

Aus dem Veterinärwissenschaftlichen Department  
der Ludwig-Maximilians-Universität

Arbeit angefertigt unter der Leitung von Priv.-Doz. Dr. J. Maierl

Korrelative anatomische und magnetresonanz-  
tomographische Schnittbilddarstellung der felines  
Nasenhöhle und Nasennebenhöhlen und des  
felines Gehirns unter besonderer Berücksichtigung  
der Kerngebiete

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde  
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München

von Jessica Denner

aus Schweinfurt

München 2011

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Joachim Braun

Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. Johann Maierl

Korreferentin: Univ.-Prof. Dr. Andrea Meyer-Lindenberg

Tag der Promotion: 30.Juli 2011

Meiner Familie gewidmet

---

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Literaturübersicht .....</b>	<b>2</b>
2.1	Anatomie und Physiologie von Gehirn, Nasenhöhle und Nasennebenhöhlen.....	2
2.1.1	Gehirn.....	2
2.1.2	Nase und Nasennebenhöhlen .....	29
2.2	MRT und anatomische Gefrierschnitttechnik .....	32
2.2.1	MRT.....	32
2.2.2	Anatomische Gefrierschnitttechnik allgemein .....	49
<b>3</b>	<b>Material und Methoden.....</b>	<b>50</b>
3.1	Material .....	50
3.1.1	Untersuchungsgut.....	50
3.1.2	Präparatauswahl.....	51
3.1.3	Präparation der Katzenköpfe .....	51
3.2	Methoden.....	51
3.2.1	Zeitraum zwischen Tod und MRT .....	51
3.2.2	Magnetresonanztomographie .....	54
3.2.3	Anatomische Gefrierschnitttechnik .....	59
<b>4</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>64</b>
4.1	Einstellungen am MRT zur Darstellung der neuronalen Strukturen sowie der Nase und der Sinus paranasales.....	64
4.2	Gegenüberstellung von anatomischem und magnetresonanztomographischem Schnittbild .....	67
4.2.1	Transversale Darstellung des Katzenkopfes.....	67
4.2.2	Sagittale Darstellung des Katzenkopfes .....	107
4.2.3	Dorsale Darstellung des Katzenkopfes.....	126
4.3	Darstellbarkeit neuronaler Strukturen sowie der Nase und der Sinus paranasales .....	136
4.3.1	Darstellbare Strukturen im Gehirn .....	136
4.3.2	Darstellbare Strukturen der Nasenhöhle und Nasennebenhöhlen.....	138
4.3.3	Sinus paranasales .....	139

---

<b>5</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>140</b>
5.1	Material und Methoden .....	140
5.1.1	Material.....	140
5.1.2	Methoden.....	141
5.2	Medizinische Anwendungsmöglichkeiten der Ergebnisse.....	145
5.3	Relevanz der modernen Schnittbildverfahren .....	147
5.4	Ausblick .....	147
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>150</b>
<b>7</b>	<b>Summary .....</b>	<b>151</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>152</b>
<b>9</b>	<b>Danksagung .....</b>	<b>158</b>

**Abkürzungsverzeichnis:**

A., Aa.	Arteria, Arteriae
CISS	Constructive Interference in Steady State
CT	Computertomographie
d	Schichtdicke
FOV	Field of view: Gesichtsfeld, beschreibt die Größe des Messvolumens des gewählten Bildausschnitts.
GE	Gradientenecho
HF-Impuls	Hochfrequenzimpuls
IR-Sequenz	Inversion-Recovery-Sequenz (Spin-Echo o.a. mit vorgeschaltetem 180° Puls)
KST	Kernspintomographie
Ln., Lnn.	Lymphonodus, Lymphonodi
M., Mm.	Musculus, Musculi
MRI	Magnetic resonance imaging
MRT	Magnetresonanztomographie (lat. resonare: antworten, griech. τόμος: Schnitt, griech. γράφειν: schreiben, malen)
N., Nn.	Nervus, Nervi
NEX	Anzahl der Anregungen
NMR	Nuklear Magnetische Resonanz
PET	Positronen-Emissions-Tomographie
Pixel	Abk. für Picture Element, kleinstes dargestelltes Auflösungselement digitaler Bildmatrizen
ppm	parts per million
SE	Spin-Echo
SL	Schichtdicke
SNR	Signal-to-noise ratio (Signal-zu-Rausch-Verhältnis)
T	Tesla
T <sub>1</sub>	longitudinale Relaxationszeit
T <sub>2</sub>	transversale Relaxationszeit
TE	Time of Echo
TR	Time of Repetition
trufi	True fast imaging with steady precession
V., Vv.	Vena, Venae
Voxel	Volumenelement aus Pixel und Schichtdicke

Alle anatomischen Termini wurden gemäß der 5. Auflage der Nomina Anatomica Veterinaria (NAV) aus dem Jahr 2005 verwendet.

---

## 1 Einleitung

Bildgebende Verfahren werden seit längerem auch in der Tiermedizin immer mehr für die Routinediagnostik eingesetzt. Im Gegensatz zu den konventionellen Röntgenuntersuchungen, welche Summationsbilder liefern, kann durch moderne computertomographische oder magnetresonanztomographische Untersuchungen eine überlagerungsfreie Schnittdarstellung neuraler Strukturen erzielt werden, die zur Erstellung von Schnittserien und damit auch zum Studium von dreidimensionalen Strukturen herangezogen werden können. Dadurch kann beispielsweise das Gehirn auch in vivo dargestellt und untersucht werden.

Allerdings ist das Wissen um die Anatomie der untersuchten Region die Grundlage für die korrekte Diagnostik pathologischer Prozesse. Vor allem die Magnetresonanztomographie, welche über gute Orts- und sehr hohe Kontrastauflösung (JACKSON und THOMAS, 2005) verfügt, wird in der Tiermedizin immer mehr zur Untersuchung der Weichteile eingesetzt. Bei der Diagnose von Krankheiten des Gehirns und des Rückenmarks ist sie Mittel der Wahl (KRAMER, 2010). In wie weit dadurch die einzelnen Strukturen des felines Gehirns mit seinen Kerngebieten und die Nasen- und Nasennebenhöhlen dargestellt werden können und welche Einstellungen des Kernspintomographen und welche Magnetfeldstärke dazu am besten geeignet sind, soll in dieser Dissertation untersucht werden.

---

## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Anatomie und Physiologie von Gehirn, Nasenhöhle und Nasennebenhöhlen

#### 2.1.1 Gehirn

Das Gehirn (Hirn, lateinisch Cerebrum, griechisch Εγκέφαλον/Encephalon) ist der im Kopf gelegene Teil des Zentralnervensystems der Wirbeltiere. Es verarbeitet hochzentralisiert Sinneseindrücke und koordiniert komplexe Verhaltensweisen.

##### 2.1.1.1 Histologie

Um seinen Aufgaben gerecht zu werden, braucht das Nervensystem Zellen, deren Fähigkeit erregt zu werden besonders ausgeprägt ist: die Nervenzellen (Neuronen). Diese hochspezialisierten Zellformen vermögen Reize aufzunehmen, zentripetal weiterzuleiten, zu verarbeiten und teils bewusst, teils unbewusst (Reflexe) zu beantworten. Die Nervenzelle ist in ihrer Spezialisierung so weit differenziert, dass sie nicht mehr in der Lage ist, sich eigenständig stoffwechselaktiv zu versorgen; sie benötigt daher Ammenzellen und Stützzellen, die Gliazellen (LIEBICH, 2010).

##### 2.1.1.1.1 Aufbau einer Nervenzelle

Ein Neuron besteht aus einer zentralen, kernnahen Zytoplasmazone, dem Perikaryon, und den Zytoplasmaausläufern, den Dendriten und dem Axon. Die Nervenzelle steht über Synapsen mit anderen Nervenzellen oder Empfängerzellen in Verbindung. Das Perikaryon bildet zusammen mit der Vielzahl der Dendriten funktionell den Rezeptorteil des Neurons. Dendriten leiten Erregungen zum Perikaryon (afferente oder zentripetale Erregungsleitung). Jedes Neuron entwickelt stets nur ein Axon. Dieses bildet den efferenten oder zentrifugal leitenden Abschnitt der Erregungsleitung eines Neurons, das in der Peripherie durch zahlreiche Kollaterale eine erhebliche Verzweigung erfahren kann (LIEBICH, 2010). Je nach Anzahl der Dendriten unterscheidet man verschiedene Typen von Nervenzellen: uni-, bi-, pseudouni- und multipolare Nervenzellen.

Nervenzellen sind nicht wahllos angeordnet. Gebündelte, von Markscheiden umhüllte Nervenzellfortsätze im ZNS lassen Leitungsbahnen (Tractus, Fasciculi, Funiculi) entstehen. Sie bilden insgesamt die weiße Substanz, Substantia alba, des ZNS, da

---

die Markscheiden aus Myelin weiß erscheinen. Nervenzell-Ansammlungen im ZNS nennt man Nuclei oder Kerngebiete. Sie bilden insgesamt die graue Substanz, Substantia grisea. Im Groß- und im Kleinhirn sind die Nervenzellen in Schichten angeordnet. Bei der Untersuchung von Schnittpräparaten von Gehirn und Rückenmark lassen sich bereits mit dem bloßen Auge graue und weißlich gefärbte Areale voneinander unterscheiden.

#### 2.1.1.1.2 Gliazellen des zentralen Nervensystems

Gliazellen stellen den Großteil der Masse des Gehirns. Der Name leitet sich vom griechischen Wort für Leim ab, da man ursprünglich annahm, dass sie nur für die Stabilität des Nervengewebes zuständig wären. Ihre Funktion geht aber weit darüber hinaus.

##### Ependymzellen

Ependymzellen kleiden die Hohlräume des ZNS und den Zentralkanal des Rückenmarks aus. Sie sind an der Bewegung des Liquor cerebrospinalis und am Transport von Stoffwechselmetaboliten beteiligt (LIEBICH, 2010).

##### Astrozyten

Astrozyten stehen mit ihren zytoplasmatischen Fortsätzen zum einen mit der Nervenzelle, zum anderen mit der Pia mater in Verbindung und liegen den Blutkapillaren perivaskulär an. Sie decken so als Membrana limitans gliae superficialis die Oberfläche des Gehirns ab und grenzen die intrazerebralen Gefäßräume gegenüber dem Gehirn ab. Somit sind sie Bestandteil der Blut-Hirn-Schranke. Sie dienen dem Flüssigkeits- und Nährstofftransport zwischen der Nervenzelle und der Kapillare, regulieren die Ionenkonzentration des Nervengewebes und schaffen damit die Voraussetzung für die Membranveränderungen während der Erregungsleitung (LIEBICH, 2010).

### Oligodentrozyt

Oligodentrozyten sind kleiner als Astrozyten. Sie bilden im Zentralnervensystem die Myelinscheiden um die Nervenzellfortsätze. Ein Oligodentrozyt vermag bis zu 50 Axone mit je einer Myelinhülle zu umgeben (LIEBICH, 2010).

### Mikroglia (Hortega-Glia)

Die Mikroglia schließt häufig phagozytiertes Material aus abgestorbenen Nervenzellen ein (LIEBICH, 2010).

### 2.1.1.2 Gehirnentwicklung

Im Laufe der Evolution hat das Gehirn höherer Tiere ein beachtliches Maß an Differenzierung und innerer Organisation erreicht (Zerebration). Die Struktur und - in geringerem Maße - die Größe des Gehirns können als Anhaltspunkte für die Lernfähigkeit und Intelligenz eines Tieres herangezogen werden.

Tabelle 1: Übersicht über die Gehirnentwicklung (SCHNORR und KRESSIN, 2006).

Dreiblasen-stadium	Fünfblasen-stadium	Seitenplatten Grundplatte Flügelplatte	Deckplatte	Zentralkanal	
Prosencephalon (Vorderhirn)	Telencephalon (Endhirn)	Lamina terminalis, Pallium, Basalganglien		Ventriculi laterales, For. interventriculare	
	Diencephalon (Zwischenhirn)	Metathalamus, Hypothalamus	Thalamus, Epiphyse, Lamina tectoria	Ventriculus tertius	
Mesencephalon (Mittelhirn)	Mesencephalon	Tegmentum mesencephali Pedunculi cerebri	Lamina quadrigemina	Aquaeductus mesencephali	
Rhombencephalon (Rautenhirn)	Metencephalon (Hinterhirn)	Pons	Cerebellum Brachia pontis	Velum medullare rostrale	Ventriculus quartus
	Myelencephalon (Nachhirn)	Medulla oblongata		Velum medullare caudale Lamina tectoria	Ventriculus quartus

Als erste Anlage des Nervensystems entsteht gegen Ende der zweiten Entwicklungswoche im Ektoderm die Neuralplatte, deren Ränder sich als Neuralfalten hochwulsten und zunächst die Neuralrinne begrenzen. Nach Vereinigung der Neuralfalten erfolgt der Verschluss zum Neuralrohr mit Zentralkanal. Durch stärkere Entwicklung und Hohlrumbildung im vorderen Bereich ist sehr zeitig die Trennung von Hirnanlage, Hirnröhre und dem engeren Medullarrohr erkennbar (SCHNORR und KRESSIN, 2006).

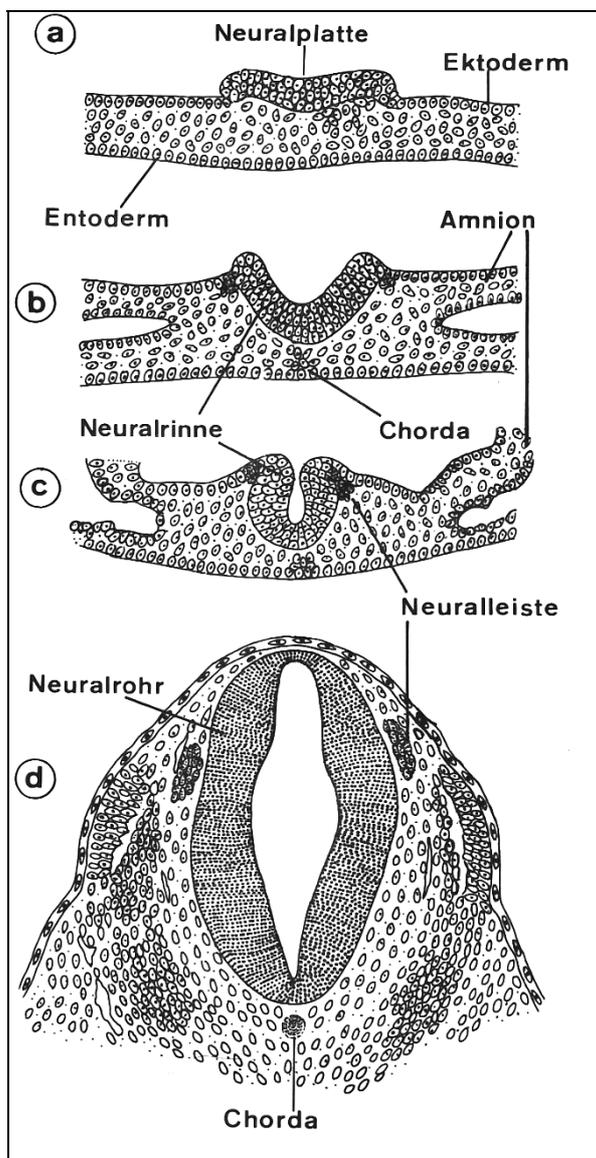
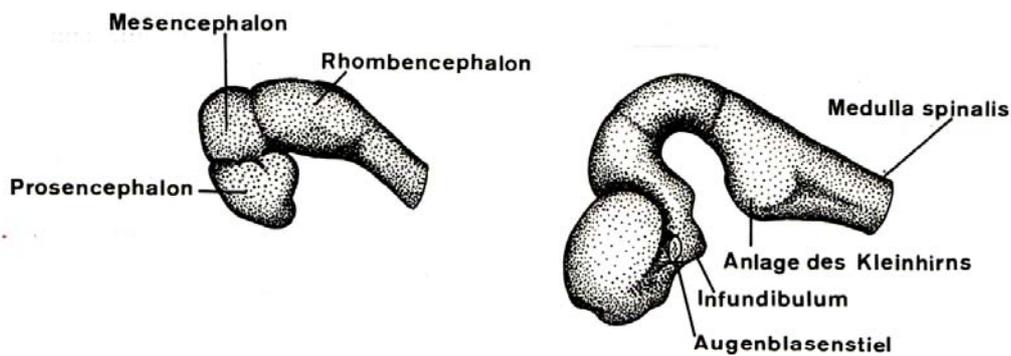


Abbildung 1: Entwicklung des Neuralrohrs bei Katzenembryonen nach SCHNORR und KRESSIN, 2006.

Das Medullarrohr besteht aus dem Neuroepithel, aus welchem Neuroblasten hervorgehen, die sich zur grauen Substanz entwickeln. Die von den Neuroblasten auswachsenden Neuriten bilden später die weiße Substanz. Neuroblasten sind nach

ihrer Differenzierung zu Nervenzellen nicht mehr teilungsfähig, und ihre Bildung aus dem Neuroepithel ist nach der Geburt nicht mehr möglich (SCHNORR und KRESSIN, 2006). Auch die Astrozyten, die Oligodendroglia und die Ependymzellen entstehen aus dem Neuroepithel, während die Mikroglia aus dem Mesoderm gebildet wird.

### Dreiblasenstadium



### Fünfblasenstadium

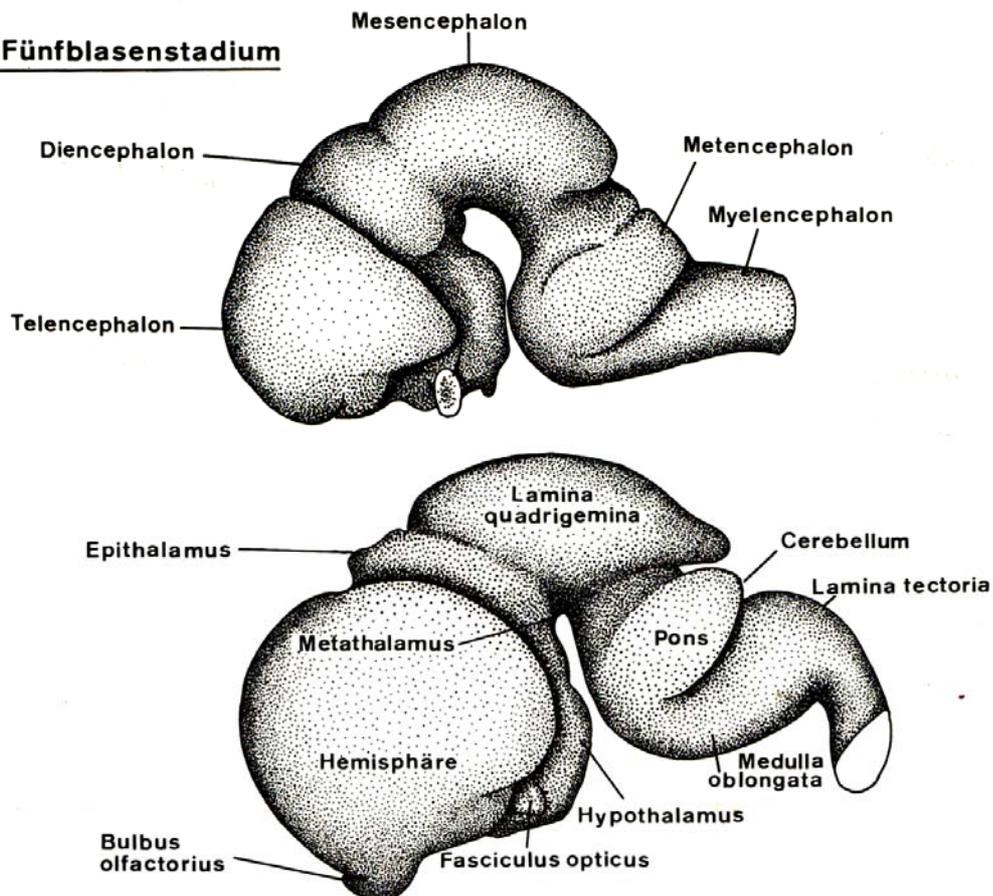


Abbildung 2: Halbschematische Darstellung der Gehirnentwicklung nach Martins Modellen von Katzenembryonen (ca. 18, 22, 25 und 33 Tage alt) (SCHNORR und KRESSIN, 2006).

---

Die Hirnanlage wird im Laufe der Entwicklung infolge zahlreicher Umbauten stark verändert. Aus dem Zweiblasenstadium (aus Archencephalon und Deuterocephalon) und dann dem charakteristischen Dreiblasenstadium, welches aus Prosencephalon, Mesencephalon und Rhombencephalon besteht, entsteht durch weitere Differenzierung die endgültige Untergliederung der Gehirnanlage, das Fünfblasenstadium. Aus dem Prosencephalon werden das Telencephalon und das Diencephalon. Das Mesencephalon bleibt unverändert, und das Rhombencephalon teilt sich in das Metencephalon und das Myelencephalon.

### 2.1.1.3 Aufbau des Gehirns

Anlehnend an die Entwicklung, sollen die Gehirnabschnitte hier von kaudal nach rostral dargestellt werden. Neben den unmittelbar zitierten Literaturstellen wurde weitere Literatur verwendet (BEITZ und FLETCHER, 1993; BÖHME, 1994; BUDRAS et al., 2007; EVANS, 1993b; EVANS und KITCHELL, 1993; FLETCHER, 1993; FREWEIN, 1994a; c; HULLINGER, 1993; KITCHELL und EVANS, 1993; MURPHY und POLLOCK, 1993).

#### 2.1.1.3.1 Rhombencephalon

Das Rhombencephalon (Rautenhirn) umschließt den IV. Ventrikel, dessen Boden von der Fossa rhomboidea gebildet wird, welcher dieser Gehirnabschnitt seinen Namen verdankt. Man unterteilt das Rhombencephalon in Myel- und Metencephalon.

#### Myelencephalon

Das Myelencephalon, bestehend aus der Medulla oblongata, dem kaudalen Abschnitt des IV. Ventrikels und dem Velum medullare caudale, erstreckt sich vom Austritt des ersten Halsnervenpaares bis zur Pons. Die Medulla oblongata stellt gewissermaßen eine Verlängerung des Rückenmarks dar, wobei es aber infolge einer Häufung grauer Kernbezirke zu einer beträchtlichen Massenzunahme und zu einer erheblichen Verbreiterung kommt (NICKEL et al., 2003b). Äußerlich sichtbar sind dorsal die schon erwähnte Fossa rhomboidea mit dem Sulcus medianus dorsalis und die Area postrema mit dem Calamus scriptorius und dem Obex (Übergang vom IV. Ventrikel in den Canalis centralis). Außerdem gehören dazu die

Dorsalstränge, der Fasciculus gracilis und der Fasciculus cuneatus, die sich in den Pedunculi cerebellares caudales fortsetzen, und die Tractus spinales nervi trigemini. Lateral befinden sich die Wurzelfasern der IX., X. und XI. Gehirnnerven. Zwischen ihnen kommt es zum mehrfachen Faseraustausch, so dass sich die einzelnen Nerven erst an ihrem Austritt aus dem Schädel eindeutig als N. glossopharyngeus, N. vagus und N. accessorius ansprechen lassen (NICKEL et al., 2003b). Basal findet man die Fissura mediana ventralis, die Pyramides<sup>1</sup>, das Corpus trapezoideum<sup>2</sup> und die Wurzelfasern des VI., VII., VIII. und XII. Gehirnnerven. Im Inneren der Medulla oblongata befinden sich die Nuclei, welche sich nach Nickel (1992a) nur mikroskopisch isolieren lassen und welche von der weißen Substanz hauptsächlich in Form von schräg und quer verlaufenden Fasern durchwirkt werden:

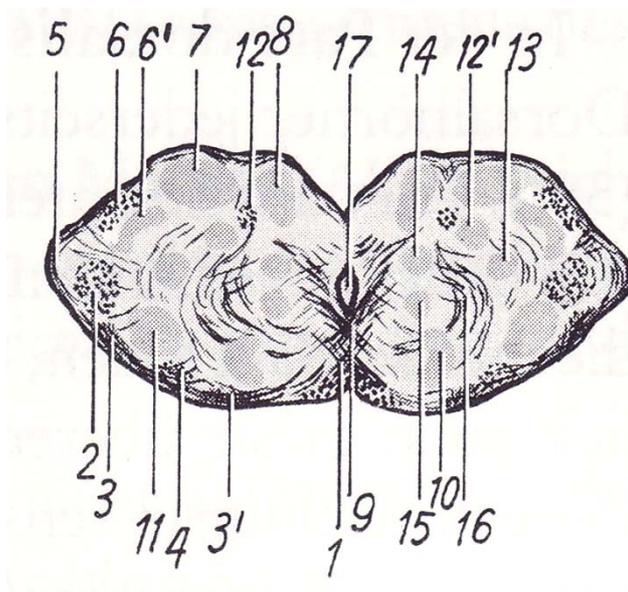


Abbildung 3: Halbschematischer Querschnitt durch das Myelencephalon in Höhe der Pyramidenkreuzung (NICKEL et al., 2003b). 1 Decussatio pyramidum; 2 Tractus rubrospinalis; 3 Tractus spinocerebellaris dorsalis; 3' Tractus spinocerebellaris ventralis; 4 Tractus spinothalamicus; 5 Fibrae arcuatae superficiales; 6 Tractus spinalis n. trigemini; 6' Nucleus tractus spinalis n. trigemini; 7 Nucleus cuneatus; 8 Nucleus gracilis; 9 Decussatio lemniscorum medialium der Fibrae arcuatae profundae; 10 Nucleus olivaris; 11 Nucleus funiculi lateralis; 12 Tractus solitarius, 12' Nucleus tractus solitarii; 13 Nucleus ambiguus; 14 Nucleus motorius n. hypoglossi; 15 Nucleus motorius n. accessorii; 16 Formatio reticularis; 17 Canalis centralis.

