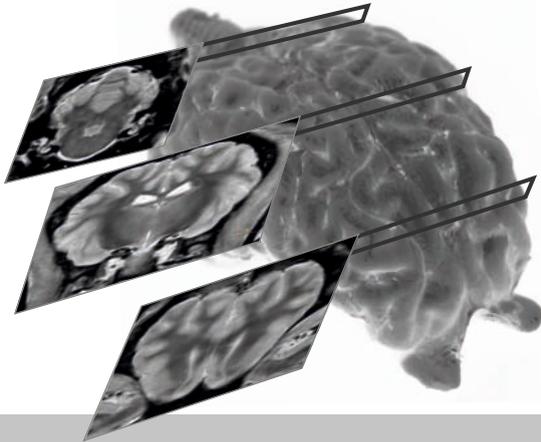


Darstellung der Morphologie des  
Zentralnervensystems beim  
Schaf (*Ovis aries*) mit der  
Magnet-Resonanz-Tomographie

---

**NORBERT WILFRIED LANGEN**



**INAUGURAL-DISSERTATION** zur Erlangung des Grades eines **Dr. med. vet.**  
beim Fachbereich Veterinärmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen



*édition scientifique*  
**VVB LAUFERSWEILER VERLAG**

**Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt.**

**Die rechtliche Verantwortung für den gesamten Inhalt dieses Buches liegt ausschließlich bei dem Autor dieses Werkes.**

Jede Verwertung ist ohne schriftliche Zustimmung des Autors oder des Verlages unzulässig. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in und Verarbeitung durch elektronische Systeme.

1. Auflage 2014

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the Author or the Publishers.

1<sup>st</sup> Edition 2014

© 2014 by VVB LAUFERSWEILER VERLAG, Giessen  
Printed in Germany



*édition scientifique*  
**VVB LAUFERSWEILER VERLAG**

STAUFENBERGRING 15, D-35396 GIESSEN  
Tel: 0641-5599888 Fax: 0641-5599890  
email: [redaktion@doktorverlag.de](mailto:redaktion@doktorverlag.de)

[www.doktorverlag.de](http://www.doktorverlag.de)

Aus dem Klinikum Veterinärmedizin  
Klinik für Kleintiere - Chirurgie -  
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Betreuer: Privatdozent Dr. M.J. Schmidt

**Darstellung der Morphologie des  
Zentralnervensystems beim Schaf (*Ovis aries*)  
mit der Magnet-Resonanz-Tomographie**

**INAUGURAL-DISSERTATION**

zur Erlangung des Grades eines

Dr. med. vet.

beim Fachbereich Veterinärmedizin  
der Justus-Liebig-Universität Gießen

eingereicht von

**NORBERT WILFRIED LANGEN**

Tierarzt aus Kerpen

Gießen 2014

Mit Genehmigung des Fachbereiches Veterinärmedizin  
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Dekan: Prof. Dr. Dr. h.c. M. Kramer

Gutachter:

Privatdozent Dr. M.J. Schmidt

Prof. Dr. S. Wenisch

Prof. Dr. E. Burkhardt

Tag der Disputation

07. Mai 2014

Die Weisheit eines Menschen  
misst man nicht nach seinen Erfahrungen,  
sondern nach seiner Fähigkeit, Erfahrungen zu machen

George Bernard Shaw

*Meinen Eltern gewidmet  
in Liebe und Dankbarkeit*



## Inhaltsverzeichnis

|   |           |
|---|-----------|
| Inhaltsverzeichnis.....   | I         |
| Abkürzungsverzeichnis.....  | III       |
| <b>1 Einleitung.....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2 Literaturübersicht.....</b>  | <b>2</b>  |
| 2.1    Historie.....  | 2         |
| 2.2    Untersuchungen des Gehirns von Säugetieren und anderen Spezies im MRT .....  | 5         |
| 2.3    Grundlagen der Magnetresonanztomographie.....  | 8         |
| 2.3.1    Relaxation.....  | 11        |
| 2.3.2    Bildkontrast im MR-Bild .....  | 13        |
| 2.3.3    Schicht- und Ortskodierung der MR-Signale.....   | 17        |
| 2.3.4    Determinanten des Signal-zu-Rausch-Verhältnisses und der Bildqualität.....   | 21        |
| 2.4    Der Einfluss der Formalinfixierung auf die Abbildung von Hirngewebe mittels Magnet-<br>Resonanz-Tomographie (MRT)..... | 28        |
| <b>3 Material und Methoden.....</b>   | <b>30</b> |
| 3.1    Allgemeine Versuchsanordnung.....  | 31        |
| 3.1.1    Magnetresonanztomographie der Schafgehirne .....   | 31        |
| 3.1.2    Bearbeitung der Aufnahmen.....   | 35        |
| <b>4 Ergebnisse.....</b>  | <b>40</b> |
| 4.1    Transversalschnitt 1 : .....   | 43        |
| 4.2    Transversalschnitt 2 : .....   | 45        |
| 4.3    Transversalschnitt 3 : .....   | 48        |
| 4.4    Transversalschnitt 4 : .....   | 51        |
| 4.5    Transversalschnitt 5 : .....   | 54        |
| 4.6    Transversalschnitt 6 : .....   | 57        |
| 4.7    Transversalschnitt 7 : .....   | 60        |
| 4.8    Transversalschnitt 8 : .....   | 63        |
| 4.9    Transversalschnitt 9 : .....   | 66        |
| 4.10    Transversalschnitt 10 : .....   | 69        |
| 4.11    Transversalschnitt 11 : .....   | 72        |
| 4.12    Transversalschnitt 12 : .....   | 76        |
| 4.13    Transversalschnitt 13 : .....   | 79        |
| 4.14    Transversalschnitt 14 : .....   | 82        |
| 4.15    Transversalschnitt 15 : .....   | 85        |
| 4.16    Transversalschnitt 16 : .....   | 88        |
| 4.17    Transversalschnitt 17 : .....   | 91        |
| 4.18    Transversalschnitt 18 : .....   | 95        |
| 4.19    Transversalschnitt 19 : .....   | 98        |

---

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 4.20   | Transversalschnitt 20 : .....   | 101 |
| 4.21   | Transversalschnitt 21 : .....   | 104 |
| 4.22   | Transversalschnitt 22 : .....   | 106 |
| 4.23   | Transversalschnitt 23 : .....   | 108 |
| 4.24   | Transversalschnitt 24 : .....   | 110 |
| 4.25   | Transversalschnitt 25 : .....   | 112 |
| 4.26   | Deskriptive Darstellung der Unterschiede der Gehirnmorphologie beim Schaf .....                                   | 114 |
| 4.26.1 | Telencephalon .....   | 114 |
| 4.26.2 | Diencephalon .....  | 115 |
| 4.26.3 | Mesencephalon .....   | 118 |
| 4.26.4 | Kleinhirn .....   | 118 |
| 5      | Diskussion .....  | 119 |
| 5.1    | Lagerung im Magnetresonanztomographen und Planung der Schnittebenen.....  | 119 |
| 5.2    | Vergleich magnetresonanztomographischer und histologischer Untersuchungsverfahren.....                            | 122 |
| 5.2.1  | Magnetresonanztomographie .....   | 122 |
| 5.2.2  | Histologie .....  | 123 |
| 5.3    | Einfluss der Formalin-Fixierung auf Signalintensität und Kontrast in magnetresonanztomographischen Aufnahmen..... | 126 |
| 5.3.1  | Chemische Eigenschaften und Fixierungsprozess .....   | 126 |
| 5.3.2  | Grundlagen der Magnetresonanz-Relaxation und die Beeinflussbarkeit .....  | 127 |
| 5.3.3  | Dynamisches Model der Relaxationsrate .....   | 128 |
| 5.3.4  | Statisches Modell der Relaxationsrate .....   | 128 |
| 5.3.5  | Schlussfolgerung der Formalin-Fixierung auf Relaxationszeiten in der Magnetresonanztomographie .....              | 130 |
| 5.4    | Individuelle Unterschiede der Gehirnmorphologie in der Magnetresonanztomographie innerhalb der Spezies .....      | 131 |
| 5.5    | Spezies-spezifische Unterschiede der Gehirnmorphologie in der Magnetresonanztomographie .....                     | 132 |
| 5.5.1  | Prosencephalon .....  | 132 |
| 5.5.2  | Diencephalon .....  | 134 |
| 5.5.3  | Mesencephalon .....   | 135 |
| 5.5.4  | Metencephalon .....   | 135 |
| 6      | Zusammenfassung .....   | 137 |
| 7      | Summary .....   | 139 |
| 8      | Literaturverzeichnis.....   | 141 |

## Abkürzungsverzeichnis

Nomina anatomica veterinaria (2012):

- ab: Corpus amygdaloideum, amygdaloid body;
- acn: Nucleus accumbens, accumbens nucleus
- afl: Lobulus ansiformis, ansiform lobule
- al: Ansa lenticularis, lenticular bundle
- alv: Alveus, alveus
- Ans: Sulcus ansatus, ansate sulcus
- aqc: Aqueductus mesencephali, cerebral aqueduct
- Aur: Auris, ear
  
- bb: Diagonales Band von BROCA, Band of BROCA
- bcc: Brachium colliculi caudalis, brachium of the caudal colliculi
- brc: Brachium colliculi rostralis, brachium of the rostral colliculi
  
- cam: Cornu ammonis, ammon's horn
- cc: Corpus callosum, colossal commissure
- ccc: Commissura colliculi caudalis, caudal colliculi commissure
- ccl: Colliculi caudalis, caudal colliculus
- ccp: Pedunculus cerebellaris caudalis, caudal cerebellar peduncle
- ccr: Commissura colliculi rostralis, rostral colliculi commissure
- cdc: Commissura caudalis, caudal commissure
- cf: Columnae fornicis, columns of fornix
- cfo: Corpus fornicis, corpus of fornix
- cgl: Corpus geniculatum laterale, corpus geniculate laterale
- cgm: Corpus geniculatum mediale, corpus geniculate mediale
- cgs: Substantia grisea centralis, central grey
- cho: Chiasma opticum, optic chiasm
- Ci: Sulcus cinguli, cingulated sulcus
- ci: Gyrus cinguli, cingulated gyrus
- cla: Claustrum, claustrum of insula
- cn: Nucleus caudatus, caudate nucleus
- cof: Commissura fornicis, commissure of fornix

- coh: Commissura habenularum, habenular commissure  
Cor: Sulcus coronalis, coronal sulcus  
cor: Gyrus coronalis, coronal gyrus  
crc: Crus cerebri, cerebral crus  
cs: Sinus caverosus, cavernous sinus  
csl: Centrum semiovale, centrum semiovale  
cso: Commissura supraoptica, supraoptic commissure  
cu: Culmen, culmen
- dcp: Decussatio pedunculorum cerebellarium, decussatio of cerebellar peduncle  
de: Declive, declive  
dg: Gyrus dentatus, dentate gyrus  
Dis: Sulcus diagonalis, diagonal sulcus  
dis: Gyrus diagonalis, diagonal gyrus  
dn: Nucleus dentatus, dentate nucleus
- ec: Capsula externa, external capsule  
Ecg: Sulcus ectogenualis, ectogenual sulcus  
ecg: Gyrus ectogenualis, ectogenual gyrus  
Ecm: Sulcus ectomarginalis, ectomarginal sulcus  
ecm: Gyrus ectomarginalis, ectomarginal gyrus  
Ecs: Sulcus ectosylvius, ectosylvian sulcus  
ecs: Gyrus ectosylvius, ectosylvian gyrus  
eng: Gyrus endogenualis, endogenual gyrus  
Eng: Sulcus endogenualis, endogenual sulcus  
Enm: Sulcus endomarginalis, endomarginal sulcus  
enm: Gyrus endomarginalis, endomarginal gyrus  
exc: Capsula extrema, extreme capsule
- fh: Fimbria hippocampi, fimbria of the hippocampus  
Flc: Fissura longitudinalis cerebri, longitudinal cerebral fissure  
flm: Fasciculus longitudinalis medialis, medial longitudinal fasciculus  
flo: Flocculus, flocculus  
fo: Fornix, fornix

- 
- fol: Folium, folium  
fr: Fasciculus retroflexus (Meynert), retroflex fasciculus of Meynert  
fsc: Fasciculus subcallosus, subcallosal fasciculus  
fte: Fasciculus tegmenti (Forel), tegmental fasciculus
- gcc: Genu corporis callosi, genu of the corpus callosum  
Gen: Sulcus genualis, genual sulcus  
gen: Gyrus genualis, genual gyrus  
gnf: Genu nervi facialis, genu nervi facialis, VII  
gp: Globus pallidus, pale globe  
gph: Gyrus parahippocampalis, parahippocampal gyrus
- ha: Habenulae, habenula
- ic: Capsula interna, internal capsule  
ig: Indusium griseum, supracallosal gyrus  
inc: Insula callejae, island of calleja  
ir: Recessus infundibuli (R. neurohypophysialis), infundibular recess  
ita: Adhesio interthalamica, interthalamic adhesion  
itp: Nucleus interpeduncularis, interpeduncular nucleus
- lal: Lemniscus lateralis, lateral lemniscus  
lc: Lobulus centralis, central lobule  
li: Lingula, lingula of cerebellum  
Lis: Sulcus limitans, limiting sulcus  
lme: Lamina medullaris externa, external medullary lamina  
lmi: Lamina medullaris interna, internal medullary lamina  
lv: Ventriculus lateralis, lateral ventricle
- Mar: Sulcus marginalis, marginal sulcus  
mar: Gyrus marginalis, marginal gyrus  
mb: Corpus mamillare, mamillary body  
mca: Arteria cerebri media, middle cerebral artery  
mcp: Pedunculus cerebellaris medius, medial cerebellar peduncle

- me: Corpus medullare cerebelli, medulla of cerebellum  
ml: Lemniscus medialis, medial lemniscus
- na: Nucleus ambiguus, ambiguous nucleus  
nf: Nucleus fastigii, fastigial nucleus  
nfa: Nervus facialis, facial nerve  
nml: Nucleus vestibularis lateralis (Deiters), lateral vestibular nucleus  
nmv: Nucleus vestibularis medialis (Schwalbe), medial vestibular nucleus  
nno: Nucleus motorius n. oculomotorii, nucleus of the oculomotoric nerve  
no: Nodulus, nodulus  
nop: Nervus opticus, optic nerve  
nst: Nucleus subthalamicus (Luysi), subthalamic nucleus  
nvc: Nervus vestibulocochlearis, vestibulocochlear nerve
- ob: Bulbus olfactorius, olfactory bulb  
of: Fila olfactoria, olfactory fibers  
oli: Nucleus olivaris, olivary nucleus  
olt: Tractus olfactorius, olfactory tract  
omn: Nervus oculomotorius, oculomotoric nerve  
op: Operculum, operculum  
or: Recessus olfactorius, olfactory recess  
ot: Tractus opticus, optic tract  
otu: Tuberculum olfactorium, olfactory tubercle
- pb: Epiphyse, pineal body  
pcm: Pedunculus mamillaris, mamillary peduncle  
pg: Hypophyse, pituitary gland  
pfl: Paraflocculus, paraflocculus  
Pfs: Sulcus paraflocculus, parafloccular sulcus  
pir: Lobus piriformis, piriforme lobe  
Pms: Sulcus paramedianus, paramedian sulcus  
po: Pons, pons  
prf: Fissura prima, primary fissure  
Prr: Sulcus proreus, prorean sulcus

- pr: Gyrus proreus, prorean gyrus  
Prs: Sulcus praesylvius, presylvian sulcus  
prs: Gyrus praesylvius, presylvian gyrus  
Psf: Fissura pseudosylvia, pseudosylvian fissure  
put: Putamen, putamen  
pul: Pulvinar, pulvinar nuclei  
py: Pyramis (Vermis) , pyramis  
pyr: Tractus pyramidalis, pyramidal tracts
- rac: Radiatio corporis callosi, radiation of corpus callosum  
rao: Radiatio optica, optic radiation  
rc: Commissura rostralis, rostral commissure  
rcc: Rostrum corporis callosum, rostrum of the corpus callosum  
rcp: Pedunculus cerebellaris rostralis, rostral cerebellar peduncle  
Rfi: Fissura rhinalis lateralis, lateral rhinal fissure  
Rfm: Fissura rhinalis medialis, medial rhinal fissure  
rn: Nucleus ruber, red nucleus  
roc: Colliculus rostralis, rostral colliculus
- scc: Splenium corporis callosi, splenium of the corpus callosum  
sgi: Stratum granulosum internum des Bulbus olfactorius  
sglo: Stratum glomerulosum, glomerula olfactoria  
sl: Nuclei septi (lateralis), septal nuclei  
smt: Stria medullaris thalami, medullary stria of thalamus  
sng: Substantia nigra, substantia nigra  
sot: Tractus solitarius, solitary tract  
spe: Septum pellucidum, pellucid septum  
Spl: Sulcus splenialis, splenial sulcus  
Sss: Sulcus suprasylvius, suprasylvian sulcus  
sss: Gyrus suprasylvius, suprasylvian gyrus  
stm: Stratum mitrale, Mitralzellen des Bulbus olfactorius  
stpe: Stratum plexiforme externum des Bulbus olfactorius  
Syl: Sulcus sylvius, Fissura sylvina, sylvian sulcus  
syl: Gyrus sylvius, sylvian gyrus

|      |  |
|------|--|
| tb:  | Corpus trapezoideum, trapezoid body                          |
| teg: | Tegmentum mesencephali                                       |
| tfp: | Fibrae pontis transversae, transverse fibers of the pons     |
| th:  | Thalamus, thalamus   |
| tmt: | Tractus mamillothalamicus, mamillothalamic tract             |
| trn: | Nervus trigeminus, trigeminale nerv                          |
| tro: | Nervus trochlearis, trochleale nerv                          |
| ts:  | Stria terminalis, terminal stria                             |
| tu:  | Tuber, tuber   |
| uv:  | Uvula, uvula   |
| vtx: | Decussatio tegmenti ventralis, ventral tegmental decussation |
| zi:  | Zona incerta, zona incerta                                   |
| 3:   | Ventriculus tertius, third ventricle                         |
| 4:   | Ventriculus quartus, fourth ventricle                        |

Weitere Abkürzungen:

|        |   |
|--------|---|
| 2D:    | zweidimensional   |
| 3D:    | dreidimensional   |
| DICOM: | Digital Imaging and Communication in Medicine                 |
| etc.:  | et cetera, und so weiter                                      |
| FOV:   | Field of view, Gesichtsfeld                                   |
| Kg:    | Kilogramm   |
| MR:    | Magnet-Resonanz   |
| ms:    | Millisekunden   |
| NSA:   | Number of signal averages, Anzahl der Messungen einer Schicht |
| PDW:   | Protonen density weighted, Protonen Dichte Gewichtet          |
| SNR:   | signal-to-noise ratio, Signal-zu-Rausch Verhältnis            |
| TE:    | Echo time, Echozeit   |
| TIFF:  | Tagged Image File Format                                      |
| TR:    | Repetition time, Repetitionszeit                              |
| TSE:   | Turbo-Spin-Echo   |
| % :    | Prozent   |

# 1 Einleitung

Die Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT) wird in der Tiermedizin erstmalig Ende der achtziger Jahre (1989), hier vor allem bei den Kleintieren von Kraft und Mitarbeitern (1989) in den USA und von Dennis und Mitarbeitern (1992) für den europäischen Bereich, etabliert. Die Magnetresonanztomographie, die einen herausragenden Weichteilkontrast bietet, ist das Diagnostikum der Wahl, wenn die Symptomatik eine intrazerebrale Strukturveränderung vermuten lässt. Mit der Magnetresonanztomographie und den damit einhergehenden Technologien steht den Neurowissenschaften neben den bereits etablierten Methoden - der histologischen und elektrophysiologischen Untersuchungen - eine weitere Disziplin in der Untersuchung von Gehirnstrukturen und -funktionen zur Verfügung, die darüber hinaus noch eine in vivo Untersuchung zulässt. Durch die Wiederholbarkeit der Untersuchungen an demselben Objekt oder Individuum, in zeitlichem Abstand, ist letztendlich auch eine Aussage über Veränderung bzw. Wachstum der „interessierenden“ Strukturen zu treffen. Mit zunehmender Weiterentwicklung der technologischen Voraussetzungen und leistungsfähigeren Anwendungsprogrammen wird sich die Darstellung der neuronalen Strukturen zunehmend detailreicher präsentieren. In Verbindung mit hochauflösenden Hochfeld-Magnetresonanztomographen, die als Magnet-Resonanz-Mikroskopie (MRM) Objekte von wenigen Zentimetern Größe darstellen können, zusammen mit Bildbearbeitungssoftware, die eine dreidimensionale Rekonstruktion dieser angefertigten Schnitte sowie eine Volumenberechnung zulässt, ergeben sich neue Möglichkeiten der neuronalen und auch embryonalen Forschung (Schmidt 2006).

Im klinischen Bereich steht die Abgrenzbarkeit von unverändertem physiologischem Gewebe zu pathologischen Gewebeveränderungen im Vordergrund. Die Hauptaufgabe der bildgebenden Verfahren ist die Differenzierung verschiedener Erkrankungen (Thrall 2007).

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die vergleichende Darstellung der physiologischen Morphologie des Schafgehirns mittels der Magnetresonanztomographie und konventioneller Histologie. Dies kann als Grundlage für den klinischen Vergleich mit pathologischen Veränderungen herangezogen werden (Schenk et al. 2007), oder der neurowissenschaftlichen Forschung dienen, in der das Schaf häufig herangezogen wird.

## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Historie

Die wissenschaftliche Forschung der vergleichenden Morphologie der Säugetiergehirne beginnt Ende des 19. Jahrhunderts. Die Hauptmotivation zum damaligen Zeitpunkt ist, Rückschlüsse auf die Gehirnfunktion des menschlichen Gehirns von vermeintlich einfacher strukturierten Nervensystemen abzuleiten.

Diese Zielsetzung und die menschliche Wissbegierde sind mitverantwortlich für die großen Fortschritte der Gehirnforschung von der Antike bis heute (Oeser 2010). Durch morphologische Studien und „Formenreihen“ an Säugetiergehirnen stehen der Veterinärmedizin heute fundierte morphologische Kenntnisse verschiedenster Säugetiergehirne zur Verfügung.

Die ersten Beschreibungen befassen sich mit der Oberfläche und Form des Gehirns beziehungsweise des zerebralen Kortex mit seinen Windungen und Furchen. Erste Zeichnungen erscheinen 1868 im Anatomiebuch von Owen: „Anatomy of Vertebrates, Vol. III, Mammals“. Nur 10 Jahre später erforscht Krueg (1878) in „Furchung der Großhirnrinde der Ungulaten“ die Oberfläche der Gehirne der Huftiere. Er versucht durch über Vergleiche einzelner Strukturelemente, Rückschlüsse über die Entwicklung des menschlichen Gehirns zu ziehen. Das Variieren der Großhirnfurchen beschreibt Rogner (1883) bei dem Hasen (*Lepus sp.*), dem Schaf (*Ovis sp.*) und dem Schwein (*Sus sp.*). Turner vergleicht 1890 die Gehirnwindungen verschiedener Tiere mit dem menschlichen Gehirn. Ellenberger (1892) übernimmt in seiner Arbeit: „Die Furchen der Großhirnrinde des Pferdes, der Wiederkäuer und des Schweines“ die Nomenklatur von Krueg (1878). Im „Handbuch der Anatomie und vergleichenden Anatomie des Centralnervensystems der Säugetiere“ gehen Flatau und Jacobsohn (1899) nicht explizit auf die Anatomie des Schafgehirns ein, jedoch geben sie einen Überblick über die „allgemeine Charakteristik der Furchen am Grosshirn der Ungulaten“. Sie beziehen sich ebenfalls auf die grundlegenden Arbeiten von Owen (1868), Krueg (1878), Rogner (1883) und Turner(1890). Das Ungulatengehirn ist auch Gegenstand der Untersuchungen von Holl (1900), er widmet sich der Insel des Ungulatengehirns. Zu dieser Zeit werden auch die ersten Bücher der Veterinär-Anatomie aufgelegt. So verfasst Ellenberger 1900 die 9. Auflage des „Handbuch der vergleichenden Anatomie der Haustiere“ (erste Auflage

von Gurtl 1822), Martin 1912 das „Lehrbuch der Anatomie der Haustiere“ (anstelle des Franckschen Handbuches der Anatomie der Haustiere 1871) sowie von Getty 1917 „Sisson and Grossman´s The anatomy of the domestic animals“. Spezieller wird die Anatomie von Kappers (1920) in „Vergleichende Anatomie des Nervensystems“ abgehandelt, gefolgt von speziesspezifischen Arbeiten von Landacre, der 1930 die Sulci des Gehirns beim Schaf beschreibt und von Rose mit „Sheep cytoarchitectonics“ (1942).

Zum Anfang des 20. Jahrhunderts stehen vor allem die Morphologie des Oberflächenreliefs und der Versuch, Hirnfunktionen zu lokalisieren, im Mittelpunkt des wissenschaftlichen Interesses. Obwohl das Schaf im Vergleich zu den klassischen Versuchstieren Hund und Katze in den vergangenen 50 Jahren nicht den gleichen Stellenwert in der neurophysiologischen und neuroanatomischen Forschung eingenommen hat, wird sein Zentralnervensystem aufgrund seiner überschaubaren Größe oftmals als Vertreter der Ruminantier untersucht.

In der Arbeitsgruppe Neuroanatomie des Institutes für Anatomie, Histologie und Embryologie der Haustiere der Justus-Liebig Universität Gießen unter Federführung von Prof. Goller und nachfolgend von Prof. Hummel und Mitarbeitern werden eine Vielzahl von Untersuchungen zur Entwicklung und Anatomie des Nervensystems der Wiederkäuer durchgeführt, wobei klassische histologische Studien des Hirnstammes unter der Fragestellung der rumino-retikulären Afferenzen dominieren. Nach einer grundlegenden Arbeit von Goller (1965) zur Zytoarchitektur der Medulla oblongata des Rindes wird auch die Medulla von Schaf und Ziege in Abschnitten untersucht. Störmer (1985) beschreibt die Kerngebiete der Gehirnnerven IX-XII, gefolgt von der Arbeit von Soldokoff (1986) über die Gehirnnerven VI-VIII. Die Raphekerne und die Formatio reticularis sind Gegenstand der Forschung von Geiger (1989), welche neben den morphologischen Details auch eine topographische Übersicht der Medulla bei Schaf und Ziege liefert. Störmer widmet sich im Einzelnen dem Nucleus tractus solitarii (1988), dem Nucleus nervi facialis (1990) und dem Nucleus nervi hypoglossi (1991). Ruhrig analysiert 1992 die Entwicklung des Nucleus nervi vestibulocochlearis. Störmer komplettiert 1987 die metencephalen Nuclei mit der Analyse der Feinstruktur des Nucleus ambiguus und des spinalen Akzessoriskerns. Szetyń beschreibt 1966 zunächst die Hemisphären der Hauswiederkäuer und 1967 die Faserzüge im Hirnstamm des Schafes, 1968 gelingt es Karamanlidis, die trigemino-zerebellaren Verbindungen der Ziege aufzuklären. Diese Studien werden

später durch elektronenmikroskopische Untersuchungen der Kerngebiete der medullären Strangsysteme (Hasselmann 1990) sowie der Brücke ergänzt (Lemmer 1977) und durch die Arbeiten von Saigal (1982) zu Verbindung des Nucleus gracilis zur Kleinhirnrinde komplementiert. Weitere Untersuchungen des ZNS zielen auf die Zytostuktur des Mittelhirns ab. 1974 beginnt Stoebe-Hens mit Licht- und elektronenmikroskopischen Studien der Colliculi rostrales bei Rind, Schaf und Ziege, Ristow ergänzt 1980 histologische Daten über die Colliculi caudales ebenfalls bei Rind, Schaf und Ziege.

Neben den Stammhirnstrukturen wird der Iso- und Allocortex der Ruminantier, vor allen Dingen unter der Fragestellung der Homologien der kortikalen Rindenfelder und dem evolutionären Entwicklungsstand der Spezies, einander gegenübergestellt.

Bei der Analyse der Zytoarchitektonik der Großhirnrinde erarbeitet Rose (1942) eine allgemeine Übersicht, die von Hummel (1974) um elektronenmikroskopische Informationen erweitert wird. Der motorische Cortex wird von verschiedenen Autoren studiert (Sutherland und King 1910, King 1911, Bagley 1921) und dient als Grundlage weiterführender physiologischer Lokalisationsversuche. Ebinger quantifiziert den Anteil der motorischen Rinde („Area gigantopyramidalis“, Ebinger 1975).

Thalamische Projektionen zum motorischen, präfrontalen und somatosensorischen Kortex werden von Dinopoulos (1985) dokumentiert. Die Ziele rein sensorischer Projektionen im Kortex werden von Johnson erfasst (1971). Woudenberg (1969) widmet sich in Besonderheit dem cuneatus-gracilis und dem trigeminalen afferenten System.

Die retinalen Verbindungen über das Corpus geniculatum laterale zum visuellen Kortex werden 1988 von Clarke, thalamokortikale Projektionen 1979 von Karamanlidis beschrieben. Die Ausdehnung des visuellen Kortex selbst und dessen histologische Struktur und Funktion werden 1915 von Funkhouser sowie 1976 von Clarke und Whitteridge bestimmt. Neben dem volumetrischen Vergleich (Ebinger 1974) determiniert wiederum Ebinger (1975) den quantitativen Anteil der Sehrinde bei domestizierten und verwilderten Schafen. Der temporale Kortex des Schafes ist Gegenstand der funktionellen Untersuchung, die Peirce und Kendrick 2002 durchführen.

Die Bulbi olfactorii sind 1973 Bestandteil der Untersuchungen von Löchelt. Schessner (1985) dokumentiert die Frühentwicklung und Zelldifferenzierung des

Ammonshorns bei Rind, Schaf und Ziege, Bär beschreibt 1980 und 1985 die licht- und elektronenmikroskopische Struktur dieser allokortikalen Strukturen.

Die Morphologie der Thalamus-Kerne des Schafes wird von Rose (1942) beschrieben, zusätzlich veröffentlicht Vierling 1956 und 1957 einen Beitrag zur Situation der Hypothalamuskern. Karamanlidis (1979) dokumentiert die visuellen thalamokortikalen Bahnen. Stockx und Mitarbeiter befassen sich 2007 mit der Zytoarchitektur der Kerngebiete des Hirnstammes im fetalen Schaf nach einer Nissl-Färbung.

Neben der Lokalisation von kortikalen Funktionsfeldern ist die morphometrische und allometrische Beschreibung von Rindenfeldern und deren Homologien zwischen den Spezies ein Schwerpunkt der anatomischen Forschung in der Tiermedizin und Zoologie.

Die ersten Übersichtsarbeiten über die äußere Form des Schafgehirns werden neben Krueg (1878), Rogner (1883) und Turner (1890), von Flatau (1911) und später von Briggs (1946) publiziert, die vorwiegend unter vergleichenden Gesichtspunkten mit anderen Säugetieren arbeiten.

Übersichten und vergleichende Untersuchungen der Gehirnanatomie liefern auch die veterinäranatomischen Lehrbücher. In dem „Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Band IV: Nervensystem, Sinnesorgane, endokrine Drüsen“ (Nickel et al. 1992) wird das Oberflächenrelief des Cerebrocortex und des Cerebellums vom Rind detailliert beschrieben und vergleichend dargestellt. Vergleichbare Darstellungen enthalten die Arbeiten von Bauer und Schober (1970) „Katalog der Säugetiergehirne“.

Eine Übersicht zum Bau des adulten Schafgehirns liefert Yoshikawa (1968) in seinem Hirnatlas anhand von Abbildungen ausgewählter Koronalschnitte (Schnittbildsammlung), wobei es sich um eine Faserfärbung (Myeloarchitektur) handelt.

## **2.2 Untersuchungen des Gehirns von Säugetieren und anderen Spezies im MRT**

In der Tiermedizin ist die Magnetresonanztomographie (MRT) noch ein vergleichsweise neues bildgebendes Verfahren, welches zuerst in den USA eingesetzt wird. Dort untersuchen Kraft et al. (1989) das Gehirn von Hunden mit neurologischen Erkrankungen und veröffentlichen erste tomographische Schnittbilder

von vier Hunden, die trotz neurologischer Defizite keine erkennbaren Läsionen aufweisen. Gleichzeitig zeigen sie die damaligen Möglichkeiten und Grenzen dieser Technologie in der tiermedizinischen Diagnostik auf. Sie benutzen einen guten Tomographen mit einer Magnetfeldstärke von 1,5 Tesla, jedoch reicht die Rechenleistung der Computersysteme zum damaligen Zeitpunkt nicht aus, optimale Bilder zu erzeugen, es wird beispielsweise eine Matrix von 256x128 verwendet. In Europa wird die Magnetresonanztomographie erstmals durch Dennis et al. (1992) in der Tiermedizin zur Diagnostik beschrieben.

Nach diesen Pionierarbeiten und der Etablierung leistungsfähigerer Geräte an tiermedizinischen Bildungsstätten diagnostizieren zahlreiche Autoren mit Hilfe der Magnetresonanztomographie Erkrankungen des zentralen und peripheren Nervensystems (Tidwell und Jones 1999).

Assheuer et al. (1997) publizieren einen MRT- und CT-Atlas der angewandten Anatomie des Hundes als Basis für die Diagnostik neurologischer, orthopädischer und internistischer Erkrankungen. Als Hilfestellung für den klinischen Alltag kommt im Jahr 2009 zum einen ein MRT- und CT- Atlas des Hundes hinzu, welcher in Anteilen auch das ZNS des Hundes beschreibt (Mihaljevic et al.), zum anderen veröffentlicht Fletcher und Saveraid (2009) der Universität Minnesota einen im Internet zugänglichen MRT-Atlas des caninen Gehirns und korrelieren die Schnittebenen mit histologischen Transversalschnitten. Pathologische Veränderungen bei klinisch neurologisch auffälligen Wiederkäuern werden an Hand von magnetresonanztomographischen Aufnahmen bei einem Abszess des Hirnstammes beim Rind (Tzuka und Taura 1999), und bei drei Schafen mit metabolischen und toxischen Veränderungen des Gehirns (Zerebrokorticalnekrose, Leukenzephalomalazie, Kupfermangel) (Schenk et al. 2007) beschrieben.

Darüber hinaus dokumentieren zahlreiche Arbeitsgruppen die Abbildung der physiologischen Beschaffenheit einzelner Organsysteme. Dabei finden sich nicht ausschließlich Daten zu Hunden und Katzen, sondern auch von einer Reihe anderer Spezies: Pietsch erstellt (1998) eine Übersicht über die Bauchhöhlenorgane und Schiller (1998) eine Übersicht zur topographischen Anatomie des Auges und des Ohres der Katze.

Marino et al. (2001) rekonstruieren das Gehirn des gemeinen Delphins (*Delphinus delphinus*), des großen Tümmlers (*Tursiops truncatus*) sowie des Weißwals (*Delphinapterus leucas*) anhand von MR-Daten. In den folgenden Jahren

beschreiben ebenfalls Marino et al. (2003) die Neuroanatomie des Pottwals (*Kogia simus*) und des Schweinswals (*Phocoena phocoena*), und das Gehirn beim Schwertwal (*Orcinus orca*), basierend auf magnetresonanztomographischen Aufnahmen (2004). Das Gehirn des Göttinger „Minipigs“ ist Gegenstand der Untersuchungen von Watanabe et al. (2001), während Greer et al. (2002) das Gehirn des Pavians und Black et al. (2001) das Gehirn des Makaken analysieren. Die MR-Untersuchung des Gehirns eines Afrikanischen Elefanten (*Loxodonta africana*) wird von Hakeem et al. 2005 durchgeführt und beschrieben. Haddad untersucht 2004 das Gehirn der Honigbiene. Das Gehirn des Rindes wird als erster Vertreter der Wiederkäuer 2006 von Schmidt im MRT untersucht, gefolgt von der Neuroanatomie des Kälbergehirns 2009. 2012 wird ebenfalls von Schmidt et al. eine vergleichende MRT Gehirn-Studie der Ruminantier veröffentlicht. Mit einem dreidimensionalen MR-Atlas des Taubengehirns stellen Güntürkün et al. (2012) eine weitere Spezies im Bereich der Neuroanatomie vor.

Ziel dieser Arbeit ist es, das Gehirn des Hausschafes (*Ovis aries*) mit Hilfe der Magnetresonanztomographie in transversalen Schnittebenen, histologischen Präparaten (Nissl-Färbung) und als 3D Rekonstruktion darzustellen, die anatomisch erkennbaren Strukturen zu beschreiben und die Ergebnisse der Magnetresonanztomographie mit den histologischen Schnittbildern zu vergleichen. Auf Grund der unterschiedlichen Kontrasteigenschaften zwischen der Magnetresonanztomographie und der Histologie sind bisher keine anatomischen Beschreibungen für das Schaf vorhanden.

## 2.3 Grundlagen der Magnetresonanztomographie

Das physikalische Grundprinzip der Magnetresonanztomographie (Kernspintomographie) beruht auf der Eigenschaft von Wasserstoffatomen, mit einem Proton im Kern und einem Elektron in der Hülle, einen Kernspin zu erzeugen. Der Kernspin wird von allen Atomen erzeugt, die eine ungerade Anzahl von Nukleonen enthalten, im Falle einer geraden Anzahl hebt sich der Kernspin gegeneinander auf. Das einfachste Atom ist das Wasserstoffatom. Dieses ist gleichzeitig das am häufigsten vorkommende Atom des Körpers und eignet sich deshalb sehr gut für die magnetresonanztomographische Bildaquisition (Laubenberger und Laubenberger 1994). Das Wasserstoffproton des Kernes dreht sich um sich selbst und erzeugt einen sogenannten *Spin* (der Begriff ist aus dem Englischen „to spin“ – „sich drehen“ übernommen) (Weishaupt et al. 2009). Die positive elektrische Ladung des Protons dreht sich mit und erzeugt so ein *magnetisches Feld B* mit einem negativen und einem positiven Pol, die sich auf der Verbindungsachse, der Rotationsachse, beziehungsweise des *Magnetvektors B*, gegenüberliegen. Folglich verhält sich ein Wasserstoffmolekül ähnlich wie ein kleiner Stabmagnet (Schild 1990, Weishaupt et al. 2009), und andere Magnete und elektromagnetische Wellen können einen Einfluss auf den Magnetvektor B haben. Eine Bewegung der Rotationsachse kann in einer an das Objekt angelegten Empfangsspule als Spannungssignal detektiert werden. Für die Erzeugung eines MR-Bildes ist das Spannungssignal im Ruhezustand jedoch viel zu gering (Weishaupt et al. 2009).

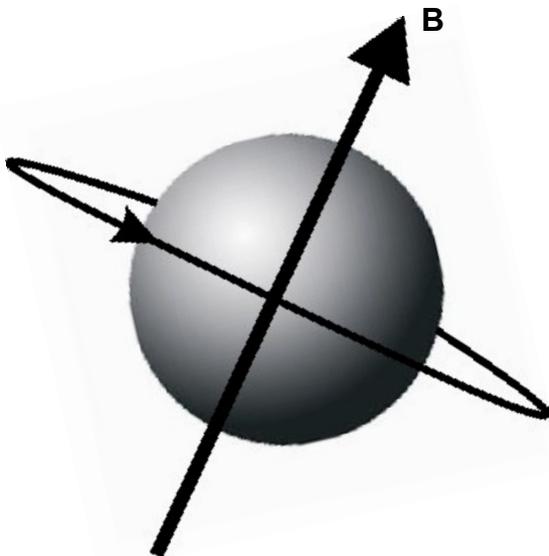
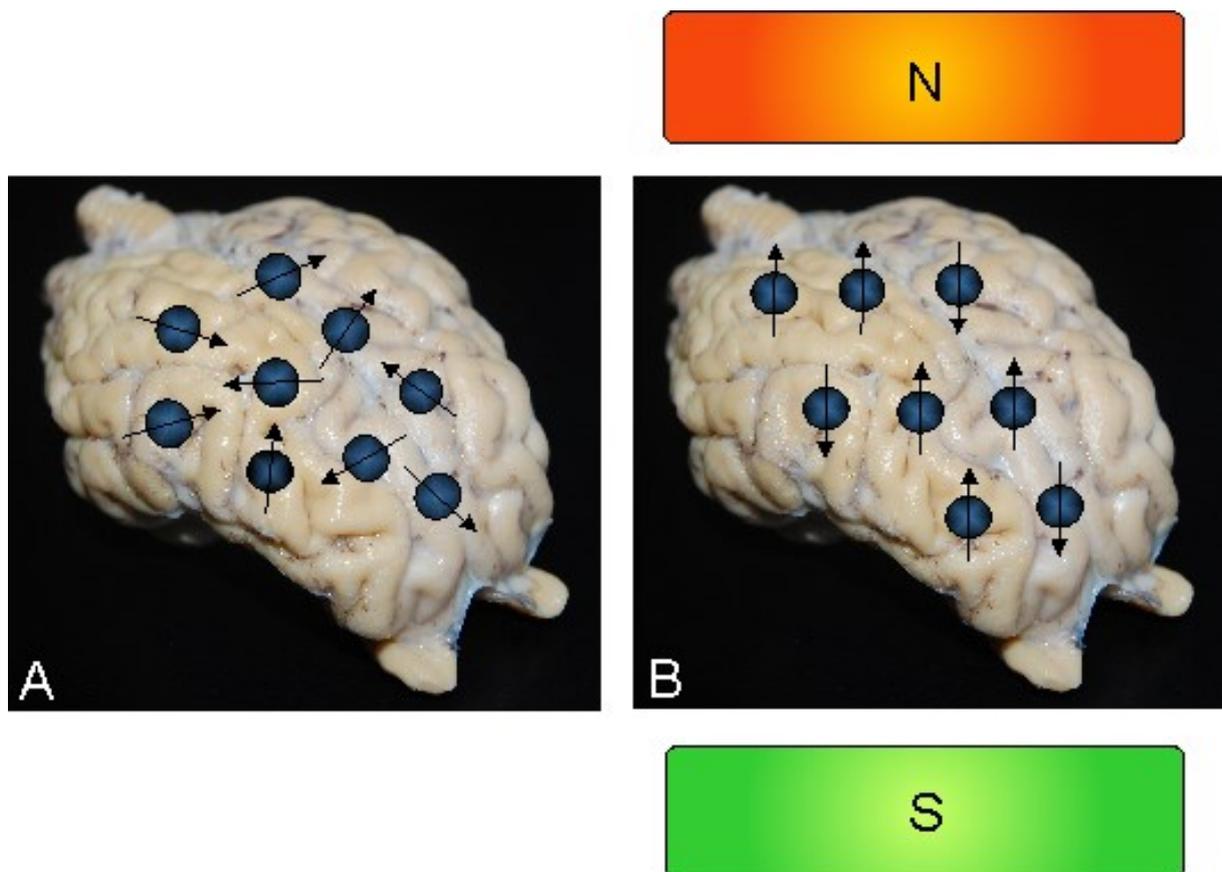


Abb. 1 :

Protonen rotieren um ihre eigene Achse und erzeugen dadurch ein Magnetfeld B  
(Schild 1990, Weishaupt 2009)

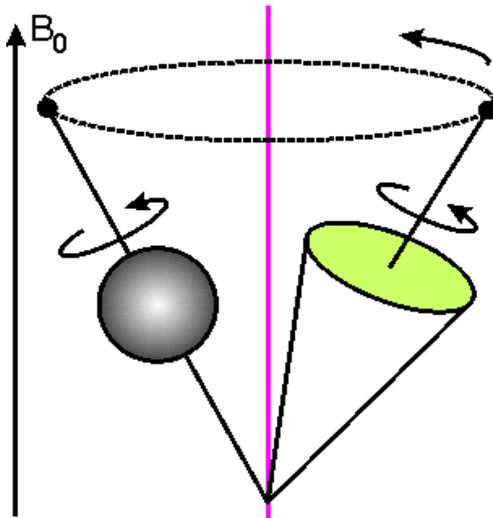
## Anlegen eines äußeren Magnetfeldes

Verbringt man die Protonen im zu untersuchenden Körper in ein starkes äußeres *Magnetfeld*  $B_0$ , so verlassen die Magnetvektoren jedes einzelnen Protons den ungeordneten Ruhezustand und richten sich wie Kompassnadeln entlang des angelegten Magnetfeldes  $B_0$  aus. Dabei können parallele oder antiparallele Richtungen eingenommen werden (Schild 1990, Laubenberger und Laubenberger 1994, Weishaupt et al. 2009) (Abbildung 2).



**Abb. 2:**

Halbschematische Darstellung der zufälligen Anordnung (A) der Protonen im Gewebe und der parallelen bzw. antiparallelen Ausrichtung (B) nach Anlegen eines äußeren Magnetfeldes.



**Abb. 3:**  
Schematische Darstellung der Präzessionsbewegung eines Protons bei angelegtem äußerem Magnetfeld  $B_0$  und im Vergleich der Taumelbewegung eines Kreisels.

Dabei verhalten sich die Spins ähnlich der Ausweichbewegungen eines Kreisels im Bereich der Schwerkraft. Die Lage der Rotationsachse wird zunehmend verändert, je mehr der Kreisel ins Trudeln gerät (Abbildung 3). Diese Ausweichbewegung wird *Präzessionsbewegung* genannt und erfolgt mit einer charakteristischen Frequenz, der Larmorfrequenz. Diese ist proportional zur Stärke des Magnetfeldes  $B_0$  (Schild 1990, Weishaupt et al. 2009).

Die Larmorfrequenz  $\omega$  ist also die Präzessionsfrequenz der Spins in einem Magnetfeld und wird in MHz gemessen. Diese Frequenz kann aus einer Konstanten für jedes einzelne Element, dem gyromagnetischen Verhältnis, und der Stärke des äußeren Magnetfeldes  $B_0$  in Tesla T berechnet werden. Für Protonen beträgt das gyromagnetische Verhältnis  $\gamma=42,58$  MHz/T. Auf Grund der Larmorgleichung  $\omega_0=\gamma_0 \cdot B_0$  (nach Laubenberger und Laubenberger 1994) beträgt die Larmorfrequenz in dieser Studie bei einem 1T Magnetresonanztomographen 42,58 MHz (Weishaupt et al. 2009).

Sind die Magnetvektoren durch das Einwirken eines äußeren Magneten aus dem ungeordneten Ruhezustand in eine parallele, bzw. einige auch in eine energetisch ungünstigere, antiparallele Ausrichtung präzessiert, entsteht der Summenvektor durch die Addition der einzelnen Magnetfelder. Es baut sich eine *Längsmagnetisierung*  $M_z$  in der Z-Richtung auf (Schild 1990, Laubenberger und Laubenberger 1994, Weishaupt et al. 2009). Das Erdmagnetfeld ( $48\mu$ Tesla) ist ebenfalls in der Lage, eine geringe Längsmagnetisierung aufzubauen, die jedoch 60.000mal geringer ist als die eines Magnetresonanztomographen mit einer Feldstärke zwischen 1 und 3 Tesla (Weishaupt et al. 2009).

## Hochfrequenzimpuls und Transversalmagnetisierung

Die Längsmagnetisierung der Spins kann durch von außen zugeführte Energie, einer elektromagnetischen Welle, mit einer Frequenz, die der Lamorfrequenz entspricht, in ihrer Ausrichtung verändert werden. Dies ist die physikalische Voraussetzung für die Kernspintomographie und ist von Bloch und Purcell 1946 erstmalig beschrieben worden (Assheuer und Sager 1997). Mit einem Hochfrequenzimpuls, der mit einem starken Radiosender erzeugt und auf das Untersuchungsobjekt eingestrahlt wird, kippen die Spins immer mehr aus der Z-Richtung heraus. Man sagt, das Spin-System wird angeregt (Weishaupt et al. 2009).

Mit der richtigen Leistung und Dauer des HF-Impulses kann eine Auslenkung um exakt  $90^\circ$  bewirkt werden ( $90^\circ$  Impuls) Somit dreht sich der Summenvektor  $M_z$  in die Ebene XY und wird mit  $M_{xy}$  bezeichnet. Diese Bewegung induziert in der Empfangsspule eine Spannung: das *MR-Signal* (Weishaupt et al. 2009).

### 2.3.1 Relaxation

Nach Anregung der Spins mittels des HF-Impulses in der Lamorfrequenz kreist die Magnetisierung in der XY-Ebene, man spricht von der *transversalen Magnetisierung*  $M_{XY}$ . Das hieraus entstehende MR-Signal wird nun, nach Abschalten des HF-Impulses, durch zwei unabhängige Vorgänge gemindert und der Ausgangszustand der Magnetisierung, vor der Anregung (die Längsmagnetisierung  $M_z$  entlang des äußeren Magnetfeldes  $B_0$ ), wird wiederhergestellt. Die Magnetisierung in der XY-Ebene nimmt langsam ab und die Magnetisierung in der Z-Ebene baut sich wieder auf. Bei diesen Vorgängen kommt es zu *Spin-Gitter-Wechselwirkungen* und *Spin-Spin-Wechselwirkungen*, die als *T1-Relaxation* bzw. *T2-Relaxation* bezeichnet werden (Schild 1990, Assheuer und Sager 1997, Nitz 2000, Brix 2002, Weishaupt et al. 2009).

Spin-Gitter-Wechselwirkung bzw. T1-Relaxation:

Der Übergang der Spins aus der transversalen in die longitudinale Magnetisierung, entlang des äußeren Magnetfeldes  $B_0$  ist mit der Abgabe von Energie an die Umgebung, die in der Physik auch als „Gitter“ bezeichnet wird, verbunden. Aus

diesem Grund spricht man hier von Spin-Gitter-Wechselwirkungen. Gemessen wird die Zeit, in der sich eine longitudinale Magnetisierung wieder einstellt. Diese Zeitkonstante bezeichnet man als T1-Zeit und sie ist abhängig von der Stärke des äußeren Magnetfeldes  $B_0$  und der inneren Bewegung der Moleküle in einem biologischen Gewebe (Schild 1990, Nitz 2000, Brix 2002, Weishaupt et al.2009). Solide Festkörper haben eine längere T1-Zeit als Flüssigkeiten, bei biologischen Geweben liegen die Werte zwischen 50ms und einigen Sekunden (Uhlenbrock 2001).

Rinck et al. haben 1986 die T1-Relaxationszeit als die Zeit definiert, die ein System benötigt, um 63% seines Gleichgewichtes nach einem  $90^\circ$  Impuls zu erreichen.

Spin-Spin-Wechselwirkungen bzw. T2/T2\* - Relaxation:

Nach Anregung durch den HF-Impuls präzedieren die Spins in der transversalen Magnetisierungsebene  $M_{xy}$  synchron, also alle im gleichen Winkel zueinander. Die Spins sind „in Phase“ zueinander. Dies wird als *Phasenkohärenz* bezeichnet.

Spins in Phasenkohärenz interagieren, indem sie untereinander das eigene kleine Magnetfeld, das sie auf Grund ihrer rotierenden elektrischen Ladung erzeugen, stören und es zu rasch wechselnden lokalen Magnetfeldveränderungen kommt. Das bedeutet, dass jeder Spin kurzfristig einmal etwas schneller und einmal etwas langsamer präzediert, und es somit zu einem Zerfall der Phasenkohärenz kommt. Dies wird als *Dephasierung* bezeichnet. Dabei kommt es zum Austausch von Energie der Spins untereinander und es erfolgt keine Abgabe von Energie an die Umgebung. Durch diese unterschiedliche Präzessionsgeschwindigkeit, der Dephasierung, heben sich nach einiger Zeit (T2-Relaxationszeit) die einzelnen Magnetvektoren der Spins gegeneinander auf und der resultierende Gesamtvektor, die transversale Magnetisierung, wird kleiner und verschwindet schlussendlich, und damit verschwindet auch das MR-Signal (Schild 1990, Nitz 2000, Brix 2002, Weishaupt et al.2009).

Die transversale Relaxation mit der Zeitkonstanten T2 ist also der Verlust der transversalen Magnetisierung durch Außer-Phase-geraten (Dephasierung) der Spins ohne Abgabe von Energie an die Umgebung (Spin-Spin-Wechselwirkung).

Zusätzlich zur Dephasierung der Spin-Spin-Wechselwirkungen bewirken zeitlich konstante, d.h. immer gleich starke Inhomogenitäten des äußeren Magnetfeldes  $B_0$ ,

verursacht durch den Tomographen selbst sowie durch den zu untersuchenden Körper selbst, zusätzliche Dephasierungen. Diese Dephasierung verläuft zeitlich schneller, so dass das Signal nicht mit T2, sondern mit einer Zeitkonstanten T2\* zerfällt. Der T2\* Effekt wird mittels Spinecho-Sequenzen eliminiert (Weishaupt et al. 2009).

Die T1- und T2 - Relaxation sind voneinander unabhängig, laufen allerdings gleichzeitig mit Abschalten des HF-Impulses ab. Das MR-Signal zerfällt jedoch auf Grund der T2-Relaxation bereits in den ersten 100 bis 300 ms, lange bevor eine Längsmagnetisierung  $M_z$  auf Grund der T1 - Relaxation stattfindet (0,5-5 sek).

### 2.3.2 Bildkontrast im MR-Bild

Eine Abstufung der Grauwerte in einem MR-Bild, die die verschiedenen Gewebe voneinander abhebt, wird von einem Computer anhand der gemessenen Signalintensitäten vorgenommen. Drei Faktoren bestimmen dabei die Signalintensität, d.h. die Helligkeit und den Bildkontrast eines Gewebes in einem MR-Bild (Weishaupt et al. 2009):

1. Protonendichte des Gewebes
2. T1-Relaxationszeit und
3. T2-Relaxationszeit

#### 1. Protonendichte

Das Maximum an Signal, das ein Gewebe abgeben kann, wird bestimmt von der Anzahl anregbarer Spins pro Volumeneinheit, der Protonendichte.

Spricht man von *protonengewichteten MR-Bildern* („*proton density weighted*“), so versucht man, den Einfluss der anderen beiden Parameter, T1- und T2- Relaxation, auf den Bildkontrast möglichst gering zu halten (Schild 1990, Assheuer und Sager 1997, Nitz 2000, Berry et al. 2002, Nitz et al. 2007, Weishaupt 2009). Demnach haben Gewebe mit hoher Wasserstoffdichte eine hohe Intensität. Weichteilgewebe hat, auf Grund des wenig voneinander abweichenden Wassergehaltes, nur einen geringen Kontrast in protonengewichteten Aufnahmen (Rinck und Zink 2005). Schmidt (2006) konnte jedoch in Bezug auf den Kontrast zwischen grauer und weißer Substanz des Gehirns den besten Kontrast bei Anwendung von protonengewichteten Bildern feststellen.

## 2. T1-Relaxationszeit

Die T1-Relaxationszeit eines Gewebes gibt an, in welchem zeitlichen Abstand sich die Spins von einer Anregung erholen und wieder anregbar sind. Damit wird indirekt die Signalintensität beeinflusst. In dichtem Gewebe ist die Protonenbeweglichkeit und somit auch die Relaxationsrate im Vergleich zu wässrigen Geweben bzw. Lösungen geringer und die Relaxationszeit verlängert. Je schneller die T1-Relaxation abläuft, desto mehr Energie wird von diesem Gewebe abgegeben und desto heller erscheint es im MR-Bild. Bilder, deren Kontrast hauptsächlich von T1-Relaxationszeiten bestimmt wird, nennt man *T1-gewichtete Bilder (T1w)* (Weishaupt 2009).

## 3. T2-Relaxationszeit

Die T2-Zeit ist ein Maß für das Verschwinden des MR-Signals nach der Anregung und wird durch den Verlust der Phasenkohärenz bestimmt. Unterschiedliche Gewebe verlieren nach einer Anregung unterschiedlich schnell ihre Phasenkohärenz und ergeben somit zu definierten Messzeitpunkten in T2 gewichteten Bildern unterschiedliche Signalintensitäten und somit einen Gewebekontrast.

Bilder, deren Kontrast vor allem von T2-Relaxationszeit bestimmt wird, werden *T2-gewichtete Bilder (T2w)* genannt (Weishaupt 2009).

Diese drei Parameter sind spezifische Merkmale, die sich für verschiedene Gewebe unterscheiden. Je nach Betonung der Messsequenz (Gewichtung) der MR Bilder entsteht ein Gewebe-zu-Gewebe Kontrast.

## Gewichtung der MR-Bilder

Der große diagnostische Vorteil der Magnetresonanztomographie ist eine Abgrenzbarkeit verschiedener Gewebe auf Grund eines variablen Bildkontrastes durch Veränderung der Aufnahmeparameter. So ist es möglich, verschiedene Gewebe auch ohne Kontrastmittel bereits voneinander abzugrenzen.

Da sich die Relaxationszeiten von Protonen in unterschiedlichen Gewebearten unterscheiden, dies gilt auch für gesunde und tumorös-veränderte Gewebe, können durch verschiedene Aufnahmeeinstellungen diese Veränderungen dargestellt werden. Durch Einstellung der *Repetitionszeit* und der *Echozeit* können die

Kontrasteigenschaften des Bildes bestimmt und modifiziert werden, sodass eine Läsion den höchstmöglichen Kontrast zum umliegenden physiologischen Gewebe zeigt (Schild 1990, Assheuer und Sager 1997, Nitz 2000, Berry und Thrall 2002, Nitz et al. 2007, Weishaupt 2009).

### T1-Gewichtung und Repetitionszeit

Zur Erhebung der Bilddaten eines MR-Bildes muss eine Schicht des Probenvolumens mehrere Male hintereinander angeregt und die Energieabgabe gemessen werden. Der zeitliche Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Anregungen derselben Schicht ist die *Repetitionszeit (time of repetition, TR)*. Diese Zeitspanne bestimmt also die Möglichkeit der Spins, sich wieder entlang der Längsmagnetisierung auszurichten und Energie abzugeben. Je länger die Repetitionszeit also ist, desto mehr Spins kippen in die Längsrichtung zurück, bevor die nächste Anregung stattfindet. Die Energieabgabe wird von dem Computer gemessen und in einen Bildkontrast umgesetzt (Schild 1990, Assheuer und Sager 1997, Nitz 2000, Berry und Thrall 2002, Nitz et al. 2007, Weishaupt 2009).

Wird die Repetitionszeit kurz gewählt (unter 600 ms), so beeinflusst T1 maßgeblich den Bildkontrast, da zu dieser Zeit die größte Differenz zwischen den T1-bedingten Signalen auftritt. Gewebe mit kurzer T1-Zeit (z.B. Fett) relaxieren schnell und geben somit viel Energie ab, bis die folgende Anregung stattfindet. Sie haben somit eine hohe Signalintensität (sie erscheinen im MR-Bild hell). Gewebe mit langer T1 relaxieren langsamer und geben weniger Signal bzw. Energie in der vorhandenen Zeit ab. Sie erscheinen daher dunkler im MR-Bild. MR-Bilder, bei denen der Kontrast hauptsächlich auf kurzer Repetitionszeit beruht, nennt man *T1-gewichtet*.

Bei Verlängerung der Repetitionszeit (>1500 ms) haben auch die Gewebe mit langer T1-Zeit ausreichend Zeit, in die Längsmagnetisierung zurückzukehren, und das Signal ist für diese verschiedenen Gewebe annähernd gleich, also entsteht ein schlechter Bildkontrast.

Folglich kann man durch das Auswählen einer kurzen Repetitionszeit eine T1-Gewichtung erzeugen (Schild 1990, Assheuer und Sager 1997, Nitz 2000, Berry und Thrall 2002, Nitz et al. 2007, Weishaupt 2009).

## T2-Gewichtung und Echozeit (TE)

Die Echozeit ist die Zeitspanne, die vom Zeitpunkt der Anregung, der Ausrichtung der Spins in die transversale Magnetisierung, bis zum Messzeitpunkt des MR-Signals vergeht. Die Echozeit bestimmt den Einfluss von T2 auf den Bildkontrast.

Wählt man die Echozeit kurz (weniger als ca. 30 ms), so sind die Unterschiede in der Signalintensität der verschiedenen Gewebe noch klein. Die Dephasierung hat eben erst begonnen, die MR-Signale sind nur gering vermindert. Folglich sind der Bildkontrast und somit auch die T2-Gewichtung dieser Bilder gering. Verlängert man die Echozeit auf mehr als 60 ms, findet die Dephasierung in unterschiedlichen Geweben mehr oder weniger deutlich statt und die Differenz der Signalintensität zwischen den Geweben wird deutlicher.

Gewebe mit einer schnellen Dephasierung, einer kurzen T2-Zeit, verlieren bis zum Messzeitpunkt die meiste Signalintensität, geben also nur noch wenig Signal ab und erscheinen deshalb im MR-Bild dunkel. Gewebe mit langem T2 weisen jedoch zum Messzeitpunkt immer noch relativ viel Signal auf und erscheinen im Bild hell.

Durch die Wahl der Echozeit TE kann man also die T2-Gewichtung bestimmen (Schild 1990, Assheuer und Sager 1997, Nitz 2000, Berry und Thrall 2002, Nitz et al. 2007, Weishaupt 2009).

## Protonendichte-gewichtete Bilder

Der Einfluss der unterschiedlichen Protonendichte verschiedener Gewebe auf die Bildentstehung wird kontrastbestimmend, wenn der Einfluss der T1- und der T2-Relaxation sehr gering gehalten wird. Folglich entsteht der Kontrast zwischen verschiedenen Geweben bei langen Repetitionszeiten (geringer Einfluss T1-Gewichtung) und kurzen Echozeiten (geringer Einfluss T2-Gewichtung) alleine durch den unterschiedlichen Protonengehalt der Gewebe selbst.

Allgemein gilt: Je mehr Wasser in einem Gewebe vorhanden ist, desto mehr Signal wird abgegeben (Schild 1990, Assheuer und Sager 1997, Nitz 2000, Berry und Thrall 2002, Nitz et al. 2007, Weishaupt 2009). Protonendichte-gewichtete Aufnahmen werden sehr häufig für hochauflösende Bildgebung verwendet. Im klinischen Alltag sind diese besonders zur Darstellung von Strukturen geringer Signalintensität - wie Knochen und Stützgewebe - geeignet und zur Darstellung des Gehirns, der

Wirbelsäule und des muskuloskeletalen Systems (Schild 1990, Assheuer und Sager 1997, Nitz 2000, Berry und Thrall 2002, Nitz et al. 2007, Weishaupt 2009).

|                           | Repetitionszeit | Echozeit |
|---------------------------|-----------------|----------|
| T1-Gewichtung             | kurz            | kurz     |
| T2-Gewichtung             | lang            | lang     |
| Protonendichte-Gewichtung | lang            | kurz     |

Tabelle 1: Übersicht der verschiedenen Einflussfaktoren auf den Bildkontrast

### 2.3.3 Schicht- und Ortskodierung der MR-Signale

Die Magnetresonanztomographie ist ein Bildgebungsverfahren, welches tomographische Schnittbilder (Schichtbilder) eines Körpers anfertigt und kein Summationsbild, wie beispielsweise das Röntgen. Somit muss jedem Einzelsignal zusätzlich zum ausgelesenen MR-Signal, bzw. der Signalintensität, auch eine Information über die Herkunft im dreidimensionalen Körper zugeordnet werden.

Für eine optimale Bilderzeugung sind eine gleichmäßige Anregung der Protonen und ein möglichst homogenes äußeres Magnetfeld notwendig. Lagern wir nun den zu untersuchenden Körper im Magnetresonanztomographen, erfährt dieser die beschriebene Längsmagnetisierung entlang des Tomographen. Diese Längsmagnetisierung erfasst den gesamten zu untersuchenden Körper gleichermaßen (Weishaupt 2009).

Zur Ortskodierung eines Signals innerhalb des Volumens bedient man sich, zusätzlich zum Magnetfeld  $B_0$ , inhomogener Magnetfelder. Diese Magnetfelder bezeichnet man als *Gradientensystem*. Gradienten sind somit eigene Magnetfelder, die das Hauptmagnetfeld überlagern. Diese Gradienten, bestehend aus dem *Schichtgradienten*, dem *Frequenzkodierungsgradienten* und dem *Phasenkodierungsgradienten*, tragen zur Ortskodierung im dreidimensionalen Raum bei. Magnetfeldgradienten sind Magnetfelder, die an einem Ende stärker sind als am anderen Ende, also bildlich als Keil dargestellt werden können (Weishaupt 2009).

