



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

**Die rechtliche Verantwortung für den gesamten Inhalt dieses Buches liegt ausschließlich bei der Autorin dieses Werkes.**

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

1. Auflage 2024

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 Authors or the Publisher.

1<sup>st</sup> Edition 2024

© 2024 by VVB LAUFERSWEILER VERLAG, Giessen  
Printed in Germany



*édition scientifique*  
**VVB LAUFERSWEILER VERLAG**

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

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

Klinikum Veterinärmedizin  
Klinik für Kleintiere - Neurochirurgie  
Neuroradiologie und klinische Neurologie  
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Betreuer: Prof. Dr. Martin J. Schmidt

# **Darstellung der Anatomie des Gehirns des Pferdes mit der Magnetresonanztomographie**

## **INAUGURAL-DISSERTATION**

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

eingereicht von

**Carola Knemeyer**

Tierärztin aus Gladbeck

Gießen 2024

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

Dekan: Prof. Dr. Dr. Stefan Arnhold

Gutachter:

Prof. Dr. Martin Schmidt

Prof. Dr. Monika Kressin

Prof. Dr. Christiane Herden

Tag der Disputation:

18.01.2024

## **Meinen Eltern**



**Inhaltsverzeichnis**

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abkürzungsverzeichnis.....	III
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Literaturübersicht.....</b>	<b>2</b>
<b>2.1 Morphologie des Pferdegehirns.....</b>	<b>2</b>
<b>2.2 Die Untersuchung des Pferdegehirns mit Hilfe der         Magnetresonanztomographie (MRT) .....</b>	<b>5</b>
<b>2.3 Magnetresonanztomographie (MRT) .....</b>	<b>7</b>
2.3.1 Prinzip der Magnetresonanztomographie, Spin und Präzession.....	7
2.3.2 Longitudinalmagnetisierung .....	9
2.3.3 HF-Impuls, Resonanz und Transversalmagnetisierung .....	9
2.3.4 Longitudinal- und Transversalrelaxation .....	10
2.3.5 T1-Relaxation, Longitudinalrelaxation (Spin-Gitter-Wechselwirkung) .	11
2.3.6 T2-Relaxation, Transversalrelaxation (Spin-Spin-Wechselwirkung)....	12
2.3.7 Technischer Aufbau eines Magnetresonanztomographen .....	12
2.3.8 Magnet.....	12
2.3.9 Gradientensystem .....	14
2.3.10 Hochfrequenzsystem .....	14
2.3.11 Sende- und Empfangsspulen .....	15
2.3.12 Grundlagen der Entstehung eines MRT-Bildes .....	15
<b>2.4 Altersschätzung beim Pferd.....</b>	<b>22</b>
<b>3 Material und Methoden .....</b>	<b>24</b>
<b>3.1 Studienpopulation.....</b>	<b>24</b>
<b>3.2 MRT-Aufnahmen.....</b>	<b>25</b>
3.2.1 Bildbearbeitung .....	27
<b>3.3 Histologie-Schnitte.....</b>	<b>29</b>
<b>4 Ergebnisse .....</b>	<b>30</b>
<b>4.1 Lokalisation morphologischer Strukturen des equinen Gehirns in der         MRT und Histologie .....</b>	<b>31</b>

<b>4.2</b>	<b>Beschreibung der Morphologie des Pferdegehirns .....</b>	<b>81</b>
4.2.1	Telencephalon.....	81
4.2.2	Diencephalon .....	88
4.2.3	Mesencephalon .....	92
4.2.4	Metencephalon.....	94
<b>5</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>99</b>
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>106</b>
<b>7</b>	<b>Summary .....</b>	<b>107</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>108</b>

**Abkürzungsverzeichnis**

3	Ventriculus tertius
3D	dreidimensional
4	Ventriculus quartus
ab	Corpus amygdaloideum
acc	Arteria corporis callosi
aci	Arteria carotis interna
acn	Nucleus accumbens
ah	Adenohypophyse
alv	Alveus
amb	Nucleus ambiguus
ans	Lobulus ansiformis
Ans	Sulcus ansatus
ansl	Ansa lenticularis
aq	Aquaeductus mesencephali
are	Area entorhinalis
bcc	Brachium colliculi caudalis
bcr	Brachium colliculi rostralis
boc	Os basilare
bsa	Arteria basilaris
bsp	Os basisphenoidale
C	Canini
CA1	Cornu ammonis Feld 1
CA2	Cornu ammonis Feld 2
CA3	Cornu ammonis Feld 3
CA4	Cornu ammonis Feld 4
cam	Cornu ammonis
cc	Corpus callosum
cca	Arteria cerebri caudalis
ccba	Arteria cerebelli caudalis
ccc	Commissura colliculi caudalis
ccd	Commissura caudalis
ccma	Arteria communicans caudalis
ccp	Pedunculus cerebellaris caudalis
ccr	Commissura colliculi rostralis
cdc	Colliculus caudalis
cec	Canalis centralis
cf	Columna fornicis
cfo	Corpus fornicis
cgs	Substantia grisea centralis
cha	Commissura habenularum
cho	Chiasma opticum
chp	Plexus choroideus
cig	Gyrus cinguli
cin	Cingulum
cl	Lobulus centralis
cla	Clastrum
cmf	Commissura fornicis

## Abkürzungsverzeichnis

---

cn	Nucleus caudatus
cor	Gyrus coronalis
Cor	Sulcus coronalis
crc	Crus cerebri
crt	Tractus cerebello-rubro-thalamicus
Cru	Sulcus cruciatus
cso	Commissura supraoptica
cst	Tractus corticospinalis
ctt	Tractus tegmentalis centralis
cu	Culmen
cun	Nucleus cuneatus
cvs	Sinus cavernosus
dbb	Stria diagonalis (diagonales Band von Broca)
dcml	Decussatio lemniscorum medialis
dctb	Decussatio trapezoideum
de	Declive vermis
df	Fascia dentata
dg	Gyrus dentatus
Dia	Sulcus diagonalis (Neocortex)
Dias	Sulcus diagonalis (basales Vorderhirn)
dpy	Decussatio pyramidalis
drp	Decussatio pedunculorum cerebellarium rostrarium
dtd	Decussatio tegmentalis dorsalis
dtn	Decussatio nervorum trochlearium
ec	Capsula externa
ecs	Gyrus ectosylvius
Ecs	Sulcus ectosylvius
Ectg	Sulcus ectogenualis
ectg	Gyrus ectogenualis
ectm	Gyrus ectomarginalis
Ectm	Sulcus ectomarginalis
Eng	Sulcus endogenualis
enm	Gyrus endomarginalis
Enm	Sulcus endomarginalis
Enrh	Sulcus endorhinalis
Ensp	Sulcus endosplenialis
Espl	Sulcus ectosplenialis
ex	Capsula extrema
fh	Fimbria hippocampi
Flc	Fissura longitudinalis cerebri
fld	Fasciculus longitudinalis dorsalis
flm	Fasciculus longitudinalis medialis
flo	Flocculus
flv	Fasciculus longitudinalis ventralis
fmi	Forceps minor
fmt	Fasciculus mamillo-thalamicus
fo	Fornix
fol	Folium vermis
fom	Forceps major

## Abkürzungsverzeichnis

---

fos	Fibrae olfacto-septalis
FOV	Field-of-View
Fp	Fissura prima
fpa	Fissura parafloccularis
Fpc	Fissura praeculminata
Fs	Fissura secunda
fsc	Fasciculus subcallosus
fte	Fasciculus tegmenti
ftp	Fibrae transversae pontis
gcc	Genu corporis callosi
gen	Gyrus genualis
Gen	Sulcus genualis
gg	Ganglion trigeminale
gnf	Genu nervi facialis
gp	Globus pallidus
gra	Nucleus gracilis
H1	Fasciculus thalamicus
H2	Fasciculus lenticularis
ha	Habenulae
han	Nuclei habenulares
HF	Hochfrequenz
hf	Fissura hippocampi
hip	Hippocampus proper
hit	Tractus habenulo-interpeduncularis
hs	Sulcus hypothalamicus
hyp	Hypothalamus
hypn	Nucleus nervi hypoglossi
I	Incisivi
ic	Capsula interna
icl	Insulae callejae
icrs	Sulcus intercruralis
icvs	Sinus intercavernosus
II	Nervus opticus
III	Nervus oculomotorius
IV	Nervus trochlearis
inf	Pars infundibularis
ins	Cortex insularis
ipd	Nucleus interpeduncularis
ir	Recessus infundibularis
ita	Adhaesio interthalamica
k-Raum	Ortsfrequenzraum
lal	Lemniscus lateralis
lgb	Corpus geniculatum laterale
li	Lingula vermis
lme	Lamina medullaris externa
lmi	Lamina medullaris interna
Lms	Sulcus mesencephalicus lateralis
log	Gyrus olfactorius lateralis
lot	Tractus olfactorius lateralis

## Abkürzungsverzeichnis

---

lt	Lamina terminalis
lv	Ventriculus lateralis
M	Molaren
man	Nervus mandibularis
mar	Gyrus marginalis
Mar	Sulcus marginalis
max	Nervus maxillaris
mb	Corpus mamillare
mca	Arteria cerebralis medialis
mcp	Pedunculus cerebellaris medialis
mgb	Corpus geniculatum mediale
MHz	Megahertz
ml	Lemniscus medialis
mot	Tractus olfactorius medialis
MRT	Magnetresonanztomographie
Ms	Millisekunden
mtn	Nucleus motorius nervi trigemini
nab	Nucleus nervi abducentis
nad	Nucleus anterior dorsalis thalami
nca	Nucleus compactus centralis
ncd	Nucleus cochlearis dorsalis
ncv	Nucleus cochlearis ventralis
nd	Nucleus dentatus
ndct	Nucleus dorsalis corpus trapezoidei
nf	Nucleus fastigii
nfl	Nucleus fasciculi lateralis
nh	Neurohypophyse
nll	Nucleus lemnisci lateralis
nip	Nucleus interpositus
nmt	Nucleus mesencephalicus nervi trigemini
nnf	Nucleus nervi facialis
no	Nodulus vermis
nom	Nucleus nervi oculomotorii
npo	Nuclei pontis
nrm	Nucleus raphe medianus
nrt	Nucleus reticularis thalami
nsol	Nucleus tractus solitarii
nto	Nucleus nervus trochlearis
ntsn	Nucleus tractus spinalis nervi trigemini
nvl	Nuclei vestibulares laterales
nvm	Nucleus vestibularis medialis
ob	Bulbus olfactorius
obl	Gyrus obliquus
Obl	Sulcus obliquus
obx	Obex
olf	Filae olfactoriae
oli	Nucleus olivaris caudalis
olr	Recessus olfactorius
Ols	Sulcus olfactorius

Abkürzungsverzeichnis

---

op	Pedunculus olfactorius
ophth	Nervus ophthalmicus
or	Radiatio optica
ot	Tractus opticus
otb	Tuberculum olfactorium
P	Prämolaren
paf	Paraflocculus
pb	Glandula pinealis
pcm	Pedunculus corporis mamillaris
pd	Pedunculus thalami
PDw	Protonendichte-gewichtetes Bild
pfc	Cortex piriformis
pfs	Substantia perforata
pg	Glandula pituitaria
phg	Gyrus parahippocampalis
pir	Lobus piriformis
pml	Lobulus paramedianus
po	Pons
poa	Area praeoptica
pocr	Gyrus postcruciatu
ppd	Nuclei parapedunculares
prcr	Gyrus praecruciatu
prpc	Cortex praepiriformis
pr	Gyrus proreus
Prr	Sulcus proreus
prs	Präsubiculum
Prs	Sulcus praesyliu
psi	Pars intermedia glandulae pituitariae
pta	Area praetectalis
pul	Pulvinar
put	Putamen
py	Pyramis vermis
pyr	Tractus pyramidalis
qdr	Lobulus quadrangularis
rc	Commissura rostralis
rca	Arteria cerebri rostralis
rcba	Arteria cerebellaris rostralis
rcc	Radiatio corporis callosi
rccl	Rostrum corporis callosi
rcma	Arteria communicans rostralis
rcp	Pedunculus cerebellaris rostralis
rf	Formatio reticularis
Rfi	Fissura rhinalis lateralis
rmt	Radix motoria nervi trigemini
rn	Nucleus ruber
mf	Radix nervi facialis
roc	Colliculus rostralis
rpi	Recessus pinealis
rsn	Radix sensoria nervi trigemini

Abkürzungsverzeichnis

---

rst	Tractus rubrospinalis
SNR	Signal-zu-Rauschverhältnis
scc	Splenium corporis callosi
scg	Gyrus subcallosus
Scl	Sulcus corporis callosi
scmo	Organum subcommissurale
scn	Nucleus supracommissuralis
Sgs	Sulcus sagittalis
sl	Nuclei septales laterales
slm	Sulcus limitans
slu	Gyrus semilunaris
sm	Nuclei septales mediales
smt	Stria medullaris thalami
sn	Nuclei septales
snr	Substantia nigra
snrc	Substantia nigra pars compacta
snrr	Substantia nigra pars reticulata
solt	Tractus solitarius
spe	Septum pellucidum
Spl	Sulcus splenialis
Spm	Sulcus paramedianus
Sre	Sinus rectus
ssg	Gyrus suprasylvius
Sspl	Sulcus suprasplenialis
Sss	Sulcus suprasylvius
stn	Nucleus subthalamicus
sto	Stratum opticum colliculi rostralis
stra	Ramus striatus arteriae cerebri mediae
stse	Stratum sagittale externum
stsi	Stratum sagittale internum
stt	Stria terminalis
sub	Subiculum
Syl	Fissura sylvii
syl	Gyrus sylvius
T	Tesla
T1w	T1-gewichtete Bilder
T2w	T2-gewichtete Bilder
Tab.	Tabelle
tac	Tuberculum acusticum
tb	Corpus trapezoideum
TE	Echozeit
tfp	Fibrae transversae pontis
th	Thalamus
tmnt	Tractus mesencephalicus nervi trigemini
TR	Repetitionszeit
trcn	Nucleus trochlearis
trvs	Sinus transversus
tsnt	Tractus spinalis nervi trigemini
tu	Tuber vermis

## Abkürzungsverzeichnis

---

uv	Uvula vermis
V	Nervus trigeminus
vagn	Nucleus nervi vagi
ver	Vermis
VI	Nervus abducens
VII	Nervus facialis
VIII	Nervus vestibulocochlearis
vst	Tractus vestibulospinalis
vtc	Commissura tegmentalis ventralis
vtd	Decussatio tegmentalis ventralis
X	Nervus vagus
XII	Nervus hypoglossus
zi	Zona incerta



### 1 Einleitung

Die Magnetresonanztomographie (MRT) ist sowohl in der Humanmedizin als auch in der Tiermedizin aufgrund ihres ausgezeichneten Weichteilkontrasts nicht nur die Technologie der Wahl zur Diagnostik intrazerebraler Erkrankungen, sondern sie eignet sich mit zunehmender Verbesserung der Geräte auch für die detaillierte Darstellung anderer neuronaler Strukturen, wie z.B. die Darstellung der Gehirnnerven und ihrer Abgänge, des Rückenmarks und peripherer Nervenverläufe, sowie durch die Entwicklung innovativer Sequenzen für die Darstellung unterschiedlicher Gehirnfunktionen und metabolischer Abläufe (Funktionelle Magnetresonanztomographie, fMRT). Durch die Anpassung der Scanner Hardware und der Lagerungstechnik an die Größe der Tiere ist die MRT heute ein weit verbreitetes bildgebendes Verfahren, das aus der Lahmheitsdiagnostik und der Aufarbeitung neurologischer Erkrankungen bei Pferden nicht mehr wegzudenken ist. Anders als bei Kleintieren hat die Beschreibung des Gehirns der Pferde für die MRT-Anwendung nicht mit der Entwicklung der Hardware Schritt gehalten. In der vorliegenden Arbeit soll daher mit Hilfe der MRT das physiologische Gehirn mit seinen anhängenden Strukturen beim Pferd dargestellt und beschrieben werden.

## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Morphologie des Pferdegehirns

Studien über die Morphologie des Zentralnervensystems (ZNS) beim Pferd stammen zumeist aus dem ausgehenden 19. und Beginn des 20. Jahrhunderts. Die Erforschung der Gehirnstruktur von Huftieren diente dabei in erster Linie zum Vergleich mit der Gehirnanatomie des Menschen, mit der Absicht die Besonderheiten des menschlichen Gehirns herauszustellen (Kappers, 1920). Durch die Vergleiche der „Formenreihen“ der Säugetiere erhoffte man sich den entscheidenden Sprung zum Menschengehirn erklären zu können. Diesem heute in den Hintergrund getretenen Wissenschaftszweig der Morphologie verdanken wir unsere Kenntnisse über die Gehirne der verschiedensten Tierarten. Eine wichtige Disziplin der vergleichenden Morphologie ist dabei die Form des zerebralen Kortex. Bereits 1868 erscheint das Anatomiebuch von Owen: „On the anatomy of vertebrates, Vol. III Mammals“ mit einem Kapitel über das zentrale Nervensystem, welches auch Bilder von der makroskopischen Anatomie des Pferdegehirns enthält. 1878 befasst sich Krueg mit der „Furchung der Großhirnrinde der Ungulaten“ und somit mit der Oberfläche des Pferdegehirns. Krueg versucht dabei über vergleichende Neuroanatomie Rückschlüsse auf die Evolution des Menschen zu ziehen, sozusagen vom einfachen zum komplizierten Lebewesen (Krueg, 1878). Turner (1890) vergleicht in seiner Arbeit „The convolutions of the brain: A study in comparative anatomy“ die Gehirnwindungen verschiedener Tiere, u.a. die des Pferdes mit denen des Menschen, während sich Ellenberger (1892) in seiner Veröffentlichung vergleichend mit den „Furchen der Großhirnoberfläche des Pferdes, der Wiederkäuer und des Schweins“ befasst. Ellenberger orientiert sich dabei an der bereits von Krueg vorgegebenen Nomenklatur (Krueg, 1878; Ellenberger, 1892). Bradley (1899) geht in seiner Arbeit „The convolutions of the cerebrum of the horse“ erneut auf die Gehirnwindungen ein und vergleicht u.a. die Nomenklatur der verschiedenen vorausgegangenen Autoren. Im selben Jahr erscheint ein Anatomiebuch von Flatau und Jacobsohn „Handbuch der Anatomie und vergleichende Anatomie des Centralnervensystems der Säugetiere“ (Flatau und Jacobson, 1899). 1900 beschreibt Holl die besondere Stellung des Pferdegehirns in Bezug auf die intensive Gyrfikation. Ein weiteres Anatomiebuch erscheint 1914 von Sisson mit dem Titel „The Anatomy of

the Domestic Animals", welches sich ebenfalls mit der makroskopischen Anatomie des Pferdegehirns befasst. 1970 erscheint der „Katalog der Säugetiergehirne“ von Brauer und Schober u.a. mit Fotos und Bildern des Pferdegehirns mit einer Benennung der Gyri und Teilen des Gehirns.

Edinger (1948) beschreibt im Buch „Evolution of the horse brain“ die phylogenetische Entwicklung des Gehirns des Urpferdes (Eohippus) bis hin zum heutigen Pferd. Hier werden u.a. Größenangaben der einzelnen Teile des Gehirns angegeben. Sie vertritt die These, dass die einzige Möglichkeit, die einzelnen Sulci des Pferdegehirns zu identifizieren, jene sei, die equinen Sulci durch die Ontogenese hinweg zu verfolgen. Alle bereits genannten Autoren sind sich hingegen einig, dass die zerebralen Sulci und die Form des Pferdegehirns kompliziert und sehr variabel sind. In der vergleichenden Studie von Mobilio (1914) „Il mantello cerebrale degli equidi“, werden die Unterschiede der Sulci und Gyri von Pferd, Esel und Maultier beschrieben.

Mitte des letzten Jahrhunderts werden erstmals funktionelle Untersuchungen an Gehirnen durchgeführt. 1946 lokalisieren Adrian et al. den sensorischen Cortex bei Shetlandponys und Breazile (1966) den motorischen Cortex des Pferdes durch Elektrostimulation. 35 Jahre später klassifizieren Takeuchi und Sugita (2001) das Kortexgebiet zytoarchitektonisch. 2001 veröffentlicht Szalay die Entwicklung des equinen motorischen Systems.

In der Veterinärmedizin erlangt die Anatomie des Pferdegehirns erstmals durch Dexler (1904) Bedeutung. Von ihm wird das Zentralnervensystem der Pferde unter Gesichtspunkten der Neuropathologie genauer untersucht, für die die genauen Kenntnisse der Anatomie eine wichtige Grundlage liefern. Im Folgenden findet diese Arbeit ihren festen Platz in den Standardwerken der Veterinäranatomie, die noch um weitere Beschreibungen der Gehirne von Haustierarten erweitert werden. In den letzten 30 bis 40 Jahren wird in vielen Anatomiebüchern das Gehirn von verschiedenen Haustieren makroskopisch beschrieben (Nickel et al., 1961; Budras und Röck, 1991; König et al.1999; Wissdorf, 2002).

In der Arbeit von Seiferle (1957) mit dem Titel: „Zur makroskopischen Anatomie des Pferdegehirns“ werden die makroskopisch sichtbaren Teile des Equidengehirns detailliert beschrieben. Systematisch beschriebene histologische Schnittbilder vom Pferdegehirn enthält erstmals der „Atlas of the brains of domestic animals“ von Yoshikawa (1968), der einen Vergleich mit MRT-Bildern erlaubt.

Eine häufig untersuchte Struktur des Pferdegehirns, ist die Hypophyse (Lothringer, 1886; Trautmann, 1909; Trautmann, 1909; Zannini, 1921; Sajonski, 1968). Die Autoren vergleichen die Anatomie der Hypophyse verschiedener Säugetiere untereinander und mit der des Menschen. Koller befasst sich 1922 mit der vergleichenden Anatomie der Hypophysenumgebung. Er beschreibt die Entwicklungsgeschichte der Hypophyse und die Besonderheiten der Hypophysen und ihrer Umgebung beim Menschen und bei einigen Tierarten wie dem Pferd. 1932 untersucht Pallaske neben anderen Tieren einen Wallach und stellt ein Adenom des Zwischenlappens der Hypophyse fest. Brettschneider befasst sich 1954 eingehend mit der Verknüpfung zwischen dem Hypothalamus und der Hypophyse des Pferdes, indem er die makroskopische und mikroskopische Morphologie der beiden innersekretorischen Drüsen sowie den Einfluss des Hypothalamus auf die Hypophyse beschreibt. Saito untersucht 1923 die Hypophysengewichte von Pferden. Andere Autoren befassen sich mit den equinen Altersveränderungen der Hypophyse (Höser, 1941) und den Gewichtsverhältnissen innersekretorischer Drüsen bei geschlachteten Pferden und Rindern (Lübke, 1926). Es folgen die Arbeiten von Vitums zur Entwicklung des Portalsystems der Hypophyse (1975), die Entwicklung der Hypophyse selbst mit Hinblick auf ihre Blutversorgung (1977) und die Entwicklung des venösen Abflusses aus der Hypophyse (1978). Andere Studien untersuchen u.a. die neurosekretorischen Verhältnisse, die Funktion der Hypophyse und mögliche von der Hypophyse ausgehende Erkrankungen (wie zum Beispiel das Equines Metabolische Syndrom, Equines Cushing Syndrom und Tumoren) (Cozzi und Ferrandi, 1984; v.d. Kolk et al., 2004).

Die Blutversorgung des Pferdegehirns wird von einigen Autoren nur für das Pferd und zum Teil vergleichend beschrieben. Jenke 1919 untersucht die Gehirnarterien des Pferdes, Rindes und Schweins im Vergleich zum Menschen. Hofmann vergleicht die Gehirn- und Rückenmarksarterien (1900) und –venen (1901) der Vertebraten (u.a. Pferd). Zietzschmann (1922) beschreibt die Arteria carotis interna und geht auf die Frage der Regulation ihrer pulsatorischen Schwankungen beim Pferd ein, während sich Ruedi (1922) mit der Topographie, dem Bau und der Funktion der Arteria carotis interna befasst. Barone und Schafer untersuchen die arterielle Blutversorgung (1952) und Barone und Champion (1955) die venöse Drainage des Pferdegehirns. Auch die Entwicklung der venösen Sinus der Dura mater wird von Vitums 1979 untersucht. Anderson und Anderson (1979) bestimmen die arterielle Blutversorgung des Prosencephalon und des Mesencephalons bei Hund und Pferd. Levine et al. (2008)

vergleichen die intrakranielle Anatomie des Pferdes und des Rindes mit der des Hundes; Es werden Nervenverteilung, die intrakranielle Zirkulation und die Gehirnanatomie beschrieben.

## **2.2 Die Untersuchung des Pferdegehirns mit Hilfe der Magnetresonanztomographie (MRT)**

Seit etwa 25 Jahren wird die MRT in der Pferdemedizin zu diagnostischen Zwecken verwendet. Aufgrund der vergleichsweise geringeren Prävalenz von neurologischen Erkrankungen beim Pferd, fand die MRT bislang vorwiegend bei der Untersuchung der distalen Gliedmaßen Anwendung (Arble et al., 2009; Ferrell et al., 2002). Für dieses Einsatzgebiet hat die MRT mittlerweile einen festen Platz in der Routinediagnostik eingenommen (Lutter et al., 2015).

Lange Zeit beschränkten sich die Publikationen über neurologische Erkrankungen und deren Diagnose mittels MRT in der Pferdemedizin auf Fallberichte. So beschreiben Spoomakers et al. (2003) und Audigie et al. (2004) das Aussehen eines metastatischen Gehirnabszesses im Rahmen einer Drüsenkrankung in der MRT. Passino et al. (2005 und 2007) beschreiben MRT-Nachweise eines Plattenepithelkarzinoms und eines granulären Lymphoms. Careddu und Mitarbeiter (2016) dokumentieren die Entwicklung des progressiven Siebbeinhämatoms bei 2 Pferden. Beltran und Mitarbeiter diagnostizierten 2016 mittels MRT eine Trigeminiisneuritis. Oey et al. (2011) stellen die Veränderungen im Rahmen eines Hydrozephalus bei einem Warmblutfohlen dar. Sanders et al. (2001) beschreiben das Aussehen einer equinen nigropallidalen Encephalomalazie im MRT (1,0 Tesla). 2002 stellen Ferrell et al. eine retrospektive Studie vor, in der bei 8 von 12 Pferden eine neurologische Erkrankung (im Gehirn) mit Hilfe der MRT (1,0 Tesla) festgestellt wird. Die bislang umfangreichste Studie mit 84 Fällen neurologischer Erkrankungen, die beim Pferd mittels MRT untersucht wurden, stammt von Manson-Diaz et al. (2015).

Auch wenn die MRT in der Pferde-Neurologie immer häufiger zum Einsatz kommt, beruht die Beschreibung der Morphologie bislang auf zwei älteren Publikationen. Chaffin et al. (1997) untersuchen 5 neurologisch unauffällige Quarter-Horse-Fohlen (Alter 3-6 Tage) in Narkose in einem 0,5 Tesla MRT (T1 sagittal und transversal, T2 transversale Ebenen). Die Strukturen des Gehirns wurden dabei mit Hilfe von

Anatomiebüchern, einem Schädel und fixiertem Gehirn identifiziert. 4 Jahre später erscheint eine ähnliche Studie von Arencibia et al. (2001). In dieser Studie wird ein Pferdehirn post mortem mittels 1,5 Tesla MRT untersucht (dorsal (T2), sagittal (T1) und transversale (T2) Ebenen, 1,5 cm Schichtdicke). Vazquez et al. (2001) untersuchen 2 euthanasierte Pferde mit einem 1,5 Tesla MRT. Dabei definieren und benennen sie die einzelnen equinen Gehirnstrukturen der transversalen MRT-Schichten in der T1 Wichtung mit Hilfe der korrespondierenden anatomischen Gefrierschnitte des jeweiligen Pferdekopfes. Scola et al. (2018) beschreiben die Gehirnentwicklung mittels 3 Tesla MRT postmortal, an 14 Pferdefeten. Dies soll darüber hinaus zu einem besseren Verständnis der fetalen Gehirnentwicklung des Menschen beitragen (Scola et al., 2018).

Einige Autoren widmen sich ausgewählten Gehirn-Strukturen. Goncalves und Mitarbeiter (2015) untersuchen Gehirnnervenabgänge mit Hilfe der Magnetresonanztomographie. Hier werden retrospektiv die MRT-Bilder von 3 Pferdeköpfen beurteilt und die kranialen Nervenabgänge und dazu gehörige Foramina des Schädels beschriftet. Die Aufnahmen (transversal, sagittal und dorsal) werden mit einem 1,5 Tesla MRT erstellt (FSE T1, T2W, 3D GRE T2\*W, 3D fast SPGR). Knochenorientierungspunkte werden aus Bildern der Computertomographie (CT) zur Hilfe genommen. Die Autoren kommen zu dem Ergebnis, dass es schwierig sein kann, dem Nervenverlauf in der dorsalen und sagittalen Ebene zu folgen, teilweise aufgrund mangelnder anatomischer Referenzen in diesen Ebenen. Weitere Studien (Ragle, 2005) setzen sich nicht mit der Anatomie auseinander, sondern eher mit den technischen Voraussetzungen für eine Schnittbilduntersuchung. In dieser Studie wird das CT und das MRT beschrieben und der Unterschied vom CT zum MRT kurz erläutert. Beide Verfahren werden für die Diagnostik am Kopf des Pferdes empfohlen (Ragle, 2005).

Betrachtet man den technischen Fortschritt und die Verbesserung der Bildqualität der MRT in den letzten Jahren sowie die damit einhergehende Erweiterung und Verfeinerung der Diagnosen, kann man den Stellenwert des Wissens um die Schnittbild-Neuroanatomie klar verfolgen. In diesem Sinne ist für die Untersuchung des Pferdegehirns eine exakte Beschreibung der Anatomie der Schnittbilder des ZNS beim Pferd von entscheidender Bedeutung. Die Wichtigkeit und Notwendigkeit detaillierter Kenntnisse der Gehirnanatomie und qualitativ hochwertiger MRT-Bilder werden in fast allen Veröffentlichungen erwähnt.

## **2.3 Magnetresonanztomographie (MRT)**

Die Magnetresonanztomographie ist in der Pferdemedizin, neben der Computertomographie, ein mittlerweile routinemäßig angewandtes bildgebendes Verfahren mit weiterhin zunehmender Bedeutung. Die Magnetresonanztomographie erzeugt Schnittbilder der zu untersuchenden Körperregionen. Im Folgenden sollen die für das Verständnis der vorliegenden Arbeit nötigen physikalischen Grundlagen erläutert werden.

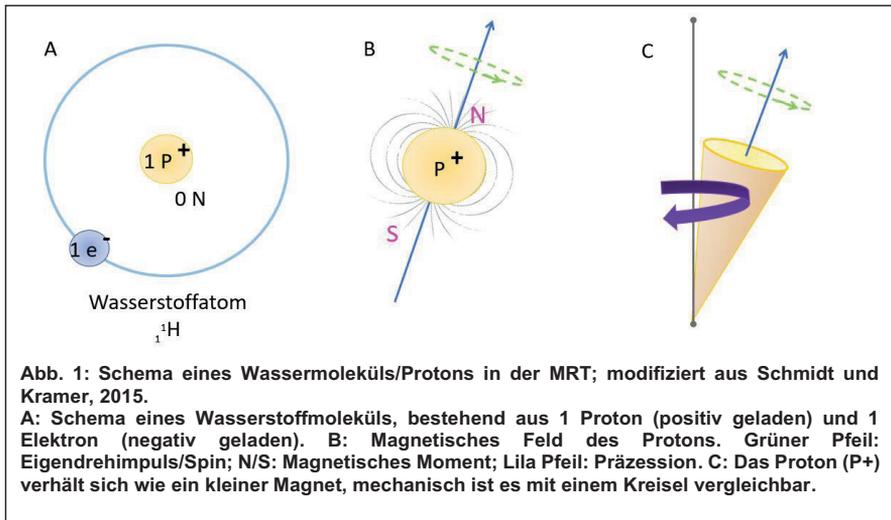
### **2.3.1 Prinzip der Magnetresonanztomographie, Spin und Präzession**

Das Wasserstoffatom ist das einfachste Atom. Es enthält ein einzelnes Elektron und ein Proton im Kern. Das Wasserstoffatom besitzt einen Eigendrehimpuls (Kernspin) und ist damit magnetisch. Das im Körper am häufigsten vorkommende Element, Wasserstoff, ist für die MRT – Bildaquisition somit sehr gut geeignet (Laubenberger und Laubenberger 1994).

Der als Kernspin bezeichnete Eigendrehimpuls ist allen Elementarteilchen zu Eigen. Der Kernspin hebt sich auf, wenn Atome eine gerade Nukleonenzahl besitzen. Weist ein Atomkern eine ungerade Nukleonenzahl auf, erfährt dieser einen Netto-Spin. Wasserstoff, Stickstoff, Natrium und Phosphor besitzen diese Voraussetzung. Für die Kernspintomographie sind nur diese Atome geeignet. Aufgrund der günstigen physikalischen Eigenschaften und seiner Häufigkeit im Körper werden für die klinisch relevante Kernspintomographie Wasserstoffatome zur Bilderzeugung verwendet (Laubenberger und Laubenberger 1994).

Ein Atomkern weist einen Netto-Spin auf und erfährt durch seine rotierende Masse einen Drehimpuls, genauso wie die elektrische Ladung im Kern. Die elektrische Ladung, die sich durch den Spin bewegt, besitzt einen magnetischen Dipol und verhält sich demnach wie ein kleiner Stabmagnet (Schild, 1990; Weishaupt et al., 2009). Die Protonen des lebenden Körpers, welche sich wie kleine Magneten verhalten, richten sich innerhalb des starken Magnetfeldes eines Kernspintomographen nahezu parallel oder antiparallel in Richtung der Feldlinien des Magnetfeldes aus (Schild, 1990; Laubenberger und Laubenberger, 1994). Durch den Spin des Protons weist das Proton

um das Hauptmagnetfeld eine torkelnde Kreisbewegung auf, die sogenannte Präzession (Abb. 1) (Schild, 1990).



Die Präzessionsfrequenz oder Larmorfrequenz des Protons ist von der Stärke des externen Magnetfeldes abhängig. Nach Laubenberger und Laubenberger (1994) kann man sie anhand der folgenden Gleichung berechnen:

$$\omega_0 = \gamma \cdot B_0$$

$\omega_0$  : Larmorfrequenz in Megahertz (MHz)

$\gamma$  : gyromagnetisches Verhältnis, eine für jedes Element typische Konstante

( $\gamma$  Proton = 42,58 MHz/T)

$B_0$  : Stärke des externen Magnetfeldes in Tesla (T)

Die Larmorfrequenz von Protonen innerhalb eines Kernspintomographen mit der Feldstärke 1 Tesla beträgt somit 42,58 MHz (Weishaupt et al., 2009). Die Stärke eines Magnetfeldes wird nach dem Wissenschaftler Nikola Tesla (\*1856 - †1943) in der Einheit Tesla angegeben (Schild 1990). In der klinischen Kernspintomographie werden Feldstärken zwischen 0,2 und 3 T genutzt.

### 2.3.2 Longitudinalmagnetisierung

Die magnetischen Dipole der Protonen richten sich an einem externen Magnetfeld aus. Das Proton kann sich dabei entweder parallel, also in Richtung des Feldes, oder antiparallel, d.h. entgegengesetzt, ausrichten. Die parallele Orientierung ist vorherrschend, da sie energetisch günstiger ist. Deswegen sind mehr Protonen parallel als antiparallel ausgerichtet. Die longitudinale Magnetisierung entsteht nun aus der Addition der überzähligen parallel orientierten Protonen, welche in der Summe ein zusätzliches, längs zum externen Feld ausgerichtetes Magnetfeld ausbilden (Schild, 1990; Laubenberger und Laubenberger, 1994; Nitz, 2000; Weishaupt et al., 2009).

### 2.3.3 HF-Impuls, Resonanz und Transversalmagnetisierung

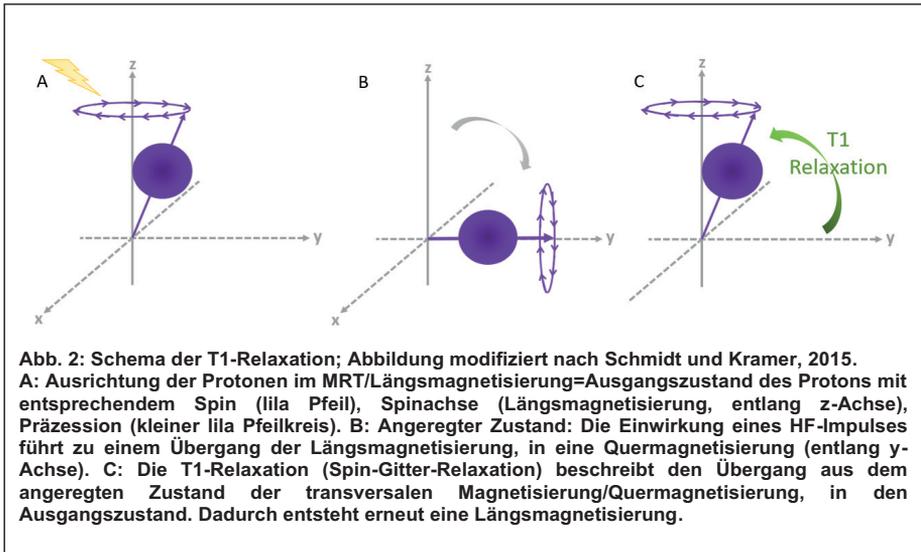
Erstmals 1946 von Bloch und Purcell beschrieben (Assheuer und Sager, 1997), ist die Kernspin-Resonanz physikalische Voraussetzung für die Kernspintomographie. Es handelt sich hierbei um eine elektromagnetische Welle mit einer mit der Larmorfrequenz übereinstimmenden Frequenz. Sie ist in der Lage Energie auf die im Magnetfeld rotierenden Protonen zu übertragen (Resonanz). Elektromagnetische Wellen mit definierter Frequenz und Wellenlänge (Hochfrequenzimpuls) werden über eine Spule

in das Magnetfeld des Kernspintomographen eingestrahlt. Dieser Hochfrequenzimpuls überträgt Energie auf die Protonen, wodurch einige von ihnen ein höheres Energieniveau erreichen. Die Protonen ändern dadurch ihre Ausrichtung von parallel nach antiparallel im externen Magnetfeld, was wiederum zu einer Erhöhung der Anzahl der antiparallel ausgerichteten Protonen führt. Die longitudinale Magnetisierung nimmt ab (Schild, 1990; Assheuer und Sager, 1997; Weishaupt et al., 2009) und die rein zufällig orientierten Präzessionsbewegungen der einzelnen Protonen werden synchronisiert und präzedieren nun in Phase. Der daraus resultierende Magnetvektor, der in die gleiche Richtung zeigt wie die präzedierenden Protonen, ist transversal (quer) zum Magnetfeld ausgerichtet, zeigt also eine transversale Magnetisierung (Schild, 1990). Der Grad der Richtungsänderung wird als Pulswinkel bezeichnet und die Richtungsänderung als solche ist abhängig von der Art des Hochfrequenzimpulses (Schild, 1990; Brix, 2002; Weishaupt et al., 2009).

Die Grundvoraussetzung für das Erstellen von Schnittbildern ist diese elektromagnetische Anregung von Protonen und die beschriebene Veränderung ihres Magnetfeldes. Es ist nicht möglich ein statisches Magnetfeld parallel zum externen Magnetfeld zu messen. Es ist nur möglich ein Signal in einer Spule als Antenne zu induzieren über ein sich bewegendes Magnetfeld. Nach Verstärkung und rechnerischer Aufarbeitung des Signals, das über die Spule gemessen wird, kann nun ein MRT-Bild erzeugt werden, denn das Magnetfeld kehrt nach Beendigung des Hochfrequenzimpulses wieder in seine Ausgangslage zurück, die sogenannte Relaxation (Schild, 1990; Brix, 2002; Weishaupt et al., 2009).

### **2.3.4 Longitudinal- und Transversalrelaxation**

Nach der Anregung über einen Hochfrequenz (HF)-Impuls präzedieren die Protonen in der Transversalebene (Abb. 2). Klingt der HF-Impuls ab, geht das System in den energieärmeren Ausgangszustand zurück. Dabei nimmt die neu entstandene Transversalmagnetisierung ab, während sich die Longitudinalmagnetisierung wieder aufbaut. Für diesen Vorgang ist zum einen die Spin-Gitter-Wechselwirkung, die auch als Longitudinal- oder T1-Relaxation bezeichnet wird, und zum anderen die Spin-Spin-Wechselwirkung, die auch Transversal- oder T2-Relaxation genannt wird, verantwortlich (Schild, 1990; Assheuer und Sager, 1997; Nitz, 2000; Brix, 2002; Weishaupt et al., 2009).



### 2.3.5 T1-Relaxation, Longitudinalrelaxation (Spin-Gitter-Wechselwirkung)

Durch das Einstrahlen eines HF-Impulses wird Energie auf die Protonen übertragen. Sie werden auf ein energetisch ungünstigeres Niveau gebracht, also zum externen Feld antiparallel ausgerichtet. Durch die Spin-Gitter-Wechselwirkungen wird diese Energie wieder an die Umgebung abgegeben, die sogenannte T1-Relaxation. Hierbei gelangen die Protonen wieder auf ein energetisch günstigeres, parallel zum externen Feld ausgerichtetes Niveau und gleichzeitig baut sich die Longitudinalmagnetisierung wieder auf. Die Zeit, in der dieser Vorgang stattfindet, wird T1- oder longitudinale Relaxationskonstante genannt und ist eine Materialkonstante. Sie ist von der der Magnetfeldstärke, der Temperatur, der Art des untersuchten Körpergewebes und von der Anordnung und Bewegung der Moleküle abhängig (Schild, 1990; Nitz, 2000; Brix, 2002; Weishaupt et al., 2009).

