

Aus dem C.u.O. Vogt Institut für Hirnforschung

Heinrich Heine Universität Düsseldorf

Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. med. Karl Zilles

**Vergleichende Untersuchungen zu den Kerngebieten
visueller, somatosensorischer, auditorischer und
motorischer Bahnen bei verschiedenen Hühnerrassen**

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

Der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität

Düsseldorf

vorgelegt von Maria Perko

2006

Als Inauguraldissertation gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez. : Universitätsprofessor Dr. med. Dr. rer. Nat. Bern Nürnberg, Dekan

Referent : Universitätsprofessor Dr. rer. nat. Gerd Rekämper

Korreferent: Universitätsprofessor Dr. Hartmut Greven

Inhaltsverzeichnis:

1.	EINLEITUNG	4
2.	MATERIAL UND METHODEN	7
2.1.	Herkunft des Materials	7
2.2.	Körpergewichtsbestimmung	8
2.3.	Perfusion	8
2.4.	Hirngewichts- und Frischhirnvolumenbestimmung	8
2.5.	Histologie	9
2.6.	Volumenbestimmung	9
2.7.	Korrekturfaktor	10
2.8.	Allometrie	10
2.9.	Progressions- bzw. Regressionsindices	11
2.10.	Statistik	12
3.	ERGEBNISSE	15
3.1.	Das visuelle System	16
3.1.1.	Neuronale Verknüpfungen.....	16
3.1.2.	Topographie, Histologie, Abgrenzungskriterien	17
3.1.3.	Quantitative Befunde	18
3.2.	Das somatosensorische bzw. mechanorezeptive System	19
3.2.1.	Anatomischer Aufbau und neuronale Verknüpfungen.....	19
3.2.2.	Topographie, Histologie und Abgrenzungskriterien	21
3.2.3.	Quantitative Befunde	23
3.3.	Das auditorische System	24
3.3.1.	Anatomischer Aufbau und neuronale Verknüpfungen.....	24
3.3.2.	Histologie. Abgrenzungskriterien	25
3.3.3.	Quantitative Befunde	28
3.4.	Die motorischen Kerngebiete	30
3.4.1.	Neuronale Verknüpfungen.....	30
3.4.2.	Topographie, Histologie, Abgrenzungskriterien	33
3.4.3.	Quantitative Befunde	37
4.	DISKUSSION	40
4.1.	Das visuelle System	40
4.2.	Das somatosensorische System - Mechanorezeption	43
4.3.	Das auditorische System	50
4.4.	Die motorischen Kerngebiete	56
5.	ZUSAMMENFASSUNG	63
6.	LITERATUR	64
ANHANG:		
	Schemata 1 – 7	70
	Bilder 1 – 20	77
	Tabellen 1 – 9	97
	Abbildungen 1 – 26	108
	Abkürzungen	134

1. EINLEITUNG

Die Überlebenschancen jedes einzelnen Lebewesens werden durch das Ausmaß seiner Adaptation an den jeweiligen Lebensraum bestimmt, also nicht zuletzt durch seine Kommunikationsfähigkeit mit seiner Umwelt, d.h. durch sein Vermögen, die relevanten Signale und Reize aus der Umgebung wahrzunehmen und mit einer adäquaten kognitiven und motorischen Reaktion zu antworten.

Somit stehen die Fähigkeiten eines Lebewesens, sich in seiner Umwelt zu behaupten, in direktem Zusammenhang mit der Leistungskapazität seines zentralen Nervensystems, vor allem aber des Gehirns als zentraler Verarbeitungsstelle des Kommunikationsapparates mit der äußeren Umgebung.

Als Maß für die funktionelle Leistungsfähigkeit des Gehirns und seiner Strukturen werden zwei Aspekte der Entfaltung diskutiert: die Größe und die Differenzierung. Da die beiden Aspekte nach Stephan et al. (1986) ^[70] einer voneinander unabhängigen aber in der Regel gleichgerichteten Entwicklung unterliegen, kann auch allein die Größe bzw. das Volumen des Gehirns oder seiner Strukturen als Leistungsparameter angesehen werden.

Nach dieser Betrachtung wäre es also für jedes Individuum von Vorteil, über ein möglichst großes Gehirn zu verfügen. Andererseits wirken die energetischen Gesichtspunkte einer unkontrollierten Massen- bzw. Volumenzunahme des Gehirns limitierend entgegen. Die Energieversorgung der Gehirnmasse ist im Verhältnis zu anderen Körperorganen enorm aufwändig. Das Gehirn, das in der Regel nur ein paar Promille bis zu wenigen Prozenten des jeweiligen Körpergewichtes ausmacht, benötigt, größenabhängig, bis zu einem Fünftel des gesamten Glucose- und Sauerstoffbedarfs eines Organismus ^[33, 23].

So ist es als eine natürliche Optimierung anzusehen, dass im Gehirn jedes Lebewesens bestimmte Umbauvorgänge stattfinden, die eine Größenzunahme der für es relevanten, d.h. in dem jeweiligen Lebensraum benötigten und die Reduktion der weniger benötigten Strukturen zur Folge haben.

Dieses Phänomen der Anpassungsfähigkeit des Gehirns an die durch die Umwelt definierten Anforderungen wird als Plastizität bezeichnet. Sie lässt sich beobachten bei den verschiedenen Spezies, die unter spezifischen natürlichen, ökologischen Bedingungen ein jeweils der ökologischen Nische angepasstes Gehirn aufweisen.

Auch in der Domestikation ist ein evolutiver Wandel in der Gehirnentwicklung zwischen den wildlebenden Stammarten und deren domestizierten Abkömmlingen zu verzeichnen ^[18, 19, 33, 56].

Die durch den Übergang in den Hausstand des Menschen erheblich veränderten Lebens- und Auslesebedingungen der Haustiere führten zu einer Reihe von adaptiven Umformungen bei den jeweiligen Arten. Abgesehen von äußeren Erscheinungsmerkmalen werden bei den Zuchttieren auch die vom Gehirn gesteuerten Funktionen wie Physiologie, Verhaltensmuster und Ansprüche weitgehend beeinflusst. Folglich zeigen die vergleichenden Untersuchungen der Domestikationsfor-

schung ein breites Spektrum von Unterschieden in der Gehirngröße und -zusammensetzung zwischen Wild- und Haustieren.

Bei den untersuchten Tierarten ist eine bis zu 30-prozentige Verringerung der Gehirnmasse bei den domestizierten Tieren gegenüber ihren in der freien Wildbahn lebenden Artgenossen zu beobachten (Herre & Röhrs 1990) ^[33]. Das Ausmaß der Hirngewichtsabnahme ist unabhängig vom Körpergewicht, zeigt aber eine gewisse Beziehung zum Encephalisationsniveau der Wildarten.

Die einzelnen Hirnteile und Funktionssysteme erfahren dabei recht unterschiedliche Veränderungen. Von quantitativer Reduktion scheinen insbesondere diejenigen Regionen des Gehirns betroffen zu sein, die das Verhalten steuern und die Sinneseindrücke verarbeiten, wogegen die motorischen und vegetativen Anteile im Vergleich zum Gesamthirn geringer reduziert sind ^[55].

Dies ist nicht als Degeneration zu bewerten, sondern als Adaptation an die veränderten Bedingungen im Hausstand.

Die im Rahmen der Domestikation vorangetriebene Herausbildung unterschiedlicher Rassen, die aus zoologischer Sicht mit Unterarten vergleichbar sind, stellt ebenfalls ein biologisches Korrelat der Adaptation an die gegebenen Lebensbedingungen und Anforderungen dar. Das biologische Potential der Stammarten, die natürliche Auslese und vor allem die in Abhängigkeit von Zuchtzielen vom Menschen betriebene Zuchtwahl bilden, vielfältig ineinander greifend, ein sehr detailliert definiertes Selektionsraster.

So ist anzunehmen, dass der Prozess der Rassenbildung neben den äußerlichen Variationen auch entsprechende, im Sinne der optimalen Anpassung an die Selektionskriterien, rassespezifische Veränderungen im ZNS zur Folge hat.

Dass zwischen den Rassen Unterschiede in der Ausprägung der Gehirnstrukturen bestehen, konnte u.a. von Rehkämper et al. ^[55] und Frahm und Rehkämper ^[23] nachgewiesen werden.

In der vorliegenden Arbeit soll der Frage nach rassebedingten Differenzen in Größenrepräsentation bestimmter, funktionell zusammenhängender Hirnareale am Beispiel des Haushuhns nachgegangen werden.

Das Huhn erscheint für diese Fragestellung aus zweierlei Gründen als besonders geeignet: zum einen wegen seiner - im Vergleich zu anderen Haustieren - langen Domestikationsgeschichte, zum anderen wegen der Rassenvielfalt.

Die Hühner wurden vor etwa 4500 Jahren im Indusgebiet und im südlichen China domestiziert. Zu den ältesten Haushuhnrasen gehören die Zierhühner - u.a. die Chabos und die Seidenhühner - die wegen ihrer äußerlichen Besonderheiten wie Größe, Farbe und Form von den Menschen gehalten wurden und die Kampfhuhnrasen - hierzu zählen die Shamo- Kampfhühner, die sich durch besondere Kampffähigkeit und Kampfeslust auszeichnen.

Die Zucht der Wirtschaftsrassen hat sich dagegen erst Ende des 19. Jahrhunderts etabliert. Die nützlichen physiologischen Eigenschaften wie eine besonders hohe Legeleistung oder ein vorteilhaftes Mastverhalten stehen als wirtschaftliche Aspekte im 20. Jahrhundert im Vordergrund der Haushuhnzucht (Herre & Röhrs 1990) ^[33].

Der Zuchtvorgang hat eine Mannigfaltigkeit an Hühnerrassen hervorgebracht. Die breite Palette reicht von schweren asiatischen Hühnern über Kämpfer- und Hahnenhühner bis zu Zier- und Zwerghühnern, mit rassespezifischen Unterschieden in der äußeren Ausgestaltung und in den sozialen und physiologischen Verhaltensweisen ^[21, 64].

Das Empfinden des Umfeldes wird in jedem Organismus über die entsprechenden Systeme für die sechs Sinnesmodalitäten realisiert, denen auf der anatomischen Ebene spezifische Reizeempfänger (Rezeptoren), Erregungsleitungsbahnen und Verarbeitungszentren (Kerngebiete) zugeordnet sind. Die letzteren sind im zentralen Nervensystem, genauer im Gehirn, lokalisiert.

Diese Studie, in der die Gehirnpräparate von Hühnern fünf verschiedener Rassen in Bezug auf volumetrische Zusammensetzung funktioneller Systeme - zuständig für einzelne Sinnesmodalitäten - untersucht wurden, soll feststellen, inwiefern die rassespezifischen Domestikationsmerkmale eine plastische Auswirkung auf die betroffenen Verarbeitungszentren im Gehirn haben.

2. MATERIAL UND METHODEN

2.1. Herkunft des Materials

Das dieser Arbeit zugrunde liegende Material stammt überwiegend aus der Sammlung des C. u. O. Vogt Instituts für Hirnforschung der Universität Düsseldorf. Ein Teil des Materials (drei Schnittserien) wurde dem Institut von Herrn Dr. Ebinger, Institut für Zoologie der Tierärztlichen Hochschule Hannover überlassen.

Die unter 2.2 – 2.5 vorgestellten Arbeitsschritte waren zu Beginn der Untersuchung abgeschlossen und wurden hier nur referiert.

Es wurden insgesamt 29 Hühnergehirne von 5 Rassen untersucht (11 Chabo, 8 Seidenhühner, 4 Krüper, 1 Shamo und 5 Brahma). Bei der Auswahl der Rassen wurde auf ein möglichst breites Spektrum des Körpergewichtes geachtet. Alle Tiere wurden unter vergleichbaren Bedingungen gehalten und wiesen bis zum Zeitpunkt der Perfusion keinerlei Auffälligkeiten auf. Sie waren alle adult, soweit äußerlich sichtbar gesund und weder extrem verfettet noch abgemagert.

Die in den Beschreibungen der Hirnstrukturen verwendete Nomenklatur lehnt sich an "A stereotaxic atlas of the brain of the pigeon " von Karten und Hodos (1967)^[45] und den Atlas "The chicken telencephalon, diencephalon and mesencephalon in stereotaxic coordinates" von v.Tienhoven und Juhasz (1962)^[74]. Die beiden Atlanten wurden ebenfalls als Orientierungshilfe beim Auffinden der jeweiligen Strukturen verwendet.

Definitionsgemäß zählen zu dem jeweiligen System nur die Hirngebiete, die ausschließlich einen unimodalen, also einer Sinnesqualität zuzuordnenden Eingang empfangen. Abgegrenzt und vermessen wurden, mit Ausnahme des Tractus opticus, nur die Kerngebiete funktioneller Systeme in der Annahme, dass die Projektions- und Assoziationsbahnen in direkt proportionalem Verhältnis zu den Kernzentren stehen.

Folgende Gebiete mit den im weiteren Text verwendeten Abkürzungen waren Gegenstand der Untersuchung:

Sehbahn:

- ◆ Tractus opticus (TrO)
- ◆ Tectum opticum, (TeO)
- ◆ Nucleus rotundus (Rt)

Hörbahn:

- ◆ Nucleus angularis (An)
- ◆ Nucleus magnocellularis (Mc)
- ◆ Nucleus laminaris (La)
- ◆ Nucleus olivaris superior (OS)
- ◆ Nucleus mesencephalicus lateralis, pars dorsalis (Mld)
- ◆ Nucleus ovoidalis (OV)

Somatosensorik:

- ◆ Nuclei cuneatus et gracilis (CG)
- ◆ Nucleus sensorius principalis nervi trigemini (pr V)
- ◆ Nucleus basalis (NB)

Motorik:

- ◆ Palaeostriata augmentatum (Pa) und primitivum (Pp)
- ◆ Nucleus nervi hypoglossi (N XII)
- ◆ Nucleus intermedius (IM)
- ◆ Nuclei nervi glossopharyngei et motorius nervi vagi (N IX/X)
- ◆ Nuclei nervi oculomotorii (OM) et trochlearis et Nucleus Edinger Westphal (N III/IV/EW)
- ◆ Nucleus ruber (Ru)
- ◆ Nucleus olivaris inferior (OI)
- ◆ Cerebellum (Cb)

2.2. Körpergewichtsbestimmung

Die Gewichtsbestimmung der Tiere erfolgte mit einer Mettler PE 360 Digitalwaage. Das Gewicht wird in Gramm mit einer Stelle hinter dem Komma angegeben.

2.3. Perfusion

Nach vorheriger Infusion einer Überdosis Nembutal wurde den Tieren der Brustkorb eröffnet und das Herz freipräpariert. Nach Perforation des rechten Vorhofs erfolgte mittels einer in der linken Herzkammer oder in der Aorta platzierten Kanüle eine transkardiale Durchspülung des Blutgefäßsystems mit physiologischer Kochsalzlösung und anschließend die Perfusion mit entweder Bouinscher oder Bodianscher Lösung. Bei 4 Brahma-Hühnern wurde das Gehirn nicht perfundiert, sondern frisch entnommen (s. auch Tabelle 1).

2.4. Hirngewichts- und Frischhirnvolumenbestimmung

Unmittelbar nach der Perfusion wurde der Kopf abgesetzt. Nachdem die Haut und die Muskulatur abpräpariert wurden, erfolgte eine vom Foramen magnum ausgehende Eröffnung und Abtragung der Schädelbasis und Freipräparation des Gehirns. Bei diesem Vorgehen ist gewährleistet, dass die ein- und austretenden Nerven an definierten Stellen abgesetzt werden und nicht bei der Freilegung abreißen. Anschließend wurden die Hirnhäute entfernt und die freie Fixierlösung abgeputft.

Die Abtrennung der beiden Nervi optici erfolgte auf der Höhe des Chiasma opticum und zwar so, dass die verbleibenden Stümpfe gleich lang wie breit waren. Nach dem gleichen Prinzip wurde auch das Rückenmark von der Medulla oblongata abgetrennt. Unmittelbar danach wurde das Gewicht des Gehirns bestimmt. Der gemessene Wert entspricht nach Stephan (1960)^[69] dem Frischgewicht. Um eine aufwändige und wenig präzise Frischhirnvolumenmessung zu vermeiden, wurde das Frischvolumen (HV_f) errechnet, indem das Frischgewicht (HG_f) durch das spezifische Hirngewicht $\rho = 1.036 \text{ g/cm}^3$ (nach Stephan, 1960^[69]) dividiert wird:

$$HV_f = \frac{HG_f}{\rho}$$

Es wurde davon ausgegangen, dass das spezifische Hirngewicht beim Vogel- wie Säugerhirn identisch ist.

2.5. Histologie

Die Gehirne wurden unmittelbar nach dem Wiegen in 70-prozentigem Alkohol vorübergehend gelagert. Nach Entwässerung und Einbettung in Paraffin wurden von allen Gehirnen komplette Transversalschnittserien mit einer Schnittdicke $d = 20 \mu\text{m}$ angefertigt. Aus den kompletten Schnittserien wurden dann mehrere Parallelserien erstellt indem, jeweils versetzt, nur jeder x . Schnitt aufgezogen wurde. Der Abstand zwischen den Schnittebenen einer Parallelserie wird als Frequenz f bezeichnet.

Die Parallelserien der einzelnen Gehirne wurden anschließend nach unterschiedlichen Verfahren gefärbt. Die Nervenzellen wurden nach Nissl mit Cresylechtviolett angefärbt (Romeis, 1968^[62]). Bei Parallelschnitten wurden die Zellkörper nach Merker-Verfahren versilbert und die myelinisierten Nervenfasern mit Gallyas-Versilberung dargestellt (Gallyas, 1971^[26], Merker, 1983^[52]). Die in den histologischen Schilderungen gemachten Angaben bezüglich der Perikaryagröße sind als ein ungefähres Maß zu betrachten: die etwa $10 \mu\text{m}$ großen Perikarya werden als klein eingestuft, die um $20 \mu\text{m}$ als mittelgroß und die um $30 \mu\text{m}$ als groß angesehen.

2.6. Volumenbestimmung

Für jedes Kerngebiet und den Tractus opticus wurde nach festgelegten Abgrenzungskriterien mit Hilfe einer Camera lucida dessen Umfang bei einer bestimmten Vergrößerung auf Papier projiziert und abgezeichnet.

Der Maßstab wurde in Abhängigkeit von der Kerngröße und Tractusgröße ausgewählt.

Die Schnittfrequenz wurde für jeden Kern so festgelegt, dass bei der Berechnung der Gesamtfläche mindestens sechs Schnittebenen zur Verfügung standen, die das jeweilige Gebiet in seiner rostrokaudalen Längenausdehnung in gleichmäßi-

gen Abständen bedecken.

Somit wurde die Voraussetzung für die Anwendung der Rechteckmethode erfüllt, die nach Zilles et al. (1982) ^[82] eine Mindestanzahl von sechs Schnitten zur Berechnung von regelmäßig begrenzten Körpern benötigt, um einen maximalen Volumenfehler von 5% nicht zu überschreiten.

Durch die Umfahrung der so angefertigten Umriss wurden dann, bei der auf die Vergrößerung der Camera lucida abgestimmten Kalibrierung, auf einem Digitizer-Tablett (Jandelscan-System) die Flächen a_i der Transversalschnittebenen der Kerne bzw. des Tractus opticus ermittelt. Bei bekannter Schnittfrequenz f und bekannter Schnittdicke d lässt sich das Kernvolumen V_k nach der Formel

$$V_k = \sum a_i * d * f$$

berechnen.

Bei dieser Arbeit variiert die Anzahl der gezeichneten Schnitte je nach Kerngebiet und Tier. Sie ist jedoch immer ≥ 6 .

2.7. Korrekturfaktor

Durch die histologische Aufarbeitung kommt es zu einer Schrumpfung des Gewebes, die bei der Berechnung der Frischvolumina der einzelnen Kerngebiete berücksichtigt werden muss. Um die Schnittserienvolumina auf Frischvolumina umrechnen zu können, wurde für jedes Gehirn ein Schrumpfungsfaktor ermittelt. Hierzu wurden zunächst nach dem oben beschriebenen Prinzip die Volumina der Gesamthirne in den Schnittserien vermessen und errechnet. Der Quotient aus dem errechneten Frischvolumen des Gehirns HV_f (s. Kap. 2.4.) und dem planimetrisch ermittelten Volumen aus der Schnittserie HV_s ergibt den für jedes Tier spezifischen Schrumpfungsbzw. Korrekturfaktor KF (s. Tab. 1):

$$KF = \frac{HV_f}{HV_s}.$$

Die in der Schnittserie gewonnenen Kernvolumina wurden durch die Multiplikation mit KF in die Frischvolumina umgerechnet.

2.8. Allometrie

Da die Körpergröße einen Einfluss auf das Hirnvolumen und somit auch auf dessen einzelne Kompartimente hat, muss dieses beim Vergleich unterschiedlich schwerer Tiere berücksichtigt werden. Mit Wachstum der zu innervierenden Körpermasse ist ebenfalls eine Zunahme der Gehirnmasse zu beobachten, die jedoch nicht direkt proportional zum Körpergewicht ansteigt.

Um die durch die unterschiedlichen Körpergewichte bedingten Hirngrößenänderungen adäquat zu berücksichtigen, bedient man sich der von Snell (1892) ^[68] eingeführten Allometriemethode. In diesem Vergleichsverfahren ist der Zusammenhang zwischen Körpergewicht und Gehirn- bzw. Hirnstrukturvolumen durch die folgende Allometrieformel gegeben:

$$Y = X^a * b$$

mit $Y = \text{Strukturvolumen in mm}^3$
und $X = \text{Körpergewicht in kg}$

Durch logarithmische Transformation dieser Formel wird eine lineare Abhängigkeit zwischen den beiden Größen Y und X erreicht:

$$\log Y = a * \log X + \log b$$

Die Funktion beschreibt eine Gerade, im Weiteren auch Progressions-, Regressions- oder Allometrie Gerade genannt, mit den Parametern: $a =$ die Steigung der Geraden und $\log b =$ der Schnittpunkt der Geraden mit der Ordinate.

Trägt man die errechneten Frischvolumina der einzelnen Kerngebiete in Beziehung zum Körpergewicht im doppeltlogarithmischen Koordinatensystem auf, so erhält man eine lang gestreckte Punktwolke, die sich mathematisch als Progressionsgerade nach der obigen Formel ausdrücken lässt. Die Steigung a beschreibt das Allometrieverhalten eines Merkmals (Kerns) der jeweils untersuchten Population.

2.9. Progressions- bzw. Regressionsindices

Für den Vergleich von unterschiedlichen Rassen ist zunächst die Erstellung einer für alle untersuchten Gehirne gemeinsamen Allometrie Geraden für jedes Kerngebiet erforderlich, die als Bezugsgerade bei der komparativen Analyse dient.

Zur Ermittlung der individuellen Kernindices wurde folgendes Verfahren angewandt (siehe auch Statistik):

Für jedes Individuum wurde nach der kernspezifischen Allometriegleichung das für das jeweilige Körpergewicht zu erwartende Kernvolumen errechnet. Der Quotient aus dem tatsächlich gemessenen und dem theoretisch ermittelten Volumen - der Abstand der individuellen Punkte von der Allometrie Geraden - ist als ein Index anzusehen, der angibt, um welchen Faktor sich ein Kerngebiet des jeweiligen Tiers im Vergleich zur Bezugsgruppe unterscheidet. Zwecks besserer Darstellung der Unterschiede in den Tabellen und Graphiken wurden die Ergebnisse mit 100 multipliziert. Bei einem Quotienten > 100 spricht man von einem Progressionsindex, ist er < 100 so wird er als Regressionsindex bezeichnet.

Zur Errechnung der Rassenindices wurde für jeden Kern ein Quotient aus dem geometrischen Mittel der individuellen Kernvolumina einer Rasse und dem zu erwartenden Volumen auf ein mittleres Körpergewicht bezogen gebildet (s. auch Statistik). Auch dieser Quotient wurde mit 100 multipliziert. Die Rassenindices wurden zum Vergleich der Rassen untereinander herangezogen.

2.10. Statistik

Zum Vergleich der Rassen wurden in dieser Arbeit nicht die absoluten Volumina der jeweiligen Kerne, sondern deren Progressions- bzw. Regressionsindices herangezogen. Diese Indices (I) sind somit als das beobachtete Merkmal zu verstehen

Die individuellen Indices I_i für jedes Kerngebiet und jedes Tier errechnen sich nach der Gleichung

$$I_i = \frac{Y_i}{f(X_i)} * 100$$

wobei Y_n für das tatsächlich gemessene Kernvolumen und $f(X_n)$ für das nach der Allometrieformel für ein gegebenes Körpergewicht X_n zu erwartende Kernvolumen bei dem jeweiligen Tier steht.

Nach der analogen Gleichung wurde für jede Haushuhnrasse und jedes Kerngebiet ein Rasse-Index-Mittelwert I_R errechnet.

$$I_R = \frac{\overline{Y_R}}{f(\overline{X_R})} * 100.$$

Da es sich bei den Indizes um relative Größen handelt und auch Kernvolumina und Körpergewichte relativ zueinander betrachtet werden, wurden die für jede Grundgesamtheit R (Rasse) und jede Beobachtungsreihe (Körpergewicht, Kernvolumina) die geometrischen Mittel aus den Messwerten ($\overline{X_R} = \sqrt[n]{X_1 * X_2 * \dots * X_n}$) eingesetzt. Der Wert im Nenner ist das nach Allometrieformel für den Mittelwert des Körpergewichts einer Rasse errechnete mittlere Kernvolumen.

Die Indexeinzelwerte der jeweiligen Strukturen sind in Tabellen 6 bis 9b aufgelistet. Die errechneten Indexmittelwerte der Rassen sind im Kapitel 3 bei den quantitativen Befunden zu finden.

Als Variabilitätsmaße des Merkmals, die in der vergleichenden Statistik von Bedeutung sind, wurden innerhalb einer Rasse ermittelt:

- die empirische Varianz

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_1^n \left(\frac{I_I - I_R}{100} \right)^2$$

- deren Quadratwurzel als Standardabweichung

s

- und der Variationskoeffizient

$$VK = \frac{s}{I_R} * 100.$$

Der mittlere Variationskoeffizient für die Gesamtpopulation (alle untersuchten Hühner) und ein bestimmtes Kerngebiet, der das Maß für die Abweichung jedes Einzelwertes von der Allometriegeraden ist, wird nach folgender umgeformter Gleichung gerechnet:

$$VK_G = s_G, \text{ wobei } s_G^2 = \frac{1}{n-1} \sum_n (I_I - 100)^2$$

und der Gesamtindex der Population per definitionem 100 ist.

Im Folgenden wird nur der Variationskoeffizient angegeben, da er nicht die absolute sondern die relative Streuung der Werte angibt. Somit ist er viel besser geeignet zum Vergleich der Streuung von Werten mit unterschiedlichem Mittelwert. Diese Variationskoeffizienten sind im Kapitel 3 bei den quantitativen Befunden zu finden.

Es wird angenommen, dass die in dieser Arbeit gemessenen Größen in den Rassenpopulationen einer Normalverteilung unterliegen und dort die gleiche Variabilität besitzen. Der Vergleich von zwei Rassen a und b wurde einer statistischen Überprüfung im Student's t-Test nach Linder^[50] unterworfen.

Das statistische Prüfverfahren soll ausschließen, dass der Unterschied zwischen den voneinander abweichenden Stichprobenmittelwerten zufallsbedingt ist und sogleich das Signifikanzniveau der Differenz angeben.

Die Berechnung der Signifikanzschwelle t erfolgte nach der allgemeinen Formel:

$$t = \frac{I_{Ra} - I_{Rb}}{s * 100} \sqrt{\frac{n_a * n_b}{n_a + n_b}}$$

wobei I_{Ra} und I_{Rb} die Mittelwerte des in den zu vergleichenden Grundpopulationen a und b (hier Rassen) beobachteten Merkmals I , und n_a und n_b die Anzahl der Beobachtungen symbolisieren.

Die Größe s wird als die Quadratwurzel aus den für beide Stichproben addierten Summen der Abweichungsquadrate dividiert durch die Summe der Freiheitsgrade errechnet:

$$s = \sqrt{\frac{\sum \left(\frac{I_{Ia} - I_{Ra}}{100} \right)^2 + \sum \left(\frac{I_{Ib} - I_{Rb}}{100} \right)^2}{n_a + n_b - 2}}$$

Ist der errechnete t-Wert größer als der für den entsprechenden Freiheitsgrad tabellarisch angegebene (Linder 1964, Tabelle 19.1), so liegt ein tatsächlicher Unterschied zwischen zwei Mittelwerten auf dem aus der Tabelle ablesbaren Signifikanzniveau vor.

Ist der t-Wert kleiner, so wird die Nullhypothese angenommen, die die beobachtete Differenz als höchstwahrscheinlich zufallsbedingt und somit nicht signifikant deklariert.

In Fällen der signifikanten Unterschiede sind die Ergebnisse in Abbildungen 22 bis 26 dargestellt.

3. ERGEBNISSE

Um die qualitativen und quantitativen Befunde transparent und systematisch geordnet darzustellen, wird im Folgenden eine neuroanatomische Übersicht des jeweiligen funktionellen Systems den topographischen und zytoarchitektonischen Aspekten der einzelnen untersuchten Kerngebiete vorangestellt.

Den deskriptiven Befunden schließen sich die quantitativen Ergebnisse an.

Berücksichtigt werden die Parameter a und b der Regressionsgeraden (s. Kap. 2.8.) sowie die Einzel- und Rassenmittelwerte der Kernindices (s. Kap. 2.9). Die Rassenmittelwerte der gemessenen bzw. der errechneten Größen G sind entsprechend gekennzeichnet: G_C für Chabo, G_S für Seidenhühner, G_K für Krüper, G_B für Brahma und G_{Sh} für Shamo.

Das Körpergewicht der untersuchten Tiere variierte zwischen 397.50 und 3610.00 g. Um Wiederholungen zu vermeiden, sind hier die Mittelwerte des Körpergewichts X der jeweiligen Rassenpopulationen angegeben, die im analytischen Vergleichsverfahren als Bezugsgrößen gelten. Sie wurden anhand der Tabelle 1 errechnet und betragen: $X_C = 566$ g, $X_S = 924$ g, $X_K = 1326$ g, $X_B = 3273$ g und $X_{Sh} = 2880$ g. Hierbei ist anzumerken, dass in Fällen von Artefakten die verwendeten Mittelwerte hiervon abweichen, da jeweils nur die ausgewerteten Tiere berücksichtigt wurden.

Sowohl die qualitativen als auch die quantitativen Befunde sind durch Fotografien, schematische Zeichnungen, Tabellen und Abbildung im Anhang (Kapitel 7.) entsprechend illustriert.

Die Skalierung bei den Abbildungen 1 - 21 ist jeweils so gewählt, dass das Verhältnis zwischen dem Skalenanfangs- und Skalenendwert für die X-Achse gleich dem für die Y-Achse ist. Eine Allometrie Gerade mit der Steigung 1 erscheint daher unter einem Winkel von 45° . Zudem ist dieses Verhältnis für alle Abbildungen identisch, so dass unterschiedliche Steigungen für verschiedene Kerngebiete auch optisch deutlich werden.

Die Kreuze in den Abbildungen markieren die Mittelwerte (größere Rassensymbole im Fadenkreuz) und Standardabweichungen (Kreuzfadenlänge) für die jeweiligen Rassenpopulationen.

Um die Genauigkeit des Planimetrierverfahrens festzustellen, wurden exemplarisch für einen Umriss zwölf voneinander unabhängige Messungen vorgenommen. Der Standardfehler für diese Messreihe lag bei 4.31×10^{-3} und ist damit als sehr klein anzusehen.

3.1. Das visuelle System

3.1.1. Neuronale Verknüpfungen

Schema 1

Wie bei allen Vögeln werden auch bei Hühnern die visuellen Reize über zwei Wege zu den primären visuellen Regionen im Telencephalon geleitet.

Die retinofugalen Axone ziehen zunächst gemeinsam als Nervus opticus bis zu der Ebene des Chiasma opticum. Dort kreuzen die retinalen Efferenzen jedes Auges vollständig auf die kontralaterale Seite und teilen sich anschließend in zwei massive jedoch ungleich gewichtete Leitungsstrecken: die thalamofugale und die tectofugale Bahn ^[43, 61].

Die thalamofugale Bahn projiziert auf einen Komplex von Kernen im dorsolateralen Thalamus, vor allem in den Nucleus opticus principalis thalami (OPT) als Hauptverschaltungspunkt. Die Efferenzen des Nucl. opticus principalis thalami ziehen im Fasciculus prosencephali lateralis überwiegend zum ipsilateralen aber auch zum kontralateralen visuellen Wulst - einer telencephalen, im Hyperstriatum gelegenen Formation.

Als tectofugale Bahn wird das Faserkontingent bezeichnet, das zum Mesencephalon, genauer zum Tectum opticum zieht.

Die Axone des Tractus opticus divergieren radiär an der konvexen Oberfläche des Tectums und enden an den tectalen Neuronen der ersten, v.a. aber der zweiten Hauptschicht ^[20, 43, 61].

Nach dortiger Verarbeitung und Verschaltung erreichen die meisten tectalen Efferenzen den ipsilateralen Nucleus rotundus und gelangen von da aus weiter zur telencephalen Endstation, dem Ectostriatum, einer teilweise scharf abgegrenzten Zellgruppe im Neostriatum ^[43]. Ein kleinerer Teil der tectalen Axone tritt in Verbindung mit dem Tectum opticum und dem Nucleus rotundus der kontralateralen Seite sowie mit bestimmten Regionen des Cerebellums und des Hirnstamms ^{45, 40, 61]}.

Die ectostriatalen Neurone projizieren in den periecostriatalen Zellgürtel, der ferner Efferenzen aus dem Hyperstriatum dorsale und dem Hyperstriatum accessorium erhält. Die beiden hyperstriatalen Gebiete bilden zusammen den visuellen Wulst. Über diesen Schaltkreis stehen die zwei visuellen Projektionsbahnen miteinander in Verbindung.

Da der Hauptanteil der retinalen Impulse in das Tectum projiziert, stellt die tectofugale Sehbahn bei den Vögeln die stark dominierende Komponente des visuellen Systems dar und nur die ihr zugeordneten Kerngebiete werden im Weiteren behandelt.

3.1.2. Topographie, Histologie, Abgrenzungskriterien

3.1.2.1. Tractus opticus (TrO)

Bild 2, 3 und 6

Der Tractus opticus stellt sich in histologischen Präparaten als eine basal gelegene, kräftige, perikaryenarme Faserbahn dar, die vom Chiasma opticum von ventral nach dorsal divergierend ins Tectum opticum einstrahlt.

Die Abgrenzung und Ausmessung des Tr. opticus wurde an Schnittserien durchgeführt, die in Versilberungsverfahren nach Gallyas aufgearbeitet wurden.

Die vordere Grenze des Tr. opticus wurde am deutlich erkennbaren Übergang zwischen dem Fasergeflecht des Chiasma opticum und der Parallelanordnung der Fasern des Tr. opticus gezogen. Die Abgrenzung zwischen Tractus opticus und der externen Formation des Tectums wurde nach Reperent (1973)^[61] vorgenommen.

3.1.2.2. Tectum opticum (TeO)

Bild 6 und 7

Als Tectum opticum der Vögel wird eine symmetrisch angelegte, ovale Struktur bezeichnet, die im lateralen Mesencephalon als eine beträchtliche Masse imponiert und im Vollbild das restliche Mesencephalon nach dorsal, lateral und ventral wie eine Haube bedeckt.

Der rostrale Pol des Tectum liegt etwa auf der Höhe des Nucl. praetectalis, der kaudale reicht bis an die Ebene der cerebellären Kerne.

In histologischen Präparaten wird der typische, laminäre Aufbau des Tectums deutlich. Das Schichtungsmuster wurde von mehreren Autoren beschrieben, dabei variieren die Angaben zur Anzahl der Schichten zwischen 3 und 17^[10, 11, 14, 30, 35, 61]. Durchgesetzt hat sich die Einteilung nach Huber & Crosby^[34] in die sechs Hauptschichten, auch Strata genannt. Die I. Hauptschicht, das submeningeal liegende Stratum opticum, wird bei Hühnervögeln von einem schmalen aber gut abgrenzbaren Streifen mit blass gefärbten Perikaryen gebildet. Das Stratum griseum et fibrosum superficiale, die II. Hauptschicht, zeigt bei Hühnern einen sehr hohen Differenzierungsgrad, der sich in der Unterteilung in die Laminae widerspiegelt. Weiter ventrikulwärts liegen sukzessiv das Stratum griseum centrale, Stratum album centrale, und Stratum griseum & fibrosum periventriculare.

Die Hauptschichten und Laminae haben jeweils eine charakteristische Zytoarchitektur, die sowohl in Perikaryagröße als auch Zelldichte sehr stark variiert (s. Bilder). Von der detaillierten Beschreibung der einzelnen Schichten wird hier abgesehen, da das Tectum opticum als Ganzes vermessen und ausgewertet wurde.

3.1.2.3. Nucleus rotundus (Rt)

Bild 6 und 12

Der Nucleus rotundus wurde in Anlehnung an Gasthaus ^[28] zusammen mit dem Nucl. triangularis (T) abgegrenzt, da in mehreren Schnittebenen keine eindeutige Trennung der beiden Kerne voneinander möglich war.

Der Nucleus rotundus liegt im Diencephalon, lateral im dorsalen Thalamus. Nach rostral grenzt er an den Fasciculus prosencephali lateralis (FPL), die kaudale Grenzmarke des Kerns bildet der Tractus tectothalamicus (TT). In den meisten Frontalschnitten liegt auch die medioventrale und mediodorsale Kernkontur dem Fasciculus prosencephali lateralis, die ventrale dem Tr. tectothalamicus und die dorsale dem Nucleus dorsolateralis anterior thalami, pars lateralis (DL) eng an. Nach lateral hat der Nucl. rotundus, von rostral nach kaudal betrachtet, enge topographische Beziehung zu dem Tractus opticus und dem Nucl. principalis prae-commissuralis.

Der Nucl. rotundus ist in Frontalschnitten annähernd rund, in seinen kaudalen Anteilen erscheint er ellipsoid wegen des dorsomedial anliegenden, sich zwischen den Nucl. rotundus und den Fasciculus prosencephali lateralis schiebenden Nucl. triangularis.

Charakteristisch für den Kern sind hauptsächlich große, stark gefärbte Perikarya mit randständigem Zellkern, daneben seltener schwächer gefärbte Zellen mit breitem Plasmasaum, aber auch kleine und mittelgroße Zellen, die meist schwach bis mittelstark gefärbt sind. Die Packungsdichte der großen, stark gefärbten Zelleiber ist im Nucl. rotundus nicht homogen, aber grundsätzlich gering, was als Hauptkriterium bei der Abgrenzung diente. Die zellarme Umgebung des Kerngebiets durch die Fasern des Tr. prosencephali lateralis und des Tr. tectothalamicus vereinfacht zusätzlich die Abgrenzung des Kerns.

3.1.3. Quantitative Befunde

Bei den Untersuchungen wurden vertretend für das optische System die Volumina des Tr. opticus, des Tectum opticum und des Nucl. rotundus ermittelt.

Die einzelnen Messwerte sind in der Tabelle 2 und graphisch in den Abbildungen 2 bis 4 dargestellt. Die individuellen Indices der Strukturen sind der Tabelle 6 zu entnehmen.

Für den **Tractus opticus** (s. Abbildung 2) errechnen sich folgende Volumenmittelwerte für die einzelnen Rassen: $Y_C = 57.658 \text{ mm}^3$; $Y_S = 66.824 \text{ mm}^3$; $Y_K = 74.578 \text{ mm}^3$; $Y_B = 113.516 \text{ mm}^3$; $Y_{Sh} = 96.647 \text{ mm}^3$.

Die Regressionsgerade für die gesamte untersuchte Population lässt sich ausdrücken durch die Gleichung: $\log Y = 0.368 \log X + 1.846$; mit $a = 0.368$; $b = 70.095$.

Die errechneten individuellen Indices variieren zwischen 74 und 147. Die Rassenmittelwerte der Indices betragen: $I_C = 101$; $I_S = 98$; $I_K = 96$; $I_B = 105$; $I_{Sh} = 93$.

Der mittlere Variationskoeffizient für die gesamte untersuchte Population VK_G beträgt für den Tr. opticus 0.178.

Die Regressionsgerade für das **Tectum opticum** (s. Abbildung 3) ist durch die folgende Formel gegeben: $\log Y = 0.264 \log X + 2.327$; mit $a = 0.264$; $b = 235.570$.

Die Volumenmittelwerte betragen: $Y_C = 197.328 \text{ mm}^3$; $Y_S = 239.479 \text{ mm}^3$; $Y_K = 255.994 \text{ mm}^3$; $Y_B = 329.406 \text{ mm}^3$; $Y_{Sh} = 268.210 \text{ mm}^3$.

Die individuellen Indices liegen zwischen 85 und 120. Die mittleren Indices der Rassen errechnen sich als: $I_C = 97$; $I_S = 104$; $I_K = 101$; $I_B = 102$; $I_{Sh} = 86$. Der gemeinsame Variationskoeffizient VK_G beträgt 0.098.

Für den **Nucl. rotundus** (s. Abbildung 4) lautet die Formel der Regressionsgeraden: $\log Y = 0.263 \log X + 0.880$; mit $a = 0.263$; $b = 7.578$.

Die mittleren Kernvolumina der Rassen betragen: $Y_C = 6.4105 \text{ mm}^3$; $Y_S = 7.4955 \text{ mm}^3$; $Y_K = 10.1969 \text{ mm}^3$; $Y_B = 9.7888 \text{ mm}^3$; $Y_{Sh} = 9.6071 \text{ mm}^3$.

Die Werte der individuellen Indices liegen zwischen 61 und 128 und die Index-Mittelwerte der Rassen betragen: $I_C = 98$; $I_S = 101$; $I_K = 124$; $I_B = 95$; $I_{Sh} = 96$. Der Variationskoeffizient der gesamten Population VK_G beträgt 0.172.

3.2. Das somatosensorische bzw. mechanorezeptive System

3.2.1. Anatomischer Aufbau und neuronale Verknüpfungen

Schema 2 und 3

Ähnlich wie bei anderen Vertebraten, besteht das mechanorezeptive System aus zwei Komponenten: einer spinalen, die über die Radices dorsales und die Hinterstränge die gesamte postkraniale Körperperipherie versorgt (s. Schema 2) und einer trigeminalen für die Empfindungen aus dem Bereich des Kopfes (s. Schema 3).

Die durch einen mechanischen Reiz am Körperstamm oder den Extremitäten ausgelösten Potentiale werden in den Hauptfortsätzen der ersten, im Spinalganglion liegenden Neurone fortgeleitet. Die Axone ziehen ipsilateral hirnwärts als Funiculus dorsalis zu den im Hirnstamm gelegenen Kerngebieten Nucll. cuneatus et gracilis. Dort erfolgt die Umschaltung auf die zweiten afferenten Neurone, deren Axone, in Anlehnung an Wild ^[77, 80] als Lemniscus medialis bezeichnet (sonst häufig Tractus bulbothalamicus genannt), ventromedial rostralwärts ziehen und zum größten Teil auf die Gegenseite kreuzend den Thalamus im Diencephalon erreichen. Die lemniscalen Fasern enden in zwei umschriebenen Gebieten im dorsalen Thalamus, im Nucleus dorsalis intermedius ventralis anterior (DIVA) und im kaudalen Anteil des Nucleus dorsolateralis posterior (cDLP) ^[15, 22, 77]. Die thalamofugalen Projektionen des Nucl. dorsalis intermedius ventralis anterior gelangen zuerst

im ventralen Anteil des Fasciculus prosencephali lateralis und dann wahrscheinlich innerhalb des Tractus thalamofrontalis zu den ipsilateralen telencephalen Endstationen in dem anterioren Hyperstriatum accessorium und dem Hyperstriatum intercalatus superior (HIS), das zwischen dem Hyperstriatum accessorium und dem Hyperstriatum dorsale liegt ^[15, 24, 43, 45, 77]. Die Efferenzen des Nucl. dorsolateralis posterior enden in neostriatalen Formationen des Endhirns, dem Neostriatum caudale und dem Neostriatum intermedium ^[15, 77]. Die beiden somatosensorischen Endhirnareale liegen deutlich voneinander entfernt, sind jedoch reziprok miteinander verbunden ^[77].

Im Kopfbereich dient das trigeminale System der Erregungsleitung von den Mechanorezeptoren und Propriozeptoren zum Gehirn.

Über den Nervus trigeminus, dessen Neurone - gleichzeitig die ersten Neurone der aufsteigenden trigeminalen Leitungsstrecke - im Ganglion Gasseri liegen, erreichen die Afferenzen aus dem Trigeminiusbereich den Nucleus sensorius principalis nervi trigemini (pr V) ^[1, 17, 22, 48, 73]. Darüber hinaus enden hier auch wenige mechanorezeptive Fasern aus dem Bereich der Zunge ^[78], ein kleiner aber spezifischer Faseranteil, der die somatosensorischen Impulse aus dem Bereich des Flügels führt ^[76] und die Afferenzen aus dem Nucleus descendens nervi trigemini ^[66]. In Bezug auf die zuerst erwähnten beiden Faserkontingente findet sich in der Literatur kein Hinweis über die Lage der ersten afferenten Neurone.

Das Hauptkontingent der Afferenzen des Nucl. principalis sensorius nervi trigemini stammt jedoch aus den Grandyschen und Herbstschen Körperchen des Schnabels ^[73].

Die Axone des sensorischen Trigeminus-Hauptkerns bilden den trigeminalen Lemniscus, den Tractus quintofrontalis. Sie treten hauptsächlich auf der medialen Seite des Nucleus sensorius principalis nervi trigemini aus und ziehen als ein deutlich ausgeprägtes Faserbündel rostralwärts. Zu dem Tr. quintofrontalis treten die Fasern des sensorischen Kerns des Nervus glossopharyngeus hinzu ^[16, 80].

Ein Teil der Fasern kreuzt im Tegmentum auf der Höhe des Nucl. nervi oculomotorii et trochlearis auf die Gegenseite und schließt sich dem medialen Anteil des kontralateralen Tractus quintofrontalis an.

Ohne weitere Umschaltung im Zwischenhirn, insbesondere unter Umgehung der Thalamuskerns, gelangt der Tractus im lateralen Vorderhirnbündel zu einer umschriebenen Region im basalen Telencephalon, dem Nucleus basalis - nach Rehkämper und Zilles Area Ne 1 ^[59], wobei die ipsilateralen Afferenzen in den rostralen zwei Dritteln und die kontralateralen in den kaudalen zwei Dritteln des Kerns enden ^[12, 16, 22, 48, 79, 80].

Die Efferenzen des Nucl. basalis ziehen zum peribasalen gürtelförmigen Areal des Neostriatum frontale, pars trigeminale (NFT). Diese neostriatale Region ist der Ursprung des Tractus frontoarchistriatalis, welcher im Neostriatum caudale, pars trigeminale (NCT) und Archistriatum intermedium endet.

Das Neostriatum caudale, pars trigeminale projiziert seinerseits ebenfalls in das Archistriatum intermedium ^[80].

Neostriatum caudale, pars trigeminale und Neostriatum frontale, pars trigeminale stehen über den Tractus occipitomesencephalicus in Verbindung mit der Formatio reticularis und den motorischen Zentren der Kopfmuskulatur - dem Nucl. nervi facialis und dem Nucl. motorius nervi trigemini - damit schließt sich der sensomotorische, trigeminale Leitungsbogen ^[79].

Die Informationen aus den Muskelspindeln der Schnabelmuskulatur werden nicht zum Nucl. sensorius principalis nervi trigemini, sondern zum Nucl. mesencephalicus nervi trigemini fortgeleitet ^[51].

3.2.2. Topographie, Histologie und Abgrenzungskriterien

3.2.2.1. Die Nuclei cuneatus et gracilis (CG)

Bild 10, 18 und 19

Der CG-Komplex liegt im Hirnstamm, in der kaudalen Medulla oblongata an der Grenze zum Rückenmark.

Der Nucleus gracilis erscheint als eine Gruppe von kleinen bis mittelgroßen, runden oder ovalen Perikaryen, die rostralwärts durch den Nucleus solitarius von der Mittellinie nach lateral verdrängt wird (s. Bild 18) und der sich an ihrem ventrolateralen Rand eine andere keilförmige Zellgruppe, der Nucleus cuneatus, anschließt. Die kaudal noch wegen der größeren Perikaryen des Nucleus cuneatus, voneinander zu unterscheidenden Kerne verschmelzen nach rostral zu einem Komplex (CG).

In der Längenausdehnung grenzt der säulenförmige Komplex rostral an den kaudalen Pol des Nucl. solitarius, kaudal reicht er etwa bis zu der Ebene des Nucl. commissuralis Haller.

Die Nucl. cuneatus et gracilis werden nach ventral durch ein relativ perikaryenfreies Band von der Substantia gelatinosa getrennt (s. Bild 10). Nach dorsal wird der Komplex in den meisten Abschnitten durch die Hirnstammoberfläche limitiert.

Die dorsolateralen Anteile der Nucl. cuneatus et gracilis liegen in der direkten Nachbarschaft zum Funiculus dorsalis.

Die laterale Abgrenzung des CG-Komplexes von Nucleus cuneatus externus (CE), der ihm teilweise unmittelbar anliegt (s. Bild 19), erfolgte auf Grund von größeren und stärker gefärbten Zellkernen des Nucl. cuneatus externus ^[45, 76].

3.2.2.2. Der Nucleus sensorius principalis nervi trigemini (pr V)

Bild 11

Der Nucleus sensorius principalis nervi trigemini liegt in der lateralen Peripherie des Hirnstamms, in der dorsalen Medulla oblongata ventral des Brachium conjunctivum.

Das in Transversalschnitten rundlich-ovale Gebilde, dessen Längsachse von ventrolateral nach dorsomedial verläuft, besteht aus mittelgroßen bis großen, polygonalen Perikaryen mit inhomogener Packungsdichte und unterschiedlicher Färbungsintensität.

Der vordere Pol des Nucl. sensorius principalis nervi trigemini liegt etwa auf der Höhe der Austrittsstelle des Nervus trochlearis. Nach kaudal grenzt der Kern unmittelbar an den Nucl. vestibularis superior.

In Querschnitten ist der Kern in perikaryenarme Strukturen eingebettet, die eine Art Faserkapsel bilden. Von dorsolateral ist er von dem Tractus spinocerebellaris ventralis und ventrolateral vom Fasciculus uncinatus umgeben. Die ventromediale Abgrenzung wird von dem Tractus descendens nervi trigemini und die dorsomediale vom Tractus occipitomesencephalicus gebildet. Der Fasermantel erleichtert zusätzlich die Abgrenzung des ohnehin recht prominenten Kerns.

3.2.2.3. Der Nucleus basalis (NB)

Bild 4 und 5

Der Nucleus basalis zeigt sich in histologischen Präparaten als eine schmale, in der ventro-dorsalen Ausrichtung bogenförmige Zelllage in der rostralen Hälfte der Hemisphäre. Kaudal und medial grenzt er an den palaeostriatalen Komplex, rostral und dorsal an das Neostriatum frontale und ventral wird er durch die Vorderhirngrenze selbst limitiert.

Der Nucleus basalis besteht aus kleinen (6-12 μm), runden bis ovalen Zellen mit hoher Packungsdichte^[16, 80], die den Kern, trotz relativ schwacher Anfärbung der Perikaryen, als ein im Vergleich zur Umgebung dunkleres Gebiet hervorhebt.

In Transversalschnitten wurde die Abgrenzung des Kerns nach medial und ventral durch die Lamina medullaris dorsalis und den Tractus frontoarchistriatalis vereinfacht.

Der dorsolaterale Rand des Nucl. basalis zum Neostriatum frontale ist auf Grund der unterschiedlichen Zellgröße in den beiden Strukturen festgelegt worden - die neostriatalen Neurone sind etwa doppelt so groß wie die des Nucl. basalis^[16, 80].

Die so festgelegten Kerngrenzen wurden anhand von Schnittserien in Markscheidenfärbung überprüft. In dieser Färbung erscheint der Nucl. basalis, der sehr stark von Fasern durchsetzt ist, fast schwarz.

3.2.3. Quantitative Befunde

Die Allometrieformel für den **CG-Komplex** (s. Abbildung 7) errechnet sich als $\log Y = 0.070 \log X + 0.055$; mit $a = 0.070$; $b = 1.136$.

Die Rassenmittelwerte des Komplex-Volumens betragen: $Y_C = 1.253 \text{ mm}^3$; $Y_S = 0.894 \text{ mm}^3$; $Y_K = 1.226 \text{ mm}^3$; $Y_B = 1.316 \text{ mm}^3$; $Y_{Sh} = 1.383 \text{ mm}^3$.

Entsprechend errechnen sich folgende mittlere Rassenindices: $I_C = 114$; $I_S = 79$; $I_K = 106$; $I_B = 106$; $I_{Sh} = 113$.

Der mittlere Variationskoeffizient VK_G liegt bei 0.390 bei individuellen Indexwerten von 65 bis 189.

Für den **Nucleus sensorius principalis nervi trigemini** (s. Abbildung 5) ist die Allometrie Gerade durch folgende Gleichung beschrieben:

$\log Y = 0.435 \log X - 0.114$; mit $a = 0.435$; $b = 0.770$.

Die Rassenmittelwerte auf das Volumen des Kerns bezogen betragen: $Y_C = 0.565 \text{ mm}^3$; $Y_S = 0.885 \text{ mm}^3$; $Y_K = 0.996 \text{ mm}^3$; $Y_B = 1.239 \text{ mm}^3$; $Y_{Sh} = 0.780 \text{ mm}^3$.

Damit betragen die mittleren Rassenindices: $I_C = 93$; $I_S = 114$; $I_K = 114$; $I_B = 97$; $I_{Sh} = 64$.

Die individuellen Indices liegen zwischen 70 und 144. Der Variationskoeffizient VK_G hat den Wert 0.213.

Das Volumen des Nucl. sensorius principalis nervi trigemini des Seidenhuhns Nr. 374 (in der Tabelle 3 in Klammern) wurde in der Wertung nicht berücksichtigt, da der Wert mit einer Streuung $> 2\sigma$ als nichtsystematisch fehlerhaft anzusehen ist.

Die Regressionsgerade für den **Nucl. basalis** (s. Abbildung 6) ist durch folgende Formel gegeben: $\log Y = 0.247 \log X + 0.866$; mit $a = 0.247$; $b = 7.338$.

Die Volumenmittelwerte der einzelnen Rassen betragen: $Y_C = 5.632 \text{ mm}^3$; $Y_S = 8.381 \text{ mm}^3$; $Y_K = 10.779 \text{ mm}^3$; $Y_B = 7.946 \text{ mm}^3$ und $Y_{Sh} = 10.543 \text{ mm}^3$.

Die individuellen Indices haben Werte zwischen 65 und 152. Die Mittelwerte für die Rassen errechnen sich wie folgt: $I_C = 88$; $I_S = 114$; $I_K = 137$; $I_B = 81$; $I_{Sh} = 111$. Der mittlere Variationskoeffizient VK_G beträgt 0.245.

Bei der Auswertung wurde das Volumen des Nucl. basalis des Chabo-Huhns Nr. 355 (in der Tabelle 3 in Klammern) nicht berücksichtigt, da der Wert außerhalb der 2σ -Marke als nichtsystematisch fehlerhaft anzusehen ist.

3.3. Das auditorische System

3.3.1. Anatomischer Aufbau und neuronale Verknüpfungen

Schema 4

Die akustischen Reize werden bei Vögeln von den Haarzellen des Corti-Organs und wahrscheinlich von der Macula lagenae empfangen.

Über die peripheren Fortsätze der bipolaren, ersten afferenten Neurone gelangen sie von der Cochlea entsprechend zum Ganglion cochleare und Ganglion lagenare.

Die Axone der Ganglienzellen bilden den Cochlear- beziehungsweise den Lagenarnerv. Sie treten im Ramus posterior des Nervus octavus als sein am weitesten kaudal und dorsal gelegener Anteil in die Medulla oblongata ein. Hier verzweigen sie sich in mediale und laterale Äste, die in einer geordneten räumlichen Sequenz in die primären cochlearen Nuclei, den Nucl. magnocellularis (Mc) und den Nucl. angularis (An), projizieren ^[7, 8].