<sup>1</sup> Faserbündel des Tractus corticospinalis; die Pyramidenbahn beginnt in der motorischen Großhirnrinde, tritt kaudal der Pons an der basalen Oberfläche in Erscheinung, kreuzt in der Decussatio pyramidum auf die Gegenseite und zieht am Kaudalrand der Medulla oblongata ins Rückenmark

<sup>2</sup> Diese stellen quer zur Längsachse verlaufende Fasern der zentralen Hörbahn.

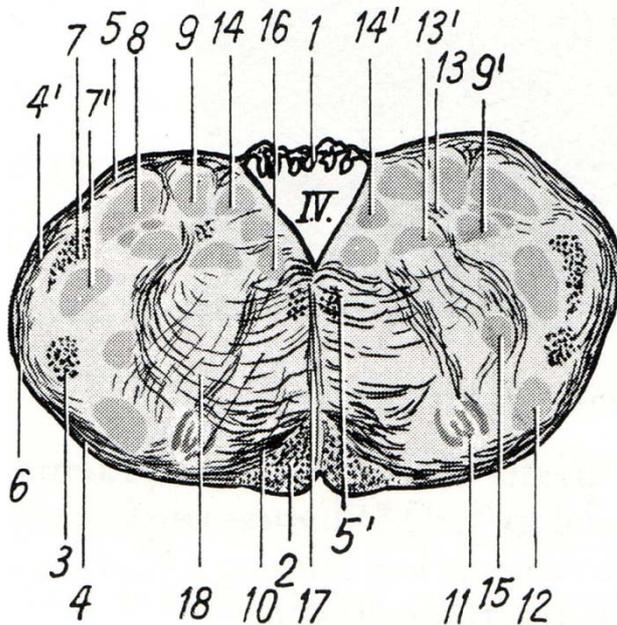


Abbildung 4: Halbschematischer Querschnitt durch das Myelencephalon im hinteren Drittel der Medulla oblongata (NICKEL et al., 2003b). IV. Ventriculus quartus; 1 Plexus choroideus ventriculi IV.; 2 Pyramis; 3 Tractus rubrospinalis; 4 Tractus spinocerebellaris ventralis, 4' Tractus spinocerebellaris dorsalis; 5 Pedunculus cerebellaris caudalis, 5' Fasciculus longitudinalis medialis, 6 Fibrae arcuatae superficiales; 7 Tractus spinalis n. trigemini, 7' Nucleus tractus spinalis n. trigemini; 8 Nucleus cuneatus; 9 Nucleus gracilis; 8+9 Dorsalstrangkern, 9' Nucleus vestibularis caudalis; 10 Lemniscus medialis; 11 Nucleus olivaris; 12 Nucleus funiculi lateralis; 13 Tractus solitarius, 13' Nucleus tractus solitarii; 14 Nucleus parasympathicus n. vagi, 14' Nucleus intercalatus; 15 Nucleus ambiguus; 16 Nucleus motorius n. hypoglossi; 17 Raphe; 18 Formatio reticularis mit Fibrae arcuatae profundae.

Zusammenfassen kann man die Nuclei im Myelencephalon, welche jeweils paarweise vorliegen, folgendermaßen:

1. Kerngebiete der Gehirnnerven:

- Nucleus tractus solitarii (sensible Endkerne des VII., IX. und X. Gehirnnerven),
- Nucleus ambiguus (Ursprungskern für den IX., X. und kranialen Teil des XI. Gehirnnerven),
- Nucleus motorius n. hypoglossi,
- Nucleus motorius n. accessorii,
- Nucleus tractus spinalis nervi trigemini (sensibler Kern des N. trigeminus),
- Nucleus parasympathicus n. glossopharyngei,

Nucleus parasympathicus n. vagi.

Eine Besonderheit bei der Katze ist laut Nickel (2003 b) das Vorkommen des Nucleus parasympathicus n. intermedii in der Medulla oblongata und nicht wie bei den anderen Haussäugetieren im Brückenhirn.

2. Kerne der Strangsysteme: Nucleus gracilis, - cuneatus und - funiculi lat.
3. Formatio reticularis grisea (lateral) und - alba (medial)
4. Kerngebiete der Koordination: Nucleus olivaris (Motorik)

Eine andere Art der Einteilung nach Nickel (2003 b) ist folgendermaßen:  
von lateral nach medial:

1. somatosensorische Endkerne (z.B. Nucleus gracilis und cuneatus)
2. viscerosensorische Endkerne (z.B. Nucleus tractus solitarii)
3. visceromotorische Ursprungskerne (z.B. Nucleus parasympathicus n. vagi)
4. somatomotorische Ursprungskerne (z.B. Nucleus motorius n. hypoglossi)

Am Übergang zum Metencephalon findet man die Pedunculi cerebellares caudales.

### Metencephalon

Das Metencephalon bildet den dorsalen und rostralen Teil des Rhombencephalon und besteht aus Brückenhirn und Cerebellum. Zum Brückenhirn gehört u.a. die Pons (Brückenfuß), welche rostral vom Mesencephalon begrenzt wird und diesem Gehirnabschnitt seinen Namen gibt. Dorsal befindet sich das Rostrale der Fossa rhomboidea, welche den Boden des IV. Ventrikel darstellt. Dessen Dach wird kaudal und rostral vom Velum medullare caudale bzw. rostrale und dazwischen vom Cerebellum gebildet. Äußerlich am Brückenhirn befinden sich dorsolateral die Pedunculi cerebellares caudales, medii und rostrales, welche das Kleinhirn mit der Medulla oblongata, der Pons bzw. dem Mesencephalon verbinden. Dorsolateral entspringen aus der Pons die mächtigen Wurzelfasern des Nervus trigeminus. Basal findet sich der seichte Sulcus basilaris. An den kaudalen Rand der Brücke schmiegt sich das Corpus trapezoideum, aus dem der VI., VII. und VIII. Gehirnnerv entspringen und das sich rostral in die Lemnisci laterales fortsetzt. Im Inneren dieses Trapezkörpers befinden sich die zwischen die Fasern eingestreuten Nuclei ventrales

---

corporis trapezoidei und die beiden Nuclei dorsales corporis trapezoidei. Dorsolateral von diesen liegt jeweils der Nucleus motorius nervi facialis.

Das eigentliche Brückengebiet teilt sich in zwei Etagen, in das Tegmentum pontis, die phylogenetisch alte Hinterhirnhaube, und in die Brücke.

Die Brückenhaube besteht zum Großteil aus der Formatio reticularis mit einer Raphe. Die Pons besteht hauptsächlich aus transversal verlaufenden, markhaltigen Nervenfasern, welche von den Brückenkernen durchsetzt sind. Der Tractus pyramidalis teilt die Fibrae pontis transversae in eine dorsale und eine ventrale Schicht.

Zusammenfassen kann man die Nuclei im Metencephalon folgendermaßen:

1. Kerngebiete der Gehirnnerven:
  - sensibler Endkern und motorischer Ursprungskern des Nervus trigeminus,
  - Nucleus motorius n. abducentis,
  - Nucleus motorius n. facialis
  - Nucleus cochlearis ventralis und dorsalis,
  - Nucleus vestibularis lateralis, - rostralis, - medialis, -caudalis,
2. Kerne der Strangsysteme: Nuclei lemnisci latt<sup>3</sup>.
3. Formatio reticularis
4. Kerngebiete der Koordination: Nuclei pontis; Substantia grisea centralis

Bedeutende Nervenstränge im Metencephalon:

aufsteigende Bahnen: Fasciculus longitudinalis medialis,  
Lemniscus medialis und lateralis

absteigende Bahnen: Tractus corticospinalis (Pyramidenbahn)  
Tractus rubrospinalis

---

<sup>3</sup> Kerngebiete der lateralen Schleife = Fortsetzung der zentralen Hörbahn nach rostral

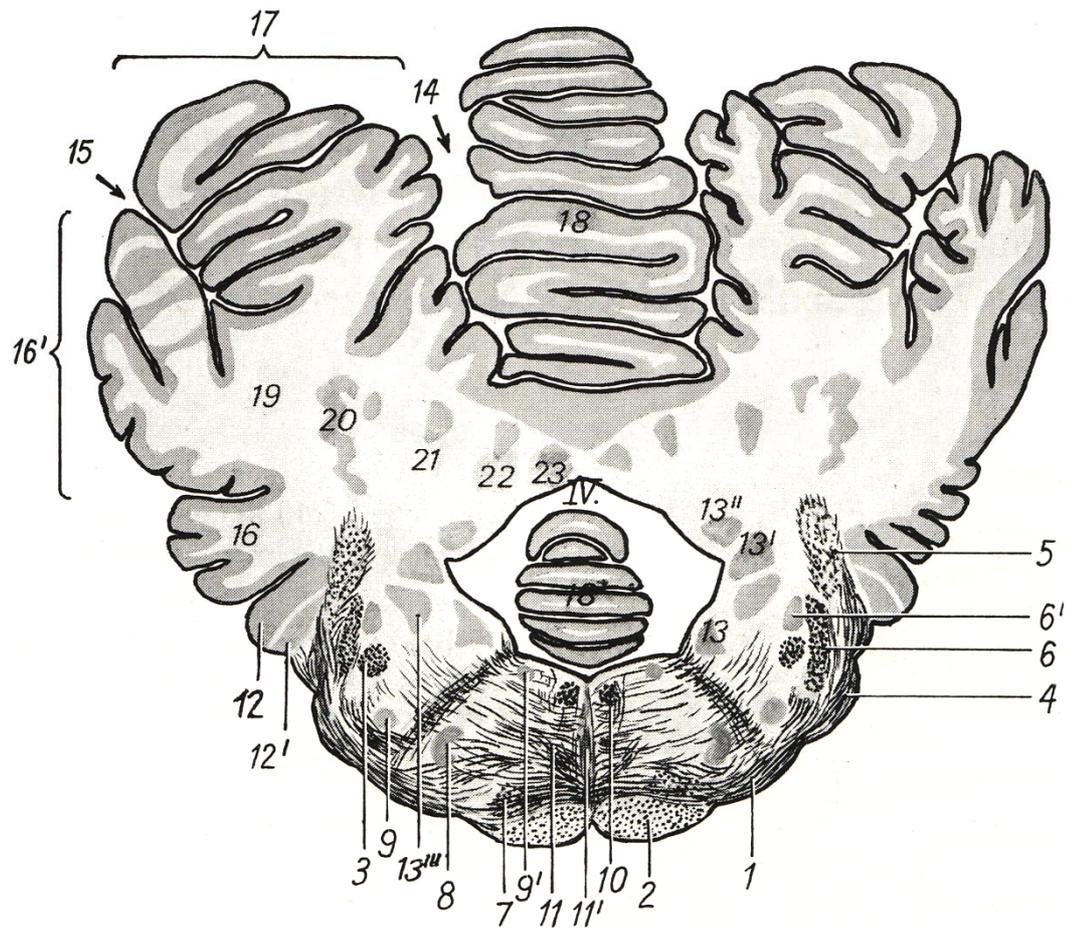


Abbildung 5: Halbschematischer Querschnitt durch das Myel- und Metencephalon in Höhe des Corpus trapezoideum (NICKEL et al., 2003b).

Myelencephalon: 1 Corpus trapezoideum; 2 Pyramis; 3 Tractus rubrospinalis; 4 Tractus spinocerebellaris ventralis; 5 Pedunculus cerebellaris caudalis sive Corpus restiforme; 6 Tractus spinalis n. trigemini, 6' Nucleus tractus spinalis n. trigemini; 7 Lemniscus medialis; 8 Nucleus dorsalis corporis trapezoidei; 9 Nucleus motorius n. facialis, 9' Nucleus parasympathicus n. intermedii; 10 Fasciculus longitudinalis medialis; 11 Formatio reticularis mit 11' Raphe; 12 Nucleus cochlearis dorsalis, 12' Nucleus cochlearis ventralis des Tuberculum acusticum; 13 Nucleus vestibularis medialis, 13' Nucleus vestibularis caudalis, 13'' Nucleus vestibularis rostralis, 13''' Nucleus vestibularis lateralis.

Metencephalon (Cerebellum): 14 Sulcus paramedianus; 15 Sulcus parafloccularis; 16 Flocculus, 16' Paraflocculus; 17 Lobus ansiformis; 18 Lobulus medianus, 18' Nodulus; 18-18' Vermis cerebelli; 19 Markkörper des Kleinhirns; 20 Nucleus lateralis cerebelli; 21 Nucleus interpositus lateralis cerebelli; 22 Nucleus interpositus medialis cerebelli; 23 Nucleus fastigii sive tecti; 20-23 Kleinhirnkerne; IV Ventriculus quartus.

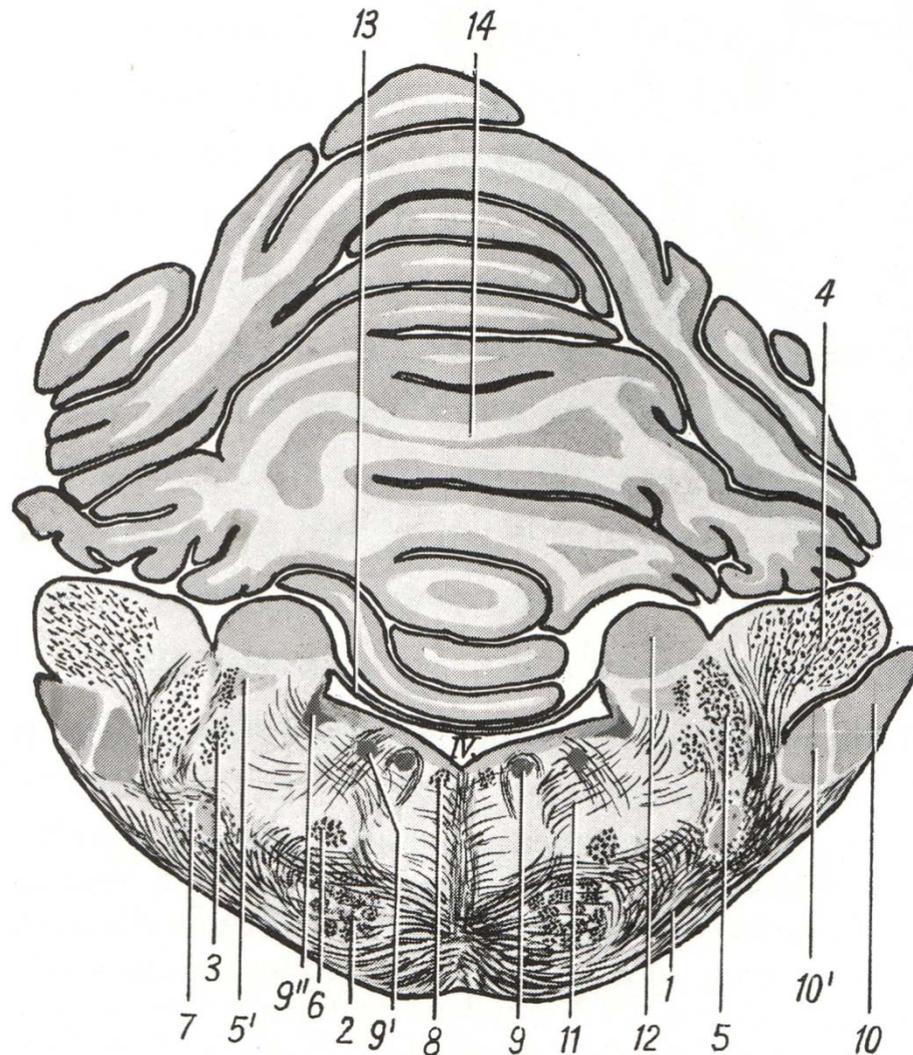


Abbildung 6: Halbschematischer Querschnitt durch das Metencephalon im vorderen Bereich der Brücke (NICKEL et al., 2003b).

1 Fibrae transversae pontis mit eingestreuten Brückenkernen; 2 Tractus pyramidalis; 3 Tractus rubrospinalis; 4 Pedunculus cerebellaris medius sive Brachium pontis; 5 Pedunculus cerebellaris rostralis sive Brachium conjunctivum, 5' Tractus mesencephalicus und Nucleus tractus mesencephalici n. trigemini; 6 Lemniscus medialis; 7 Lemniscus lateralis mit Nucleus lemnisci lateralis; 8 Fasciculus longitudinalis medialis; 9 Nucleus intermedius, 9' Nucleus parasympathicus n. intermedius, 9'' Nucleus coeruleus; 10 Nucleus sensibilis pontinus n. trigemini, 10' Nucleus motorius n. trigemini; 11 Formatio reticularis; 12 Colliculi caudales der Vierhügelplatte; 13 Velum medullare rostrale; 14 Lobus rostralis cerebelli; IV Ventriculus quartus.

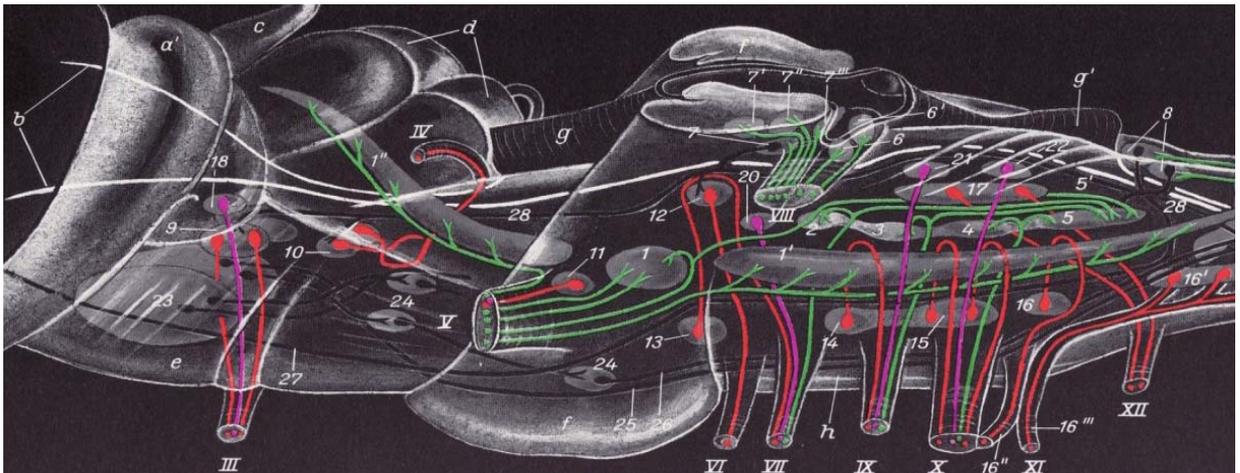


Abbildung 7: Schematische Darstellung des Hirnstammes mit End- und Ursprungskernen der Hirnnerven (NICKEL et al., 2003b).

a Tractus opticus, a' Corpus geniculatum laterale; b Wandungen des Binnenraums; c Epiphyse; d Corpora quadrigemina; e Crus cerebri; f Pons; f' Querschnitt durch Kleinhirnschenkel; g Velum medulare rostrale, g' Velum medulare caudale; h Medulla oblongata.

1 Nucleus sensibilis pontinus n. trigemini, 1' Nucleus tractus spinalis, 1'' Nucleus tractus mesencephali n. trigemini; 2,3,4,5 Nucleus tractus solitarii, 5' Tractus solitarius; 6 Nucleus cochlearis ventralis, 6' Nucleus cochlearis dorsalis; 7 Nucleus vestibularis lateralis, 7' Nucleus vestibularis rostralis, 7'' Nucleus vestibularis medialis, 7''' Nucleus vestibularis caudalis; 8 Dorsalstrangkern des Tractus spinobulbaris, 9 Nucleus motorius n. oculomotorii; 10 Nucleus motorius n. trochlearis; 11 Nucleus motorius n. trigemini; 12 Nucleus motorius n. abducentis; 13 Nucleus motorius n. facialis; 14,15 Nucleus ambiguus; 16 Nucleus motorius radices cranialis, 16' Nucleus motorius radices spinalis n. accessorii, 16'' Ramus internus, 16''' Ramus externus n. accessorii; 17 Nucleus motorius n. hypoglossi; 18 Nucleus parasympathicus n. oculomotorii; 20 Nucleus parasympathicus n. intermedii; 21 Nucleus parasympathicus n. glossopharyngei; 22 Nucleus parasympathicus n. vagi; 23 Nucleus ruber; 24 Nuclei reticulares tegmenti; 25 Tractus rubrospinales; 26 Tractus reticulospinalis; 27 Lemniscus medialis; 28 Fasciculus longitudinalis medialis.

Das Cerebellum lässt sich einteilen in Vermis und Hemisphaeria cerebelli. Der beinahe geschlossene Kreisbogen des Wurms wird durch den Recessus tecti ventriculi IV. unterbrochen. Der kaudoventrale Lobus flocculonodularis - aus Nodulus und die beiderseits angeschlossenen Flocculi - ist der phylogenetisch älteste Teil des Cerebellums. In ihm enden die Fasern aus den Vestibularis-Kernen. Das restliche Cerebellum wird Corpus cerebelli genannt. Es lässt den Lobus rostralis und den Lobus caudalis erkennen, welche durch die Fissura prima getrennt werden. Die Lobi sind durch Furchen in Lobuli cerebellares, diese in Folia cerebelli unterteilt. Teils

---

lateral, teils ventral an die Hemisphären schmiegt sich der Paraflocculus dorsalis et ventralis an.

Im Medianschnitt erscheint das Corpus medullare cerebelli als ein bäumchenartig sich verästelndes System zarter Marklamellen (Substantia alba), welche von einer dünnen Schicht grauer Rindensubstanz überzogen sind, was als Arbor vitae cerebelli bezeichnet wird (NICKEL et al., 2003b). Die Neurone der Kleinhirnrinde sind in drei Schichten angeordnet (von lateral nach medial): Stratum moleculare, Stratum ganglionare, Stratum granulare. Im Corpus medullare liegen beidseits die Kleinhirnkerne eingebettet: Nucleus fastigii (Dachkern), Nucleus lateralis und Nuclei interpositi mediales et laterales. Das Kleinhirn ist für das Gleichgewicht, die Koordination von Bewegungsabläufen und die Erhaltung des Tonus der Skelettmuskulatur verantwortlich.

#### 2.1.1.3.2 Mesencephalon

Das Mesencephalon, das Bindeglied zwischen Rauten- und Vorderhirn, wird durch die Brücke und das hintere Ende des Corpus mamillare begrenzt.

