränderungen von denen der Chorea Huntington?

Hierzu untersuchten wir insgesamt 34 Hemisphären von 28 menschlichen Gehirnen, wobei wir 15 Hemisphären extrapyramidal-motorisch unauffälliger Fälle 19 Hemisphären von Fällen mit verschiedenen choreatischen Bewegungsstörungen gegenüber stellten.

Folgende Parameter wurden bestimmt:

Alter, Geschlecht, Hirngewicht, Länge, Breite und Höhe der Hemisphären vor und nach der Präparation, Schrumpfung, Schnittserien-Volumina der Hemisphäre, der Hirnrinde, des Striatum, des Pallidum und des Nucleus subthalamicus; beim Pallidum laterale et mediale wurden ausserdem die numerische Dichte der Nerven- und Gliazellen und die volumetrische Dichte dieser Zellen untersucht; beim Nucleus subthalamicus wurden numerische und volumetrische Nervenzelldichte ermittelt, sowie die Nervenzellen und ihre Kerne nach Länge und Breite vermessen (vergl. Tabelle 2).

In diese Arbeit wurden die von K. F. S c h r ö d e r gewonnenen Ergebnisse seiner quantitativ-morphologischen Untersuchungen am Striatum dieser Gehirne einbezogen.

Tabelle 2:

Ssv = Schnittserienvolumen, num. = numerisch, vol. = volumetrisch, NZD = Nervenzelldichte, GZD = Gliazelldichte, NZ = Nervenzelle, NZK = Nervenzellkern.

o = Arbeit von K. F. S c h r ö d e r , x = eigene Arbeit.

Methode	Ssv	num. NZD	vol. NZD	num. GZD	vol. GZD	NZ- messung	NZK
Region							
Hemi- sphäre	x						
Cortex	x						
Stri- atum	x	o	o	o			o
Pallid. lat+med.	x	x	x	x	x		
Nc.Subt. lat+med.	x	x	x			x	x

Aus den oben angeführten Parametern liessen sich folgende absoluten und relativen Größen berechnen: Frischvolumina, Gliaindex und Gliavolumenindex, absolute Nerven- und Gliazellzahl, absolutes Frischvolumen der Nerven- und Gliazellen, Durchschnittsvolumen der Nerven- und Gliazellen, Rotationsellipsoidvolumen von Nervenzelle und -kern.

2. MATERIAL, METHODEN und STATISTIK

2.1 Material

Unsere Untersuchungen wurden an Serienschnitten aus der Sammlung

des C. und O. Vogt - Instituts für Hirnforschung der Universität Düsseldorf durchgeführt. Folgende Gehirne wurden ausgewertet:

Gruppe 1: Normalgehirne

Unter dem Begriff "Normalgehirne" verstehen wir Gehirne, die von Menschen stammen, die laut Anamnese, klinischem Befund und Sektionsprotokoll keinen Hinweis auf eine Gehirnerkrankung, besonders im Bereich des extrapyramidal-motorischen Systems gaben. Nicht ausgeschlossen wurden hierbei altersbedingte regressive Gehirnveränderungen.

Untersuchte Fälle:

1. A 58: Rechte und linke Hemisphäre
männlich
Todesalter: 24 Jahre
Hauptleiden: Lungenruptur nach Messerstich
Todesursache: Verblutungsschock
Hirngewicht: 1 383 g in Formol.
2. A 85: Linke Hemisphäre
weiblich
Todesalter: 30 Jahre
Hauptleiden: Polytraumatisierung bei Verkehrsunfall
Todesursache: Herz-Kreislauf-Versagen bei Fettembolie und hypovolämischem Schock
Hirngewicht: 1 150 g in Formol.
3. A 77: Linke Hemisphäre
männlich
Todesalter: 37 Jahre
Hauptleiden: -
Todesursache: Dekapitation (1943)
Hirngewicht: 1 468 g in Formol.
4. A 61: Linke Hemisphäre
männlich
Todesalter: 38 Jahre
Hauptleiden: Chronische Glomerulonephritis
Todesursache: Herz-Kreislauf-Versagen bei Coma uraemicum
Hirngewicht: 1 550 g (Frischhirngewicht).

5. A 97: Linke Hemisphäre
 männlich
 Todesalter: 39 Jahre
 Hauptleiden: Pleuritis exsudativa unklarer Genese
 Todesursache: Rechtsherzversagen bei Lungenarterien-
 embolie
 Hirngewicht: 1 322 g in Formol.
6. A 74: Linke Hemisphäre
 männlich
 Todesalter: 40 Jahre
 Geltungsbedürftiger Psychopath; Tochter mit Status
 dysmyelinatus des Pallidums mit Krämpfen (Fall C 57)
 seit der Geburt
 Hauptleiden: -
 Todesursache: Dekapitation (1935)
 Hirngewicht: 1 298 g in Formol.
7. A 102: Linke Hemisphäre
 weiblich
 Todesalter: 41 Jahre
 Hauptleiden: Uterusatonie post partum
 Todesursache: Herz-Kreislauf-Versagen
 Hirngewicht: 1 165 g in Formol.
8. A 56: Rechte Hemisphäre
 männlich
 Todesalter: 61 Jahre
 erbliche Sehschwäche und Schwerhörigkeit
 Hauptleiden: Larynxcarcinom
 Todesursache: Herz-Kreislauf-Versagen bei intraopera-
 tiver Aspiration
 Hirngewicht: 1 330 g (Frischhirngewicht).
9. A 88: Linke Hemisphäre
 männlich
 Todesalter: 62 Jahre
 Hauptleiden: metastasierendes Magen-Carcinom
 Todesursache: Herz-Kreislauf-Versagen bei Peritonitis
 Hirngewicht: 1 380 g in Formol.
10. A 64: Rechte und linke Hemisphäre
 männlich
 Todesalter: 84 Jahre
 Hauptleiden: Pneumonie

Todesursache: Herz-Kreislaufversagen
 Hirngewicht: 1 400 g (Frischhirngewicht).

11. A 76: Linke Hemisphäre

weiblich

Todesalter: 99 Jahre

Hauptleiden: Pneumonie

Todesursache: Herz-Kreislauf-Versagen

Hirngewicht: 1 080 g in Formol.

12. A 100: Rechte Hemisphäre (nicht vollständig untersucht)
 männlich

Todesalter: 19 Jahre

Hauptleiden: Luxationsfraktur des 7. Halswirbels
 mit Querschnittslähmung. Aspirationspneumonie.

Todesursache: Respiratorische Insuffizienz

Hirngewicht: 1 604 g in Formol.

13. A 65: Linke Hemisphäre (nicht vollständig untersucht)
 weiblich

Todesalter: 40 Jahre

Hauptleiden: Veronalintoxikation

Todesursache: Herz-Kreislauf-Versagen

Hirngewicht: 1 310 g (frisch).

Gruppe 2: Subchorea

Unter dem Begriff der Subchorea verstehen wir - nach C. und O. Vogt (1937) und B. Patzig (1939) - eine dominant vererbte, das ganze Leben sich zeigende rudimentäre Chorea ohne Progredienz.

Untersuchte Fälle (Halbschwestern):

1. C 15: Rechte und linke Hemisphäre

weiblich

Todesalter: 78 Jahre

F.A.: Über fünf Generationen fand B. Patzig in der Sippe von C 15 und C 12 häufig auftretende, leichte choreatische, nicht progrediente Bewegungsstörungen: Greif- und Zupf-Bewegungen, Störungen der Mimik, sowie allgemeine motorische Unruhe.

E.A.: Mit zehn Jahren einmal "Krämpfe" gehabt;
während des ganzen Lebens leichte Bewegungsunruhe,
besonders in den Händen und in der Mimik.
Hauptleiden: Perniciöse Anämie, funikuläre Myelose
Todesursache: Herz-Kreislauf-Versagen bei Kachexie
Hirngewicht: 1 220 g (frisch).

2. C 12: rechte und linke Hemisphäre
weiblich

Todesalter: 89 Jahre

E.A.: Allgemeine Bewegungsunruhe, gehäuft finden sich
Greif- und Zupfbewegungen, in den letzten zehn Jahren
kommen zunehmend athetotische Bewegungen der distalen
Extremitäten-Abschnitte hinzu. Ab dem 85. Lebensjahr
- nach mehreren Schlaganfällen und vorübergehenden
Lähmungen - dauernd bettlägerig.

Hauptleiden: Allgemeine Arteriosklerose

Todesursache: Herz-Kreislauf-Versagen bei Kachexie
Hirngewicht: 1 015 g (Frischhirngewicht).

Gruppe 3a: Chorea minor

Die engen Beziehungen der Chorea minor zu Infektionskrankheiten
stehen ausser Zweifel. Anamnestisch lässt sich in der Mehrzahl
der Fälle eine rheumatische Erkrankung - Gelenkrheuma, Endocardi-
tis feststellen, aber auch andere akute Infektionskrankheiten
kommen ätiologisch in Betracht, der Rest der Fälle bleibt ätiolo-
gisch unklar.

Symptomatologisch stehen, nach anfangs meist subakutem Verlauf
mit nur diskreten Zeichen wie Mattigkeit, Glieder- und Kopfschmerzen,
sowie Unaufmerksamkeit und reizbar-weinerliches Verhalten der Kran-
ken, Hyperkinesen sowie Hypotonie der Muskeln im Vordergrund.

Die Hyperkinesen werden zuerst deutlich bei feineren Bewegungsab-
läufen (z. B. Verschlechterung der Handschrift) und steigern sich
nach Tagen häufig zu heftigen Bewegungstürmen von besonders schnel-
lem Ablauf und unter Bevorzugung der distalen Extremitätenabschnitte.
Psychische Reize sowie Reize von aussen wirken verstärkend; Schlaf
verringert die Hyperkinesen, sie können sogar ganz sistieren.

Untersuchte Fälle:

1. Ep 14: Linke Hemisphäre

männlich

Todesalter: 11 Jahre

E.A.: Erkrankung im Alter von acht Jahren im Anschluß an eine Angina an Chorea minor und starb an rekurrender Endokarditis.

Hauptleiden: Rezidivierende Mitral- und Aortenklappen-Endokarditis

Todesursache: Herz-Kreislauf-Versagen

Hirngewicht: 1 417 g in Formol.

2. Bu 61: Linke Hemisphäre

weiblich

Todesalter: 34 Jahre

E.A.: Mit 15 Jahren kardial bedingte Ohnmachten, dann 19-jährig Chorea minor. Dauer ein Jahr. Als 29-Jährige erkrankte sie an akut fieberhaftem Gelenkrheumatismus. Sie litt ab dem 30. Lebensjahr an zunehmender Herzschwäche, ein Jahr später an Enzephalitis, im Anschluß daran postenzephalitischer Parkinsonismus. Mit 34 Jahren treten akustische sowie optische Halluzinationen und Verfolgungswahn hinzu.

Hauptleiden: 1. Pellagra, 2. Postenzephalitischer Parkinsonismus

Todesursache: Herz-Kreislauf-Versagen

Hirngewicht: 1 176 g (Frischhirngewicht).