Die medialen Fasern gelangen zum Nucl. magnocellularis, wobei die Fasern aus dem apikalen Drittel der Cochlea in seinem lateralen Anteil enden und die aus den mittleren und basalen zwei Dritteln in den medialen Anteil rostral projizieren.

Die lateralen Äste enden an Neuronen des Nucl. angularis. Hierbei ziehen die Efferenzen aus dem basalen Drittel der Cochlea zu der dorsokaudalen und die aus dem mittleren und apikalen Drittel zu der rostroventralen Seite des Nucl. angularis sowohl in den medialen als auch in den lateralen Teil des Kerns.

Der ventrale Teil des Nucl. angularis und der ventrolaterale Abschnitt des Nucl. magnocellularis erhalten Efferenzen aus der Macula lagenae ^[7, 8].

Die aus dem medialen Nucl. magnocellularis entspringenden Axone bilden die beiden Tractus cochleares, die den Nucl. laminaris - eine Gruppe von Neuronen 3. Ordnung - innervieren.

Die Axone der dorsal gelegenen Perikarya des Nucl. magnocellularis, pars medialis ziehen nach ventral und rostral und projizieren ipsilateral als der ungekreuzte Tractus cochlearis (CTr) in die dorsomedialen Anteile des ipsilateralen Nucl. laminaris.

Der gekreuzte Tractus cochlearis (CTrX) nimmt seinen Ursprung an den ventral gelegenen Nucl. magnocellularis - Neuronen des medialen Anteils und zieht über die Raphe hinweg zu der ventrolateralen, konvexen Seite des kontralateralen Nucl. laminaris.

Der Nucleus laminaris erhält also biaurale Afferenzen ausschließlich vom medialen Nucl. magnocellularis.

Nach Boord ^[7] gibt es keine Hinweise auf andere Projektionen von den primären cochlearen Zentren in den Nucl. laminaris.

Die efferenten Axone aus dem lateralen Teil des Nucl. magnocellularis und dem medialen Teil des Nucl. angularis (Axone 2. Ordnung) sowie ein Faserkontingent aus dem Nucl. laminaris (Axone 3. Ordnung) bilden den Trapezkörper. Sie ziehen nach ventrolateral zu der homolateralen Oliva superior, die somit die Afferenzen von allen drei Komponenten des Trapezkörpers bekommt.

Im ventralen Teil der Medulla oblongata kreuzen sie auf die kontralaterale Seite und steigen auf - nach Abgabe von Faseranteilen an die kontralaterale Oliva superior und von da an als Lemniscus lateralis bezeichnet - zu der Ebene des Mittelhirns, um schließlich an den Perikaryen des Nucl. mesencephalicus lateralis, pars dorsalis (Mld) zu enden ^[6, 7].

Nach Boord ^[7] gibt es die Vermutung, dass sich dem Lemniscus lateralis ein Teil der Fasern des gekreuzten Tractus cochlearis anschließt.

Die Nucll. mesencephalici laterales, pars dorsales beider Hemisphären stehen über eine kommissurale Bahn miteinander in Verbindung.

Im weiteren Verlauf der auditorischen Bahn projiziert der Nucl. mesencephalicus lateralis, pars dorsalis über das Brachium colliculi inferioris zum ipsilateralen Nucl. ovoidalis thalami (OV). Einige Fasern des Nucl. mesencephalicus lateralis, pars dorsalis erreichen, sich der Decussatio supraoptica dorsalis anschließend, den Nucl. ovoidalis der Gegenseite. Die meisten Axone des Nucl. ovoidalis gelangen, im Fasciculus prosencephali lateralis gebündelt, zu einer spezifisch ausdifferenzierten Region im Endhirn, dem im mediokaudalen Neostriatum gelegenen Feld L ^[5, 7], nach Rehkämper und Zilles der Area Ne 12 ^[59].

3.3.2. Histologie. Abgrenzungskriterien

3.3.2.1. Nucleus magnocellularis (Mc)

Bild 15 und 15a

Der Nucl. magnocellularis ändert seine Lage und Form je nach Schnittebene. Im rostralen Abschnitt, nahe dem Kleinhirnstiel liegt er medial in der Medulla oblongata und hat eine ovale Form, deren Hauptachse von ventromedial nach dorsolateral gerichtet ist.

Nach kaudal verschiebt sich der Kern an die dorsolaterale Oberfläche der Medulla oblongata und ist nur durch spärliche Faserzüge von deren Wand getrennt.

Er wird tropfenförmig, wobei die Längsachse nach mediolateral gerichtet ist. Die medialen Abschnitte des Nucl. magnocellularis grenzen in den meisten Schnitten unmittelbar an den medialen Vestibulariskern, dennoch ist die Abgrenzung der beiden Kerne voneinander auf Grund sehr unterschiedlicher Histologie eindeutig.

Der Nucl. magnocellularis besteht aus einem medialen Teil mit großen ovoidalen Zellen (20-25 µm), einem lateralen Teil mit Zellen gemischter Größe (18-24 µm) und einem ventrolateralen Teil mit kleineren, dicht aneinander liegenden Perikarya. Der Kern insgesamt hat die größte Packungsdichte von allen Cochleariszentren.

Die starke Färbung der Zellkerne vereinfacht zusätzlich die Abgrenzung gegen die Umgebung.

3.3.2.2. Nucleus angularis (An)

Bild 15 und 15c

Der Nucl. angularis liegt im äußeren dorsolateralen Winkel der Medulla oblongata. In der rostrokaudalen Ausdehnung erstreckt er sich von dem kaudalen Pol der Oliva superior bis einige Schnitte hinter dem Kleinhirnstiel. Rostral hat der Kern eine ovale Form, weiter kaudal nimmt er die Gestalt eines Dreiecks an, dessen Basis nach ventromedial gerichtet ist.

Der Nucl. angularis wird unterteilt in eine pars ventralis sowie eine pars medialis und lateralis auf der dorsalen Seite des Kerns.

Die beiden dorsalen Anteile enthalten bis zu 34 µm große, relativ stark gefärbte Perikarya, dabei ähnelt der mediale Teil des Nucl. angularis dem lateralen des Nucl. magnocellularis.

Die pars ventralis besteht hauptsächlich aus kleineren Zellen (8-17 µm) und zeigt eine Ähnlichkeit mit dem ventrolateralen Teil des Nucl. magnocellularis. Der Kern weist eine mittlere Packungsdichte auf.

3.3.2.3. Nucleus laminaris (La)

Bild 15 und 15b

Der kaudale Pol des Nucl. laminaris erscheint in Transversalschnitten rostral zwischen dem Nucl. angularis und dem Nucl. magnocellularis auf der Höhe, wo der laterale Teil des Nucl. magnocellularis unmittelbar an den medialen Teil des Nucl. angularis angrenzt.

Der Kern hat eine charakteristische laminäre Struktur mit einer Schicht perlen-schnurartig angeordneter, großer, polygonaler bis runder, stark gefärbter Zellkerne, die von einem zellarmen Fasergürtel umgeben ist

Die zellhaltige bogenförmige Lamelle ist bei Hühnervögeln im rostralen Anteil des Nucl. laminaris einreihig, weiter nach kaudal ist sie im lateralen Stück mehrreihig geschichtet. Die Perikarya sind dicht aneinander gereiht.

3.3.2.4. Nucleus olivaris superior (OS)

Bild 14

Der Name des Nucl. olivaris superior ist von seiner rundlichen, selten leicht ovalen Form abgeleitet. Der Kern liegt am weitesten ventral von allen akustischen Kerngebieten in der ventrolateralen Medulla oblongata, eingebettet in die Formatio reticularis. Kaudal beginnt der Nucl. olivaris superior hinter dem Nucl. nervi facialis, rostral reicht er bis an die Höhe des Nucl. nervi abducentis.

In den meisten Abschnitten wird sie durch die Fasern des Lemniscus spinalis und das Corpus trapezoideum von der ventralen Medullawand getrennt, die gleichzeitig die ventrale und laterale Grenze des Kerns bilden.

Die ventromediale Abgrenzung liegt rostral in der Nachbarschaft des ventralen Anteils des Nucl. nervi facialis. Nach dorsal schiebt sich zwischen die obere Olive und den motorischen Trigemuskern eine Zellgruppe, die dem akzessorischen Abduzenskern zuzuordnen ist.

Der Nucl. olivaris superior wird von kleinen, polygonalen bis ovalen, dicht gepackten Zellen gebildet, deren Kerne mittelstark gefärbt sind.

3.3.2.5. Nucleus mesencephalicus lateralis, pars dorsalis (Mld)

Bild 7 und 8

Der Nucl. mesencephalicus lateralis, pars dorsalis liegt im Torus semicircularis - nach Karten ^[42] der grauen Substanz des Lobus opticus - im vorderen dorsalen Hirnstamm. In seiner länglichen Ausdehnung erstreckt sich der Kern von rostral in der Höhe von der Commissura tectalis nach kaudal fast bis an die vordere Grenze des Nucl. isthmo-opticus.

In Transversalschnitten stellt er sich als eine beträchtliche Zellmasse dar, die in rostralen Anteilen ventral vom Tectum opticum und in ihrer weiteren rostrokaudalen Ausdehnung unterhalb des Ventrikels liegt und durch die periventrikulären Strata des Tectums von diesem getrennt ist. In seinem rostralen subventrikulären Anteil wölbt sich der Nucl. mesencephalicus lateralis, pars dorsalis mehr oder minder stark dorsal-convex in das Ventrikellumen vor. Die untere Wand des Ventrikels bildet die dorsale und laterale Grenze des Kerns. Der ventrale und mediale Rand dieser Zellgruppe ist rostral durch den Nucl. intercollicularis, etwas weiter kaudal durch den Nucl. mesencephalicus lateralis, pars ventralis begrenzt.

Der Nucl. mesencephalicus lateralis, pars dorsalis ist nierenförmig bis oval. Er wird durch mittelgroße, überwiegend runde, stark gefärbte Perikarya gebildet. Die Packungsdichte, am größten in der Kernmitte, nimmt zur Peripherie hin ab. In manchen Schnitten erscheint der Kern von einem einschichtigen Zellsaum aus kerneigenen Perikaryen umgeben, was die Festlegung der Kerngrenze vereinfacht.

3.3.2.6. Nucleus ovoidalis thalami (OV)

Bild 13

Der Nucl. ovoidalis wurde hier gemeinsam mit dem Nucl. semilunaris pars ovoidalis als eine Einheit abgegrenzt und vermessen, da es im vorliegenden Material nicht möglich war, eine sichere Trennung der beiden Kerne vorzunehmen.

Das Kerngebiet liegt im dorsalen Thalamus, medial des Nucl. rotundus. Der rostrale Pol des Kerns grenzt an den Fasciculus prosencephali lateralis, der kaudale an den Nucl. paramedianus internus thalami. Die dorsale Kontur des Nucl. ovoidalis grenzt in seiner rostrokaudalen Ausdehnung in folgender Sequenz an den Nucl. dorsomedialis anterior thalami und Tractus thalamostriaticus, Nucll. dorsolaterales anterior et posterior thalami und den Nucl. dorsointermedius posterior thalami.

Nach ventral ist die Kerngrenze, erneut von rostral nach kaudal gesehen, zunächst durch den Nucl. subrotundus und dann den Tractus occipitomesencephalicus gemeinsam mit dem von ihm lateral liegenden Tractus nuclei ovoidalis gegeben. Im rostralen Anteil ist der Nucl. ovoidalis in seinem medialen Aspekt durch eine dünne periventriculäre Zone von der Wand des dritten Ventrikels getrennt. Kaudal bildet der Nucl. paramedianus internus thalami die mediale Begrenzung. Die lateralen Umrisse stehen rostral in engen räumlichen Beziehung zum Tr. thalamostriaticus und Nucl. triangularis, kaudal zum Nucl. dorsolateralis posterior thalami.

Der Nucl. ovoidalis stellt sich in Transversalschnitten als eine überwiegend ellipsoide Zellgruppe dar, die von einer perikaryenarmen Zone umgeben ist. Er besteht im Wesentlichen aus mittelgroßen, stark gefärbten Perikarya mit sehr hoher Packungsdichte. Die beiden Aspekte waren die Hauptkriterien bei der Abgrenzung. Er enthält aber auch mittelgroße und kleinere Zellen, die sich mittel bis schwach anfärben lassen und ist stellenweise von zellarmen Strängen, wahrscheinlich den Fasern des Tractus nuclei ovoidalis, durchzogen.

3.3.3. Quantitative Befunde

Die Allometrie Gerade ist für den **Nucl. magnocellularis** (s. Abbildung 8) durch die Formel: $\log Y = 0.357 \log X - 0.116$; mit $a = 0.357$; $b = 0.766$ gegeben.

Die mittleren Volumenwerte für die Rassen betragen: $Y_C = 0.651 \text{ mm}^3$; $Y_S = 0.714 \text{ mm}^3$; $Y_K = 0.800 \text{ mm}^3$; $Y_B = 1.114 \text{ mm}^3$; $Y_{Sh} = 1.145 \text{ mm}^3$.

Entsprechend den individuellen Indexwerten, die zwischen 62 und 133 liegen, errechnen sich folgende mittlere Rassenindices: $I_C = 104$; $I_S = 96$; $I_K = 94$; $I_B = 98$; $I_{Sh} = 103$.

Der Variationskoeffizient VK_G beträgt für die Gesamtpopulation 0.146.

Für den **Nucl. angularis** (s. Abbildung 9) lautet die Gleichung der Allometrie Geraden: $\log Y = 0.331 \log X - 0.032$; mit $a = 0.331$; $b = 0.929$.

Aus den Messdaten ergeben sich folgende Rassenmittelwerte für das Volumen des Kerns: $Y_C = 0.837 \text{ mm}^3$; $Y_S = 0.791 \text{ mm}^3$; $Y_K = 1.050 \text{ mm}^3$; $Y_B = 1.371 \text{ mm}^3$; $Y_{Sh} = 1.260 \text{ mm}^3$.

Die individuellen Indices liegen zwischen 50 und 149. Die Indexmittelwerte für die einzelnen Rassen berechnen sich wie folgt: $I_C = 109$; $I_S = 87$; $I_K = 102$; $I_B = 102$; $I_{Sh} = 95$.

Der mittlere Variationskoeffizient VK_G beträgt 0.223.

Die Allometrie Gerade für den **Nucl. laminaris** (s. Abbildung 10) ist definiert durch die Gleichung: $\log Y = 0.406 \log X - 0.045$; mit $a = 0.406$; $b = 0.9024$.

Aus den einzelnen Kernvolumina errechnen sich folgende Rassenmittelwerte:
 $Y_C = 0.722 \text{ mm}^3$; $Y_S = 0.849 \text{ mm}^3$; $Y_K = 1.073 \text{ mm}^3$; $Y_B = 1.768 \text{ mm}^3$;
 $Y_{Sh} = 0.908 \text{ mm}^3$.

Es ergeben sich für die Rassen folgende Indexmittelwerte: $I_C = 101$; $I_S = 97$;
 $I_K = 105$; $I_B = 124$; $I_{Sh} = 66$.
Der Variationskoeffizient VK_G beträgt 0.227.

Die Progression des **Nucl. olivaris superior** (s. Abbildung 11) in Abhängigkeit vom Körpergewicht wird durch die Formel:
 $\log Y = 0.406 \log X - 0.331$; mit $a = 0.406$; $b = 0.467$ beschrieben.

Die Messdaten ergeben folgende Volumenmittelwerte für die Rassen:
 $Y_C = 0.369 \text{ mm}^3$; $Y_S = 0.449 \text{ mm}^3$; $Y_K = 0.494 \text{ mm}^3$; $Y_B = 0.830 \text{ mm}^3$;
 $Y_{Sh} = 0.708 \text{ mm}^3$.

Die Rassenmittelwerte der Indices betragen entsprechend: $I_C = 100$; $I_S = 99$;
 $I_K = 94$; $I_B = 113$; $I_{Sh} = 99$, bei einzelnen Werten zwischen 79 und 132 und einem mittleren Variationskoeffizienten VK_G von 0.151.

Für den **Nucl. mesencephalicus lateralis, pars dorsalis** (s. Abbildung 12) lautet die Formel der Allometriergeraden wie folgt:
 $\log Y = 0.458 \log X + 0.574$; mit $a = 0.458$; $b = 3.748$.

Für das mittlere Rassenvolumen des Mld gilt: $Y_C = 2.934 \text{ mm}^3$; $Y_S = 3.563 \text{ mm}^3$;
 $Y_K = 4.785 \text{ mm}^3$; $Y_{Sh} = 5.534 \text{ mm}^3$.

Die individuellen Indices liegen zwischen 68 und 157. Die Rassenindices errechnen sich als: $I_C = 100$; $I_S = 99$; $I_K = 111$; $I_{Sh} = 91$ bei einem mittleren Variationskoeffizienten VK_G von 0.227.

Die Allometriergerade für den **Nucl. ovoidalis thalami** (s. Abbildung 13) wird beschrieben durch die Formel: $\log Y = 0.153 \log X + 0.101$; mit $a = 0.153$; $b = 1.263$
Aus den Messdaten ergeben sich folgende Volumenmittelwerte für die Rassen:
 $Y_C = 1.192 \text{ mm}^3$; $Y_S = 1.157 \text{ mm}^3$; $Y_K = 1.358 \text{ mm}^3$; $Y_B = 1.556 \text{ mm}^3$;
 $Y_{Sh} = 1.622 \text{ mm}^3$.

.Die ermittelten Rassenindices betragen: $I_C = 103$; $I_S = 93$; $I_K = 103$; $I_B = 103$;
 $I_{Sh} = 109$.

Der Variationskoeffizient der individuellen Indices VK_G beträgt 0.193 bei Werten, die zwischen 68 und 129 liegen

3.4. Die motorischen Kerngebiete

3.4.1. Neuronale Verknüpfungen

Da mehrere absteigende motorische Bahnen existieren, die auf komplizierte Art miteinander verbunden und voneinander abhängig sind, wird in dieser Arbeit auf eine komplette Darstellung des extrapyramidalen motorischen Systems verzichtet. Es werden lediglich die wichtigsten neuronalen Verknüpfungen der einzelnen untersuchten Kerne besprochen.

3.4.1.1. Palaeostriatum

Das Palaeostriatum wird als telencephales Regel- und Integrationszentrum der motorischen Aktivität verstanden.

Es bekommt Afferenzen aus dem Bulbus olfactorius, aus dem lateralen und medialen Hyperstriatum ventrale sowie aus dem kaudalen Neostriatum, insbesondere aus der Area Ne 16^[59], die ihrerseits Projektionen aus allen sekundären Repräsentationsgebieten des Endhirns erhält.

Das Palaeostriatum selbst ist neben dem Archistriatum das Ursprungsgebiet der telencephalofugalen Bahnen^[59].

3.4.1.2. Cerebellum

Schema 5

Der Cortex des Cerebellum, das die Funktion des Bewegungskoordinationszentrums hat, erhält seine Afferenzen aus verschiedenen Kerngebieten des zentralen Nervensystems, unter anderem aus dem Rückenmark^[2, 3, 48], dem Nucl. olivaris inferior^[2, 3, 44, 48], dem Nucl. sensorius principalis n. trigemini^[44, 48], aus dem Lobus opticus^[48], aus den cochlearen und den cerebellären Kernen.

Die Efferenzen des cerebellären Cortex erreichen über die Purkinjefasern die Kleinhirnkerne, die bei Vögeln in zwei Gruppen, eine mediale und eine laterale, eingeteilt werden.

Zu der medialen Zellgruppe gehören der Nucl. internus (= medialis), der Nucl. intermedius (= interpositus) und der Nucl. intercalatus.

Die laterale Gruppe ist je nach Art unterschiedlich ausgebildet und setzt sich aus mehreren - bis zu fünf - Untereinheiten zusammen^[2, 3, 48].

Der mediale Kleinhirn-Kernkomplex projiziert über den Fasciculus uncinatus überwiegend nach kontralateral.

Seine Efferenzen erreichen unter anderem den Vestibulariskomplex, die Formatio reticularis, die Nucll. reticularis lateralis et gigantocellularis, die Oliva inferior und den Locus coeruleus^[2, 3, 39, 48]. Wenige Fasern enden im motorischen Trigeminuskern^[2, 3] und dem kontralateralen Nucl. ruber^[30].

Die laterale Cerebellumkerngruppe entsendet ihre Efferenzen gekreuzt via Brachium conjunctivum. Diese enden größtenteils im Nucl. ruber.

Die übrigen ziehen unter anderem zur Substantia grisea des Mesencephalons,

zum Nucl. intercollicularis, zum Thalamus, zur Formatio reticularis, zur unteren Olive und zum Rückenmark ^[2, 3, 30, 39, 48].

3.4.1.3. Nucleus ruber

Schema 6

Nach der vorliegenden Literatur erhält der Nucl. ruber über den Tractus bulbothalamicus die Afferenzen aus dem Rückenmark, genauer aus den Hinterstrangkernen Nucll. cuneatus et gracilis, und über die gekreuzten Fasern des Brachium conjunctivum überwiegend aus den medialen aber auch aus den lateralen Kleinhirnkernen ^[2, 3, 30, 39, 48].

Die überwiegende Anzahl der efferenten Fasern des Nucl. ruber zieht als Tractus rubrospinalis zum Rückenmark. Über den nach kontralateral kreuzenden Tractus rubrobulbaris entsendet der Kern einen Teil seiner Efferenzen zu dem Nucl. olivaris inferior ^[48].

3.4.1.4. Nucleus olivaris inferior

Schema 6

Die bei den Säugetieren sehr vielfältigen und komplexen neuronalen Verknüpfungen der unteren Olive mit fast allen Arealen des Gehirns sind bei Vögeln wesentlich schlechter untersucht.

Als gesichert gelten die Afferenzen vom Nucl. ruber, die sowohl afferenten als auch efferenten, gekreuzten und ungekreuzten Verbindungen mit Cerebellum und schließlich die wechselseitigen Fasern zwischen den unteren Oliven beider Seiten ^[29,31, 67].

Bei der Taube werden auch efferente Fasern zum Rückenmark beschrieben ^[38].

3.4.1.5. Nucleus nervi III/IV + E.W.

Schema 7

Die Augenmuskelkerne, der Nucl. nervi oculomotorii und der Nucl. nervi trochlearis erhalten ihre Afferenzen aus den Cochleariskernen, dem Nucleus mesencephalicus lateralis, pars dorsalis, den Nucll. praetectalis et subpraetectalis, dem Cerebellum sowie aus dem Tectum opticum ^[34, 48].

Die mono- und polysynaptischen Verbindungen mit den ipsi- und kontralateralen Vestibulariskernen bilden einen Schaltkreis für den vestibulo-okulären Reflex ^[9] (in der Zeichnung durch die Strichlinie dargestellt). Für den Okulomotoriuskern existieren zusätzlich Afferenzen aus der mesencephalen und pontinen Formatio reticularis, dem kontralateralen Nucl. nervi abducentis ^[49] sowie aus den Nucll. isthmi, die als Integrationszentren des visuellen Systems anzusehen sind ^[65].

Die efferenten Fasern des Trochleariskerns ziehen zu dem oberen, schrägen Augenmuskel der kontralateralen Seite.

Die Efferenzen des Nucl. nervi oculomotorii erreichen alle anderen äußeren Au-

genmuskeln mit Ausnahme des Musculus rectus lateralis, der von dem VI. Hirnnerven, dem Nervus abducens, innerviert wird.

Die von mehreren Autoren ^[36, 37] beschriebene histologische Unterteilung des Okulomotoriuskerns hat auch funktionelle Bedeutung: jede Untereinheit entsendet efferente Fasern zu einem bestimmten Augenmuskel (s. Schema).

Der parasympathische Nucl. oculomotorius accessorius Edinger-Westphal bekommt die Afferenzen aus dem Nucleus mesencephalicus lateralis, pars dorsalis und den Nucll. praetectalis et subpraetectalis, aus dem Tectum opticum, aus der Retina, dem Nucl. suprachiasmaticus und der Formatio reticularis mesencephali der Gegenseite ^[27, 65].

Die efferenten parasympathischen Fasern des Edinger-Westphal-Kerns innervieren die inneren Augenmuskeln: den der Akkomodation zugeordneten Musculus ciliaris und den die Pupille konstringierenden Musculus sphincter iridis. Ferner erreichen die Efferenzen des Kerns die glatte Muskulatur der ChoriokapillargefäÙe und nehmen darüber Einfluss auf die Perfusion der Choroidea ^[60].

3.4.1.6. Nucleus nervi IX/X

Die in dieser Arbeit als Glossopharyngeus-Vagus-Komplex vermessene Perikaryenansammlung ist das Ursprungsgebiet von visceralen parasympathischen Fasern, die zu Larynx, Pharynx, Ösophagus, Herz, Lunge und oberem Mediastinum ziehen ^[75].

3.4.1.7. Nucleus nervi XII et Nucleus intermedius

Dem mehrfach als Ursprungsgebiet des Nervus hypoglossus betrachteten und folglich als Nucleus nervi hypoglossi bezeichneten Kern wurde erstmals von Wild ^[75] sein tatsächliches Innervationsgebiet zugeordnet.

Die efferenten Fasern des Nucl. nervi XII ziehen zur Muskulatur der Halsregion, welche bei den Säugetieren von dem ersten Cervicalsegment innerviert wird.

Der Nucleus intermedius, der bei den Vögeln als eigentlicher Hypoglossuskern anzusehen ist, wird nach Wild ^[75] auf Grund von unterschiedlichen Efferenzstrecken, in zwei ungleich große Einheiten unterteilt: das etwas lateral gelegene rostrale Drittel, die pars lingualis, innerviert über den N. hypoglossus die Zungenmuskulatur; die mehr medial liegenden kaudalen zwei Drittel, die pars tracheosyringalis, entsendet die efferenten Fasern zu den Muskeln der Trachea und der Syrinx, dem Stimmbildungsorgan der Vögel ^[75].

Die pars tracheosyringalis des Nucl. intermedius steht über die afferenten und efferenten Fasern in direkter Verbindung mit dem dorsalen Archistriatum.

3.4.2. Topographie, Histologie, Abgrenzungskriterien

3.4.2.1. Palaeostriatum (P)

Bild 1, 3 und 4

Der palaeostriatale Komplex stellt eine inhomogene Zellansammlung im basalen Telencephalon dar.

In den rostralen Anteilen ist das Palaeostriatum nach dorsal und lateral über die Lamina medullaris dorsalis zum Neostriatum hin begrenzt. Auf der Ebene des Nucl. basalis lagert sich an den lateralen Rand des Gebietes zunächst der Tractus fronto-archistriatalis und in der weiteren Ausdehnung nach kaudal das Archistriatum an.

Nach kaudal grenzt es an das Diencephalon und wird durch verschiedene Fasersysteme - je nach Transversalebene durch die Commissura anterior, Fasciculus prosencephali lateralis, Tractus septomesencephalicus - und durch den Seitenventrikel von den thalamischen Kernen getrennt.

Die ventrale Gebietsgrenze ist durch die Endhirngrenze gegeben.

Der Komplex besteht im Wesentlichen aus zwei Hauptkernen: dem Palaeostriatum primitivum (Pp) und dem Palaeostriatum augmentatum (Pa).

Für das Palaeostriatum primitivum sind große, gut anfärbare Perikarya von lockerer Packungsdichte charakteristisch. Das Palaeostriatum augmentatum ist sehr heterogen in Bezug auf die Zellgröße, insgesamt jedoch sind die Zelleiber kleiner und sehr viel dichter gepackt als im Palaeostriatum primitivum.

Die Abgrenzung des Gesamtgebietes war durch die Lamina medullaris dorsalis und die o. g. zellarmen Bahnstrukturen vereinfacht.

3.4.2.2. Cerebellum (Cb)

Bild 7, 8 und 19

Bei den Hühnervögeln reichen die Kleinhirnkerne rostral von der Höhe des vorderen Randes des Nucl. principalis sensorius nervi trigemini bis kaudal zur Ebene des Nucl. olivaris superior.

Die rostralen Anteile, von der medialen Kerngruppe gebildet, liegen als nahezu runde Formationen beidseits dem Ventrikel an. Weiter kaudal, unter Mitbeteiligung der lateralen Kleinhirnkerne, nimmt die Perikaryenansammlung eine längliche, schräg von medial nach lateral ausgezogene Form an.

Der hintere Pol der Cerebellumkerne verschmilzt schließlich histologisch mit dem Vestibulariskomplex, so dass die Abgrenzung der beiden Kerngebiete, die gleichzeitig die Grenze zwischen Cerebellum und Hirnstamm bedeutet, unter Festlegung einer hypothetischen Trennlinie erfolgen musste. Die Grenzlinie wurde stets als eine Gerade zwischen der Cerebellumrinde und dem Ventriculus gezogen.

Morphologisch bestehen die medialen und lateralen Kleinhirngruppen aus kleinen bis mittelgroßen, relativ schwach gefärbten Perikarya, wobei die Zellkerne des medialen Komplexes etwas größer sind als die des lateralen.

Die Cerebellumkerne sind, bis auf die ventrolaterale Cerebellum - Vestibularis - Grenze, in faserreiche und perikaryenarme Strukturen eingebettet.

In dieser Arbeit wurde das gesamte Cerebellum volumetrisch erfasst.

3.4.2.3. Nucleus ruber (Ru)

Bild 8 und 9

Der Nucl. ruber liegt im vorderen Hirnstamm als eine symmetrisch angelegte, rund-ovale Zellgruppe und stellt einen besonders ausdifferenzierten Anteil der ventralen Formatio reticularis dar.

Sein rostraler Pol befindet sich bei Hühnervögeln etwa auf der Höhe der Commissura posterior. Die Fasern des Nervus oculomotorius bilden die kaudale Begrenzung des Kerns.

In Transversalschnitten erscheint der Kern mittig im medialen Mesencephalon, partiell sehr nahe der Mittellinie.

Die dorsokaudale Grenze des Nucl. ruber tritt in eine enge topographische Beziehung zum ventralen Oculomotoriuskern. Laterale und ventrale Kontur grenzen in der gesamten rostrokaudalen Ausdehnung an die kleinzellige Struktur der Formatio reticularis.

Der Nucleus ruber besteht aus großen, stark gefärbten, multipolaren Perikarya, deren Form rund bis polygonal ist.

Die Zellkerngröße und die Packungsdichte, die von peripher nach zentral zunimmt, jedoch insgesamt sehr gering ist, dienen als Abgrenzungskriterien für das Kerngebiet.

3.4.2.4. Nucleus olivaris inferior (OI)

Bild 20

Der Nucl. olivaris inferior erstreckt sich bei Hühnern über fast den gesamten kaudalen Anteil der Medulla oblongata, von ihrer ventralen Wand lediglich durch die Fasern des Lemniscus medialis und des Lemniscus spinalis getrennt.

Mit seinem rostralen Ende grenzt der Kern medial an die Nucll. raphe. Im übrigen Verlauf ist der Kern medial, lateral und dorsal in die medulläre Formatio reticularis eingebettet.

In Frontalschnitten hat der Nucl. olivaris inferior eine sehr unregelmäßige Form, die rostral ovoidal ist und weiter kaudal an ein gewundenes, nach ventral konkaves Band erinnert.

In dem Kern werden auf Grund der Histomorphologie zwei Lamellen unterschieden: eine ventrale und eine dorsale; in beiden Lamellen lassen sich weitere, detailierte Unterteilungen vornehmen.

Der rostrale Anteil des Nucl. olivaris inferior, der von der ventralen Lamelle gebil-

det wird, reicht bis an die hinteren Anteile der Nucll. nn. IX/X. Der kaudale, der aus den Perikarya der dorsalen Lamelle besteht, liegt nahe dem Übergang der Medulla ins Rückenmark.

Die untere Olive besteht bei Hühnervögeln aus kleinen runden Perikaryen, die sich mittelstark bis stark anfärben lassen.

3.4.2.5. Nucleus nervi oculomotorii et trochlearis (N III/IV) und Nucleus accessorius nervi oculomotorii Edinger-Westphal (EW)

Bild 7 und 16

Der Nucleus nervi oculomotorii et nervi trochlearis und der Nucleus accessorius nervi oculomotorii Edinger-Westphal wurden in allen Schnittserien als ein Kernkomplex abgegrenzt, da in vielen Schnittebenen keine sichere Trennung der einzelnen Kerne möglich war.

Das paarige Kerngebiet liegt in den dorsalen Partien des vorderen Hirnstamms, direkt an der Medianlinie.

Rostral sind der linke und der rechte Perikaryakomplex nur durch ein schmales, faserreiches Band voneinander getrennt. Weiter kaudal werden sie von dem v-förmigen Boden des vierten Ventrikels auseinander gedrängt. Die beiden Strukturen sind maßgebend für die mediale Abgrenzung des Nucleus nervi oculomotorii et nervi trochlearis.

Nach dorsolateral wird der Kernkomplex in seinem gesamten Verlauf durch die Substantia grisea centralis des Tectum opticum begrenzt. Die ventrolaterale und weiter kaudal auch die ventrale Kontur der Zellformation ist dem Fasciculus longitudinalis medialis direkt benachbart. In rostralen Anteilen wird die ventrale Abgrenzung durch Fasern des Nervus oculomotorius bestimmt.

Der Kern des dritten Hirnnervs liegt in dem gesamten Komplex am weitesten rostral. Er beginnt etwa auf der Höhe des kaudalen Endes des Nucleus ruber. Im mittleren Teil der rostrokaudalen Ausdehnung schieben sich zwischen die untere Ventrikelwand und den dorsalen Anteil des Okulomotoriuskerns die Perikarya des Edinger-Westphal-Kerns.

Der kaudale Pol der Zellgruppe wird schließlich durch den Trochleariskern gebildet, dessen Neurone sich bis zum hinteren Ende des Nucl. isthmo-opticus nachweisen lassen.

Die Form des Komplexes variiert im rostrokaudalen Verlauf in Abhängigkeit von den einzelnen Komponenten. Das rostral länglich-ovale Gebilde des Okulomotoriuskerns nimmt weiter kaudal die Gestalt eines Hakens an, an dessen kürzerem Querbalken der nahezu runde Edinger-Westphal-Kern aufsitzt.

An der Stelle, wo der dorsolaterale Okulomotorius-Anteil von dem Trochleariskern verdrängt wird, erscheint der Komplex tropfenförmig.

Der kaudale Pol stellt sich als eine schmale Zellreihe dar, die parallel zum Boden des IV. Ventrikels liegt.

Sowohl der Nucl. nervi oculomotorii als auch der Nucl. nervi trochlearis bestehen aus mittelgroßen, rundlich-ovalen, gut anfärbbaren Perikarya mit hoher Packungsdichte.

Die Zellkerne des Edinger-Westphal-Kerns haben ebenfalls eine rundlich-ovale Form und liegen eng beieinander, sind jedoch etwas kleiner und erscheinen im Bild etwas blasser als die des Nucl. nn. III/IV.

Die Abgrenzung zwischen dem Edinger-Westphal-Kern und den Nucl. nn. III/IV ist, trotz unterschiedlicher Histologie, nicht eindeutig durchführbar, da partiell Mischgebiete aus beiden Perikaryenarten im Bild erscheinen.

3.4.2.6. Nucleus nervi glossopharyngei et motorius nervi vagi (N IX/X)

Bild 10, 18 und 19

Die Kerngebiete des Nervus glossopharyngeus und des motorischen Anteils des Nervus vagus liegen bei Vögeln sehr eng aneinander, so dass sie in Transversalschnitten überwiegend als eine Einheit erscheinen. In manchen Schnittebenen ist zwar ein schmaler, perikaryenarmer Faserzug zu erkennen, der die Grenze zwischen den beiden Nuclei darstellt, er ist jedoch so unregelmäßig ausgebildet, dass eine konsequente, separate Abgrenzung der Kerne nicht möglich ist. Daher wurden die beiden Kerne volumetrisch gemeinsam erfasst.

Das Kerngebiet der Nn. IX/X liegt in der dorsalen Medulla oblongata als paarige Perikaryenansammlung und erstreckt sich von dem kaudalen Pol des Nucl. magnocellularis bis zum Übergang der Medulla in das Rückenmark.

In seinen rostralen Anteilen grenzt er jeweils medial direkt an den IV. Ventrikel, weiter kaudal, wo sich der IV. Ventrikel zum Zentralkanal schließt, kommt er dorsolateral des Canalis centralis zu liegen.

Fast im gesamten rostrokaudalen Verlauf wird der Nucl. nn. IX/X dorsolateral vom Nucl. solitarius begleitet; nur das vorderste Ende hat nach dorsal eine enge Beziehung zu dem medialen Vestibulariskern. Die ventrale Begrenzung bilden von rostral nach kaudal der Nucl. intercalatus, der Fasciculus longitudinalis medialis und der Nucl. intermedius.

In den Querschnitten hat das Kerngebiet eine runde bis ovale Form, dreidimensional betrachtet ist es zylinderförmig.

Der Komplex wird von mittelgroßen, runden bis polygonalen Perikaryen gebildet. Er hebt sich durch starke Färbung und relativ hohe Dichte der Zellkerne deutlich von den umliegenden Strukturen ab.

3.4.2.7. Nucleus nervi XII et Nucleus intermedius (N XII + IM)

Bild 10, 18 19 und 20

Der Nucleus nervi hypoglossi beginnt rostral auf der Höhe des kaudalen Pols des Kernkomplexes der Nn. IX/X. Sein kaudales Ende verschmilzt mit den Vorderhorn-Motoneuronen des Rückenmarks, ohne dass eine histologisch genau terminierte Grenzmarke des Kerngebietes festzumachen ist. Es wurde deshalb, in Anlehnung an Kinkel (1995)^[46], eine fiktive, für alle Schnittserien einheitlich festgelegte, kau-

dale Kerngrenze zum Rückenmark auf der Höhe des kaudalen Pols des Nucl. intermedius angenommen.

Der Nucl. nervi XII liegt eingelassen in die Verjüngungstelle der mehr oder minder ausgeprägten Schmetterlingsfigur des beidseitigen Fasciculus longitudinalis medialis. Somit bildet das mediale Bündel die mediale Begrenzung des Kerns in seiner gesamten rostrokaudalen Ausdehnung. Im hinteren Teil wird auch die ventrale Kontur des Kerns durch die Fasern des Fasciculus longitudinalis medialis umgeben. Die sonstigen ventralen sowie dorsalen und lateralen Kernränder sind in die diffus verteilten Zellkerne der medullären Formatio reticularis eingebettet.

Die rostral runde Form des Nucl. n. XII wird weiter kaudal ellipsoid ausgezogen. Die multipolaren Perikarya des Nucl. n. XII sind mittelgroß und kräftig gefärbt. Die Packungsdichte des Kerns ist relativ niedrig.

Der Nucleus intermedius erscheint zwischen den Kerngebieten Nucl. nn. IX/X und Nucl. n. XII, etwa auf der Höhe des kaudalen Drittels der Nucl. nn. IX/X. Sein rostraler Anteil liegt ziemlich mittig zwischen den beiden Kernen. Im weiteren Verlauf schiebt er sich nah an die ventrale Grenze der Nucl. nn. IX/X. Die runde bis ovale Perikaryagruppe des Nucl. intermedius wird von der lockeren Struktur der Formatio reticularis umgeben.

Charakteristisch für den Kern sind die mittelgroßen bis großen, polygonalen, gut gefärbten Perikarya, die im lockeren Verbund liegen.

3.4.3. Quantitative Befunde

Die Formel der Allometrieggeraden für das **Palaeostriatum** (s. Abbildung 14) errechnet sich wie folgt:

$\log Y = 0.189 \log X + 2.332$; mit $a = 0.189$; $b = 214.745$.

Aus den Messdaten für das Kerngebiet ergeben sich die Rassen-Volumenmittelwerte:

$Y_C = 196.242 \text{ mm}^3$; $Y_S = 204.736 \text{ mm}^3$; $Y_K = 227.246 \text{ mm}^3$; $Y_B = 271.089 \text{ mm}^3$;
 $Y_{Sh} = 265.365 \text{ mm}^3$.

Die individuellen Indices liegen zwischen 87 und 115. Die Mittelwerte der Indices für die Rassen betragen: $I_C = 102$; $I_S = 97$; $I_K = 100$; $I_B = 101$; $I_{Sh} = 101$ bei einem Variationskoeffizienten VK_G von 0.074.

Für das **Cerebellum** (s. Abbildung 15) ist die Allometrieggerade definiert durch die Gleichung: $\log Y = 0.309 \log X + 2.587$; mit $a = 0.309$; $b = 386.327$.

Für das Volumen des Cerebellums errechnen sich folgende Rassenmittelwerte:

$Y_C = 322.83 \text{ mm}^3$; $Y_S = 388.82 \text{ mm}^3$; $Y_K = 406.77 \text{ mm}^3$; $Y_B = 562.35 \text{ mm}^3$;
 $Y_{Sh} = 497.83 \text{ mm}^3$.

Die Indices liegen zwischen 79 und 128 bei Variationskoeffizienten VK_G von 0.115. Die Rassenindices betragen: $I_C = 100$; $I_S = 103$; $I_K = 97$; $I_B = 100$; $I_{Sh} = 90$.

Die Regressionsgerade für die untersuchte Population ist für den **Nucl. ruber** (s. Abbildung 16) durch die Gleichung ausgedrückt: $\log Y = 0.329 \log X + 0.412$; mit $a = 0.329$; $b = 2.585$.

Die Volumenmittelwerte für die Rassen errechnen sich als: $Y_C = 2.227 \text{ mm}^3$; $Y_S = 2.437 \text{ mm}^3$; $Y_K = 2.886 \text{ mm}^3$; $Y_B = 3.778 \text{ mm}^3$; $Y_{Sh} = 3.513 \text{ mm}^3$.

Die errechneten individuellen Indices variieren zwischen 75 und 135 bei einem mittleren Variationskoeffizienten VK_G von 0.156. Die Indexmittelwerte für die Rassen betragen: $I_C = 103$; $I_S = 97$; $I_K = 101$; $I_B = 101$; $I_{Sh} = 96$.

Für den **Nucl. olivaris inferior** (s. Abbildung 17) lautet die Gleichung der Allometriegeraden:

$\log Y = 0.172 \log X + 0.224$; mit $a = 0.172$; $b = 1.674$.

Die mittleren Kernvolumina betragen für die Rassen: $Y_C = 1.523 \text{ mm}^3$; $Y_S = 1.660 \text{ mm}^3$; $Y_K = 1.770 \text{ mm}^3$; $Y_B = 2.181 \text{ mm}^3$; $Y_{Sh} = 1.693 \text{ mm}^3$.

Die Indexwerte liegen zwischen 65 und 142; die Rassenmittelwerte betragen: $I_C = 99$; $I_S = 101$; $I_K = 100$; $I_B = 107$; $I_{Sh} = 84$.

Der mittlere Variationskoeffizient VK_G liegt bei 0.181.

Die Allometrie Gerade für den **Nucl. nervi oculomotorii et trochlearis et Nucleus accessorius nervi oculomotorii E.W.** (s. Abbildung 18) wird beschrieben durch die Formel:

$\log Y = 0.182 \log X + 0.310$; mit $a = 0.182$; $b = 2.044$.

Aus den Messdaten ergeben sich folgende Volumenmittelwerte für die Rassen: $Y_C = 1.957 \text{ mm}^3$; $Y_S = 1.800 \text{ mm}^3$; $Y_K = 2.269 \text{ mm}^3$; $Y_B = 2.501 \text{ mm}^3$; $Y_{Sh} = 2.872 \text{ mm}^3$.

Die ermittelten Rassenindices betragen: $I_C = 106$; $I_S = 89$; $I_K = 105$; $I_B = 100$; $I_{Sh} = 116$.

Der Variationskoeffizient der individuellen Indices VK_G beträgt 0.169 bei Werten, die zwischen 67 und 137 liegen.

Die Allometrie Gerade für den **Nucl. nervi glossopharyngei et motorius nervi vagi** (s. Abbildung 19) ist durch die Formel gegeben: $\log Y = 0.346 \log X + 0.089$; mit $a = 0.346$; $b = 1.227$.

Die mittleren Volumenwerte für die Rassen betragen: $Y_C = 1.037 \text{ mm}^3$; $Y_S = 1.159 \text{ mm}^3$; $Y_K = 1.381 \text{ mm}^3$; $Y_B = 1.910 \text{ mm}^3$; $Y_{Sh} = 1.657 \text{ mm}^3$.

Entsprechend den individuellen Indexwerten, die zwischen 80 und 144 liegen, errechnen sich folgende mittlere Rassenindices: $I_C = 102$; $I_S = 97$; $I_K = 101$; $I_B = 106$; $I_{Sh} = 94$. Der Variationskoeffizient VK_G beträgt für die Gesamtpopulation 0.168.

Die Progression des **Nucl. nervi hypoglossi** in Abhängigkeit vom Körpergewicht (s. Abbildung 20) wird durch die Formel beschrieben
 $\log Y = 0.328 \log X - 0.516$; mit $a = 0.328$; $b = 0.305$.

Die Messdaten ergeben folgende Volumenmittelwerte für die Rassen: $Y_C = 0.264 \text{ mm}^3$; $Y_S = 0.270 \text{ mm}^3$; $Y_K = 0.438 \text{ mm}^3$; $Y_B = 0.397 \text{ mm}^3$; $Y_{Sh} = 0.521 \text{ mm}^3$.

Die Rassenmittelwerte der Indices betragen entsprechend: $I_C = 103$; $I_S = 91$; $I_K = 130$; $I_B = 90$; $I_{Sh} = 120$ bei einzelnen Werten zwischen 48 und 150 und einem mittleren Variationskoeffizienten VK_G von 0.295.

Die Allometrie Gerade für den **Nucl. intermedius** (s. Abbildung 21) ist definiert durch die Gleichung:
 $\log Y = 0.210 \log X - 0.444$; mit $a = 0.210$; $b = 0.360$.

Aus den einzelnen Kernvolumina errechnen sich folgende Rassenmittelwerte:
 $Y_C = 0.335 \text{ mm}^3$; $Y_S = 0.309 \text{ mm}^3$; $Y_K = 0.554 \text{ mm}^3$; $Y_B = 0.398 \text{ mm}^3$;
 $Y_{Sh} = 0.581 \text{ mm}^3$.

Es ergeben sich für die Rassen folgende Indexmittelwerte: $I_C = 104$; $I_S = 87$; $I_K = 144$; $I_B = 87$; $I_{Sh} = 129$. Der Variationskoeffizient VK_G beträgt 0.311.

4. DISKUSSION

Bei den in dieser Arbeit untersuchten Gehirnen von 29 Haushühnern liegen die absoluten Werte der Gehirngewichte zwischen 2.21g und 4.28g bei Körpergewichten von 379.5g bis 3610g.

Bezogen auf das Körpergewicht entfallen auf das Hirngewicht im Schnitt etwa 0.25 %, wobei der Hirnanteil bei den leichten Chabos 0.46 % und bei den schweren Brahmahühnern nur 0.12 % des gesamten Körpergewichts beträgt.

Dagegen verhalten sich die absoluten Werte der Hirngewichte genau umgekehrt - hohe Werte werden bei schweren Rassen gefunden.

Dieser Sachverhalt macht den Einsatz der Allometriemethode nach Snell bei komparativen Studien des Gehirns erforderlich.

Die Untersuchungen des Verhältnisses von Hirn- zu Körpergewicht ergeben für viele Säuger einen innerartlichen Anstieg der Allometrie geraden (a) mit ca. 0.25, d.h. bei einer Verzehnfachung des Körpergewichts wird das Gehirn um das 2.5fache schwerer. Das gleiche Verhältnis soll nach Herre und Röhrs^[33] ebenfalls zwischen Hirnvolumen und Körpergewicht gelten.

Für Vögel wurden ähnliche a -Werte gefunden. Für Tauben wurde ein a von 0.287, für Gänse ein a von 0.204^[18, 19] gemessen.

Anhand der hier erhobenen Messdaten wurde für Haushühner ein Anstieg der Allometrie geraden mit a von 0.245 errechnet.

Wie für das Gesamthirn wurde, in Anlehnung an Stephan et al.^[71], für jedes Kerngebiet separat ein a -Wert bestimmt, da nicht davon ausgegangen werden kann, dass Isometrie der einzelnen Hirnteile zum Gesamthirn besteht.

Für die untersuchten Areale variieren die a -Werte, je nach Kern, zwischen 0.070 für den Nucl. Cuneatus-Gracilis-Komplex und 0.458 für den Nucl. mesencephalicus lateralis, pars dorsalis. Die einzelnen Ergebnisse sind in den entsprechenden Abbildungen zu finden.

Die statistischen Betrachtungen in dieser Arbeit beziehen sich überwiegend auf die Rassen Chabo und Seidenhühner, weil hier die n -Zahl recht hoch ist. Die Messwerte der Individuen der Rassen Krüper, Shamo und Brahma sind wegen der breiten Streuung der Körpergewichte vor allem als Stabilisierungsfaktoren bei der Ermittlung der Allometrie geraden anzusehen.

Die einzelnen funktionellen Systeme werden im Folgenden separat betrachtet.

4.1. Das visuelle System

Tabellen 2 und 6; Abbildungen 2, 3 und 4

Der Aufbau der Sehbahn bei Vögeln ist im Wesentlichen mit dem anderer Vertebraten vergleichbar.

Die Existenz von zwei ascendierenden visuellen Leitungssystemen ist auch bei vielen Säugetieren nachgewiesen worden. Dabei scheint der thalamofugale Weg

den bewussten Seheindruck zu vermitteln und die tectofugale Strecke überwiegend der unbewussten, reflexartigen Steuerung der Kopf- und Augenbewegung zur Fixierung bewegter Objekte sowie der Steuerung der Pupillenmotorik zu dienen ^[43].

Eine Besonderheit der Sehbahn bei Vögeln stellt die starke Dominanz der tectofugalen gegenüber den thalamofugalen Projektionen dar.

Eine weitere Besonderheit ihrer Sehbahn besteht in der kompletten Kreuzung der retinofugalen Axone auf die Gegenseite im Chiasma opticum ^[20, 30, 31, 43, 61].

Das bedeutet, dass der nachgeschaltete Hauptempfänger der retinalen Efferenzen - das Tectum opticum - ausschließlich kontralaterale Impulse erhält.

Das Mesencephalon der Vögel, der Lobus opticus, dessen Dach das Tectum opticum (TeO) bildet, beinhaltet die Schaltzentren des Gesichts-, des Gehör- und des Gleichgewichtssinns.

Ferner wird auch die Aufmerksamkeit über die mesencephalen Zentren gesteuert – bei Hühnerküken wurde eine Erhöhung der Vigilanz durch exogene Reizung bestimmter Areale im Mesencephalon beobachtet ^[21].

Das **Tectum opticum** ist bei allen Vögeln sehr stark ausgeprägt ^[13]. Bei den in dieser Arbeit untersuchten Haushuhngehirnen ist das Tectum die zweitgrößte vermessene Struktur. Die absoluten Volumina des Tectum opticum liegen zwischen 197.33 mm³ bei Chabos und 329.41 mm³ bei Brahmas und machen von 8 bis zu 8.6% des Gesamthirnvolumens aus.

Des Weiteren weist das Tectum opticum einen sehr hohen Differenzierungsgrad auf. Vor allem die zweite Hauptschicht, das Stratum griseum et fibrosum superficiale, als Empfänger der retinalen Efferenzen, setzt sich aus unterschiedlichen Zellpopulationen zusammen, die in Lagen (Laminae) angeordnet sind. In dieser Schicht werden nach Cowan et al. ^[14] Laminae von a bis j unterschieden, deren Abgrenzung von Hunt & Künzle ^[35] mit autoradiographischen Methoden bestätigt wurde.

Nach den neueren Erkenntnissen ^[35] sind wahrscheinlich nur die ersten zwölf Lagen des Tectums (d.h. die Schichten I, II(a-j), III, respektive Stratum opticum (SO), Stratum griseum et fibrosum superficiale (SGFS) und Stratum griseum centrale (SGC) genannt) eindeutig unimodal dem visuellen System zuzuordnen.

Die zweite Schicht, das SGFS, wird von mehreren Autoren ^[20, 35, 61] einstimmig als die retinozeptive Region des Tectums definiert. Ihre Efferenzen zu den isthmischen Kernen und die visuellen Projektionen in das Stratum opticum sind überwiegend retinotop organisiert.

Die dritte Schicht, das SGC, ist der Ursprungsort vieler Projektionsbahnen zu mesencephalen, diencephalen sowie im Hirnstamm gelegenen Regionen.

Das Tectum opticum wird auf Grund seiner zahlreichen efferenten Projektionen von vielen Autoren als das Pendant zum Colliculus superior der anderen Vertebraten angesehen ^[13, 35, 37, 43]. In seiner Zytoarchitektur erinnert das geschichtet imponierende Tectum opticum mehr als jede andere Mittelhirnstruktur bei den Vögeln, die keinen Isocortex besitzen, an den cerebralen Cortex der Säugetiere ^[13].

Der **Nucleus rotundus** - ein großer thalamischer Kern - ist ein charakteristisches visuelles Schaltzentrum für viele Vogel- und Reptilienspezies. Die im Rahmen der tectofugalen Bahn ascendierende tectorotundale Leitungstrecke führt die meisten

visuell evozierten Impulse zu dem ipsilateralen, zu einem kleinen Teil auch zu dem kontralateralen Nucleus rotundus. Somit erhält der Kern indirekt jeweils ein großes Kontingent der Efferenzen von der kontralateralen und ein kleines von der ipsilateralen Retina. Der Nucl. rotundus erhält keine direkten retinalen Afferenzen.

Die Frage nach der topographischen Anordnung der tectorotundalen Verbindung scheint nicht eindeutig geklärt zu sein. In den Untersuchungen von Hunt & Künzle^[35] konnte keine Retinotopie nachgewiesen werden.

Der telencephalen optischen Zielregion - dem visuellen Wulst der Vögel - wird auf Grund seiner zytoarchitektonischen Merkmale die Rolle des visuellen Cortex der Säuger zugesprochen.

Die quantitative Ausmessung und Auswertung umfasst drei Strukturen der tectofugalen Projektionsbahn: den Tractus opticus, das Tectum opticum und den Nucleus rotundus.

Im vorliegenden Material entsprachen alle drei Anteile bezüglich des Aussehens und der Lokalisation den Beschreibungen in der Literatur.

Die gemessenen Volumina sind in der Tabelle 2 aufgelistet.

Die mathematische Aufarbeitung der Daten ergab für das visuelle System keine signifikanten rassespezifischen Unterschiede. Die individuellen Indices und deren Rassenmittelwerte pendeln für alle Strukturen um den Wert 100 (s. Tab. 6). Anhand der jeweiligen a -Werte (Parameter a der Regressionsgeraden) wird deutlich, dass das Volumen des Tractus opticus ($a = 0.368$) mit steigendem Körpergewicht überproportional zum Hirnvolumen ($a = 0.245$) zunimmt, wogegen sich die Volumina des Tectum opticum und des Nucleus rotundus ($a = 0.264$ beziehungsweise $a = 0.263$) parallel zueinander und ähnlich dem Gesamthirnvolumen verändern.

Über die Größenveränderung des Auges in Abhängigkeit vom Körpergewicht lagen in der vorhandenen Literatur keine Messwerte vor^[21].

Auffällig jedoch ist seine relative Größe und Gewicht bei den Haushühnern.

Beim erwachsenen Haushuhn macht das Auge etwa 7% der Masse des Kopfes aus, beim Eintagsküken gar 12% und im Vergleich dazu bei Menschen 1%.

Das verhältnismäßig sehr große Auge könnte zum einen als Ausdruck der essentiellen Bedeutung des Gesichtssinnes für die Tiere gedeutet werden.

Andererseits könnte diese Tatsache als Kompensation oder Ausgleichmechanismus für den bei den Hühnern recht eingeschränkten binokulären Gesichtsraum gewertet werden.

Nach Engelmann^[21] beschränkt sich das räumliche Sehen bei den Hühnern auf ein gleichschenkliges Dreieck, dessen Basis die Verbindungslinie zwischen den beiden Augäpfeln bildet und dessen Spitze etwa 2 cm vor der Schnabelspitze liegt bei einer Breitenausdehnung von 15° . Im Übrigen sehen die Hühner monokular, wobei sie mit einem Auge einen weiten Gesichtskreis überblicken. Der erfasste Raum beträgt 160° je Seite. Der große Blickwinkel hängt unter anderem mit der Größe des Augapfels zusammen.