Äußerlich ist dorsal die Lamina quadrigemina mit den Colliculi rostrales et caudales zu sehen, welche das Tectum mesencephali bildet. Die Colliculi sind voneinander durch den Sulcus medianus und den Sulcus transversus laminae quadrigeminae getrennt. Unmittelbar hinter den Colliculi caudales liegt der Ursprung des Nervus trochlearis. Jeweils lateral befindet sich das Brachium colliculi caudalis und das Trigonum lemnisci. Lateral und basal sind die Crura cerebri mit dem Sulcus intercruralis zu finden. An der ventromedialen Fläche der Hirnschenkel liegt die Austrittsstelle des Nervus oculomotorius.

Der innere Bau unterteilt sich in drei Etagen:

1. Tectum mesencephali: Die Colliculi rostrales sind in die Sehbahn eingeschaltet. Sie weisen einen rindenähnlichen acht-schichtigen Bau auf, wobei sich Nervenzellschichten mit Faserschichten abwechseln. Die Colliculi caudales sind Umschaltstationen der zentralen Hörbahn. Sie bestehen aus einem oberflächlichen, zellarmen Stratum zonale und einem darunter liegenden Stratum griseum, das auch als Nucleus colliculi caudalis bezeichnet

wird (NICKEL et al., 2003b). Dorsolateral von der Substantia grisea centralis liegt der Nucleus tractus mesencephali n. trigemini.

2. Tegmentum mesencephali: Es ist durch den Aquaeductus mesencephali (Verbindung des III. zum IV. Ventrikel) vom Tectum getrennt. Der Aquaeductus wird von der Substantia grisea centralis umgeben. Das Tegmentum besteht zum Großteil aus der Formatio reticularis mit den Nuclei reticulares tegmenti, dem Nucleus interstitialis (gehört zum Fasciculus longitudinalis medialis) und dem für die Gesamtmotorik wichtigen Nucleus ruber, sowie den Ursprungskernen des III. und IV. Gehirnnerven, dem unpaaren Nucleus intercruralis und der Substantia nigra.
3. Crura cerebri: In ihnen verlaufen die vom Großhirn und den Basalganglien absteigenden Fasern, die zu Leitungsbahnen gebündelt sind.

Zusammenfassend findet man im Mesencephalon folgende Kerngebiete:

1. Ursprungskerne der Gehirnnerven III., IV. und V.
2. Kerne der Strangsysteme: Nuclei lemnisci laterales
3. Formatio reticularis
4. Kerngebiete der Koordination: Nucleus ruber,  
Substantia nigra,  
Nuclei reticulares tegmenti

Pigmenteinlagerungen in Neurone sind im Mesencephalon der Katze nicht selten. Neben den eisenhaltigen Granula im Nucleus ruber wurden Melaningranula in der Substantia nigra, im Nucleus motorius n. oculomotorii und im Nucleus tractus mesencephali n. trigemini gefunden (NICKEL et al., 2003b).

Aufsteigende Bahnen im Mesencephalon sind der Fasciculus longitudinalis medialis und der Lemniscus medialis und lateralis.

Absteigende Bahnen werden durch den Tractus corticospinalis, -corticopontinus und -rubrospinalis repräsentiert. Diese Bahnen sind jeweils paarweise vorhanden.

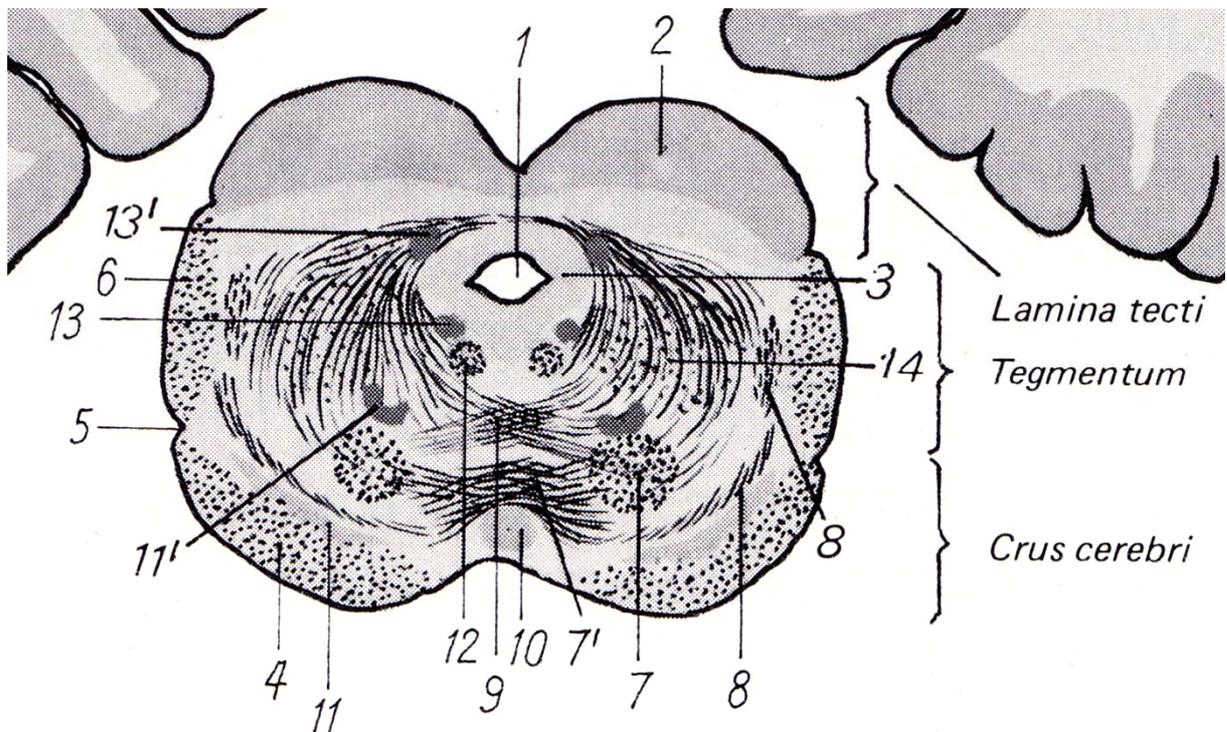


Abbildung 8: Halbschematischer Querschnitt durch das Mesencephalon im Bereich der hinteren Zweihögel und der Okzipitallappen der Großhirnhemisphären (NICKEL et al., 2003b).

1 Aquaeductus mesencephali; 2 Nucleus colliculi caudalis; 3 Substantia grisea centralis; 4 Crus cerebri; 5 Sulcus lateralis; 6 Lemniscus lateralis; 7 Fasern des Pedunculus cerebellaris rostralis; 7' Decussatio tegmenti ventralis; 8 Lemniscus medialis; 9 Decussatio pedunculorum cerebellarium rostralium; 10 Nucleus intercruralis; 11 Substantia nigra, 11' Nucleus tegmenti ventralis; 12 Fasciculus longitudinalis medialis; 13 Nucleus motorius n. trochlearis, 13' Nucleus tractus mesencephalici n. trigemini; 14 Formatio reticularis mit Nucleus reticularis tegmenti; 6-14 Tegmentum mesencephali.

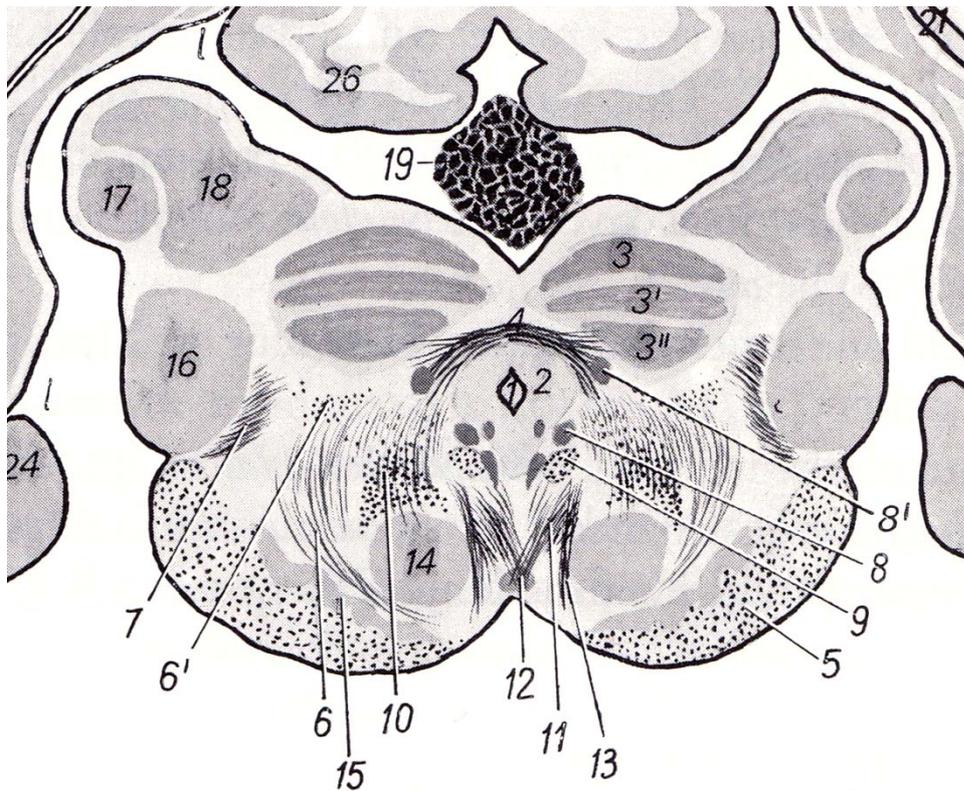


Abbildung 9: Halbschematischer Querschnitt durch das Übergangsgebiet vom Mesencephalon zum Diencephalon (NICKEL et al., 2003b).

1 Aquaeductus mesencephali; 2 Substantia grisea centralis; 3 Stratum griseum superficiale, 3' intermedium, 3'' profundum Colliculi rostralis; 4 Commissura colliculorum rostralis; 5 Crus cerebri; 6 Lemniscus medialis, 6' Lemniscus lateralis; 7 Brachium Colliculi caudalis; 8 Nucleus motorius und Nucleus parasympathicus n. oculomotorii, 8' Nucleus tractus mesencephali n. trigemini; 9 Fasciculus longitudinalis medialis mit Nucleus interstitialis; 10 Formatio reticularis tegmenti; 11 Fasciculus retroflexus; 12 Nucleus intercruialis; 13 Faserzüge des N. oculomotorius; 14 Nucleus ruber; 15 Substantia nigra; Anteile des Diencephalon: 16 Corpus geniculatum mediale; 17 Nebenkerne, 18 Hauptkerne des Corpus geniculatum laterale; 19 Epiphyse.

### 2.1.1.3.3 Diencephalon

Das Zwischenhirn ist der am weitesten rostral liegende Anteil des Gehirnstamms. Es wird begrenzt vom kaudalen Rand des Corpus mamillare und rostral vom Chiasma opticum und tritt nur an der Gehirnbasis oberflächlich in Erscheinung. Der Sulcus hypothalamicus teilt es in den basalen Hypothalamus und das dorsale Thalamencephalon. Der Subthalamus, die Fortsetzung der Mittelhirnhaube ins Diencephalon wird je nach Autor als eigener Abschnitt gesehen oder zu einem der beiden anderen gezählt (NICKEL et al., 2003b). Der Hypothalamus bildet den Boden des III. Ventrikels, lateral grenzt an diesen das Thalamencephalon, welches sich aus

---

dem dorsalen Thalamus, dem kaudolateralen Metathalamus und dem dorsomedialen Epithalamus zusammensetzt. Der Hypothalamus dient der Kontrolle und Regulation vegetativer Funktionen, während das Thalamencephalon die zentrale Sammel-, Umschalt- und Kontrollstelle afferenter Erregungen darstellt.

### Subthalamus

Der Subthalamus wird dorsal vom Thalamus, medial und ventral vom Hypothalamus und lateral von der Capsula interna begrenzt (NICKEL et al., 2003b). Er enthält den Nucleus subthalamicus, der durch die Ansa lenticularis mit dem Putamen und dem Pallidum in Verbindung steht. Das Kerngebiet des Globus pallidus (Pallidum) ist bei Katzen kaum zu isolieren. Das Pallidum und das Putamen des Telencephalon (s. unten) werden aufgrund ihrer engen räumlichen Beziehung auch als Nucleus lentiformis zusammengefasst.

### Hypothalamus

Am Boden des Hypothalamus befindet sich neben dem zweiteiligen Corpus mamillare das Tuber cinereum, welches über das Infundibulum mit der Hypophyse verbunden ist. Das Corpus mamillare enthält jederseits zwei Nuclei corporis mamillaris. In der Regio hypothalamica intermedia und rostralis enthält das zentrale Höhlengrau des Hypothalamus eine Reihe meist unscharf begrenzter Kerne (NICKEL et al., 2003b). Über dem Chiasma opticum und dem Tractus opticus findet sich, bis ins Gebiet des Tuber cinereum reichend, der langgezogene Nucleus supraopticus, wo ebenso wie im Nucleus paraventricularis Neurohormone (Oxytocin bzw. Vasopressin) gebildet werden. Außerdem befinden sich im Hypothalamus noch die Nuclei hypothalamici rostralis, - dorsomedialis und - ventromedialis, der Nucleus infundibularis, die Nuclei tuberis laterales, der Nucleus tuberomamillaris und der Nucleus periventricularis caudalis. Im Hypothalamus werden über das vegetative Nervensystem und das endokrine System alle inneren Lebensvorgänge gesteuert, die Aufrechterhaltung der Homöostase gesichert und Motivation und Antrieb beeinflusst. Dabei haben die Nuclei keine kernspezifische Wirkung, sondern sie übernehmen die Steuerung der Funktionskreise durch ihr koordiniertes Zusammenspiel (NICKEL et al., 2003b).

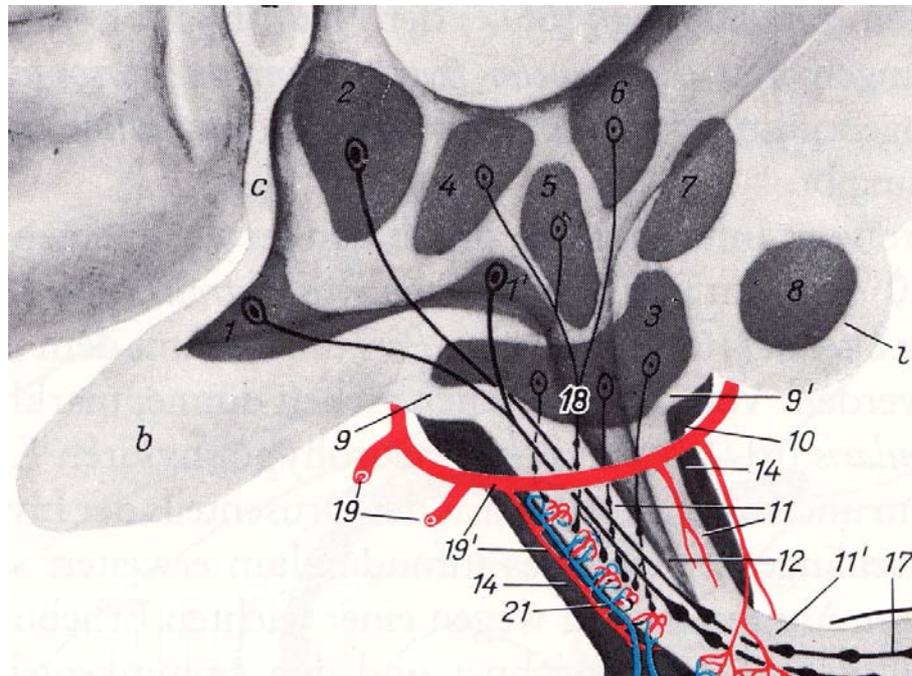


Abbildung 10: Halbschematische Darstellung des Hypothalamus-Hypophysensystems (NICKEL et al., 2003b).

1 Pars suprachiasmatica, 1' Pars postchiasmatica des Nucleus supraopticus; 2 Nucleus paraventricularis; 3 Nucleus infundibularis; 4 Nucleus hypothalamicus dorsomedialis; 5 Nucleus hypothalamicus ventromedialis; 6 Nucleus periventricularis caudalis; 7 Nucleus tuberomamillaris; 8 Nucleus corporis mamillaris; 9 Pars rostralis, 9' Pars caudalis tuberis cinerei; 12 Recessus infundibuli; b Chiasma opticum; c Lamina terminalis; d Commissura rostralis.

## Thalamencephalon

Das Thalamencephalon besteht aus Epithalamus, Thalamus und Metathalamus.

### Epithalamus

Die Basis der Habenulae, eine Verbindung der Epiphyse mit dem Zwischenhirn, ist durch die Nuclei habenulares zu einem mehr oder weniger deutlichen Tuberculum habenulae angeschwollen (NICKEL et al., 2003b).

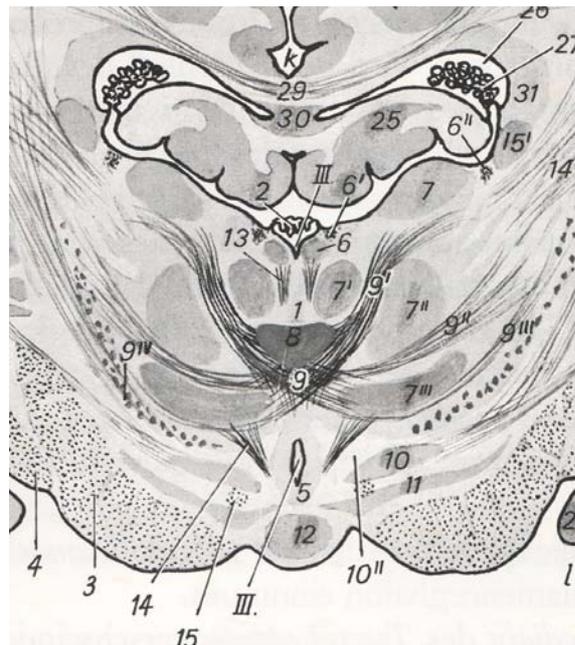


Abbildung 11: Halbschematischer Querschnitt durch das Diencephalon und Telencephalon in Höhe der Adhaesio interthalamica (NICKEL et al., 2003b).

III. Ventriculus tertius; 1 Adhaesio interthalamica; 2 Plexus choroideus ventriculi III; 3 Crus cerebri; 4 Tractus opticus; 5 Substantia grisea centralis; 6 Nucleus habenulae, 6' Stria medullaris, 6'' Stria terminalis; 7 Nucleus rostralis dorsalis, 7' Nucleus rostralis medialis, 7'' Nucleus lateralis dorsalis, 7''' Nucleus ventralis lateralis thalami; 8 Nucleus reuniens; 9 Formatio reticularis, 9' Lamina medullaris interna, 9'' Lamina medullaris intermedia, 9''' Lamina medullaris externa, 9IV Nucleus reticulatus; 6-9IV Thalamus; 10 Nucleus subthalamicus, 10'' Zona incerta; 11 Substantia nigra; 12 Corpus mamillare; 10-12 Hypothalamus; 13 Tractus habenulocruralis; 14 Tractus mamillothalamicus; 15 Pars tecta columnae fornicis; 25 Cornu ammonis; 27 Plexus choroideus ventriculi lateralis; 29 Corpus callosum; 30 Stratum griseum corporis callosi; 31 Stratum griseum subependymale; k Sulcus corporis callosi.

### Thalamus

Beidseitig vom Epithalamus schließt sich lateral der Thalamus an. Dieser bildet den umfangreichsten Kernbezirk des Zwischenhirns, ist dorsal von einer dünnen Marksicht, dem Stratum zonale, überzogen und begrenzt medial mit dem Nucleus periventricularis thalami den III. Ventrikel. Die beiden Thalami haften an der Adhaesio interthalamica aneinander, wo mehrere paarige und unpaare Kerne, die Nuclei paraventriculares (Nucleus centralis medialis, Nucleus rhomboidalis, Nucleus reuniens u.a.) liegen. Der III. Ventrikel ist ringförmig um die Adhaesio interthalamica angeordnet.

Die Laminae medullares thalami unterteilen die Kerne in eine dorsale (Nucleus rostralis dorsalis), eine mediale (Nucleus rostralis medialis) und eine laterale

(Nuclei laterales thalami) Gruppe. Weitere Kerne sind die Nuclei intralaminare und die Nuclei reticulati.

Da alle zum Cortex cerebri aufsteigenden Sinnesbahnen, mit Ausnahme der Riechbahn, hier ihre letzte Umschaltung erfahren, wird der Thalamus auch als „Tor zum Bewusstsein“ bezeichnet.

### Metathalamus

Die Corpora geniculata laterale und mediale der beiden Gehirnhälften werden laut Nickel (2003) zum Metathalamus zusammengefasst, der den kaudolateralen Teil des Thalamencephalon einnimmt. Das Corpus geniculatum mediale stellt einen Kernbezirk dar, der als Umschaltstelle für die Hörbahn fungiert, wohingegen das Corpus geniculatum laterale in die Sehbahn eingeschaltet ist.

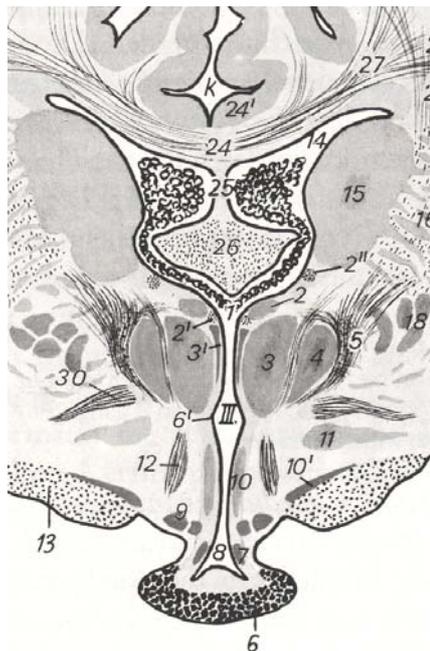


Abbildung 12: Halbschematischer Querschnitt durch das vordere Diencephalon und das Telencephalon in Höhe des Foramen interventriculare und der Hypophyse (NICKEL et al., 2003b).

1 Foramen interventriculare mit Plexus choroideus; 2 Vorderende des Nucleus rostralis dorsalis thalami, 2' Stria medullaris, 2'' Stria terminalis; 3 Nucleus rostralis medialis thalami, 3' Nucleus paraventricularis thalami; 4 Nucleus lateralis dorsalis thalami; 5 Formatio reticularis thalami; 2-5 Thalamus; 6 Hypophyse, 6' Sulcus hypothalamicus; 7 Infundibulum mit Nucleus infundibularis, 8 Recessus infundibuli; 9 Nuclei tuberis laterales; 10 Nucleus paraventricularis, 10' Pars postchiasmatica des Nucleus supraopticus; 11 Nucleus hypothalamicus rostralis; 12 Pars tecta columnae fornicis; 13 Tractus opticus; 6-13 Hypothalamus; 14 Pars centralis des Seitenventrikels mit Plexus choroideus; 15 Nucleus caudatus; 16 Capsula interna; 18 Globus pallidus; 24 Corpus callosum, 24' Induseum griseum.

---

#### 2.1.1.3.4 Telencephalon

Auf dem kleinen Telencephalon medium (Rest des embryologischen Telencephalon impar) ruhen zwei Großhirnhemisphären mit Pallium (Hirnmantel) und Ganglienhügel.

##### Pallium

Das Pallium besteht aus zwei Anteilen, dem Rhinencephalon und dem Neopallium.

##### Rhinencephalon

Das Riechhirn umfasst drei Anteile: Zwei phylogenetisch alte Teile, das Palaeopallium (Pars basalis rhinencephali = Riechhirn im engeren Sinn) und das Archipallium (Pars limbica rhinencephali), sowie die Pars septalis rhinencephali, die eine Scheidewand zwischen den Seitenventrikeln bildet und die Nuclei septi enthält, die in mehreren Gruppen angeordnet sind.