## Schichtgradient

Eine Anregung der Protonen erfolgt, wenn die Anregungsfrequenz gleich der Larmor- bzw. der Präzessionsfrequenz ist, also proportional zur Magnetfeldstärke. Legt man nun dem äußeren Magnetfeld eine zusätzliche Magnetspule an, die am Kopfende das Magnetfeld geringfügig verstärkt und am anderen Ende das Magnetfeld reduziert, wird das Magnetfeld in gewissem Maße inhomogen in der Z-Richtung. Das Magnetfeld besitzt jetzt einen Gradienten, also einen Anstieg des Magnetfeldes entlang der Z-Richtung (Längsmagnetisierung). Dies bedeutet, dass die Larmorfrequenz der Protonen, welche proportional zur Feldstärke ist, fließend von kranial nach kaudal abnimmt. Die Protonen jeder einzelnen Schicht präzedieren entlang des Schichtgradienten mit ihrer eigenen Frequenz. Ein HF-Impuls einer bestimmten Frequenz aus diesem Spektrum, der Larmorfrequenz einer speziellen Stelle entlang des Gradienten, regt ausschließlich die Protonen dieser Schicht an, ohne die benachbarten Schichten (mit einer anderen Frequenz) zu beeinflussen (Abbildung 4).

Zusätzlich wird die Schichtdicke durch Änderung der Stärke des Gradienten beeinflusst: Eine geringere Gradientenstärke führt zu dickeren Schichten, während starke Gradienten zur Erstellung dünnerer Schichtdicken herangezogen werden.

Folglich ergibt eine Änderung der Frequenz des HF-Impulses die Anregung der Schichtposition und die Änderung der Gradientenstärke ergibt die Schichtdicke des zu untersuchenden Schnittbildes (Weishaupt 2009).

Nach der Schichtwahl wird die Ortskodierung des Signals (X- und Y- Ebene) notwendig. Dabei erzeugt eine Magnetspule einen Gradienten in der X – Ebene (Frequenzkodierung) und die andere Magnetspule erzeugt einen Gradienten in der Y – Ebene (Phasenkodierung).

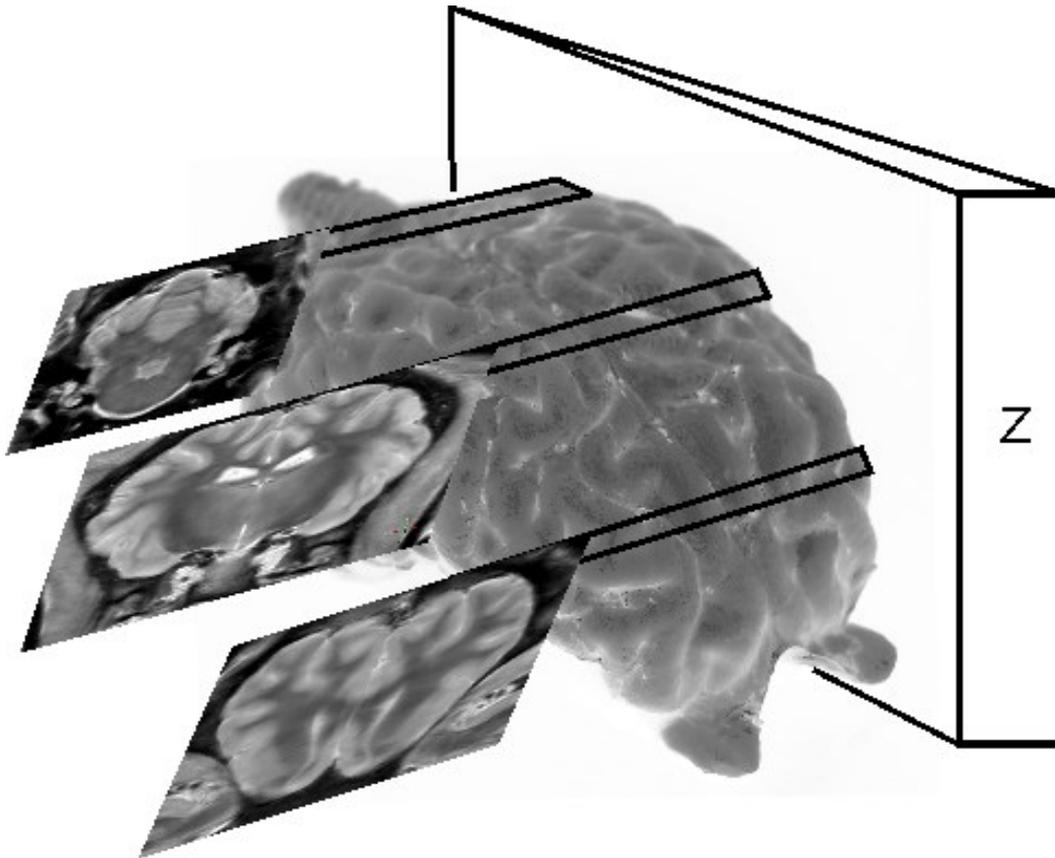


Abb. 4:

**Schichtwahl durch Anlegen einer Magnetspule Z (Schichtgradient).  
HF-Impuls mit einer bestimmten Frequenz regt genau eine Schicht an, ohne die benachbarten Frequenzen zu beeinflussen. Daraus resultiert die Anregung genau einer Schicht.**

### Phasenkodierungsgradient

Nach der Anregung der Spins einer Schicht aus der Längsmagnetisierung in die transversale Magnetisierung (XY - Ebene) wird zur *Phasenkodierung* der Gradient in der Y-Ebene angeschaltet. Dies führt zu einer geringfügig höheren Larmofrequenz im oberen Bereich und einem Abfall der Larmofrequenz in Abwärtsrichtung. Da die Spins bereits angeregt sind (sich „in Phase“ befinden), präzedieren die oberen etwas schneller im Vergleich zu den unteren Protonen und es kommt zu einer Phasenverschiebung der Spins gegeneinander (Weishaupt 2009). Wird der Gradient nach einer gewissen Zeit abgeschaltet, kreisen die Spins über die gesamte Länge wieder mit der gleichen Geschwindigkeit, jedoch bleibt die Phasenveränderung in den Ebenen erhalten. So kann jede Zeile innerhalb dieser Schicht durch ihre Phase identifiziert werden (Schild 1990, Brix et al. 2002, Weishaupt 2009).

## Frequenzkodierung

Zur Differenzierung der Voxel (Volumenteilchen einer Schicht) in der X-Ebene wird ein weiterer Gradient angelegt, der eine Schwankung der Magnetfeldstärke von rechts nach links vornimmt. Die Larmorfrequenzen (proportional zum Magnetfeld) steigen also von rechts nach links geringfügig an. Somit präzedieren die Spins links schneller als rechts und das jetzt gemessene MR-Signal besteht aus einem Frequenzspektrum. Höhere Frequenzen werden dabei von der linken Seite und tiefere Frequenzen von der rechten Seite der zu untersuchenden Schicht empfangen. Jede Spalte wird an ihrer Frequenz identifiziert.

Durch Frequenz und Phase kann jedes Volumenteilchen (Voxel) eindeutig einer Position zugeordnet werden (Schild 1990, Brix et al. 2002, Weishaupt 2009).

## Dreidimensionale Ortskodierung

Durch die Anregung einer einzelnen Schicht entsteht ein Schnittbild, das heißt, jede Schicht eines zu untersuchenden Objektes wird einzeln angeregt und vom Computer in Bildinformationen umgerechnet. Es entsteht eine Schnittbildfolge des Objektes mit der angewählten Schichtdicke. Eine dreidimensionale Aufnahmetechnik wird dann erforderlich, wenn die gemessenen Daten elektronisch rekonstruiert oder sehr dünne Schichten akquiriert werden sollen, ohne dass ein Verlust an Detailerkennbarkeit (Rauschen) entsteht. Je dünner die Schicht ist, desto weniger Protonen werden angeregt, und es entsteht ein schwächeres MR-Signal. Wird jedoch ein Objekt als Volumen angeregt, kann die Einzelschicht im Folgenden errechnet werden. Auf Grund der Anregung einer Volumeneinheit erhalten wir ein besseres MR-Signal (Weishaupt 2009).

Um alle Schichten eines Körpers anzuregen, schaltet man den Schichtwahlgradienten vor der Anregung aus und alle Spins in der Z-Richtung präzedieren mit der gleichen Frequenz.

Regt man ein Volumen an im Gegensatz zu einer Schicht, ist zusätzlich eine Ortskodierung des Signals in der Z-Richtung, in der Schichtrichtung, notwendig.

Diese Ortskodierung erhält man über einen weiteren Phasenkodierungsgradienten in Z-Richtung. Die Anzahl der Wiederholungen mit verschiedenen Z-Gradienten

bestimmt die Auflösung der Informationen in Z-Richtung. Folglich entspricht die Auflösung der Z-Richtung der Schichtdicke.

Auf Grund der Tatsache, dass die XY-Ortskodierung für jeden Z-Phasengradienten einzeln wiederholt wird, erklärt sich die deutlich längere Untersuchungszeit, die daraus resultiert (Weishaupt 2009).

#### **2.3.4 Determinanten des Signal-zu-Rausch-Verhältnisses und der Bildqualität**

Nachdem die Entstehung eines MR-Signales und dessen Verarbeitung zu einem Bild in groben Zügen besprochen wurde, werden die Qualität bzw. die Störfaktoren des MR-Signals, das sogenannte „Bild-Rauschen“, im Folgenden näher betrachtet. Die Schwächen des MR-Systems, die zu diesen Störsignalen beitragen, sind unter anderem die Inhomogenität des Magnetfeldes, das „thermische Rauschen“ in HF-Spulen oder die Nicht-Linearität von Signalverstärkern. Aber auch der Vorgang der Bildverarbeitung selbst und patientenspezifische Faktoren (durch Körper- oder Atembewegungen) erzeugen ein Bild-Rauschen.

Das Signal-zu-Rausch-Verhältnis („Signal-to-Noise-Ratio“, SNR) wird als die Interaktion zwischen MR-Signal und der Stärke des Rauschens ausgedrückt. Mathematisch ausgedrückt ist das SNR der Quotient zwischen der Signalintensität der untersuchten Fläche („Region of Interest“, ROI) und der Standardabweichung der Signalintensität einer Fläche ausserhalb des abgebildeten Objektes (d.h. dort, wo kein Signal ausgesandt wird).

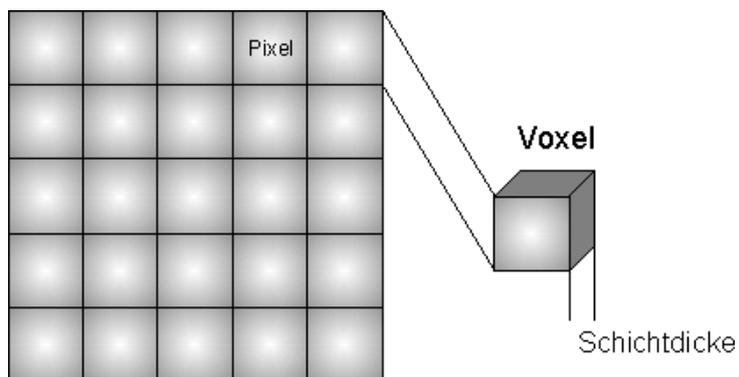
Das Ziel der MR-Bildgebung ist ein hohes Signal-zu-Rausch-Verhältnis, man bemüht sich also, möglichst viel Signal bei niedrigem Rauschen zu erreichen (Weishaupt 2009).

Folgende Parameter beeinflussen das Signal-zu-Rausch-Verhältnis:

- Schichtdicke und Bandbreite
- Größe der (Bild-)Matrix
- Gesichtsfeld (Field of View, FOV)
- Anzahl der Messungen
- Bildparameter (TR,TE)
- Magnetfeldstärke
- Wahl der Sende- und Empfangs-Spule

## Die Matrix

Die Matrix digitaler Bilder besteht aus Zeilen und Spalten, einem zweidimensionalen Raster. Jedem einzelnen Quadrat dieses Rasters, auch Pixel genannt, wird eine unterschiedliche Grauwertintensität, korrespondierend zu der entsprechenden Signalintensität des MR-Signals, zugeteilt. Bei der MR-Bildgebung enthält jedes Pixel auf Grund des Schichtbildverfahrens zusätzlich räumliche Informationen über ein Volumen und wird als *Voxel* bezeichnet (Abbildung 5).



**Abb. 5:**  
Darstellung einer Matrix mit  
5x5 Pixeln und einer  
Volumeneinheit, dem Voxel

Die Größe eines Voxel wird durch die Größe der Matrix, der Schichtdicke und des Gesichtsfeldes bestimmt. Im Allgemeinen gilt: Je geringer die Voxelgröße, desto besser ist die Auflösung des MR-Bildes. Dabei wird die Auflösung jedoch bei geringer Voxelgröße durch weniger Signalstärke negativ beeinflusst, da pro Volumeneinheit weniger Protonen zur Verfügung stehen (Assheuer und Sager 1997, Berry und Thrall 2002, Brix et al. 2002, Weishaupt 2009).

## Schichtdicke und Bandbreite

Wünschenswert für eine optimale Bildauflösung sind dünne Schichten mit einem hohen Signal-zu-Rausch-Verhältnis. Allerdings sind dünnere Schichten zu einem verminderten SNR proportional, da dünne Schichten mehr Bildrauschen zeigen. Im Gegensatz dazu führen höhere Schichtdicken zu einer Erhöhung des SNR, neigen aber beispielsweise zu Partialvolumenartefakten (Weishaupt 2009).

Dem Verlust an SNR kann man in dünneren Schichten durch eine Steigerung der Messanzahl oder durch eine Erhöhung der TR-Zeit entgegenwirken. Hierbei wird allerdings die Untersuchungszeit erheblich erhöht.

Das Spektrum an Spin-Frequenzen gibt die Bandbreite an, welches ein MR-System bei der Frequenzkodierung erfasst. In verschiedenen MR-Systemen kann die Bandbreite voreingestellt und somit festgelegt sein oder vom Benutzer eingestellt werden. Eine hohe Bandbreite ermöglicht eine schnelle Erfassung der Daten und eine verminderte Anfälligkeit für Chemical-Shift-Artefakte (Weishaupt 2009).

In Verbindung mit dem Signal-zu-Rausch-Verhältnis wirken sich hohe Bandbreiten jedoch negativ aus, da vermehrt Rauschen gesammelt wird. Eine Halbierung der Bandbreite bewirkt eine Verbesserung der SNR um ca. 30%.

Der Schichtabstand, der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Schichten („interslice Space“ oder „Gap“), wird aus der Schichtdicke („Slice Thickness“) minus dem Schichtintervall („Slice Interval“) berechnet. Um keine Bildinformationen zu verlieren, ist es wünschenswert, keinen Abstand zwischen zwei Schichten zu lassen. Jedoch ist dies bei SE-Sequenzen nicht möglich, da das HF-profil nicht rechteckig, sondern sinusoidal verläuft. Somit werden durch den 180°-Impuls auch benachbarte Schichten mit angeregt, was zu einer Verminderung des Signal-zu-Rausch-Verhältnisses durch Saturationseffekte führt (Weishaupt 2009).

Wird ein Schichtabstand angelegt, minimiert sich die Anregung der benachbarten Schichten, und eine Steigerung des Signal-zu-Rausch-Verhältnisses wird erreicht. Wünschenswert ist eine Unterdrückung der Anregung benachbarter Schichten zu 100% durch entsprechende Erweiterung des Interslice Gap. Nachteilig bei großen Zwischenschichtabständen ist der Verlust an Bildinformation. Ein Kompromiss ist notwendig, und so werden in der Praxis häufig Abstände von 25-50% der Schichtdicke gewählt.

Die Ausnahme bilden die Gradientenecho-Sequenzen (GRE). Bei diesen Sequenzen ist kein 180°-Impuls nötig und die Schichten können fortlaufend (ohne Zwischenabstand) akquiriert werden (Weishaupt 2009).

Das Gesichtsfeld („Field-of-View“, FOV)

Eine enge Beziehung besteht zwischen dem Field-of-View und dem Signal-zu-Rausch-Verhältnis. Bei konstanter Matrixgröße ändert sich die Pixelgröße mit einer Veränderung des Gesichtsfeldes. Mit einer Verkleinerung des FOV und einer unveränderten Matrix ergibt sich eine kleinere Pixelgröße. Die räumliche Auflösung eines digitalen Bildes hängt maßgeblich von der Pixelgröße ab.

Man kann eine bessere räumliche Ortsauflösung entweder durch eine feinere Matrix bei konstantem FOV oder durch eine Verkleinerung des Gesichtsfeldes bei konstanter Matrix erreichen. Eine optimale Variante, so kann man annehmen, ist also ein kleines Field-of-View bei einer großen (feinen) Matrix. Demgegenüber steht allerdings das Signal-zu-Rausch-Verhältnis. Hier gilt: Je kleiner das Pixel, desto geringer die SNR und somit wird nur eine geringe Bildqualität erreicht. Zusätzlich ist zu bedenken, dass die Aufnahmezeit mit zunehmender Matrixgröße proportional ansteigt, die Bilderzeugung also länger dauert. Betrachtet man die ökonomische Rentabilität, ist die Aufnahmezeit ein entscheidender Kernpunkt für die magnet-resonanztomographische Bildgebung (Weishaupt 2009).

Die Matrixgröße in Frequenz- und Phasenrichtung bestimmt zum einen die örtliche Auflösung und zum anderen die Aufnahmezeit. Dabei ist die Frequenzrichtung für die örtliche Auflösung und die Phasenrichtung für die Untersuchungszeit von entscheidender Bedeutung. Durch diesen „Trick“ wird das Field-of-View also in Phasenrichtung verkleinert und ermöglicht so eine hohe räumliche Auflösung in einer angemessenen Zeit („*Rectangular Field-of-View*“, Weishaupt 2009). Wird die Matrixgröße in einem quadratischen Bildelement von 256 x 256 durch Reduktion des FOV in Phasenrichtung auf eine Matrix von 128 x 256 Pixel reduziert, bleibt die Auflösung gleich, die Aufnahmezeit ist hingegen halbiert. Dies bringt jedoch neue Probleme, wie zum Beispiel das Umklapp-Phänomen in Phasenrichtung, mit sich. Das Umklapp-Phänomen, auch „Phase Wrapping“ oder „Foldover“ genannt, gehört zu den Artefakten im MR-Bild. Es werden Anteile des untersuchten Objektes, die ausserhalb des Field of View liegen, in dieses integriert und überlagern das eigentliche Bild. Durch das zusätzliche Anwählen von Optionen, z.B. „No Phase Wrap“, im MR-Gerät kann dieses Artefakt korrigiert werden. Zusätzlich führt die Verminderung des Gesichtsfeldes in Phasenrichtung zu einem leichten Abfall des Signal-zu-Rausch Verhältnisses.

Eine weitere Möglichkeit, die Bildaufnahmezeit zu verringern, ist die Akquisition von Pixeln, welche eine rechteckige Form haben. Dabei sind die Pixel nicht mehr quadratisch (wie wir das in unseren Beispielen bisher immer angenommen haben), sondern rechteckig und werden deshalb als „rectangular pixels“ bezeichnet. Rechteckige Pixel sind in Phasenrichtung breiter. Neuere Systeme erlauben eine MR-Bildgebung mit rechteckigen Gesichtsfeldern und rechteckigen Pixeln; dies führt ebenfalls zu einer Verkürzung der Bildgebungszeit. Eine weitere Möglichkeit, diese

Zeitspanne zu verringern, ohne die Voxelgröße zu beeinflussen, besteht in den Techniken der unvollständigen Abtastung des K-Raumes (graphische Matrix von digitalisierten MR-Daten, welche das MR-Bild repräsentieren). Wenn nur die Hälfte des K-Raumes in Phasenrichtung abgetastet wird, wird dies als „Partial Fourier“-Technik bezeichnet. Wenn nur die Hälfte der K-Linien in Frequenzrichtung gefüllt werden, wird dies als „Fractional Echo“ oder partielle Echo-Technik bezeichnet. Beide Techniken bedienen sich der Symmetrie des K-Raumes, indem der K-Raum nur zur Hälfte (oder etwas mehr) in Phasen- oder Frequenzrichtung erfasst wird. Der Rest des K-Raumes wird mathematisch interpoliert. Beide Methoden führen zu einer Halbierung der Messzeit sowie zu einer Reduktion des SNR, da der K-Raum nur zur Hälfte (oder etwas mehr) Informationen enthält. Diese Prinzipien sind bei den schnellen Sequenzen von erheblicher Bedeutung (Weishaupt 2009).

#### Anzahl der Messungen / Akquisitionen

Die Anzahl der Messungen („Number of Excitations“, NEX oder „Number of Signal Averages“, NSA) bezeichnet die Messwiederholungen des MR-Signals einer einzelnen Schicht. Die Anzahl der Messungen bestimmt auf Grund ihrer Proportionalität direkt die Aufnahmezeit, verlängert also bei Verdopplung der Messanzahl die Bildaufnahmezeit um das 2-fache. Eine Erhöhung der Anzahl der Messungen führt aber auch zu einer Erhöhung des SNR, da das SNR proportional zur Wurzel der Anzahl der Messungen ist (Weishaupt 2009).

#### Bildparameter

Sequenztyp, Echozeit (TE) und die Repetitionszeit (TR) beeinflussen ebenfalls das Signal-zu-Rausch Verhältnis. Je länger die TR, desto höher das SNR, wobei allerdings der T1-Effekt mit zunehmender Länge des TR verloren geht. Umgekehrt gilt: Je länger TE, desto geringer wird das SNR, doch ist bei kurzen TE-Zeiten kein T2-Kontrast vorhanden. Deshalb kann eine Erhöhung des SNR durch eine Reduktion von TE nur bei T1-gewichteten Sequenzen erreicht werden (Weishaupt 2009).

## Magnetfeldstärke

Bei höheren Magnetfeldstärken (z. B. 3 Tesla) wird die longitudinale Magnetisierung verstärkt, es richten sich mehr Protonen entlang der Hauptachse aus und das Magnetfeld ist stabiler, das Feld homogener. Damit wird auch das Signal-zu-Rausch Verhältnis höher. Dieser Vorteil von Hochfeldsystemen wird für eine Verbesserung der Ortsauflösung oder der (ultra-) schnellen Bildgebung genutzt (Weishaupt 2009).

## Spulen

Eine wirkungsvolle Möglichkeit, ohne Vergrößerung der Voxeldimension oder ohne Verlängerung der Bildaufnahmezeit das Signal-zu-Rausch Verhältnis zu erhöhen, besteht in der Wahl der Hochfrequenzspulen (HF-Spulen). Diese Spulen erzeugen nicht nur den HF-Impuls zur Anregung der Protonen, sondern dienen auch dem Empfang des erzeugten Signals. Das MR-Signal ist umso besser, je näher das zu untersuchende Objekt, bzw. Organ, der Spule anliegt. Im Allgemeinen sollte demnach die HF-Spule das zu untersuchende Objekt möglichst eng und nah umschließen (Weishaupt 2009).

Hochfrequenzspulen können einerseits nur auf Empfang des Signals geschaltet sein, wobei der HF-Impuls zur Anregung der Protonen von einer Körperspule („body coil“) erzeugt wird, die ein fester Bestandteil des MR-Gerätes ist. Andererseits können HF-Spulen als Sender und Empfänger eingesetzt werden (Weishaupt 2009).

Grundsätzlich unterscheidet man folgende Arten von HF-Spulen:

*Volumenspulen* können, wie gerade beschrieben, als reine Empfangsspule mit Hilfe der Körperspule des MR-Gerätes oder als kombinierte Sende- und Empfangsspule eingesetzt werden. Volumenspulen umgeben das zu untersuchende Objekt, bzw. Organ, vollständig. Beispiele für diese Art Spulen sind die Sattelspule („saddle-shaped coil“) und die Vogelkäfig-Spule („birdcage coil“). Die Körperspule („body coil“) des MR-Gerätes gehört auch zu den Volumenspulen, ebenso wie Kopf- oder Extremitätenspulen. Vorteil dieser Spulenart ist ihre Signalhomogenität (Weishaupt 2009).

*Oberflächenspulen* sind in den meisten Fällen reine Empfängerspulen und somit auf die Funktionsweise der Körperspule zur Erzeugung des HF-Impulses angewiesen. Es gibt aber auch Oberflächenspulen, welche das Signal senden und empfangen

können. Oberflächenspulen sind geeignet für die Wirbelsäulen- und Schulterdiagnostik oder für die Abbildung von kleineren anatomischen Strukturen, z. B. den Knochen im Karpalgelenk (Weishaupt 2009).

*Intrakavitäre Spulen* sind kleine Oberflächen-Empfängerspulen, welche in Körperöffnungen eingeführt werden, um damit eine Bildgebung in möglichst naher räumlicher Beziehung zum untersuchten Organ zu ermöglichen. In der klinischen Routine werden sie zur Abbildung der Prostata, der Zervix oder der rektalen Schleimhaut eingesetzt. Intrakavitäre Spulen für die intravaskuläre Bildgebung sind in Erprobung (Weishaupt 2009).

*Phased-Array-Spulen* können zum Senden und Empfangen des MR-Signals benutzt werden und bestehen aus mehreren einzelnen Spulen, welche in Serie oder parallel geschaltet sind. Das Signal wird von jeder einzelnen Spule detektiert und zum spuleneigenen Empfänger weitergeleitet. Die Bildrekonstruktion erfolgt schliesslich aus der Information der einzelnen Empfänger. Phased-Array-Spulen ermöglichen die Bildgebung mit hoher räumlicher Auflösung sowie eine Bildgebung über ein größeres Field-of-View, da sie sowohl das Signal-to-Noise-Ratio als auch die Homogenität des Signals verbessern (Weishaupt 2009).

## **2.4 Der Einfluss der Formalinfixierung auf die Abbildung von Hirngewebe mittels Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT)**

Für die konservierende Wirkung des Formaldehyds sind folgende Effekte verantwortlich: erstens die Bindung an nukleophile Reagenzien, zweitens die Vernetzung (Methylierung) funktioneller Gruppen durch seine polare Doppelbindung und drittens die Vernetzung der Aminogruppen zellulärer Proteine (Proteinfällung). Eine besondere Eigenschaft ist die Konservierung von Fetten und Lipiden, wodurch die Hirn- und Rückenmarksstrukturen erhalten bleiben (Feldmann 1973, Fox et al 1985). Für die Konservierung der Präparate mittels 10%igem Formalin liegen laut Literatur Quellungs- bzw. Schrumpfungartefakte von 4-6 % des Gehirnvolumens vor. Es entstehen geringgradige Ödeme oder Schrumpfungen (Blum 1894; Dam 1979, Fox et al. 1985).

Zur Darstellung morphologischer Details in magnetresonanztomographischen Aufnahmen ist neben einer adäquaten Auflösung auch ein ausreichend hoher Kontrast von entscheidender Bedeutung. Dies wird insbesondere bei der Unterscheidung zwischen grauer und weißer Hirnsubstanz wichtig. Im Verlauf der Fixation mittels Formalin verändert sich bei der Untersuchung von biologischen Geweben in einem Ganzkörper-Tomographen mit 1,5 Tesla die Bildqualität deutlich. Nach der Fixation ist der Kontrast zwischen grauer und weißer Substanz stark vermindert (Longerich 1989); das Bild wird inhomogen und „verrauscht“. Insbesondere gilt dies für die T1-gewichteten Bilder (Longerich 1989). Zur Erstellung kontrastreicher Aufnahmen müssen die physikalisch-technischen Aufnahmeparameter unter dem Einfluss von Formalin an das Kontrastverhalten der perfundierten Köpfe angepasst werden.

Sowohl in den T1- als auch in den T2-gewichteten Aufnahmen ist bei einer nahezu gleichbleibenden Signalintensität, jedoch eine Abnahme des Kontrastes zwischen grauer und weißer Substanz in Abhängigkeit der Einwirkzeit festzustellen (Schmidt 2006). Eine Abnahme des Bildkontrastes kommt durch die Veränderung der Signalintensität der einzelnen neuronalen Gewebe (graue und weiße Substanz) zustande, d. h. durch die zunehmende Angleichung der Signalintensität in T1- und T2-gewichteten Scans sinkt der Kontrast zwischen den beiden Geweben beträchtlich. Diese Veränderungen in der Signalintensität beruhen vermutlich auf der Veränderung der T1- und T2-Relaxationszeit durch das Formalin (Longerich 1989).

Im Vergleich der protonengewichteten Sequenzen über die Einwirkzeit des Formalins bei fixierten Köpfen zeigt sich eine Absenkung der Signalintensität nach längerer Fixation (über 1 Jahr) für die graue Substanz, jedoch ein Anstieg der Signalintensitäten für die weiße Substanz und hier sogar über den Ausgangswert hinaus (Longerich 1989). Folglich steigt der Kontrast in den protonengewichteten Aufnahmen Formalin-fixierter Gehirne im Vergleich zu den nativen Aufnahmen sogar noch an (Schmidt 2006). Durch die Umkehr der Signalintensitäten ist eine mehr oder minder ausgeprägte *Kontrastinversion* der fixierten Präparate gegenüber den nativen ersichtlich (Schmidt 2006). Hierbei stellt sich die graue Substanz hyperintens und die weiße Substanz hypointens dar. Die optimalen Abbildungsmodalitäten für Formalin-fixierte Präparate scheinen folglich die protonengewichteten (PDW) Aufnahmemodalitäten zu sein (Schmidt 2006). Um die bestmögliche Bilddarstellung zu erhalten, wird in dieser Studie eine protonendichte gewichtete transversale Sequenz gewählt, um so viele Details wie möglich artefaktfrei darzustellen. Zwar ist nicht alleine die Gewichtung einer Sequenz für einen Detailreichtum verantwortliche, sondern hier spielen viele weitere Bildparameter eine Rolle. Ziel ist es, detailreiche magnetresonanztomographische Aufnahmen zu erzeugen, die einen Vergleich mit der Histologie erlauben und für weitere Studien als Vergleichsgrundlage dienen können.

### 3 Material und Methoden

Als Untersuchungsmaterial dieser Studie werden 20 frische Schafgehirne unterschiedlicher Rassen herangezogen. Einschlusskriterium für diese Studie ist eine uneingeschränkte Schlachttieruntersuchung sowie eine Tauglichkeit des Schlachtkörpers, insbesondere im Hinblick auf entzündliche Veränderungen der regionären Lymphknoten. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass ein elektrisches Betäubungsverfahren dem Schlachtprozess vorangeht, da der Bolzenschuss eine weitere Untersuchung in dieser Studie unmöglich macht. Der größte Anteil der zu untersuchenden Schafe ist zwischen fünf und acht Monaten alt, aber auch deutlich ältere Tiere sind in diese Untersuchung miteinbezogen (Tabelle 2). Das Alter der Tiere wird an Hand der Zahnalterbeurteilung geschätzt.

Nach Absetzen des Kopfes im Atlantooccipitalgelenk vom Schlachttier wird eine Immersionfixierung mittels 10%igem Formalin (1 Teil 36%iges wässrige Formaldehydlösung (100%iges Formalin) und 9 Teile Wasser) durchgeführt.

|                | Geschlecht | Alter [Jahren] | Gewicht [kg] |
|----------------|------------|----------------|--------------|
| Schaf 0 (Test) | männlich   | <1             | 73           |
| Schaf 1        | männlich   | <1             | 81           |
| Schaf 2        | männlich   | <1             | 80           |
| Schaf 3        | männlich   | <1             | 77           |
| Schaf 4        | weiblich   | >3             | 115          |
| Schaf 5        | weiblich   | >3             | 107          |
| Schaf 6        | weiblich   | >3             | 103          |
| Schaf 7        | männlich   | >3             | 129          |
| Schaf 8        | männlich   | <1             | 60           |
| Schaf 9        | männlich   | >3             | 98           |
| Schaf 10       | weiblich   | <1             | 75           |
| Schaf 11       | männlich   | <1             | 65           |
| Schaf 12       | weiblich   | <1             | 58           |
| Schaf 13       | männlich   | <1             | 84           |
| Schaf 14       | männlich   | <1             | 68           |
| Schaf 15       | weiblich   | <1             | 62           |
| Schaf 16       | weiblich   | <1             | 72           |
| Schaf 17       | weiblich   | >3             | 94           |
| Schaf 18       | männlich   | <1             | 81           |
| Schaf 19       | männlich   | <1             | 92           |
| Schaf 20       | weiblich   | <1             | 79           |

**Tabelle 2:**

**Auflistung der Patienteneigenschaften inklusive des geschätzten Zahnalters.**

Um eine bessere Fixierung bzw. eine größere Oberfläche zur Fixierung zu schaffen, wird ein rechteckiger Teil des Schädeldaches (Os occipitale, Os parietale und Os frontale) entfernt. Vom Tod des Tieres bis zur Fixierung mittels Formalin vergehen zwischen 20-45 Minuten.

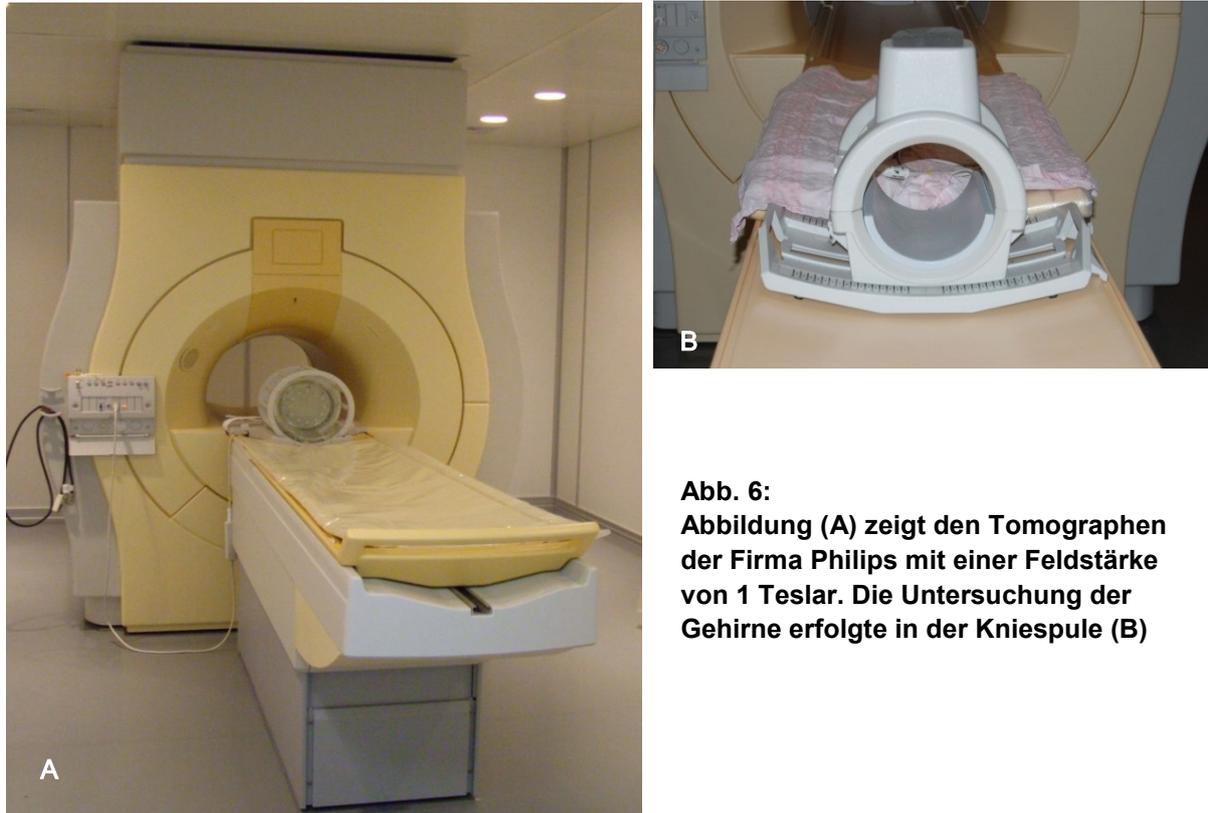
### Altersbeurteilung

Eine eindeutige Altersbeurteilung ist für diese Studie nicht essentiell, da diese Studie den Normalbefund des adulten Schafgehirnes darstellen soll. Dennoch erfolgt in dieser Studie eine Altersbeurteilung auf Grund des Zahnwechsels (Table 2). Der Zahnwechsel ist abhängig von individueller Veranlagung. Ein Wechsel des I1 wird im Alter von einem Jahr erwartet, der 2. Schneidezahn (Incisivus) wechselt im Alter von eineinhalb Jahren, gefolgt vom I3 nach zweieinviertel Jahren. Nach dem Wechsel der Eckzähne mit drei bis dreieinhalb Jahren ist keine genauere Altersbeurteilung mehr möglich (Baumgartner 2002).

## **3.1 Allgemeine Versuchsanordnung**

### **3.1.1 Magnetresonanztomographie der Schafgehirne**

Alle Gehirne werden nach der Fixierung mit Formalin in situ mit einem Ganzkörper-Tomographen (Philips Gyroscan) mit einer Feldstärke von 1 Tesla in der Klinik für Kleintiere der Justus-Liebig Universität Giessen untersucht (Abbildung 6). Die in Plastikhüllen verpackten Schädel (so soll eine Austrocknung einerseits und eine Kontamination des Gerätes andererseits verhindern werden) werden zum größten Teil in einer Kniespule (in der Humanmedizin zur Untersuchung von Kniegelenken) untersucht. Die Köpfe der älteren Tiere sind auf Grund der Größe mittels einer C3 Oberflächenspule, die unmittelbar dem Schädeldach anliegend platziert wird, gescannt worden. Das Magnetfeld wird mittels Laserpoint zentriert. Nach Ermittlung der optimalen Aufnahmeparameter werden die Gehirne unter standardisierten Einstellungen einer Magnetresonanztomographie unterzogen. Nach einer Übersichtsaufnahme werden Aufnahmen in sagittaler, dorsaler und transversaler Ausleserichtung angefertigt.



**Abb. 6:**  
Abbildung (A) zeigt den Tomographen der Firma Philips mit einer Feldstärke von 1 Teslar. Die Untersuchung der Gehirne erfolgte in der Kniespule (B)

Die Hauptausleserichtung in transversaler Ebene wird im 90° Winkel zum Hirnstamm bzw. zur Schädelbasis angelegt. Zur Untersuchung der Gehirne werden unterschiedliche Sequenzen verwendet. Zum einen werden bei einem Großteil der Gehirne T2-gewichtete Sequenzen durchgeführt, da es sich bei diesen Sequenzen um klinisch relevante Sequenzen handelt. Der andere Teil wird mittels Protonendichte-gewichteten Sequenzen untersucht. Die Aufnahmeparameter sind aus Tabelle 3 zu entnehmen. Um eine Bildoptimierung, beziehungsweise detailreiche Bilder, zur anatomischen Beschreibung zu erzeugen, wird die Untersuchungszeit bei dem Schafschädel Nr. 10 um ein Vielfaches verlängert. Für diese Scans ist ein protonengewichteter 3D-Aufnahmemodus gewählt worden. Auf Grund der vielfältigen Einstellungsmöglichkeiten zur Erzeugung eines Schnittbildes wird in dieser Studie mit einigen Parametern versucht eine Optimierung der Aufnahmeparameter zu erzielen. Es werden nicht nur die Gewichtung der Sequenzen (T2 und PDW) und die Schnittebenen (sagittal, dorsal und transversal), sondern auch Parameter wie das Gesichtsfeld (FOV), die Matrix, die Anzahl der Aquisitionen (NSA) sowie auch die Schichtdicke (Slicethickness) und damit auch die Anzahl der Schichten variiert.

| Nr. | Ebene       | Sequenz | FOV [mm] | Matrix   | NSA | Slicethickness [mm] | Gab [mm] | Anzahl Slices | Scantime [hh:mm:ss] | TR [ms] | TE [ms] |
|-----|-------------|---------|----------|----------|-----|---------------------|----------|---------------|---------------------|---------|---------|
| 0   | sagittal    | T2W_TSE | 182      | 502x1024 | 32  | 3,0                 | 0,3      | 39            | 03:34:12            | 8450    | 108     |
|     | transversal | T2W_TSE | 182      | 461x1024 | 26  | 3,0                 | 0,3      | 45            | 03:03:48            | 9742    | 108     |
|     | dorsal      | T2W_TSE | 182      | 490x1024 | 26  | 3,0                 | 0,3      | 46            | 03:02:03            | 5001    | 108     |
| 1   | sagittal    | T2W_TSE | 212      | 464x1024 | 8   | 3,5                 | 0,3      | 18            | 00:24:26            | 1970    | 108     |
|     | transversal | T2W_TSE | 182      | 400x1024 | 6   | 4,0                 | 0,4      | 24            | 00:21:10            | 5269    | 108     |
|     | dorsal      | T2W_TSE | 212      | 448x1024 | 10  | 3,5                 | 0,3      | 18            | 00:23:19            | 1970    | 108     |
| 2   | sagittal    | T2W_TSE | 192      | 486x1024 | 32  | 2,5                 | 0,3      | 35            | 02:41:41            | 3989    | 108     |
|     | transversal | T2W_TSE | 202      | 461x1024 | 26  | 2,5                 | 0,3      | 45            | 02:46:24            | 9836    | 108     |
|     | dorsal      | T2W_TSE | 192      | 461x1024 | 26  | 2,5                 | 0,3      | 45            | 02:54:08            | 5087    | 108     |
| 3   | sagittal    | T2W_TSE | 182      | 486x1024 | 32  | 3,0                 | 0,3      | 33            | 02:36:18            | 7143    | 108     |
|     | transversal | T2W_TSE | 182      | 475x1024 | 26  | 3,0                 | 0,3      | 45            | 03:05:49            | 4986    | 108     |
|     | dorsal      | T2W_TSE | 182      | 461x1024 | 26  | 3,0                 | 0,3      | 42            | 02:41:17            | 9070    | 108     |
| 4   | sagittal    | T2W_TSE | 182      | 486x1024 | 32  | 3,0                 | 0,3      | 38            | 02:59:55            | 8222    | 108     |
|     | transversal | T2W_TSE | 182      | 461x1024 | 26  | 3,0                 | 0,3      | 45            | 02:59:03            | 4978    | 108     |
|     | dorsal      | T2W_TSE | 182      | 461x1024 | 26  | 3,0                 | 0,3      | 42            | 02:46:52            | 4639    | 108     |
| 5   | sagittal    | T2W_TSE | 192      | 517x1024 | 32  | 3,0                 | 0,3      | 35            | 02:57:58            | 7579    | 108     |
|     | transversal | T2W_TSE | 182      | 461x1024 | 26  | 3,0                 | 0,3      | 45            | 02:59:10            | 4981    | 108     |
|     | dorsal      | T2W_TSE | 182      | 461x1024 | 26  | 3,0                 | 0,3      | 42            | 02:47:13            | 4649    | 108     |
|     | dorsal      | PDW_TSE | 125      | 354x1024 | 2   | 1,5                 | 0        | 55            | 13:13:36            | 8500    | 30      |
| 6   | sagittal    | T2W_TSE | 182      | 486x1024 | 32  | 3,0                 | 0,3      | 40            | 03:09:29            | 8659    | 108     |
| 7   | sagittal    | T2W_TSE | 180      | 374x1024 | 3   | 3,0                 | 0,5      | 30            | 00:18:55            | 3500    | 155     |
|     | transversal | T2W_TSE | 180      | 331x1024 | 3   | 3,0                 | 0,5      | 30            | 00:16:27            | 3500    | 155     |
|     | dorsal      | T2W_TSE | 180      | 374x1024 | 3   | 3,0                 | 0,5      | 20            | 00:12:22            | 3500    | 155     |
|     | dorsal      | T2W_TSE | 172      | 512x512  | 26  | 2,0                 | -1,0     | 55            | 10:13:18            | 370     | 125     |
|     | dorsal      | T2W_TSE | 172      | 512x512  | 26  | 2,0                 | -1,0     | 55            | 10:13:18            | 370     | 125     |
| 8   | sagittal    | T2W_TSE | 250      | 205x512  | 4   | 3,0                 | 0,3      | 10            | 00:02:20            | 2030    | 100     |
|     | transversal | T2W_TSE | 250      | 205x512  | 4   | 3,0                 | 0,3      | 10            | 00:02:20            | 2030    | 100     |
|     | dorsal      | T2W_TSE | 250      | 205x512  | 4   | 3,0                 | 0,3      | 10            | 00:02:20            | 2030    | 100     |
|     | sagittal    | T2W_TSE | 182      | 486x1024 | 32  | 3,0                 | 0,3      | 33            | 02:44:10            | 3708    | 108     |
|     | transversal | T2W_TSE | 182      | 461x1024 | 26  | 3,0                 | 0,3      | 45            | 02:53:20            | 9747    | 108     |
|     | dorsal      | T2W_TSE | 182      | 461x1024 | 26  | 3,0                 | 0,3      | 42            | 02:41:22            | 9074    | 108     |
| 9   | sagittal    | T2W_TSE | 202      | 294x1024 | 3   | 4,0                 | 0,3      | 20            | 00:06:09            | 2196    | 108     |
|     | transversal | T2W_TSE | 192      | 512x1024 | 32  | 2,5                 | 0,3      | 32            | 03:10:04            | 3460    | 108     |
|     | dorsal      | T2W_TSE | 182      | 461x1024 | 28  | 3,0                 | 0,3      | 25            | 01:51:31            | 2879    | 108     |
|     | sagittal    | T2W_TSE | 182      | 486x1024 | 32  | 3,0                 | 0,3      | 33            | 02:36:18            | 7143    | 108     |
| 10  | dorsal      | PDW_TSE | 130      | 256x256  | 2   | 1,0                 | -0,5     | 107           | 02:28:26            | 1800    | 35      |
|     | dorsal      | PDW_TSE | 130      | 256x256  | 2   | 1,0                 | -0,5     | 107           | 08:14:44            | 1800    | 35      |
|     | sagittal    | PDW_TSE | 135      | 410x1024 | 2   | 2,0                 | -1,0     | 65            | 11:25:23            | 8500    | 30      |
|     | transversal | PDW_TSE | 160      | 394x1024 | 2   | 3,0                 | -1,5     | 64            | 07:40:17            | 8500    | 30      |
|     | dorsal      | PDW_TSE | 155      | 256x784  | 3   | 3,0                 | -1,5     | 56            | 03:15:13            | 8500    | 30      |
|     | dorsal      | PDW_TSE | 145      | 426x1024 | 2   | 3,0                 | -1,5     | 60            | 08:55:39            | 8500    | 30      |
|     | transversal | PDW_TSE | 145      | 426x1024 | 2   | 3,0                 | -1,5     | 63            | 09:25:24            | 8500    | 30      |
|     | sagittal    | PDW_TSE | 165      | 448x1024 | 2   | 3,0                 | -1,5     | 61            | 09:36:44            | 8500    | 30      |
|     | sagittal    | PDW_TSE | 165      | 448x1024 | 2   | 3,0                 | -1,5     | 61            | 09:36:44            | 8500    | 30      |
|     | sagittal    | PDW_TSE | 165      | 448x1024 | 2   | 3,0                 | -1,5     | 48            | 07:30:56            | 8500    | 30      |
|     | transversal | PDW_TSE | 155      | 256x560  | 2   | 2,0                 | -1,0     | 96            | 06:59:12            | 8500    | 30      |

| Nr. | Ebene       | Sequenz | FOV [mm] | Matrix   | NSA | Slicethickness [mm] | Gab [mm] | Anzahl Slices | Scantime [hh:mm:ss] | TR [ms] | TE [ms] |
|-----|-------------|---------|----------|----------|-----|---------------------|----------|---------------|---------------------|---------|---------|
| 11  | sagittal    | T2W_TSE | 190      | 320x448  | 6   | 3,0                 | 0,3      | 21            | 00:11:17            | 4575    | 108     |
|     | transversal | T2W_TSE | 200      | 289x784  | 6   | 3,0                 | 0,3      | 29            | 00:14:32            | 4000    | 85      |
|     | dorsal      | T2W_TSE | 190      | 336x672  | 4   | 3,0                 | 0,3      | 16            | 00:07:52            | 3496    | 108     |
| 12  | sagittal    | T2W_TSE | 180      | 317x640  | 8   | 3,0                 | 0,3      | 20            | 00:16:41            | 4369    | 108     |
|     | transversal | T2W_TSE | 180      | 282x768  | 8   | 3,0                 | 0,3      | 28            | 00:18:51            | 6111    | 108     |
|     | dorsal      | T2W_TSE | 200      | 354x1024 | 8   | 3,0                 | 0,3      | 16            | 00:14:57            | 3489    | 108     |
| 13  | sagittal    | T2W_TSE | 180      | 317x640  | 8   | 3,0                 | 0,3      | 20            | 00:16:40            | 4367    | 108     |
|     | transversal | T2W_TSE | 180      | 282x768  | 8   | 3,0                 | 0,3      | 26            | 00:17:56            | 2862    | 108     |
|     | dorsal      | T2W_TSE | 190      | 326x1024 | 8   | 3,0                 | 0,3      | 18            | 00:14:32            | 1983    | 108     |
| 14  | sagittal    | T2W_TSE | 180      | 317x640  | 8   | 3,0                 | 0,3      | 20            | 00:16:41            | 4369    | 108     |
|     | transversal | T2W_TSE | 180      | 282x768  | 8   | 3,0                 | 0,3      | 28            | 00:18:53            | 6124    | 108     |
| 15  | sagittal    | T2W_TSE | 180      | 317x640  | 8   | 3,0                 | 0,3      | 20            | 00:16:31            | 4369    | 108     |
|     | transversal | T2W_TSE | 180      | 282x768  | 8   | 3,0                 | 0,3      | 28            | 00:18:51            | 6111    | 108     |
|     | dorsal      | T2W_TSE | 200      | 354x1024 | 8   | 3,0                 | 0,3      | 16            | 00:15:01            | 3489    | 108     |
| 16  | sagittal    | T2W_TSE | 180      | 317x640  | 8   | 3,0                 | 0,3      | 20            | 00:16:41            | 4371    | 108     |
|     | transversal | T2W_TSE | 180      | 282x768  | 8   | 3,0                 | 0,3      | 28            | 00:18:52            | 6119    | 108     |
|     | dorsal      | T2W_TSE | 200      | 354x1024 | 8   | 3,0                 | 0,3      | 15            | 00:12:44            | 3250    | 108     |
| 17  | sagittal    | T2W_TSE | 180      | 317x640  | 8   | 3,0                 | 0,3      | 20            | 00:16:40            | 4367    | 108     |
|     | transversal | T2W_TSE | 180      | 282x768  | 8   | 3,0                 | 0,3      | 26            | 00:17:56            | 2862    | 108     |
|     | dorsal      | T2W_TSE | 190      | 326x1024 | 8   | 3,0                 | 0,3      | 18            | 00:14:32            | 1983    | 108     |
| 18  | sagittal    | T2W_TSE | 180      | 317x640  | 8   | 3,0                 | 0,3      | 20            | 00:16:24            | 4296    | 108     |
|     | transversal | T2W_TSE | 180      | 282x768  | 8   | 3,0                 | 0,3      | 28            | 00:18:44            | 6075    | 108     |
|     | dorsal      | T2W_TSE | 190      | 313x1024 | 8   | 3,0                 | 0,3      | 18            | 00:13:58            | 1976    | 108     |
| 19  | sagittal    | T2W_TSE | 180      | 317x640  | 8   | 3,0                 | 0,3      | 20            | 00:16:41            | 4368    | 108     |
|     | transversal | T2W_TSE | 180      | 282x768  | 8   | 3,0                 | 0,3      | 28            | 00:18:43            | 6134    | 108     |
|     | dorsal      | T2W_TSE | 190      | 326x1024 | 8   | 3,0                 | 0,3      | 18            | 00:14:31            | 1993    | 108     |
| 20  | sagittal    | T2W_TSE | 180      | 317x640  | 8   | 3,0                 | 0,3      | 20            | 00:16:51            | 4369    | 108     |
|     | transversal | T2W_TSE | 180      | 282x768  | 8   | 3,0                 | 0,3      | 28            | 00:18:31            | 6112    | 108     |
|     | dorsal      | T2W_TSE | 200      | 354x1024 | 8   | 3,0                 | 0,3      | 16            | 00:13:57            | 3489    | 108     |

**Tabelle 3:**

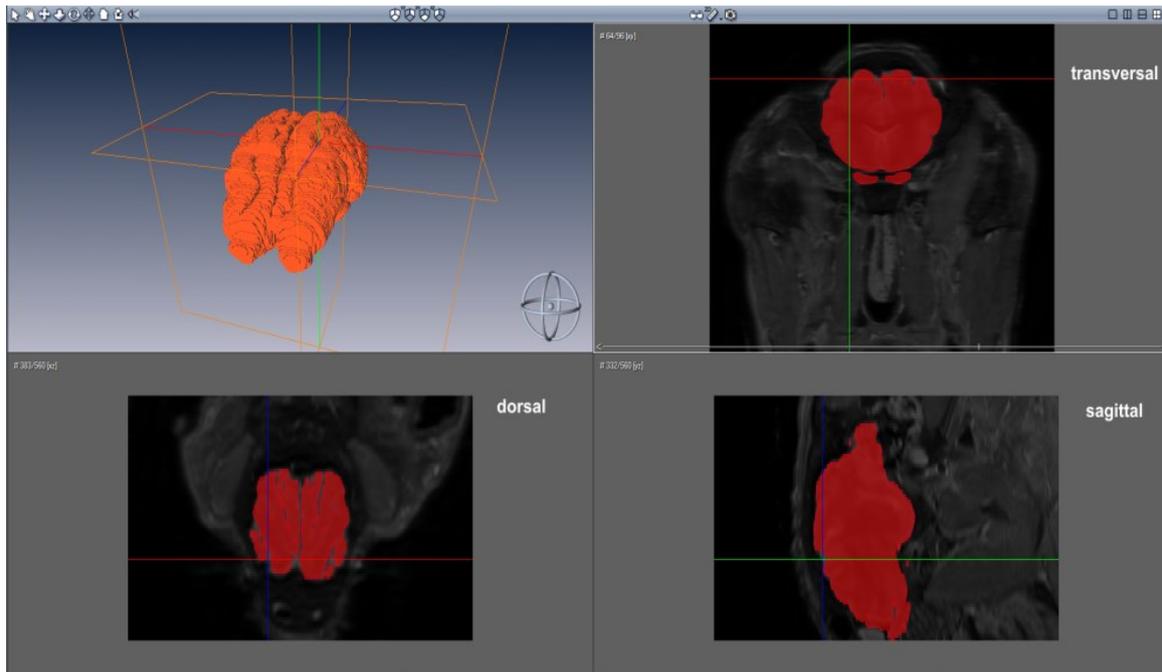
**Auflistung der angewendeten magnetresonanztomographischen Aufnahmeparameter der einzelnen Sequenzen.**

**FOV= Field of view, NSA= (number of signals averaged) Anzahl der Akquisitionen, slicethickness = Schichtdicke, gab = Abstand zwischen den Schichten, mm = Millimeter; TR = Repetitionszeit, TE = Echozeit, ms = Millisekunden**

### 3.1.2 Bearbeitung der Aufnahmen

Zur Durchführung einer anatomischen Beschreibung der Magnetresonanztomographischen Aufnahmen sind die Rohdaten im DICOM-Format, die sich mit handelsüblichen Bildbearbeitungsprogrammen nicht bearbeiten lassen, in ein kompatibles Speicherformat (TIFF-Format) umgeschrieben worden. Die entstandenen Datensätze werden mittels CoralDRAW Graphics Suite 12® bearbeitet, auf eine festgesetzte Größe zugeschnitten und die erkennbaren anatomischen Strukturen mit Hilfe der Literatur entsprechend der Nomina Anatomica Veterinaria (5. Edition, 2012) mittels Abkürzungen beschriftet. Die Größe der zugeschnittenen Bilderfolgen richtet sich nach der jeweils größten Ausdehnung des Schafgehirns, um einem Maßstabverlust im Einzelbild vorzubeugen. Somit wird verhindert, dass in zwei aufeinanderfolgenden Schnittebenen die gleiche Struktur unterschiedlich groß erscheint.

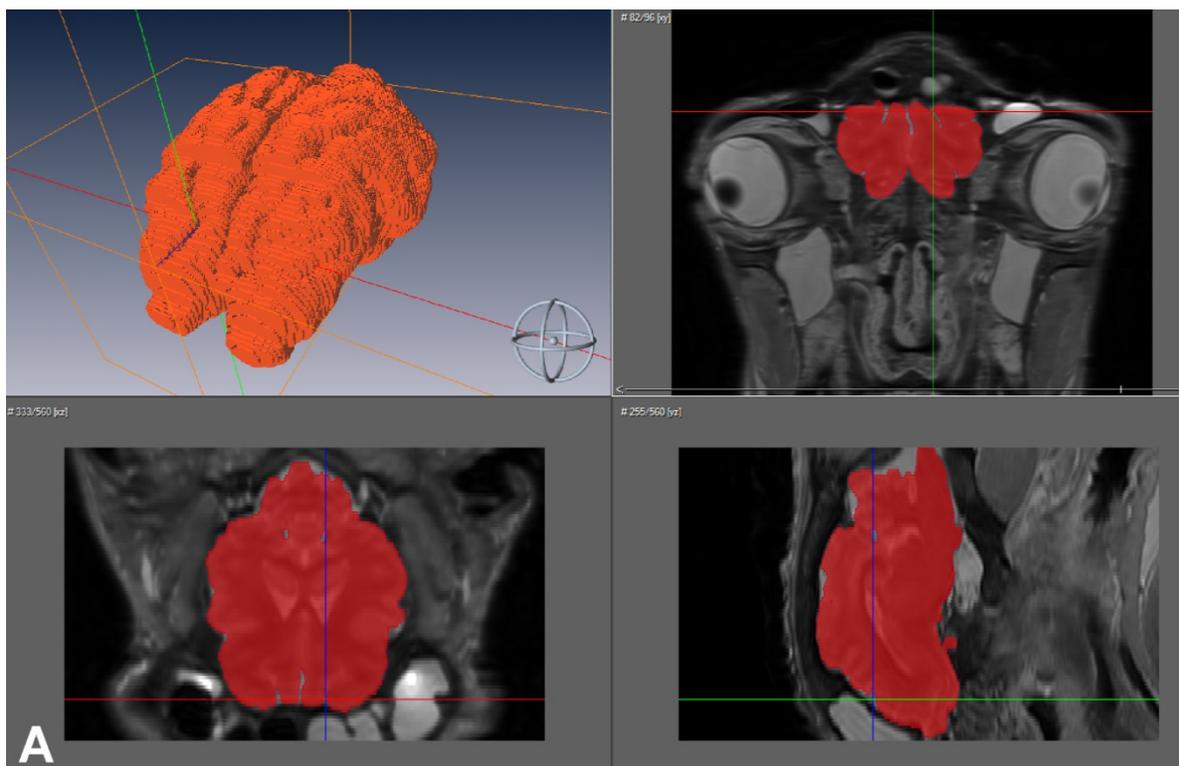
Zusätzlich wird eine drei-dimensionale Rekonstruktion aus den Aufnahmen des 3D-Datensatzes, mittels des Programmes AMIRA® (INDEED-Visual Concepts), erarbeitet. Dabei handelt es sich um ein Programm, mit dem aus digitalen Bildern, sei es aus magnetresonanztomographischen oder computer-tomographischen Aufnahmen, 3D-Modelle erzeugt werden können. Die exaktesten Ergebnisse sind jedoch aus Datensätzen zu erzielen, die bereits in einem 3D-Modus aufgenommen werden, und bei denen somit die Organgrenzen in den einzelnen Schnittebenen (sagittal, transversal und dorsal) genauer bestimmt werden können. Durch die Markierung der einzelnen Pixel, die Segmentation des untersuchten Objektes in jeder Schnittebene (Abbildung 7) und Kombination der markierten Flächen aus den 2D-Gehirnschnitten entsteht ein originalgetreues Modell der Gehirnstruktur, welches sich in Echtzeit frei drehen lässt. Eine exakte Positionierung jeder einzelnen Struktur in allen drei Ebenen, wie auch im 3D-Modell, wird durch ein Fadenkreuz sichtbar gemacht (Abbildung 8). Die Segmentation muss in allen drei Ebenen erfolgen, da in Folge der Markierung nur einer Ebene die Schichten im Relief noch als deutliche Stufen erkennbar sind (Abbildung 7). Mit Hilfe dieses 3D-Modelles wird bei der Darstellung der Bilder die genaue Schnittebene deutlich angegeben, um eine exakte Identifizierung der äußeren Strukturen, der Gyri und Sulci, sowie Strukturen innerhalb des Gehirnparenchyms vornehmen zu können und um eine Orientierungshilfe der Einzelschnitte zu liefern (Abbildung 8).

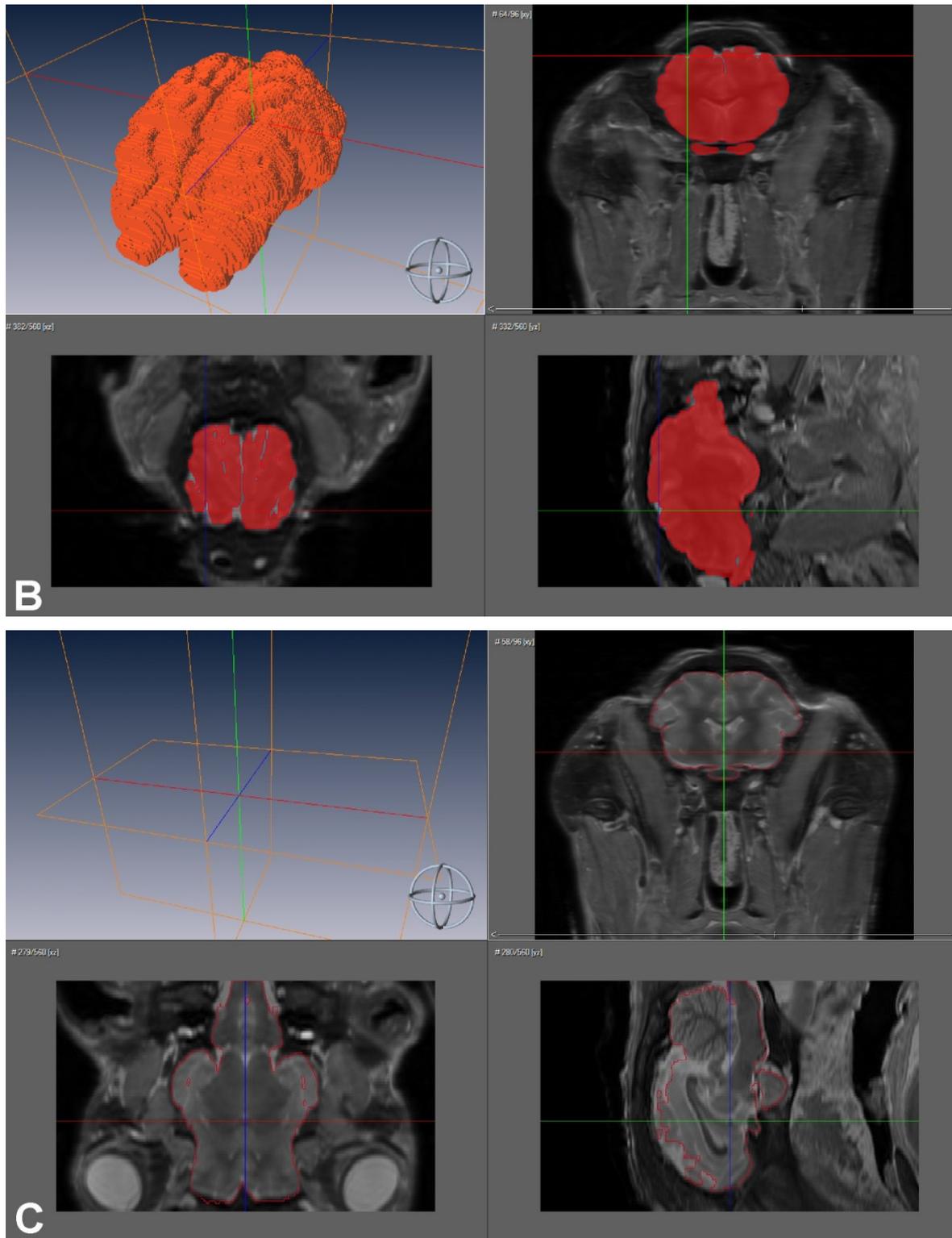


**Abb. 7:**

**Darstellung der Markierung.**

Die Segmentation wird zunächst in der transversalen Ebene durchgeführt und ein Schichtrelief mit deutlichen Stufen erstellt. Zusätzlich wird die Markierung in sagittaler und dorsaler Schichtausrichtung den Gehirnstrukturen und Grenzen angepasst.