Im Allgemeinen werden die Geflügelarten, wie alle Vögel, als Augentiere bezeichnet. Diese Bezeichnung kann für die Haushühner, deren Vorfahren im indischen Dschungel zu Hause sind, nur eingeschränkt gelten.

Bei der bodennahen Lebensweise ist für das Huhn ein gutes Gehör als Warninstrument weit mehr von Bedeutung als ein sehr ausgeprägter Gesichtssinn.

Die Haushühner verfügen zweifellos über ein sehr scharfes Auge, aber seine Sehschärfe hat ihr Maximum beim Nahsehen.

So kann ein Huhn bei entsprechenden Kontrastverhältnissen ein einzelnes Maiskorn noch in der Entfernung von 5 m auflösen.

Für das Fernsehen von weit größeren Gegenständen wie z.B. eigenen Artgenossen, liegt aber die kritische Sehgrenze bei nur 25 bis 50m, je nach Größe bzw. Stehhöhe der Tiere ^[21].

Dies macht deutlich, dass der Gesichtssinn eher im Dienste der Nahrungssuche als der Wahrnehmung lebensbedrohlicher Vorgänge steht.

Die Ergebnisse der Verhaltensforschung ^[21] zeigen, dass die Sehleistung der Haushühner ganz wesentlich durch die Aufmerksamkeit und Affekte wie Furcht und Schrecken oder Neugier modelliert wird.

Nach Herre und Röhrs ^[33] wirkt sich die Domestikation in erster Linie auf die Leistungen aus (und somit auf die Substanzmasse entsprechender Hirngebiete), die den großen Sinnesorganen Auge, Nase und Ohr zugeordnet sind.

Bezüglich des visuellen Systems beobachtet man beim Hausgeflügel am Beispiel der Enten eine auffällig starke Massenreduktion des Tectum opticum.

Das bei allen Vogelarten sehr massiv ausgeprägte Gebiet erfährt bei den Enten im Rahmen der Domestikation einen Rückgang von 32%, wogegen das Gesamthirn sich um 27.5% gegenüber der wilden Stammform verringert ^[21].

Insgesamt zeigt sich bei dem Haushuhn eine im Vergleich zum Gesamthirn überproportional starke Ausprägung der primären visuellen Strukturen – des Auges und des Tractus opticus, wogegen die nachgeschalteten Zentren – das Tectum opticum und der Nucleus rotundus – eine nahezu gleiche Progression wie das Gesamthirn aufweisen.

Dieser Sachverhalt gilt für alle Rassen. Rassespezifische Abhängigkeiten konnten in dieser Arbeit nicht festgestellt werden. Ausgehend davon, dass das Sehen für alle Rassen gleich wichtig ist und das Nahrungssuchverhalten nicht wesentlich verschieden ist, waren hier keine Rassendifferenzen zu erwarten.

4.2. Das somatosensorische System - Mechanorezeption

Die Mechanorezeption dient zum einen der Wahrnehmung der Umwelteinflüsse - der Exterozeption - und zum anderen der Registrierung der Positionsveränderungen der einzelnen Körperteile zueinander - der Propriozeption.

Der Aufbau der somatosensorischen Bahn bei den Vögeln weist viele Parallelen zu dem der anderen Vertebraten auf, aber auch einige Unterschiede, die zum Teil auf die besonderen Lebensumstände der Vögel zurückzuführen sind.

Das mechanorezeptive System der Vögel besteht, analog zu anderen Vertebraten, aus zwei voneinander unabhängigen Einheiten; der trigeminalen Komponente für den Kopfbereich und der spinalen für den Rumpf und die Extremitäten.

Die Einteilung der Rezeptoren ist übereinstimmend mit der bei den Säugern. Die mechanischen Kräfte aus der Umgebung, eingeteilt in die drei Qualitäten Druck, Berührung und Vibration, sind die adäquaten Reize für die nahe der Oberfläche in der Haut liegenden Exterozeptoren, die je nach Bauweise langsam, schnell oder extrem schnell adaptierendes Verhalten aufweisen, was eine präzise Reizauflösung ermöglicht.

Die Propriozeptoren, die über die Bewegung und die Veränderung in der Stellung der Gelenke aktiviert werden, liegen entsprechend als Muskelspindel und Golgi-Sehnenorgane in der Muskulatur und in den Sehnen.

Die Herbst-Körperchen, die strukturell und funktionell mit den Pacini-Körperchen der Säugetiere vergleichbar sind, dienen bei den Vögeln vor allem der Exterozeption. Sie sind als Hautrezeptoren mit unterschiedlicher Dichte in den Hautarealen verteilt, vor allem jedoch um die Follikel und Papillae der Flugfedern gruppiert. Wegen dieser engen topographischen Beziehung zu der glatten pennamotorischen Muskulatur wird ihnen die Bedeutung bei der Informationsübertragung über die Federstellung und -ausrichtung zugesprochen ^[76].

Die Tiefen- und Oberflächensensibilität aus der postkranialen Körperperipherie wird nach Eintritt über die dorsale Wurzel in das Hinterhorn des Rückenmarks im Funiculus dorsalis hirnwärts fortgeleitet.

Die für andere Vertebraten streng somatotope Anordnung innerhalb dieser Projektionsbahn und der Kerne ist nach der vorliegenden Literatur auch bei den Vögeln anzunehmen. Sie scheint aber andere, vielleicht vogelspezifische Organisationsmuster aufzuweisen ^[22, 24, 76].

Die Untersuchungen des somatosensorischen Apparats bei den Tauben zeigen eine gewisse somatotope Gliederung auf der Ebene des Hinterhorns. Mit umschriebenen Markierungen der unterschiedlichen sensiblen Afferenzen mit Meerrettichperoxidase konnten unterschiedliche Verteilungsmuster der markierten Substanz in den Laminae des Hinterhorns nachgewiesen werden. Hierbei ist das spinale Grau der Vögel vergleichbar dem Rexed - Schema der Säuger in Laminae aufgeteilt.

So lassen sich vor allem in Bereichen der cervikalen und lumbosacralen Auftreibungen den sensiblen Anteilen der jeweils drei peripheren Hauptnerven des Flügels und des Beines bestimmte Repräsentationsloci zuordnen.

Die Projektionen der sensiblen Innervation der Haut inklusive der Federfollikel und deren Papillae sind ebenso somatotop organisiert.

Insbesondere die für die Vögel spezifischen Federfollikelafferenzen belegen definierte Areale im Hinterhorn mit Differenzierung je nach Topographie zwischen Flügel- und Schwanzfedern und je nach Funktion zwischen den primären und sekundären Flugfedern. Detaillierte Informationen sind dem Artikel von J.M. Wild ^[76] zu entnehmen.

Im weiteren Verlauf der somatosensorischen Afferenzen verliert sich deren partielle somatotope Gliederung zunehmend. Tendenziell lässt sie sich im Funiculus dorsalis und in den Nucll. cuneatus et gracilis nachvollziehen ^[22, 76]. So ist im kaudalen Abschnitt des CG-Komplexes das Repräsentationsgebiet für das Bein etwas weiter medial und das für den Flügel eher lateral zu finden. Weiter rostral entsteht der Eindruck, als läge das Repräsentationsareal des Beines eingebettet in das

vom Flügel.

Auf allen Ebenen des CG-Komplexes, sofern die Repräsentationsgebiete voneinander abgrenzbar sind, ist die mediolaterale Ausdehnung der Projektionen des Flügels stets größer als die des Beines und zwar angedeutet im Verhältnis, das mit der Relation zwischen Flügel- und Beinlänge korreliert ^[76].

Die Repräsentationsarea des Schwanzes wurde bei den Vögeln zwischen den Repräsentationsfeldern der beiden Extremitäten lokalisiert und nicht, wie bei anderen Vertebraten, in den medialsten Anteilen des Gracilis-Kerns ^[76].

Ferner ist im CG-Komplex keine anatomische Differenzierung der peripheren Nerven erkennbar. Die tibialen und fibulären Projektionen überlappen sich vollständig. Ebenso sind die medianen, radialen und ulnaren Repräsentationen räumlich nicht voneinander zu unterscheiden und zudem mit den follikulären Afferenzen vermischt.

Die im Repräsentationszentrum für den Flügel nach bisherigen Erkenntnissen nicht nachgewiesene somatotope Zuordnung wird durch zwei Sachverhalte erklärt. Zum einen besteht, im Vergleich mit einer Extremität die mit Greif- und Tastorgan - der Hand oder der Pfote - ausgestattet ist, ein deutlich geringerer Anspruch an eine exakte taktile Sensibilität des Flügels. Zum anderen ist in der angewandten Technik durch die starke Abflachung, fast Zweidimensionalität des Flügels bedingt eine präzise selektive Markierung eines einzelnen Nerven und somit auch der Repräsentationsloci kaum möglich ^[76].

Am rostralen Pol des CG-Komplexes verwischt sich weitgehend die angedeutete somatotope Kerngliederung. Die beiden Kerne verschmelzen bei Vögeln miteinander, so dass sie nicht deutlich voneinander abgrenzbar sind. Der Komplex ist, im Vergleich zu der analogen Struktur der Säugetiere, zytoarchitektonisch weniger ausdifferenziert. Die sonst für höhere Vertebraten typische Gruppierung der Perikaryen, teils trauben- oder nestartig (für die propriozeptive Afferenzen), teils netzartig (für die Hautafferenzen) sind bei den Vögeln nicht vorhanden ^[76].

Die Efferenzen des CG-Komplexes, gebündelt im Lemniscus medialis, kreuzen bei den Vögeln größtenteils, jedoch nicht vollständig, auf die Gegenseite und ziehen zu den dorsal gelegenen thalamischen Kerngebieten Nucl. dorsalis intermedius ventralis anterior thalami und Nucl. dorsolateralis posterior thalami, pars caudalis. In der vorliegenden Literatur ^[15, 22, 76, 80] werden bei den Vögeln keine anterograden Verbindungen zwischen den Nucl. cuneatus et gracilis und den ventralen Thalamuskernen beschrieben.

Durch die unvollständige Kreuzung des medialen Lemniscus erhalten die beiden Thalamuskern bilateralen, wenn auch nicht gleichgewichteten Impulseingang von der Körperperipherie.

Bei Stimulationen beider Körperhälften sind bilaterale evozierte Potentiale im Thalamus zu beobachten. Die Stimulation einer Körperhälfte ruft ebenfalls eine bilaterale thalamische Antwort hervor, wobei die gemessenen Potentiale auf der kontralateralen Seite stets höher und anhaltender sind ^[15, 77].

Eine somatotope Organisation der sensorischen thalamischen Kerngebiete wurde nicht beobachtet ^[77]. Die elektrische Reizung von unterschiedlichen Nerven, z. B. des N. radialis und des N. ischiadicus provoziert bilaterale Reaktionen in identischen thalamischen Kernloci, die sich nur in der Potentialamplitude unterscheiden.

Die Stimulation durch Berühren oder Bürsten von bestimmten ganzen Körperpartien wie Kopf, Nacken, Schulter, Flügel etc. erzeugt kein topographisch abgrenzbares Muster der evozierten Potentiale in den somatosensorischen rezeptiven Thalamusanteilen. Andererseits reagieren manche thalamische Einheiten auf sehr detaillierte und subtile Reize, wie zum Beispiel eine Ablenkung von wenigen Federn des kontralateralen Flügels, ausgesprochen empfindlich und spezifisch. Ähnliche Beobachtungen wurden für die telencephalen somatosensorischen Zentren – Hyperstriatum accessorium, Hyperstriatum intercalatus superior, Neostriatum intermedium und Neostriatum caudale - gemacht.

Auf Grund von histochemischen und elektrophysiologischen Untersuchungen wird angenommen, dass die sensomotorischen Thalamus- und Endhirngebiete der Vögel eine gewisse somatotope Gliederung aufweisen^[77], auch wenn sie vielleicht nicht dem sonst klassischen Organisationsmuster bei anderen Vertebraten entsprechen. Methodische Studien und eindeutige Aussagen bezüglich dieser Fragestellung blieben jedoch aus^[79]. Auffallend für das spinale mechanorezeptive System der Vögel sind die Latenzzeiten zwischen einem peripheren taktilen Reiz und der registrierten striatalen Antwort, die mit 18 msec als sehr lang anzusehen ist. Die Latenzzeiten im trigeminalen System betragen dagegen nur 1.6 - 1.8 msec^[15, 22, 77].

Vertretend für die spinale Komponente des sensomotorischen Systems wurde in dieser Arbeit der **CG-Komplex** vermessen und ausgewertet.

Das Kerngebiet befand sich im vorliegenden Material für alle Rassen konstant an der in der Literatur beschriebenen Stelle^[45, 76]. Seine Zytoarchitektur entsprach der Beschreibung des Gebietes bei Tauben^[76] (s. auch Kap. 3.2.2.1).

Die ermittelte Steigung der Allometrieggeraden für den CG-Komplex mit dem Parameter $a = 0.070$ stellt den mit Abstand niedrigsten Wert von allen untersuchten Kernen dar. Die Allometrieggerade verläuft fast parallel zur Körpergewichtsachse. Das bedeutet, dass das Volumen der Kerne unabhängig vom steigenden Körpergewicht und der damit verbundenen Vergrößerung der sensiblen Oberfläche ist. Es scheint, als würden Hühner unabhängig von Rasse und Körpergewicht über eine nahezu volumenkonstante „Grundausrüstung“ verfügen.

Diese Beobachtung könnte für die von manchen Autoren postulierte Reduktion der taktilen Sensibilität der Vogelhaut im Vergleich zu der Haut der Säugetiere sprechen. Diese Annahme erscheint für die flugfähigen Vögel eher unwahrscheinlich, denn ein sensorisches Feed back während des Fliegens müsste von essentieller Bedeutung für die Tiere sein^[76].

Bei den hier untersuchten Haushuhnrasen, die ihr Flugverhalten weitgehend aufgegeben haben und fast als bodenlebend zu betrachten sind, ist es durchaus denkbar, dass die Anforderungen an das mechanorezeptive System der Haut im Sinne der Flugkontrolle herabgesetzt sind.

Die geringe Volumenprogredienz der Nucll. cuneatus et gracilis könnte in diesem Fall als anatomisches Korrelat zu der veränderten Lebensweise des Haushuhns angesehen werden.

Die absoluten Volumina der einzelnen Individuen sind der Tabelle 3 zu entnehmen. Sie wurden in der Abb. 7 gegen das Körpergewicht aufgetragen. Hierbei wird eine relativ breite Streuung der Messwerte deutlich, die sich statistisch über den

mittleren Variationskoeffizienten von 0.315 ausdrücken lässt. Die Begründung hierfür liegt teilweise in der geringen Kerngröße aber hauptsächlich in der lichtmikroskopisch äußerst schwierigen Abgrenzung des Kernkomplexes gegen die Umgebung.

Bei Betrachtung der einzelnen Rassen fällt auf, dass die Messwerte der Rasse Chabo überwiegend oberhalb, die der Rasse Seidenhuhn alle deutlich unterhalb der Allometriegeraden liegen. Die aus den individuellen Werten ermittelten Rassen-Progressionsindices verdeutlichen das Ergebnis. Das Volumen des CG-Komplexes ist für die Chabo-Hühner mit dem Index von 114 progredient, für die Rasse Seidenhuhn dagegen beim Index von 79 deutlich regredient. Die statistische Auswertung ergibt für diesen Unterschied ein Signifikanz-Niveau von 95%.

Für die Interpretation des Ergebnisses ist das unterschiedliche äußere Erscheinungsbild der beiden Rassen in Betracht zu ziehen.

Die Seidenhühner verfügen über ein für Vögel untypisch aussehendes Federkleid. Da die Radii des Federschaftes nicht durch Radioli miteinander verhakt sind, erscheint das Gefieder wollartig und gewissermaßen unordentlich. Diese starke Veränderung der Federstruktur im Körperbereich der Seidenhühner könnte zur veränderten Reizaufnahme und erschwerten mechanorezeptiven Kontrolle der Körperoberfläche führen und somit indirekt eine geringere Ausprägung des Reizverarbeitungsapparates - hier Nucl. cuneatus et gracilis - implizieren.

Die anderen Aspekte, wie z. B. eine unterschiedliche Dichte der Hautrezeptoren oder ein unterschiedliches Putzverhalten, die ebenfalls als Einflussfaktoren zu nennen sind, wurden in dieser Arbeit nicht angegangen.

Für das trigeminale System wurden vertretend der **Nucleus sensorius principalis nervi trigemini** und der **Nucleus basalis** vermessen und ausgewertet.

Die trigeminale Leitungsbahn als afferenter Schenkel des sensomotorischen Schaltkreises führt überwiegend die Informationen aus dem Schnabelbereich - die orale und periorale Kopfpartie ist mit der größten Dichte an Mechanorezeptoren ausgestattet ^[22, 79, 80] - und untergeordnet die aus den übrigen Kopfreionen. Somit dient sie in erster Linie der Kontrolle der Schnabelmotorik.

Der Schnabel ist, wie für alle Vögel, so auch für die Haushühner von essentieller Bedeutung.

Als multifunktionelles Werkzeug kommt er zum Einsatz in fast allen Lebensbereichen, angefangen von Exploration der Umwelt und Erkennung der Gegenstände über Nahrungsaufnahme, Manipulation, Gefiederpflege und schließlich beim Ausdruck der affektiven Stimmungen und bei der Feindabwehr.

Von Wild ^[80] wird dem Schnabel der Vögel in vielerlei Hinsicht eine Rolle analog zu der der vorderen Extremität der Mammalia bzw. der Hand der Primaten zugeschrieben.

Ein gut entwickeltes trigeminale System ist charakteristisch für alle Vertebraten, von den Fischen bis zu den Primaten.

Eine Besonderheit im Aufbau des Systems bei Vögeln besteht in einer direkten, insbesondere den Thalamus umgehenden Verbindung zwischen dem Hirnstammkern Nucleus principalis sensorius nervi trigemini und dem telencephalen Nucleus basalis - Area Ne1 nach Rehkämper & Zilles ^[59].

Die trigeminale Bahn ist bei den Vögeln entsprechend den Leistungsanforderungen sehr schnell. Die kurzen Latenzzeiten (ca. 1.8 msec) werden über oligosynaptische Verschaltungen gewährleistet. Die präzise Auflösung der taktilen Reize aus der Oralgegend erfolgt über die streng somatotop Organisation des Nucl. principalis sensorius nervi trigemini und Nucl. basalis und eine Punkt-zu-Punkt-Projektion im Tractus quintofrontalis, der die beiden Kerne verbindet^[16]. In beiden Kernen lassen sich topographische Untereinheiten definieren, die einen spezifischen Eingang aus den jeweiligen Trigeminiästen und dem sensiblen Anteil des N. glossopharyngeus erhalten.

Die neuronale Organisation des Nucl. basalis (NB) und des direkt angrenzenden peribasalen Neostriatum frontale bei Anseriformes wurde von Dubbeldam & Brauch^[16] und Carr & Wild^[12] als sehr komplex bezeichnet. Durch die vertikale, säulenartige Anordnung der Zelleiber im dorsalen Kernanteil und das Fehlen dieser Anordnung in der rostralen Kernaushängung entstand bei dem Nucl. basalis der Gänse der Eindruck eines horizontal geschichteten Aufbaus^[16]. Die laminäre Struktur des Kerns konnte in dieser Arbeit nicht nachvollzogen werden.

Die Organisation des Nucl. basalis bei den Haushühnern entspricht eher dem Aussehen des Kerns bei den Tauben^[80].

Das kolumnenartige Arrangement der Perikaryen, das durch den aufsteigenden Tractus quintofrontalis und die absteigenden neostriatalen Bahnen gegeben ist, war vor allem in der Markscheidenfärbung besonders deutlich zu beobachten. Jeder Säule scheint ein kleines, peripheres taktiler Feld zugeordnet zu sein^[16]. Dies untermauert die Annahme der streng somatotop Aufschlüsselung der Oralregion.

Die periphere Stimulation des Schnabels und Cavum oris zeigt zudem ein körperseitenabhängiges Verteilungsmuster der neuronalen Antwort im Nucl. basalis. So wird der rostrale Teil des Nucl. basalis ausschließlich ipsilateral, der kaudale ausschließlich kontralateral stimuliert. Die intermediär und am weitesten kaudal liegenden Abschnitte erhalten bilaterale Afferenzen.

Die Afferenzen des Nucl. basalis stammen ausschließlich aus dem Nucl. sensorius principalis n. trigemini.

Es ist nicht eindeutig geklärt, ob der Nucleus basalis ontogenetisch als eine thalamische oder eine telencephale Struktur anzusehen ist.

Nach Rehkämper & Zilles^[59] gelten die zytologischen Merkmale und die Art der efferenten Verbindungen des Kerns als Kriterien für seinen telencephalen Ursprung. Auf Grund seiner Funktion als Endstation der aufsteigenden trigeminalen Bahn und der säulenartigen Organisation wird er mit der Lamina IV des somatosensorischen Cortex der Säuger verglichen.

Entsprechend wird das Neostriatum caudale, pars trigeminale (NCT), das die Projektionen von Nucl. basalis erhält und selbst in die tieferen, telencephalen Regionen projiziert, als analoge Struktur zu den Laminar II und III und schließlich das Archistriatum, das Afferenzen von Neostriatum caudale, pars trigeminale bekommt und Efferenzen zu den Hirnstammkernen und der Pyramidenbahn entsendet, als Pendant zur Lamina V angesehen.

Die Betrachtung der beiden Kerngebiete der trigeminalen Bahn unter dem Aspekt ihrer Größe zeigt eine gewisse charakteristische Abhängigkeit.

Die absoluten Größen der Kerne sind zueinander direkt proportional und stehen wiederum in direkt proportionalem Verhältnis zur Schnabelgröße ^[12, 80].

Die in dieser Arbeit gemessenen Volumina unterliegen auch dieser Gesetzmäßigkeit. Auch bei den Haushühnern ist der Basaliskern bis auf zwei Ausnahmen konstant um etwa den Faktor 10 größer als der Nucl. sensorius principalis n. V. Das Verhältnis zur Schnabelgröße konnte nicht ermittelt werden, da darüber keine Angaben vorhanden waren.

Die Literaturangaben für die trigeminale Komponente der Mechanorezeption sind umfangreicher und detaillierter als die für das spinale System. Die vorliegenden Forschungsergebnisse sprechen für einen gut entwickelten taktilen Wahrnehmungsapparat der Oralregion.

Die vergleichenden Untersuchungen von Hausgeflügel zeigen unterschiedliche, artspezifische Empfindlichkeit des Tastsinnes. Den Haushühnern wird die höchste Empfindlichkeit zugesprochen ^[21]. Im Rahmen der Verhaltensforschung zeigte sich, dass hungrige Hühner ihre Futterwahl nach optischen Gesichtspunkten vornehmen und sich für größere Futterbrocken entscheiden, die den Kropf schneller füllen.

Nahezu gesättigt ziehen sie die kleineren Bissen vor, bis sie ausschließlich nur diese zu sich nehmen. Hierbei wird die Entscheidung allein nach taktilen Sinnesindrücken vorgenommen. In dieser Phase selektieren die Hühner aus einem Weizen-Gerste-Gemisch den Weizen mit einer Aufnahmehäufigkeit von 100%, wogegen die Gerste nur zu 37% angenommen wird. Die anderen Geflügelarten – Gänse und Enten – machen bei der Auswahl einen deutlich geringeren beziehungsweise gar keinen Unterschied zwischen den beiden Getreidearten.

Bei freiem Auslauf wird der Einfluss der verschiedenen taktil spürbaren Merkmale bei der Bewertung der Grünfutterpflanzen besonders deutlich. Taktile beliebte Pflanzen mit einer bestimmten Blattdicke, geringer Reißfestigkeit und allgemeiner Zartheit werden nach einem Einprägungsprozess von erwachsenen Hühnern sicher angesteuert, wogegen die weniger beliebten außer Acht gelassen werden. Wiederum sind andere Hausgeflügelarten weniger wählerisch.

Die Bedeutung der quintofrontalen Strukturen (Nucl. basalis, Nucl. sensorius principalis n. trigemini und Tractus quintofrontalis) für das Nahrungsaufnahmeverhalten der Vögel wurde durch Untersuchungen nach Läsionen in diesen Bereichen deutlich ^[16]. Bilaterale Läsionen führen, je nach Ausmaß der Schädigung, über Unterbrechung des kontinuierlichen sensorischen feed back zur Hypophagie bis Aphagie und zum Verlust der Kontrolle der Mandibulation.

Die gemessenen Volumina des Nucl. principalis sensorius nervi trigemini und des Nucl. basalis sind in der Tabelle 3 aufgelistet, die Regressionsgeraden sind in den Abbildungen 5 und 6 dargestellt. Die *a*-Werte (s. Abbildungen) betragen 0.444 für den Nucl. principalis sensorius n. V und 0.208 für den Nucl. basalis. Das bedeutet, dass das Volumen des Nucl. principalis sensorius n. V einen mehr als doppelten Progress im Vergleich zum Volumen des Nucl. basalis erfährt und auch eine höhere Volumenentwicklung als das Gesamthirn zeigt. Dies weist auf die Bedeutung des Nucl. sensorius principalis n. V hin.

Der ohnehin relativ große Nucl. basalis verändert sich im Volumen etwas schwä-

cher als das Gesamthirn - möglicherweise wird bei diesem Kern die Leistungsfähigkeit über eine höhere Zelldifferenzierung gesteigert.

Betrachtet man die Allometrie-geraden und Progressionsindices der beiden Kerne, so wird deutlich, dass, auf die Rassen bezogen, beide Strukturen eine gleichsinnige Tendenz aufweisen. Die Volumenmittelwerte beider Kerne der Rassen Seidenhuhn und Krüper befinden sich oberhalb, die Mittelwerte der Rassen Chabo und Brahma unterhalb der Regressionsgeraden (s. auch Abb. 5 und 6).

Der Unterschied zwischen Chabo- und Seidenhühnern ist unter Berücksichtigung aller Messwerte nicht so deutlich wie in der vorläufigen Studie^[4], bleibt jedoch bestehen - der Nucleus principalis sensorius nervi trigemini und der Nucleus basalis sind bei den Seidenhühnern größer als bei den Chabos.

Die statistische Auswertung ohne die Extremwerte, die außerhalb des 2σ - Bereiches liegen (Nucl. sensorius principalis n. V des Seidenhuhns Nr. 374 und Nucl. basalis des Huhns der Rasse Chabo Nr. 355), zeigt eindeutig signifikante Unterschiede.

Für den Nucl. sensorius principalis n. V errechnet sich ein mittlerer Index von 114 für die Seidenhühner. Im Vergleich mit dem Kernindex-Mittelwert der Rasse Chabo von 93 ergibt sich eine Progredienz des Nucl. sensorius principalis n. V bei Seidenhühnern auf dem Signifikanzniveau von 0.95.

Noch deutlicher wird der Unterschied zwischen den Chabo- und Seidenhühnern bei dem Nucl. basalis.

Hier liegen die Rassenindices bei 88 bei den Chabo- und 114 bei den Seidenhühnern. Der Vergleich zwischen den Rassen ergibt für den Nucl. basalis eine signifikante Progredienz bei den Seidenhühnern auf dem Niveau von 0.99.

Die Progredienz der Kerne bei der Rasse Seidenhuhn kann als Kompensation der durch die starke Befiederung des Kopfes erschwerten visuellen Wahrnehmung über die Steigerung der taktilen Empfindlichkeit interpretiert werden (s. auch Kap. 4.4).

Bei den Volumina des Nucleus basalis und des Nucleus principalis sensorius nervi trigemini zeigen die Krüper insgesamt die höchsten Werte.

Warum diese Rasse die Progredienz der beiden Kerne aufweist, lässt sich hier nicht beurteilen. Die Differenz zwischen Seidenhühnern und Krüpern für den Nucl. basalis ist auf dem Niveau von 95% signifikant.

4.3. Das auditorische System

Die aufsteigende Hörbahn der Vögel unterscheidet sich zwar in einigen Aspekten von der der anderen Vertebraten, ist aber ähnlich komplex organisiert und befähigt die Tiere zu einer differenzierten, präzisen akustischen Wahrnehmung.

Das Sinnesorgan Ohr wird auch beim Haushuhn in drei Kompartimente unterteilt: äußeres, mittleres und inneres Ohr.

Dem äußeren Ohr der Aves fehlt die Ohrmuschel und es besteht lediglich aus einem kurzen äußeren Gehörgang, dessen Eingang von einem dicht mit Federn

besetzten Hautsaum geschützt wird. Die Schallwellen, die auf das Trommelfell auftreten, werden über einen einfachen Knochenstab - Columella - auf das Innenohr übertragen. Das Innenohr mit Schnecke und Bogengängen stellt das Sinnesorgan sowohl für den Gleichgewichtssinn wie für den Gehörsinn dar ^[21].

Die akustischen Rezeptoren - die Haarzellen - zeigen je nach ihrer Lokalisation im Corti-Organ eine unterschiedliche Morphologie. Die dem freien Anteil der Basilarmembran anliegenden Haarzellen sind kleiner als die, die sich näher am Ursprung der Membrana tectoria befinden. Dennoch lassen sich die Haarzellen bei den Vögeln nicht in eine innere und äußere Reihe unterteilen, da der Corti-Tunnel, der sonst die beiden Reihen voneinander trennt, fehlt.

Wie bereits im Kap. 3.3.1 erwähnt, besitzen die Vögel neben dem Corti-Organ (auch Papilla basilaris genannt) noch ein zweites rezeptives Organ - die Macula lagenae -, deren Funktion noch nicht endgültig geklärt ist. Sie scheint sowohl im cochlearen als auch im vestibularen System eine Rolle zu spielen ^[7, 8]. Auf Grund der unten angeführten Beobachtungen ist ihre auditorische Funktion als sehr wahrscheinlich anzusehen.

Das Cochlearganglion wird bei den Vögeln aus kleineren Perikaryen gebildet, die schichtähnlich unterhalb der Membrana basilaris liegen und sich nahezu auf ihre Gesamtlänge verteilen. Die größeren Zelleiber des Lagenarganglions liegen dagegen eng aneinander gruppiert als umschriebene Ansammlung hinter dem apikalen Ende des Ganglion cochleare.

Die aus den Axonen der Ganglienneurone bestehenden Nerven: N. cochlearis und N. lagenaris lassen sich bei Vögeln anhand ihres Verlaufs und kleinen Faserkalibers gut von den vestibulären Afferenzen abgrenzen.

In den beiden primären cochlearen Kernen, dem **Nucl. magnocellularis** (Mc) und dem **Nucl. angularis** (An), die aus Neuronen 2. Ordnung gebildet werden, lassen sich nach Art der Afferenzen und der zytoarchitektonischen Merkmale jeweils drei Kompartimente abgrenzen ^[6, 54]. Bei dem Nucl. magnocellularis unterscheidet man den medialen, den lateralen und den ventrolateralen Part. Der Nucl. angularis lässt sich ebenso in einen medialen und lateralen sowie einen ventralen Anteil gliedern. Bei beiden Kerngebieten erhalten die medialen und lateralen Subdivisionen die cochlearen Afferenzen (genaue Beschreibung ist dem Kap. 3.3.1 zu entnehmen).

Der Lagenarnerv projiziert in den ventrolateralen Anteil des Nucl. magnocellularis und den ventralen Anteil des Nucl. angularis, die in enger räumlicher Beziehung zu den Kernarealen stehen, die den Input aus der apikalen Cochlea erhalten (s. auch Schema 4).

Zum Teil vermischen sich auch die apikalen cochlearen und lagenaren Afferenzen. Dies berechtigt zur Annahme, dass die Macula lagenae ähnlich der apikalen Cochlea als Rezeptor auf niedrige Frequenzen anspricht, wogegen der Rest der Cochlea der Wahrnehmung hoher Frequenzen dient ^[7, 8].

Bezüglich der Histologie ähnelt die pars medialis des Nucl. angularis der pars lateralis des Nucl. magnocellularis und die pars lateralis des Nucl. angularis der pars medialis des Nucl. magnocellularis.

Der ventrolaterale Anteil des Nucl. magnocellularis und der ventrale Anteil des Nucl. angularis weisen ihrerseits eine vergleichbare Zytoarchitektur auf. Die histologische Unterteilung des Nucl. magnocellularis konnte in mehreren Schnittebenen

auch in dieser Arbeit nachvollzogen werden. Bei dem Nucl. angularis war die Untergliederung etwas weniger deutlich aber dennoch erkennbar.

In der komparativen Neurophysiologie wird der mediale Anteil des Nucl. angularis, der die Afferenzen aus der gesamten Cochlea erhält, mit dem posteroventralen Nucl. cochlearis der Säugetiere verglichen.

Wegen seiner synaptischen Verschaltung wird der Nucl. magnocellularis als homologe Struktur zu dem anteroventralen Nucl. cochlearis angesehen, wobei der mediale Anteil der Region III und der laterale Anteil, der ausschließlich apikalen cochlearen Eingang erhält, der Region II entspricht^[6, 7, 54].

Parks & Rubel^[54] konnten belegen, dass der Nucl. magnocellularis und der ihm nachgeschaltete **Nucl. laminaris** wie auch die Projektionsbahnen, die beide Kerne miteinander verbinden (ungekreuzter und gekreuzter Tr. cochlearis) tonotop organisiert sind.

Dabei resultiert das tonotope Muster des Nucl. laminaris aus den topographischen Projektionen des Nucl. magnocellularis, der seinerseits cochleotop innerviert wird. Über retro- und anterograde Degenerationsversuche konnte gezeigt werden, dass beide Kerngebiete die gleiche Hauptachse der tonotopen Struktur aufweisen: von caudolateral (niedrige Frequenz) nach rostromedial (hohe Frequenz).

Nach dem Modell von Rubel & Parks^[63] werden der dreidimensionale Nucl. magnocellularis in isofrequente Ebenen und der fast zweidimensionale Nucl. laminaris in isofrequente Bänder mit jeweils einer charakteristischen Frequenz unterteilt.

Über den gekreuzten und ungekreuzten Cochleartrakt erhält jedes Band des Nucl. laminaris aus den frequenzentsprechenden Ebenen der beiden Nucl. magnocellularen räumlich getrennte binaurale Afferenzen im Sinne einer Punkt-zu-Punkt-Projektion und somit indirekt aus den korrespondierenden Loci der beiden Cochleae.

Der Laminariskern wird nicht direkt vom Ganglion cochleare innerviert.

Die Art der Afferenzen sowie die elektrophysiologischen Eigenschaften der Laminaris-Neurone unterstützen die These, dass der Nucl. laminaris ein Äquivalent zum medialen Teil der Oliva superior (MOS) der Säuger ist und der eigentliche Nucl. olivaris superior der Vögel dem lateralen Kernanteil der Säuger entspricht. Nucl. olivaris superior, pars medialis wie der Nucl. laminaris bekommen jeweils als erste Station in der Hörbahn Erregungen aus beiden Cochleae und sind funktionell in erheblichem Maße an der räumlichen Lokalisation von niederfrequenten Lauten beteiligt. Unter den Säugern ist der Kern besonders gut ausgeprägt bei Spezies mit großen Augen^[7]. Innerhalb der Vögel fand sich eine drastische Hypertrophie des Nucl. laminaris bei nächtlich jagenden Vögeln (Eulen) und bei Tauben. So ist zum Beispiel die Anzahl der Laminaris-Neurone bei der Eule *Tyto alba* fünf Mal höher als bei einem Falken vergleichbarer Größe^[54].

Dies unterstreicht zum einen die Parallelen zwischen dem medialen Anteil der oberen Olive der Säuger und dem Laminariskern der Vögel, zum anderen bestätigt es die funktionelle Bedeutung des Kerns.

Beide medullären Kerne, der Nucl. magnocellularis wie der Nucl. laminaris, sind auf das Richtungshören von Lauten niedriger Frequenzen spezialisiert.

Als Mechanismus für die räumliche Diskrimination der tieferen Laute ist die zeitliche Verzögerung der eintreffenden Impulse bei dem dem Geräusch abgewandten

Laminariskern anzunehmen. Diese kommt zustande - unter Annahme gleicher Leitungsgeschwindigkeiten - durch unterschiedliche Faserlängen im gekreuzten und ungekreuzten Tractus cochlearis (4.0 mm bzw. 0.4 mm).

Eine genaue Lautanpeilung erfolgt bei den Haushühnern, ähnlich wie beim dreidimensionalen Sehen, über das Hin- und Herwenden des Kopfes.

Die Efferenzen aus allen drei medullären Schaltzentren (Nucl. angularis, Nucl. magnocellularis, Nucl. laminaris) unterscheiden sich bei den Vögeln von den gleichnamigen Faserbahnen der Mammalia (Corpus trapezoideum und Lemniscus lateralis) durch eine unscharfe Abgrenzung der Projektionen und durch das Fehlen von Projektionen zu den isthmischen Kernen und dem Nucl. semilunaris. Ferner lassen sich auch keine synaptischen Verbindungen mit dem dorsalen Nucl. lemniscorum lateralis nachweisen ^[6].

Die Oliva superior der Vögel ist, wie oben erwähnt, das Pendant zum lateralen Anteil des gleichnamigen Kerns der Säugetiere. In der vorliegenden Literatur wurden keine Angaben über die funktionelle Bedeutung des Kerns gefunden, dennoch wird er eindeutig dem auditorischen System zugeordnet.

Bei Untersuchungen an Säugetieren wurde deutlich, dass die pars lateralis der oberen Olive besonders stark ausgeprägt ist bei den Spezies, die sich über die Echolokation orientieren (Fledermaus, Delfin) ^[67].

Ebenfalls bei den echolokalisierenden Vogelarten und den meisten Singvögeln ist der Kern hypertroph und größer als der Nucl. laminaris. Bei Eulen und Tauben ist das Volumenverhältnis umgekehrt - hier zeigt sich für den Nucl. olivaris superior eine Hypotrophie gegenüber dem Nucl. laminaris ^[7].

Für die in dieser Arbeit untersuchten Haushuhn-Gehirne ist anzumerken, dass die absoluten Volumina des Nucl. olivaris superior stets um etwa den Faktor 2 kleiner sind als die des Nucl. laminaris.

Dies korreliert mit der Lautbildung der Hühner, die zwar unter den Hausgeflügelarten eine sehr klangreiche Kommunikation betreiben, jedoch liegen die meisten Laute in den niedrigen Frequenzbereichen ^[21].

Als weitere obligatorische Umschaltstation der auditorischen Projektionen gilt der **Nucl. mesencephalicus lateralis, pars dorsalis** (Mld). Der Kern bekommt über den Lemniscus lateralis die Afferenzen aus allen vier kontralateralen medullären akustischen Kerngebieten (Nuclei angularis, magnocellularis, laminaris und olivaris superior).

Dieses zentral in der subventrikulären grauen Substanz des Lobus opticus eingebettete, prominente Kerngebiet wird auf Grund seiner Lokalisation, elektrophysiologischer Eigenschaften und neuralen Verbindungen als akustisches Zentrum mit integrativen Leistungen verstanden ^[31].

Nach mehreren Autoren stellt der Nucl. mesencephalicus lateralis, pars dorsalis das Äquivalent des Colliculus inferior der Säugetiere und des gleichnamigen Kerns der Reptilien dar ^[6, 7, 37, 42, 43].

Die komplexen Unterteilungsmodi des Nucl. mesencephalicus lateralis, pars dorsalis in Teilgebiete resultieren zum Teil aus dem histologischen Bild, zum Teil aus der Art der akustisch evozierten Potentiale und schließlich aus der ursprünglichen Lokalisation der Afferenzen.

Der Nucl. mesencephalicus lateralis, pars dorsalis ist nur teilweise, und zwar in seinem zentralen Anteil, tonotop organisiert. Nach Knudsen & Knudsen ^[47] weist er in diesem Bereich eine ausgeprägte räumliche Repräsentation der akustischen Reize auf, so dass eine "map of auditory space" entsteht.

Etwa ein Viertel der Neurone zeigt auf akustische Reize eine komplexe, variable Antwort - exzitatorisch oder inhibitorisch -, wobei die Art der Antwort von der Signalintensität abhängig ist ^[5]. Da schon bei sehr geringen, wenige Dezibel betragenden Schallintensitätsunterschieden bei ein und derselben Zelle ein sprunghafter Wechsel in der Antwortqualität stattfindet, gelingt es nicht, eine charakteristische Frequenz dieser Perikaryagruppe zu bestimmen ^[5].

Die Efferenzen des Nucl. mesencephalicus lateralis, pars dorsalis zeigen (bis auf die Projektionen ins Tectum opticum ^[41, 47]) keine Evidenz von tonotoper Anordnung. Auch in ihrem Verlauf differieren sie von der auditorischen Bahn der Säuger. Die Projektion zum ipsi- und kontralateralen Nucl. ovoidalis bei den Vögeln wird mit der Projektion vom Colliculus inferior zum ipsi- und kontralateralen Corpus geniculatum mediale verglichen. Anders als bei Säugetieren erfolgt aber bei den Vögeln das Überkreuzen der Fasern auf die Gegenseite nicht in der intertectalen Kommissurenbahn, sondern in der Decussatio supraoptica dorsalis ^[42]. Über diese Kommissurenbahn gelangt ein kleines Faserkontingent zum kontralateralen Nucl. mesencephalicus lateralis, pars dorsalis ^[42].

Unter den vermessenen auditorischen Kernen ist der Nucl. mesencephalicus lateralis, pars dorsalis mit Volumina zwischen 1.7 und 5.5 mm³ mit Abstand das größte Gebiet.

Nach der vergleichenden Untersuchung von Cobb ^[13] ist der Kern besonders stark ausgeprägt bei nachtaktiven und echolokalisierenden Vögeln. Bei den Galliformes (Truthahn) wurden mit 2.4 Vol% die kleinsten Volumenanteile dieses Kerns am Gesamtvolumen des Lobus opticus gefunden.

Für die in dieser Arbeit untersuchten Haushuhn-Rassen wurden die Volumina des Nucl. mesencephalicus lateralis, pars dorsalis in Beziehung zu den Volumina des Tectum opticum gesetzt. Demnach ist der Kern bei den Haushühnern offensichtlich noch kleiner und beträgt lediglich 1.4 - 2.0 Vol% des Tectums.

Als weiteres Kerngebiet wurde der **Nucl. ovoidalis** (OV) untersucht.

Der Kern bekommt seine Afferenzen ausschließlich vom Nucl. mesencephalicus lateralis, pars dorsalis.

Aus anatomischer Sicht - wegen des fehlenden Eingangs aus anderen Hirnstrukturen - wird er mit der ventralen Subdivision des Corpus geniculatum mediale (MGB) der Säuger gleichgesetzt ^[5, 7, 42, 43].

Nach Biederman-Thorson ^[5] reagieren alle Neurone des Nucl. ovoidalis - ähnlich wie Zellen des Nucl. mesencephalicus lateralis, pars dorsalis - überwiegend auf reine Töne, wogegen die primären auditorischen Zentren im Telencephalon auf zusammengesetzte Laute / Geräusche spezialisiert sind.

Das Kerngebiet besteht aus drei verschiedenen Typen von Neuronen.

Manche Zellgruppen reagieren auf akustische Reize mit einfacher Erregung, manche mit einfacher Hemmung, die meisten aber zeigen ein komplexes Antwortmuster, exzitatorisch / inhibitorisch in Abhängigkeit von Tonfrequenz und -intensität. In den einzelnen Perikaryagruppen lassen sich funktionelle Einheiten ausmachen,

die über unterschiedliche Tonqualitäten jeweils sehr spezifisch angesteuert werden. So zeigen viele Zellen die maximale Aktivität unabhängig von der Tonintensität in einem bestimmten engen Frequenzbereich, in einer s.g. charakteristischen Frequenz. Andere haben ihr Reaktionsmaximum bei einer mittleren Lautstärke und noch weitere reagieren gleich auf bestimmte Kombinationen von Frequenz und Intensität.

Unabhängig von der Art der Stimulation – mono- oder binaural - wird bei den Vögeln fast die gesamte neurale Population beider Nucl. ovoidales aktiviert. Bei monoauralem Reiz zeigt sich bei den Vögeln eine qualitativ ähnliche Erregung beider Nucl. ovoidales, wenn auch anhand der Anzahl der evozierten Impulse und deren Amplitude im Nucl. ovoidalis einer Seite eine quantitativ stärkere Antwort durch eine streng kontralaterale Stimulation als durch einen ipsilateralen Reiz erzielt wird. Im Gegensatz dazu führt bei Katzen oder Kaninchen ein monoauraler Reiz in der Regel zur Erregung des kontralateralen und zur Hemmung des ipsilateralen Corpus geniculatum mediale ^[5].

Ferner provoziert eine binaurale Stimulation bei den Vögeln, verglichen mit monoauraler Stimulation des dominanten Ohres, überwiegend eine Antwortminderung der Neurone des Nucl. ovoidalis ^[5], während sie bei den Säugetieren zur Aktivitätserhöhung des Corpus geniculatum mediale der kontradominanten Seite führt.

Wenn auch die Übertragungs-, Verarbeitungs- und Integrationsmodi für akustische Reize bei den Vögeln in mancher Hinsicht von den Schemata bei höheren Vertebraten abweichen, so ist es dennoch evident, dass das auditorische System der Vögel hoch entwickelt ist und ein sehr leistungsfähiges Orientierungsinstrumentarium darstellt.

Die Gehörempfindlichkeit der Haushühner entspricht in etwa der des Menschen. Es werden die Schallwellen in dem Frequenzbereich zwischen 400 und 20000 Hz (bei den Küken bis zu 50000 Hz) wahrgenommen ^[21].

Im Dunkeln, allein auf das Gehör angewiesen, erkennen sich die Küken und die Glucke gegenseitig auf die Entfernung von über 15 m, selbst wenn andere Lärmquellen kreisförmig in einem Radius von 1 m um sie herum aufgestellt werden. Mit einem Ruf kann man die Hühner aus einer Entfernung von 50 m locken, wogegen die anlockende Wirkung über die visuellen Reize, wie das Erscheinen des Pflegers, auf Distanzen bis höchstens 25 m beschränkt ist ^[21].

Diese Verhaltensmerkmale zeigen deutlich, dass sich das Huhn situationsabhängig mehr über den Gehör- als über den Gesichtssinn orientiert. Dies korreliert mit den quantitativen Befunden dieser Studie. Betrachtet man die ermittelten a -Werte für die Kerne des auditorischen Systems (s. Abbildungen 8-13), so ist es auffällig, dass bis auf den Nucl. ovoidalis alle anderen akustischen Kerngebiete eine deutlich stärkere Volumenprogression als das Gesamthirn erfahren (a -Werte zwischen 0.331 und 0.458 versus $a = 0.245$ für das Gesamthirn). Die Progression des Systems wird durch das geometrische Mittel aller a -Werte der untersuchten akustischen Kerne $\bar{a} = 0.333$ verdeutlicht.

Ferner erfahren die akustischen Kerne eine stärkere Massenzunahme als die visuellen Kerne, deren a -Werte zwischen 0.263 und 0.368 liegen mit dem geometrischen Mittelwert von $\bar{a} = 0.294$.

Lediglich beim Nucl. ovoidalis zeigt sich eine gegenläufige Tendenz. Der Anstieg der Allometriegeraden für den Nucl. ovoidalis für die hier untersuchte Haushuhnpopulation beträgt 0.153 und ist somit die zweitkleinste von den errechneten *a*-Werten. Ähnliches wurde von Gasthaus^[28] gefunden. Von diencephalen Kernen zeigte der Nucl. ovoidalis die geringste Progression, wobei er bei den Galliformes (Fasane, Rebhühner und Wachteln) im Vergleich zu den Passeriformes noch weniger ausgebaut war. Wegen der geringen Volumenentfaltung des Kerns in Kombination mit guter Hörleistung der Haushühner muss hier an einen anderen möglichen Aspekt der Leistungsfähigkeit der ZNS-Strukturen, wie spezifische Eigenschaften dieser Neuronenpopulation, gedacht werden.

Die errechneten Indices lassen geringe Unterschiede zwischen den Chabos und Seidenhühnern im Ausbau des auditorischen Systems erkennen, die allerdings nicht statistisch signifikant sind. Bei allen akustischen Zentren sind die mittleren Kernindices der Chabos höher als die der Seidenhühner und leicht progressiv, wogegen sie bei den Seidenhühnern regressive Tendenz aufweisen.

Dies könnte bei einer der ältesten domestizierten Hühnerrassen, den Chabos, als Folge des langen ständigen, engen Kontakts zu Menschen und ihrer Sprache einerseits und des bei Hühnern allgemein bekannten Hangs zu Geselligkeit und verschiedenartiger Lautbildung und damit auch deren akustischer Wahrnehmung andererseits aufgefasst werden.

4.4. Die motorischen Kerngebiete

Trotz der zum Teil sehr unterschiedlichen Körperproportionen, Ausprägung der Muskelgruppen und Temperamentsveranlagungen finden sich bei den motorischen Schaltzentren, mit Ausnahme der Augenmuskelkerne, keine nennenswerten Rassenunterschiede.

Von den Augenmuskelkernen wurden hier der **Nucl. nervi oculomotorii**, **Nucl. nervi trochlearis** und der **Nucl. accessorius nervi oculomotorii Edinger-Westphal** vermessen. Die Kerne lassen sich nicht in allen Schnittebenen sicher voneinander abgrenzen und wurden deshalb als Ganzes betrachtet. Ansonsten entspricht die Lokalisation und das Aussehen der Kerne im vorliegenden Material den Angaben in der Literatur^[32].

Die von mehreren Autoren beschriebene histomorphologische Unterteilung des Nucl. nervi oculomotorii in drei Untergruppierungen konnte auch in dieser Arbeit in vielen Schichten nachvollzogen werden, allerdings war die genaue Abgrenzung der einzelnen Motoneuronengruppen voneinander vor allem in den Grenzbereichen nicht möglich. Die Gliederung in ein dorsomediales, dorsolaterales und ventromediales Kompartiment ist von funktioneller Bedeutung: Jede Untereinheit entsendet efferente Fasern zu einem bestimmten Augenmuskel (siehe Schema 7)^[32, 36, 37, 46].

Die Motoneurone des dorsomedialen Anteils innervieren den ipsilateralen M. rectus medialis, die des dorsolateralen Anteils den ipsilateralen M. rectus inferior. In der ventromedialen Komponente wird ferner eine dorsale und eine mediale

Zellgruppe unterschieden, deren Efferenzen den ipsilateralen M. obliquus inferior bzw. den kontralateralen M. rectus superior erreichen.

Der körpergrößenabhängige Ausbau der Augenmuskelkerne ist mit dem *a*-Wert von 0.182 deutlich geringer als der des Gesamthirns. Die Rassenindices zeigen einen statistisch signifikanten Unterschied (0.95 Niveau) zwischen den Rassen Chabo und Seidenhuhn.

Der Index-Mittelwert der Rasse Chabo zeigt mit 106 eine nur leichte Progredienz des III/IV/EW-Komplexes, wogegen er bei den Seidenhühnern mit 89 deutlich regredient ist. Die anderen Rassen - Krüper, Shamo und Brahma – weisen ähnliche Indexwerte wie die Chabos auf.

Über die funktionelle Bedeutung dieses Befundes lassen sich allenfalls Vermutungen anstellen. Möglicherweise ist die Reduktion der Augenmuskelkerne bei den Seidenhühnern auf das erschwerte visuelle Anpeilen eines Objektes durch die Befiederung des Kopfes und insbesondere durch die kugelige Federhaube zurückzuführen. Unter einem anderen Aspekt betrachtet, kann die Progression bei den Chabos durch die im Vergleich zu Seidenhühnern bessere Lernleistung^[56], die neben den kognitiven Fähigkeiten eine höhere Aufmerksamkeit - also auch das visuelle "Abtasten" des Umfeldes – begründet sein.

Von den Kerngebieten, die der Extrapyramidalmotorik zuzuordnen sind, wurden das Palaeostriatum, das Cerebellum, der Nucl. ruber und der Nucl. olivaris inferior untersucht.

Der gesamte **palaeostriatale Komplex** (Pp und Pa) mit den absoluten Volumina um die 200 mm³ macht etwa 8 % des Gesamthirnvolumens und 15 % des telencephalen Volumens aus. Das Palaeostriatum der Vögel wird auf Grund seiner Lokalisation, der neuronalen Verbindungen und der Neurochemie mit dem Corpus striatum-Globus pallidus-Komplex der Säugetiere verglichen^[43, 57, 59].

Der eine Hauptkern, das Palaeostriatum primitivum (Pp), ist wegen des Zelltypus, Konzentration von Eisen, Verteilungsmuster von verschiedenen Enzymen - u.a. der Acetylcholinesterase - als Äquivalent des Globus pallidus anzusehen. Die elektronenmikroskopischen Betrachtungen der beiden Areale zeigen identische Anordnung von axodendritischen Endigungen.

Auch die efferenten Verbindungen der beiden Kerngruppen stimmen überein.

Über die Ansa lenticularis erreichen die Impulse des Palaeostriatum primitivum wie die des Globus pallidus einen retikulären, stark katecholaminhaltigen Kern in der Isthmusregion, den Nucl. tegmenti pedunculo pontinus, pars compacta^[43].

Das Palaeostriatum augmentatum (Pa) zeigt genau wie das Corpus striatum der Säuger eine hohe Konzentration von Dopamin und Acetylcholinesterase. Das Vorkommen von Dopamin im Telencephalon der Säugetiere ist fast ausschließlich auf den Nucl. caudatus und das Putamen beschränkt. Vergleichbar bei den Vögeln findet sich Dopamin nur im Bereich des Palaeostriatum augmentatum, in dem darüber liegenden Neostriatum ist kein Dopamin nachweisbar^[43].

Bei den Säugern gilt der Globus pallidus als eine ursprünglich diencephale Struktur, bei den Vögeln wird für das komplette Palaeostriatum ein telencephaler Ursprung vermutet^[59].

Da bei den Vögeln die Grenze zwischen dem Palaeostriatum primitivum und den übrigen palaeostriatalen Strukturen nicht reproduzierbar nachvollzogen werden

kann, wird das gesamte Palaeostriatum als ein telencephales Kerngebiet betrachtet.

Der geringe Ausbau des Palaeostriatum bei steigendem Körpergewicht ($a = 0.189$) kann hier nicht gedeutet werden.

Rassespezifische Unterschiede innerhalb der untersuchten Haushuhnpopulation sind nicht festgestellt worden. Dies steht im Einklang mit dem Befund von Rehkämper et al. ^[56].

Auch zwischen unterschiedlichen Arten der Galliformes und Passeriformes wurden in einer vergleichenden Studie von Rehkämper et al. ^[57] keine signifikanten Unterschiede gefunden, obwohl die Passeriformes in Abgrenzung zu eher bodennah lebenden Galliformes als gute Flieger gelten und insgesamt in der Hirnentwicklung eine deutliche Progression im Vergleich zu Galliformes zeigen ^[46], so dass ein Volumenausbau des Palaeostriatum zu erwarten wäre.

Das **Cerebellum** der Vögel ist, ähnlich wie das der Säuger, funktionell als Zentrum der Bewegungskoordination und als wesentlicher Bestandteil der extrapyramidalen Komponente des motorischen Systems anzusehen.

Durch Integration der Wahrnehmungen aus allen Sinnessystemen greift das Cerebellum über die Kleinhirnrinde und die Nucl. cerebellares kontrollierend und modulierend in die Steuerung der motorischen Abläufe ein.

In dieser Arbeit wurde das gesamte Kleinhirn vermessen.

Die Form des Cerebellums variiert zwischen den Rassen in Abhängigkeit von der Form der Schädelkalotte; bei den Chabos ist sie insgesamt breiter und flacher als bei den Seidenhühnern.

Die Unterteilung der cerebellären Kerne in die mediale und laterale Gruppe ist im vorliegenden Material deutlich zu erkennen. Die in der Literatur beschriebene weitere Unterteilung der Kerne in bestimmte Neuronpopulationen konnte nicht nachvollzogen werden.

Unterschiede in der Ausprägung des Kleinhirnkomplexes zwischen den Rassen sind nicht festgestellt worden - die Rassenmittelwerte liegen annähernd auf der Allometriegeraden bei geringer Streuung der einzelnen Messdaten.