Flüssigkeiten haben eine kürzere T1-Relaxationszeit als Festkörper. Bei biologischen Geweben liegen die Werte zwischen 50ms und einigen Sekunden (Uhlenbrock, 2001). Nach Rinck und Harms (1986) ist die T1 – Relaxationszeit die Zeit, die ein System benötigt, um 63% seines Gleichgewichtswertes zu erreichen, nachdem es einem 90° - Puls ausgesetzt ist.

### **2.3.6 T2-Relaxation, Transversalrelaxation (Spin-Spin-Wechselwirkung)**

Der HF-Impuls bewirkt die Synchronisation der Präzessionsbewegung der einzelnen Protonen, sie präzedieren in der Transversalebene in Phase. Durch diese Phasenkohärenz entsteht die Transversalmagnetisierung. Nach Beendigung des HF-Impulses dephasieren die Protonen und die Transversalmagnetisierung nimmt exponentiell mit der Zeitkonstante T2 ab. Ursache dafür ist die Interaktion zwischen benachbarten Spins der lokalen Magnetfelder. Die Spins der einzelnen Protonen geraten außer Phase und beeinflussen somit ihre Präzessionsgeschwindigkeiten. Während dieser Spin-Spin-Relaxation tauschen die Spins Energie aus. Diese Zeitkonstante, T2 oder transversale Relaxationskonstante genannt, ist vom untersuchten Gewebe und von der Temperatur abhängig, nicht von der Magnetfeldstärke. T2 entspricht der gewebespezifischen Zeitdauer, in der die Transversalmagnetisierung auf 37% ihres Ausgangswertes abfällt (Schild, 1990; Nitz, 2000; Brix, 2002; Weishaupt et al., 2009).

### **2.3.7 Technischer Aufbau eines Magnetresonanztomographen**

Ein zentraler Computer ermöglicht dem Untersucher nicht nur die Patientendaten einzugeben, bestimmte Untersuchungsprogramme auszuwählen und die erforderlichen Untersuchungsparameter zu verändern, sondern auch die Gradienten, die Patientenliege, das Hochfrequenzsystem, die Spulen sowie den Rekonstruktionsrechner, der zur Berechnung der MRT-Bilder aus den detektierten Kernspinresonanzsignalen notwendig ist, zu steuern (Laubenberger und Laubenberger, 1994; Nitz, 2000; Weishaupt et al., 2009).

### **2.3.8 Magnet**

Ein zentraler Magnet erzeugt ein statisches Hauptmagnetfeld, das den Spin der Protonen ausrichten und in zwei Energieniveaus aufteilen kann. Es gibt unterschiedliche Magnetsysteme, welche sich in ihrem Bau, ihrer Funktionsweise und

in ihrer Feldstärke unterscheiden, z.B. offene und geschlossene MRT-Systeme. Beim offenen Kernspintomographen besteht freier Zugang zum zentralen Magnetfeld von mindestens drei Seiten durch die C-Form, allerdings ist die Feldstärke und die Homogenität von dem von ihnen erzeugten vertikalen Magnetfeld limitiert. Geschlossene Systeme sind röhrenförmig aufgebaut und bieten wenig Platz innerhalb der Röhre, jedoch erlaubt genau dieser ringförmige Magnet mit schmalen Durchmesser die Erzeugung von Magnetfeldern mit hoher Homogenität und Feldstärke. In diesem System verlaufen die Feldlinien horizontal mit geringem Streufeld in der Umgebung. Man unterscheidet drei verschiedene Magnettypen, nämlich resistive, permanente und supraleitende Magneten (Laubenberger und Laubenberger, 1994; Nitz, 2000; Bock et al., 2002; Weishaupt et al., 2009).

Resistive Magneten sind normale Elektromagneten und bestehen aus ständig stromdurchflossenen Kupfer- oder Aluminiumspulen (Weishaupt et al., 2009). Die Höhe des erzeugten Magnetfeldes wird über die Höhe der Stromstärke in der Spule beeinflusst (Laubenberger und Laubenberger, 1994). Durch die große Leistungsaufnahme wird viel Wärme frei und macht somit ein effizientes Kühlsystem, in der Regel Wasserkühlsysteme, zur Wärmeabfuhr erforderlich. Wegen der hohen Leistungsanforderung und der Kühlung liegt die maximal erreichbare Feldstärke bei nur etwa 0,3 Tesla, allerdings können Systeme mit resistiven Magneten beliebig an- und abgeschaltet werden. Die entstehenden Strom- und Kühlkosten bleiben auf die Betriebszeiten beschränkt (Nitz, 2000; Bock et al., 2002).

Permanente Magnete sind in der Regel als offene Systeme aufgebaut aus ferromagnetischem Material mit senkrecht verlaufenden Feldlinien. Zum Erzeugen des Magnetfeldes ist keine externe Energiezufuhr notwendig, aber eine konstante Umgebungstemperatur. Die maximal erreichbaren Feldstärken liegen hier bei 0,3 bis 0,5 Tesla. Eine Abschaltung ist im Notfall nicht möglich (Laubenberger und Laubenberger, 1994; Bock et al., 2002; Weishaupt et al., 2009).

Ein supraleitender Magnet nutzt die verlustfreie elektrische Leitung stromdurchflossener Spulen aus Niobi-Titan-Legierungen, die ihren elektrischen Widerstand bei  $-269^{\circ}\text{C}$  verlieren. Durch Kühlung mit flüssigem Helium wird diese Temperatur erreicht. Eine externe Stromzufuhr ist somit nicht nötig, da der fehlende Widerstand der Spule zu einem verlustfreien, permanenten Stromfluss führt (Laubenberger und Laubenberger, 1994; Nitz, 2000; Bock et al., 2002; Weishaupt et al., 2009). Mit diesen Systemen ist es möglich Feldstärken von bis zu 18 Tesla zu

erreichen (Weishaupt et al., 2009). Im klinischen Einsatz stehen derzeit überwiegend Kernspintomographen mit supraleitenden Magneten zwischen 0,5 und 3,0 Tesla zur Verfügung (Nitz, 2000).

### **2.3.9 Gradientensystem**

Ein Gradientensystem wird benötigt, um die Zuordnung des HF-Impulses zu einer bestimmten Schicht im Körper des Patienten sowie eine Ortsauflösung des Signals zu erreichen (Bock et al., 2002). Aus diesem Grund wird das statische und homogene Hauptmagnetfeld durch ein von Gradientenspulen erzeugtes Gradientenfeld überlagert, wodurch die Homogenität des Magnetfeldes beeinflusst wird. Das gesamte Magnetfeld wird zu einem Gradientenfeld und entlang einer Längsachse steigt die Feldstärke an. Der Gradient kann in jeder beliebigen Raumachse verlaufen, denn für alle drei Raumdimensionen gibt es Gradientenspulen. Der Feldgradient entspricht dem Summenvektor des Hauptmagnetfeldes und der drei Gradientenspulen. Während der Untersuchung ertönt ein laut klopfendes Geräusch, das durch den hohen Stromfluss durch die Gradientenspulen beim An- und Ausschalten entsteht (Laubenberger und Laubenberger, 1994; Nitz, 2000; Weishaupt et al., 2009).

### **2.3.10 Hochfrequenzsystem**

Das Hochfrequenzsystem wird durch den Hochfrequenzsender und den Hochfrequenzempfänger mit den dazugehörigen Sende- und Empfangsspulen gebildet (Bock et al., 2002). Über einen Verstärker wird das ursprünglich sehr schwache MRT-Signal aufgearbeitet. Störstrahlungen aus der Umgebung werden durch eine Hochfrequenzabschirmung der gesamten Anlage abgehalten (Laubenberger und Laubenberger, 1994; Bock et al., 2002; Weishaupt et al., 2009).

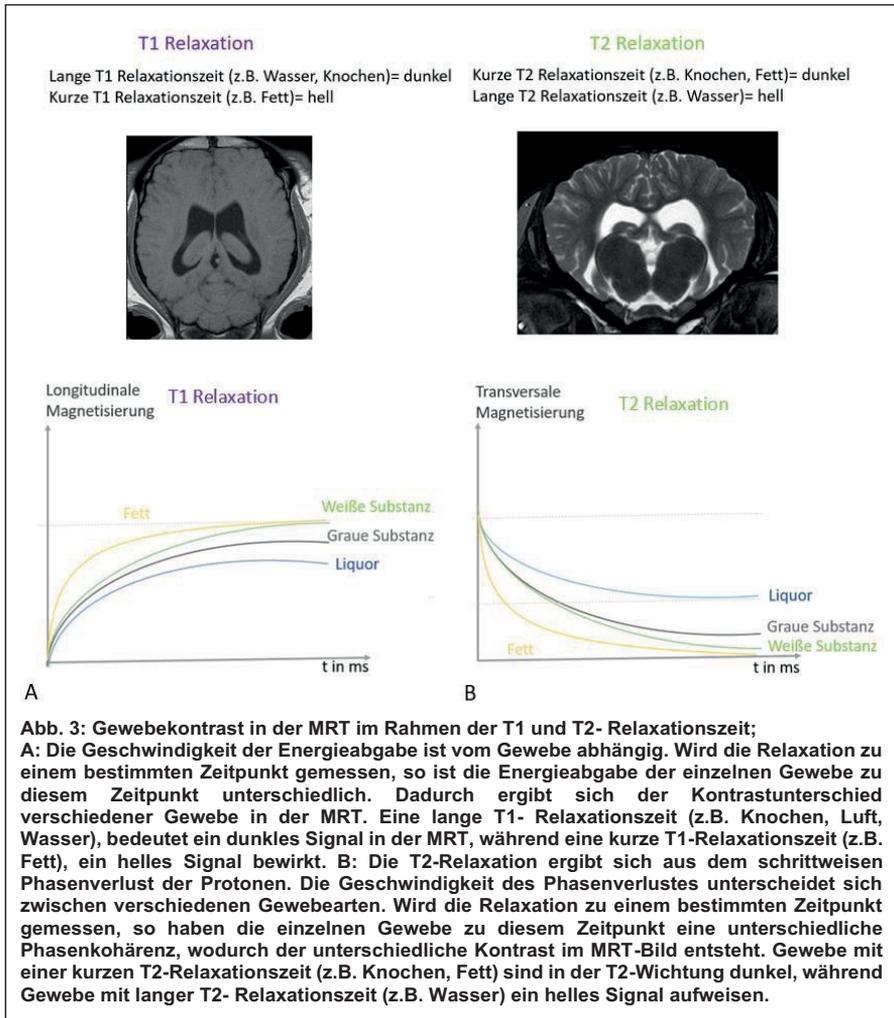
### **2.3.11 Sende- und Empfangsspulen**

Elektromagnetische Wellen, sogenannte Hochfrequenzimpulse, werden von einem Hochfrequenzsender über eine Sendespule in das statische Feld eingestrahlt. Die Protonen werden hierdurch angeregt, sich von der parallelen Ausrichtung in eine antiparallele umzuklappen (Schild, 1990). Die Frequenzen der elektromagnetischen Wellen liegen abhängig von der Magnetfeldstärke im Bereich von Kurzwellen- und Ultrakurzwellensendern (Weishaupt et al., 2009). Die Sendespule kann ebenfalls als Empfangsspule dienen oder das Feld wird von einer eigenen Empfangsspule gemessen (Laubenberger und Laubenberger, 1994; Bock et al., 2002). Spulen können direkt an den zu untersuchenden Körperteilen angelegt werden oder sind im Gerät integriert; sie sind in verschiedenen Größen erhältlich, abhängig von der Größe der zu untersuchenden Region. Die Hersteller bieten aus diesem Grund unterschiedliche Spulenarten an, denn die Wahl der richtigen Spule ist für die Bildqualität enorm wichtig. Sie sollte möglichst nahe an der zu untersuchenden Körperregion angebracht sein und so klein wie möglich, aber so groß wie nötig sein (Weishaupt et al., 2009).

### **2.3.12 Grundlagen der Entstehung eines MRT-Bildes**

#### **2.3.12.1 Bildkontrast und Bildentstehung**

Die T1-Zeit, T2-Zeit und die Protonendichte bestimmen die Helligkeit und damit den Bildkontrast eines Gewebes und die unterschiedliche Betonung dieser einzelnen Parameter in verschiedenen Messsequenzen lässt Bilder mit unterschiedlichem Gewebe-zu-Gewebe-Kontrast entstehen (Weishaupt et al., 2009). In der Regel wird der Bildkontrast von einem dieser Parameter dominiert. Viele intrinsische Kontrastmechanismen bestimmen den Gewebekontrast, aber die „Wichtung“ ist in Richtung eines bestimmten gewebespezifischen Parameters. Bei T1-gewichteten Bildern (T1w) bestimmt dementsprechend die T1-Zeit den Bildkontrast, bei T2-gewichteten Bildern (T2w) die T2-Zeit (Abb. 3).



Ein Protonendichte-gewichtetes Bild (PDw) entsteht, wenn der Einfluss von T1 und T2 minimiert wird. Hierbei wird der Bildkontrast von der Protonendichte eines Gewebes, also von der Anzahl anregbarer Spins, bestimmt (Schild, 1990; Assheuer und Sager, 1997; Nitz, 2000; Berry und Thrall, 2002; Nitz et al., 2007; Weishaupt et al., 2009). Dadurch ist die Intensität dieser Bilder von der Anzahl der Wasserstoffprotonen im jeweiligen Gewebe abhängig. Demnach haben Gewebe mit hoher

Wasserstoffprotonendichte eine hohe Intensität. Da aber der Wassergehalt von Weichteilgewebe keinen großen Unterschied aufweist, zeigen Protonendichtegewichtete Bilder nur einen geringen Kontrast (Rinck und Zink, 2005). T1-gewichtete Bilder weisen im Gegensatz zu rein Protonendichtegewichteten Aufnahmen gute Kontrastverhältnisse innerhalb des Weichteilgewebes auf (Rinck und Zink, 2005). Zur Entstehung oder Akquisition eines MRT-Bildes muss eine zu untersuchende Körperschicht viele Male nacheinander durch Hochfrequenzimpulse angeregt werden; das Signal, welches daraufhin vom Gewebe ausgeht, wird gemessen. Die Repetitionszeit (TR) ist die Zeitdauer zwischen zwei aufeinanderfolgenden Anregungen derselben Schicht, die Zeitspanne zwischen Anregung und Messung des MRT-Signals bezeichnet man als Echozeit (TE) (Schild, 1990; Assheuer und Sager, 1997; Nitz, 2000; Berry und Thrall, 2002; Weishaupt et al., 2009).

Repetitions- und Echozeit können den Bildkontrast beeinflussen, z.B. ergeben Sequenzen mit kurzer TR und TE ein T1-gewichtetes Bild, während sich T2-gewichtete Bilder aus Sequenzen mit langer TR und TE ergeben. Ein protonendichtegewichtetes Bild entsteht durch die Wahl einer langen TR bei kurzer TE, denn hierbei werden T1- und T2-Effekte unterdrückt (Schild, 1990; Assheuer und Sager, 1997; Nitz, 2000; Berry und Thrall, 2002; Weishaupt et al., 2009). Durch ihre schnelle Regeneration erscheinen Gewebe mit einer kurzen longitudinalen Relaxationszeit auf T1-gewichteten Bildern hell, da sie ein starkes Signal abgeben. Hingegen erscheinen Gewebe mit einer langen longitudinalen Relaxationszeit auf T1-gewichteten Bildern dunkel- sie regenerieren nur langsam und geben aus diesem Grund ein schwaches Signal ab (Schild, 1990; Assheuer und Sager, 1997; Nitz, 2000; Berry und Thrall, 2002; Weishaupt et al., 2009). Eine kurze transversale Relaxationszeit heißt für das Gewebe, dass es schnell das Signal verliert und somit auf T2-gewichteten Bildern dunkel erscheint. Eine lange transversale Relaxationszeit hingegen bedeutet einen langsameren Signalverlust, weshalb sich das Gewebe auf T2-gewichteten Bildern hell darstellt (Schild, 1990; Assheuer und Sager, 1997; Nitz, 2000; Berry und Thrall, 2002; Weishaupt et al., 2009).

### **2.3.12.2 Digitaler Bildaufbau**

Digitale MRT-Bilder eines Körpers bestehen aus einer Matrix von vielen Einzelquadraten, den sogenannten Pixeln. Diese zweidimensionale Matrix ist aus Reihen und Spalten aufgebaut. Die Auflösung des Bildes und somit auch die Größe eines Pixels sind von der Größe und Rasterung der Matrix sowie von der Größe des Bildfelds abhängig. Die Stärke des Signals wird als Helligkeitsstufe eines Grautones wiedergegeben, denn jedem Pixel wird ein Wert zugeordnet, der seiner Signalintensität entspricht. Da es sich um ein Schnittbildverfahren handelt, enthält ein Pixel Informationen über ein Volumen des untersuchten Körpers und wird deswegen Voxel genannt. Die Fläche eines Pixels multipliziert mit der Schichtdicke ergibt das Volumen eines Voxels, woraus letztendlich das Signal akquiriert wird. Die Ortsauflösung eines MRT-Bildes steigt mit schrumpfender Voxelgröße (Assheuer und Sager, 1997; Berry und Thrall, 2002; Brix et al., 2002; Weishaupt et al., 2009).

### **2.3.12.3 Terminologie der Signalwerte**

Da das Signal eines Voxels einem bestimmten Grauton im MRT-Bild entspricht, ist es möglich, verschiedene Gewebe mit unterschiedlichen Signalintensitäten in verschiedenen Helligkeitsstufen darzustellen. Das Signalverhalten eines Gewebes wird immer in Relation zum Signal eines Referenzgewebes beschrieben. Ein Gewebe ist z.B. isointens zum Lebergewebe, wenn es im Bild einen Grauwert mit der gleichen Helligkeitsstufe wie das Lebergewebe aufweist. Hyperintens und hypointens sind Gewebe, die heller bzw. dunkler als das Referenzgewebe erscheinen (Berry und Thrall, 2002).

Wie bereits weiter oben erwähnt, ist die räumliche Zuordnung der aufgezeichneten Signale zu einzelnen Elementen (Voxel) im Untersuchungsvolumen zum Erstellen eines Schnittbildes notwendig (Bock et al., 2002). Voneinander unabhängige Gradientenfelder in drei Dimensionen erreichen diese Zuordnung.

#### **2.3.12.4 Schichtwahl**

Die Protonen einer einzelnen Schicht können selektiv angeregt werden. Hierzu wird durch die Gradientenspule das Hauptmagnetfeld (z.B. entlang der z-Achse) verzerrt, das Magnetfeld wird am Kopfende verstärkt und am Fußende geschwächt. Dies ist der sogenannte Schichtselektionsgradient. Die Larmorfrequenzen der Spins am Kopfende sind nun höher als die am Fußende, es ergibt sich eine fließende Änderung der Frequenzen entlang des Hauptmagnetfeldes und die einzelnen Schichten haben jetzt jeweils eine spezifische Frequenz (Abb. 4). Dadurch ist die Untersuchung einer bestimmten Schicht eines Patienten möglich (Weishaupt et al., 2009).

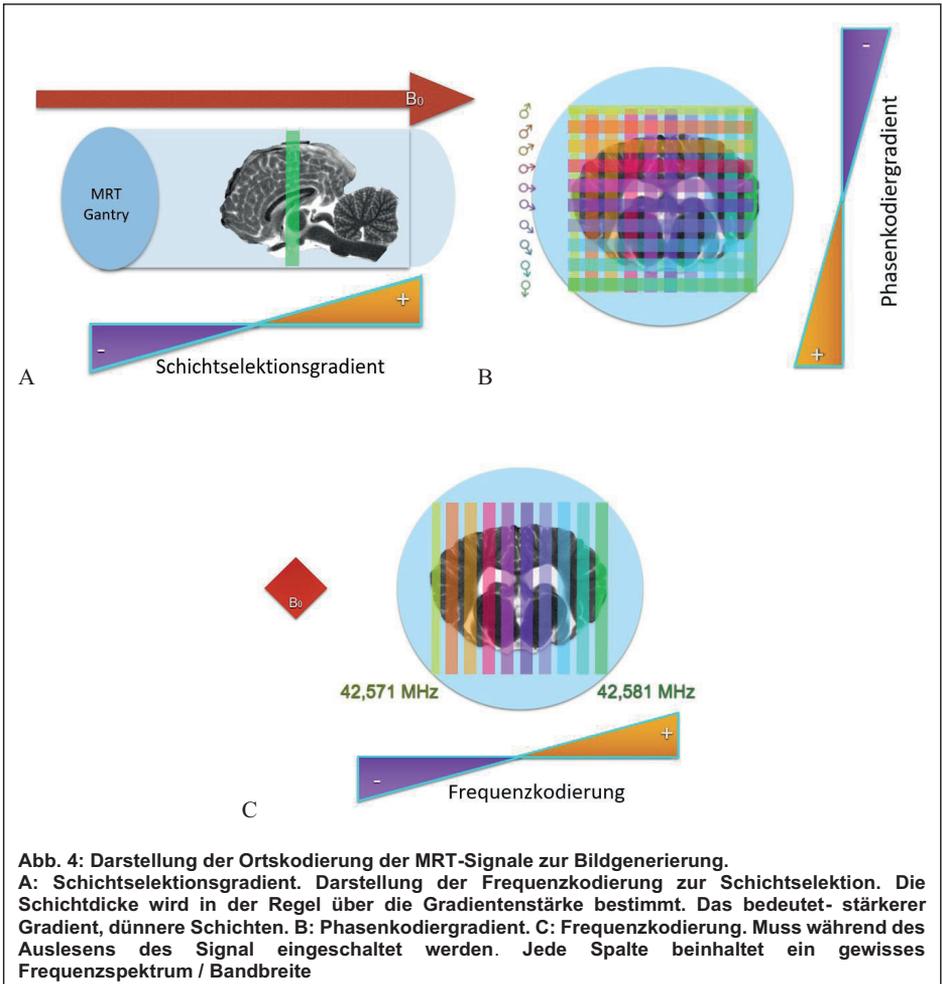
#### **2.3.12.5 Phasenkodierung**

Für die Phasenkodierung wird ein Gradient in der gewählten Phasenkodierrichtung eingeschaltet, im Beispiel in Y-Richtung, also von oben nach unten. Daraus folgt, dass die Larmorfrequenz oben im Tomographen etwas höher ist als unten und somit der Phasengradient entsteht. Weiterhin entsteht eine Phasenverschiebung der Spins gegeneinander, denn die bereits angeregten Spins, die in XY-Richtung präzedieren, werden jetzt oben schneller und unten langsamer (Weishaupt et al., 2009). Diese Verschiebung ist proportional zur räumlichen Position des Signalursprungs. Dieser Kodierungsschritt muss mehrfach wiederholt werden, denn er erfolgt vor dem Auslesen der Signale und somit wird zusätzlich die Akquisitionsdauer beeinflusst. Wird nun der Gradient wieder abgeschaltet, sind alle Protonen erneut genau so schnell wie vorher und weisen wieder die gleiche Präzessionsfrequenz auf, die induzierte Phasenverschiebung bleibt jedoch erhalten (Abb. 4). Damit ist eine Unterscheidung der Signale jeder Zeile innerhalb einer Schicht möglich (Schild, 1990; Brix et al., 2002; Weishaupt et al., 2009).

#### **2.3.12.6 Frequenzkodierung**

Hierzu wird während der Aufzeichnung des Signals ein senkrecht zum Phasenkodiergradienten stehendes Gradientenfeld erzeugt, im Beispiel in X-Richtung (Frequenzkodiergradient). Somit kommt es während der Singalaquisition zu einer

Frequenzverschiebung (Frequenzkodierung). Diese ist auch proportional zur räumlichen Position ihres Ursprungs. Somit erhält jedes Proton einer Schicht durch die drei oben genannten Kodierungsschritte eine eigene Präzessionsfrequenz und kann genau lokalisiert werden. Schichtselektion, Phasenkodierung, Frequenzkodierung und Anregung durch den HF-Impuls und Signalauslese werden nun zu einer Bildgebungssequenz verknüpft (Abb. 4). Die ausgelesenen Signale werden zunächst als Rohdaten in einen mathematischen Raum, den  $k$ -Raum (Ortsfrequenzraum) eingelesen und dann mit Hilfe einer komplexen mathematischen Berechnung, der Fourier-Transformation, zu einem Schichtbild rekonstruiert (Schild, 1990; Brix et al., 2002; Weishaupt et al., 2009).



**Abb. 4: Darstellung der Ortskodierung der MRT-Signale zur Bildgenerierung.**  
**A: Schichtselektionsgradient.** Darstellung der Frequenzkodierung zur Schichtselektion. Die Schichtdicke wird in der Regel über die Gradientenstärke bestimmt. Das bedeutet- stärkerer Gradient, dünnere Schichten. **B: Phasenkodiergradient.** **C: Frequenzkodierung.** Muss während des Auslesens des Signal eingeschaltet werden. Jede Spalte beinhaltet ein gewisses Frequenzspektrum / Bandbreite

## 2.4 Altersschätzung beim Pferd

Zur Altersbestimmung von Pferden gibt es in der Literatur verschiedene Angaben (Dietz, 1999; Wissdorf, 2002; Baker, 2005). Es wird von den Autoren darauf hingewiesen, dass erhebliche rassebedingte Unterschiede auftreten (Wissdorf, 2002), die Zahnformeln der verschiedenen Autoren sind sich jedoch sehr ähnlich. In der vorliegenden Arbeit wurde die von Wissdorf (2002) beschriebene Zahnformel verwendet. Das I steht hier für die Incisivi, das C für Canini, das P für Prämolaren und das M für Molaren (Abb.5).



Abb. 5: Pferdeschädel mit Darstellung der Zähne: I = Incisivi, C = Canini, P2-4 = Prämolaren; M1-3 = Molaren

Die Zahnformel für das komplette Ersatzgebiss lautet (Wissdorf, 2002):

Stute  $\underline{3I (1) C 3 (4) P 3 M} = 36 - 44$  Zähne

3I (1) C 3 (4) P 3

Hengst  $\underline{3I 1 C 3 (4) P 3 M} = 40 - 44$  Zähne

3I 1 C 3 (4) P 3 M

Für den Zeitpunkt des Wechsels der Incisivi, der gleichzeitig im Ober- und Unterkiefer erfolgt, gilt folgendes: I1 treten mit 2,5-3,0 Jahren in die Maulhöhle, I2 mit 3,5-4,0 Jahren und die I3 mit 4,5-5,0 Jahren. Etwa ein halbes Jahr nach Durchtritt durch das Zahnfleisch haben die gegenüberstehenden Schneidezähne miteinander Reibung. Der Caninus erscheint mit ca. 4-5 Jahren in der Maulhöhle (Wissdorf, 2002).

Bei 10-15% aller Pferde treten im Oberkiefer etwa 10mm lange Wolfszähne auf, bei männlichen Pferden doppelt so häufig wie bei Stuten, während er im Unterkiefer nur selten ausgebildet ist. Falls er in die Maulhöhle eintritt, erfolgt diese im 5.-6. Lebensmonat. Der P1 unterliegt nicht dem Zahnwechsel. Der P2 erscheint in der Maulhöhle mit ca. 2,5 Jahren sowie der P3, der P4 erscheint mit ca. 3,5 Jahren (Wissdorf, 2002).

Die Molaren, die keine Milchzahnvorläufer besitzen, erscheinen zu sehr unterschiedlichen Zeiten in der Maulhöhle. Der M1 kommt mit 6-9 Monaten bis zu einem Jahr, der M2 erscheint mit 2,0-2,5 Jahren, während der M3 erst mit 3,5-4,0 Jahren sichtbar wird (Wissdorf, 2002).

Weiterhin kann man dann das Alter an der physiologischen Abnutzung der bleibenden Zähne schätzen. Der Abrieb der Incisivi beträgt durchschnittlich 2 mm pro Jahr und ist damit niedriger als der an den Backenzähnen. Die wiederum beträgt abhängig vom Futter ca. 3-4 mm pro Jahr (Wissdorf, 2002).

### **3 Material und Methoden**

#### **3.1 Studienpopulation**

Die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung genutzten Pferde wurden im Klinikum der Veterinärmedizin der Justus-Liebig-Universität in Gießen aufgrund nicht-neurologischer Erkrankungen euthanasiert. Die Identifikation der adulten Pferde erfolgte anhand der vorliegenden Equidenpässe, das Alter wurde aus dem Equidenpass übernommen. Bei Nicht-Vorliegen des Equidenpasses wurde das Alter anhand der Zähne nach Wissdorf (2002) geschätzt.

Der im Rahmen der Untersuchung verwendete Magnetresonanztomograph in der Klinik für Kleintiere, Abteilung Chirurgie war zum Untersuchungszeitpunkt aufgrund fehlender Lagerungsmöglichkeiten, nicht für lebende Großtiere geeignet. Tiere mit einem Körpergewicht von über 120kg KM konnten nicht in toto in den MRT-Raum. Aus diesem Grund wurden bei allen Pferden und Ponies die Schädel in Höhe des dritten Halswirbels abgesetzt. Vom Tod bis zur Abtrennung des Schädels vergingen durchschnittlich zwei Stunden (ca. 30 Minuten- 4 Stunden). Die Köpfe wurden nach der Abtrennung sofort unbearbeitet ins MRT verbracht und gescannt. Es wurden insgesamt 10 adulte Großpferde und 5 adulte Ponys untersucht.

Alter, Rasse und Geschlecht der untersuchten Pferde sind der folgenden Tabelle zu entnehmen (Tab. 1):

**Tab. 1: Übersicht über die in dieser Studie untersuchten Pferdeköpfe. Aufgeführt sind im Einzelnen Rasse, Geburtsdatum, Datum des MRT-Scans, Geschlecht und verwendete MRT-Spule.**

Rasse	Geburtsdatum	Scan-Datum	Geschlecht	Spule
Pony	01.01.00	05.07.10	Wallach	Sense-Body
Dt. Reitpony	01.01.98	20.07.10	Wallach	Sense-Body
Dt. Reitpony	01.01.92	24.09.10	Wallach	Sense-Body
Shetlandpony	01.01.90	06.10.10	Stute	Kniespule
Pony	24.05.88	16.02.11	Stute	Sense-Body
Norweger	01.01.84	21.07.10	Wallach	Sense-Body
Isländer	02.08.04	26.07.10	Stute	Sense-Body
Warmblut	01.01.94	26.07.10	Wallach	Sense-Body
Warmblut	01.01.93	23.08.10	Wallach	Sense-Body
Warmblut	01.01.85	02.09.10	Stute	Sense-Body
Norweger	16.05.92	16.09.10	Stute	Sense-Body
Araber	11.12.05	24.09.10	Stute	Sense-Body
Warmblut	01.01.01	29.11.10	Stute	Sense-Body
Cob Normand	01.01.98	05.01.11	Wallach	Sense-Body
Appaloosa	15.03.93	18.08.10	Hengst	Kniespule

### 3.2 MRT-Aufnahmen

Die Aufnahmen der Gehirne wurden mit einem 3.0 Tesla Magnetresonanztomographen der Firma Siemens (MRI 3.0 Tesla Magnetom Verio Siemens, Germany) in der Klinik für Kleintiere, Chirurgie der Justus-Liebig-Universität in Gießen angefertigt.

Um eine Austrocknung der Pferdekopf-Präparate und eine Verschmutzung des Gerätes zu vermeiden, wurden die Pferdeköpfe in Plastiktüten verpackt und je nach Größe in die passende Spule platziert (Tab. 1). Für die Bildqualität, im Besonderen für das Signal-zu-Rausch Verhältnis, ist die optimale Anpassung des Spulendurchmessers („filling factor“) an das Untersuchungsobjekt von entscheidender Bedeutung.



Verwendet wurden die Kniespule (Abb.6 A) und die Sense-Body Spule (Abb.6 B). Die Kniespule ist eine geschlossene Ringspule mit einem Durchmesser von 18 cm, die in der Humanmedizin aufgrund ihrer runden Käfigform und ihres hohen Signal-zu-Rausch Verhältnisses vor allem zur Darstellung vom Knie, den Füßen und den Tarsalgelenken verwendet wird. Es können Objekte mit einer Länge bis zu 22cm abgebildet werden, die zentral in der Spule positioniert werden. Der Schädel des Appaloosa-Hengstes, von dem die Bilder in Kapitel 4.1 stammen, wurde für die Kniespule passend zerlegt. Der Hengst wurde aufgrund einer Fraktur eingeschläfert und unmittelbar nach der Euthanasie mit einer 4%ige Formalinlösung immersionsfixiert. Aufgrund der Größe ergab sich bei dem Präparat die beste Bildqualität bei minimalem Signal-zu-Rausch-Verhältnis. Es wurden Bilder in T2-Wichtung ausgesucht, da diese die Identifikation der meisten morphologischen Details erlauben.

Die Sense-Body Spule ist eine 4-Kanal Oberflächenringspule. Sie hat ein niedrigeres Signal-zu-Rausch Verhältnis als die Kniespule, kann aber Objekte mit einer Größe von bis zu 45x30cm abbilden. Sie wird an den zu untersuchenden Bereich angelegt. In der Humanmedizin wird sie hauptsächlich zur Untersuchung des Thorax, Abdomens und des Beckens benutzt (Benutzerhandbuch MR Systems Intera Release 11.1 Level 4 2006-03-10, CE 0344, Philips Medical Systems, Nederland B.V.).

Mittels Laserpoint wurde das Magnetfeld auf dem höchsten Punkt des Schädels zentriert. Nach Durchführen des Surveyscans (Übersichtsaufnahme) wurden zunächst Standard T2-gewichtete Sequenzen in allen orthogonalen Ebenen (sagittal, transversal und dorsal; 0,25mm Auflösung) ausgerichtet. Bei Abweichungen der Symmetrie der Schnittebenen wurde anhand dieser Scans die Abbildungsebene korrigiert, um optimal auswertbare Bilder zu generieren.

### 3.2.1 Bildbearbeitung

In der vorliegenden Studie sollen die Pferdegehirne und ihre umgebenden Strukturen nicht invasiv und detailreich mit Hilfe des Magnetresonanztomographen dargestellt und dreidimensional rekonstruiert werden. Der 3D-Datensatz der Scans wurde zur weiteren Bearbeitung (3D-Modell des Gehirns und Beschriftung der einzelnen Strukturen in Schnittbildern) in ein anderes Bildformat transformiert (jpeg-Datei), da das DICOM-Format, welches der Magnetresonanztomograph verwendet, mit anderen Bildbearbeitungsprogrammen (wie z.B. Adobe®, Photoshop®, Corel Draw®) nicht kompatibel ist. Eine 3D-Rekonstruktion des Pferdegehirns wurde mit Hilfe des Volume-Rendering Programms Amira 6® (Visage Imaging®, Berlin, Germany) erstellt. Multidimensionale Daten können mit Hilfe dieser 3D-Bildbearbeitungssoftware bildlich dargestellt werden. So lassen sich mittels Amira® 3D-Modelle auf der Basis digitaler Bilder von Magnetresonanztomographen, Computertomographen oder auch digitalisierten histologischen Bildern erstellen. Die Zusammenfassung von Pixeln zu einer bestimmten Gruppe, z.B. hier die morphologischen Strukturen in einem digitalen MRT-Bild, nennt man Segmentation (Labeling). Diese Pixelinformationen werden als Label-Field bezeichnet und in einem zusätzlichen Datensatz gespeichert. Die Segmentation ist Voraussetzung für die 3D-Darstellung des Gehirns. Der Computer rechnet den segmentierten Umriss in ein Polygon mit ortskodierten Knotenpunkten um. Anschließend werden diese Polygone übereinandergelegt und mit Hilfe der Triangulationsmethode die dreidimensionale Oberfläche einer vollständig segmentierten Struktur rekonstruiert (Schroeder, 1992; Christiansen und Sederberg, 1978). Jeder Knotenpunkt des markierten Polygonlabels verbindet zwei gegenüberliegende Knotenpunkte mit der darüber- und darunterliegenden Schicht. Die dabei entstehenden Dreiecke zwischen den Schichten, die untereinander in Verbindung stehen, schließen die Lücken zwischen den zweidimensionalen

Schichten, wodurch die dreidimensionale Form geschaffen wird (Abb. 7). Der Abstand zwischen den segmentierten Schichten entspricht der Kantenlänge der Voxel. Somit ist im Hinblick auf das Gesamtvolumen das Modell ein exaktes Abbild des dokumentierten Gehirns (Schmidt, 2006).



**Abb. 7: Modell des Pferdegehirns nach Triangulation der Einzelschichten in der MRT im „mesh mode“.**

Die Segmentation ist ein manueller Prozess, welcher durch den Untersucher selbst erfolgt. Die Triangulation hingegen wird vom Computer automatisch durchgeführt. Um erkennbare Stufen im Schichtenrelief zu vermeiden, sollte die Segmentation der Label-Fields in allen drei Ebenen erfolgen. Eine zweite Segmentation kann Fehler, die evtl. bei der ersten Segmentierung aufgetreten sind, korrigieren. Unter Einbeziehung der jeweils komplementären Ebenen können Details somit exakt rekonstruiert werden (Schmidt, 2006). Die Segmentation und Triangulation ergeben am Ende ein originalgetreues, virtuelles Modell der Pferdegehirnstrukturen, welches zusätzlich frei drehbar ist. Unabdingbar ist das 3D-Modell außerdem für die Identifikation der Sulci und Gyri des Gehirns, welche nur am 3D Modell zu identifizieren sind. Zudem dient das virtuelle 3D-Modell dem Auffinden und Ansprechen der Strukturen des Gehirns in anderen Bildebenen, da die Beschreibung der Morphologie des Pferdegehirns bislang ausschließlich an transversalen Schnittbildern oder an MRT- Schnittbildern mit geringerer Auflösung (Arencibia et al., 2001; Stuckenschneider et al., 2014; Kimberlin et al., 2016) erfolgt ist.

### **3.3 Histologie-Schnitte**

Zur besseren Lokalisierbarkeit der einzelnen equinen Gehirnstrukturen wurden zum Vergleich histologische Schnitte (in transversaler Ebene) des Gehirns korrespondierend zu den transversalen, T2-gewichteten MRT-Sequenzen in Kapitel 4.1 herangezogen. Diese stammen aus dem Institut für Rechtsmedizin der Universität Würzburg und wurden uns von Prof. emerit. Helmut Heinsen zur Verfügung gestellt. Als Färbelösung für die histologischen Schnitte wurde Galloxyanin verwendet, welches sowohl die weiße Substanz als auch Nervenzellen des Gehirns anfärbt.

Aufgrund der Größe des Präparates kam es im Bereich des Zerebellums zu einem großen Riss, weshalb dieses nicht als histologischer Schnitt dargestellt werden kann. Im kaudalen Abschnitt beschränkt sich die histologische Darstellung auf Teile des Mittelhirns und den Hirnstamm.

#### **4 Ergebnisse**

Zur Darstellung der Anatomie wurden die Bilder des bereits oben erwähnten Appaloosa-Hengstes ausgewählt. Nachfolgend sind die MRT-Bilder in transversaler, dorsaler und sagittaler Schnittebene dargestellt. In den MRT-Bildern ist zur Orientierung ein Modell eingefügt. Die in den Bildern sichtbaren Strukturen werden im Anschluss benannt und in einen morphologischen Zusammenhang gesetzt.

4.1 Lokalisation morphologischer Strukturen des equinen Gehirns in der MRT und Histologie

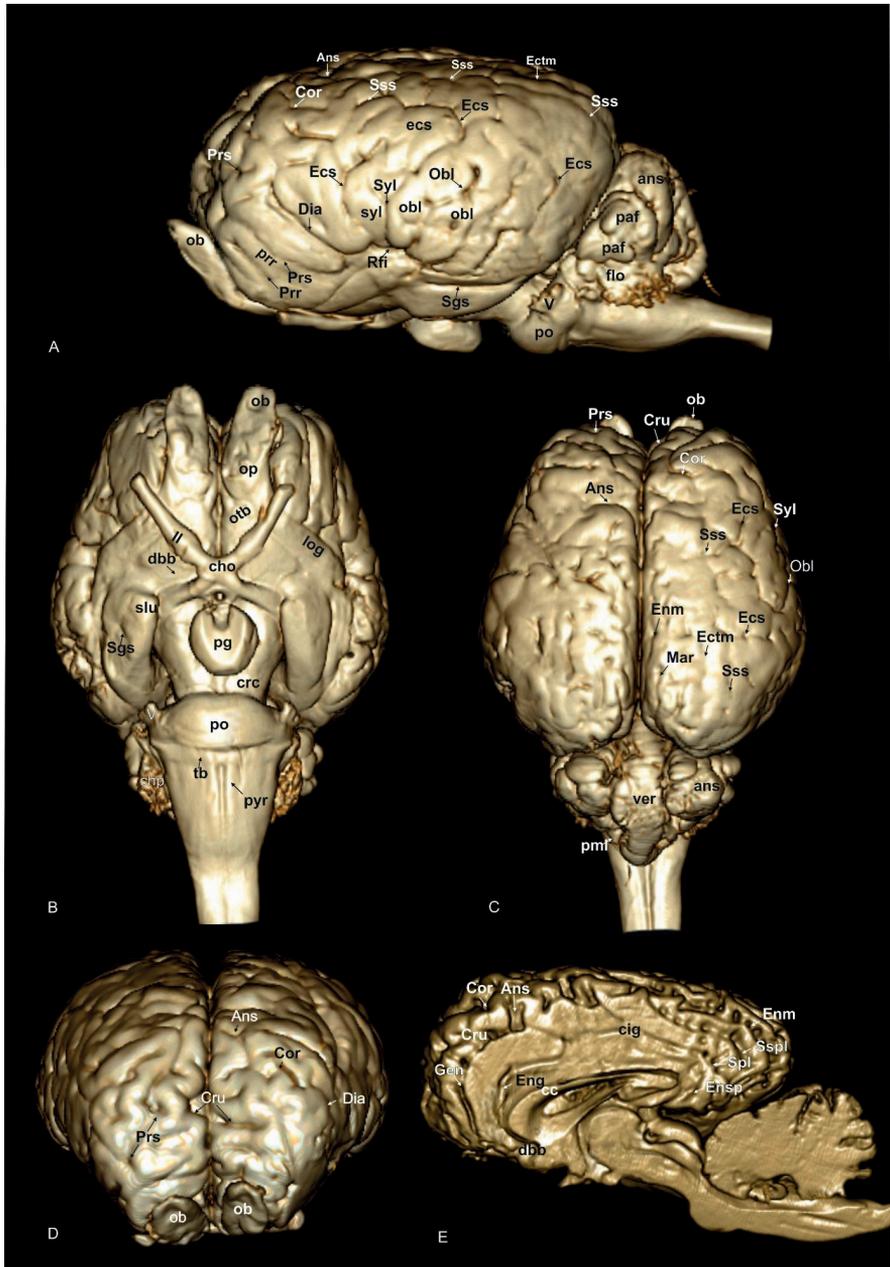


Abb.8 (vorherige Seite): 3D Modell des Pferdegehirns auf der Basis der gewonnenen MRT-Daten.