Die Fila olfactoria (N. olfactorius) ziehen von allen Seiten in die Bulbi olfactorii, die in ihrer Zytoarchitektonik eine Schichtung erkennen lassen. Die Bulbi olfactorii gehen dann in die Pedunculi olfactorii über, die sich wiederum in die Gyri olfactorii mediales und laterales gabeln. Diese bestehen aus grauer Substanz und flankieren das Trigonum olfactorium. Die laterale Riechwindung geht in den Lobus piriformis über. In dessen Spitze liegt der Mandelkern, Corpus amygdaloideum, zu dem ein Nucleus tractus olfactorii lateralis, ein Nucleus corticalis, ein Nucleus basalis, ein Nucleus lateralis, ein Nucleus centralis und ein Nucleus medialis gerechnet werden.

Zur Pars limbica rhinencephali werden der Gyrus cinguli, die Hippocampusformation, bestehend aus dem Hippocampus (Cornu ammonis), dem Gyrus parahippocampalis, dem Gyrus dentatus, der Fimbria und der Fornix, und das Induseum griseum corporis callosi gerechnet (NICKEL et al., 2003b).

Der Palaeo- und Archicortex zeigt im Gegensatz zum Isocortex des Neopallium (s. unten) in der Zytoarchitektur keine deutliche Schichtung oder nur einen dreischichtigen Bau.

## Neopallium

Die Oberfläche des Neopallium ist durch Sulci (Furchen) und Gyri (Windungen) zur Oberflächenvergrößerung gekennzeichnet. Nach der Lage zur Schädelkapsel unterscheidet man vier Lobi cerebri: Lobus frontalis, -parietalis, -occipitalis und -temporalis. Die beiden Hemisphären werden durch den mächtigen Hirnbalken, das Corpus callosum verbunden, welcher auch das Dach der Seitenventrikel bildet. Neben dieser Verbindung existiert u.a. noch eine Querverbindung des Riechhirns, die Commissura rostralis, und die Commissura hippocampi. Bei der Katze ist die rechte Hemisphäre größer als die linke.

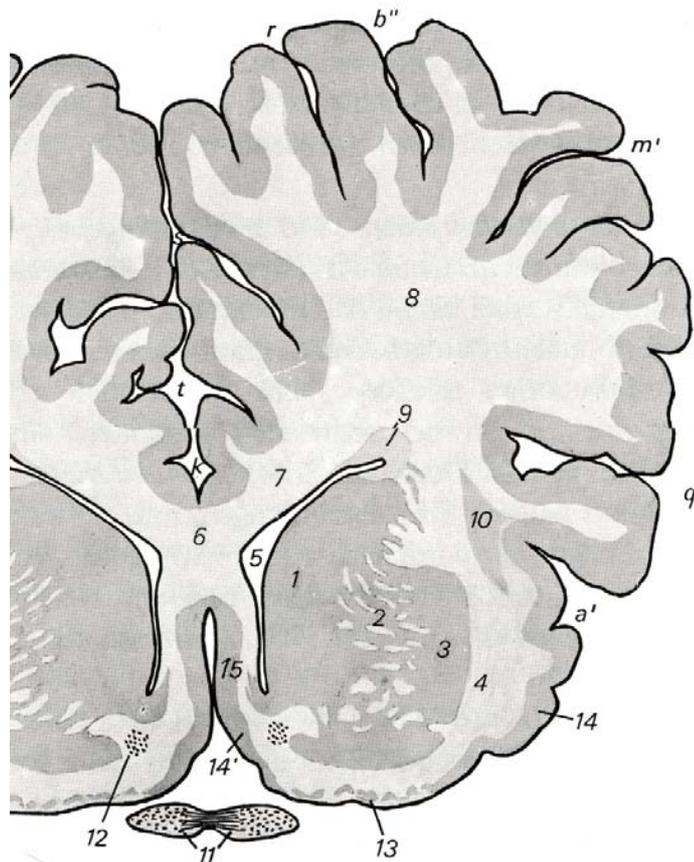


Abbildung 13: Halbschematischer Querschnitt durch das Telencephalon in Höhe des Corpus striatum (NICKEL et al., 2003b).

1 Nucleus caudatus, 2 Capsula interna; 3 Putamen; 1-3 Corpus striatum; 4 Capsula externa; 5 Vorderhorn des Seitenventrikels; 6 Genu corporis callosi; 7 Radiatio corporis callosi; 8 Pars frontalis des Centrum semiovale; 9 Stratum griseum subependymale; 10 Claustrum; 11 Chiasma opticum; 12 Pars rostralis der Commissura rostralis; 13 Tuberculum olfactorium; 14 Gyrus olfactorius lateralis, 14' Gyrus olfactorius medialis; 15 Gyrus paraterminalis; a' Pars rostralis des Sulcus rhinalis lateralis; b'' Sulcus suprasylvius rostralis; k Sulcus corporis callosi; m' Sulcus ectosylvius rostralis; q' Sulcus diagonalis; r Sulcus coronalis; s Sulcus genualis; t Sulcus endogenualis.

Der Hirnmantel ist von der grauen Rinde, Cortex cerebri, überzogen, die dem mächtigen weißen Marklager, Corpus medullare cerebri, aufliegt (NICKEL et al., 2003b). Die Zytoarchitektur der Rinde, welche z.B. durch die NISSL-Färbung dargestellt werden kann, weist einen sechs-schichtigen Bau auf (von lateral nach medial: Lamina molecularis, Lamina granularis externa, Lamina pyramidalis externa, Lamina granularis interna, Lamina pyramidalis interna, Lamina multiformis). Das makroskopisch homogen wirkende Großhirnmark setzt sich aus dem Assoziationssystem, dem Kommissurensystem und dem Projektionssystem zusammen (NICKEL et al., 2003b).

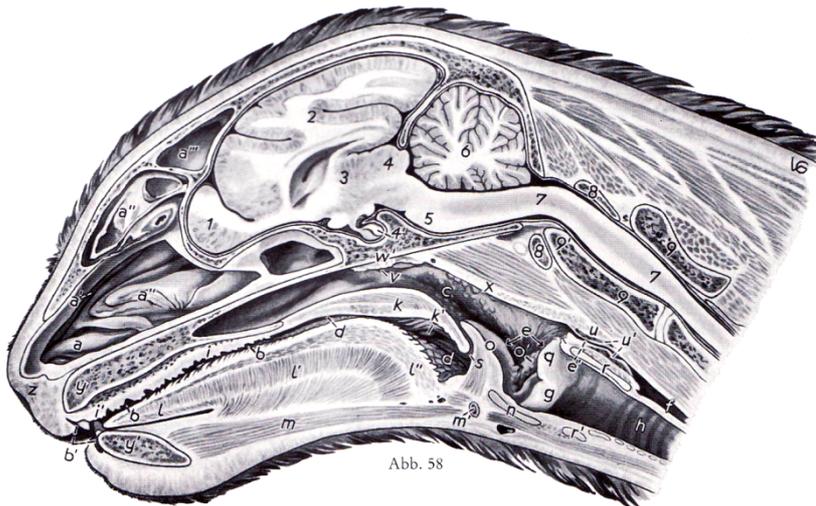


Abbildung 14: Paramedianschnitt durch den Kopf einer Katze.

(nach ZIETZSCHMANN, unveröffentlicht) (NICKEL et al., 2003b) a-a'' Cavum nasi dextr., durch Wegnahme des Septum nasi eröffnet: a Concha nasalis ventr.; a' Concha nasalis dors., a'' Conchae ethmoidales; a''' Sinus frontalis, mit Septum sinuum; b Cavum oris propr.; b' Vestibulum oris; c Pars nasalis pharyngis; d Pars oralis pharyngis; e Pars laryngea pharyngis; e' Pars oesophagea; f Oesophagus; g Larynx; h Trachea; i Palatum durum mit Rugae palatinae; i' Papilla incisiva; k Velum palatinum; k' Tonsilla palatina im Sinus tonsillaris; l-l'' Lingua: l Apex linguae, l' Corpus linguae, l'' Radix linguae; m M. geniohyoideus; m' Basihyoideum; n Cartilago thyreoidea; o Epiglottis; o' Plica cricoepiglottica und Tonsilla paraepiglottica; q Cartilago arytaenoidea; r Lamina und Arcus der Cartilago cricoidea; s-t' Begrenzung des Ostium intrapharyneum; u Querschnitt des M. cricopharyngeus; u' Plexus venosus; v Ostium pharyngeum tubae auditivae; w' Tonsilla pharyngea; x Fornix pharyngis; y Proc. alveolaris des Os incisivum; y' Pars incisiva der Mandibula; z Nasenspiegel; l Bulbus olfactorius; 2 Cerebrum; 3 Adhaesio interthalamica; 4 Vierhügelgebiet; 4' Hypophysis; 5 Pons; 6 Cerebellum; 7 Medulla spinalis; 8 Atlas; 9 Axis, 9' Dens.

### Ganglienhügel

Der Ganglienhügel stellt die Verbindung der Großhirnhemisphären mit dem Zwischenhirn und ein wichtiges Bindeglied zwischen Hirnstamm und Hirnmantel dar. Die hier verlaufenden Nervenbahnen bilden durch ihr streifiges Aussehen das Corpus striatum. Dazwischen liegen graue Kernbezirke, die sogenannten Basal- oder Stammganglien, zu denen der Nucleus caudatus, das Putamen, das Claustrum und das Corpus amygdaloideum gehören.

Das Großhirn ist das Zentrum der Wahrnehmung, des Bewusstseins, Denkens, Fühlens und Handelns.

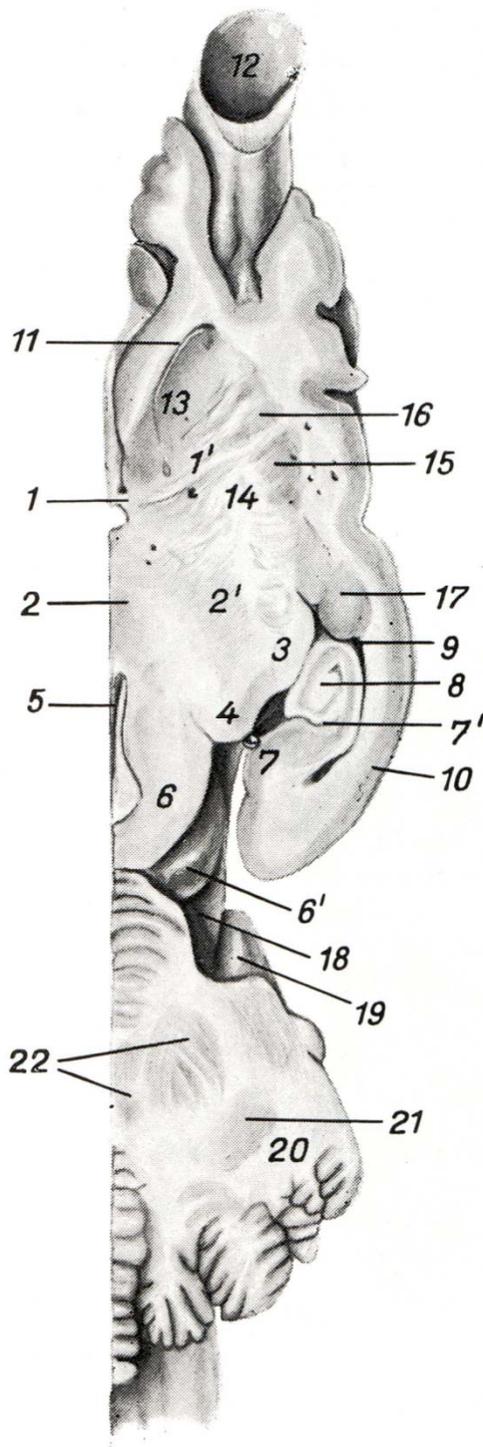


Abbildung 15: Horizontalschnitt durch die rechte Hälfte eines Pferdegehirns in Höhe der vorderen Kommissur (NICKEL et al., 2003b).

1 Commissura rostralis, 1' ihre Pars rostralis; 2 Adhaesio interthalamica, 2' Zwischenhirnkerne; 3 Tractus opticus; 4 Corpus geniculatum mediale; 5 Aquaeductus mesencephali; 6 Vierhügelplatte, 6' Colliculus caudalis; 7 Gyrus parahippocampalis, 7' Sulcus hippocampi; 8 Hippocampus; 9 Seitenventrikel; 10 Piriformisrinde; 11 Seitenventrikel; 12 Ventriculus bulbi olfactorii; 13 Nucleus caudatus; 14 Crus rostrale capsulae internaе; 15 Putamen; 13-15 Corpus striatum; 16 Pallidum; 15+16 Nucleus lentiformis; 17 Corpus amygdaloideum; 18 Pedunculus cerebellaris rostralis sive Brachium conjunctivum; 19 Pedunculus cerebellaris medius sive Brachium pontis, 20 Markkörper des Kleinhirns; 21 Nucleus lateralis cerebelli sive dentatus; 22 Dachkerne des Kleinhirns.

### 2.1.1.3.5 Meningen und Zerebrospinalflüssigkeit

#### Meningen

Das Zentralnervensystem ist von bindegewebigen Hüllen, den Meningen, umgeben. Diese unterteilt man in Pachymeninx und Leptomeninx. Die Pachymeninx, auch Dura mater genannt, bildet die äußere der Hüllen. Sie besteht aus einem straffen, gefäßarmen Bindegewebe. In der Dura mater befinden sich Sinus venosi. Die Leptomeninx spaltet sich in die äußere, dünne Arachnoidea und die innere, den Zentralorganen direkt anliegende zarte Hirnhaut, die Pia mater. Die Arachnoidea liegt der Dura mater dicht an und entlässt zur Pia mater kollagenfaserige Trabekel. Der Raum zwischen der Arachnoidea und der Pia mater (Cavum leptomeningicum) ist mit Liquor cerebrospinalis gefüllt. Die Pia mater ist reich an Blutgefäßen und besteht überwiegend aus lockerem Bindegewebe (LIEBICH, 2010).

#### Liquor cerebrospinalis

Das Zentralnervensystem wird von zusammenhängenden, flüssigkeitsgefüllten Kammern (Ventrikel) und dem Zentralkanal durchzogen. In umschriebenen Wandabschnitten der Ventrikel liegt der Plexus choroideus, dessen Grundlage die Pia mater und die große Zahl verzweigter, dünnwandiger Gefäße ist. In diesem Plexus choroideus wird der Liquor cerebrospinalis gebildet, der das Ventrikelsystem, den Zentralkanal des Rückenmarks und die subarachnoidealen Räume der Meningen ausfüllt. Liquor ist wässrig, klar, zell- und proteinarm, reich an Natrium-, Kalium- und Chloridionen und dient dem Stoffwechsel und dem mechanischen Schutz des ZNS (LIEBICH, 2010).

### 2.1.1.3.6 Die 12 Gehirnnervenpaare

- I. Nervus olfactorius (sensorisch)
- II. Nervus opticus (sensorisch)
- III. Nervus oculomotorius (motorisch, parasymphatisch)
- IV. Nervus trochlearis (motorisch)

- 
- V. Nervus trigeminus (sensibel, motorisch)
    - 1. N. ophthalmicus
    - 2. N. maxillaris
    - 3. N. mandibularis
  - VI. Nervus abducens (motorisch)
  - VII. Nervus facialis (gemischt)
    - 1. N. facialis
    - 2. N. intermedius
  - VIII. Nervus vestibulocochlearis (sensorisch)
    - 1. N. cochlearis
    - 2. N. vestibularis
  - IX. Nervus glossopharyngeus (gemischt)
  - X. Nervus vagus (gemischt)
  - XI. Nervus accessorius (motorisch)
  - XII. Nervus hypoglossus (motorisch)

### 2.1.2 Nase und Nasennebenhöhlen

Zu den oberen Luftwegen zählen Nase, Nasennebenhöhlen und Nasenrachen. Sie sind bis auf den vorderen Bereich des Naseneingangs mit respiratorischer Schleimhaut ausgestattet. Im Nasengrund befindet sich olfaktorische Schleimhaut. (KÖNIG und LIEBICH, 1999). Die Nasenschleimhaut ist von Gefäßplexus unterlagert.

#### 2.1.2.1 Cavum nasi

Die Nase wird dorsal vom Os nasale, lateral von der Maxilla und ventral von den Gaumenfortsätzen des Os incisivum, der Maxilla und des Os palatinum begrenzt. Nasenhöhlenwärts ist diesen Knochen in der Medianen das Vomer zur Aufnahme des Septum nasi angefügt. Kaudal wird die Nasenhöhle durch die Lamina cribrosa des Os ethmoidale verschlossen. Kaudoventral öffnet sich jede Nasenhöhle über die Choane in den Pharynx. Die mediane Nasenscheidewand (Septum nasi) besteht aus hyalinem Knorpel und trennt die Nasenhöhle in zwei Hälften. Sie stellt die Fortsetzung der Crista galli des Siebbeins dar und verknöchert im Alter im kaudalen Bereich (KÖNIG und LIEBICH, 1999). Im kranialen Bereich dagegen wird sie zur

---

Pars mobilis, die sich an ihrem dorsalen und ventralen Rand zu den Cartilagine nasales laterales dorsales bzw. ventrales verbreitert. Am ventralen Seitenwandknorpel setzt bei der Katze die Cartilago nasalis accessoria lateralis an, die ankerförmig ausgebildet ist und das Nasenloch v.a. lateral begrenzt. Die Nasenspitze besteht aus den Nasenlöchern (Nares), die vom unbehaartem Nasenspiegel (Planum nasale) eingefasst sind, der in der Medianen durch die auf die Nasenspitze übergreifende Lippenrinne (Philtrum) geteilt wird. Um den Nasenspiegel feucht zu halten, wird von der lateralen Nasendrüse im Recessus maxillaris und den kleinen, in der Nasenschleimhaut eingebetteten Drüsen, ein Sekret produziert (KÖNIG und LIEBICH, 1999).

#### 2.1.2.1.1 Conchae nasales

In das Lumen der Nasenhöhlen ragen zur Flächenvergrößerung die Nasenmuscheln (Conchae nasales). Diese haben ebenso wie die Siebbeinmuscheln als knöcherne Grundlage die Muschelbeine. Die Muschelbeine setzen sich aus der an den Schädelknochen befestigten Basallamelle und der sich daraus aufrollenden Spirallamelle(n) zusammen. Je nach Art der Aufrollung entstehen so Recessus, Bullae, Cellulae oder Sinus conchae. Das Endoturbinale I setzt sich als dorsale Nasenmuschel (Concha nasalis dorsalis) von der Lamina perpendicularis des Siebbeins rostral in die Nasenhöhle fort. Eine dorsale Muschelhöhle fehlt. Der mittlere Abschnitt ist, einen Recessus bergend, muschelförmig ausgebildet, während der rostrale und kaudale Abschnitt, die nur von der Basallamelle gestützt werden, eine Platte bzw. einen Wulst darstellen. Das Endoturbinale II bildet die mittlere Nasenmuschel (Concha nasalis media), die bei der Katze besonders entwickelt ist und unter Faltenbildung weit rostral reicht. Es besitzt zwei Spirallamellen, die sich nach dorsal und ventral, Recessus der Nasenhöhle umschließend, aufrollen. Die ventrale Nasenmuschel (Concha nasalis ventralis) ist eine Bildung der Maxilla, bei der Katze sehr klein und nach dorsal und ventral aufgerollt. Sie enthält den oberen und unteren Recessus conchae ventralis (NICHEL et al., 2003a). Die weiteren Ethmoturbinalia bilden je eine Reihe von Endo- und Ectoturbinalia (KÖNIG und LIEBICH, 1999).

---

#### 2.1.2.1.2 Meatus nasi

Die Zwischenräume zwischen den Nasenmuschel bezeichnet man als Nasengänge: Meatus nasi dorsalis, medius und ventralis. Der dorsale Nasengang führt zur Riechschleimhaut im kaudal gelegenen Nasengrund und wird deshalb auch Riechgang genannt. Der mittlere Nasengang hat Verbindung zu den Nasennebenhöhlen (Sinusgang). Durch den ventralen Nasengang zieht der größte Teil der Atemluft (Atmungsgang). Die Nasengänge stehen medial miteinander durch den Meatus nasi communis in Verbindung (KÖNIG und LIEBICH, 1999).

#### 2.1.2.2 Sinus paranasales

Aus den Nasenhöhlen buchten sich in die Schädelknochen die Nasennebenhöhlen aus. Sie reduzieren das spezifische Gewicht des Schädels, vergrößern die Oberfläche für die Muskelansätze außen am Schädel und dienen der Isolation von Augen, Nasen- und Schädelhöhle (KÖNIG und LIEBICH, 1999).

##### Sinus frontalis

Die beidseits vorkommende, einheitliche Stirnhöhle pneumatisiert das Os frontale und öffnet sich in den mittleren Nasengang.

##### Recessus maxillaris

Die flache Kieferbucht steht in weit offener Verbindung mit der Nasenhöhle. Dort liegen die lateralen Nasendrüsen.

##### Sinus sphenoidalis

Bei der Katze ist eine rechte und linke Keilbeinhöhle ausgebildet.

---

## 2.2 MRT und anatomische Gefrierschnitttechnik

Mit der MRT kann man Schnittbilder eines Körpers erzeugen, welche einen Vergleich mit anatomischen Schnitten derselben Region zulassen.

### 2.2.1 MRT

Die Magnetresonanztomographie (= Kernspintomographie) ist ein Schnittbildverfahren für die medizinische Diagnostik mit einem hohen Kontrastaufklärungsvermögen. Aufgrund der hervorragenden Darstellung des Weichteilgewebes hat sich die MRT in diesem Bereich zu einem der Computertomographie vielfach überlegenem Verfahren entwickelt. Darüber hinaus kommt dieses Verfahren ohne potenziell schädliche ionisierende Strahlung aus.

#### 2.2.1.1 Historische Entwicklung

Bereits 1945 wurde das Phänomen der magnetischen Kernresonanz von BLOCH, HANSEN und PACKARD an der Stanford University und von PURCELL, TORREY und POUND an der Harvard University beobachtet. Allerdings dauerte es noch bis 1974 bis PAUL LAUTERBUR (USA) und Sir PETER MANSFIELD (Großbritannien) durch die Einführung magnetischer Gradientenfelder zur Ortskodierung des Kernresonanzsignals und Entwicklung mathematischer Verfahren, um Signale schnell in Bildinformationen umwandeln zu können, daraus ein Verfahren zur Bildgebung verwirklichen konnten. Dafür erhielten sie 2003 den Nobelpreis.

Seit Anfang der 80er Jahre stehen Routinegeräte für die Kernspintomographie-Diagnostik mit Magnetfeldstärken von 0,03 Tesla bis heute 3,0 Tesla und mehr bereit. Die Aufnahmen für diese Dissertation wurden mit einem 0,25 T Niederfeldgerät von esaote® (Vet-MR Grande) und mit zwei Hochfeldgeräten mit 1,5 T (Siemens Symphonie) und 3,0 T (Philips Intera Achieva) hergestellt.

#### 2.2.1.2 Physikalische Grundlagen

##### 2.2.1.2.1 Der Wasserstoff

Ein Atom setzt sich aus Kern und Schale zusammen, wobei der Kern wiederum aus Protonen und Neutronen besteht, die Schale aus Elektronen. Der Wasserstoffkern

besitzt lediglich ein Proton. Protonen besitzen eine positive elektrische Ladung und einen Spin, d.h. einen Eigendrehimpuls. Dadurch wird ein elektrischer Strom erzeugt, welcher wiederum ein Magnetfeld verursacht.

Der Wasserstoffkern eignet sich am besten für die Bildgebung, da Wasserstoff im gesamten Körper reichlich vorkommt und darüber hinaus das beste Signal von allen Kernen abgibt. Deswegen beruhen heute sämtliche normalen MRT-Untersuchungen auf der Protonen-/Wasserstoff-Darstellung (SCHILD, 1997).