Das Volumen des Cerebellums zeigt bei steigendem Körpergewicht einen stärkeren Zuwachs ($a = 0.309$) als das Gesamthirn. Als Ursache hierfür kann die Vermehrung der Muskelmasse angenommen werden, wodurch der Umfang der spinalen, propriozeptiven Afferenzen des Kleinhirns als auch der cerebellären Efferenzen quantitativ zunimmt.

Ähnliches gilt für den **Nucl. ruber**, ein weiteres Schaltzentrum im extrapyramidalen System. Auch dieser Kern wird mit zunehmendem Körpergewicht im Verhältnis zum Gesamthirn stärker ausgebaut ($a = 0.329$). Wie beim Cerebellum kann dies als neurologisches Korrelat zur numerischen Hypertrophie des Muskelgewebes aufgefasst werden. Für die einzelnen Rassen zeigen sich keine signifikanten Unterschiede in der Ausprägung des Kerngebietes.

In den vorliegenden Schnittserien entsprach die Lokalisation und die Histologie des Nucl. ruber den Angaben in der Literatur ^[37, 74]. Die von Stiefken ^[72] beschriebene histologische und zugleich auch funktionell relevante Gliederung des Kerns bei Fledermäusen in die pars parvo- und magnocellularis findet sich bei den

Haushühnern nicht. Der Nucl. ruber ist in seiner Erscheinung für alle Haushuhnrasen und in allen Schnittebenen konstant. Sein Bild ist geprägt durch die großen Perikarya und die dazwischen liegenden kleineren Zellleiber.

Ein weiteres wichtiges extrapyramidales Schaltzentrum - der **Nucl. olivaris inferior** - fand sich in allen Schnittserien an der für die Vögel typischen Stelle und zeigte die typische komplexe Form ^[29].

Nach Sinn ^[67] lassen sich in der unteren Olive der Vögel zwei schalenförmige Lamellen unterscheiden - eine dorsale und eine ventrale - die jeweils von Perikaryen unterschiedlicher Größe und Form gebildet werden. Die Ausprägung der beiden Lamellen ist artabhängig und variiert teilweise erheblich ^[46]. Bei den Haushühnern ist die Lamellenform nicht so deutlich abzugrenzen wie bei vielen anderen Vogelarten. Die unterschiedlichen Zellarten der beiden Blätter sind lichtmikroskopisch nicht erkennbar. Von der Zellkernzusammensetzung bietet der Nucl. olivaris inferior der Haushühner eher ein einheitliches Bild, das möglicherweise durch den Windungscharakter und damit das Überlappen der Schichten vorgetäuscht wird. Die bei den Vögeln inkonstant ausgebildeten Nebenoliven sind in dem untersuchten Material nicht vorhanden.

Für den Kern errechnen sich für alle Haushuhnrasen ähnliche Indices. Der Allometriegradanstieg für diesen Kern ist mit $a = 0.172$ der kleinste von den a -Werten der motorischen Kerngebiete. Demnach ist der Nucl. olivaris inferior bei der Hirnentfaltung unterrepräsentiert. Insbesondere setzt er sich von den anderen beiden extrapyramidalen Strukturen - dem Cerebellum und dem Nucl. ruber - deutlich ab.

Bei Säugern bilden die drei Komponenten (Cerebellum, Nucl. ruber und Nucl. olivaris inferior) einen Schaltkreis, der nach einem bestimmten Algorithmus funktioniert (s. Schema 6).

Die Efferenzen des kleinzelligen Anteils des Nucl. ruber erreichen den kontralateralen Nucl. olivaris inferior. Nach Umschaltung dort werden die Impulse, topographisch organisiert ^[25], im Kletterfasersystem zu den Purkinje-Zellen der Kleinhirnrinde fortgeleitet. Diese projizieren auf die Kleinhirnkerne. An den Nucl. cerebellares enden ferner die Kollateralen der Kletterfasern. Die Projektionen der Kleinhirnkerne gelangen gekreuzt über den Tractus cerebellothalamicus in den extrapyramidalen Teil des Thalamus und über den Tractus cerebellorubralis in den Nucl. ruber. In der pars parvocellularis des Nucl. ruber schließt sich der Kreislauf zwischen dem Kern und Cerebellum. Die pars magnocellularis des Nucl. ruber ist der Ursprungsort des Tractus rubrospinalis, der in den Seitenstrang des Rückenmarks zieht und von dort aus die gemeinsame motorische Endstrecke (Interneurone und α -Motoneurone) erreicht. Über diese Schleife, in die Nucl. olivaris inferior und Nucl. ruber als wichtige Relaisstationen eingebunden sind, greift das Cerebellum in die Motorik ein.

Bei den Vögeln wird grundsätzlich ein analoger Algorithmus angenommen. Die Komponenten des Schaltkreises sind besonders gut entfaltet bei Arten mit extrem entwickelten motorischen Fähigkeiten. Unter den Vögeln weisen die Kolibris im Vergleich zu galliformen und passeriformen Vögeln eine ausgeprägte Progression von allen drei Strukturen auf ^[46]. Innerhalb der Säugetiere sind das Cerebellum und die untere Olive stark progredient bei den nektarsaugenden Fleder-

mäusen, die zu einer Art Schwebflug befähigt sind ^[72]. Bei den Primaten inklusive des Menschen ist der Nucl. olivaris inferior stark ausgeprägt, so dass er schon von außen als prominente Vorwölbung an der Hirnunterseite zu erkennen ist. Bei diesen Spezies wird dem Kern eine wichtige Rolle in der Präzisionsmotorik der Extremitäten, insbesondere der Hand, zugeschrieben ^[72].

Diese Befunde deuten darauf hin, dass die besonderen motorischen Leistungen eng mit einem entsprechenden Ausbau des extrapyramidalen Systems in Beziehung zu bringen sind. Das progressive Wachstum des Nucl. olivaris inferior bei den Vogelarten, die gute Flugleistungen vollbringen, die wiederum an eine präzise sensomotorische Ansteuerung des Flügels gekoppelt sind, fügt sich in diese These ein.

Vor diesem Hintergrund ist bei den Haushühnern die geringe Volumenvergrößerung des Nucl. olivaris inferior in Abhängigkeit von der Körpergröße und auch die aparallele Entfaltung in Bezug auf Cerebellum und Nucl. ruber als neurologisches Korrelat für die funktionelle Regression des Flügels zu verstehen.

Der **Nucl. nervi hypoglossi** innerviert mit seinen efferenten Fasern die autochthone Muskulatur des Halses, die bei anderen Vertebraten vom ersten Cervikalnerv angesteuert wird.

Seinem eigentlichen Innervationsgebiet entsprechend wurde für den Kern die Bezeichnung als Nucleus supraspinalis vorgeschlagen ^[75], die sich jedoch in der Literatur nicht durchgesetzt hat.

Wegen seiner ausgeprägten Volumenentwicklung bei Kolibris und deutlicher Progredienz bei Passeriformes im Vergleich zu Hühnervögeln wird der Kern von Kinkel ^[46] mit der Flugtätigkeit und -leistung in Zusammenhang gebracht.

Diese Abhängigkeit lässt sich in dieser Studie nicht uneingeschränkt nachvollziehen. Der hier für den Nucl. nervi hypoglossi errechnete a-Wert von 0.328 ist deutlich höher als der für das Gesamthirn und impliziert eine progrediente Kernentfaltung.

Aufgrund des Befundes muss angenommen werden, dass diese Perikaryagruppe über ihr Zielgebiet nicht nur zur Stabilisierung der Halsregion beim Fliegen ^[46], sondern auch bei den bodenständigen Bewegungsabläufen von großer Bedeutung ist.

Für die hier untersuchten Haushuhnrassen, die alle nur selten und eher ungeschickt von ihrer Flugfähigkeit Gebrauch machen, ergaben sich keine signifikanten Rassenunterschiede in der Ausprägung des Kerns. Dennoch fällt auf, dass das Kernvolumen bei den Rassen Krüper und Shamo Indexwerte von über 120 erreicht, wogegen die Indices der übrigen Rassen zwischen 90 und 103 liegen (s. auch Kap. 3.1.4.3). Dies spricht für die oben aufgestellte Hypothese. Der Name Shamo bedeutet im Japanischen einfach Kämpfer. Auch bei den heutigen urtümlichen Kämpfer sind die Kampfeigenschaften und die ungewöhnliche Vitalität erhalten. Des Weiteren zeichnen sich die Shamos durch eine steile Körperhaltung bei langer, nach dorsal gebogener Halslinie und nur wenig nach oben gewölbter Rückenlinie aus. Auf Grund dieser Charakter- und Anatomiemerkmale ist ein entsprechend starker Halteapparat des Halses und somit eine Progredienz des Nucl. n. hypoglossi zu erwarten.

Der größte Indexwert errechnet sich für die Krüper, was auf den ersten Blick widersprüchlich erscheinen mag. Der Rassenname Krüper ist ein Mundartbegriff für

„Kriechhuhn“, einer Bezeichnung, die wegen des charakteristischen watschelnden Ganges den Tieren zuteil wurde. Die Gangart resultiert aus einer Beinverkürzung, die genetisch festgelegt ist und dominant vererbt wird. Dabei sind die homozygoten Träger der s. g. Krüperanlage Cp nicht überlebensfähig und sterben bereits beim Bebrüten im Ei ab. Bei den heterozygoten Trägern manifestiert sich die Genomveränderung in Verkürzung und Verdickung der Läufe. Der dadurch geänderte Gang erfordert möglicherweise als Kompensationsmechanismus eine besonders gute Stabilisierung der Wirbelsäule. Hiermit liesse sich der Ausbau des Nucl. n. hypoglossi bei den Krüpern funktionell erklären.

Der eigentliche Hypoglossuskern der Vögel, der **Nucl. intermedius**, wird nach Wild ^[75] anhand von Tracingmethoden in zwei Kompartimente gegliedert. Das laterale rostrale Drittel, die pars lingualis, innerviert über die im Nervus hypoglossus gebündelten efferenten Fasern die Muskulatur der Zunge. Die medialen kaudalen zwei Drittel, die pars tracheosyringalis, entsendet ihre Efferenzen zur Trachea und Syrinx, dem Stimmbildungsorgan der Singvögel. Die in diesem Kernanteil durch akustische Stimulationen hervorgerufene Aktivität lässt auf eine Afferenz aus den akustischen Zentren schließen ^[53]. Ferner wurde eine direkte Verbindung der pars tracheosyringalis mit dem Nucl. robustus im dorsalen Archistriatum nachgewiesen ^[53], wobei das Archistriatum als telencephales Zentrum die Kontrollfunktion über die motorische Aktivität und Teile des limbischen Systems hat. Aufgrund seiner afferenten und efferenten Verbindungen wird der Nucl. intermedius als ein Zentrum verstanden, das für den Vokalisationsprozess im Hinblick auf das Erlernen von neuen Lauten durch Imitation und auf die Fähigkeit auf das Gehörte adäquat zu antworten, von Bedeutung ist ^[81].

Die Unterteilung des Nucl. intermedius in zwei Einheiten ist lichtmikroskopisch im vorliegenden Material nicht nachvollziehbar. Insofern sind die Rassenunterschiede, die sich für diesen Kern ergeben, nicht funktionsbezogen zu deuten. Bei den Seidenhühnern ist der Nucl. intermedius deutlich regredient ($I_S = 87$) im Vergleich zu den Rassen Chabo ($I_C = 104$) und Krüper ($I_K = 144$). Für die Differenz zwischen Chabos und Krüpern errechnet sich zwar ein Signifikanzniveau von 0.95, das Ergebnis ist jedoch nur mit Vorsicht zu werten, da die Rassen unterschiedlich stark repräsentiert sind. Der Unterschied zwischen Chabo- und Seidenhühnern erweist sich wegen der Streuung der Einzelwerte statistisch als nicht signifikant, dennoch ist die Progression des Kerns bei den Chabos gegenüber den Seidenhühnern als deutlich anzusehen (s. Abb. 26).

Das Haushuhn hebt sich in der Verhaltensforschung mit seinem Hang zu Geselligkeit von allen anderen Hausgeflügelarten ab. Ebenfalls ist sein "Lautschatz" deutlich größer als der des übrigen Hausgeflügels. Es vermag in der Verständigung untereinander zahlreiche fein abgestufte, klar unterscheidbare Töne und Laute hervorzubringen ^[21].

Wenn man berücksichtigt, dass die Chabohühner die längste Domestikationsgeschichte haben und nicht als Wirtschaftsrasse sondern als Stubentier gehalten werden und das im Zusammenhang mit ihrer guten Lernfähigkeit ^[56] und Geselligkeit betrachtet, so ist es anzunehmen, dass die Progression des Nucl. intermedius bei dieser Rasse durch die Förderung der Vokalisation zustande kommt. Nach Kinkel ^[46] kann die Progression des Nucl. intermedius bei den passeriformen Vögeln gegenüber den Galliformes als Ausdruck ihrer Fähigkeit zu singen ange-

sehen werden. Die extreme Progression des Kerns bei den nektarsaugenden, nicht singenden Kolibris wird dagegen mit den besonderen Leistungsanforderungen an die Zungenmuskulatur in Verbindung gebracht.

Die Perikarya des **Nervus glossopharyngeus und des motorischen Anteils des Nervus vagus** liegen hauptsächlich in einem gemeinsamen Kerngebiet in der dorsalen Medulla oblongata, das nach Karten & Hodos ^[45] als der Nucleus nervi glossopharyngei et motorius dorsalis nervi vagi bezeichnet wird.

Eine weitere, ventrolateral in der Medulla oblongata gelegene Perikaryenansammlung, die dem Nucleus ambiguus der Säuger entsprechen soll, wird ebenfalls zum Ursprungsgebiet der beiden Nerven gezählt ^[48, 75]. Die Efferenzen dieser Zellgruppe erreichen den Ösophagus, den Larynx, den Pharynx und die Zunge ^[75].

Ferner wird für den N. glossopharyngeus ein dritter Ursprungsort beschrieben - eine Kerngruppe in enger, topographischer Beziehung zum Nucl. nervi facialis, die mit ihren efferenten Fasern den Musculus geniohyoideus innerviert ^[75].

In dieser Arbeit wurde der Hauptkern, der Nucl. nervi glossopharyngei et motorius dorsalis nervi vagi (N IX/X) untersucht. Die anderen Areale waren mit der Methode nicht abzugrenzen und mussten vernachlässigt werden.

Der Kernkomplex befand sich im vorliegenden Material in der typischen Lokalisation und wies die charakteristische Zytoarchitektur auf. Die Grenze zwischen den einzelnen Kernen IX und X war nur in manchen Schnittebenen zu erkennen.

Da der Nucl. nervi glossopharyngei et motorius dorsalis nervi vagi mit seinen parasymphatischen, visceralen Fasern die vegetativen Funktionen der Atemorgane, des oberen Verdauungstraktes und des Herzens steuert, waren bei diesem Kerngebiet keine Rassenunterschiede zu erwarten. Diese Erwartung wird durch diese Untersuchung bestätigt.

Die Mittelwerte der Kernvolumina des N IX/X liegen ziemlich genau auf der Allometriegeraden.

Die individuellen Indices und die Indexmittelwerte der Rassen lassen keine rasse-spezifischen Ausprägungsdifferenzen erkennen. Auch zwischen unterschiedlichen Taxa - Galliformes, Passeriformes, Trochilidae - konnten keine Unterschiede festgestellt werden ^[46].

Der Anstieg der Allometriegeraden mit $a = 0.346$ zeigt eine Volumenprogression, die über der des Gesamthirns liegt. Dieses Ergebnis spiegelt die essentielle Bedeutung einer intakten, leistungsfähigen Steuerung der vegetativen Funktionen wieder.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Die äußere Verschiedenheit der Haushuhnrasen dokumentiert eine große intraspezifische Variabilität. Das geht einher mit einer Variabilität im Verhalten. Daran knüpft sich die Frage, inwieweit sich das in Größe und Zusammensetzung des Gehirns widerspiegelt.

Auf der Grundlage von Hirnschnittserien durch die Gehirne von Haushühnern, die zu 5 verschiedenen Rassen (Chabo, Seidenhühner, Krüper, Shamo, Brahma) gehören, wurden die Hirngröße sowie Topographie, Cytologie und Volumen von Kerngebieten und Tractus opticus bearbeitet, die zu 4 verschiedenen Funktionssystemen gehören.

Im visuellen System wurden Tractus opticus, Tectum opticum und Nucleus rotundus vermessen.

Im somatosensorischen System wurden Nucll. cuneatus et gracilis, Nucl. sensorius principalis nervi trigemini und Nucl. basalis bearbeitet.

Im auditorischen System waren Nucl. magnocellularis, Nucl. angularis und Nucl. laminaris, Nucl. olivaris superior, Nucl. mesencephalicus lateralis, pars dorsalis und Nucl. ovoidalis thalami Gegenstand der Untersuchung.

Das motorische System ist durch Palaeostriatum, Cerebellum, Nucl. ruber, Nucl. olivaris inferior, Komplex aus Nucl. nervi oculomotorii et trochlearis und Nucl. accessorius nervi oculomotorii Eddinger-Westphal, Nucll. Glossopharyngei et motorius nervi vagi, Nucl. nervi hypoglossi und Nucl. intermedius repräsentiert.

Für alle Nuclei wurden die Frischvolumina berechnet und rassenübergreifend in einem allometrischen Ansatz zum Körpergewicht in Beziehung gesetzt. Progressions- bzw. Regressionsindices der einzelnen Rassen wurden miteinander verglichen und auf signifikante Unterschiede hin geprüft.

Nucl. sensorius principalis nervi trigemini und Nucl. basalis zeigen sich bei den Seidenhühnern signifikant vergrößert, während bei den Chabos Nucl. cuneatus et gracilis-Komplex größer ist. Weiterhin sind die Augenmuskelnervenkerne (Nucl. nervi oculomotorii et trochlearis und Nucl. accessorius nervi oculomotorii Eddinger-Westphal) bei den Chabos im Vergleich zu den Seidenhühnern signifikant größer ausgebildet.

Alle Befunde - vorhandene und nicht vorhandene Unterschiede – werden auf dem Hintergrund der funktionellen Verbindung der einzelnen Kerne ausführlich diskutiert.

6. LITERATUR

1. Arends, J.J.A.; Dubbeldam, J.L., 1984: The subnuclei and primary afferents of the descending trigeminal system in the mallard (*Anas platyrhynchos* L.). - *Neuroscience* 13: 781-795
2. Arends, J.J.A.; Zeigler, H.P., 1991: Organisation of the cerebellum in the pigeon (*Columba livia*): I. Corticonuclear and corticovestibular connections. - *J. Comp. Neurol.* 306: 221-244
3. Arends, J.J.A.; Zeigler, H.P., 1991: Organisation of the cerebellum in the pigeon (*Columba livia*): II. Projections of the cerebellar nuclei. - *J. Comp. Neurol.* 306: 245-272
4. Augustyniak-Perko, M.; Frahm, H.; Rehkämper, G., 1996: Vergleichende Untersuchungen sensorischer Hirnareale bei fünf Rassen des Haushuhns. - *Acta biol. Benrodis, Suppl.* 3: 75-83
5. Biederman-Thorson, M., 1970: Auditory responses of units in the ovoid nucleus and cerebrum (field L) of the ring dove. - *Brain Research* 24: 247-256
6. Boord, R.L., 1968 : Ascending projections of the primary cochlear nuclei and nucleus laminaris in the pigeon. - *J. Comp. Neurol.* 133: 523-542
7. Boord, R.L., 1969: The anatomy of the avian auditory system. - *Annals N.Y. Academy of Sciences* 167: 186-198
8. Boord, R.L.; Rasmussen, G.L., 1963: Projection of the cochlear and lagenar nerves on the cochlear nuclei of the pigeon. - *J. Comp. Neurol.* 120: 463-475
9. Cabrera, B.; Pásaro, R.; Delgado-Garcia, J.M., 1989: Cytoarchitectonic organisation of the abducens nucleus in the pigeon (*Columba livia*). - *J. Anat.* 166: 203-211
10. Cajal, S. R., 1891: Sur la fine structure du lobe optique des Oiseaux et sur l'origine réelle des nerfs optique. - *Intern. Monat. Anat. Physiol.* 8: 335-366
11. Cajal, S. R., 1911: Histologie du système nerveux de l'Homme et des Vertèbres. Consejo Superior De Investigaciones Cientificas, 1952 (Reprint of original edition, 1911)
12. Carr, R.A.; Wild, J.M., 1984: Cranial nerve afferents to the principal sensory trigeminal nucleus in the galah (*Cacatua roseicapilla*). - *Neurosci. Lett.* 15: 24-25
13. Cobb, S., 1964: A comparison of the size of an auditory nucleus (nucl. mesencephalicus lateralis, pars dorsalis) with the size of the optic lobe in twenty-seven species of birds. - *J. Comp. Neurol.* 122: 271-279
14. Cowan, W.L.; Adamson, L.; Powell, T.P.S., 1961: An experimental study of the avian visual system. - *J. Anat.* 95: 545-562

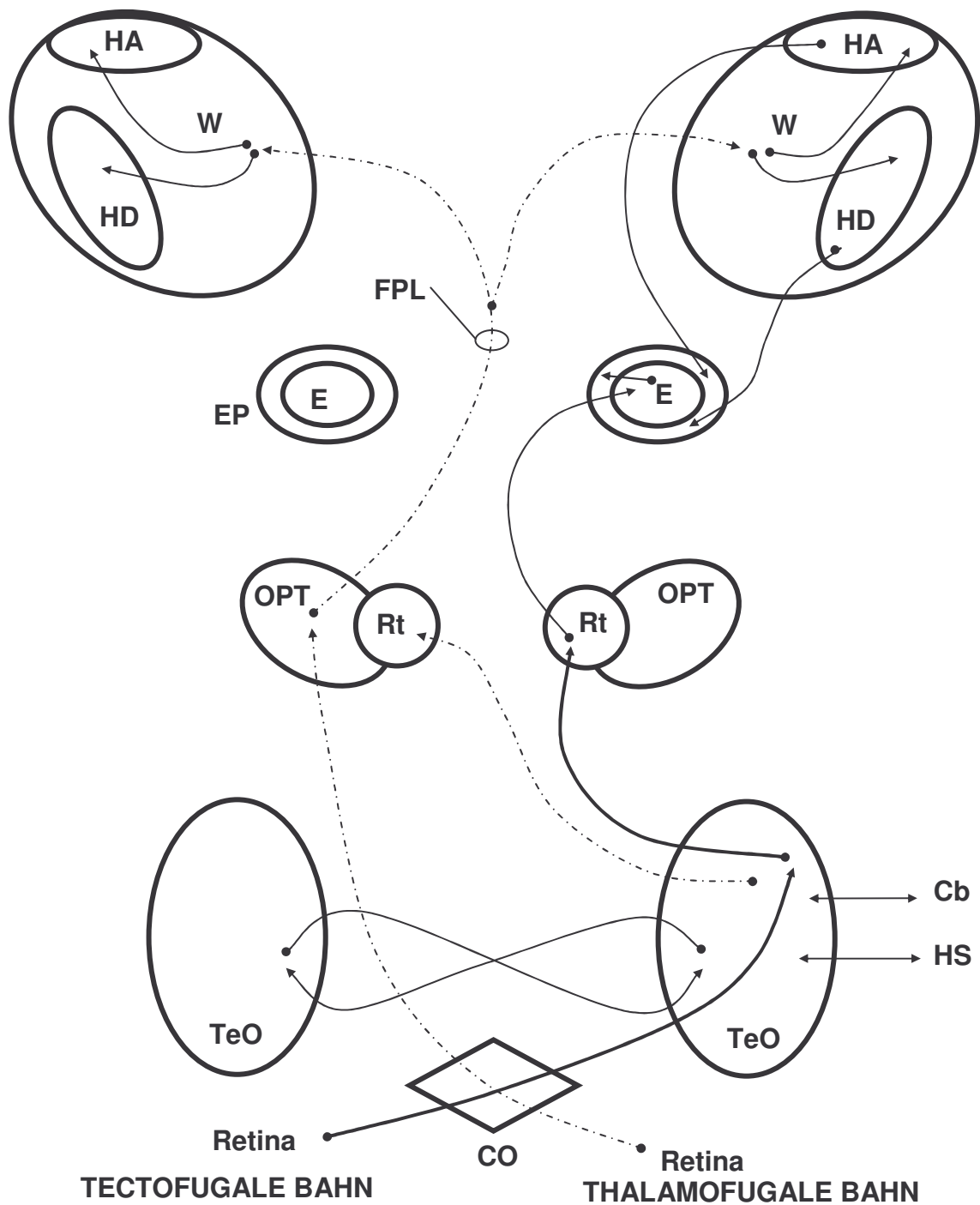
15. Delius, J.D.; Bennetto, K., 1972: Cutaneous sensory projections of the avian forebrain. - Brain Research 37: 205-221
16. Dubbeldam, J.L.; Brauch, C.S.; Don, A., 1981: Studies on the somatotopy of the trigeminal system in the mallard, *Anas platyrhynchos* L.III. Afferents and organisation of the nucleus basalis. - J. Comp. Neurol. 196: 391-405
17. Dubbeldam, J.L.; Karten, H.J., 1978: The trigeminal system in the pigeon (*Columba livia*) I. Projection of the Gasserian ganglion. - J. Comp. Neurol. 180: 661-678
18. Ebinger, P.; Löhmer, R., 1984: Comparative quantitative investigations on the brain of rock doves, domestic and urban pigeons (*Columba livia*). - Z. zool. Syst. Evolut.-forsch. 22: 136-145
19. Ebinger, P.; Löhmer, R., 1987: A volumetric comparison of brain between greyleg geese (*Anser anser* L.) and domestic geese. - J. Hirnforsch. 28: 219-229
20. Ehrlich, D.; Mark, R., 1984: An atlas of the primary visual projections in the brain of the chick. - J. Comp. Neurol. 223: 592-610
21. Engelmann, C., 1984: Leben und Verhalten unseres Hausgeflügels – Verlag J. Neumann – Neudamm. Melsungen
22. Erulkar, S. D., 1955: Tactile and auditory areas in the brain of the pigeon. - J. Comp. Neurol. 103: 421-457
23. Frahm, H.; Rehkämper, G., 1996: Vergleichende Untersuchungen zur Hirnzusammensetzung bei Hauskaninchen mit besonderer Berücksichtigung der Rasse Englischer Widder. - Acta Biol. Benrodis. Suppl. 3: 65-73
24. Funke, K., 1989: Somatosensory areas in the telencephalon of the pigeon. II. Spinal pathways and afferent connections. - Exp. Brain Res. 76: 620-638
25. Furber, S.E., 1983: The organisation of the olivocerebellar projections in the chicken. - Brain Behav. Evol. 22: 198-211
26. Gallyas, F. 1971: A principle for silver staining of tissue elements by physical development. – Acta morph. Acad. Sci. Hung. 19: 57-71
27. Gamlin, P.D.R.; Reiner, A., 1991: The Edinger-Westphal nucleus: sources of input influencing accommodation, pupilloconstriction and choroidal blood flow. - J. Comp. Neurol. 306: 425-438
28. Gasthaus, M.E., 1992: Vergleichend - allometrische Untersuchungen zur Volumenentwicklung diencephaler Kerngebiete bei Hühnervögeln (Galliformes) und Singvögeln (Passeriformes). - Dissertationsschrift, Med. Fakultät der Universität zu Köln
29. Gröbbels, F., 1923: Die untere Olive der Vögel - Anat. Anz. 56: 296 - 301
30. Gröbbels, F., 1924: Untersuchungen über den Thalamus und das Mittelhirn der Vögel. - Anat. Anzeiger 57: 385-415

31. Harman, A.L.; Phillips, R.E., 1967: Responses in the avian midbrain, thalamus and forebrain evoked by click stimuli. - *Exp. Neurol.* 18: 276-286
32. Heaton, M.B.; Wayne, D.B., 1983: Patterns of extra ocular innervation by the oculomotor complex in the chick. - *J. Comp. Neurol.* 216: 245-252
33. Herre, W.; Röhrs, M., 1990: *Haustiere - zoologisch gesehen.* - Fischer, Stuttgart und New York
34. Huber, G.C; Crosby, E.C., 1929: The nuclei and fiber paths of the avian diencephalon with consideration of telencephalic and certain mesencephalic centers and connections. - *J. Comp. Neurol.* 48: 1-225
35. Hunt, S.P.; Künzle, H., 1976: Observations on the projections and intrinsic organization of the pigeon optic tectum: an autoradiographic study based on anterograde and retrograde, axonal and dendritic flow. - *J. Comp. Neurol.* 170: 153-172
36. Isomura, G., 1973: On the localisation of the nerve centers of the extrinsic ocular muscles in the fowl. - *Anat. Anzeiger* 133: 33-50
37. Jungherr, E., 1945: Certain nuclear groups of the avian mesencephalon. - *J. Comp. Neurol.* 82: 55-75
38. Karten, H.J., 1963: Ascending pathway from spinal cord in the pigeon (*Columba livia*) - *Int. Cong. Zool.* 2: 23
39. Karten, H.J., 1964: Projections of the cerebellar nuclei of the pigeon (*Columba livia*). - *Anat. Rec.* 148: 297-298
40. Karten, H.J., 1965: Projections of the optic tectum of the pigeon (*Columba livia*). - *Anat. Rec.* 151: 369
41. Karten, H.J., 1966: Efferent projections of the nucleus mesencephali lateralis, pars dorsalis, (MLD) in the pigeon (*Columba livia*). - *Anat. Rec.* 154: 365-366
42. Karten, H.J., 1967: The organization of the ascending auditory pathway in the pigeon (*Columba livia*) I. Diencephalic projections of the inferior colliculus (Nucleus mesencephali, pars dorsalis). - *Brain Research* 6: 409-427
43. Karten, H.J., 1969: The organization of the avian telencephalon and some speculations on the phylogeny of the amniote telencephalon. - *Annals of N.Y. Academy of Sciences* 167: 165-185
44. Karten, H.J.; Finger, T.E., 1976: A direct thalamo-cerebellar pathway in the pigeon and catfish. - *Brain Research* 102: 335-338
45. Karten, H.J.; Hodos, W., 1967 : A stereotaxic atlas of the brain of the pigeon (*Columba livia*). - Johns Hopkins Press, Baltimore.
46. Kinkel, H., 1995: Vergleichende Untersuchungen von Struktur und Größe motorischer, sensorischer und assoziativer Kerngebiete im Hirnstamm bei Hühnervögeln (Galliformes), Singvögel (Passeriformes) und Kolibris (Trochilidae). - Promotionsschrift, Universität zu Köln

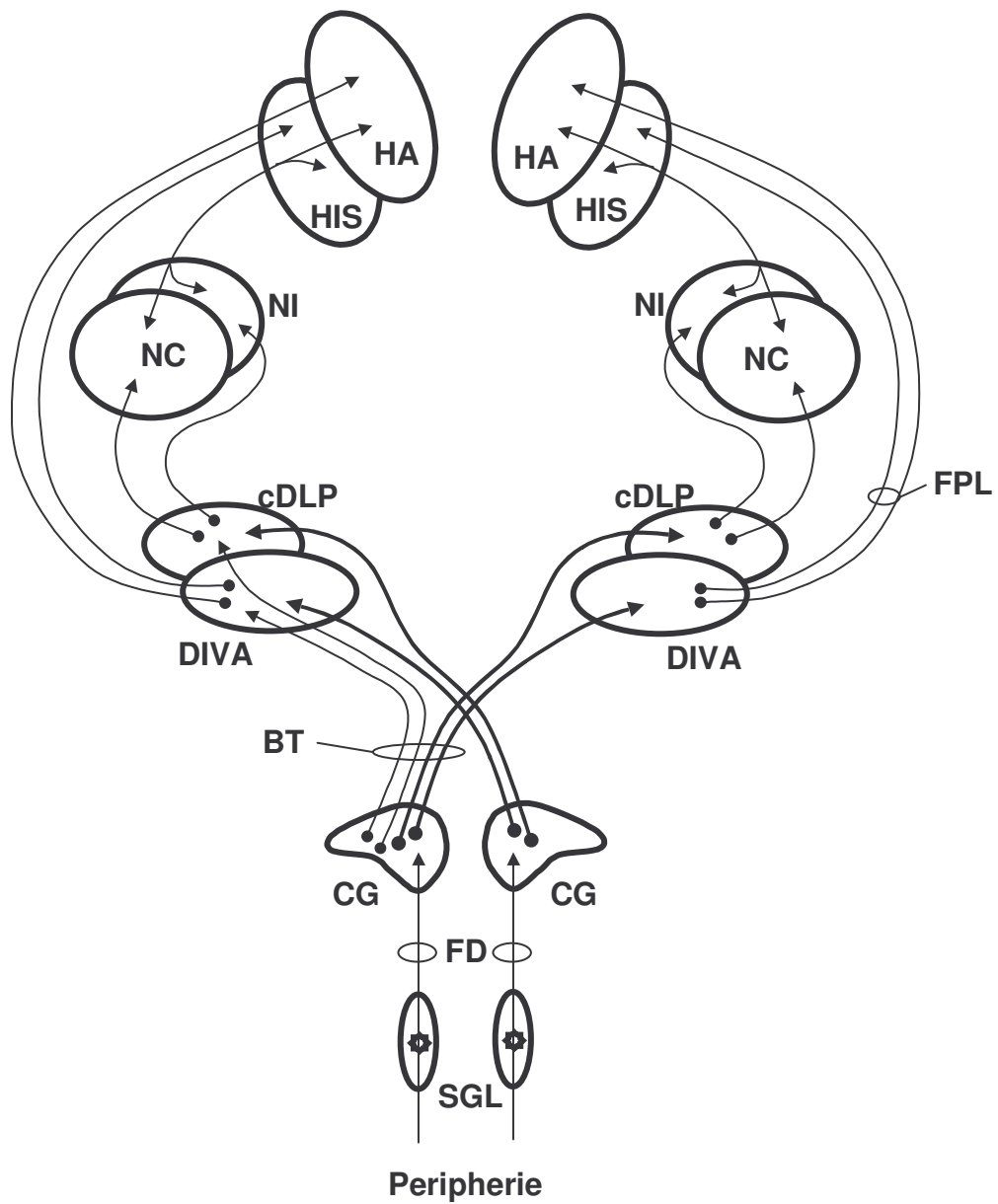
47. Knudsen, E.I.; Knudsen, P.F., 1983: Space-mapped auditory projections from the inferior colliculus to the optic tectum in the barn owl (*Tyto alba*). - J. Comp. Neurol. 218: 187-196
48. Kuhlenbeck, H., 1975: The central nervous system of vertebrates Vol. 4: spinal cord and diencephalon. - S. Karger, Basel, Paris, London
49. Labandeira-Garcia, J.L.; Guerra-Seijas, M.J.; Labandeira-Garcia, J.A.; Jorge-Barreiro, F.J., 1989: Afferent connections of the oculomotor nucleus in the chick. - J. Comp. Neurol. 282: 523-534
50. Linder, A., 1964: Statistische Methoden für Naturwissenschaftler, Mediziner und Ingenieure. - Birkhäuser, Basel und Stuttgart
51. Manni, E.; Bortolami, R.; Azzena, G.B., 1965: Jaw muscle proprioception and mesencephalic trigeminal cells in birds. - Exp. Neurol. 12: 320-328
52. Merker, B., 1983: Silver staining of cell bodies by means of physical development, J. Neurosci. Meth., 9: 235-241
53. Nottebohm, F.; Stokes, T.M.; Leonard, C.M., 1976: Central control of song in the canary, *Serinus canarius* - J. Comp. Neurol. 165: 457 - 486
54. Parks, T.N.; Rubel, E.W., 1975: Organization and development of the brain stem auditory nuclei of the chicken: organization of projections from N. magnocellularis to N. laminaris. - J. Comp. Neurol. 164: 435-448
55. Rehkämper, G., 1995: Wildtiere- Haustiere-Rassetiere. - Deutscher Kleintier-Züchter 2: 16-19
56. Rehkämper, G.; Frahm, H.D.; Mann M.D., 1995: Brain composition and ecological niches in the wild or under man-made conditions (Domestication). – Kluwer Academic Publishers, Netherlands, Behavioural Brain Research in Naturalistic and Semi- Naturalistic Settings: 83-103
57. Rehkämper, G.; Frahm, H.D.; Zilles, K., 1991: Quantitative development of brain and brain structures in birds (Galliformes and Passeriformes) compared to that in mammals (Insectivores and Primates). - Brain Behav. Evolut. 37: 125-143
58. Rehkämper, G.; Haase, E.; Frahm, H.D., 1988: Allometric comparison of brain weight and brain structure volumes in different breeds of the domestic pigeon, *Columbia livia* f.d. (fantails, homing pigeon, strasser). - Brain Behav. Evolut. 31: 141-149
59. Rehkämper, G.; Zilles, K., 1991: Parallel evolution in mammalian and avian brains: comparative cytoarchitectonic and cytochemical analysis. - Cell Tissue Res. 263: 3-28
60. Reiner, A.; Karten, H.J.; Gamlin, P.D.R.; Erichsen, J.T., 1983: Parasympathetic ocular control; functional subdivisions and circuitry of the avian nucleus of Edinger-Westphal. - Trends Neurosci. 6: 140-145

61. Reperent, J., 1973: Nouvelles données sur les projections visuelles chez le pigeon (*Columba livia*). - J. f. Hirnforschung 14: 151-187
62. Romeis, B., Mikroskopische Technik, 1968, München, Wien: Oldenburg
63. Rubel, E.W.; Parks, T.N., 1975: Organization and development of the brain stem auditory nuclei of the chicken: tonotopic organization of N. magnocellularis and N. laminaris. - J. Comp. Neurol. 164: 411-434
64. Schmidt, H., 1985: Handbuch der Nutz- und Rassehühner. – Verlag J. Neumann – Neudamm, Melsungen
65. Showers, M.J.C.; Lyons, P., 1968: Avian nucleus isthmi and its relation to hippus. - J. Comp. Neurol. 132: 589-616
66. Silver, R.; Witkovsky, P., 1973: Functional characteristics of single units in the spinal trigeminal nucleus of the pigeon. - Brain Behav. Evolut. 8: 287-303
67. Sinn, R., 1913: Beitrag zur Kenntnis der Medulla oblongata der Vögel - Mschr. Psychiat. Neurol. 33: 1-39
68. Snell, O., 1892: Die Abhängigkeit des Hirngewichtes vom Körpergewicht und den geistigen Fähigkeiten. - Arch. Psychiat. Nervenkr. 23: 436-446
69. Stephan, H.; 1960: Methodische Studien über den quantitativen Vergleich architektonischer Struktureinheiten des Gehirns. – Z. wiss. Zool. 164: 143-172
70. Stephan, H.; Baron, G.; Frahm, H.D., Stephan, M., 1986: Größenvergleiche an Gehirnen und Hirnstrukturen von Säugern. - Z. mikros. anat. Forsch. Leipzig 100: 189-212
71. Stephan, H.; Baron, G.; Frahm, H.D., 1991: Comparative brain research in mammals. Vol. 1, Insectivora. - Springer, New York
72. Stiefken, V., 1995: Vergleichende Untersuchungen zur Größe von motorischen Zentren in Cerebellum und Hirnstamm der Fledermäuse. - Promotionschrift, Universität zu Köln
73. Stingelin, W., 1965: Qualitative und quantitative Untersuchungen an Kerngebieten der Medulla oblongata bei Vögeln. - Bibl. Anat. 6: 1-116
74. van Tienhoven, A.; Juhasz, L.P., 1962: The chicken telencephalon, diencephalon and mesencephalon in stereotaxic coordinates. - J. Comp. Neurol. 118: 185-197
75. Wild, J.M., 1981: Identification and localization of the motor nuclei and sensory projections of the glossopharyngeal, vagus and hypoglossal nerves of the cockatoo (*Cacatua roseicapilla*), Cacatuidea. - J. Comp. Neurol. 203: 351-377
76. Wild, J.M., 1985: The avian somatosensory system. I. Primary spinal afferent input to the spinal cord and brainstem in the pigeon (*Columba livia*). - J. Comp. Neurol. 240: 377-395

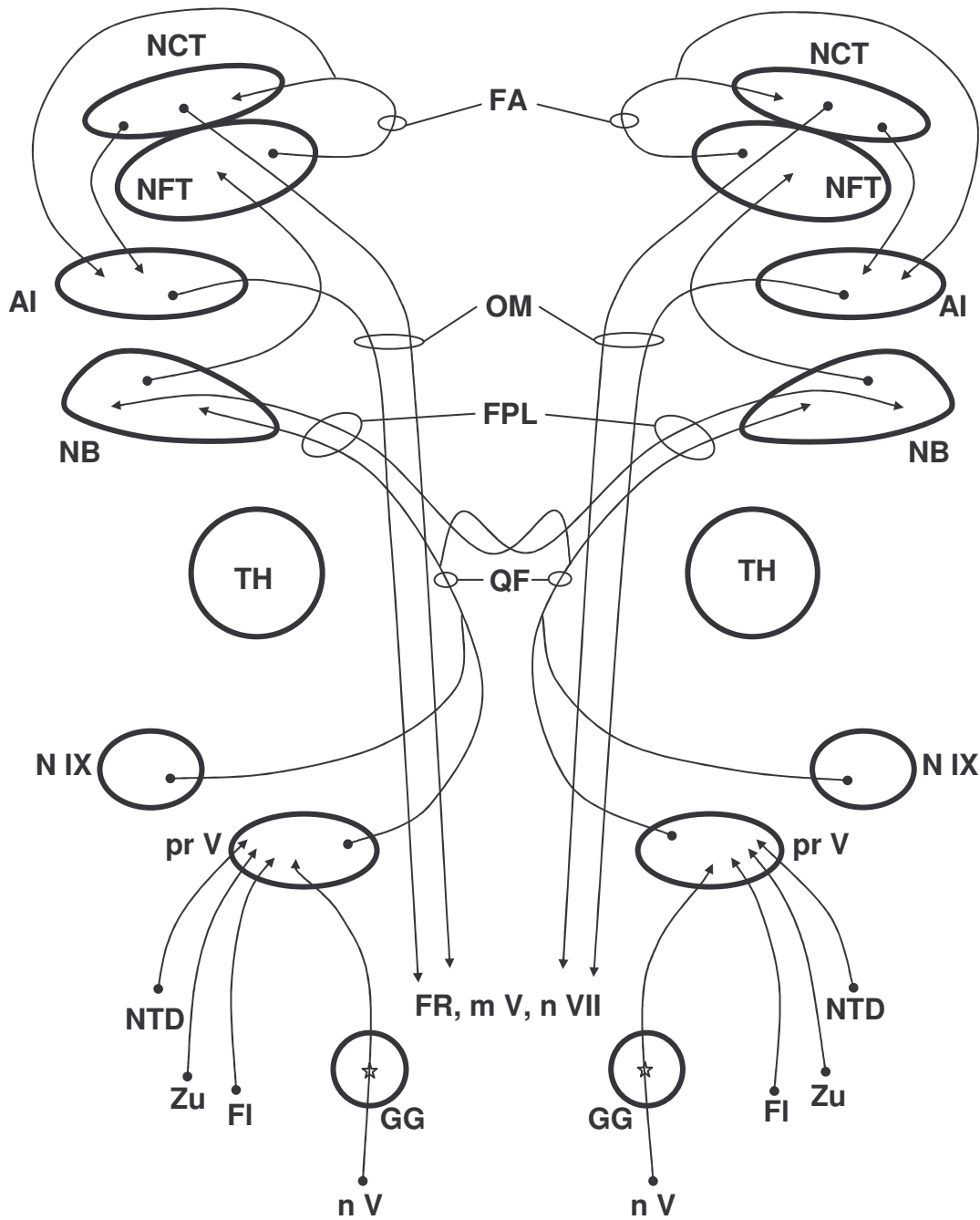
77. Wild, J.M., 1987: The avian somatosensory system: connections of regions of body representation in the forebrain of the pigeon. - Brain Research 412: 205-223
78. Wild, J.M., 1990: Peripheral and central terminations of hypoglossal afferents innervating lingual tactile mechanoreceptor complexes in Fringillidae. - J. Comp.Neurol. 298: 157-171
79. Wild, J.M.; Arends, J.J.A.; Zeigler, H.P., 1984: A trigeminal sensorimotor circuit for pecking, grasping and feeding in the pigeon (*Columba livia*). - Brain Research 300: 146-151
80. Wild, J.M.; Arends, J.J.A.; Zeigler, H.P., 1985: Telencephalic connections of the trigeminal system in the pigeon (*Columba livia*): a trigeminal sensorimotor circuit. - J. Comp.Neurol. 234: 441-464
81. Williams, H., Nottebohm, F., 1985: Auditory responses in avian vocal motor neurons: a motor theory for song perception in birds - Science 229: 279 –282
82. Zilles, K.; Schleicher, A.; Pehlemann, F.-W., 1982: How many sections must be measured in order to reconstruct the volume of a structure using serial section? – Microscopica Acta 86: 339-346



Schema 1: Visuelles System: Darstellung der wichtigsten Zentren und Leitungsbahnen (Abkürzungen siehe Anhang)

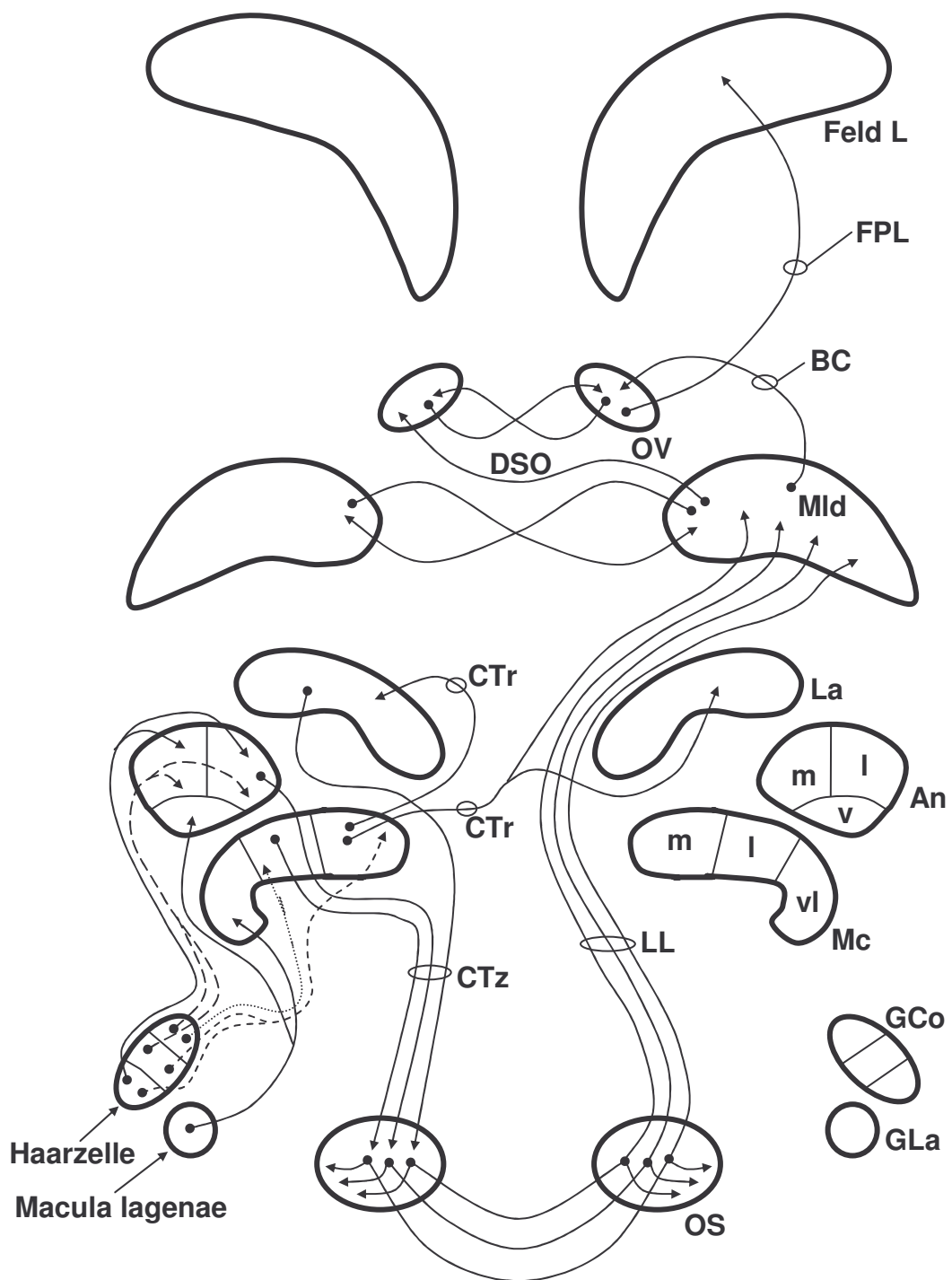


Schema 2: Darstellung des Bahnverlaufs der spinalen Komponente des somatosensorischen Systems (Abkürzungen siehe Anhang)

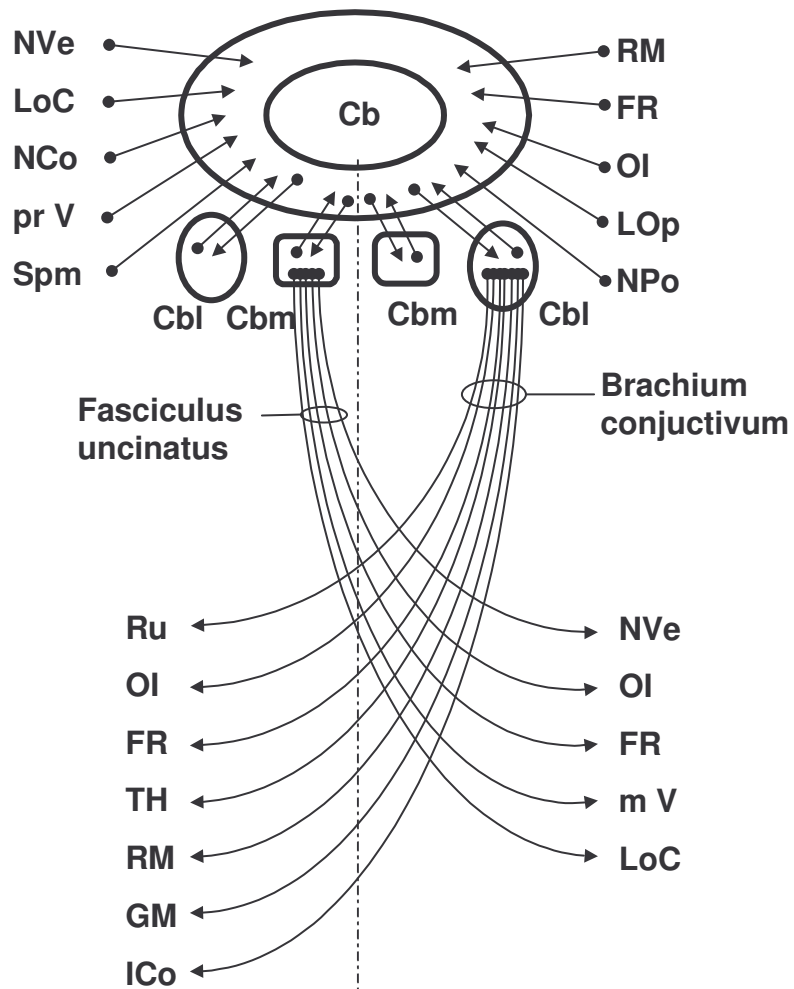


Schema 3: Darstellung des Bahnverlaufs der trigeminalen Komponente des somatosensorischen Systems (Abkürzungen siehe Anhang)

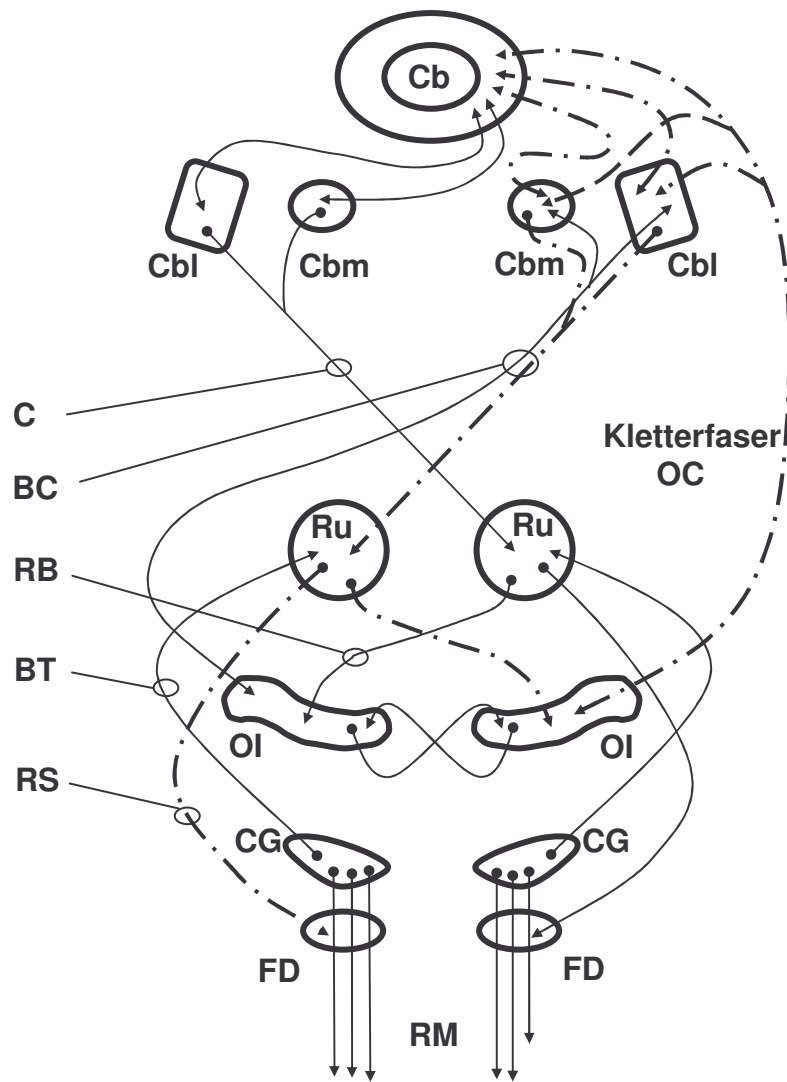
FI, Zu und NTD stehen respektive für Afferenzen aus dem Bereich des Flügels, der Zunge und aus dem Nucl. descendens n. trigemini.