3. Bu 82: Linke Hemisphäre

weiblich

Todesalter: 54 Jahre

E.A.: Mit sieben Jahren schwere Chorea minor, mit zwanzig Jahren starke Endokarditis; seitdem Vitium cordis mit öfter auftretenden Dekompensationserscheinungen. Mit 52 Jahren totaler Herzblock, zwei Jahre später wiederum Adams-Stokes-Anfälle.

Hauptleiden: Rezidivierende Endokarditis der Mitral- und Aortenklappe mit kombiniertem Vitium.

Todesursache: Herz-Kreislauf-Versagen

Hirngewicht: 1 410 g in Formol.

4. Bu 94: Linke Hemisphäre

weiblich

Todesalter: 57 Jahre

E.A.: Zwischen dem 6. und 15. Lebensjahr dreimal Chorea minor. Sehr schlechte Schülerin. Vitium cordis. Mit 50 Jahren linksseitige Lähmung.

Hauptleiden: Mitralklappenendokarditis mit kombiniertem Mitralklappenversagen

Todesursache: Herz-Kreislauf-Versagen

Hirngewicht: 1 020 g (Frischhirngewicht).

5. Bu 11:

(Sonderfall) rechte und linke Hemisphäre

weiblich

Todesalter: 64 Jahre

E.A.: Mit 16 Jahren Chorea minor. Seit dem 33. Lebensjahr bis zum Tode hospitalisiert. Zwangsbewegungen, Bewegungsstereotypien.

Hauptleiden: 1. Schwere allgemeine Arteriosklerose und Koronararteriosklerose, alter Herzinfarkt, beidseitige Striatumnekrose. 2. Dementia praecox.

Todesursache: Herz-Kreislauf-Versagen

Hirngewicht: 1 242 g (Frischhirngewicht).

Gruppe 3b: Chorea gravidarum

Das erstmalige oder das wiederholte Auftreten choreatischer Hyperkinesen innerhalb einer Schwangerschaft ist für die Diagnose Chorea gravidarum (R. H a s s l e r ; 1953) zwingend zu fordern. Hauptsymptome sind - wie bei der Chorea minor - Hyperkinesen, Asynergie der Willkürmotorik bei gleichzeitiger Hypotonie der Muskeln (W. S c h e i d ; 1966). Die Chorea gravidarum ist daher auch nur als Sonderform der Chorea minor aufzufassen.

Untersuchter Fall:

Gr 3: Linke Hemisphäre

weiblich

Todesalter: 29 Jahre

E.A.: Niemals ernstlich krank gewesen; ab Mens III litt sie an heftigem Erbrechen, so dass sie künstlich ernährt werden mußte. Sie magerte innerhalb von sechs Wochen stark ab. Nach dem Aufhören des Erbrechens begann ein Verwirrheitszustand mit choreatischen, schliesslich athetotischen Bewegungsstö-

rungen.

Hauptleiden: 1. Vitium cordis, 2. Enzephalitis hämorrhagica, 3. Chorea gravidarum

Todesursache: Herz-Kreislauf-Versagen bei Vitium cordis
Hirngewicht: 1 113 g in Formol.

Gruppe 4: Atypische Chorea

Unter atypischer Chorea reiht B. P a t z i g (1939) die Fälle progredienter choreatischer Erkrankungen ein, die trotz eingehender genealogischer Untersuchungen keine weiteren Sippenmitglieder mit chronisch-progressiver Chorea aufweisen.

C. und O. V o g t (1937) bezeichneten den unten aufgeführten Fall Bu 42 als Praechorea und verstanden darunter eine dem Ausbruch einer chronischen progressiven Chorea vrangehende geringfügigere Chorea.

H o p f (1952) beschreibt Bu 42 als eine Sonderform der Chorea, bei der auf dem Boden einer Subchorea im Anschluss an einen Infekt eine progrediente choreatische Bewegungsstörung entsteht.

Untersuchter Fall:

Bu 42: Linke Hemisphäre

weiblich

Todesalter: 19 Jahre

F.A.: Grossvater und Grossmutter sowie Vater und Mutter sind Cousin und Cousine.

Mutter macht einen schwachsinnigen Eindruck.

E.A.: Seit frühester Kindheit choreatische Zuckungen in den Händen, mit zwölf Jahren zweimal etwa einstündige (?) Krampfanfälle mit Bewußtlosigkeit. Sie sei als Kind immer körperlich schwächlich gewesen, habe die Hilfsschule besucht, lernte weder lesen, schreiben und rechnen. Wochen vor dem Tod hochgradige motorische Unruhe und choreatische Zuckungen am ganzen Körper, in den letzten Tagen Fieber und fünf generalisierte Krampfanfälle.

Hauptleiden: atypische Chorea

Todesursache: Herz-Kreislauf-Versagen bei Pneumonie
Hirngewicht: 1 100 g (Frischhirngewicht).

Gruppe 5: Chorea Huntington

Bei dem 1871 von H u n t i n g t o n erstmals beschriebenen Krankheitsbild handelt es sich um ein dominantes Erbleiden von absoluter Penetranz bei stark wechselnder Merkmalsausprägung (Expressivität).

Das Manifestationsalter liegt etwa zwischen dem 25. und 55. Lebensjahr, wobei das mittlere Erkrankungsalter bei 37 bis 38 Jahren liegt (P a n s e ; 1942).

Neben dem choreatischen Syndrom ist das Hauptmerkmal des Leidens seine Progredienz, die zu schweren psychischen Veränderungen und zu einem zunehmenden Persönlichkeitsabbau, ja bis zum Bild der Demenz führt.

Das Krankheitsbild der Chorea Huntington zeichnet sich durch grosse Variabilität aus. Nicht selten tritt die psychische Symptomatologie in den Vordergrund, und es kommt zu paralyseähnlichen Bildern sowie paranoid-halluzinatorischen oder katatonieähnlichen Psychosen.

Bei einer Krankheitsdauer von im Mittel 13 Jahren (S c h e i d ; 1966) tritt der Tod meist durch Kachexie und intercurrente Infekte ein.

Untersuchte Fälle:

1. C 35: Linke Hemisphäre

weiblich

Todesalter: 40 Jahre

F.A.: Schulbesuch nur bis zur 3. Klasse; mit 13 Jahren doppelseitige Pneumonie, mit 18 und 30 Jahren Pleuritis.

Ab 32. Lebensjahr choreiforme Bewegungen, Grimassieren und Halluzinationen. Mit 40 Jahren erhebliche Demenz, Euphorie. Dauer der Chorea Huntington 8 Jahre.

Hauptleiden: Chorea Huntington

Todesursache: Pneumonie, Herz-Kreislauf-Versagen

Hirngewicht: 948 g (Frischhirngewicht).

2. C 47: Rechte und linke Hemisphäre

weiblich

Todesalter: 41 Jahre

F.A.: Mutter "unruhig", leicht erregbar, Schwester der Mut-

ter hat Krämpfe.

E.A.: Mit sechs Jahren Laufen und Sprechen gelernt; Schulbesuch bis zur dritten Klasse der Höheren Schule; erstes Händezittern und schleppender Gang schon vor der Hochzeit mit 27 Jahren; bald darauf "sehr zappelig", undeutliche Sprache, gleichgültig. Mit 34 Jahren Anstaltsaufnahme; Diagnose: Chorea Huntington. Die Bewegungsstörungen nahmen zu, daneben bestand über Jahre das Bild einer katatonie-ähnlichen Psychose, die mit Grimassieren, Sinnestäuschungen und Wahnvorstellungen einherging. Mit 41 Jahren zeigte sie ein dement-euphorisches Verhalten.

Dauer der Chorea Huntington: 15 Jahre

Hauptleiden: Chorea Huntington

Todesursache: Herz-Kreislauf-Versagen bei Pneumonie

Hirngewicht: 956 g (Frischhirngewicht).

3. C 50: linke Hemisphäre

weiblich

Todesalter: 48 Jahre

F.A.: Mutter mit 30 Jahren Chorea Huntington; starb mit 50 Jahren; Bruder der Mutter geisteskrank. Vater beging mit 50 Jahren Suizid. Ein Bruder ist Epileptiker, die übrigen Geschwister sind unauffällig.

Kind: debil, Zuckungen.

E.A.: Mit 33 Jahren Endometritis post partum, danach erstmals Zuckungen, Gleichgewichtsstörungen. Mit 46 Jahren Intelligenzverlust, Gedächtnisschwund und Depressionen. 48jährig akute Nephritis, anschliessend exsudative Lobärpneumonie; Dauer der Chorea Huntington: 15 Jahre.

Hauptleiden: 1. Chorea Huntington, 2. Rezidierte Lungenarterienembolie, Lungeninfarkt, Pleuraempyem, Thrombose der Vena cava inferior.

Todesursache: Rechtsherzversagen bei fulminanter Lungenarterienembolie.

Hirngewicht: 1 056 g (Frischhirngewicht).

4. C 14: linke Hemisphäre

weiblich

Todesalter: 55 Jahre

F.A.: Vater und Bruder Chorea Huntington; vier Kinder un-

auffällig.

E.A.: Ab 39 Jahren Zuckungen. Mit 49 Jahren hospitalisiert, Demenz, zunehmende Versteifung.

Dauer der Chorea Huntington: 16 Jahre

Hauptleiden: 1. Chorea Huntington, 2. Abszedierte Bronchopneumonie

Todesursache: Herz-Kreislauf-Versagen

Hirngewicht: 872 g (Frischhirngewicht).

5. C 45: rechte Hemisphäre

männlich

Todesalter: 56 Jahre

F.A.: Grossmutter mit 59 Jahren und Mutter mit 51 Jahren an Chorea Huntington erkrankt.

Die Frau des Patienten erkrankte in allen sieben Schwangerschaften an Chorea gravidarum. Von ihren vier Kindern erkrankten drei an Chorea minor, das eine davon mehrmals und später mit 22 Jahren an Chorea Huntington.

E.A.: Schulbesuch bis zur zweiten Klasse.

Mit 41 Jahren periodischer Trinker, Erregungszustände, motorische Unruhe; mit 54 Jahren geistig erheblich reduziert.

Dauer der Chorea Huntington: 15 Jahre

Hauptleiden: Chorea Huntington

Todesursache: Herz-Kreislauf-Versagen bei Kachexie

Hirngewicht: 1 117 g (Frischhirngewicht).

6. C 32: linke Hemisphäre

weiblich

Todesalter: 72 Jahre

F.A.: Vater hatte Zuckungen der Schulter und des Kopfes. Zwei Brüder (einer ist Vater von C 35), litten an Zittern und Zuckungen.

E.A.: Mit 54 Jahren leichte Zuckungen, mit 67 Jahren starke Bewegungsstörungen. Wegen Deblilität Aufnahme in eine Nervenlinik. Mit 70 Jahren Mamma-Ca.

Dauer der Chorea Huntington: 18 Jahre

Hauptleiden: 1. Chorea Huntington, 2. Schwere Lungentuberkulose. 3. Metastasierendes Mamma-Carcinom

Todesursache: Respiratorische Insuffizienz

Hirngewicht: 950 g (Frischhirngewicht).