#### 2.2.1.2.2 Die Boltzmannverteilung

Setzt man die dem Prinzip der maximalen Entropie folgenden, willkürlich angeordneten Protonen einem starken externen Magnetfeld aus, dann richten sie sich parallel oder antiparallel dazu aus. Die parallele Ausrichtung erfordert weniger Energie und wird deswegen bevorzugt. Das Verhältnis zwischen den polarisierten Protonen und nicht polarisierten Protonen wird durch die Boltzmannverteilung beschrieben:

Formel 1:

$$N_{\text{polar.}}/N_{\text{nicht polar.}} = \exp(h \times \gamma \times B_0 / (k \times T))$$

$N_{\text{polar.}}$  = Anzahl der polarisierten Protonen

$N_{\text{nicht polar.}}$  = Anzahl der nicht polarisierten

$h$  = Planksches Wirkungsquantum

$\gamma$  = gyromagnetisches Verhältnis

$B_0$  = magnetische Flussdichte

$k$  = Boltzmannkonstante

$T$  = Temperatur

Die Kräfte der antiparallelen und parallelen Protonen heben einander auf. Da jedoch etwas mehr parallele Protonen auf niedrigem Energieniveau existieren (abhängig von der Magnetfeldstärke ca. 7ppm, d.h. auf ca. 1 Mio. antiparallelen Protonen kommen ca. 1.000.007 parallele Protonen), bleibt eine Anzahl von Protonen übrig, deren Magnetkräfte sich in Richtung des externen Magnetfeldes addieren.

### 2.2.1.2.3 Larmor-Gleichung

Die Protonen liegen nicht nur entlang der Feldlinien, sondern sie präzedieren, d.h. sie bewegen sich ähnlich einem rotierenden Kreisel, der anfängt zu taumeln. Die Präzessionsfrequenz berechnet sich nach der Larmor-Gleichung:

Formel 2:

$$\omega_0 = \gamma \times B_0$$

$\omega_0$  = Präzessionsfrequenz in Hz oder MHz

$\gamma$  = gyromagnetisches Verhältnis. Beträgt für Protonen 42,58 MHz/T

$B_0$  = Stärke des externen Magnetfeldes in Tesla

### 2.2.1.2.4 Longitudinal- und Transversalmagnetisierung

Die während der Präzession in entgegengesetzte Richtungen wirkenden Anteile der magnetischen Kräfte der einzelnen Protonen heben sich ebenfalls gegeneinander auf, außer entlang des externen Magnetfeldes. Dort addieren sie sich, was als Longitudinalmagnetisierung bezeichnet wird. Diese kann nicht gemessen werden. Für eine Messung ist eine Magnetisierung quer zum externen Magnetfeld erforderlich, eine Transversalmagnetisierung.

Diese wird durch Einstrahlung eines Hochfrequenzimpulses, einer Radiowelle, mit derselben Frequenz wie die Präzessionsfrequenz gewonnen. Dadurch nehmen einige Protonen Energie auf, die Longitudinalmagnetisierung verringert sich. Außerdem wird die Protonenpräzession synchronisiert, d. h. diese präzedieren „in Phase“. Die sich bislang gegenseitig neutralisierenden Magnetvektoren quer zum äußeren Magnetfeld addieren sich jetzt (Transversalmagnetisierung).

Nur wenn der Hochfrequenzimpuls und die Protonen dieselbe Frequenz haben, können erstere einen Teil der Energie der Radiowellen aufnehmen. Dieses Phänomen bezeichnet man als Resonanz (lat. resonare = antworten) (SCHILD, 1997).

### 2.2.1.2.5 $T_1$ -Kurve

Nach Abschalten des HF-Impulses nimmt die Longitudinalmagnetisierung erneut zu, was durch die gewebespezifische Zeitkonstante  $T_1$ , die longitudinale Relaxationszeit, beschrieben wird.  $T_1$  ist nicht die Zeit bis zur vollständigen Erholung der longitudinalen Relaxation, sondern sie gibt die Zeitspanne an, nach der ca. 63% der ursprünglichen Longitudinalmagnetisierung wieder erreicht sind. Sie ist damit ein Maß für die Geschwindigkeit, mit der sich das System wieder „erholt“.

Die Energie, die den Protonen vom HF-Impuls übertragen worden war, wird an die Umgebung, das sogenannte Gitter, abgegeben (= Spin-Gitter-Relaxation). Dies kann am effektivsten geschehen, wenn die Fluktuationen der Magnetfelder im Gitter eine Frequenz nahe der Larmor-Frequenz aufweisen, was zu einer kurzen  $T_1$  führt (SCHILD, 1997).

Wenn man nach Abschalten des Hochfrequenzimpulses die Stärke der Longitudinalmagnetisierung gegen die Zeit aufträgt, erhält man die sogenannte  $T_1$ -Kurve:

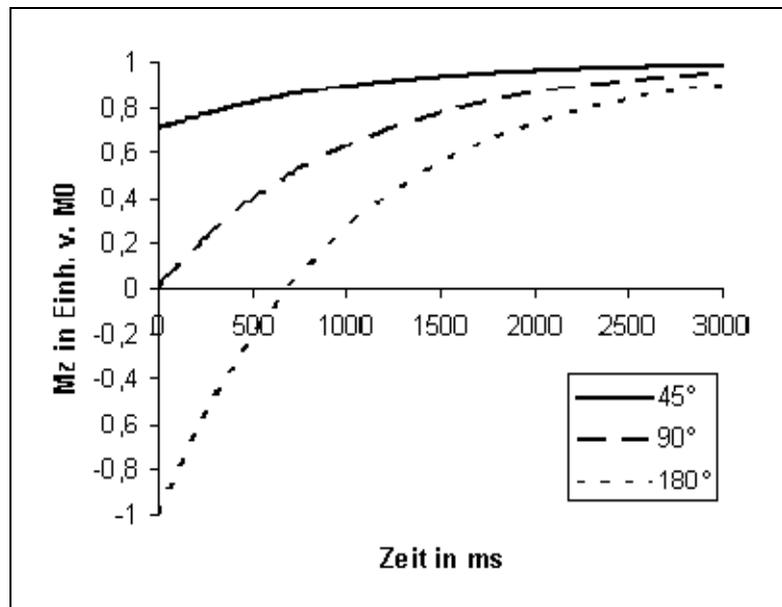


Abbildung 16: Spin-Gitter-Relaxation. Dargestellt ist die zeitliche Entwicklung der Longitudinalmagnetisierung  $M_z$  für eine Probe mit  $T_1 = 1000$  ms und drei verschiedenen Anregungswinkeln [siehe unten]. Nach dem Anregungspuls geht die Magnetisierung exponentiell in den Gleichgewichtszustand zurück. Nach etwa  $t = 4 \times T_1$  hat sich die Magnetisierung nahezu vollständig erholt, unabhängig vom Anregungswinkel (WARMUTH, 2003).  $M_0$  = thermisches Gleichgewicht.

### 2.2.1.2.6 $T_2$ -Kurve

Unabhängig von der  $T_1$ -Zeit nimmt die transversale Magnetisierung nach Abschalten des HF-Impulses ab, da die Protonen durch Inhomogenitäten des externen Magnetfeldes und durch die kleinen Magnetfelder der benachbarten Protonen bzw. Spins (=Spin-Spin-Relaxation) außer Phase geraten. Diese transversale Relaxationszeit wird durch die gewebespezifische Zeitkonstante  $T_2$  beschrieben, der Zeit, nach der die Transversalmagnetisierung auf 37% des ursprünglichen Wertes zurückgegangen ist (SCHILD, 1997).

Betrachtet man die Transversalmagnetisierung nach Abschalten des HF-Impulses als Funktion der Zeit, erhält man die sogenannte  $T_2$ -Kurve:

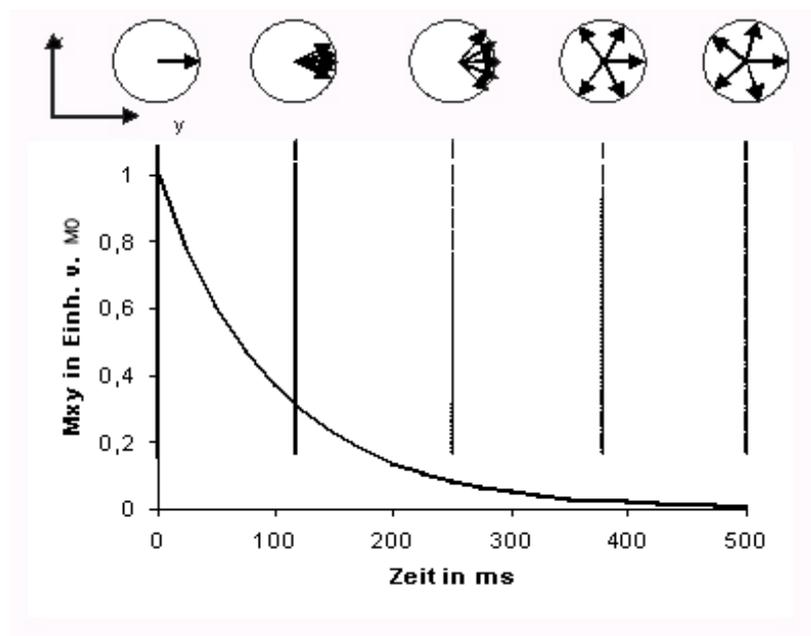


Abbildung 17: Spin-Spin-Relaxation abgewandelt nach Warmuth 2003.  $M_{xy}$ : Transversalmagnetisierung;  $M_0$ : thermisches Gleichgewicht.

### 2.2.1.2.7 Vergleich von $T_1$ und $T_2$

$T_1$  und  $T_2$  sind, wie bereits erwähnt, gewebespezifisch.

Tabelle 2: Protonen-Relaxationszeiten von menschlichem Gewebe bei 1,5 Tesla (abgewandelt nach Warmuth 2003).

Gewebe	$T_1$ [ms]	$T_2$ [ms]
Graue Hirnsubstanz	$920 \pm 160$	$101 \pm 13$
Weißer Hirnsubstanz	$790 \pm 130$	$92 \pm 22$
Blut (abhängig vom Oxygenierungsgrad)	1100-1400	150-200
Liquor	>4000	>2000

### 2.2.1.2.8 Free induction decay

Durch Einstrahlen eines bestimmten HF-Impulses, eines  $90^\circ$ -Impulses, kann die longitudinale Magnetisierung zum Verschwinden gebracht werden, während eine transversale Magnetisierung neu auftritt. Die Nettomagnetisierung wird hierbei um  $90^\circ$  gekippt. Unmittelbar nach Abschalten des HF-Pulses beginnt die Relaxation. Schließlich nimmt der Summen-Vektor wieder seine ursprüngliche Ausrichtung an, das Signal verschwindet. Diese Art von Signal wird als FID-Signal nach dem englischen free induction decay (Abklingen der freien Induktion) bezeichnet. Die Stärke des Signals hängt unter anderem von der anfänglichen Stärke der Longitudinalmagnetisierung ab (SCHILD, 1997).

### 2.2.1.2.9 $T_1$ -gewichtete Bild

Ein wichtiger Faktor, um die Magnetisierung und die Signalstärke von Geweben zu beeinflussen, ist die Zeit zwischen aufeinanderfolgenden Hochfrequenzimpulsen. Strahlt man einen zweiten HF-Puls erst nach längerer Zeit ein, hat sich die Longitudinalmagnetisierung vollständig erholt und man erhält dasselbe Signal wie nach dem ersten Impuls (= Protonendichte-gewichtetes Bild). Wenn der zweite

Impuls jedoch früher kommt, erhalten wir unterschiedliche Signalstärken für verschiedene Gewebe, da deren Longitudinalmagnetisierung dann noch nicht wieder dieselbe Stärke erreicht hat. Das ergibt einen besseren Gewebekontrast. Die Zeit, in der die Impulse wiederholt werden, wird als Repetitionszeit TR (time to repeat) bezeichnet. Das so erhaltene Bild wird als  $T_1$ -gewichtetes Bild bezeichnet. Diese Bilder erlauben wegen des stärkeren Signals eine bessere Ortsauflösung, aber einen geringeren Gewebekontrast als  $T_2$ -gewichtete Bilder (siehe unten). Flüssigkeiten stellen sich im  $T_1$  gewichtetem Bild dunkel dar, Fett hell (SCHILD, 1997).

#### 2.2.1.2.10 $T_2$ -gewichtetes Bild

Nachdem der HF-Impuls abgeschaltet ist, dephasieren die Protonen. Nach  $TE/2$  (siehe unten) kehrt ein  $180^\circ$ -Impuls zur „Neutralisierung externer Magnetfeldinhomogenitäten“ (SCHILD, 1997) die Richtung ihrer Präzession um, so dass sie dadurch wieder in Phase kommen. Das auf diese Weise erhaltene stärkere Signal wird als Spin-Echo nach der Zeit TE bezeichnet. Durch Wiederholung des  $180^\circ$ -Impulses kann man mehrere Spin-Echos erhalten, welche jedoch durch sog.  $T_2$ -Effekte nicht gleichstark sind (Nicht konstante Inhomogenitäten aufgrund lokaler Magnetfelder innerhalb des Gewebes können nicht geglättet werden). Die Kurve, die die Spin-Echo-Intensitäten verbindet, ist die  $T_2$ -Kurve. Ohne den  $180^\circ$ -Impuls würde die Signalstärke viel rascher abnehmen ( $T_2^*$ -Kurve).

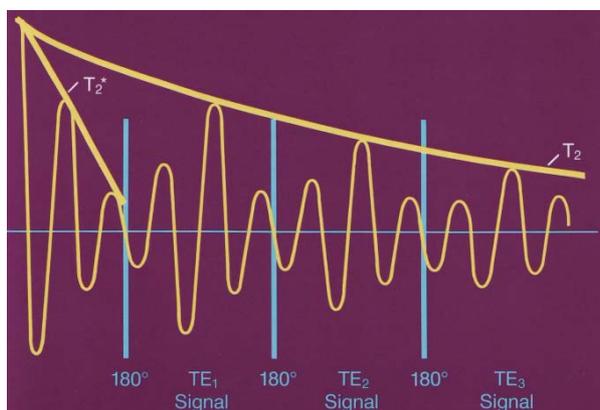


Abbildung 18:  $T_2$  - und  $T_2^*$ - Kurve (SCHILD, 1997).

Die entsprechenden Effekte dazu nennt man  $T_2^*$ -Effekte. Diese sind für die sog. schnellen Sequenzen von Bedeutung.  $T_2$ -gewichtete Bilder ergeben helle Flüssigkeiten und dunkles Fett.

### 2.2.1.2.11 Spin-Echo-Sequenz, Time to Echo

Folgt, wie oben erwähnt, einem  $90^\circ$ -Impuls ein  $180^\circ$ -Impuls wird dies als Spin-Echo-Sequenz bezeichnet. Die Zeit zwischen dem  $90^\circ$ -Impuls und dem Spin-Echo wird als TE (Time to Echo) bezeichnet. Je kürzer TE, desto stärker ist das Signal, es besteht jedoch kaum ein Unterschied in der Signalstärke der Gewebe, d. h. wenig Kontrast. Aber je länger man wartet, umso kleiner wird das Signal-zu-Rausch-Verhältnis und das Bild erscheint verrauscht.

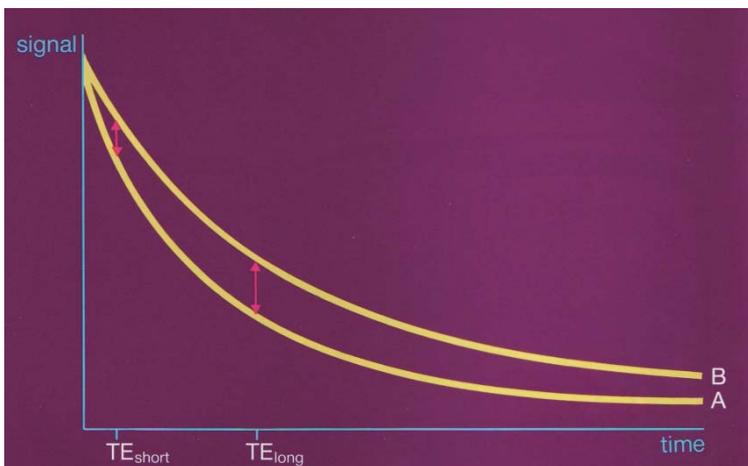


Abbildung 19: Durch Wahl verschiedener TEs lassen sich die Signale in unterschiedlichem Maße  $T_2$ -gewichten. Bei sehr kurzer TE können sich die  $T_2$ -Effekte noch nicht nennenswert bemerkbar machen. Bei längerer TE hängt der Unterschied in der Signalstärke zwischen den einzelnen Geweben in sehr starkem Maße von ihrer jeweiligen transversalen Relaxationszeit ab (SCHILD, 1997).

Die Signalstärke für ein Gewebe, das mittels einer Spin-Echo-Sequenz untersucht wird, kann ermittelt werden, indem man die  $T_1$ - und  $T_2$ -Kurve für das betreffende Gewebe kombiniert:

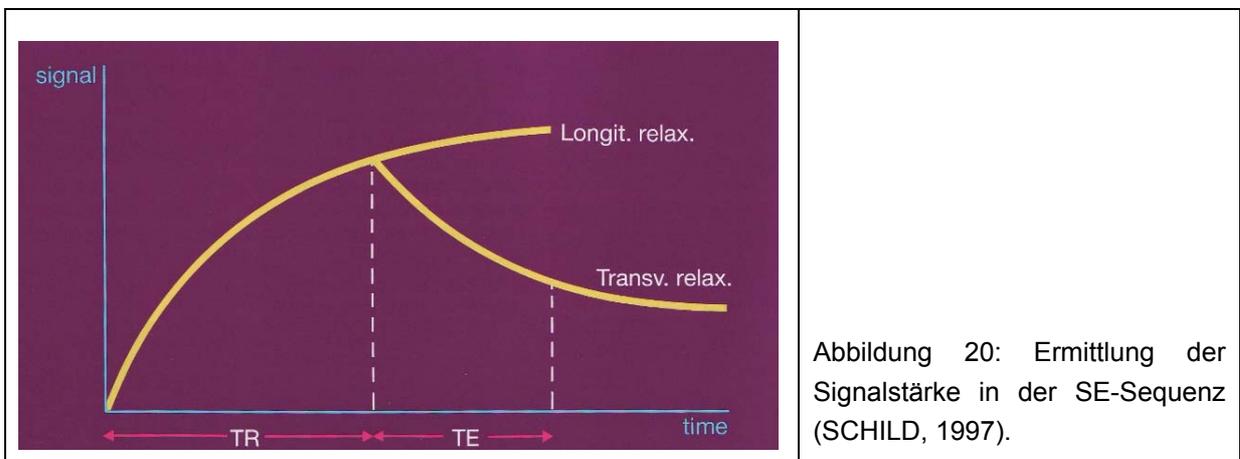


Abbildung 20: Ermittlung der Signalstärke in der SE-Sequenz (SCHILD, 1997).

Die Longitudinalmagnetisierung nach dem Zeitpunkt TR ist gleich der Stärke der Transversalmagnetisierung, mit der begonnen wird, da diese um  $90^\circ$  „gekippt“ wird. Diese Transversalmagnetisierung beginnt sich sofort mit einer Geschwindigkeit abzubauen, die durch die transversale Relaxationszeit und damit durch die  $T_2$ -Kurve bestimmt ist. Die Signalstärke des Gewebes nach der Zeit TE kann dann aus der  $T_2$ -Kurve zu diesem Zeitpunkt TE (der zeitlich nach TR beginnt) hergeleitet werden (SCHILD, 1997).

#### 2.2.1.2.12 Wichtung von Bildern

Die Dauer von TR und TE sind entscheidend für die Wichtung der Bilder, was folgende Abbildung darstellen soll:

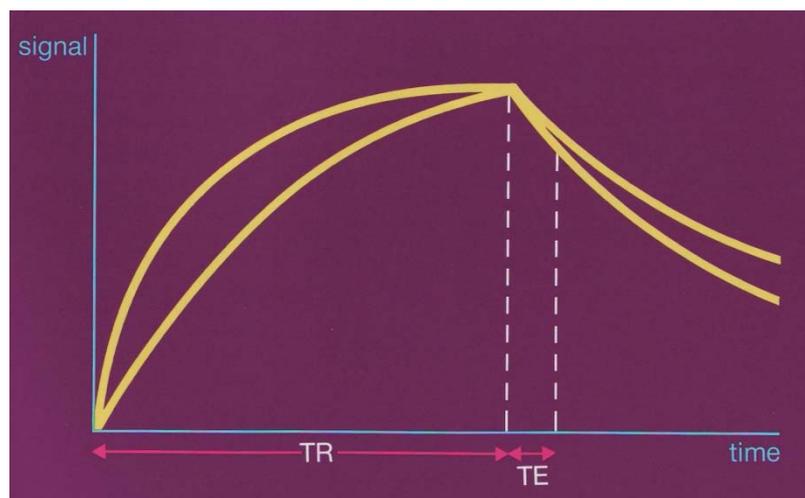


Abbildung 21: Wenn man mit **langer TR und kurzer TE** untersucht, erhält man ein Signal, das weder  $T_1$ -noch  $T_2$ -gewichtet ist, sondern in erster Linie durch Unterschiede in der **Protonen-Dichte** beeinflusst wird. Je mehr Protonen vorhanden sind, desto stärker ist das Signal. Verwendet man eine **lange TR und eine lange TE**, haben die Unterschiede der  $T_1$  praktisch keine Relevanz, aber die Unterschiede in der transversalen Relaxationszeit  $T_2$  können sich deutlich bemerkbar machen und es entsteht ein  **$T_2$ -gewichtetes** Bild. Bei **kurzer TR und kurze TE** können sich Unterschiede in den  $T_1$  - Werten in unterschiedlichen Signalstärken ausdrücken, aber Unterschiede in den  $T_2$  - Werten noch nicht nennenswert manifestieren, wir erhalten somit ein  **$T_1$ - gewichtetes** Bild. Erscheint Flüssigkeit weiß, liegt ein  $T_2$ -gewichtetes Bild vor. Erscheint sie dunkel, haben wir ein  $T_1$  - oder Protonendichte-Bild. Beim Protonen-gewichtetem Bild ist das Signal der grauen Substanz, die einen höheren Wasseranteil (d. h. mehr Protonen) aufweist, stärker als das der weißen Substanz (SCHILD, 1997).

#### 2.2.1.2.13 Kontrastmittel

Paramagnetische Substanzen wie z.B. Gadolinium-DTPA sollen hier nur kurz erwähnt werden, da sie für die vorliegende Untersuchungen keine Relevanz besitzen. Sie führen zu einer Signalverstärkung bei  $T_1$ -gewichteten Darstellungen und zu einer Signalabschwächung bei  $T_2$ -gewichteten Bildern.

#### 2.2.1.2.14 Die Partial-Saturation-/Saturation-Recovery-Sequenz

Die Partial-Saturation- und die Saturation-Recovery-Sequenz sind Pulssequenzen, die lediglich aus  $90^\circ$ -Impulsen bestehen. Der Unterschied besteht in der TR: Bei langer TR – der Saturation-Recovery-Sequenz – wird der Bildkontrast vorwiegend von der Protonen-Dichte bestimmt (Longitudinalmagnetisierung in beiden Geweben hat sich wieder aufgebaut). Bei kürzerer TR – der Partial-Saturation-Sequenz – erhalten wir ein  $T_1$ -gewichtetes Bild.

#### 2.2.1.2.15 Die Inversion-Recovery-Sequenz

Die Inversion-Recovery-Sequenz (IR-Sequenz) besteht zunächst aus einem  $180^\circ$ -Impuls, dem ein  $90^\circ$ -Impuls folgt. Der  $180^\circ$ -Impuls lenkt die Longitudinalmagnetisierung in die entgegengesetzte Richtung. Je kürzer die  $T_1$ -Zeit des Gewebes, desto schneller wird die ursprüngliche longitudinale Magnetisierung erreicht. Für ein messbares Signal wird noch ein  $90^\circ$ -Impuls benötigt. Das empfangene Signal hängt von der Zeit zwischen dem  $180^\circ$ -Impuls und dem  $90^\circ$ -Impuls ab, d.h. der Zeit nach der Umkehrung durch den  $180^\circ$ -Impuls, der TI (Inversion time, Inversionszeit). Das MR-Bild in einer IR-Sequenz ist dabei noch stärker  $T_1$ -gewichteter als das einer Partial-Saturation-Sequenz.