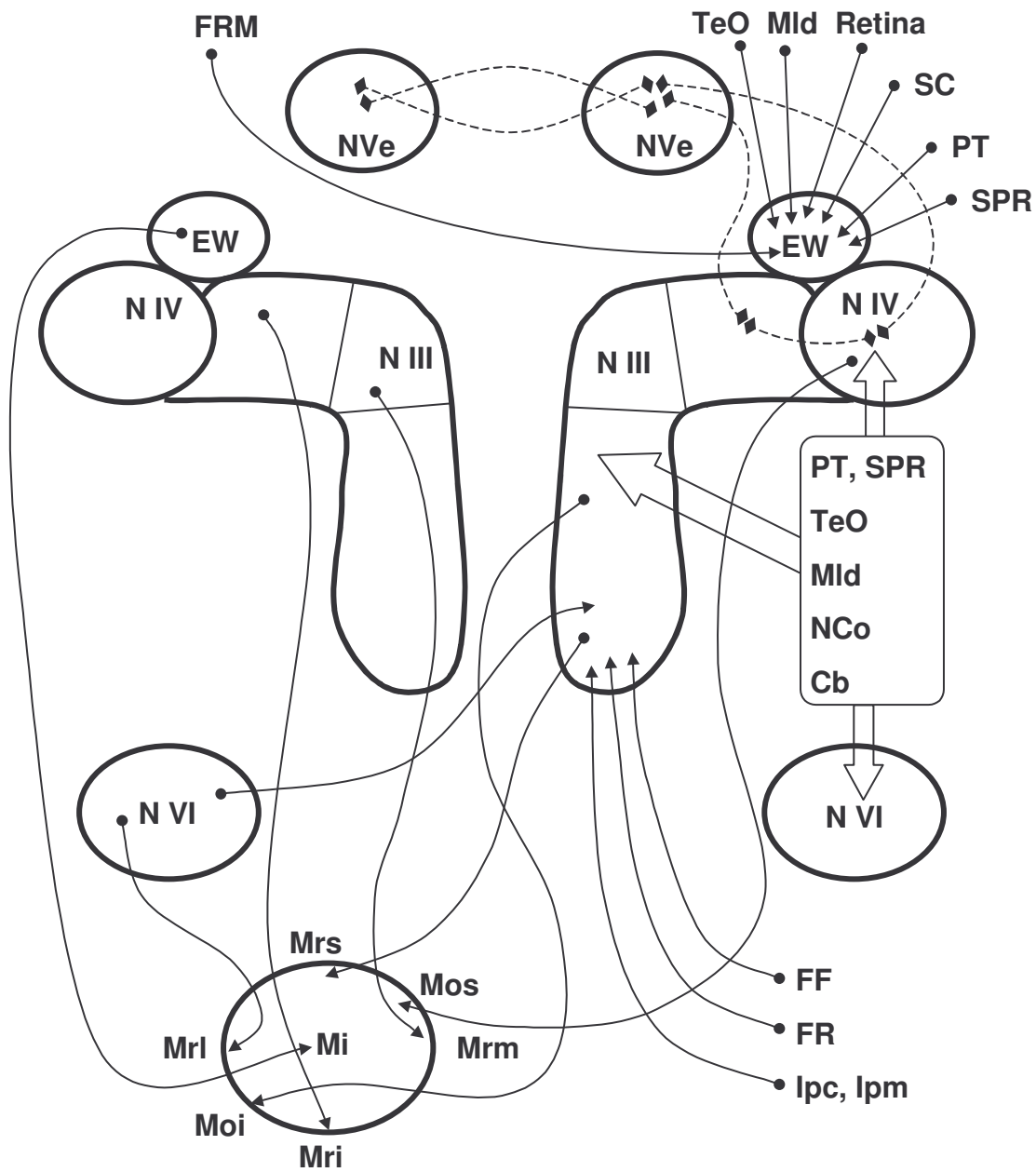
Schema 4: Schematische Darstellung des Bahnverlaufs des auditorischen Systems. Die unterschiedlichen Linienarten sind zur Verdeutlichung der cochlearen Efferenzen gewählt und haben keine quantitative Bedeutung
(Abkürzungen siehe Anhang)



Schema 5: Die wichtigsten afferenten und efferenten Verbindungen des Cerebellums (Abkürzungen siehe Anhang)



Schema 6: Bahnen des extrapyramidalen motorisches Systems:
 Schaltkreis Cerebellum - Nucl. ruber - Nucl. olivaris inferior
 (Abkürzungen siehe Anhang)



Schema 7: Die wichtigsten afferenten und efferenten Verbindungen der Augenmuskelkerne (Abkürzungen siehe Anhang)

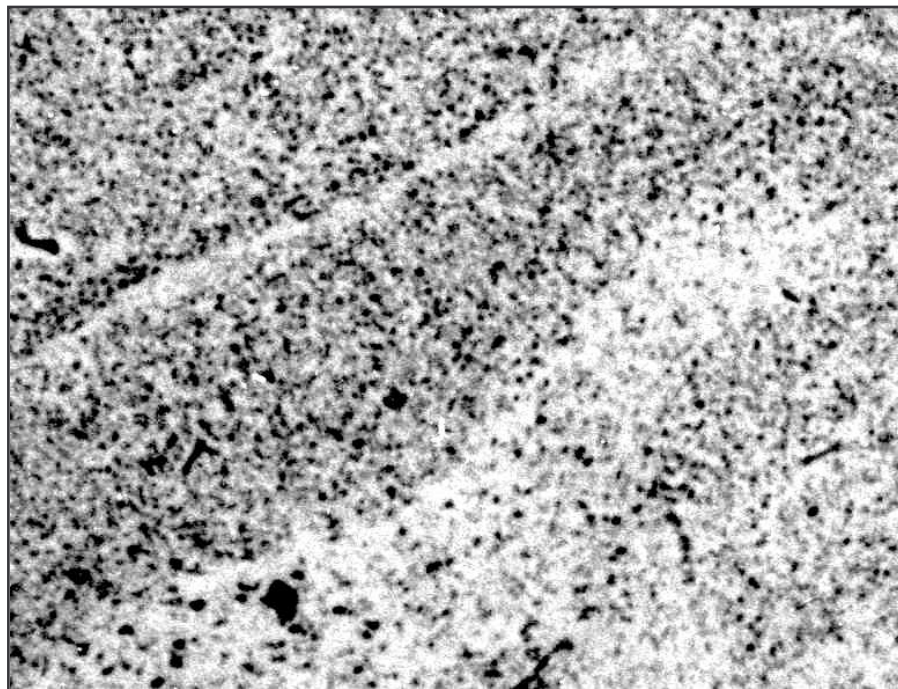
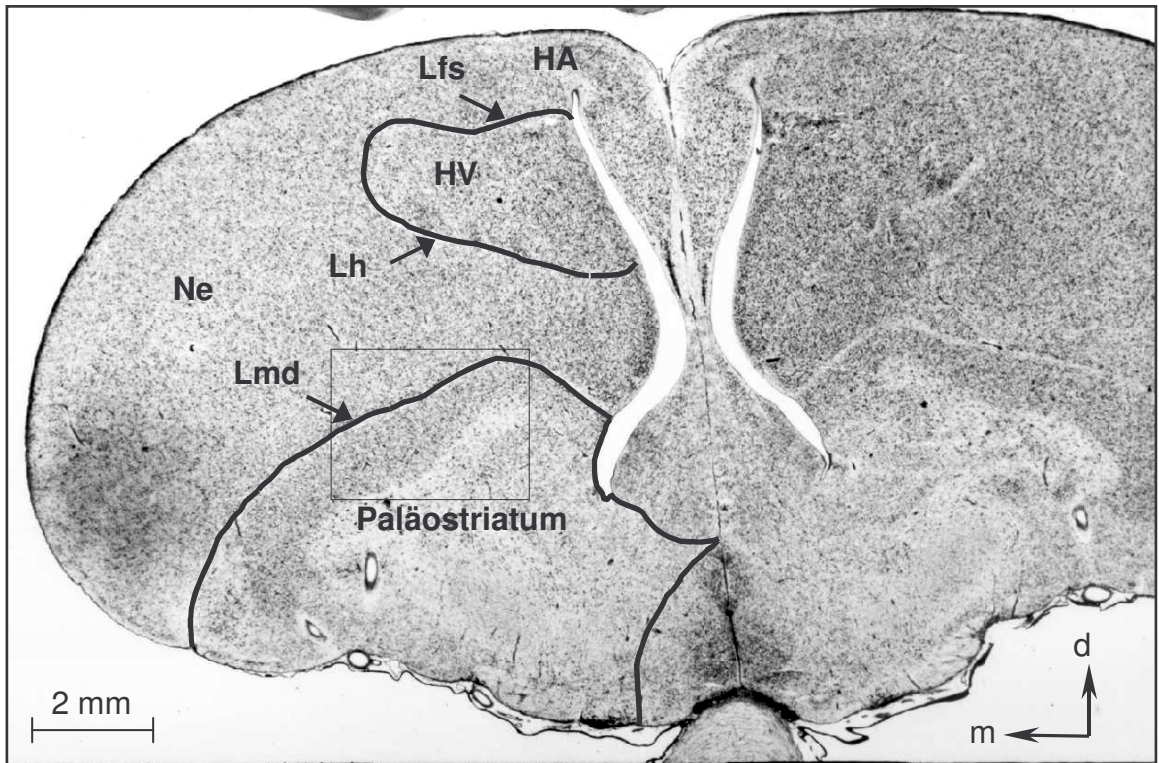


Bild 1: Transversalschnitt durch das Telencephalon mit Darstellung des Paläostriatum
Chabo 375; Schnitt 327

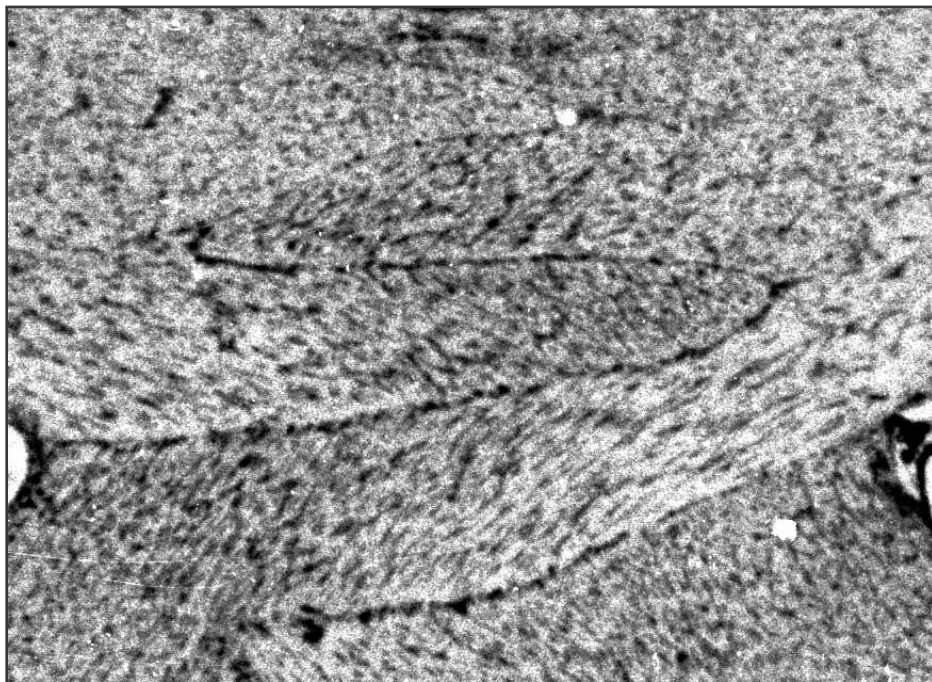
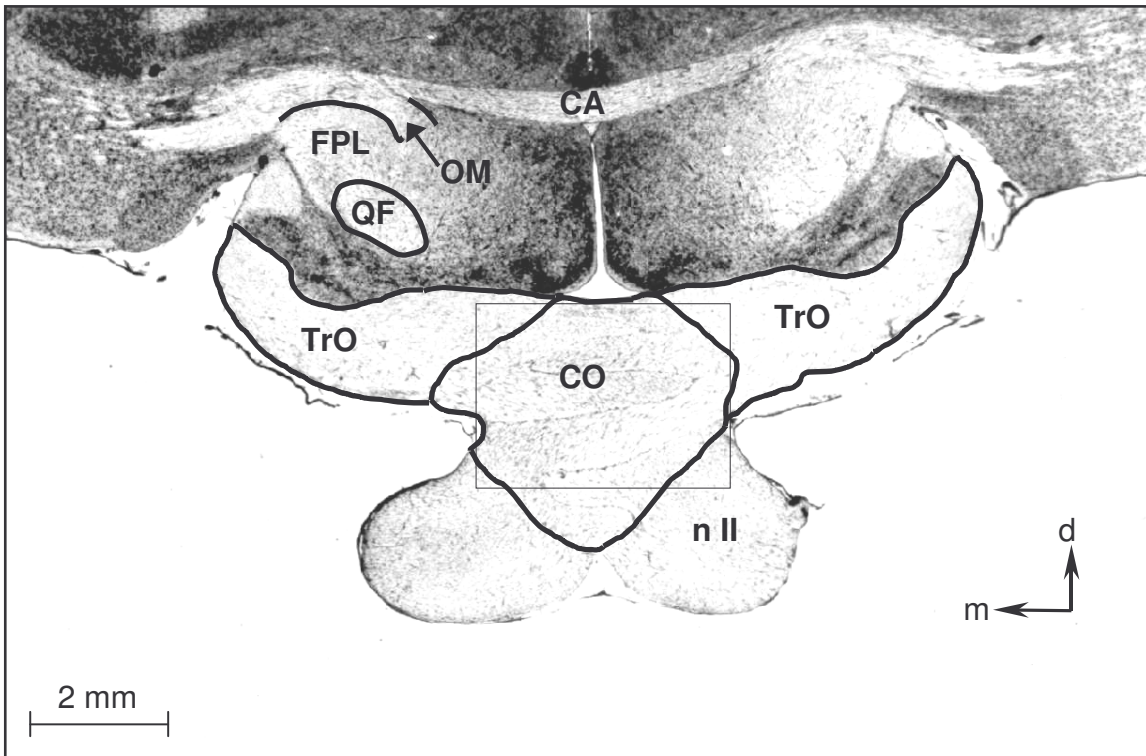


Bild 2: Transversalschnitt durch das Metencephalon auf der Ebene des Chiasma opticum und des Tractus opticus
 Brahma 4627; Schnitt 531

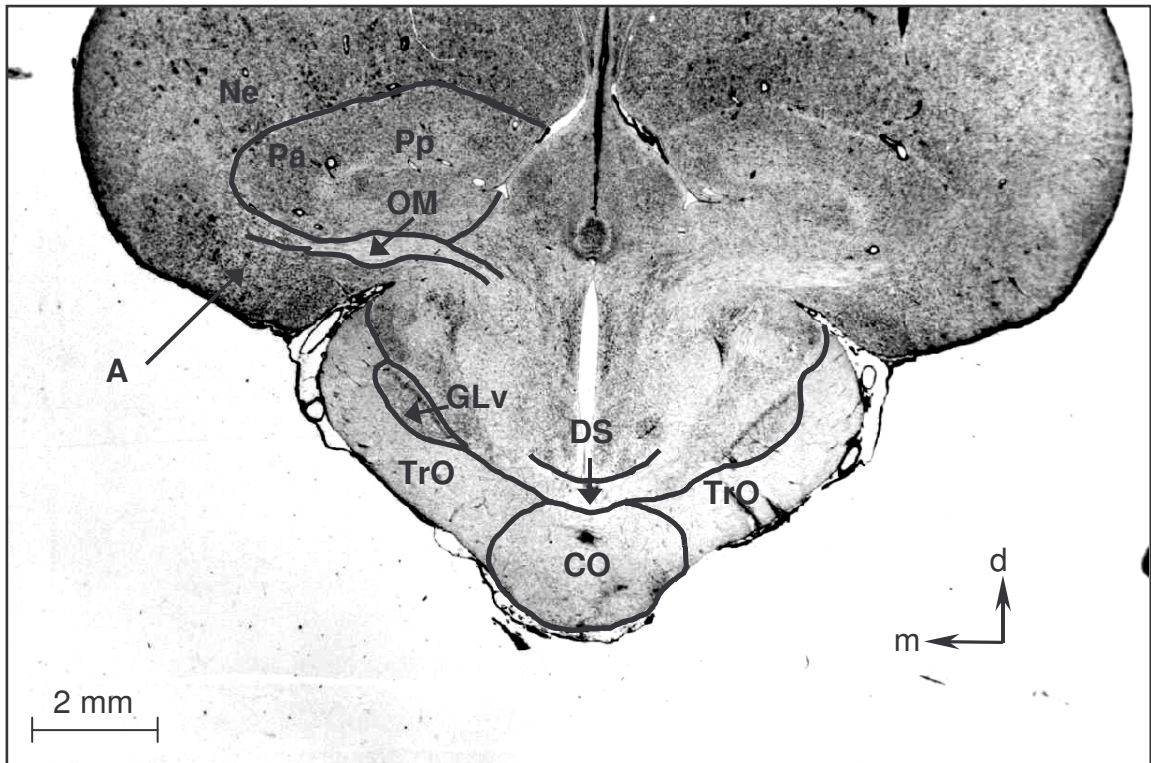


Bild 3: Transversalschnitt durch das Prosencephalon mit Darstellung von Tractus opticus, Chiasma opticum und Paläostriatum Seidenhuhn 348; Schnitt 949

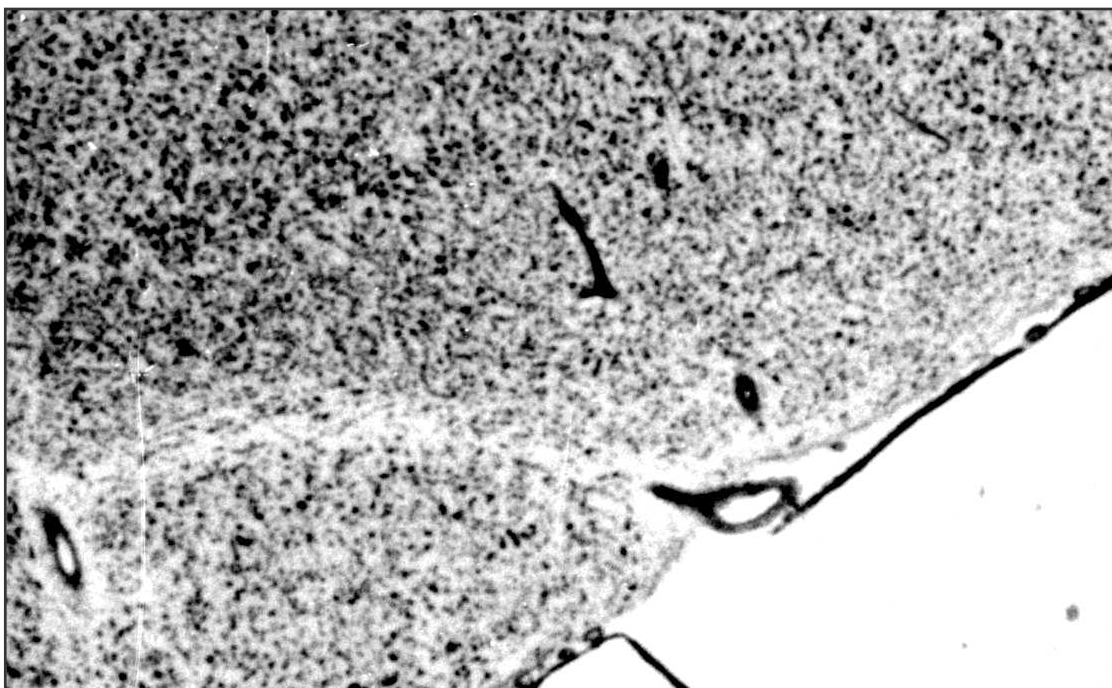
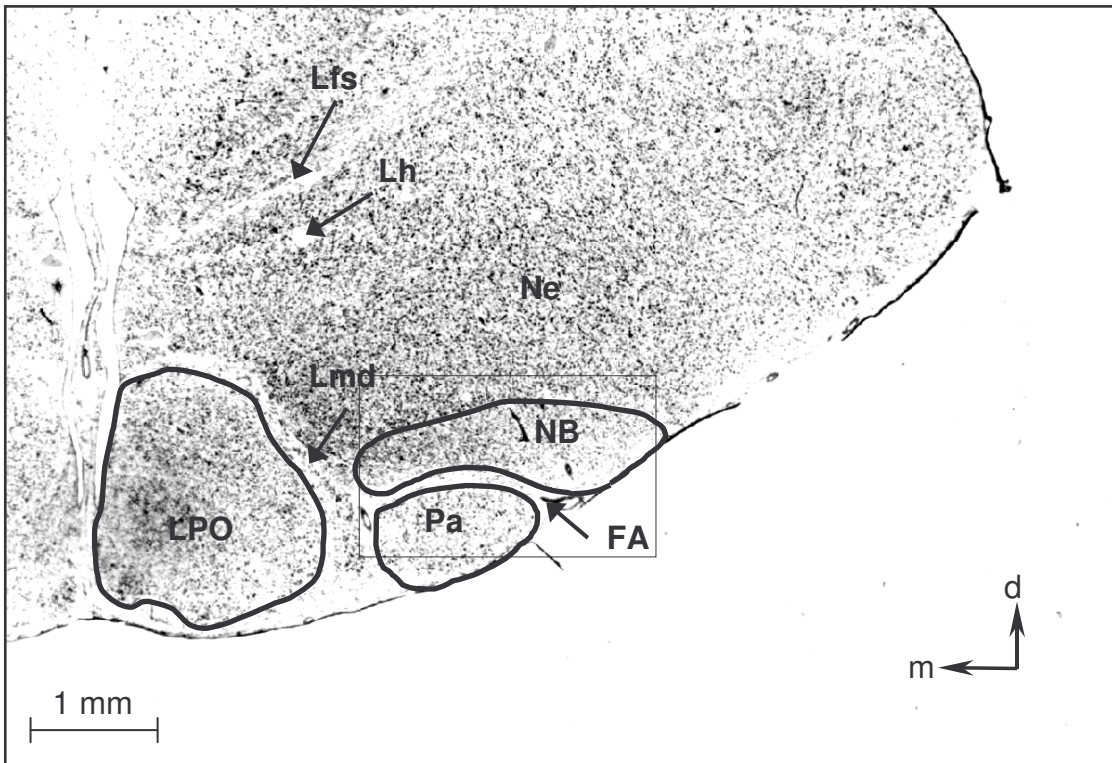


Bild 4: Transversalschnitt durch das Telencephalon auf der Ebene des Nucleus basalis
Brahma 4627; Schnitt 281

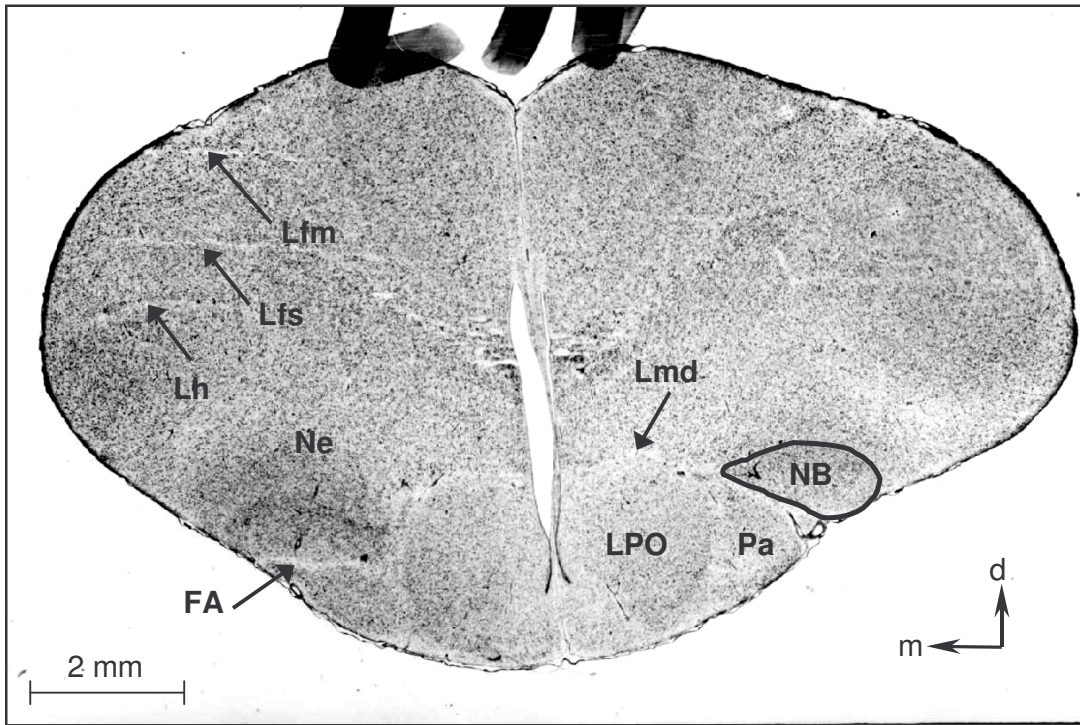


Bild 5: Transversalschnitt durch das Telencephalon auf der Ebene des Nucleus basalis
Chabo 375; Schnitt 167

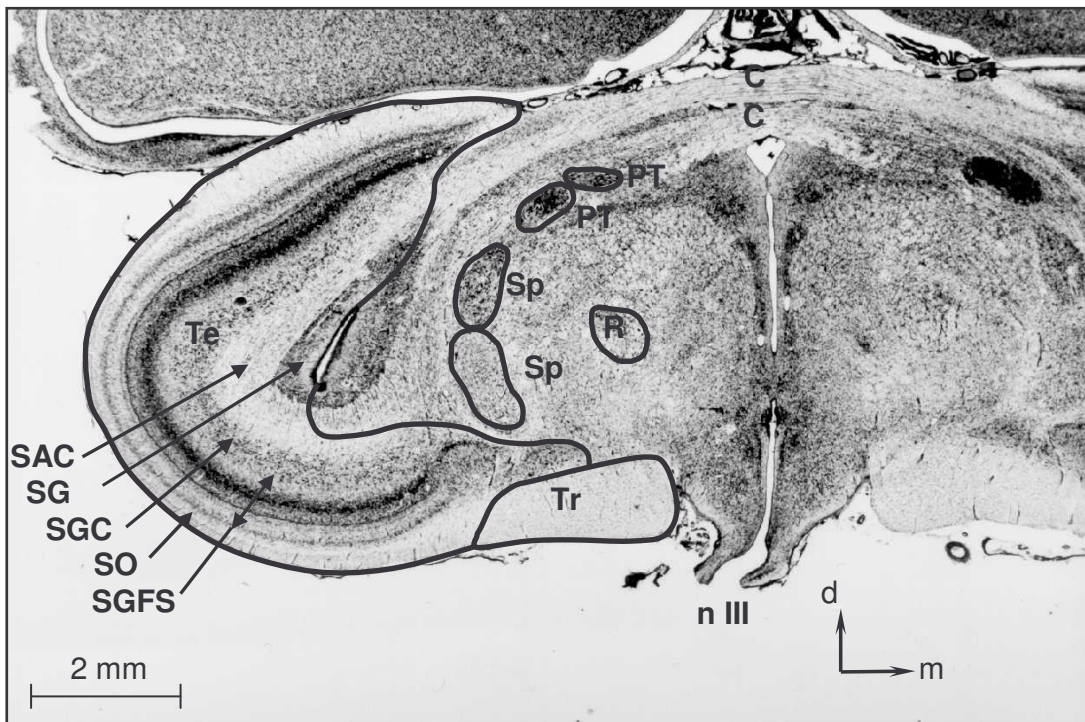


Bild 6: Transversalschnitt durch das Mesencephalon mit Darstellung des Tectum opticum
Brahma 4627; Schnitt 706

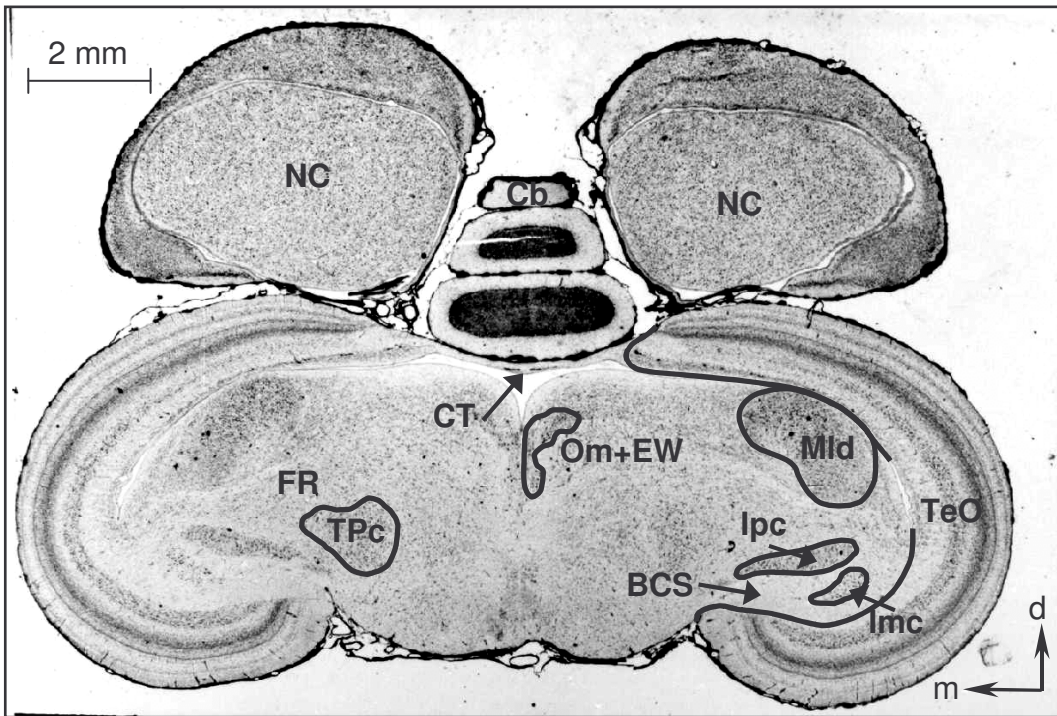


Bild 7: Transversalschnitt durch das Mesencephalon mit Darstellung des Nucleus mesencephalicus lateralis, pars dorsalis und des Tectum opticum
Seidenhuhn 348; Schnitt 727

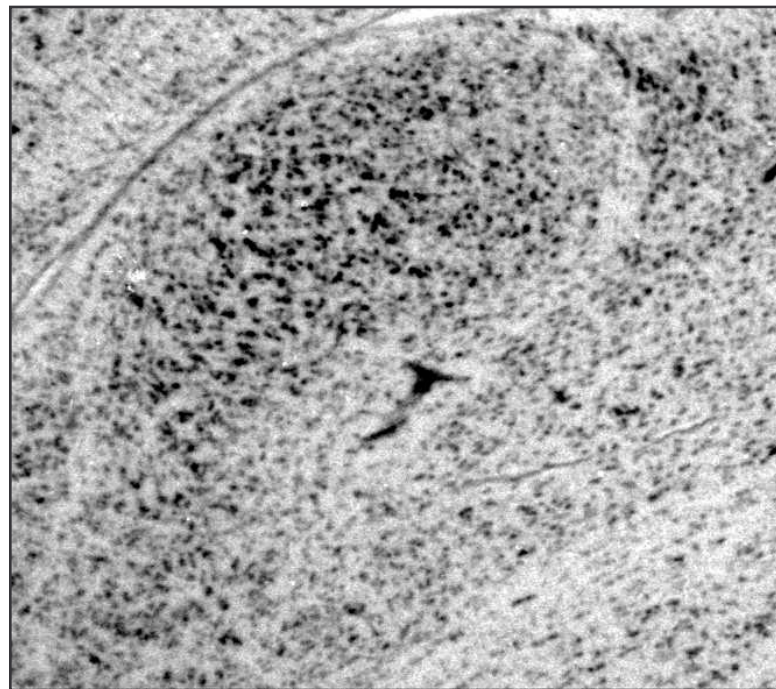
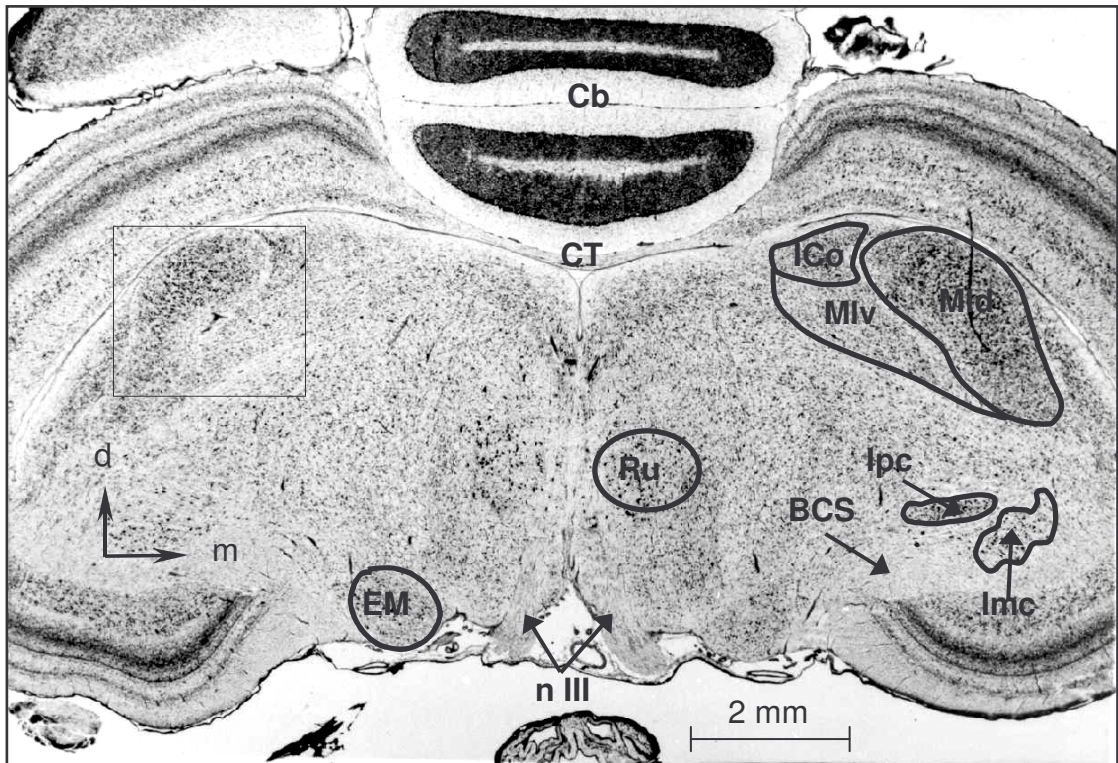


Bild 8: Transversalschnitt durch das Mesencephalon mit Darstellung des Nucleus mesencephalicus lateralis, pars dorsalis (s. auch Vergrößerung) und des Nucleus ruber
Chabo 375; Schnitt 552

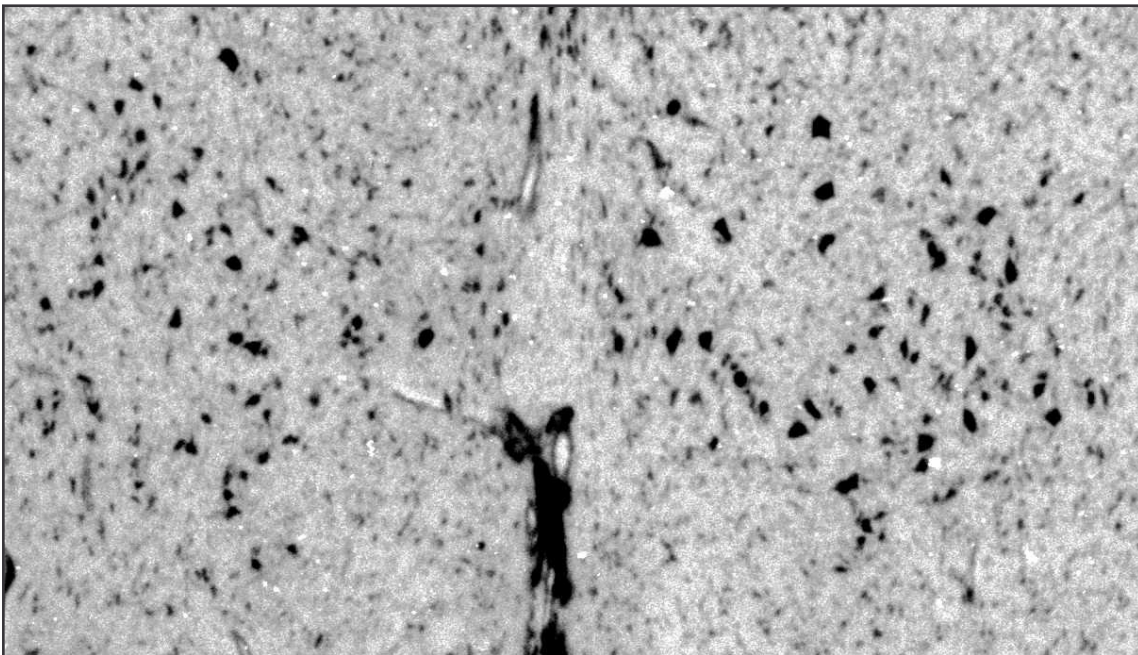
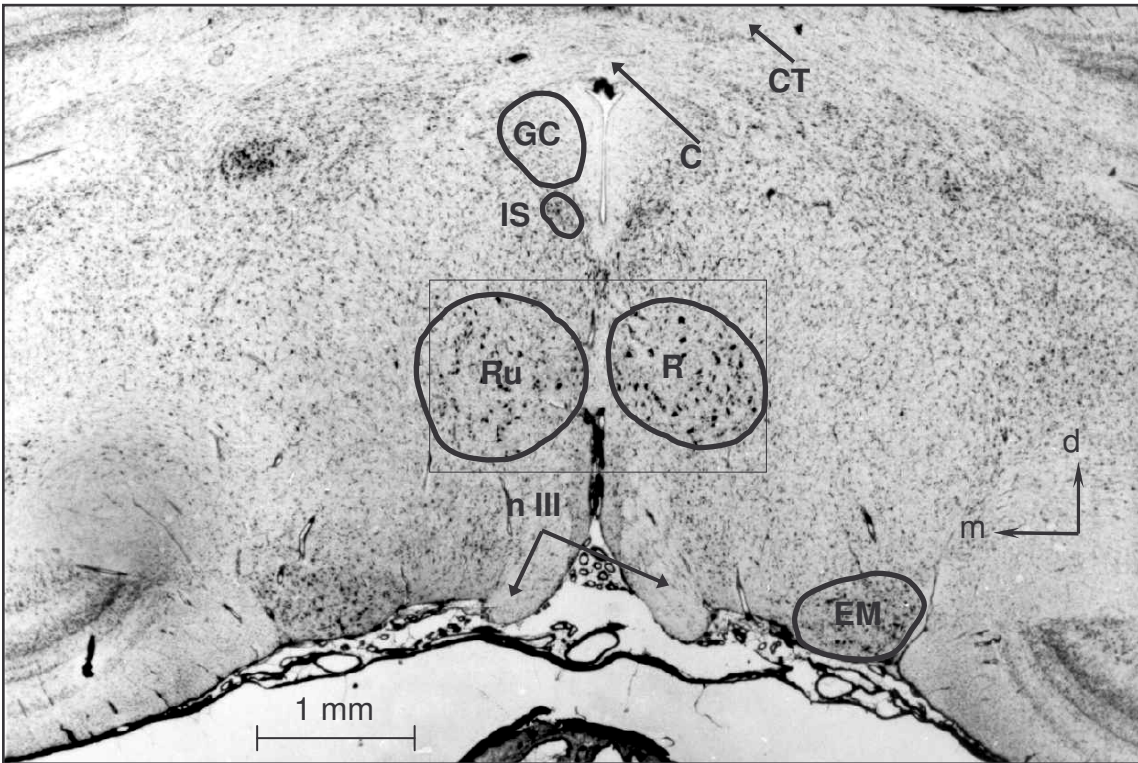


Bild 9: Transversalschnitt durch das Mesencephalon mit Darstellung des Nucleus ruber
Seidenhuhn 348; Schnitt 781

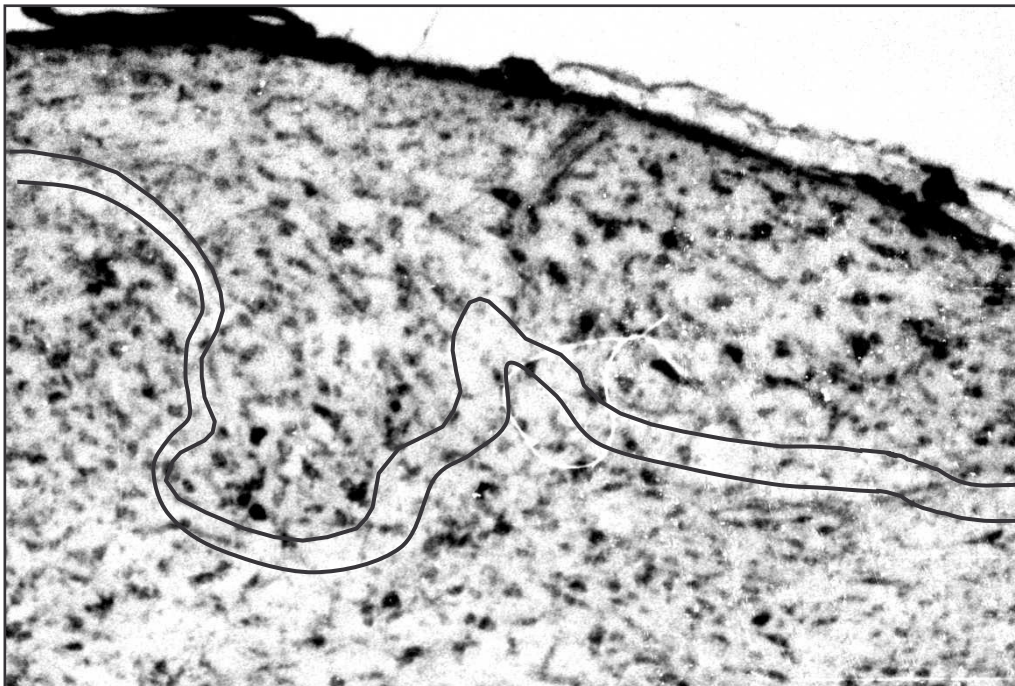
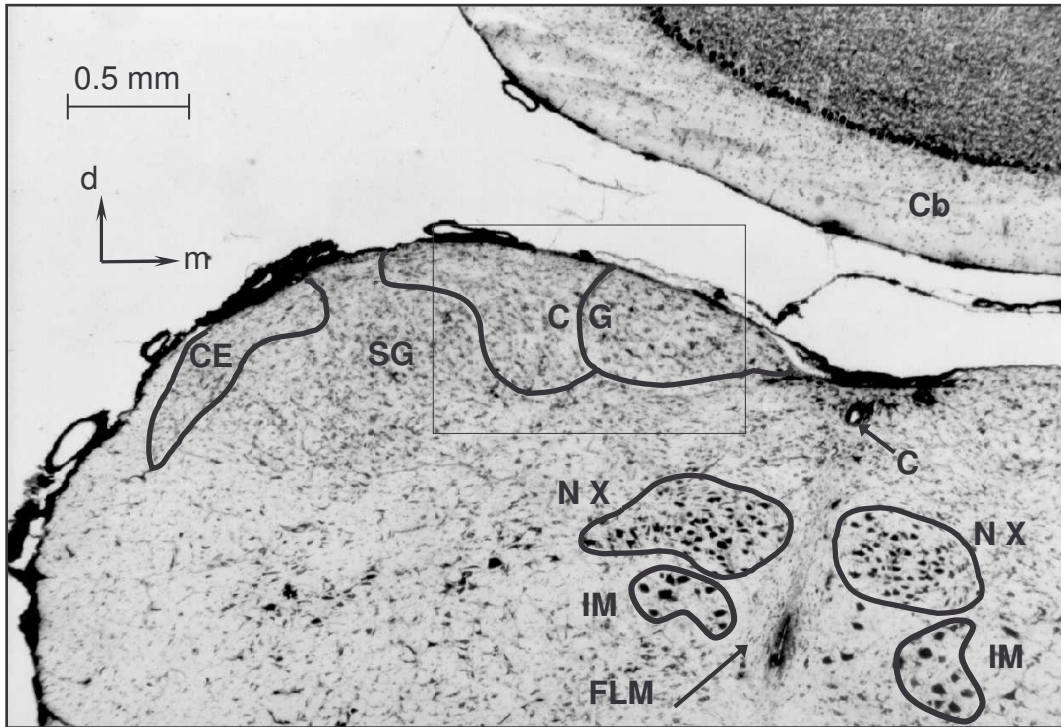


Bild 10: Transversalschnitt durch die kaudale Medulla oblongata auf der Ebene der Nuclei cuneatus et gracilis
 Die durchgezogenen Linien auf dem Vergrößerungsbild stellen das perikaryenarme Band dar, das auf den meisten Schnitten als Abgrenzungskriterium zur Substantia gelatinosa dient.
 Seidenhuhn 348; Schnitt 355

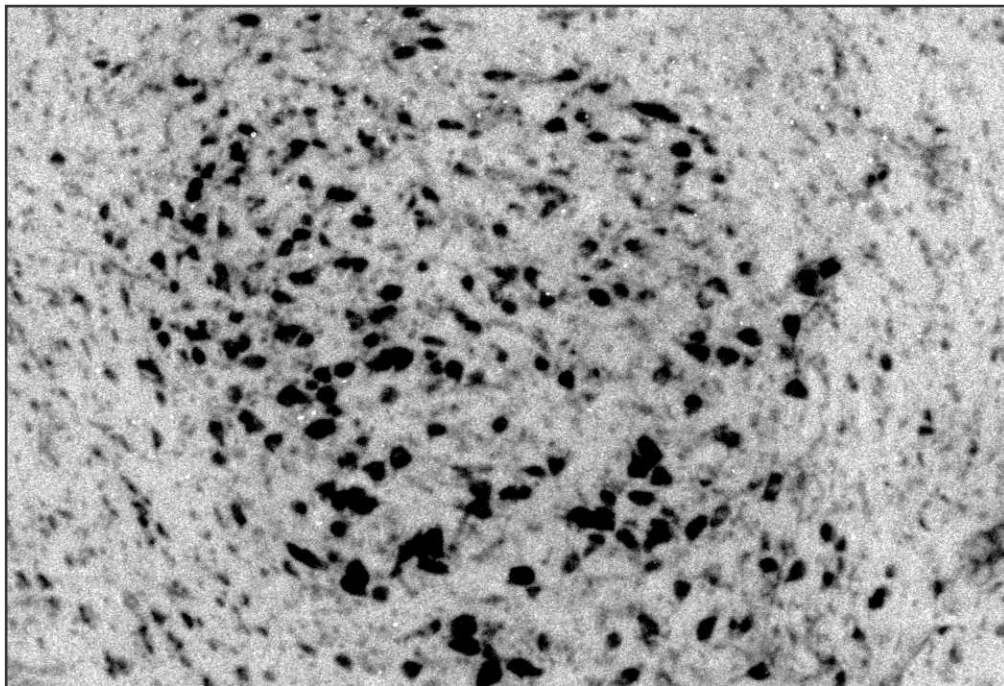
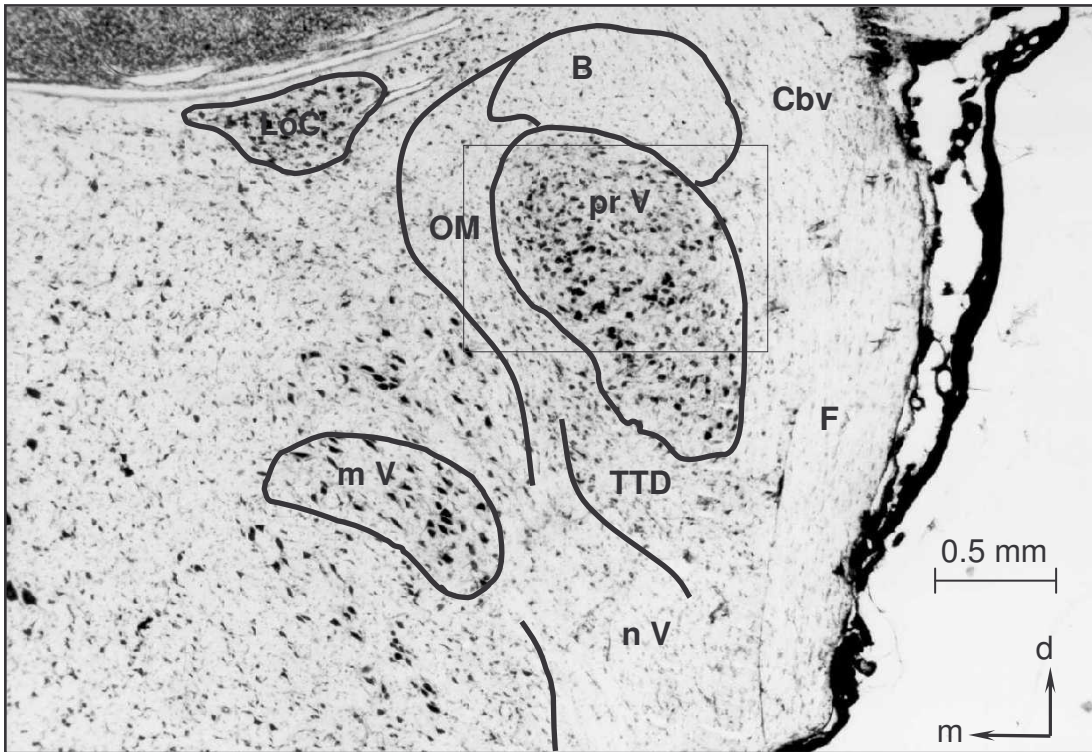


Bild 11: Transversalschnitt durch die Medulla oblongata auf der Ebene des Nucleus principalis sensorius nervi trigemini Seidenhuhn 348; Schnitt 571

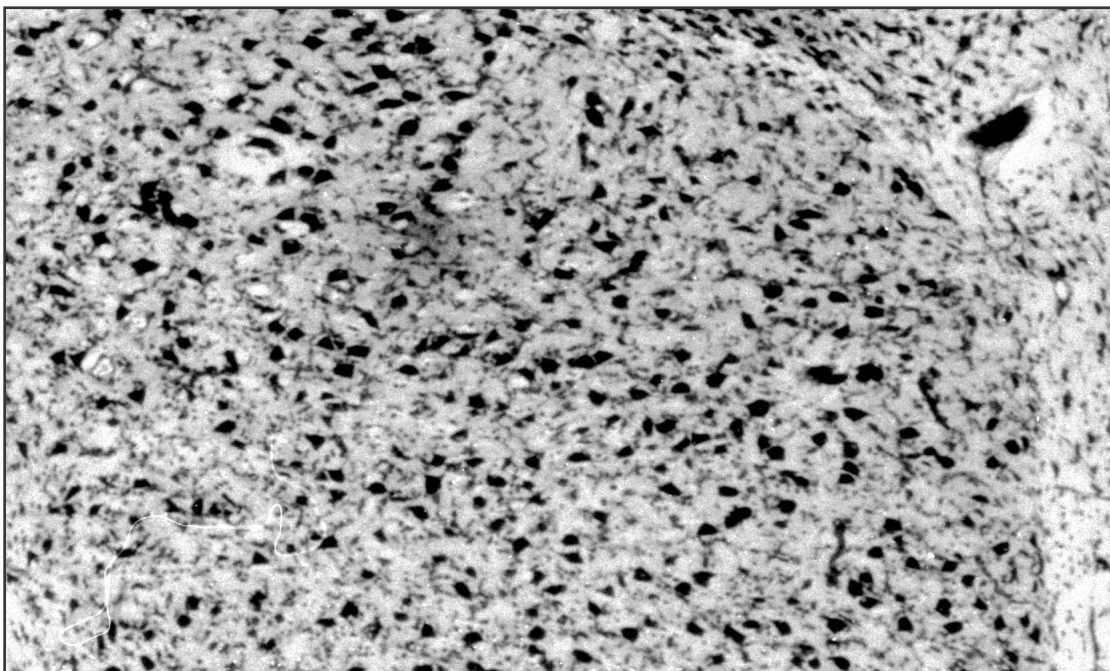
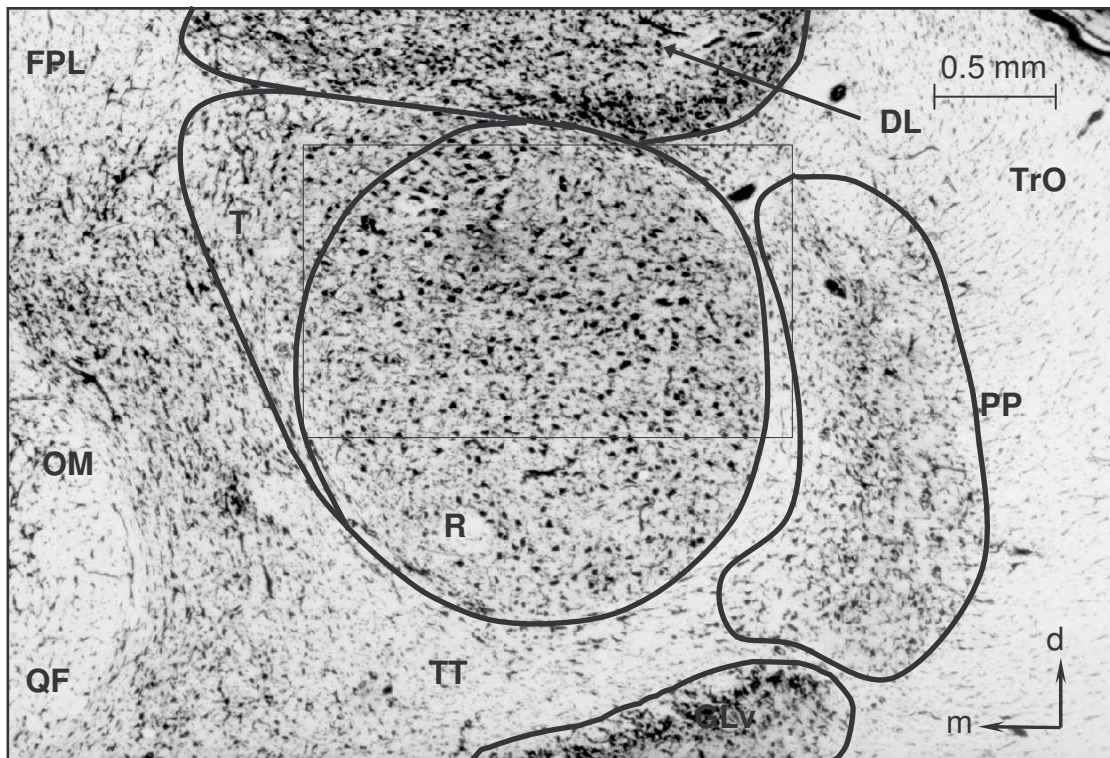


Bild 12: Transversalschnitt durch das Diencephalon auf der Ebene des Nucleus rotundus und Nucleus triangularis
 Brahma 4627; Schnitt 607

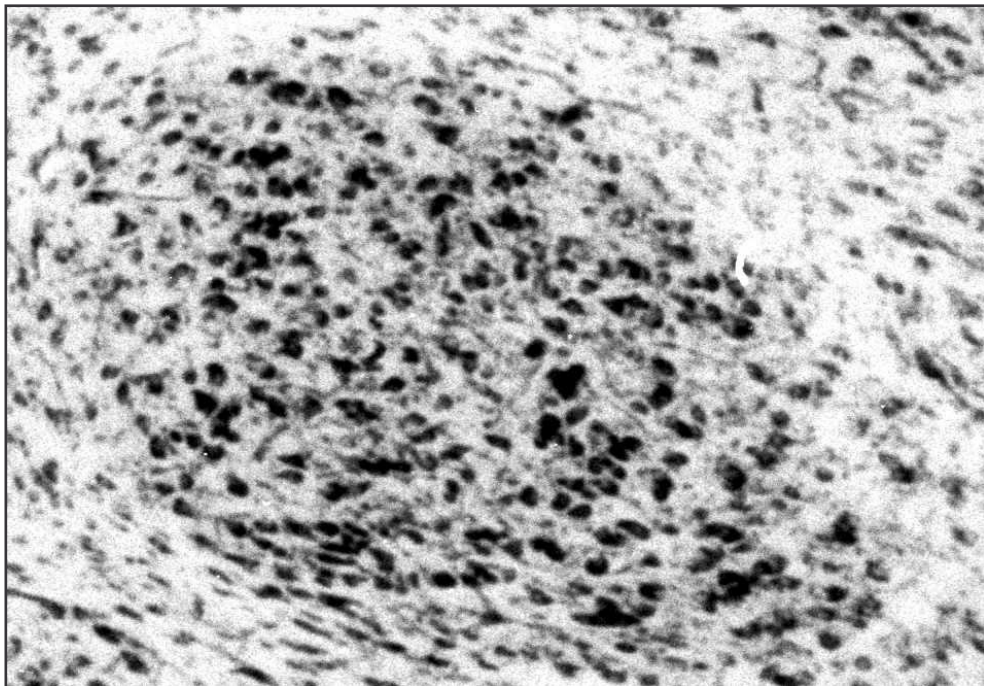
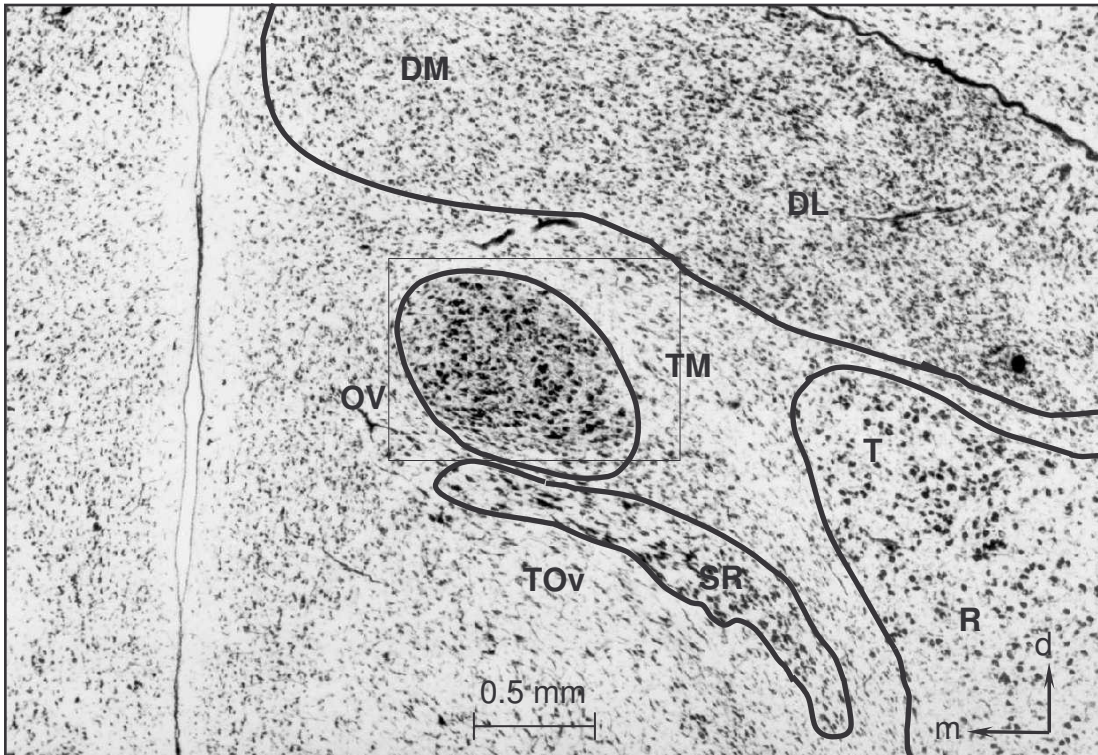