Die Bearbeitung des Untersuchungsmaterials erfolgte einheitlich nach der im Institut üblichen Methode (V o g t, 1940): Fixierung der Gehirne in 4%igem Formalin für etwa 14 Tage. Nach Entfernen der Hirnhäute wird das Gehirn fotografiert und abgeformt. Durch einen etwa 0,75 cm kaudal vom oralen Rand der Brücke verlaufenden Horizontalschnitt werden der kaudale Hirnstamm und das Kleinhirn in toto abgetragen; dadurch bleibt die Substantia nigra vollständig erhalten. Der verbleibende orale Teil wird durch einen Medianschnitt in seine beiden Hälften zerlegt.

Die Hemisphären werden auf einem Makrotom in vier bis fünf planparallele frontale Blöcke zerlegt, wobei die Senkrechte zur F o r e l 'schen Achse als Frontalebene gilt.

Anschliessend werden die Blöcke über die aufsteigende Alkoholreihe entwässert, in Paraffin eingebettet und auf Schlittenmikrotomen frontal in Serie geschnitten.

Die Schnittdicke der Präparate beträgt 20 μ m. Nach Aufziehen und Entparaffinieren wird jeder 20. oder 25. Schnitt zur Zelldarstellung mit Kresylechtviolett gefärbt. Bei jedem 50. Schnitt wird die Markscheidenfärbung mit Hämatoxylin nach H e i d e n - h a i n - W o e l c k e angewandt.

2.2. Methoden

2.2.1. Hirngewicht

Die Hirngewichte wurden den Krankengeschichten entnommen.

Die Problematik des Hirngewichtes und seine Abhängigkeit von Lebensalter, Körperlänge und Todesursache ist u. a. bei Spann und D u s t m a n n (1965) dargestellt.

Die postmortalen Gewichtsänderungen (B l i n k o v / G l e z e r ; 1968; A p p e l und A p p e l ; 1942; u. a.) konnten nicht berücksichtigt werden. Auch die Einflüsse der Formalin-Fixierung konnten nicht quantitativ erfasst werden (B l i n k o v / G l e z e r ; 1968; T r e f f und K r a u s ; 1960; B a u c h o t ; 1967; u. a.).

2.2.2. Schrumpfungsfaktor

Auf allen Stufen der Präparation ändern sich Gewicht und Volumen der Gehirne (W e i l , 1928; S t o w e l l , 1941; Z e l i g m a n n , 1946; R o m e i s , 1948; H e i n z e , 1954; F r o n t e r a , 1958; S t e p h a n , 1960 und 1961; T r e f f und K r a u s , 1960; K r a u s , 1962; u. a.). Meist wird das Volumen der Gehirne direkt nach der Herausnahme und am Ende der Präparation bestimmt. Das Verhältnis der beiden Größen ergibt den Schrumpfungsfaktor, der von einer Vielzahl von Faktoren abhängig ist.

S t e p h a n multipliziert seine Schnittserienvolumina (Meerschweinchen, bouin-injektionsfixiert, Paraffineinbettung) mit 1,82. H o p f und C l a u s s e n (1970) fanden folgende Schrumpfungsfaktoren (4%-formalinfixiert, Paraffineinbettung):

Ceropithecus	Nr. 40	m.	1,84
	Nr. 41	w.	1,71
	Nr. 23	m.	1,86
	Nr. 57	m.	1,97
Theropithecus gelada	Nr. 202	m.	1,93
	Nr. 201	m.	1,91
Papio hamadryas	Nr. 205	m.	1,83
	Nr. 208	m.	1,85
	Nr. 210	m.	1,94

In unserem Fall standen keine Volumenangaben der unfixierten Hemi-

sphären zur Verfügung. Wir haben daher die Schrumpfung der Gehirne auf zwei Wegen bestimmt und geben den Schrumpfungsfaktor als Mittel der beiden Bestimmungen an.

Die erste Methode vergleicht das Hirngewicht (Hgw) mit dem Schnittserienvolumen (Ssv) der Hemisphären. In den "Tabulae biologicae" (XX, Growth of man, 1941) wird der Gewichtsanteil der Hemisphären am Gesamtgewicht mit 88% angegeben. Das spezifische Gewicht des Gehirns beträgt nach D a n i l e w s k y (1880): Graue Substanz 1,038 - 1,029 g/cm³; weisse Substanz 1,039 - 1,043 g/cm³; Großhirn(gesamt) 1,035 - 1,041 g/cm³. D o n a l d s o n (1895) fand für das gesamte Gehirn ein spezifisches Gewicht von 1,036 g/cm³, R e i c h a r d t (1914) für die graue Substanz von 1,033 - 1,035 g/cm³ und für die weisse Substanz von 1,035 - 1,040 g/cm³. F r o n t e r a (1958) und S t e p h a n (1960) geben 1,036 - 1,037 g/cm³ (+ 0,002) an. H a c k l fand 1965 bei hundert Gehirnen aus der Prosektur des Psychiatrischen Krankenhauses der Stadt Wien ein mittleres spezifisches Gewicht von 1,078 g/cm³; bei P a u l (1971) findet sich ein spezifisches Gewicht von 1,029 (+ 0,002) g/cm³. Wir haben mit dem Wert 1,0365 gerechnet auf das Gewicht bezogenen Schrumpfungsfaktor berechneten wir nach der Formel

$$SF_g = \frac{\text{Hgw} \cdot 0,88 : 1,0365}{\text{Hemisphären-Ssv}}$$

Der zweite Weg ermittelt die Schrumpfung über das Verhältnis der linearen Dimensionen der Hemisphären in Formalin und im fertigen Präparat. Die linearen Dimensionen der Hemisphären in 4%igem Formalin haben wir an Hand von 1:1-Photografien bestimmt; die aufgezogenen Hemisphären haben wir mittels Fotografien von markscheidengefärbten Schnitten vermessen. Gemessen wurden jeweils die Höhe (der senkrechte Abstand zwischen dem höchsten Punkt der Mantelkante und dem tiefsten Punkt des Schläfenlappens), die Breite (der größte senkrechte Abstand zwischen Mittellinie und temporo-parietaler Cortexoberfläche) und die Länge (zwischen Frontal- und Okzipitalpol). Die Länge des geschnittenen Gehirns ergab sich aus der Summe der Frontalschnitte mit bekannter Dicke. Den "linearen" Schrumpfungsfaktor berechneten wir nach der Formel:

$$SF_l = \frac{\text{L.B.H in Formalin}}{\text{L.B.H geschnitten}}$$

Der endgültige Schrumpfungsfaktor ergab sich nach der Gleichung

$$SF = (SF_g + SF_1) : 2.$$

Folgende relative Fehler gehen in die Berechnung ein:

SF_g : Hirngewicht $\pm 15\%$; Gewichtsanteil der Hemisphären $\pm 5\%$;

Spezifisches Gewicht $\pm 5\%$; Ssv der Hemisphären $\pm 2\%$; der relative Gesamtfehler einer Funktion

$$h = k \cdot x^a \cdot y^b \cdot z^c \dots$$

(mit den Konstanten k , a , b , c und den unabhängigen Variablen x , y , z) berechnet sich nach dem Potenzproduktgesetz der Fehlerfortpflanzung nach der Formel

$$\frac{s_h}{h} = \sqrt{\left(a \frac{s_x}{x}\right)^2 + \left(b \frac{s_y}{y}\right)^2 + \left(c \frac{s_z}{z}\right)^2 + \dots}$$

(S a c h s, 1968)

In unserem Fall sind Hirngewicht und Hemisphärenschnittserienvolumen nicht unabhängig von einander, sondern stark positiv miteinander korreliert (Vgl. Abb. 5). Der Quotient Hirngewicht / Hemisphärenschnittserienvolumen hat also in diesem Falle der positiven Korrelation eine kleinere Streuung als bei unabhängigen Variablen.

Bei Anwendung der Formel wird der relative Fehler daher zu hoch geschätzt. In unserem Fall lautet die Formel für den gewichtsbezogenen Schrumpfungsfaktor

$$\frac{s_{SF_g}}{SF_g} = \sqrt{(1,0,15)^2 + (1,0,05)^2 + (-1,0,05)^2 + (-1,0,05)^2} = 0,167,$$

d. h., der relative Fehler beträgt 17%.

Für den "linearen" Schrumpfungsfaktor SF_1 ergibt sich analog bei einem relativen Fehler der linearen Dimensionen von 5%

$$\frac{s_{SF_1}}{SF_1} = \sqrt{6 \cdot (0,05)^2} = 0,122, \text{ d. h. } 13\%.$$

Nach F e n n e r (1931) erhält man den Standardfehler von Mittelwerten unabhängiger Variablen nach der Formel

$$\bar{x}_1 + \bar{x}_2 \pm \sqrt{s_{\bar{x}_1}^2 + s_{\bar{x}_2}^2}.$$

Für unseren endgültigen Schrumpfungsfaktor gilt analog

$$1 + 1 \pm \sqrt{0,167^2 + 0,122^2} = 2 \pm 0,208,$$

d. h., der relative Fehler von SF beträgt 10%.

2.2.3. Schnittserienvolumina

Bei den untersuchten Gehirnen wurde das Schnittserienvolumen (Ssv) nach folgender Formel bestimmt, wobei F = Schnittfläche und D = Schnittabstand ist:

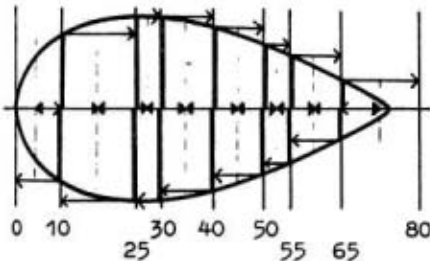
$$Ssv = \frac{F \cdot D}{(\text{lineare Vergrößerung})^2}.$$

Der Schnittabstand wird definiert als Abstand zweier benachbarter Schnittebenen. Dabei wählt man entweder den Abstand zum weiter frontal oder okzipital gelegenen Schnitt als zugehörige Dicke. Bei gleichen Abständen ist das Ergebnis in beiden Fällen gleich. Bei unterschiedlichem Abstand, wie es bei unseren Gehirnen zum Teil gegeben war, können bei kleinen Grisea grosse Unterschiede auftreten. Beim Gehirn Bu 11 L beträgt das Ssv des Nucleus subthalamicus in fronto-okzipitaler Addition 37,82 mm³, in umgekehrter Richtung 39,49 mm³. Das entspricht einer relativen Differenz von 4,4%. Abbildung 1 veranschaulicht diese Verhältnisse.