#### 2.2.1.2.16 Die Time Inversion Recovery (STIR):

Wartet man bis die Längsmagnetisierung eines Gewebes gleich Null ist, d.h. sich im Übergang vom Negativen zum Positiven befindet ( $180^\circ$ -Impuls) und sendet dann den  $90^\circ$ -Impuls ein, gibt dieses Gewebe kein Signal ab, es wird unterdrückt. Durch die geeignete Wahl von  $T_1$  kann man so z.B. das Signal aus dem Fettgewebe unterdrücken.

#### 2.2.1.2.17 Schnelle Bild-Sequenzen

Dazu nimmt man Pulssequenzen wie FLASH (Fast Low Angle Shot) oder GRASS (Gradient Recalled Acquisition at Steady State). Die Repetitionszeit ist der zeitintensivste Parameter einer Sequenz. Wenn wir TR aber verkürzen, ergeben sich folgende Probleme: Erstens dauert es einige Zeit, den  $180^\circ$ -Impuls zu applizieren, und bei einer sehr kurzen TR kann dies zwischen den einzelnen Pulsfolgen gar nicht mehr möglich sein. Zweitens kann die longitudinale Magnetisierung sich immer weniger zwischen den Pulsfolgen erholen, wodurch das Signal schwächer wird. Deswegen rephasiert man die Protonen auf eine anderer Art: statt eines  $180^\circ$ -Impulses nimmt man einen Magnetfeldgradienten (Gradientenfeld). Dabei wird ein zweites Magnetfeld dem Feld des ersten Magneten überlagert. Das Gradientenfeld ist nicht homogen, sondern besitzt ein Gefälle. Dieses wird für eine kurze Zeit eingeschaltet. Hierdurch vergrößern sich die Inhomogenitäten des Magnetfeldes in der untersuchten Schicht. Damit dephasieren die Protonen schneller. Dann wird das Gradientenfeld abgeschaltet und nach kurzer Zeit wieder in gleicher Stärke aber genau umgekehrt ausgerichtet wieder kurz eingeschaltet. Die schnelleren Protonen werden dadurch zu den langsameren und umgekehrt, so dass die Protonen wieder in Phase geraten und das Signal an Stärke bis zu einem gewissen Maximum zunimmt (SCHILD, 1997). Auch bei diesem Signal handelt es sich um eine Art Echo, das als Gradienten-Echo bezeichnet wird. Neben dem Gradientenfeld bedient man sich bei schnellen Sequenzen noch sogenannter Flipwinkel. Es werden statt eines  $90^\circ$ -Impulses, der die Longitudinalmagnetisierung beseitigt, Impulse verwendet die einen kleineren Auslenkwinkel oder Flipwinkel (i. d. R. zwischen  $10^\circ$  und  $35^\circ$ ) erzeugen, so dass immer eine erhebliche Longitudinal-

magnetisierung bleibt, die dann vom nächsten Impuls gekippt werden kann. So erhält man auch dann noch ein verwertbares Signal, wenn der nächste Impuls bereits nach sehr kurzer TR folgt. Größere Flip-Winkel führen dabei zu einer stärkeren  $T_1$ -Gewichtung. Mit zunehmender TE werden die Bilder stärker  $T_2^*$ -gewichtet. Zur Erzielung eines kleinen Flip-Winkels braucht man nur einen sehr kurzen HF-Impuls.

#### 2.2.1.2.18 Constructive Interference in Steady State (CISS)

Bei der CISS handelt es sich um zwei GE-Sequenzen, deren Einzelsignale konstruktiv addiert werden. Durch die Wahl der Parameter der Sequenzen kann man ausgewählte anatomische Strukturen gezielt darstellen. Der Vorteil der 3D-CISS-Sequenz ist neben der guten Abgrenzung der Strukturen auch die hohe Auflösung der Bilder.

#### 2.2.1.2.19 Akquisitionszeit (Untersuchungszeit):

Berechnung der Akquisitionszeit a.t. (Zeit zur Ermittlung der Daten für ein MR-Bild):

Formel 3:

$$a.t. = TR \times N \times Nex$$

TR= Time of Repetition: Um die Akquisitionszeit pro Bild zu verkürzen, kann man, bis eine erneute Messung in einer Schichtebene möglich ist, also bis TR vorbei ist, Messungen in einer oder mehreren anderen Schichten durchführen= Mehrschichttechnik oder multislice imaging. Außerdem kann Kontrastmittel die Akquisitionszeit verkürzen: Gadolinium verkürzt die  $T_1$ , damit kann die TR kürzer sein, ohne dass das gemessene Signal schwächer ist.

N= Anzahl der Zeilen in der Bildmatrix. Die Zeilen bestehen aus Bildelementen (Pixeln). Eine Matrix besteht aus Spalten und Zeilen.

Nex= Zahl der Einzelmessungen (ex= excitations, Anregungen). Es ist sinnvoll, die MR-Signale mehrfach zu messen. Durch Addition wird das Signal-Rausch-Verhältnis größer.

#### 2.2.1.2.20 Schichtselektions- Gradient

Um zu wissen, aus welchem Teil des Körpers das Signal kommt, wird dem externen Magnetfeld während des HF-Impulses ein Gradientenfeld (Schichtselektionsgradient) überlagert. Dadurch haben die Protonen in unterschiedlichen Schichten des Körpers unterschiedliche Präzessionsfrequenzen. Durch Auswahl einer bestimmten Frequenz für den HF-Impuls wird die Schicht bestimmt, die untersucht wird.

#### 2.2.1.2.21 Wahl der Schichtdicke

Durch Änderung der Steilheit des Gradientenfeldes (ein Gradientenfeld ist um so steiler, je größer der Unterschied in der Feldstärke von der einen zur anderen Seite hin ist) variieren auch die Präzessionsfrequenzen von Punkt zu Punkt stärker und es ergibt sich selbst bei unveränderter Bandbreite des HF-Impulses eine dünnere Schicht.

#### 2.2.1.2.22 Frequenzkodier- und Phasenkodier-Gradienten

Um den Punkt innerhalb einer Schicht zu bestimmen, von dem ein bestimmtes Signal ausgeht, werden der Frequenzkodier- und der Phasenkodier-Gradient benötigt. Diese werden nach dem HF-Impuls angelegt, stehen senkrecht aufeinander und nehmen mit dem Schichtselektions-Gradienten jeweils eine der drei Raumachsen ein. Dies führt zu unterschiedlichen Präzessionsfrequenzen entlang der Achsen und damit zu unterschiedlichen Frequenzen der entsprechenden Signale.

#### 2.2.1.2.23 Fourier-Transformation

Über die Fourier-Transformation ist man in der Lage, eine bestimmte Signalstärke einem spezifischen Ort zuzuordnen und so ein MRT-Bild zu bekommen.

### 2.2.1.2.24 Signal-zu-Rausch-Verhältnis

Ein Maß für die Abbildungsqualität ist das Signal-zu-Rausch-Verhältnis (Schuller 2003):

Formel 4:

$S/R \sim \omega_0 \times \Delta V \times \sqrt{t}$	Für Ganzkörperuntersuchungen
---	------------------------------

S/R = Signal-zu-Rausch-Verhältnis

$\omega_0$  = Resonanzfrequenz

$\Delta V$  = Voxelvolumen

t = Messzeit.

### 2.2.1.2.25 Bildbeurteilung

Die Bildinterpretation stützt sich auf den Gesamtkontrast, die jeweilige Gewichtung der Messesequenz und die Signalunterschiede zwischen den Geweben. Man spricht bei der Beschreibung einer Läsion von hyperintens für signalreich und hypointens für signalarm.

### 2.2.1.3 Aufbau eines MRT-Systems

Die Hauptkomponenten eines MRT sind ein starker Magnet, magnetische Gradientenfelder, Hochfrequenzsender und -empfänger, Signalverarbeitungsanlage, Rechner, Bedienkonsole, Auswert- und Dokumentationseinheit und Hilfsgeräte wie Steuerungselemente, Kühlanlage, Magnetfeldkompensation und HF-Abschirmungssysteme.

Der wichtigste Teil des Kernspintomographen ist der Magnet, der von beträchtlicher Stärke sein muss. Die Feldstärke wird in Tesla (T) oder Gauss angegeben (1T= 10.000 Gauss) und liegt meist zwischen 0,25 und 3,0 T. Das Magnetfeld muss wegen der Präzessionsfrequenz äußerst homogen sein. Die Homogenität des Magnetfelds wird in ppm (parts per million) in einem definierten Volumen ausgedrückt (Differenz zwischen der größten und der geringsten Feldstärke geteilt durch die durchschnittliche Feldstärke, das Ergebnis mit einer Million multipliziert).

---

Dabei kommen verschiedene Magnet-Typen zum Einsatz:

1. **Permanent-Magnete** benötigen keine externe Energiezufuhr. Sie bestehen aus magnetisiertem ferromagnetischem Material, wie z.B. Legierungen aus Eisen und Kobalt oder Neodymium. Ihre Nachteile sind ihre thermische Instabilität, die begrenzte Feldstärke und das hohe Gewicht. Das Niedrigfeldsystem von Esaote®, welches für die Untersuchungen dieser Dissertation teilweise benutzt wurde, ist ein offenes System. Offene Systeme ermöglichen in der Humanmedizin auch das Untersuchen klaustrophobischer Patienten, was allerdings in der Veterinärmedizin keine Rolle spielt, da alle Patienten momentan noch wegen der langen Untersuchungszeiten in Narkose gelegt werden müssen. Außerdem ermöglicht das offene Design neue Möglichkeiten, wie z.B. kinematische Gelenkstudien und interventionelle Methoden (SCHULLER, 2003). Darüber hinaus bieten offene Systeme auch bei Großtieren, wie z.B. Pferden, genügend Platz.
2. Bei **Elektro- oder Widerstandsmagneten** wird ein elektrischer Strom durch eine Drahtspule geleitet und so ein Magnetfeld erzeugt. Gegen die Erwärmung müssen diese gekühlt werden. Die relativ neuen Eisenkern-Elektromagneten besitzen Eigenschaften von Permanent- und Elektromagneten und kombinieren eine Reihe der Vorteile.
3. **Supraleitende Magneten** benötigen ebenfalls elektrische Energie, verfügen jedoch über einen speziellen Stromleiter, der auf supraleitende Temperaturen (ca. 4°K oder -269°C) gekühlt wird. Bei dieser Temperatur verliert das stromführende Material seinen elektrischen Widerstand. Wenn man daher einmal einen elektrischen Strom eingeführt hat, fließt dieser ständig und erzeugt ein konstantes Magnetfeld. Zur Kühlung verwendet man sogenannte kryogene- /Tieftemperatur-Gase wie flüssiges Helium oder flüssigen Stickstoff, die von Zeit zu Zeit nachgefüllt werden müssen. Die Vorteile supraleitender Magneten liegen in der großen Stärke und der hervorragenden Homogenität des Magnetfeldes. Nachteil sind ihre hohen Kosten und die Notwendigkeit relativ teurer Tieftemperaturgase.

Systeme mit hoher Feldstärke haben eine bessere räumliche Auflösung, man bekommt eine höhere Bildqualität in kürzerer Zeit und sie eignen sich bei entsprechender Stärke für spektroskopische Untersuchung.

Systeme mit geringer Feldstärke bieten andererseits häufig einen besseren Gewebekontrast, Inhomogenitäten des Feldes wirken sich weniger aus und sie erfordern niedrigere Anschaffungs- und Betriebskosten.

Nach Schuller (2003) hat die Feldstärke des Magneten wenig Einfluss auf die Treffsicherheit der Diagnose in der Routine, jedoch ist die Untersuchungszeit, bei vergleichbar guter Bildqualität der verwendeten Scanner, mit hoher Feldstärke deutlich kürzer. Kreitner et al. (SCHULLER, 2003) fanden heraus, dass bei der Diagnostik von Kniebinnenläsionen der Erfahrungsstand des Untersuchers eine sehr große Rolle spielt.

Die Spulen dienen zum Einstrahlen der HF-Impulse und zum Empfang des erzeugten Signals. Man kann dazu dieselbe oder verschiedene Spulen verwenden.

1. Körperspulen: Sie sollen den Körper des Patienten weitgehend umgeben. Sie senden den HF-Impuls aus und dienen gleichzeitig als Empfänger des Signals. Man verwendet sie zur Darstellung größerer Regionen des Körpers (LASSERRE und BLOHM, 2003).
2. Oberflächenspulen: Sie werden direkt auf die zu untersuchende Region gelegt und sind dementsprechend unterschiedlich geformt. Es handelt sich hierbei lediglich um Empfängerspulen. Der HF-Impuls wird von der Körperspule gesendet. Für tieferliegende Körperregionen eignen sich diese Spulen nicht.
3. Trimmspulen/Shim-Spulen: Verbessern die Homogenität des Magnetfeldes durch elektrische und mechanische Einstellungen.
4. Gradientenspulen: Sie werden eingesetzt, um das Magnetfeld durch Erzeugung zusätzlicher linearer elektromagnetischer Felder gezielt zu verändern; auf diese Weise wird eine Schichtauswahl und räumliche Information erst ermöglicht. Wegen der drei Raumrichtungen gibt es auch drei Sätze von Gradientenspulen. Diese Spulen stoßen während einer MR-Untersuchung gegen ihre Halterungen und verursachen dabei ein hörbares Geräusch.

---

#### 2.2.1.4 Auswahl der Wichtung

##### T<sub>1</sub>-Wichtung:

wird verwendet zur Darstellung der Anatomie: Flüssigkeiten und pathologische Veränderungen sind signalarm. T<sub>1</sub>-Wichtungen haben ein hohes Signal-zu-Rausch-Verhältnis (SNR) und sind wenig anfällig gegenüber Artefakten.

##### T<sub>2</sub>-Wichtung:

wird verwendet zur Darstellung pathologischer Veränderungen: Flüssigkeiten und pathologische Veränderungen sind signalreich. T<sub>2</sub>-Wichtungen haben ein geringeres Signal-zu-Rausch-Verhältnis als T<sub>1</sub>-Wichtungen. Sie sind anfällig gegenüber Artefakten durch Bewegung oder Pulsation.

##### T<sub>1</sub>\*-Wichtung:

wird verwendet zur Darstellung der Anatomie: Fett und Muskeln sind signalärmer als im T<sub>1</sub>-Kontrast. Flüssigkeiten stellen sich intermediär dar, das Signal-zu-Rausch-Verhältnis ist hoch. Man nimmt die T<sub>1</sub>\*-Wichtung v.a. für Knochen und Knorpel.

##### T<sub>2</sub>\*-Wichtung:

wird verwendet zur Darstellung pathologischer Veränderungen: Fett und Muskeln sind signalärmer als im T<sub>1</sub> und T<sub>1</sub>\*-Kontrast, Flüssigkeiten sind signalreich, das SNR ist geringer als in T<sub>1</sub> oder T<sub>1</sub>\*-Wichtungen.

Noch kurz erwähnt soll sein, dass das registrierte Signal neben der Protonendichte im jeweiligen Volumenelement, den Relaxationszeiten und der Magnetfeldstärke auch von der Temperatur des zu messenden Objekts abhängig ist (SCHULLER, 2003).

#### 2.2.1.5 Schnitfführung und Schnittebenen

Für die vorliegende Dissertation werden verschiedene Schnittebenen benutzt: sagittal, dorsal und transversal.

---

### 2.2.2 Anatomische Gefrierschnitttechnik allgemein

Mit Hilfe eines Einbettungsverfahrens (s.u.) wird das Untersuchungsgut fixiert. Dadurch wird seine Härtung und Schneidbarkeit für die Herstellung eines Gefrierschnitts garantiert. Schnelles, tiefes Abkühlen ist dabei eine Voraussetzung für die Strukturhaltung des Gewebes. Anschließend werden Gewebeschnitte in sagittaler, dorsaler oder transversaler Schnitfführung in der gewünschten Schichtdicke angefertigt (WIESNER und RIBBECK, 2000).

### 3 Material und Methoden

#### 3.1 Material

Es wurden 14 Katzenköpfe von Katzen der Rasse Europäisch Kurzhaar untersucht. Keines der Tiere wurde für diese Dissertation getötet, sondern die Katzen wurden aufgrund medizinischer Indikationen euthanasiert bzw. starben eines natürlichen Todes.

##### 3.1.1 Untersuchungsgut

Tabelle 3: Tiere, die für die Teiluntersuchung verwendet wurden (n = 15).

EKH: Europäische Kurzhaarkatze; w: weiblich, wk: weiblich kastriert; m: männlich, mk: männlich kastriert; J: Jahr/Jahre; Mon: Monate.

Dabei entspricht das Datum der MRT dem Todestag. Ausnahmen: Katzen Nr. 6 und 7. Diese wurden vor den MRT-Aufnahmen eingefroren.

Nr	Katzenrasse	Geschlecht	Alter	Gewicht	Datum der MRT	Todesursache
1	EKH	w	1,5 J.	4 kg	28.04.2007	FIP-Verdacht
2	EKH	m	3 J.	4 kg	27.05.2007	FIV, rezidivierendes Fieber
3	EKH	m	1 J.	3 kg	23.10.2007	unbekannt, Hypothermie, Kachexie,
4	EKH	wk	12 J.	5 kg	25.10.2007	rezidivierende Inappetenz
5	EKH	mk	2 J.	4 kg	22.11.2007	Parvovirose
6	EKH	m	ca. 8 Mon.	3 kg	28.11.2007	Wirbelsäulenverletzung
7	EKH	w	5 Mon.	2,3 kg	28.11.2007	Nekrose des Beines nach Fissur
8	EKH	wk	6 J.	5 kg	28.11.2007	Niereninsuffizienz
9	EKH	wk	2 J.	4 kg	20.01.2008	Pneumonie
10	EKH	w	2 J.	4 kg	05.03.2008	Parvovirose
11	EKH	mk	3 J.	5 kg	07.04.2008	Autounfall
12	EKH	w	1 J.	3 kg	09.04.2008	Autounfall
13	EKH	mk	3 J.	4 kg	15.04.2008	Nierenversagen
14	EKH	w	1 J.	3,5 kg	15.04.2008	Pankreatitis

### 3.1.2 Präparatauswahl

Zur Vermeidung pathologischer Befunde wurde darauf geachtet, dass die Tiere vor ihrem Tod keine Anzeichen einer neurologischen Störung aufwiesen und keine Anzeichen für eine Infektion mit FIP (Ausnahme: Katze 1), FeLV oder FIV (Ausnahme: Katze 2) vorhanden waren und die Tiere nicht an einer Infektion der oberen Atemwege litten.

### 3.1.3 Präparation der Katzenköpfe

Nach dem Tod der Katzen wurden die Köpfe vor den MRT-Aufnahmen rasiert (Ausnahme: Katzen Nr. 1,2 und 10-14, diese wurden erst nach den Aufnahmen rasiert), um beim Herstellen der anatomischen Schnittbilder keine Verschmutzung der Schnittflächen durch Haare zu bekommen. Danach wurden die Köpfe am Übergang vom dritten und vierten Halswirbel vom Körper abgetrennt (Ausnahme: Katzen Nr. 1 und 2; diese Köpfe wurden erst nach den MRT-Aufnahmen abgetrennt). Dies erfolgte mit besonderer Vorsicht, um nicht durch Zug am Rückenmark die Lage des Gehirns zu verändern.

## 3.2 Methoden

Nach erfolgter Vorbereitung wurden die Köpfe innerhalb von ca. 6 Stunden (Ausnahme: Katzen 6-8) mittels MRT untersucht und später daraus anatomische Schnittbilder angefertigt.

### 3.2.1 Zeitraum zwischen Tod und MRT

Da die Kernspintomographen nur von Montag bis Donnerstag zur Verfügung standen, war die Überlegung, ob es möglich wäre, Katzen, welche zwischen Freitag und Sonntag starben, vor der MRT einzufrieren, um die Autolyse zu stoppen. Dazu wurde zuerst eine noch tiefgefrorene Katze (-21°C) ins MRT gelegt. Hier konnten keine ausreichend guten Bilder angefertigt werden:



Abbildung 22: MRT-Darstellung des Gehirns, der Nase und der Stirnhöhle.

$T_1$ , TR= 1300, TE= 20, SL= 1,29; Katze Nr.6.

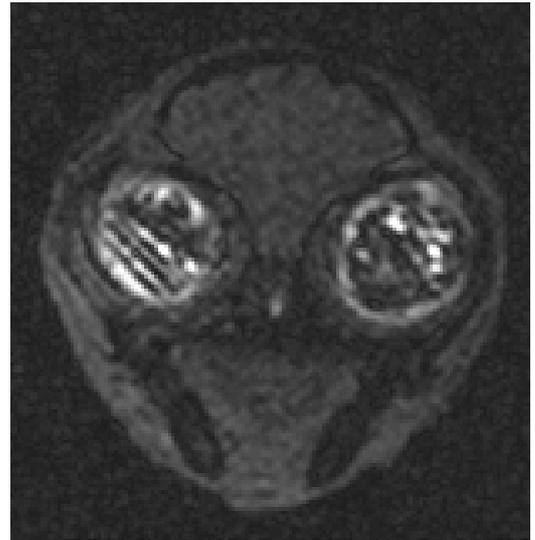


Abbildung 23: MRT-Darstellung des Gehirns in Höhe der Augen.

$T_2$  CISS, TR= 11.22, TE= 5.61, SL= 1; Katze Nr.6.

Bekannt ist, dass tiefgefrorene Präparate keine aussagekräftigen Bilder ergeben (MELZER, 1991).

Beim Abkühlen bewegen sich die Moleküle immer langsamer. Bei einer bestimmten Temperatur wird die kinetische Energie einiger Moleküle so gering, dass sie sich unter dem Einfluss der intermolekularen Anziehungskräfte in geordneter Weise starr zu einem Kristall zusammenfügen (MORTIMER, 1996). Bei der MRT Aufnahme muss allerdings eine Resonanz erzeugt werden. Bei der kristallinen Struktur stimmt die Erzeugerfrequenz nicht mit der Resonanzfrequenz überein. Daher wird die zu messende Relaxationszeit „unscharf“, da die Spins nicht die maximale Energie erhalten haben.

Als nächstes wurde eine aufgetaute Katze (vier Stunden bei Zimmertemperatur) in den Kernspintomographen gelegt:

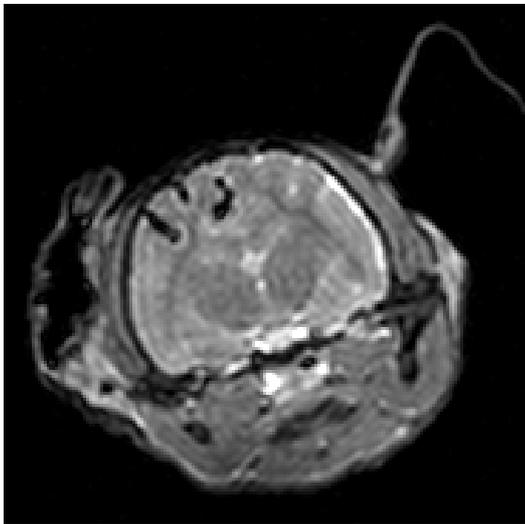


Abbildung 24: MRT-Darstellung des Gehirns.  $T_2$  CISS, TR= 11.22, TE= 5.61, SL= 1; Katze Nr.7.

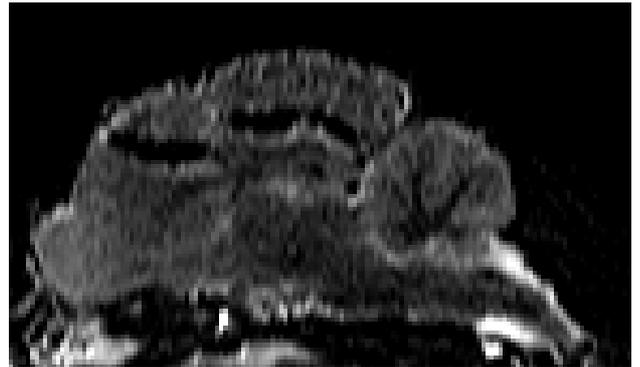


Abbildung 25: MRT-Darstellung des Gehirns, Sagittalschnitt.  $T_2$ , TR= 5720, TE= 109, SL= 1; Katze Nr.7.