**Abb. 8:**  
 Beispiele für die exakte Darstellung anatomischer Strukturen des Gehirns mit Hilfe korrespondierender transversaler (oben rechts), dorsaler (unten links), und sagittaler (unten rechts) Schnittebenen sowie des 3D-Modells (oben rechts) und des Fadenkreuzes.  
 Abbildung 8A: Sulcus coronalis rechts  
 Abbildung 8B: Sulcus suprasylvius links  
 Abbildung 8C: Commissura rostralis

Zu den transversalen Ebenen wird zusätzlich eine Serie histologischer Transversalschnitte, in einer Nissl-Färbung nach Standard Methode (Einbettung erfolgte in Paraffin), als Vergleich herangezogen. Diese Serie an histologischen Präparaten wird mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. H. A. Oelschläger von der Dr. Senckenbergischen Anatomie (Institut für Anatomie III) der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main zur Verfügung gestellt. Diese Schnitte werden nach einem Scanvorgang ebenfalls mittels des Bildbearbeitungsprogramms CoralDRAW Graphics Suite 12® zugeschnitten. Es erfolgt eine Aufbereitung des Hintergrundes (Entfernung von vorhandenen Glaskratzern und Staubartefakten) sowie eine geringe Anpassung des Kontrastes und der Sättigung der Farben. Gespeichert werden diese Daten wiederum im TIFF-Datei Format.

Eine Auswertung der anatomischen Strukturen des Gehirns erfolgt in der protonengewichteten 3D Sequenz des Schafes Nr.10 in der transversalen Ausleserichtung. Dabei wird einem Transversalschnitt der Magnetresonanztomographie ein korrespondierendes histologisches Präparat ohne mikroskopische Vergrößerung gegenübergestellt. Als Orientierungshilfe ist die Schnittebene im erstellten 3D-Model sowohl in der dorsalen als auch in der seitlichen Ansicht gekennzeichnet.

In dem protonengewichteten Aufnahmemodus gibt die Signalintensität eines Gewebes oder einer Region die Anzahl anregbarer Spins (Protonen) wieder. Ein Gewebe mit erhöhter Protonendichte ist in den Transversalschnitten im Vergleich zu protonenarmen Regionen hyperintens, also heller. Demzufolge sind hyperintense Bereiche Ansammlungen von Nervenzellen inklusive der Perikaryen und stellen die graue Substanz dar. Die hypointensen, also dunklen, Bereiche sind die Nervenfasern, Dendriten und Axone.

In Gegensatz zu den Nervenzellen, die ein feinkörniges bzw. grobscholliges Zytoplasma besitzen, findet sich im gesamten Axon kein granuläres endoplasmatisches Reticulum, keine Nissl-Substanz.

Somit ist die Nissl-Färbung vergleichbar mit der Kontrastierung einer protonengewichteten Sequenz in der Magnetresonanztomographie des Gehirns und wird zum Vergleich herangezogen.

Die Benennung und Beschriftung der anatomischen Strukturen wird nach Identifizierung mittels Abkürzungen mit Pfeilen vorgenommen, um eine Überlagerung benachbarter Strukturen durch Schrift zu vermeiden. Die gewählten Abkürzungen richten sich unter anderem nach dem englischsprachigen Begriff der anatomischen

Strukturen (im Abkürzungsverzeichnis sind Strukturen nach der Nomina anatomica veterinaria und der englischsprachigen Äquivalente aufgeführt), jedoch wird in der Beschreibung die Nomina anatomica veterinaria – Systema nervorum centrale (2012) verwendet. Die rechte Hemisphäre wird zur Charakterisierung der äußeren Strukturen, der Gyri und Sulci, herangezogen. Die Sulci erhalten hierbei meist die gleiche Abkürzung wie die gleichnamigen Gyri. Die Sulci werden lediglich durch einen anfänglichen Großbuchstaben gekennzeichnet. Die linke Seite der Transversalschnitte dient der Beschriftung der Anatomie des Parenchyms. So besteht weiterhin eine überlagerungsfreie Vergleichsmöglichkeit der Kerngebiete und kleineren Strukturen auf der unbeschrifteten rechten Seite des Gehirns.

Die Reihenfolge der Schnittebenen ist von kranial nach kaudal sortiert dargestellt und beginnt mit einem Schnitt auf Höhe des Bulbus olfactorius.

## 4 Ergebnisse

Die Oberfläche des Gehirns mit den wichtigsten Gyri und Sulci wird zur Orientierung im 3D-Modell des Schafgehirns mit dem fixierten Präparat verglichen (Abbildung 9). In der seitlichen Ansicht ist das Gehirn durch die ventrodorsal verlaufende Fissura

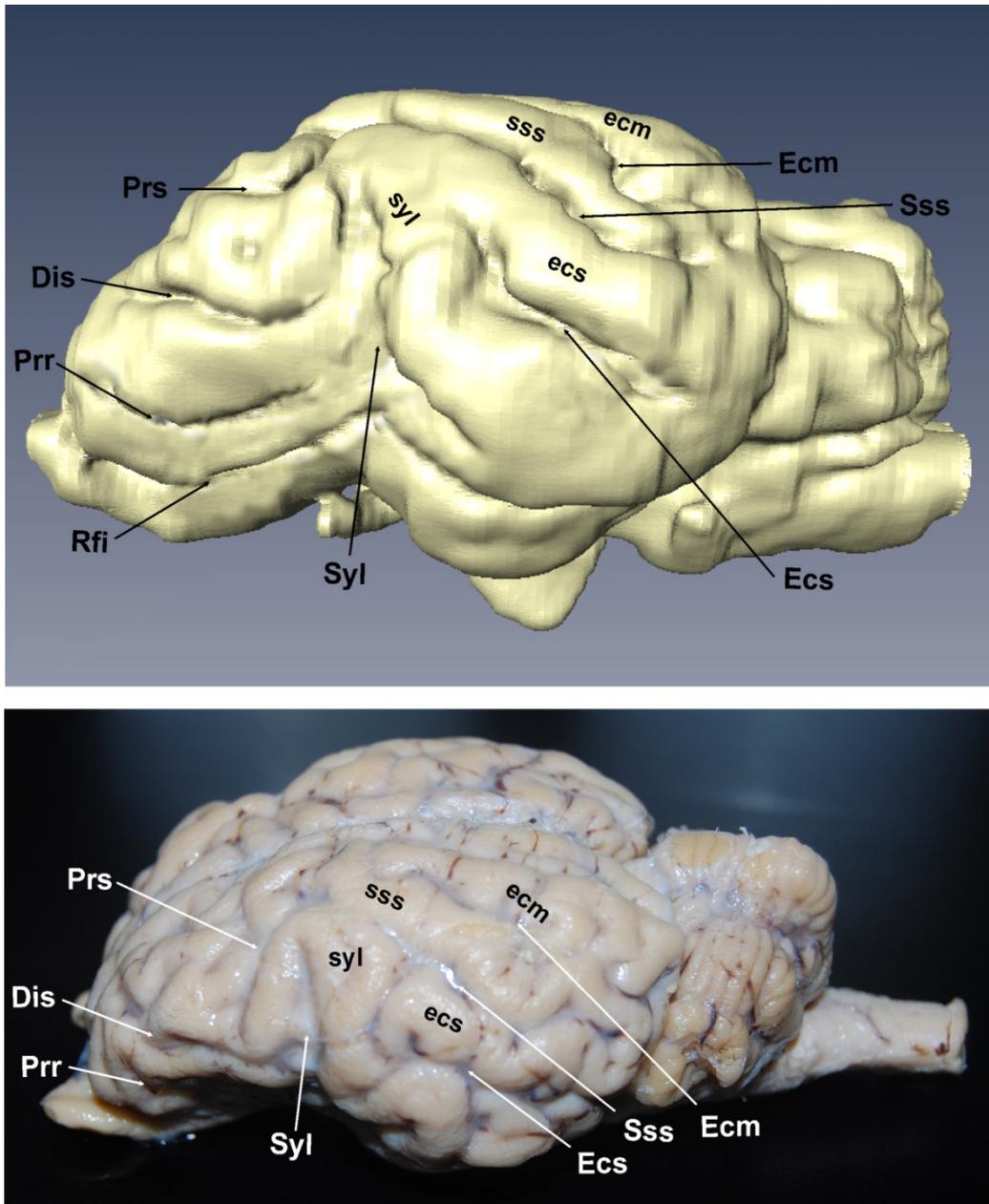


Abb. 9:

Seitliche Ansicht des 3D-Modells (oben) in Kombination mit fixiertem Nativ-Präparat (unten), inklusive darstellbarer Gyri und Sulci des Schafgehirns.

Dis: Sulcus diagonalis; Ecm: Sulcus ectomarginalis; ecm: Gyrus ectomarginalis

Ecs: Sulcus ectosylvius; ecs: Gyrus ectosylvius; Prr: Sulcus proreus; Prs: Sulcus präsylvius

Rfi: Sulcus rhinalis lateralis; Syl: Fissura sylvia; syl: Gyrus sylvius

sylvia [lateralis cerebri] (Syl) in einen kranialen und einen kaudalen Teil geteilt. Alle weiteren Sulci und Gyri verlaufen kranial oder kaudal der Fissura sylvia, beziehungsweise dorsal oder ventral um diese herum. Ventral verläuft der Sulcus rhinalis lateralis (Rfi), der auf Höhe der Fissura sylvia in einen kranialen und einen kaudalen Teil geteilt wird. Dorsal der Fissura sylvia und des oberhalb gelegenen Gyrus sylvius (syl) (pars rostralis und pars caudalis) verläuft bogenförmig, in einem pars rostralis, pars medius und pars caudalis, der Sulcus suprasylvius (Sss). Zur Medianen schließt sich der Gyrus suprasylvius (sss) an. In der seitlichen Projektion lassen sich kranial der Fissura sylvia der Sulcus proreus (Prr), Sulcus diagonalis (Dis) und der Sulcus präsylyvius (Prs) von ventral nach dorsal identifizieren. Kaudal der Fissura sylvia dehnt sich ventral des Sulcus suprasylvius caudalis der Gyrus ectosylvius (ecs) mit dem dazugehörigen Sulcus ectosylvius (Ecs) nach kaudal aus. In der Dorsalansicht (Abbildung 10) ist die Fissura sylvia mit dem bogenförmigen Gyrus sylvius im lateralen Bereich erkennbar. Die kaudal gelegenen Gyri und Sulci erstrecken sich mit einem Verlauf von kranio-medial nach kaudolateral ausgehend von der Fissura longitudinalis cerebri. Auf den Gyrus sylvius folgen von lateral nach medial der Sulcus suprasylvius (Sss) der Sulcus ectomarginalis (Ecm), Sulcus marginalis (Mar) und Sulcus endomarginalis (Enm) mit dem jeweils gleichnamigen Gyrus, der sich nach medial anschließt: Gyrus suprasylvius (sss), Gyrus ectomarginalis (ecm), Gyrus marginalis (mar) und Gyrus endomarginalis (enm), (Abbildung 10).

Kranial der Fissura sylvia zeigt sich der Sulcus coronalis (Cor) als der medialste Sulcus, der vom Sulcus ansatus (Ans) in Querrichtung gekreuzt wird.

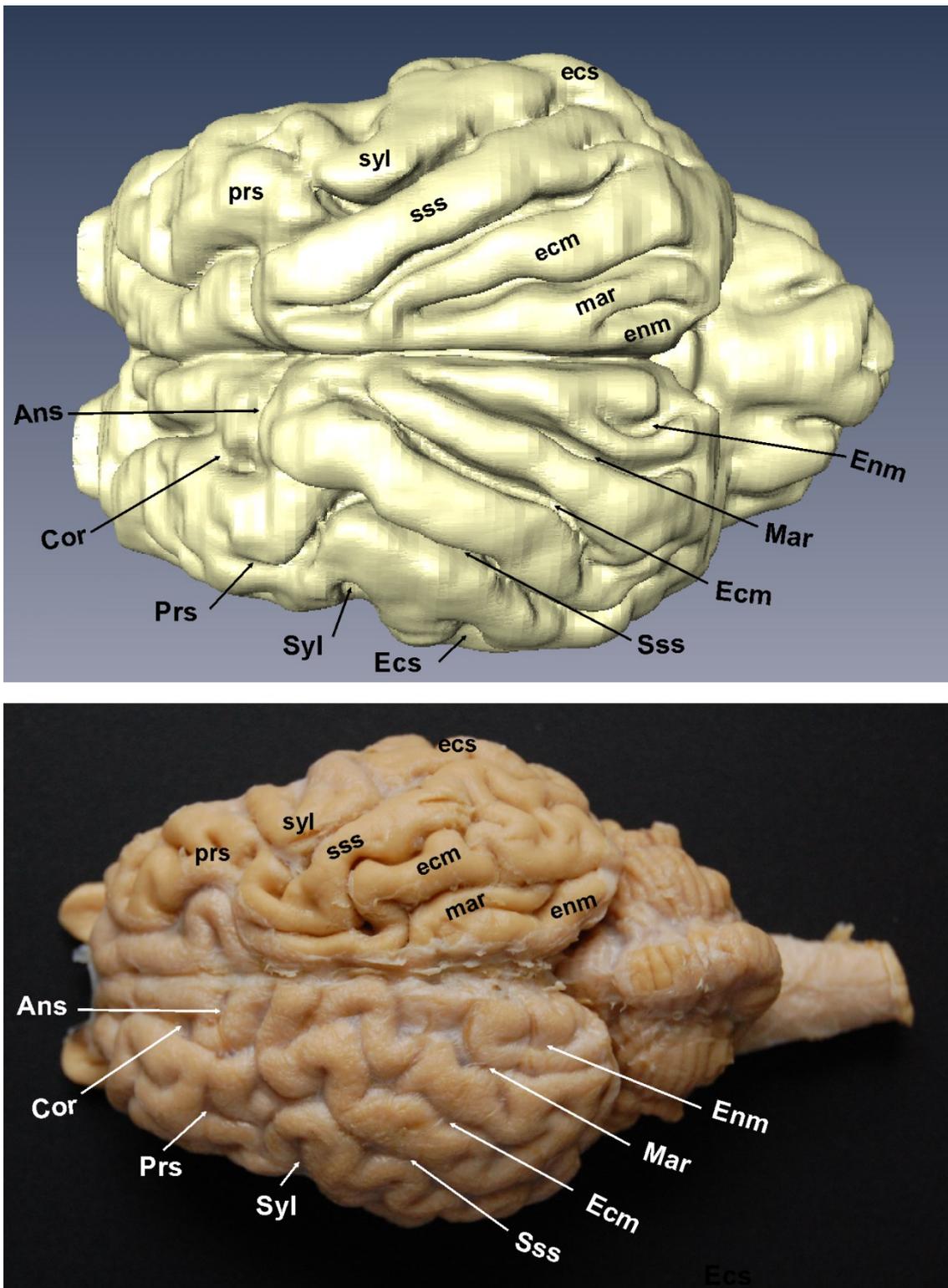
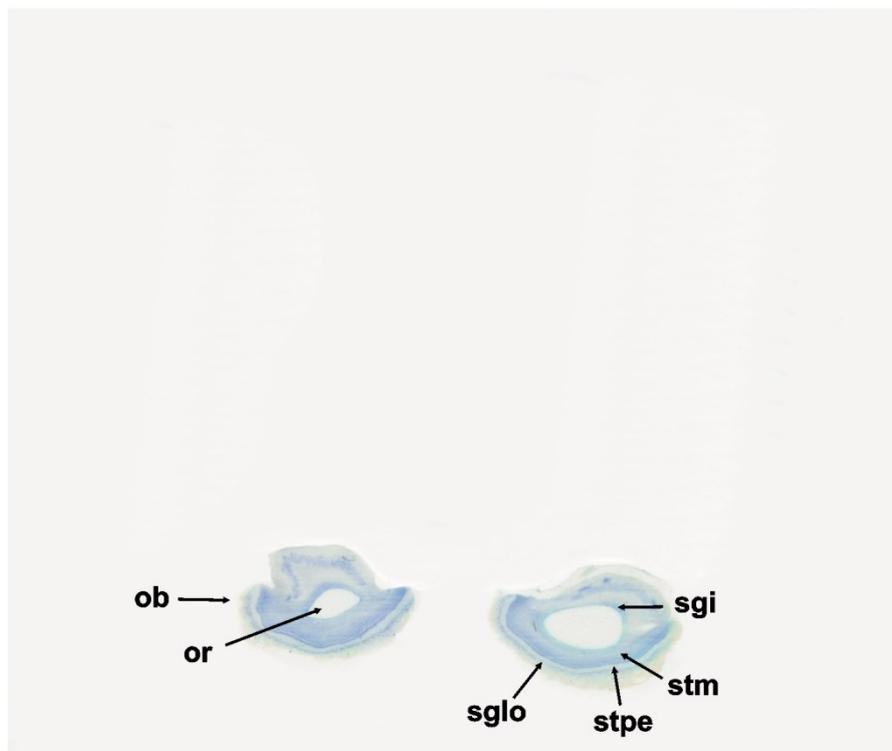
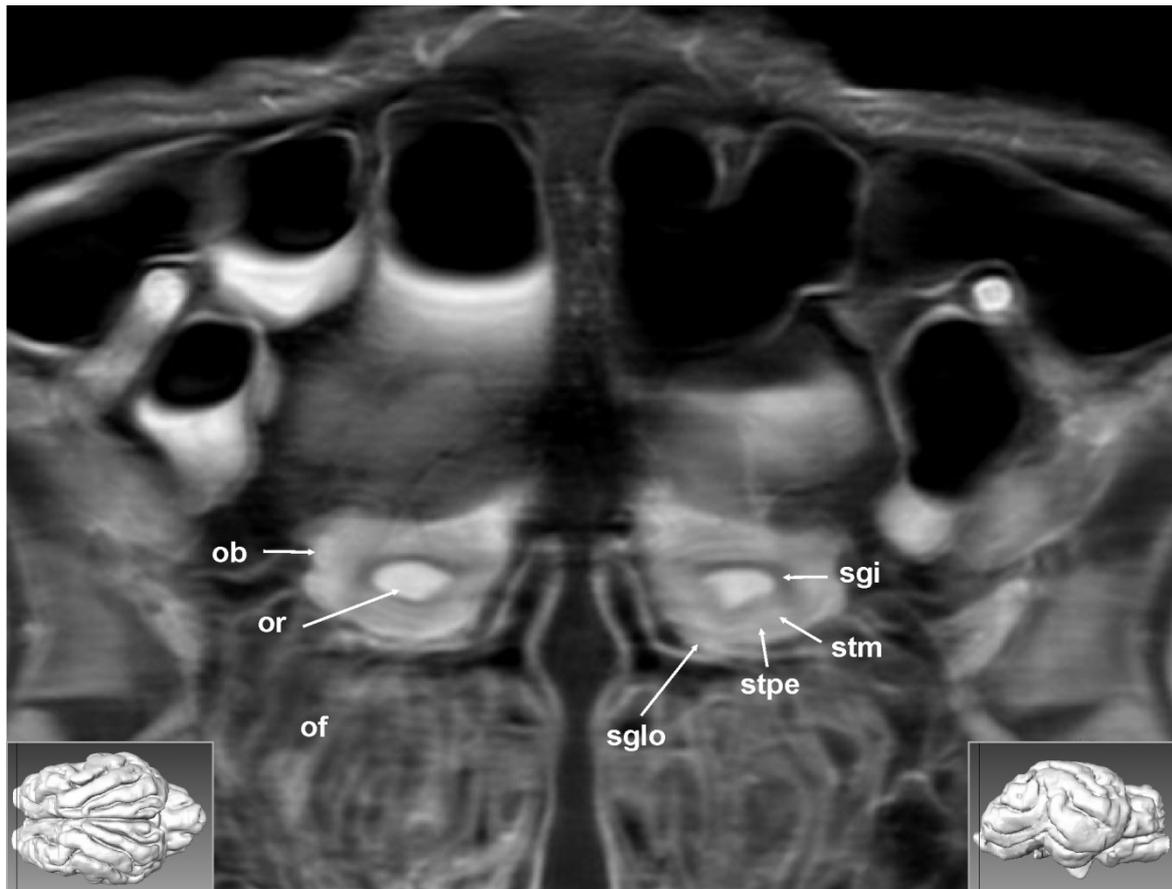


Abb. 10:

Dorsalansicht des 3D-Modells (oben) in Kombination mit fixiertem Nativ-Präparat (unten), inklusive darstellbarer Gyri und Sulci des Schafgehirns

**Ans:** Sulcus ansatus; **Cor:** Sulcus coronalis; **Ecm:** Sulcus ectomarginalis; **ecm:** Gyrus ectomarginalis; **Ecs:** Sulcus ectosylvius; **ecs:** Gyrus ectosylvius; **Enm:** Sulcus endomarginalis; **enm:** Gyrus endomarginalis; **Mar:** Sulcus marginalis; **mar:** Gyrus marginalis; **Prs:** Sulcus praesylvius; **prs:** Gyrus praesylvius; **Sss:** Sulcus suprasylvius; **sss:** Gyrus Suprasylvius; **Syl:** Fissura sylvia; **syl:** Gyrus sylvius

## 4.1 Transversalschnitt 1 :



### Abkürzungen :

ob: Bulbus olfactorius

of: Fila olfactoria

or: Recessus olfactorius

sgi: Stratum granulosum internum des Bulbus olfactorius

sglo: Stratum glomerulosum

stm: Stratum mitrale, Mitralzellen des Bulbus olfactorius

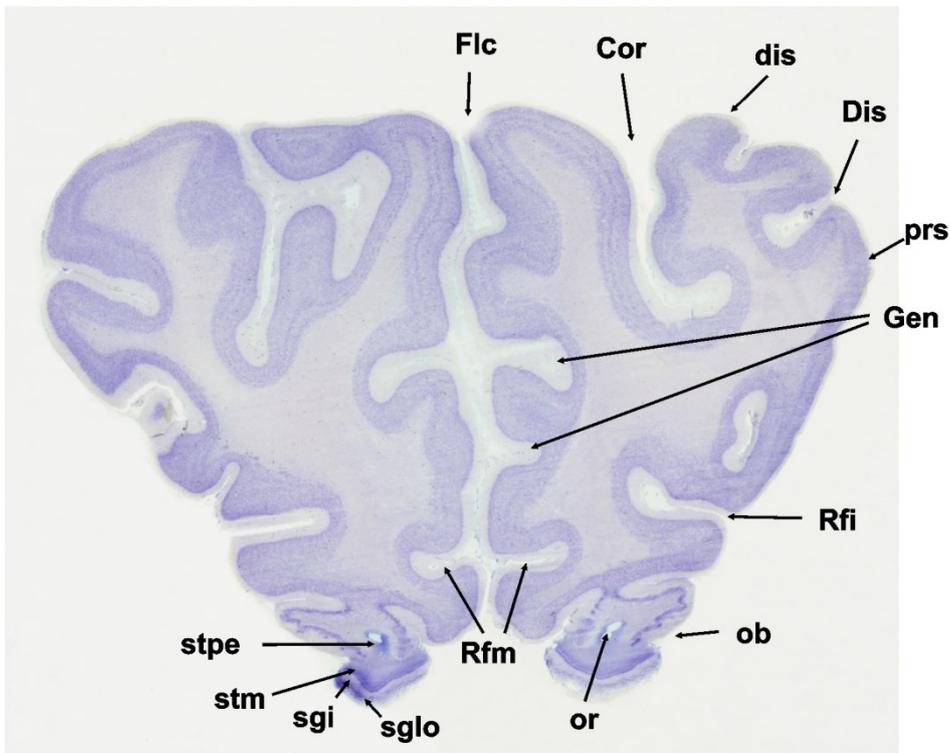
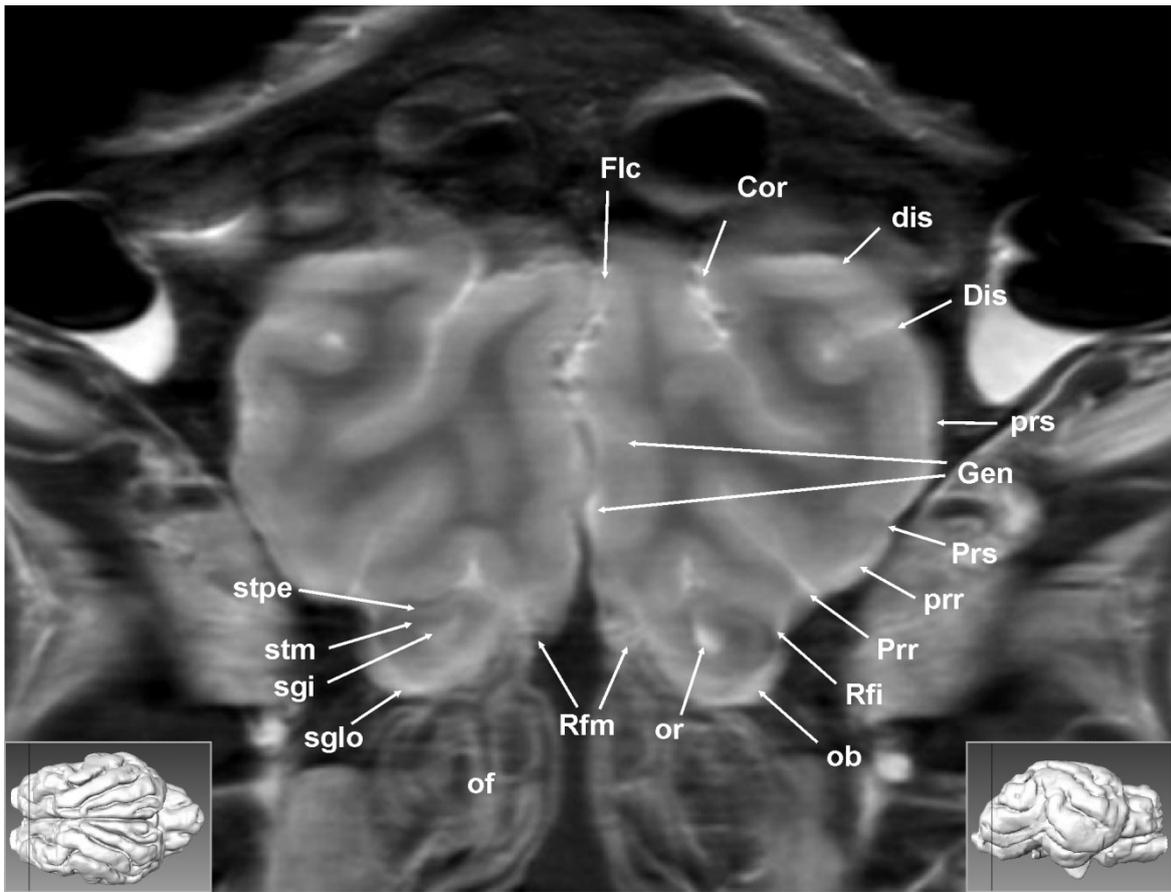
stpe: Stratum plexiforme externum des Bulbus olfactorius

### Anatomische Beschreibungen :

Die transversale Schnittebene verläuft durch den rechten und linken Riechkolben, Bulbus olfactorius (ob), der in der Fossa ethmoidea des Siebbeines gelegen ist.

Die Riechfäden, die Fila olfactoria (of) der Nervi olfactorii, sind Ansammlungen feiner, markloser Axone der Riechepithelzellen, die als äußere Schicht des Bulbus olfactorius (ob) im magnetresonanz-tomographischen Bild erkennbar sind. Dem Verlauf von außen nach innen folgend sind vier weitere Schichten des Bulbus olfactorius zu identifizieren. Die Glomerula olfactoria sind Dendritenverzweigungen, die im Stratum glomerulosum (sglo) mit Körnerzellen und Büschelzellen vorkommen. Das Stratum glomerulosum (sglo) ist in der Magnetresonanztomographie hyperintens (heller) im Vergleich zum anschließenden Stratum plexiforme externum (stpe), welches sich hypointens, also dunkel, darstellt. Dies resultiert aus der Faservielfalt und Zellarmut in dieser Schicht. Das Stratum mitrale (stm) mit einer Vielzahl an Mitralzellen grenzt sich zum Stratum plexiforme externum, ebenfalls auf Grund des Zellreichtums, als hyperintense Zone ab. Die beiden innersten Faserschichten, das Stratum plexiforme internum und Stratum glomerulosum internum, lassen sich im magnetresonanztomographischen Bild nicht einzeln identifizieren, und so ist die innere hypointense Schicht des Bulbus olfactorius als Stratum granulosum internum (sgi) bezeichnet. Die zentrale Aufhellung des Bulbus olfactorius stellt den hyperintens, liquorgefüllten Recessus olfactorius (or) dar, der mit den Seitenventrikeln in Verbindung steht.

4.2 Transversalschnitt 2 :



Abkürzungen :

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| Cor: Sulcus coronalis               | prs: Gyrus praesylvius                                    |
| Dis: Sulcus diagonalis              | Rfi: Fissura rhinalis lateralis                           |
| dis: Gyrus diagonalis               | Rfm: Fissura rhinalis medialis                            |
| Flc: Fissura longitudinalis cerebri | sgi: Stratum granulosum internum des Bulbus olfactorius   |
| Gen: Sulcus genualis                | sglo: Stratum glomerulosum                                |
| ob: Bulbus olfactorius              | stm: Stratum mitrale, Mitralzellen des Bulbus olfactorius |
| of: Fila olfactoria                 | stpe: Stratum plexiforme externum des Bulbus olfactorius  |
| or: Recessus olfactorius            |   |
| Prr: Sulcus proreus                 |   |
| pr: Gyrus proreus                   |   |
| Prs: Sulcus praesylvius             |   |

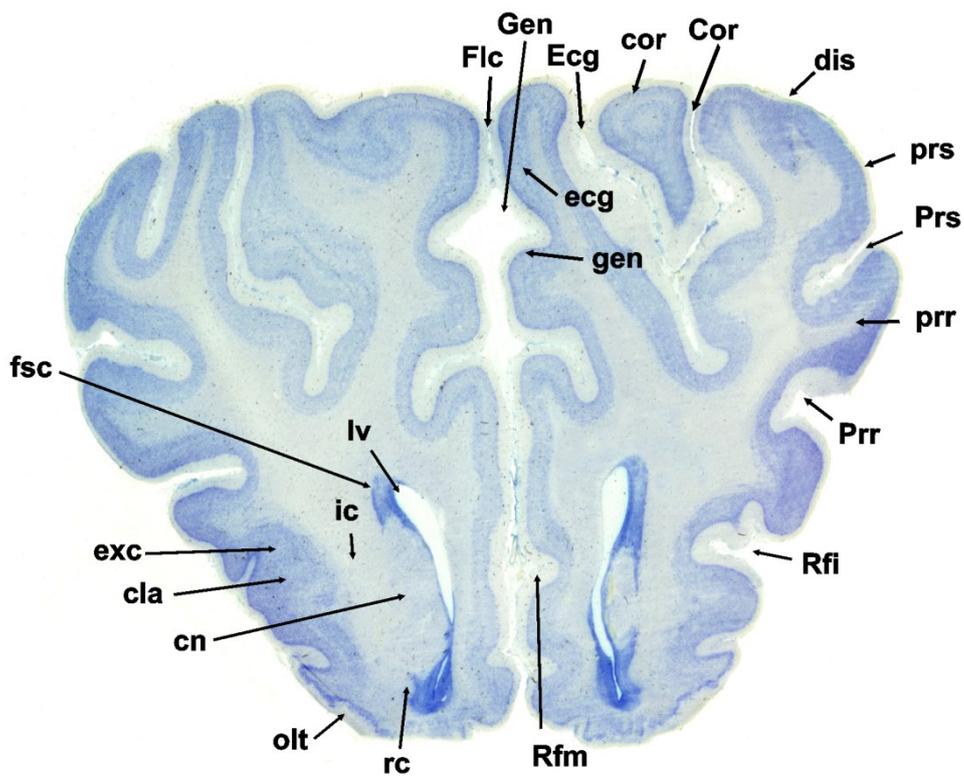
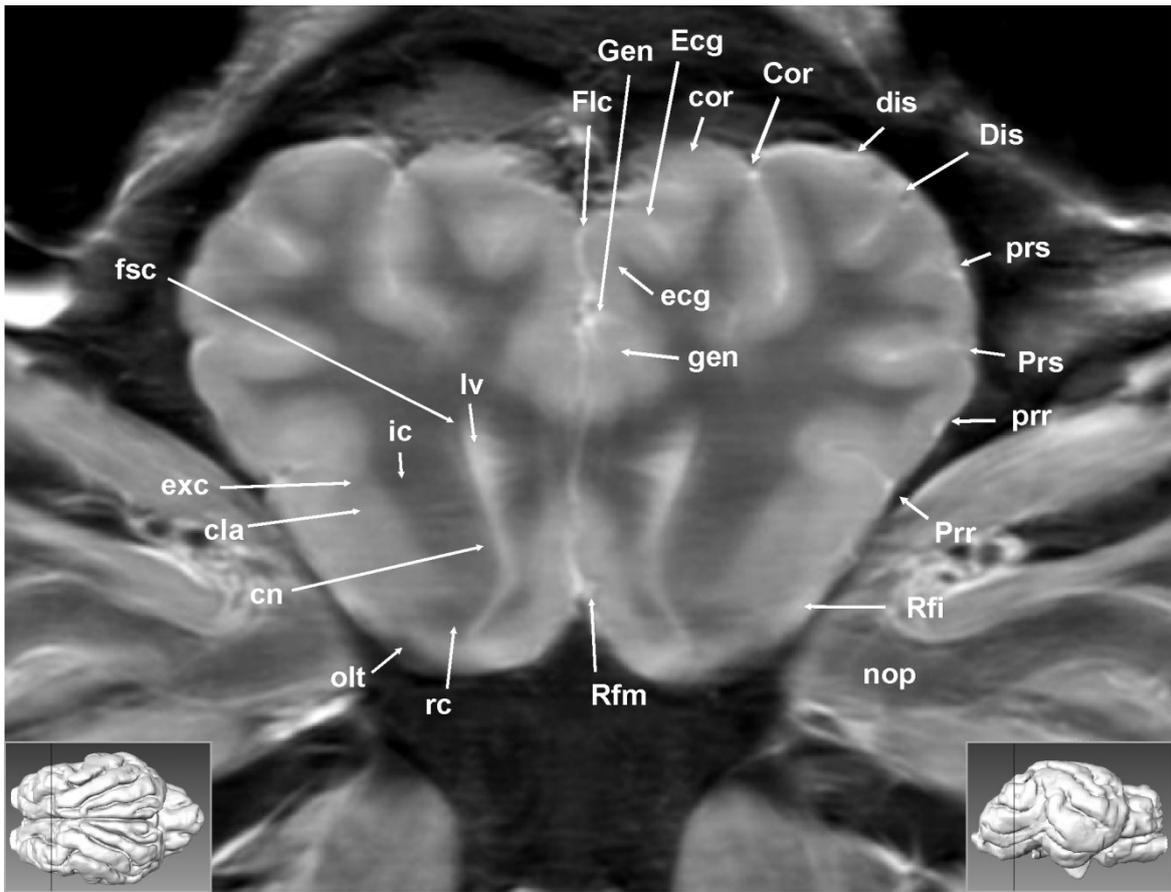
Anatomische Beschreibungen :

Neben den Schichten des Bulbus olfactorius (ob), dem Stratum glomerulosum (sglo), dem Stratum plexiforme externum (stpe), dem Stratum mitrale (stm) mit den Mitralzellen und dem Stratum granulosum internum (sgi) ist in dieser Schnittebene auf Höhe des Pedunculus olfactorius der Recessus olfactorius (or) als kleine hyperintense Liquoransammlung erkennbar. Der Bulbus olfactorius (ob) wird durch seitliche Einziehungen zu den Hemisphären abgegrenzt. Diese werden als Fissura rhinalis lateralis (Rfi) und Fissura rhinalis medialis (Rfm) identifiziert. Dorsal wird der Bulbus olfactorius (ob) vom Hirnmantel, dem Neopallium, mit seinen tierartspezifischen Gyri und Sulci bedeckt. Der Hirnmantel besteht aus den beiden Hemisphären, die im kranialen und kaudalen Teil vollständig durch die mediane Mantelspalte, die Fissura longitudinalis cerebri (Flc), getrennt werden. Dies ist in dieser kranialen transversalen Schnittebene nur im Ansatz erkennbar. Die laterale Oberfläche des Hirnmantels wird durch Furchen und Windungen bestimmt. Dorsal der Fissura rhinalis lateralis (Rfi) schließt sich der Sulcus proreus (Prr) mit dem zugehörigen, oberhalb liegenden Gyrus proreus (pr) an. Der Gyrus proreus (pr) wird durch den Sulcus praesylvius (Prs) nach dorsal begrenzt. In aufsteigender Folge ist der Sulcus diagonalis (Dis) die nächste Furche, die zwischen sich und dem Sulcus praesylvius (Prs) den Gyrus praesylvius (prs) einschließt. Nach dem dorsal gelegenen Gyrus diagonalis (dis) reiht sich der Sulcus coronalis (Cor) mit seinem dazugehörigen Sulcus coronalis (cor) neben die mediane Mantelspalte (Flc, Fissura longitudinalis cerebri) ein. An der medialen Wand der Hemisphären breitet sich von kranial nach kaudal eine deutliche Furche oberhalb des hier noch nicht

sichtbaren Hirnbalkens, Corpus callosum, aus. Dieser Sulcus besteht aus drei Teilen, die fließend ineinander übergehen. Im kranialen Teil, der in diesem Transversalschnitt erkennbar ist, handelt es sich um den Sulcus genualis (Gen). Dieser verläuft bogenförmig nach ventral und ist auf Grund dessen hier mit zwei Anschnitten vertreten.

Die Kontrastierung des Parenchyms läßt eine Abgrenzung zwischen der weißen Substanz und der grauen Substanz zu. Die faserreiche weiße Substanz zeigt sich in den protonengewichteten Sequenzen hypointens im Vergleich zu der hyperintenseren, zellreicheren grauen Substanz.

4.3 Transversalschnitt 3 :



Abkürzungen :

|                                     |                                 |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| cla: Claustrum                      | Gen: Sulcus genualis            |
| cn: Nucleus caudatus                | ic: Capsula interna             |
| Cor: Sulcus coronalis               | Iv: Ventriculi lateralis        |
| cor: Gyrus coronalis                | nop: Nervus opticus             |
| Dis: Sulcus diagonalis              | olt: Tractus olfactorius        |
| dis: Gyrus diagonalis               | Prr: Sulcus proreus             |
| Ecg: Sulcus ectogenualis            | pr: Gyrus proreus               |
| ecg: Gyrus ectogenualis             | Prs: Sulcus praesylyvius        |
| exc: Capsula extrema                | prs: Gyrus praesylyvius         |
| Flc: Fissura longitudinalis cerebri | Rfi: Fissura rhinalis lateralis |
| fsc: Fasciculus subcallosus         | Rfm: Fissura rhinalis medialis  |
| gen: Gyrus genualis                 | rc: Commissura rostralis        |

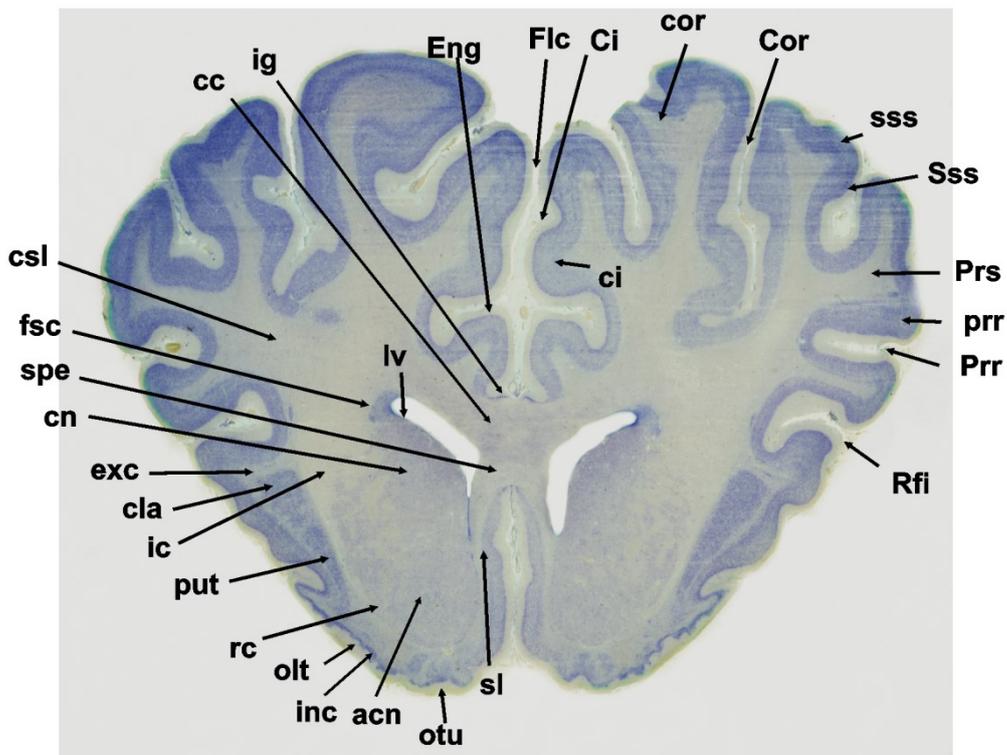
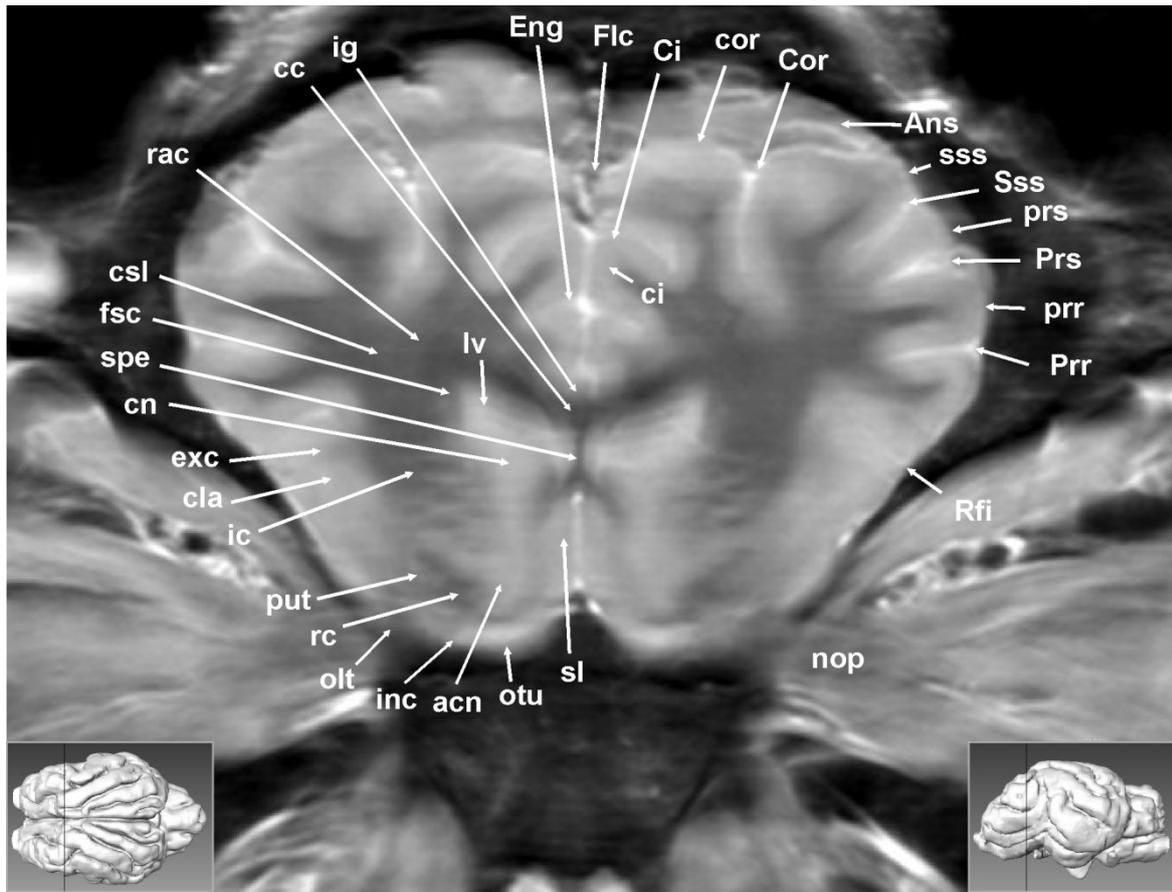
Anatomische Beschreibungen :

Die anatomischen Strukturen des Neopalliums, das sich vom Paleopallium durch die Fissura rhinalis lateralis (Rfi) und vom Archeopallium durch die Hippocampusformation abgrenzt, haben sich im Vergleich zu dem vorherigen magnetresonanztomographischen Transversalschnitt lediglich nach dorsal verlagert. Es wird der Gyrus proreus (pr) ventral vom Sulcus proreus (Prr) und dorsal vom Sulcus praesylyvius (Prs) flankiert. Den Gyrus praesylyvius (prs), der im Anschluß folgt, und den Gyrus diagonalis (dis) trennt der Sulcus diagonalis (Dis). Zwischen dem verhältnismäßig tiefen Sulcus coronalis (Cor) und dem Sulcus genualis (Gen) ist der sehr flache Sulcus ectogenualis (Ecg) an der Mantelkante erkennbar. Der Sulcus ectogenualis (Ecg) stellt die Grenze zwischen dem Gyrus coronalis (cor) auf der dorsalen Fläche der Hemisphäre und dem Gyrus ectogenualis (ecg) der medialen Hemisphärenfläche dar. Der Gyrus genualis (gen), der ventral des Sulcus genualis (Gen) liegt, bildet im weiteren Verlauf der Schnittebenen mit dem Gyrus cinguli und dem Gyrus splenius den größten Gyrus der medialen Hemisphäre. Die beiden Hemisphären erscheinen in dieser Schnittebene immer noch im Verlauf der Fissura longitudinalis cerebri (Flc) voneinander getrennt (durch eine feine hyperintense Linie erkennbar). In deren ventralen Bereich ist die Fissura rhinalis medialis (Rfm) als seichte Furche erkennbar.

Die Verbindung beider Hemisphären miteinander wird über die sogenannten Kommissuren verwirklicht. Es handelt sich um transversale doppelläufige Faserzüge, die Rindenbezirke miteinander verbinden. Die phylogenetisch älteste Kommissur ist

die Commissura rostralis (rc), die die Riechlappen und die Corpora amygdaloidea miteinander verbindet. In dieser Schnittebene sind die Faseranteile als hypointense Struktur nachzuvollziehen, die ventral des Nucleus lentiformis vorbeiziehen und im Corpus amygdaloideum, einem funktionellen Teil des Rhinencephalons, enden. Ebenso endet der Tractus olfactorius (olt) lateralis in diesen Teil des Lobus piriformis. Die Verbindung der Hemisphären mit den Stammanteilen des Telencephalon wird über den Streifenhügel, Corpus striatum, und das Zwischenhirn hergestellt. Hierzu gehören die aus dem Ganglienhügel hervorgehenden Basalganglien und Teile des Diencephalon. Einige der Basalganglien lassen sich auf Höhe dieser Schnittebene bereits finden. Der Schwanzkern, Nucleus caudatus (cn), liegt gemäß seines Verlaufes als keulenförmige, längliche Verdickung lateral dem Seitenventrikel (Ventrikulus lateralis, lv) an und bildet dessen laterale Begrenzung. Zwischen die Basalganglien zieht die innere Kapsel, Capsula interna (ic), die den Nucleus caudatus von den lateral gelegenen grauen Kerngebieten trennt. Diese Faserbündel stellen sich im magnetresonanz-tomographischen Bild hypointens dar. Das lateral zur Capsula interna (ic) gelegene hyperintense Areal, das Claustrum (cla), ebenfalls den Basalganglien zugehörig, wird von der Inselrinde durch die Faserbündel der Capsula extrema (exc) separiert. Eine weitere Differenzierung der ventral des Claustrum (cla) gelegenen hyperintensiven Strukturen ist in dieser Schnittebene noch nicht möglich. Der zweite Gehirnnerv, der Nervus opticus (nop), zieht von lateral in Richtung der Gehirnbasis und des Chiasma opticum.

4.4 Transversalschnitt 4 :



Abkürzungen :

|                                     |                                 |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| acn: Nucleus accumbens              | Iv: Ventriculi lateralis        |
| Ans: Sulcus ansatus                 | nop: Nervus opticus             |
| cc: Corpus callosum                 | olt: Tractus olfactorius        |
| Ci: Sulcus cinguli                  | otu: Tuberculum olfactorium     |
| ci: Gyrus cinguli                   | Prr: Sulcus proreus             |
| cla: Claustrum                      | pr: Gyrus proreus               |
| cn: Nucleus caudatus                | Prs: Sulcus praesylvius         |
| Cor: Sulcus coronalis               | prs: Gyrus praesylvius          |
| cor: Gyrus coronalis                | put: Putamen                    |
| csl: Centrum semiovale              | rac: Radiatio corporis callosi  |
| Eng: Sulcus endogenualis            | rc: Commissura rostralis        |
| exc: Capsula extrema                | Rfi: Fissura rhinalis lateralis |
| Flc: Fissura longitudinalis cerebri | spe: Septum pellucidum          |
| fsc: Fasciculus subcallosus         | Sss: Sulcus suprasylvius        |
| ic: Capsula interna                 | sss: Gyrus suprasylvius         |
| ig: Induseum griseum                | sl: Nuclei septi (lateralis)    |
| inc: Insula callejae                |                                 |

Anatomische Beschreibungen :

Zu den bereits bekannten Gyri und Sulci, Sulcus proreus (Prr), Gyrus proreus (pr), Sulcus praesylvius (Prs) und Gyrus praesylvius (prs) folgt in dorsaler Richtung auf Grund einer Einschnürung der Fissura sylvia in der nächsten Schnittebene ein Anschnitt des bogenförmig oberhalb des Gyrus sylvius verlaufenden Sulcus suprasylvius (Sss) mit seinem angrenzenden Gyrus suprasylvius (sss). Eine angedeutete Doppelkontur dorsal des Sulcus (Cor) und Gyrus coronalis (cor) lässt den Sulcus ansatus (Ans) vermuten, der durch seinen transversalen Verlauf von der Fissura longitudinalis cerebri (Flc) eigentlich in der transversalen Schnittebene nicht zu erkennen ist. Die deutliche Furche der medialen Hemisphäre wird im Bereich des Corpus callosum (cc) nicht mehr als Sulcus genualis (korrespondierend zum Genu des Corpus callosum) bezeichnet, sondern dem Gyrus cinguli (ci), namentlich angepasst als Sulcus cinguli (Ci), deklariert. Distal unmittelbar dem Corpus callosum (cc) als erster schwacher Sulcus erkennbar ist noch der Sulcus endogenualis (Eng). Eine vollständige Trennung zwischen beiden Hemisphären ist nun nicht mehr nachvollziehbar, da der Hirnbalken, das Corpus callosum (cc), als weitere Kommissur, neben der Commissura rostralis (rc), als hypointense Faserbahn ventral des Gyrus cinguli (ci) deutlich erkennbar ist und den Boden der Fissura longitudinalis

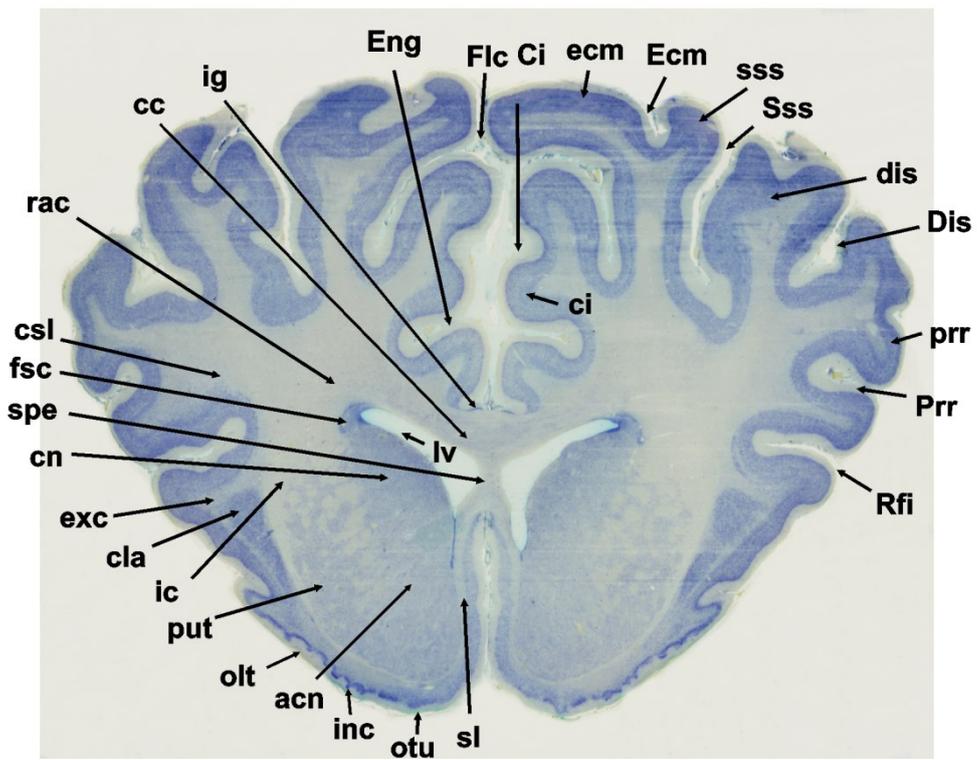
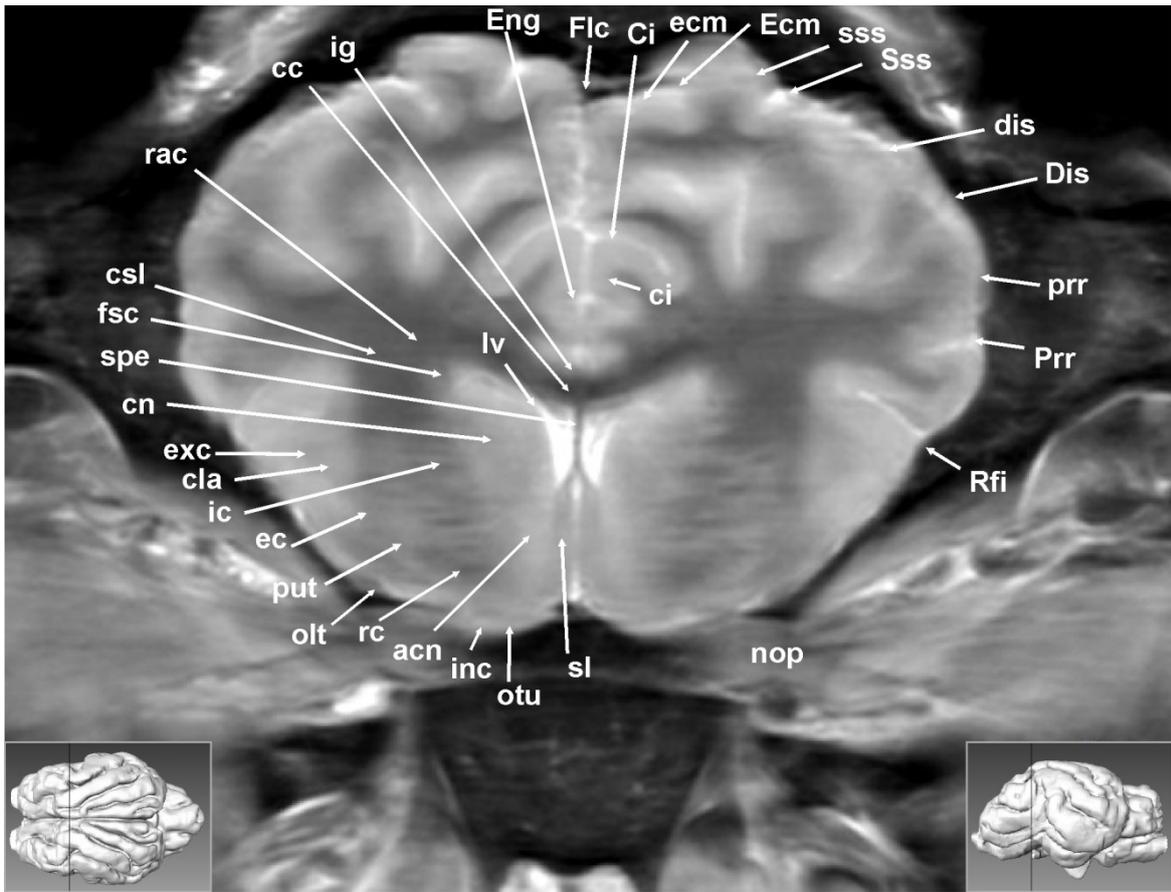
cerebri (F1c) bildet. Die Faserbahnen werden von den in den Markkörper, Centrum semiovale (csl), vordringenden Balkenstrahlen, Radiatio corporis callosi (rac), gebildet. Ein Rest Rindensubstanz des Archeopallium bedeckt das Corpus callosum (cc) und liegt als hyperintenses Induseum griseum (ig) dem Hirnbalken (cc) dorsal auf.

Zwischen den Seitenventrikeln (lv) ist das Septum pellucidum (spe) als mediane Trennwand der Ventriculi lateralis (lv) als hypointense Linie, ausgehend von Corpus callosum (cc), zu lokalisieren.

Die Basalganglien in dieser Schnittebene sind der Nucleus caudatus (cn) mit seinem angrenzenden Fasciculus subcallosus (fsc), das Claustrum (cla) und das Putamen (put). Das Claustrum (cla) wird, wie bereits erwähnt, durch die Capsula extrema (exc) nach dorsal von der Inselrinde getrennt. Das Putamen (put) liegt als hyperintenses Areal distal zum Claustrum und wird vom Nucleus caudatus (cn) durch die Capsula interna (ic) getrennt. Der Nucleus caudatus ist aber trotz der räumlichen Trennung via des Kerngebietes des Nucleus accumbens (acn) im ventralen Teil des Corpus striatum mit dem Putamen verbunden.

Der Übergang des Bulbus olfactorius über den Pedunculus olfactorius endet im Tuberculum olfactorium (otu). Es handelt sich um ein meist dreieckiges Riechfeld aus grauer Substanz (hyperintenses Signalverhalten), das bei *Ovis aries* meistens geringgradig vorgewölbt ist. Innerhalb des Tuberculum olfactorium (otu) werden Ansammlungen von Granulosazellen als Insula callejae (inc) bezeichnet, die auf Grund ihres Zellreichtums als deutliche hyperintense Strukturen in magnetresonanztomographischen protonengewichteten Sequenzen erkennbar sind. Lateral wird das Tuberculum olfactorium (otu) vom Tractus olfactorius (olt) lateralis flankiert. Rostral der Commissura rostralis (rc) ist das Tuberculum olfactorium (otu) an der Ausbildung der dünnen medialen Wand des lateralen Ventrikels als Area septalis beteiligt. Diese Area septalis enthält ein Kollektiv von Nuklei, die als Nuclei septi (sl) bezeichnet werden.

4.5 Transversalschnitt 5 :



Abkürzungen :

|                                     |                                 |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| acn: Nucleus accumbens              | ig: Indusium griseum            |
| cc: Corpus callosum                 | inc: Insula callejae            |
| Ci: Sulcus cinguli                  | Iv: Ventriculus lateralis       |
| ci: Gyrus cinguli                   | nop: Nervus opticus             |
| cla: Claustrum                      | olt: Tractus olfactorius        |
| cn: Nucleus caudatus                | otu: Tuberculum olfactorium     |
| csl: Centrum semilunare             | Prr: Sulcus proreus             |
| Dis: Sulcus diagonalis              | pr: Gyrus proreus               |
| dis: Gyrus diagonalis               | put: Putamen                    |
| ec: Capsula externa                 | rac: Radiatio corporis callosi  |
| Ecm: Sulcus ectomarginalis          | rc: Commissura rostralis        |
| ecm: Gyrus ectomarginalis           | Rfi: Fissura rhinalis lateralis |
| Eng: Sulcus endogenualis            | sl: Nuclei septi (lateralis)    |
| exc: Capsula extrema                | spe: Septum pellucidum          |
| Flc: Fissura longitudinalis cerebri | Sss: Sulcus suprasylvius        |
| fsc: Fasciculus subcallosus         | sss: Gyrus suprasylvius         |
| ic: Capsula interna                 |                                 |

Anatomische Beschreibungen :

Veränderungen des Neopallium ergeben sich auf Grund der Fissura sylvia und des bogenförmigen Gyrus sylvius, der die rostralen ventralen Sulci flacher werden läßt, bis die gleichnamigen Gyri in den Gyrus sylvius übergehen. Der Sulcus diagonalis (Dis) ist in dieser Schnittebene nur als seichter Sulcus angedeutet. Ebenfalls in der Tiefe reduziert ist der Sulcus proreus (Prr) mit dem angrenzenden Gyrus proreus (pr), der im Verlauf der folgenden zwei Schnittebenen versiegt. Die proximal erkennbaren Sulcus suprasylvius (Sss) und Sulcus ectomarginalis (Ecm) beginnen in der Fissura longitudinalis cerebri (Flc) kaudal des Sulcus ansatus (Ans), verlaufen entlang des Gyrus sylvius (sylv) in kaudolateraler Richtung und werden von den gleichnamigen Windungen, Gyrus suprasylvius (sss) und Gyrus ectomarginalis (ecm), begleitet. Die mediale Hemisphärenfläche enthält weiterhin den Gyrus cinguli (ci) mit dem ventral gelegenen Sulcus endogenualis (Eng) und dem dorsal gelegenen Sulcus cinguli (Ci), der sich im kaudalen Verlauf mit dem Sulcus splenialis (Spl) verbindet.