Bild 13: Transversalschnitt durch das Diencephalon auf der Ebene des Nucleus ovoidalis
Chabo 375; Schnitt 437

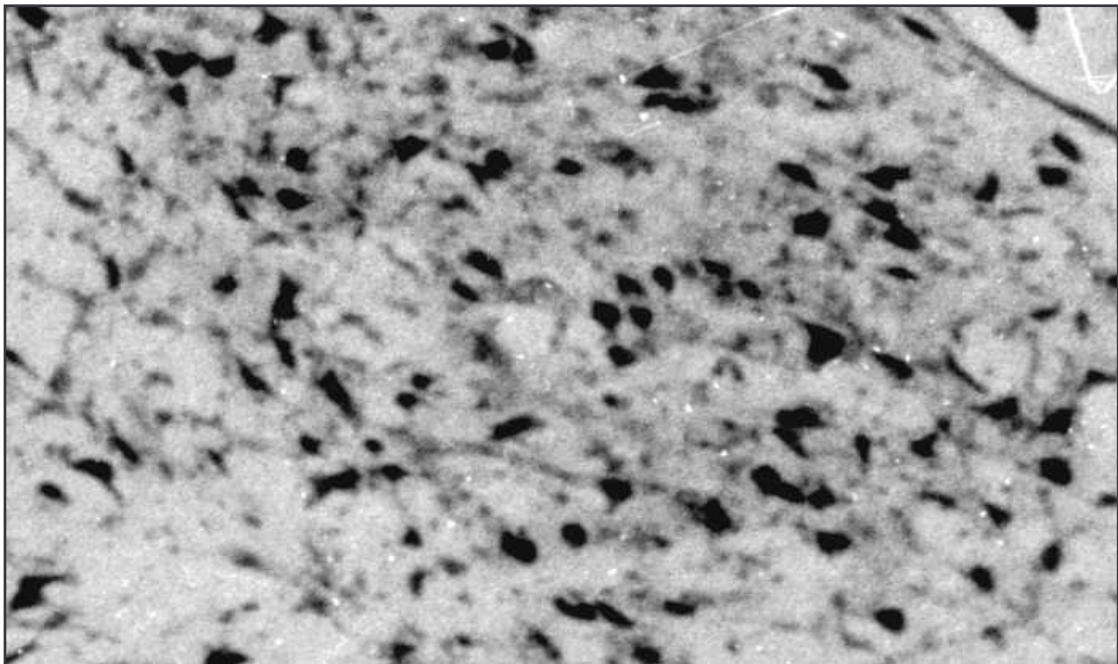
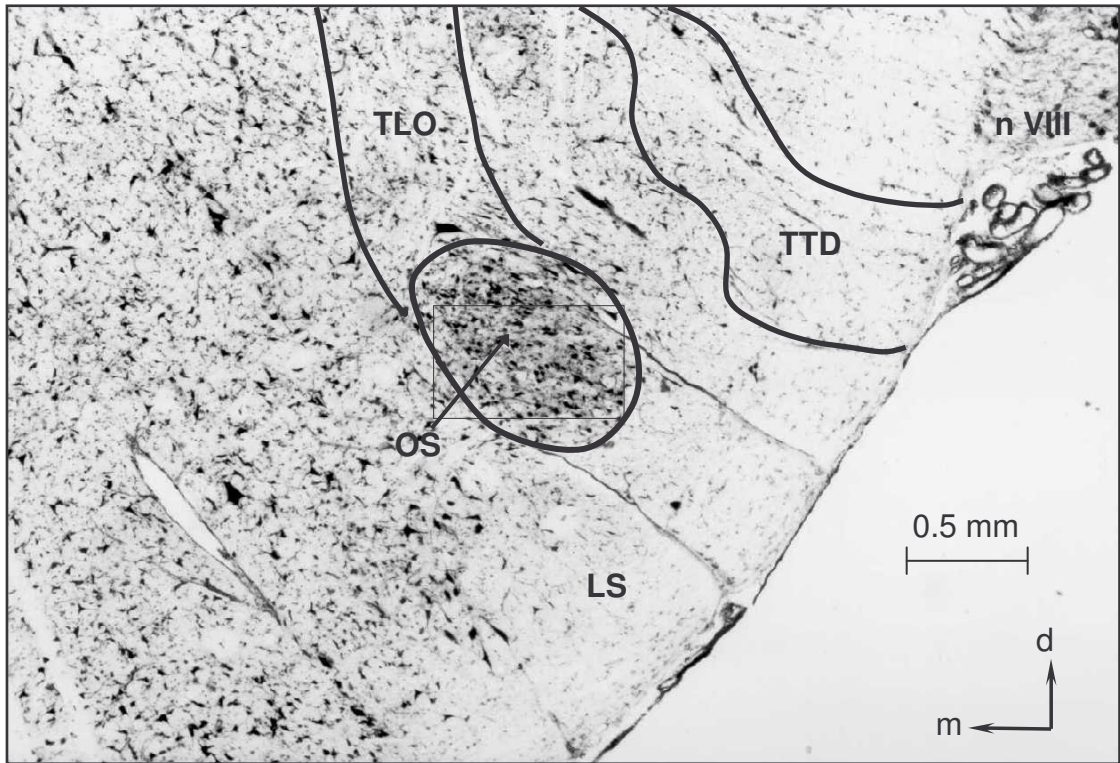


Bild 14: Transversalschnitt durch die Medulla oblongata auf der Ebene des Nucleus olivaris superior
 Brahma 4627; Schnitt 1081

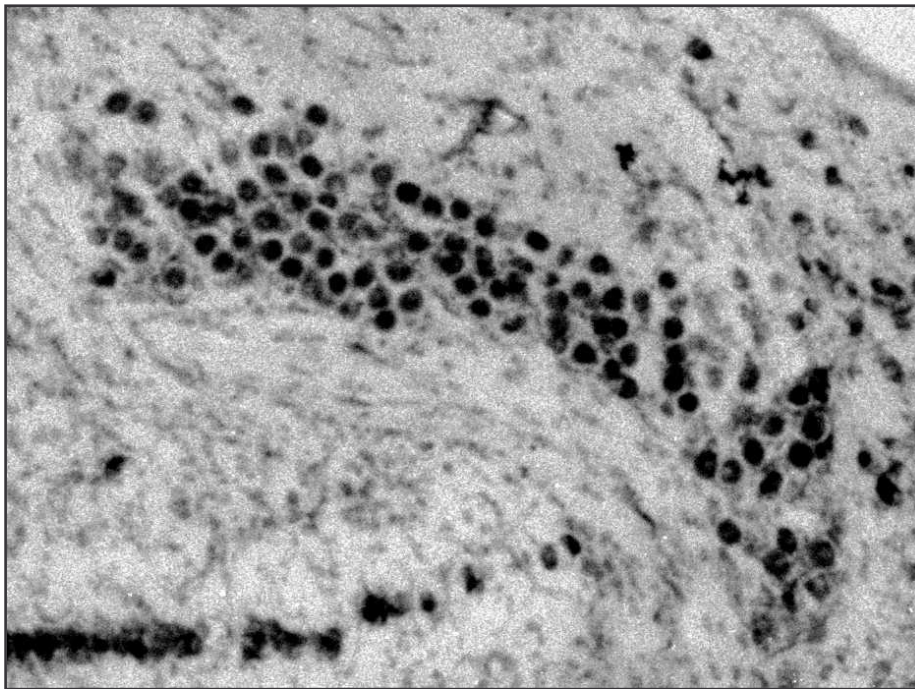
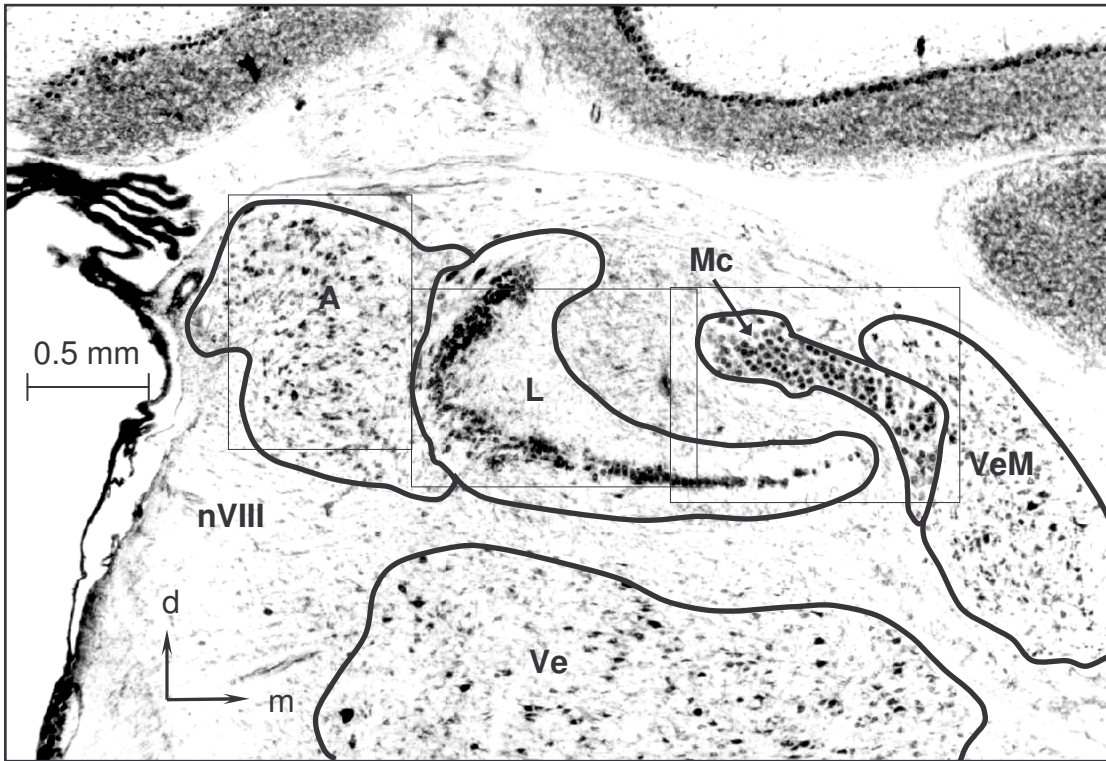


Bild 15: Transversalschnitt durch die Medulla oblongata auf der Ebene des Nuclei laminaris, magnocellularis et angularis
Chabo 375; Schnitt 757

Bild 15a: Transversalschnitt durch den Nucleus magnocellularis

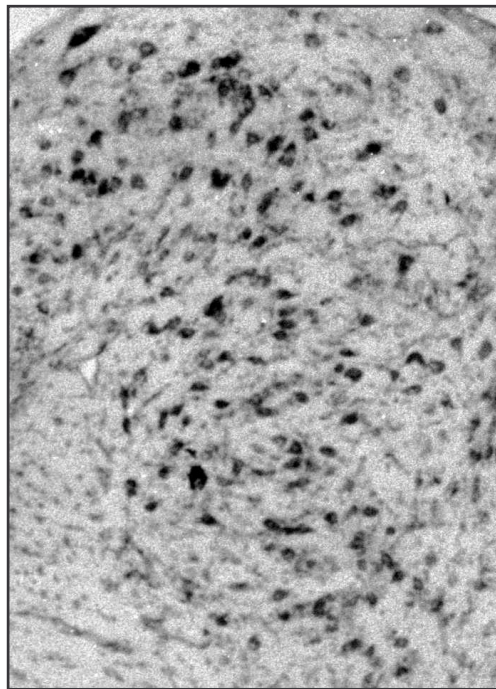
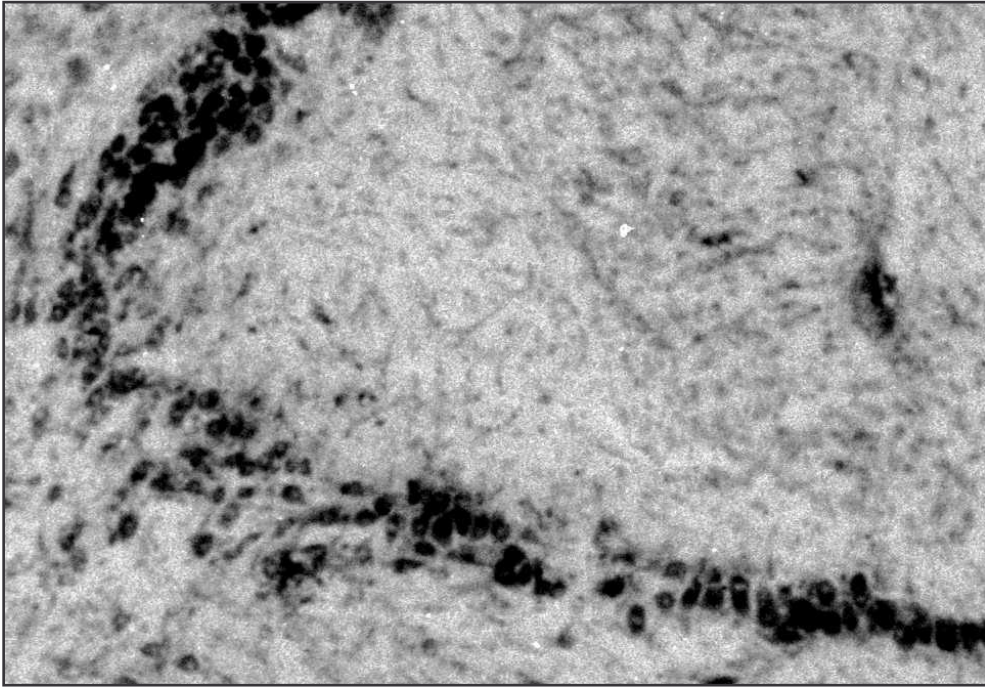


Bild 15b: Transversalschnitt durch den Nucleus laminaris

Bild 15c: Transversalschnitt durch den Nucl. angularis
Chabo 375; Schnitt 757

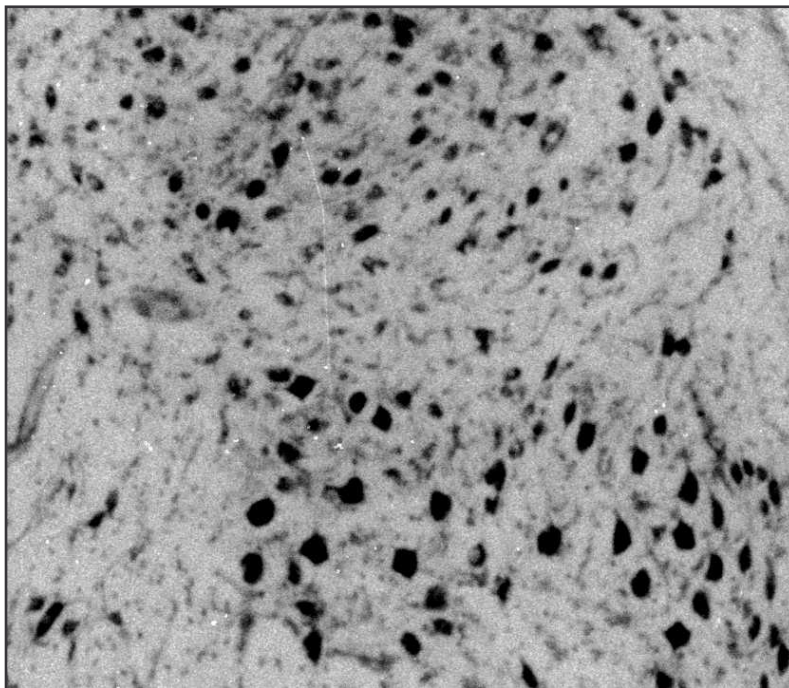
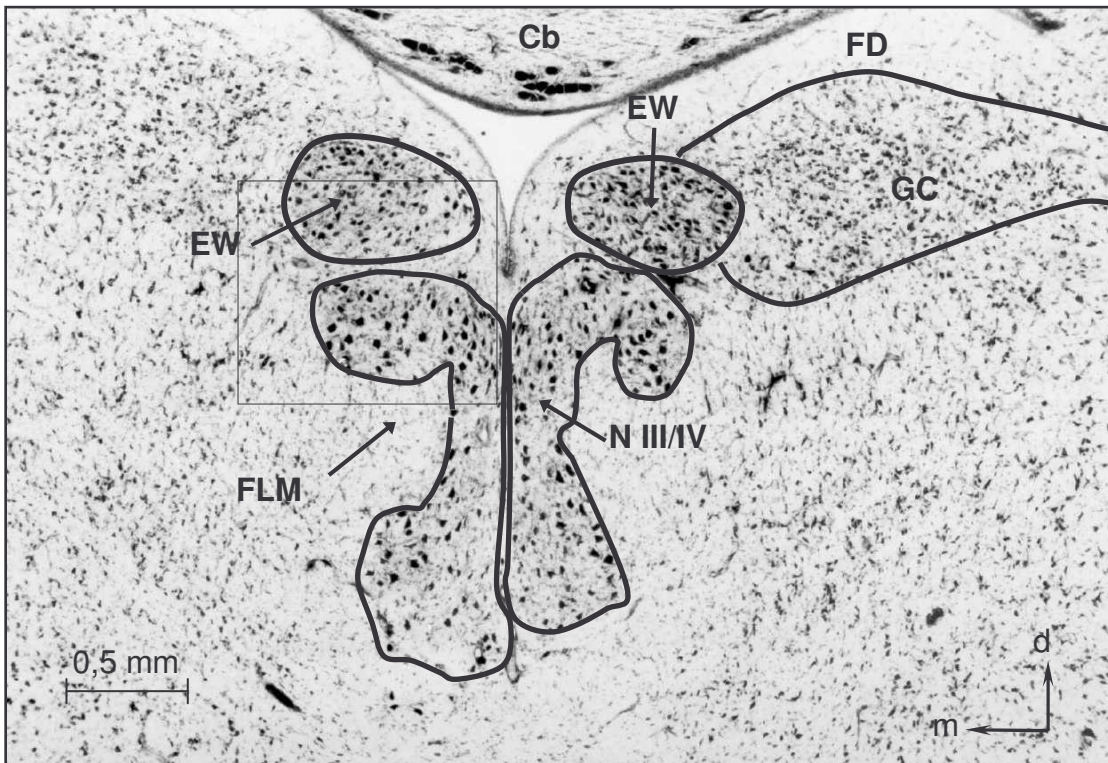


Bild 16: Transversalschnitt durch die Medulla oblongata auf der Ebene des Nucleus nervi oculomotorii et Nucleus oculomotorius accessorius Edinger-Westphal
Seidenhuhn 348; Schnitt 703

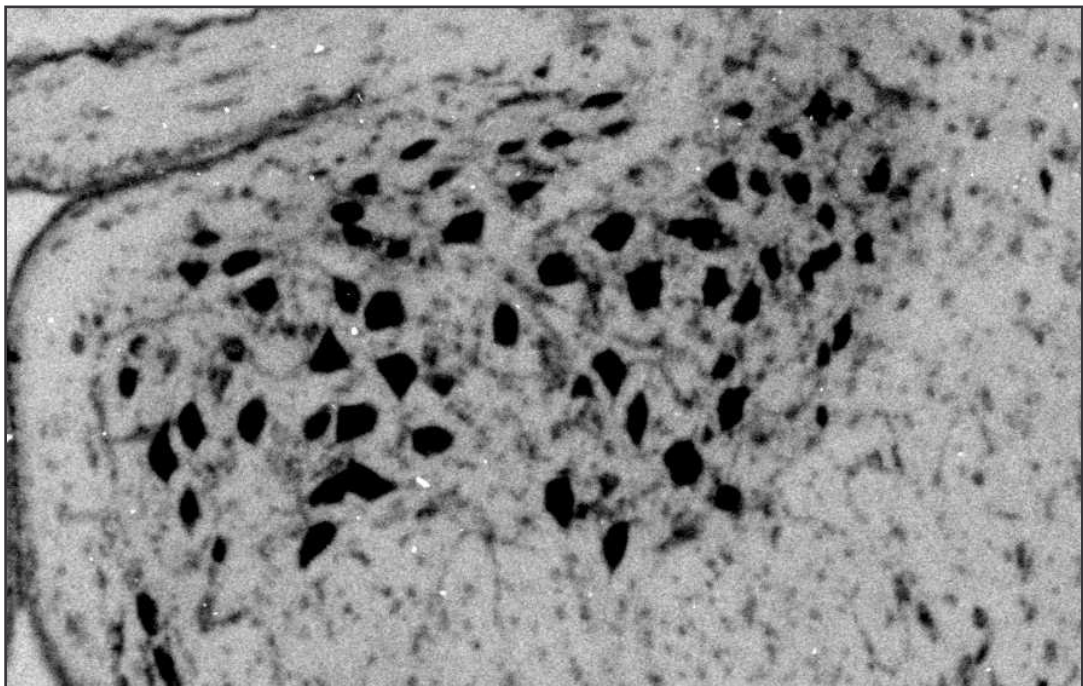
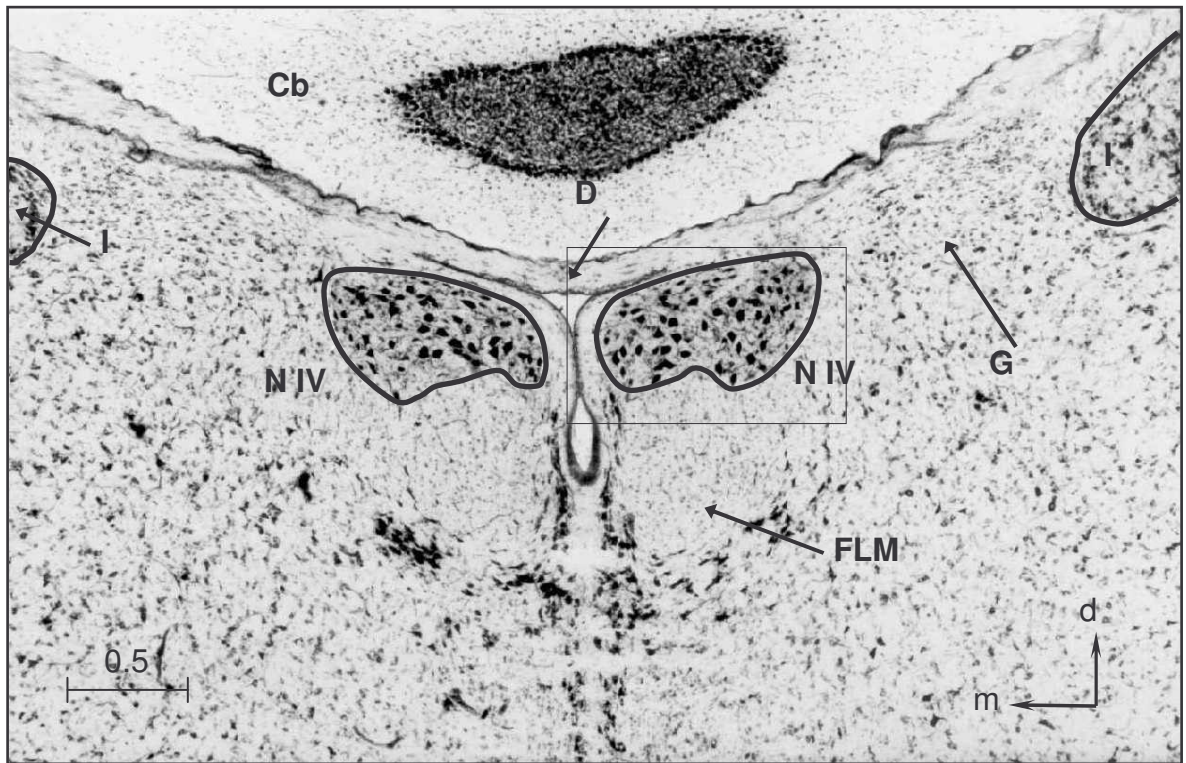


Bild 17: Transversalschnitt durch die Medulla oblongata auf der Ebene des Nucleus nervi trochlearis
Chabo 375; Schnitt 622

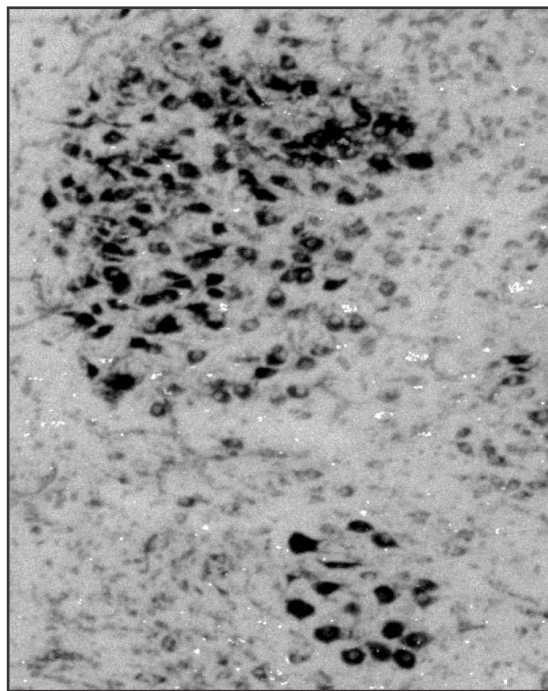
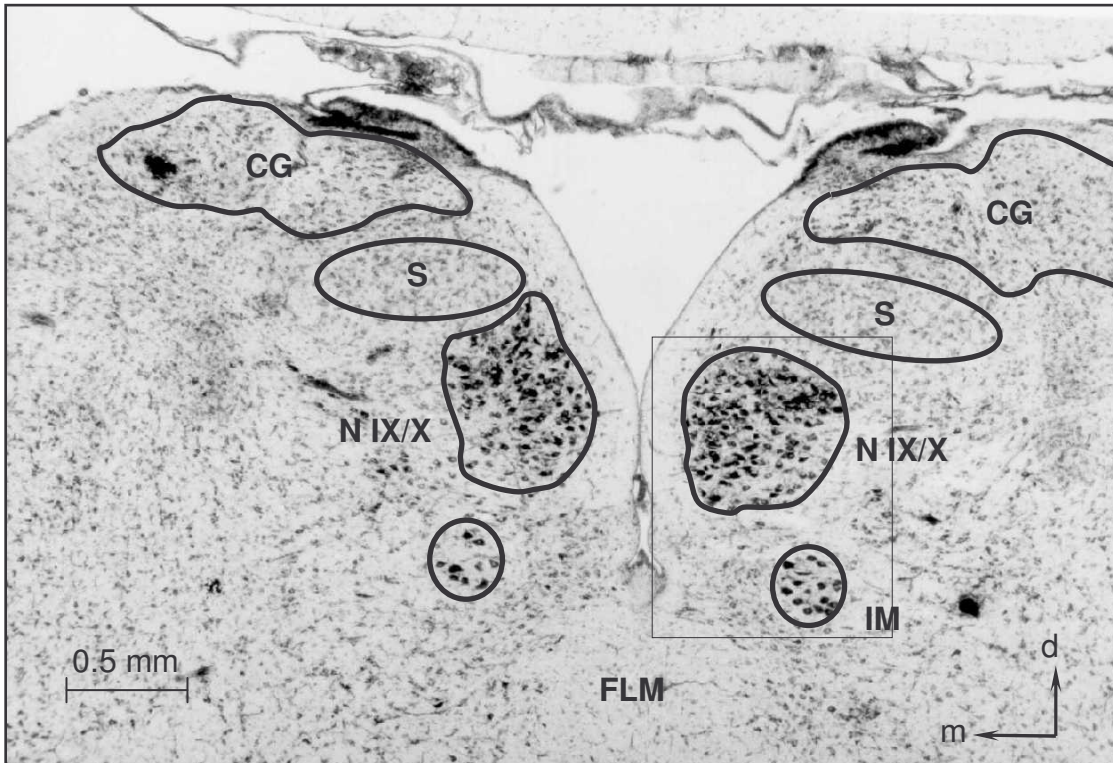


Bild 18: Transversalschnitt durch die Medulla oblongata auf der Ebene des Nuclei nervi glossopharyngei et motorius nervi vagi und des Nucleus intermedius
Chabo 375; Schnitt 837

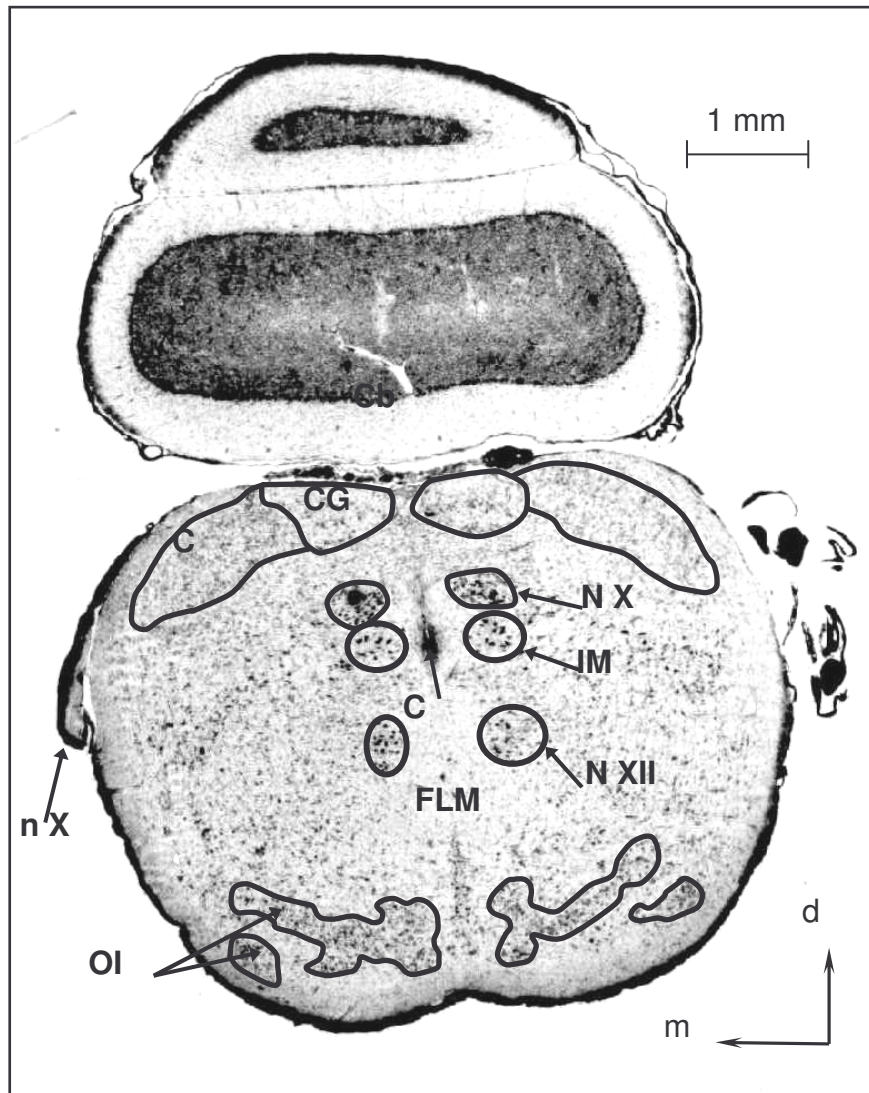


Bild 19: Transversalschnitt durch die Medulla oblongata auf der Ebene des Nucleus nervi hypoglossi et Nucleus intermedius
Chabo 375; Schnitt 867

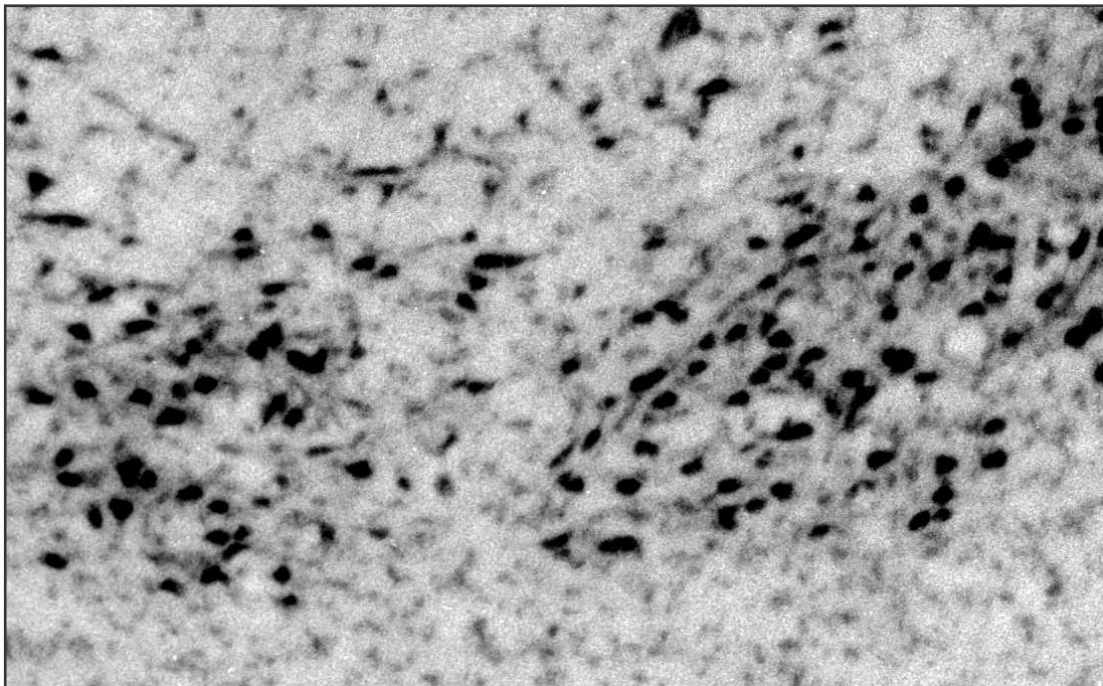
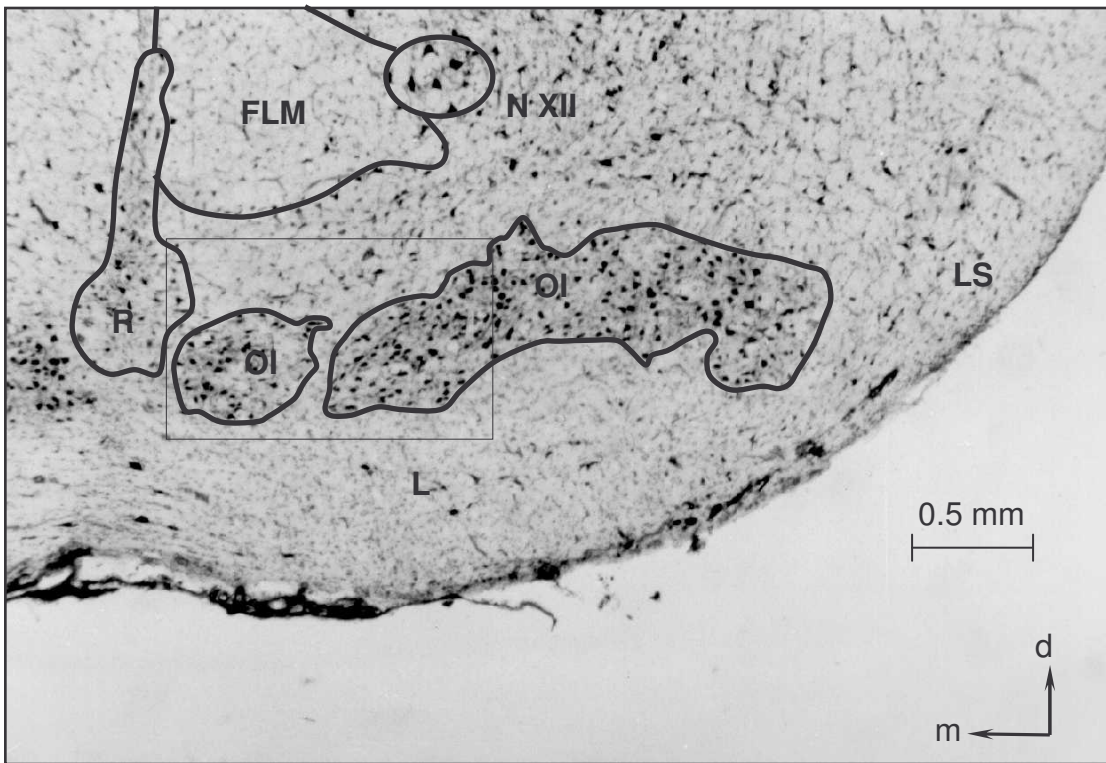


Bild 20: Transversalschnitt durch die Medulla oblongata auf der Ebene des Nucleus olivaris inferior
 Brahma 4627; Schnitt 1241

Rasse	Nr	Ge- schlecht	Körper- gewicht	Hirn- gewicht	Frischhirn- volumen	Korrektur- faktor	Fixier- ung	Schnitt- abstand
			[g]	[g]	[mm ³]			
Chabo	325	m	584.1	2.780	2683.4	1.7291	Bodian	5
	327	w	397.5	2.475	2389.0	1.9073	Bodian	5
	328	m	754.0	2.916	2814.7	1.7217	Bodian	5
	338	m	564.4	2.402	2318.5	1.6825	Bouin	5
	339	m	715.0	2.474	2388.0	1.6166	Bouin	5
	340	m	746.0	2.958	2855.2	1.6307	Bouin	6
	355	m	586.0	2.600	2509.7	1.4467	Bouin	6
	356	m	587.0	2.466	2380.3	1.4575	Bouin	5
	375	w	516.0	2.432	2347.5	1.7629	Bouin	5
	376	w	477.0	2.631	2539.6	1.6817	Bouin	5
	379	w	427.2	2.210	2133.2	1.4006	Bouin	5
Seiden- huhn	348	m	973.0	2.701	2607.1	1.5361	Bodian	6
	349	m	866.0	2.906	2805.0	1.5161	Bodian	6
	351	m	1123.3	3.034	2928.6	1.7924	Bodian	6
	352	m	1070.0	3.152	3042.5	1.5478	Bodian	6
	353	m	1292.0	3.217	3105.2	1.5166	Bodian	6
	354	w	816.0	2.820	2722.0	1.7973	Bodian	5
	373	w	546.0	2.365	2282.8	1.5300	Bouin	7
	374	w	910.0	2.524	2436.3	1.5210	Bouin	6
Krüper	381	w	1598.0	3.460	3339.8	1.5496	Bouin	8
	382	w	1149.0	2.840	2741.3	1.5293	Bouin	7
	391	w	1229.0	3.160	3050.2	1.6595	Bouin	5
	392	w	1370.0	3.130	3021.2	1.8774	Bouin	5
Shamo	378	w	2880.0	3.580	3455.6	1.7646	Bouin	6
Brahma	398	w	3430.0	4.007	3850.0	2.3081	Bouin	9
	399	w	2750.0	4.284	4130.0	2.3170	frisch	9
	4626	w	3260.0	3.642	3515.4	1.5360	frisch	5
	4627	w	3385.0	3.728	3598.5	1.5851	frisch	5
	4628	w	3610.0	4.098	3955.6	1.4870	frisch	5

Tabelle 1: Grunddaten der untersuchten Hühner

Anmerkung: Die Gehirne der Brahmahühner Nr. 399, 4626, 4627, 4628 wurden ohne vorherige Perfusion (s. Kap. 2.3) freipräpariert und gewogen.

Rasse	Nr	Tr. opt.	Tectum	Nucl. rot.
		Abb. 2	Abb. 3	Abb. 4
Chabo	325	84.531	210.33	7.7631
	327	58.461	216.92	3.6029
	328	66.506	206.19	6.6838
	338	47.457	194.64	6.4158
	339	50.904	182.35	6.0148
	340	65.290	216.37	8.4968
	355	59.018	208.68	7.5519
	356	54.910	197.98	6.6330
	375	59.995	178.30	5.6168
	376	57.252	206.46	8.0167
	379	40.573	160.76	5.4343
Seiden- huhn	348	57.696	241.50	7.3702
	349	63.716	247.90	7.3295
	351	86.822	233.36	7.7766
	352	60.993	287.75	9.7432
	353	88.795	240.06	7.6917
	354	81.756	235.28	7.8433
	373	56.527	220.73	7.2482
	374	49.773	215.84	5.5671
Krüper	381	72.695	289.53	10.6780
	382	64.038	211.08	9.7374
	391	79.248	267.12	*
	392	83.853	263.07	*
Shamo	378	96.647	268.21	9.6071
Brahma	398	96.369	329.14	11.1272
	399	147.220	367.92	10.2432
	4626	104.860	292.07	7.0699
	4627	109.090	339.41	11.2280
	4628	116.140	323.08	9.9338

Tabelle 2: Volumina der Kerne des visuellen Systems in mm³
(* Artefakt, nicht vermessen)

Rasse	Nr	Nucl. sensorius principalis n. trigemini	Nucl. basalis	Nucl. cuneatus et gracilis
		Abb. 5	Abb. 6	Abb. 7
Chabo	325	0.64354	4.9712	1.3408
	327	*	5.2987	*
	328	0.81478	9.3710	1.0715
	338	0.46327	4.1222	1.8281
	339	0.54192	5.4004	0.8034
	340	0.64399	6.5782	2.0502
	355	0.68246	(14.4920)	1.5288
	356	0.55770	5.6719	1.1412
	375	0.47175	6.3453	0.7587
	376	0.57982	5.4874	*
379	0.37362	4.4960	1.3290	
Seiden- huhn	348	0.81285	8.3911	1.0198
	349	0.96233	9.1361	0.7561
	351	0.88048	9.0384	0.7603
	352	1.14480	7.5851	0.8538
	353	0.73361	8.1240	0.9812
	354	0.83234	9.0806	0.9107
	373	*	*	0.8922
	374	(0.40508)	7.4879	1.0265
Krüper	381	0.95824	11.0960	1.6422
	382	0.80733	10.1480	1.9076
	391	1.09810	9.7413	0.9517
	392	1.15700	12.3076	0.7579
Shamo	378	0.78031	10.5430	1.3830
Brahma	398	0.96460	10.6119	2.3420
	399	1.14230	7.6813	1.8471
	4626	1.33460	6.3439	0.9956
	4627	1.60310	7.5321	1.0065
	4628	*	8.1333	0.9122

Tabelle 3: Volumina der Kerne des somatosensorischen Systems in mm³
(* Artefakt, nicht vermessen, () nicht gewertet)

Rasse	Nr	Mc	An	La	OS	MLD	OV
		Abb. 8	Abb. 9	Abb. 10	Abb. 11	Abb. 12	Abb. 13
Chabo	325	0.6800	0.6959	0.8922	0.3602	4.6039	1.3869
	327	0.4720	0.8915	0.7074	0.3018	*	0.9933
	328	0.7403	0.8372	0.8742	0.4078	4.0297	1.0674
	338	0.5844	0.9448	0.5004	0.3096	2.6170	1.1103
	339	0.6385	0.8397	0.6739	0.3506	3.1430	0.9398
	340	0.7240	1.1305	0.6175	0.4073	3.5130	1.2479
	355	0.7624	1.1581	0.9693	0.4944	2.4788	1.4159
	356	0.7263	0.8844	0.7372	0.3058	2.4913	1.2894
	375	0.6073	0.7200	0.7923	0.3576	3.2222	1.2201
	376	0.7807	0.6973	0.7524	0.4378	2.5680	1.4325
	379	0.5274	0.5862	0.5714	0.3694	1.7282	1.1256
Seidenhuhn	348	0.7729	0.8034	0.8800	0.3891	3.1078	1.0147
	349	0.6627	0.6777	0.7723	0.4795	2.9012	1.2967
	351	0.7074	0.9965	1.1112	0.3882	3.2271	1.4160
	352	0.8800	1.3369	0.8623	0.5385	5.5191	1.4736
	353	0.9109	0.8923	1.0504	0.4833	4.0162	0.9885
	354	0.8476	0.7858	0.6912	0.4859	3.4109	1.2020
	373	0.3849	0.3799	0.6748	0.4006	3.3030	0.9377
	374	*	*	*	*	3.5773	1.0523
Krüper	381	0.7838	1.1185	1.3620	0.5417	4.1614	1.2938
	382	0.8166	0.9862	0.8451	0.4511	5.5015	1.4251
	391	*	*	*	*	*	*
	392	*	*	*	*	*	*
Shamo	378	1.1450	1.2597	0.9078	0.7082	5.5335	1.6216
Brahma	398	1.2495	1.2900	1.3729	0.7472	*	1.9703
	399	0.9934	1.4571	2.2772	0.9217	*	2.2753
	4626	*	*	*	*	*	1.0291
	4627	*	*	*	*	*	1.3168
	4628	*	*	*	*	*	1.4994

Tabelle 4: Volumina der Kerne des auditorischen Systems in mm³
(* Artefakt, nicht vermessen)

Rasse	Nr	Paleostriatum	Cerebellum	Nucl. ruber	Nucl. olivaris inferior
		Abb. 14	Abb. 15	Abb. 16	Abb. 17
Chabo	325	223.505	350.945	2.4620	1.9102
	327	195.159	333.061	*	*
	328	211.526	383.869	2.4649	1.4435
	338	191.465	278.000	1.7370	2.1540
	339	175.271	305.226	2.2696	1.4286
	340	199.707	450.048	2.7751	1.3450
	355	217.442	311.179	1.8897	1.6252
	356	185.559	300.949	2.2864	1.3969
	375	193.396	313.142	2.4978	1.4778
	376	212.773	335.965	2.5730	1.3687
	379	161.915	235.154	1.6294	1.2780
Seidenhuhn	348	202.093	396.720	2.4303	1.0821
	349	197.969	418.043	3.3188	1.4945
	351	221.010	421.744	2.7667	2.0225
	352	223.165	442.385	2.5208	2.2530
	353	220.063	441.232	3.2498	1.8561
	354	210.654	401.189	1.8599	1.7470
	373	176.215	298.708	1.9463	1.5132
	374	191.517	319.307	1.8826	1.5968
Krüper	381	259.221	464.738	3.0855	1.9538
	382	215.338	361.904	2.6999	1.6031
	391	217.458	411.491	*	*
	392	219.695	395.570	*	*
Shamo	378	265.365	479.833	3.5126	1.6925
Brahma	398	297.024	576.697	3.6030	1.8640
	399	276.546	641.906	3.9610	2.5527
	4626	250.037	533.935	*	*
	4627	269.090	560.515	*	*
	4628	264.911	507.640	*	*

Tabelle 5a: Volumina der Kerne des motorischen Systems in mm³
(* Artefakt, nicht vermessen)

Rasse	Nr	III./IV./E.W.	N IX/X	N XII	N IM
		Abb. 18	Abb. 19	Abb. 20	Abb. 21
Chabo	325	2.1426	1.1467	0.3529	0.4867
	327	1.7162	*	*	*
	328	2.0172	1.2058	0.2938	0.4409
	338	1.6855	1.0924	0.2983	0.3777
	339	1.7866	0.9505	0.2213	0.2724
	340	1.9986	0.9995	0.1571	0.1876
	355	2.2222	0.9778	0.3459	0.3672
	356	2.1415	0.8568	0.2062	0.2485
	375	1.7235	1.2098	0.2866	0.3949
	376	2.4562	1.1273	0.3503	0.3812
	379	1.7952	0.8759	0.2152	0.3098
Seiden- huhn	348	1.8054	0.9691	0.1438	0.2031
	349	2.0505	1.1276	0.3054	0.2800
	351	2.0097	1.8330	0.4184	0.4769
	352	2.2218	1.5647	0.3904	0.3891
	353	2.1591	1.2394	0.2544	0.3355
	354	1.6985	1.1333	0.3056	0.3820
	373	1.2250	0.9792	0.1858	0.2628
	374	1.4847	0.7533	0.2694	0.2315
Krüper	381	2.2433	1.4903	0.5329	0.5019
	382	2.2948	1.2805	0.3593	0.6106
	391	*	*	*	*
	392	*	*	*	*
Shamo	378	2.8718	1.6568	0.5208	0.5809
Brahma	398	1.9337	2.0367	0.5897	0.5979
	399	3.2345	1.7904	0.2667	0.2650
	4626	*	*	*	*
	4627	*	*	*	*
	4628	*	*	*	*

Tabelle 5b: Volumina der Kerne des motorischen Systems in mm³
(* Artefakt, nicht vermessen)

Rasse	Nr	Tr. opt.	Tectum	Nucl. rot.
Chabo	325	147	103	118
	327	117	118	61
	328	105	94	95
	338	84	96	98
	339	82	85	87
	340	104	99	121
	355	103	102	115
	356	95	97	101
	375	109	90	88
	376	107	107	129
379	79	85	90	
Seiden- huhn	348	83	103	98
	349	96	109	100
	351	119	96	100
	352	85	120	126
	353	115	95	95
	354	126	105	109
	373	101	110	112
	374	74	94	75
Krüper	381	87	109	125
	382	87	86	124
	391	105	107	*
	392	107	103	*
Shamo	378	93	86	96
Brahma	398	87	101	106
	399	145	120	104
	4626	97	91	68
	4627	99	104	108
	4628	103	98	94

Tabelle 6: Indizes der Kerne des visuellen Systems
(* Artefakt, nicht vermessen)

Rasse	Nr	Nucl. sensorius principalis n. trigemini	Nucl. basalis	Nucl. cuneatus et gracilis
Chabo	325	109	73	123
	327	*	85	*
	328	123	131	96
	338	79	61	167
	339	84	77	72
	340	98	92	184
	355	115	214	140
	356	94	84	104
	375	84	96	70
	376	107	85	*
	379	72	71	124
Seiden- huhn	348	109	111	90
	349	136	124	67
	351	111	117	66
	352	148	99	75
	353	87	102	85
	354	121	125	81
	373	*	*	82
	374	56	101	91
Krüper	381	104	133	140
	382	101	130	166
	391	133	123	83
	392	134	152	65
Shamo	378	65	112	113
Brahma	398	74	108	189
	399	97	82	152
	4626	105	66	81
	4627	124	77	81
	4628	*	82	73

Tabelle 7: Indizes der Kerne des somatosensorischen Systems
(* Artefakt, nicht vermessen)

Rasse	Nr	Mc	An	La	OS	MLD	OV
Chabo	325	108	90	123	96	157	119
	327	86	130	114	94	*	91
	328	107	99	109	98	122	88
	338	94	123	70	84	91	96
	339	94	101	86	86	98	78
	340	105	134	77	98	107	103
	355	121	149	133	132	85	122
	356	115	114	101	81	85	111
	375	100	97	115	100	116	107
	376	133	96	113	127	96	127
	379	93	84	84	89	112	68
Seiden- huhn	348	102	87	99	84	84	81
	349	91	77	91	109	83	105
	351	89	103	118	79	82	110
	352	112	141	93	112	143	116
	353	109	88	105	93	95	75
	354	119	91	83	113	100	98
	373	62	50	96	110	116	82
	374	*	*	*	*	100	85
Krüper	381	87	103	125	96	90	95
	382	102	101	89	91	138	111
	391	*	*	*	*	*	*
	392	*	*	*	*	*	*
Shamo	378	103	96	66	99	91	109
Brahma	398	105	92	92	97	*	129
	399	90	112	167	131	*	154
	4626	*	*	*	*	*	68
	4627	*	*	*	*	*	87
	4628	*	*	*	*	*	98

Tabelle 8: Indizes der Kerne des auditorischen Systems
(* Artefakt, nicht vermessen)

Rasse	Nr	Paleostriatum	Cerebellum	Nucl. ruber	Nucl. olivaris inferior
Chabo	325	115	107	114	125
	327	108	115	*	*
	328	104	108	105	91
	338	99	86	81	142
	339	87	88	98	90
	340	98	128	118	85
	355	112	95	87	107
	356	96	92	105	92
	375	102	99	120	99
	376	114	109	127	93
	379	89	79	83	88
Seidenhuhn	348	95	104	95	65
	349	95	113	135	92
	351	101	105	103	119
	352	103	112	95	133
	353	98	106	116	106
	354	102	111	77	108
	373	92	93	92	100
	374	91	85	75	97
Krüper	381	111	104	102	108
	382	98	90	100	94
	391	97	100	*	*
	392	96	93	*	*
Shamo	378	101	90	96	84
Brahma	398	110	102	93	90
	399	106	122	110	128
	4626	93	96	*	*
	4627	100	100	*	*
	4628	97	88	*	*

Tabelle 9a: Indizes der Kerne des motorischen Systems
(* Artefakt, nicht vermessen)

Rasse	Nr	III./IV./E.W.	N IX/X	N XII	N IM
Chabo	325	116	113	138	151
	327	99	*	*	*
	328	104	108	106	130
	338	92	109	118	118
	339	93	87	81	81
	340	103	90	57	55
	355	120	96	135	114
	356	115	84	80	77
	375	95	124	117	126
	376	137	119	146	124
	379	103	96	93	103
Seiden- huhn	348	89	80	48	57
	349	103	97	105	80
	351	96	144	132	129
	352	107	125	125	107
	353	101	93	77	88
	354	86	99	107	111
	373	67	98	74	83
	374	74	63	91	66
Krüper	381	101	103	150	126
	382	110	100	112	165
	391	*	*	*	*
	392	*	*	*	*
Shamo	378	116	94	121	129
Brahma	398	76	108	129	128
	399	132	103	63	60
	4626	*	*	*	*
	4627	*	*	*	*
	4628	*	*	*	*

Tabelle 9b: Indizes der Kerne des motorischen Systems
(* Artefakt, nicht vermessen)