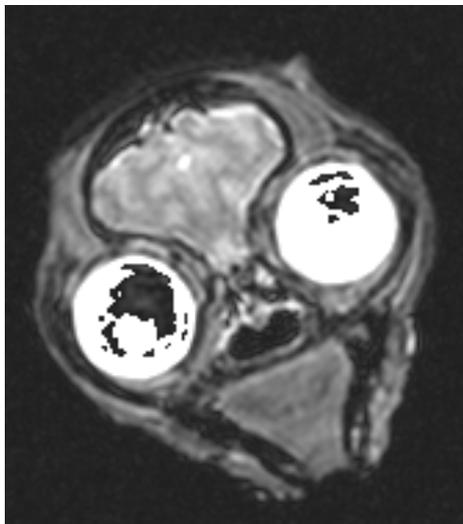


Abbildung 26: MRT-Darstellung der Augen, Axialschnitt.  $T_2$  ci3d, TR= 11.22, TE= 5.61, SL= 1; Katze Nr.8.

Im Gehirn und in den Augen zeigen sich deutlich Artefakte in Form von Hohraumbildung.

Im Eis werden die Wasser-Moleküle über Wasserstoff-Brücken zusammengehalten, wobei jedes Sauerstoff-Atom in tetraedrischer Anordnung von vier Wasserstoff-

Atomen umgeben ist. Diese Anordnung führt im Eiskristall zu relativ großen Hohlräumen und einer relativ geringen Dichte (MORTIMER, 1996). Durch diese Ausdehnung der Flüssigkeiten entstehen Läsionen im wasserreichen Gewebe wie dem Augapfel, welche nach dem Auftauen bestehen bleiben und im MRT-Bild zu sehen sind. Diese Versuche machten deutlich, dass das Untersuchungsgut für diese Dissertation im frischen Zustand magnetresonanztomographisch untersucht werden muss.

### 3.2.2 Magnetresonanztomographie

Für die MRT wurden verschiedene Geräte benutzt. Die beiden ersten Köpfe wurden am Vet-MR Grande®, einem 0,25 Tesla Tomographen von Esaote® durchgeführt. Dabei handelte es sich um ein offenes System. Für die Aufnahmen wurde eine Handgelenksspule aus der Humanmedizin verwendet. Die restlichen Untersuchungen wurden an geschlossenen Systemen, dem Siemens Symphonie 1,5 T und dem Philips Intera Achieva 3,0 T durchgeführt. Dabei wurden Knie-, Schulter- oder Kopfspulen verwendet.

Die MRT-Aufnahmen wurden nach unten stehendem Plan durchgeführt. Sie wurden in der geplanten anatomischen Schnittrichtung und zusätzlich immer noch in mindestens einer weiteren Ebene zur besseren Beurteilung der Strukturen angefertigt:

Tabelle 4: Plan für die MRT-Aufnahmen.

Ident. Nr. der Katze	geplante anatomische Schnittebene	Datum der MRT	MRT in Tesla	Schnittebenen im MRT
1	sagittal	28.04.07	0,25	sagittal, transversal
2	dorsal	27.05.07	0,25	dorsal, sagittal
3	transversal	23.10.07	1,5	transversal, sagittal
4	sagittal	25.10.07	1,5	sagittal, transversal
5	sagittal	22.11.07	1,5	sagittal, dorsal

6	transversal	28.11.07	1,5	transversal, sagittal
7	transversal	28.11.07	1,5	transversal, sagittal
8	transversal	28.11.07	1,5	transversal, sagittal, dorsal
9	transversal	20.01.08	1,5	transversal, dorsal
10	transversal	05.03.08	1,5	transversal, sagittal
11	transversal	08.04.08	1,5	transversal, sagittal, dorsal
12	sagittal	09.04.08	1,5	sagittal, transversal, dorsal
13	sagittal	15.04.08	3,0	sagittal, transversal
14	transversal	15.04.08	3,0	transversal, dorsal

### 3.2.2.1 Lagerung des Kopfes

Der Kopf wurde stets auf der ventralen Seite liegend untersucht.

### 3.2.2.2 Einstellungen am MRT

Initial erlaubten „Scouts“, auch „Localizer“ genannt, die Orientierung und eine eventuellen Neupositionierung des Kopfes. Auf diesen Localizern wurde dann die genaue Schnittführung geplant.

Es wurden an jeder Katze verschiedene Einstellungen am MRT verwendet, um jeweils die bestmögliche Darstellung der Kerngebiete im Gehirn zu erreichen. Die Schichtdicke variierte zwischen 1 mm und 3 mm, wobei die einzelnen Bilder bei 3 mm Schichtdicke deutlichere Strukturen und damit bessere Ergebnisse als die Aufnahmen mit geringerer Schichtdicke lieferten.

Folgende Einstellungen wurden für die Untersuchungen verwendet:

Tabelle 5: MRT- Einstellungen für die Untersuchung (Wenn in der Tabelle nichts anderes erwähnt ist, wurde eine Gelenkspule verwendet).

Ktz. Nr.:	Unter-suchung von....	Tesla	Schnitt-ebene	Wich-tung	TR	TE	Schicht-dicke in mm	Besonder-heiten
1	Gehirn	0,25	transversal	T <sub>2</sub>	4860	80	3,5	
1	Gehirn	0,25	transversal	T <sub>1</sub>	740	18	3,5	
1	Nase	0,25	transversal	T <sub>2</sub>	3170	80	3	
1	Nase	0,25	transversal	T <sub>1</sub>	714	18	3	
1	Gehirn +Nase	0,25	sagittal	T <sub>1</sub>	740	18	3	
1	Gehirn +Nase	0,25	sagittal	T <sub>2</sub>	4440	80	3	
2	Gehirn +Nase	0,25	dorsal	T <sub>2</sub>	4500	80	3	
2	Gehirn +Nase	0,25	dorsal	T <sub>1</sub>	740	18	3	
2	Gehirn +Nase	0,25	dorsal	T <sub>1</sub>	300	24	1,9	3D
3	Gehirn	1,5	transversal	T <sub>2</sub>	4870	114	2	
3	Gehirn +Nase	1,5	sagittal	T <sub>2</sub>	4000	114	2	
3	Gehirn	1,5	transversal	T <sub>1</sub>	562	16	3	
4	Gehirn	1,5	transversal	T <sub>2</sub>	4870	114	2	
4	Gehirn +Nase	1,5	sagittal	T <sub>2</sub>	4000	114	2	
4	Gehirn +Nase	1,5	sagittal	T <sub>1</sub>	300	16	3	
5	Gehirn +Nase	1,5	sagittal	T <sub>2</sub>	4000	114	2	
5	Gehirn +Nase	1,5	dorsal	T <sub>2</sub>	4000	114	2	
5	Gehirn +Nase	1,5	dorsal	T <sub>1</sub>	686	16	2	
5	Gehirn +Nase	1,5	dorsal	T <sub>2</sub>	5150	109	1	
6	Gehirn +Nase	1,5	sagittal	T <sub>1</sub>	1300	20	1,29	gefroren
6	Gehirn	1,5	transversal	T <sub>2</sub>	11.22	5.61	1	gefroren CISS

7	Gehirn	1,5	transversal	T <sub>2</sub>	11.22	5.61	1	aufgetaut, CISS
7	Gehirn +Nase	1,5	sagittal	T <sub>2</sub>	5720	109	1	aufgetaut
8	Gehirn +Nase	1,5	transversal	T <sub>2</sub>	6580	109	1	aufgetaut
8	Gehirn +Nase	1,5	transversal	T <sub>1</sub>	1090	15	1,29	aufgetaut
8	Gehirn	1,5	sagittal	T <sub>2</sub>	7150	109	1	aufgetaut
8	Gehirn	1,5	dorsal	T <sub>2</sub>	1	109	1	aufgetaut
8	Gehirn	1,5	transversal	T <sub>2</sub>	11.22	5.61	1	aufgetaut CISS
9	Gehirn +Nase	1,5	dorsal	T <sub>2</sub>	5720	109	1	
9	Gehirn	1,5	transversal	T <sub>2</sub>	11.38	5.69	1	CISS
9	Gehirn	1,5	transversal	T <sub>1</sub>	887	16	3	
9	Gehirn	1,5	transversal	T <sub>2</sub>	5380	114	2	
10	Gehirn	1,5	transversal	T <sub>2</sub>	5130	114	2	Kopfspule
10	Gehirn+ Nase	1,5	sagittal	T <sub>1</sub>	388	16	2,5	Kopfspule
10	Gehirn	1,5	transversal	T <sub>1</sub>	448	16	2,5	Kopfspule
10	Gehirn	1,5	transversal	T <sub>2</sub>	3000	114	3	Kopfspule
11	Gehirn +Nase	1,5	sagittal	T <sub>2</sub>	4000	114	2	
11	Gehirn	1,5	transversal	T <sub>1</sub>	1020	16	2	
11	Gehirn +Nase	1,5	sagittal	T <sub>2</sub>	5.08	2.54	2,5	True fast imaging with steady Precession (trufi)
11	Gehirn	1,5	transversal	T <sub>2</sub>	5720	109	1,5	
11	Gehirn +Nase	1,5	sagittal	T <sub>1</sub>	686	16	2	
11	Gehirn	1,5	transversal	T <sub>2</sub>	5.58	2.79	2,5	trufi
11	Gehirn	1,5	transversal	T <sub>1</sub>	739	16	3	
11	Gehirn	1,5	transversal	T <sub>2</sub>	8000	118	3	
11	Gehirn	1,5	transversal	T <sub>1</sub>	588	14	3	
11	Gehirn + Nase	1,5	dorsal	T <sub>1</sub>	627	16	2	
11	Gehirn	1,5	transversal	T <sub>2</sub>	1210	13	2	

11	Gehirn	1,5	transversal	T <sub>2</sub>	4030	75	3	
11	Gehirn +Nase	1,5	sagittal	T <sub>2</sub>	8000	117	2	
11	Nase	1,5	transversal	T <sub>1</sub>	686	16	2	
11	Gehirn +Nase	1,5	sagittal	T <sub>2</sub>	4000	114	2	
12	Gehirn	1,5	transversal	T <sub>2</sub>	3490	119	2	
12	Gehirn	1,5	transversal	T <sub>1</sub>	212	14	3	
12	Gehirn	1,5	transversal	T <sub>2</sub>	3000	119	3	
12	Gehirn +Nase	1,5	dorsal	T <sub>2</sub>	3000	119	3	
12	Gehirn +Nase	1,5	dorsal	T <sub>1</sub>	212	14	3	
12	Gehirn +Nase	1,5	sagittal	T <sub>2</sub>	3000	119	3	
12	Gehirn +Nase	1,5	sagittal	T <sub>1</sub>	212	14	3	
13	Gehirn	3	transversal	T <sub>1</sub>	285	2,30	3	Kopfspule
13	Gehirn	3	transversal	T <sub>1</sub>	285	2,30	3	
13	Gehirn	3	transversal	T <sub>1</sub>	470	4,6	2	
13	Gehirn	3	transversal	T <sub>1</sub>	886	10	2	
13	Gehirn	3	transversal	T <sub>1</sub>	788	10	2	
13	Gehirn	3	transversal	T <sub>1</sub>	873	15	2	IR-Sequenz
13	Gehirn	3	transversal	T <sub>2</sub>	15000	90	2	
13	Gehirn	3	transversal	T <sub>2</sub>	3000	80	3	
13	Gehirn	3	transversal	T <sub>1</sub>	788	10	2	
13	Gehirn +Nase	3	sagittal	T <sub>1</sub>	788	10	2	
13	Gehirn +Nase	3	sagittal	T <sub>2</sub>	3000	80	2	
14	Gehirn	3	transversal	T <sub>1</sub>	606	10	2	
14	Nase	3	transversal	T <sub>1</sub>	606	10	2	
14	Nase +Gehirn	3	dorsal	T <sub>1</sub>	606	10	2	
14	Gehirn	3	transversal	T <sub>2</sub>	2999	80	3	
14	Gehirn	3	dorsal	T <sub>1</sub>	606	10	2	
14	Gehirn	3	dorsal	T <sub>2</sub>	3000	80	2	

### 3.2.3 Anatomische Gefrierschnitttechnik

Nach der MRT wurden die Köpfe wegen der Gefrierbrandgefahr befeuchtet und bis zur weiteren Verarbeitung bei  $-20^{\circ}\text{C}$  in einer handelsüblichen Gefriertruhe eingefroren.

Bei Gefrierbrand handelt es sich um die ausgetrocknete Randschicht eines tiefgefrorenen Lebensmittels, welche sich meist weiß bis grau-braun verfärbt. Er bildet sich vor allem an Stellen, welche durch undichte Verpackung Frischluft ausgesetzt sind. Hauptursache sind Temperaturschwankungen in der Tiefkühlkette. Bei konstanter Temperatur bildet sich bei eingepacktem Gefriergut ein Gleichgewicht, bei dem genau so viele Wassermoleküle von der Oberfläche in die Atmosphäre gehen wie umgekehrt. Bei steigender Temperatur treten mehr Wassermoleküle in die Umgebung als von der Atmosphäre auf die Oberfläche. Sinkt die Temperatur, verliert die Luft die Fähigkeit, Wassermoleküle zu binden und Wasser kondensiert an der Innenseite der Verpackung, da diese kälter ist, als die Produktoberfläche. Verhindern kann man Gefrierbrand durch eine eng anliegende und wasserdampfdichte Verpackung durch Vermeidung von Temperaturschwankungen durch das Glasieren der Produkte mit Wasser, wodurch sich eine schützende Eisschicht bildet (BERNHARDT, 2008).

#### 3.2.3.1 Rezept der Einbettmasse

Für die Anfertigung der Schnittbilder mussten die Köpfe in eine homogene, undurchsichtige Masse komplett eingebettet werden. Diese wurde nach folgendem Rezept hergestellt (Schuller, 2003):

5 Liter kaltes Leitungswasser mit 500 g Speisegelier-Pulver (feinste Speisegelatine Aspik „PIK-AS“®, Max Linnmann, Düsseldorf) langsam verrühren. Dabei Schaumbildung vermeiden. Dieses Gemisch wird langsam erhitzt (nicht gekocht) bis es flüssig und klar erscheint. Dann gibt man langsam 125 g Tapetenkleister (Methylan normal®, Henkel KGaA, Düsseldorf) dazu und rührt dieses unter Warmhaltung nochmals 60 Minuten. Das Rühren verhindert ein Absetzen des Kleisters (Abbildung 27).



Abbildung 27: Gelatinepulver und Tapetenkleister.



Abbildung 28: Messzylinder und verwendete Farben für die Einbettmasse.

Währenddessen mischt man 400 ml weißen Kunstharzdispersionsanstrich (Dispersionsfarbe) (Alpina Aktiv-Weiss, Alpina Farben GmbH, Ober-Ramstadt) und 100 ml schwarze, matte Abtönfarbe (Voll- und Abtönfarbe, OBI CLASSIC®, OBI GmbH&Co, Wermelskirchen) gründlich zusammen und verteilt dieses dann in der Gelatinemischung (Abbildung 28, Abbildung 29).



Abbildung 29: Einbettmasse.

Die Masse muss möglichst schnell eingefroren werden, da sich sonst das Farbgemisch wieder absetzt. Das Farbgemisch gewährleistet, dass beim späteren Schneiden des eingefrorenen Blocks nur der gewünschte Anschnitt zu sehen ist und nicht die

dahinter liegenden Kopfanteile. Der Kleister bindet überschüssiges Wasser und verhindert somit eine Kristallbildung, so dass eine homogene graue Hintergrundfläche zum Abfotografieren entsteht. Durch das große Volumen und die relativ gute Kältespeicherkapazität der Einbettmasse ist gewährleistet, dass die Köpfe während des Sägevorgangs ausreichend kühl gehalten werden (ZENGERLING, 2004).

### 3.2.3.2 Einbettung

Zunächst wurden ca. 2 cm dicke „Sockel“ gegossen, um zu gewährleisten, dass die Präparate auch unterhalb von der Masse bedeckt ist und nicht auf dem Boden der Styropor-Box zum Liegen kommt. Darauf wird der Katzenkopf abhängig von der beabsichtigten Schnitfführung ausgerichtet. Es muss auf eine exakte Lagerung geachtet werden, damit die Schnittebenen im MRT und im anatomischen Schnittbild übereinstimmen. Anschließend werden die Boxen in zwei bis drei Schritten mit der Einbettmasse so weit aufgefüllt, bis die Köpfe unter der Masse verschwunden sind. Das schrittweise Auffüllen verhindert eine Verformung oder gar Sprengung der Boxen durch die Änderung des Aggregatzustandes.



Abbildung 30: Eingebettete Katzenköpfe für die axiale (oben im Bild) und sagittale (unten im Bild) Schnittebene.



Abbildung 31: Fast vollständig eingebettete Köpfe.

### 3.2.3.3 Anfertigung der Schnitte

Die gefüllten Styroporboxen werden bis zum Schneiden in einer handelsüblichen Gefriertruhe bei  $-20^{\circ}\text{C}$  gelagert. Unmittelbar vor dem Schneiden werden sie für zwei Tage bei  $-70^{\circ}\text{C}$  tiefgefroren.

Das Kryoschnittverfahren, welches für diese Dissertation angewandt wird, wurde am Lehrstuhl für Tieranatomie I entwickelt und ist in mehreren Dissertationen beschrieben (SCHULLER, 2003; ZENGERLING, 2004).

Von den gefrorenen Gelatineblöcken mit den eingebetteten Köpfen werden mit dem Kryomakrotom, einer modifizierten Kreissäge (FA. Scheppach KE 70, Ichenhausen), jeweils in der gewünschten Schnittrichtung, die mit der MRT-Aufnahme korreliert, 1 mm dicke Scheiben abgefräst. Um die frische Anschnittsfläche zu säubern, wird sie mit 80%igem Ethanol benetzt, welches auf  $-20^{\circ}\text{C}$  gekühlt ist, wodurch auch die Farben frischer und lebensechter wirken. Nach jedem Schnitt wird ein Bild des frischen, gesäuberten Anschnitts mit einer Digitalkamera (Fuji Film-Digitalkamera „Fine Pix S1 Pro“, Tokyo, Japan) aufgenommen und auf einen Laptop übertragen. Um Artefakte in Form von Glanzlichtern beim Abfotografieren zu vermeiden, werden die Aufnahmen mit Ringpolarisationsfiltern (Helipan-Lichtfilter-Technik, Summer GmbH & Co KG, Gräfelfing, Deutschland) in Kombination mit Polarisationsfolien

---

(Hama, Mohnheim, Deutschland) gemacht (ZENGERLING, 2004). Als Lichtquelle dienen zwei Blitzgeräte (54 MZ-3, Metz-Werke GmbH Co, Zirndorf, Deutschland), die mit der Kamera synchron gekoppelt sind. Vorteilhaft ist die geringe Wärmeentwicklung dieser Beleuchtung im Vergleich zu Halogenstrahlern (BÖTTCHER und MAIERL, 1999). Der hohe Stromverbrauch wird durch ein Netzgerät (Labornetzgerät PS-2403-D) gedeckt. Die optimale Kameraeinstellung wird während der ersten Schnitte ausprobiert und durch einen Klebebandstreifen am Objektiv konstant gehalten.

Die Kamera wird vom Laptop aus bedient. Dadurch ist eine direkte Beurteilung der Aufnahmen am Bildschirm möglich. Dies ist sehr wichtig, da eine spätere Wiederholung der Aufnahmen durch das Abfräßen nicht möglich ist. Die Bilder werden im TIFF-Format lokal auf der Festplatte gespeichert.

Mit Hilfe eines Bildbearbeitungsprogramms (Adobe® Photoshop®9.0) wird der Hintergrund bearbeitet und Nummerierungen eingefügt.

## 4 Ergebnisse

Für die Identifikation der anatomischen Strukturen in den einzelnen Schnitten wurden zusätzlich zu den Stellen in der Literaturübersicht weitere Quellen verwendet (BEITZ und FLETCHER, 1993; BÖHME, 1994; BUDRAS et al., 2007; EVANS, 1993a; b; c; FREWEIN, 1994a; b; c; HABERMEHL, 1994; HERMANSON und EVANS, 1993; HOGG, 1999; KING, 1999; KÖNIG, 1992; 1994; MURPHY und POLLOCK, 1993; SALOMON et al., 2008; VOLLMERHAUS et al., 1994a; VOLLMERHAUS et al., 1996; VOLLMERHAUS et al., 1994b; WILD, 1994).

### 4.1 Einstellungen am MRT zur Darstellung der neuronalen Strukturen sowie der Nase und der Sinus paranasales

Von den verschiedenen Einstellungen und Schichtdicken erwiesen sich zur Darstellung des Gehirns folgende als am besten (siehe auch Tabelle 6):

Beim 0,25 Tesla starkem Vet-MR Grande®, dem Tomographen von Esaote®, erbrachte bei der transversalen Darstellung des Gehirns und einer Schichtdicke von 3,5 mm in der T<sub>1</sub>-Wichtung eine Time of repetition (TR) von 740 ms und eine Time to echo (TE) von 18 ms ein gutes Ergebnis, in der T<sub>2</sub>-Wichtung eine TR von 4860 ms und eine TE von 80 ms. Bei der sagittalen Darstellung wurde bei einer Schichtdicke von 3 mm und gleicher TR und TE wie bei den transversalen T<sub>1</sub>- Schnitten ein gutes Ergebnis für die T<sub>1</sub>-Wichtung erzielt. In der T<sub>2</sub>- Wichtung überzeugte eine TR von 4440 ms und eine TE von 80 ms.

Beim Gerät Siemens Symphonie® mit einer Feldstärke von 1,5 Tesla konnten die meisten Details in Bezug auf die Kerngebiete bei einer TR von 1020 ms, einer TE von 16 ms und einer Schichtdicke von 2 mm für die T<sub>1</sub>- Wichtung gefunden werden, in der T<sub>2</sub>- Wichtung bei einer TR von 3490 ms und einer TE von 119 ms. Eine Erhöhung der Schichtdicke auf 3 mm für die transversalen und dorsalen Schnitte konnte bei einer TR von 3000 ms und einer TE von 119 ms die Ortsauflösung und das SNR nochmals minimal verbessern.

Beim Philips Intera Achieva®, dem Magnetfeldtomographen mit der Magnetfeldstärke von 3,0 Tesla, wurde die beste Bildqualität folgendermaßen erzielt: die T<sub>1</sub>- gewichteten Bilder mit einer TR von 788 ms bei den transversalen und

sagittalen Schnitte und mit einer TR von 606 ms bei den dorsalen Schnitten und einer TE von 10 ms bei allen Schnittebenen. Die T<sub>2</sub>-Wichtung überzeugte bei einer Schichtdicke von 2 mm bei einer TR von 3000 ms und einer TE von 80 ms.

Tabelle 6: Einstellungen am MRT zur Darstellung des Gehirns.

zur Untersuchung von....	bei...T esla	Schnitt- ebene	Wich- tung	TR	TE	Schicht- dicke
Gehirn	0,25	transversal	T <sub>2</sub>	4860	80	3,5
Gehirn	0,25	transversal	T <sub>1</sub>	740	18	3,5
Gehirn	0,25	sagittal	T <sub>1</sub>	740	18	3
Gehirn	0,25	sagittal	T <sub>2</sub>	4440	80	3
Gehirn	1,5	transversal	T <sub>1</sub>	1020	16	2
Gehirn	1,5	transversal	T <sub>2</sub>	3490	119	2
Gehirn	1,5	transversal	T <sub>2</sub>	3000	119	3
Gehirn	1,5	dorsal	T <sub>2</sub>	3000	119	3
Gehirn	3	transversal	T <sub>1</sub>	788	10	2
Gehirn	3	transversal	T <sub>2</sub>	3000	80	3
Gehirn	3	sagittal	T <sub>1</sub>	788	10	2
Gehirn	3	sagittal	T <sub>2</sub>	3000	80	2
Gehirn	3	dorsal	T <sub>1</sub>	606	10	2
Gehirn	3	dorsal	T <sub>2</sub>	3000	80	2

Von den erfolgten Einstellungen und Schichtdicken eigneten sich zur Darstellung von Nase und Nasennebenhöhlen die nachfolgenden gut (siehe auch Tabelle 7):

Beim 0,25 Tesla starkem Vet-MR Grande® brachte bei den transversalen Schnitten und einer Schichtdicke von 3,0 mm in der T<sub>1</sub>-Wichtung die TR von 714 ms und die TE von 18 ms ein gutes Ergebnis, in der T<sub>2</sub>-Wichtung die TR von 3170 ms und die TE von 80 ms.