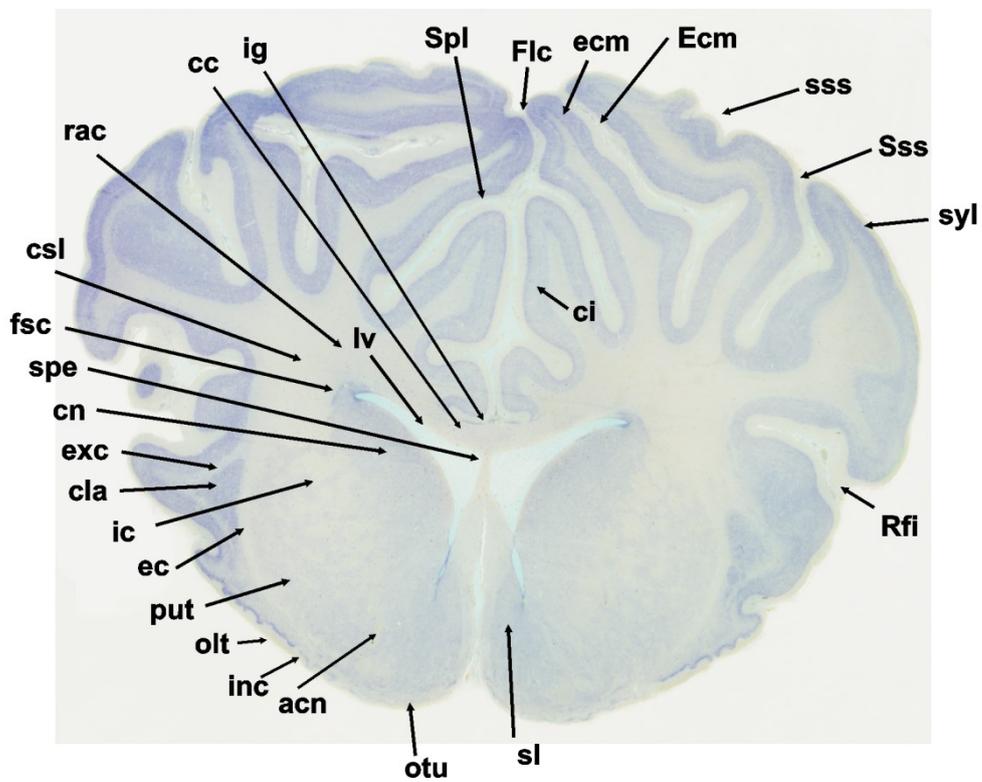
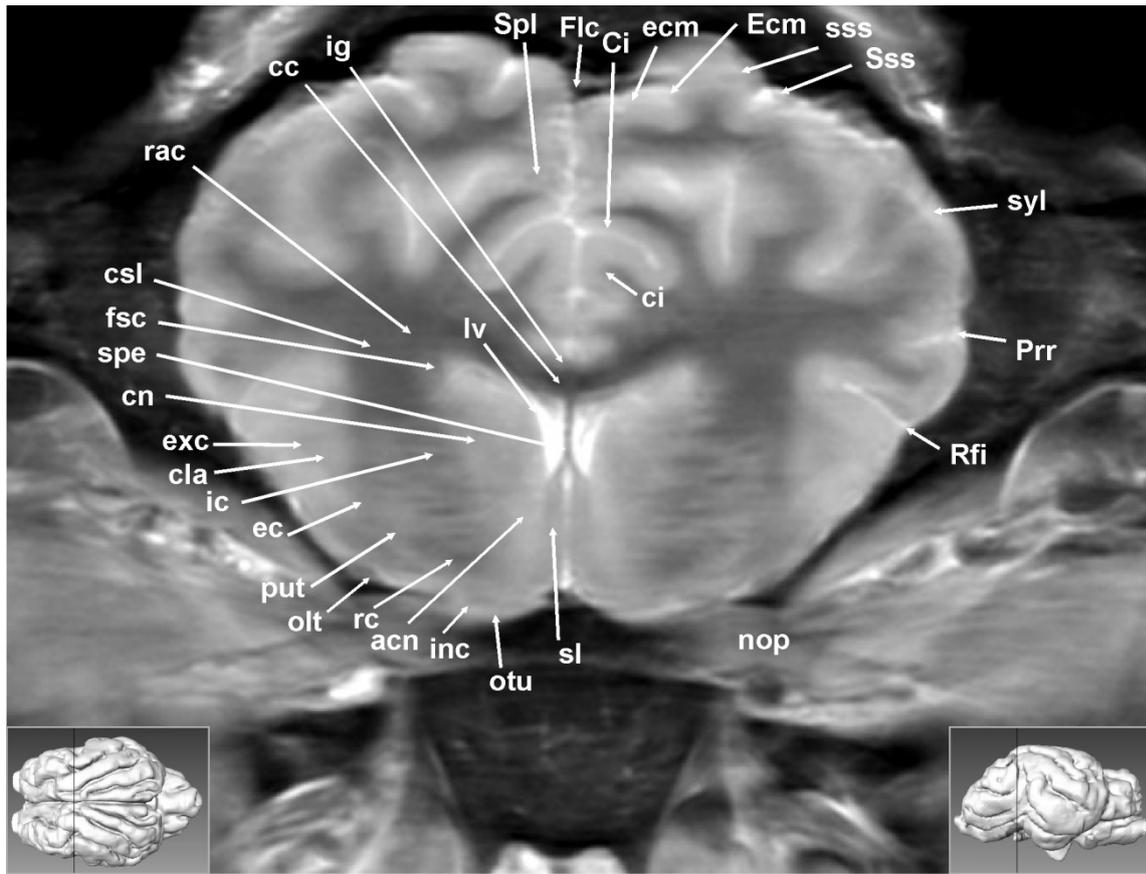
Die mächtigste Kommissur der Hemisphären, das Corpus callosum (cc), mit der Balkenstrahlung, der Radiatio corporis callosi (rac), wird nicht mehr im Genu corporis callosi (gcc), sondern auf Höhe des Truncus corporis callosi geschnitten. Auf dieser

Höhe bezeichnet man die dorsale Begrenzung des angrenzenden Gyrus cinguli (ci) als Sulcus cinguli (Ci).

Der basal Teil des Telencephalons, phylogenetisch auch als Paleopallium bezeichnet, wird durch eine zunehmende Anzahl von Faserbahnen weiter aufgegliedert. Es erfolgt eine Separation einzelner Kerngebiete der Basalganglien. Die in der Magnetresonanztomographie (PDW-Sequenzen) hypointens dargestellten Faserbahnen sind die Capsula interna (ic), die den Nucleus caudatus (cn) medial in der Nachbarschaft des Seitenventrikels (lv) separiert, die Capsula externa (ec), die das Putamen (put) vom dorsal positionierten Claustrum (cla) abtrennt, und die Capsula extrema (exc) als Grenze des Claustrums (cla) zur Inselrinde. Distal des Nucleus caudatus (cn) ist das Kerngebiet des Nucleus accumbens (acn) als hyperintenses Areal, angrenzend an die Nuclei septi (sl), zu identifizieren.

Mit einer abgeschwächten Signalintensität im Vergleich zur vorherigen Schnittebene ist am Boden des Stammanteils des Telecephalons das Tuberculum olfactorium (otu) mit einem inneren hyperintensen Bereich, den Insulae callejae (inc), sichtbar. Ebenfalls zum Rhinencephalon gehörend markiert sich der Traktus olfactorius (olt) lateralis als hypointense Struktur lateral über dem Nervus opticus (nop).

4.6 Transversalschnitt 6 :



Abkürzungen :

|                                     |                                 |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| acn: Nucleus accumbens              | lv: Ventriculus lateralis       |
| cc: Corpus callosum                 | nop: Nervus opticus             |
| Ci: Sulcus cinguli                  | olt: Tractus olfactorius        |
| ci: Gyrus cinguli                   | otu: Tuberculum olfactorium     |
| cla: Claustrum                      | Prr: Sulcus proreus             |
| csl: Centrum semiovale              | put: Putamen                    |
| cn: Nucleus caudatus                | rac: Radiatio corporis callosi  |
| ec: Capsula externa                 | rc: Commissura rostralis        |
| Ecm: Sulcus ectomarginalis          | Rfi: Fissura rhinalis lateralis |
| ecm: Gyrus ectomarginalis           | sl: Nuclei septi (lateralis)    |
| exc: Capsula extrema                | spe: Septum pellucidum          |
| Flc: Fissura longitudinalis cerebri | Spl: Sulcus splenialis          |
| fsc: Fasciculus subcallosus         | Sss: Sulcus suprasylvius        |
| ic: Capsula interna                 | sss: Gyrus suprasylvius         |
| ig: Indusium griseum                | syl: Gyrus sylvius              |
| inc: Insula callejae                |                                 |

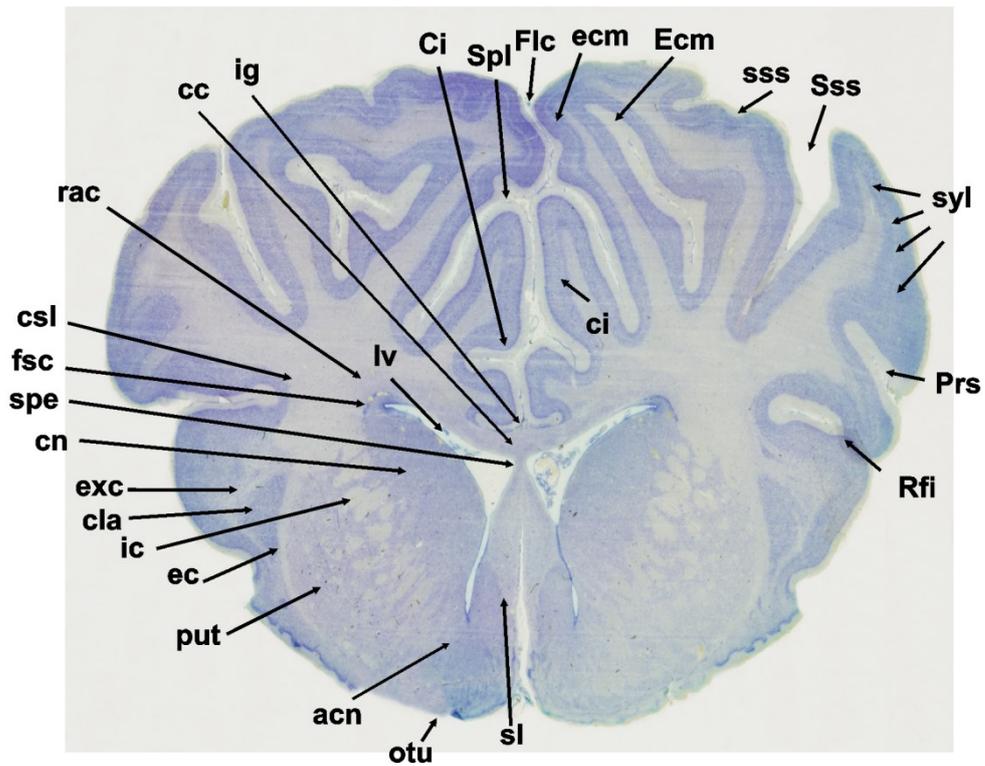
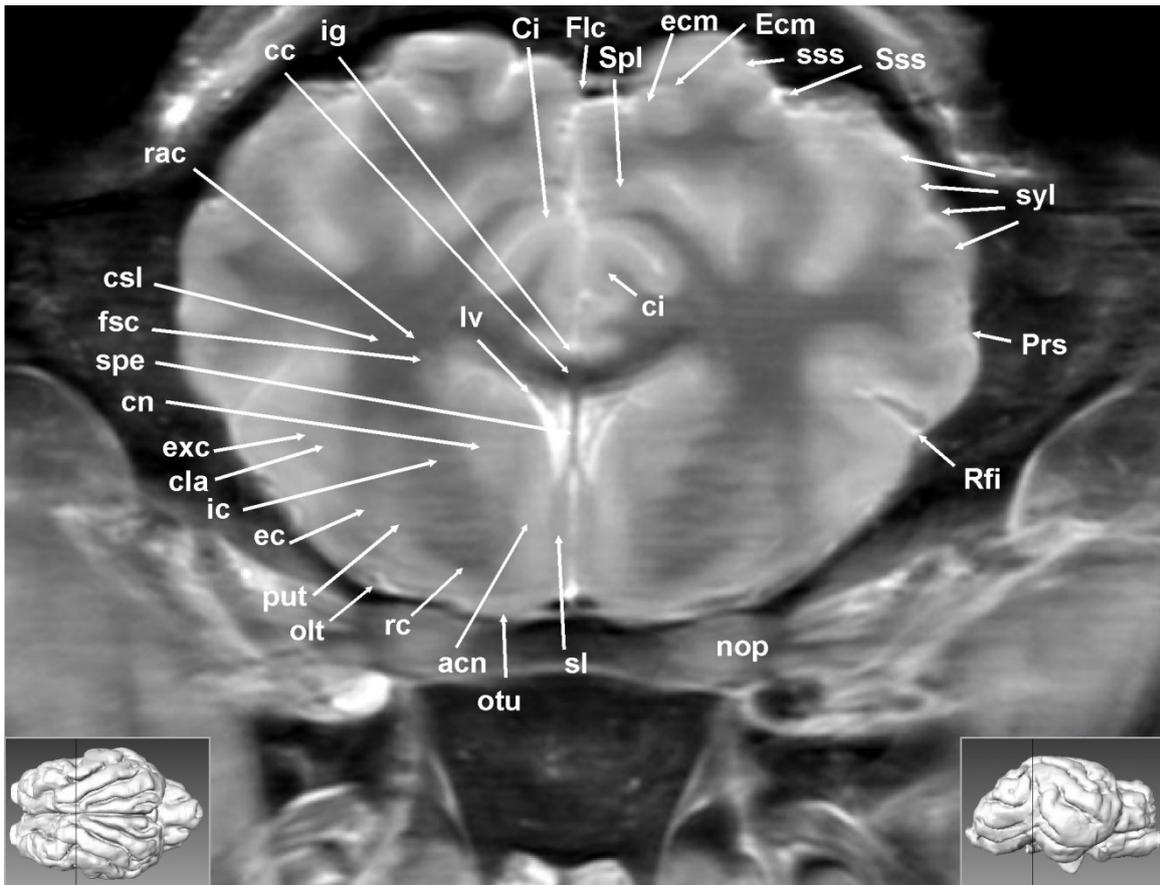
Anatomische Beschreibungen :

Der deutlicher werdende Gyrus sylvius (syl), der in ventrodorsaler Richtung hufeisenförmig um die Fissura sylvia verläuft, hat sich mit dem Gyrus diagonalis vereinigt. Im distalen Bereich des Hirnmantels ist oberhalb der Fissura rhinalis lateralis (Rfi), der Sulcus proreus (Prr) gelegen. Der zugehörige Gyrus proreus (prp) geht ebenfalls in den folgenden Schnitten in den Gyrus sylvius (syl) über. Die Gyri und Sulci der Dorsalfläche bleiben mit dem Gyrus und Sulcus suprasylvius (sss/Sss) und dem Gyrus und Sulcus ectomarginalis (ecm/Ecm) unverändert. Die mediale Fläche der Hemisphären lässt zusätzlich zum Sulcus cinguli (Ci) eine noch undeutliche Furche erkennen, die in der Medianen aus der Fissura longitudinalis cerebri (Flc) hervorzugehen scheint. Diese Furche liegt in unmittelbarer Nachbarschaft zum Sulcus cinguli (Ci) und stellt den Sulcus splenius (Spl) dar. Im weiteren Verlauf verbindet sich der Sulcus cinguli (Ci) mit dem Sulcus splenialis, der dann die dorsale Begrenzung des Gyrus cinguli (ci) übernimmt.

An der Schädelbasis nähern sich der rechte und der linke Nervus opticus (nop) der Medianen, ventral des Tuberculum olfactorium (otu), an. Die Kerngebiete der Insulae calleja (inc) sind innerhalb des Tuberculum olfactorium (otu) weniger deutlich als Hyperintensität erkennbar. Die hyperintensiven Kerngebiete der Basalganglien, der Nucleus caudatus (cn), das Putamen (put) und das Claustrum (cla) werden durch

die hypointense Capsula interna (ic), Capsula externa (ec) und Capsula extrema (exc) voneinander und vom umliegenden Gewebe separiert. So trennt die Capsula interna (ic) den medial gelegenen Nucleus caudatus (cn) von den übrigen Strukturen der Basalganglien, und die Capsula externa (ec) trennt das anschließende Putamen (put) vom Claustrum (cla). Das lateral der Capsula externa (ec) gelegene Claustrum (cla) wird von der Capsula extrema begrenzt und zeigt sich als hyperintenses Dreieck zur Rindenregion unterhalb der Fissura rhinalis lateralis (Rfi). Deutlicher wird die dreieckige Struktur im Vergleich mit dem im histologischen Präparat dunkelblau gefärbten Korrelat.

4.7 **Transversalschnitt 7 :**



Abkürzungen :

|                                     |                                 |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| acn: Nucleus accumbens              | lv: Ventriculus lateralis       |
| cc: Corpus callosum                 | nop: Nervus opticus             |
| Ci: Sulcus cinguli                  | olt: Tractus olfactorius        |
| ci: Gyrus cinguli                   | otu: Tuberculum olfactorium     |
| cla: Claustrum                      | Prr: Sulcus proreus             |
| cn: Nucleus caudatus                | put: Putamen                    |
| csl: Centrum semiovale              | rac: Radiatio corporis callosi  |
| ec: Capsula externa                 | rc: Commissura rostralis        |
| Ecm: Sulcus ectomarginalis          | Rfi: Fissura rhinalis lateralis |
| ecm: Gyrus ectomarginalis           | sl: Nuclei septi (lateralis)    |
| exc: Capsula extrema                | spe: Septum pellucidum          |
| Flc: Fissura longitudinalis cerebri | Spl: Sulcus splenialis          |
| fsc: Fasciculus subcallosus         | Sss: Sulcus suprasylvius        |
| ic: Capsula interna                 | sss: Gyrus suprasylvius         |
| ig: Indusium griseum                | syl: Gyrus sylvius              |

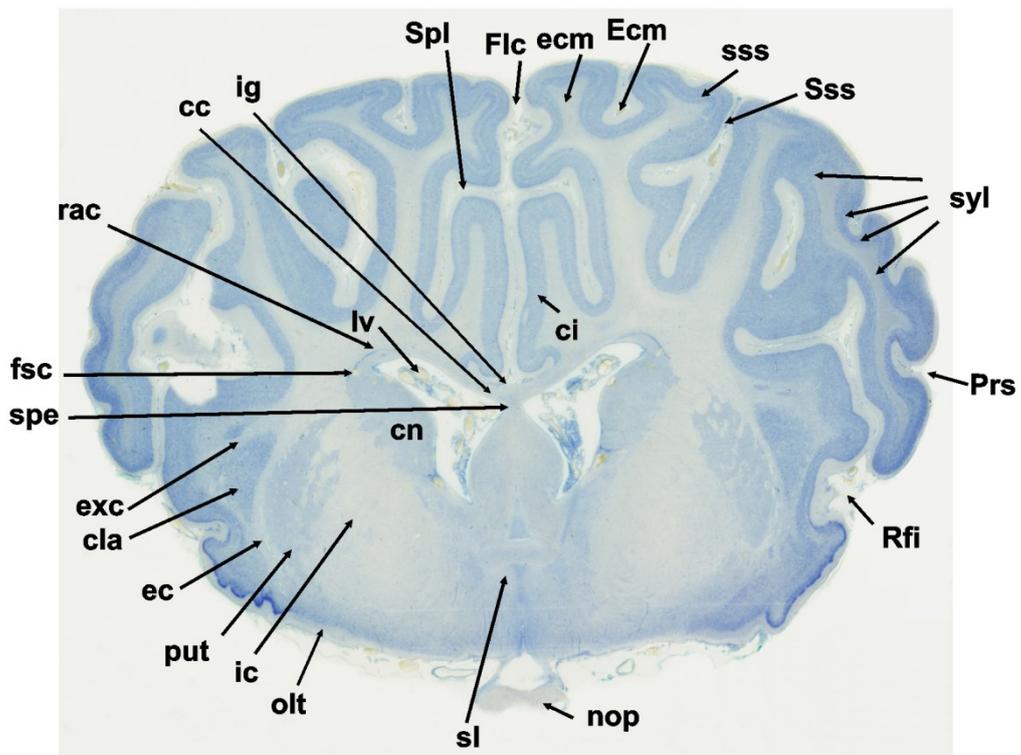
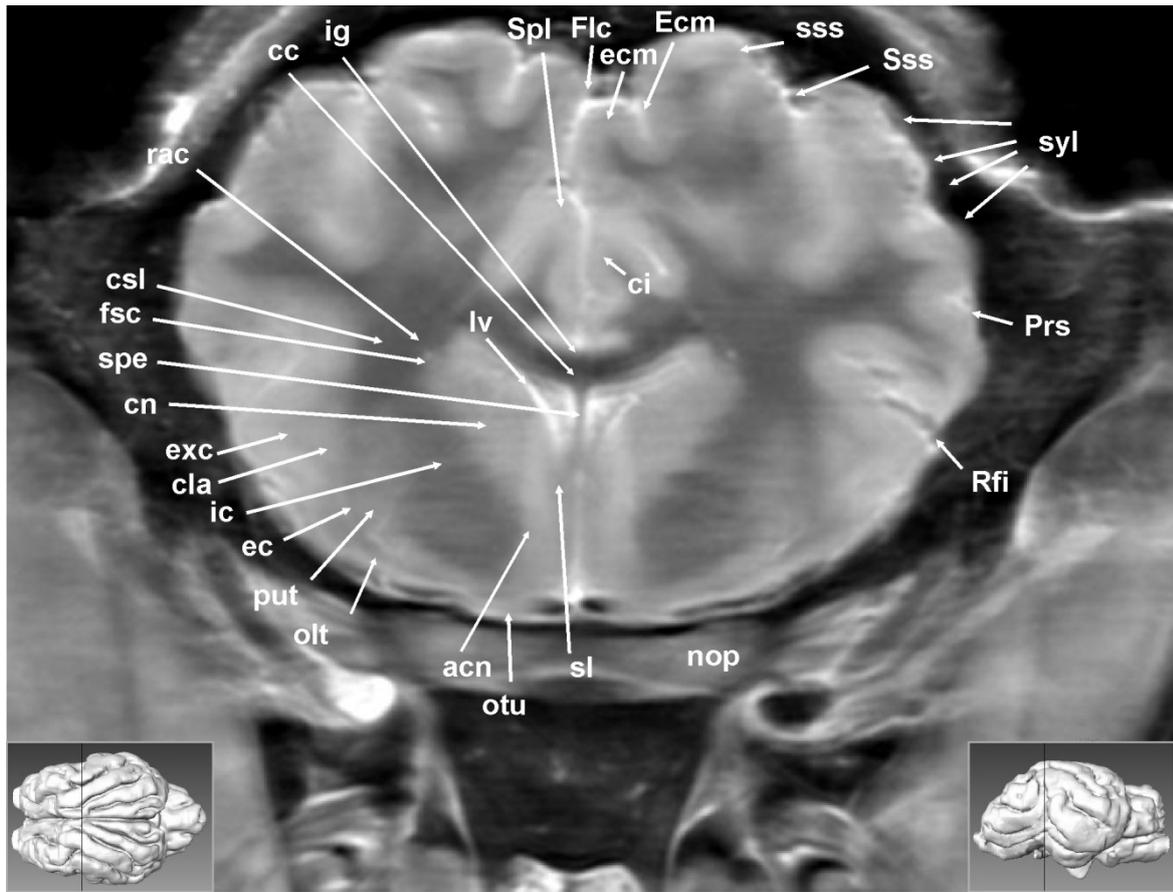
Anatomische Beschreibungen :

Im Vergleich zum transversalen Schnittbild 6 finden sich an den Furchen und Windungen der oberflächlichen Struktur der Hemisphären lediglich dezente Veränderungen. Die Tiefe des Sulcus proreus (Prr) nimmt weiterhin ab und grenzt im ventralen Bereich bereits den Gyrus sylvius (syl) ab. Der Sulcus cinguli (Ci) und der Sulcus splenialis (Spl) nähern sich auf der medialen Hemisphärenfläche weiterhin an. Die übrigen Gyri und Sulci bleiben unverändert in folgender Reihenfolge von medial nach lateral: Gyrus und Sulcus ectomarginalis (ecm/Ecm) sowie Gyrus und Sulcus suprasylvius (sss/Sss).

Am Boden der Fissura longitudinalis cerebri (Flc) liegt das gerade noch erkennbare Indusium griseum (ig) der dorsalen Fläche des Corpus callosum (cc) auf. Das Corpus callosum (cc), ebenfalls als Hirnbalken bezeichnet, stellt eine Nervenfaserverbindung beider Hemisphären dar und bildet die Dachfläche der Seitenventrikel (Ventriculi lateralis, lv). Ausstrahlungen der Fasern des Corpus callosum (cc) in den Markkörper (Corpus semiovale, csl) werden als Balkenstrahlen oder Radiatio corporis callosi (rac) bezeichnet. Zwischen dem Corpus callosum (cc) und den Fornixschenkeln, die in diesem Schnittbild nicht eindeutig anzusprechen sind, spannt sich die mediale Begrenzung der lateralen Ventrikel (lv), das Septum pellucidum (spe). Lateral angrenzend an die Seitenventrikel liegt der hyperintense, im Vergleich zum Seitenventrikel jedoch hypointensere, Nucleus caudatus (cn), der einen Teil der

Kernbezirke der Basalganglien ausmacht. Zu den Basalganglien werden Kerngebiete mit gleicher Signalintensität hinzugezählt, die durch hypointense Faserverläufe, als Kapseln bezeichnet, anatomisch voneinander getrennt werden. Durch diese Faserprojektionen stehen diese auch miteinander in Verbindung. Der Nucleus caudatus (cn) wird durch die sich lateral anschließende Capsula interna (ic) vom Putamen (put) getrennt. Die Capsula interna (ic) stellt sich, wie im Vergleich mit dem histologischen Schnittbild erkennbar, mit horizontalen, hyperintensiven, streifigen Kernaussziehungen dar. Im ventralen Bereich zeigt sich eine, im Vergleich zur Capsula interna (ic), geringgradig hypointensere, kurze, horizontal verlaufende „Linie“, die als entwicklungsgeschichtlich älteste Verbindung beider Hemisphären angesehen werden kann, die Commissura rostralis (rc). Die Commissura rostralis verläuft ventral des Linsenkernes (Nucleus lentiformis), der aus dem Putamen (put) und dem Globus pallidus (gp) besteht. Auf Grund des Verlaufes der Commissura rostralis bis hin zum Mandelkern (kaudaler Anteil) bzw. zur Area olfactoria (rostraler Anteil) ist der vollständige Verlauf in transversalen Schnittbildern nur in Anschnitten darstellbar. Das lateral der Capsula interna (ic) gelegene Putamen (put) wird durch die Faserbündel der Capsula externa (ec) vom Claustrum (cla), einem weiteren Kerngebiet der Basalganglien, separiert. Dorsal des Claustrum (cla) schließt sich die Capsula extrema (exc) an. In diesem sowie in den vorhergehenden und den folgenden Transversalschnitten lassen sich die strukturellen Veränderungen der Basalganglien gut verfolgen und mit dem Histologiebild vergleichen. Der auf der medialen Seite der Capsula interna (ic) gelegene Nucleus caudatus (cn) verschmälert sich von einer bohnenförmigen Struktur (in Transversalschnitt 5) über zu einer kleinen rundlichen bis länglichen Struktur (in Transversalschnitt 13). Dabei sind die Schnittebenen der Transversalschnitte fünf bis dreizehn in kaudaler Richtung angeordnet. Zusätzlich durchläuft der Nucleus caudatus (cn) eine dorsale Verlagerung zum ventralen lateralen Ende des Ventrikels (lv) durch die Ausbreitung des Thalamus. In der Nachbarschaft der Medianen befinden sich die hypointensen Nuclei septi lateralis (sl) mit dem lateral angrenzenden Nucleus accumbens (acn). Distal dieser Strukturen ist ein Anschnitt zweier deutlich hypointenser ovaler Bereiche, die sich medial des Tuberculum olfactorium (otu) befinden. Hierbei handelt es sich um Anschnitte der Arteria cerebri rostralis unmittelbar vor der Verbindung zur Arteria communicans rostralis. Am Boden des Neurocraniums ist die Annäherung der Nervi optici (nop) jetzt deutlich erkennbar.

4.8 Transversalschnitt 8 :



Abkürzungen :

|                                     |                                 |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| acn: Nucleus accumbens              | nop: Nervus opticus             |
| cc: Corpus callosum                 | olt: Tractus olfactorius        |
| ci: Gyrus cinguli                   | otu: Tuberculum olfactorium     |
| cla: Claustrum                      | Prs: Sulcus praesylvius         |
| cn: Nucleus caudatus                | put: Putamen                    |
| ec: Capsula externa                 | rac: Radiatio corporis callosi  |
| Ecm: Sulcus ectomarginalis          | Rfi: Fissura rhinalis lateralis |
| ecm: Gyrus ectomarginalis           | sl: Nuclei septi (lateralis)    |
| exc: Capsula extrema                | Spl: Sulcus splenialis          |
| fsc: Fasciculus subcallosus         | spe: Septum pellucidum          |
| Flc: Fissura longitudinalis cerebri | Sss: Sulcus suprasylvius        |
| ic: Capsula interna                 | sss: Gyrus suprasylvius         |
| ig: Induseum griseum                | syl: Gyrus sylvius              |
| lv: Ventriculus lateralis           |                                 |

Anatomische Beschreibungen :

Die Grenze zwischen Paleopallium und Neopallium, die Fissura rhinalis lateralis (Rfi), zeigt in der lateralen Ansicht des 3D-Modelles einen bogenförmigen Verlauf und verschiebt sich in den folgenden transversalen Schnittebenen nach dorsal. Der dorsal folgende Sulcus proreus (Prr) mündet in den Sulcus sylvius (Syl) und endet in dieser transversalen Schnittebene. Die vertikal verlaufende Fissura sylvia (Syl) mit dem zugehörigen Gyrus sylvius (syl) ist in diesem Schnittbild in Anschnitten, jedoch noch nicht vollständig erkennbar. Auf Grund seiner vertikalen Verlaufsrichtung ist dieser Sulcus nicht vollständig darstellbar und lediglich als vertikale Aussparung sichtbar.

Die Dorsalfläche der Hemisphäre zeigt weiterhin die beiden Sulci suprasylvius (Sss) und ectomarginalis (Ecm) mit den sich jeweils medial anschließenden Gyrus suprasylvius (sss) und Gyrus ectomarginalis (ecm). Die sich annähernden Sulci der medialen Hemisphäre, Sulcus splenialis (Spl) und Sulcus cinguli (Ci), sind nicht mehr voneinander getrennt zu benennen und werden sich im Folgenden als Sulcus splenialis (Spl) zum kaudalen Ende der Hemisphären fortsetzen. Die Trennung der beiden Hemisphären erfolgt durch die Fissura longitudinalis cerebri (Flc).

Im ventralen Bereich des Transversalschnittes befinden wir uns unmittelbar vor dem Chiasma opticum (cho), dem Teil des Faserverlaufes, in dem sich der rechte und linke Nervus opticus (nop) kreuzen. Tierartspezifisch ist dies dann ein mehr oder

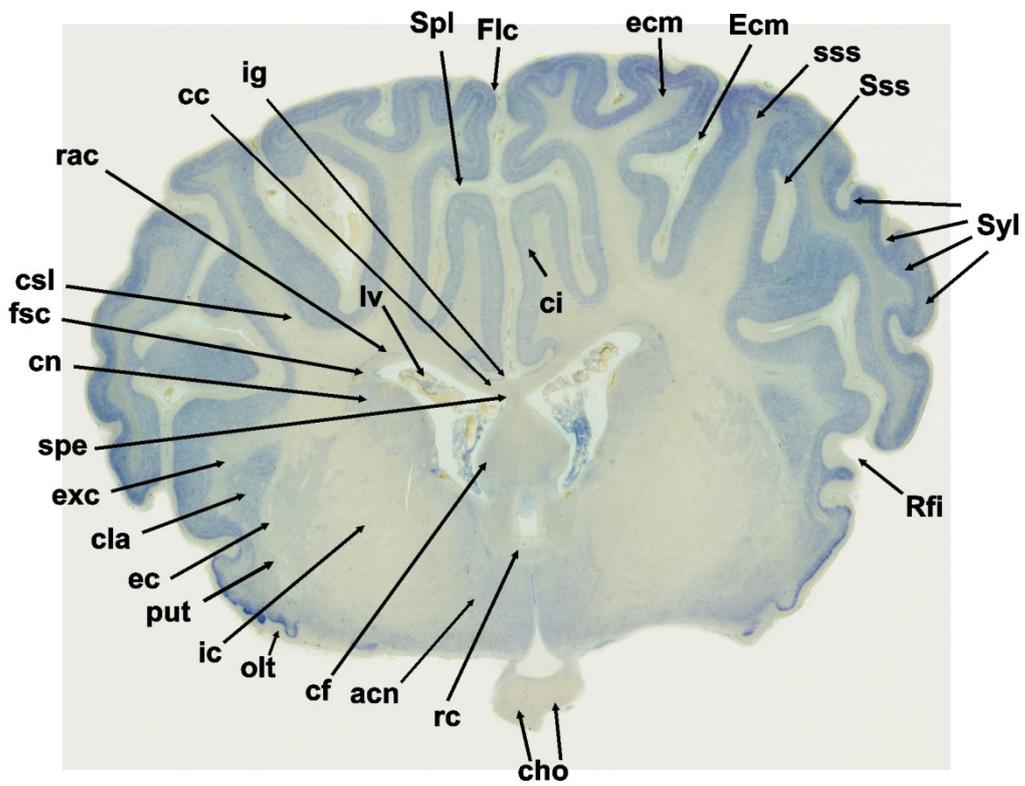
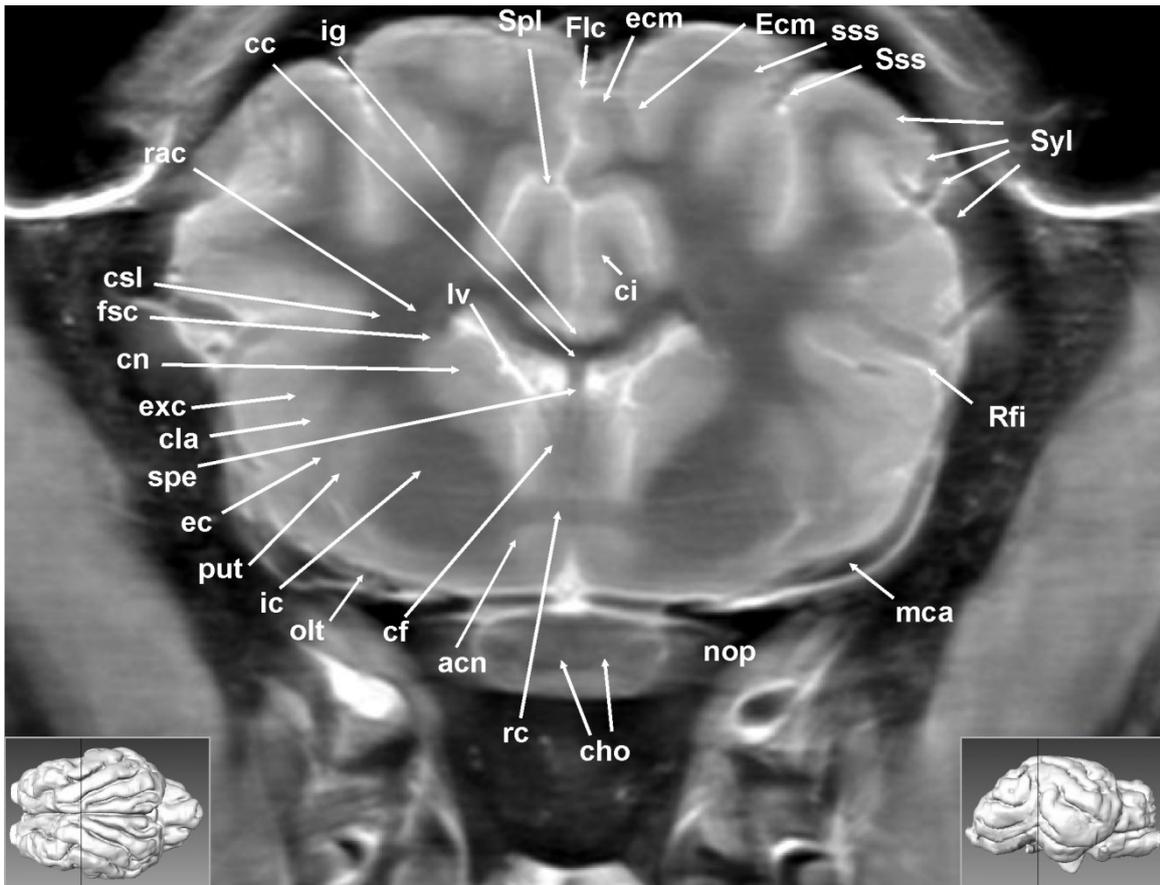
weniger großer Anteil der Nervenfasern (Schaf ca. 89%, Herron et al. (1978) in Nickel et al. (1992)).

Das Tuberculum olfactorium (otu), auch Riechfeld oder Trigonum olfactorium genannt, liegt im ventralen Bereich des Gehirns. Lateral des Tuberculum olfactorium (otu) schließt sich ein feiner Saum weißer Substanz, der sich in der magnetresonanztomographischen Aufnahme hypointens darstellt, der Tractus olfactorius (olt) an, der sich nach caudal in den Lobus piriformis erstreckt und langsam eine dorsale Verlagerung erfährt.

Die mediale Scheidewand der lateralen Ventrikel (lv) wird als Septum pellucidum (spe) bezeichnet und bildet die mediale Begrenzung der Seitenventrikel. Dorsal reicht das Septum pellucidum (spe) bis an das Corpus callosum (cc), den Hirnbalken. Angrenzend an das Septum pellucidum (spe) finden sich hypointense Areale, die Nuclei septi (sl) lateralis und der hyperintense Nucleus accumbens (acn). In der Nachbarschaft dieser medianen Strukturen befinden sich die Basalganglien: der Nucleus caudatus (cn), das Putamen (put), und das Claustrum (cla), welches zunächst die Struktur eines spitzen Dreiecks aufweist, dessen Gestalt sich dann aber mehr und mehr in kaudaler Richtung zu einem gleichseitigen Dreieck umstrukturiert. Diese hyperintensiven Strukturen werden durch hypointense Faserzüge voneinander getrennt. So trennt die Capsula interna (ic) den Nucleus caudatus (cn) vom Putamen (put) und die Capsula externa (ex) das Putamen (put) vom Claustrum (cla). Die Capsula extrema (exc) bildet dorsal des Claustrum (cla) den Abschluss gegen die Rindenregion ventral der Fissura rhinalis lateralis (Rfi).

Das Corpus callosum (cc) als Verbindung beider Hemisphären wird von Kommissurenfasern, hypointens in der Magnetresonanztomographie, gebildet. Durch die Faserverläufe in den Markkörper, sogenannte Balkenstrahlen oder Radiatio corporis callosi (rac), werden die Rindenbezirke beider Hemisphären somit miteinander verbinden.

4.9 Transversalschnitt 9 :

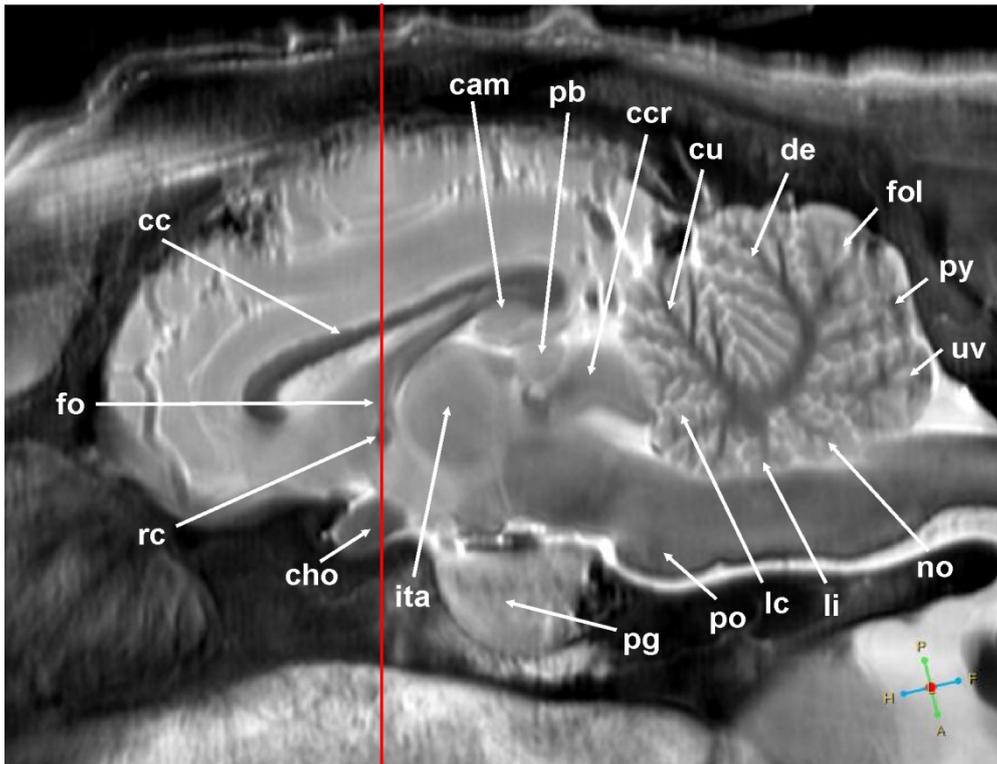


### Abkürzungen :

|                                     |                                 |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| acn: Nucleus accumbens              | ig: Induseum griseum            |
| cc: Corpus callosum                 | lv: Ventriculus lateralis       |
| cf: Columnae fornicis               | mca: Arteria cerebri media      |
| cho: Chiasma opticum                | nop: Nervus opticus             |
| ci: Gyrus cinguli                   | olt: Tractus olfactorius        |
| cla: Claustrum                      | put: Putamen                    |
| cn: Nucleus caudatus                | rac: Radiatio corporis callosi  |
| csl: Centrum semilunare             | rc: Commissura rostralis        |
| ec: Capsula externa                 | Rfi: Fissura rhinalis lateralis |
| Ecm: Sulcus ectomarginalis          | spe: Septum pellucidum          |
| ecm: Gyrus ectomarginalis           | Spl: Sulcus splenialis          |
| exc: Capsula extrema                | Sss: Sulcus suprasylvius        |
| Flc: Fissura longitudinalis cerebri | sss: Gyrus suprasylvius         |
| fsc: Fasciculus subcallosus         | Syl: Fissura sylvia             |
| ic: Capsula interna                 |                                 |

### Anatomische Beschreibungen :

Diese transversale Schnittebene hebt einige anatomisch relevante Neuerungen hervor. Zum einen verläuft diese Schnittebene unmittelbar durch das, ventral des Gehirns gelegene, Chiasma opticum (cho), zum anderen durch eine weitere Kommissur, die beiden Gehirnhälften verbindet, die hypointense Commissura rostralis (rc). Die Commissura rostralis separiert ventral den Nucleus accumbens (acn) und grenzt dorsal an den Gewölbeschenkel, die Fornix (fo). Diese erscheint, durch den Anschnitt in ihrem bogenförmigen Verlauf (im midsagittalen magnetresonanztomographischen Schnittbild dargestellt, Abbildung 11), in dieser Transversalebene prominent. Dorsal zur Fornix liegt die hypointense und bereits bekannte größere Kommissur, der Hirnbalken oder Corpus callosum (cc), mit dem dorsal aufliegenden und zum limbischen System gehörenden Indusium griseum (ig). Ebenfalls zum limbischen System gezählt wird der Gyrus cinguli (ci) auf der medialen Fläche der Hemisphäre, der dem Corpus callosum (erkennbar im midsagittalen Schnittbild (Abbildung 11)) dorsal auf ganzer Länge aufliegt. Das Corpus callosum bildet die dorsale Begrenzung der lateralen Ventrikel (lv). Diese werden in der Medianen durch das Septum pellucidum (spe) in einen rechten und einen linken Ventrikel geteilt. Lateral der Seitenventrikel befindet sich der Nucleus caudatus (cn) mit einem aufliegenden schmalen Faserbündel, welches entlang des Seitenventrikels



**Abb. 11:**  
**Magnetresonanztomografisches midsagittales Schnittbild eines Schafgehirns.**

**Rote Linie markiert die Schnittebene zu Transversalschnitt 9**

**Abkürzungen:**

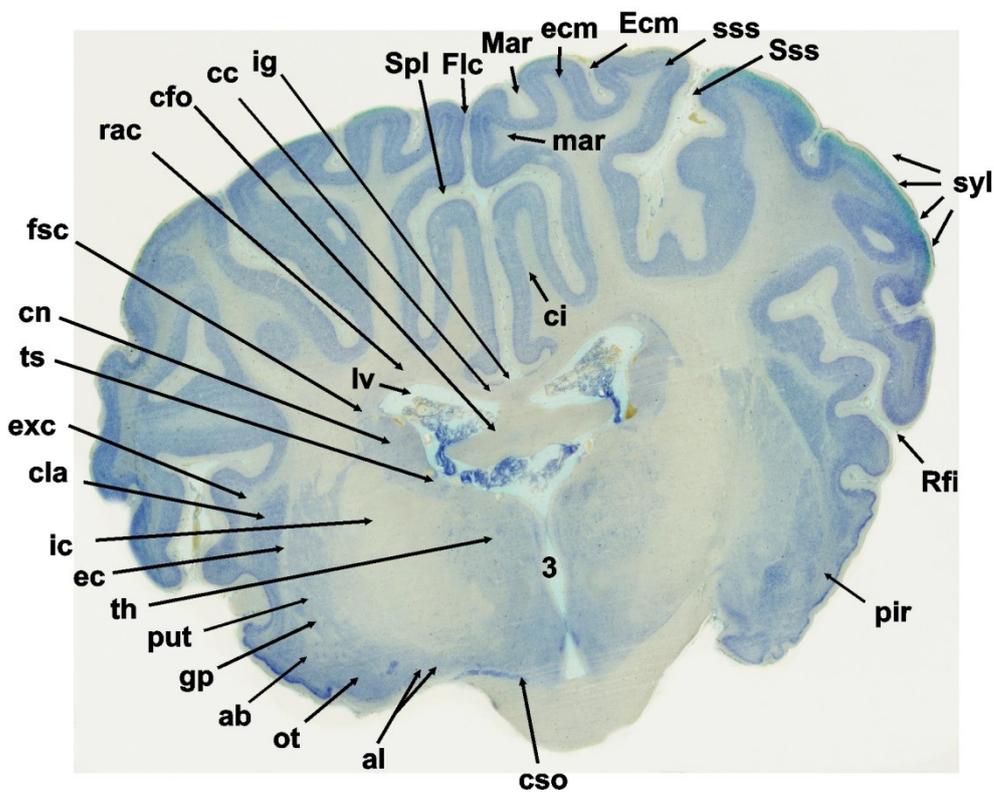
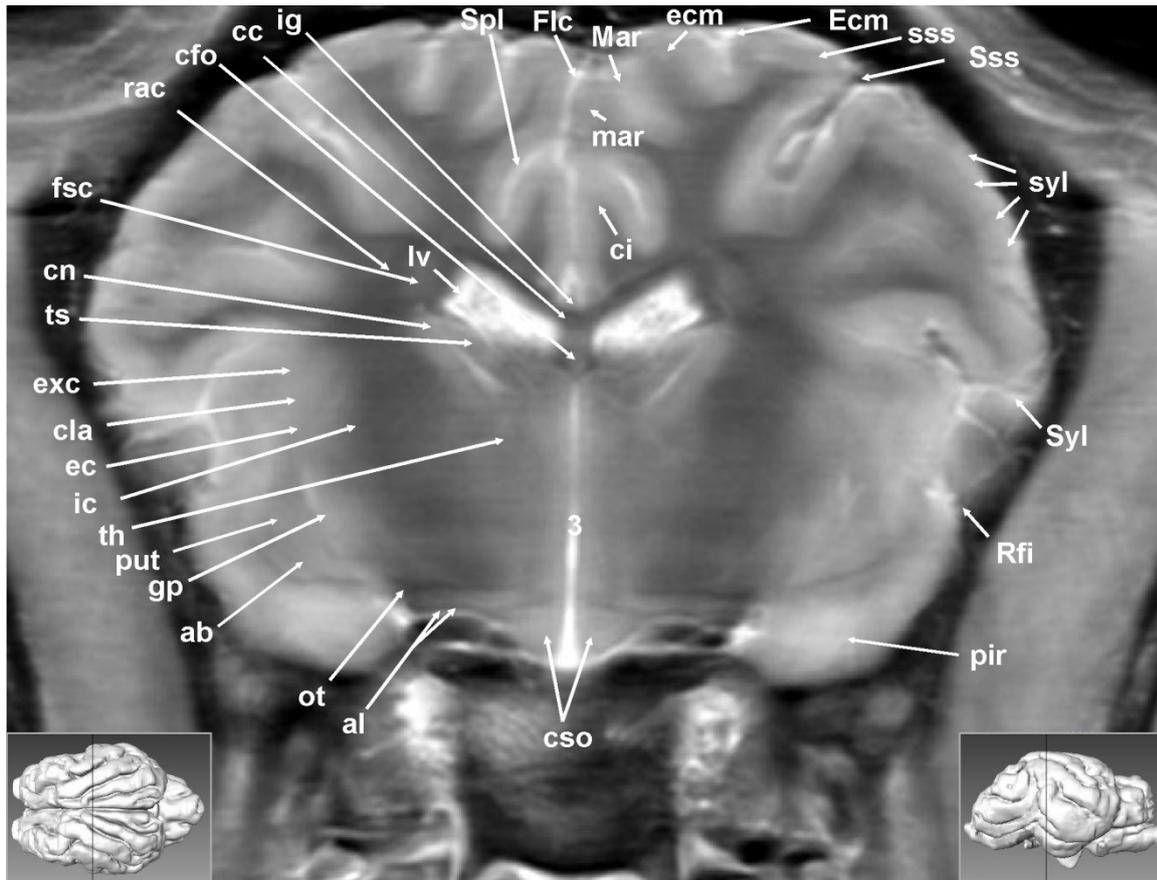
**cam:** Cornu ammonis, **ccr:** Commissura colliculi rostralis, **cho:** Chiasma opticum, **cu:** Culmen, **de:** Declive, **fol:** Folium, **ita:** Adhesion interthalamica, **lc:** Lobulus centralis, **li:** Lingula, **cc:** Corpus callosum, **no:** Nodus, **fo:** Fornix, **pg:** Hypophyse, **pb:** Epiphyse, **po:** Pons, **py:** Pyramis (Vermis), **rc:** Commissura rostralis, **uv:** Uvula

nach kaudal verläuft, der Fasciculus subcallosus (fsc). Ebenso wie die Balkenstrahlen, die Radiatio corporis callosi (rac), ist dieses Faserbündel in der magnetresonanztomographischen Darstellung hypointens.

Die Anteile der Basalganglien sind in diesem Schnittbild mit dem Nucleus caudatus (cn), dem Putamen (put) und dem Claustrum (cla), neben ihren trennenden Faserzügen der internen, externen und extremen Kapsel (Capsula interna (ic), Capsula externa (ec), capsula extrema (exc)), unverändert erkennbar.

Gleichermaßen finden sich in der Struktur der Gyri und Sulci der Hemisphärenoberfläche keine nennenswerten Veränderungen im Vergleich zu Transversalschnitt 9. Allerdings verläuft die Schnittebene, wie im 3D-Modell erkennbar, durch die vertikal verlaufende Fissura sylvia.

4.10 Transversalschnitt 10 :



Abkürzungen :

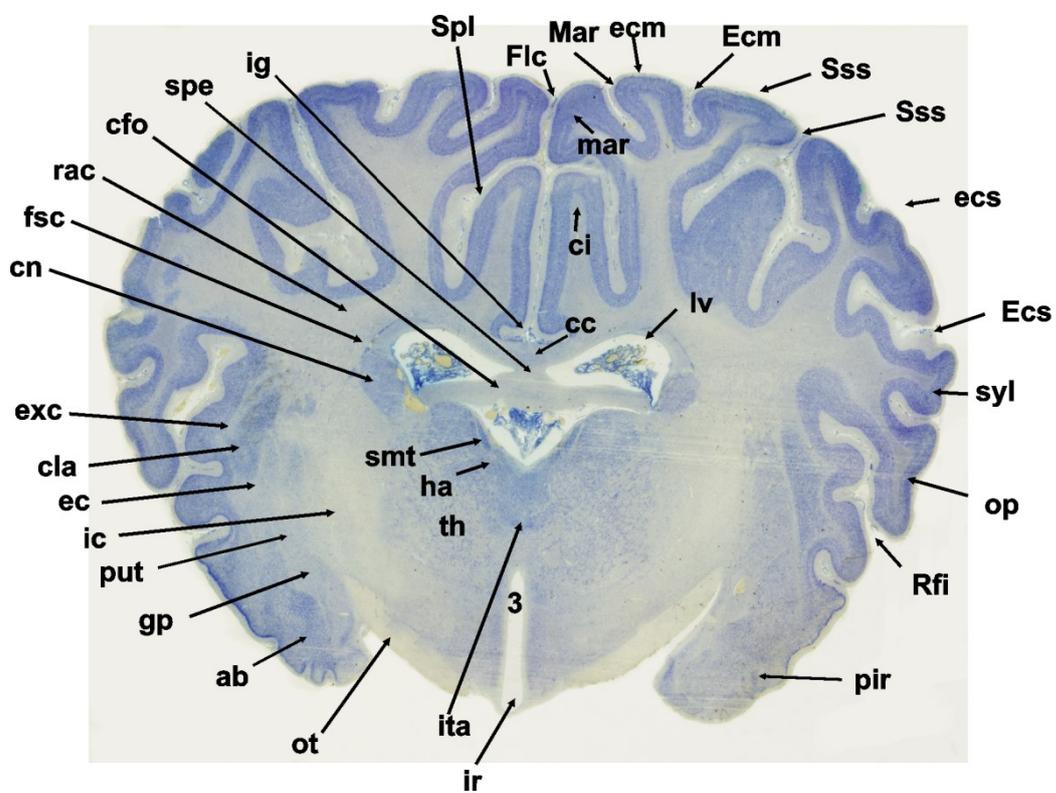
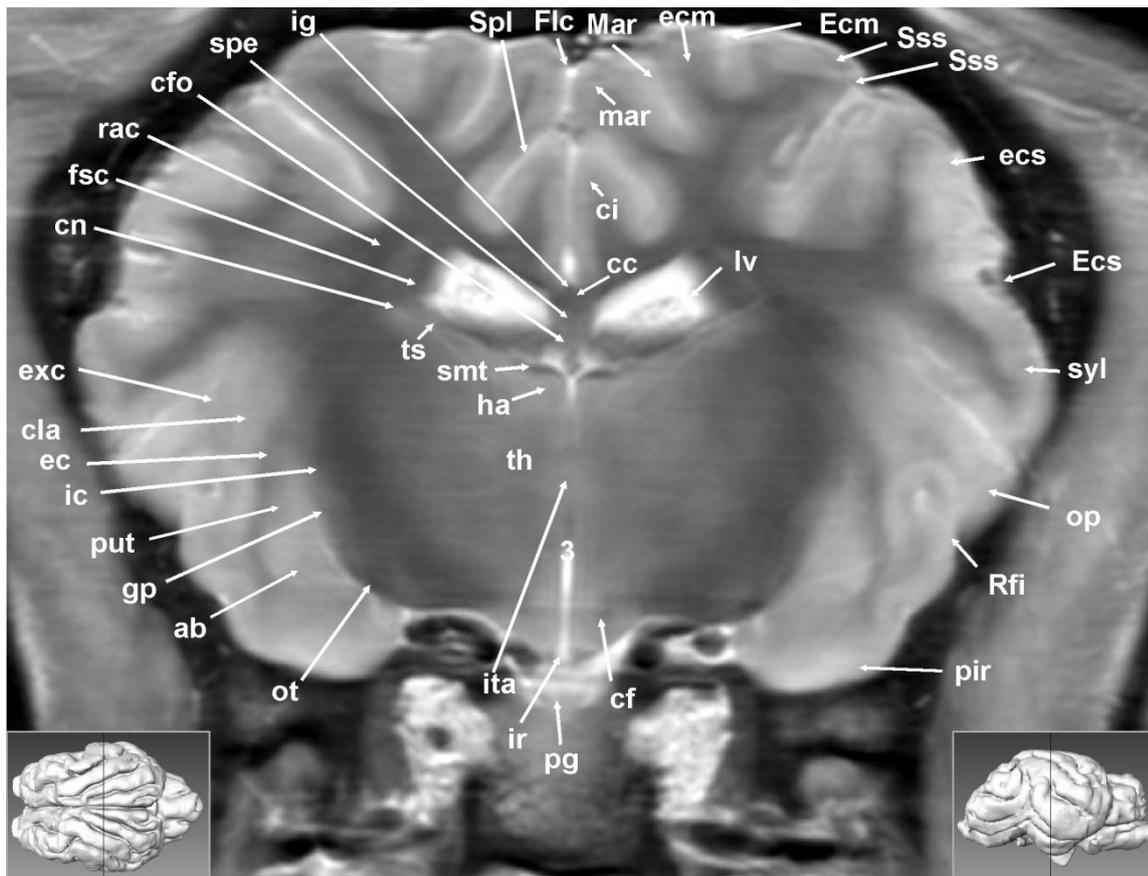
|                                     |                                      |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 3: dritter Ventrikel                | Iv: Ventriculus lateralis            |
| ab: Corpus amygdaloideus            | ci: Gyrus cinguli                    |
| al: Ansa lenticularis               | Mar: Sulcus marginalis               |
| cc: Corpus callosum                 | mar: Gyrus marginalis                |
| cfo: Corpus fornicis                | ot: Tractus opticus                  |
| cla: Claustrum                      | pir: Lobus piriformis                |
| cn: Nucleus caudatus                | put: Putamen                         |
| cso: Commissura supraoptica         | rac: Radiatio corporis callosi       |
| ec: Capsula externa                 | Rfi: Fissura rhinalis lateralis      |
| Ecm: Sulcus ectomarginalis          | Spl: Sulcus splenialis               |
| ecm: Gyrus ectomarginalis           | Sss: Sulcus suprasylvius             |
| exc: Capsula extrema                | sss: Gyrus suprasylvius              |
| Flc: Fissura longitudinalis cerebri | Syl: Sulcus sylvius, Fissura sylvina |
| fsc: Fasciculus subcallosus         | syl: Gyrus sylvius                   |
| gp: Globus pallidus                 | th: Thalamus                         |
| ic: Capsula interna                 | ts: Stria terminalis                 |
| ig: Indusium griseum                |                                      |

Anatomische Beschreibungen :

An der Oberfläche der Hemisphäre formt sich in diesem Transversalschnitt - an der Grenzfläche zwischen der dorsalen zur medialen Oberfläche - ein weiterer Sulcus mit zugehörigem Gyrus. Der Gyrus marginalis (mar) verläuft kaudalwärts an der Mantelkante entlang, erreicht die Dorsalfläche des Hirnmantels in dieser Ebene jedoch noch nicht. Der Sulcus marginalis (Mar) lässt im 3D-Modell einen kaudolateralen Verlauf erkennen und folgt der Richtung des Sulcus ectomarginalis (Ecm) mit dem gleichnamigen Gyrus ectomarginalis (ecm). Unterhalb des Sulcus suprasylvius (Sss) ist der Gyrus sylvius (syl) in einem beträchtlichen Ausmaß erkennbar. Die untere Grenze des Gyrus sylvius (syl) und gleichbedeutend mit der Abgrenzung des Neopallium zum Palaeopallium ist die Fissura rhinalis lateralis (Rfi), die distal den birnenförmigen Lappen, den Lobus piriformis (pir), vom Hirnmantel trennt. In unmittelbarer Nachbarschaft zum Lobus piriformis (pir) sind weitere hyperintense Kerngebiete der Basalganglien erkennbar. Zusätzlich zum Putamen (put) schließen sich ventral das Corpus amygdaloideum (ab), der Mandelkern, und medial der Globus pallidus (gp) an. Golbus pallidus (gp) und Putamen (put), die zusammengefasst auch als Nucleus lenitiformis, Linsenkern, bezeichnet werden, stehen durch die Brückenfasern der Capsula interna (ic) mit dem Nucleus caudatus

(cn) in Verbindung. Diese vier Strukturen werden auch als Streifenkörper, als *Coprus striatum*, bezeichnet. Der *Nucleus caudatus* (cn) wird in dieser Schnittebene, durch die beginnenden Thalamuskerngebieten, nach dorsal und an die Lateralfäche des Seitenventrikels (lv) verdrängt. Der Thalamus (th) erstreckt sich bilateral der Medianen als hyperintense, diffuse Struktur ohne eine deutliche Abgrenzung zwischen den einzelnen Kerngebieten zuzulassen. Im weiteren Verlauf der Schnittbilder wird eine Verwachsung der Thalamusgebiete sichtbar: die *Adhaesio interthalamica*, die vom dritten Ventrikel (3) umgeben wird. In dieser transversalen Ansicht ist der dritte Ventrikel vollständig abgrenzbar. Distal des Thalamus (th) ist der *Tractus opticus* (ot) gelegen. Ebenfalls distal zum Thalamus befindet sich eine dünne Manschette, die *Ansa lenticularis* (al), die den Subthalamus mit dem Putamen (put) und dem *Globus pallidus* (gp) verbindet. Die *Commissura supraoptica* (cso) liegt im ventralen Bereich des Gehirns und bildet die Quervernetzung des Hypothalamus. Der laterale Ventrikel (lv) wird vom *Corpus callosum* (cc) dorsal, vom *Nucleus caudatus* (cn) und *Fasciculus subcallosus* (fsc) lateral begrenzt. Ventral schließt das *Stria terminalis* (ts) und der Thalamus (th) den Ventrikel (lv) ein. Die mediale Trennung wird vom Fornix, *Corpus fornicis* (cfo), und *Septum pellucidum* (spe) realisiert.