**(A) Laterale Ansicht:** Ans: Sulcus ansatus, ans: Lobulus ansiformis, Cor: Sulcus coronalis, Dia: Sulcus diagonalis (Neocortex), Ecs: Sulcus ectosylvius, ecs: Gyrus ectosylvius, Ectm: Sulcus ectomarginalis, flo: Flocculus, ob: Bulbus olfactorius, Obl: Sulcus obliquus, obl: Gyrus obliquus, paf: Paraflocculus, po: Pons, Prr: Sulcus proreus, prr: Gyrus proreus, Prs: Sulcus praesylvius, Rfi: Fissura rhinalis lateralis, Sgs: Sulcus sagittalis, Sss: Sulcus suprasylvius, Syl: Fissura sylvii, syl: Gyrus sylvius, V: Nervus trigeminus.

**(B) Ventrale Ansicht:** cho: Chiasma opticum, chp: Plexus choroideus, crc: Crus cerebri, dbb: Stria diagonalis, log: Gyrus olfactorius lateralis, ob: Bulbus olfactorius, op: Pedunculus olfactorius, otb: Tuberculum olfactorium, pg: Glandula pituitaria, po: Pons, pyr: Tractus pyramidalis, Sgs: Sulcus sagittalis, slu: Gyrus semilunaris, tb: Corpus trapezoideum, II Nervus opticus.

**(C) Dorsale Ansicht:** Ans: Sulcus ansatus, ans: Lobulus ansiformis, Cor: Sulcus coronalis, Cru: Sulcus cruciatus, Ecs: Sulcus ectosylvius, Ectm: Sulcus ectomarginalis, Enm: Sulcus endomarginalis, Mar: Sulcus marginalis, ob: Bulbus olfactorius, Obl: Sulcus obliquus, pml: Lobulus paramedianus, Prs: Sulcus praesylvius, Sss: Sulcus suprasylvius, Syl: Fissura sylvii, ver: Vermis.

**(D) Frontale Ansicht:** Ans: Sulcus ansatus Cor: Sulcus coronalis, Cru: Sulcus cruciatus, Dia: Sulcus diagonalis (Neocortex), ob: Bulbus olfactorius, Prs: Sulcus praesylvius.

**(E) Midsagittale Ansicht:** Ans: Sulcus ansatus, cc: Corpus callosum, cig: Gyrus cinguli, Cor: Sulcus coronalis, Cru: Sulcus cruciatus, dbb: Stria diagonalis, Eng: Sulcus endogenualis, Enm: Sulcus endomarginalis, Ensp: Sulcus endosplenialis, Gen: Sulcus genualis, Spl: Sulcus splenialis, Sspl: Sulcus suprasplenialis.

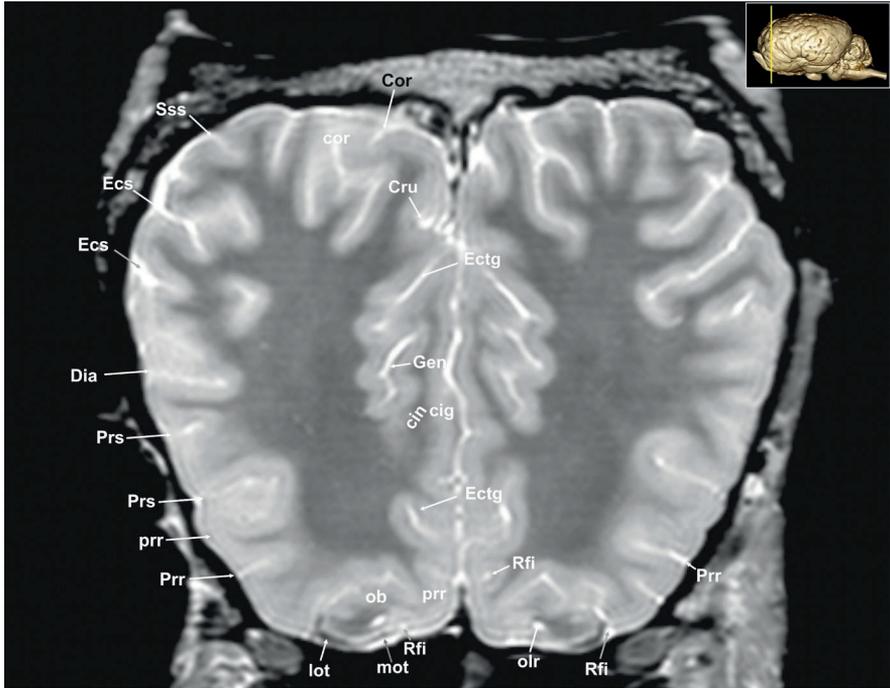
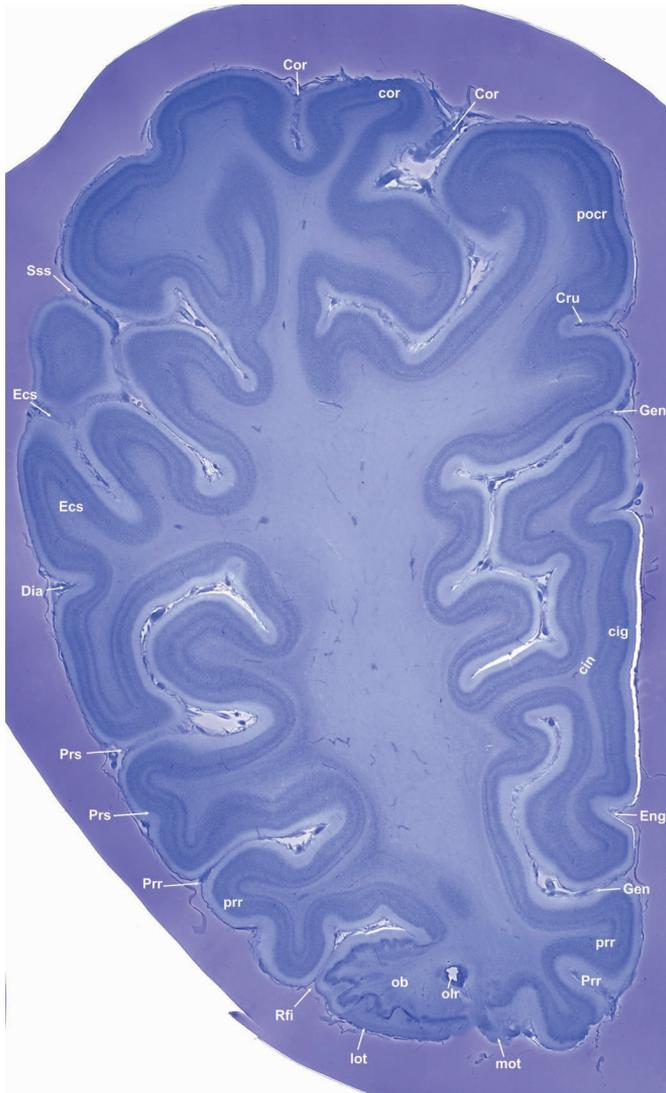


Abb. 9A: Transversales MRT-Bild des Pferdegehirns im präcommissuralen Abschnitt der Hemisphären auf Höhe des Pedunculus olfactorius.

cig: Gyrus cinguli, cin: Cingulum, Cor: Sulcus coronalis, cor: Gyrus coronalis, Cru: Sulcus cruciatus, Dia: Sulcus diagonalis (Neocortex), Ecs: Sulcus ectosylvius, Ectg: Sulcus ectogenualis, Gen: Sulcus genualis, lot: Tractus olfactorius lateralis, mot: Tractus olfactorius medialis, ob: Bulbus olfactorius, olr: Recessus olfactorius, Ols: Sulcus olfactorius, pocr: Gyrus postcruciatus, prcr: Gyrus praecruciatius, Prr: Sulcus proreus, prr: Gyrus proreus, Prs: Sulcus praesylvius, Rfi: Fissura rhinalis lateralis, Sss: Sulcus suprasylvius.



**Abb. 9B:** Histologischer Transversalschnitt des Pferdegehirns im präcommissuralen Bereich der Hemisphären auf Höhe des Pedunculus olfactorius.

cig: Gyrus cinguli, cin: Cingulum, Cor: Sulcus coronalis, cor: Gyrus coronalis, Cru: Sulcus cruciatus, Dia: Sulcus diagonalis (Neocortex), Ecs: Sulcus ectosylvius, Eng: Sulcus endogenualis, Gen: Sulcus genualis, lot: Tractus olfactorius lateralis, mot: Tractus olfactorius medialis, ob: Bulbus olfactorius, olr: Recessus olfactorius, pocr: Gyrus postcruciatum, Prr: Sulcus proreus, prr: Sulcus praesylvius, Prs: Sulcus praesylvius, Rfi: Fissura rhinalis lateralis, Sss: Sulcus suprasylvius.

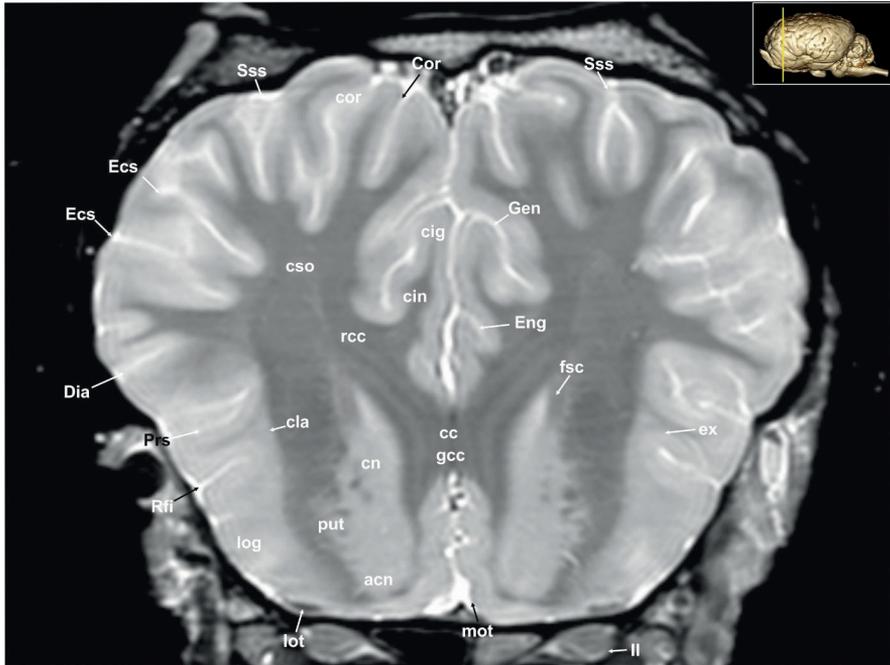
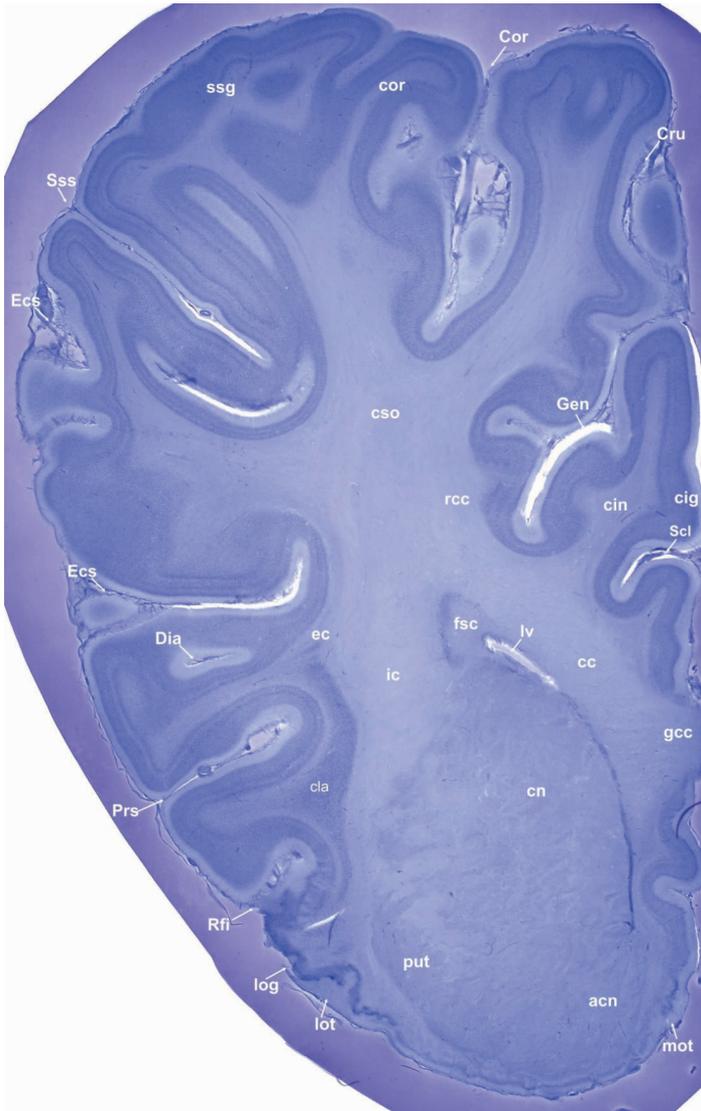


Abb. 10A: Transversales MRT-Bild des Pferdegehirns auf Höhe des Genu corporis callosi.  
 acn: Nucleus accumbens, cc: Corpus callosum, cig: Gyrus cinguli, cin: Cingulum, cla: Claustrum, cn: Nucleus caudatus, Cor: Sulcus coronalis, cor: Gyrus coronalis, cso: Commissura supraoptica, Dia: Sulcus diagonalis (Neocortex), Ecs: Sulcus ectosylvius, Eng: Sulcus endogenualis, ex: Capsula extrema, fsc: Fasciculus subcallosus, gcc: Genu corporis callosi, Gen: Sulcus genualis, log: Gyrus olfactorius lateralis, lot: Tractus olfactorius lateralis, mot: Tractus olfactorius medialis, Prs: Sulcus praesylvius, put: Putamen, rcc: Radiatio corporis callosi, Rfi: Fissura rhinalis lateralis, Sss: Sulcus suprasylvius, II: Nervus opticus.



**Abb. 10B:** Histologischer Transversalschnitt des Pferdehirns auf Höhe des Genu corporis callosi.

acn: Nucleus accumbens, cc: Corpus callosum, cig: Gyrus cinguli, cin: Cingulum, cla: Claustrum, cn: Nucleus caudatus, Cor: Sulcus coronalis, cor: Gyrus coronalis, Cru: Sulcus cruciatus, cso: Commisura supraoptica, Dia: Sulcus diagonalis (Neocortex), ec: Capsula externa, Ecs: Sulcus ectosylvius, fsc: Fasciculus subcallosus, gcc: Genu corporis callosi, Gen: Sulcus genualis, ic: Capsula interna, log: Gyrus olfactorius lateralis, lot: Tractus olfactorius lateralis, lv: Ventriculus lateralis, mot: Tractus olfactorius medialis, Prs: Sulcus praesylvius, put: Putamen, rcc: Radiatio corporis callosi, Rfi: Fissura rhinalis lateralis, Scl: Sulcus corporis callosi, ssg: Gyrus suprasylvius, Sss: Sulcus suprasylvius.

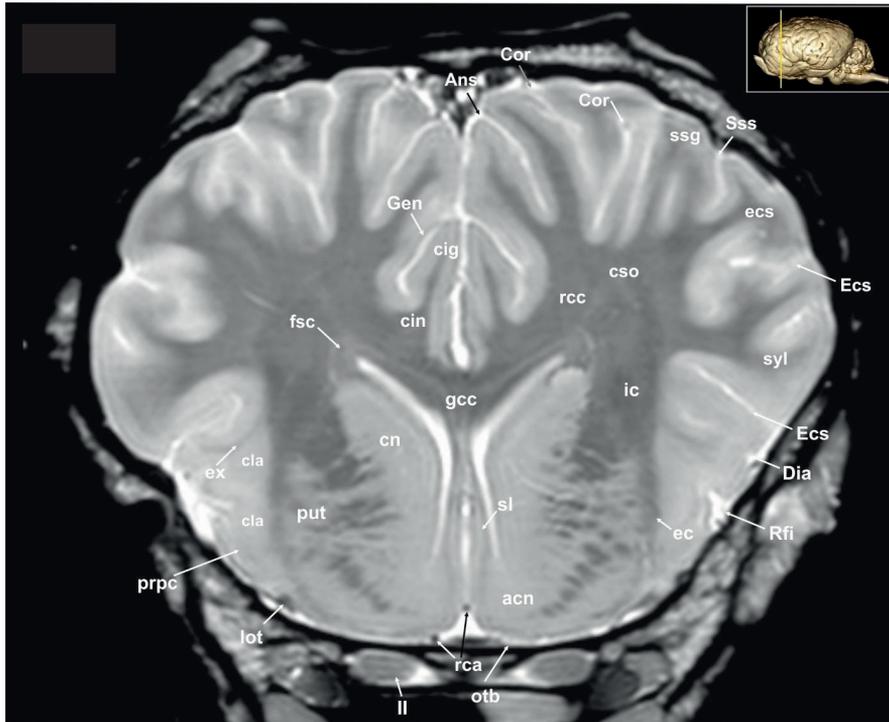
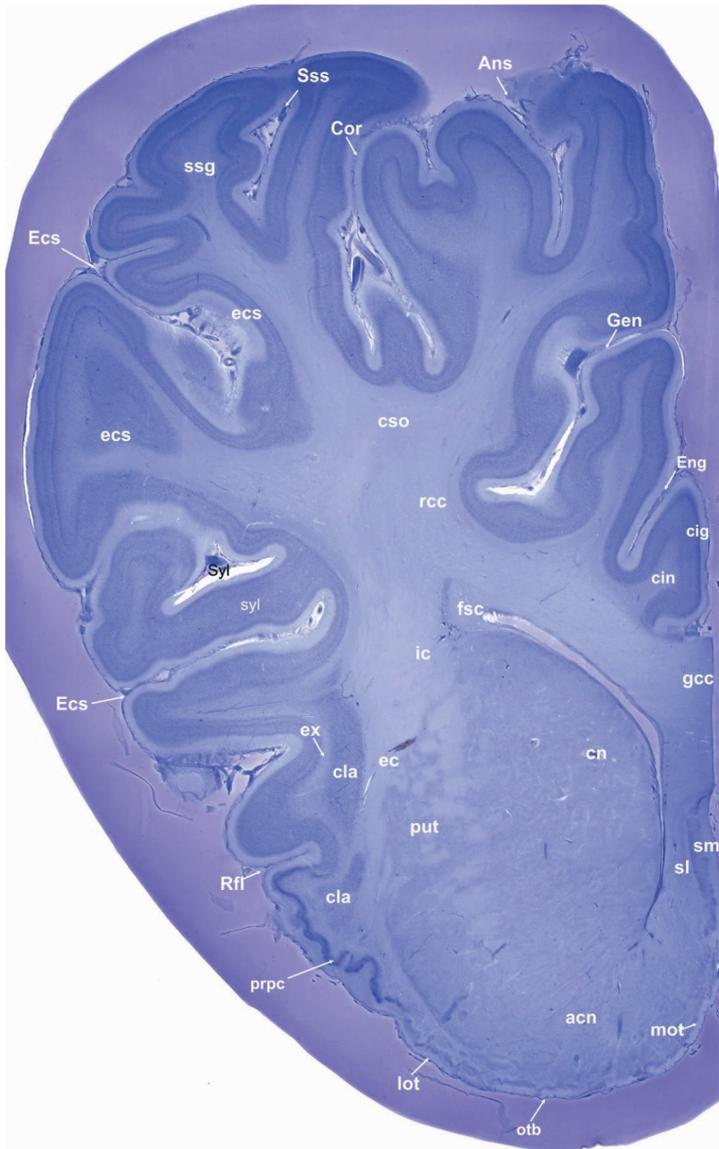
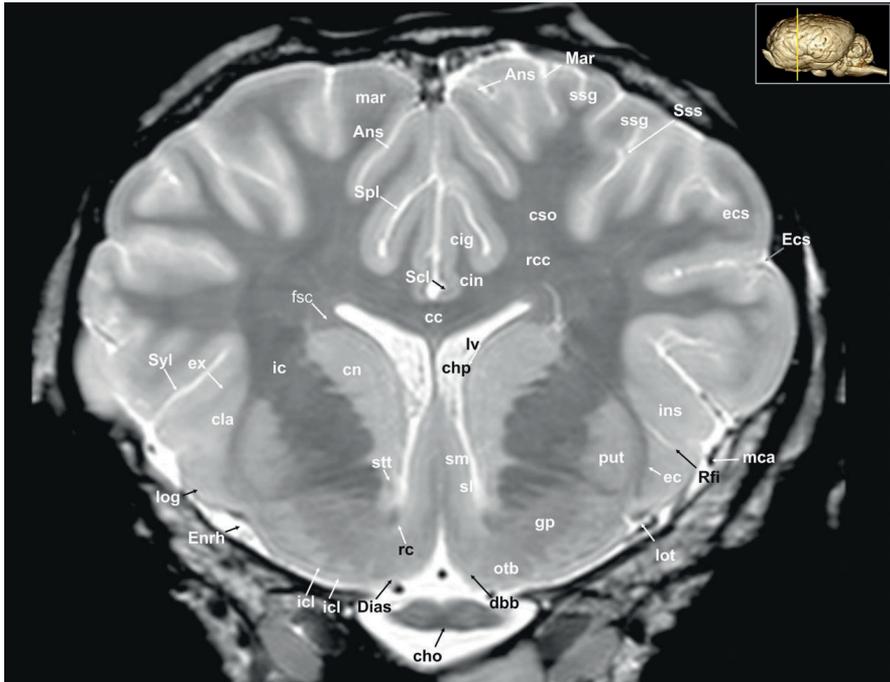


Abb. 11A: Transversales MRT-Bild des Pferdegehirns auf Höhe der Nuclei septales.

acn: Nucleus accumbens, Ans: Sulcus ansatus, cig: Gyrus cinguli, cin: Cingulum, cla: Claustrum, cn: Nucleus caudatus, Cor: Sulcus coronalis, cso: Commissura supraoptica, Dia: Sulcus diagonalis (Neocortex), ec: Capsula externa, Ecs: Sulcus ectosylvius, ecs: Gyrus ectosylvius, ex: Capsula extrema, fsc: Fasciculus subcallosus, gcc: Genu corporis callosi, Gen: Sulcus genualis, ic: Capsula interna, lot: Tractus olfactorius lateralis, otb: Tuberculum olfactorium, prpc: Cortex praepiriformis, put: Putamen, rca: Arteria cerebri rostralis, rcc: Radiatio corporis callosi, Rfi: Fissura rhinalis lateralis, sl: Nuclei septales laterales, ssg: Gyrus suprasylvius, Sss: Sulcus suprasylvius, syl: Gyrus sylvius, II Nervus opticus.



**Abb. 11B:** Histologischer Transversalschnitt des Pferdegehirns auf Höhe der Nuclei septales. acn: Nucleus accumbens, Ans: Sulcus ansatus, cig: Gyrus cinguli, cin: Cingulum, cla: Claustrum, cn: Nucleus caudatus, Cor: Sulcus coronalis, cso: Commissura supraoptica, ec: Capsula externa, Ecs: Sulcus ectosylvius, ecs: Gyrus ectosylvius, Eng: Sulcus endogenualis, ex: Capsula extrema, fsc: Fasciculus subcallosus, gcc: Genu corporis callosi, Gen: Sulcus genualis, ic: Capsula interna, lot: Tractus olfactorius lateralis, mot: Tractus olfactorius medialis, otb: Tuberculum olfactorium, prpc: Cortex praepiriformis, put: Putamen, rcc: Radiatio corporis callosi, Rfi: Fissura rhinalis lateralis, sl: Nuclei septales laterales, sm: Nuclei septales mediales, ssg: Gyrus suprasylvius, Sss: Sulcus suprasylvius, Syl: Fissura sylvii, syl: Gyrus sylvius.



**Abb. 12A:** Transversales MRT-Bild des Pferdegehirns auf Höhe der Commissura rostralis.  
 Ans: Sulcus ansatus, cc: Corpus callosum, cho: Chiasma opticum, chp: Plexus choroideus, cig: Gyrus cinguli, cin: Cingulum, cla: Claustrum, cn: Nucleus caudatus, cso: Commissura supraoptica, dbb: Stria diagonalis, Dias: Sulcus diagonalis (nasales Vorderhirn), ec: Capsula externa, ecs: Gyrus ectosylvius, Ecs: Sulcus ectosylvius, Enrh: Sulcus endorhinalis, ex: Capsula extrema, fsc: Fasciculus subcallosus, gp: Globus pallidus, ic: Capsula interna, icl: Insulae callejae, ins: Cortex insularis, log: Gyrus olfactorius lateralis, lot: Tractus olfactorius lateralis, Iv: Ventriculus lateralis, mar: Gyrus marginalis, Mar: Sulcus marginalis, mca: Arteria cerebialis medialis, otb: Tuberculum olfactorium, put: Putamen, rc: Commissura rostralis, rcc: Radiatio corporis callosi, Rfi: Fissura rhinalis lateralis, Scl: Sulcus corporis callosi, sl: Nuclei septales laterales, sm: Nuclei septales mediales, Spl: Sulcus splenialis, ssg: Gyrus suprasylvius, Sss: Sulcus suprasylvius, stt: Stria terminalis, Syl: Fissura sylvii.

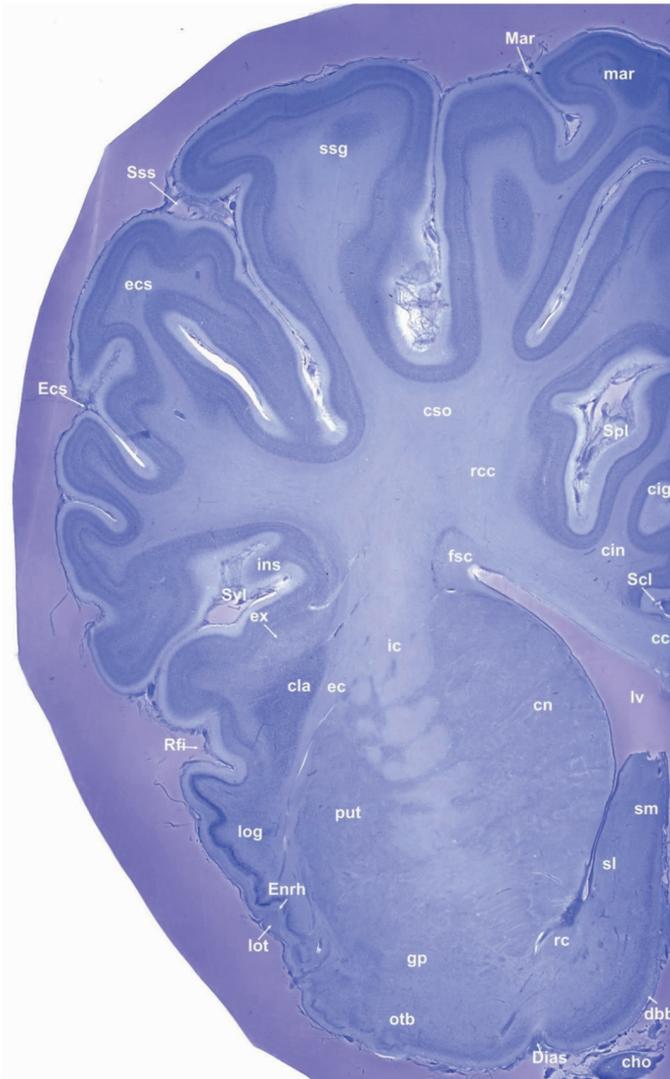


Abb. 12B: Histologischer Transversalschnitt des Pferdegehirns auf Höhe der Commissura rostralis.

cc: Corpus callosum, cho: Chiasma opticum, cig: Gyrus cinguli, cin: Cingulum, cla: Claustrum, cn: Nucleus caudatus, cso: Commissura supraoptica, dbb: Stria diagonalis, Dias: Sulcus diagonalis (nasales Vorderhirn), ec: Capsula externa, ecs: Gyrus ectosylvius, Ecs: Sulcus ectosylvius, Enrh: Sulcus endorhinalis, ex: Capsula extrema, fsc: Fasciculus subcallosus, gp: Globus pallidus, ic: Capsula interna, ins: Cortex insularis, log: Gyrus olfactorius lateralis, lot: Tractus olfactorius lateralis, Iv: Ventriculus lateralis, mar: Gyrus marginalis, Mar: Sulcus marginalis, otb: Tuberculum olfactorium, put: Putamen, rc: Commissura rostralis, rcc: Radiatio corporis callosi, Rfi: Fissura rhinalis lateralis, Scl: Sulcus corporis callosi, sl: Nuclei septales laterales, sm: Nuclei septales mediales, Spl: Sulcus splenialis, ssg: Gyrus suprasylvius, Sss: Sulcus suprasylvius, Syl: Fissura sylvii.



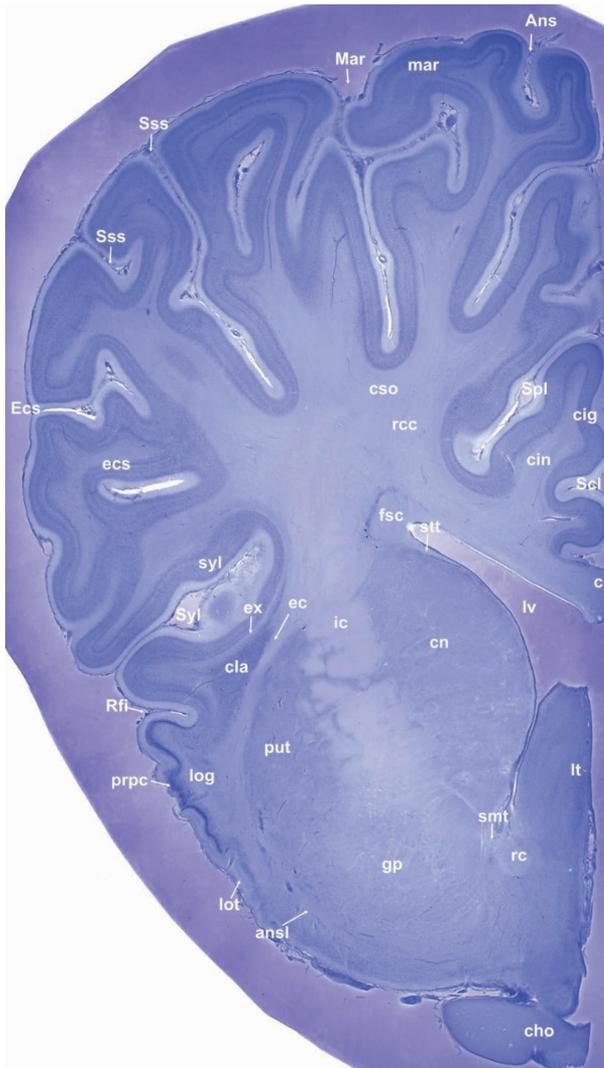


Abb. 13B: Histologischer Transversalschnitt des Pferdegehirns auf Höhe der Commissura rostralis.

Ans: Sulcus ansatus, ansl: Ansa lenticularis, cc: Corpus callosum, cho: Chiasma opticum, cig: Gyrus cinguli, cin: Cingulum, cla: Claustrum, cn: Nucleus caudatus, cso: Commissura supraoptica, ec: Capsula externa, Ecs: Sulcus ectosylvius, ecs: Gyrus ectosylvius, ex: Capsula extrema, fsc: Fasciculus subcallosus, gp: Globus pallidus, ic: Capsula interna, lot: Tractus olfactorius lateralis, lt: Lamina terminalis, lv: Ventriculus lateralis, Mar: Sulcus marginalis, mar: Gyrus marginalis, put: Putamen, rc: Commissura rostralis, rcc: Radiatio corporis callosi, Rfi: Fissura rhinalis lateralis, Scl: Sulcus corporis callosi, smt: Stria medullaris thalami, Spl: Sulcus splenialis, Sss: Sulcus suprasylvius, stt: Stria terminalis, Syl: Fissura sylvii, syl: Gyrus sylvius.

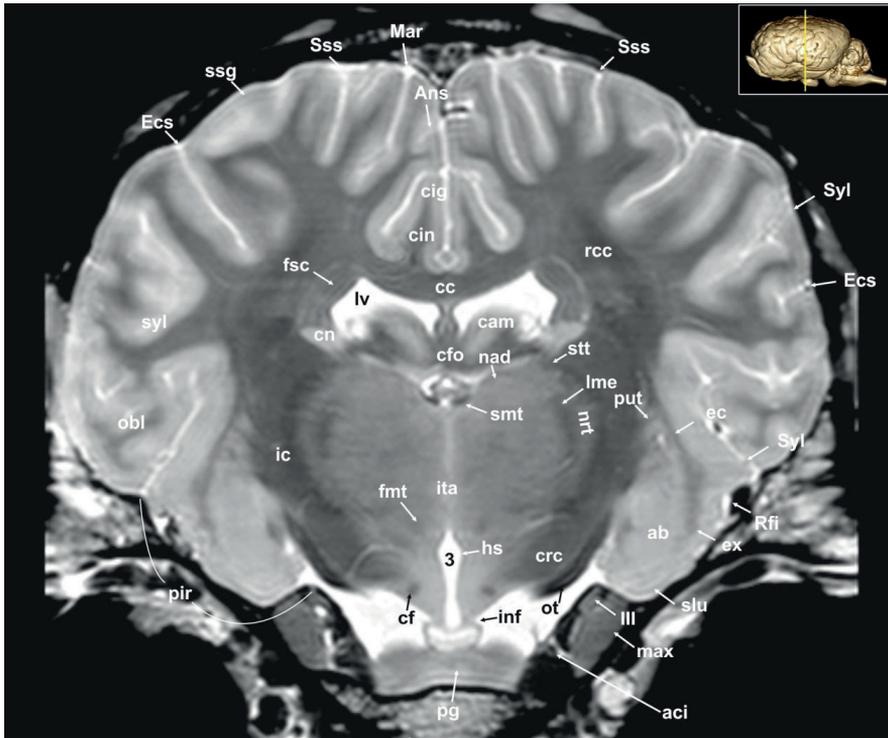
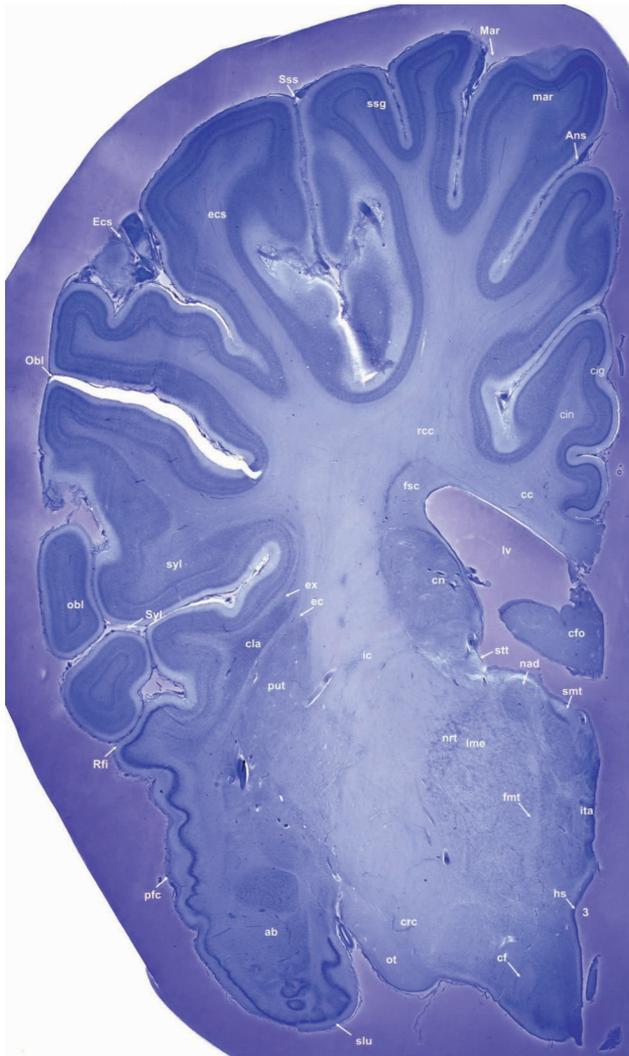


Abb. 14A: Transversales MRT-Bild des Pferdegehirns auf Höhe des Infundibulums.

ab: Corpus amygdaloideum, aci: Arteria carotis interna, Ans: Sulcus ansatus, cam: Cornu ammonis, cc: Corpus callosum, cf: Columna fornicis, cfo: Corpus fornicis, cig: Gyrus cinguli, cin: Cingulum, cn: Nucleus caudatus, crc: Crus cerebri, ec: Capsula externa, Ecs: Sulcus ectosylvius, ex: Capsula extrema, fmt: Fasciculus mamillo-thalamicus, fsc: Fasciculus subcallosus, hs: Sulcus hypothalamicus, ic: Capsula interna, inf: Pars infundibularis, ita: Adhaesio interthalamica, lme: Lamina medullaris externa, lv: Ventriculus lateralis, Mar: Sulcus marginalis, max: Nervus maxillaris, nad: Nucleus anterior dorsalis thalami nrt: Nucleus reticularis thalami, obl: Gyrus obliquus, ot: Tractus opticus, pir: Lobus piriformis, pg: Glandula pituitaria, put: Putamen, rcc: Radiatio corporis callosi, Rfi: Fissura rhinalis lateralis, sln: Gyrus semilunaris, smt: Stria medullaris thalami, ssg: Gyrus suprasylvius, Sss: Sulcus suprasylvius, stt: Stria terminalis, Syl: Fissura sylvii, syl: Gyrus sylvius, III: Nervus oculomotorius, 3: Ventriculus tertius.



**Abb. 14B:** Transversales histologisches Schnittbild des Pferdehirns auf Höhe des Infundibulums.

ab: Corpus amygdaloideum, Ans: Sulcus ansatus, cc: Corpus callosum, cf: Columna fornicis, cfo: Corpus fornicis, cig: Gyrus cinguli, cin: Cingulum, cla: Claustrum, cn: Nucleus caudatus, crc: Crus cerebri, ec: Capsule externa, Ecs: Sulcus ectosylvius, ecs: Gyrus ectosylvius, ex: Capsula extrema, fnt: Fasciculus mamillo-thalamicus, fsc: Fasciculus subcallosus, hs: Sulcus hypothalamicus, ic: Capsula interna, ita: Adhaesio interthalamica, lme: Lamina medullaris externa, lv: Ventriculus lateralis, Mar: Sulcus marginalis, mar: Gyrus marginalis, nad: Nucleus anterior dorsalis thalami, nrt: Nucleus reticularis thalami, Obl: Sulcus obliquus, obl: Gyrus obliquus, ot: Tractus opticus, pfc: Cortex piriformis, put: Putamen, rcc: Radiatio corporis callosi, Rfi: Fissura rhinalis lateralis, slu: Gyrus semilunaris, smt: Stria medullaris thalami, ssg: Gyrus suprasylvius, Sss: Sulcus suprasylvius, stt: Stria terminalis, syl: Gyrus sylvius, Syl: Fissura sylvii, 3: Ventriculus tertius.