Tabelle 3:

		<u>Nucl. subthalamicus</u>			
Bu 11 L	Planimeterflächen (cm ²)			Schnittserienvolumen (mm ³)	
Schnitt-Nr.	minimum	mittel	maximum	<u>Frontal-okzipital</u>	
951 (front.)	0	0	0	Minimum	37,73
900	4,0	4,0	4,0	Mittel	37,82
848	11,73	11,77	11,80	Maximum	37,91
800	14,00	14,00	14,00	Differenz zwischen Minimum und Maximum = $\pm 0,3\%$	
753	16,31	16,33	16,35	<u>Okzipital-frontal</u>	
730	16,66	16,75	16,85	Mittel	39,49
700	10,43	10,47	10,50	Differenz zwischen beiden Mittelwerten = $\pm 4,4\%$	
653	4,33	4,34	4,36		
630 (okzip.)	0	0	0		

Abbildung 1:



Wir haben daher den Schnittabstand definiert als Summe der beiden benachbarten Halb-abstände und so diesen Fehler vermieden. Die Schnittabstände betrugen in der Regel 1 mm, in Regionen ohne Basalganglien 2 bis 4 mm. Die Schnittfläche bestimmten wir an Hand der oben erwähnten Fotografien der markscheidengefärbten Schnitte mit

zwei- bis dreifacher Vergrößerung; beim Nucleus subthalamicus mittels Fotos von cresylechtviolett-gefärbten Schnitten mit 12,5facher Vergrößerung. Auf diesen Fotografien wurden die Grenzen der Hemisphäre (ohne Ventrikel, kaudales Ende im Mesencephalon unterhalb der Substantia nigra), des Cortex, des Striatum ohne Fundus striati (wie Brockhaus; 1942 und Jungklaus und Orthner; 1960) eingezeichnet. Beim Pallidum und beim Nucleus subthalamicus und ihren beiden Anteilen geschah dies unter mikroskopischer Kontrolle, wobei die gefundenen Grenzen gleich mit Tusche auf das Deckglas des Präparates übertragen wurden.

Die Abgrenzung des Pallidum zu seinen umgebenden Strukturen bereitet keine Schwierigkeit. Der Reichtum an markhaltigen Fasern und die im Vergleich zum Striatum deutlich geringere Nervenzelldichte erlaubt bereits makroskopisch eine einwandfreie Trennung von Putamen und Pallidum. Zur Capsula interna ist die Grenze ebenfalls scharf, desgleichen basal zum Nucleus basalis und zur Ansa lenticularis. Das Pallidum selbst wird durch die Lamina medullaris interna in einen lateralen und einen medialen Teil getrennt. Das Pallidum mediale seinerseits erfährt durch eine von basal hochziehende feine Lamina medullaris accessoria noch eine weitere, aber unvollständige Untergliederung, die unberücksichtigt blieb.

Auf den Fotografien der cresylechtviolett-gefärbten Schnitte im Abstand von circa 500 μ m (mindestens 40 μ m, höchstens 1160 μ m) mit 12,5facher Vergrößerung sind die Grenzen des Nucleus subthalamicus deutlich zu erkennen. Das Feld H₂ bildet die dorsale Begrenzung, die ziemlich gleichmäßig konvex vom lateralen zum medialen Rand zieht.

Am lateralen Rand werden gelegentlich kleinere Zellgruppen abgesprengt.

Die ventrale Grenzfläche zum Pedunculus cerebri verläuft im oralen Bereich fast immer mehr oder minder gezackt, wird aber im mittleren Drittel der oro-kaudalen Achse schon konvex, so dass sich der Kern als bikonvexe Linse mit lateral ansteigender Achse zeigt. Kaudal hat die mediale Ventralfläche enge Beziehungen zur Substantia nigra. Am oralen Medialrand bestehen regelmäßig zelluläre Verbindungsbrücken zum paramamillären Grau des Hypothalamus. Sie sind auch schon bei Malone (1910), Gilbert (1935), Schneider (1949) und Richter (1965) beschrieben. Im dorsolateralen Teil des Nucleus subthalamicus findet man größere, weniger dicht gelagerte Nervenzellen; im ventromedialen Abschnitt sind sie kleiner und dichter gelagert. Dieser Unterschied besteht nur im oralen und mittleren Drittel; im kaudalen Drittel war er bei Übersichtsvergrößerung nicht feststellbar. Diese Befunde stimmen mit denen von Kodama (1928) überein. Ausserdem fanden wir, dass der Übergang von der Pars lateralis zur Pars medialis allmählich erfolgt. Es lässt sich keine scharfe und exakte Grenzlinie definieren. Wir grenzten die Pars medialis auf Grund der grösseren numerischen Nervenzellichte und der kleineren Nervenzellen bei Übersichtsvergrößerung ab. (Abbildung 2, 1 - 18).

Die Flächen wurden mittels des elektronischen Scheiben-Roll-Planimeters OTT-ZUSE zweimal planimetriert und das Mittel als endgültiger Wert genommen.

Die Genauigkeit der Planimetriemethode soll an den Gehirnen Gr 3 L und Bu 11 L (Tab. 4 und Tab. 3) aufgezeigt werden.

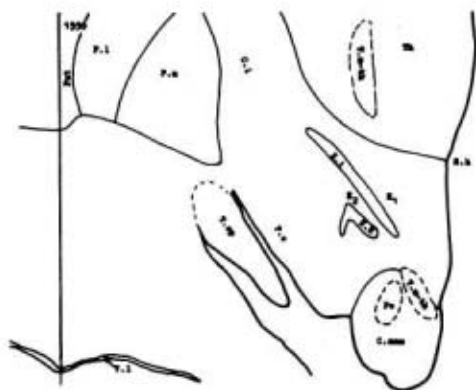
In den Tabellen wurden die minimalen, die gemittelten und die maximalen Planimeterflächen mit der jeweiligen Schnittdicke multipliziert und getrennt addiert.

Tabelle 4:

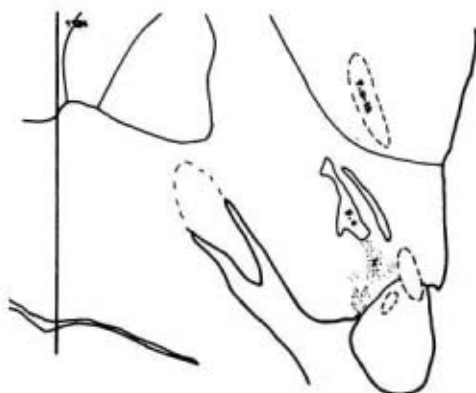
Gr 3 L, minimales, mittleres und maximales Schnittserienvolumen
(cm³)

Griseum	Minimum	Mittel	Maximum	Relativer Fehler
Caudatum	1,45	1,49	1,53	+ 2,7%
Putamen	1,79	1,82	1,85	+ 1,7%
Pallidum med.	0,158	0,163	0,167	+ 3,1%

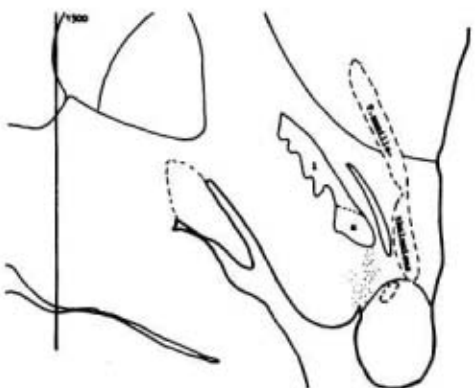
Halbschematische Zeichnung der Schnittserie des Gehirns A 100 R
im Bereich des Nucleus Subthalamicus (Block R 3)



2-1

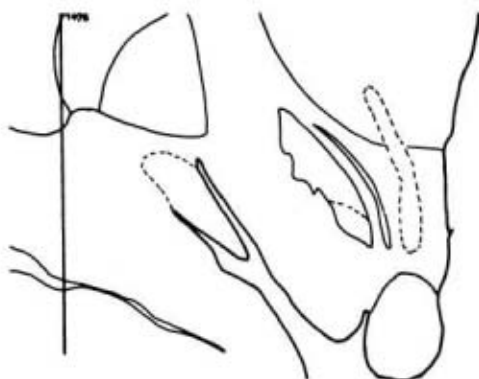


2-2

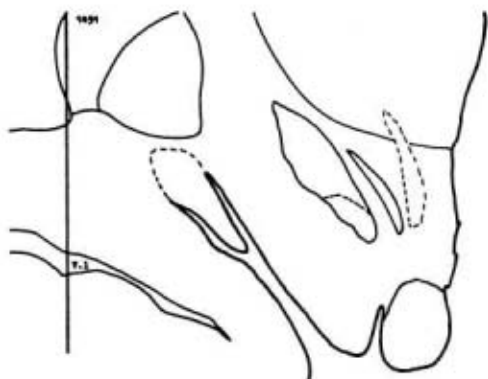


2-3

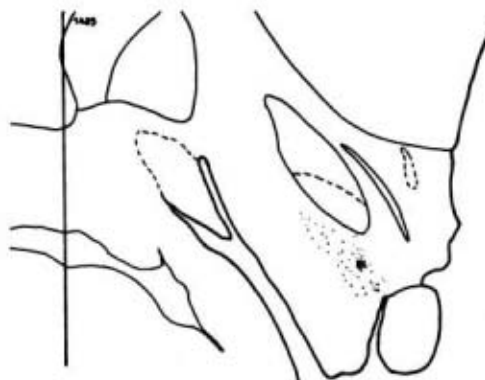
- C.i =
 Capsula interna
 C.mam =
 Corpus mamillare
 Fo =
 Fornix
 N.S =
 Nucl. Subthalamicus
 P.c =
 Pedunculus cerebri
 P.l =
 Pallidum laterale
 P.m =
 Pallidum mediale
 Put =
 Putamen
 S.h =
 Sulcus hypothalamicus
 Th =
 Thalamus
 T.m-th =
 Tractus mamillo-thalamicus
 T.op =
 Tractus opticus
 Z.i =
 Zona incerta
 V.l =
 Ventriculus lateralis
 x =
 Zellbrücke vom
 Medialpol des N.S
 zum perimamillären
 Grau