## 4.11 Transversalschnitt 11 :



Abkürzungen :

|                                     |                                 |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| 3: dritter Ventrikel                | ir: Recessus infundibuli        |
| ab: Corpus amygdaloideum            | ita: Adhaesio interthalamica    |
| cc: Corpus callosum                 | lv: Ventriculus lateralis       |
| cf: Columnae fornicis               | Mar: Sulcus marginalis          |
| cfo: Corpus fornicis                | mar: Gyrus marginalis           |
| ci: Gyrus cinguli                   | ot: Tractus opticus             |
| cla: Claustrum                      | op: Operculum                   |
| cn: Nucleus caudatus                | pg: Hypophyse                   |
| ec: Capsula externa                 | pir: Lobus piriformis           |
| Ecm: Sulcus ectomarginalis          | put: Putamen                    |
| ecm: Gyrus ectomarginalis           | rac: Radiatio corporis callosi  |
| Ecs: Sulcus ectosylvius             | Rfi: Fissura rhinalis lateralis |
| ecs: Gyrus ectosylvius              | smt: Stria medullaris thalami   |
| exc: Capsula extrema                | spe: Septum pellucidum          |
| Flc: Fissura longitudinalis cerebri | Spl: Sulcus splenialis          |
| fsc: Fasciculus subcallosus         | Sss: Sulcus suprasylvius        |
| gp: Globus pallidus                 | sss: Gyrus suprasylvius         |
| ha: Habenulae                       | syl: Gyrus sylvius              |
| ic: Capsula interna                 | th: Thalamus                    |
| ig: Indusium griseum                | ts: Stria terminalis            |

Anatomische Beschreibungen :

In der Medianen ist, dorsal und ventral umgeben vom dritten Ventrikel (3), die Adhaesio interthalamica (ita), mit der im Sagittalschnitt (Abbildung 11) erkennbaren, runden Form sichtbar. Lateral der Medianen schließt sich der diffuse mittelgradig hyperintense Thalamus (th) an. Die laterale Grenze des Thalamus bildend liegt das Corpus striatum, bestehend aus Nucleus caudatus (cn), Nucleus lentiformis und der Capsula interna (ic). Der Nucleus lentiformis, der Linsenkern, wird zusammengefasst aus dem Globus pallidus (gp) und dem Putamen (put). Ventrolateral des Thalamus (th) sind die Gewölbeschenkel, die Columnae fornicis (cf), als kleine rundliche Hypointensität erkennbar, bevor basal im Tuber cinereum der Recessus infundibuli (ir) mit dem Infundibulum in den ersten Abschnitt der Hypophyse (pg) übergeht. Durch die Massenzunahme des Thalamus wird der Nucleus caudatus (cn) deutlich von den übrigen Teilen der Basalganglien getrennt, bleibt jedoch über die Capsula interna (ic) mit dem Putamen (put) - beziehungsweise mit dem Nucleus lentiformis - in Verbindung. Distal des Linsenkernes befindet sich das Corpus amygdaloideum

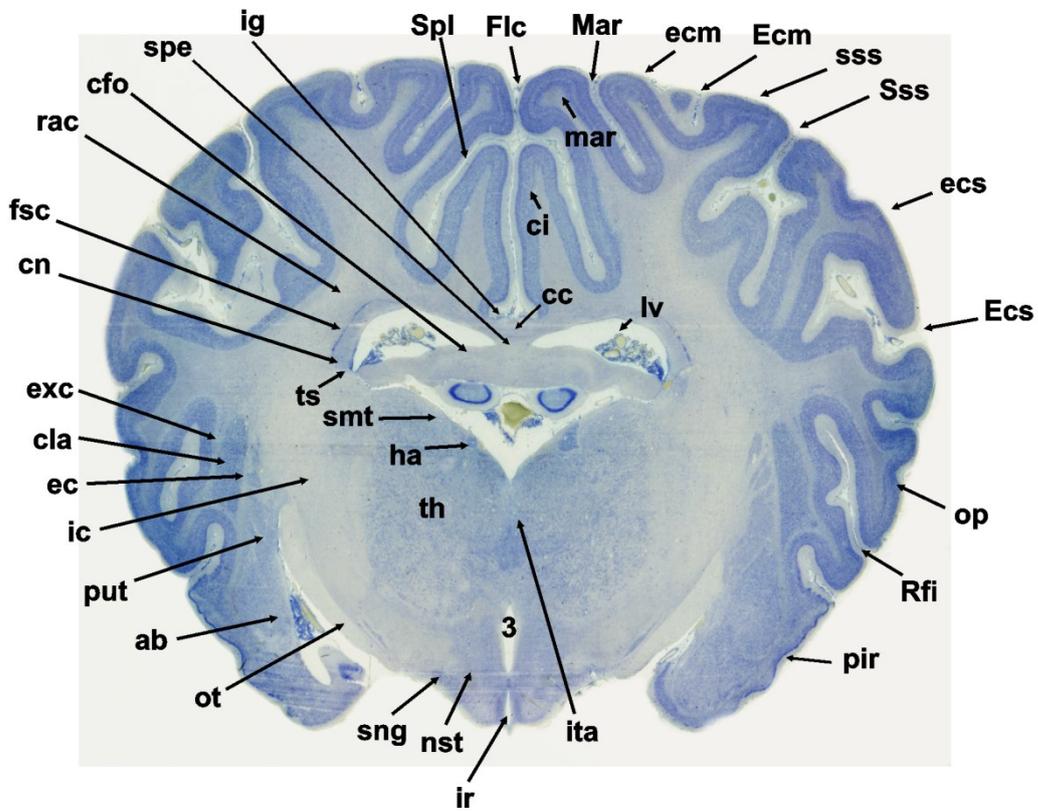
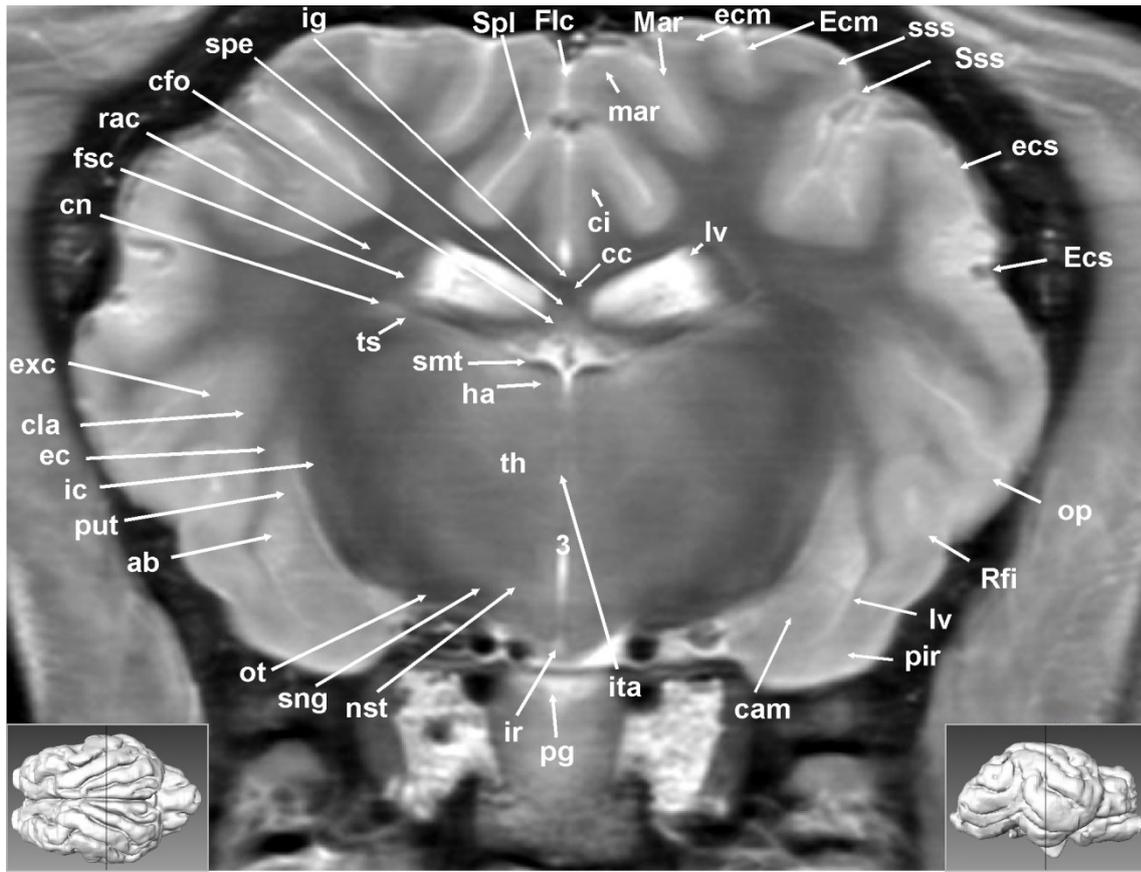
(ab). Diese hyperintensiven Kerngebiete werden durch die Capsula externa (ec) vom Claustrum (cla) abgetrennt.

Die Stria terminalis (ts) stellen Faserbündel dar, bilden die distale Begrenzung der Ventriculi lateralis (lv) und trennen den Thalamus gegenüber diesen ab. Auf Grund des Faserreichtums zeigt sich die Stria terminalis (ts) als hypointense Struktur in der Magnetresonanztomographie. Die einzelnen Kerngebiete des Thalamus lassen sich in einigen Schnittebenen erahnen, jedoch nicht eindeutig zuordnen, und werden deshalb lediglich als Thalamusregion (th) angesprochen. Dorsomedial dem Thalamus aufliegend findet sich neben dem dritten Ventrikel (3) ein streifiges Band, die Stria medullaris thalami (smt). Die in diesem Komplex integrierten Habenulae (ha) verbinden die Epiphyse mit dem Mesencephalon und liegen ebenfalls dorsomedial des Thalamus (th).

Die oberflächliche Struktur bleibt weitestgehend unverändert. Das Pallidum mit dem Lobus piriformis (pir) wird weiterhin durch die Fissura rhinalis lateralis (Rfi) vom Neopallidum getrennt. Durch das bogenförmige Wachstum der Hemisphären um den Inselbezirk herum bildet sich das Operculum (op), welches die Insula bedeckt. Die oberflächlichen Gyri und Sulci des Neopallidiums verändern sich nur geringfügig in ihrer Lage, nicht jedoch in der Reihenfolge. Proximal der Fissura rhinalis lateralis (Rfi) schließt sich der Gyrus sylvius (sylv) an, die Schnittebene liegt hinter der Fissura sylviana. Die Grenze zwischen dem Gyrus sylvius (sylv) und dem sich proximal anschließenden Gyrus ectosylvius (ecs) bildet der Sulcus ectosylvius (Ecs). Auf dem Gyrus ectosylvius (ecs) mit dem angrenzenden Sulcus suprasylvius (Sss) folgt der gleichnamige Gyrus suprasylvius (sss). Auf diese Strukturen folgt auf der Dorsalfläche der Hemisphäre der Sulcus ectomarginalis (Ecm) und der Sulcus marginalis (Mar) mit dem jeweils zugehörigen Gyrus ectomarginalis (ecm) und Gyrus marginalis (mar), der die Umschlagstelle der Dorsalfläche zur Medialfläche der Hemisphären markiert. Auf der Medialfläche, welche von der Fissura longitudinalis cerebri (Flc) in die rechte und linke Hemisphäre getrennt wird, finden sich der Sulcus splenialis (Spl) und der Gyrus cinguli (ci). Auf dem Boden der Fissura longitudinalis cerebri (Flc) befindet sich das hypointense Corpus callosum (cc) mit dem proximalen Indusium griseum (ig). Die distal des Corpus callosum (cc) ausziehende hypointense Struktur stellt das Septum pellucidum (spe) dar, welches die Seitenventrikel (lv) voneinander trennt. Angrenzend breitet sich das ebenfalls hypointense Corpus

fornicis (cfo) aus, welches bogenförmig als Gewölbeschenkel Columnae fornicis (cf) in kranioventraler Richtung entlang des Corpus callosum (cc) verlaufen.

4.12 **Transversalschnitt 12 :**



Abkürzungen :

|                                     |                                    |
|-------------------------------------|------------------------------------|
| 3: dritter Ventrikel                | ita: Adhaesio interthalamica       |
| ab: Corpus amygdaloideum            | lv: Ventriculus lateralis          |
| cam: Cornu ammonis                  | Mar: Sulcus marginalis             |
| cc: Corpus callosum                 | mar: Gyrus marginalis              |
| cfo: Corpus fornicis                | nst: Nucleus subthalamicus (Luysi) |
| ci: Gyrus cinguli                   | op: Operculum                      |
| cla: Claustrum                      | ot: Tractus opticus                |
| cn: Nucleus caudatus                | pg: Hypophyse                      |
| ec: Capsula externa                 | pir: Lobus piriformis              |
| Ecm: Sulcus ectomarginalis          | put: Putamen                       |
| ecm: Gyrus ectomarginalis           | rac: Radiatio corporis callosi     |
| Ecs: Sulcus ectosylvius             | Rfi: Fissura rhinalis lateralis    |
| ecs: Gyrus ectosylvius              | smt: Stria medullaris thalami      |
| exc: Capsula extrema                | sng: Substantia nigra              |
| Flc: Fissura longitudinalis cerebri | spe: Septum pellucidum             |
| fsc: Fasciculus subcallosus         | Spl: Sulcus splenialis             |
| ha: Habenulae                       | Sss: Sulcus suprasylvius           |
| ic: Capsula interna                 | sss: Gyrus suprasylvius            |
| ig: Indusium griseum                | th: Thalamus                       |
| ir: Recessus infundibuli            | ts: Stria terminalis               |

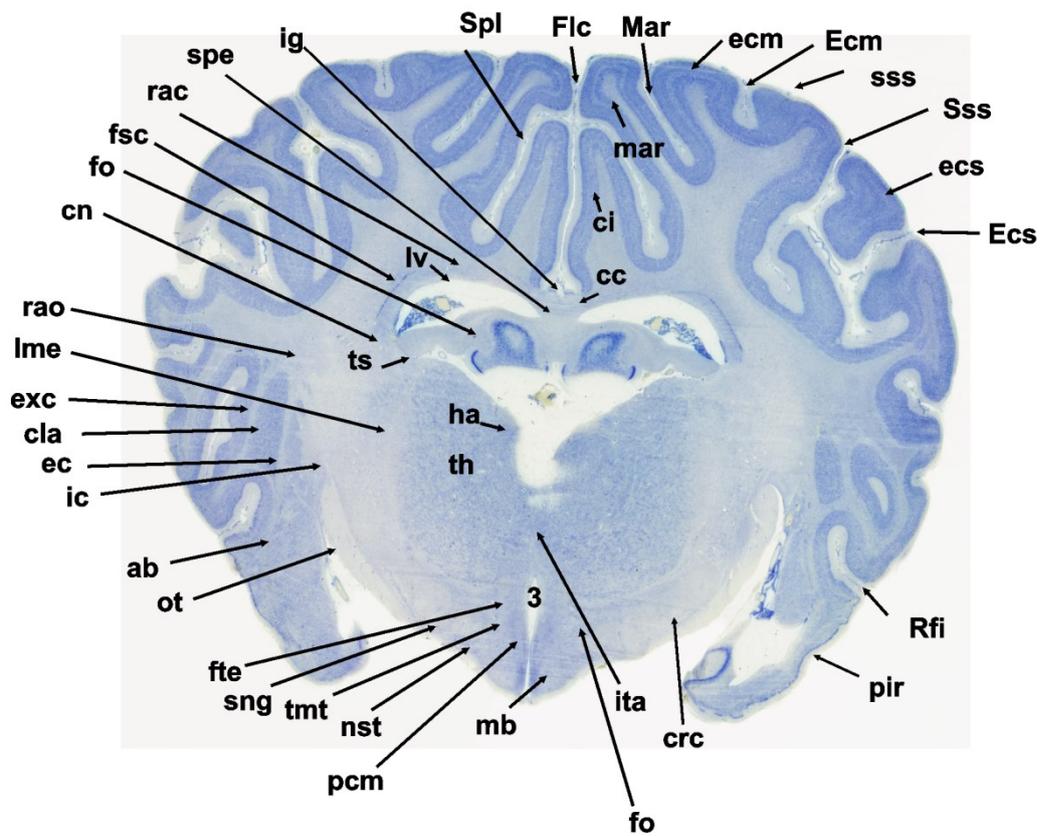
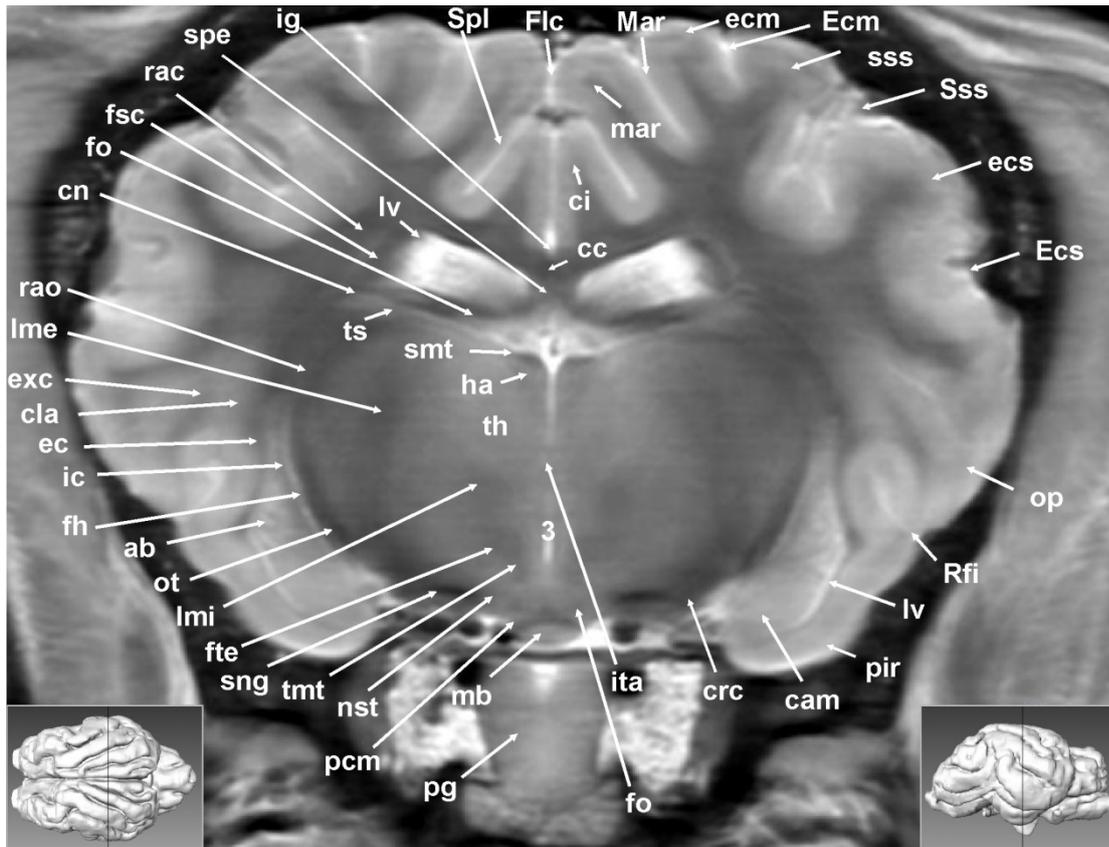
Anatomische Beschreibungen :

Durch die Massenzunahme des Thalamus (th) werden die hyperintensen Kerngebiete der Basalganglien weiter in die Peripherie bzw. im Falle des Nucleus caudatus (cn) nach dorsal und lateral gedrängt. Zusätzlich erkennt man in diesem Anschnitt ventral des Corpus amygdaloideum (ab) und medial des Lobus piriformis (pir) den ventralen Anteil des Ammonshorns, den Hippocampus (Cornu ammonis, cam). Zwischen Hippocampus (cam) und Lobus piriformis (pir) ist der ventrale Ausläufer des Seitenventrikels (lv) als hyperintense feine Linie sichtbar. Die lateral liegenden Basalganglien, das Putamen (put) und Corpus amygdaloideum (ab) sind zwar als hyperintense Kerngebiete noch abgrenzbar, werden jedoch durch die Zunahme des Thalamus (th) und den ventralen Anteil des Hippocampus (cam) deutlich verkleinert. Die Faserverläufe der Capsula interna (ic) und der Capsula externa (ec) trennen weiterhin als hypointense Linien die Kerngebiete der Basalganglien. Letztlich bleibt nur das Claustrum mit der Capsula extrema (exc) in der Größe unbeeinflusst. Im ventralen Bereich des Thalamus (th) findet sich mit dem Nucleus subthalamicus (Luysi) (nst) ein bedeutender Teil des Subthalamus und die

Substantia nigra (sng) sowie die hypointensen Fasern des Tractus opticus (ot). Distal des dritten Ventrikels (3), der hier auf Grund der Adhaesio interthalamica (ita) nur im proximalen und distalen Bereich angeschnitten ist, liegt mit dem Recessus infundibuli (ir) der Übergang zur Hirnanhangdrüse, die Hypophyse (pg). Oberhalb des Thalamus (th) sind weiterhin die Habenulae (ha) mit den dorsal aufliegenden hypointensen Stria medullaris thalami (smt) erkennbar. Dorsal dieser Strukturen findet sich die Fornix (cf), welche im Seitenbereich durch die Seitenventrikel (lv) vom hypointensen Corpus callosum (cc) getrennt ist. In der Medianen trennt das Septum pellucidum (spe) die beiden lateralen Ventrikel (lv) voneinander. Lateral der Seitenventrikel (lv) befinden sich neben dem Nucleus caudatus (cn) die Stria terminalis (ts) und dorsal der Fasciculus subcallosus (fsc) sowie die Balkenstrahlen, die Radiatio corporis callosi (rac).

Die anatomischen Strukturen des Neopalliums mit den Gyri und Sulci bleiben im Vergleich zur vorherigen Schnittebene unverändert in Form und Lage. Hier befinden sich von medial nach lateral folgende Strukturen: Gyrus cinguli (ci), Sulcus splenialis (Spl), Gyrus und Sulcus marginalis (mar, Mar), Gyrus und Sulcus ectomarginalis (ecm, Ecm) Gyrus und Sulcus suprasylvius (sss, Sss), sowie Gyrus und Sulcus ectosylvius (ecs, Ecs). Den Abschluss des Neopalliums bildet die Fissura rhinalis lateralis (Rfi).

4.13 Transversalschnitt 13 :



Abkürzungen :

|                                     |                                     |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 3: dritter Ventrikel                | Imi: Lamina medullaris interna      |
| ab: Corpus amygdaloideum            | Iv: Ventriculus lateralis           |
| cam: Cornu ammonis                  | Mar: Sulcus marginalis              |
| cc: Corpus callosum                 | mar: Gyrus marginalis               |
| ci: Gyrus cinguli                   | mb: Corpus mamillare                |
| cla: Claustrum                      | nst: Nucleus subthalamicus (Luysi)  |
| cn: Nucleus caudatus                | op: Operculum                       |
| crc: Crus cerebri                   | ot: Tractus opticus                 |
| ec: Capsula externa                 | pcm: Pedunculus corporis mamillaris |
| Ecm: Sulcus ectomarginalis          | pg: Hypophyse                       |
| ecm: Gyrus ectomarginalis           | pir: Lobus piriformis               |
| Ecs: Sulcus ectosylvius             | rac: Radiatio corporis callosi      |
| ecs: Gyrus ectosylvius              | rao: Radiatio optica                |
| exc: Capsula extrema                | Rfi: Fissura rhinalis lateralis     |
| fh: Fimbria hippocampi              | smt: Stria medullaris thalami       |
| Flc: Fissura longitudinalis cerebri | sng: Substantia nigra               |
| fo: Fornix                          | spe: Septum pellucidum              |
| fsc: Fasciculus subcallosus         | Spl: Sulcus splenialis              |
| fte: Fasciculus tegmenti (Forel)    | Sss: Sulcus suprasylvius            |
| ha: Habenulae                       | sss: Gyrus suprasylvius             |
| ic: Capsula interna                 | th: Thalamus                        |
| ig: Indusium griseum                | tmt: Tractus mamillothalamicus      |
| ita: Adhaesio interthalamica        | ts: Stria terminalis                |
| Ime: Lamina medullaris externa      |                                     |

Anatomische Beschreibungen :

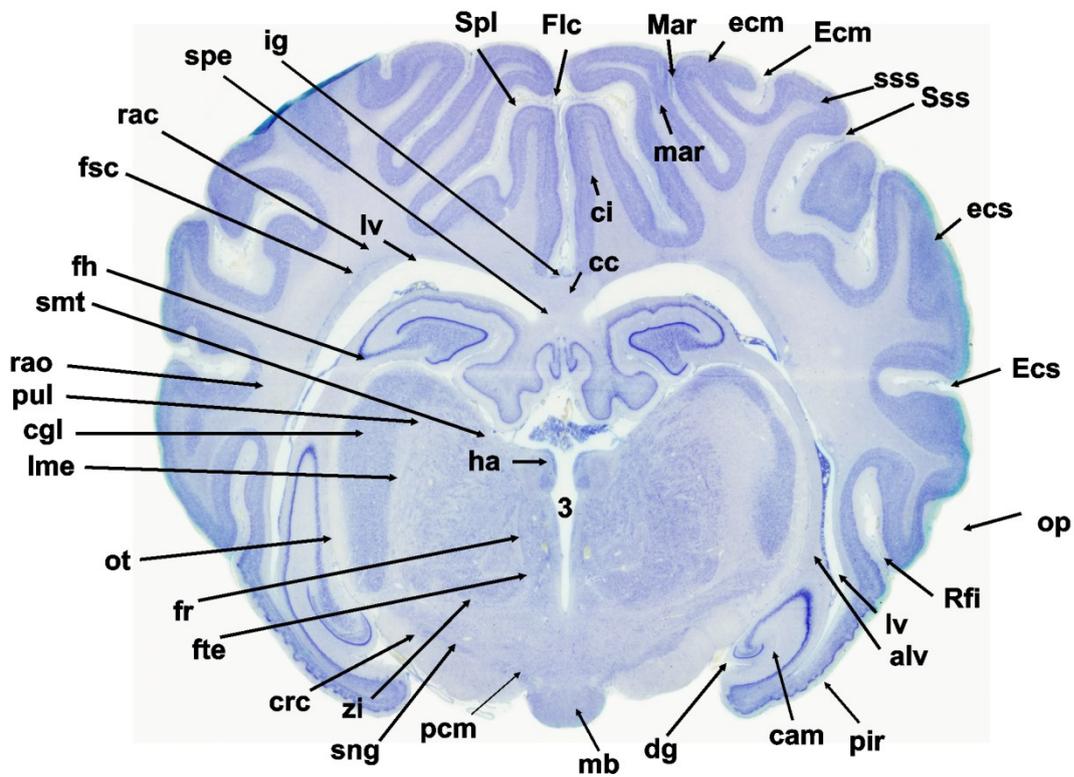
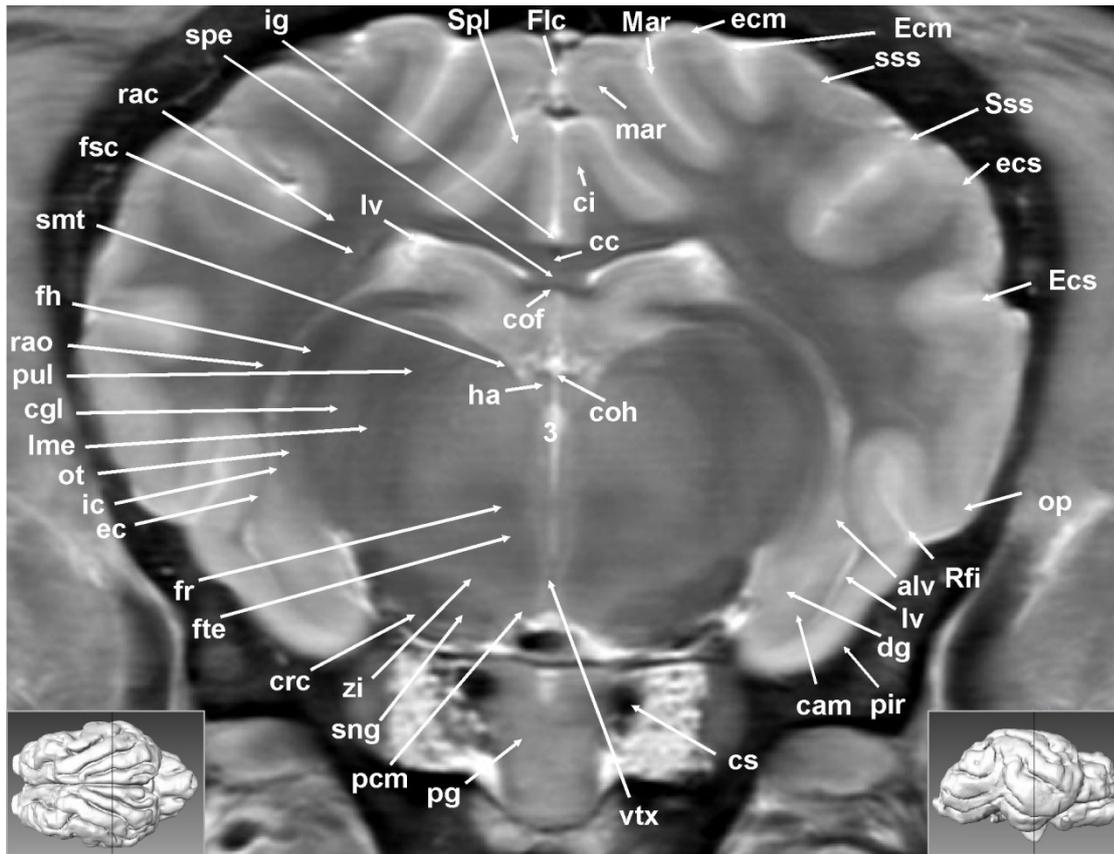
Die erkennbare Abgrenzung des Thalamus (th) nach lateral ist weiterhin die Capsula interna (ic), die als hypointense Fasermasse den Nucleus caudatus (cn) und die ventral gelegenen Basalganglienanteile verbindet. Diese werden zunehmend vom Cornu ammonis (cam), dem Hippocampus verdrängt. Als letzte Strukturen der Basalganglien sind das Corpus amygdaloideum (ab) und das - durch die Capsula externa (ec) und Capsula extrema (exc) eingegrenzte - Claustrum (cla) sichtbar. Medial der Capsula interna liegt die Marklamelle der Fimbria hippocampi (fh), gefolgt von hypointensen Tractus opticus (ot), der im dorsalen Aspekt mit der Radiatio optica (rao) Sehstrahlen an die Sehrinde des Occipitallappens abgibt. Der Thalamus (th) selbst lässt in dieser Schnittebene eine geringgradige Einteilung erkennen. Die besteht aus einer hypointensen Durchsetzung des mittelgradig hyperintensen

einheitlichen Erscheinungsbildes des Thalamus. So ist die laterale streifige hypointense Struktur als Lamina medullaris externa (lme) und die mediale - eher rundliche bis ovale Struktur - als Lamina medullaris interna (lmi) anzusprechen. Die Lamina medullaris thalami teilt den Thalamus (th) grob in einen lateralen, einen medialen und einen dorsalen Teil. Die Verbindung der Thalami (th) untereinander, die Adhaesio interthalamica (ita), scheint sich im Umfang zu reduzieren. Dies ist dem Anschnitt der im sagittalen Schnittbild (Abbildung 11) rundlichen Struktur der Adhaesio interthalamica (ita) geschuldet. Umgeben wird die Adhaesio interthalamica (ita) vom dritten Ventrikel (3), dessen hyperintenses Signal im transversalen magnetresonanz-tomographischen Schnittbild dorsal und ventral der Adhaesio interthalamica (ita) zu sehen ist. Im distalen Abschnitt des Thalamus finden sich weiter hypointense Areale, der Fasciculus tegmenti (Forel) (fte) und der Tractus mamillothalamicus (tmt), der den Thalamus mit dem Corpus mamillare (mb) verbindet. Das Corpus mamillare (mb) bildet den kaudalen Teil des Hypothalamus. Der Nucleus subthalamicus (nst), der ventral des Tractus mamillothalamicus (tmt) und dorsal des Pedunculus corporis mamillaris (pcm) gelegen ist, ist über die hypointensen Fasern der Ansa lenticularis (al) in kraniolateraler Richtung mit dem Putamen und dem Pallidum verbunden. In unmittelbarer Nachbarschaft befindet sich die Substantia nigra (sng). Der Hypothalamus wird kaudal, respektive das Corpus mamillare (mb) kaudolateral, von den Crura cerebri (crc) flankiert. Die afferenten Faserbündel der Fornixschenkel (fo) enden im Corpus mamillare (mb) und sind als kleine hypointense Strukturen proximal im Pedunculus corporis mamillare (pcm) erkennbar.

Dorsal dem Thalamus (th) aufliegend befinden sich die Habenulae (ha), die die Verbindung zwischen Epiphyse und Zwischenhirn darstellen. Unmittelbar dorsal angrenzend zeigen sich die hypointensen Stria medullaris thalami (smt). Die dorsolaterale Grenze des Thalamus bildet nach wie vor die Stria terminalis (ts). In unmittelbarer Nachbarschaft zur Stria terminalis (ts) befinden sich der Nucleus caudatus (cn), der Fasciculus subcallosus (fsc), als laterale Begrenzung des Seitenventrikels (lv), und die Balkenstrahlung, Radiatio corporis callosi (rac), die vom Corpus callosum (cc) aus in Richtung Frontal- und Occipitallappen ziehen.

Die Gyri und Sulci des Großhirnmantels erfahren im Vergleich zum vorherigen Schnittbild keine Veränderungen, lediglich das Operculum (op) ist deutlicher zu erkennen.

4.14 Transversalschnitt 14 :



Abkürzungen :

|                                      |                                     |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| alv: Alveus                          | lme: Lamina medullaris externa      |
| cam: Cornu ammonis                   | lv: Ventriculus lateralis           |
| cc: Corpus callosum                  | Mar: Sulcus marginalis              |
| cgl: Corpus geniculatum laterale     | mar: Gyrus marginalis               |
| ci: Gyrus cinguli                    | op: Operculum                       |
| cof: Commissura fornicis             | ot: Tractus opticus                 |
| coh: Commissura habenularum          | pcm: Pedunculus corporis mamillaris |
| crc: Crus cerebri                    | pg: Hypophyse                       |
| cs: Sinus cavernosus                 | pir: Lobus piriformis               |
| dg: Gyrus dentatus                   | pul: Pulvinar                       |
| ec: Capsula externa                  | rac: Radiatio corporis callosi      |
| Ecm: Sulcus ectomarginalis           | rao: Radiatio optica                |
| ecm: Gyrus ectomarginalis            | Rfi: Fissura rhinalis lateralis     |
| Ecs: Sulcus ectosylvius              | smt: Stria medullaris thalami       |
| ecs: Gyrus ectosylvius               | sng: Substantia nigra               |
| fh: Fimbria hippocampi               | spe: Septum pellucidum              |
| Flc: Fissura longitudinalis cerebri  | Spl: Sulcus splenialis              |
| fr: Fasciculus retroflexus (Meynert) | Sss: Sulcus suprasylvius            |
| fsc: Fasciculus subcallosus          | sss: Gyrus suprasylvius             |
| fte: Fasciculus tegmenti (Forel)     | vtx: Decussatio tegmenti ventralis  |
| ha: Habenulae                        | zi: Zona incerta                    |
| ic: Capsula interna                  | 3: dritter Ventrikel                |
| ig: Indusium griseum                 |                                     |

Anatomische Beschreibungen :

Im lateralen Bereich des Archipallium entwickelt sich zunehmend der distale Teil des Cornu ammonis (cam). Dieser liegt medial des Lobus piriformis (pir) und des ventralen Teils des Seitenventrikels (lv) und besteht aus dem medialen Gyrus dentatus (dg) und dem lateralen Alveus (alv). Dorsal des Thalamus (th) und ventral des lateralen Ventrikels (lv) sind erste Anschnitte des Hippocampus erkennbar. An die angedeutete bogenförmige Verbindungslinie des ventralen und dorsalen Hippocampus (cam) reihen sich medial die Fimbria hippocampi (fh). Lateral schließt sich die Radiatio optica (rao) an, die efferente Sehbahnen darstellen und ausgehend vom Tractus opticus (ot) - über das Corpus geniculatum laterale (cgl) - im occipitalen Cortex enden. In unmittelbarer Nachbarschaft zum Corpus geniculatum laterale (cgl) erkennt man dorsal des Thalamus (th) das Pulvinar (pul) als Hinweis auf den kaudalen Anteil des Thalamus. Das Corpus geniculatum laterale (cgl) und das

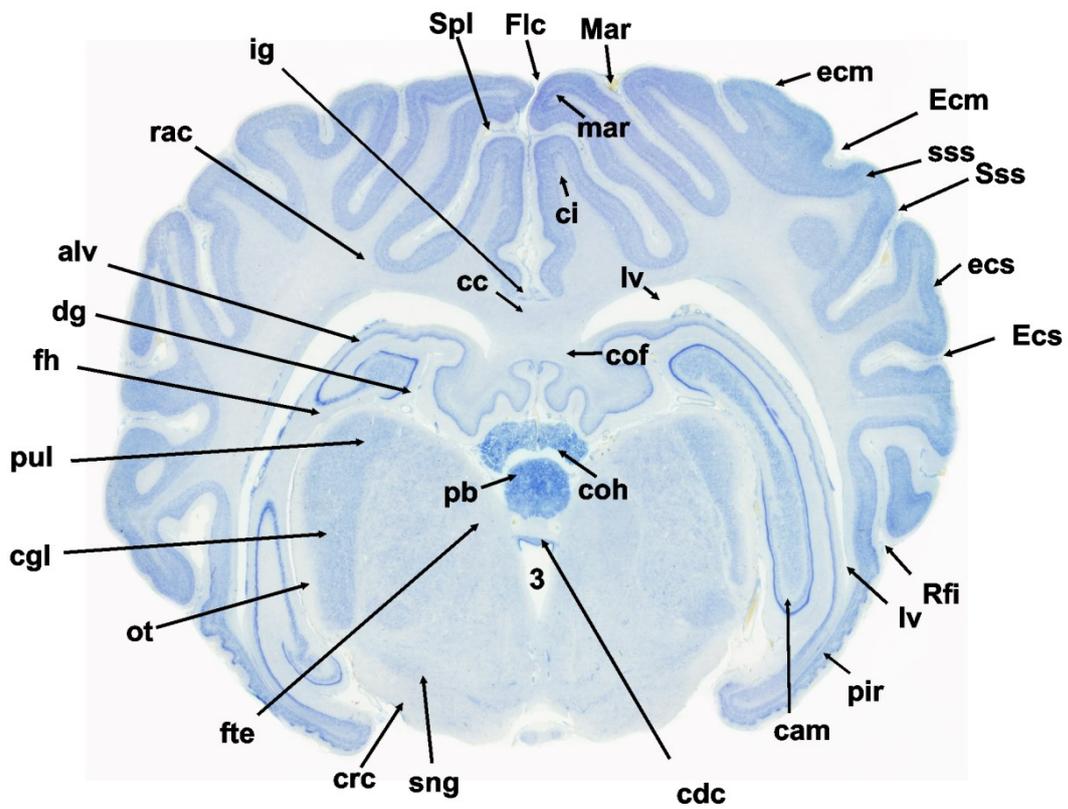
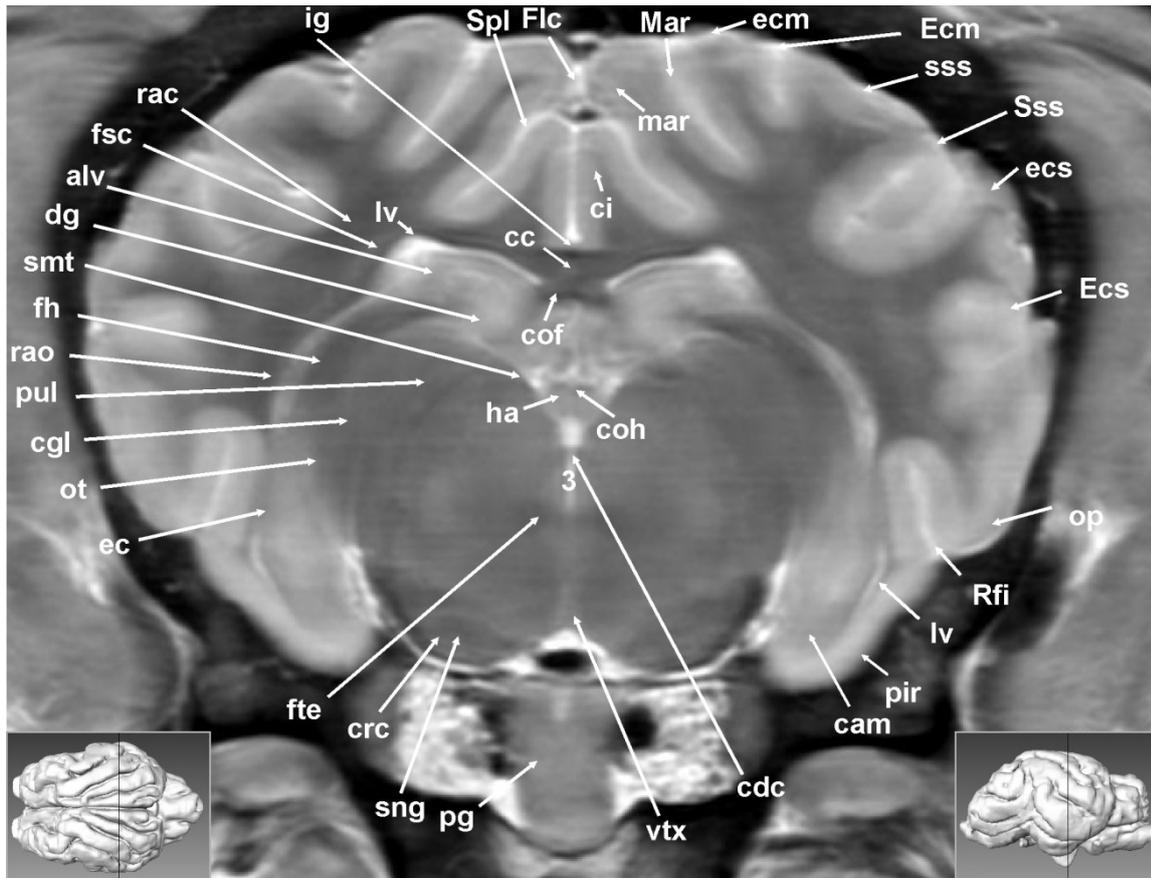
Pulvinar (pul) trennen die Lamina medullaris externa (lme) vom Thalamus. Im medialen Aspekt des Thalamus befinden sich die Habenulae (ha) mit einer deutlich hypointensen Linie, der Commissura habenularum (coh). Getrennt wird der rechte und linke Thalamus weiterhin durch den dritten Ventrikel (3). Im ventralen Aspekt, ebenfalls in der Medianen, findet sich die Haubenkreuzung, die Decussatio tegmenti ventralis (vtx). Die ventrale Begrenzung des Thalamus - mit den in diesem Anschnitt sichtbaren Fasciculus tegmenti (fte) und Fasciculus retroflexus (Meynert) (fr) - bilden die Crura cerebri (crc). Zwischen dem Nucleus subthalamicus (nst) und den Crura cerebri (crc) findet sich noch die Substantia nigra (sng) und geringgradig dorsal die Zona incerta (zi). Dem Thalamus liegt dorsal die Stria medullaris thalami (smt) auf.

Zusätzlich zur Commissura habenularum (coh) zeigt dieser magnetresonanztomographische Transversalschnitt eine weitere Kommissur, die Commissura fornicis (cof), als markhaltige Verbindung querverlaufender Fasern der Gewölbeschenkel. Dorsal dieser Kommissur befindet sich in der Medianen die Trennung der Seitenventrikel (lv), das Septum pellucidum (spe) und angrenzend der Hirnbalken das Corpus callosum (cc) mit dem Indusium griseum (ig). Ausgehend von Corpus callosum (cc) ziehen die Balkenstrahlen, Radiatio corporis callosi (rac), Richtung Hemisphären, gefolgt von einem ventral gelegenen Faserbündel, dem Fasciculus subcallosus (fsc).

Im Bereich der Hemisphären erreicht der Gyrus marginalis (mar) durch die Massenzunahme und die kaudolaterale Verlaufsrichtung der Sulci mehr und mehr die Dorsalfläche des Telencephalons. Der Sulcus marginalis (Mar) zeigt ebenso wie der auf der Medialfläche gelegene Sulcus splenialis (Spl) eine deutliche Tiefe. Die weiteren oberflächlichen Strukturen des Hirnmantels bleiben mit dem Sulcus ectomarginalis (Ecm), dem Sulcus suprasylvius (Sss) und dem Sulcus ectosylvius (Ecs) mit den zugehörigen Gyri unverändert. Als Grenze des Neopalliums zum Paleopallium ist der kaudale Anteil der Fissura rhinalis lateralis (Rfi) ebenfalls vorhanden.

Als Anhang des Gehirns sieht man in diesem Schnitt die Hypophyse (pg) ohne erkennbare Verbindung zum Gehirn, auf Grund der Schnittebene, die hinter dem Infundibulum gelegen ist.

4.15 Transversalschnitt 15 :



Abkürzungen :

|                                     |                                    |
|-------------------------------------|------------------------------------|
| 3: dritter Ventrikel                | ha: Habenulae                      |
| alv: Alveus                         | ig: Indusium griseum               |
| cam: Cornu ammonis                  | lv: Ventriculus lateralis          |
| cc: Corpus callosum                 | Mar: Sulcus marginalis             |
| cdc: Commissura caudalis            | mar: Gyrus marginalis              |
| cgl: Corpus geniculatum laterale    | op: Operculum                      |
| ci: Gyrus cinguli                   | ot: Tractus opticus                |
| cof: Commissura fornicis            | pg: Hypophyse                      |
| coh: Commissura habenularum         | pir: Lobus piriformis              |
| crc: Crus cerebri                   | pul: Pulvinar                      |
| dg: Gyrus dentatus                  | rac: Radiatio corporis callosi     |
| ec: Capsula externa                 | rao: Radiatio optica               |
| Ecm: Sulcus ectomarginalis          | Rfi: Fissura rhinalis lateralis    |
| ecm: Gyrus ectomarginalis           | smt: Stria medullaris thalami      |
| Ecs: Sulcus ectosylvius             | sng: Substantia nigra              |
| ecs: Gyrus ectosylvius              | Spl: Sulcus splenialis             |
| fh: Fimbria hippocampi              | Sss: Sulcus suprasylvius           |
| Flc: Fissura longitudinalis cerebri | sss: Gyrus suprasylvius            |
| fsc: Fasciculus subcallosus         | vtx: Decussatio tegmenti ventralis |
| fte: Fasciculus tegmenti (Forel)    |                                    |

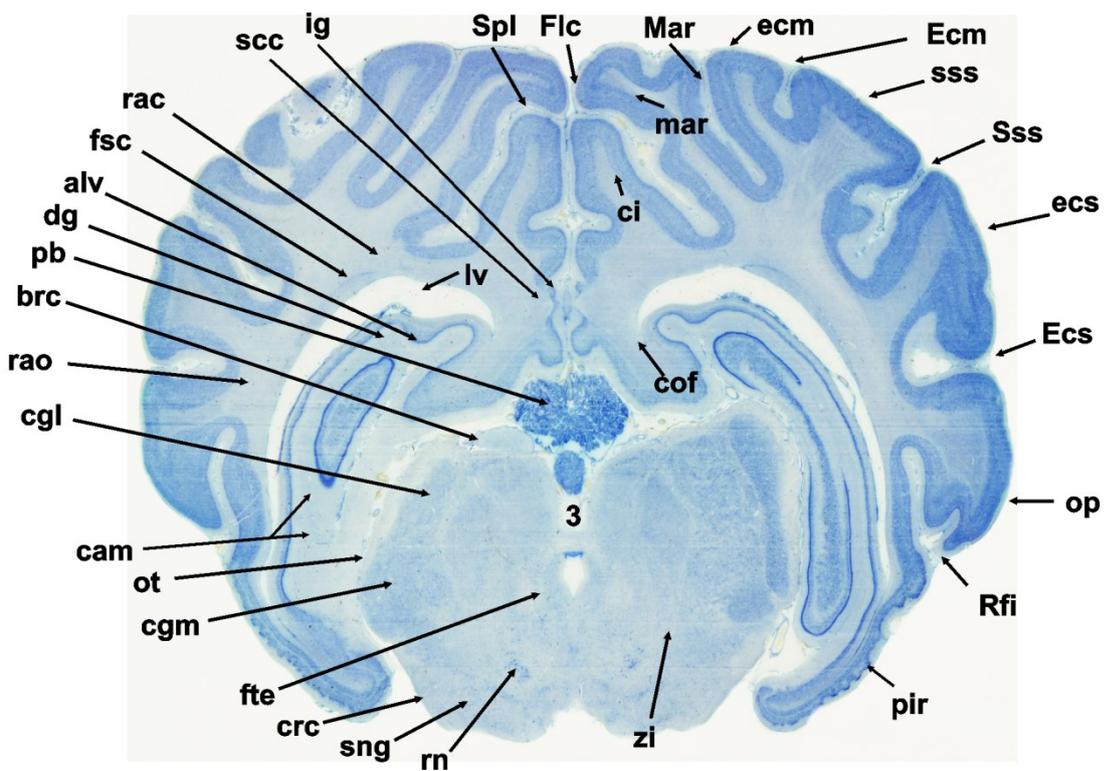
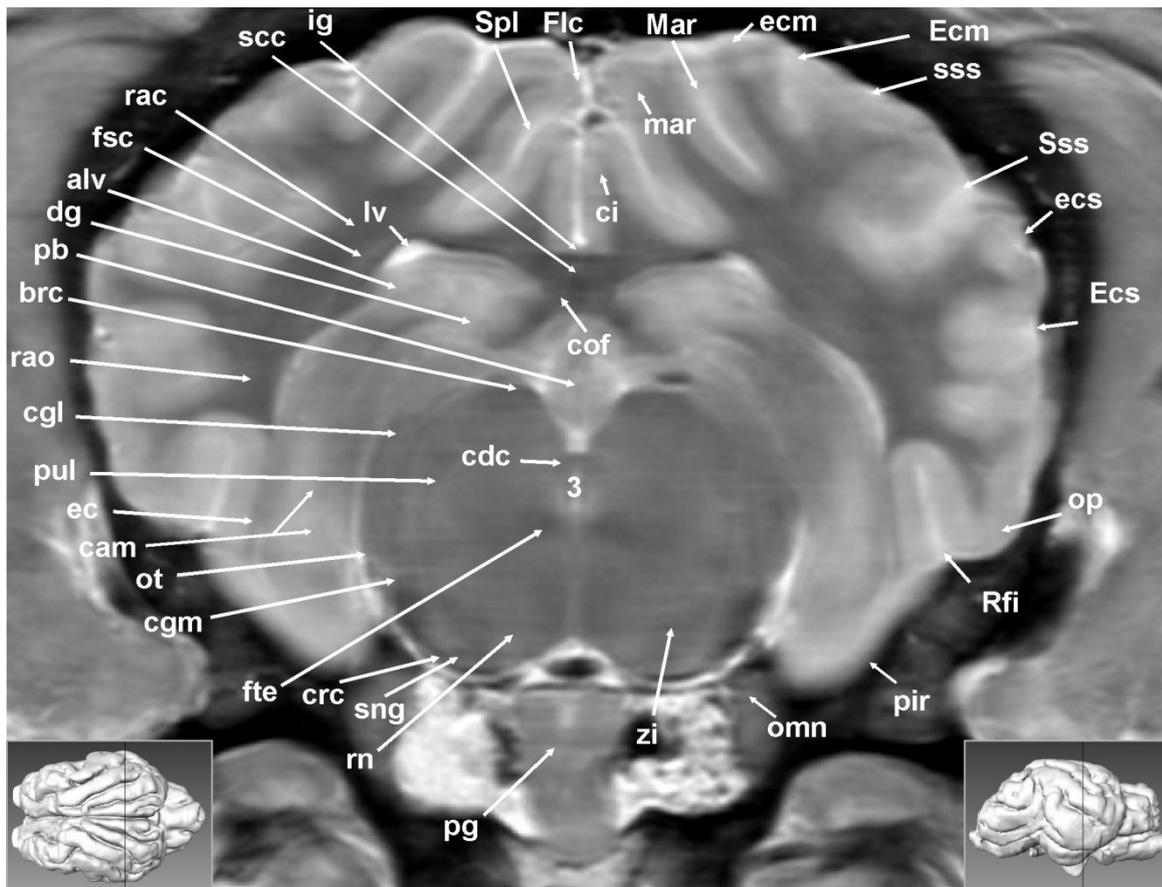
Anatomische Beschreibungen :

Im Vergleich zum histologischen Gewebeschnitt zeigt das magnetresonanztomographische Bild die Annäherung der ventralen und dorsalen Strukturen des Hippocampus (cam) mit dem medialen Anteil, dem Gyrus dentatus (dg), und dem lateralen Alveus (alv). Medial der Fimbria hippocampi (fh) zeigt sich das Corpus geniculatum laterale (cgl) im Vergleich zur Histologie nicht so deutlich hervorgehoben. Mediodorsal des Corpus geniculatum laterale liegt das Pulvinar (pul). Die Habenulae (ha) inklusive der Commissura habenularum (coh) liegen mediodorsal dem Thalamus auf, der eine deutliche mediale Einschnürung zeigt, an dessen Grund sich die Commissura caudalis (cdc) befindet. Der Thalamus mit dem paramedian im Parenchym des Thalamus gelegenen hypointensen Fasciculus tegmenti (Forel) (fte) wird durch die Crura cerebri (crc) nach ventral abgegrenzt. Als schmales Zellband in den Crura cerebri (crc), ist die Substantia nigra (sng) erkennbar. Zwischen dem Corpus geniculatum laterale (cgl) und dem Cornu ammonis (cam) liegt der Tractus opticus (ot), dessen Faserverläufe erst das Corpus geniculatum laterale (cgl) passieren und im Folgenden die Radiatio optica (rao) darstellen. Dem Ammonshorn

(cam) dorsal anliegend befindet sich der laterale Ventrikel (lv), der im ventralen Bereich das Ammonshorn (cam) vom Lobus piriformis (pir) trennt. Dorsal des Ammonshorns (cam) liegt neben der Commissura fornicis (cof) auch das Corpus callosum (cc) mit seiner lateral gerichteten Balkenstrahlung, Radiatio corporis callosi (rac), als hypointense Struktur.

Die beiden Hemisphären des Großhirns werden durch die Fissura longitudinalis cerebri (Flc) in der Medianen getrennt. Dem Corpus callosum (cc) anliegend befindet sich der auf der Medialfläche gelegene Gyrus cinguli (ci), auch Cingulum genannt. Als Grenze zum darauffolgenden Gyrus marginalis (mar) ist der Sulcus splenialis (Spl) zu benennen. Der Gyrus ectomarginalis (ecm) als folgender Gyrus in lateraler Richtung wird vom Sulcus marginalis (Mar) medial und Sulcus ectomarginalis (Ecm) lateral flankiert. In der Nachbarschaft des Sulcus ectomarginalis (Ecm) liegt der Gyrus suprasylvius (sss), der hier, nach seinem bogenförmigen Verlauf um die Fissura sylvia, mit seinem zugehörigen Sulcus suprasylvius (Sss) in seiner Pars caudalis angeschnitten ist. Der Gyrus ectosylvius (ecs) mit dem Sulcus ectosylvius (Ecs) sind - abgesehen von der Fissura rhinalis lateralis (Rfi) - die distal gelegenen oberflächlichen Strukturen der Hemisphären.

4.16 Transversalschnitt 16 :



Abkürzungen :

|                                     |                                 |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| 3: dritter Ventrikel                | lv: Ventriculus lateralis       |
| alv: Alveus                         | Mar: Sulcus marginalis          |
| brc: Brachium colliculi rostralis   | mar: Gyrus marginalis           |
| cam: Cornu ammonis                  | omn: Nervus oculomotorius       |
| cdc: Commissura caudalis            | op: Operculum                   |
| cgl: Corpus geniculatum laterale    | ot: Tractus opticus             |
| cgm: Corpus geniculatum mediale     | pb: Epiphyse                    |
| ci: Gyrus cinguli                   | pg: Hypophyse                   |
| cof: Commissura fornicis            | pir: Lobus piriformis           |
| crc: Crus cerebri                   | pul: Pulvinar                   |
| dg: Gyrus dentatus                  | rac: Radiatio corporis callosi  |
| ec: Capsula externa                 | rao: Radiatio optica            |
| Ecm: Sulcus ectomarginalis          | Rfi: Fissura rhinalis lateralis |
| ecm: Gyrus ectomarginalis           | rn: Nucleus ruber               |
| Ecs: Sulcus ectosylvius             | scc: Splenium corporis callosi  |
| ecs: Gyrus ectosylvius              | sng: Substantia nigra           |
| Flc: Fissura longitudinalis cerebri | Spl: Sulcus splenialis          |
| fsc: Fasciculus subcallosus         | Sss: Sulcus suprasylvius        |
| fte: Fasciculus tegmenti (Forel)    | sss: Gyrus suprasylvius         |
| ig: Indusium griseum                | zi: Zona incerta                |

Anatomische Beschreibungen :

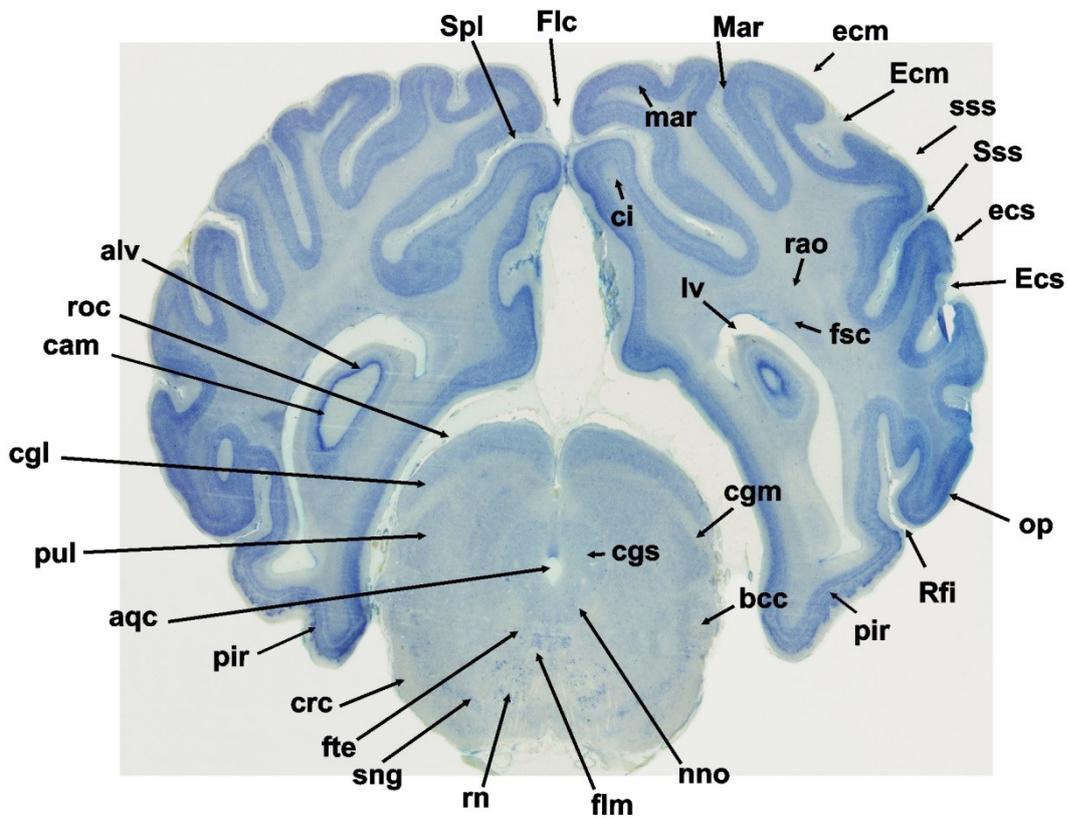
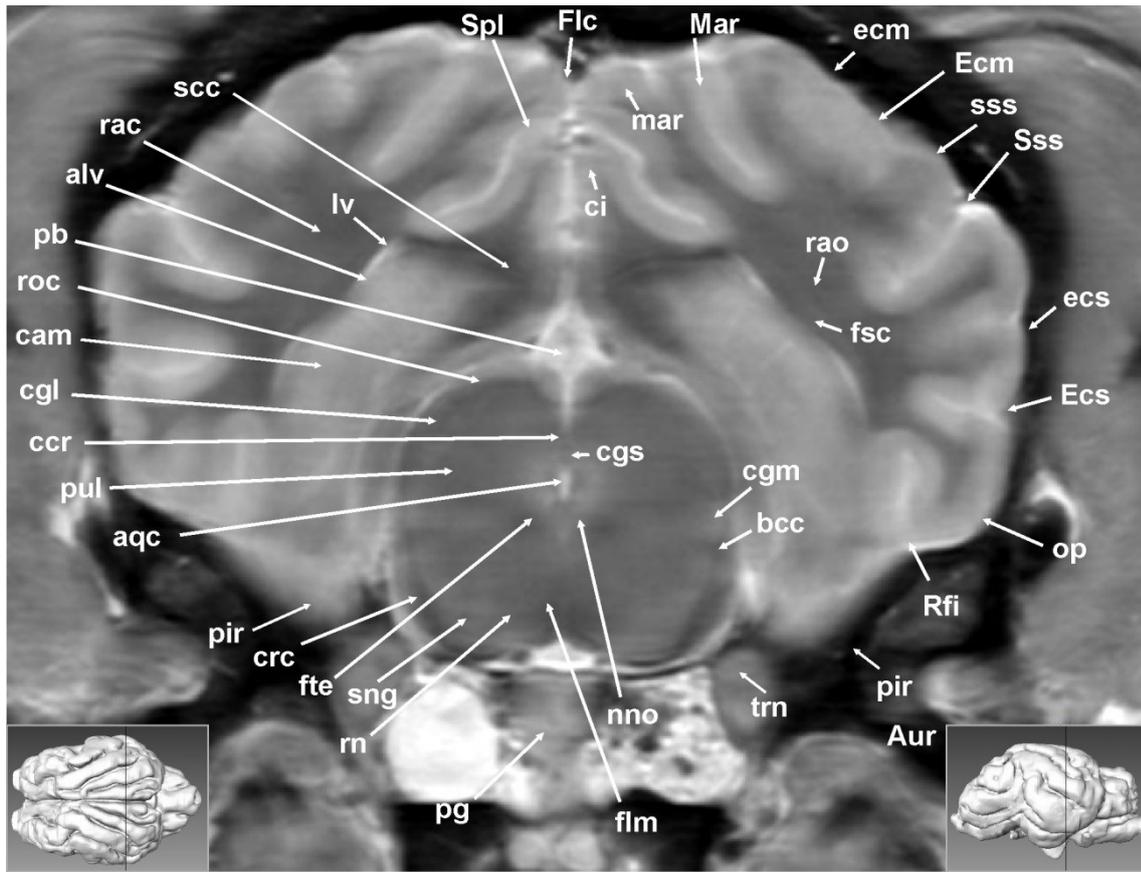
Das transversale magnetresonanztomographische Schnittbild zeigt den Übergang des Diencephalons zum Mesencephalon. Als deutlichstes Anzeichen dafür ist der Anschnitt der Epiphyse (pb) in der Bildmitte erkennbar, der noch zum Diencephalon zählt. Unterhalb bzw. lateral der Epiphyse (pb) liegt das Branchium colliculli rostralis (brc) als Teil des Mesencephalons. Dorsal der Epiphyse (pb) liegt die Commissura fornicis (cof) unterhalb des hypointensen Corpus callosum (cc), das hier im bogenförmigen Ausläufer (vergleiche Sagittalschnitt – Abbildung 11), also im Splenium corporis callosi (scc), angeschnitten ist. In unmittelbarer Nachbarschaft, unterhalb des lateralen Ventrikels (lv), befindet sich im bogenförmigen Verlauf das Cornu ammonis (cam) mit seinem medialen Gyrus dentatus (dg) und dem lateralen Alveus (alv). Medial des Hippocampus liegt das Corpus geniculatum laterale (cgl), das als Sehhügel Faserzüge aus dem ventral gelegene Tractus opticus (ot) erhält und diese über die Sehstrahlung, die Radiatio optica (rao), an die Sehrinde weitergibt. Ein Teil der efferenten Fasern wird ebenfalls zu den Colliculi rostralis geleitet. Angrenzend an den Tractus opticus (ot) läßt sich das Corpus geniculatum

mediale (cgm) als hyperintense Struktur identifizieren. Im ventralen Bereich des Mittelhirns erkennt man die Crura cerebri (crc), die von der Substantia nigra (sng) bedeckt werden. Medial ist der Nucleus ruber (rn) erkennbar, der eine zentrale Rolle in der Gesamtmotorik spielt und dessen efferente Fasern in der nahegelegenen Decussatio tegmenti ventralis (vtx) die Mittelebene kreuzen (hier nicht mehr angeschnitten). Auf Höhe des Mittelhirns, oder, genauer beschrieben, im ventralen Bereich der Crura cerebri (crc), findet sich der Ursprung des Nervus oculomotorius (omn), direkt unterhalb des Lobus piriformis (pir).

Der dritte Ventrikel geht in diesem Schnittbild ebenfalls in den im Mesencephalon vorhandenen Aquaeductus mesencephali über. Dorsal davon ist die Commissura caudalis als Endpunkt des Zwischenhirns und als dorsale Begrenzung des Aquaeductus mesencephali als hypointense quer verlaufende Linie erkennbar.

Die Trennung beider Hemisphären durch die Fissura longitudinalis cerebri bleibt unverändert bestehen. Ebenso zeigen sich auch die Gyri und Sulci des oberflächlichen Großhirns mit dem Gyrus und Sulcus ectosylvius (ecs, Ecs), dem Gyrus und Sulcus suprasylvius (sss, Sss), dem folgenden Gyrus und Sulcus ectomarginalis (ecm, Ecm) und Gyrus und Sulcus marginalis (mar, Mar) sowie die mediale Fläche der Hemisphäre mit Sulcus splenialis (Spl) und Gyrus cinguli (ci) unverändert.