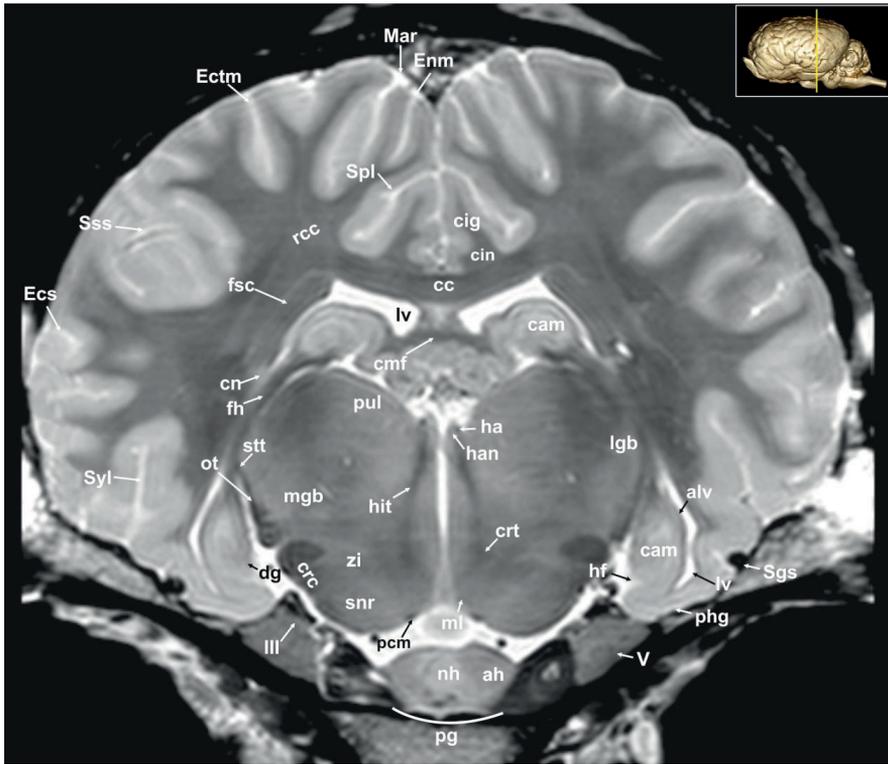
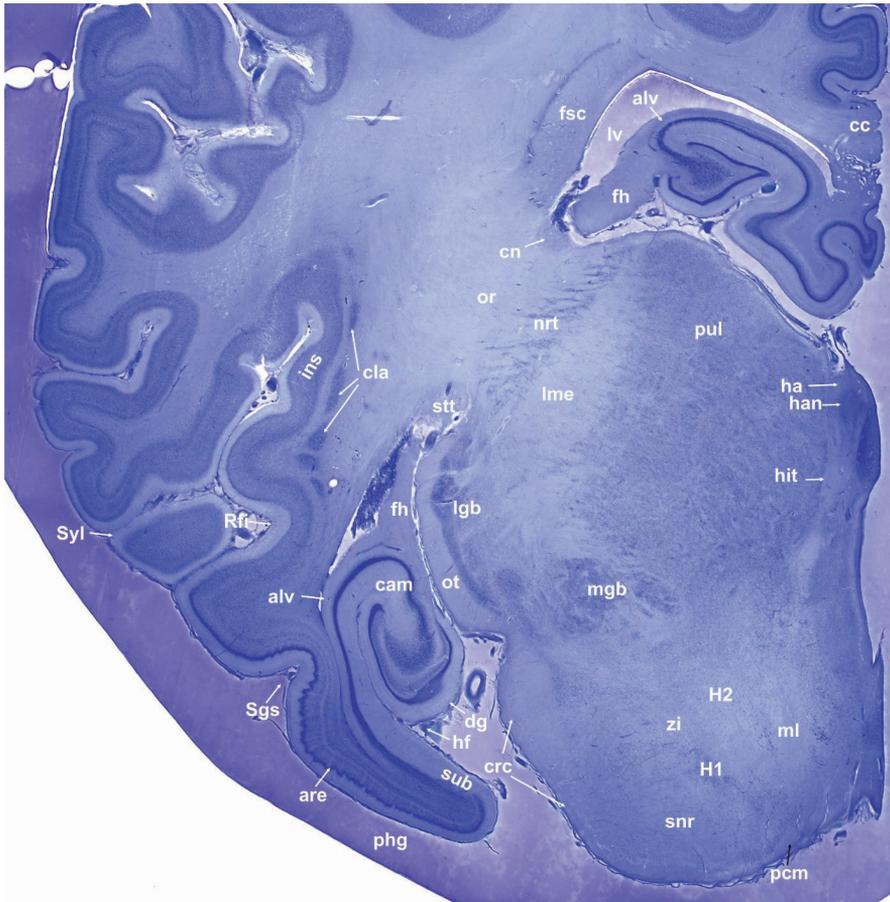


Abb. 15A: Transversales MRT-Bild des Pferdegehirns auf der Höhe des Hippocampus.  
 ah: Adenohypophysis, alv: Alveus, cam: Cornu ammonis, cc: Corpus callosum, cig: Gyrus cinguli, cin: Cingulum, cmf: Commissura fornicis, cn: Nucleus caudatus, crc: Crus cerebri, crt: Tractus cerebello-rubro-thalamicus, dg: Gyrus dentatus, Ecs: Sulcus ectosylvius, Ectm: Sulcus ectomarginalis, Enm: Sulcus endomarginalis, fh: Fimbria hippocampi, fsc Fasciculus subcallosus, ha: Habenulae, han: Nuclei habenulares, hf: Fissura hippocampi, hit: Tractus habenulo-interpeduncularis, lgb: Corpus geniculatum laterale, Iv: Ventriculus lateralis, Mar: Sulcus marginalis, mgb: Corpus geniculatum mediale, ml: Lemniscus medialis, nh: Neurohypophysis, ot: Tractus opticus, pcm: Pedunculus corporis mamillaris, pg: Glandula pituitaria, phg: Gyrus parahippocampalis, pul: Pulvinar, rcc: Radiatio corporis callosi, Sgs: Sulcus sagittalis, snr: Substantia nigra, Spl: Sulcus splenialis, Sss: Sulcus suprasylvius, stt: Stria terminalis; Syl: Fissura sylvii, zi: Zona incerta, III: Nervus oculomotorius, V: Nervus trigeminus.



**Abb. 15B:** Transversales histologisches Schnittbild des Pferdegehirns auf Höhe des Hippocampus.

alv: Alveus, are: Area entorhinalis, cam: Cornu ammonis, cc: Corpus callosum, cla: Claustrum, cn: Nucleus caudatus, crc: Crus cerebri, dg: Gyrus dentatus, fh: Fimbria hippocampi, fsc: Fasciculus subcallosus, fte: Fasciculus tegmenti, H1: Fasciculus thalamicus, H2: Fasciculus lenticularis, ha: Habenulae, han: Nuclei habenulares, hf: Fissura hippocampi, hit: Tractus habenulo-interpeduncularis, ins: Cortex insularis, lgb: Corpus geniculatum laterale, lme: Lamina medullaris externa, lv: Ventriculus lateralis, mgb: Corpus geniculatum mediale, ml: Lemniscus medialis, nrt: Nucleus reticularis thalami, or: Radiatio optica, ot: Tractus opticus, pcm: Pedunculus corporis mamillaris, phg: Gyrus parahippocampalis, pul: Pulvinar, Rfi: Fissura rhinalis lateralis, Sgs: Sulcus sagittalis, snr: Substantia nigra, stt: Stria terminalis, sub: Subiculum, Syl: Fissura sylvii, zi: Zona incerta.

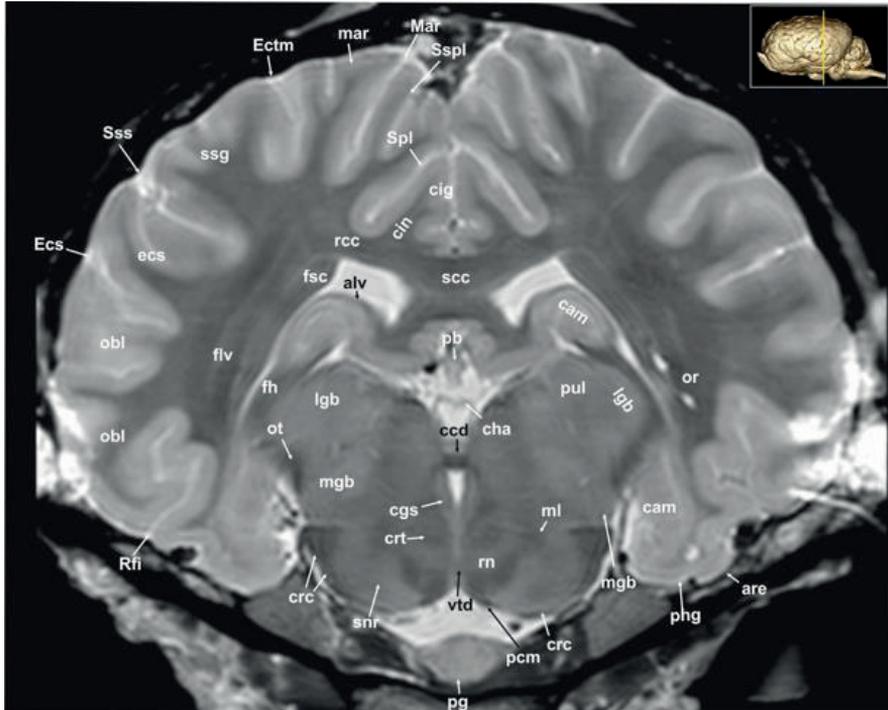
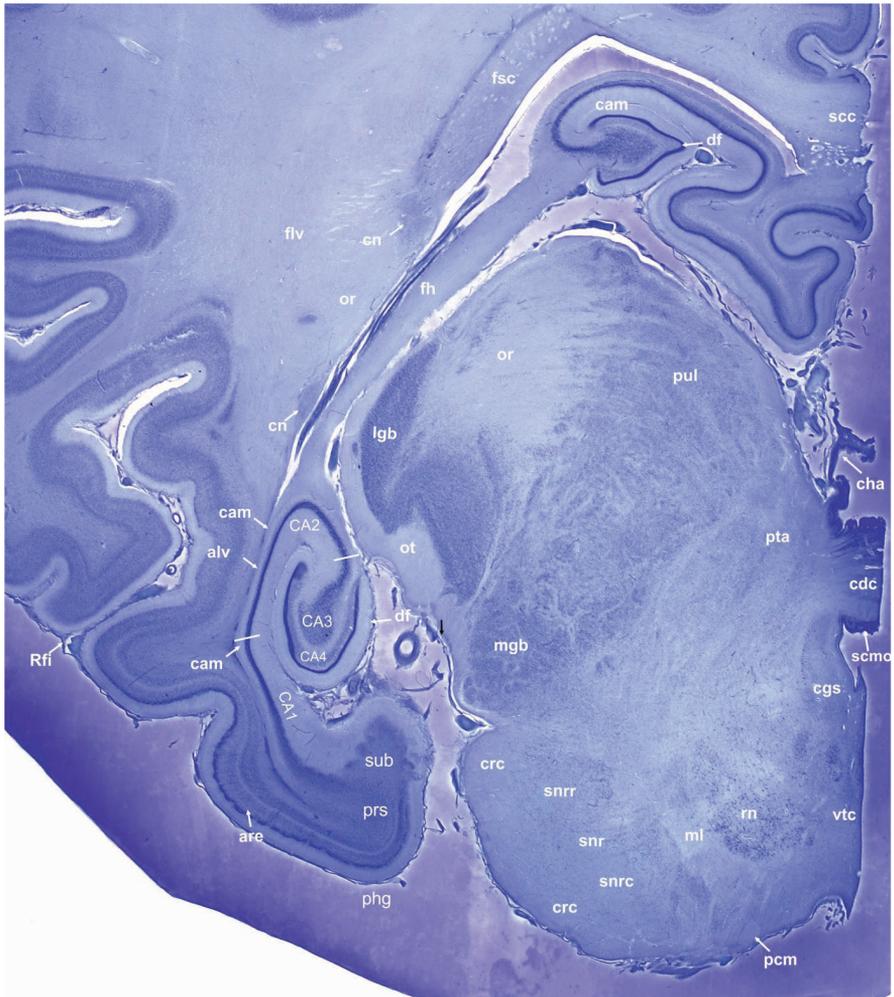


Abb. 16A: Transversales MRT-Bild des Pferdegehirns auf Höhe der Commissura caudalis.  
 alv: Alveus, are: Area entorhinalis, cam: Cornu ammonis, ccd: Commissura caudalis, cgs: Substantia grisea centralis, cha: Commissura habenularum, cig: Gyrus cinguli, cin: Cingulum, Mar: Sulcus marginalis, mgb: Corpus geniculatum mediale ml: Lemniscus medialis, obl: Gyrus obliquus, or: Radiatio optica, ot: Tractus opticus, pb: Glandula pinealis, pcm: Pedunculus corporis mamillaris, pg: Glandula pituitaria, phg: Gyrus parahippocampalis, pul: Pulvinar, rcc: Radiatio corporis callosi, Rfi: Fissura rhinalis lateralis, rn: Nucleus ruber, scc: Splenium corporis callosi, snr: Substantia nigra, Spl: Sulcus splenialis, ssg: Gyrus suprasylvius, Sspl: Sulcus suprasplenialis, Sss: Sulcus suprasylvius, vtd: Decussatio tegmentalis ventralis.



**Abb. 16B:** Transversales histologisches Schnittbild des Pferdegehirns auf Höhe des Hippocampus.

alv: Alveus, are: Area entorhinalis, CA1-CA4: Cornu ammonis Felder 1-4, cam: Cornu ammonis, cdc: Colliculus caudalis, cgs: Substantia grisea centralis, cha: Commissura habenularum, cn: Nucleus caudatus, crc: Crus cerebri, df: Fascia dentata, fh: Fimbria hippocampi, flv: Fasciculus longitudinalis ventralis, fsc: Fasciculus subcallosus, lgb: Corpus geniculatum laterale, mgb: Corpus geniculatum mediale, ml: Lemniscus medialis, or: Radiatio optica, ot: Tractus opticus, pcm: Pedunculus corporis mamillaris, phg: Gyrus parahippocampalis, prs: Präsubiculum, pta: Area praetectalis, pul: Pulvinar, Rfi: Fissura rhinalis lateralis, rn: Nucleus ruber, scc: Splenium corporis callosi, scmo: Organum subcommissurale, snr: Substantia nigra, snrc: Substantia nigra pars compacta, snrr: Substantia nigra pars reticulata, sub: Subiculum, vtc: Commissura tementalis ventralis.

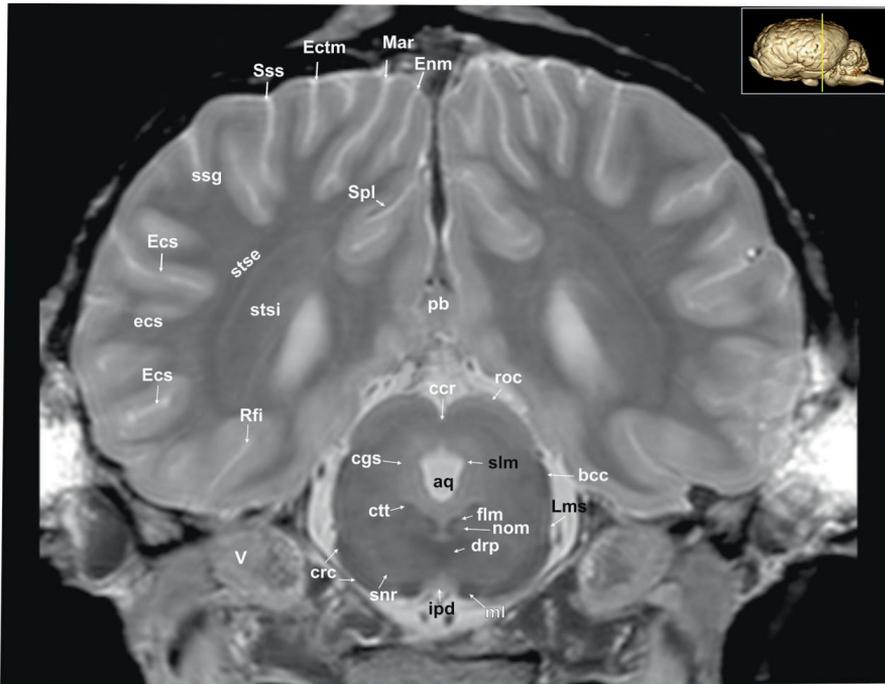
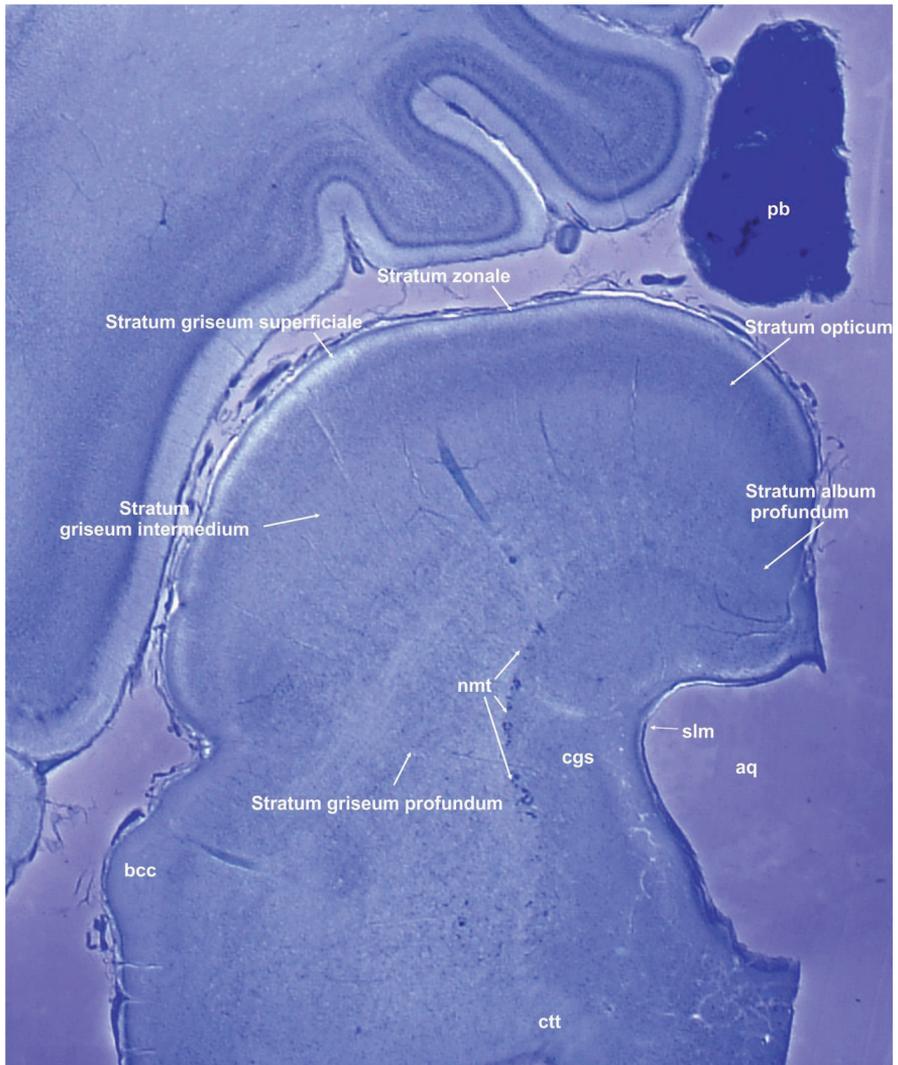


Abb. 17A: Transversales MRT-Bild des Pferdegehirns auf Höhe der Colliculi rostrales.  
 aq: Aquaeductus mesencephali, bcc: Brachium colliculi caudalis, ccr: Commissura colliculi rostralis, cgs: Substantia grisea centralis, crc: Crus cerebri, ctt: Tractus tegmentalis centralis, drp: Decussatio pedunculorum cerebellarium rostrarium, Ectm: Sulcus ectomarginalis, ecs: Gyrus ectosylvius, Ecs: Sulcus ectosylvius, Enm: Sulcus endomarginalis, flm: Fasciculus longitudinalis medialis, ipd: Nucleus interpeduncularis, Lms: Sulcus mesencephalicus lateralis, Mar: Sulcus marginalis, ml: Lemniscus medialis, nom: Nucleus nervi oculomotorii, pb: Glandula pinealis, Rfi: Fissura rhinalis lateralis, roc: Colliculus rostralis, snr: Substantia nigra, slm: Sulcus limitans, Spl: Sulcus splenialis, ssg: Gyrus suprasylvius, Sss: Sulcus suprasylvius, stse: Stratum sagittale externum, stsi: Stratum sagittale internum, V: Nervus trigeminus.



**Abb. 17B:** Transversales histologisches Schnittbild des Pferdegehirns auf Höhe der Colliculi rostrales.

aq: Aquaeductus mesencephali, bcc: Brachium colliculi caudalis, cgs: Substantia grisea centralis, ctt: Tractus tegmentalis centralis, nmt: Nucleus mesencephalicus nervi trigemini, pb: Glandula pinealis, slm: Sulcus limitans.

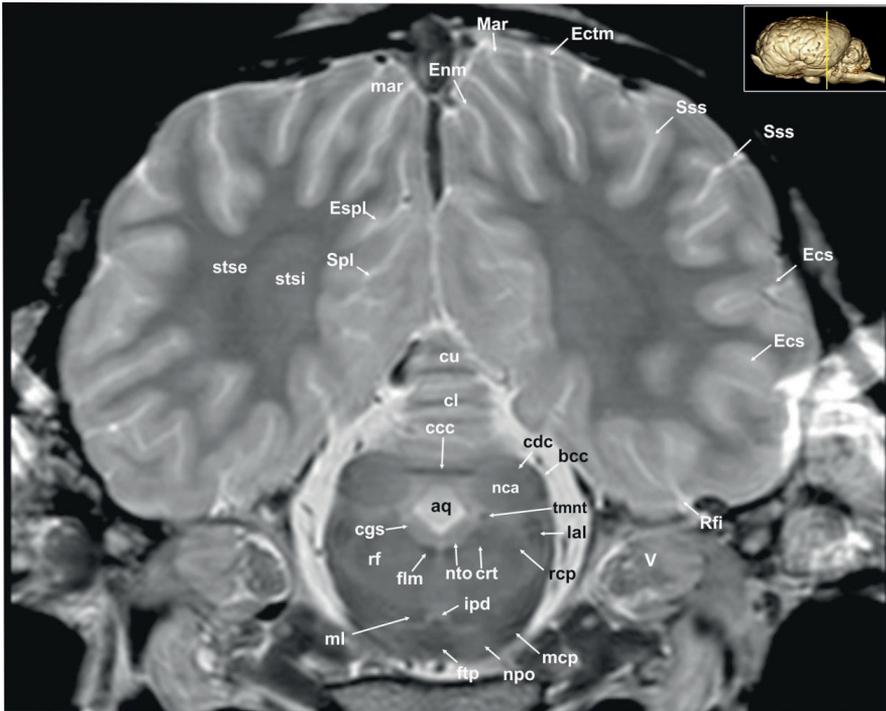
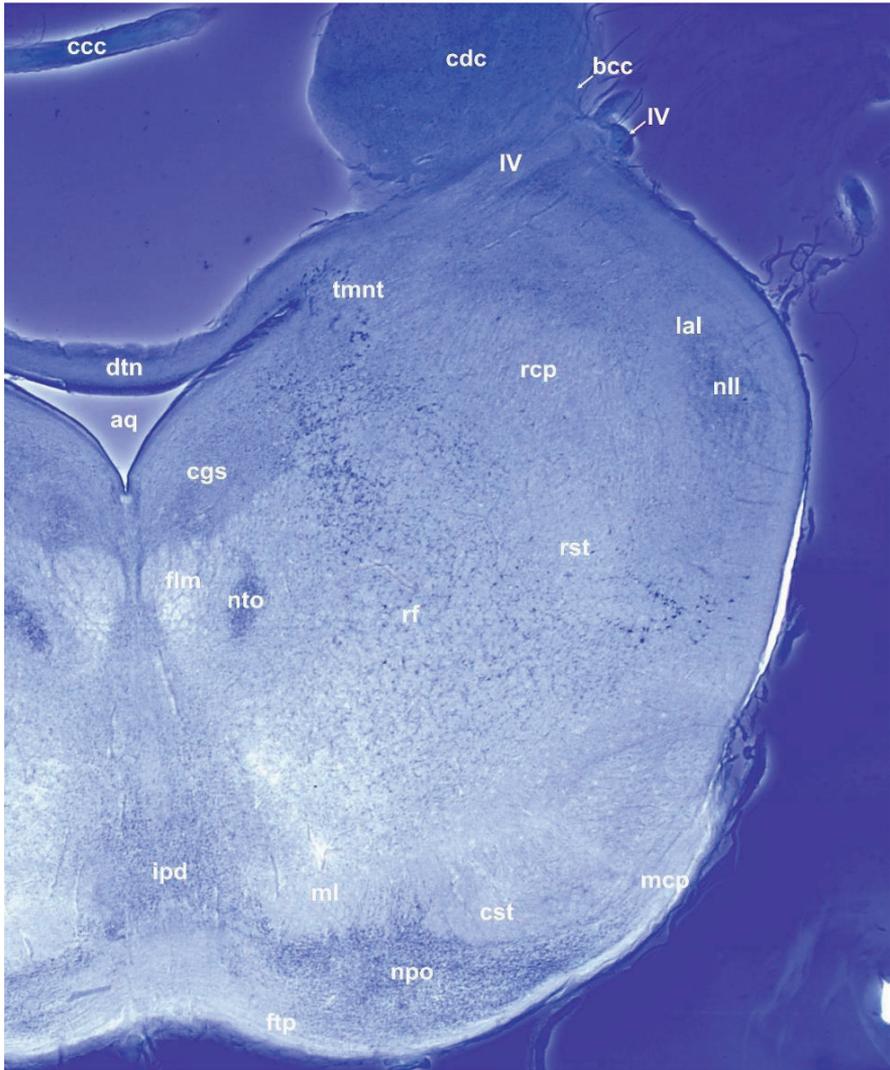


Abb. 18A: Transversales MRT-Bild des Pferdegehirns auf Höhe der Commissura colliculi caudales.

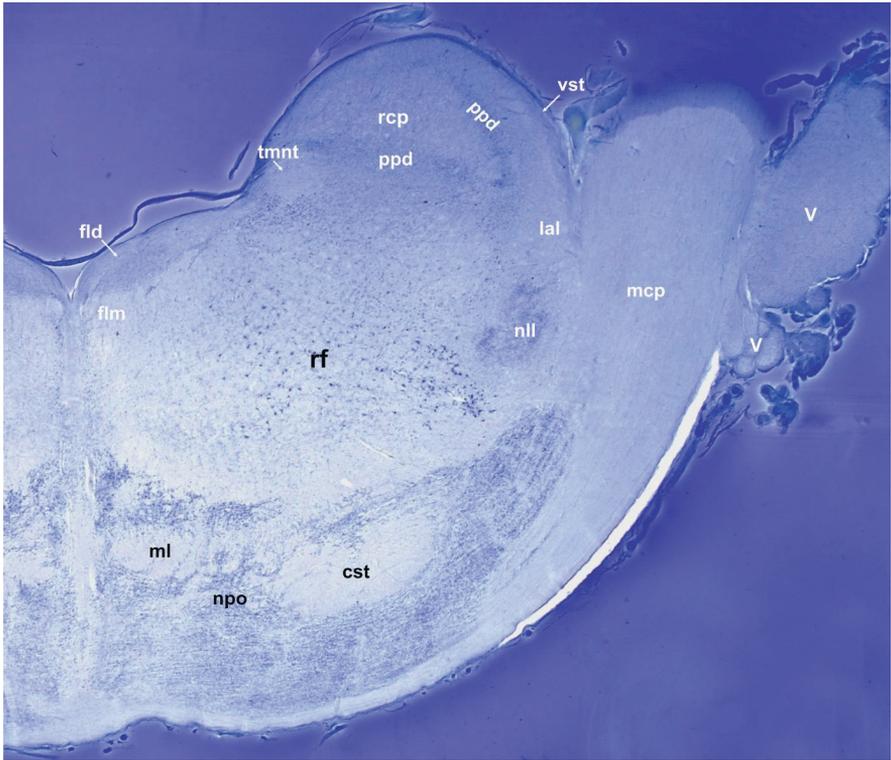
aq: Aqueductus mesencephali, bcc: Brachium colliculi caudalis, ccc: Commissura colliculi caudalis, cdc: Colliculus caudalis, cgs: Substantia grisea centralis, cl: Lobulus centralis, crt: Tractus cerebello-rubro-thalamicus, cu: Culmen, Ecs: Sulcus ectosylvius, Ectm: Sulcus ectomarginalis, Enm: Sulcus endomarginalis, Espl: Sulcus ectosplenialis, flm: Fasciculus longitudinalis medialis, ftp: Fibrae transversae pontis, ipd: Nucleus interpeduncularis, lal: Lemniscus lateralis, mar: Gyrus marginalis, Mar: Sulcus marginalis, mcp: Pedunculus cerebellaris medialis, ml: Lemniscus medialis, nca: Nucleus compactus centralis, npo: Nuclei pontis, nto: Nucleus nervus trochlearis, rcp: Pedunculus cerebellaris rostralis, rf: Formatio reticularis, Rfi: Fissura rhinalis lateralis, Spl: Sulcus splenialis, Sss: Sulcus suprasylvius, stse: Stratum sagittale externum, stsi: Stratum sagittale internum, tmnt: Tractus mesencephalicus nervi trigemini, V: Nervus trigeminus.



**Abb. 18B:** Transversales histologisches Schnittbild des Pferdegehirns auf Höhe der Colliculi caudales.

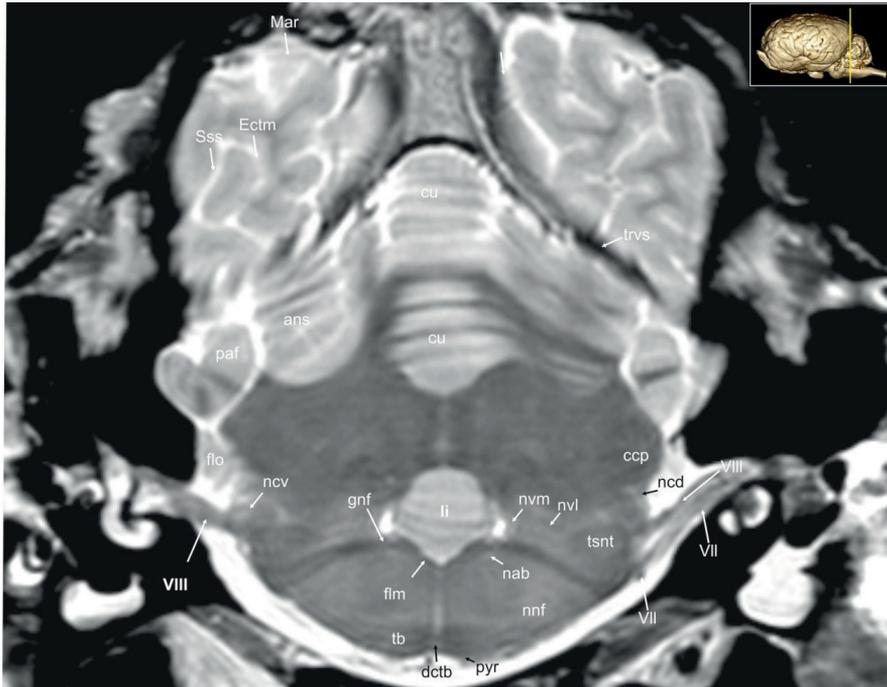
aq: Aquaeductus mesencephali, bcc: Brachium colliculi caudalis, ccc: Commissura colliculi caudalis, cdc: Colliculus caudalis, cgs: Substantia grisea centralis, cst: Tractus corticospinalis, dtn: Decussatio nervorum trochlearium, flm: Fasciculus longitudinalis medialis, ftp: Fibrae transversae pontis, ipd: Nucleus interpeduncularis, lal: Lemniscus lateralis, mcp: Pedunculus cerebellaris medius, ml: Lemniscus medialis, nll: Nuclei lemnisci lateralis, npo: Nuclei pontis, nto: Nucleus nervus trochlearis, rcp: Pedunculus cerebellaris rostralis, rf: Formatio reticularis, rst: Tractus rubrospinalis, tmnt: Tractus mesencephalicus nervi trigemini, IV: Nervus trochlearis, VI: Nervus abducens.



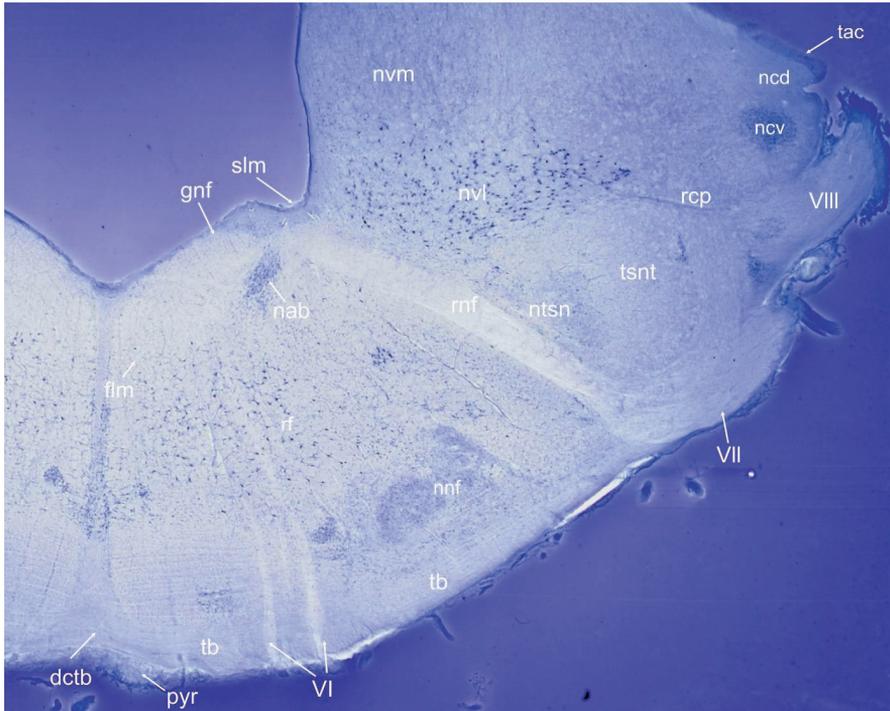


**Abb. 19B:** Transversales histologisches Schnittbild des Pferdegehirns auf Höhe des Pedunculus cerebellaris rostralis.

cst: Tractus corticospinalis, fld: Fasciculus longitudinalis dorsalis, flm: Fasciculus longitudinalis medialis, lal: Lemniscus lateralis, mcp: Pedunculus cerebellaris medialis, ml: Lemniscus medialis, nll: Nucleus lemnisci lateralis, npo: Nuclei pontis, ppd: Nuclei parapedunculares, rcp: Pedunculus cerebellaris rostralis, rf: Formatio reticularis, tmnt: Tractus mesencephalicus nervi trigemini, vst: Tractus vestibulospinalis, V: Nervus trigeminus.

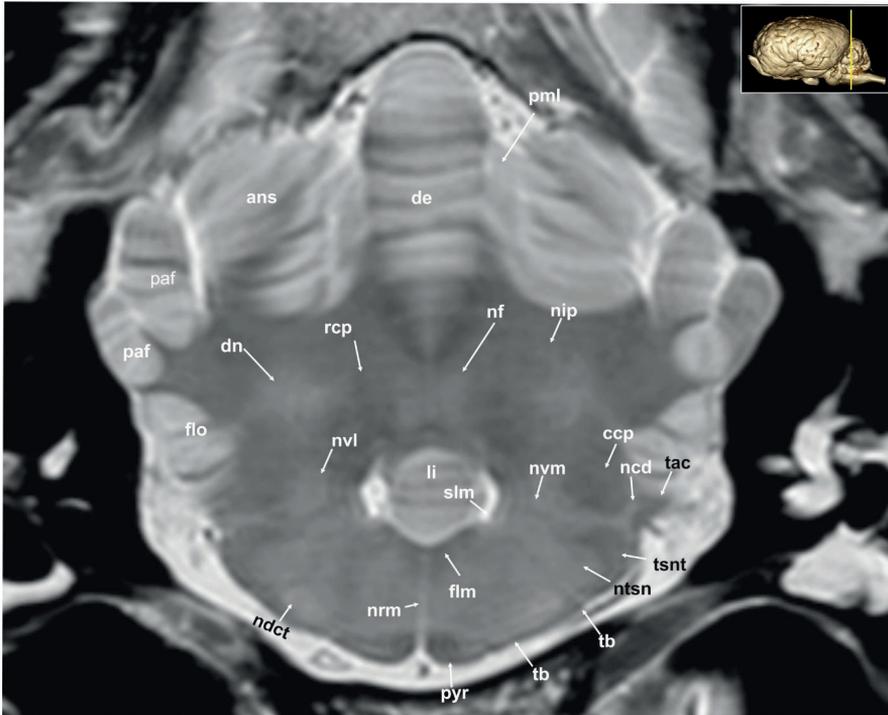


**Abb. 20A:** Transversales MRT-Bild des Pferdegehirns auf der Höhe des Genu nervi facialis.  
 ans: Lobulus ansiformis, ccp: Pedunculus cerebellaris caudalis, cu: Culmen, dctb: Decussatio trapezoideum, Ectm: Sulcus ectomarginalis, flm: Fasciculus longitudinalis medialis, flo: Flocculus, gnf: Genu nervi facialis, li: Lingula vermis, Mar: Sulcus marginalis, nab: Nucleus nervi abducentis, ncd: Nucleus cochlearis dorsalis, ncv: Nucleus cochlearis ventralis, nnf: Nucleus nervi facialis, nvl: Nuclei vestibulares laterales, nvm: Nucleus vestibularis medialis, paf: Paraflocculus, pyr: Tractus pyramidalis, Sss: Sulcus suprasylvius, tb: Corpus trapezoideum, trvs: Sinus transversus, tsnt: Tractus spinalis nervi trigemini, VII: Nervus facialis, VIII: Nervus vestibulocochlearis.

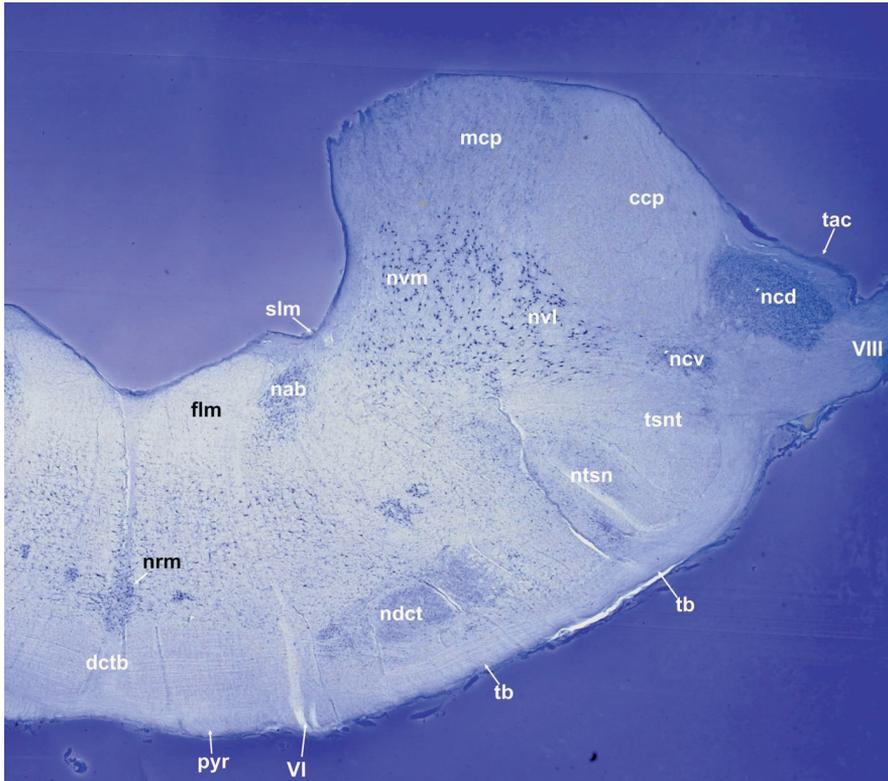


**Abb. 20B:** Transversales histologisches Schnittbild des Pferdegehirns auf Höhe des Genu nervi facialis.

dctb: Decussatio trapezoideum, flm: Fasciculus longitudinalis medialis, gnf: Genu nervi facialis, nab: Nucleus nervi abducentis, ncd: Nucleus cochlearis dorsalis, ncv: Nucleus cochlearis ventralis, nnf: Nucleus nervi facialis, ntsn: Nucleus tractus spinalis nervi trigemini, nvl: Nuclei vestibulares laterales, nvm: Nucleus vestibularis medialis, pyr: Tractus pyramidalis, rcp: Pedunculus cerebellaris rostralis, rf: Formatio reticularis, rnf: Radix nervi facialis, slm: Sulcus limitans, tac: Tuberculum acusticum, tb: Corpus trapezoideum, tsnt: Tractus spinalis nervi trigemini, VI: Nervus abducens, VII: Nervus facialis, VIII: Nervus vestibulocochlearis.

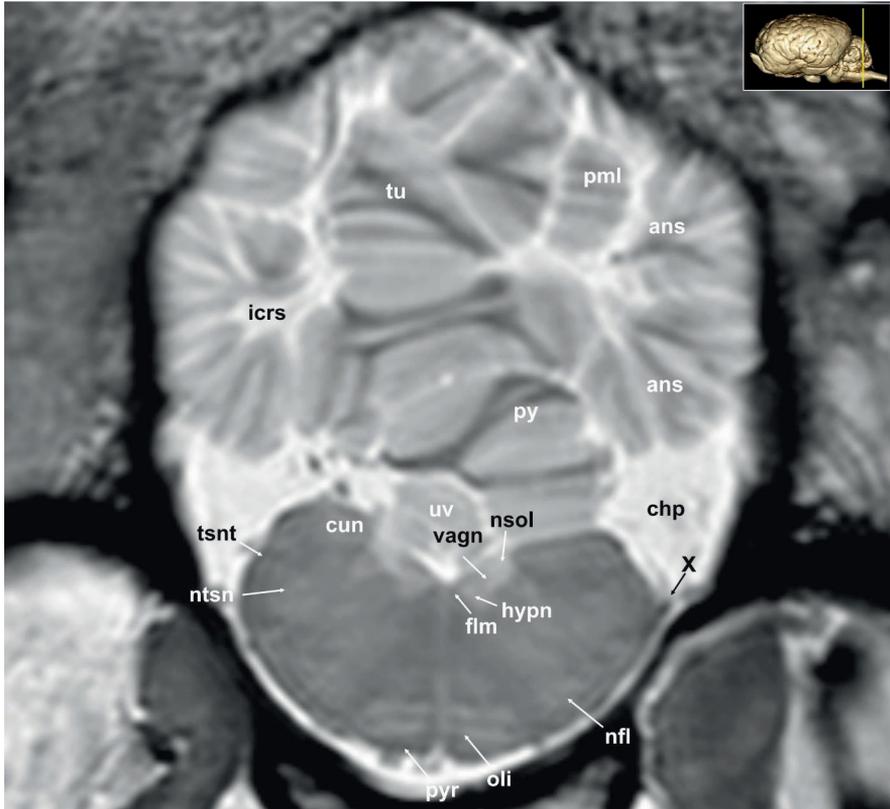


**Abb. 21A:** Transversales MRT-Bild des Pferdegehirns auf Höhe des Tuberculum acusticum. ans: Lobulus ansiformis, ccp: Pedunculus cerebellaris caudalis, de: Declive vermis, flm: Fasciculus longitudinalis medialis, flo: Flocculus, li: Lingula vermis, ncd: Nucleus cochlearis dorsalis, nd: Nucleus dentatus, ndct: Nucleus dorsalis corpus trapezoidei, nf: Nucleus fastigii, nip: Nucleus interpositus, nrm: Nucleus raphe medianus, ntsn: Nucleus tractus spinalis nervi trigemini, nvl: Nuclei vestibulares laterales, nvm: Nucleus vestibularis medialis, paf: Paraflocculus, pml: Lobulus paramedianus, py: Pyramis vermis, rcp: Pedunculus cerebellaris rostralis, slm: Sulcus limitans, tac: Tuberculum acusticum, tb: Corpus trapezoideum, tsnt: Tractus spinalis nervi trigemini.