2-4

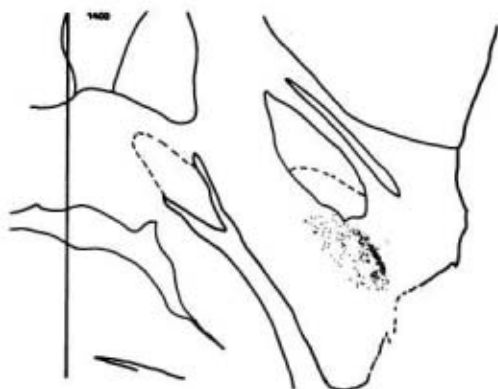


2-5

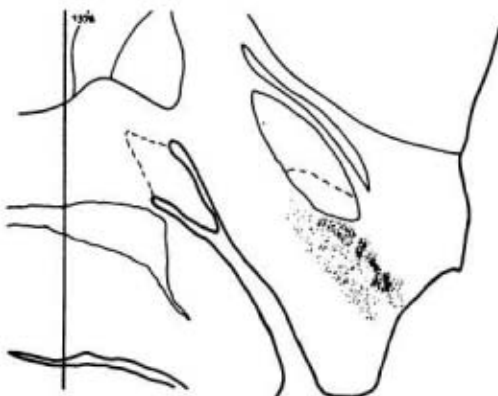


2-6

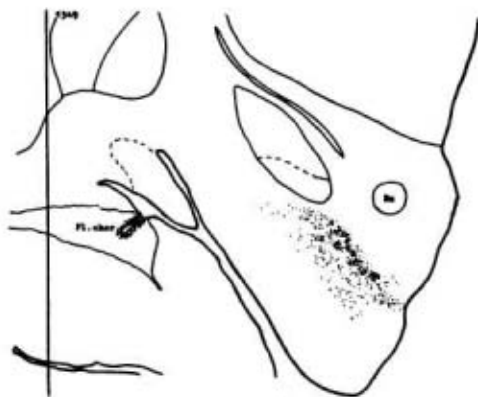
Ni =
Substantia
nigra



2-7



2-8

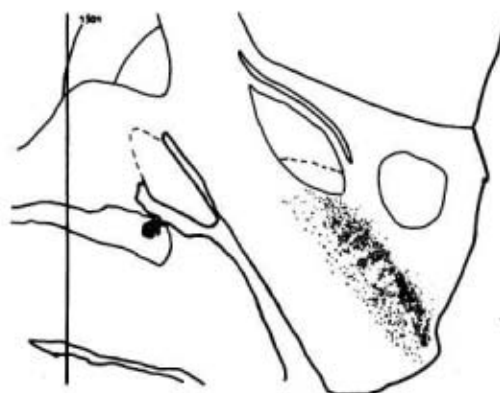


Ru =
Nucleus ruber

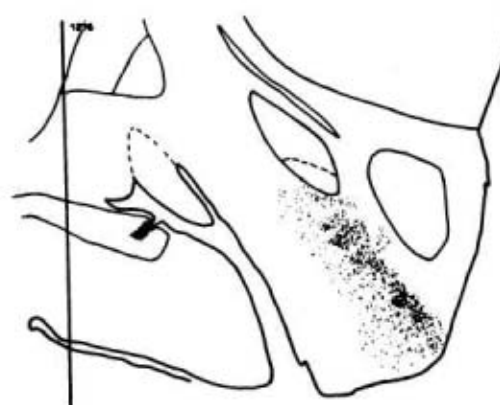
2-9



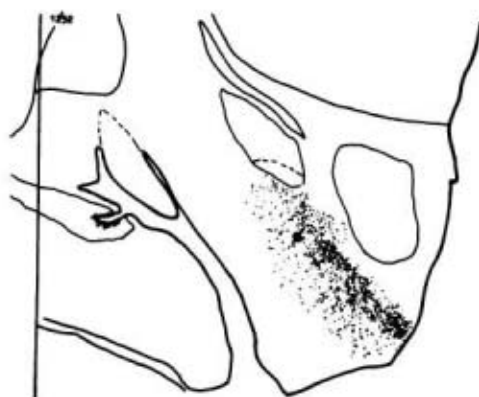
2-10



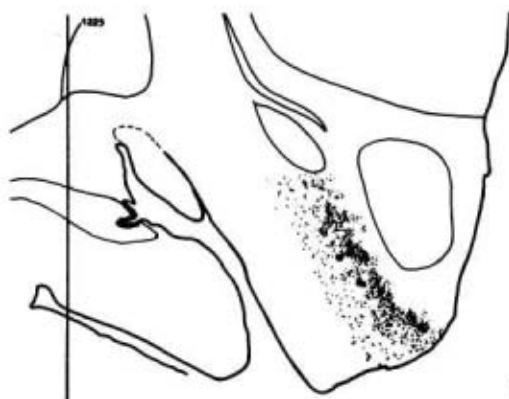
2-11



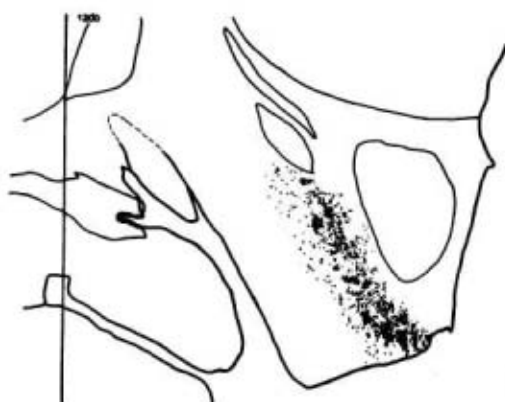
2-12



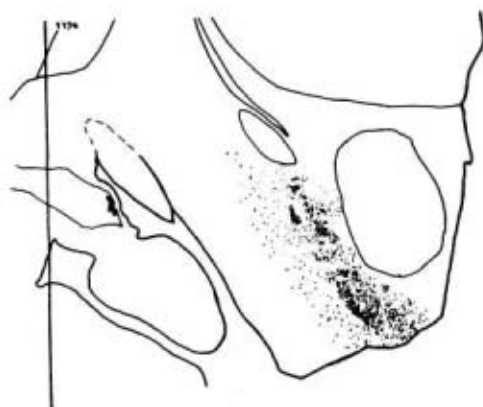
2-13



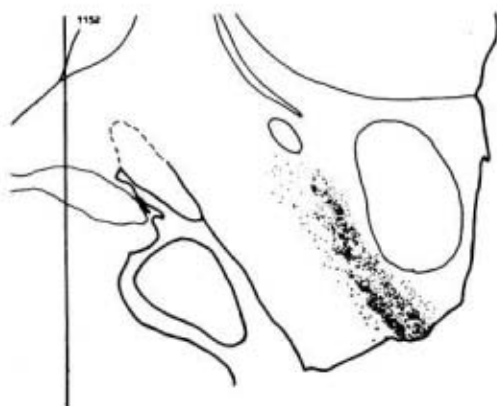
2-14



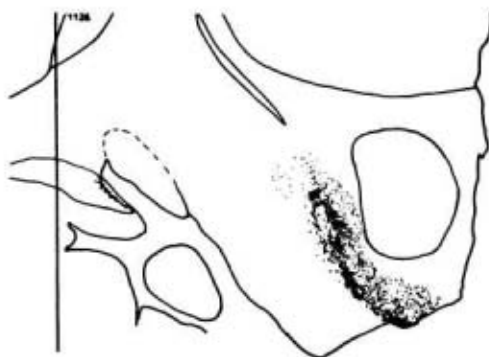
2-15



2-16



2-17



2-18

Der relative Fehler beim Nucleus subthalamicus des Gehirns Bu 11 L (s. Tab.:3) beträgt 0,25%, ist also nicht grösser als bei den anderen Basalganglien; beim Hemisphären- und Cortexvolumen ist er sicher <2% (s.a. Hennig; 1960).

Die Schnittserienvolumina haben wir mit dem Schrumpfungsfaktor multipliziert, um Frischvolumina zu erhalten. Nach dem Potenzproduktgesetz ergibt sich ein relativer Fehler der Frischvolumina von

$$\sqrt{0,10^2 + 0,03^2} = 0,102 = 11\%.$$

2.2.4. Numerische Zelldichte

Die numerische Zelldichte gibt die Anzahl der Zellen pro Volumeneinheit, meist pro mm^3 , an. Beim Pallidum untersuchten wir Nerven- und Gliazellen, beim Nucleus subthalamicus nur Nervenzellen.

Für die Untersuchungen benutzten wir ein binokulares Mikroskop mit 12,5facher Okularvergrößerung, in dessen einem Okular ein HAUG'sches Zählgitter eingelegt war. Dieses Zählgitter hatte 12x12 Quadrate und 13x13 Schnittpunkte. Bei einer Zwischenvergrößerung von 1,5 und einem Objektiv mit 20facher Vergrößerung, also einer 375fachen Vergrößerung hatte das Zählgitter insgesamt eine Kantenlänge von $212\text{ }\mu\text{m}$ nach Eichung. Bei der Auszählung wurde die gesamte Schnittdicke ($20\text{ }\mu\text{m}$) durchmustert; deshalb hatte jeder ausgewertete Gewebsquader ein Volumen von $212^2 \times 20\text{ }\mu\text{m}^3 = 898\,880\text{ }\mu\text{m}^3$. Um die numerische Zelldichte in Zellen/ mm^3 angeben zu können, muss daher die Anzahl der Zellen pro Quader mit 1112,5 multipliziert werden. Wie üblich, wurden jeweils die Zellen mitgezählt, die auf der linken und oberen Begrenzung des Zählquadrates lagen, während die auf dem rechten und unteren Rand nicht berücksichtigt wurden. Bei den Nervenzellen wurden nur solche mit einem deutlich sichtbaren Nukleolus gezählt. So konnte auf eine Korrektur der Werte verzichtet werden (Haug, 1967). Die Gliazellen wurden insgesamt ohne Aufteilung in die bekannten Arten gezählt.

Beim Pallidum laterale und mediale wurden je 100 bis 300 Gesichtsfelder auf Nukleoli durchmustert, um die Standardabweichung des Mittelwertes $s_{\bar{x}}$ auf 10% vom Mittelwert $\bar{x}$ zu bringen. Für die numerische Gliazelldichte mussten nur je 12 Gesichtsfelder pro Kerngebiet und Gehirn ausgezählt werden, um ein $s_{\bar{x}} = 10\%$ von $\bar{x}$ zu erhalten.

ten.

Beim Nucleus subthalamicus wurden im lateralen und medialen Teil jeweils 100 Quadrate pro Hemisphäre ausgewertet. Da die Zählungen gleichmässig über alle Schnitte verteilt werden sollten, die Pars medialis aber nur auf oralen Schnitten zu finden ist, waren hier bei A 76 L nur 80, bei einigen anderen nur 90 Gesichtsfelder auswertbar. Die relative Standardabweichung des Mittelwertes $s_{\bar{x}}$ blieb auf jeden Fall unter 5%.

Die untersuchten Areale wurden mÄnderförmig durchmustert, wobei der Abstand der einzelnen Gesichtsfelder so gewählt wurde, dass sie gleichmässig über das ganze Kerngebiet verteilt waren. Auf diese Weise wurde eine willkürliche Verteilung ohne Überschneidung oder Doppelzählung erreicht.

Da die numerische Zelldichte stark von der Schrumpfung des Gehirns beeinflusst wird (Abb.:10), ist ein interindividueller Vergleich von Gehirnen unterschiedlicher Schrumpfung nicht möglich. Nimmt man jedoch eine gleichmässige Schrumpfung innerhalb der Hemisphäre an, lassen sich intraindividuell die numerischen Zelldichten verschiedener Kerngebiete vergleichen.

Für den interindividuellen Vergleich haben wir die numerische Zelldichte durch den Schrumpfungsfaktor dividiert.

Der relative Fehler der korrigierten numerischen Zelldichte beträgt $\sqrt{0,1^2 + 0,1^2} = 0,141$ für das Pallidum und für den Nucleus subthalamicus $\sqrt{0,1^2 + 0,05^2} = 0,112$.

2.2.5. Gliaindex

Teilt man die numerische Gliazelldichte durch die numerische Nervenzelldichte erhält man als Quotienten den Gliaindex mit der Dimension (Gliazellen/Nervenzelle). Er gibt also an, wieviel Gliazellen in einem bestimmten Griseum auf eine Nervenzelle kommen. Der Vorteil dieser berechneten Grösse liegt darin, dass sie unabhängig von Schrumpfungsvorgängen ist. Der relative Fehler berechnet sich aus $\sqrt{0,1^2 + 0,1^2} = 0,141 = 14\%$.

2.2.6. Absolute Zellzahl

Multipliziert man die numerische Zelldichte (Zellen/mm³) mit dem

Schnittserienvolumen (cm^3 oder mm^3) eines Griseums, erhält man die absolute Zellzahl (Zellen pro Griseum). Diese Grösse erlaubt bei gleicher Färbung der Schnitte sowohl den intra- als auch den *i n t e r* individuellen Vergleich der Gehirne.