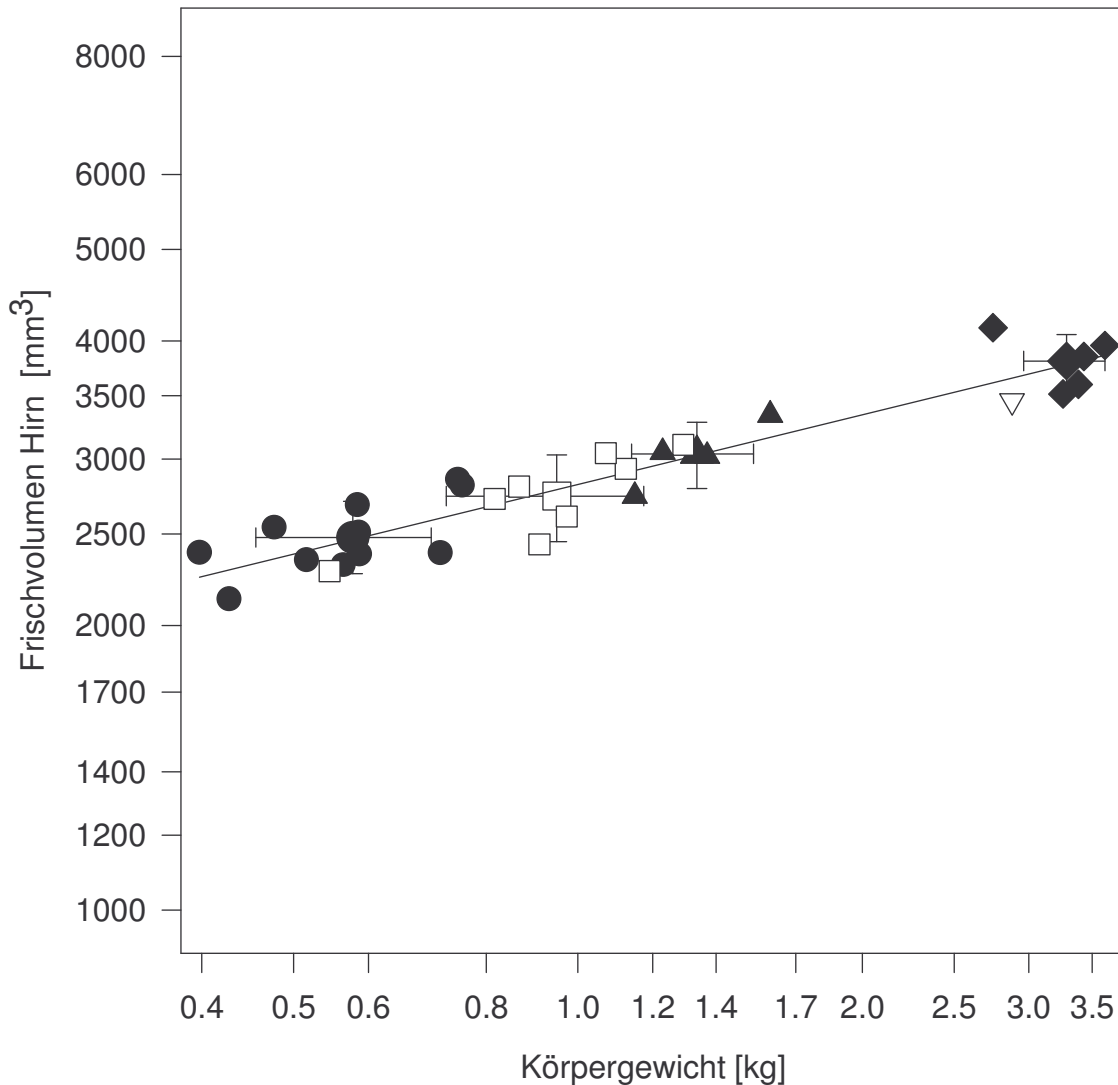


Abbildung 1: Frischvolumina des Hirns von verschiedenen Rassen in Abhängigkeit vom Körpergewicht in doppeltlogarithmischer Darstellung ($b = 2820$, $a = 0.245$)
 ● Chabo □ Seidenhuhn ▲ Krüper ▽ Shamo ◆ Brahma

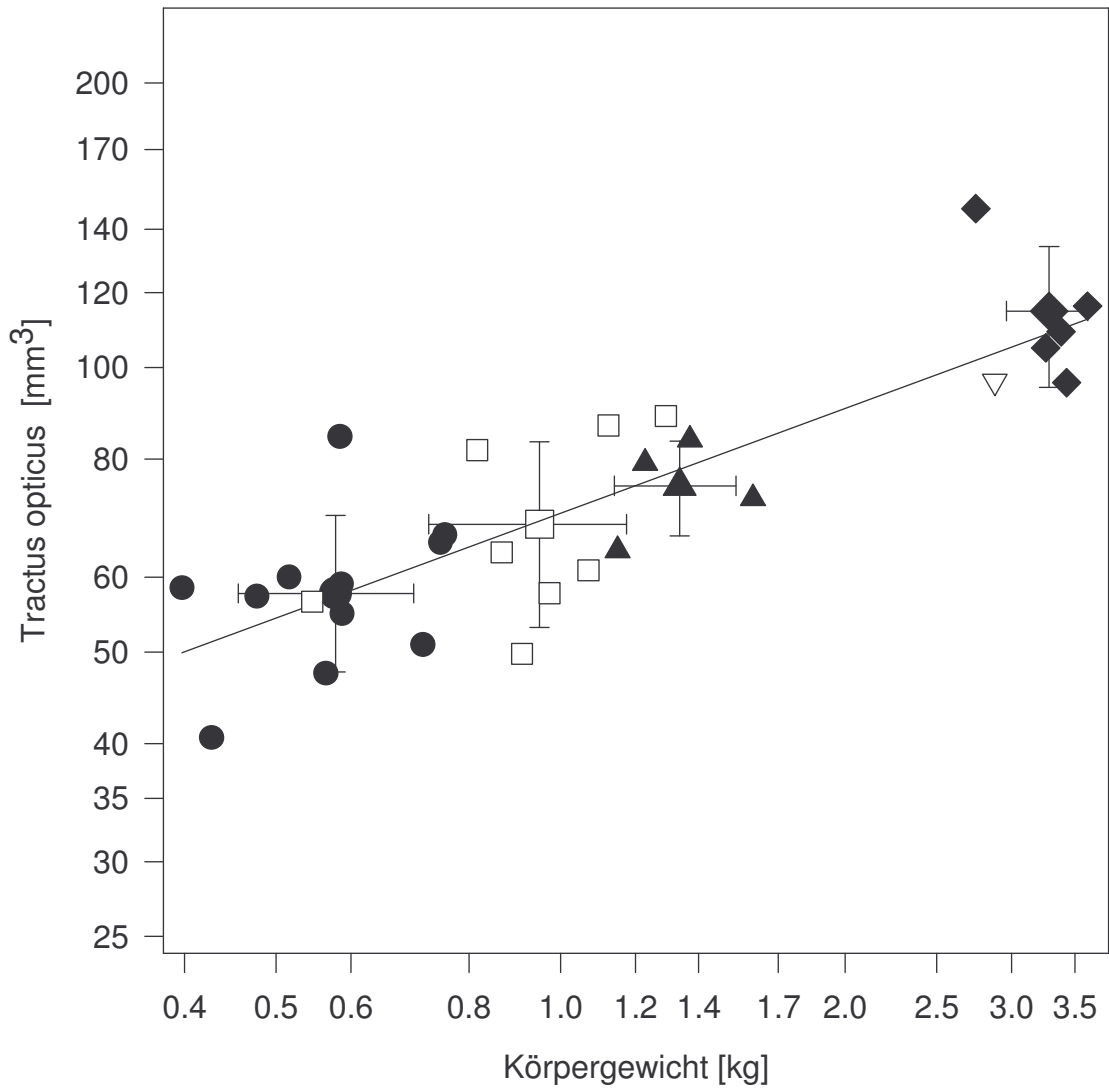


Abbildung 2: Volumina des Tractus opticus von verschiedenen Rassen in Abhängigkeit vom Körpergewicht in doppeltlogarithmischer Darstellung ($b = 70.1$, $a = 0.368$)

● Chabo □ Seidenhuhn ▲ Krüper ▽ Shamo ◆ Brahma

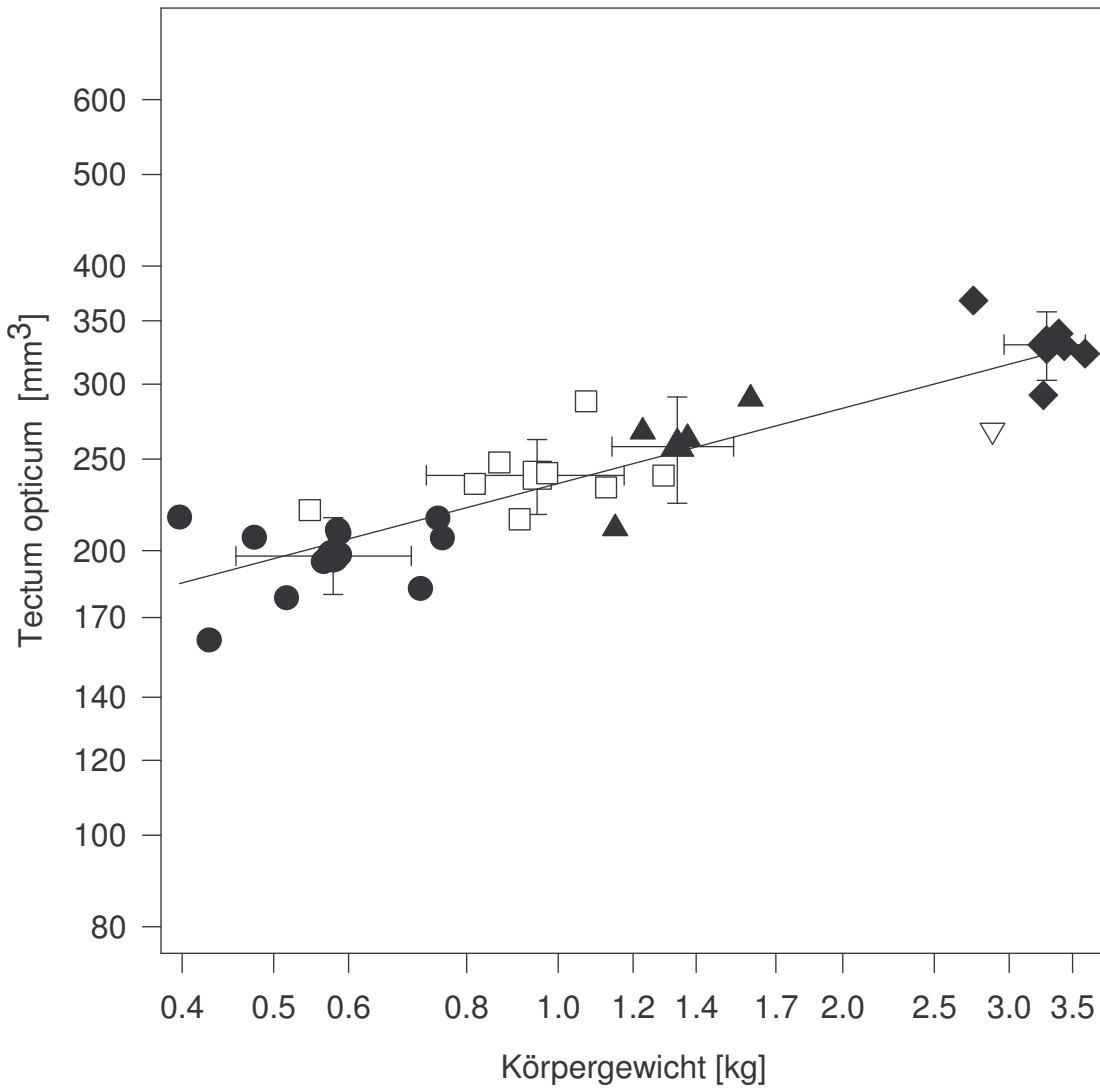


Abbildung 3: Volumina des Tectum opticum von verschiedenen Rassen in Abhängigkeit vom Körpergewicht in doppeltlogarithmischer Darstellung ($b = 235.6$, $a = 0.264$)
 ● Chabo □ Seidenhuhn ▲ Krüper ▽ Shamo ◆ Brahma

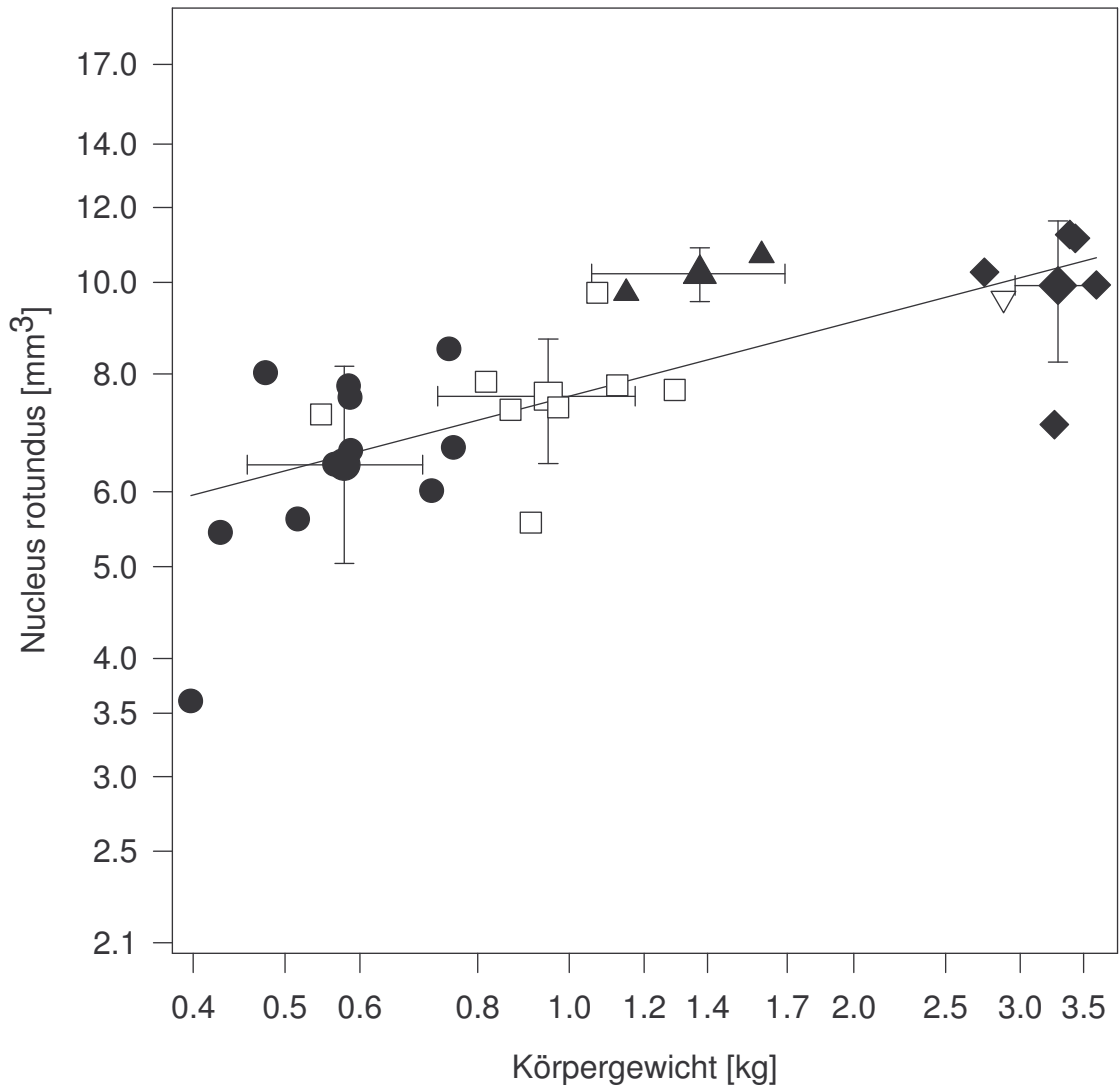


Abbildung 4: Volumina des Nucleus rotundus von verschiedenen Rassen in Abhängigkeit vom Körpergewicht in doppeltlogarithmischer Darstellung ($b = 7.78$, $a = 0.263$)

● Chabo □ Seidenhuhn ▲ Krüper ▽ Shamo ◆ Brahma

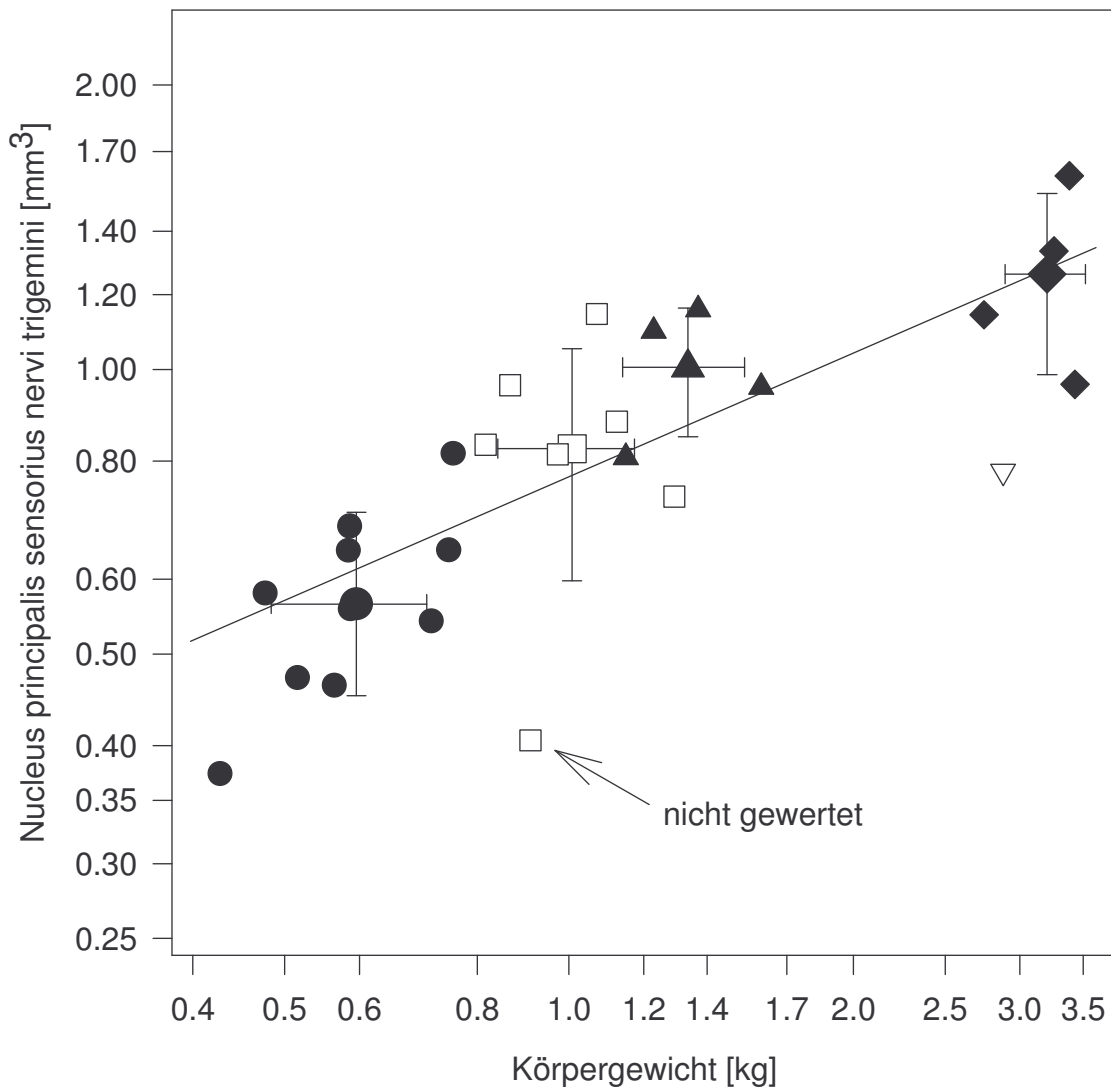


Abbildung 5: Volumina des Nucleus principalis sensorius nervi trigemini von verschiedenen Rassen in Abhängigkeit vom Körpergewicht in doppeltlogarithmischer Darstellung ($b = 0.770$, $a = 0.435$)
 ● Chabo □ Seidenhuhn ▲ Krüper ▽ Shamo ◆ Brahma
 Das Kernvolumen des Seidenhuhns Nr. 374 wurde in der Auswertung nicht berücksichtigt, siehe Kapitel 3.2.3.

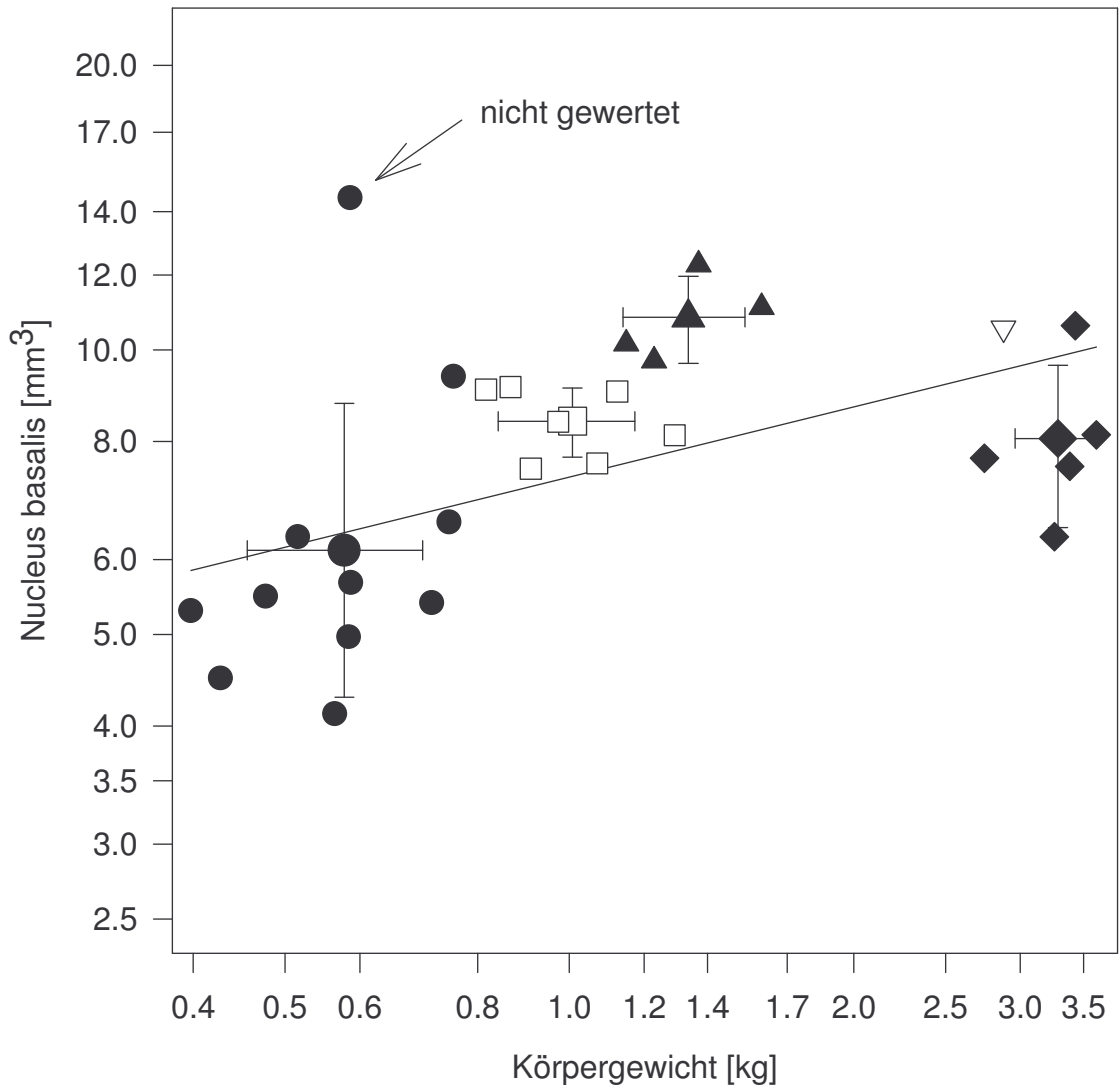


Abbildung 6: Volumina des Nucleus basalis von verschiedenen Rassen in Abhängigkeit vom Körpergewicht in doppeltlogarithmischer Darstellung ($b = 7.338$, $a = 0.247$)
 ● Chabo □ Seidenhuhn ▲ Krüper ▽ Shamo ◆ Brahma
 Das Kernvolumen des Huhns der Rasse Chabo Nr. 355 wurde in der Auswertung nicht berücksichtigt, siehe Kapitel 3.2.3.

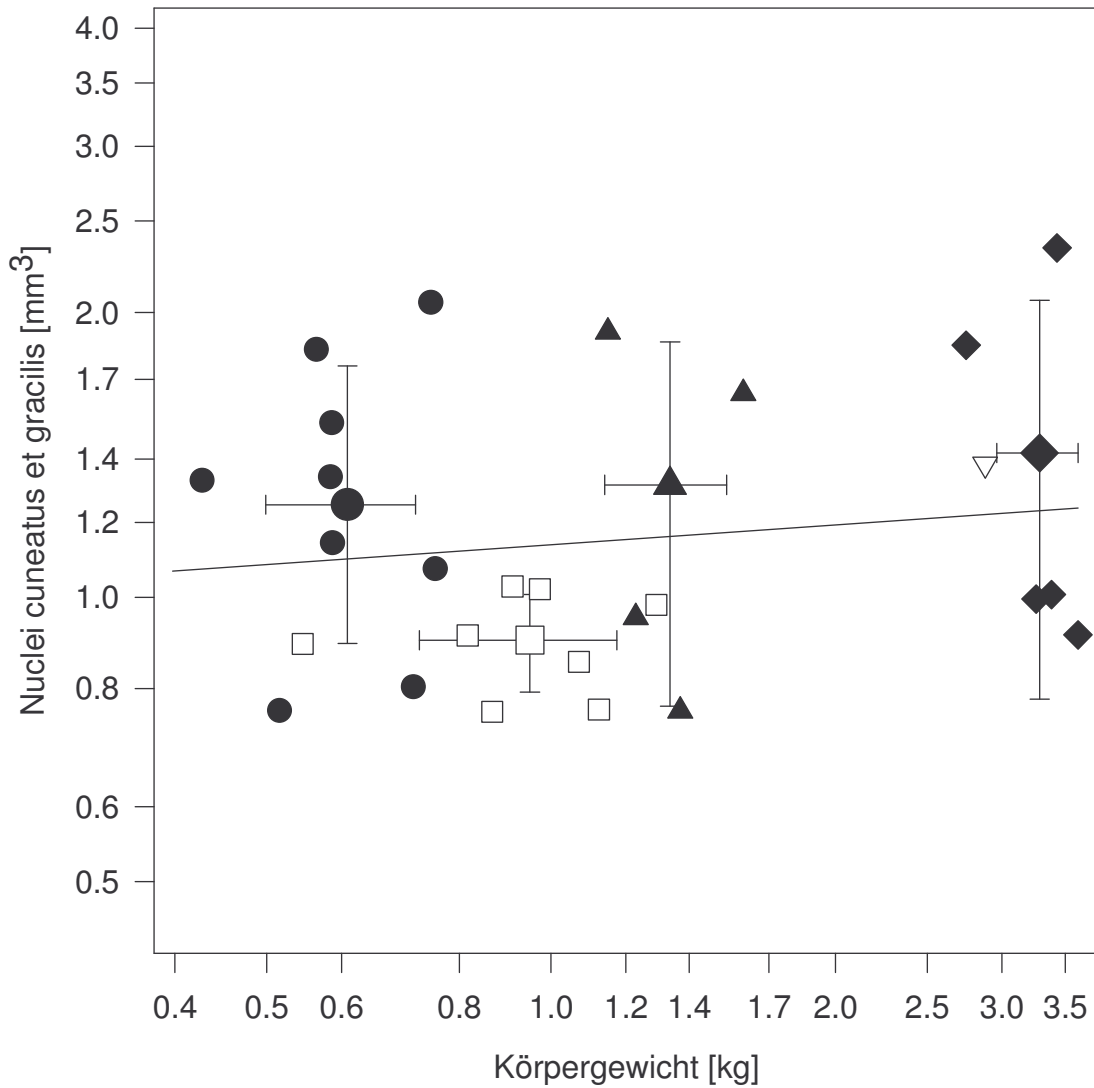


Abbildung 7: Volumina des Nuclei cuneatus et gracilis von verschiedenen Rassen in Abhängigkeit vom Körpergewicht in doppelt-logarithmischer Darstellung ($b = 1.136$, $a = 0.070$)
 ● Chabo □ Seidenhuhn ▲ Krüper ▽ Shamo ◆ Brahma

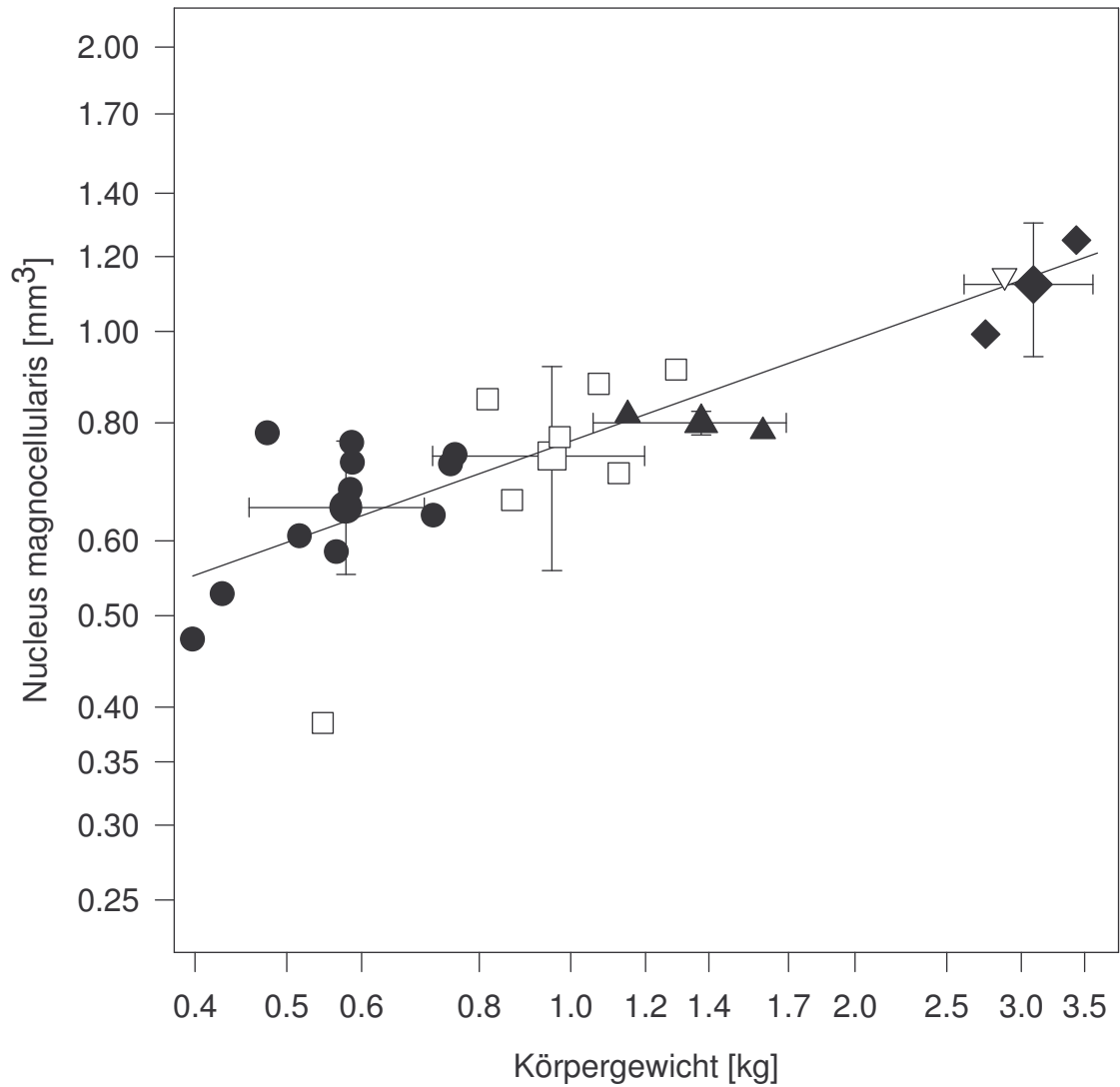


Abbildung 8: Volumina des Nucleus magnocellularis von verschiedenen Rassen in Abhängigkeit vom Körpergewicht in doppelt-logarithmischer Darstellung ($b = 0.766$, $a = 0.357$)
 ● Chabo □ Seidenhuhn ▲ Krüper ▽ Shamo ◆ Brahma

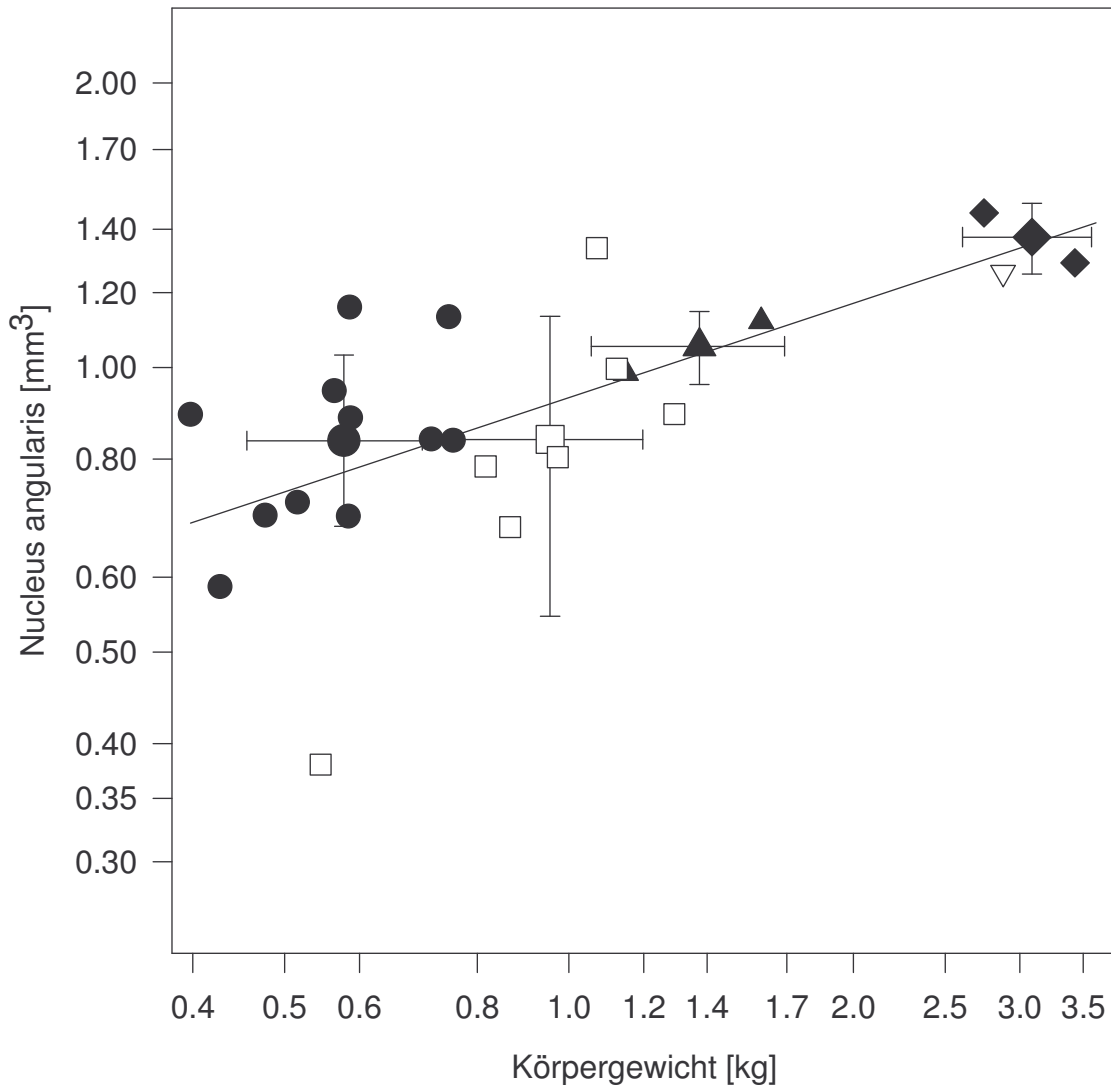


Abbildung 9: Volumina des Nucleus angularis von verschiedenen Rassen in Abhängigkeit vom Körpergewicht in doppeltlogarithmischer Darstellung ($b = 0.929$, $a = 0.331$)

● Chabo □ Seidenhuhn ▲ Krüper ▽ Shamo ◆ Brahma

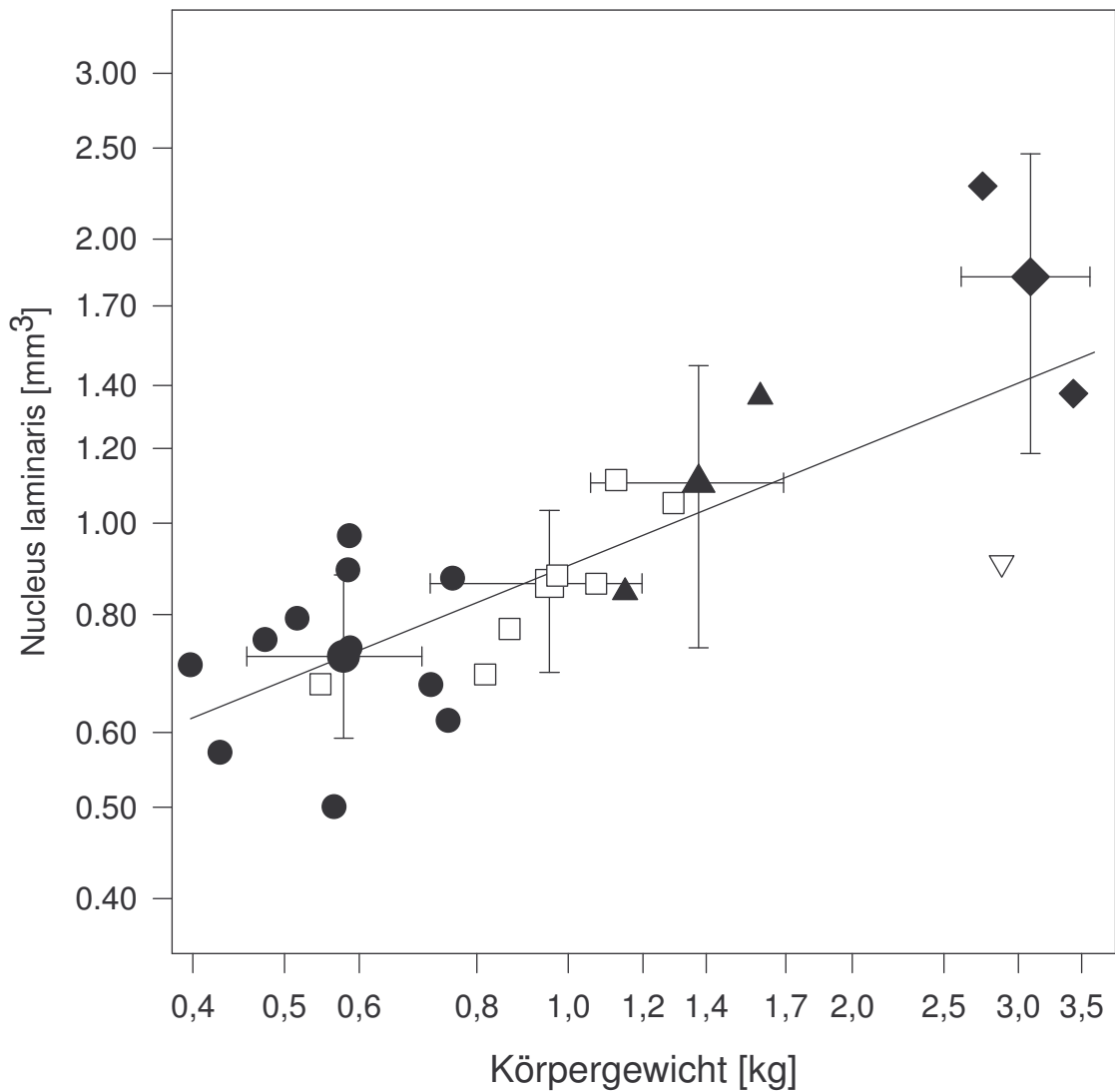


Abbildung 10: Volumina des Nucleus laminaris von verschiedenen Rassen in Abhängigkeit vom Körpergewicht in doppeltlogarithmischer Darstellung ($b = 0.902$, $a = 0.406$)

● Chabo □ Seidenhuhn ▲ Krüper ▽ Shamo ◆ Brahma

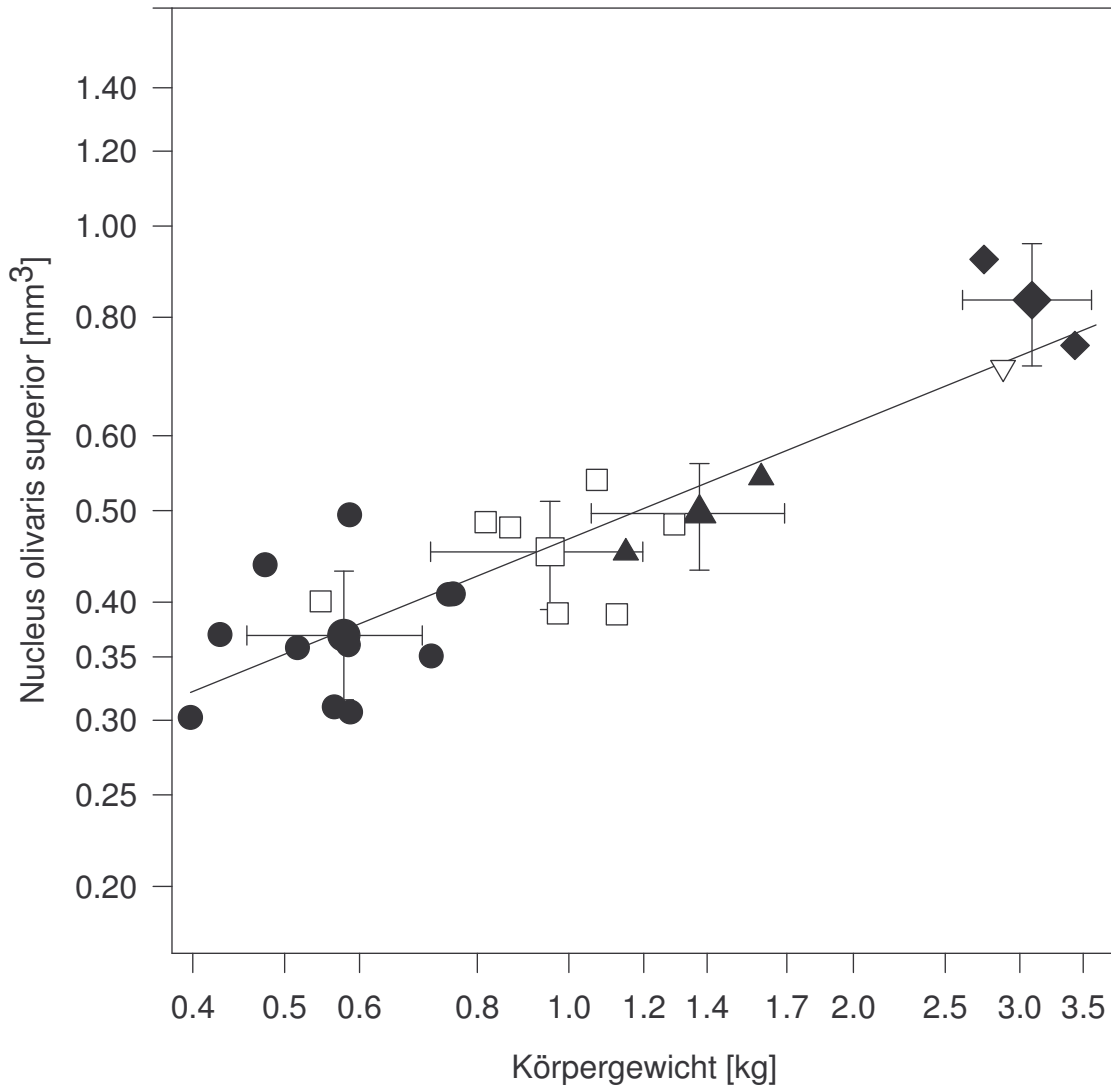


Abbildung 11: Volumina des Nucleus olivaris superior von verschiedenen Rassen in Abhängigkeit vom Körpergewicht in doppelt-logarithmischer Darstellung ($b = 0.467$, $a = 0.406$)
 ● Chabo □ Seidenhuhn ▲ Krüper ▽ Shamo ◆ Brahma

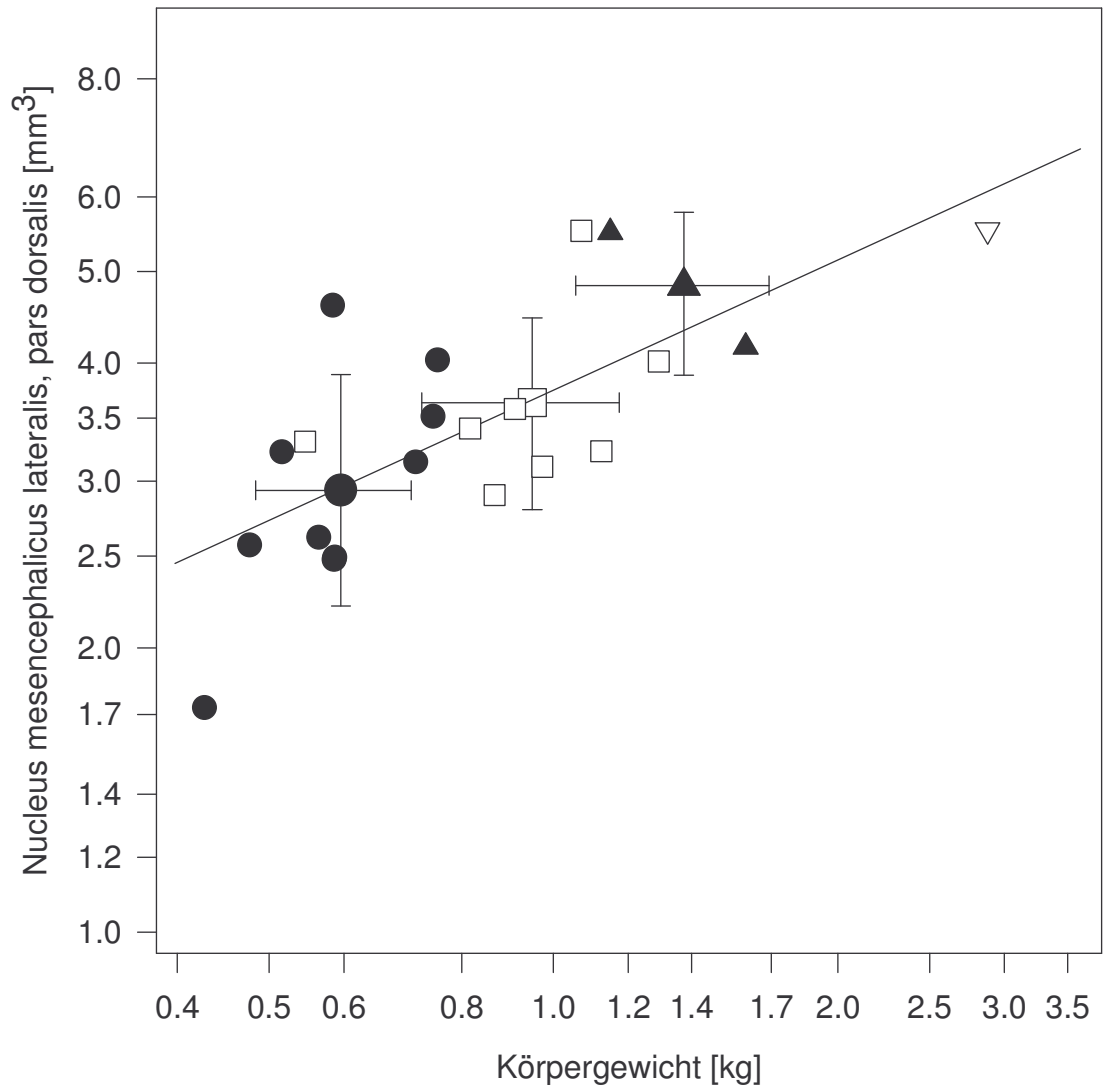


Abbildung 12: Volumina des Nucleus mesencephalicus lateralis, pars dorsalis von verschiedenen Rassen in Abhängigkeit vom Körpergewicht in doppeltlogarithmischer Darstellung ($b = 3.748$, $a = 0.458$)

● Chabo □ Seidenhuhn ▲ Krüper ▽ Shamo ◆ Brahma

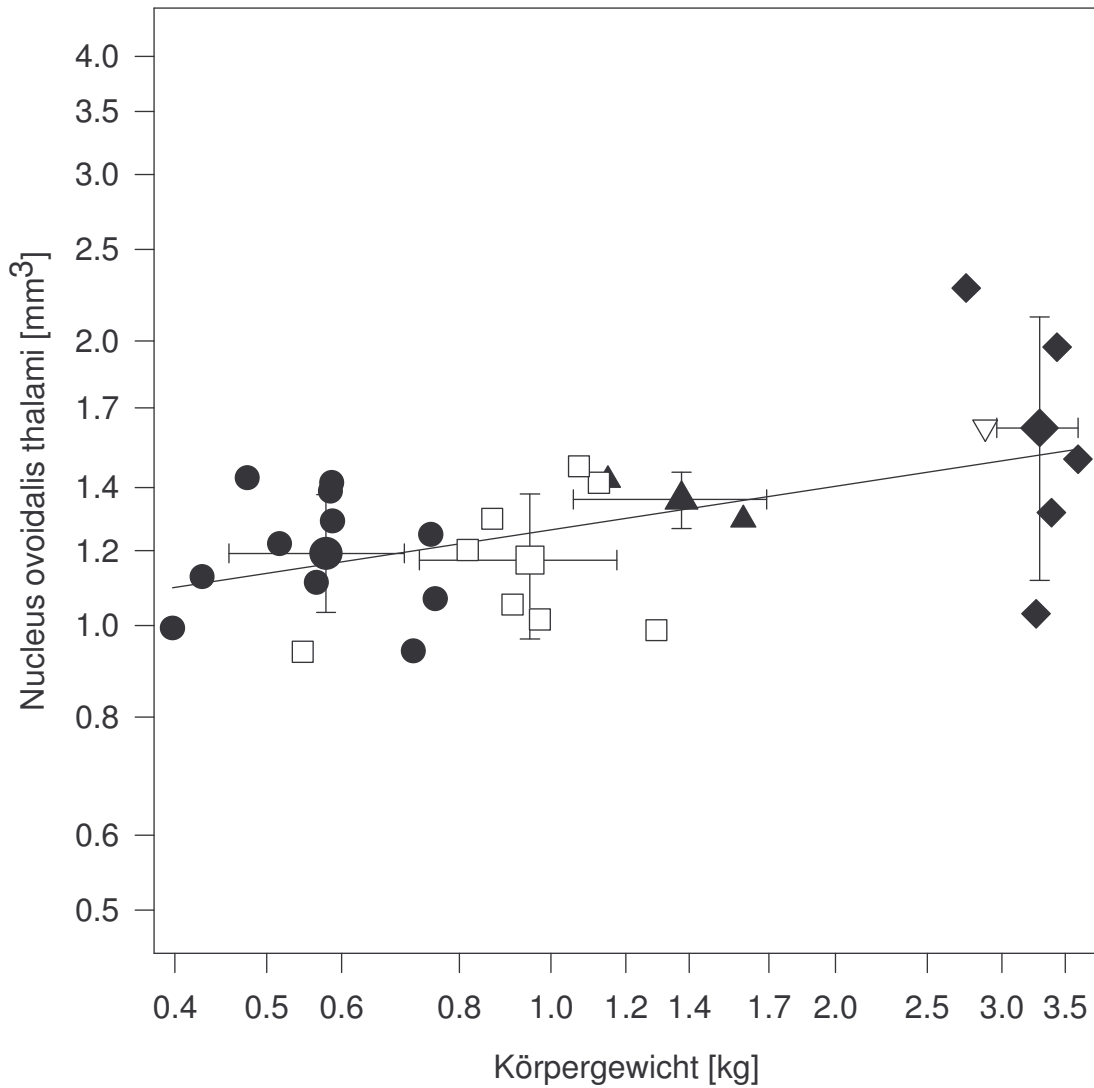


Abbildung 13: Volumina des Nucleus ovoidalis thalami von verschiedenen Rassen in Abhängigkeit vom Körpergewicht in doppelt-logarithmischer Darstellung ($b = 1.263$, $a = 0.153$)
 ● Chabo □ Seidenhuhn ▲ Krüper ▽ Shamo ◆ Brahma

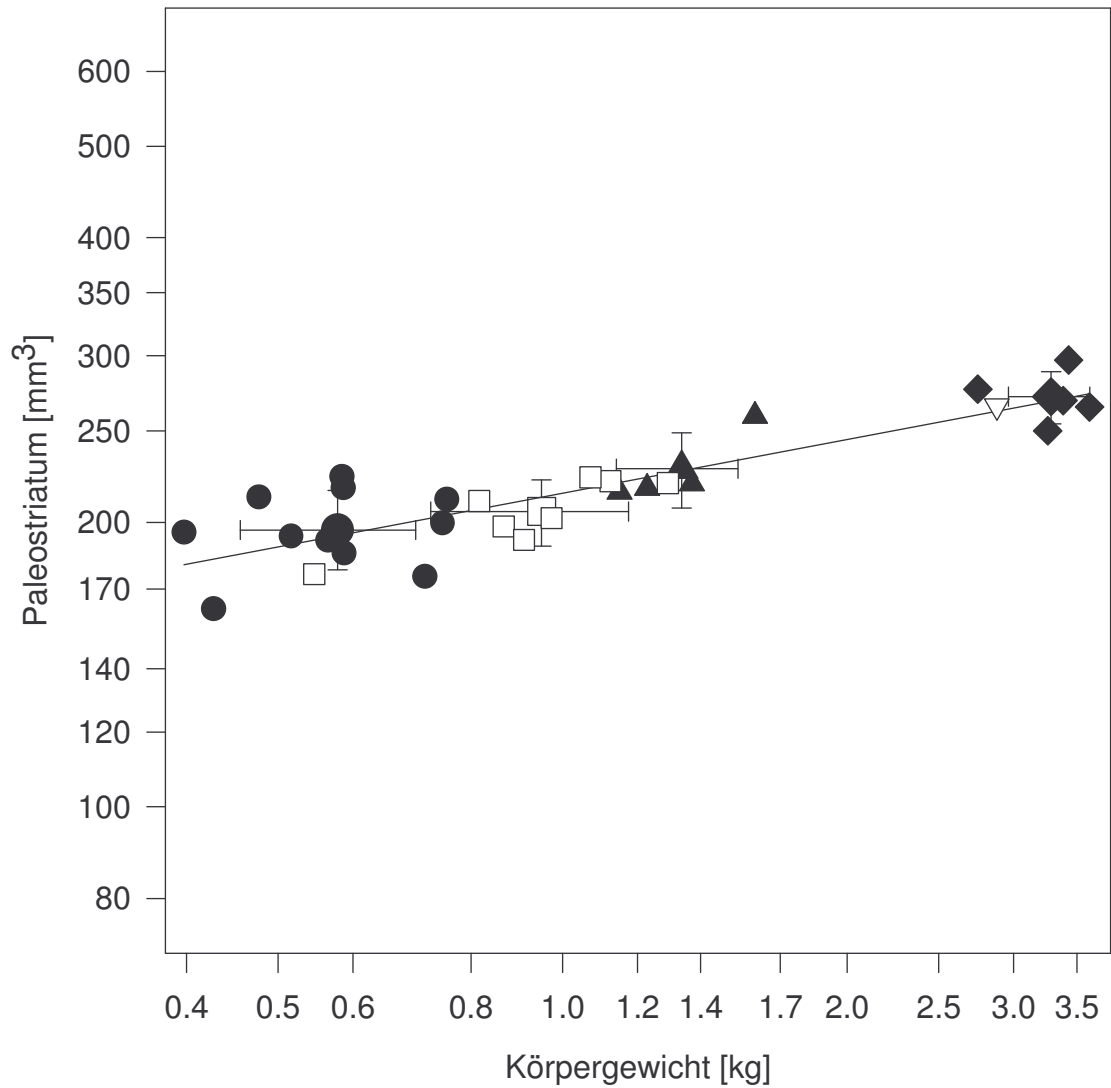


Abbildung 14: Volumina des Paläostriatum von verschiedenen Rassen in Abhängigkeit vom Körpergewicht in doppeltlogarithmischer Darstellung ($b = 214.7$, $a = 0.189$)
 ● Chabo □ Seidenhuhn ▲ Krüper ▽ Shamo ◆ Brahma