**Abb. 21B:** Transversales histologisches Schnittbild des Pferdehirns auf Höhe des Tuberculum acusticum.

ccp: Pedunculus cerebellaris caudalis, dctb: Decussatio trapezoideum, flm: Fasciculus longitudinalis medialis, mcp: Pedunculus cerebellaris medialis, nab: Nucleus nervi abducentis, ncd: Nucleus cochlearis dorsalis, ncv: Nucleus cochlearis ventralis, ndct: Nucleus dorsalis corpus trapezoidei, nrm: Nucleus raphe medianus, ntsn: Nucleus tractus spinalis nervi trigemini, nvl: Nuclei vestibulares laterales, nvm: Nucleus vestibularis medialis, pyr: Tractus pyramidalis, slm: Sulcus limitans, tac: Tuberculum acusticum, tb: Corpus trapezoideum, tsnt: Tractus spinalis nervi trigemini, VI: Nervus abducens, VIII: Nervus vestibulocochlearis.



**Abb. 22A:** Transversales MRT-Bild des Pferdegehirns auf Höhe des Nucleus cuneatus.  
 ans: Lobulus ansiformis, chp: Plexus choroideus, cun: Nucleus cuneatus, flm: Fasciculus longitudinalis medialis, hypn: Nucleus nervi hypoglossi, icrs: Sulcus intercruralis, nfl: Nucleus fasciculi lateralis, nsol: Nucleus tractus solitarii, ntsn: Nucleus tractus spinalis nervi trigemini, oli: Nucleus olivaris caudalis, pml: Lobulus paramedianus, py: Pyramis vermis, pyr: Tractus pyramidalis, tsnt: Tractus spinalis nervi trigemini, tu: Tuber vermis, uv: Uvula vermis, vagn: Nucleus nervi vagi, X: Nervus vagus.

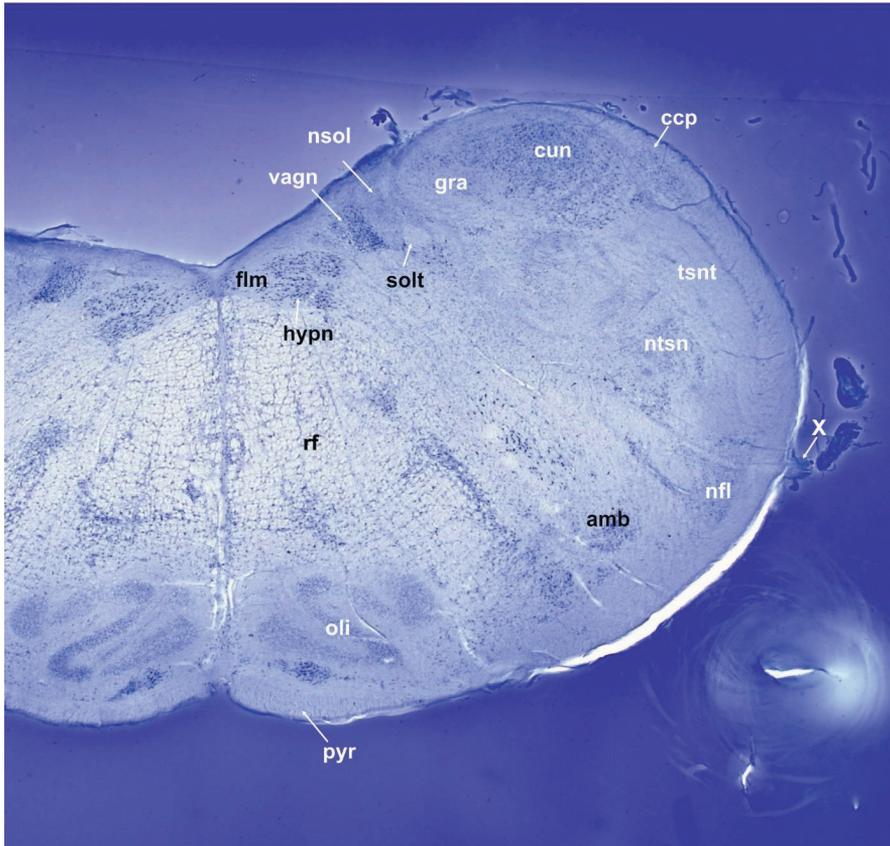


Abb. 22B: Transversales histologisches Schnittbild des Pferdegehirns auf Höhe des Nucleus cuneatus.

amb: Nucleus ambiguus, ccp: Pedunculus cerebellaris caudalis, cun: Nucleus cuneatus, flm: Fasciculus longitudinalis medialis, gra: Nucleus gracilis, hypn: Nucleus nervi hypoglossi, nfi: Nucleus fasciculi lateralis, nsol: Nucleus tractus solitarii, ntsn: Nucleus tractus spinalis nervi trigemini, oli: Nucleus olivaris caudalis, pyr: Tractus pyramidalis, rf: Formatio reticularis, solt: Tractus solitarius, tsnt: Tractus spinalis nervi trigemini, vagn: Nucleus nervi vagi, X: Nervus vagus.

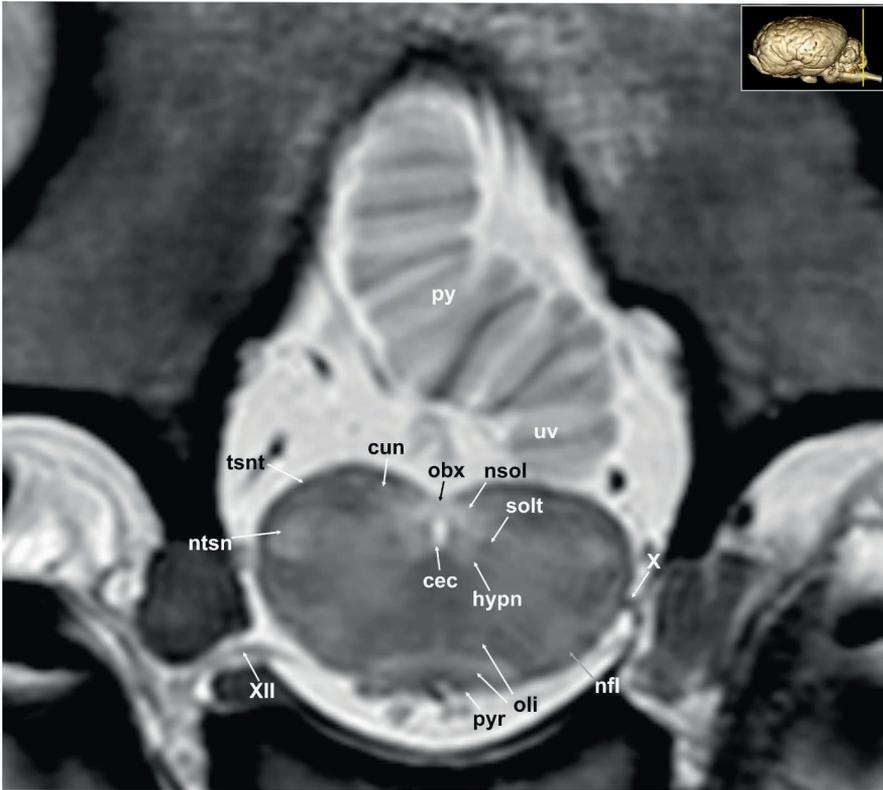
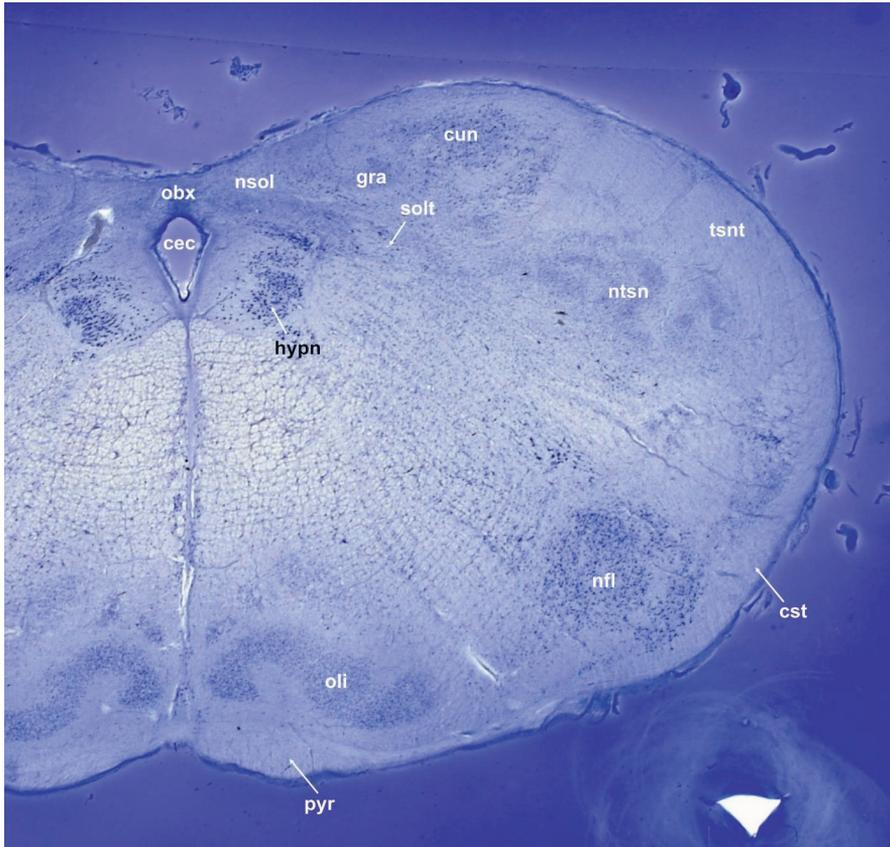


Abb. 23A: Transversales MRT-Bild des Pferdegehirns auf Höhe des Obex.

cec: Canalis centralis, cun: Nucleus cuneatus, hypn: Nucleus nervi hypoglossi, nfl: Nucleus fasciculi lateralis, nsol: Nucleus tractus solitarii, ntsn: Nucleus tractus spinalis nervi trigemini, obx: Obex, oli: Nucleus olivaris caudalis, py: Pyramis vermis, pyr: Tractus pyramidalis, solt: Tractus solitarius, tsnt: Tractus spinalis nervi trigemini, uv: Uvula vermis, X: Nervus vagus, XII: Nervus hypoglossus.



**Abb. 23B:** Transversales histologisches Schnittbild des Pferdegehirns auf der Höhe des Obex.  
cec: Canalis centralis, cst: Tractus corticospinalis, cun: Nucleus cuneatus, gra: Nucleus gracilis,  
hypn: Nucleus nervi hypoglossi, nfl: Nucleus fasciculi lateralis, nsol: Nucleus tractus solitarii,  
ntsn: Nucleus tractus spinalis nervi trigemini, obx: Obex, oli: Nucleus olivaris caudalis, pyr:  
Tractus pyramidalis, solt: Tractus solitarius, tsnt: Tractus spinalis nervi trigemini.

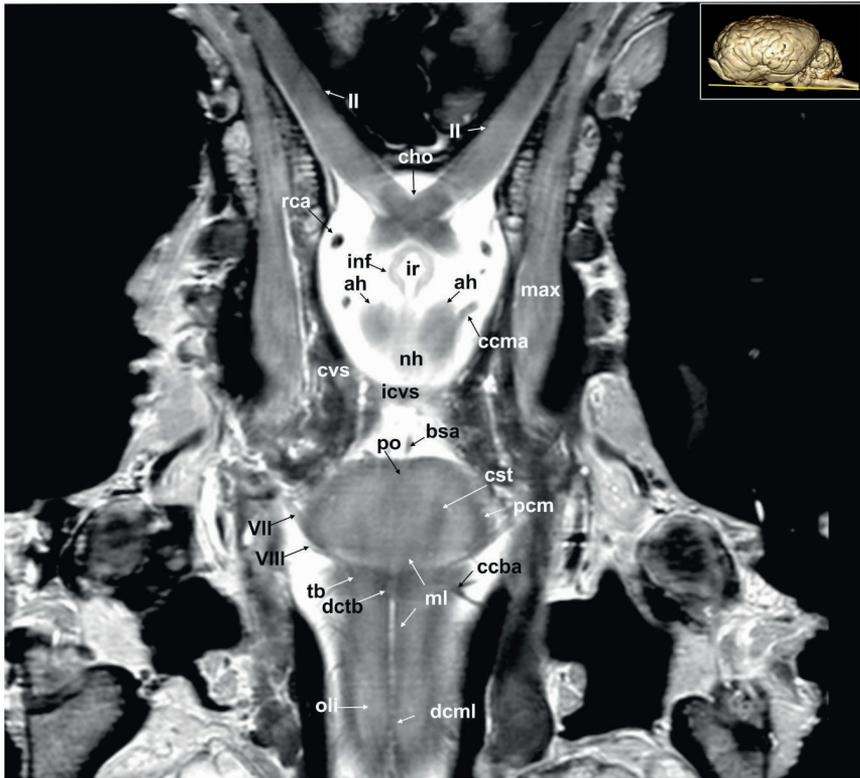


Abb. 24: Dorsales MRT-Bild des Pferdegehirns auf der Höhe des Chiasma opticum.

ah: Adenohypophysis, bsa: Arteria basilaris, ccba: Arteria cerebelli caudalis, ccma: Arteria communicans caudalis, cho: Chiasma opticum, cst: Tractus corticospinalis, cvs: Sinus cavernosus, dcml: Decussatio lemniscorum medialis, dctb: Decussatio trapezoideum, icvs: Sinus intercavernosus, inf: Pars infundibularis, ir: Recessus infundibularis, max: Nervus maxillaris, ml: Lemniscus medialis, nh: Neurohypophysis, oli: Nucleus olivaris caudalis, pcm: Pedunculus corporis mamillaris, po: Pons, rca: Arteria cerebri rostralis, tb: Corpus trapezoideum, II: Nervus opticus, VII: Nervus facialis, VIII: Nervus vestibulocochlearis.

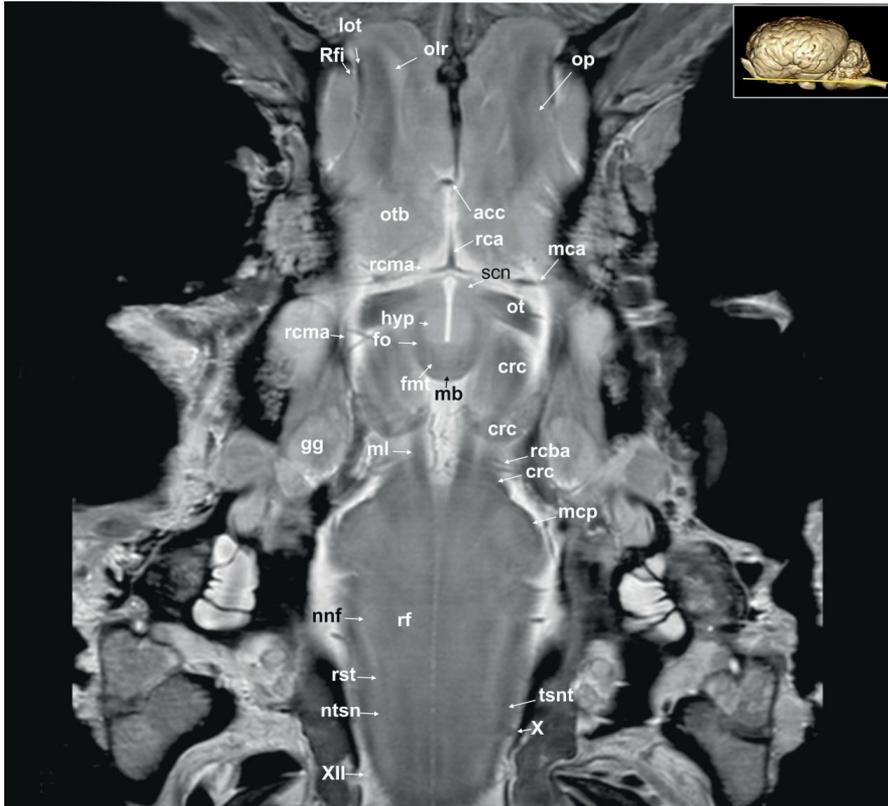


Abb. 25: Dorsales MRT-Bild des Pferdegehirns auf der Höhe des Corpus mamillare.

acc: Arteria corporis callosi, crc: Crus cerebri, fnt: Fasciculus mamillo-thalamicus, fo: Fornix, gg: Ganglion trigeminale, hyp: Hypothalamus, lot: Tractus olfactorius lateralis, mb: Corpus mamillare, mca: Arteria cerebralis medialis, mcp: Pedunculus cerebellaris medialis, ml: Lemniscus medialis, nnf: Nucleus nervi facialis, ntsn: Nucleus tractus spinalis nervi trigemini, olr: Recessus olfactorius, op: Pedunculus olfactorius, ot: Tractus opticus, otb: Tuberculum olfactorium, rca: Arteria cerebri rostralis, rcba: Arteria cerebellaris rostralis, rcma: Arteria communicans rostralis, rf: Formatio reticularis, rst: Tractus rubrospinalis, scn: Nucleus supracommissuralis, tsnt: Tractus spinalis nervi trigemini, X: Nervus vagus, XII: Nervus hypoglossus.

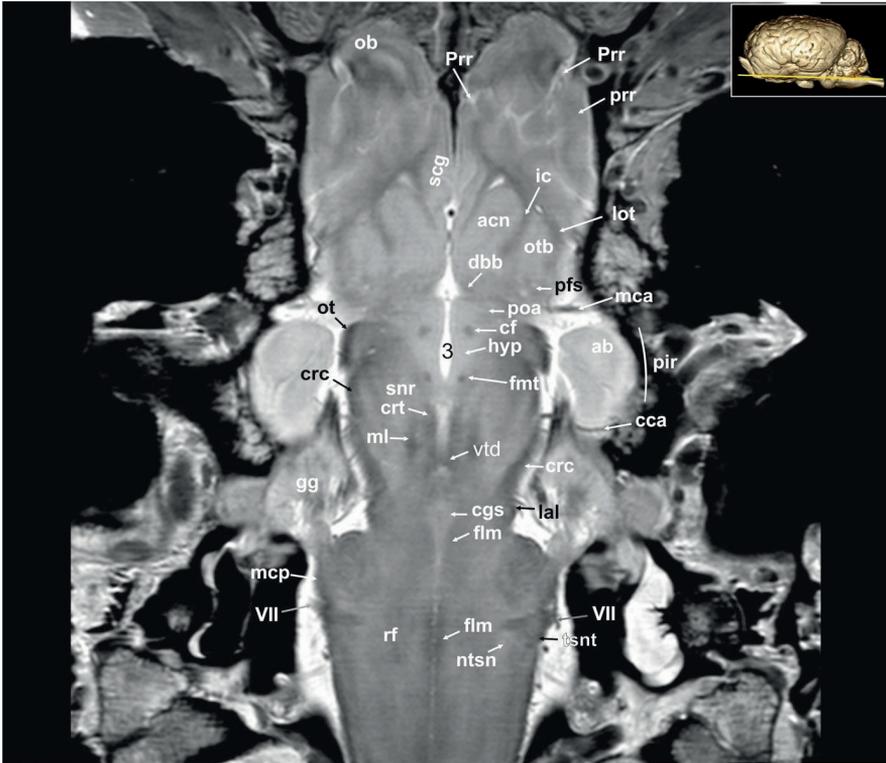


Abb. 26: Dorsales MRT-Bild des Pferdegehirns auf Höhe des Nucleus accumbens.

ab: Corpus amygdaloideum, acn: Nucleus accumbens, cca: Arteria cerebri caudalis, cf: Columna fornicis, cgs: Substantia grisea centralis, crc: Crus cerebri, crt: Tractus cerebello-rubro-thalamicus, dbb: Stria diagonalis, flm: Fasciculus longitudinalis medialis, fmt: Fasciculus mamillo-thalamicus, gg: Ganglion trigeminale, hyp: Hypothalamus, ic: Capsula interna, lal: Lemniscus lateralis, lot: Tractus olfactorius lateralis, mca: Arteria cerebri medialis, mcp: Pedunculus cerebellaris medialis, ml: Lemniscus medialis, ntsn: Nucleus tractus spinalis nervi trigemini, ob: Bulbus olfactorius, ot: Tractus opticus, otb: Tuberculum olfactorium, pfs: Substantia perforata, pir: Lobus piriformis, poa: Area praeoptica, Prr: Sulcus proreus, prr: Gyrus proreus, rf: Formatio reticularis, scg: Gyrus subcallosus, snr: Substantia nigra, tsnt: Tractus spinalis nervi trigemini, vtd: Decussatio tegmentalis ventralis, VII: Nervus facialis, 3: Ventriculus tertius.



Abb. 27: Dorsales MRT-Bild des Pferdegehirns auf der Höhe der Lingula cerebelli.

ab: Corpus amygdaloideum, acc: Arteria corporis callosi, acn: Nucleus accumbens, alv: Alveus, cam: Cornu ammonis, cca: Arteria cerebri caudalis, cf: Columna fornicis, chp: Plexus choroideus, crc: Crus cerebri, drp: Decussatio pedunculorum cerebellarium rostrarium, flm: Fasciculus longitudinalis medialis, fnt: Fasciculus mamillo-thalamicus, gg: Ganglion trigeminale, gnf: Genu nervi facialis, li: Lingula vermis, mca: Arteria cerebralis medialis, mcp: Pedunculus cerebellaris medialis, ml: Lemniscus medialis, nab: Nucleus nervi abducentis, nvm: Nucleus vestibularis medialis, ob: Bulbus olfactorius, olf: Filae olfactoriae, olr: Recessus olfactorius, ot: Tractus opticus, phg: Gyrus parahippocampalis, Prr: Sulcus proreus, put: Putamen, rc: Commissura rostralis, rcp: Pedunculus cerebellaris rostralis, Rfi: Fissura rhinalis lateralis, rsn: Radix sensoria nervus trigeminus, X: Nervus vagus, 3 Ventriculus tertius.

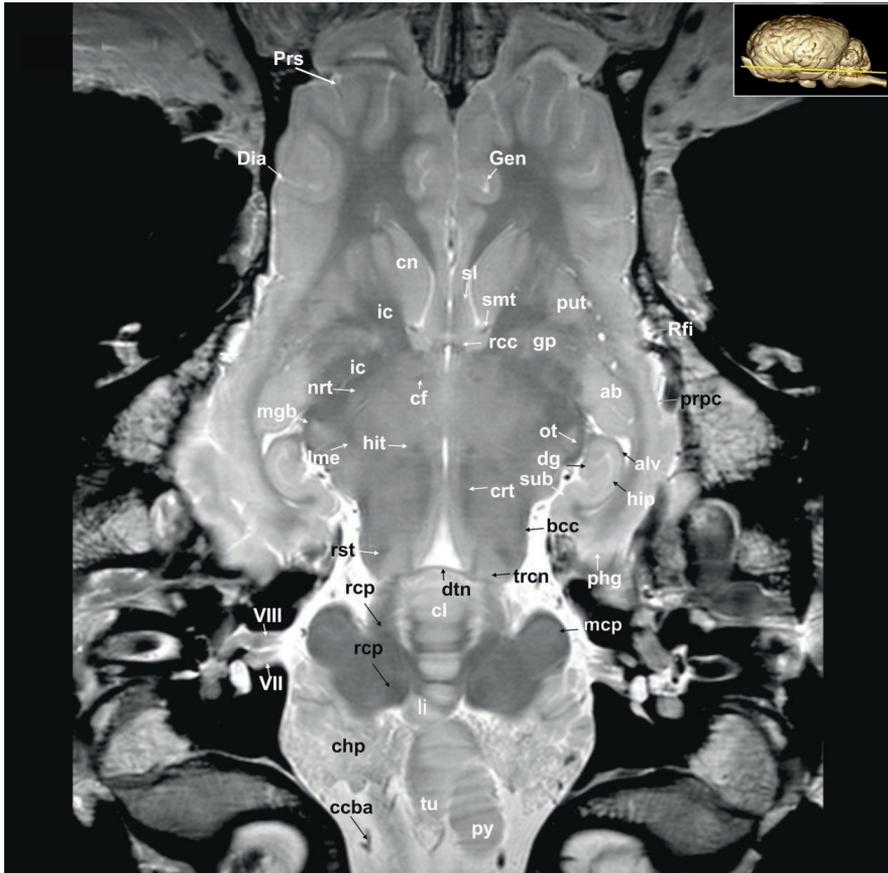


Abb. 28: Dorsales MRT-Bild des Pferdegehirns auf der Höhe der Nuclei septales.

ab: Corpus amygdaloideum, alv: Alveus, bcc: Brachium colliculi caudalis, ccba: Arteria cerebelli caudalis, cf: Columna fornicis, chp: Plexus choroideus, cl: Lobulus centralis, cn: Nucleus caudatus, crt: Tractus cerebello-rubro-thalamicus, dg: Gyrus dentatus, Dia: Sulcus diagonalis (Neocortex), dtn: Decussatio nervorum trochlearium, Gen: Sulcus genualis, gp: Globus pallidus, hip: Hippocampus proper, hit: Tractus habenulo-interpeduncularis, ic: Capsula interna, li: Lingula vermis, lme: Lamina medullaris externa, mcp: Pedunculus cerebellaris medialis, mgb: Corpus geniculatum mediale, nrt: Nucleus reticularis thalami, ot: Tractus opticus, phg: Gyrus parahippocampalis, prpc: Cortex praepiriformis, Prs: Sulcus praesylius, put: Putamen, py: Pyramis vermis, rcc: Radiatio corporis callosi, rcp: Pedunculus cerebellaris rostralis, Rfi: Fissura rhinalis lateralis, rst: Tractus rubrospinalis, sl: Nuclei septales laterales, smt: Stria medullaris thalami, sub: Subiculum, trcn: Nucleus trochlearis, tu: Tuber vermis, VII: Nervus facialis, VIII: Nervus vestibulocochlearis.

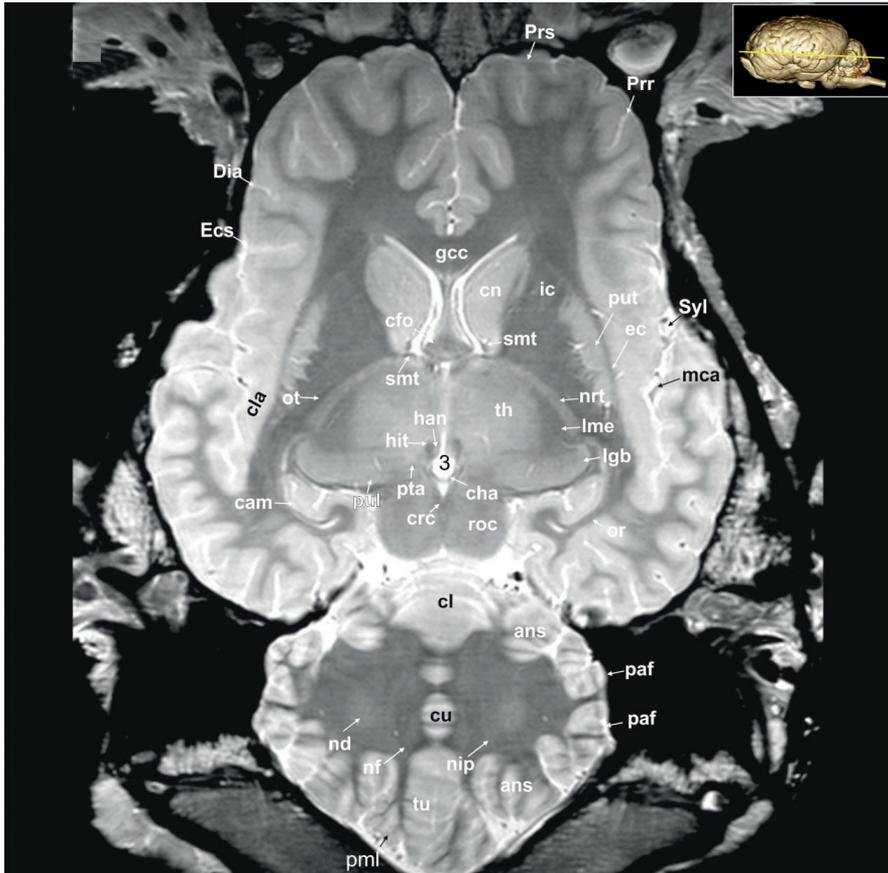


Abb. 29: Dorsales MRT-Bild des Pferdegehirns auf der Höhe der Colliculi rostrales.

ans: Lobulus ansiformis, cam: Cornu ammonis, cfo: Corpus fornicis, cha: Commissura habenularum, cl: Lobulus centralis, cla: Claustrum, cn: Nucleus caudatus, crc: Crus cerebri, cu: Culmen, Dia: Sulcus diagonalis (Neocortex), ec: Capsula externa, Ecs: Sulcus ectosylvius, gcc: Genu corporis callosi, han: Nuclei habenulares, hit: Tractus habenulo-interpeduncularis, ic: Capsula interna, lgb: Corpus geniculatum laterale, lme: Lamina medullaris externa, mca: Arteria cerebialis medialis, nd: Nucleus dentatus, nf: Nucleus fastigii, nip: Nucleus interpositus, nrt: Nucleus reticularis thalami, or: Radiatio optica, ot: Tractus optica, paf: Paraflocculus, pml: Lobulus paramedianus, Prr: Sulcus proreus, Prs: Sulcus praesylvius, pta: Area praetectalis, pul: Pulvinar, put: Putamen, roc: Colliculus rostralis, smt: Stria medullaris thalami, Syl: Fissura sylvii, th: Thalamus, tu: Tuber vermis, 3: Ventriculus tertius.

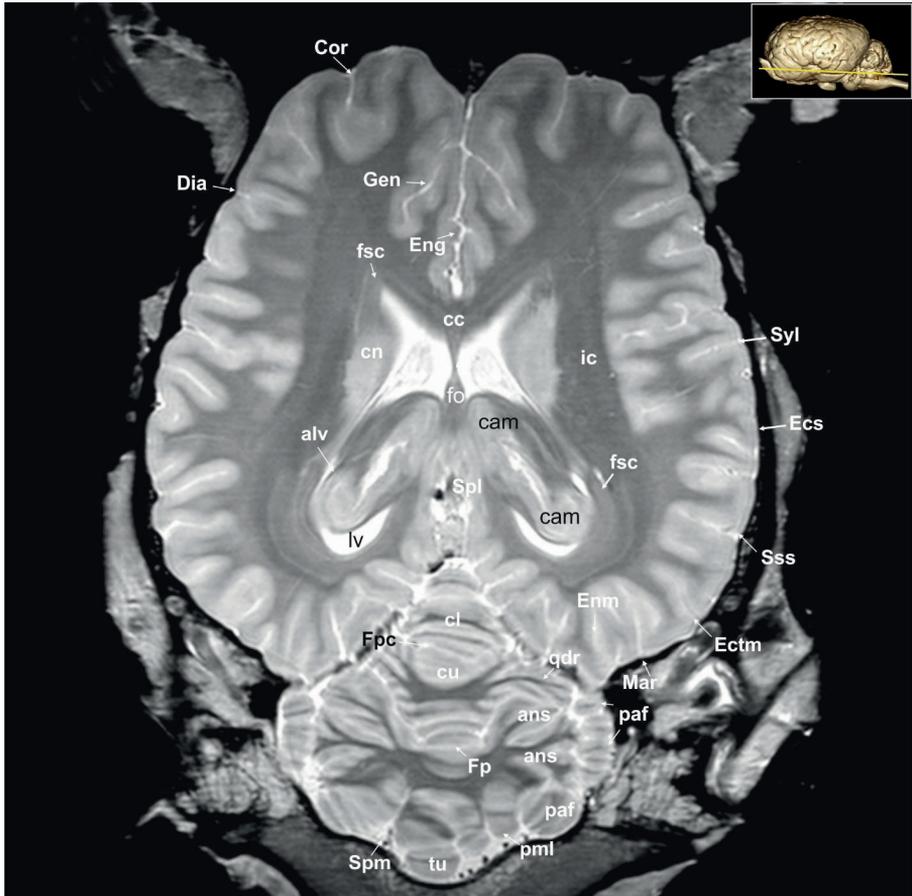


Abb. 30: Dorsales MRT-Bild des Pferdegehirns auf der Höhe der Zirbeldrüse.

alv: Alveus, ans: Lobulus ansiformis, cam: Cornu ammonis, cc: Corpus callosum, cl: Lobulus centralis, cn: Nucleus caudatus, Cor: Sulcus coronalis, cu: Culmen, Dia: Sulcus diagonalis (Neocortex), Ecs: Sulcus ectosylvius, Ectm: Sulcus ectomarginalis, Eng: Sulcus endogenualis, Enm: Sulcus endomarginalis, fo: Fornix, Fp: Fissura prima, Fpc: Fissura praeculminata, fsc: Fasciculus subcallosus, Gen: Sulcus genualis, ic: Capsula interna, lv: Ventriculus lateralis, Mar: Sulcus marginalis, paf: Paraflocculus, pml: Lobulus paramedianus, qdr: Lobulus quadrangularis, Spl: Sulcus splenialis, Spm: Sulcus paramedianus, Sss: Sulcus suprasylvius, Syl: Fissura sylvii, tu: Tuber vermis.



Abb. 31: Dorsales MRT-Bild des Pferdegehirns auf der Höhe des Gyrus cinguli.

ans: Lobulus ansiformis, cig: Gyrus cinguli, cin: Cingulum, Cor: Sulcus coronalis, Cru: Sulcus cruciatus, cu: Culmen, de: Declive vermis, Dia: Sulcus diagonalis (Neocortex), ecs: Gyrus ectosylvius, Ecs: Sulcus ectosylvius, Ectm: Sulcus ectomarginalis, Enm: Sulcus endomarginalis, Flc: Fissura longitudinalis cerebri, Mar: Sulcus marginalis, obl: Gyrus obliquus, Obl: Sulcus obliquus, or: Radiatio optica, paf: Paraflocculus, Spl: Sulcus splenialis, Sspl: Sulcus suprasplenialis, Sss: Sulcus suprasylvius, tu: Tuber vermis.



**Abb. 32:** Dorsales MRT-Bild des Pferdegehirns auf der Höhe des Gyrus splenialis.  
 cig: Gyrus cinguli, Cor: Sulcus coronalis, Cru: Sulcus cruciatus, Ecs: Sulcus ectosylvius, Ectm: Sulcus ectomarginalis, ectm: Gyrus ectomarginalis, Enm: Sulcus endomarginalis, enm: Gyrus endomarginalis, Flc: Fissura longitudinalis cerebri, Mar: Sulcus marginalis, mar: Gyrus marginalis, Spl: Sulcus splenialis, Sspl: Sulcus suprasplenialis, Sss: Sulcus suprasylvius.

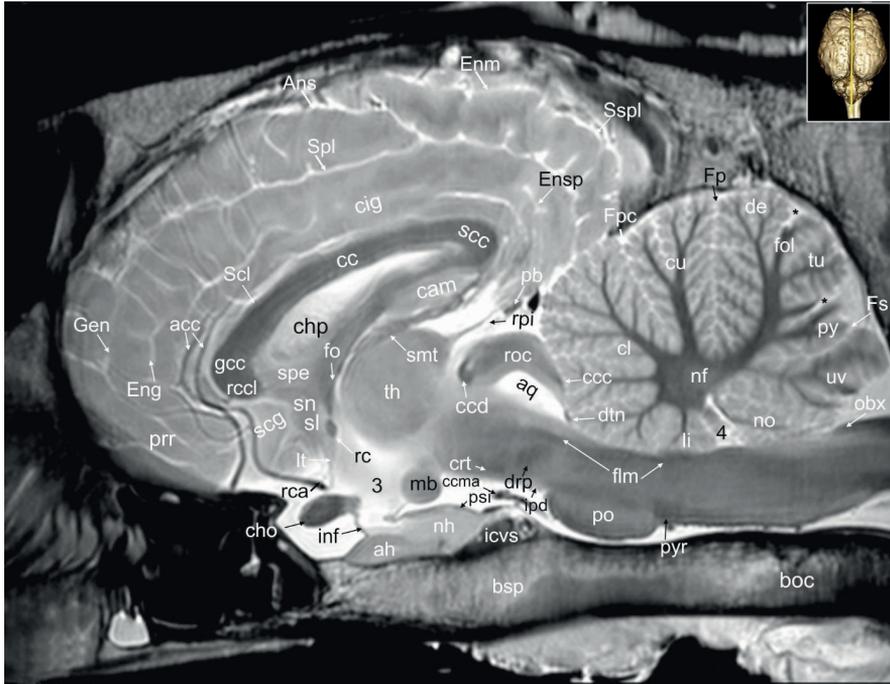


Abb. 33: Mid-sagittales MRT-Bild des Pferdegehirns.

acc: Arteria corporis callosi, ah: Adenohypophysis, Ans: Sulcus ansatus, aq: Aquaeductus mesencephali, boc: Os basilare, bsp: Os basisphenoidale, cam: Cornu ammonis, cc: Corpus callosum, ccc: Commissura colliculi caudalis, ccd: Commissura caudalis, ccma: Arteria comica, cho: Chiasma opticum, chp: Plexus choroideus, cig: Gyrus cinguli, cl: Lobulus centralis, crt: Tractus cerebello-rubro-thalamicus, cu: Culmen, de: Declive vermis, drp: Decussatio pedunculorum cerebellarium rostrale, dtn: Decussatio nervorum trochlearium, Eng: Sulcus endogenuus, Enm: Sulcus endomarginalis, Ensp: Sulcus endosplenialis, flm: Fasciculus longitudinalis medialis, fo: Fornix, fol: Folium vermis, Fp: Fissura prima, Fpc: Fissura praeculminata, Fs: Fissura secunda, gcc: Genu corporis callosi, Gen: Sulcus genualis, icvs: Sinus intercavernosus, inf: Pars infundibularis, ipd: Nucleus interpeduncularis, li: Lingula vermis, lt: Lamina terminalis, mb: Corpus mamillare, nf: Nucleus fastigii, nh: Neurohypophysis, no: Nodus vermis, obx: Obex, pb: Glandula pinealis, po: Pons, prr: Gyrus proreus, psi: Pars intermedia glandulae pituitariae, py: Pyramis vermis, pyr: Tractus pyramidalis, rc: Commissura rostralis, rca: Arteria cerebri rostralis, rccl: Rostrum corporis callosi, roc: Colliculus rostralis, rpi: Recessus pinealis, scc: Splenium corporis callosi, scg: Gyrus subcallosus, Scl: Sulcus corporis callosi, sl: Nuclei septales laterales, smt: Stria medullaris thalami, sn: Nuclei septales, no: Nodus vermis, Spl: Sulcus splenialis, Sspl: Sulcus suprasplenialis, th: Thalamus, tu: Tuber vermis, uv: Uvula vermis, 3: Ventriculus tertius, 4: Ventriculus quartus, \* keine Foliae über Markstahlen.