Der relative Fehler der absoluten Zellzahl beträgt bei unserer Untersuchung für das Pallidum

$$\sqrt{0,1^2 + 0,03^2} = 0,104, \text{ d. h. } 11\%;$$

für den Nucleus subthalamicus ist er

$$\sqrt{0,05^2 + 0,03^2} = 0,058,$$

d. h. 6%.

2.2.7 Volumetrische Zelldichte

Die volumetrische Zelldichte, auch Volumenzelldichte oder Zellvolumendichte genannt, ist der Volumenanteil der Zellen pro Volumeneinheit des Gewebes. Er wird meist in Prozent ausgedrückt und gibt somit - wie in unserem Fall - den prozentualen Anteil der Nerven- bzw. der Gliazelleiber am Volumen des untersuchten Griseums an.

Die Methode hat H a u g (1955) sehr genau beschrieben. Dieses auf stereologischen Prinzipien beruhende Verfahren nannte er "Treffermethode". Man versucht dabei, die relativen Volumenanteile bestimmter Strukturen auf Grund von Punktzählungen in einer zweidimensionalen Schnittebene zu bestimmen. Um der Zweidimensionalität nahe zu kommen, darf bei Anwendung der Treffermethode ein Tiefenschärfenbereich von maximal $1 \mu\text{m}$ nicht überschritten werden. Der Gesamttiefenschärfenbereich setzt sich zusammen aus objektiver Tiefenschärfe und subjektiver Tiefenschärfe. Nach BEREK berechnet man die objektive Tiefenschärfe T nach der Formel

$$T = n_o \cdot \left(\frac{4\lambda}{A^2} \chi_{\alpha} + \frac{S}{AV} \omega \right) .$$

n_o = Brechungsindex des Objektes (1,45)

λ = Wellenlänge des Lichtes (0,55 μm)

A = Apertur des Objektives

χ_{α} = Konstante (= 1/8)

S	= Sehabstand (=250 000 μ m)
V	= Gesamtvergrößerung
(ρ)	= Konstante (=0,00136).

Die altersabhängige subjektive Tiefenschärfe T' erhält man nach der Formel

$$T' = n_o \cdot \frac{s^2}{v^2} \left(\frac{1}{s_1} - \frac{1}{s_2} \right) .$$

s_1 = untere Akkomodationsgrenze (bis 25 Jahre ≈ 10 cm,
bis 45 Jahre ≈ 25 cm)

s_2 = obere Akkomodationsgrenze; Fernpunkt im Unendlichen: $s_2 = \infty$.

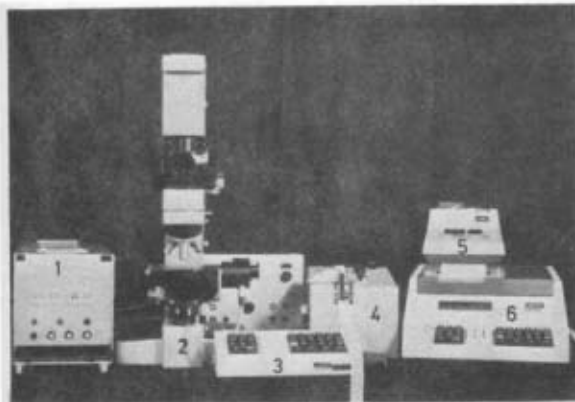
Die Gesamttiefenschärfe beträgt $T_g = T + T'$.

Wir benutzten ein Haug'sches Zählgitter mit 169 Schnittpunkten. Es wurden nur solche Schnittpunkte als Treffer gewertet, die von mikroskopisch scharf erscheinenden Zellanteilen bedeckt waren. Die zu Beginn der Zählung eingestellte Ebene in der Mitte des Schnittes wurde nicht mehr verstellt. Wegen der geringen Nervenzell-dichte im Pallidum war für eine relative Standardabweichung $s_{\bar{x}}$ 10% von $\bar{x}$ bei der volumetrischen Nervenzell-dichte ein Stichprobenumfang von 1 000 Gesichtsfeldern pro Gehirn und Griseum erforderlich. Zusätzlich wurden Nervenzellplasma- und -kern-treffer getrennt registriert. Bei der volumetrischen Gliazell-dichte genügten 250 Gesichtsfelder.

Wegen der immensen Zahl an Gesichtsfeldeinstellungen - allein bei den Nervenzellen fielen insgesamt 124 000 Daten an - benutzten wir als Stichprobenmikroskop für Pallidum laterale und mediale ein LEITZ-Orthoplan mit Grob-Scanningtisch. Der Grob-Scanningtisch gestattet jedoch nur ein Arbeiten mit Kondensorobjektiven einer Apertur bis maximal 0,60. Er wurde daher von uns dahingehend umgebaut, dass wir den zentralen Durchlass erweiterten, um so mit einem achromatisch-aplanatischen Systemkondensor Apt 81 1,25 arbeiten zu können, wie er für hochkorrigierte Ölimmersionen und das Mikroskopieren im feinplasmatischen Bereich erforderlich ist.

Bei einem Okular mit 12,5facher und einem Objektiv mit 100facher Vergrößerung sowie einer Apertur von 1,32 betrug die objektive Tiefenschärfe $T = 0,527 \mu$ m und bei einem Sehabstand s_1 von

130 000 μm die subjektive Tiefenschärfe $T' = 0,446 \mu\text{m}$; die Gesamttiefenschärfe T_g somit $0,974 \mu\text{m}$. Mit Hilfe des Grob-Scanningtisches und seiner in x- und y-Richtung angebrachten Schrittmotoren wurden Pallidum laterale und mediale nach vorgewähltem Schrittabstand mäanderförmig per Knopfdruck durchfahren. Die Gesichtsfelder wurden gleichmässig über vier Schnitte verteilt. Die anfallenden Daten wurden direkt vom Mikroskop per Hand auf Lochstreifen übertragen, die dann vom Computer ausgewertet wurden.



1. Steuereinheit des Scanning-Tisches
2. Leitz-Orthoplan mit Fotoautomatik
3. Externe Tastatur (Eingabe der Werte)
4. Lochstreifenstanzer
5. Lochstreifenleser
6. Diehl-Tischrechner

Beim Nucleus subthalamicus wurde nur die volumetrische Dichte der Nervenzellen erfasst. Hierfür verwendeten wir wieder das binokulare Mikroskop mit 1,5-facher Zwischenvergrösserung, ein Okular 12,5-facher Vergrösserung mit HAUG'schem Zählgitter und ein Objektiv mit 90-facher Vergrösserung und einer Apertur von 1,25. Die Gesamtvergrösserung betrug 1687,5; die objektive Tiefenschärfe war $0,489 \mu\text{m}$, die subjektive $0,318 \mu\text{m}$, die Gesamttiefenschärfe $T_g = 0,807 \mu\text{m}$. Im lateralen und medialen Teil des Nucleus subthalamicus wurden je 200 Gesichtsfelder pro Hemisphäre ausgewertet. Die Gesichtsfelder wurden gleichmässig über die Schnitte verteilt, wobei nur die oralen und kaudalen Schnitte unberücksichtigt blieben. Innerhalb eines Schnittes versuchten wir, mit Hilfe der in x- und y-Richtung am Kreutztisch angebrachten Skalen mit Nonius, das Griseum mit konstantem Schrittabstand gleichmässig mäanderförmig

mig zu durchmustern. Da in der Pars medialis die Gesichtsfelder sehr nahe aneinander gelegt werden mussten, bestand hier - im Gegensatz zur Pars lateralis - eher die Gefahr von unbewussten Überschneidungen bei der Gesichtsfeldeinstellung. Bei 200 Gesichtsfeldern ergab sich eine relative Standardabweichung des Mittelwertes $s_{\bar{x}}$ von etwa 13%. Ausgehend von der Hypothese, dass Zellen und Neuropil annähernd gleichmässig schrumpfen, verzichteten wir auf eine Korrektur der Ergebnisse. Ein intra- und interindividueller Vergleich ist daher angezeigt.

2.2.8. Gliavolumenindex

Dividiert man die volumetrische Gliazelldichte durch die der Nervenzellen, erhält man als Quotienten den Gliavolumenindex (Gliazellenvolumen/Nervenzellenvolumen), der in der Literatur auch oft als relativer Gliazell-Nervenzellkoeffizient bezeichnet wird (H e m p e l und T r e f f, 1959). Der relative Fehler beträgt

$$\sqrt{0,1^2 + 0,1^2} = 0,141, \text{ also } 14\%.$$

2.2.9. Absolutes Zellvolumen

Multipliziert man die volumetrischen Zelldichten mit dem Frischvolumen des Griseums, erhält man das absolute Volumen der Zellen in dem betreffenden Griseum.

Der relative Fehler liegt bei unseren Untersuchungen bei

$$\sqrt{0,10^2 + 0,13^2} = 0,165, \text{ entsprechend } 17\%.$$

2.2.10 Nervenzellmessung

Im medialen und lateralen Anteil des Nucleus subthalamicus wurden bei je 100 willkürlich gewählten Nervenzellen die Länge und Breite des Perikaryons und des Nukleolus gemessen. Wir benutzten dazu ein Meßokular mit Okularmikrometerschraube der Firma ZEISS (Jena). Die Vergrößerung betrug $16 \times 1,5 \times 90 = 2160$; dabei entsprach bei der Eichung ein Skalenteil des Okularmikrometers $0,087 \mu\text{m}$. Die Messdaten wurden auf Lochkarten übertragen. Maschinell wurden die Mittelwerte, Standardabweichungen, Korrelationen und Rotationsellipsoidvolumen von Nervenzelle und -kern berechnet. Ausserdem

fertigte die Maschine Histogramme der Grössen an. Das Rotationsellipsoidvolumen wurde nach der Formel

$$V = \frac{L}{2} \cdot \left(\frac{B}{2}\right)^2 \cdot \frac{4}{3} \pi$$

berechnet.

Bei der Zelllänge und -breite ergab sich ein relativer Standardfehler von ca. 20%, bei der Kernlänge und -breite betrug er nur ca. 13%. Der relative Standardfehler des Rotationsellipsoidvolumens der Perikarya schwankt zwischen 40 und 60%, der der Nuclei zwischen 30 und 55%.

Diese Daten konnten nicht korrigiert werden, da nicht ermittelt werden konnte, wie die Schrumpfung die linearen Dimensionen der einzelnen Zelle beeinflusst.

2.2.11. Mittleres Einzelvolumen der Zellen

Durch Division der Volumenzelldichte (μm^3 Zellen/ μm^3 Griseum) durch die numerische Zelldichte (Zellen/ μm^3 Griseum) erhält man das mittlere Einzelvolumen der Zellen (μm^3 /Zelle). Hierbei kann die Schrumpfung berücksichtigt werden.

Als relative Fehler ergeben sich für das Pallidum $\sqrt{0,1^2 + 0,1^2} = 0,14$ oder 14%; für den Nucleus subthalamicus $\sqrt{0,13^2 + 0,05^2} = 0,14$. Korrigiert man noch mit dem Schrumpfungsfaktor, erhöht sich der relative Fehler auf 0,18 oder 18%.