4.17 Transversalschnitt 17 :



Abkürzungen :

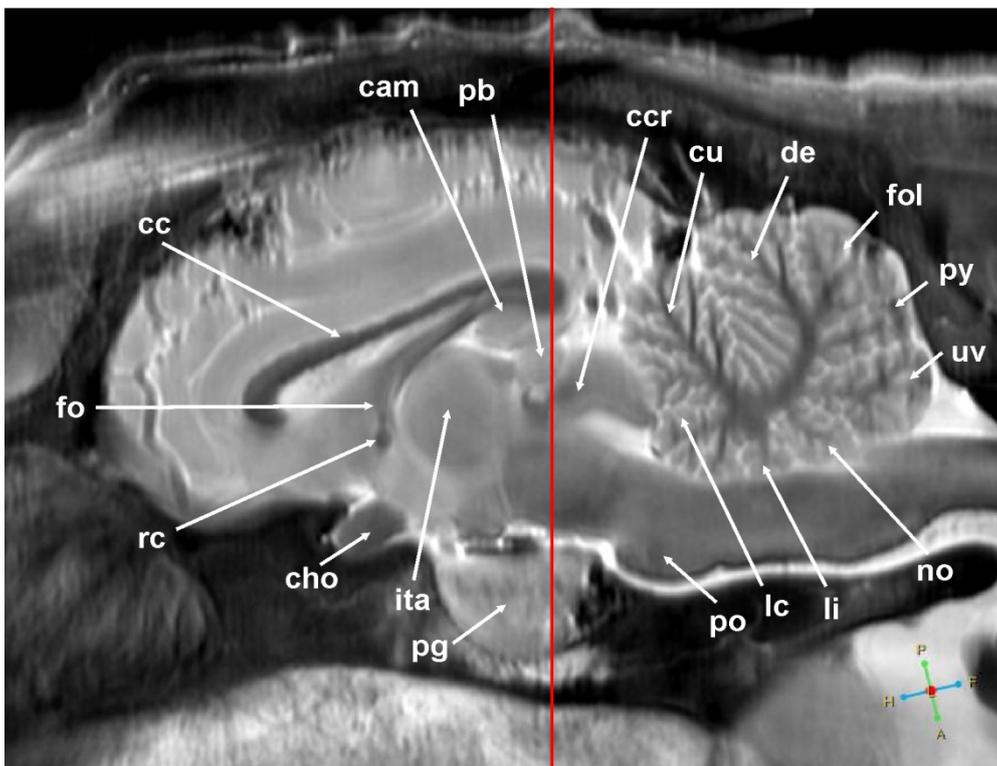
|   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| alv: Alveus                             | Mar: Sulcus marginalis                |
| aqc: Aqueductus mesencephali            | mar: Gyrus marginalis                 |
| Aur: Ohr                                | nno: Nucleus motorius n. oculomotorii |
| bcc: Brachium colliculi caudalis        | op: Operculum                         |
| cam: Cornu ammonis                      | pb: Epiphyse                          |
| ccr: Commissura colliculi rostralis     | pg: Hypophyse                         |
| cgl: Corpus geniculatum laterale        | pir: Lobus piriformis                 |
| cgm: Corpus geniculatum mediale         | pul: Pulvinar                         |
| cgs: Substantia grisea centralis        | rac: Radiatio corporis callosi        |
| ci: Gyrus cinguli                       | rao: Radiatio optica                  |
| crc: Crus cerebri                       | Rfi: Fissura rhinalis lateralis       |
| Ecm: Sulcus ectomarginalis              | rn: Nucleus ruber                     |
| ecm: Gyrus ectomarginalis               | roc: Colliculi rostralis              |
| Ecs: Sulcus ectosylvius                 | scc: Splenium corporis callosi        |
| ecs: Gyrus ectosylvius                  | sng: Substantia nigra                 |
| Flc: Fissura longitudinalis cerebri     | Spl: Sulcus splenialis                |
| flm: Fasciculus longitudinalis medialis | Sss: Sulcus suprasylvius              |
| fsc: Fasciculus subcallosus             | sss: Gyrus suprasylvius               |
| fte: Fasciculus tegmenti (Forel)        | trn: Nervus trigeminus                |
| ig: Indusium griseum                    |                                       |
| lv: Ventriculus lateralis               |                                       |

Anatomische Beschreibungen :

Geringgradig unscharf dargestellt wird ventral des Gehirns der letzte Anschnitt der Hypophyse (pg), der nicht mehr in das Gehirn übergeht, sondern von diesem durch eine hypointense Linie getrennt ist. In der Umgebung des Gehirns sehen wir in diesem Transversalschnitt den horizontalen Gehörgang (Aur) erstmals im Schnittbild. In direkter Nachbarschaft liegt ventral des Gehirns der Nervus trigeminus (trn) mit einer hypointensen Linie als deutliche Grenze zum Hypothalamus. Die nicht sichtbaren Faserzüge ziehen bis ins Mesencephalon unterhalb des Aquaeductus mesencephali (aqc) mit der umgebenden Substantia grisea centralis (cgs) und sammeln sich im Nucleus motorius des Nervus oculomotorius (nno). Paramedian und ventral der Substantia grisea centralis (cgs) liegt der Fasciculus tegmenti (Forel) (fte). Das Aquaeductus mesencephali (aqc) markiert die Ebene zwischen Mittelhirndach, dem Tectum mesencephali, und dem Tegmentum mesencephali. Das Tectum mesencephali, bestehend aus der Lamina quadrigemina, wird in diesem Anschnitt durch die vorderen Hügel, die Colliculi rostrales (roc) dargestellt. Diese

erhalten Faserzüge aus dem Tractus opticus (ot), der als hypointense Struktur lateral des Mesencephalons lokalisiert ist. Die Verbindung des rechten und linken vorderen Hügels wird als Commissura colliculi rostralis (ccr) bezeichnet und befindet sich dorsal des zentralen Höhlengrau, der Substantia grisea centralis (cgs). Das Tegmentum mesencephali (teg) als Mittelteil des Mittelhirns mit den Ursprungskernen des Nervus oculomotorius (nno), dem Nucleus ruber (rn) sowie der Substantia nigra (sng) und dem Fasciculus longitudinalis medialis (flm) wird ventral durch die Crura cerebri (crc) begrenzt. In unmittelbarer Nachbarschaft befinden sich lateral das Corpus geniculatum mediale (cgm) und das distal gelegene Brachium colliculi caudalis (bcc). Das Corpus geniculatum laterale (cgl) liegt den Colliculi rostrales (roc) ventrolateral an.

Als hypointense Struktur in der magnetresonanztomographischen und als dunklere Struktur im korrespondierenden histologischen Schnittbild sind - als Anteile des



**Abb. 12:**

**Magnetresonanztomografisches midsagittales Schnittbild eines Schafgehirns.**

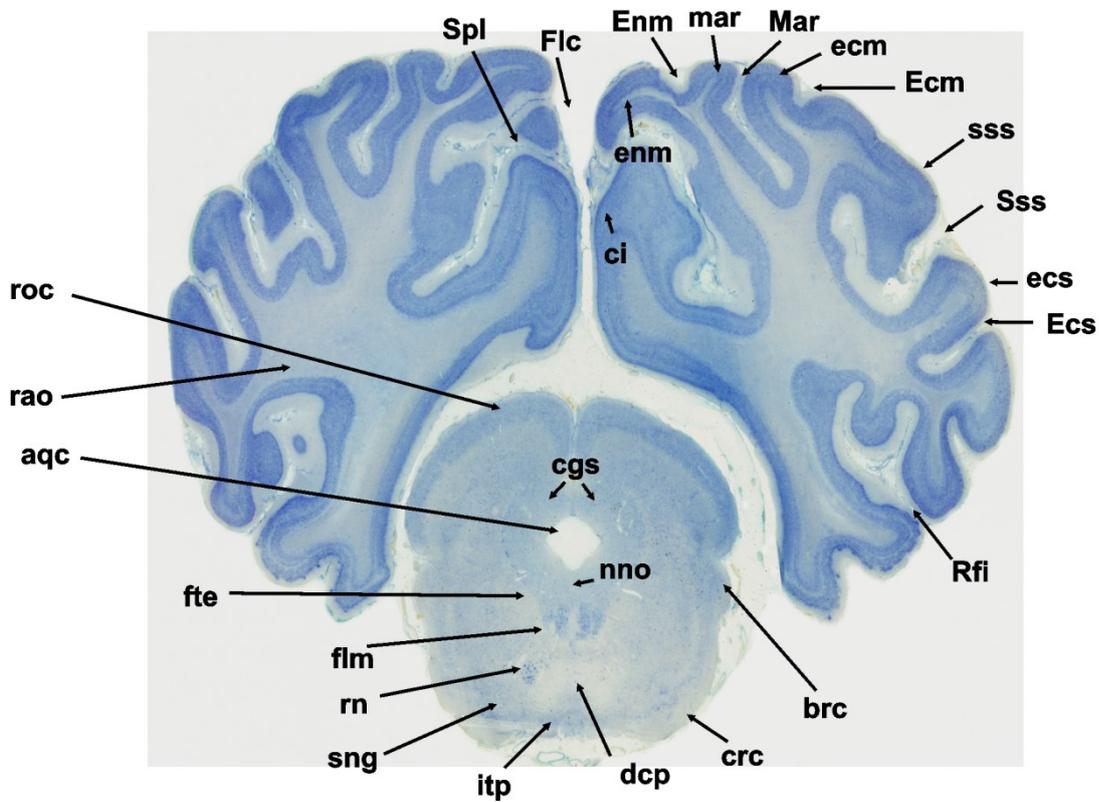
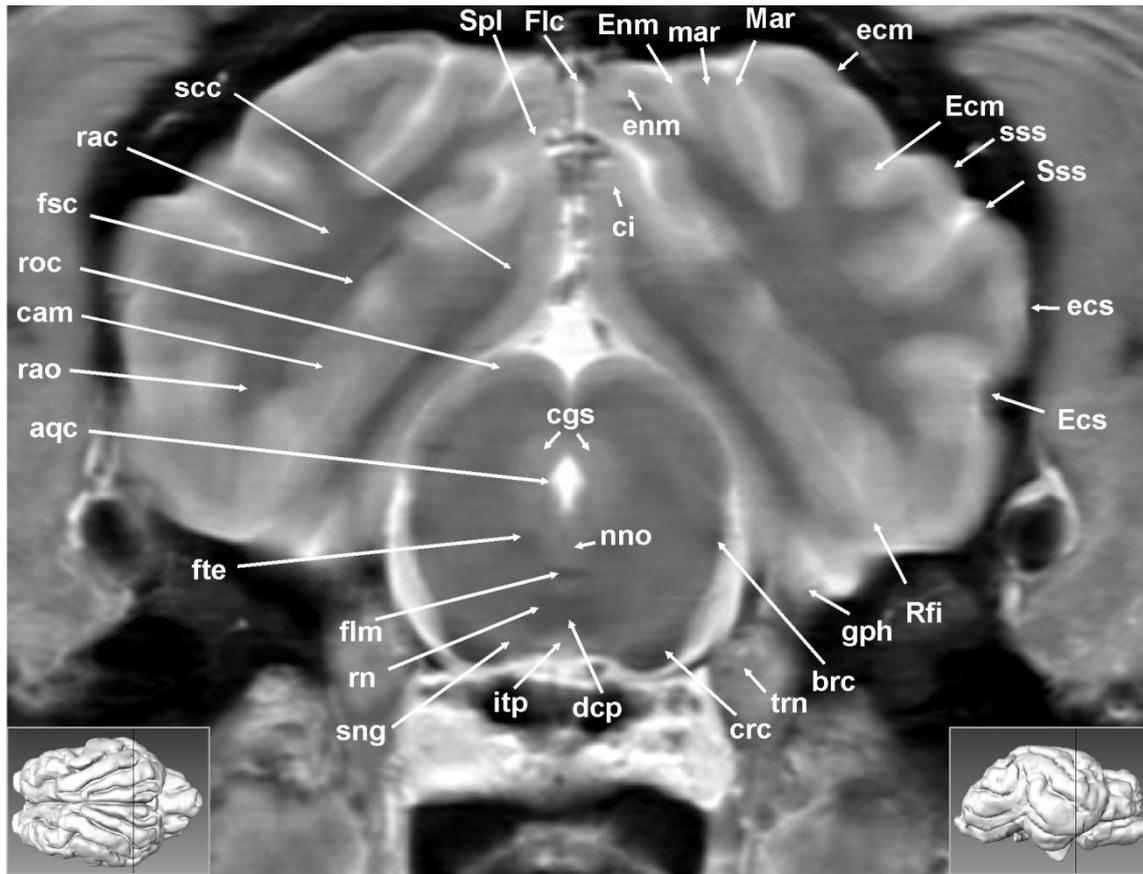
**Rote Linie markiert die Schnittebene zu Transversalschnitt 17**

**Abkürzungen:**

**cam:** Cornu ammonis, **cc:** Corpus callosum, **ccr:** Commissura colliculi rostralis, **cho:** Chiasma opticum, **cu:** Culmen, **de:** Declive, **fo:** Fornix, **fol:** Folium, **ita:** Adhaesio interthalamica, **lc:** Lobulus centralis, **li:** Lingula, **no:** Nodus, **pb:** Epiphyse, **pg:** Hypophyse, **po:** Pons, **py:** Pyramis(Vermis), **rc:** Commissura rostralis, **uv:** uvula

Zwischenhirns - das Corpus geniculatum mediale und laterale (cgm, cgl) erkennbar. Zum Zwischenhirn gehörend - und als Ausstülpung aus diesem - befindet sich dorsal der Colliculi rostralis (roc) in der Medianen die Epiphyse (pb). Die ventrale Begrenzung stellt ein Teil des 3. Ventrikels dar. Wie erkennbar im midsagittalen Schnittbild in Abbildung 12 wird das Zwischenhirn und das Mittelhirn noch vom kaudalen Anteil des Telencephalons bedeckt. Hierzu zählt der kaudale Balkenwulst, das Splenium corporis callosi (scc), und der hintere Anteil des Hippocampus (cam) ebenso wie die aufliegenden Hemisphären mit den Gyri und Sulci. In der weißen Substanz des Telencephalons, im magnetresonanztomographischen Schnittbild hypointens, also dunkel, dargestellt, finden sich neben der Radiatio optica (rao) und der Radiatio corporis callosi (rac) auch der Fasciculus subcallosus (fsc), der eine flache, nach dorsoventral ausgezogene Form annimmt. Der hyperintense Randbereich des Telencephalons, die graue Substanz, wird durch das übermäßige Wachstum des Neopalliums in die bereits bekannten Gyri und Sulci gefältelt. Im ventralen Bereich, lateral zum Nervus trigeminus (trn), sieht man den Lobus piriformis (pir), der noch zum Palaeopallium zählt und an die Fissura rhinalis lateralis (Rfi) anschließt. Die Oberfläche des Neopalliums zeigt sich unverändert im Vergleich zu vorherigen Schnittebenen. Der Sulcus ectosylvius (Ecs) mit dem proximal liegenden Gyrus ectosylvius (ecs) ist an der lateralen Hemisphärenfläche erkennbar. In dorsaler Richtung schließt sich der Sulcus suprasylvius (Sss) mit dem Gyrus suprasylvius (sss) an. Die Dorsalfläche der oberflächlichen Hemisphäre wird von dem Sulcus und dem Gyrus marginalis (Mar, mar) am Übergang zur medialen Fläche gebildet. Zwischen den Sulcus marginalis (Mar) und den Gyrus suprasylvius (sss) schiebt sich der Sulcus ectomarginalis (Ecm) mit seinem gleichnamigen Gyrus ectomarginalis (ecm), die den Übergang der dorsalen zur lateralen Hemisphäre darstellen. Die mediale Oberfläche der Hemisphären zeigt weiterhin den Sulcus splenialis (Spl) und den Gyrus cinguli (ci). Die Grenze zwischen beiden Hemisphärenhälften bildet die Fissura longitudinalis cerebri (Flc), auf deren Grund sich das Indusium griseum (ig) anschließt.

4.18 Transversalschnitt 18 :



Abkürzungen :

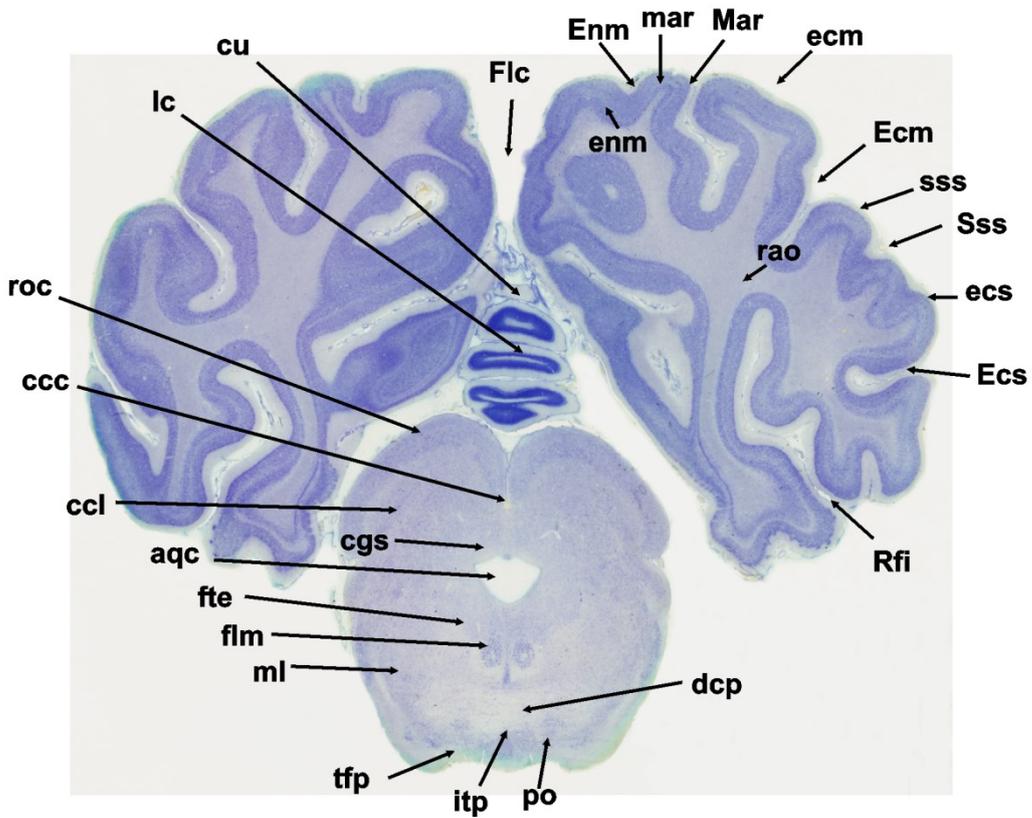
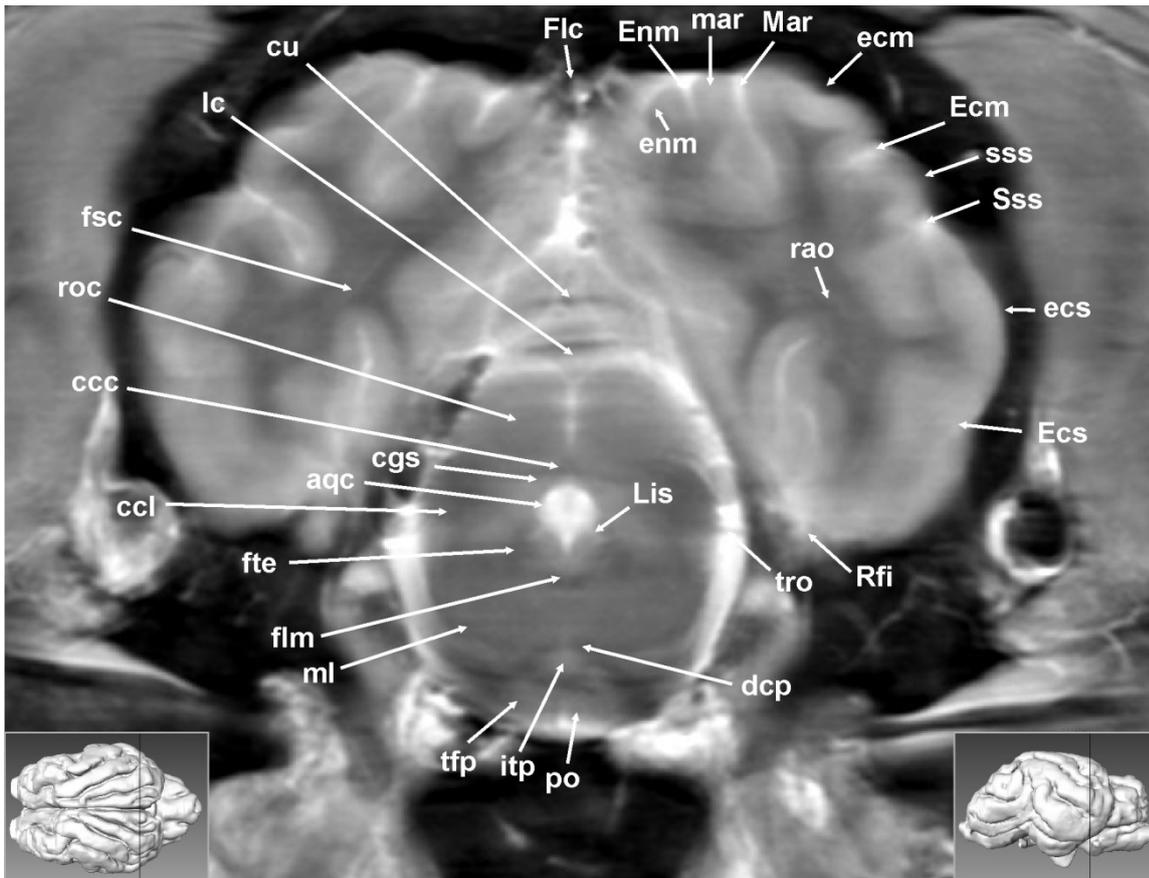
|  |                                       |
|--|---------------------------------------|
| aqc: Aquaeductus mesencephali              | fte: Fasciculus tegmenti (Forel)      |
| Aur: Ohr                                   | gph: Gyrus parahippocampalis          |
| brc: Brachium colliculi rostralis          | itp: Nucleus interpeduncularis        |
| cam: Cornu ammonis                         | Mar: Sulcus marginalis                |
| cgs: Substantia grisea centralis           | mar: Gyrus marginalis                 |
| ci: Gyrus cinguli                          | nno: Nucleus motorius n. oculomotorii |
| crc: Crus cerebri                          | rac: Radiatio corporis callosi        |
| dcp: Decussatio pedunculorum cerebellarium | rao: Radiatio optica                  |
| Ecm: Sulcus ectomarginalis                 | Rfi: Fissura rhinalis lateralis       |
| ecm: Gyrus ectomarginalis                  | rn: Nucleus ruber                     |
| Ecs: Sulcus ectosylvius                    | roc: Colliculi rostralis              |
| ecs: Gyrus ectosylvius                     | scc: Splenium corporis callosi        |
| Enm: Sulcus endomarginalis                 | sng: Substantia nigra                 |
| enm: Gyrus endomarginalis                  | Spl: Sulcus splenialis                |
| Flc: Fissura longitudinalis cerebri        | Sss: Sulcus suprasylvius              |
| flm: Fasciculus longitudinalis medialis    | sss: Gyrus suprasylvius               |
| fsc: Fasciculus subcallosus                | trn: Nervus trigeminus                |

Anatomische Beschreibungen :

Die Struktur der Hemisphärenoberfläche zeigt in diesem magnetresonanztomographischen Schnittbild einen zusätzlichen Sulcus mit dem dazugehörigen Gyrus auf der medialen Grenzfläche. Der Gyrus endomarginalis (enm) schiebt sich zwischen den Gyrus cinguli (ci) und den Gyrus marginalis (mar), welchen er nach lateral verdrängt. Er liegt somit näher an der medianen Grenzfläche, die durch die Fissura longitudinalis cerebri (Flc) gebildet wird. Nach der Nomenklatur wird dieser Gyrus als Gyrus endomarginalis (enm) bezeichnet. Lateral wird dieser Gyrus durch den gleichnamigen Sulcus endomarginalis (Enm) begrenzt, medial durch den Sulcus splenius (Spl). Die weiteren oberflächlichen Strukturen der Gyri und Sulci bleiben bis einschließlich der Fissura rhinalis lateralis (Rfi) in ihrer Anzahl, Reihenfolge und Nomenklatur unverändert zum vorherigen Schnittbild. So folgen dem Gyrus und Sulcus marginalis (mar, Mar) der Gyrus und der Sulcus ectomarginalis (ecm, Ecm). Dem sich lateral anschließenden Gyrus und Sulcus suprasylvius (sss, Sss) liegt der Gyrus und Sulcus ectosylvius (ecs, Ecs) an. Distal zur Fissura rhinalis lateralis (Rfi) befindet sich der Gyrus parahippocampalis (gph) in Nachbarschaft zum Nervus trigeminus (trn). Weitere erkennbare Strukturen der Hemisphäre sind der Balkenwulst, das Splenium corporis callosi (scc), sowie ein Anschnitt des

Hippocampus (cam) und die hypointense weiße Substanz mit der Radiatio optica (rao), der Radiatio corporis callosi (rac) und dem Fasciculus subcallosus (fsc). Das Mittelhirn scheint durch einen hyperintensiven Saum aus Liquor vollständig von den Hemisphären getrennt vorzuliegen. In der Mitte des Mesencephalons stellt sich, ebenfalls hyperintens, der liquorführende Aquaeductus mesencephali (aqc) mit der zirkulär umgebenden Substantia centralis grisea (cgs) dar. Diese fungiert als Grenze zwischen Tectum mesencephali mit der Lamina quadrigemina dorsal des Aquaeductus und dem Tegmentum mesencephali (teg) ventral. Das Mittelhirndach, das Tectum mesencephali, ist in diesem Schnittbild durch die Colliculi rostralis dargestellt, die mit einem Ausläufer, dem Brachium colliculi rostralis (brc) mit dem Corpus geniculatum laterale (cgl) in Verbindung stehen und an der Sehbahn beteiligt sind. Die Mittelhirnhaube, das Tegmentum mesencephali (teg) besteht aus dem medialen Längsbündel, dem Fasciculus longitudinalis medialis (flm), ventral der Substantia grisea centralis (cgs) und der Formatio reticularis. Diese setzt sich aus dem Nucleus ruber (rn), den Nuclei motorius des Nervus oculomotorius (nno), dem Nucleus interpeduncularis (itp) und der Substantia nigra (sng) zusammen. Die ventral gelegene Substantia nigra (sng) schließt das Tegmentum mesencephali (teg) gegenüber den aus dem Großhirn stammenden Fasermassen der Hirnschenkel, der Crura cerebri (crc), ab. Zwischen beiden Crus cerebri (crc) ist der nicht bilaterale, sondern einzeln vorkommende Nucleus intercruralis oder interpeduncularis (itp) erkennbar.

4.19 Transversalschnitt 19 :



Abkürzungen :

|   |                                  |
|---|----------------------------------|
| aqc: Aquaeductus mesencephali           | fte: Fasciculus tegmenti (Forel) |
| ccc: Commissura colliculi caudalis      | itp: Nucleus interpeduncularis   |
| ccl: Colliculi caudalis                 | lc: Lobulus centralis            |
| cgs: Substantia grisea centralis        | Lis: Sulcus limitans             |
| ci: Gyrus cinguli                       | Mar: Sulcus marginalis           |
| cu: Culmen                              | mar: Gyrus marginalis            |
| Ecm: Sulcus ectomarginalis              | ml: Lemniscus medialis           |
| ecm: Gyrus ectomarginalis               | po: Pons                         |
| Ecs: Sulcus ectosylvius                 | rao: Radiatio optica             |
| ecs: Gyrus ectosylvius                  | Rfi: Fissura rhinalis lateralis  |
| Enm: Sulcus endomarginalis              | roc: Colliculi rostralis         |
| enm: Gyrus endomarginalis               | Sss: Sulcus suprasylvius         |
| Flc: Fissura longitudinalis cerebri     | sss: Gyrus suprasylvius          |
| flm: Fasciculus longitudinalis medialis | tfp: Fibrae pontis transversae   |
| fsc: Fasciculus subcallosus             | tro: Nervus trochlearis          |

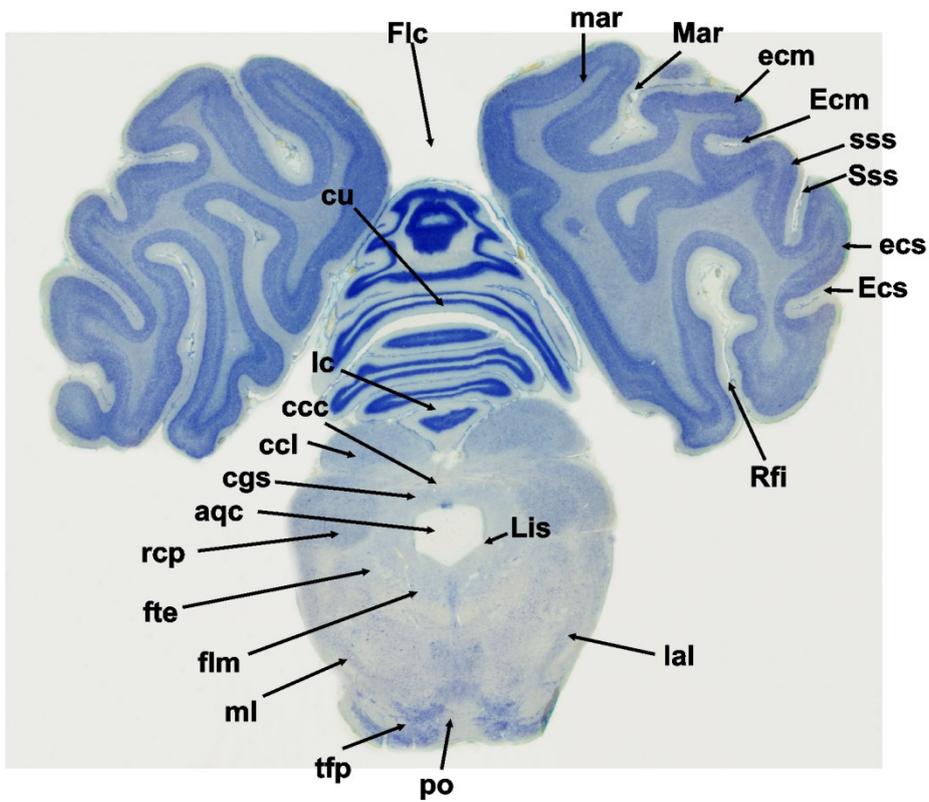
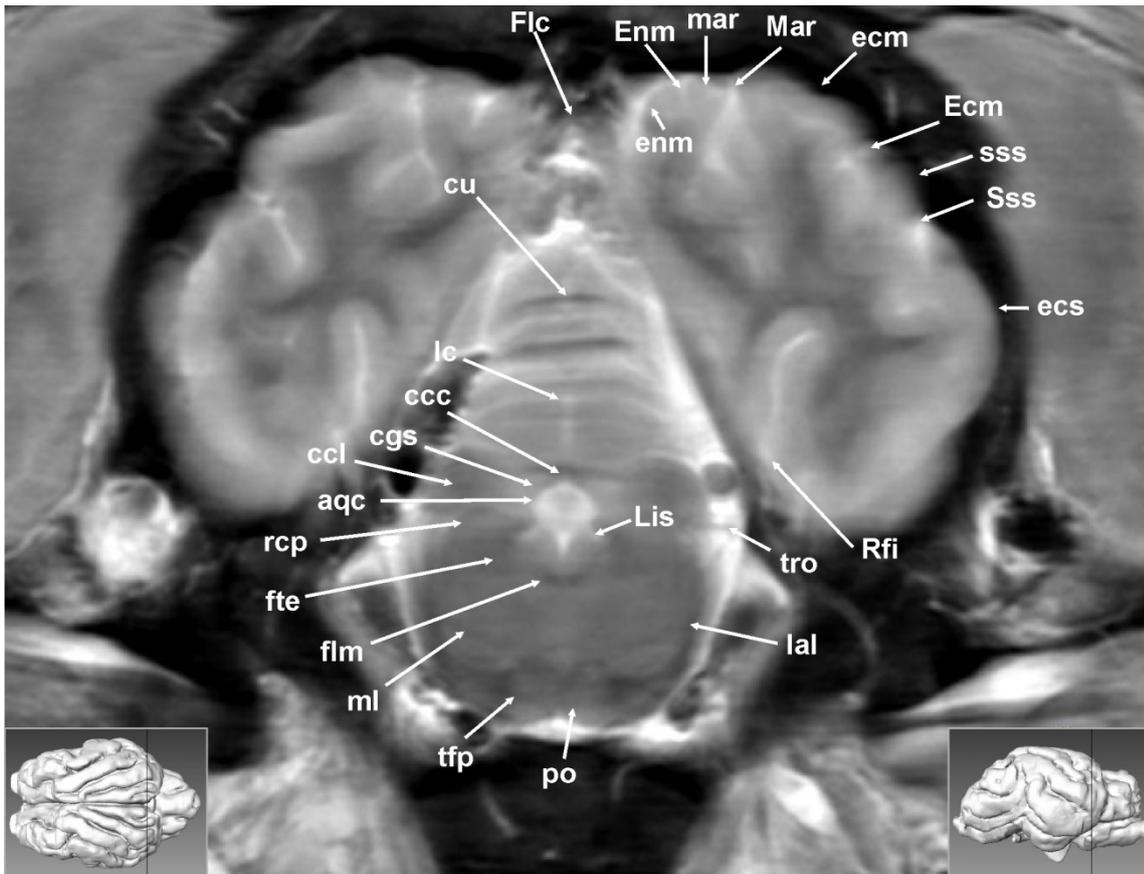
Anatomische Beschreibungen :

Diese transversale Schnittebene zeigt drei von fünf Anteilen des Gehirns. So sind die Hemisphären als Teil des Telecephalons angeschnitten, sowie Teile des Mesencephalons, aber auch im Vergleich zum vorherigen Schnittbild erste Abschnitte des Metencephalons. Weiterhin der ventral des Gehirns gelegene Pons (po) - mit seinen querverlaufenden Fibrae pontis transversae (tfp) - und querverlaufende Strukturen des Cerebellums. Es handelt sich um die kranialen Bezirke des Kleinhirns, den Lobulus centralis (lc) und den als Gipfel bezeichneten Culmen (cu). Der kraniale Teil des Pons markiert die Grenze zwischen Mesencephalon und Metencephalon. Die Strukturen des Hirnstammes, zu denen sowohl das Mesencephalon als auch der ventrale Teil des Metencephalons zählen, zeigen unterhalb der Kleinhirnschnitte die Colliculi rostralis (roc) und die Colliculi caudalis (ccl). Die Größenverhältnisse zwischen dem rostralen und caudalen Anteil der Vierhügelplatte - mit einem Größenvorteil der rostralen Colliculi (roc) beim Kleinen Wiederkäuer - werden hier deutlich. Untereinander sind die Colliculi caudalis (ccl) - ebenso wie die Colliculi rostralis (roc) - über eine Querbrücke, die Commissura colliculi caudalis (ccc), als hypointense Linie, verbunden. Ventral schließt sich die Substantia grisea centralis (cgs) an, die den Aquaeductus (aqc) des Mittelhirns umgibt. Im weiteren Verlauf geht der Aquaeductus mesencephali (aqc) in die Fossa rhomboidea über, die den Boden des 4. Ventrikels formt und dessen

Erscheinungsbild von Vertiefungen geprägt ist. Im Wesentlichen finden sich diese Furchen in diesem Schnittbild wieder. Es zeigt sich eine deutliche ventrale Furche in der Medianen, der Sulcus medianus, und zwei seitliche, kleinere Vertiefungen, die im magnetresonanztomographischen Schnittbild hyperintens dargestellt sind und als Sulcus limitans (Lis) bezeichnet werden. Distal der Substantia grisea centralis (cgs) findet sich der hypointense Fasciculus longitudinalis medialis (flm) rechts und links der Medianen und unmittelbar ventral der Nuclei motorii des Nervus oculomotorius (nno). Lateral liegt der Fasciculus tegmenti (fte). Kaudodorsal der Crura cerebri (crc) (in diesem Anschnitt nicht mehr erkennbar), die sich ihrerseits dorsal des Pons (po) befinden, und in der Medianen den Nucleus interpeduncularis (itp) flankieren, liegt der mediale Schleifenkörper (ml). Der Lemniscus medialis (ml) stellt die Grenze der Formatio reticularis dar.

Die beiden Hemisphären werden durch die Fissura longitudinalis cerebri (Flc) in der Medianen unterteilt. Der auf der medialen Fläche gelegene Gyrus cinguli (ci) wird durch den Sulcus splenialis (in dieser Schnittebene nicht erkennbar) vom Gyrus endomarginalis (enm) getrennt. Zwischen dem sich anschließenden Sulcus endomarginalis (Enm) und dem Sulcus marginalis (Mar) liegt der Gyrus marginalis (mar), gefolgt vom Gyrus ectomarginalis (ecm), der begrenzt wird vom Sulcus ectomarginalis (Ecm). In unveränderter Reihenfolge schließen sich der Gyrus suprasylvius (sss) und der Gyrus ectosylvius (ecs) mit ihren gleichnamigen Sulci, dem Sulcus suprasylvius (Sss) und dem Sulcus ectosylvius (Ecs), an. Die Fissura rhinalis lateralis (Rfi) zeigt ihren Sulcus ventromedial der Hemisphäre.

4.20 Transversalschnitt 20 :



Abkürzungen :

|   |  |
|---|--|
| aqc: Aquaeductus mesencephali           | lal: Lemniscus lateralis               |
| ccc: Commissura colliculi caudalis      | lc: Lobulus centralis                  |
| ccl: Colliculi caudalis                 | Lis: Sulcus limitans                   |
| cgs: Substantia grisea centralis        | Mar: Sulcus marginalis                 |
| cu: Culmen                              | mar: Gyrus marginalis                  |
| Ecm: Sulcus ectomarginalis              | ml: Lemniscus medialis                 |
| ecm: Gyrus ectomarginalis               | nt: Nervus trochlearis                 |
| Ecs: Sulcus ectosylvius                 | po: Pons                               |
| ecs: Gyrus ectosylvius                  | rcp: Pedunculus cerebellaris rostralis |
| Enm: Sulcus endomarginalis              | Rfi: Fissura rhinalis lateralis        |
| enm: Gyrus endomarginalis               | Sss: Sulcus suprasylvius               |
| Flc: Fissura longitudinalis cerebri     | sss: Gyrus suprasylvius                |
| flm: Fasciculus longitudinalis medialis | tfp: Fibrae pontis transversae         |
| fte: Fasciculus tegmenti (Forel)        | tro: Nervus trochlearis                |

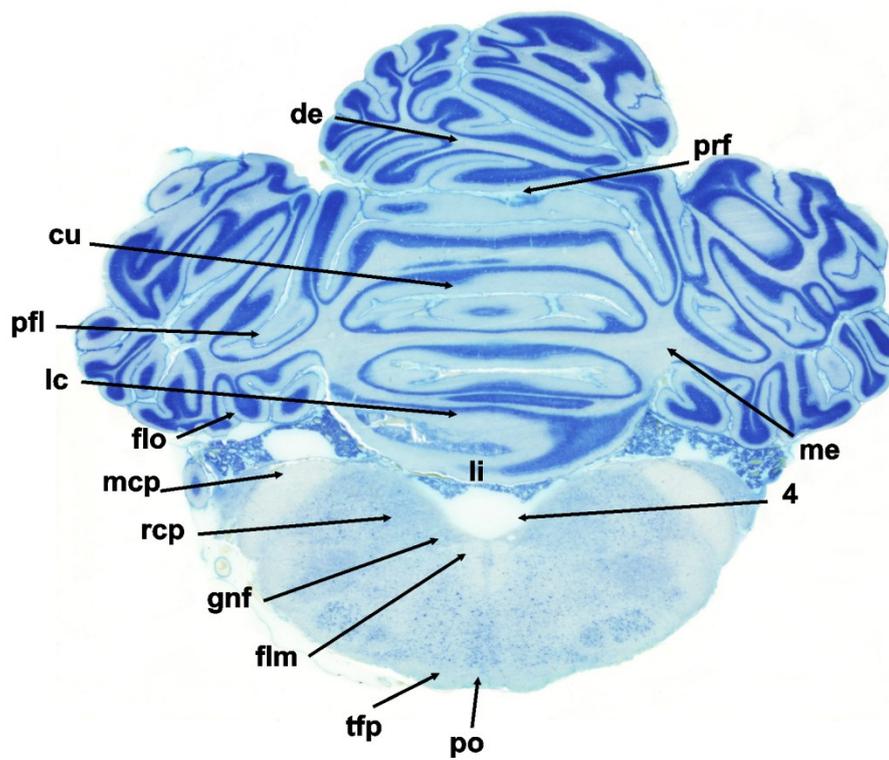
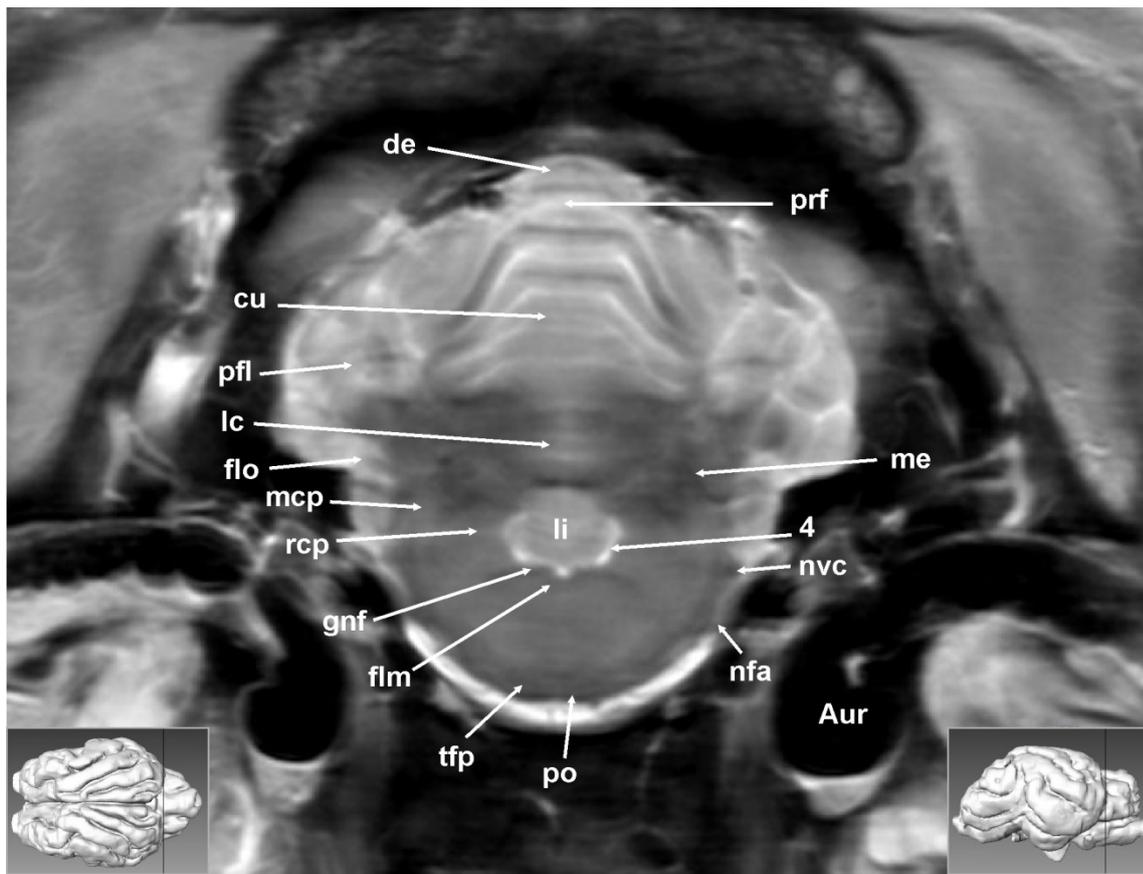
Anatomische Beschreibungen :

Ein unscharfes und verwaschenes letztes Schnittbild der Hemisphären zeigt nur noch eingeschränkt beurteilbare Gyri und Sulci neben der Fissura longitudinalis cerebri (Flc). Die Fissura rhinalis lateralis (Rfi) verlegt ihren Ursprung auf die ventromediale Seite der Hemisphärenoberfläche und allenfalls der Sulcus suprasylvius (Sss) und Sulcus marginalis (Mar) sind noch deutlich erkennbar. Die Grenze zwischen dem Gyrus endomarginalis (enm) und Gyrus marginalis (mar), der Sulcus endomarginalis (Enm), ist fast nicht mehr nachvollziehbar. Ebenso ist die Trennung von Gyrus ectomarginalis (ecm) und Gyrus suprasylvius (sss) durch den Sulcus ectomarginalis (Ecm) nur noch angedeutet zu sehen.

Unterhalb des Hemisphärenmantels ist der Kleinhirnschnitt mit dem Bereich des Lobulus centralis (lc) und des Culmen (cu) als hypo- und hyperintense Strukturen auf Grund der Foliae cerebelli auszumachen. Vom Cerebellum bedeckt befinden sich die durch die Commissura colliculi caudalis (ccc) verbundenen Colliculi caudalis (ccl) dorsolateral der Substantia grisea centralis (cgs). Der Aquaeductus mesencephali bzw. metencephali (aqc), der im nächsten Schnittbild in die Fossa rhomboidea übergeht. Dessen ventrale Ausläufer sind der Sulcus medianus und Sulcus limitans (Lis). Der Aquaeductus wird von der Substantia grisea centralis (cgs) umringt. Lateral des zentralen Höhlengraus schließt sich der Pedunculus cerebellaris rostralis (rcp) an, der mit dem ventral des Sulcus medianus gelegenen, Fasciculus longitudinalis medialis (flm) den Fasciculus tegmenti (fte) flankiert. Lateral der Formatio reticularis,

deren Kerngebiete – z.B. der Nucleus ruber (rn) oder die Substantia nigra (sng) - in diesem magnetresonanztomographischen Transversalschnitt in einem diffusen, geringgradig hyperintensiven Areal nicht zu detektieren sind, befindet sich der Lemniscus medialis (ml). Die laterale Schleife, der Lemniscus lateralis (lal), schließt sich oberflächenwärts an und enthält afferente Bahnen aus den Colliculi caudalis. Zusammen mit den Colliculi caudalis (ccl) ist der Lemniscus medialis (ml) in die Hörbahn eingebunden. Der Boden des Hirnstammes wird gebildet durch die Hirnschenkel, die Crura cerebri (crc), und die hypointense Brücke, der Pons (po), mit der quer zum Hirnstamm verlaufenden Faserrichtung, Fibrae pontis transversae (tfp). Lateral der Colliculi caudalis (ccl) und dem Hirnmantel schiebt sich eine hypointense linienartige Struktur, die als der Nervus trochlearis (tro), identifiziert werden kann und den Hirnstamm dorsal hinter den Colliculi caudalis (ccl) verläßt.

## 4.21 Transversalschnitt 21 :



### Abkürzungen :

|   |  |
|---|--|
| 4: vierter Ventrikel                    | me: Medulla des Cerebellum             |
| Aur: Ohr                                | mcp: Pedunculus cerebellaris medius    |
| cu: Culmen                              | nfa: Radix Nervus facialis             |
| de: Declive                             | nvc: Nervus vestibulocochlearis        |
| flm: Fasciculus longitudinalis medialis | pfl: Paraflocculus                     |
| flo: Flocculus                          | po: Pons                               |
| gnf: Genu nervi facialis VII            | prf: Fissura prima                     |
| lc: Lobulus centralis                   | rcp: Pedunculus cerebellaris rostralis |
| li: Lingula                             | tfp: Fibrae pontis transversae         |

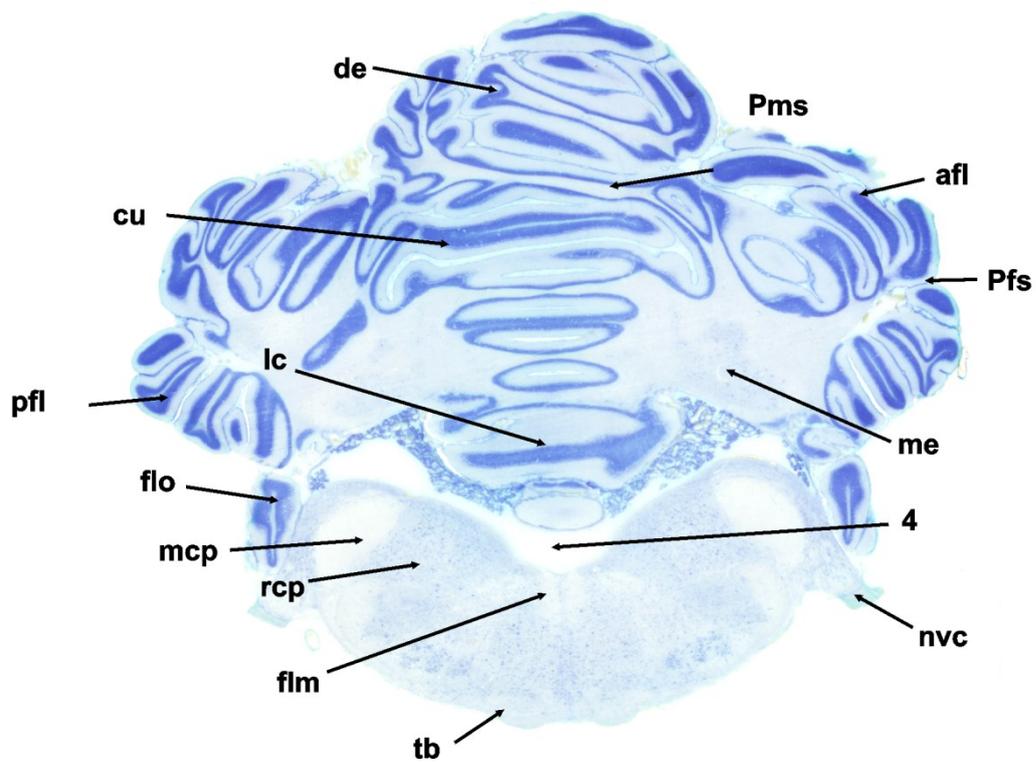
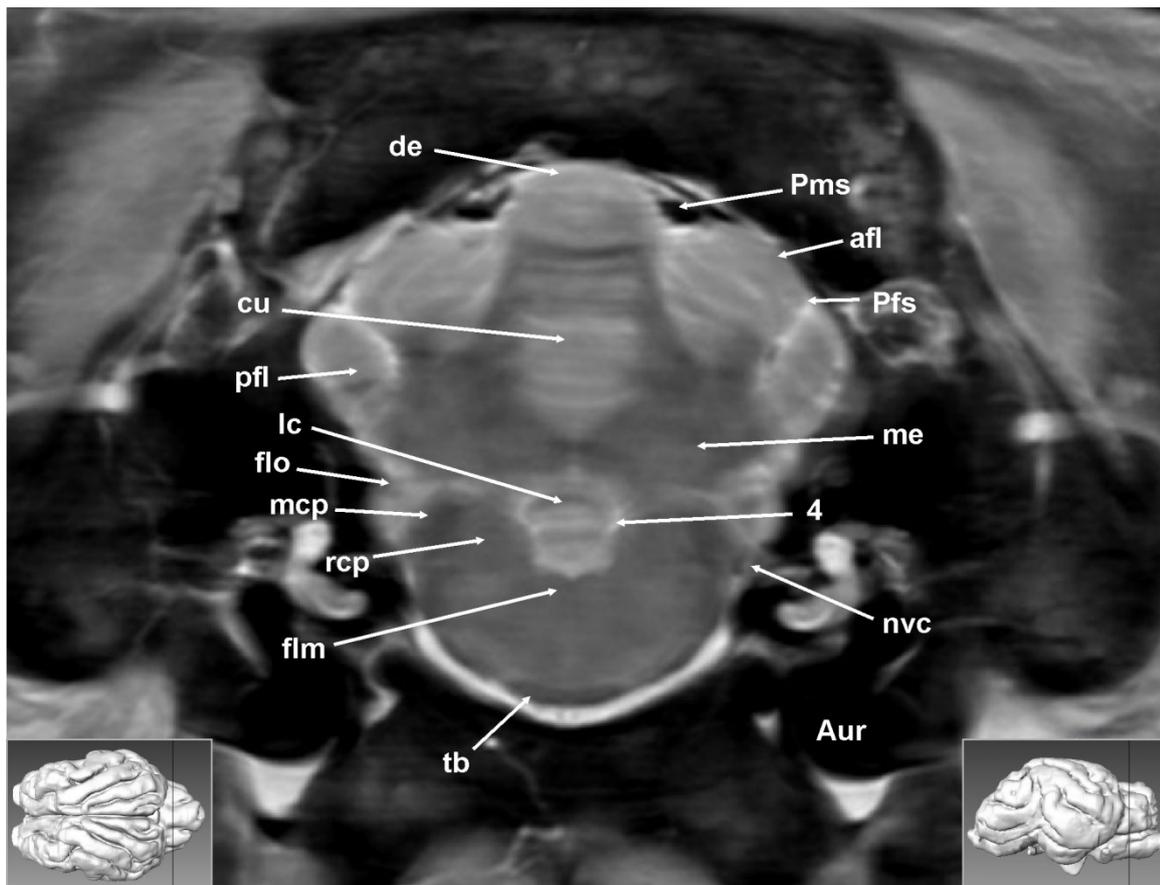
### Anatomische Beschreibungen :

Der ventrale Bereich des Hirnstammes wird in dieser Schnittebene noch von der Brücke, Pons (po), mit ihren quer verlaufenden Fasern, den Fibrae pontis transversae (tfp), gebildet. Die dorsale Begrenzung des Hirnstammes bildet die Fossa rhomboidea, die den Boden des vierten Ventrikels (4) darstellt und in der Medianen den Sulcus medianus aufweist. Lateral des vierten Ventrikels erheben sich die Pedunculi cerebellaris medii (mcp), die sich dem Markkörper des Kleinhirns (me) annähern, jedoch aus der Pons (po) hervorgehen. Zwischen die Pedunculi cerebellaris medii (mcp) und den vierten Ventrikel schiebt sich der Pedunculus cerebellares rostralis (rcp). Das ventrale Areal des Hirnstammes, unterhalb des vierten Ventrikels (4), bestehend aus der Formatio reticularis, zeigt sich diffus hypointens im magnetresonanztomographischen Schnitt. Es ist keine Abgrenzung einzelner Kerngebiete möglich - bis auf den motorischen Kern des Nervus facialis (nfa) mit seinem hypointensen Faserzug (gnf) distal der Fossa rhomboidea. Als hypointense Ausstülpungen des Kleinhirns sind die Nervenwurzeln des Nervus facialis (nfa) und Nervus vestibulocochlearis (nvc) im lateralen Bereich des Hirnstammes erkennbar.

Das Kleinhirn zeigt neben den Anteilen des Vermis den Flocculus (flo) und den Paraflocculus (pfl) als Teile der Kleinhirnhemisphären. Die Anteile des Vermis sind mit der Lingula (li), der Zunge, dem Lobulus centralis (lc), dem Zentralläppchen, dem Culmen (cu), dem Gipfel, und dem Declive (de), dem Abhang, vertreten.

In der Peripherie zum Gehirnanschnitt ist der pneumatisierte und somit hypointense Hohlraum des Gehörganges sichtbar.

## 4.22 Transversalschnitt 22 :



### Abkürzungen :

|   |  |
|---|--|
| 4: vierter Ventrikel                    | me: Medulla cerebelli                  |
| afl: Lobulus ansiformis                 | mcp: Pedunculus cerebellaris medius    |
| Aur: Ohr                                | nvc: Nervus vestibulocochlearis        |
| cu: Culmen                              | pfl: Paraflocculus                     |
| de: Declive                             | Pfs: Sulcus parafloccularis            |
| flm: Fasciculus longitudinalis medialis | Pms: Sulcus paramedianus               |
| flo: Flocculus                          | rcp: Pedunculus cerebellaris rostralis |
| lc: Lobulus centralis                   | tb: Corpus trapezoideum                |

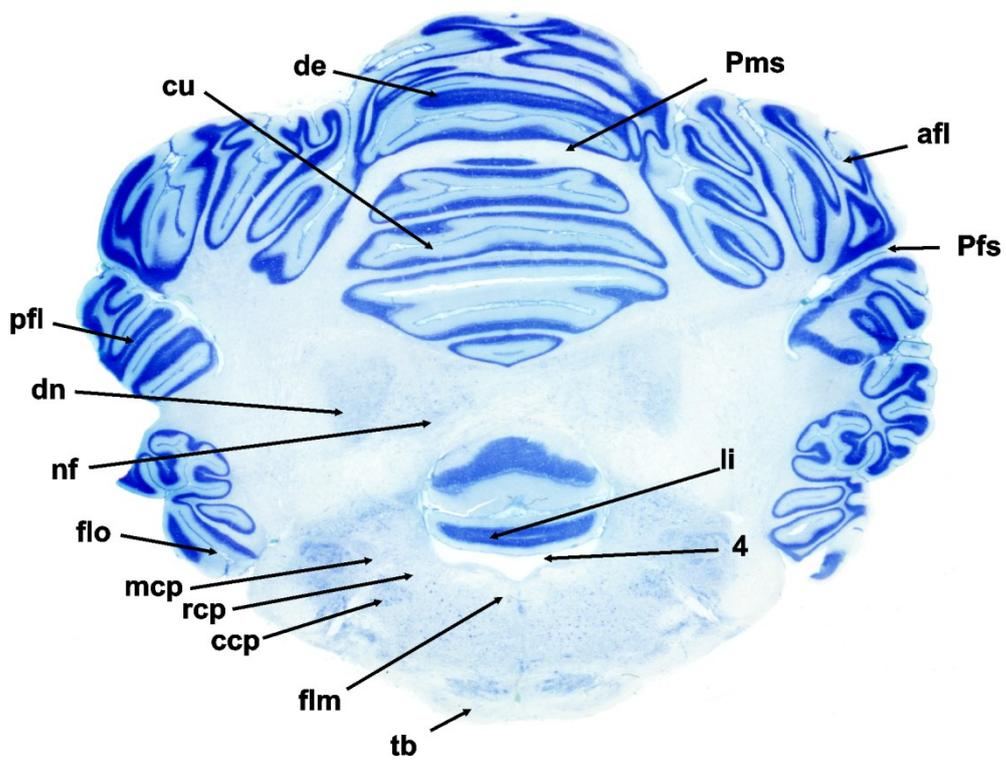
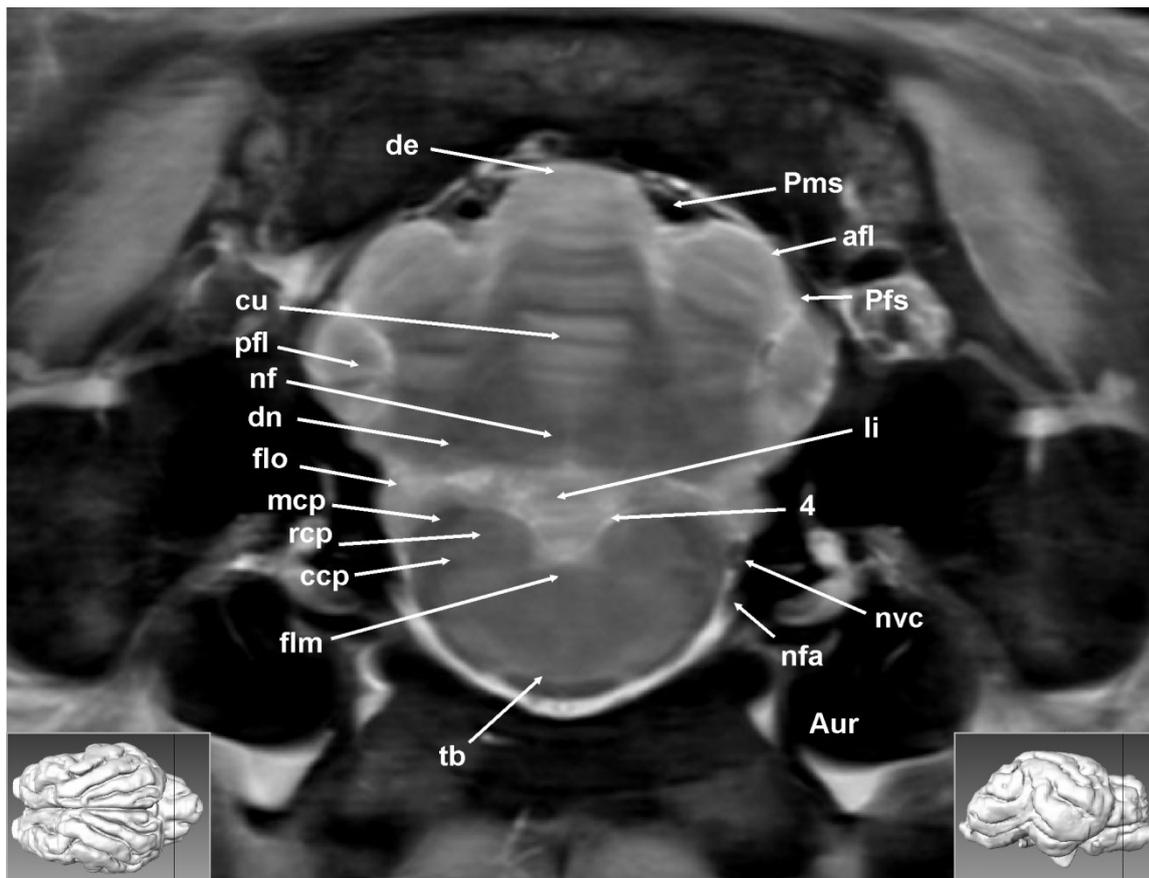
### Anatomische Beschreibungen :

Die Gliederung des Kleinhirns ist in diesem Schnittbild gut erkennbar. So zeigt sich eine Trennung zwischen Vermis und Kleinhirnhemisphären durch den Sulcus paramedianus (Pms). Dieser trennt den Lobulus ansiformis (afl) gegen den Vermis ab, der mit den Anteilen Declive (de), Culmen (cu) und Lobulus centralis (lc) mit der querverlaufenden streifigen Struktur mit hypo- und hyperintensen Linien als Foliae cerebelli erkennbar ist. Lateral an den Lobulus ansiformis (afl) schließt sich, getrennt durch den Sulcus parafloccularis (Pfs), der Paraflocculus (pfl) an. Distal des Paraflocculus (pfl) folgt der Flocculus (flo) als weiterer Teil der Hemisphaeria cerebelli. Medial dieser Strukturen befindet sich der Markkörper des Kleinhirns, die Medulla cerebelli (me) als hypointense Zone.

Die Abgrenzung des Kleinhirns zum Hirnstammbereich wird durch den vierten Ventrikel (4) dargestellt, dessen Boden die Fossa rhomboidea darstellt. Lateral sind die Kleinhirnstiele, Pedunculus cerebellaris rostralis (rcp) und medius (mcp), als Verbindung zwischen Hirnstamm und Kleinhirn sichtbar. Aus dem Pedunculus cerebellaris medius zweigt sich der VIII. Gehirnnerv, der Nervus vestibulocochlearis (nvc), aus dem Hirnstamm ab und strebt der hyperintense bogenförmige Cochlea, in unmittelbarer Nachbarschaft zum Ohr (Aur), entgegen.

Distal vom vierten Ventrikel (4) findet sich der Fasciculus longitudinalis medialis (flm), der der Formatio reticularis aufliegt. Distal wird die Medulla oblongata durch das hypointense Faserlager des Corpus trapezoideum (tb) begrenzt.