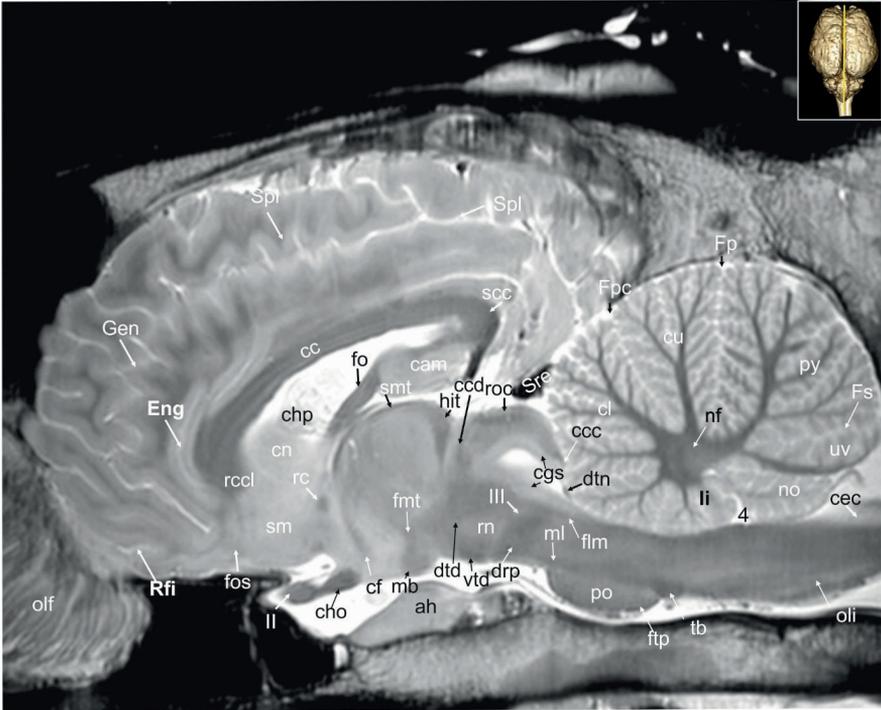
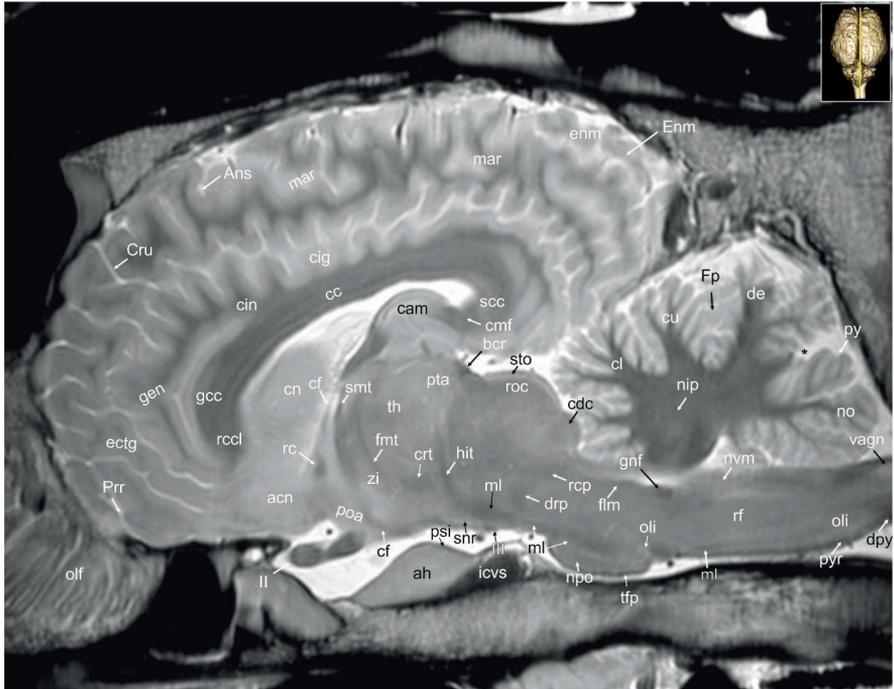


Abb. 34: Sagittales MRT-Bild des Pferdegehirns auf Höhe der Columna fornicis.

ah: Adenohypophysis, cam: Cornu ammonis, cc: Corpus callosum, ccc: Commissura colliculi caudalis, ccd: Commissura caudalis, cec: Canalis centralis, cf: Columna fornicis, cgs: Substantia grisea centralis, cho: Chiasma opticum, chp: Plexus choroideus, cl: Lobulus centralis, cn: Nucleus caudatus, cu: Culmen, drp: Decussatio pedunculorum cerebellarium rostrale, dtd: Decussatio tegmentalis dorsalis, dtn: Decussatio nervorum trochlearium, Eng: Sulcus endogenualis, flm: Fasciculus longitudinalis medialis, fmt: Fasciculus mamillo-thalamicus, fo: Fornix, fos: Fibrae olfacto-septalis, Fp: Fissura prima, Fpc: Fissura praeculminata, Fs: Fissura secunda, ftp: Fibrae transversae pontis, Gen: Sulcus genualis, hit: Tractus habenulo-interpeduncularis, li: Lingula vermis, mb: Corpus mamillare, ml: Lemniscus medialis, nf: Nucleus fastigii, no: Nodulus vermis, olf: Filae olfactoriae, oli: Nucleus olivaris caudalis, po: Pons, py: Pyramis vermis, rc: Commissura rostralis, rccl: Rostrum corporis callosi, Rfi: Fissura rhinalis lateralis, rn: Nucleus ruber, roc: Colliculus rostralis, scc: Splenium corporis callosi, sm: Nuclei septales mediales, smt: Stria medullaris thalami, Spl: Sulcus splenialis, Sre: Sinus rectus, tb: Corpus trapezoideum, uv: Uvula vermis, vtd: Decussatio tegmentalis ventralis, II: Nervus opticus, III: Nervus oculomotorius, 4: Ventriculus quartus.



**Abb. 35: Sagittales MRT-Bild des Pferdegehirns auf Höhe des Tractus habenulo-interpeduncularis.**

acn: Nucleus accumbens, ah: Adenohypophysis, Ans: Sulcus ansatus, bcr: Brachium colliculi rostralis, cam: Cornu ammonis, cc: Corpus callosum, cdc: Colliculus caudalis, cf: Columna fornicis, cig: Gyrus cinguli, cin: Cingulum, cl: Lobulus centralis, cmf: Commissura fornicis, cn: Nucleus caudatus, crt: Tractus cerebello-rubro-thalamicus, Cru: Sulcus cruciatus, cu: Culmen, de: Declive vermis, dpy: Decussatio pyramidalis, drp: Decussatio pedunculorum cerebellarium rostralis, ectg: Gyrus ectogenualis, enm: Gyrus endomarginalis, Enm: Sulcus endomarginalis, flm: Fasciculus longitudinalis medialis, fmt: Fasciculus mamillo-thalamicus, Fp: Fissura prima, gcc: Genu corporis callosi, gen: Gyrus genualis, gnf: Genu nervi facialis, hit: Tractus habenulo-interpeduncularis, icvs: Sinus intercavernosus, mar: Gyrus marginalis, ml: Lemniscus medialis, nip: Nucleus interpositus, no: Nodulus vermis, npo: Nuclei pontis, nvm: Nucleus vestibularis medialis, olf: Filae olfactoriae, oli: Nucleus olivaris caudalis, poa: Area praeoptica, Prr: Sulcus proreus, psi: Pars intermedia glandulae pituitariae, pta: Area praetectalis, py: Pyramis vermis, pyr: Tractus pyramidalis, rc: Commissura rostralis, rccl: Rostrum corporis callosi, rcp: Pedunculus cerebellaris rostralis, rf: Formatio reticularis, roc: Colliculus rostralis, scc: Splenium corporis callosi, smt: Stria medullaris thalami, snr: Substantia nigra, sto: Stratum opticum colliculi rostralis, tfp: Fibrae transversae pontis, th: Thalamus, vagn: Nucleus nervi vagi, zi: Zona incerta, II: Nervus opticus, \* fehlende zerebelläre Rinde über Markstrahlen.



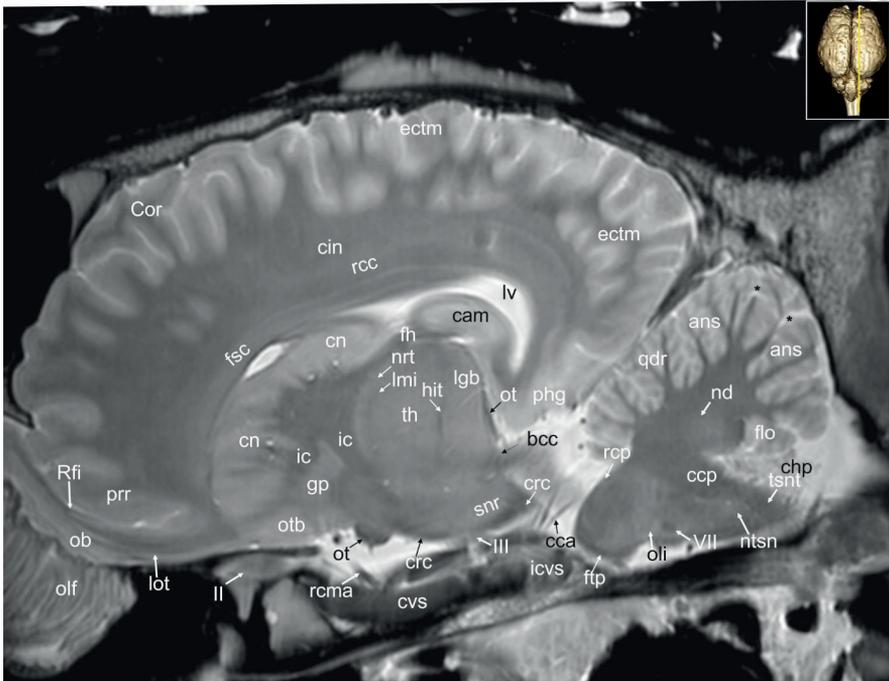
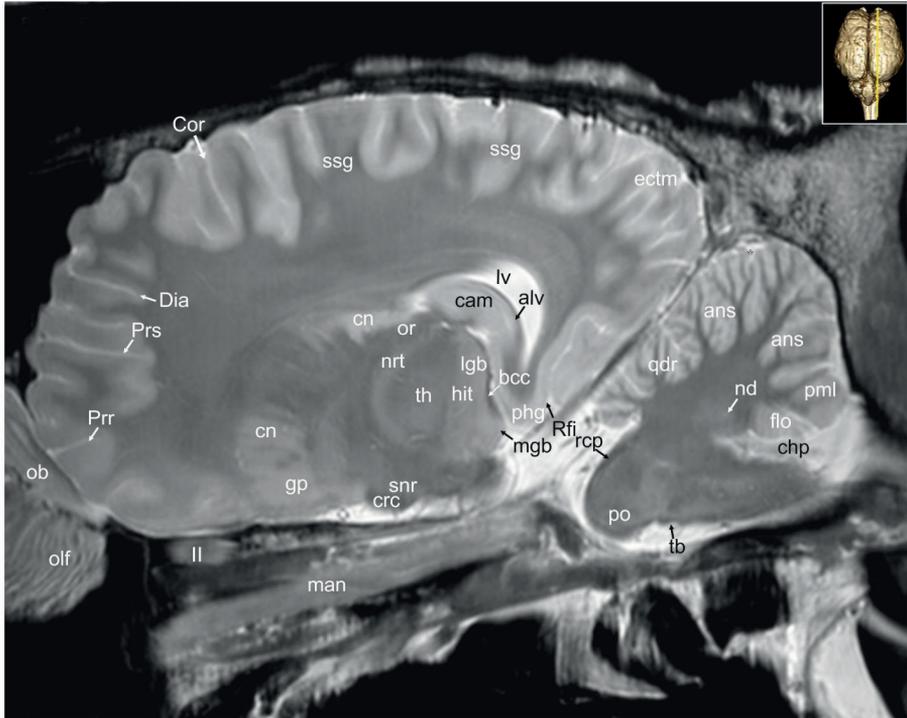
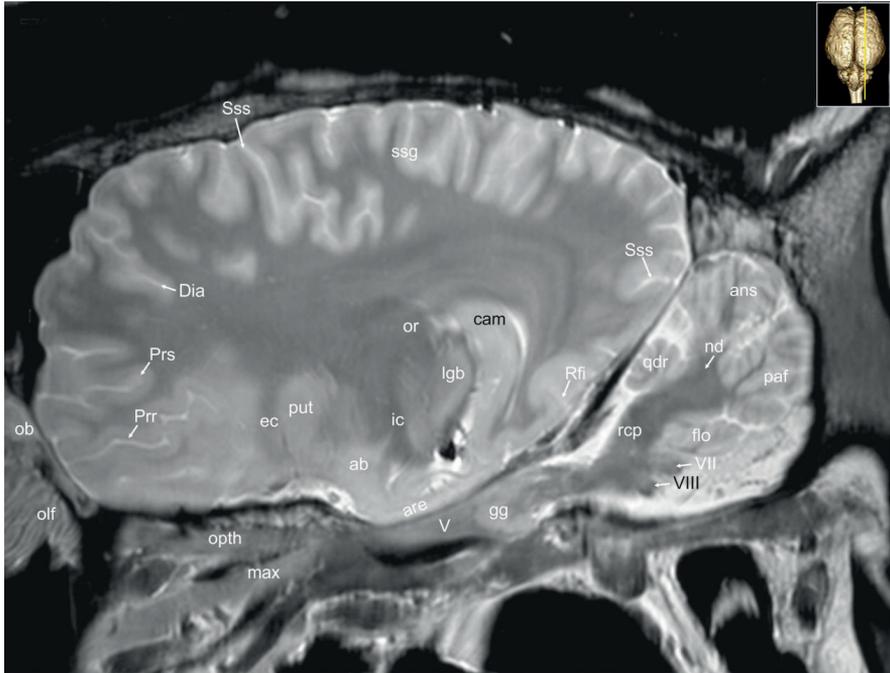


Abb. 37: Sagittales MRT-Bild des Pferdegehirns auf Höhe des Crus cerebri.

ans: Lobulus ansiformis, bcc: Brachium colliculi caudalis, cam: Cornu ammonis, cca: Arteria cerebri caudalis, ccp: Pedunculus cerebellaris caudalis, chp: Plexus choroideus, cin: Cingulum, cn: Nucleus caudatus, Cor: Sulcus coronalis, crc: Crus cerebri, cvs: Sinus cavernosus, ectm: Gyrus ectomarginalis, fh: Fimbria hippocampi, flo: Flocculus, fsc: Fasciculus subcallosus, ftp: Fibrae transversae pontis, gp: Globus pallidus, hit: Tractus habenulo-interpeduncularis, ic: Capsula interna, icvs: Sinus intercavernosus, lgb: Corpus geniculatum laterale, lmi: Lamina medullaris interna, lot: Tractus olfactorius lateralis, Iv: Ventriculus lateralis, nd: Nucleus dentatus, nrt: Nucleus reticularis thalami, ntsn: Nucleus tractus spinalis nervi trigemini, ob: Bulbus olfactorius, olf: Filae olfactoriae, oli: Nucleus olivaris caudalis, ot: Tractus opticus, otb: Tuberculum olfactorium, phg: Gyrus parahippocampalis, prr: Gyrus proreus, qdr: Lobulus quadrangularis, rcc: Radiatio corporis callosi, rcma: Arteria communicans rostralis, rcp: Pedunculus cerebellaris rostralis, Rfi: Fissura rhinalis lateralis, snr: Substantia nigra, th: Thalamus, tsnt: Tractus spinalis nervi trigemini, II Nervus opticus, III: Nervus oculomotorius, VII: Nervus facialis, \* fehlende zerebellär Rinde über Markstahlen.

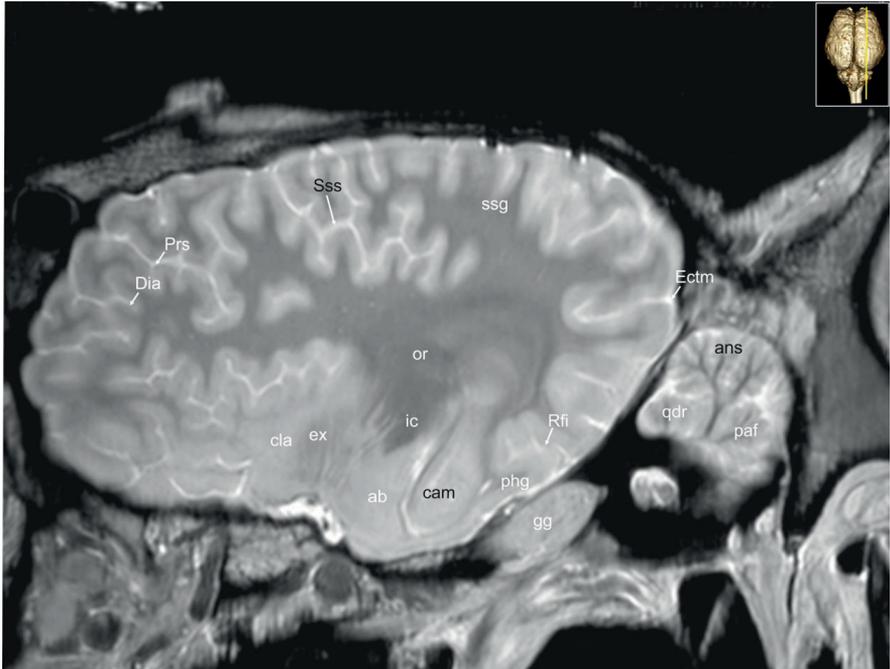


**Abb. 38:** Sagittales MRT-Bild des Pferdegehirns auf der Höhe des Nucleus reticularis thalami. alv: Alveus, ans: Lobulus ansiformis, bcc: Brachium colliculi caudalis, cam: Cornu ammonis, chp: Plexus choroideus, cn: Nucleus caudatus, Cor: Sulcus coronalis, crc: Crus cerebri, Dia: Sulcus diagonalis (Neocortex), ectm: Gyrus ectomarginalis, flo: Flocculus, gp: Globus pallidus, hit: Tractus habenulo-interpeduncularis, lgb: Corpus geniculatum laterale, Iv: Ventriculus lateralis, man: Nervus mandibularis, mgb: Corpus geniculatum mediale, nd: Nucleus dentatus, nrt: Nucleus reticularis thalami, ob: Bulbus olfactorius, olf: Filae olfactoriae, or: Radiatio optica, phg: Gyrus parahippocampalis, pml: Lobulus paramedianus, po: Pons, Prr: Sulcus proreus, Prs: Sulcus praesylius, qdr: Lobulus quadrangularis, rcp: Pedunculus cerebellaris rostralis, Rfi: Fissura rhinalis lateralis, snr: Substantia nigra, ssg: Gyrus suprasylivius, tb: Corpus trapezoideum, th: Thalamus, II: Nervus opticus.

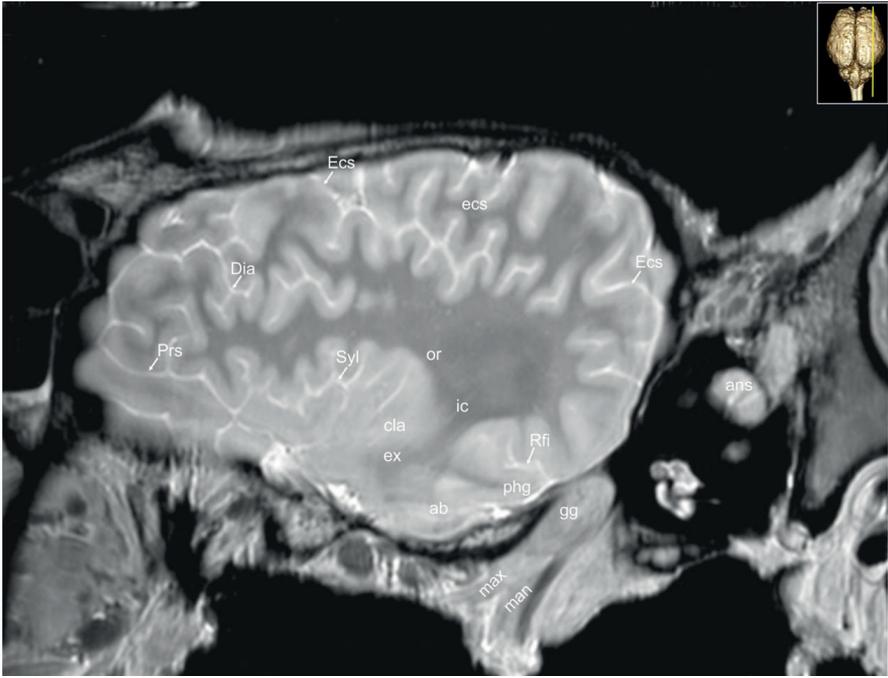


**Abb. 39: Sagittales MRT-Bild des Pferdegehirns auf Höhe der Radiatio optica.**

ab: Corpus amygdaloideum, ans: Lobulus ansiformis, are: Area entorhinalis, cam: Cornu ammonis, Dia: Sulcus diagonalis (Neocortex), ec: Capsula externa, flo: Flocculus, gg: Ganglion trigeminale, ic: Capsula interna, lgb: Corpus geniculatum laterale, max: Nervus maxillaris, nd: Nucleus dentatus, ob: Bulbus olfactorius, olf: Filae olfactoriae, oph: Nervus ophthalmicus, or: Radiatio optica, paf: Paraflocculus, Prr: Sulcus proreus, Prs: Sulcus praesylyvius, put: Putamen, qdr: Lobulus quadrangularis, rcp: Pedunculus cerebellaris rostralis, Rfi: Fissura rhinalis lateralis, ssg: Gyrus suprasylvius, Sss: Sulcus suprasylvius, V: Nervus trigeminus, VII: Nervus facialis, VIII: Nervus vestibulocochlearis.



**Abb. 40: Sagittales MRT-Bild des Pferdegehirns auf Höhe des Corpus amygdaloideum.**  
 ab: Corpus amygdaloideum, ans: Lobulus ansiformis, cam: Cornu ammonis, cla: Claustrum, Dia: Sulcus diagonalis (Neocortex), Ectm: Sulcus ectomarginalis, ex: Capsula extrema, gg: Ganglion trigeminale, ic: Capsula interna, or: Radiatio optica, paf: Paraflocculus, phg: Gyrus parahippocampalis, Prs: Sulcus praesylvius, qdr: Lobulus quadrangularis, Rfi: Fissura rhinalis lateralis, ssg: Gyrus suprasylvius, Sss: Sulcus suprasylvius.



**Abb. 41:** Sagittales MRT-Bild des Pferdegehirns auf der Höhe der Capsula externa.  
ab: Corpus amygdaloideum, ans: Lobulus ansiformis, cla: Clastrum, Dia: Sulcus diagonalis (Neocortex), Ecs: Sulcus ectosylvius, ecs: Gyrus ectosylvius, ex: Capsula extrema, gg: Ganglion trigeminale, ic: Capsula interna, man: Nervus mandibularis, max: Nervus maxillaris, or: Radiatio optica, phg: Gyrus parahippocampalis, Prs: Sulcus praesylvius, Rfi: Fissura rhinalis lateralis, Syl: Fissura sylvii.

## 4.2 Beschreibung der Morphologie des Pferdegehirns

### 4.2.1 Telencephalon

#### 4.2.1.1 Allocortex

Die Fissura rhinalis lateralis (Abb. 8A, 9-19, 25, 27, 28, 34, 37-41: Rfi) teilt das prominente Rhinencephalon vom dorsolateralen Hemisphärenanteil ab. Es kann in einen basalen, septalen und limbischen Abschnitt unterteilt werden (Nickel et al., 1992; Schober und Brauer, 1974). Der vorderste Anteil des basalen Abschnitts ist der hyperintense lange, flache Bulbus olfactorius (Abb. 8A–D, 9, 26, 27, 36-39: ob), der zum größten Anteil unter dem Frontallappen der Hemisphäre liegt (Abb. 8) und sich um den rostralen Hemisphärenpol nach dorsal schlägt. An der Lamina cribrosa zugewandten Seite des Bulbus erkennt man deutlich die isointensen Filae olfactoriae. Jeder Bulbus enthält einen großen runden Recessus olfactorius (Abb. 9, 25, 27: olr) des Ventrikelsystems. Im transversalen Schnittbild erkennt man ventral im Bulbus zwei kleine hypointense Abschnitte, der mediale (Abb. 9, 10, 11B: mot) und laterale Tractus olfactorius. (Abb. 9 - 13, 25, 26, 37: lot). Der laterale Tractus ist wesentlich dicker und liegt am Boden des flachen Sulcus endorhinalis (Abb. 12: Enrh). Zusammen mit der Fissura rhinalis lateralis begrenzt der Sulcus endorhinalis den nur wenig erhabenen Gyrus olfactorius lateralis (Abb. 8B, 10, 12, 13A: log), in welchem der praepiriforme Cortex (Abb. 11, 13A, 28: prpc) und weiter caudal der periamygdaloide Cortex liegt. Medio-ventral des Tractus olfactorius lateralis liegt das Tuberculum olfactorium (Abb. 8B, 11, 12, 25, 26, 36, 37: otb) unterhalb des Nucleus accumbens (Abb. 10, 11, 26, 27, 35, 36: acn) und des Corpus striatum. Caudal des Tuberculum olfactorium wird die ventrale Kontur des Rhinencephalon beiderseits durch hypointense Blutgefäße, die Rami striati der Arteria cerebri media (Abb. 13A: stra) durchbrochen, die zur Versorgung des Corpus striatum in das Parenchym eindringen. Dieser Abschnitt wird als Substantia perforata (Abb. 26: pfs) bezeichnet. Das Tuberculum olfactorium und die Substantia perforata werden zusammen auch als Area olfactoria bezeichnet (Schober und Brauer, 1974). Das diagonale Band von Broca oder auch Stria diagonalis genannt (Abb. 8B, 8E, 12; 26: dbb) und der korrespondierende Sulcus diagonalis (Abb. 12: Dias) zeigen den kaudalen Übergang der Area olfactoria zum großen Lobus piriformis (Abb. 14A, 26: pir).

Beim Pferd ist diese Stria diagonalis als eine auffällige Besonderheit von mehreren Sulci eingekerbt (Nickel et al., 1992), von denen ausschließlich der laterale Sulcus sagittalis (Abb. 8A/B, 15: Sgs) durch den Vergleich mit dem histologischen Schnitt zu identifizieren ist. Der am weitesten ventral gelegene Teil des Lobus piriformis ist der breite Gyrus semilunaris (Abb. 8B, 14: slu), unter dem der kortikale Bereich des Corpus amygdaloideum liegt (Abb. 14, 26-28, 39-41: ab). Dieser Mandelkörper besteht aus mehreren kortikalen und subkortikalen Kernen, die aufgrund ihrer Cytoarchitektonik und histochemischen Eigenschaften unterteilt werden können. Im herkömmlichen histologischen Bild sind nur wenige und im MRT-Bild keine dieser Unterteilungen sichtbar (Lorente de No, 1934). In den Scans erscheint der Mandelkörper als ein ovoider Abschnitt isointenser grauer Substanz im Lobus piriformis. Ein dünnes hypointenses Nervenbündel, die Stria terminalis (Abb. 12A, 13, 14, 15: stt), zieht vom Mandelkörper um den Thalamus herum zum Hypothalamus und zu anderen basalen Vorderhirnanteilen. Das Corpus amygdaloideum ist eng mit dem limbischen Anteil des Rhinencephalons (Pars limbica rhinencephali) verbunden (Nickel et al., 1992). Weitere Komponenten sind der Gyrus cinguli (Abb. 8E, 9-14, 15A, 16A, 31-33, 35, 36: cig) und der Gyrus parahippocampalis (Abb. 15, 16, 27, 28, 37, 38, 40, 41: phg), die Hippocampusformation sowie das Corpus mamillare (Abb. 25, 33, 34: mb) mit dem Fasciculus mamillo-thalamicus (Abb. 14, 25-27, 34-36: fmt). Das Cornu ammonis (Abb. 14A, 15, 16, 27, 29, 30 und 33-40: cam) ist als bogenförmige, in sich eingerollte Struktur am Boden des Kaudalhorns des Seitenventrikels (Abb. 12A/B-15 A/B, 30, 37: lv) zu erkennen. Der dorsale (septale) Anteil des Ammonshorns ist gut entwickelt und so zeigt sich kaum eine Unterteilung in einen Kopf, Körper und Schwanz. In seinem gesamten bogenförmigen Verlauf um den Thalamus ist es gleich stark. Als Teil des Archicortex zeichnet sich das Ammonshorn durch eine dreischichtige Cytoarchitektonik aus, die sich deutlich von der sechs-schichtigen Struktur des Isocortex unterscheidet. Die Cytoarchitektonik ist im histologischen Bild gut zu sehen (Abb. 16B), im MRT-Bild aufgrund der Feinheit der Struktur aber nur unsicher zu identifizieren. Eindeutig ist auf der Oberfläche des Ammonshorns eine dünne Schicht weißer Substanz zu erkennen, die sich deutlich hypointens gegen den Rest der Struktur abhebt. Dies ist der sogenannte Alveus. (Abb. 15, 16, 27, 28, 30, 38: alv). Die Fasern dieses Alveus laufen zusammen und bündeln sich zu einem erhabenen Strang, der Fimbria hippocampi (Abb. 15, 16, 37: fh), die im weiteren Verlauf den Fornixschenkel bilden, die von beiden Seiten her bogenförmig unter dem Corpus

callosum verlaufen und sich dort oberhalb des Thalamus zu einem gemeinsamen Fornixkörper verbinden (Corpus fornicis, Abb. 13A, 14, 29: cfo). Im hinteren Abschnitt des Corpus fornicis laufen Fasern der Commissura fornicis (auch Commissura hippocampi, Abb. 15A, 35, 36: cmf) zwischen den Ammonshörnern hin und her.

Der Gyrus dentatus (Abb. 15, 28: dg) ist ein integraler Anteil des Cornu ammonis. Der glatte homogene Gyrus liegt dorsal des Gyrus parahippocampalis. In transversalen und dorsalen Schichten ist der Gyrus dentatus als V-förmige Struktur zu erkennen, die um den Hilusabschnitt des Hippocampus geschlagen ist. Der mediale Schenkel liegt dem CA1-Feld des Hippocampus an, dazwischen liegt die Spitze Fissura hippocampi (Abb. 15: hf). Das Subiculum (Abb. 15B, 16B, 28: sub) verbindet den Hippocampus mit dem entorhinalen Kortex (Area entorhinalis, Abb. 15B, 16, 39: are). Innerhalb dieser Abschnitte geht der dreischichtige Allocortex des Hippocampus schrittweise in den sechsschichtigen Isocortex der Hemisphäre über (Lorente de No, 1934). Die Area septalis (Pars septalis rhinencephali) des Rhinencephalons ist ein dünner Anteil der medialen Hemisphäre unterhalb des Rostrum corporis callosi (Abb. 33–35: rccl), der sich ventral bis zum Tuberculum olfactorium erstreckt. Er bildet die mediale Wand des rostralen Horns der Seitenventrikel (Nickel et al., 1992). Auf der Basis der topographischen Beziehung zur Commissura rostralis innerhalb der Lamina terminalis (Abb. 13B, 33: lt), kann die Area septalis in zwei Abschnitte untergliedert werden. Ein präcommissuraler Anteil erstreckt sich zwischen dem Rostrum des Corpus callosum dorsal und den Gyrus diagonalis (Broca). Er wird auch als Gyrus subcallosus bezeichnet (Abb. 26, 33: scg). Dieser Teil enthält die Nuclei septales (sn) (Nuclei septales laterales und Nuclei septales mediales; Abb. 11, 12, 28, 33, 34: sl, sm), die in den MRT-Bildern nicht weiter voneinander zu unterscheiden sind. Diese Nuclei stehen über die Stria medullaris thalami (Abb. 13, 14, 28, 29, 33-36: smt) mit den Nuclei habenulares (Abb. 15, 29: han) in Verbindungen. Über den Tractus habenulo-interpeduncularis besteht von diesen eine Verbindung zum Nucleus interpeduncularis (Abb. 17A, 18, 33: ipd) ventral im mesencephalen Tegmentum. Der postcommissurale Teil der Area septalis besteht vor allem aus dem Septum pellucidum und den Säulen der Fornix (Abb. 14, 26-28, 34, 35: cf). Von den Fornixsäulen (Columna fornicis) aus ziehen zwei Abzweige als Fibra olfacto-septalis in den präcommissuralen Teil. Oberhalb des Corpus callosum befindet sich der Gyrus cinguli, der den dorsalen kortikalen Anteil des limbischen Systems bildet. Er reicht rostral von der Genu corporis callosi (Abb. 10, 11, 29, 33, 35: gcc), der Kontur des Corpus callosum folgend bis zum

kaudalen Splenium und geht in den Gyrus parahippocampalis über. Nach dorsal wird er vom Sulcus splenialis (Abb. 8E, 12, 13, 15-18A, 30-34: Spl) gegen die anderen Gyri abgegrenzt (Nickel et al., 1992). Die Faserbahnen innerhalb des Gyrus cinguli, die von diesem zum entorhinalen Kortex projizieren, werden als Cingulum (Abb. 9-14, 15A, 16A, 31, 35-37: cin) bezeichnet (Nickel et al., 1992).

#### **4.2.1.2 Neocortex**

Der Neocortex der Pferde ist umfangreich gefaltet mit einem hohen Grad an primären und sekundären Sulci und Gyri (Brauer und Schober, 1974; Nickel et al., 1992). Sogar größere Blutgefäße können in eine kleine Vertiefung eingebettet sein, die allerdings keine echten Sulci darstellen, aber die Charakterisierung des Sulcismusters erschweren. Auf der seitlichen Oberfläche entspringt die kurze nahezu senkrecht verlaufende Fissura sylvii (Abb. 8A/C, 11B, 12-15, 29, 30, 41: Syl) aus der Fissura rhinalis lateralis. Sie wird von den gleichnamigen Gyri flankiert, die zum Teil im Inneren der Fissur eingestülpt sind. Rostral und caudal der Fissura sylvii ist der Sulcus ectosylvius (Abb. 8A/C, 9-14, 15A-19A, 29-32, 41: Ecs) sichtbar, der die Gyri sylvii nach dorsal begrenzt und bogenförmig um die Fissura sylvii verläuft. Als eine speziesspezifische Besonderheit beim Pferd liegt zwischen den Gyri sylvii und den Gyri ectosylvii (Abb. 8A, 11-13, 14B, 16A, 17A, 31, 41: ecs) jeweils ein dicker Gyrus, der als Gyrus obliquus bezeichnet wird (Abb. 8A, 14, 16A, 31: obl), die vom Gyrus ectosylvius durch den Sulcus obliquus (Abb. 8A/C, 14B, 31: Obl) abgetrennt werden (Nickel et al., 1992). Sie sind nicht in der Mitte verbunden. Oberhalb des Sulcus sylvius und des Sulcus ectosylvius liegt der Sulcus suprasylvius (Abb. 8A/C, 9-14, 15A-20A, 30-32, 39,40: Sss) der als geschlossener Bogen vorliegt, von dem einige kleinere Seitenäste abgehen. Weiter caudal und dorsal schließt sich der Sulcus marginalis an (Abb. 8C, 12-14, 15A-20A, 30-32: Mar), der wiederum auf seiner medialen Seite vom Sulcus endomarginalis (Abb.8C/E, 15A, 17-19A, 30-33, 35: Enm) und auf seiner lateralen Seite vom Sulcus ectomarginalis (Abb. 8A/C, 15A-20A, 30-32, 40: Ectm) flankiert wird. Der Sulcus coronalis (Abb. 8A/C/D/E, 9-11, 13A, 30-32, 37, 38: Cor) verläuft halbkreisförmig vom vorderen dorsolateralen Teil der Hemisphäre nach caudomedial, wo er in den sehr kurzen Sulcus ansatus (Abb. 8A/C/D/E, 11-14, 33, 35, 36: Ans) übergeht. Rostral des Sulcus ansatus befindet sich eine weitere kurze Furche, die an der Mantelkante, zum Teil auf der dorsalen Oberfläche und zu einem anderen

Teil auf der medialen Seite der Hemisphäre liegt. Dies ist der Sulcus cruciatus (Abb. 8C-E, 9, 10B, 31, 32, 35, 36: Cru), der bei allen Pflanzenfressern sehr schwach ausgeprägt ist. Dieses Cortexareal beherbergt den motorischen Kortex des Pferdegehirns (Hummel, 1976). Im rostro-lateralen Anteil der Hemisphäre liegt der schräg verlaufende Sulcus diagonalis (Abb. 8A/D, 9, 10, 11 A, 28-31, 38-41: Dia), der von der Fissura sylvii aus blind im Lobus frontalis endet. Weiter rostral liegt in etwa parallel zum Sulcus diagonalis der Sulcus praesylius (Abb. 8A/C/D, 9, 10, 28, 29, 38-41: Prs). Er verläuft zwischen der Fissura rhinalis lateralis in Richtung des Sulcus coronalis und mündet in diesen. Ein dritter Sulcus mit parallelem Verlauf liegt zwischen dem Sulcus praesylius und der Fissura rhinalis lateralis als Sulcus proreus (8A, 9, 26, 27, 29, 35, 38, 39: Prr), der den gleichnamigen Gyrus begrenzt (Abb. 8A, 9, 26, 33, 37: prr). Auf der medialen Seite entspricht die Anordnung der Furchen in analoger Weise den Bogenfurchen auf der lateralen Seite. Das Corpus callosum bildet das langgestreckte Zentrum, um das sich die Sulci anordnen. Direkt am Corpus callosum anliegend befindet sich der flache Sulcus corporis callosi (Abb. 10B, 12, 13B, 33: Scl), der der Kontur des Hirnbalkens direkt folgt und die ventrale Begrenzung des darüber liegenden Gyrus cinguli bildet. Der caudale Sulcus splenialis bildet den kaudalen Abschnitt einer Bogenfurche, die zwar eine in sich geschlossene Einheit bildet, in ihrem Verlauf aber anders benannt wird. Im mittleren Abschnitt wird sie als Sulcus cinguli bezeichnet, im vorderen Abschnitt als Sulcus genualis (Abb. 8E, 9-11, 28, 30, 33, 34: Gen), entsprechend ihrem Verlauf um das Genu corporis callosi. Zwischen ihm und dem Genu liegt der tiefe Sulcus endogenualis (Abb. 8E, 9B, 10A, 11B, 30, 33, 34: Eng). Außerhalb des Bogens des Sulcus genualis befindet sich der Sulcus ectogenualis (Abb. 9A: Ectg). Entsprechend der Furchen im rostralen Abschnitt finden sich im hinteren Anteil noch ein kurzer bogenförmiger Sulcus, dorsal und kaudal des Sulcus splenialis, der Sulcus suprasplenialis (Abb. 8E, 16A, 19A, 31-33: Sspl). Medial vom Sulcus splenialis liegt der Sulcus endosplenialis (Abb. 8E, 33: Ensp). Rostral an die Lamina terminalis anschließend, unterhalb des Rostrum corporis callosi, liegt ein kortikaler Anteil, der als Gyrus subcallosus bezeichnet wird.

#### **4.2.1.3 Subkortikale graue Substanz**

Die Basalkerne bestehen aus mehreren Gruppen von Nervenzellen im basalen Vorderhirn und dem Thalamus (Abb. 29, 33, 35-38: th). Die Substantia nigra (Abb. 15,

16, 17A, 26, 35-38: snr) im Tegmentum des Mittelhirns und der Nucleus subthalamicus (Abb. 36: stn), der sich im kaudalen Diencephalon befindet, sind funktionell mit diesem System assoziiert. Die größte Ansammlung von strukturell und funktionell verbundenen Neuronen ist das Corpus striatum, welches sich in zwei Unterkerne teilen läßt, den dorso-medialen Nucleus caudatus (Abb. 10-15, 16B, 28-30, 34-38: cn) und den ventrolateralen Nucleus lentiformis. Diese Zellgruppen werden von den Fasermassen der Capsula interna (Abb. 10B, 11-14, 26, 28, 29, 30, 37, 39-41: ic) unterbrochen. Der zur Rindenschicht isointense Nucleus caudatus bildet im rostralen Vorderhirn den Boden des Ventrikels. Der Nucleus lentiformis besteht wiederum aus zwei Untereinheiten, dem ventrolateralen Putamen (Abb. 10-14, 27-29, 39: put) und dem geringgradig hyperintenseren Globus pallidus (Abb. 12, 13, 28, 37, 38: gp), die nur durch ein kaum sichtbares hypointenses Band weißer Substanz voneinander getrennt sind. Beim Pferd ist der Nucleus caudatus recht kurz und gedrungen, steht senkrechter und der Kopf geht über einen nur kurzen Körper (Corpus) schnell in den Schwanz (Cauda) über (Schmidt et al., 2009). Streifen grauer Substanz, die durch die Capsula interna verlaufen, verbinden den Kopf des Nucleus caudatus mit dem Putamen. Der rostrale Anteil des Putamen erscheint als ein schmales Band grauer Substanz. Entgegengesetzt zum Nucleus caudatus nimmt das Putamen in seinem Verlauf nach kaudal an Masse zu, nimmt aber niemals die Dimensionen des Nucleus caudatus an. Der größte, mittlere Teil nimmt eine dreieckige Form an in transversalen Schnittbildern. Seitlich wird das Putamen von einer dünnen Marklamelle begrenzt, die als Capsula externa (Abb. 10B, 11-13, 14A, 29, 39, 41: ec) bezeichnet wird. Von dieser zieht ein dünnes hypointenses Band weißer Substanz nach ventrolateral über den Globus pallidus zum kaudalen Schenkel der Capsula interna. Dies ist die Ansa lenticularis (Abb. 13: ans1), die den Globus pallidus mit dem Thalamus und Subthalamus verbindet. Eine weitere Ansammlung von Neuronen dieser Gruppierung ist das Claustrum (Abb. 10-13, 14B, 15B, 29, 40, 41: cla), welches von der Capsula externa vom Putamen abgeteilt wird. Lateral wird es wiederum durch die Capsula extrema (Abb. 10 A, 11-14, 40, 41: ex) vom insulären Kortex getrennt (Abb. 12; 15B: ins). Das Claustrum erscheint in dorsalen Bildern recht homogen, als hypointenses Band, parallel zur Fissura rhinalis lateralis, in transversalen Bildern verändert sich seine Form aber je nach Position von einer polymorphen, sternförmigen zu einer dreieckigen Form (Nickel et al., 1992). In den histologischen Bildern zeigt sich das

Clastrum aus mehreren Unterkernen bestehend, welche im MRT-Bild aber nicht abgegrenzt werden können.