2.3. Statistik

Für die statistische Auswertung standen uns folgende Rechner zur Verfügung: SIEMENS 4004-Anlage mit Plotter des Rechenzentrums der Universität Düsseldorf mit BMD-Programmen (Biomedical data - health sciences computing facility, UCLA) für Korrelationen und graphische Darstellungen, einschliesslich Histogrammen; ausserdem ein DIEHL-Algotronic-Tischcomputer im Institut für Hirnforschung.

Die Einzelwerte der Gehirne wurden, nach Geschlecht getrennt, zu den beschriebenen Gruppen zusammengefasst. Die Mittelwerte der Gruppe wurden mittels t-Test auf signifikante Unterschiede geprüft;

7. ANHANG

Gehirn	Seite	Alter	Geschlecht	Hirngewicht g	(f = Formalin)	Hemisphäre					SF ₁	SF ₂	
						vor der Präparation			nach				
						Länge mm	Breite mm	Höhe mm	Länge mm	Breite mm	Höhe mm		
A 100	R	19	m	1604	f	162	69	113					
A 58	R L	24	m	1383	f	170 170	71 71	97 96	120 122	63 64	82 82	1,90 1,81	2,22
A 85	L	30	w	1150	f	160	67	96	137	61	81	1,54	2,00
A 77	L	37	m	1468	f	175	75	98	119	68	77	2,06	2,64
A 61	L	38	m	1550		178	74	97	128	70	87	1,64	1,86
A 97	L	39	m	1322	f	159	67	110	134	58	95	1,59	2,01
A 74	L	40	m	1298	f	159	65	102	124	57	90	1,66	2,24
A 65	L	40	w	1310		168	66	113	114	61	92	1,89	2,01
A 102	L	41	w	1165	f	158	66	96	122	59	80	1,74	2,03
A 56	R	61	m	1330		160	75	102	112	64	82	2,08	2,41
A 88	L	62	m	1380	f	169	69	110	132	63	86	1,79	1,97
A 64	R L	84	m	1400		166 173	70 69	101 97	- 106	- 63	- 80	- 2,17	- 2,37
A 76	L	99	w	1080	f	145	63	96	104	59	77	1,86	2,45
C 15	R L	78	w	1220		160 162	66 66	99 97	118 122	62 62	80 81	1,79 1,69	1,93
C 12	R L	89	w	1015		163 166	64 63	96 96	121 122	58 58	80 80	1,78 1,77	1,93
Ep 14	L	11	m	1417	f	170	72	105	131	63	83	1,88	2,38
Gr 3	L	29	w	1113	f	156	70	90	111	61	74	1,96	2,37
Bu 61	L	34	w	1176		166	68	108	128	62	89	1,73	2,01
Bu 82	L	54	w	1410	f	180	70	111	137	62	84	1,96	2,56
Bu 94	L	57	w	1020		171	61	107	140	54	89	1,66	1,95
Bu 11	R L	64	w	1242		175 175	69 69	87 89	128 122	64 66	75 77	1,71 1,73	2,14
Bu 42	L	19	w	1100		162	61	100	112	53	82	2,03	2,24
C 35	L	40	w	948		154	66	92	125	60	78	1,60	2,05
C 47	R L	41	w	956		151 159	66 66	91 87	105 107	53 55	68 66	2,40 2,35	3,13
C 50	L	48	w	1056		159	64	97	131	60	82	1,55	1,76
C 14	L	55	w	872		157	60	92	123	51	78	1,77	2,20
C 45	R	56	m	1117		165	70	105	120	60	79	2,13	2,68
C 32	L	72	w	950		161	63	91	127	53	72	1,90	2,27

Schnittserienvolumina 305

		Hemisphäre	Cortex	Caudatum	Putamen	Pallid.lat.	Pallid.med.	N.subthalam.	Pars lat.	Pars med.
		cm ³	cm ³	10 ¹ mm ³		mm ³			10 ⁻¹ mm ³	
A 100 R		-	-	-	-	-	-	757	606	151
A 58 R		267	144	298	360	656	289	709	565	144
A 58 L		262	139	269	343	560	238	615	503	112
A 85 L		244	130	212	287	556	258	719	600	119
A 77 L		236	107	145	139	414	174	605	495	110
A 61 L		353	177	274	294	623	325	724	615	109
A 97 L		279	132	277	275	691	290	686	615	71
A 74 L		246	111	224	272	691	286	939	753	186
A 65 L		276	137	242	243	566	202	731	625	106
A 102 L		244	122	222	260	689	281	784	652	132
A 56 R		234	112	186	245	621	297	725	591	134
A 88 L		297	154	225	261	688	251	726	604	122
A 64 R		-	-	231	236	569	219	696	562	134
A 64 L		251	142	222	229	477	194	618	490	128
A 76 L		187	99	198	205	404	160	540	421	119
C 15 R		263	148	197	229	505	177	646	489	157
C 15 L		274	155	203	260	500	202	617	477	140
C 12 R		213	111	217	225	525	171	644	474	170
C 12 L		233	123	246	286	560	204	571	452	119
Ep 14 L		253	118	270	290	640	220	612	517	95
Gr 3 L		199	113	149	182	413	163	559	480	79
Bu 61 L		248	126	204	239	535	191	565	450	115
Bu 82 L		234	115	214	275	596	256	684	548	136
Bu 94 L		222	121	248	247	440	195	501	357	144
Bu 11 R		249	139	108*	112*	274	131	468	356	112
Bu 11 L		244	135	160*	154*	264	108	378	301	77
Bu 42 L		208	107	172	144	396	189	431	352	79
C 35 L		196	103	98	112	256	105	556	465	91
C 47 R		133	68	60	59	137	54	372	309	63
C 47 L		126	64	48	59	128	97	405	299	106
C 50 L		254	130	151	126	306	151	535	423	112
C 14 L		168	90	95	103	240	112	505	414	91
C 45 R		177	91	63	99	230	107	435	345	89
C 32 L		178	93	116	142	253	98	554	458	96

* mit Nekrosen
77
152
94
124
 ohne "

STRIATUM

		numerische Zelldichte			volumetrische Nz-dichte	Kerndurch- messer kl.Nz	Daten von K.F.Schröder (1970 und 1971)
		kl.Nz	kl.Nz	Gz			
		$\frac{10^3 \text{ Nz}}{\text{mm}^3}$	$\frac{\text{Nz}}{\text{mm}^3}$	$\frac{10^3 \text{ Gz}}{\text{mm}^3}$	$10^{-2} \%$	$10^{-2} \mu\text{m}$	
A 100 R		2195	100	8327	336	871	
A 58 R		2029	156	7360	454	859	
A 58 L		2248	156	7835	393	891	
A 85 L		2296	89	8436	391	878	
A 77 L		2110	134	9911	308	784	
A 61 L		2087	122	7580	352	861	
A 97 L		2244	111	8209	441	865	
A 74 L		2223	134	8284	458	915	
A 65 L		2336	145	7515	462	870	
A 102 L		2162	111	8009	414	866	
A 56 R		2255	167	8791	440	876	
A 88 L		2272	122	9208	344	855	
A 64 R		2262	122	7753	467	871	
A 64 L		2311	111	7771	444	850	
A 76 L		2294	145	8660	390	862	
C 15 R		2243	134	10639	268	823	
C 15 L		-	-	-	-	-	
C 12 R		-	-	-	-	-	
C 12 L		1812	267	10110	384	810	
Ep 14 L		1831	200	9295	352	778	
Gr 3 L		1956	189	9959	378	836	
Bu 61 L		1861	189	10524	336	766	
Bu 82 L		1879	245	11164	224	762	
Bu 94 L		2020	211	8876	339	728	
Bu 11 R		1821	334	8914	276	842	
Bu 11 L		-	-	-	-	-	
Bu 42 L		1688	245	10894	346	789	
C 35 L		1424	478	14502	248	678	
C 47 R		1472	356	19287	256	633	
C 47 L		-	-	-	-	-	
C 50 L		1261	512	14207	243	696	
C 14 L		1777	556	15683	377	696	
C 45 R		1293	278	13584	310	736	
C 32 L		1580	234	11704	315	735	

PALLIDUM LATERALE

		numerische Zelldichte		volumetrische Zelldichte	
		$\frac{Nz}{mm^3}$	$\frac{10^3 Gz}{mm^3}$	Nz	Gz
				10 ⁻³ %	
A	100 R	-	-	-	-
A	58 R	763(74)	124(3)	290(36)	450(17)
	L	994(79)	132(4)	380(50)	620(20)
A	85 L	844(73)	110(5)	500(57)	450(15)
A	77 L	750(67)	159(6)	220(30)	360(14)
A	61 L	625(59)	134(3)	230(31)	410(16)
A	97 L	956(80)	137(5)	310(37)	350(15)
A	74 L	1119(77)	119(6)	670(71)	620(22)
A	65 L	-	-	-	-
A	102 L	906(74)	98(4)	340(43)	250(11)
A	56 R	1125(90)	167(11)	300(38)	460(16)
A	88 L	900(82)	130(5)	390(46)	390(14)
A	64 R	944(80)	134(11)	390(47)	480(17)
	L	750(70)	155(13)	310(39)	350(14)
A	76 L	744(74)	148(11)	300(39)	340(14)
C	15 R	794(64)	158(9)	330(40)	470(32)
	L	800(68)	152(6)	220(30)	500(30)
C	12 R	931(85)	244(17)	440(41)	550(34)
	L	788(70)	147(7)	300(36)	470(39)
Ep	14 L	563(46)	126(7)	110(21)	560(19)
Gr	3 L	906(76)	160(9)	420(46)	690(38)
Bu	61 L	629(52)	159(9)	310(38)	590(18)
Bu	82 L	919(71)	124(5)	400(47)	530(18)
Bu	94 L	-	-	-	-
Bu	11 R	838(76)	190(8)	270(33)	530(29)
	L	781(72)	164(11)	570(58)	570(37)
Bu	42 L	781(69)	211(17)	240(30)	690(36)
C	35 L	1069(78)	249(13)	370(42)	700(37)
C	47 R	1500(119)	326(15)	460(46)	590(32)
	L	1742(136)	389(17)	590(50)	640(35)
C	50 L	613(60)	265(19)	170(21)	670(34)
C	14 L	1242(95)	332(10)	590(48)	770(39)
C	45 R	2088(198)	426(29)	900(62)	760(37)
C	32 L	1519(100)	278(12)	690(58)	600(32)