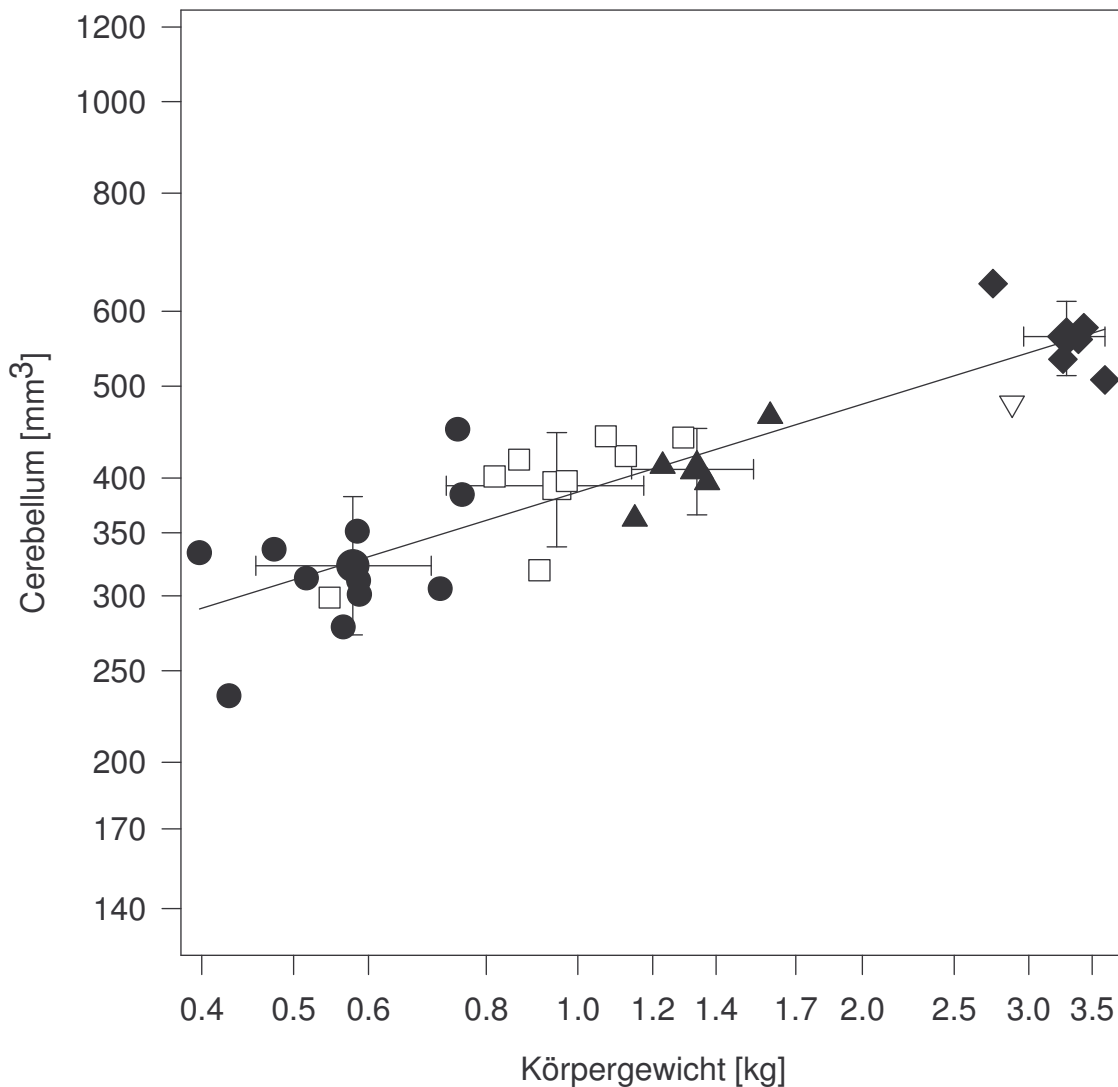


Abbildung 15: Volumina des Cerebellum von verschiedenen Rassen in Abhängigkeit vom Körpergewicht in doppeltlogarithmischer Darstellung ($b = 386.3$, $a = 0.309$)
 ● Chabo □ Seidenhuhn ▲ Krüper ▽ Shamo ◆ Brahma

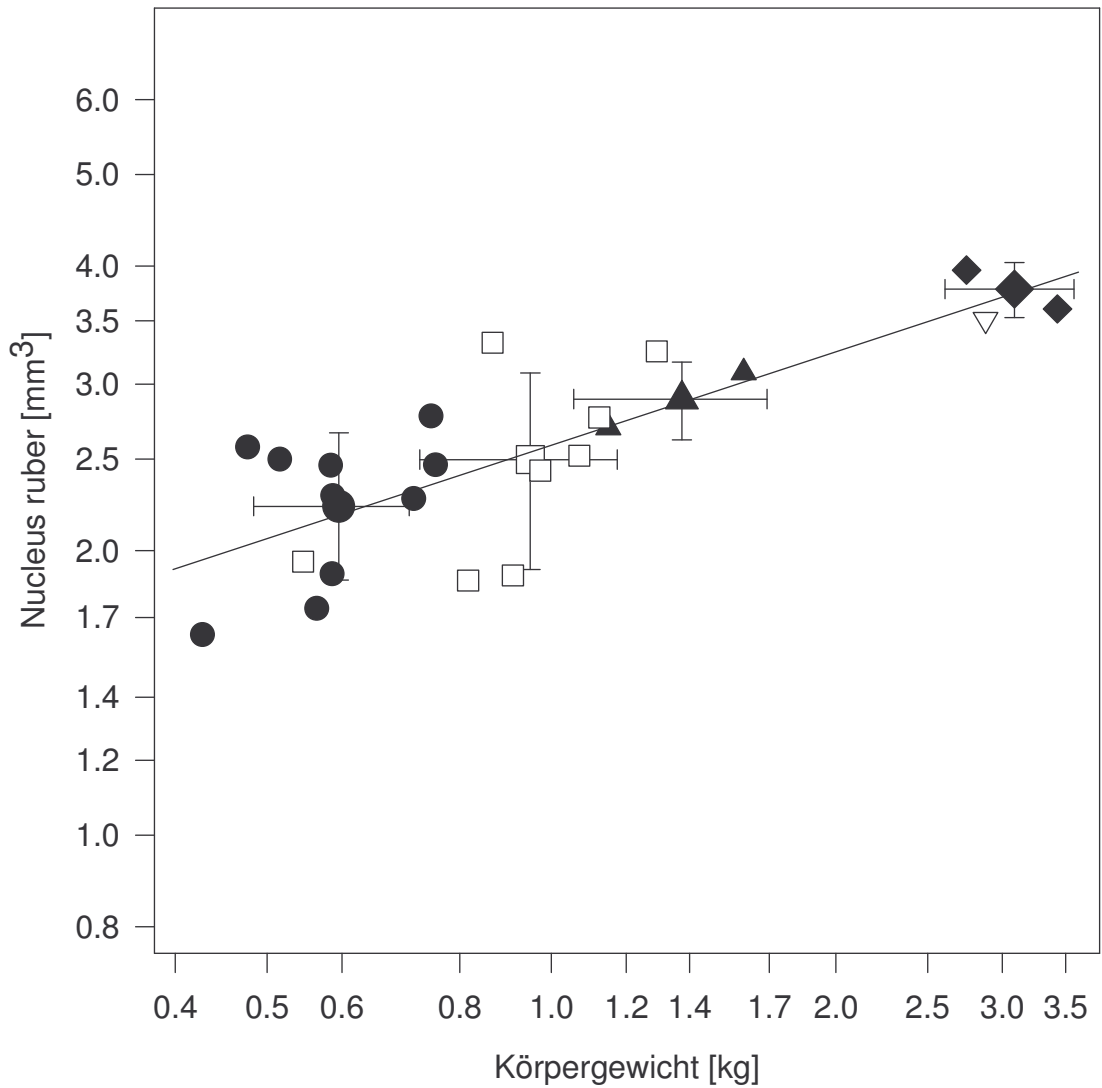


Abbildung 16: Volumina des Nucleus ruber von verschiedenen Rassen in Abhängigkeit vom Körpergewicht in doppeltlogarithmischer Darstellung ($b = 2.585$, $a = 0.329$)
 ● Chabo □ Seidenhuhn ▲ Krüper ▽ Shamo ◆ Brahma

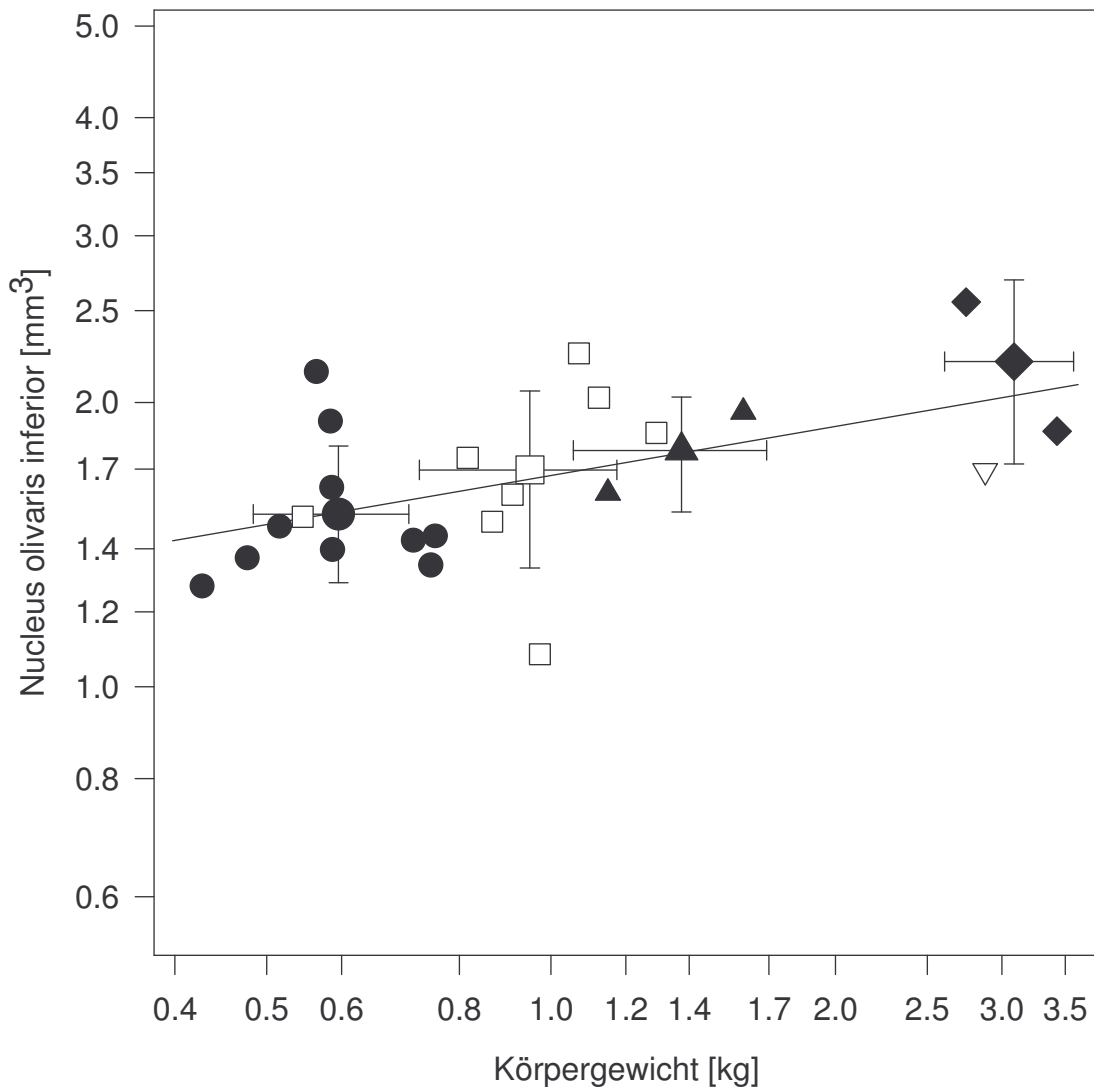


Abbildung 17: Volumina des Nucleus olivaris inferior von verschiedenen Rassen in Abhängigkeit vom Körpergewicht in doppeltlogarithmischer Darstellung ($b = 1.674$, $a = 0.172$)
 ● Chabo □ Seidenhuhn ▲ Krüper ▽ Shamo ◆ Brahma

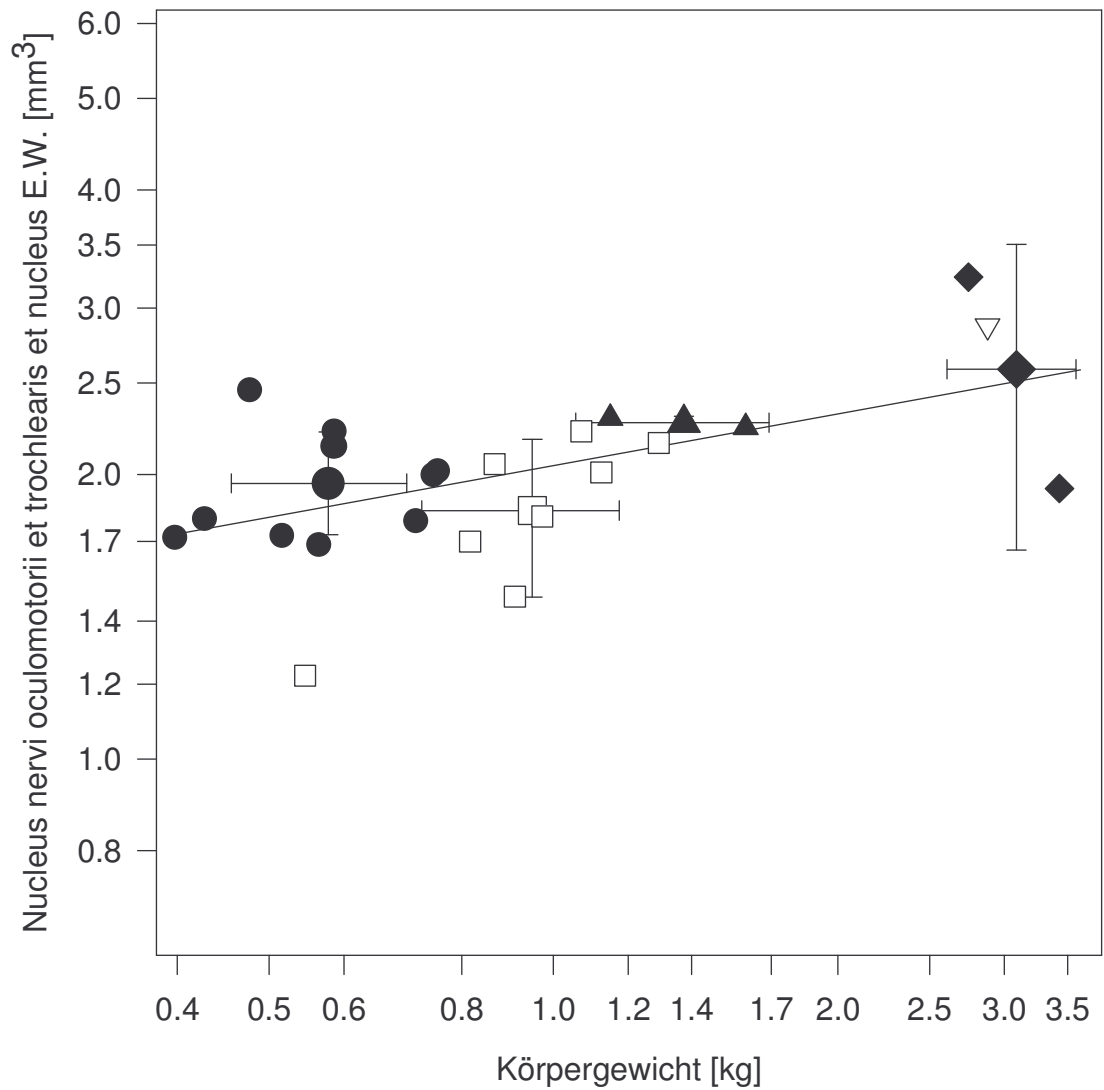


Abbildung 18: Volumina des Nucleus nervi oculomotorii et trochlearis et Nucleus oculomotorius accessorius Edinger-Westphal von verschiedenen Rassen in Abhängigkeit vom Körpergewicht in doppeltlogarithmischer Darstellung ($b = 2.044$, $a = 0.182$)
 ● Chabo □ Seidenhuhn ▲ Krüper ▽ Shamo ◆ Brahma

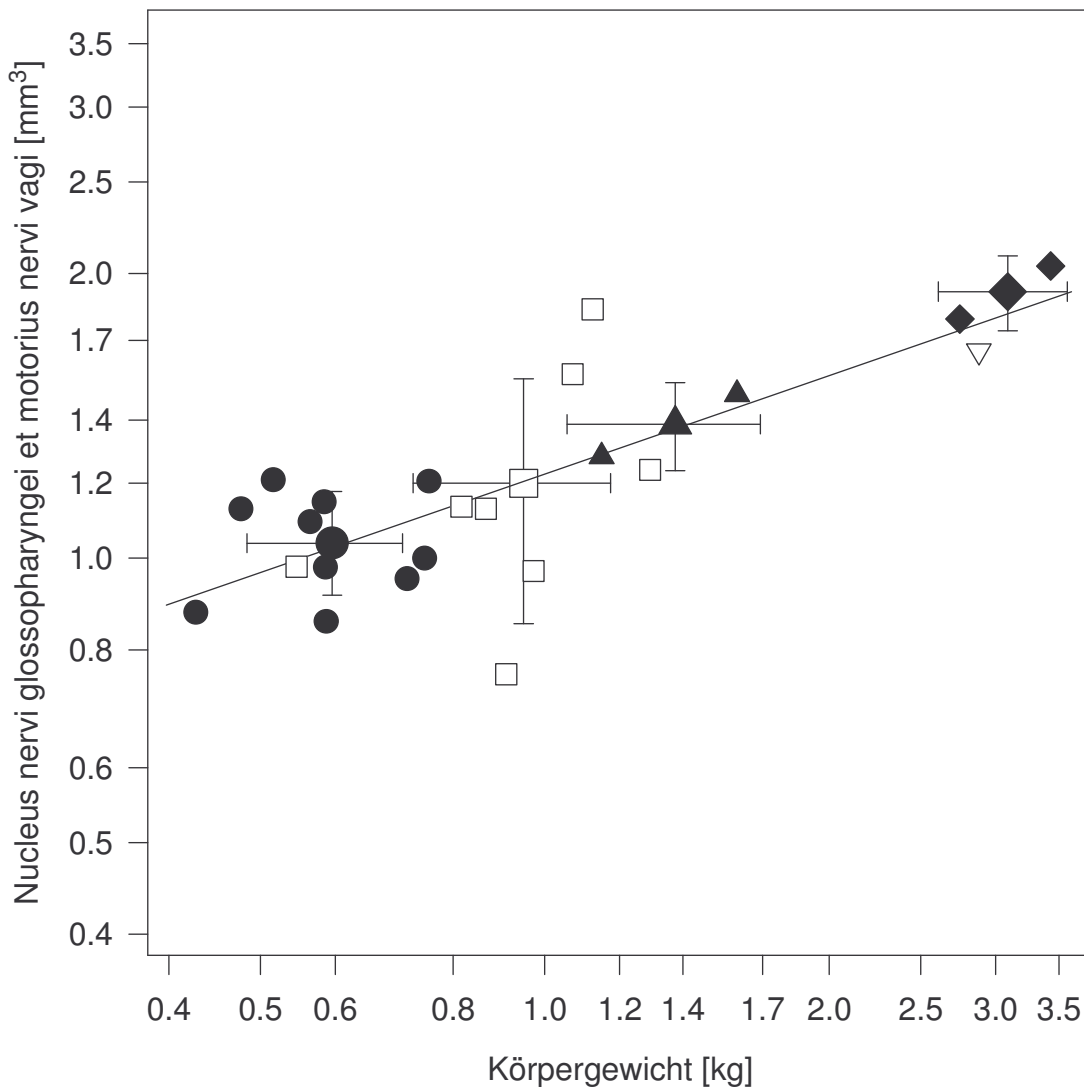


Abbildung 19: Volumina des Nucleus nervi glossopharyngei et motorius nervi vagi von verschiedenen Rassen in Abhängigkeit vom Körpergewicht in doppeltlogarithmischer Darstellung ($b = 1.227$, $a = 0.346$)
 ● Chabo □ Seidenhuhn ▲ Krüper ▽ Shamo ◆ Brahma

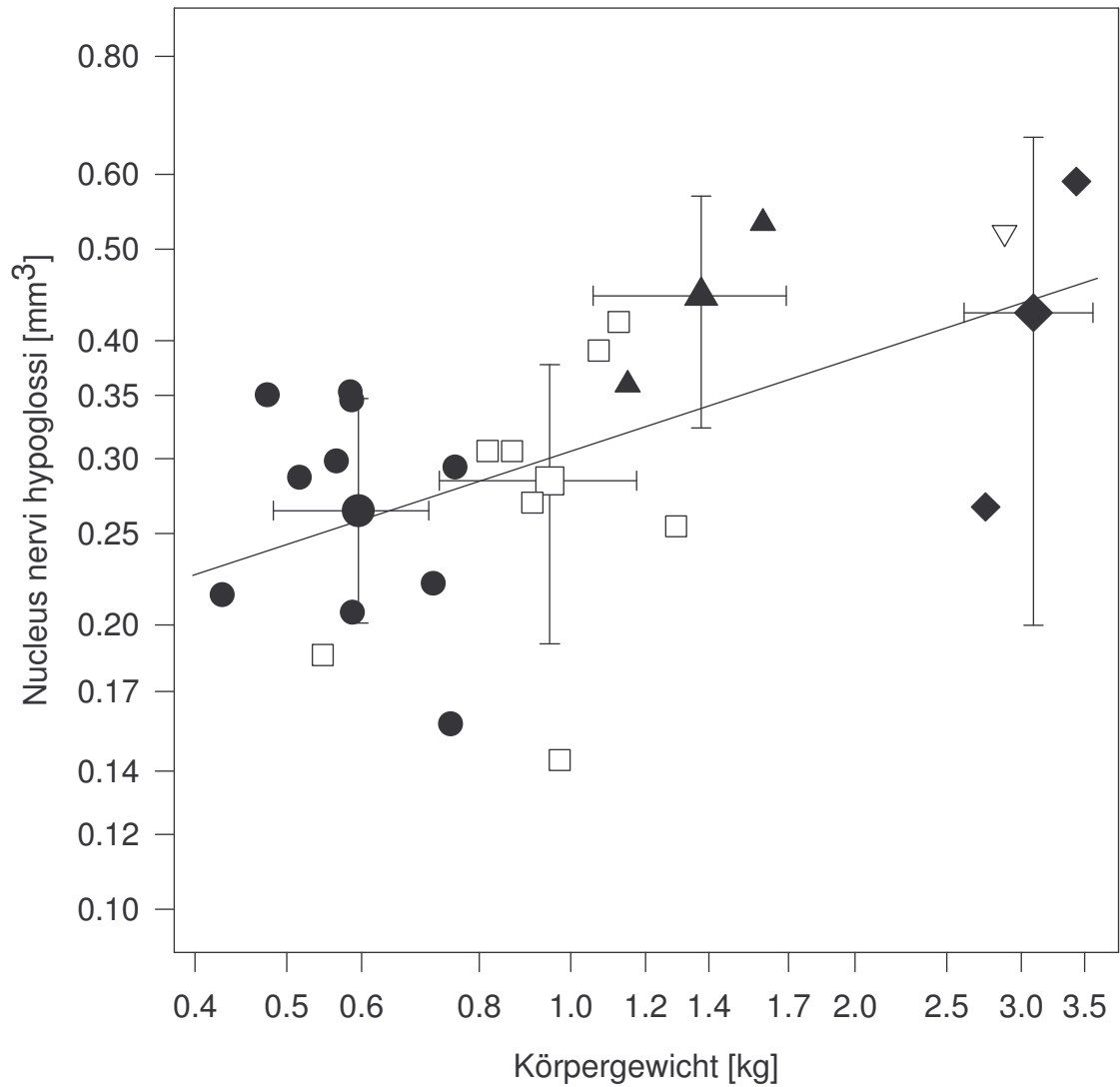


Abbildung 20: Volumina des Nucleus nervi hypoglossi von verschiedenen Rassen in Abhängigkeit vom Körpergewicht in doppeltlogarithmischer Darstellung ($b = 0.305$, $a = 0.328$)
 ● Chabo □ Seidenhuhn ▲ Krüper ▽ Shamo ◆ Brahma

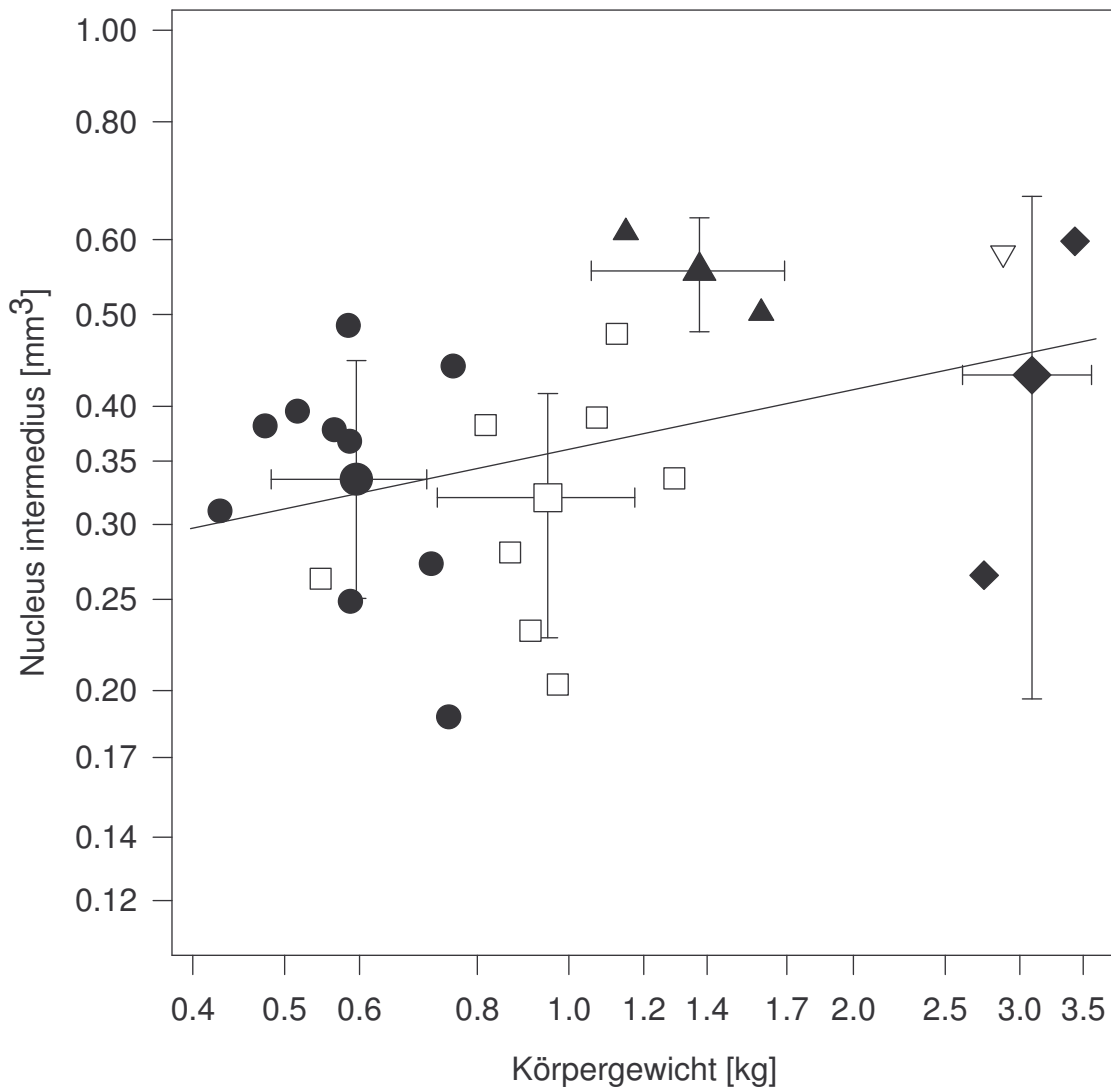


Abbildung 21: Volumina des Nucleus intermedius von verschiedenen Rassen in Abhängigkeit vom Körpergewicht in doppeltlogarithmischer Darstellung ($b = 0.36$, $a = 0.210$)
 ● Chabo □ Seidenhuhn ▲ Krüper ▽ Shamo ◆ Brahma

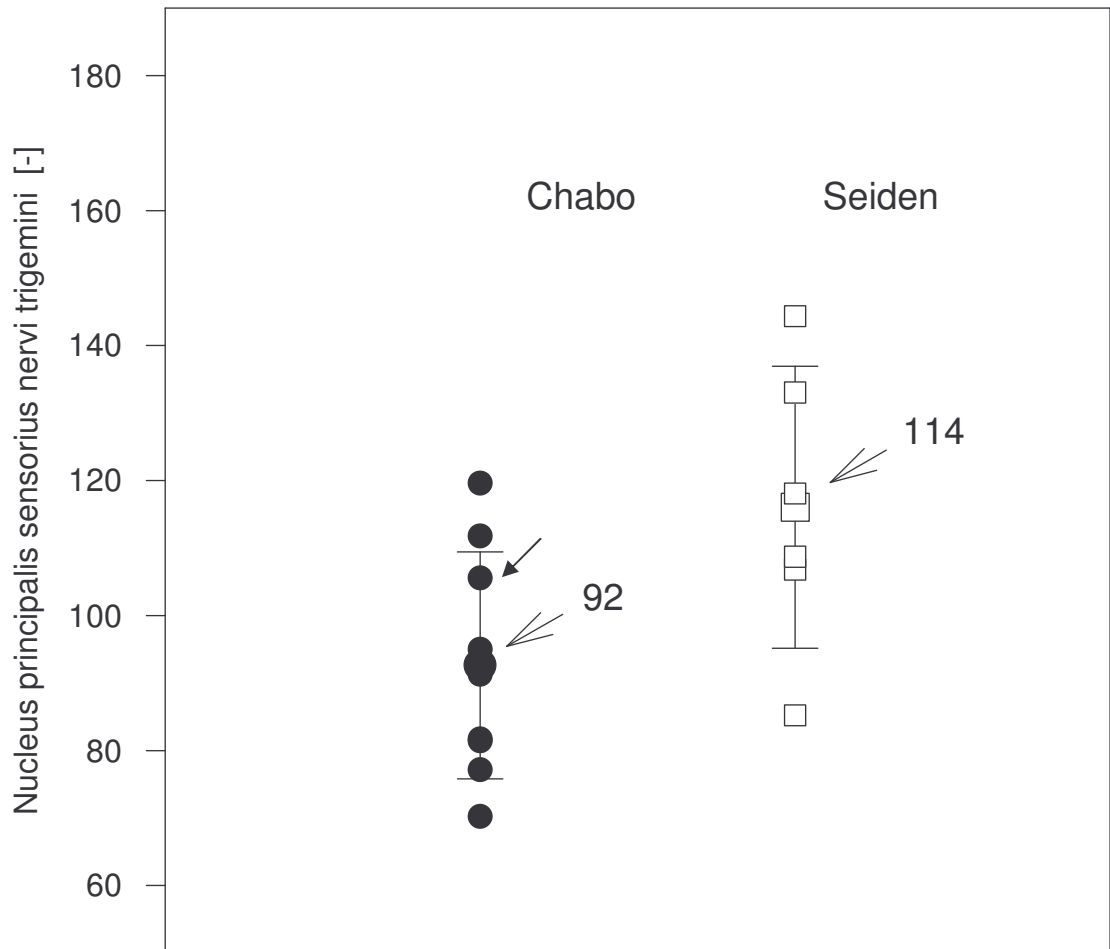


Abbildung 22: Vergleich der Indices der Rassen Chabo und Seidenhuhn für den Nucleus sensorius principalis nervi trigemini
 ● Chabo □ Seidenhuhn
 In der Darstellung wird ein Unterschied zwischen den beiden Rassen auf dem Signifikanzniveau von 95% verdeutlicht.

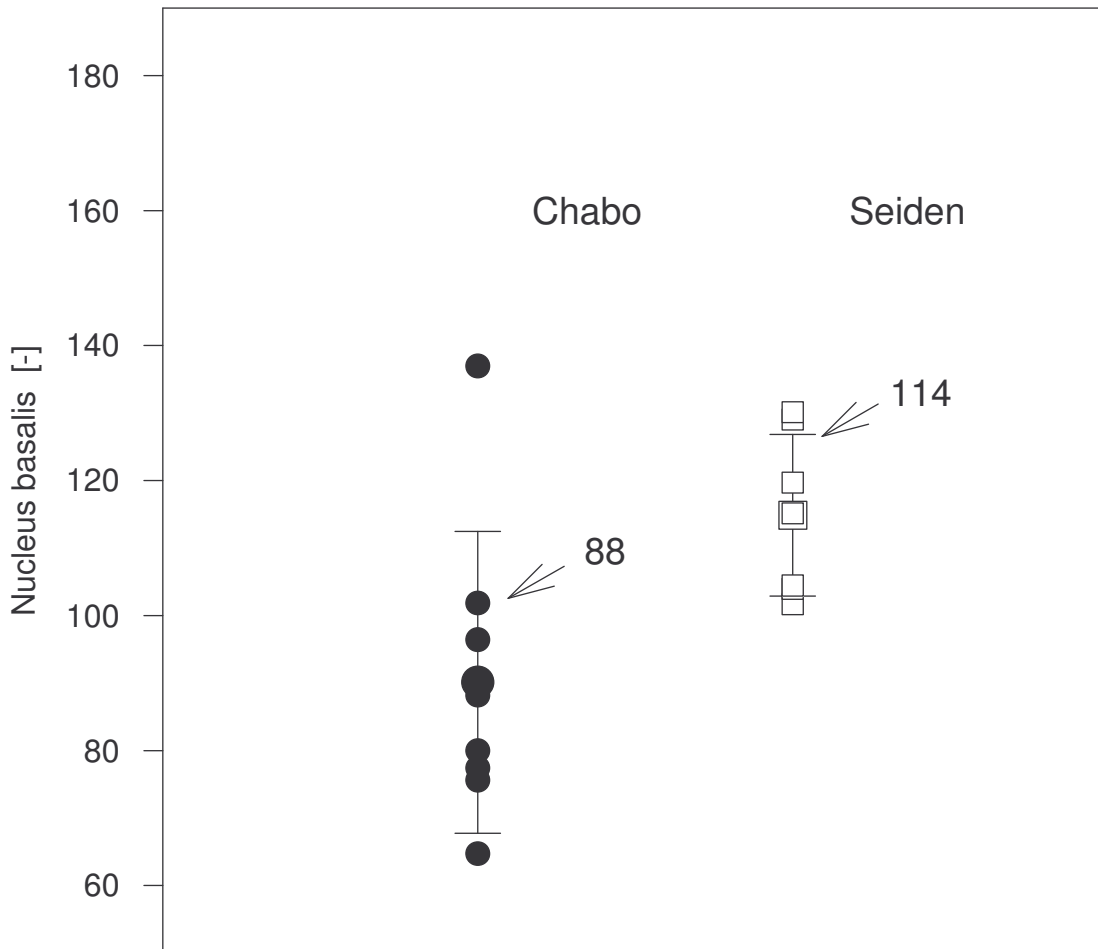


Abbildung 23: Vergleich der Indices der Rassen Chabo und Seidenhuhn für den Nucleus basalis
 ● Chabo □ Seidenhuhn
 Der Unterschied in der Volumenprogredienz des Kerns der Rasse Seidenhuhn gegenüber der Rasse Chabo ist auf dem Niveau von 99% signifikant.

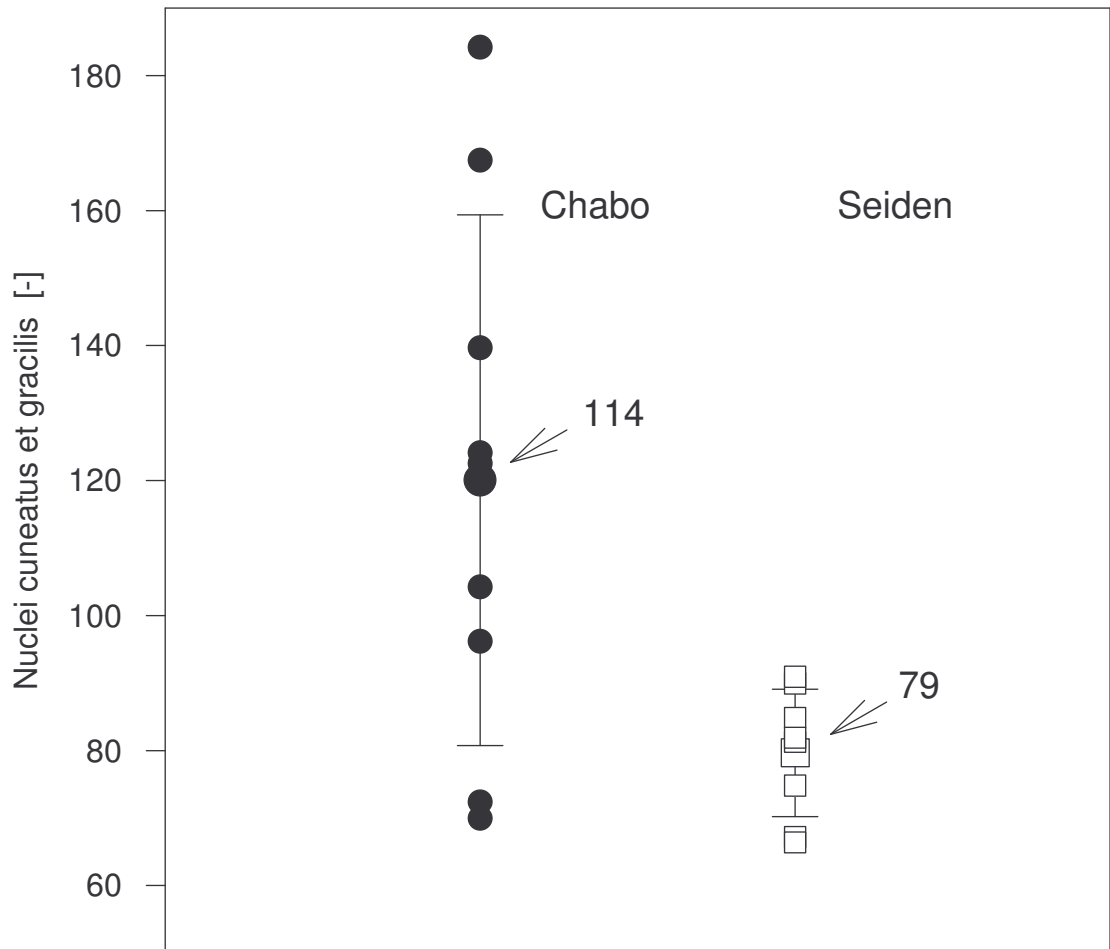


Abbildung 24: Vergleich der Indices der Rassen Chabo und Seidenhuhn für die Nuclei cuneatus et gracilis
 ● Chabo □ Seidenhuhn
 Der Unterschied zwischen den beiden Rassen ist auf dem Niveau von 95% signifikant.

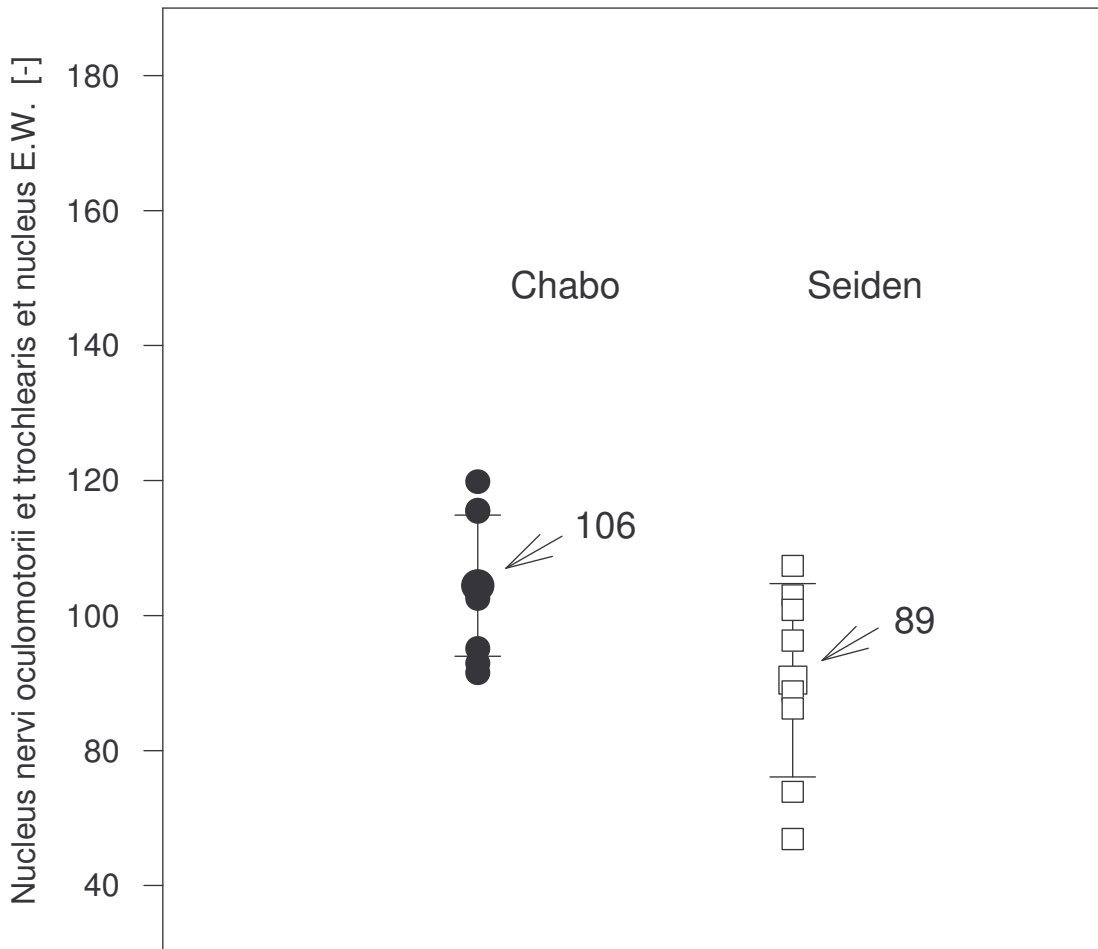


Abbildung 25: Vergleich der Indices der Rassen Chabo und Seidenhuhn für den Nucleus nervi oculomotorii et trochlearis und den Nucleus oculomotorius accessorius Edinger-Westphal
 ● Chabo □ Seidenhuhn
 Der Unterschied zwischen den beiden Rassen ist auf dem Niveau von 95% signifikant.

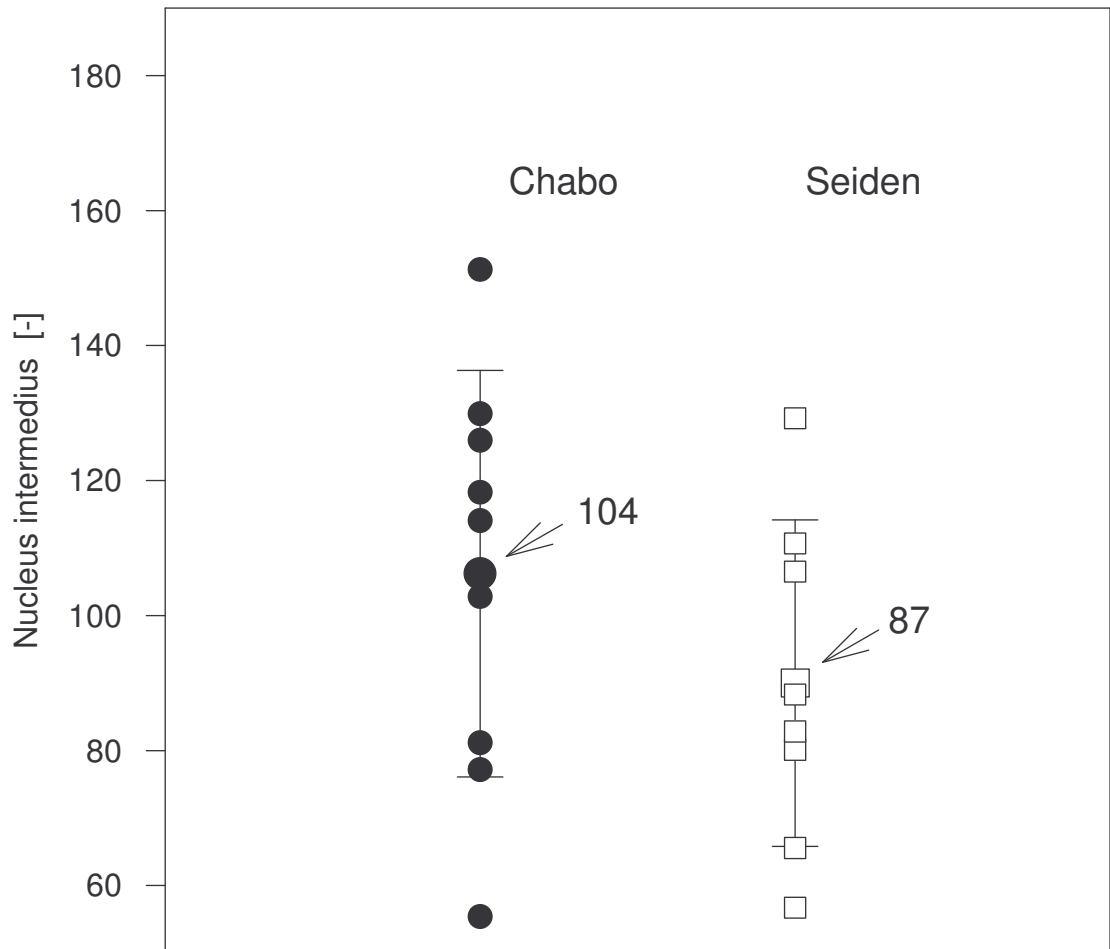


Abbildung 26: Vergleich der Indices der Rassen Chabo und Seidenhuhn für den Nucleus intermedius
 ● Chabo □ Seidenhuhn
 Aufgrund der großen Streuung der Einzelwerte ergibt sich hier keine statistische Signifikanz.

Abkürzungen:

A	Archistriatum
AI	Archistriatum intermedium
An	Nucleus angularis
BC	Brachium conjunctivum
BCI	Brachium colliculi inferioris
BCS	Brachium colliculi superioris
BT	Tractus bulbothalamicus
CA	Commissura anterior
Cb	Cerebellum
Cbl	laterale Kleinhirnkerne
Cbm	mediale Kleinhirnkerne
Cbv	Tractus spinocerebellaris ventralis
CC	Canalis centralis
cDLP	Nucleus dorsolateralis posterior thalami, pars caudalis
CE	Nucleus cuneatus externus
CG	Nuclei cuneatus et gracilis
CO	Chiasma opticum
CP	Commissura posterior
CR	Tractus cerebellorubralis
CT	Commissura tectalis
CTr	Tractus cochlearis
CTrX	gekreuzter Tractus cochlearis
CTz	Corpus trapezoideum
D IV	Decussatio nervi trochlearis
DIVA	Nucleus dorsalis intermedium ventralis anterior thalami
DL	Nucleus dorsolateralis anterior thalami
DM	Nucleus dorsomedialis anterior thalami
DSO	Decussatio supraoptica
E	Ectostriatum
EM	Nucleus ectomammilaris
EP	Periestriatales Band
EW	Nucleus oculomotorius accessorius Edinger-Westphal
FA	Tractus frontoarchistriatalis
FD	Funiculus dorsalis
FF	Forel'sches Feld
FI	Flügel
FLM	Fasciculus longitudinalis medialis
FPL	Fasciculus prosencephali lateralis
FR	Formatio reticularis
FRM	Formatio reticularis mesencephali
FU	Fasciculus uncinatus
GC	Substantia grisea centralis
GCo	Ganglion cochleare

GG	Ganglion Gasseri
GLa	Ganglion lagenare
GLd	Corpus geniculatum laterale, pars dorsalis
GLv	Corpus geniculatum laterale, pars ventralis
GM	Substantia grisea mesencephali
H	Hyperstriatum
HA	Hyperstriatum accessorium
HD	Hyperstriatum dorsale
HIS	Hyperstriatum intercalatus superior
HS	Hirnstamm
HV	Hyperstriatum ventrale
ICo	Nucleus intercollicularis
IM	Nucleus intermedius
IO	Nucleus isthmo-opticus
Ipc	Nucleus isthmi, pars parvocellularis
Imc	Nucleus isthmi, pars magnocellularis
IS	Nucleus interstitialis
La	Nucleus laminaris
Lfm	Lamina frontalis suprema
Lfs	Lamina frontalis superior
Lh	Lamina hyperstriatica
LL	Lemniscus lateralis
LM	Lemniscus medialis
Lmd	Lamina medullaris dorsalis
LoC	Locus coeruleus
LOp	Lobus opticus
LPO	Lobus parolfactorius
LS	Lemniscus spinalis
m V	Nucleus motorius nervi trigemini
Mc	Nucleus magnocellularis
Mi	innere Augenmuskeln
Mld	Nucleus mesencephalicus lateralis, pars dorsalis
Mlv	Nucleus mesencephalicus lateralis, pars ventralis
Moi	Musculus obliquus inferior
Mos	Musculus obliquus superior
Mri	Musculus rectus inferior
Mrl	Musculus rectus lateralis
Mrm	Musculus rectus medialis
Mrs	Musculus rectus superior
m V	Nucleus motorius nervi trigemini
N III	Nucleus nervi oculomotorii
N IV	Nucleus nervi trochlearis
N VI	Nucleus nervi abducentis
N IX	Nucleus nervi glossopharyngei
N X	Nucleus motorius nervi vagi

n	Hirnnerv
n II	Nervus opticus
n V	Nervus trigeminus
n VII	Nervus facialis
Nucl. n.	Nucleus nervi...
NB	Nucleus basalis
NC	Neostriatum caudale
NCo	Nuclei cochleares
NCT	Neostriatum caudale, pars trigeminale
Ne	Neostriatum
NFT	Neostriatum frontale, pars trigeminale
NI	Neostriatum intermedium
NPo	Nuclei pontis
NTD	Nucleus descendens nervi trigemini
NVe	Nuclei vestibulares
OC	Tractus olivocerebellaris
OI	Nucleus olivaris inferior
OM	Tractus occipitomesencephalicus
Om+EW	Nucleus nervi oculomotorii und Nucleus Edinger-Westphal
OPT	Nucleus opticus principalis thalami
OS	Nucleus olivaris superior
OV	Nucleus ovoidalis
P	Palaeostriatum
Pa	Palaeostriatum augmentatum
Pp	Palaeostriatum primitivum
PPC	Nucleus principalis praecommissuralis
pr V	Nucleus sensorius principalis nervi trigemini
PT	Nucleus praetectalis
PTm	Nucleus praetectalis medialis
QF	Tractus quintofrontalis
R	Nuclei raphae
RB	Tractus rubrobulbaris
RM	Rückenmark
RS	Tractus rubrospinalis
Rt	Nucleus rotundus
Ru	Nucleus ruber
S	Nucleus solitarius
SAC	Striatum album centrale
SC	Nucleus suprachiasmaticus
SG	Substantia gelatinosa
SGC	Striatum griseum centrale
SGFS	Striatum griseum et fibrosum superficiale
SGL	Spinalganglion
SGP	Striatum griseum periventriculare
SO	Striatum opticum

Spl	Nucleus spiriformis lateralis
Spm	Nucleus spiriformis medialis
SPR	Nucleus subpraetectalis
SR	Nucleus subrotundus
STH	Tractus striothalamicus
T	Nucleus triangularis
TeO	Tectum opticum
TH	Thalamus
TLO	Tractus lamino-olivaris
TM	Tractus thalamomammilaris
TOv	Tractus nucl. ovoidalis
TPc	Nucleus tegmenti pedunculopontinus, pars compacta
TrO	Tractus opticus
TT	Tractus tectothalamicus
TTD	Tractus descendens nervi trigemini
VeD	Nucleus vestibularis dorsalis
VeM	Nucleus vestibularis medialis
W	visueller Wulst
Zu	Zunge

ZUSAMMENFASSUNG

Die äußere Verschiedenheit der Haushuhnrasen dokumentiert eine große intraspezifische Variabilität. Das geht einher mit einer Variabilität im Verhalten. Daran knüpft sich die Frage, inwieweit sich das in Größe und Zusammensetzung des Gehirns widerspiegelt.

Auf der Grundlage von Hirnschnittserien durch die Gehirne von Haushühnern, die zu 5 verschiedenen Rassen (Chabo, Seidenhühner, Krüper, Shamo, Brahma) gehören, wurden die Hirngröße sowie Topographie, Cytologie und Volumen von Kerngebieten und Tractus opticus bearbeitet, die zu 4 verschiedenen Funktionssystemen gehören. Im visuellen System wurden Tractus opticus, Tectum opticum und Nucleus rotundus vermessen.

Im somatosensorischen System wurden Nucll. cuneatus et gracilis, Nucl. sensorius principalis nervi trigemini und Nucl. basalis bearbeitet.

Im auditorischen System waren Nucl. magnocellularis, Nucl. angularis und Nucl. laminaris, Nucl. olivaris superior, Nucl. mesencephalicus lateralis, pars dorsalis und Nucl. ovoidalis thalami Gegenstand der Untersuchung.


Das motorische System ist durch Palaeostriatum, Cerebellum, Nucl. ruber, Nucl. olivaris inferior, Komplex aus Nucl. nervi oculomotorii et trochlearis und Nucl. accessorius nervi oculomotorii Edinger-Westphal, Nucll. Glossopharyngei et motorius nervi vagi, Nucl. nervi hypoglossi und Nucl. intermedius repräsentiert.

Für alle Nuclei wurden die Frischvolumina berechnet und rassenübergreifend in einem allometrischen Ansatz zum Körpergewicht in Beziehung gesetzt.

Progressions- bzw. Regressionsindices der einzelnen Rassen wurden miteinander verglichen und auf signifikante Unterschiede hin geprüft.

Nucl. sensorius principalis nervi trigemini und Nucl. basalis zeigen sich bei den Seidenhühnern signifikant vergrößert, während bei den Chabos Nucl. cuneatus et gracilis-Komplex größer ist. Weiterhin sind die Augenmuskelnervenkerne (Nucl. nervi oculomotorii et trochlearis und Nucl. accessorius nervi oculomotorii Edinger-Westphal) bei den Chabos im Vergleich zu den Seidenhühnern signifikant größer ausgebildet.

Alle Befunde - vorhandene und nicht vorhandene Unterschiede - werden auf dem Hintergrund der funktionellen Verbindung der einzelnen Kerne ausführlich diskutiert.


Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Gerd Rehkämper
C. u. O. Vogt - Institut für Hirnforschung
Heinrich-Heine-Universität
Universitätsstraße 1 · 40225 Düsseldorf

Lebenslauf

Persönliche Daten

Maria Zofia Perko
geboren am 17. September 1955 in Warschau
verheiratet, 2 Kinder im Alter von 26 und 21 Jahren

1962 – 1973

Schulzeit
Abschluß mit allgemeiner Hochschulreife am
allgemeinbildenden Lyzeum

1973 – 1978

Studium des Bauingenieurwesens an der Technischen
Universität Warschau, Abschluss Dipl.-Ing.

1991 – 1997

Studium der Humanmedizin an der Heinrich Heine
Universität, Düsseldorf

1997 – 1998

Praktisches Jahr im ev. Krankenhaus Bethesda,
Mönchengladbach

1999 – 2000

Ärztin im Praktikum in der Abteilung für Chirurgie und
Unfallchirurgie, Krankenhaus Neuwerk,
Mönchengladbach

2001 – 2004

Assistenzärztin in der Medizinischen Klinik des
Elisabeth-Krankenhauses in Mönchengladbach

2004 – bis jetzt

Assistenzärztin in Weiterbildung zur Fachärztin für
Allgemeinmedizin in allgemeinmedizinischen Praxen in
Krefeld und Korschenbroich

23. 08. 2006

Fachärztin für Allgemeinmedizin