#### 4.2.1.4 Weiße Substanz

Die weiße Substanz macht den Hauptteil der tieferen Anteile der Hemisphäre aus. Alle Fasern aus den Gyri der Hirnoberfläche konvergieren und werden als Corpus medullare jeder Hirnhälfte zusammengefasst. Dorsal des Corpus callosum formt es eine kompakte halbmondförmige Struktur, die der Form entsprechend als Centrum semiovale bezeichnet wird. Es enthält u.a. Assoziationsfasern sowie kortikale Projektionsfasern und geht ventral kontinuierlich in die Corona radiata über, die nur noch ascendierende und descendierende Bahnen und keine Assoziationsfasern mehr enthält. Die Corona radiata verdichtet sich zu einem Bündel weißer Substanz, die weiter in tiefere Gebiete der Hemisphäre absteigt, in welchen sie als Capsula interna bezeichnet wird. Auf Höhe des Corpus striatum kann die gesamte Capsula interna in ein Crus rostralis zwischen dem Nucleus caudatus und Putamen und ein Crus caudalis zwischen Thalamus und Putamen unterteilt werden. Innerhalb des Corpus medullare jeder Seite können durch Unterschiede in der Signalintensität kompakte Bündel weißer Substanz von der Gesamtmasse abgegrenzt werden. Ein längsovales bis halbmondförmiges Bündel liegt beiderseits direkt unterhalb des Corpus callosum und wird dementsprechend als Fasciculus subcallosus bezeichnet (Abb. 10-16, 30, 37: fsc). Dieses Bündel verbindet den Frontallappen und Occipitallappen mit dem Nucleus caudatus (Nieuwenhuis, 1998). Die Fasern der weißen Substanz innerhalb des Gyrus cinguli werden als Cingulum zusammengefasst. Die Bahnen des Cingulums verbinden Anteile des Frontallappens (Gyrus genualis, Gyrus subcallosus) und die Neuronen des Gyrus cinguli mit dem entorhinalen Kortex (Nickel et al., 1992; Nieuwenhuis, 1998). Der ventrale (inferiore) Fasciculus longitudinalis verläuft im Corpus medullare neben dem Fasciculus longitudinalis entlang der lateralen Ventrikelfläche (Schellenberg, 1900). Vermutlich aufgrund von Unterschieden in Dichte, Faserdurchmesser und Myelinisierungsgrad, kann man unterschiedliche Schichten innerhalb dieser Bahn erkennen (Stratum sagittale externum und Stratum sagittale internum; Abb. 17A, 18A: stse, stsi; Schellenberg, 1900). Die Radiatio optica (Abb. 15B, 16, 29, 31, 38-41: or), die vom lateralen Kniehöcker (Corpus geniculatum laterale; Abb. 15, 16, 29, 36-39: lgb) entspringt und zum visuellen Kortex verläuft, kann ebenfalls gegen das Corpus

medullare abgegrenzt werden. Es ist eine dünne Faserbahn mit geringer Hypointensität gegen das anliegende Corpus callosum, die in der Capsula interna verläuft. Die Bahnen anderer sensorischer Areale (Radiatio acustica, Radiatio sensoria) zeichnen sich nicht durch Signalunterschiede gegen die weiße Substanz ab. Das Corpus callosum (Abb. 8E, 10, 12-15, 30, 33-36: cc) des Pferdes ist stark entwickelt. Die Fasern seines Körpers fächern sich nach Übertritt in die Hemisphäre auf und verteilen sich in verschiedene Richtungen innerhalb der Hemisphäre (Radiatio corporis callosi; Abb. 10-13, 14A, 15A, 16A, 28, 37: rcc). Eine phylogenetisch ältere Kommissur ist die Commissura rostralis (Abb. 12, 13, 27, 33-36: rc), die die basalen Vorderhirnanteile miteinander verbindet. Sie enthält Fasern von beiden Tractüs olfactorii, die die Mittellinie in der Lamina terminalis vor den beiden Fornixsäulen überschreiten. In sagittalen Bildern erscheint die Commissura rostralis als runde bis ovale hypointense Struktur in der Lamina terminalis, wohingegen der U-förmige Faserverlauf unterhalb des Striatums von einer Hemisphäre in die andere in dorsalen Schnittbildern deutlich wird.

#### **4.2.2 Diencephalon**

Das Diencephalon besteht aus fünf Hauptuntereinheiten, die alle in den MRT-Aufnahmen gut ersichtlich sind. Epithalamus, Thalamus, Metathalamus, Subthalamus und Hypothalamus (Abb. 25,26: hyp) lassen sich aufgrund der Größe des Pferdegehirns gut erkennen. Der größte, am weitesten rostral liegende Anteil sind die beiden Kernmassen des Thalamus, die den dritten Ventrikel seitlich begrenzen. In der Mittellinie werden die Thalami so prominent, dass sie sich in der Mitte berühren und den dritten Ventrikel auf einen engen Ring reduzieren. Anders als beim Menschen, gehen sie feste Verbindungen ein und bilden nicht nur eine Adhaesio interthalamica, sondern eine strukturell tief verbundene Massa intermedia. Aufgrund Neuerungen in der Terminologie ist der letztere Begriff aber obsolet und es muss die Bezeichnung Adhaesio interthalamica (Abb. 14: ita) verwendet werden. Innerhalb des Thalamus sind einige Kerngebiete durch Signalunterschiede und ihre Topographie voneinander abzugrenzen. Die dorsalen und ventralen Nuclei thalami werden durch dünne innere (Lamina medullaris interna; Abb. 36, 37: lmi) und äußere Marklamellen voneinander abgegrenzt (Lamina medullaris externa; Abb. 14, 15B, 28, 29: lme). Die anterioren Nuclei thalami (Nucleus anterior dorsalis thalami Abb. 14: nad) sind eine Ansammlung

von Neuronen, die am dorsalen Ende des Thalamus unter der Oberfläche zwischen der Stria medullaris und der Stria terminalis liegen und sich in den oberen Anteil des dritten Ventrikels erstrecken (Niimi ,1950; Sakamoto, 1957). Der Nucleus reticularis thalami (Abb. 14, 15B, 28, 29, 37, 38: nrt) formt eine hyperintense Kapsel medial der Capsula interna, die die inneren Thalamuskern umschließt. Diese Struktur kontrastiert sich gut gegen die Lamina medullaris externa. Caudo-medial weist der Thalamus eine halbrunde Vorwölbung auf, die Pulvinares thalami (Abb. 15, 16, 29: pul), die beidseits mit einer ovoiden Vorwölbung des Thalamus verbunden sind, den lateralen Kniehöckern. Beide Strukturen dienen als Relais innerhalb der visuellen Faserverbindungen. In mikroskopischen Aufnahmen ist der innere Aufbau des Corpus geniculatum laterale gut zu erkennen. Am dorsolateralen Rand des Corpus geniculatum befindet sich die hypointense Radiatio optica, die Efferenzen des Corpus geniculatum zum visuellen Kortex führt. Die Afferenzen kommen über den Tractus opticus unterhalb seiner ventralen Kontur in den Kniehöcker. Etwas weiter kaudal erhebt sich eine weitere Zellmasse seitlich am Thalamus, der mediale Kniehöcker (Corpus geniculatum mediale; Abb. 15, 16, 28, 36, 38: mgb), welcher eine thalamische Relaisstation für auditorische Faserbahnen darstellt. Er erhält seine Afferenzen aus dem Colliculus caudalis, das über einen Verbindungsarm (Brachium colliculi caudalis; Abb. 17, 18, 28, 37, 38: bcc) mit dem Corpus geniculatum in Verbindung steht. Die Hörkerne (Nuclei cochleares) sitzen weit hinten in der Medulla. Signale aus diesem Hirnanteil gelangen über die ausgedehnte laterale Schleifenbahn (Lemniscus lateralis; Abb. 18, 19B, 26, 36: la) in die Colliculi caudales.

### **4.2.2.1 Subthalamus**

Der Subthalamus setzt sich aus verschiedenen Zellgebieten und ihren assoziierten Fasersystemen zusammen, die am unteren Rand der thalamischen Masse liegen. Der Nucleus subthalamicus ist einer der größten Kerngebiete am Übergang zwischen dem Hypothalamus und dem Mittelhirn. Die Zona incerta (Abb. 15, 35, 36: zi) ist eine weitere Zellgruppe des Subthalamus, die neben der Mittellinie oberhalb des Nucleus subthalamicus angeordnet ist. Sie steht caudoventral mit dem Nucleus reticularis thalami in Verbindung. Medial der Zona incerta befindet sich der Fasciculus mamillo-thalamicus, der sich hypointens gegen die Umgebung kontrastiert. Um den Tractus herum liegt die sogenannte Area tegmentalis. Ihre einzelnen Unterabschnitte werden

nochmal als H-Felder bezeichnet. „H“ steht in diesem Zusammenhang für Haube, dem deutschen Begriff für Tegmentum. H1 bezeichnet den Fasciculus thalamicus (Abb. 15B: H1), der dorsal der Zona incerta verläuft. H2, auch Fasciculus lenticularis (Abb. 15B: H2), verläuft zwischen der Zona incerta und dem Nucleus subthalamicus (Niimi, 1950; Sakamoto, 1957; Forel, 1877). Während die ersten zwei H-Felder durch ihre Topografie zu identifizieren waren, konnte das H3 Feld oder auch präubrale Feld, nicht mit Sicherheit ausgemacht werden.

#### **4.2.2.2 Hypothalamus**

Der Hypothalamus formt die basale Wand des dritten Ventrikels. Er reicht vom Chiasma opticum (Abb. 8B, 12, 13, 24, 33, 34: cho) rostral bis zu den Corpora mamillaria kaudal. Der Sulcus hypothalamicus (Abb. 14: hs) markiert seine dorsale Grenze zum Thalamus. Seitlich wird er von den Faserbahnen der Capsula interna begrenzt und caudo-ventral von den Crura cerebri (Abb. 8B, 14-16, 17A, 25-27, 29, 36-38: crc). Zwei deutlich hypointense Faserbündel laufen jeweils von den Corpora mamillaria entlang der ventralen Kontur des Mittelhirns. Dies sind die Pedunculi corporum mamillares (Abb. 15, 16, 24: pcm), die eine Verbindung zwischen dem Corpus mamillare mit den Nuclei des ventralen Tegmentums aufnehmen. Eine weitere Verbindung besteht durch den Tractus mamillothalamicus, der aus Zellen der medialen und lateralen Nuclei mamillares hervorgeht und zu den anterioren Thalamuskernen zieht, sowie von der Fornix und die Efferenzen des limbischen Systems führt. Der Hypothalamus empfängt afferente Impulse von der Amygdala über die Stria terminalis. Die Hypophyse (Glandula pituitaria; Abb. 8B, 14A, 15A, 16A: pg) ist beim Pferd als große dorso-ventral abgeplattete Ausstülpung des ventralen Hypothalamus zu erkennen, die aus drei Anteilen besteht, der Adenohypophysis (Abb. 15A, 24, 33-36: ah), der Neurohypophysis (Abb. 15A, 24, 33: nh) und der Pars intermedia (Abb. 33, 35: psi). Die Neurohypophyse hat wiederum zwei sichtbare Anteile. Der distale Anteil ist der größte Abschnitt, der sich bis weit nach kaudal bis zu den Corpora mamillaria ausdehnt (Brettschneider, 1955). Der zweite Teil ist die elongierte Pars infundibularis (Abb. 14A, 24, 33: inf), die in transversalen Schnittbildern zwischen den beiden Lobuli der Neurohypophyse sichtbar ist. Der ventrale Anteil des dritten Ventrikels bildet einen großen weiten Recessus, der in das Infundibulum hineinragt (Recessus infundibularis; Abb. 24: ir). Die Signalintensität der Pars intermedia der Hypophyse ist beim Pferd

hypointens. Anders als bei anderen Ungulaten umgibt sie den eher hypointensen Recessus infundibularis fast vollkommen (Brettschneider, 1955). In sagittalen Schnittbildern ist sie am besten als hypointenser Saum dorsal der Neurohypophyse zu erkennen. Ein Cavum hypophysis, das bei vielen Paarhufern zu finden ist (Brettschneider, 1955), kann beim Pferd nicht ausgemacht werden. Rostral der Hypophyse befinden sich die zwei Nervi optici (Abb. 8B, 10A, 11A, 24, 34-38: II), die im Chiasma opticum auf die kontralaterale Seite kreuzen. Von hier ab trägt die Faserbahn Informationen beider Augen und wird als Tractus opticus (Abb. 14-16, 25-29, 36, 37: ot) bezeichnet. Er zieht weiter zu den lateralen Kniekörpern und weiter über die Radiatio optica zum primären visuellen Kortex.

### 4.2.2.3 Epithalamus

Der Epithalamus repräsentiert den am weitesten dorsal gelegenen Anteil des Diencephalons. Er schließt die Nuclei habenulares, die Stria medullaris thalami, die Glandula pinealis (Abb. 16A, 17, 33: pb) und die Commissura caudalis (Abb. 16 A, 33, 34: ccd) ein. Alle epithalamischen Strukturen sind beim Pferd gut entwickelt und im Gegensatz zu den meisten Fleischfressern in der MRT sichtbar (Gray-Edwards et al., 2014; Martin-Vaquero et al., 2011; Schmidt und Kramer, 2015). Die Zirbeldrüse ist groß und lanzettförmig in sagittalen Aufnahmen und beherbergt einen gut sichtbaren Recessus pinealis (Abb. 33: rpi). Unterhalb der Zirbeldrüse erkennt man die großen runden Nuclei habenulares (Zügelkerne), die sich in den dorsalen Abschnitt des dritten Ventrikels vorwölben. Die Nuclei habenulares projizieren über den Tractus habenulo-interpeduncularis (Abb. 15, 28, 29, 34, 35, 37, 38: hit), der auch als Fasciculus retroflexus oder Meynert-Bündel bezeichnet wird, zum Nucleus interpeduncularis. Zwischen den beiden Nuclei habenulares spannt sich die Commissura habenularum (Abb. 16, 29: cha) über den dritten Ventrikel. Direkt unterhalb dieser Kommissur kreuzt die Comissura caudalis direkt über dem Übergang vom dritten Ventrikel (Abb. 14, 26, 27, 29, 33: 3) zum Aquaeductus mesencephali (Abb. 17, 18, 33: aq).

### 4.2.3 Mesencephalon

Das Mittelhirn des Pferdes ist kurz und gedrungen, dafür aber sehr hoch mit einem großen Durchmesser. In transversalen Schnittbildern erscheint es nahezu rechteckig. Ventral erstreckt es sich von den Corpora mamillaria bis hin zur Vorderkante des Pons (Abb. 8AB, 24, 33, 34, 38: po). Dorsal markiert die Commissura caudalis den Übergang vom Diencephalon zum Mesencephalon (Nickel et al., 1992). Kaudal dieses Punktes erstreckt sich die Area praetectalis (Abb. 16B, 29, 35, 36: pta), kurz auch als Prätektum bezeichnet. Lateral des Prätektums grenzen die kaudalen Nuclei des Thalamus an, medial die Substantia grisea centralis (Abb. 16–18, 26, 34: cgs). Das Dach des Mittelhirns, das Tektum, wird von den großen vorderen Hügeln dominiert (Colliculi rostrales; Abb. 17 A, 29,33–35: roc). Diese sind wesentlich größer als die hinteren zwei Hügel (Colliculi caudales; Abb. 16B, 18, 35: cdc). Die vorderen Hügel bestehen aus alternierenden Schichten grauer und weißer Substanz, die im MRT-Bild nicht einzeln ersichtlich sind, aber zu einem „Partial-Volumen Effekt“ führen und ein geringgradig hyperintenseres Signal hervorrufen. Im histologischen Bild zeigen sich acht Schichten (Abb. 17B). Die oberflächlichen Schichten werden vom Stratum zonale, Stratum griseum superficiale und Stratum opticum gebildet (Hummel, 1976; Jöst, 1992). Die tieferen Zonen gliedern sich in das Stratum griseum intermedium und Stratum griseum profundum, diese werden jeweils von einer Schicht weißer Substanz, dem Stratum album intermedium und -profundum, getrennt (Abb. 17B) (Hummel, 1976; Jöst, 1992). Axonbündel ausgehend von den Strata alba verbinden die vorderen Hügel entlang ihres gesamten rostro-caudalen Verlaufs. Diese Commissura colliculi rostralis (Abb.17A: ccr) ist als hypointenser Streifen an der medialen Basis der Colliculi zu erkennen. An dessen lateraler Basis verläuft medial des Pulvinar ein weiteres flaches Faserbündel zum vorderen Hügel und zur Area praetectalis, das als vorderer Verbindungsarm bezeichnet wird (Brachium colliculi rostralis; Abb. 35, 36: bcr). Der Colliculus caudalis hat im Schnittbild eher eine homogene Struktur und Signalintensität. Er besteht aus einem geringgradig hyperintensiven Nucleus colliculi caudalis (sive Nucleus compactus centralis) (Abb. 18A: nca) (Niewenhuis, 1998) und aus den von ihm ausgehenden Faserbahnen, die die Mittellinie überqueren (Commissura colliculi caudalis; Abb. 18, 33, 34: ccc) und im kontralateralen Nucleus enden. Analog zum vorderen Mittelhirnhügel entlässt der Colliculus caudalis auf jeder Seite einen hinteren Verbindungsarm, der seinen Weg zum Corpus geniculatum

mediale findet. Direkt hinter dem Colliculus caudalis, unter dem Lobulus centralis (Abb. 18A, 19A, 28-30, 33-35: cl) des Zerebellums, ist eine weitere Kommissurenbahn erkennbar, welche die beiden Nuclei nervi trochleares miteinander verbindet (Decussatio nervorum trochlearium; Abb. 18B, 28, 33, 34: dtn). An der Stelle, an welcher diese Bahn an den Colliculus caudalis angrenzt, ist der rostrale Kleinhirnschenkel ersichtlich, der in das Mittelhirn eintritt. Sie werden von den halbmondförmigen Nuclei parapedunculares flankiert. Der Sulcus limitans (Abb. 17, 19A, 20B, 21: slm), der im Verlauf des Mittelhirns mal besser und mal schlechter zu erkennen ist, trennt das Tektum des Mittelhirns vom Tegmentum ab. Am ventralen Rand des Tegmentums bündeln sich efferente Bahnen der Capsula interna zu den Hirnstielen, den Crura cerebri. Zusammen mit den Kernen des Tegmentums werden sie zu den Pedunculi cerebri zusammengefasst. Auf Höhe des Pons divergieren die Faserbahnen der Crura und verteilen sich zu einem Großteil auf die Brückenkerne und ziehen zu einem kleineren Teil weiter in die rostrale Medulla. In den Pedunculi cerebri liegt das streifenförmige Kerngebiet der Substantia nigra. Die Pars compacta (Abb. 16B: snrc) und die von der Zelldichte und Größe geringere Pars reticulata (Abb. 16B: snrr), die der Pars compacta medial anliegt, kann nur in den histologischen Bildern, nicht aber in MRT-Bildern voneinander unterschieden werden. Die absteigenden Fasern der Pedunculi sind auffallend flach. Die gesamte Masse teilt sich in etwa auf der Höhe der Nuclei habenulares in einen flachen ventralen und einen lateralen Anteil auf, der eher eine runde bis dreieckige Kontur hat. Der Bereich zwischen den Crura cerebri wird als Fossa interpeduncularis bezeichnet. Im rostralen Anteil der Fossa liegt eine hyperintense unpaare Zellgruppe im Tegmentum, der Nucleus interpeduncularis. Kaudal davon treten kleine Blutgefäße aus den basalen Gefäßen durch das Tegmentum. Das Areal, in welchem die Gefäße das Tegmentum durchbrechen, wird als Substantia perforata caudalis bezeichnet. Assoziiert mit der Substantia nigra liegt dorsal von ihr der längliche Nucleus ruber (Abb. 16, 34: rn), der sich ganz schwach hyperintens leicht von der Umgebung abhebt. Ventromedial zwischen den roten Kernen kreuzen sich efferent Fasern dieser zwei Kerne (Decussatio tegmentalis ventralis, sive Decussatio nuclei ruberis, Abb. 16A, 26, 34: vtd). Nach ihrer Überkreuzung ziehen sie weiter nach dorsal und laufen unterhalb des rostralen zerebellären Pedunkels als Tractus rubrospinalis (Abb. 18B, 19A, 25, 28, 36: rst) in Richtung Rückenmark (Nickel et al., 1992; Becht, 1991). Direkt hinter der dorsalen Haubenkreuzung liegt eine weitere Überkreuzung von Faserbahnen, die Decussatio

pedunculorum cerebellarium rostrale (Abb. 17 A, 27, 33-35: drp), in welcher Fasern vom rostralen zerebellären Pedunkel in Richtung Thalamus ziehen. Das Mittelhirn wird in seinem gesamten Verlauf vom Aquaeductus mesencephali durchzogen, der den dritten mit dem vierten Ventrikel verbindet. Das hyperintense Gewebe um den Aquaeductus ist die Substantia grisea centralis, eine nahezu homogene Masse von dicht gepackten Neuronen, die im Diencephalon in die Nuclei periventriculares übergehen. In der MRT unsichtbar, lassen sich im histologischen Schnitt innerhalb der homogenen Masse einige dicht gepacktere Nuclei erkennen, die insgesamt als Nuclei tegmentales bezeichnet werden. Innerhalb der Kernmasse kann man den Nucleus nervi oculomotorii (Abb. 17 A: nom), den Nucleus nervus trochlearis (Abb. 18: nto) und den Nucleus mesencephalicus nervi trigemini (Abb. 17B: nmt) ausmachen. Letzteren allerdings nur im histologischen Schnitt. Der Oculomotoriuskern lässt sich in der MRT durch seine topographische Beziehung zum medialen Längsbündel erkennen. Der Fasciculus longitudinalis medialis (Abb. 17A, 18-22, 26, 27, 33-35: flm) ist eine rostrale Verlängerung des Fasciculus proprius des Rückenmarks (Nickel et al., 1992). Er verläuft nahe der Mittellinie unterhalb der Substantia grisea centralis. Zwischen diesem und der Decussatio pedunculorum cerebellarium rostrale ist der Oculomotoriuskern. Darunter ziehen Axone zum ventralen Rand des Tegmentums und entlassen an der Basis den kleinen Nervus oculomotorius (Abb. 13A-15A, 34, 36, 37: III).

### **4.2.4 Metencephalon**

#### **4.2.4.1 Zerebellum**

Das Kleinhirn des Pferdes ist im Vergleich zum Vorderhirn sehr groß, allerdings wird dieser Eindruck in sagittalen Bildern auch durch die auseinanderweichenden hinteren Hemisphärenpole verstärkt. Die Form des Zerebellums ist beim Pferd in sagittalen Schnitten nahezu quadratisch und dreieckig im transversalen Schnittbildern. Transversale Fissuren teilen den Vermis und die Hemisphären in Lobi und kleinere Lobuli. Das Pferd zeigt den komplett homologen Aufbau des Vermis und der Hemisphären, wie er für andere Säugetiere beschrieben ist (Schmidt, 2006; Schmidt und Kramer, 2015; Langen, 2014; Schmidt, 2015; Schmidt et al., 2009). Die Fissura prima (Abb. 30, 33-36: Fp), die erste Furche, die sich im Laufe der Embryogenese des Kleinhirns entwickelt, teilt einen rostralen von einem caudalen Kleinhirnlobus ab. Beim

Pferd ist der rostrale Lobus der größere, was auch durch den stärkeren Markstrahl, der in diesen Teil führt, repräsentiert wird. Diese Größenverhältnisse sind eine Besonderheit des Pferdes, da bei den meisten anderen domestizierten Huftieren der hintere Lobus der größere ist (Schmidt, 2006; Langen, 2014; Schmidt, 2015; Schmidt et al., 2009; Bradley, 1899; Bolk, 1906; Niewenhuis, 1998). Die Markstrahlen können zur Identifikation der einzelnen Unterteilungen des Vermis herangezogen werden. Vom zentralen Markkörper gehen drei Hauptäste ab. Der vorderste zieht in den Lobulus centralis (Lobulus II und III), der zweite, nahezu senkrecht stehende zieht in den Culmen (Lobulus IV und V; Abb. 18A-20A, 29-31, 33-35: cu) und der dritte verästelt sich in den Declive vermis (Lobulus VI; Abb. 21A, 31, 33, 35: de), Tuber vermis (Lobulus VIIb; Abb. 22A, 28-31, 33: tu), Folium vermis (Lobulus VIIa; Abb. 33: fol), Pyramis vermis (Lobulus VIII; Abb. 21A-23A, 28, 33-35: py) und die Uvula vermis (Lobulus IX; Abb. 22A, 23A, 33, 34: uv). Die weiße Substanz des Nodus vermis (Lobulus X, Abb. 33-36: no) und der Lingula vermis (Lobulus I; Abb. 20A, 21A, 27, 28, 33, 34: li) zieht direkt aus dem Markkörper nach caudo-ventral (Bolk, 1906). Der caudale Vermis des Pferdes zeigt eine charakteristische S-förmige Krümmung, bestehend aus Pyramis, Tuber und Folium (Abb. 22). Obwohl dies auch bei anderen Ungulaten und auch den Karnivoren beobachtet werden kann, ist die Krümmung beim Pferd gegenüber anderen Spezies sehr stark ausgeprägt (Bradley, 1899; Bolk, 1906). Interessanterweise scheinen in sagittalen Schnittbildern die Markstrahlen des Tubers und Folium keine kortikale Abdeckung zu haben und die Markstrahlen enden quasi blind (Abb. 33, 35, 37: \*), was in dieser Form auch beim Schwein beschrieben wurde, aber nicht bei anderen Huftieren (Félix et al., 1999; Schmidt, 2015). Ein Großteil der zerebellären Hemisphären werden von den massiven Lobuli ansiformes bestimmt (Abb. 8A/C, 20A-22A, 29-31, 36-41: ans), die mit Folium und Tuber des Vermis in Verbindung stehen (Schmidt, 2015; Felix et al., 1999). Anders als bei anderen Tieren formt dieser Lobulus keinen engen horizontalen Bogen, sondern steht aufrecht und verläuft nahezu parallel zum Vermis. Kurz vor seinem kaudalen Ende biegt der kaudale Anteil nach lateral ab und formt eine vertikale Schleife, deren dorsaler Anteil parallel mit dem Lobulus paramedianus verläuft (Abb. 8C, 21A, 22A, 29, 30, 36, 38: pml). Auch der große Flocculus (Abb. 8A, 20A, 21A, 37-39: flo) und Paraflocculus (Abb. 8A, 20A, 21A, 29-31, 39, 40: paf) stehen eher aufrecht, als dass sie sich zur Seite hin ausdehnen, was insgesamt zur rechteckigen Kontur des Zerebellums beiträgt. Der Flocculus ist die laterale Ausdehnung des Nodus cerebelli, zusammen oft auch als

Lobus flocculonodularis bezeichnet. In diesem phylogenetisch sehr alten Kleinhirnanteil werden vestibuläre Afferenzen aus dem Pedunculus cerebellaris caudalis (Abb. 20A, 21, 22B, 36, 37: ccp) verarbeitet. In dorsalen und transversalen Schnittbildern kann man die nur wenig hyperintensiven Kleinhirnerne erkennen, die in die Medulla des Kleinhirns eingebettet sind. Die Nuclei fastigei (Abb. 21A, 29, 33, 34: nf) liegen direkt dorsolateral des Recessus fastigei des vierten Ventrikels. Der Nucleus dentatus (Abb. 21A, 29, 36-39: nd) liegt am weitesten lateroventral in der Hemisphäre, zwischen diesen beiden liegt der Nucleus interpositus (Abb. 21A, 29, 35, 36: nip), der nochmal in zwei Unterkerne geteilt werden kann (Nucleus globosus und Nucleus emboliformis) (Bolk, 1906). Ein starkes Bündel hypointenser Fasern zieht von den Nuclei dentati und -interpositi entlang der lateralen Wand des vierten Ventrikels in rostrale Richtung in den Hirnstamm. Dieses Bündel ist der rostrale zerebelläre Pedunkel. Die meisten dieser Fasern überkreuzen sich im Tegmentum und ziehen zum Nucleus ruber und weiter in den ventralen Thalamus. Weitere Verbindungen des Zerebellums, die in der MRT gut sichtbar sind, kommen über den mittleren Kleinhirnpedunkel (Abb. 18, 19, 21B, 25–28: mcp) und den Pons (Nickel et al., 1992; Brauer und Schober, 1974).

#### **4.2.4.2 Medulla**

Das auffälligste Merkmal des Hirnstamms ist der massive Pons, der den Übergang vom Mittelhirn zur Medulla bildet. Beim Pferd ist er vergleichsweise klein. Er besteht aus transversal angeordneten Axonbündeln, zwischen denen die Nuclei pontis (Abb. 18, 19, 35, 36: npo) liegen. Den Hauptanteil der Fasern machen die cortico-pontinen Fasern aus, die vom Vorderhirn aus absteigen und mit den Ponskernen in Verbindung stehen. Zwischen den ipsilateralen Ponskernen besteht über die Fibrae transversae pontis (Abb. 18, 34-37: tfp) eine Querverbindung, deren Informationen das contralaterale Zerebellum über die mittleren Kleinhirnpedunkel erreichen, die den Pons lateral begrenzen. Die ascendierenden Fasern des Lemniscus medialis (Abb. 15, 16, 17A, 18, 19, 24-27, 34, 35: ml) teilen eine ventrale Basis pontis von einem dorsalen Tegmentum pontis, das nach rostral in das Tegmentum mesencephali übergeht. Der mediale Lemniscus ist die Hauptbahn der aufsteigenden sensorischen Informationen der Gliedmaßen. Sie münden in den Nuclei gracilis und Nuclei cuneatus. Nach der Verschaltung in den Kernen kreuzen die Fasern als Fibrae arcuatae internae des

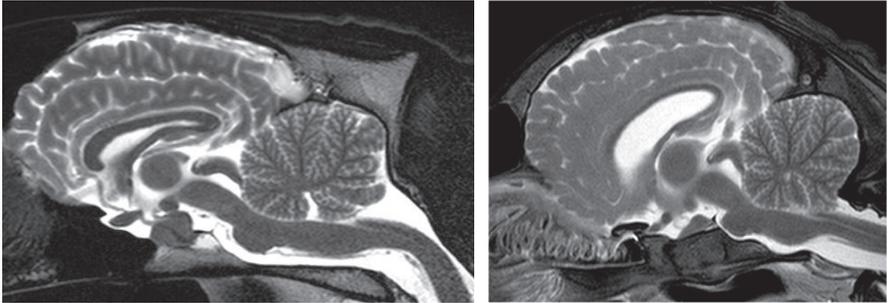
Lemniscus medialis in der Decussatio lemniscorum medialis (Abb. 24: dcml) auf die kontralaterale Seite. Von hier aus nehmen sie mit den ventralen Nuclei des Thalamus Kontakt auf. Der Tractus corticospinalis (Abb. 18B, 19, 23B, 24, 36: cst) verläuft ebenfalls durch den Pons und bildet kaudal des Pons die Pyramidenbahnen (Abb. 8B, 20, 21B, 22, 23, 33, 35, 36: pyr), die sich beidseits der Mittellinie erheben. Beim Pferd sind sie schmal und flach (Lassek, 1942). In der Decussatio pyramidalis (Abb. 35: dpy) kreuzen die cortico-spinalen Bahnen auf die Gegenseite. Vom ventrolateralen Pons entspringen die Radix sensoria und die Radix motoria. In dem sensorischen Anteil des Nervus trigeminus liegt das Ganglion trigeminale (auch Ganglion Gasseri; Abb. 19A, 25-27, 39-41: gg), das sensorische Axone von allen Anteilen des Nervus trigeminus erhält. Der Hauptteil der afferenten Fasern vereinigt sich in der Medulla zum Tractus spinalis nervi trigemini (Abb. 20-23, 25, 26, 37: tsnt), der unterhalb der Oberfläche im lateralen Anteil der Medulla am Pedunculus cerebellaris medialis anliegt. Der Tractus mündet im gleichnamigen Nucleus tractus spinalis nervi trigemini (Abb. 20B, 21-23, 25, 26, 37: ntsn). Auch diese Kerne nehmen Verbindung zu den Kernen der Gegenseite auf und münden in den Lemniscus medialis (Adrian, 1943; Woolsey, 1946; Takeuchi, 2001). Die sensiblen Afferenzen aus dem Nervus mandibularis projizieren nicht in den Tractus spinalis nervi trigemini, sondern führen nach rostral ins Mittelhirn zum Nucleus mesencephalicus nervi trigemini. Dieses Kerngebiet liegt im dorsolateralen Anteil der Substantia grisea centralis. Der Nervus mandibularis (Abb. 38, 41: man) des Nervus trigeminus trägt sowohl sensorische als auch motorische Fasern. Sein leicht hyperintenser motorischer Kern (Abb. 36: mtn) ist im mittleren Abschnitt des Pons zu erkennen. Kaudal davon liegt der hyperintense Nucleus nervi facialis (Abb. 20, 25: nnf) im ventrolateralen pontinen Tegmentum. Hypointense Fasern aus diesen Kernen nehmen einen ungewöhnlichen Verlauf, indem sie erst in einem Bogen nach dorsal verlaufen und um den Nucleus nervi abducentis abbiegen und wieder nach ventral hinabziehen (Abb. 20, 21B, 27: nab). Dieser Bogen wird als Genu nervi facialis (Abb. 20, 27, 35: gnf) bezeichnet. Die Fasern wölben sich gegen den Boden des vierten Ventrikels vor und bilden so den Colliculus nervi facialis. Von hier aus verlaufen die Fasern nach ventral und verlassen den Hirnstamm am unteren Ende des Pons, lateral des Tractus spinalis nervi trigemini. Dorsolateral des Nervus facialis tritt der Nervus vestibulocochlearis am cerebellopontinen Winkel in den Hirnstamm ein. Seine cochleären Fasern münden in die dorsalen (Abb. 20, 21: ncd) und ventralen Nuclei cochleares (Abb. 20; 21B: ncv), die in einer lateralen Vorwölbung

des Hirnstammes liegen, dem Tuberculum acusticum (Abb. 20B, 21: tac). Im Gegensatz zu Karnivoren ist dieser Kern beim Pferd abgerundet und flach. Von hier kreuzen die Fasern durch das Corpus trapezoideum und ascendieren als Lemniscus lateralis nach rostral und steigen im Brachium colliculi rostralis zum Mittelhirn auf. Das Corpus trapezoideum (Abb. 8B, 20, 21, 24, 34, 36, 38: tb) besteht aus kommissuralen Fasern (Decussatio trapezoideum; Abb. 20, 21B, 24: dctb), die aus den ventralen Cochlea-Kernen bzw. den Nuclei dorsales corpus trapezoidei (Abb. 21: ndct) kommen, die auch als Nucleus olivaris rostralis bezeichnet werden. Die kaudale Fortsetzung der Substantia grisea centralis ist die dem vierten Ventrikel ventral anliegende periventriculäre graue Substanz, die im Verlauf kaudal in der Medulla in einzelne nucleäre Gruppen zerfällt. Ihr topographisches Verhältnis zum Sulcus limitans kann als Orientierungshilfe für deren Identifikation genutzt werden. Die medialen (Abb. 20, 21, 27, 35: nvm) und lateralen Vestibulariskerne (Abb. 20, 21: nvl) sind hyperintense Kerngruppen dorsal des Sulcus limitans, die den vierten Ventrikel lateral flankieren. Auf der Höhe dieser Kerne verläuft ein schmales Band hyperintensere Neurone entlang der Mittellinie der Medulla vom vierten Ventrikel zum Corpus trapezoideum. Dies sind die medialen Raphekerne (Nucleus raphe medianus; Abb. 21: nrm). Weiter kaudal vereinigen sich afferente Fasern von den Abdominalorganen zum Tractus solitarius (Abb. 22B, 23: solt), die Informationen zum Nucleus tractus solitarii führen (Abb. 22, 23: nsol). Er kann als hypointenser Punkt am ventrolateralen Ende des hyperintenseren Nucleus identifiziert werden. Die beiden Nuclei treten im kaudalen Verlauf immer weiter zusammen. Das Areal, in welchem sie sich treffen, wird Obex genannt (Abb. 23, 33: obx), der den Übergang vom Rückenmark zur Medulla kennzeichnet. Der Nucleus gracilis and Nucleus cuneatus liegen direkt oberhalb des Nucleus solitarius. Rostral des Obex liegt der motorische Kern des Nervus vagus (Abb. 22, 35: vagn) dem Nucleus solitarius an, wiederum rostroventral davon liegt der Nucleus nervi hypoglossi (Abb. 22, 23: hypn). Ventral in der Formatio reticularis (Abb. 18, 19, 20B, 22B, 25, 26, 35: rf) der Medulla liegt eine breite, isointense Kernsäule, die den Nucleus glossopharyngeus, N. vagus und N. accessorius enthält (Becht, 1991). Diese Kerne werden zum Nucleus ambiguus (Abb. 22B: amb) zusammengefasst, der nur in histologischen Schnittbildern eindeutig zu erkennen ist. Der charakteristischste Kern der Medulla ist der inhomogene, hyperintense Nucleus olivaris caudalis (Abb. 22-24, 34-37: oli). Er besteht aus einem Zellband in einer schlangenförmigen Linie dorsolateral der Pyramidenbahnen.

## 5 Diskussion

Obwohl es für die meisten unserer Kleintiere bereits Atlanten zur MRT-Anatomie gibt, sind vergleichbare morphologische Untersuchungen für Großtiere und so auch für das Pferd bisher nicht in ausreichender Qualität vorhanden. Obwohl neurologische Erkrankungen bei Pferden im klinischen Alltag nicht selten sind, hat sich die MRT als Diagnostikum erst in den letzten Jahren zunehmend durchgesetzt. Dies liegt sicherlich an der teuren Hardware, aber vor allen Dingen auch an dem ebenfalls teuren apparativen Aufwand zur Anpassung der Technologie an die Größe der Pferde. Kräne und Tische zur Lagerung der Pferde müssen dem Hochmagnetfeld angepasst und dementsprechend unmagnetisch sein, was mit nicht unbeträchtlichen Zusatzkosten verbunden ist (Holmes, 2013). Die Entwicklung von Vet-Scannern und Geräten, die auch sedierte Tiere im Stehen untersuchen können, haben die Technik einem breiteren Feld an Tierärzten zugänglich gemacht. Neben dem Einsatz in der klinischen Neurologie besteht seit einiger Zeit ebenfalls ein Interesse von Seiten der Verhaltensmedizin und der Neurowissenschaftlichen Forschung. Das Pferd hat ein vergleichsweise großes, komplexes Gehirn (Cozzi et al., 2017; Edinger, 1948), das konventionellen Scannern und etablierten Techniken zugänglich ist. Aufgrund der Domestikation zeigen sich Pferde extrem kooperativ für Verhaltenstests und haben eine vergleichsweise lange Lebensspanne, was sie für die neuropsychologische Forschung interessant macht (Johnson et al., 2019). In dieser Studie wird das Pferdegehirn mittels Hochfeld-MRT untersucht und die hochauflösenden, gut kontrastierenden Bilder werden im Vergleich zu histologischen Schnitten des Gehirns dargestellt und ihr morphologischer Inhalt erläutert. Detaillierte Informationen zu zentralnervösen Substrukturen sind insbesondere dann für die Diagnose von Erkrankungen des Gehirns wichtig, wenn es um Krankheiten geht, die nur Teilbezirke des Gehirns oder bestimmte funktionelle Systeme betreffen (Sanders et al., 2001). Sie bilden darüber hinaus auch die Basis für funktionelle MRT-Untersuchungen am Pferdegehirn (Back und Clayton, 2013). Die hier erhobenen Bilder wurden unter optimalen Bedingungen aufgenommen. Um hochqualitative Bilder zu generieren waren pro Ebene etwa eineinhalb Stunden Aufnahmezeit nötig. Der Kopf wurde durch Entfernen von Schädelanteilen an die Spule angepasst, um Bildrauschen weitestgehend zu eliminieren. Diese Anpassungen sind unter normalen Bedingungen in vivo natürlich nicht möglich. Das heißt, dass unter klinischen Bedingungen eine je

nach verwendeter Hard- und Software geringere Bildqualität zu erwarten ist, die aber ggf. in Zukunft durch weitere Anpassungen der Technik an die Gegebenheiten beim Pferd ausgeglichen werden kann. Eine vergleichbare Entwicklung hat es in der Kleintierneurologie ebenfalls gegeben (Schmidt und Kramer, 2015). In der vorliegenden Studie wurden sowohl männliche als auch weibliche Tiere unterschiedlicher Rassen untersucht, wobei nur ausgewachsene Großpferde eingeschlossen wurden. Die Frage nach der Homogenität der ZNS-Strukturen über die Rassegrenzen der Pferde hinweg konnte in einer zeitgleich zu dieser Studie publizierten Untersuchung beantwortet werden. In einer amerikanischen Arbeitsgruppe wurde auf der Basis von MRT-Bildern ein brain-template des Pferdegehirns entworfen (Johnson et al., 2019). Ein brain-template kann als eine Art idealisiertes Pferdegehirn verstanden werden. Durch automatische Registrationsalgorithmen werden korrespondierende Schichten des Gehirns verschiedener Pferde übereinandergelegt und vereinheitlicht. Weiße- und graue Substanz sowie Liquor, Subarachnoidalraum und subkortikale Strukturen, Hippocampus etc. werden segmentiert und deren normierte Volumeneinheiten gespeichert (Evans et al., 2012; Nitzsche et al., 2015). So werden voxelweise Sollwerte für jeden Hirnanteil generiert, der für den Vergleich mit Tieren in Krankheitszuständen oder Altersprozessen innerhalb des ZNS zur automatisierten Untersuchung zur Verfügung steht. Die Arbeitsgruppe stellt die einheitliche Morphologie auch bei Pferden unterschiedlicher Rassen heraus (Johnson et al., 2019). Pferde weisen eine motorische und sensorische Lateralität auf, die meistens mit einer Dominanz der rechten Hemisphäre in Stress-Situationen oder sozialer Interaktion verbunden ist (Larose et al., 2006; Austin und Rogers, 2007). Diese Dominanz ist mit größeren Volumina an grauer und weißer Substanz auf der rechten Hemisphäre vergesellschaftet (Johnson et al., 2019), die allerdings visuell nicht erfassbar ist. Trotz der dort beschriebenen Einheitlichkeit des Pferdegehirns muss aber in Frage gestellt werden, ob nicht doch in einigen Punkten qualitative und quantitative Unterschiede zwischen individuellen Pferden bestehen. Rasseunterschiede der Hirnmorphologie aufgrund von Unterschieden der Schädelform, wie sie beim Hund bestehen, sind zwischen Pferden mit langgestreckten und gestauchten Köpfen, wie bei Arabern im Gegensatz zu Minishettland Ponies, auch ohne quantitative Messungen sichtbar (Abb. 42).