<u>PALLIDUM MEDIALE</u>				
		numerische Zelldichte		volumetrische Zelldichte
		$\frac{Nz}{mm^3}$	$\frac{10^3 Gz}{mm^3}$	$\frac{Nz}{Gz} \cdot 10^{-3} \%$
A 100 R		-	-	-
A 58 R		625(62)	118(4)	210(34)
A 58 L		588(58)	120(5)	270(44)
A 85 L		568(56)	120(4)	360(47)
A 77 L		654(53)	180(9)	310(41)
A 61 L		525(51)	125(3)	250(39)
A 97 L		831(75)	127(3)	270(45)
A 74 L		581(59)	112(4)	340(54)
A 65 L		-	-	-
A 102 L		606(58)	102(4)	370(53)
A 56 R		850(84)	131(15)	310(42)
A 88 L		706(62)	121(7)	290(40)
A 64 R		694(69)	124(6)	370(46)
A 64 L		625(62)	127(11)	340(45)
A 76 L		700(72)	122(6)	280(43)
C 15 R		669(59)	149(6)	330(45)
C 15 L		669(68)	133(6)	270(35)
C 12 R		694(71)	186(17)	290(37)
C 12 L		625(61)	131(4)	290(39)
Ep 14 L		454(43)	105(6)	170(26)
Gr 3 L		713(66)	140(7)	170(30)
Bu 61 L		371(37)	156(4)	230(35)
Bu 82 L		700(63)	114(4)	270(37)
Bu 94 L		-	-	-
Bu 11 R		650(51)	190(10)	310(33)
Bu 11 L		700(62)	169(15)	400(44)
Bu 42 L		606(57)	147(15)	320(46)
C 35 L		831(77)	227(10)	320(43)
C 47 R		1300(111)	304(13)	490(49)
C 47 L		1258(107)	347(25)	490(46)
C 50 L		383(38)	189(7)	250(32)
C 14 L		744(69)	260(11)	430(40)
C 45 R		1400(136)	218(15)	560(51)
C 32 L		681(63)	209(7)	310(34)

NUCLEUS SUBTHALAMICUS

		numerische Zelldichte		volumetrische Zelldichte		Rotationsellip- soidvolumen Perikaryon	
		lateral	medial	lateral	medial	lateral	medial
		$10^1 \text{ Nz} / \text{mm}^3$		$10^{-2} \% \text{ Nz}$		$10^1 \mu\text{m}^3$	
A	100 R	395(13)	589(22)	173(19)	215(20)	207(86)	141(71)
A	58 R	375(17)	591(21)	142(17)	164(17)	287(185)	197(121)
	L	357(19)	516(28)	199(21)	223(23)	223(104)	160(62)
A	85 L	340(17)	639(27)	147(19)	221(24)	304(113)	196(94)
A	77 L	394(18)	564(30)	169(20)	194(20)	207(72)	146(57)
A	61 L	366(16)	533(21)	120(16)	143(17)	159(53)	142(76)
A	97 L	456(20)	718(28)	149(18)	203(22)	233(89)	157(68)
A	74 L	384(19)	542(22)	205(27)	237(27)	429(173)	269(111)
A	65 L	-	-	-	-	-	-
A	102 L	413(18)	655(22)	155(21)	212(25)	247(105)	164(78)
A	56 R	442(17)	642(22)	177(20)	227(25)	275(101)	231(101)
A	88 L	404(17)	596(26)	160(19)	200(22)	213(87)	164(77)
A	64 R	431(17)	556(23)	149(19)	182(22)	215(91)	181(80)
	L	394(16)	525(22)	116(16)	157(20)	218(84)	161(74)
A	76 L	393(19)	476(24)	150(18)	201(21)	225(73)	196(96)
C	15 R	312(16)	550(24)	146(19)	244(27)	-	-
	L	346(17)	545(26)	146(17)	193(21)	246(75)	176(75)
C	12 R	328(17)	596(25)	136(18)	215(21)	-	-
	L	345(17)	512(22)	166(21)	210(22)	243(92)	157(71)
Ep	14 L	394(16)	516(27)	126(16)	158(18)	172(71)	160(79)
Gr	3 L	429(12)	802(24)	151(18)	212(22)	192(64)	163(73)
Bu	61 L	379(14)	551(22)	174(19)	202(22)	233(91)	139(65)
Bu	82 L	333(16)	573(20)	144(19)	196(22)	197(83)	149(75)
Bu	94 L	-	-	-	-	-	-
Bu	11 R	383(17)	580(20)	124(15)	148(16)	170(67)	129(53)
	L	340(18)	485(23)	165(19)	196(21)	-	-
Bu	42 L	384(18)	615(27)	181(22)	191(23)	327(138)	185(88)
C	35 L	307(14)	560(22)	119(21)	197(23)	251(87)	213(90)
C	47 R	445(17)	625(28)	207(20)	260(25)	206(82)	198(63)
	L	-	-	-	-	-	-
C	50 L	338(16)	570(23)	117(18)	222(26)	216(70)	206(73)
C	14 L	424(18)	610(22)	162(19)	240(22)	235(82)	155(68)
C	45 R	428(19)	686(26)	141(17)	206(22)	187(58)	158(59)
C	32 L	401(18)	672(22)	149(18)	223(22)	238(81)	185(73)

			Rotationsellipsoidvolumen		Nz-länge		Nz-breite	
			Nukleus					
			lateral	medial	lateral	medial	lateral	medial
			μm^3		$10^{-1} \mu\text{m}$		$10^{-1} \mu\text{m}$	
A	100	R	326(131)	271(132)	232(48)	199(38)	129(25)	113(23)
A	58	R	649(378)	523(304)	275(78)	230(54)	136(30)	122(29)
		L	464(249)	411(143)	236(49)	205(41)	132(25)	120(20)
A	85	L	634(204)	448(212)	236(46)	209(44)	155(23)	131(23)
A	77	L	300(115)	299(123)	243(42)	204(42)	127(23)	115(18)
A	61	L	388(151)	423(190)	219(42)	196(42)	117(20)	114(22)
A	97	L	542(168)	393(152)	226(39)	195(37)	138(22)	122(24)
A	74	L	961(230)	736(235)	261(48)	232(44)	174(28)	146(26)
A	65	L	-	-	-	-	-	-
A	102	L	586(188)	462(164)	232(39)	209(41)	140(26)	119(24)
A	56	R	489(154)	443(140)	245(46)	218(43)	144(23)	139(25)
A	88	L	408(133)	336(148)	222(42)	205(32)	133(22)	121(23)
A	64	R	532(156)	471(175)	219(37)	206(39)	135(22)	127(24)
		L	517(183)	430(184)	225(44)	195(43)	135(23)	123(21)
A	76	L	405(118)	401(147)	229(42)	208(43)	136(19)	129(24)
C	15	R	-	-	-	-	-	-
		L	498(142)	434(152)	220(33)	197(35)	145(20)	128(21)
C	12	R	-	-	-	-	-	-
		L	431(141)	324(101)	224(33)	199(40)	142(22)	120(22)
Ep	14	L	345(153)	377(179)	207(36)	201(34)	124(22)	120(25)
Gr	3	L	364(119)	381(135)	224(38)	210(36)	126(23)	119(23)
Bu	61	L	348(117)	347(133)	226(44)	188(34)	139(22)	116(22)
Bu	82	L	247(82)	229(95)	215(34)	201(38)	130(23)	115(26)
Bu	94	L	-	-	-	-	-	-
Bu	11	R	241(81)	219(79)	219(36)	189(38)	120(22)	112(19)
		L	-	-	-	-	-	-
Bu	42	L	599(206)	491(217)	258(41)	212(39)	152(29)	126(22)
C	35	L	492(167)	433(139)	235(38)	216(41)	141(22)	134(24)
C	47	R	171(47)	207(67)	231(34)	213(34)	128(25)	132(19)
		L	-	-	-	-	-	-
C	50	L	476(166)	511(138)	221(39)	204(33)	135(18)	137(19)
C	14	L	494(137)	409(146)	236(36)	203(41)	137(24)	118(22)
C	45	R	331(114)	355(121)	224(38)	197(33)	126(19)	122(18)
C	32	L	449(139)	382(150)	219(36)	200(35)	143(23)	131(21)

						Korrelationskoeffizient			
						<u>Zelllänge</u> <u>Zellbreite</u>		<u>Kernlänge</u> <u>Kernbreite</u>	
						lat.	med.	lat.	med.
						r	r	r	r
		Nz-kernlänge		Nz-kernbreite					
		lateral	medial	lateral	medial				
		10 ⁻¹ um		10 ⁻¹ um					
A	100 R	112(22)	103(18)	73(13)	69(13)	-0,117	0,196	-0,070	0,243
A	58 R	139(32)	130(27)	91(19)	84(18)	0,172	0,310	0,286	0,354
	L	126(22)	117(19)	82(17)	81(13)	0,132	-0,007	0,149	-0,023
A	85 L	125(16)	118(22)	97(13)	83(15)	0,047	0,224	0,185	0,399
A	77 L	109(15)	106(17)	72(13)	72(13)	-0,378	0,081	-0,178	-0,005
A	61 L	115(14)	116(14)	79(15)	81(17)	-0,290	0,242	-0,025	0,253
A	97 L	117(12)	110(12)	93(14)	81(14)	0,044	0,067	0,742	0,268
A	74 L	135(12)	131(16)	116(12)	102(16)	0,228	0,094	0,328	0,002
A	65 L	-	-	-	-	-	-	-	-
A	102 L	126(16)	118(17)	93(14)	85(14)	-0,005	0,201	-0,022	-0,009
A	56 R	121(16)	114(17)	87(11)	85(12)	0,071	0,174	0,162	0,065
A	88 L	113(16)	109(17)	82(12)	75(14)	0,028	0,205	0,066	0,166
A	64 R	120(14)	114(16)	91(13)	87(15)	0,011	0,110	-0,040	0,302
	L	120(17)	113(17)	90(14)	83(15)	-0,227	0,206	0,033	0,396
A	76 L	110(16)	111(15)	83(10)	82(12)	-0,074	0,221	-0,004	0,217
C	15 R	114(13)	115(16)	90(11)	84(11)	-0,055	0,194	0,144	0,237
C	12 R	114(13)	107(15)	85(12)	75(10)	0,101	0,122	0,153	-0,020
Ep	14 L	110(18)	114(17)	75(14)	77(15)	0,094	0,137	0,274	0,359
Gr	3 L	118(18)	114(16)	76(11)	79(12)	-0,029	0,278	-0,038	0,161
Bu	61 L	114(16)	108(15)	76(12)	77(11)	-0,009	0,155	-0,059	0,368
Bu	82 L	99(12)	102(17)	68(10)	64(12)	0,003	0,246	-0,036	0,010
Bu	94 L	-	-	-	-	-	-	-	-
Bu	11 R	100(16)	99(14)	67(10)	64(10)	-0,041	0,059	-0,147	-0,194
	L	-	-	-	-	-	-	-	-
Bu	42 L	129(14)	123(18)	93(15)	86(15)	0,132	0,314	0,155	0,270
C	35 L	120(17)	115(15)	87(13)	84(11)	-0,059	0,187	-0,040	0,292
C	47 R	85(13)	89(12)	62(07)	66(09)	-0,113	-0,078	-0,132	0,224
	L	-	-	-	-	-	-	-	-
C	50 L	116(22)	120(16)	86(15)	90(10)	-0,022	0,156	0,165	0,071
C	14 L	126(16)	115(16)	86(12)	81(12)	-0,217	0,094	-0,128	0,214
C	45 R	110(15)	108(14)	75(11)	78(12)	-0,166	0,163	0,123	0,179
C	32 L	112(13)	109(16)	86(11)	80(12)	-0,032	0,126	-0,213	0,418