## 4.23 Transversalschnitt 23 :



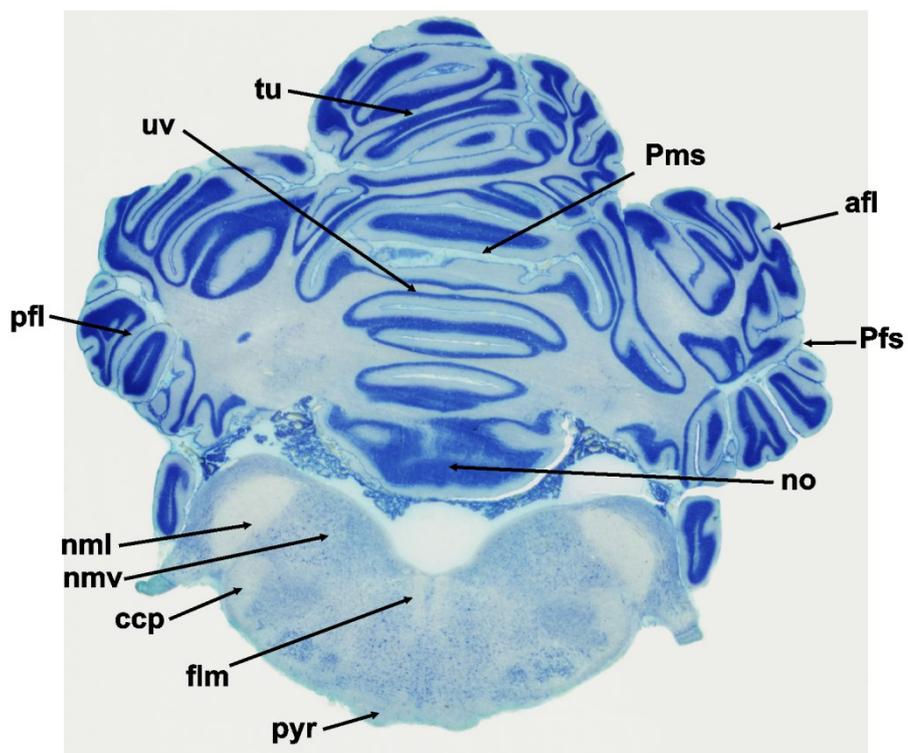
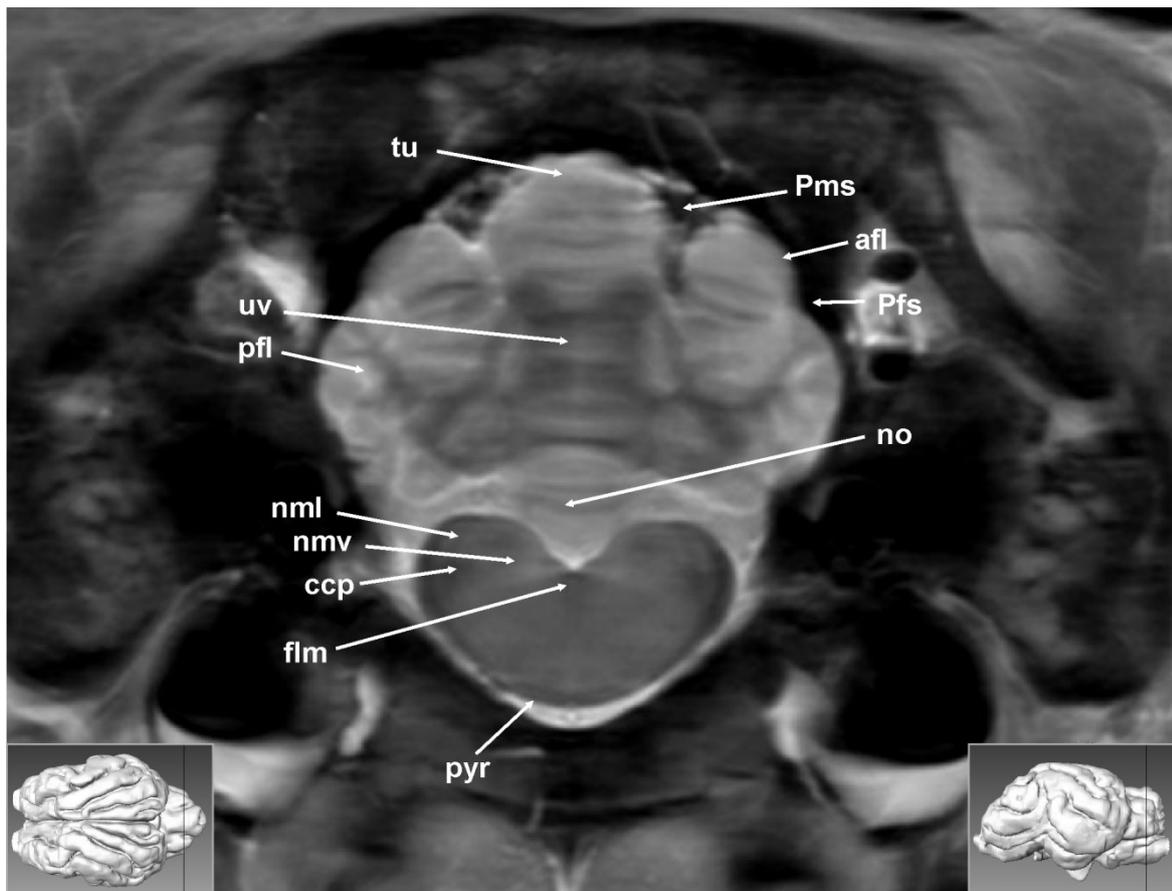
### Abkürzungen :

|   |  |
|---|--|
| 4: vierter Ventrikel                    | mcp: Pedunculus cerebellaris medius    |
| afl: Lobulus ansiformis                 | nfa: Nervus facialis                   |
| Aur: Ohr                                | nvc: Nervus vestibulocochlearis        |
| ccp: Pedunculus cerebellaris caudalis   | nf: Nucleus fastigii                   |
| cu: Culmen                              | pfl: Paraflocculus                     |
| de: Declive                             | Pfs: Sulcus parafloccularis            |
| dn: Nucleus dentatus                    | Pms: Sulcus paramedianus               |
| flm: Fasciculus longitudinalis medialis | rcp: Pedunculus cerebellaris rostralis |
| flo: Flocculus                          | tb: Corpus trapezoideum                |
| li: Lingula                             |  |

### Anatomische Beschreibungen :

Das Corpus trapezoideum ist als hypointense, also faserhaltige, Struktur am Boden der Medulla oblongata gelegen. Dorsal als diffuse, im Vergleich zum Corpus trapezoideum hyperintense, Struktur findet sich die Formatio reticularis, ohne nähere Differenzierungsmöglichkeiten einzelner Kerngebiete. Im oberen Bereich lässt sich lediglich - in unmittelbarer Nachbarschaft zum vierten Ventrikel (4) - der Fasciculus longitudinalis medialis (flm) benennen. Dieser wird ventrolateral durch die Kleinhirnstiele eingerahmt. Die Kleinhirnstiele lassen sich als Pedunculus cerebellaris medius (mcp), Pedunculus cerebellaris rostralis (rcp) und Pedunculus cerebellaris caudalis (ccp) im dorsolateralen Wulst des Hirnstammes ansprechen, wobei sich der Pedunculus cerebellaris medius (mcp) hypointens im Vergleich zu den beiden anderen darstellt. Auf Höhe des Pedunculus cerebellaris medius (mcp) verlässt der Nervus vestibulocochlearis (nvc) den Hirnstamm und beinhaltet afferente Nervenfasern aus der Cochlea, die sich als hyperintenser Bogen in der Peripherie des Gehirnanschnittes darstellt und an das Ohr (Aur) angrenzt. Zwischen den dorsolateralen Auftreibungen des Hirnstammes, den Kleinhirnstielen, ist in diesem Schnittbild die Lingula (li) als Teil des Kleinhirnvermis eingebettet. Proximal der Lingula cerebelli (li) befinden sich paramedian im Kleinhirnmark, Corpus medullare cerebelli (me), die Kerngebiete des Nucleus fastigii (nf) und weiter lateral der Nucleus dentatus (dn). Das Cerebellum wird zum einen durch den Sulcus parafloccularis (Pfs) - der den Paraflocculus (pfl) vom Lobulus ansiformis (afl) trennt - zum anderen durch den Sulcus paramedianus (Pms) - der Declive (de) und Lobulus ansiformis (afl) separiert - deutlich gegliedert. Zwischen Lingula (li) und Declive (de) befindet sich der Anschnitt des Culmen (cu).

## 4.24 Transversalschnitt 24 :



Abkürzungen :

afl: Lobulus ansiformis

pfl: Paraflocculus

ccp: Pedunculus cerebellaris caudalis

Pfs: Sulcus parafloccularis

flm: Fasciculus longitudinalis medialis

Pms: Sulcus paramedianus

nmv: Nucleus vestibularis medialis (Schwalbe)

pyr: Tractus pyramidalis

nml: Nucleus vestibularis lateralis (Deiters)

tu: Tuber

no: Nodulus

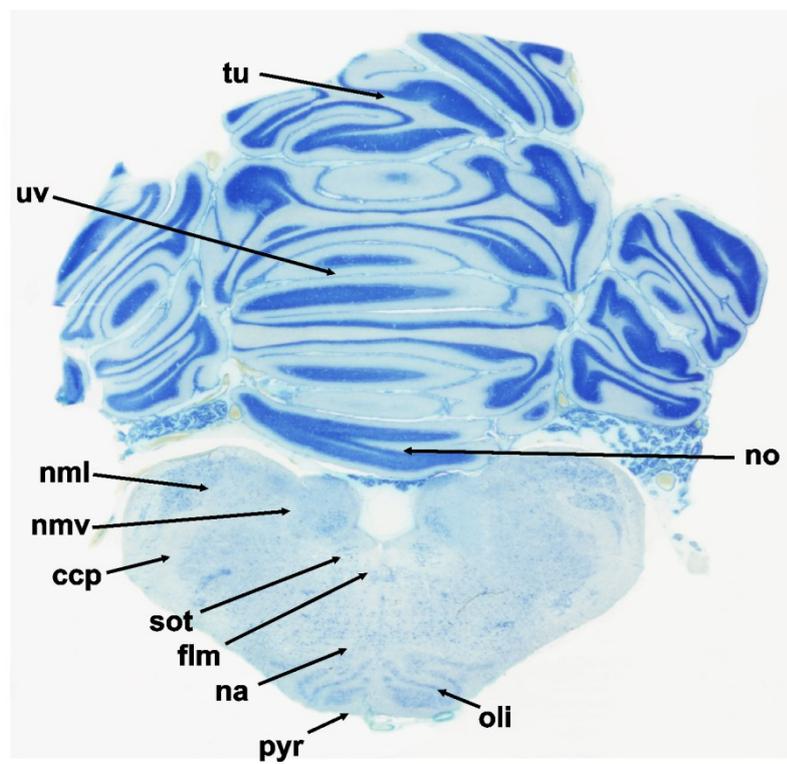
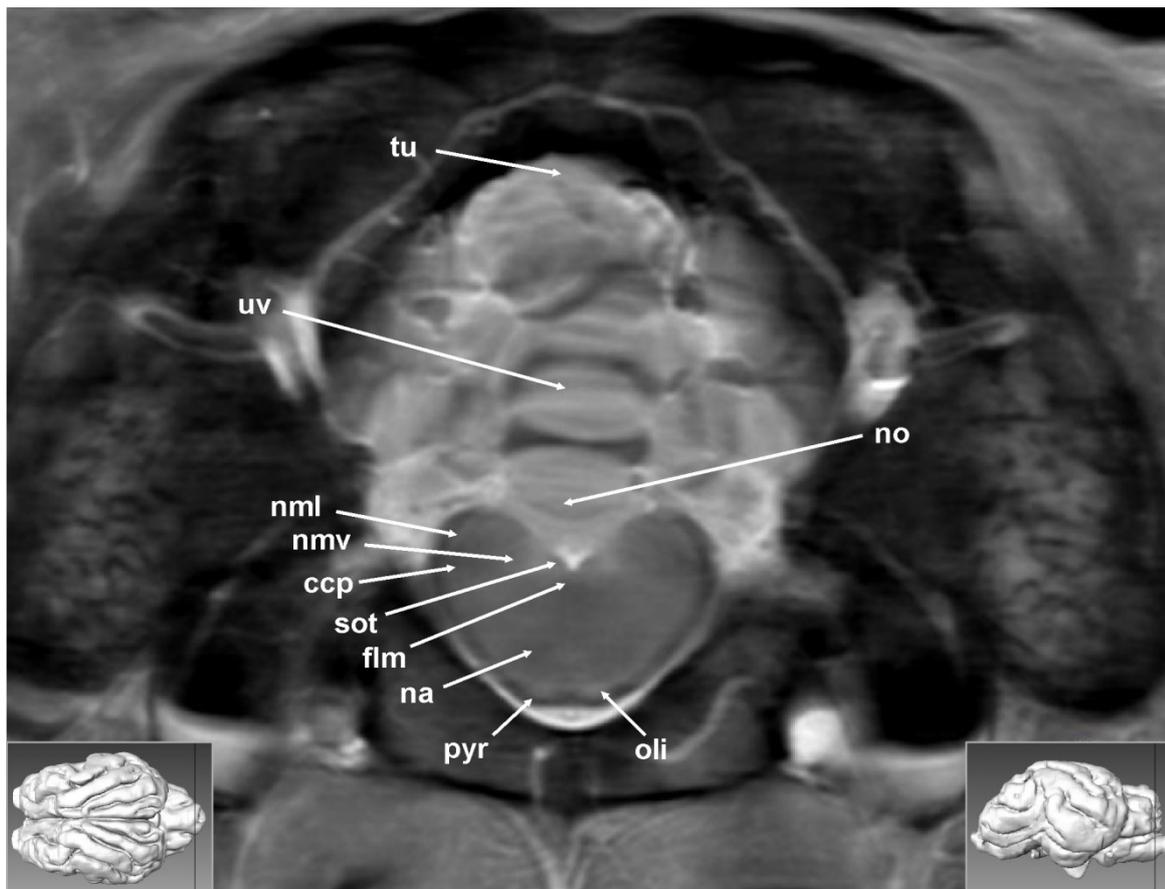
uv: Uvula

Anatomische Beschreibungen :

Im Transversalschnitt 24 liegt die Schnittebene kaudal des Recessus tecti ventriculus IV. Somit sind die Strukturen des Vermis auf die kaudalen Areale begrenzt. Angeschnitten ist im ventralen Bereich, unmittelbar über der Fossa rhomboidea, der Nodulus (no). Es folgt in dorsaler Richtung die Uvula (uv) und oberflächlich das zum Monticulus gehörende Tuber (tu). Lateral werden der Vermis und die Hemisphäre des Kleinhirns durch den Sulcus paramedianus (Pms) getrennt und so der anschließende Lobulus ansiformis (afl) separiert. Der Paraflocculus (pfl) wird vom Lobulus ansiformis (afl) durch den Sulcus parafloccularis (Pfs) abgegrenzt.

Ventral der Fossa rhomboidea ist neben der Medulla oblongata, der Fasciculus longitudinalis medialis (flm) als hypointense Linie sichtbar und ventral, am Boden der Medulla oblongata, ebenfalls hypointens, als breitere Platte der Tractus pyramidalis (pyr). Im Pedunculus cerebellaris caudalis, bzw. in direkter Nachbarschaft, liegen die aufgeteilten Faserbündel und Kerngebiete des Nucleus vestibularis: der Nucleus vestibularis medialis (Schwalbe) (nmv) dorsolateral der Fossa rhomboidea und der Nucleus vestibularis lateralis (Deiters) (nml) als jeweils hyperintense Areale.

## 4.25 Transversalschnitt 25 :



Abkürzungen :

ccp: Pedunculus cerebellaris caudalis

oli: Nuclei olivares

flm: Fasciculus longitudinalis medialis

pyr: Tractus pyramidalis

na: nucleus ambiguus

sot: Tractus solitarius

nmv: Nucleus vestibularis medialis (Schwalbe)

tu: Tuber

nml: Nucleus vestibularis lateralis (Deiters)

uv: Uvula

no: Nodulus

Anatomische Beschreibungen :

Die letzte magnetresonanztomographische Schnittebene zeigt eine Form des Hirnstamms, die sich immer mehr dem Querschnitt des Rückenmarks angleicht. Im ventralen Anteil, hypointens in der Magnetresonanztomographie, ist der Tractus pyramidalis (pyr) auszumachen, der zusammen mit dem Nucleus olivaris (oli) den ventralen Anteil der Medulla oblongata ausmacht. In der Mitte der Medulla oblongata, geringgradig paramedian lokalisiert, ist der Nucleus ambiguus zu benennen und distal der Fossa rhomboidea - immer noch hypointens - der Fasciculus longitudinalis medialis (flm). Dorsolateral vom Fasciculus longitudinalis medialis (flm) und an die Fossa rhomboidea grenzend, ist bilateral als hypointense, ovale Struktur der Tractus solitarius (sot) erkennbar. Der hügelige Anteil des Myelencephalons, durch eine feine hyperintense Linie abgegrenzt, beinhaltet den Pedunculus cerebellaris caudalis (ccp) und die zur Area vestibularis gehörenden Kerngebiete des Nucleus vestibularis medialis (nmv) und Nucleus vestibularis lateralis (nml). Der Kleinhirnschnitt zeigt eine undeutliche Struktur der Kleinhirnhemisphären, lediglich der Vermisanteil mit dem Nodulus (no), der Uvula (uv) und dem Tuber (tu) sind erkennbar.

## 4.26 Deskriptive Darstellung der Unterschiede der Gehirnmorphologie beim Schaf

### 4.26.1 Telencephalon

Hinsichtlich der Symmetrie und Form der Hemisphären existieren keine sichtbaren Unterschiede in den MR-Schnittbildern. Im Bezug auf die Gesamtform des Gehirnes und bezüglich der topographischen Beziehung der einzelnen Strukturen zueinander existieren zwei Typen. Bei dem einen weicht der kaudale Hemisphärenpol stärker auseinander und täuscht somit bei einigen Individuen im sagittalen Bild eine vermeintliche Verkürzung der Hemisphären vor (Abbildung 13). Mit dem Auseinanderweichen der Hemisphären ist auch eine eher gerade Längsachse des gesamten Gehirnes verbunden. Bei diesen Tieren reicht das Kleinhirn über die dorsale Begrenzung der Kortexoberfläche hinaus und der Lobus rostralis reicht weiter über die Lamina quadrigemina nach vorne. Der zweite Typus ist eher in der Längsachse gebogen (Abbildung 14: A), was mit einer aufrechteren Position des Corpus callosum einhergeht. Das Kleinhirn ist bei diesen Tieren nicht über die dorsale Kortexoberfläche erhaben und ist senkrechter positioniert.

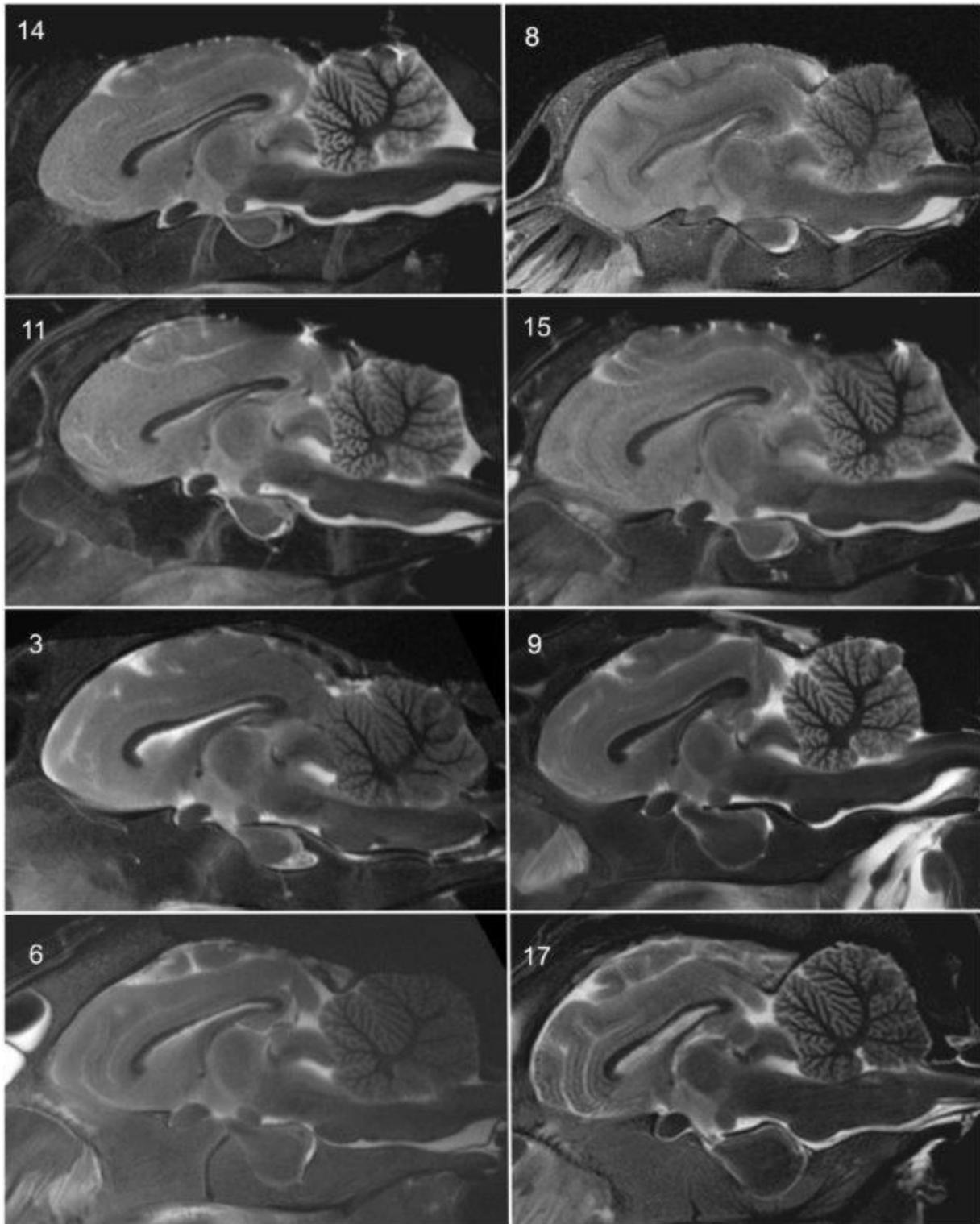
Das Furchenbild des zerebralen Kortex der Schafe ist im magnetresonanztomographischen Schnittbild nicht zu vergleichen, da bereits kleinste Variationen der Schnittebene zu Abweichungen der Topographie führen.

Das Corpus callosum kann im midsagittalen Schnitt Unterschiede aufweisen. Im Vergleich zum Rostrum und Genu ist der Truncus des Corpus callosum bei einigen Tieren eher schmal, während der Truncus bei anderen vom Durchmesser her den Endanteilen gleichkommt. Darüber hinaus ist der Truncus bei einigen Schafen eher konvex nach oben gebogen (Abbildung 13: 11+6), während er bei anderen Tieren konkav verläuft. Die Verlaufsform bedingt auch einen unterschiedlich engen Kontakt zur unterliegenden Fornix. Interessant ist auch ein unterschiedlich steiler Inklinationswinkel des Corpus callosum, der an das topographische Verhältnis zwischen Großhirn und Kleinhirn gekoppelt zu sein scheint. Obwohl die genauen Ausrichtungen der Bilder hinsichtlich der orthogonalen Ebenen etwas variieren, lässt sich anhand der Orientierung zum Hirnstamm ein Zusammenhang zwischen der Höhe des Kleinhirnes und seiner Überlappung mit dem Mittelhirn und der Winkelung des Corpus callosum erahnen.

#### 4.26.2 Diencephalon

Der Thalamus erscheint bei den meisten untersuchten Schafen eher längsoval, bei einigen ist er aber auch rund ausgebildet. Ein morphologischer Zusammenhang zwischen diesen Formunterschieden ist allerdings nicht auszumachen. Die Epiphyse weist bei den Tieren 1-16 und 18-20 die klassische Lanzettform auf, während sie bei Schaf 17 eine kolbenförmige Verdickung aufweist (Abbildung 13). Eine schrittweise Modifikation zwischen den Individuen ist nicht auszumachen.

Der auffälligste Unterschied zwischen den Tieren im Diencephalon besteht in der Dimension der Hypophyse. Betrachtet man die Längsschnitte verschiedener Tiere im Verlauf von links oben nach rechts unten (Abbildung 13), so erkennt man die zunehmende Verknöcherung der Schädelbasis-Fugen, was das fortschreitende Lebensalter der Tiere anzeigt. Dementsprechend scheint sich die Hypophyse mit zunehmendem Alter zu vergrößern. Die Massenzunahme scheint vornehmlich durch das Wachstum der Adenohypophyse zu erfolgen. Die Gestalt der Drüse wechselt von einer Tropfenform zu einem plump birnenförmigen Gebilde. Gleichzeitig senkt sich die Hypophyse scheinbar tiefer in den Knochen ein, was aber eher durch appositionelles Wachstum im Rahmen der enchondralen Ossifikation zu sehen ist. In gleichem Maße wie die Hypophyse an Umfang zunimmt scheint der Sinus intercavernosus zu obliterieren. Über den funktionellen Zustand sind keine näheren Aussagen an Hand der generierten Bilder zu treffen. Bei den ältesten Schafen (6,9 und 17) erhebt sich die Hypophyse sogar über die Fossa hypophysealis und hebt das Diaphragma sellae an. Obwohl hier keine quantitative Ausbildung möglich ist, scheint das überliegende Gefäß, des Rete mirabile, mit Vergrößerung der Hypophyse ebenfalls an Masse zuzunehmen.



**Abb. 13:**  
 Magnetresonanztomografische midsagittale Schnittbilder unterschiedlicher Schafgehirne:

Die Schafe 14,8,11,15 und angedeutet bei Schaf 3 zeigen altersbedingt noch offene Wachstumsfugen der Schädelbasis. Korrespondierend mit zunehmendem Alter ist eine Vergrößerung der Hypophyse bei 6,9 und 17 erkennbar. Die äußere Form der Hemisphären erscheint durch ein kaudales Auseinanderweichen in einigen midsagittalen Schnitten verkürzt (6 und 17) und das Kleinhirn überragt die Lamina quadrigemina in unterschiedlichem Ausmaß (deutlich in Schaf 3).

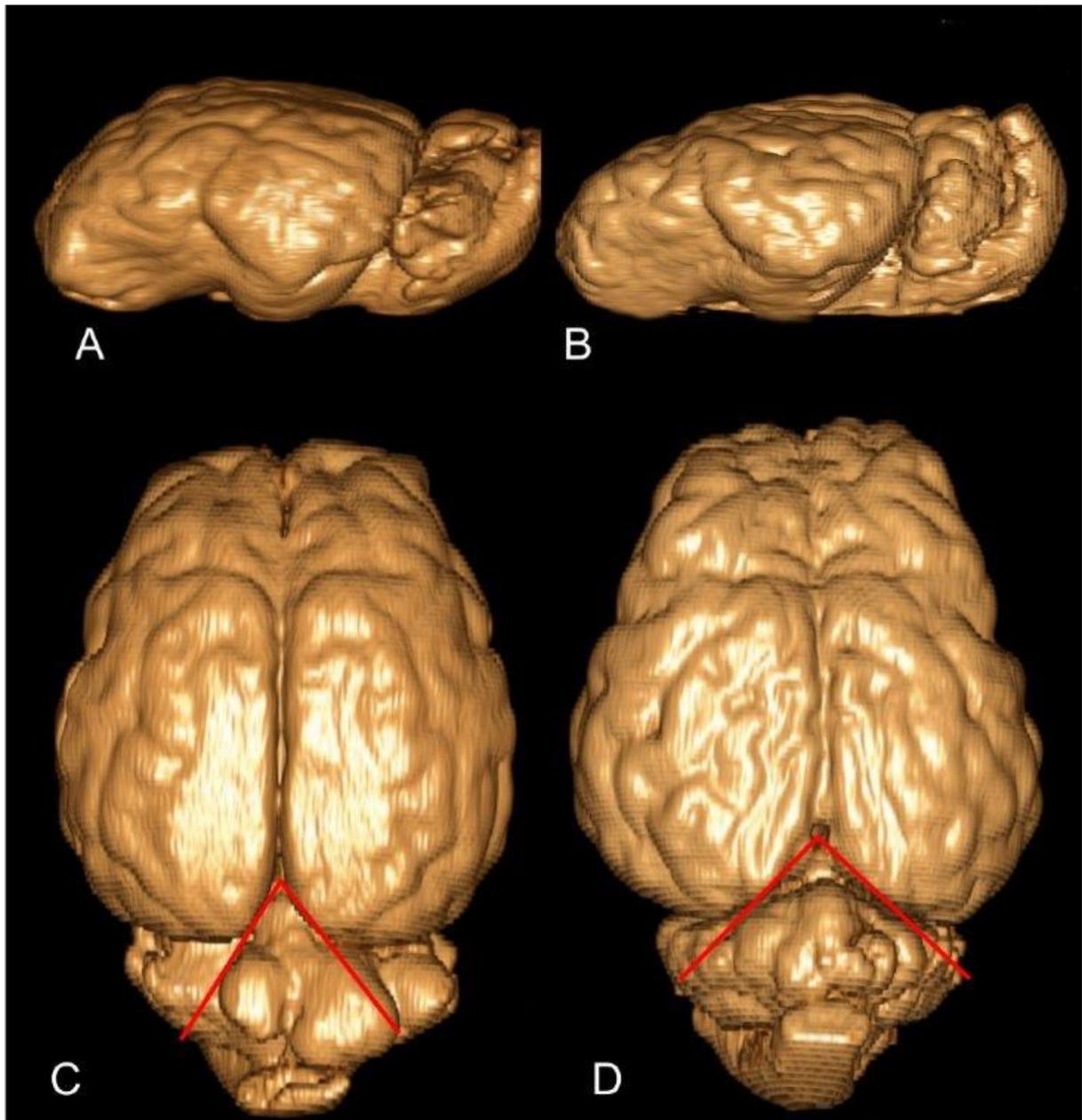


Abb. 14:

3D-Rekonstruktionen zweier unterschiedlicher Gehirntypen des Schafes in seitlicher (A und B) und dorsaler (C und D) Ansicht.

In der dorsalen Ansicht wird das kaudale Auseinanderweichen der Hemisphären durch die roten Winkel verdeutlicht. Die seitliche Projektion zeigt die Unterscheidung durch die gerade Längsachse (B) bei den Gehirnen, die ein kaudales Auseinanderweichen zeigen. Hier überragt das Kleinhirn die Dorsalfläche der Hemisphären.

### **4.26.3 Mesencephalon**

Im Mittelhirn sind keinerlei individuelle Unterschiede zu erkennen. Veränderungen im Durchmesser des Aquaeductus mesencephali sind nicht von Schichtdickenartefakten zu unterscheiden.

### **4.26.4 Kleinhirn**

Die wichtigsten sichtbaren Unterschiede im Kleinhirn beschränken sich analog zum Großhirn auf Formvariabilitäten in Länge und Breite (Abbildung 14: C+D). Wiederum sind zwei Typen auszumachen. Bei einem Teil der Tiere zweigt vom zentralen Marklager die Hauptlamelle des Lobus caudalis bogenförmig über kaudal nach dorsal. Dies reflektiert die größere Längsausdehnung des Kleinhirns (Abbildung 13). Gleichzeitig ist dieser Typus flacher und quadratischer. Der Lobus rostralis ist hier mit dem Splenium corporis callosi auf einer Ebene. Der zweite Typus zeigt ein höheres, eher ovales Kleinhirn, das sich über den Lobus occipitalis erhebt. Der hintere Markstrahl verläuft vom Zentrum aus nahezu gerade nach dorsal (Abbildung 13).

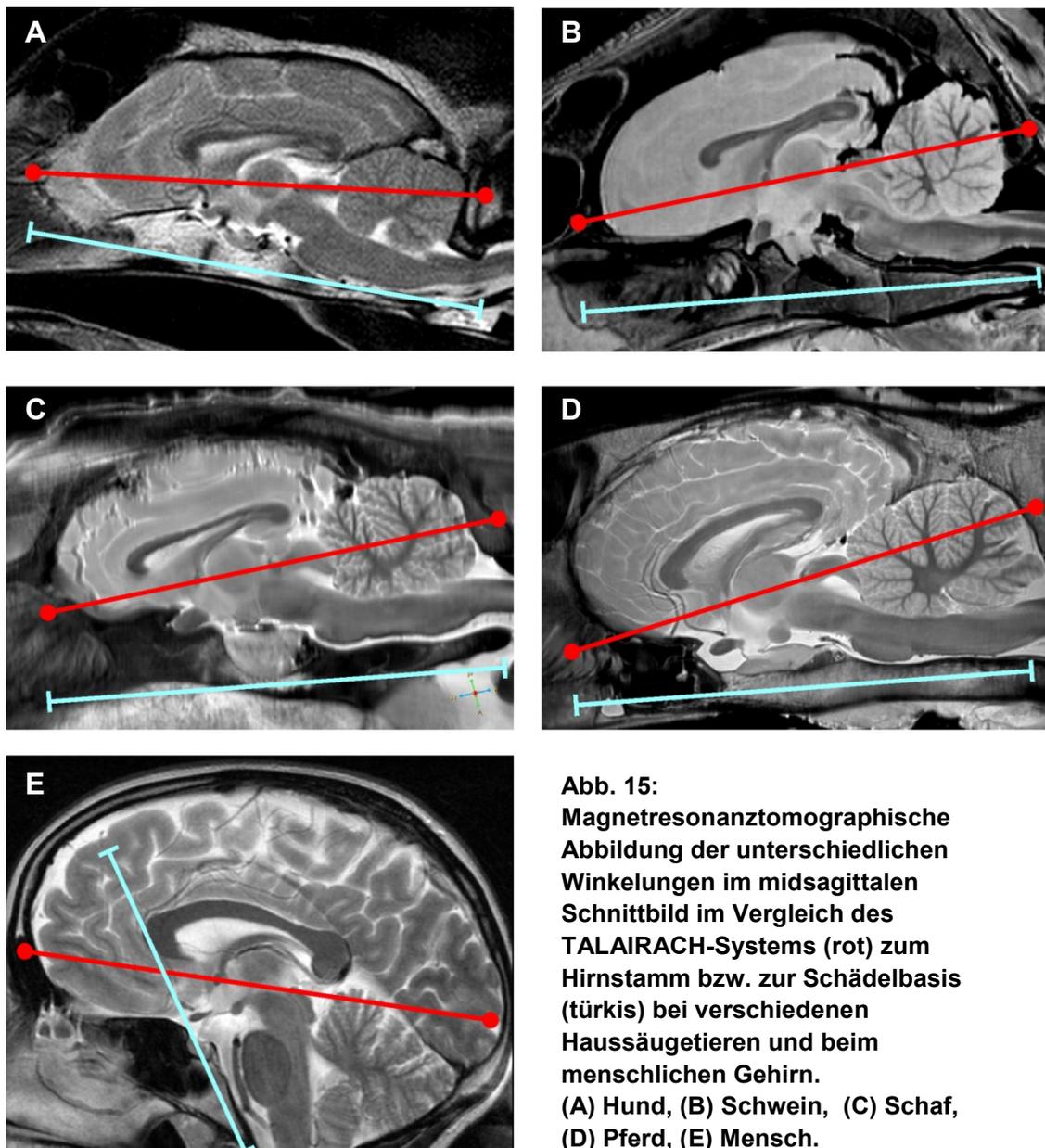
## **5 Diskussion**

### **5.1 Lagerung im Magnetresonanztomographen und Planung der Schnittebenen**

Die Positionierung des Schädels erfolgte in vermeintlicher Brustbauchlage – es wird nur der abgesetzte Kopf untersucht - in einer Ringspule (Kniespule) mit Blickrichtung in den Magnetresonanztomographen. Hierbei werden die verbleibenden Hohlräume mit Schaumstoff ausgepolstert, um ein Verschieben des Schädels zu verhindern. Bewegungen des zu untersuchenden Objektes - vor allem in vivo - führen immer zu Störungen und somit zu einem Detailverlust der erzeugten Bilder. Der Detailverlust äußert sich bei Bewegungsartefakten durch Bildverzerrungen oder durch Rauschzonen, die sich bandartig in Phasenrichtung durch das erzeugte Bild ziehen (Weishaupt et al. 2009). Diese Formen der Artefakte entstehen allerdings nicht nur durch willkürliche Bewegungen, sondern sind ein häufiges Problem in der Magnetresonanztomographie des Thorax und Abdomens, die durch natürliche Bewegungen des Herzens, der Atmung oder der Darmperistaltik entstehen können (Weishaupt 2009). Bei der Untersuchung des Kopfes bzw. des Gehirns kommt es im Regelfall nicht zu dieser Art Bewegungsartefakten, da in der Veterinärmedizin die Patienten in Allgemeinanästhesie untersucht werden. In vivo jedoch kann es bei Untersuchungen des Gehirns zu Bewegungsartefakten im Sinne von Flussartefakten - durch pulsatile Blutgefäße oder die Zirkulation des Liquor cerebro-spinalis - kommen (Weishaupt 2009). Die Bewegungsartefakte sind in einer ex vivo Studie auf Grund der nicht vorhandenen Eigenbewegung des Patienten und der nicht zirkulierenden Flüssigkeiten nicht zu erwarten.

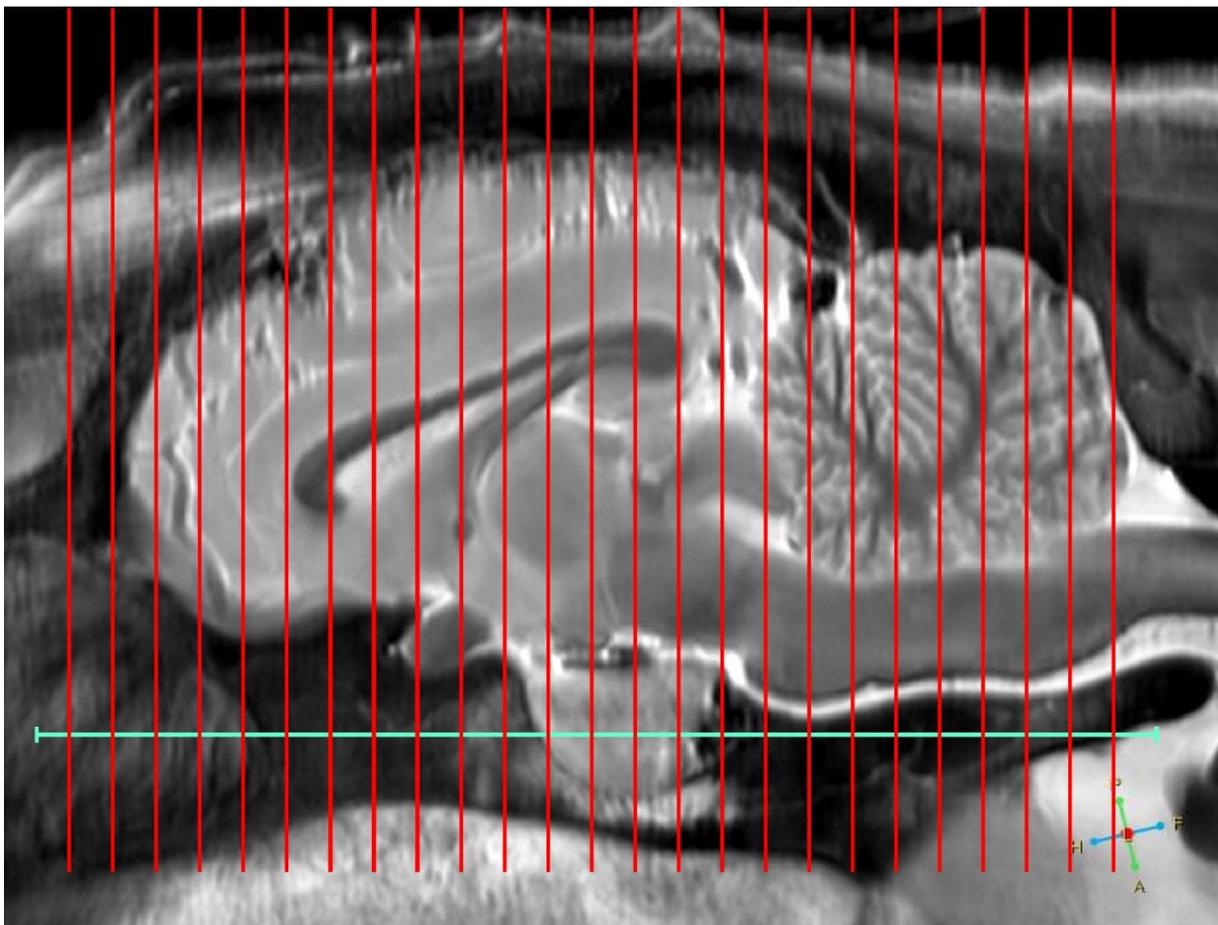
Nach der Übersichtsaufnahme, die ein unscharfes Bild in sagittaler, dorsaler und transversaler Ebene erzeugt, wird die Planung der Schnittebene für die eigentlichen Sequenzen vorgenommen. Hierbei werden die transversalen Schnittebenen im Sagittalschnitt im rechten Winkel zur Schädelbasis - bzw. zum Hirnstamm - geplant. Die Untersuchungen des Gehirns der verschiedenen Spezies und der angelegten Ebene für die Transversalschnitte sind fast so vielfältig wie die Anzahl der Spezies selbst. In den Untersuchungen des caninen Gehirns durch Kraft und Mitarbeiter (1989) und des felines Gehirns durch Hudson und Mitarbeiter (1995) werden die transversalen Schnittebenen in ein Sagittalbild eingezeichnet, richten sich jedoch

weder nach anatomischen Strukturen noch nach der gedachten Linie, die Talairach (1988) bereits für die Humanmedizin beschreibt. Die transversale Ausleserichtung wird in der Humanmedizin entsprechend einer gedachten Verbindungslinie zwischen der Commissura rostralis (AC – anterior commissur) und Commissura caudalis (PC – posterior commissur) nach dem System von Talairach (1988) im rechten Winkel ausgerichtet. In der schematischen Darstellung ist, besonders beim Menschen, in der Lage des Gehirnes eine Abwinkelung der Großhirnhemisphären ersichtlich, die diese Ausleserichtung erforderlich macht. Im Vergleich dazu ist bei den Haussäugetieren diese Winkeländerung speziesspezifisch unterschiedlich ausgeprägt (Abbildung 15). Black et al. (2001) greift in seiner Untersuchung des Makakengehirns - ebenso wie Greer und Mitarbeiter (2002) in der Darstellung des Paviangehirns - als Vertreter der



**Abb. 15:**  
Magnetresonanztomographische Abbildung der unterschiedlichen Winkelungen im midsagittalen Schnittbild im Vergleich des TALAIRACH-Systems (rot) zum Hirnstamm bzw. zur Schädelbasis (türkis) bei verschiedenen Haussäugetieren und beim menschlichen Gehirn. (A) Hund, (B) Schwein, (C) Schaf, (D) Pferd, (E) Mensch.

Primaten auf diese Ausrichtung der Transversalebene zurück. Auch Schmidt bedient sich 2006 in der magnetresonanztomographischen Untersuchung des Rindergehirns dieser gedachten Hilfslinie. Einen weiteren Orientierungs- oder Bezugspunkt wählt Leigh et al. 2008 in seiner Untersuchung zur klinischen Anatomie des Hundehirns. Die Ausrichtung erfolgt anhand des harten Gaumens, wobei er einräumt, dass eine Veränderung der Schnittebene bereits durch das Untersuchen eines brachycephalen Schädels, wie bei bestimmten Hunderassen, bedingt sein kann. In den Untersuchungen des Delphins (2001), des großen Tümmlers (2001), des Pottwals (2003), des Schweinswals (2003) und des Schwertwals (2004) äußert sich Marino nicht zur Ausrichtung der Transversalebene. Letztlich wird die transversale Schnittebene rein visuell in einem sagittalen Schnittbild angelegt und nicht errechnet, sodass Ungenauigkeiten bei jeder Einstellung passieren. Die Parallelität der gedachten Linie, auf welche die Transversalebenen senkrecht stehen - sei es parallel



**Abb. 16:**  
Magnetresonanztomographische Abbildung eines midsagittalen Schnittbildes mit Darstellung der geplanten Transversalebenen zur Untersuchung eines fixierten Schafehirns. Transverschnitte 1+2 tangieren auf Grund der rostralen Ausstülpung des Bulbus olfactorius im midsagittalen Schnitt das Gehirngewebe nicht.

zum Hirnstamm bzw. zur Schädelbasis oder zur gedachten AC-PC Linie - liegt im Auge des Untersuchers (Abbildung 16). In dieser Studie wird die Transversalebene senkrecht zur Schädelbasis bzw. zum Hirnstamm gewählt. Hierbei ergibt sich die beste Vergleichbarkeit mit den vorliegenden histologischen Schnittbildern. Dies ist wahrscheinlich der Tatsache geschuldet, dass nach Exenteration des Gehirns zur Fixierung - für die histologische Verarbeitung - die folgenden Schnittebenen bei flach aufliegendem Gehirn erfolgen, also  $90^\circ$  zur Oberfläche und somit  $90^\circ$  zum Hirnstamm. Die Schnittebenen zwischen histologischem Präparat und magnetresonanztomographischem Schnittbild sind nicht in jedem Transversalschnitt deckungsgleich. Dies ist nicht allein dem bereits diskutierten Schnittebenenwinkel geschuldet, sondern sicherlich auch der Schichtdicke. Die Schichtdicke liegt in der Magnetresonanztomographie mit 1-2 mm deutlich über der von histologischen Präparaten. Mit Hilfe eines Mikrotoms kann bei eingebetteten Präparaten die Schnittdicke im Vergleich zur Magnetresonanztomographie um das 10 bis 100 fache, auf 10 bis 100  $\mu\text{m}$  gesenkt werden (Becher und Demoll 1913, Rolls).

## **5.2 Vergleich magnetresonanztomographischer und histologischer Untersuchungsverfahren.**

### **5.2.1 Magnetresonanztomographie**

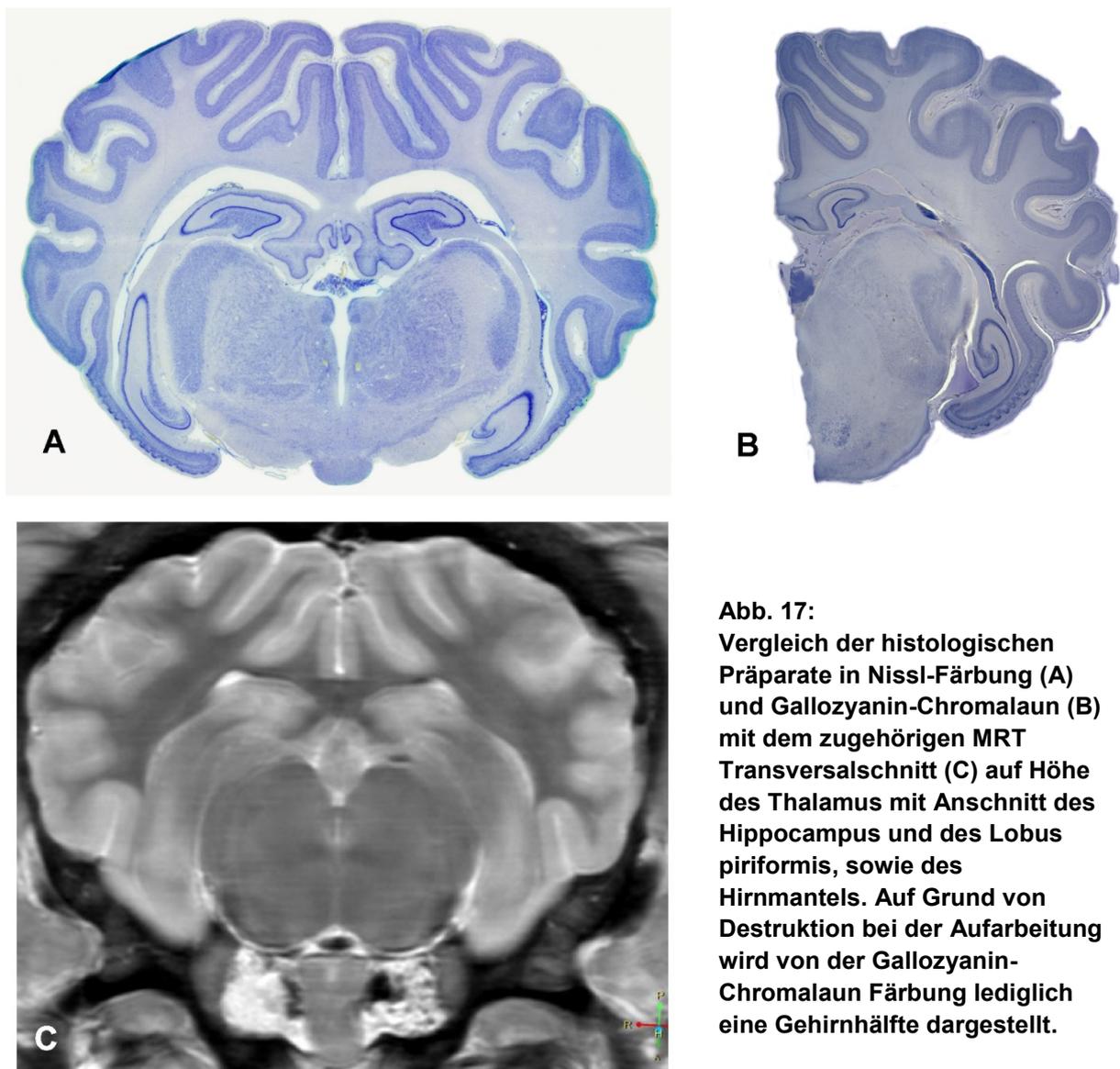
Die magnetresonanztomographische Untersuchung eines Gehirns kann in der physiologischen Lage innerhalb des Schädels, also ohne eine Eröffnung des Schädels, vor allem in vivo aber auch ex vivo, wie in dieser Studie, stattfinden. In vivo bietet sie aus klinischer Sicht die Möglichkeit, eine strukturelle Veränderung des Gehirns zu lokalisieren (Tzuka und Taura 1999, Schenk et al. 2007) und an Hand von drei Schnittebenen eine therapeutische Option zu planen. Die magnetresonanztomographische Untersuchung ist eine nicht-invasive und nicht-destruktive Untersuchung, die eine mehrfache Untersuchung des Präparates oder Objektes ermöglicht. In der Magnetresonanztomographie ist ebenfalls eine Veränderung der Schnittebene ohne erhöhten Aufwand möglich - bzw. sogar vorteilhaft - zur genaueren Darstellung einzelner Organsysteme, deren Verlauf und der sie umgebenden Strukturen. Zusätzlich ist mit Hilfe computerassistierter Bildsoftware (z.B. AMIRA®, INDEED-Visual Concepts) eine räumliche Rekonstruktion der vollständigen Oberfläche oder einzelner Gehirnstrukturen zu realisieren. Auf Grund

der Wiederholbarkeit der Untersuchungen und Anpassung der Ebenen kann eine zeitabhängige strukturelle Veränderung - gegebenenfalls ein Wachstums- oder Entwicklungsstadium dokumentiert werden (Schmidt 2006). Der Einfluss der Färbung der histologischen Präparate ist in der Magnetresonanztomographie mit dem Einfluss der T1- bzw. T2- Relaxationszeit und Protonendichte gewichteter Aufnahmeparameter auf den Kontrast zu vergleichen (Schmidt 2006, Weishaupt et al 2009).

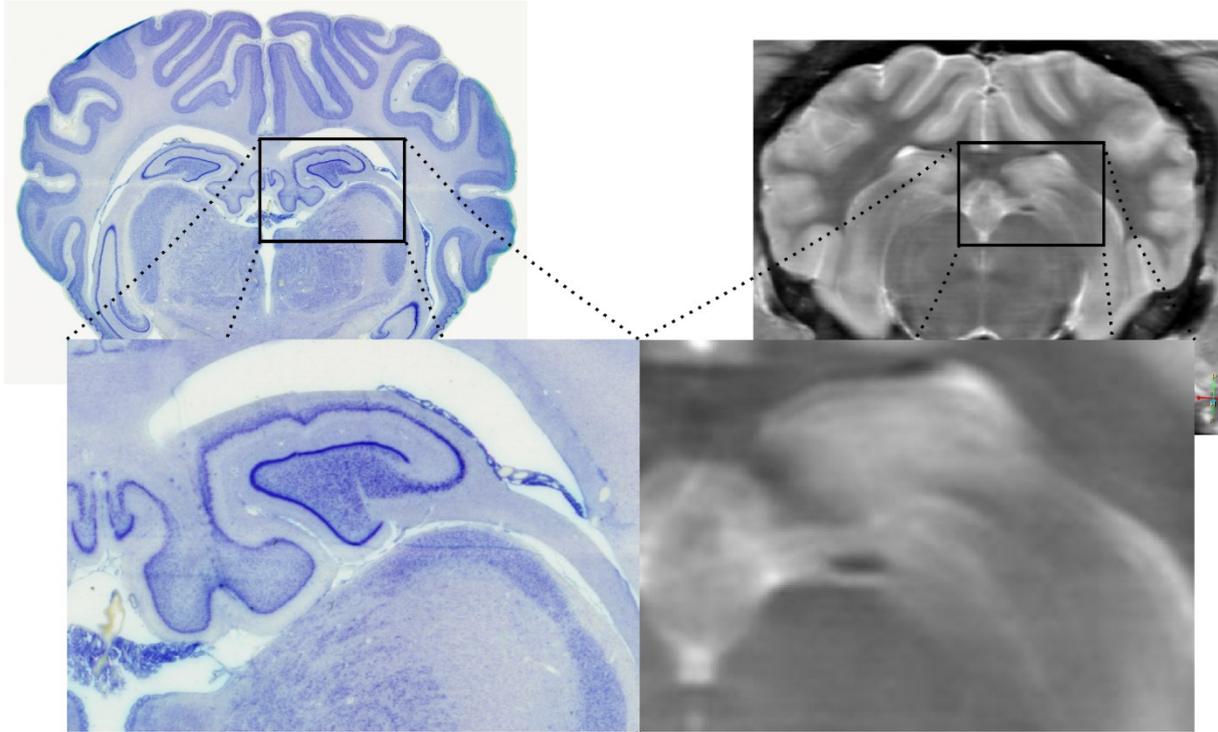
### 5.2.2 Histologie

Im Gegensatz zur magnetresonanztomographischen Untersuchung ist die histologische Untersuchung des Gehirns auf postmortales Gehirngewebe, nach einer vorausgegangenen Fixation und der Anfertigung von histologischen Schnitten, begrenzt. Diese Untersuchung kann auf Grund ihres „destruktiven“ Charakters – durch das Schneiden des Gehirns - lediglich in einer Ebene vorgenommen werden, und eine Korrektur der Schnittebene ist nicht möglich. Zur Anfertigung histologischer Schnitte ist die Einbettung in Celloidin oder Paraffin mit vorangegangener Fixation des Präparates notwendig. Diese Verfahren gehen mit Schrumpfungsartefakten von 38% bis 78% des Volumens einher, wodurch eine Stereologie des Gewebes - bzw. des Gehirns - schwierig wird (Longerich 1989). In der Gefrierschnitttechnik fallen diese Schrumpfungsartefakte geringer aus, jedoch ist dieses Verfahren auf Grund technischer Schwierigkeiten für morphometrische Studien ungeeignet (Longerich 1989). Zur stereologischen Untersuchung in einem dreidimensionalen Modell mit histologischen Schnittbildern müssen zunächst die Schrumpfung des Gewebes mittels aufwendiger Berechnungen ausgeglichen werden, und die Plattenrekonstruktion nach Born (1883) durchgeführt werden, um die histologischen Schnittebenen räumlich abzubilden. In Bezug auf den Kontrast des histologisch erzeugten Schnittes wird dieser einmalig durch die Färbung des Gewebeschnittes erzeugt. Als Färbungen stehen mehrere Verfahren zur Verfügung. Neben der in dieser Studie zum Vergleich herangezogenen Nissl-Färbung sind ebenfalls Gallozyanin-Chromalaun, PTAH-nach Mallory, Myelinfärbung oder auch Hämtoxylin-Eosin als Färbungen anwendbar. Sowohl die Nissl-Färbung als auch die Gallozyanin-Chromalaun-Färbung binden sich an basophile DNS- und RNS- Verbindungen in den Nukleoli und Ribosomen. Sie färben somit das rauhe endoplasmatisches Retikulum der Nervenzellkörper an, jedoch nicht die Dendriten und Faserbündel (Abbildung 17). Das Kontrastverhalten bei dieser Art der Färbungen entspricht in der Magnetresonanztomographie einer protonengewichteten Sequenz, bei der die

Anzahl der anregbaren Spins pro Voxel, also die Protonen, ausschlaggebend ist. Im Nervenzellkörper sind diese in höherer Anzahl vorhanden als in den Nervenfasern der weißen Substanz. In dieser Studie wird ein histologisches Präparat (Schaf 3), nach Fixation, Einbettung und Anfertigung transversaler Schnitte mittels Mikrotom einer Gallozyanin-Chromalaun-Färbung unterzogen (Abbildung 17). Diese histologischen Schnitte werden allerdings auf Grund der Destruktion einer Hemisphäre nicht als Vergleich zur Magnetresonanztomographie herangezogen. In diesen histologischen Präparaten ist die weiße Substanz auf Grund der geringen Anzahl an Nervenzellkörpern schwächer angefärbt als die nervenzellreiche graue Substanz. Das protonendichte-gewichtete, magnetresonanztomographische Schnittbild liefert eine ähnliche, jedoch inverse, Kontrastierung. Die faserreiche weiße



**Abb. 17:**  
**Vergleich der histologischen Präparate in Nissl-Färbung (A) und Gallozyanin-Chromalaun (B) mit dem zugehörigen MRT Transversalschnitt (C) auf Höhe des Thalamus mit Anschnitt des Hippocampus und des Lobus piriformis, sowie des Hirnmantels. Auf Grund von Destruktion bei der Aufarbeitung wird von der Gallozyanin-Chromalaun Färbung lediglich eine Gehirnhälfte dargestellt.**



**Abb. 18:**  
**Vergleich der Detaildarstellung durch Vergrößerung eines Ausschnittes im histologischen Präparat (links) und einem magnetresonanztomographischen Schnittbild (rechts). Das MR-Bild erleidet eine großen Detail und Kontrastverlust.**

Substanz ist hypointens, also dunkel, unterhalb der grauen Substanz des Hirnmantels erkennbar. Das Auflösungsvermögen bzw. die Fähigkeit, histologische Präparate mit einer Vergrößerung, die bis zum Tausendfachen möglich ist, unter dem Mikroskop zu untersuchen, ist gegenüber der Magnetresonanztomographie sicherlich als ein Vorteil anzusehen. Die MR-Darstellung ist lediglich mit der reinen Aufsicht - bzw. maximal mit der Lupenvergrößerung des histologischen Präparates - vergleichbar. Eine weitere Detaildarstellung ist nicht möglich (Abbildung 18). Schlussfolgernd lässt sich zusammenfassen, dass die Magnetresonanztomographie - in Verbindung mit computergestützter Software - eine gute Methode darstellt, um Gehirngewebe mehrfach und in räumlichen Modellen zur morphologischen Untersuchung abzubilden. Die Darstellung feiner Detailstrukturen mittels Magnetresonanz-Technologie ist, zumindest mit einem Magnetresonanztomographen mit einer Feldstärke von 1 – 1,5 Tesla (Johnson 1987), kritisch zu begutachten. Um ein höheres Auflösungsvermögen zu erhalten, und detailreiche anatomische Details darzustellen, sind Feldstärken von 9 Tesla oder höher erforderlich (Munasinghe 1995, Beneviste 2002). Eine sichere Identifizierung „fraglicher“ Strukturen gelingt in dieser Studie lediglich durch die Kombination

dreidimensionaler Rekonstruktion und einem zusätzlichen Vergleich mit dem histologischen Schnittbild. Ein Gewebe ist letztlich nur eindeutig über seine Zellen und deren Feinstruktur zu klassifizieren, welche durch die magnetresonanztomographische Technologie nicht sichtbar gemacht werden konnten. Die Relaxationseigenschaften von Zellverbänden und Geweben zeigen zu viele Übereinstimmungen, als dass eine zuverlässige Identifizierung und Dokumentation mittels Magnetresonanztomographie möglich wäre.

### **5.3 Einfluss der Formalin-Fixierung auf Signalintensität und Kontrast in magnetresonanztomographischen Aufnahmen**

#### **5.3.1 Chemische Eigenschaften und Fixierungsprozess**

Formaldehyd ist das einfachste Aldehyd. Es wird durch katalytische Oxidation aus Methanol hergestellt und hat die Summenformel  $\text{CH}_2\text{O}$ . Formaldehyd wird auch als Methanal bezeichnet. In einer vier- bis achtprozentigen, wässrigen Lösung wird dieses stechend riechende Gas als Formalin bezeichnet. Blum beschreibt bereits 1893 die Verwendung von Formaldehyd zur Konservierung von Anschauungs- und Vergleichsmaterial für die Medizin und Biologie. Es ist ein Protein-vernetzendes additives Fixans, welches die Autolyse und Fäulnis von biologischen Gewebeproben stoppt und diese dauerhaft haltbar macht. In Gewebe diffundierendes Formaldehyd führt auf Grund seiner polaren Doppelbindung über eine Methylierung zu einer Vernetzung der Aminogruppen zellulärer Bestandteile, also zu einer Ausfällung der Zellproteine. Mit der Vernetzung werden die physikalischen Eigenschaften - Härte und Stabilität sowie Quellungs- und Schrumpfungphänomene - der Moleküle im Gewebe festgelegt. Nach einer anfänglichen Schwellung des Objektes durch den Fixierungsprozess erfolgt schlussendlich eine Entwässerung des Gewebes, wodurch die eigentlichen Größenverhältnisse wiederhergestellt werden. Auf Grund seiner konservierenden Eigenschaften in Bezug auf Fette und Lipide eignet sich Formalin insbesondere zur Fixierung von Gehirn und Rückenmarkgewebe (Feldmann 1973, Fox et al 1985). Formalin diffundiert - unabhängig von der Konzentration der Formaldehydlösung - schnell in das Gewebe, sodass Penetrationsraten von 1mm pro Stunde erreicht werden. Die letztendliche Fixierung ist die Ausbildung der Vernetzung, die deutlich langsamer abläuft auf Grund des chemischen Gleichgewichtes in der wässrigen Formaldehydlösung. Das Gleichgewicht des nicht-hydratisierten Zustandes (Carboxyformaldehyd) und des hydratisierten Zustandes

(Methylenglycol) ist zum Methylenglycol verschoben, sodass das für den Fixierungsprozess verantwortliche Carboxylformaldehyd in geringerer Konzentration vorliegt. Wird nun Carboxylformaldehyd durch Vernetzung bzw. zur Fixierung verbraucht, wird Methylenglycol zur Wahrung des Gleichgewichtes in Carboxylformaldehyd umgewandelt. Dieser Vorgang verläuft sehr langsam, sodass der Fixierungsprozess als Resultat zwischen 24 und 48 Stunden andauern kann (Longerich 1989).

### **5.3.2 Grundlagen der Magnetresonanz-Relaxation und die Beeinflussbarkeit**

Durch das Anlegen eines äußeren Magnetfeldes  $B_0$  erfolgt zunächst eine Längsmagnetisierung der Protonen. Zusätzlich werden die Wasserstoffprotonen durch einen Hochfrequenzimpuls angeregt. Bei der Rückkehr in den energetisch günstigeren Ausgangszustand wird Energie abgegeben und das Magnetresonanztomographische-Signal wird erzeugt. Dabei kommt es zu Spin-Spin-Wechselwirkungen (T2-Relaxation) und zu Spin-Gitter-Wechselwirkungen (T1-Relaxation). Hauptanteil an der Kernresonanz bilden die Protonen der OH-Verbindungen hydratisierter Makromoleküle, die als molekulare Bestandteile der Zellen dienen. Zwischen den festen Bestandteilen der Zellen befindet sich vor allem das Dispersionsmittel Wasser, welches hydratisierte Proteine, Enzyme, Kohlenhydrate und Salze enthält. Dieses Wasser gilt als Quelle der Resonanz (Stark und Bradley 1988, Toga und Maziotta 2002). Bei der Untersuchung verschiedener Gewebe im Organismus hat man es mit einer Vielzahl unterschiedlicher Resonanzverhalten, auf Grund der verschiedenen Molekülarten, zu tun. Die kernspintomographisch aus Gewebestrukturen ermittelten T1- und T2-Relaxationszeiten weichen deutlich von Relaxationszeiten ab, die auf Grund der ungebundenen Wassermenge dieses Gewebes zu erwarten wäre. Somit scheint die Beweglichkeit der Wassermoleküle eingeschränkt zu werden (Fullerton 1982, Pykett 1982). Diese Behinderung der Beweglichkeit, so konnten Grosch und Noack (1976) an Hand von magnetresonanztomographischen Titrationsuntersuchungen feststellen, ist für bestimmte „Wasserpopulationen“ unterschiedlich. Sie etablierten das Three-Fraction-Modell:

1. Nicht gebundenes Wasser, welches isotrope Bewegungseigenschaften aufweist (Korrelationszeit  $10^{-12}$  Sekunden).

2. Nicht gebundenes, strukturiertes Wasser, welches durch Makromoleküle in der Bewegung behindert wird (Korrelationszeit  $10^{-11}$  Sekunden).
3. An Oberflächenmoleküle gebundenes Wasser, welches unterteilt wird in ional gebundenes Wasser (Korrelationszeit  $10^{-5}$  Sekunden) und als Dipol gebundenes Wasser (Korrelationszeit  $10^{-9}$  Sekunden). Die Korrelationszeit von ional gebundenem Wasser ähnelt dem von Eis und ist als fixiert anzusehen.