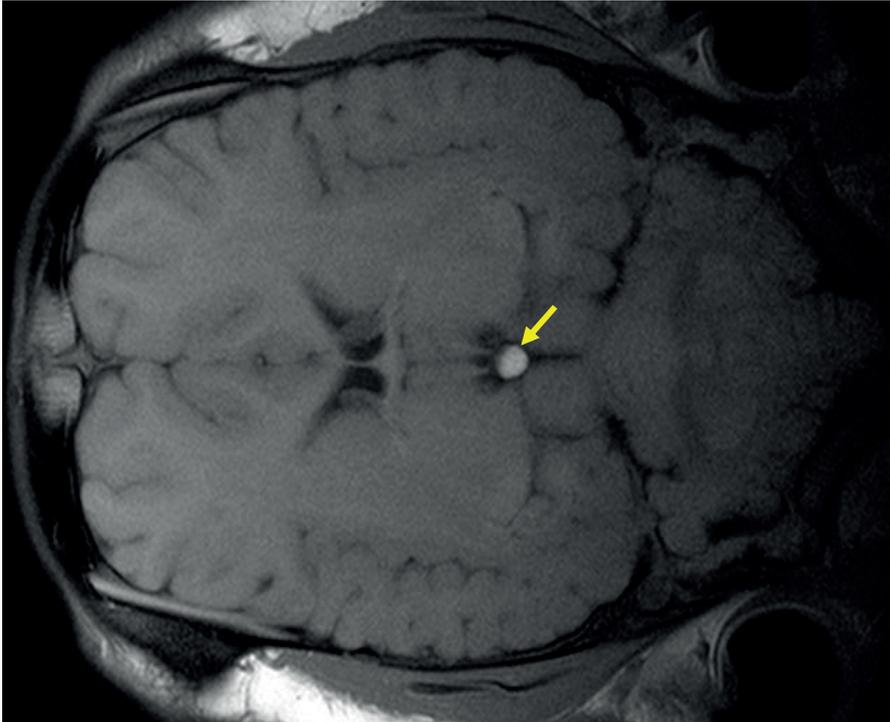


**Abb. 42:** Vergleich eines Hannoveraners mit physiologischer Kopfform (links) und eines Mini-Shetland-Ponys (rechts) mit brachycephaler Kopfform. Das Gehirn des Ponies zeigt sich aufgrund der kurzen Schädelbasis in der ventralen Kontur gedungen, der Bulbus olfactorius liegt eher ventral, als am vorderen Hemisphärenpol. Das Mittelhirn und das Zerebellum sind nach dorsal aufgeworfen. Die Schädelkapazität ist herabgesetzt.

Darüber hinaus muss mit Unterschieden in hormonell aktiven Bereichen des Gehirns gerechnet werden. Eine MRT-Untersuchung an Schafen hat gezeigt, dass je nach Jahreszeit und reproduktivem Zustand der Schafe auffällige Unterschiede in der Größe und Beschaffenheit der Hypophyse bestehen, die im MRT klar ersichtlich sind (Langen, 2014). Pferde zeigen zwar nicht solche jahreszeitlichen Veränderungen, wohl mit zunehmendem Alter Volumenzunahmen im Rahmen einer knotigen Hyperplasie, die auch histologisch nicht immer von Hypophysenadenomen abgegrenzt werden kann (Höser, 1941; Dahme und Weiss, 2007). Strukturelle Veränderungen laufen mit fortschreitendem Alter auch in der Epiphyse von Pferden ab. Die vermehrte Einlagerung von Bindegewebe lässt die Epiphyse an Umfang zunehmen (Junqueira et al., 2013; Cozzi und Ferrandi, 1984). Ansonsten entspricht das Pferdegehirn dem fundamentalen Bauplan anderer Säugetiere (Niewenhuis et al., 1998; Ellenberger und Baum, 1977), verfügt aber über einige wichtige Besonderheiten, die für die Interpretation der physiologischen Morphologie sehr wichtig sind. Charakteristisch für die Ungulaten ist eine massive Expansion des Neocortex mit einer intensiven Fältelung der Oberfläche, die die Identifikation einzelner Gyri in der MRT sehr erschwert. Die Expansion des Kortex ist zu einem Teil der allometrischen Größenzunahme des Neocortex mit ansteigender Körpermasse geschuldet. Der Encephalisationsindex, also der Anteil des Vorderhirns in Relation zum Gesamthirnvolumen, steigt als biologische Größe mit der Körpermasse an. Mehr Neokortex bedingt aufgrund physikalischer Gesetzmäßigkeiten auch einen höheren Gyrifikationsindex, also eine höhere Anzahl an Sulci und Gyri pro Volumeneinheit. Trotz dieser grundlegenden

Gesetzmäßigkeiten übertrifft der Gyrfikationsindex vieler Ungulaten die Durchschnittswerte für andere Säugetiere gleicher Körpermasse, sogar die des Menschen (Pillay et al., 2007). Neben der rein allometrischen Expansion des Gehirns scheinen sich bei den Huftieren spezielle Kortexareale überproportional entwickelt zu haben, was mit der speziellen Somatosensorik der Tiere zu erklären ist (Adrian, 1943; Woolsey und Fairman, 1946). Ein wichtiges Beispiel ist das Areal um den Gyrus diagonalis, das zu einem Großteil aus somatosensorischem Kortex besteht, der Informationen von der Nase, den Oberlippen und der Zunge verarbeitet (Adrian, 1943). Mit dem Größenzuwachs eines umschriebenen funktionellen Cortexareals ist immer auch eine allgemeine Volumenzunahme verbunden, da primäre Zentren mit sekundären ipsilateralen sowie mit kontralateralen Arealen verbunden sind und darüber hinaus auch mehr Assoziationsbahnen zu anderen Kortexabschnitten in das Gehirn integriert werden (Jerison und Jerison, 2013). Pferde haben einen vergleichsweise gut entwickelten Temporallappen, der als echter Temporallappen mit Opercularisierung zu werten ist. Der insuläre Kortex ist in die Tiefe der Hemisphäre verlegt und der Gyrus obliquus und der Gyrus suprasylvius decken den insulären Kortex von lateral ab. Der cytoarchitektonische Aufbau des Gyrus obliquus wurde bisher nicht untersucht, seine Lage impliziert aber analoge Funktion zum insulären Kortex, wie der Verarbeitung von Emotionen und der Regulation der körpereigenen Homöostase (Jerison und Jerison, 2013). Ob dieses Areal eine Neuentwicklung im Rahmen einer Spezialisierung beim Pferd darstellt oder lediglich eine Entwicklung im Rahmen der allgemeinen Volumenzunahme des Pferdegehirns repräsentiert, ist unklar (Edinger, 1948). Die motorischen Fähigkeiten der Pferde sind verhältnismäßig unterentwickelt. Der motorische Kortex kann entlang des Sulcus cruciatus identifiziert werden (Cozzi et al., 2017). Aufgrund der Reduktion der Muskulatur der distalen Gliedmaßen sind die kortikalen Repräsentationen vergleichsweise klein und einfach aufgebaut (Hof et al., 2000), was sich bei den efferenten Bahnen der motorischen Areale widerspiegelt. Die Crura cerebri und weiter distal die Pyramidenbahnen sind flach und im Vergleich zu Carnivoren in Relation zum Gesamthirn sehr klein. Die Regulation der Gliedmaßenmotorik funktioniert vor allen über rubro-spinale, tecto-spinale, vestibulo-spinale und reticulo-spinale Tractus. Die pyramidalen Bahnen enden im Halsmark und sind ausschließlich für die Bewegungen von Hals und Kopf verantwortlich (Barone, 1966; Chiocchetti et al., 2006; Grandis et al., 2007). Der primäre visuelle Kortex konnte anhand von myeloarchitektonischer Analyse in den hinteren

Anteilen des Gyrus marginalis, - ectomarginalis und - suprasplenialis lokalisiert werden (Takeuchi und Sugita, 2001). Der auditorische Kortex befindet sich im Gyrus ectosylvius caudalis (Adrian, 1943). Über viele andere kortikale Areale ist nicht viel bekannt. Informationen über den präfrontalen und frontalen Kortex sowie kortikale Repräsentation vestibulärer und gustatorischer Informationen sind nicht bekannt (Breazile et al., 1967). Das Pferd wird in der Literatur oft als makrosomatisches Tier bezeichnet, obwohl dieser Begriff ein wenig irreführend ist. Der Begriff wird teilweise verwendet, um die Abhängigkeit eines Tieres von olfaktorischen Informationen zu bezeichnen, aber vor allen Dingen auch, um den Anteil des Riechhirns am gesamten Gehirnvolumen und damit den Grad der Höherentwicklung eines Säugetieres anzugeben. Beim Pferd findet sich eine gewisse Diskrepanz zwischen den relativ kleinen Bulbi olfactorii, dem Riechhirn im eigentlichen Sinne und dem limbischen Anteil des Rhinencephalons (Hippocampus und Gyrus parahippocampalis). Bei anderen Ungulaten ist die Relation dieser Strukturen wesentlich größer (Schmidt, 2006; Langen, 2014; Schmidt, 2015; Schmidt et al., 2009). Es wäre möglich, dass sich das Volumen des Allokortex (Hippocampusformation) im Zuge der Neokortexexpansion sekundär zurückgebildet hat, oder sich diese Strukturen beim Pferd einfach unabhängig voneinander entwickeln. Der Bulbus olfactorius ist eine Struktur, die ein wichtiges Charakteristikum für das Pferdegehirn aufweist, den großen Recessus bulbi olfactorii. Die domestizierten Ungulaten (Schwein, Rind, Schaf, Ziege) weisen alle eine solche Erweiterung auf (Schmidt, 2015; Schmidt et al., 2009; Schmidt et al., 2012), die, anders als beim Hund, nicht als ein Zeichen einer gestörten Liquorzirkulation interpretiert werden darf und somit auch keinen erhöhten intraventrikulären Druck impliziert (Schmidt und Kramer, 2015). Eine weitere charakteristische Ausprägung ist das Signal der Hypophyse in T1 gewichteten Aufnahmen. Die Einlagerung von Alterspigmenten (Lipopigmente) in Neuronen ist beim Pferd häufig und nicht auf alte Tiere begrenzt (Becht, 1991). Lipofuscin und verwandte Proteine wie Neuromelanin sind überall im Gehirn zu finden, eine auffällig hohe Konzentration zeigt sich jedoch in der Epiphyse des Pferdes. Diese Proteine haben eine verkürzte T1- Relaxationszeit, was das Signal der Epiphyse hyperintens werden lässt (Abb. 43).



**Abb. 43: T1 gewichtetes, dorsales Schnittbild des Pferdegehirns auf Höhe der Epiphyse, die sich untypischerweise hyperintens darstellt (Pfeil).**

Zusätzlich binden die Proteine Zink, welches paramagnetische Eigenschaften aufweist, was zur Hyperintensität beiträgt (Double et al., 2008). Ein „pituitary bright spot“, wie bei Hund und Katze wurde hingegen nicht beobachtet. Das Kleinhirn der Pferde wurde bereits als sehr charakteristisch beschrieben (Bolk, 1906; Brauer und Schober, 1970). Im Allgemeinen lässt sich eher eine vertikale Ausdehnung erkennen, als eine laterale Expansion wie bei Carnivoren. Auffällig ist die Deviation des Vermis in der Mittellinie, für die bisher keine Erklärung gefunden werden konnte. Bolk (1906) beschreibt einen Zusammenhang zwischen der S-förmigen Krümmung von Tuber, Folium und Declive des Vermis und der Volumenzunahme des Lobulus ansiformis und vermutet eine Korrelation zwischen der zunehmenden Größe des Lobulus, welcher den Vermis verdrängt. Ein weiteres charakteristisches Merkmal des Pferdekleinhirns sind scheinbar blind endende Marklamellen im Vermis ohne kortikale Abdeckung. Eine vergleichbare Beobachtung wurde bisher nur bei Schweinen gemacht (Schultz, 1953).

Es wurde vermutet, dass dies eine entwicklungsmechanische Behinderung durch Kompression von Blutgefäßen sein könnte, was allerdings nie bewiesen wurde. Trotzdem hat dieser Befund als physiologische Rindenaplasie einen Platz in der veterinärmedizinischen Literatur erhalten (Done et al., 1968; Done et al., 1986). Aufgrund der vorliegenden Untersuchungen des Zerebellums parallel in verschiedenen Schnittebenen muss zumindest beim Pferd davon ausgegangen werden, dass es sich um ein Artefakt handelt, das durch die scharfen Kurven des Vermis verursacht wird. Einzelne Lamellen biegen plötzlich ab, sodass das kortikale Ende zur Seite aus der Schnittebene ausbricht und es nur so scheint, als wäre nur Mark aber keine Rinde zu sehen. In der vorliegenden Arbeit konnte mit Hilfe der MRT das physiologische Gehirn mit seinen anhängenden Strukturen beim Pferd erstmals in mehreren Ebenen und im Detail dargestellt und beschrieben werden. Die Untersuchung bildet somit eine Grundlage für die zukünftige klinische Diagnostik des zentralen Nervensystems beim Pferd mittels MRT und soll sowohl bei der Orientierung im MRT-Bild helfen als auch eine unterstützende Basis zur besseren Abgrenzung von pathologischen und physiologischen Veränderungen des equinen Gehirns in der MRT für den Kliniker bieten.

### **6 Zusammenfassung**

Die Morphologie des Pferdegehirns in der Magnetresonanztomographie gewinnt aufgrund der sich stetig verbessernden Diagnostikmöglichkeiten intrakranialer, neurologischer Erkrankungen zunehmend an Bedeutung. Trotz zahlreicher Beschreibungen der Struktur des Pferdegehirns in anatomischen Studien, existieren bislang nur vereinzelt Beschreibungen der MRT-Anatomie des Pferdegehirns. Diese basieren zum Großteil auf MRT-Sequenzen mit reduzierter Qualität oder MRT-Aufnahmen von Fohlen. Ziel dieser Arbeit war eine detaillierte Beschreibung der Morphologie der equinen Gehirnstrukturen post mortem mittels 3 Tesla Magnetresonanztomographie. Zur eindeutigen Lokalisation und Benennung der einzelnen Gehirnstrukturen wurden sagittale, dorsale und transversale T2-gewichtete MRT-Sequenzen in 0,25 mm Auflösung verwendet. Diese wurden zur eindeutigen Identifikation der separaten Gehirnareale mit den korrespondierenden transversalen Histologieschnitten verglichen und korreliert. Des Weiteren wurden zur besseren Orientierung virtuelle 3D- Modelle der Pferdegehirne anhand der MRT-Datensätze angefertigt. Die vorliegende Arbeit leistet somit einen Beitrag zur Bildinterpretation von klinischen MRT-Aufnahmen des Pferdegehirns und kann als Grundlage für die zukünftige Planung von entsprechenden in vivo Untersuchungen in der MRT beim Pferd dienen.

## **7 Summary**

The morphology of the equine brain in magnetic resonance tomography is becoming increasingly important due to the constantly improving diagnostic possibilities of intracranial, neurological diseases in horses. Despite numerous descriptions of the structure of the equine brain in anatomical studies, only few descriptions of the MRI anatomy of the horse brain exist. These are largely based on MRI sequences with reduced quality or MRI images of foals. The aim of this work was a detailed description of the morphology of the equine brain structures post mortem using 3 Tesla magnetic resonance imaging. Sagittal, dorsal and transversal T2-weighted MRI sequences with a resolution of 0.25 mm were used to clearly localize and name the individual brain structures. The MRI sequences were compared and correlated with the corresponding transversal histology sections in order to identify the separate brain areas with high precision. Furthermore, for better orientation, virtual 3D models of the equine brain were gained using the MRI datasets. The present work makes a contribution to the image interpretation of MRI images of the equine brain and can serve as a foundation for the future planning of in vivo MRI examinations in horses.

## 8 Literaturverzeichnis

### **Adrian, E. D. (1943)**

Afferent areas in the brain of ungulates. *Brain*, 66(2), 89-103.

### **Adrian, E. D. (1946)**

The somatic receiving area in the brain of the Shetland pony. *Brain*, 69(1), 1-8.

### **Anderson, W. D., Anderson, B. G. (1979)**

Arterial supply to the prosencephalon and mesencephalon of the dog and horse. *The Anatomical Record*, 193(3), 471.

### **Arble, J. B., Mattoon, J. S., Drost, W. T., Weisbrode, S. E., Wassenaar, P. A., Pan, X., Belknap, J. K. (2009)**

Magnetic resonance imaging of the initial active stage of equine laminitis at 4.7 T. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 50(1), 3-12.

### **Arencibia, A., Vazquez, J. M., Ramirez, J. A., Ramirez, G., Vilar, J. M., Rivero, M. A., et al. (2001)**

Magnetic resonance imaging of the normal equine brain. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 42, 405-09.

### **Assheuer, J., Sager, M. (1997)**

MRI and CT Atlas of the Dog. Blackwell Science, Berlin.

### **Audigié, F., Tapprest, J., George, C., Didierlaurent, D., Foucher, N., Faurie, F., Denoix, J. M. (2004)**

Magnetic resonance imaging of a brain abscess in a 10-month-old filly. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 45(3), 210-15.

### **Austin, N.P., Rogers, L.J. (2007)**

Asymmetry of flight and escape turning responses in horses. *Laterality*, 12(5), 464-74.

**Baker, G. J., Easley, J., (2005)**

Equine dentistry. Saunders Elsevier, Philadelphia.

**Back, W., Clayton, H. (2013)**

Equine Locomotion. Saunders Elsevier, Philadelphia.

**Barone, R., Schafer, H. (1952)**

L'irrigation arterielle de l'encephale chez equides domestiques. Bulletin de la Societe des Sciences Veterinaires, Lyon, 54, 55-82.

**Barone, R., Champion, M. (1955)**

Le drainage veineux de l'encéphale des équidés. Bulletin de la Societe des Sciences Veterinaires, Lyon, 1, 35-47.

**Barone, R. (1966)**

Les voies descendantes dans le névraxe des Equidés. Bulletin de l'Académie Vétérinaire de France, 39(4), 137-41.

**Becht, K. (1991)**

Zytoarchitektur des Hirnstamms beim Pferd unter besonderer Berücksichtigung der Verteilung von Alterspigment. Dissertation, Justus-Liebig-Universität Giessen.

**Beltran, E., Grundon, R., Stewart, J., Biggi, M., Holloway, A., Freeman, C. (2016)**

Imaging diagnosis-unilateral trigeminal neuritis mimicking peripheral nerve sheath tumor in a horse. Veterinary Radiology & Ultrasound, 57(1), E1-E4.

**Berry, C. R., Thrall, D. E. (2002)**

Textbook of Veterinary Diagnostic Radiology. Saunders Elsevier, Philadelphia.

**Bock, M., Reiser, M., Semmler, W. (2002)**

Magnetresonanztomographie. Springer Berlin, Heidelberg.

**Bolk, L. (1906)**

Das Cerebellum der Säugetiere. Eine vergleichend anatomische Untersuchung. Haarlem, Jena Bohn, Fischer.

**Bradley, O. C. (1899)**

On the Cerebellum of the Horse. *Journal of Anatomy and Physiology*, 33(4), 587.

**Bradley, O. C. (1899)**

The convolutions of the cerebrum of the horse. *Journal of Anatomy and Physiology*, 33(2), 215.

**Brauer, K., Schober, W. (1970)**

Katalog der Säugetiergehirne. *Zeitschrift für Morphologie und Anthropologie*, 64(2), 242.

**Breazile, J. E., Jennings, D. P., Swafford, B. C. (1967)**

Conduction velocities in the corticospinal tract of the horse. *Experimental Neurology*, 17, 357-63.

**Breazile, J. E., Swafford, B. C., Biles, D. R. (1966)**

Motor cortex of the horse. *American Journal of Veterinary Research*, 27(121), 1605-09.

**Brettschneider, H. (1954)**

Hypothalamus und Hypophyse des Pferdes: Ein Beitrag zur Verknüpfungsfrage. Dissertation, Akademische Verlagsgesellschaft.

**Brettschneider, H. (1955)**

Hypothalamus und Hypophyse des Pferdes. *Morphologisches Jahrbuch*, 96, 265-384.

**Brix, G. (2002)**

Physikalische Grundlagen. Abbildungsverfahren. In: Reiser M, Semmler W. *Magnetresonanztomographie*. Springer Berlin, Heidelberg.

**Budras, K. D., Röck, S. (1991)**

Atlas der Anatomie des Pferdes. Schlütersche Verlagsgesellschaft, Hannover.

**Careddu, G. M., Evangelisti, M. A., Columbano, N., Masala, G., Manunta, M. L., Passino, E. S. (2016)**

Magnetic resonance imaging features of progressive ethmoid hematoma in 2 horses. *Veterinaria Italiana*, 52(1), 31-35.

**Chaffin, M. K., Walker, M. A., McArthur, N. H., Perris, E. E., Matthews, N. S. (1997)**

Magnetic resonance imaging of the brain of normal neonatal foals. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 38(2), 102-111.

**Chiocchetti, R., Bombardi, C., Grandis, A., Mazzuoli, G., Gentile, A., Pisoni, L., Joechler, M., Lucchi, M. L. (2006)**

Cytoarchitecture, morphology and lumbosacral spinal cord projections of the red nucleus in cattle. *American Journal of Veterinary Research*, 67(10), 1662-69.

**Christiansen, H. N., Sederberg, T. W. (1978)**

Conversion of complex contour line definitions into polygonal element mosaics. *ACM Siggraph Computer Graphics*, 12(3), 187-92.

**Cozzi, B., De Giorgio, A., Peruffo, A., Montelli, S., Panin, M., Bombardi, C., Granato, A. (2017)**

The laminar organization of the motor cortex in monodactylous mammals: a comparative assessment based on horse, chimpanzee, and macaque. *Brain Structure and Function*, 222(6), 2743-57.

**Cozzi, B., Ferrandi, B. (1984)**

The pineal gland of the horse. Morphological and histochemical results. (With notes on the donkey and mule pineal). *Basic and Applied Histochemistry*, 28(1), 81-90.

**Dahme, E., Weiss, E. (2007)**

Grundriss der speziellen pathologischen Anatomie der Haustiere. Enke Verlag, Stuttgart.

**Dexler, H. (1904)**

Beiträge zur Kenntnis des feineren Baues des Zentralnervensystems der Ungulaten. Gegenbaurs morphologisches Jahrbuch, 32, 288.

**Dietz, O., Huskamp, B. (1999)**

Handbuch Pferdepraxis. Enke Verlag, Stuttgart.

**Done, J. T., Herbert, C. N. (1968)**

The growth of the cerebellum in the foetal pig. Research in Veterinary Science, 9, 143-48.

**Done, J. T. (1986)**

Congenital nervous diseases of the pig. Laboratory Animals, 2, 207-17.

**Double, K. L., Dedov, V. N., Fedorow, H., Kettle, E., Halliday, G. M., Garner, B., Brunk, U. T. (2008)**

The comparative biology of neuromelanin and lipofuscin in the human brain. Cellular and Molecular Life Sciences, 65(11), 1669-82.

**Edinger, T. (1948)**

Evolution of the horse brain. Geological Society of America, 25,1-177.

**Ellenberger, W. (1892)**

Die Furchen der Großhirnoberfläche des Pferdes, der Wiederkäuer, des Schweines. Generalregister zum Archiv für wissenschaftliche und praktische Tierheilkunde, 18, 267-91.

**Ellenberger, W., Baum, H. (1977)**

Handbuch der vergleichenden Anatomie der Haustiere. Springer Berlin, Heidelberg.

**Evans, A. C., Janke, A. L., Collins, D. L., Baillet, S. (2012)**

Brain templates and atlases. *Neuroimage*, 62(2), 911-22.

**Félix, B., Léger, M. E., Albe-Fessard, D., Marcilloux, J. C., Rampin, O., Laplace, J. P., Duclos, N. (1999)**

Stereotaxic atlas of the pig brain. *Brain research bulletin*, 49(1-2), 1-137.

**Ferrell, E. A., Gavin, P. R., Tucker, R. L., Sellon, D. C., Hikes, M. (2002)**

Magnetic resonance for evaluation of neurologic disease in 12 horses. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 43(6), 510-16.

**Flatau, E., Jacobsohn, L. (1899)**

Handbuch der Anatomie und vergleichenden Anatomie des Centralnervensystems der Säugetiere 1, 405-578.

**Forel, A. (1877)**

Untersuchungen über die Haubenregion und ihre oberen Verknüpfungen im Gehirne des Menschen und einiger Säugethiere, mit Beiträgen zu den Methoden der Gehirnuntersuchung. *Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten*, 7(3), 393-495.

**Gonçalves, R., Malalana, F., McConnell, J. F., Maddox, T. (2015)**

Anatomical study of cranial nerve emergence and skull foramina in the horse using magnetic resonance imaging and computed tomography. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 56(4), 391-97.

**Grandis, A., Bombardi, C., Travostini, B., Gentile, A., Joechler, M., Pisoni, L., Chiocchetti, R. (2007)**

Vestibular nuclear complex in cattle: topography, morphology, cytoarchitecture and lumbo-sacral projections. *Journal of Vestibular Research*, 17(1), 9-24.

**Gray-Edwards, H. L., Salibi, N., Josephson, E. M., Hudson, J. A., Cox, N. R., Randle, A. N., Martin, D. R. (2014)**

High resolution MRI anatomy of the cat brain at 3 Tesla. *Journal of Neuroscience Methods*, 227, 10-17.

**Hof, P. R., Glezer, I. I., Nimchinsky, E. A., Erwin, J. M. (2000)**

Neurochemical and cellular specializations in the mammalian neocortex reflect phylogenetic relationships: evidence from primates, cetaceans, and artiodactyls. *Brain Behavior and Evolution*, 55, 300-10.

**Hofmann, M. (1900)**

Zur vergleichenden Anatomie der Gehirn-und Rückenmarksarterien der Vertebraten. *Zeitschrift für Morphologie und Anthropologie*, 2, 247-322.

**Hofmann, M. (1901)**

Zur vergleichenden Anatomie der Gehirn-und Rückenmarksvenen der Vertebraten. *Zeitschrift für Morphologie und Anthropologie*, 2, 239-99.

**Holl, M. (1900)**

Ueber die Insel des Ungulatengehirnes. *Archiv für Anatomie und Entwicklungsgeschichte*.

**Holmes, S. P. (2013)**

Equine skull magnetic resonance imaging: The where, when and why? *Equine Veterinary Education*, 26(11), 605-09.

**Höser, J. (1941)**

Altersveränderungen der Hypophyse des Pferdes. *Zeitschrift für Altersforschung*, 3, 113-25.

**Hummel, G. (1976)**

The fine structure of cerebral motor cortex in the horse. *Zentralblatt für Veterinarmedizin. Reihe C: Anatomie, Histologie, Embryologie*, 5(1), 35-53.

**Jenke, W. (1919)**

Die Gehirnarterien des Pferdes, Hundes, Rindes und Schweines verglichen mit denen des Menschen. *Dissertation, Leipzig*.

**Jerison, H. J., Jerison, I. (2013)**

Intelligence and evolutionary biology. Springer Science & Business Media.

**Johnson, P. J., Janvier, V., Luh, W. M., Fitz Maurice, M., Southard, T., Barry, E. F. (2019)**

Equine stereotaxic population average brain atlas with neuroanatomic correlation. Frontiers in Neuroanatomy, 13, 89.

**Jöst, K. (1992)**

Entwicklung der Colliculi rostrales beim Rind. Makroskopische und Lichtmikroskopische Befunde. Dissertation, Justus-Liebig-Universität Giessen.

**Junqueira, L. C. U., Carneiro, J., Gratzl, M., Mayerhofer, A., Wurziger, L. J. (2013)**

Endokrine Organe Histologie, 4, 389-91. Springer Berlin, Heidelberg.

**Kappers, A. (1920)**

Die Vergleichende Anatomie des Nervensystems der Wirbeltiere und des Menschen. Bohn, Haarlem.

**Kimberlin, L., Zur Linden, A., Ruoff, L. (2016)**

Atlas of clinical imaging and anatomy of the equine head. John Wiley & Sons.

**Koller, R. (1922)**

Zur vergleichenden Anatomie der Hypophysenumgebung. Zeitschrift für Anatomie und Entwicklungsgeschichte, 65(1), 183-203.

**König, H. E., Liebich, H. G., Maierl, J. (1999)**

Anatomie der Haussäugetiere. Schattauer, Stuttgart.

**Krueg, J. (1878)**

Ueber die Furchung des Grosshirnrinde der Ungulaten. Journal für Wissenschaftliche Zoologie 31, 297-345.

**Langen, N. W. (2014)**

Darstellung der Morphologie des Zentralnervensystems beim Schaf (*Ovis aries*) mit der Magnet-Resonanz-Tomographie. Dissertation, Justus-Liebig-Universität Giessen.

**Larose, C., Richard-Yris, M. A., Hausberger, M., Rogers, L. J. (2006)**

Laterality of horses associated with emotionality in novel situations. *Laterality* 11, 355-67.

**Lassek, A. M. (1942)**

The pyramidal tract. A fiber and numerical analysis in a series of non-digital mammals (ungulates). *Journal of Comparative Neurology*, 77(2), 399-404.

**Laubenberger, T., Laubenberger, J. (1994)**

Technik der medizinischen Radiologie; Diagnostik, Strahlentherapie, Strahlenschutz. Für Ärzte, Medizinstudenten und MTRA. Mit Anleitung zur Strahlenschutzbelehrung in der Roentgendiagnostik. Deutscher Ärzte-Verlag.

**Levine, J. M., Levine, G. J., Hoffman, A. G., Bratton, G. (2008)**

Comparative anatomy of the horse, ox, and dog: the brain and associated vessels. *Equine Compendium on Continuing Education for the Practising Veterinarian*, 3, 153-64.

**Lorente de Nó, R. (1934)**

Studies on the structure of the cerebral cortex. II. Continuation of the study of the ammonic system. *Journal für Psychologie und Neurologie*.

**Lothringer, S. (1886)**

Untersuchungen an der Hypophyse einiger Säugethiere und des Menschen. *Archiv für mikroskopische Anatomie*, 28(1), 257-92.

**Lübke, H. (1926)**

Untersuchungen über die Gewichtsverhältnisse innersekretorischer Drüsen bei geschlachteten Pferden und Rindern. Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover.

**Lutter, J. D., Schneider, R. K., Sampson, S. N., Cary, J. A., Roberts, G. D., Vahl, C. I. (2015)**

Medical treatment of horses with deep digital flexor tendon injuries diagnosed with high-field-strength magnetic resonance imaging: 118 cases (2000–2010).

Journal of the American Veterinary Medical Association, 247(11), 1309-18.

**Manso-Díaz, G., Dyson, S. J., Dennis, R., García-López, J. M., Biggi, M., García-Real, M. I., Taeymans, O. (2015)**

Magnetic resonance imaging characteristics of equine head disorders: 84 cases (2000–2013). Veterinary Radiology & Ultrasound, 56(2), 176-87.

**Martín-Vaquero, P., Da Costa, R. C., Echandi, R. L., Tosti, C. L., Knopp, M. V., Sammet, S. (2011)**

Magnetic resonance imaging of the canine brain at 3 and 7 T. Veterinary Radiology & Ultrasound, 52(1), 25-32.

**Mobilio, C. (1914)**

Il mantello cerebrale degli equidi. Difference tra l'equus caballus, eq. asinus, eq. mulus et hinnus, Italian Journal of Anatomy and Embryology, 3,114-271.

**Nickel, R., Schummer, A., Seiferle, E. (1961)**

Lehrbuch der Anatomie der Haustiere Band IV, Nervensystem, Gehirnnerven; Sinnesorgane, Gehör- und Gleichgewichtsorgan. Paul Parey Verlag, Berlin.

**Nieuwenhuys, R., Donkelaar, H. J., Hans, J., Nicholson, C. (1998)**

The central nervous system of vertebrates: With posters (Vol. 1). Springer Science & Business Media.

**Niimi, K. (1950)**

The comparative anatomical study of the thalamus of mammals. Brain Research, 7, 88-99.

**Nitz, W. R. (2000)**

Grundlegende Prinzipien der MR-Bildgebung. In: Reimer, P., Parizel, P. M., Stichnoth, F.A.: Klinische MR-Bildgebung, Springer Berlin, Heidelberg.

**Nitz, W. R., Runge, V. M., Schmeets, S. H., Faulkner, W. H., Desai, N. K. (2007)**

Praxiskurs MRT. Anleitung zur MRT. Physik über klinische Beispiele. Thieme-Verlag, Stuttgart.

**Nitzsche, B., Frey, S., Collins, L. D., Seeger, J., Lobsien, D., Dreyer, A., Boltze, J. (2015)**

A stereotaxic, population-averaged T1w ovine brain atlas including cerebral morphology and tissue volumes. *Frontiers in neuroanatomy*, 9, 69.

**Nomina anatomica veterinaria.** 5th edition (revised version),

International Committee on Veterinary Gross Anatomical Nomenclature 2012.

**Oey, L., Müller, J. M. V., Klopmann, T. V., Jacobsen, B., Beineke, A., Feige, K. (2011)**

Diagnosis of internal and external hydrocephalus in a warmblood foal using magnetic resonance imaging. *Tierärztliche Praxis. Ausgabe G, Grosstiere/Nutztiere*, 39(1), 41-45.

**Owen, R. (1868)**

On the Anatomy of Vertebrates, Vol. 3. Mammals. Longmans, Green and Co, London, 73-263.

**Pallaske, G. (1932)**

Zur Kasuistik seltenerer Geschwülste bei den Haustieren. *Zeitung für Krebsforschung* 36, 342.

**Passino, E. S., Careddu, G. M., Columbano, N., Manunta, M. L., Masala, G., Antuofermo, E., Muzzetto, P. (2007)**

Magnetic resonance imaging of the equine head. A case of large granular lymphoma (LGL). Poster, Proceedings of the Annual Meeting of the Association des Vétérinaires Equins Francaise, Deauville, France.

**Passino, E. S., Puggioni, A., Careddu, G. M., Manunta, M. L., Columbano, N., Muzzetto, P. (2005)**

Magnetic resonance imaging of the equine head. An unusual case of squamous cellcarcinoma. Poster, 12th annual Conference of the European Association of Veterinary Diagnostic Imaging, Neapel.

**Pillay, P., Manger, P. R. (2007)**

Order-specific quantitative patterns of cortical gyrification. European Journal of Neuroscience, 25, 2705-12.

**Ragle, C. A. (2005)**

Imaging of the equine head: use of CT and MRI. Proceedings of the North American Veterinary Conference, Orlando, Florida. V.19.

**Rinck, P. A., Harms, S. E. (1986)**

Dreidimensionale Multiechomagnetresonanztomographie: Prinzip und klinische Anwendungen im Gehirnschädel. RöFo – Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren, 144(3), 309-14.

**Rinck, P. A., Zink, C. (2005)**

Taschenwörterbuch Magnetresonanztomographie. ABW-Wissenschaftsverlag, Berlin.

**Ruedi, M. (1922)**

Topographie, Bau und Funktion der Arteria carotis interna des Pferdes. Dissertation, Zürich.

**Saito, Y. (1923)**

Untersuchungen über die Hypophysengewichte von Pferden. Biochemische Zeitschrift, 142, 308-11.

**Sajonski, H. (1968)**

Normale Anatomie und Physiologie der Hypophyse. Handbuch der speziellen pathologischen Anatomie der Haustiere Band 3, Paul Parey Verlag, Berlin.

**Sakamoto, K. (1957)**

Zur Cytoarchitektonik des Zwischenhirnes des Pferdes. Reports of the Second Section of the Anatomical department. School of Medicine. Tokushima University.

**Sanders, S. G., Tucker, R. L., Bagley, R. S., Gavin, P. R. (2001)**

Magnetic resonance imaging features of equine nigropallidal encephalomalacia. Veterinary Radiology & Ultrasound, 42(4), 291-96.

**Schellenberg, K. (1900)**

Untersuchungen über das Grosshirnmark der Ungulaten. Dissertation, Universität Zürich, Philosophische Fakultät.

**Schild, H. H. (1990)**

MRI made easy. Schering AG, Berlin.

**Schmidt, M. (2015)**

Comparative anatomy of the pig brain-An integrative magnetic resonance imaging (MRI) study of the porcine brain with special emphasis on the external morphology of the cerebral cortex. Dissertation, Justus-Liebig-Universität Giessen.

**Schmidt, M. J., Pilatus, U., Wigger, A., Kramer, M., Oelschläger, H. A. (2009)**

Neuroanatomy of the calf brain as revealed by high-resolution magnetic resonance imaging. Journal of Morphology, 270(6), 745-58.

**Schmidt, M. (2006)**

Die Ontogenese des Gehirns beim Rind (*Bos taurus*): eine Darstellung mit der Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT) und der Magnet-Resonanz-Mikroskopie (MRM). Dissertation, Justus-Liebig-Universität Giessen.

**Schmidt, M. J., 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. *The Veterinary Journal*, 191(1), 85-93.

**Schmidt, M. J., Kramer, M. (Eds.). (2015)**

MRT-Atlas ZNS-Befunde bei Hund und Katze. Enke Verlag, Stuttgart.

**Schober, W., Brauer, K. (1974)**

Makromorphologie des Zentralnervensystems: Das Gehirn, *Mammalia Band 8*, De Gruyter Verlag, Berlin.

**Schroeder, W. J., Zarge, J. A., Lorensen, W. E. (1992)**

Decimation of triangle meshes. In *Proceedings of the 19th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, 65-70.

**Schulz, L. C. (1953)**

Entwicklungsmechanisch bedingte physiologische Aplasien in der Kleinhirnrinde beim Haus- und Wildschwein. Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover.

**Scola, E., Conte, G., Palumbo, G., Avignone, S., Cinnante, C. M., Boito, S. (2018)**

High resolution post-mortem MRI of non-fixed in situ foetal brain in the second trimester of gestation: normal foetal brain development. *European Radiology*, 28, 363-71.

**Seiferle, E. (1957)**

Zur makroskopischen Anatomie des Pferdegehirns. *Acta Anatomica*, 30(1-4), 775-86.

**Sisson, S. (1914)**

The anatomy of the domestic animals., Saunders Elsevier, Philadelphia.

**Spoormakers, T. J., Ensink, J. M., Goehring, L. S., Koeman, J. P., Ter Braake, F., van der Vlugt-Meijer, R. H., van den Belt, A. J. (2003)**

Brain abscesses as a metastatic manifestation of strangles: symptomatology and the use of magnetic resonance imaging as a diagnostic aid. Equine Veterinary Journal, 35(2), 146-51.

**Stuckenschneider, K., Hellige, M., Feige, K., Gasse, H. (2014)**

3-Tesla magnetic resonance imaging of the equine brain in healthy horses - Potentials and limitations. Pferdeheilkunde Equine Medicine, 30(5), 657-70.

**Szalay, F. (2001)**

Development of the equine brain motor system. Neurobiology (Budapest), 9(2), 107-35.

**Takeuchi, T., Sugita, S. (2001)**

Cytoarchitectonic study of the cerebral cortex in the horse brain-classification of the cortex area. Kaibogaku Zasshi, 76(2), 213-21.

**Trautmann, A. (1909)**

Anatomie und Histologie der Hypophysis cerebri einiger Säuger. Archiv für Mikroskopische Anatomie, 74(1), 311-67.

**Trautmann, A. (1909)**

Die makroskopischen Verhältnisse der Hypophyse einiger Säuger. Archiv für wissenschaftliche und praktische Tierheilkunde, 35, 255.

**Turner, W. (1890)**

The convolutions of the brain: a study in comparative anatomy. Journal of Anatomy and Physiology, 25(1), 105-53.

**Uhlenbrock, D. (2001)**

MRT der Wirbelsäule und des Spinalkanals. Thieme-Verlag, Stuttgart.

**van der Kolk, J. H., Heinrichs, M., van Amerongen, J. D., Stoker, R. C., van den Ingh, T. S. (2004)**

Evaluation of pituitary gland anatomy and histopathologic findings in clinically normal horses and horses and ponies with pituitary pars intermedia adenoma. American Journal of Veterinary Research, 65(12), 1701-07.

**Vazquez, J. M., Gil, F., Ramírez, G., Rivero, M., Ramírez, J. A., Vilar, J. M., Arencibia, A. (2001)**

Magnetic resonance imaging of two normal equine brains and their associated structures. Veterinary Record, 148(8), 229-32.

**Vitums, A. (1975)**

Observations on the equine hypophysial portal system. Anatomia Histologia Embryologia, 4(2), 149-61.

**Vitums, A. (1977)**

Development of the equine hypophysis cerebri, with a reference to its blood supply. Anatomia Histologia Embryologia, 6(2), 119-34.

**Vitums, A. (1978)**

Development of the venous drainage of the equine hypophysis cerebri. Anatomia Histologia Embryologia, 7(2), 120-28.

**Vitums, A. (1979)**

Development of the equine venous sinuses of the dura mater. Anatomia Histologia Embryologia, 8(2), 124-37.

**Weishaupt, D., Köchli, V. D., Marincek, B. (2009)**

Wie funktioniert MRI? Eine Einführung in Physik und Funktionsweise der Magnetresonanzbildgebung. Springer Berlin, Heidelberg.

**Wissdorf, H. (2002)**

Praxisorientierte Anatomie und Propädeutik des Pferdes. 2. Auflage. Schaper, Hannover.

**Woolsey, C. N., Fairman, D. (1946)**

Contralateral, ipsilateral, and bilateral representation of cutaneous receptors in somatic areas I and II of the cerebral cortex of pig, sheep, and other mammals. Surgery, 19(5), 684-702.

**Yoshikawa, T. (1968)**

Atlas of the brains of domestic animals. University of Tokyo Press, Tokyo and London.

**Zannini, P. (1921)**

Hypophyse pharyngienne chez le cheval. Journal Médecine vétérinaire, 67, 271.

**Zietzschmann, O. (1922)**

Die Arteria carotis interna des Pferdes und die Frage der Regulation ihrer pulsatorischen Schwankungen. Schweizer Archiv für Tierheilkunde, 64, 509-15.

Erklärung:

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 der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.

Carola Knemeyer

## Danksagung

Ich möchte mich bei meinem Betreuer Prof. Schmidt bedanken, dass er mich als Doktorandin übernommen hat. Bei den Pferdekliniken der Justus-Liebig Universität Gießen, die mich im Falle einer Euthanasie angerufen haben, beim Institut für Pathologie der Justus-Liebig Universität Gießen für die Hilfe beim Abtrennen der Köpfe, beim Institut für Anatomie der Justus-Liebig Universität Gießen für die Präparation des Appaloosagehirns, bei Professor Heinsen aus dem Institut für Rechtsmedizin der Universität Würzburg für die Histoschnitte und bei den Radiologen der Kleintierchirurgie der Justus-Liebig Universität Gießen für die zahlreichen Stunden um die MRT-Bilder zu erstellen.



*édition scientifique*  
**VVB LAUFERSWEILER VERLAG**

VVB LAUFERSWEILER VERLAG  
STAUFENBERGRING 15  
D-35396 GIESSEN

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

ISBN: 978 3 8359 7174 5