Basierend auf dem theoretischen Modell von Bloembergen, Purcell, und Pound (BPP-Theorie) werden die Spin-Spin Relaxation und die Spin-Gitter Relaxation durch ein statisches und ein dynamisches Modell zu erklären versucht.

### 5.3.3 Dynamisches Modell der Relaxationsrate

Aus der Energieabgabe pro Zeiteinheit resultiert die Geschwindigkeit des Relaxationsvorganges, die Relaxationsrate. Je höher die Abgabe der Energie in Bezug auf die Zeit erfolgt, desto schneller erreichen die Protonen den ursprünglichen energetischen Zustand vor Applikation des HF-Impulses, das heißt, desto kürzer ist die Relaxation. Die Relaxationsrate sollte demzufolge proportional zur Anzahl resonanzrotierender Wassermoleküle sein, da die Energieabgabe durch diese hervorgerufen wird. Die Untersuchungen der Relaxationsrate in den angegebenen Klassen konnten dies jedoch nur für die Spin-Gitter-Relaxation nachweisen. Für die Spin-Spin-Relaxation hat dieses Modell lediglich für die Klasse der nicht viskösen Flüssigkeiten ihre Richtigkeit (Fullerton 1982, Fullerton 1985, Grosch und Noack 1976). Demnach ergeben sich für Feststoffe (geringe Anzahl resonanzrotierender Moleküle) lange T<sub>1</sub>-Relaxationszeiten und für visköse Flüssigkeiten kurze T<sub>1</sub>-Zeiten. Die Spin-Spin-Relaxationen der viskösen Flüssigkeiten und der Feststoffe (ional gebundenes Wasser) weichen von dieser Modellvorstellung ab und führen auf Grund der physikalischen Eigenschaften in diesen Substanzklassen zu Einflüssen der statischen Faktoren auf die Spin-Spin-Relaxation. Hieraus resultiert der Ansatz der statischen Modellvorstellung nach Bloembergen, Purcell und Pound.

### 5.3.4 Statisches Modell der Relaxationsrate

Die Protonen bilden, durch ihre Präzessionsbewegung, eigene Magnetfelder aus. Im Falle von Molekülen, also gebundenen Protonen, entsteht -durch Überlappung und Interaktion dieser benachbarten Magnetfelder - eine geringfügige Änderung des magnetischen Feldes. Diese Interaktion wird als Spin-Spin-Kopplung bezeichnet. Die Änderung ist hierbei abhängig von der Orientierung der magnetischen Vektoren.

Innerhalb nicht-visköser Flüssigkeiten - die Rotationsbewegung resonanzrotierender Moleküle wird nicht behindert - sind diese Spin-Spin-Kopplungen schwach und von kurzer Dauer, also nicht ausschlaggebend für Veränderungen der Präzessionsfrequenz. Mit zunehmender Behinderung der Rotationbewegung auf Grund von ionalen Verbindungen oder Vernetzung der Moleküle sind die Bewegungen der Wassermoleküle nicht mehr isotrop, sondern werden anisotrop. Es werden längere Spin-Spin-Kopplungen ausgebildet, die zu einer Änderung des Magnetfeldes und somit zur Änderung der Larmorfrequenz führen. Diese Änderung detektiert die Empfangsspule des Magnetresonanztomographen vor allem bei viskösen Flüssigkeiten und bei Feststoffen. Folglich ändert sich die Larmorfrequenz mit größerer Anzahl an Spin-Spin-Kopplungen und die Dephasierung des magnetischen Summenvektors  $M$  verläuft schneller. Das Resultat ist eine Verkürzung der T2-Relaxationzeit.

Letztlich folgt aus der dynamischen Modellvorstellung, dass mit Zunahme der Viskosität einer Flüssigkeit die Anzahl der resonanzrotierenden Moleküle steigt und damit die Energieabgabe schneller abläuft.

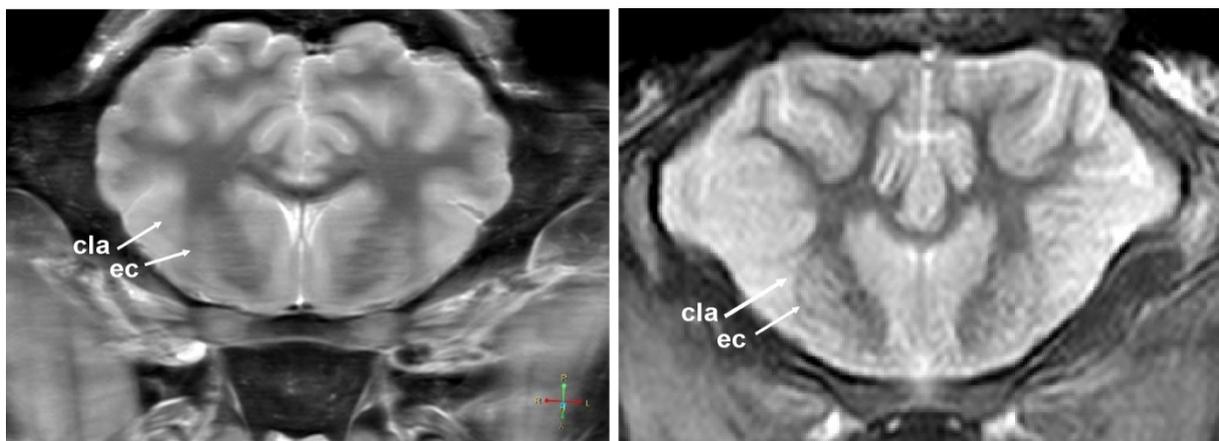
Das heißt: *Mit Zunahme der Viskosität sinkt die T1-Relaxationszeit.*

Aus der statischen Modellvorstellung ergibt sich bei zunehmender Viskosität eine steigende Anzahl anisotrop rotierender Moleküle und damit eine Zunahme der Spin-Spin-Kopplungen, die zu einer erhöhten lokalen Magnetfeldinhomogenität führt.

Das heißt: *Mit Zunahme der Viskosität verkürzt sich die T2-Relaxationszeit.*

### 5.3.5 Schlussfolgerung der Formalin-Fixierung auf Relaxationszeiten in der Magnetresonanztomographie

Die Fixierung mit Formaldehydlösung führt zu einer Vernetzung der Makromoleküle, einer geringfügigen Dehydratation und einer Ausfällung von Zellproteinen. Diesen Veränderungen ist eine Erhöhung der Viskosität des Gewebes durch Formalin geschuldet. Durch die Erhöhung der Viskosität werden die Relaxationszeiten der Gewebe verändert. Es sinkt die T1-Relaxationzeit und die T2-Relaxationszeit wird verkürzt. Resultat der verkürzten Relaxationszeiten ist eine Erhöhung der Signalintensität in den magnetresonanztomographischen Aufnahmen und damit einhergehend ein Verlust an Kontrastierung durch Angleichen der Signalintensitäten der einzelnen Gewebestrukturen. Hiervon betroffen ist vor allem der Kontrast zwischen grauer und weißer Substanz, wie Longerich bereits 1989 direkt gemessen und beschrieben hat. Auf Grundlage dieser Ergebnisse wird für die anatomische Beschreibung der magnetresonanztomographischen Transversalschnitte dieser Studie ein protonengewichteter Aufnahmemodus herangezogen. Hier ergibt sich durch die Kontrastierung ein detailreicheres Bild (Abbildung 19). In dieser Messsequenz hängt das MR-Signal von der Anzahl der anregbaren Protonen ab und der Einfluss der T1- und T2-Relaxation ist verschwindend gering. Dementgegen konnte Schmidt (2006) sogar noch eine Anhebung des Kontrastkoeffizienten für den protonengewichteten Aufnahmemodus nach längerer Formalinfixierung zeigen. Die Signalintensität sinkt für die graue Substanz geringfügig ab, steigt aber für das Marklager nach längerer Fixation an (Schmidt 2006).



**Abb. 19:**  
Vergleich der Kontrastierung durch verschiedene Gewichtung der Magnetresonanztomographie (Protonendichte-gewichtet links und T2-gewichtet rechts) mit Markierung des Claustrums (cla) als Vertreter der grauen Substanz und der Capsula externa (ec) als Vertreter der weißen Substanz.

#### **5.4 Individuelle Unterschiede der Gehirnmorphologie in der Magnetresonanztomographie innerhalb der Spezies**

Der auffälligste Befund der intraspezifischen Variation zwischen den Tieren ist die Größenvarianz der Hypophyse. Der Unterschied einer Hyperplasie oder einer Hypertrophie ist nicht erkennbar. Da die Drüse mit zunehmendem Alter wächst, kann die Größenzunahme einer Funktionserhöhung des Organs zugeschrieben werden. Männliche wie weibliche Schafe zeigen eine Zunahme der Produktion von Sexualhormonen, die bis zum Eintreten der sexuellen Reife in der Adenohypophyse gespeichert werden (Polkowska 2008). Somit kann die Größenzunahme der Hypophyse den gehirnmorphologisch erkennbaren Übergang vom juvenilen in den pubertären Lebensabschnitt der Tiere markieren. Der saisonale Ausstoß der Hormone geht nicht mit einer Reduktion der zellulären Bestandteile einher (Wańkowska 2010), sodass die Drüse in Ihrer Größe nicht saisonal schwankt. Darüber hinaus müssten aber genauere Daten gesammelt und darüber hinaus das Volumen der Hypophyse genau bestimmt werden, um eindeutige Aussagen über den Zusammenhang einer circannualen Rhythmik und der Größe der Hypophyse zu treffen. Die Anpassung der umliegenden Knochen (Os basisphenoidale), insbesondere die Einsenkung der Fossa hypophysealis, machen eine Zu- und Abnahme des Drüsenumfangs aber unwahrscheinlich.

Unterschiede in der Ausbildung des Corpus callosum sind subtiler. Grundsätzlich sind zwei Ursachen dafür zu diskutieren. Ein möglicher Einflussfaktor kann der unterschiedliche Reifungsgrad der weißen Substanz sein. Da in der Tat die älteren Tiere die breiteren Truncus corporis callosi aufweisen, könnte ein nicht voll myelinisiertes Gehirn die Ursache für solche Unterschiede sein. Hierbei ist zu bedenken, dass die Myelinisierung sogar bei nesthockenden Tieren - wie Hund und Katze - bereits mit dem vierten Monat morphologisch abgeschlossen ist und nur noch der Grad der Myelindichte variiert (Gross 2010). Sichtbare Veränderungen in der MRT sind aber nach dem vierten Monat nicht mehr zu erkennen. Demnach sollte die Myelinisierung der weißen Substanz bei nestflüchtenden Säugern bereits früher abgeschlossen sein. Schmidt et al. (2009) konnten zeigen, dass bereits bei Kälberfoeten im letzten Trimenon die Myelinisierung weit fortgeschritten ist. Somit erscheint ein Unterschied im Reifegrad der weißen Substanz beim Schaf im Alter von einem bzw. über einem Jahr unwahrscheinlich.

Eine weitere Möglichkeit besteht in der unterschiedlichen Ausprägung kortikaler Funktionsbereiche, die topographisch im Hirnbalken repräsentiert sind. Beim Menschen mit Einschränkungen der kortikalen Aktivität - z.B. bei Taubheit - kommt es neben dem funktionellen Masseverlust des kortikalen Abschnittes auch zu einer Degeneration der damit in Verbindung stehenden Kommissurenfasern, v.a. im Bereich des Truncus corporis callosi (Schummer 2011). Wahrscheinlicher ist es jedoch, dass die Schwankungen der Ausbildungen des Truncus corporis callosi auf die Formunterschiede der Hemisphäre zurückzuführen sind (siehe Seite 115).

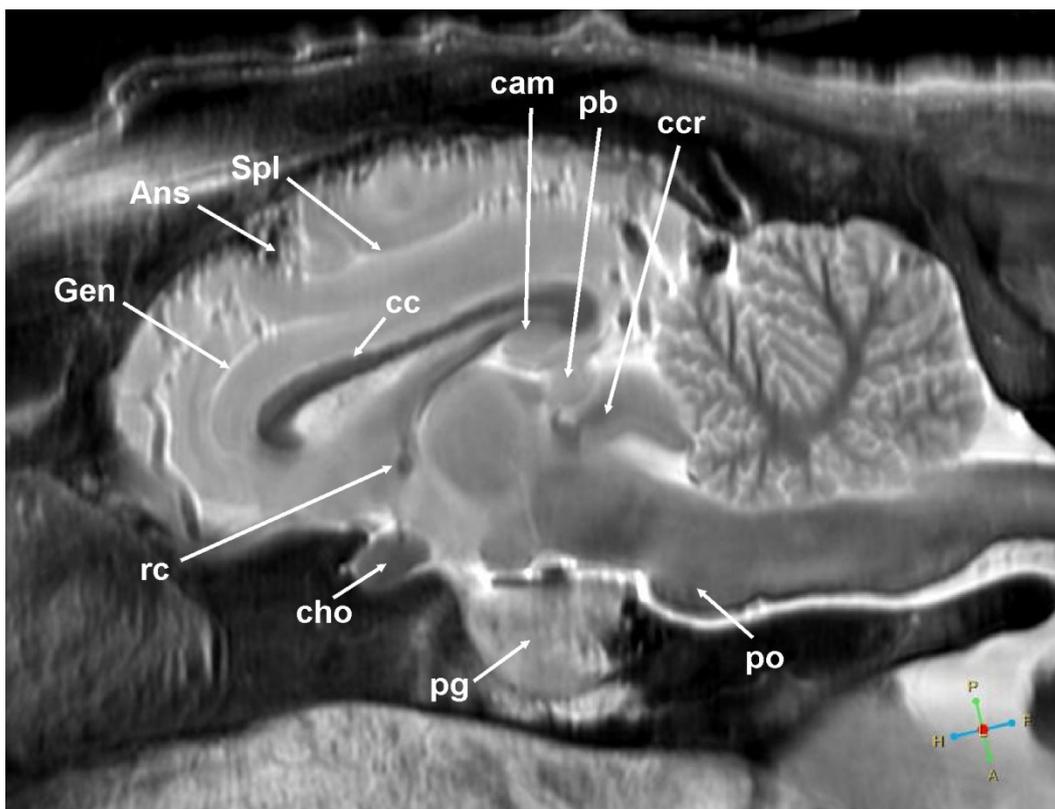
## **5.5 Spezies-spezifische Unterschiede der Gehirnmorphologie in der Magnetresonanztomographie**

Der detaillierte Vergleich einzelner Strukturen des Gehirns ist auf Grund der wenigen Studien zur Morphologie des Gehirns von Nutztieren nicht möglich. Hinzu kommt, dass die Bildqualität vorangegangener Veröffentlichungen derjenigen dieser Studie nicht gleichkommt. Die Verwendung von Niederfeld-Magnetresonanztomographen (0,2 bis 0,5 Tesla) und die Untersuchung lebender Tiere bedingen ein wesentlich niedrigeres Signal-zu-Rausch Verhältnis und unzureichenden Kontrast sowie Artefakte durch Atmung, Zirkulation und Liquorpulsation. Dennoch sollen die wichtigsten Unterschiede diskutiert werden.

### **5.5.1 Prosencephalon**

Der Grundbauplan des Säugergehirns ist auch beim Schaf eindeutig erkennbar. Das Vorderhirn, bestehend aus dem Telencephalon und dem Diencephalon, beinhaltet den Hirnmantel, das Riechhirn und den Streifenkörper (Corpus striatum) mit Anteilen der Basalganglien, das Thalamencephalon sowie den Hypothalamus. Alle diese Strukturelemente sind deutlich darstellbar. Durch die Ausbildung des Neopalliums im Zuge der Höherentwicklung und der damit verbundenen Entstehung der Furchen und Windungen ist das Gehirn des Schafes ein gyrencephales Gehirn, mit einer geringeren Ausprägung des Furchenbildes als beim Pferd (Rogner 1883, Turner 1890, Flatau und Jacobson 1899, Arençibia et al. 2001, Vázquez et al. 2001). Das Schaf zeigt eine deutlichere Organisation der Bogenfurchen um die Fissura sylvii. Der Hauptteil der Furchen und Windungen ist longitudinal angeordnet - mit einem minimalen Anteil an Quer- und Sekundärfurchen (Schellenberg). Auffällig ist der

große Anteil des Rhinencephalons und der weit dorsale Verlauf der Fissura rhinalis lateralis. Dies - und die massiven Bulbi olfactorii - weisen das Schaf als makrosomatischen Säuger aus. Die ausgeprägtere Ausbildung des Riechhirns ist ein gut sichtbarer Unterschied zum Pferdegehirn (Arençibia et al. 2001, Vázquez et al. 2001). Form und Verlauf der Gyri und Sulci des Palliums ähneln in hohem Maße dem des Rindes (Nickel et al. 1992). Beim Schaf scheint der dorsal des Gyrus cinguli, auf der medialen Hemisphärenfläche, liegende Sulcus splenius nicht in den Sulcus genualis überzugehen, sondern eher in den oberflächlich gelegenen Sulcus ansatus (Landacre 1930) (Abbildung 20). Beim Rind sind der Sulcus splenius, der Sulcus cinguli und der Sulcus genualis miteinander verbunden. Die kleineren, sich anschließenden Sulcus suprasplentialis bzw. endosplentialis, sowie Sulcus ecto- und endogenualis sind in unseren Aufnahmen nicht zu identifizieren. Schmidt (2012) beschreibt ebenfalls eine Abwesenheit dieser untergeordneten Sulci bei Schaf und



**Abb. 20:**  
**Midsagittale magnetresonanztomographische Schnittebene eines Schafgehirns mit Verlauf des Sulcus splenius (Spl) und des Sulcus genualis (Gen) auf der medialen Hemisphärenfläche. Zusätzlich Ans: Sulcus ansatus, cam: Hippocampus, cc: Corpus callosum, ccr: Colliculi rostralis, cho: Chiasma opticum, pb: Epiphyse, pg: Hypophyse, po: Pons, rc: Commissura rostralis**

Ziege. Im Verlauf des durchaus mächtigen Gyrus cinguli, dorsal des Corpus callosum gelegen, ist der Übergang kaudal des Corpus callosum in den Gyrus parahippocampalis beim Schaf - im Vergleich zum Rind - nur geringgradig ausgebildet und in den transversalen Schnittebenen auch nicht erkennbar. Längen- und Breitenverhältnisse des Schädels sind beim Hund die wichtigsten Determinanten für die Form des Gehirnes. Stauchung und Streckung der Schädelbasis bedingen hier ebenso eine reduzierte oder verlängerte Längenausdehnung von Schädel und Gehirn gleichermaßen. Am besten sichtbar ist dies bei brachycephalen Hunderassen, bei denen die Gehirnform sich der Schädelform anpasst, ohne dass es zu prinzipiellen Änderungen der Gehirnform kommt (Seiferle 1969). Ein vorzeitiger Schluss der Synchondrosis spheno-occipitalis konnte für den Hund (Schmidt 2013) und auch für das Rind (Julien 1957) als Ursache der Schädel-Längenausdehnung ausgemacht werden. Daten über Unterschiede der Schädelentwicklung beim Schaf liegen nicht vor. Auch bei kleinwüchsigen Schafen (Ancon Schaf) ist der Schädel nicht in seiner Form verändert (Landauer 1949).

### **5.5.2 Diencephalon**

Das Zwischenhirn mit dem Hypothalamus, dem Thalamus und dessen Anhängen, der Hypophyse und der Epiphyse, zeigen wenig speziesspezifische Unterschiede. Die Epiphyse weist bei Rind, Pferd und Schaf vergleichbare Dimensionen auf (Arençibia et al. 2001, Schmidt et al. 2009, Vázquez et al. 2001). Ein Recessus pinealis scheint beim Schaf jedoch zu fehlen (Schmidt und Langen 2012). Medial besteht die Abgrenzung der Thalamusgebiete gegeneinander in Form des dritten Ventrikels mit Ausnahme der Adhaesio interthalamica. Der dritte Ventrikel erscheint beim Schaf klein und weist eher im ventralen Bereich ein Lumen auf. Der Recessus infundibularis ist im Vergleich zum Rind und zum Pferd kaum sichtbar (Arençibia et al. 2001, Schmidt und Langen 2012, Vázquez et al. 2001). Der Hypothalamus wird kranial durch die prominente Sehnervenkreuzung, das Chiasma opticum, abgegrenzt. Auf Grund des größeren Anteils (89% beim Schaf, 81% beim Pferd und 83% beim Rind) der kreuzenden Fasern der Nervi optici stellt sich das Chiasma opticum größer und längsovaler als beim Pferd und Rind dar (Herron et al. 1978 in Nickel et al. 1992).

### 5.5.3 Mesencephalon

Das Mittelhirn besteht aus dem Tectum mesencephali, dem Mittelhirndach, und dem Tegmentum mesencephali, der Mittelhirnhaube. Die Lamina quadrigemina, die Vierhügelplatte, bildet das Tectum mesencephali. Beim Schaf sind die vorderen Hügel, die Colliculi rostralis, größer dimensioniert als die Kaudalen (Stroebe-Hens 1974). Im Gegensatz dazu ist die Situation beim Hund umgekehrt und beim Rind und Pferd intermediär (Nickel et al. 1992). Dies mag der Tatsache geschuldet sein, dass die Colliculi rostralis, die sich in der Medianen treffen, über das Brachium colliculi rostralis mit den Corpus geniculatum laterale und dem Tractus opticus in die Sehbahnen mit eingegliedert sind. Die Colliculi caudales, die beim Schaf nach kaudal auseinanderweichen, sind eher an der Hörbahn beteiligt (Stroebe-Hens 1974). Das Brachium colliculi caudalis ist in den magnetresonanztomographischen Aufnahmen nicht ersichtlich. Das Tegmentum mesencephali wird von den Hirnschenkeln, den Crura cerebri, eingegrenzt und enthält das Trigonum lemnisci. Das Tegmentum ist der Ursprungsort des Nervus oculomotorius und des Nervus trochlearis. Auf der Höhe des Infundibulum beginnen die Crura cerebri und überdecken als neencephale Fasermasse die Haube des Mittelhirns. Dann verlaufen sie gemeinsam mit dem Tractus opticus zum kaudalen Ende des Mittelhirns (Hummel 1985). Der Abfluss des Liquor cerebrospinalis aus dem dritten Ventrikel erfolgt über den Aquaeductus mesencephali.

### 5.5.4 Metencephalon

Beim Pferd ist die Form des Kleinhirns geringfügig spitz und kegelförmig (Arençibia et al. 2001, Vázquez et al. 2001). Das Kleinhirn ist weiter nach kaudal versetzt und die Kontaktfläche zum Lobus occipitalis ist geringer. Bei Schaf und Rind ist das Kleinhirn im midsagittalen Schnitt eher quadratisch bis oval (Schmidt und Langen 2012). Das Zentrum des Kleinhirnmarks ist bei Schaf und Rind nach rostral in den Lobus rostralis verschoben, während es beim Pferd mittig oberhalb des Recessus fastigei sitzt. Von hier aus ziehen die Markstrahlen gleichmäßig in die Peripherie. Beim Pferd teilt die Fissura prima das Kleinhirn in einen nahezu gleich großen Lobus rostralis und caudalis (Arençibia et al. 2001, Vázquez et al. 2001). Bei den Wiederkäuern erscheint der Lobus caudalis im midsagittalen Schnitt größer und überlappt den vorderen Lappen geringfügig. Das Hinterhirn mit Ausbildung der Pons im Tegmentum und dem aufsitzenden Kleinhirn zeigt im Falle des Schafes in den transversalen Schnittebenen eine dreieckige bis rechteckige Struktur des Kleinhirnes.

Die Kleinhirnabschnitte Pyramis, Tuber und Folium zeigen bei kaudaler Betrachtung der Oberfläche eine S-förmige Struktur, die von ventral mit einer kleineren Krümmung nach rechts beginnt und in einer Linkskrümmung dorsal endet. Dies wird als Vermis bezeichnet, ist bei anderen Haussäugetieren ebenfalls S-förmig und bei allen Nutztieren gleichermaßen zu sehen (Arençibia et al. 2001, Nickel et al. 1992, Vázquez et al. 2001).

## 6 Zusammenfassung

Für die Darstellung der Morphologie des zentralen Nervensystems beim Schaf mit der Magnetresonanztomographie werden 20 Schafgehirne von Schafen - im Alter von einem bis über drei Jahren - nach erfolgter Immersionsfixierung mit Formalin, untersucht. Angefertigt werden magnetresonanztomographische Schnittbilder in dorsaler, sagittaler und transversaler Ausleserichtung mit unterschiedlichen Sequenzen und Aufnahme-parametern. Für die letztendliche Darstellung wird eine, auf Grund der Sequenzeinstellungen, detailreiche transversale protonengewichtete (PDW) Schnittbildserie, mit einer deutlich verlängerten Untersuchungszeit, erzeugt. Die wichtigsten Einstellungsparameter umfassen eine Erhöhung der Schichtanzahl auf 96 und somit eine Verringerung der Schichtdicke auf 2 mm. Die digital bearbeiteten Transversalschnitte werden mit einem Bildbearbeitungsprogramm zugeschnitten und optimiert, die anatomisch erkennbaren Strukturen identifiziert und beschriftet. Zusätzlich wird aus dem Rohdatensatz durch Markierung der Gehirnareale in allen drei Ebenen eine dreidimensionale Rekonstruktion angefertigt. Diese dient als Orientierungshilfe und zur Lokalisation und Verknüpfung „fraglicher“ Strukturen in anderen Ebenen sowie zur Darstellung des Oberflächenreliefs. Die beschrifteten Transversalschnitte werden histologischen, transversalen Schnittbildern in Nissl-Färbung gegenübergestellt. Hierbei wird jedem magnetresonanztomographischen Schnittbild ein histologischer Transversalschnitt mit dem höchsten Grad an Übereinstimmung zugeordnet. Die Signalintensität der benannten anatomischen Strukturen wird ebenfalls beschrieben und ist eine inverse Darstellung zum histologischen Präparat in Nissl-Färbung. Ein kernreiches Gebiet, zum Beispiel die Basalganglien, werden in der Histologie deutlich dunkelblau angefärbt, stellen sich aber in der protonengewichteten magnetresonanztomographischen Aufnahme hyperintens - also hell - dar. Im Gegensatz dazu werden Faserzüge in der Magnetresonanztomographie hypointens - also dunkel - dargestellt. In der Histologie mittels Nissl-Färbung zeigen sich diese durchscheinend, also nicht oder nur geringgradig angefärbt. Die anschließende Betrachtung der individuellen Besonderheiten der Gehirnmorphologie zeigt eine unterschiedliche Ausprägung der Hemisphären in Form von zwei geringfügig variierenden Typen. Einige Tiere weisen eine geradere Längsausrichtung der Hemisphären und ein Auseinanderweichen des kaudalen Hemisphärenpols auf, wodurch das Kleinhirn die Lamina quadrigemina

überragt. Die andere Variante weist einen nach dorsal gebogenen Hemisphärenverlauf und einen kleineren Winkel zwischen den Hemisphärenenden auf. Das Kleinhirn positioniert sich eher senkrecht. Deutliche Formveränderungen der Längen- und Breitenverhältnisse sind beim Schaf jedoch nicht zu erkennen. Ein weiterer Unterschied zwischen den Tieren betrifft die Gestalt und die Dimension der Hypophyse mit zunehmendem Alter der Tiere. Die Hypophyse scheint sich mit zunehmendem Alter zu vergrößern und die Gestalt wechselt von einer Tropfenform zu einer plump birnenförmigen Struktur. Gleichzeitig senkt sie sich scheinbar tiefer in den Knochen ein. Bei den ältesten Schafen erhebt sich die Hypophyse sogar zusätzlich über die Fossa hypophysealis und hebt das Diaphragma sellae an. Die vorliegenden Ergebnisse sind speziesspezifische Daten zu den morphologischen Verhältnissen und Strukturen und können bei klinischen Fragestellungen zur Abgrenzung von pathologischen „Veränderungen“ herangezogen werden.

## 7 Summary

For the presentation of the morphology of the central nervous system of sheep with magnetic resonance imaging 20 sheep brains are scanned after fixation with formalin. Magnetic resonance images are taken in dorsal, sagittal and transverse orientation with different sequences and image parameters. For the final presentation a detailed transverse proton density weighted (PDW) slice picture series is generated because of the sequence adjustments. The most important sequence adjustments are the increase of slice number up to 96 and with that a decrease of slice thickness to 2 mm. The digitally rendered transverse slices are cut and optimized with graphical software. Visible anatomical structures are then identified and labeled. In addition, through labeling the brain area only in the raw data series in dorsal, sagittal and transverse slice orientation, a three dimensional reconstruction of the brain is produced. This is used for orientation, for localizing and linking “doubtful” structures in different slice orientations and for visualizing the cerebral surface.

The labeled transverse magnetic resonance images are opposed to the transverse histological slices (Nissl staining) with the highest degree of accordance.

The signal intensity of the labeled anatomical structures is also described. The signal intensity of the magnetic resonance image is an inverse representation to the histological slice (Nissl staining). A nucleus rich area, like the basal ganglia, are stained clearly dark blue in the histological slice, whereas they are hyperintens, means light grey in the proton dens magnetic resonance image. On the contrary fibres are hypointens in magnetic resonance imaging, means dark, whereas they appear translucent or minimally stained in Nissl staining.

The following observation of the intraspecific differences in brain morphology show different developments of brain hemispheres in two slightly different types. Some sheep show a more linear orientation of brain hemispheres and diverging caudal hemisphere poles, whereby the cerebellum overlaps the lamina quadrigemina. The second type shows more dorsally bent hemispheres and a small angle between the hemisphere ends. The cerebellum is positioned more upright.

Obvious form variations in length or width are not seen. Yet another intraspecific difference is the form variation and dimension of the distinct hypophysis with

increasing age. The hypophysis seems to grow with increasing age, its shape changes from a drop form to a blunt pear-shaped structure and simultaneously it sinks deeper into the bone. In older sheep the hypophysis even rises above the fossa hypophysealis and lifts the diaphragm sellae. Since this is a post mortem study a growth of the hypophysis cannot be proved.

These transverse images and the results can be viewed as species specific data of the morphological relations and structures. They can be used to compare to pathological changes in clinical problems.

## 8 Literaturverzeichnis

Arencibia A, Vazquez JM, Ramirez JA, Ramirez G, Vilar JM, Rivero MA, Alayon S, Gil F (2001): Magnetic resonance imaging of the normal equine brain. *Vet Radiol Ultrasound*. 42(5): 405-9.

Assheuer J, Sager M (1997): *MRI and CT Atlas of the Dog*. Blackwell Science, Berlin.

Bagley JR (1921): Cortical motor mechanism of the sheep brain. *Arch NeurPsych*. 7(4):417-453

Baumgartner W (2002): *Altersbestimmung aus: Klinische Propädeutik der inneren Krankheiten und Hauterkrankungen der Haus- und Heimtiere*. Parey Buchverlag Berlin

Bär S, Hummel G, Goller H (1985): Feinstruktur des Ammonshornes bei Rind, Schaf und Ziege. *Anat. Histol. Embryol*. 14: 242-261.

Becher, S.; Demoll, R.: *Einführung in die Mikroskopische Technik für Naturwissenschaftler und Mediziner*. 184 S. Verlag von Quelle & Meyer, Leipzig 1913.

Benveniste H, Blackband S (2002): MR microscopy and high resolution small animal MRI: applications in neuroscience research. *Prog Neurobiol*. 67(5): 393-420.

Berry CR and Thrall DE (2002): *Textbook of Veterinary Diagnostik Radiology*. WB Saunders Company, Philadelphia.

Black KJ, Koller JM, Snyder AZ, Perlmutter JS (2001): Template images for non human primate neuroimaging: 1. Baboon. *NeuroImage* 14 (3): 736-43.

Black KJ, Koller JM, Snyder AZ, Perlmutter JS (2001): Template images for non human primate neuroimaging: 2. Macaque. *NeuroImage* 14 (3): 744-48.

Blamire AM, Rowe JG, Styles P, McDonald B (1999): Optimising imaging parameters for post mortem MR imaging of the human brain. *Acta Radiologica* 40: 593-597

Blum F (1894): Notiz über die Verwendung des Formaldehyds als Härtungs- und Konservierungsmittel. *Anat. Anz.* 9: 229.

Boltze J, Förchler A, Nitzsche B, Waldmin D, Hoffmann A, Boltze CM, Dreyer AY, Goldammer A, Reischauer A, Härtig W, Geiger KD, Barthel H, Emmrich F, Gille U (2008): Permanent middle cerebral artery occlusion in sheep: a novel large animal model of focal cerebral ischemia. *J Cereb Blood Flow Metab.* 28(12): 1951-64.

Brack E (1961): Morpho- und histogenetische Untersuchungen der Epiphysis cerebri beim Rind. *Zbl. Vet. Med.* 9: 2-15.

Brauer K, Schober W (1970): Katalog der Säugetiergehirne. G. Fischer VEB I.

Briggs EA (1946): *Anatomy of the sheep's brain: a laboratory atlas for students of zoology.* Angus & Robertson, Sydney, 1946. 2nd Edition.

Brix G (2002): Physikalische Grundlagen. Abbildungsverfahren. In: Reiser M, Semmler W. *Magnetresonanztomographie.* Springer, Berlin, Heidelberg.

Chomiak M (1963): Topographie und Kernbau des Mesencephalon der Haustiere. *Ann. Univ. M. Curie-Sklodowska, DD* 18: 19-31.

Chomiak M, Welento J (1961): Topographie und Kernbau des Mesencephalons der Kuh. *Ann. Univ. M. Curie-Sklodowska, DD* 16: 45-66.

Clarke PG, Whitteridge D (1976): The cortical visual areas of the sheep. *J Physiol.* 256(3): 497-508.

Clarke PGH, Martin KAC, Rao VM, Whitteridge D (1988): The dorsal lateral geniculate nucleus of the sheep and its retinal. *Quarterly Journal of Experimental Physiology* 73: 295-304.

Crooks LE, Arakawa M, Hoenninger J (1984): Magnetic resonance imaging: effects of magnetic field strength, *Radiology* 151: 127-133.

Czogolsczewski M (1998): Die pränatale Entwicklung des Bulbus olfactorius beim Rind. *Vet. Med. Diss.*, Giessen.

Dam AN (1979): Shrinkage of the brain during histological procedures with fixation in formaldehyde solutions of different concentrations. *J. Hirnforsch.* 20: 115.

Danko J (1991): The development and formation of the sulci on the dorsal Surface of the sheep's brain. *Functional and developmental morphology* 1(1): 17-20.

Dellmann HD (1958): Beitrag zur Kenntnis des Hypothalamus-Hypophysen-Systems beim Rind. *Anat. Anz.* 106: 202-253.

Dennis R (1998): Magnetic resonance imaging and its applications in small animals. *In Practice* 20: 117-124.

Derenbach K (1950): Beitrag zur Histologie der Epiphysis cerebri des Rindes. *Diss.* Mainz

Dinopoulos A, Karamanlidis AN, Papadopoulos G, Antonopoulos J, Michaloudi H (1985): Thalamic projections to motor, prefrontal, and somatosensory cortex in the sheep studied by means of the horseradish peroxidase retrograde transport method. *J Comp Neurol.* 241(1): 63-81.

Ebinger P (1974): A Cytoarchitectonic volumetric comparison of brains in wild and domestic sheep. *Z. Anat. Entwickl.-Gesch.* 144: 267-302.

Ebinger P (1975): Quantitative Investigations of Visual Brain Structures in Wild and Domestic Sheep. *Anat. Embryol.* 146: 313-323.

Ebinger P (1975): A cytoarchitectonic volumetric comparison of the area gigantopyramidalis in wild and domestic sheep. *Anat. Embryol.* 147: 167-175.

Edinger L (1905): Über die Herkunft des Hirnmantels in der Tierreihe. Berl. Klin. Wschr. 43: 1-13.

Ellenberger W (1892): Furchen der Großhirnoberfläche des Pferdes, der Wiederkäuer, des Schweines. Generalregister zum Archiv für wissenschaftliche und praktische Tierheilkunde 18: 267-291.

Ellenberger W, Baum H (1900): Handbuch der vergleichenden Anatomie der Haustiere. 9. Auflage, Berlin, Hirschwald.

Ellenberger W, Baum H (1974): Handbuch der vergleichenden Anatomie der Haustiere, 18. Auflage, Berlin, Hirschwald.

Feldmann M (1973): Reactions of nucleic acids and nucleoproteins with formaldehyde. Prog. Nucl. Acid. Res. Mol. Biol. 13: 1-49.

Flatau E und Jacobsohn L (1899): Handbuch der Anatomie und vergleichenden Anatomie des Centralnervensystems der Säugetiere. Berlin: Verlag von S. Karger.

Förschler A, Boltze J, Waldmin D, Gille U, Zimmer C (2007): MR-Bildgebung eines experimentellen Schlaganfallmodells beim Schaf. Fortschr Röntgenstr 179: 516-524.

Fox T, Johnson PA, Whiting GR, Roller T (1985): The fixation with formaline. J. Cytochem. Histochem. 33 (8): 845-853.

Fraser M, Bennet L, Helliwel R, Wells S, Williams C, Gluckmann P, Gunn A, Inder T (2007) Regional specificity of magnetic resonance imaging and histopathology following cerebral ischemia in preterm fetal sheep. Reproductive Sciences 14(2): 182-191.

Fullerton GB, Potter JL, Dornbuth NC (1982): NMR relaxing of protons in tissues and other macromolecular water solutions. Magn. Reson. Imag. 1: 209-226.

Funkhouser EB (1915): The visual cortex, its localization, histological structure, and physiological function. *J Exp Med.* 21(6): 617-28.

Gadamski R, Lakomy M (1972): Nuclei of the posterior part of the hypothalamus of the cow. *Z. mikrosk.-anat. Forsch.* 86: 244-256.

Gadamski R, Lakomy (1973): The nuclei of the anterior part of the hypothalamus of the cow. *J. Hirnforsch.* 14: 27-41.

Geiger R (1989): *Formatio reticularis und Raphekerne bei Schaf und Ziege: licht- und elektronenmikroskopische Untersuchungen.* Vet. Med. Diss., Giessen.

Geiger R, Strömer R, Hummel G, Goller H (1992): Zur Feinstruktur der Raphekerne von Schaf und Ziege. *Ann Anat.* 174(4): 327-33.

Gerlach F (1917): Untersuchungen an der Epiphysis cerebri beim Pferd und Rind. *Anat. Anz.* 50: 49-65.

Getty R (1917): Sisson and Grossman's *The anatomy of the domestic animals*, 2.Auflage, W.B. Saunders company, Philadelphia and London.

Getty R (1953): Sisson and Grossman's *The anatomy of the domestic animals*, 4.Auflage, W.B. Saunders company, Philadelphia and London.

Gillian L, Gelston L (1943): The nuclear pattern of the midbrain and isthmus in ungulates. *J. Comp. Neurol.* 78: 143-170.

Goller H (1965): *Zytoarchitektonik der Medulla oblongata des Rindes.* Paul Parey-Verlag.

Greer PJ, Villemangen VL, Ruszkiewicz J, Graves AK, Meltzer CC (2002): MR-atlas of the baboon brain for functional imaging. *Brain. Res. Bull.* 15: 429-38.

Grisham W (2006): Resources for teaching Mammalian Neuroanatomy using Sheep brains: a review. *The journal of undergraduate Neuroscience Education* 5(1): R1-R6.

Grosch L, Noack F (1976): NMR-relaxation investigation of water mobility in aqueous bovine serum albumin solutions. *Biochem. Biophys. Acta.* 453: 218-232.

Gross B, Garcia-Tapia D, Riedesel E, Ellinwood NM, Jens JK (2010): Normal canine brain maturation at magnetic resonance imaging. *Vet Radiol Ultrasound.* 51(4): 361-73.

Güntürkün O, Verhoye M, De Groof G, Van der Linden A (2013): A 3-dimensional digital atlas of the ascending sensory and the descending motor systems in the pigeon brain. *Brain Struct Funct.* 218(1): 269-81.

Haddad D, Schaupp F, Brandtm R, Manz G, Menzel R, Haase A (2004): NMR imaging of the honeybee brain. *J Insect Sci.* 2004;4:7.

Hakeem AY, Hof PR, Sherwood CC, Switzer RC, Rasmussen LEL, Allman JM (2005): Brain of the African Elephant (*Loxodonta africana*): Neuroanatomy from magnet resonance images. *The Anatomical Record Part A* 287A: 1117-1127.

Halmos G (1961): Die Entwicklung des Kleinhirns beim Rinde unter besonderer Berücksichtigung lokaler Hyperplasien des Kleinhirnwurmes. Thesis, Tierärztliche Hochschule Hannover.

Hansen G, Crooks LE, Davis P, De Groot, Herfkens R, Margulis AR, Gooding C, Kaufmann L, Hoenninger J (1980): In vivo imaging of the rat anatomy with nuclear magnetic resonance. *Radiology* 136: 695-700.

Henkelmann RM, van Heteren JG, Bronskill MJ (1987): Small animal imaging with a clinical magnetic resonance imager. *Magn. Res. Med.* 4: 61-66.

Herron MA, Martin JE, Joyce JR (1978): Quantitative study of the decussating optic axons in the pony, cow, sheep, and pig. *Am J Vet Res.* 39(7): 1137-9.

Holl M 1900: Ueber die Insel des Ungulatengehirnes. *Archiv für Anatomie und Entwicklungsgeschichte* 1900: 327-340, pls. 18-20.

Hummel G, Goller H (1974): Zur Zytoarchitektur der Großhirnrinde der Hauswiederkäuer. *Berl. Tierärztl. Wschr.* 87: 129-133.

Hummel G (1975): Lichtmikroskopische, elektronenmikroskopische und enzymhistochemische Untersuchungen an der Großhirnrinde von Rind, Schaf und Ziege. *J. Hirnforsch.* 16: 245-285.

Hummel G, Goller H (1985): Feinstruktur des Ammonshornes von Rind, Schaf und Ziege. *Anat. Histol. Embryol.* 14: 242-261.

Jöst K (1992): Entwicklung der Colliculi rostrales beim Rind. Makroskopische und lichtmikroskopische Untersuchungen. *Vet. Med. Diss., Giessen.*

Johnson JI, Rubel EW, Hutton GI (1974): Mechanosensory projections to cerebral cortex of sheep. *J Comp Neurol.* 158(1): 81-107.

Julien LM, Tyler WS, Hage TJ, Gregory, PW (1957): Premature closure of the spheno-occipital synchondrosis in the horned Hereford dwarf of the "short-headed" variety. *Am J Anat* 100: 269-297.

Junge D (1977): Zur Topographie des Diencephalon vom weiblichen Rind (*Bos taurus domesticus*), *Anat. Anz.* 141: 455-477.

Kappers CUA (1920): Die vergleichende Anatomie des Nerven-Systems der Wirbeltiere und des Menschen. Haarlem, De Erven F. Bohn.

Kappers CUA, Huber GC, Crosby EC (1936): The comparative anatomy of the nervous system of the vertebrates including man. MacMillan & Co, New York.

Karamandilis A (1968): Trigemino-cerebellar fiber connections in the goat studied by means of the retrograde cell degeneration method. *J Comp Neurol.* 133(1): 71-88.

Karamanlidis AN, Saigal RP, Giolli RA, Mangana O, Michaloudi H (1979): Visual thalamocortical connections in sheep studied by means of the retrograde transport of horseradish-peroxidase. *J Comp Neurol.* 187(2): 245-60.

Kötter B, Kressin M, Hummel G, Goller H (1992): Frühentwicklung und Zelldifferenzierung des parasympathischen Vagus-Glossopharyngeus-Kernes beim Rind. *Berl. Tierärztl. Wschr.* 105: 61-66.

Kraft SL, Gavin PR, Wendling LR, Reddy VK (1989): Canine brain anatomy on magnetic resonance imaging. *Vet. Radiol.* 30 (1): 147-158.

Kraft L (1995): Die Entwicklung des visuellen Kortex beim Rind. *Vet. Med. Diss., Giessen.*

Krueg J (1878): Ueber die Furchung des Grosshirnrinde der Ungulaten. *Journal für Wissenschaftliche Zoologie* 31: 297-345.

Lakomy M, Gadamski R (1968): The nuclei of the septal area in the cow. *Anat. Anz.* 123: 117-136.

Landacre FL (1930): The major and minor Sulci of the brain of the Sheep. *Ohio J sci.* 30: 36-49.

Landauer W, Chang TK (1949): The Ancon or otter sheep. History and genetics. *J Hered* 40: 105-112.

Laubenberger T und Laubenberger J (1994) : Röntgenstrahlen und ihre Eigenschaften, Röntgentechnik, Röntgenröhre und Generator, Digitale Radiographie, Comutertomographie, Magnetresonanztomographie. In: *Technik der medizinischen Radiologie.* Deutscher Ärzte-Verlag, Köln

Leigh EJ, Mackillop E, Robertson ID, Hudson LC (2008): Clinical anatomy of the canine brain using magnetic resonance imaging. *Vet Radiol Ultra.* 49(2): 113-21.

Lemmer B (1977): Vergleichende histologische und elektronenmikroskopische Untersuchungen der Brücke bei Rind, Schaf und Ziege. *Vet. Med. Diss.*, Giessen.

Lodygensky GA, Inder TE, Neil JJ (2008): Application of magnetic resonance imaging in animal models of perinatal hypoxic-ischemic cerebral injury. *Int. J. Devl Neuroscience* 26: 13-25.

Löchelt F (1973): Lichtmikroskopische, elektronenmikroskopische und histochemische Untersuchungen am Bulbus olfactorius von Rind, Schaf und Ziege. *Vet. Med. Diss.*, Giessen.

Longerich U: Einfluß der Formalinfixierung auf das Kontrastierung der Magnetresonanz-Tomographiesequenzen. *Verhandl. Anat. Gesellsch. Ulm* 1989.

Martin P (1912): *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. I. Band: Allgemeine und vergleichende Anatomie und Entwicklungsgeschichte.* Schickhardt & Ebner, Stuttgart.

Marino L, Murphy TL, Goza U, Johnson JL, (2001c): Magnetic resonance imaging and three dimensional reconstruction of the brain of the fetal common dolphin. *Anat. Embryol. Histol.* 203: 393-402.

Marino L, Sudheimer KD, Murphy TL, Davis KK, Pabst DA, McLellan WA, Rilling JK, Johnson JI (2001): Anatomy and three-dimensional reconstructions of the brain of a bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) from magnetic resonance images. *Anat Rec.* 264(4): 397-414.

Marino L, Murphy TL, Deweerd AL, Morris JA, Fobbs AJ, Humblot N, Ridgway SH, Johnson JI (2001): Anatomy and three-dimensional reconstructions of the brain of the white whale (*Delphinapterus leucas*) from magnetic resonance images. *Anat Rec.* 262(4): 429-39.

Marino L, Sudheimer K, Pabst DA, McLellan WA, Johnson JI (2003): Magnetic resonance images of the brain of a dwarf sperm whale (*Kogia simus*). *J Anat.* 203(1): 57-76.

Marino L, Sudheimer K, Sarko D, Sirpenski G, Johnson JI (2003): Neuroanatomy of the harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) from magnetic resonance images. *J Morphol.* 257(3): 308-47.

Marino L, Sherwood CC, Delman BN, Tang CY, Naidich TP, Hof PR (2004): Neuroanatomy of the killer whale (*Orcinus orca*) from magnetic resonance images. *Anat Rec A Discov Mol Cell Evol Biol.* 281(2): 1256-63.

Markmiller U (2001): Kernspintomographische Darstellung der Anatomie der Ratte und Ausblick für den Einsatz in der Veterinärmedizin. *Vet. Med. Diss.*, München.

Mihaljevic M, Kramer M, Gomercic H (2007): CT- und MRT-Atlas: Transversalanatomie des Hundes. Parey Verlag.

Munasinghe JP, Gresham GA, Carpenter TA, Hall LD (1995): Magnetic resonance imaging of the normal mouse brain: Comparison with histologic sections. *Lab. Animal. Sci.* 45 (6): 674-679.

Nickel R, Schummer A, Seiferle E (1992): Lehrbuch der Anatomie der Haustiere Vol. IV Parey-Verlag.

Niebel I (1995): Die Entwicklung des Nucleus olivaris beim Rind. *Vet. Med. Diss.* Giessen.

Niimi K, Kanaseki T, Takimoto T (1963): The comparative anatomy of the central nucleus of the lateral geniculate body in mammals. *J Comp. Neurol.* 121: 313-323.

Nitz WR, Runge VM, Schmeets SH, Faulkner WH, Desai NK (2007): Praxiskurs MRT. Anleitung zur MRT. Physik über klinische Beispiele. Stuttgart Thieme Verlag 2007.

Nitz WR (2000) : Grundlegende Prinzipien der MR-Bildgebung. In: Reimer P, Parizel PM, Stichnoth FA. Klinische MR-Bildgebung. Springer, Berlin, Heidelberg.

Nitz WR (2002): Fast and ultrafast non-echo-planar MR imaging techniques. Eur Radiol. 12: 2866-2882.

Oeser E (2010): Geschichte der Hirnforschung: Von der Antike bis zur Gegenwart. Wissenschaftliche Buchgesellschaft; Auflage: 2.

Opdam HI, Federico P, Jackson GD, Buchanan J, Abbott DF, Fabinyi G, Syngeniotis A, Vosmansky M, Archer JS, Wellard RM, Bellomo R (2002): A sheep model for the study of focal epilepsy with concurrent intracranial EEG and functional MRI. Epilepsia 43(8): 779-787.

Owen R (1868): The anatomy of the Vertebrates Vol. III, London: Longmans, Green, and Co.

Peirce JW, Kendrick KM (2002): Functional asymmetry in sheep temporal cortex. Neuroreport. 13(18): 2395-9.

Pietsch H (1998): Kernspintomographische Untersuchung der Bauchhöhle der Katze, Vet. Med. Diss., Berlin.

Polkowska J, Wańkowska M, Riddestråle Y, Wójcik-Gładysz A, Madej A, Tillet Y (2008): Prepubertal changes in the synthesis, storage and release of growth hormone and luteinising hormone and in the immunoreactivity of oestrogen receptor- $\alpha$  in lambs pituitary cells. Journal of Chemical Neuroanatomy 35: 257-267.

Pykett IL, Newhouse JH, Buananno FS, Brady TJ (1982): Principles of nuclear magnetic resonance imaging. Radiology 143: 157-168.

Rinck PA, Harms SE (1986): Dreidimensionale Multiechomagnetresonanztomographie: Prinzip und klinische Anwendungen im Gehirnschädel. Rofo. 144(3): 309-14.

Rinck P, Zink C (2005): Taschenwörterbuch Magnetresonanztomographie. Berlin: abw-Verlag; 2005

Ristow C (1980): Licht- und elektronenmikroskopische Untersuchungen an den Colliculi caudales des Mittelhirnes von Rind, Schaf und Ziege. Vet. Med. Diss., Giessen.

Rockett S (1993): Die Entwicklung der Colliculi caudales beim Rind. Licht- und elektronenmikroskopische Untersuchung. Vet. Med. Diss., Giessen.

Rogner V (1883): Ueber das Variiren der Grosshirnfurchen bei Lepus, Ovis und Sus.

Rolls G: Paraffineinbettung und Schnittpräparation mit dem Mikrotom. Scientia Die Fortbildungsserie von Leica Microsystems

Rose JE (1942): A cytoarchitectural study of the sheep cortex. J comp neurol. 76: 1-55.

Ruhrig S (1992): Entwicklung der Kerngebiete des 6. bis 8. Gehirnnerven beim Rind. Vet. Med. Diss., Giessen.

Ruhrig S, Kötter G, Hummel G, Goller H (1995): Entwicklung und Zelldifferenzierung des Nucleus nervi hypoglossi beim Rind. Anat. Histol. Embryol. 24: 53-59.

Ruhrig S, Hummel G, Goller H (1994): Entwicklung und Zelldifferenzierung der Nuclei vestibulochochleares beim Rind. Anat. Histol. Embryol. 23: 1-11.

Saigal RP, Karamanlidis AN, Voogd J, Michaloudi H (1982): Cerebellar cortical afferents from the dorsal column nuclei in sheep, demonstrated with retrograde transport of horseradish peroxidase. Neurosci Lett. 29(1): 7-12.

Schellenberg K (1900): Untersuchungen über das Großhirnmark der Ungulaten. Zürich: Universität, Philosophische Fakultät Dissertation.

Schenk HC, Ganter M, Seehusen F, Schroeder C, Gerdwilker A, Baumgaertner W, Tipold A (2007) Magnetic resonance imaging findings in metabolic and toxic disorders of 3 small ruminants. *J Vet Intern Med* 21: 865-871.

Schessner M (1985): Frühentwicklung und Zelldifferenzierung des Ammonshornes beim Rind. *Vet. Med. Diss.*, Giessen.

Schild HH (1990): *MRI made easy*. Berlin: Schering AG

Schiller A (1998): *Topographie und angewandte Anatomie des Auges und des Ohres der Katze unter besonderer Berücksichtigung moderner bildgebender Verfahren*. *Vet. Med. Diss.*, Hannover.

Schmidt MJ (2006): *Die Ontogenese des Gehirnes beim Rind (*Bos taurus*)*. Eine Darstellung mit der Magnet-Resonanz-Tomographie und der Magnet-Resonanz-Mikroskopie. *Vet. Med. Diss.*, Giessen.

Schmidt MJ, Pilatus U, Wigger A, Kramer M, Oelschläger HA (2009): Neuroanatomy of the calf brain as revealed by high-resolution magnetic resonance imaging. *Journal of morphology* 270: 745-758.

Schmidt MJ, Langen N, Klumpp S, Nasirimanesh F, Shirvanchi P, Ondreka N, Kramer M (2012): A study of the comparative anatomy of the brain of domestic ruminants using magnetic resonance imaging. *Vet J.* 191(1): 85-93.

Schummer V (2011): *Vermessung des Corpus callosum bei Patienten mit Tinnitus und bei gesunden Menschen mit Hilfe der Magnetresonanztomographie*. *Vet. Med. Diss.* Giessen.

Schmidt MJ, Volk H, Klingler M, Failing K, Kramer M, Ondreka N (2013): Comparison of closure times for cranial base synchondroses in mesaticephalic, brachycephalic, and Cavalier King Charles Spaniel dogs. *Vet Radiol Ultrasound.* 54(5): 497-503.

Seiferle E (1969): Zur Topographie des Gehirns bei lang- und kurzköpfigen Hunderassen. Acta Anat 63: 346–362.

Stark DD, Bradley Jr WG (1988): Magnetic Resonance Imaging. Mosby-Verlag.

Stassen-Grässer (1988): Entwicklung und Zelldifferenzierung der Kleinhirnrinde beim Rind. Licht- und elektronenmikroskopische Untersuchungen. Vet. Med. Diss., Giessen.

Steinbach W (1978): Licht- und elektronenmikroskopische Untersuchungen des Kleinhirns von Rind, Schaf und Ziege. Vet. Med. Diss., Giessen.

Steinbach W, Hummel G, Goller H (1980): Licht und elektronenmikroskopische Untersuchungen an der Kleinhirnrinde von Rind, Schaf und Ziege. Anat. Anz. 147: 354-370.

Stockx EM, Anderson CR, Murphy SM, Cooke IRC, Berger PJ,(2007) A map of the major nuclei of the fetal sheep brainstem. Brain research Bulletin 71: 355-364.

Stoebe-Hens E (1974): Lichtmikroskopische und elektronenmikroskopische Untersuchungen an den Colliculi rostrales des Mittelhirnes von Schaf, Rind und Ziege. Vet. Med. Diss., Gießen.

Störmer R (1985): Kerngebiete der IX. und X. Gehirnnerven bei Schaf und Ziege. Licht- und elektronenmikroskopische Untersuchungen. Vet. Med. Diss. Giessen.

Störmer R Goller H (1988): Zur Feinstruktur des Nucleus tractus solitarii von Schaf und Ziege. J Hirnforsch. 29(6): 633-41.

Störmer R, Goller H, Schubert S (1991): Zur Feinstruktur des Nucleus nervi hypoglossi von schaf und Ziege. Anat Histol Embryol. 20(4): 334-44.

Störmer R, Hummel G, Goller H (1987): Zur Feinstruktur des Nucleus ambiguus und des spinalen Akzessoriuskernes. Schweiz Arch Tierheilkd. 129(2): 75-86.

Störmer R, Hummel G, Hild A, Goller H (1985): Das parasympathische Kerngebiet des IX. und X. Gehirnnerven von Schaf und Ziege. Tierärztl. Umschau 40(11): 904-907.

Störmer R, von Solodkoff M, Goller H (1990): Zur Feinstruktur des Nucleus nervi facialis von Schaf und Ziege. Anat Anz. 171(2): 135-46.

Stypulkowski PH, Giftakis JE, Billstrom TM (2011): Development of a large animal model for investigation of deep brain stimulation for epilepsy. Stereotact Funct Neurosurg. 89(2): 111-22.

Szetyń S (1966) Die Struktur und Topographie der Hemisphären des Endhirnes der Hauswiederkäuer. Anat. Anz. 118: 58-66.

Talairach J, Tournoux P (1988): Coplanar Stereotactic Atlas of the Human Brain. Thieme-Verlag.

Thrall DE (2007): Textbook of Veterinary Diagnostic Radiology. W.B. Saunders, St. Louis.

Tidwell AS, Jones JC (1999): Advanced imaging concepts: a pictorial glossary of CT and MRI technology. Clin. Tech. Small Anim. Pract. May 14(2): 65-111.

Toga AW, Mazziotta JC (2002): Brain Mapping: The Methods, Second Edition. Academic press, Elsevier Science.

Turkewitsch N (1987): Die Entwicklung der Zirbeldrüse beim Rind (*Bos taurus* L.) Gegenb. Morphol. Jb. 326-356.

Turner W (1890): The Convulsions of the Brain: A Study in Comparative Anatomy. J Anat Physiol. Oct; 25(Pt 1): 105-53.

Tzuka T, Taura Y (1999): Abscess of bovine brain stem diagnosed by contrast MRI examinations, J Vet Med Sci 61 (4): 425-427.

Uhlenbrock D (2001): MRT der Wirbelsäule und des Spinalkanals. Verlag: Thieme, Stuttgart (2001).

Vázquez JM<sup>1</sup>, Rivero M, Gil F, Ramírez JA, Ramírez G, Vilar JM, Arencibia A (2001): Magnetic resonance imaging of two normal equine brains and their associated structures. *Vet Rec.* 148(8): 229-32.

Vierling R (1956): Ein Beitrag zur anatomischen Situation der Hypothalamuskern, Nucleus supraopticus und Nucleus paraventricularis beim Schaf. *Anat Anz.* 103(21-24): 406-26.

Vierling R (1956): Die anatomischen Situation der Hypothalamuskern Nucleus supraopticus und Nucleus paraventricularis bei Rind und Schaf. *Anat Anz.* 104(6-10): 157-82.

Von Solodkoff M (1986): Kerngebiete der VI. bis VIII. Gehirnnerven von Schaf und Ziege: licht- u. elektronenmikroskopische Untersuchungen. *Vet. Med. Diss. Giessen.*

Wańkowska M, Polkowska J (2006): The postnatal ontogeny of gonadotroph cells in the female sheep. Developmental patterns of synthesis, storage and release of gonadotrophic hormones. *Journal of Chemical Neuroanatomy* 31: 130-138.

Wańkowska M, Polkowska J, Misztal T, Romanowicz K (2010): Influence of ovarian hormones on endocrine activity of gonadotroph cells in the adenohypophysis of lambs during the postnatal transition to prepuberty. *Anim Reprod Sci.* 121(1-2): 84-93

Wańkowska M, Polkowska J, Wójcik-Gładysz A, Romanowicz K (2010): Influence of gonadal hormones on endocrine activity of gonadotroph cells in the adenohypophysis of male lambs during the postnatal transition to puberty. *Anim Reprod Sci.* 122(3-4): 342-52.

Watanabe H, Anderson F, Singer CZ, Evans SM (2001): MR based statistical atlas of the Göttingen-Minipig brain. *NeuroImage* 14: 1089-1096.

Wedegärtner U, Tchirikov M, Koch M, Adam G, Schröder H (2002): Functional magnetic resonance imaging (fMRI) for fetal oxygenation during maternal hypoxia: initial results. *Ortschr Röntgenstr* 174: 700-703.

Wedegärtner U, Tchirikov M, Schäfer S, Priest AN, Walther M, Adam G, Schröder HJ (2005): Fetal sheep brains: Findings at functional blood oxygen Level-dependent 3-T MR imaging-relationship to maternal oxygen saturation during hypoxia. *Radiology* 237: 919-926.

Wedegärtner U, Popovych S, Yamamura J, Kooijman H, Adam G, (2009):  $\Delta R2^*$  in fetal sheep brains during Hypoxia: MR imaging at 3.0T versus that at 1,5 T. *Radiology* 252: 394-400.

Weishaupt D, Köchli VD, Maricek D (2009): *Wie funktioniert MRT?* Springer-Verlag.

Wilzceck C (1992): *Die Entwicklung der Kerngebiete des 3. bis 5. Gehirnnerven beim Rind. Lichtmikroskopische Untersuchung.* Vet. Med. Diss. Giessen.

Woudenberg RA (1970): Projections of mechanoreceptive fields to cuneate-gracile and spinal trigeminal nuclear regions in sheep. *Brain Res.* 17(3): 417-37.

Yoshikawa T (1968): *Atlas of the Brain of Domestic Animals.* University of Tokyo Press.

Erklärung :

"Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in Promotionsordnung des Fachbereichs Veterinärmedizin 06.11.2012 7.40.10 Nr. 1 S. 8 der "Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis" niedergelegt sind, eingehalten."

(Norbert W. Langen)

## **Danksagung**

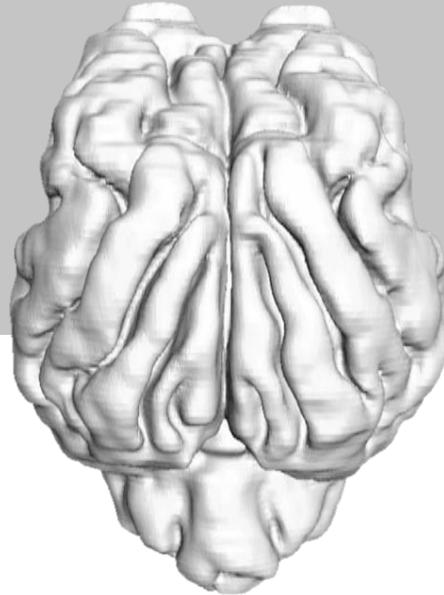
Ein besonderer Dank gilt all denjenigen, die mich im Verlauf der Erarbeitung dieser Dissertation unterstützt und begleitet haben:

Mein besonderer Dank gilt Prof. Dr. Dr. h.c. M. Kramer und PD Dr. M. Schmidt für die Überlassung des Themas, die sehr gute Betreuung und schnelle Durchsicht bzw. Korrektur der eingereichten Manuskripte. Ohne die Nutzungsmöglichkeit des zur Verfügung stehenden Magnetresonanztomographen wäre diese Studie nicht möglich gewesen, ebenfalls vielen Dank dafür.

Für die Unterstützung während der Anfertigung der magnetresonanztomographischen Schnittbilder seitens der Mitarbeiter der Klinik für Kleintiere – insbesondere der ehemaligen Mitarbeiter- möchte ich mich bedanken.

Ein aller herzlichster Dank gebührt den Anatomischen Instituten: der Dr. Senckenbergischen Anatomie (Institut für Anatomie III) der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main und dem Institut für Veterinär-Anatomie, -Histologie und Embryologie der Justus-Liebig-Universität Gießen die mit histologischen und anatomischen Präparaten einen Beitrag geleistet haben.

Nicht zu Letzt bedanke ich mich ganz herzlich bei meiner Familie und meiner Lebensgefährtin und bei all denjenigen aus meinem persönlichen Umfeld, die mir Ansporn und Beistand während der Anfertigung der Dissertation gegeben haben.



*édition scientifique*  
**VVB LAUFERSWEILER VERLAG**

VVB LAUFERSWEILER VERLAG  
STAUFBENGRING 15  
D-35396 GIESSEN

Tel: 0641-5599888 Fax: -5599890  
redaktion@doktorverlag.de  
www.doktorverlag.de

ISBN: 978-3-8359-6167-8



9 783835 196167 8