Beim Siemens Symphonie® wurden die T<sub>2</sub>-gewichteten MRT-Schnittbilder bei einer Einstellung von 3000 ms für die TR und 119 ms für die TE am deutlichsten.

Beim Philips Intera Achieva wurde eine 2mm Schichtdicke für die Aufnahmen gewählt. In der T<sub>1</sub>-Wichtung war die TR von 788 ms und die TE von 10 ms, in der T<sub>2</sub>-Wichtung die TR von 3000 ms und die TE von 80 ms am besten für die Bildqualität.

Tabelle 7: Einstellungen am MRT zur Darstellung der Nase und der Sinus paranasales.

Nase	0,25	transversal	T <sub>2</sub>	3170	80	3
Nase	0,25	transversal	T <sub>1</sub>	714	18	3
Nase	1,5	dorsal	T <sub>2</sub>	3000	119	3
Nase	3	sagittal	T <sub>1</sub>	788	10	2
Nase	3	sagittal	T <sub>2</sub>	3000	80	2

## 4.2 Gegenüberstellung von anatomischem und magnetresonanztomographischem Schnittbild

### 4.2.1 Transversale Darstellung des Katzenkopfes

#### 4.2.1.1 Querschnitte in Höhe der Nase

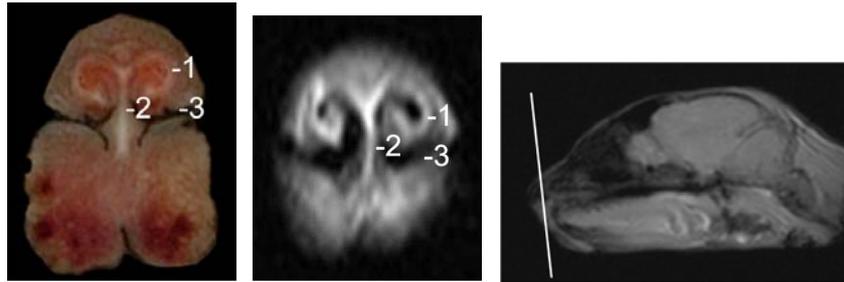


Abbildung 32: Katze 9, Schicht 119, 1,5 Tesla: links: anatomisch; Mitte: T<sub>1</sub>; rechts: Lokalizer: 1 Cartilago nasi lateralis dorsalis; 2 Pars mobilis septum nasi; 3 Naris.

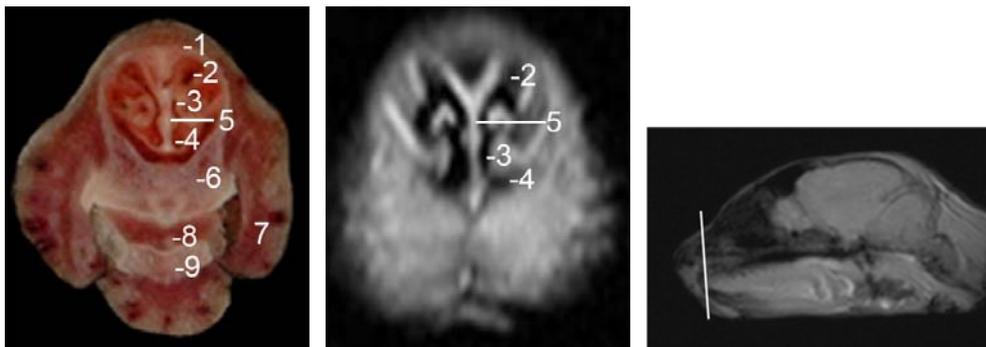


Abbildung 33: Katze 9, Schicht 113, 1,5 Tesla: links: anatomisch; Mitte: T<sub>1</sub>; rechts: Lokalizer: 1 Os nasale; 2 Meatus nasi dorsalis; 3 Meatus nasi communis; 4 Meatus nasi ventralis; 5 Cartilago septi nasi; 6 Os incisivum; 7 Labium superius; 8 Lingua; 9 Mandibula.

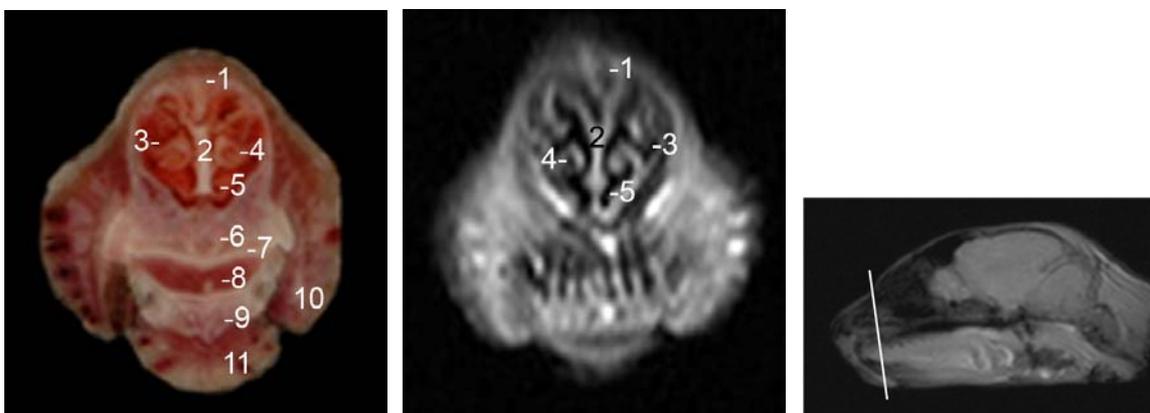


Abbildung 34: Katze 9, Schicht 112, 1,5 Tesla: links: anatomisch; Mitte: T<sub>1</sub>; rechts: Lokalizer: 1 Os nasale; 2 Cartilago septi nasi; 3 Meatus nasi medius; 4 Concha nasalis media mit Spirallamelle, einen Recessus umschließend; 5 Meatus nasi ventralis; 6 Os incisivum; 7 Palatum durum; 8 Lingua; 9 Incisiva; 10 Labium superius; 11 Labium inferius.

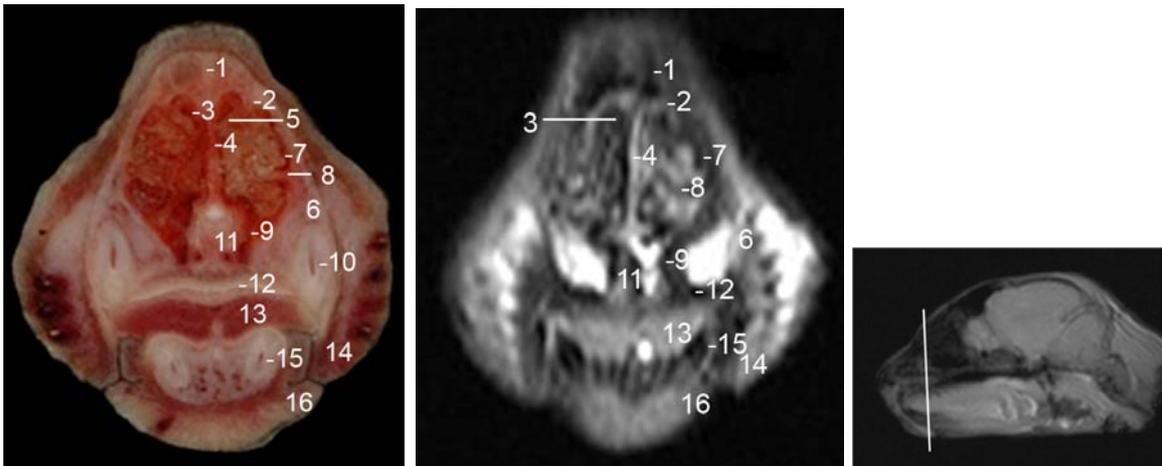


Abbildung 35: Katze 9, Schicht 109, 1,5 Tesla: links: anatomisch; Mitte: T<sub>1</sub>; rechts: Lokalisier: 1 Os nasale; 2 Crista ethmoidalis; 3 Meatus nasi dorsalis; 4 Cartilago septi nasi; 5 Concha nasalis dorsalis; 6 Maxilla; 7 Meatus nasi medius; 8 Concha nasalis media; 9 Meatus nasi ventralis; 10 Caninus des Oberkiefers, 11 Vomer; 12 Palatum durum; 13 Lingua; 14 Labium superius; 15 Caninus des Unterkiefers; 16 Labium inferius.

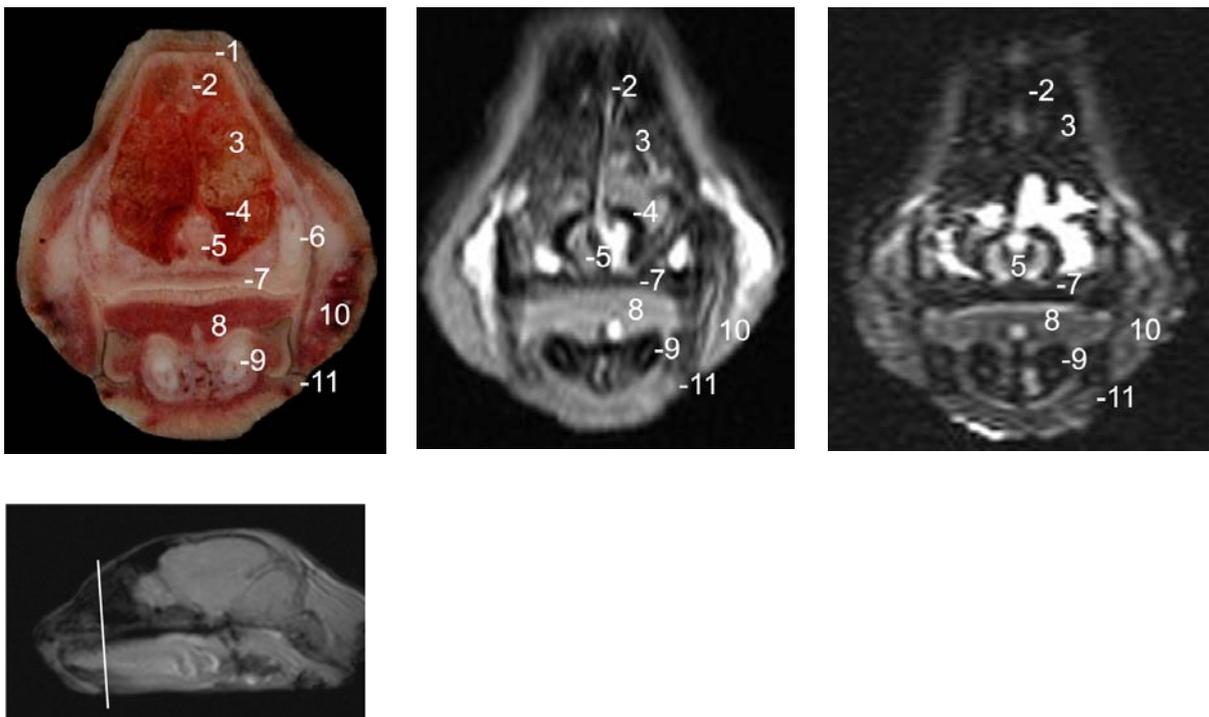


Abbildung 36: Katze 9, Schicht 105, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; Mitte: T<sub>1</sub>; rechts: T<sub>2</sub>; Unten: Lokalisier: 1 Os nasale; 2 Cartilago septi nasi; 3 Basal- und Spirallamellen; 4 Meatus nasi ventralis; 5 Vomer; 6 Dens; 7 Os palatinum und Palatum durum; 8 Corpus linguae; 9 Caninus des Unterkiefers; 10 Labium superius; 11 Labium inferius.

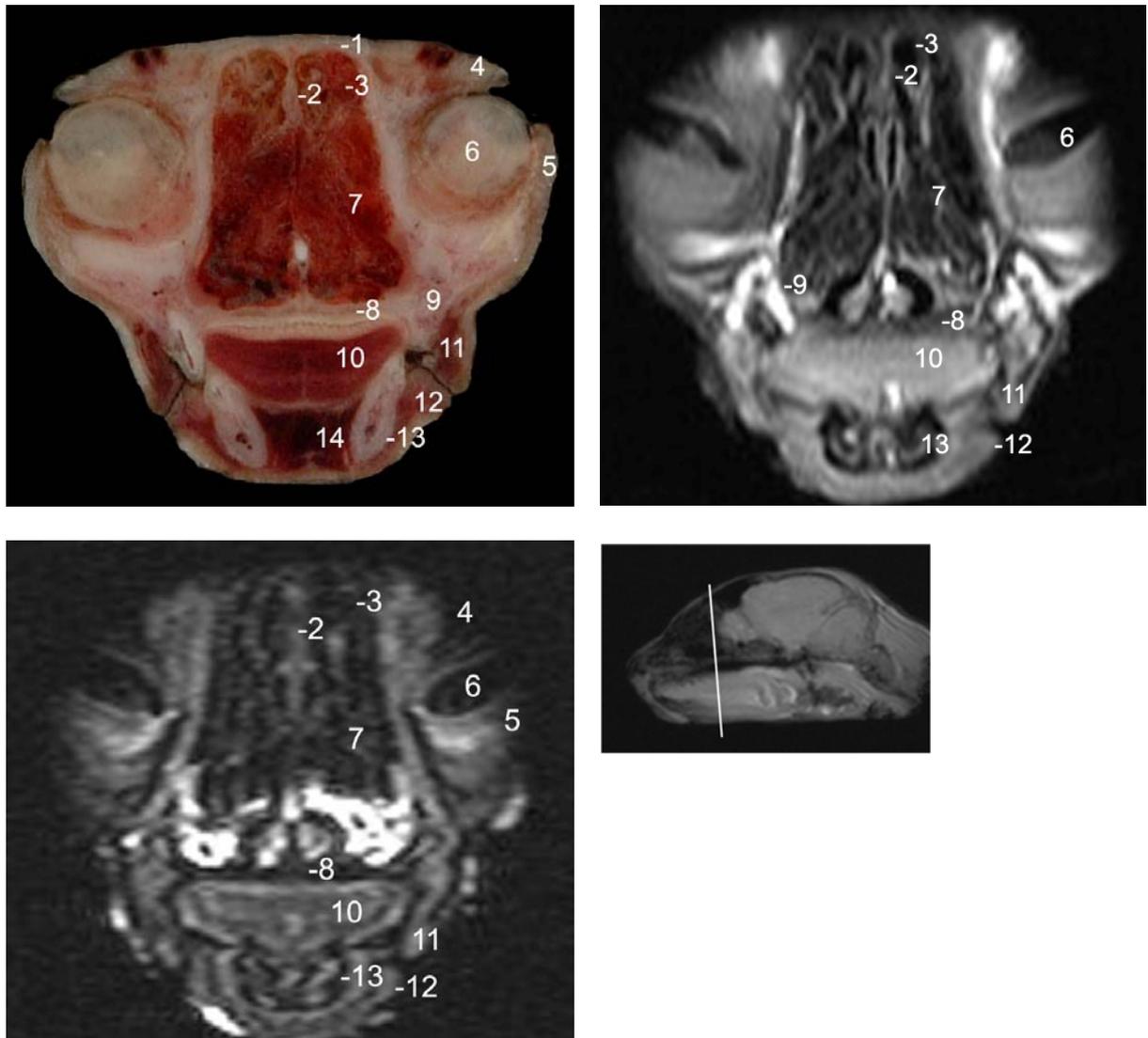


Abbildung 37: Katze 9, Schicht 97, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>1</sub>; Unten: links: T<sub>2</sub>; rechts: Lokalizier: 1 Os nasale; 2 Cartilago septi nasi; 3 Concha nasalis dorsalis; 4 Palpebra superior; 5 Palpebra inferior; 6 Bulbus oculi; 7 Basal- und Spirallamellen; 8 Os palatinum und Palatum durum; 9 Maxilla; 10 Corpus linguae; 11 Labium superius; 12 Labium inferius; 13 Mandibula; 14 M. geniohyoideus.

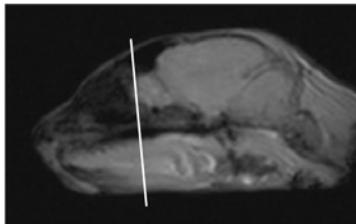
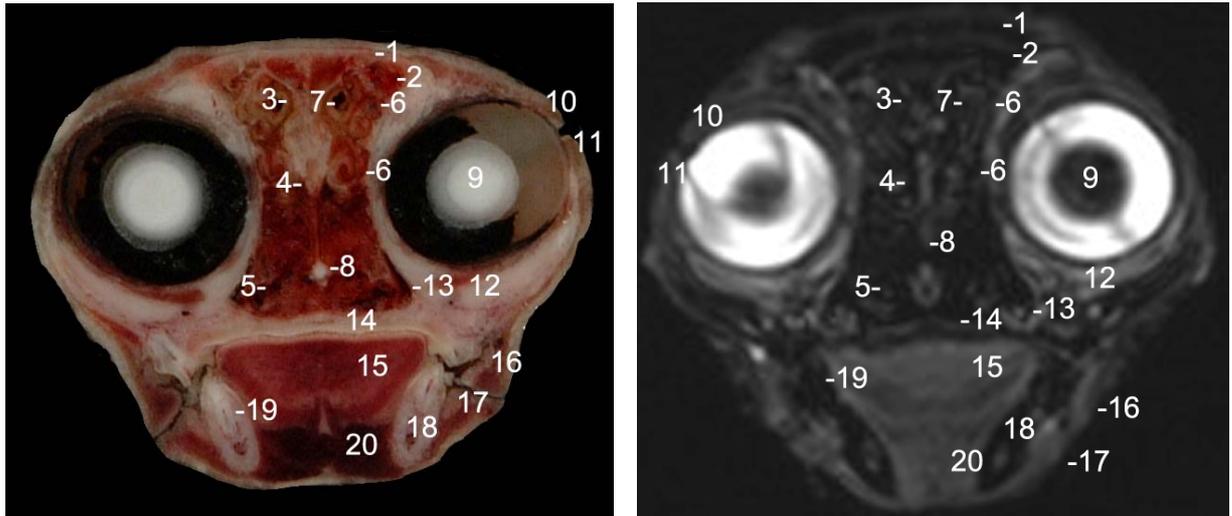


Abbildung 38, Katze 9, Schicht 91, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; rechts: CISS; unten: Lokalizer: 1 Os frontale; 2 Sinus frontalis; 3 Meatus nasi dorsalis; 4 Meatus nasi communis; 5 Meatus nasi ventralis; 6 Ectoturbinalia; 7 Endoturbinale I (Concha nasalis dors.); 8 Septum nasi; 9 Lens, 10 Palpebra superior; 11 Palpebra inferior; 12 Corpus adiposum extraperiorbitale; 13 Recessus maxillaris; 14 Os palatinum und Palatum durum; 15 Corpus linguae; 16 Labium superius; 17 Labium inferius; 18 Mandibula; 19 Dens; 20 M.geniohyoideus.

## 4.2.1.2 Querschnitte in Höhe des Rhinencephalon

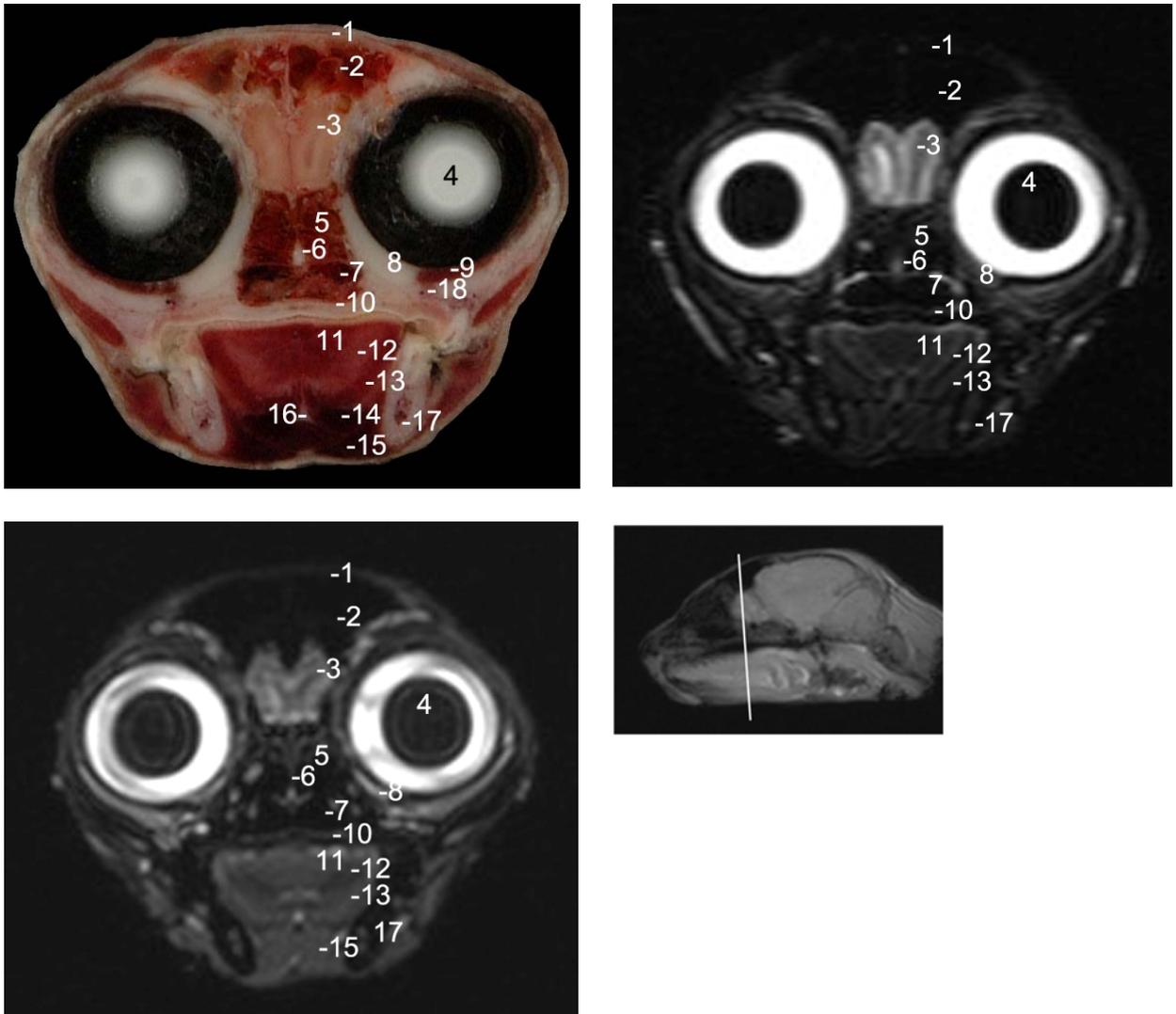


Abbildung 39: Katze 9, Schicht 88, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>2</sub>; unten: links: CISS; rechts: Lokalizier: 1 Os frontale; 2 Sinus frontalis; 3 Tractus olfactorius rhinencephali; 4 Lens; 5 Labyrinthus ethmoidalis; 6 Septum nasi; 7 Meatus nasopharyngeus; 8 Corpus adiposum extraperiorbitale; 9 M. obliquus ventralis; 10 Os palatinum und Palatum durum; 11 M. lingualis proprius; 12 M. hyoglossus; 13 M. styloglossus; 14 M. geniohyoideus; 15 M. digastricus; 16 Septum linguae; 17 Mandibula; 18 A. et N. infraorbitalis.

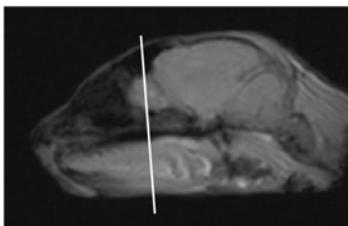
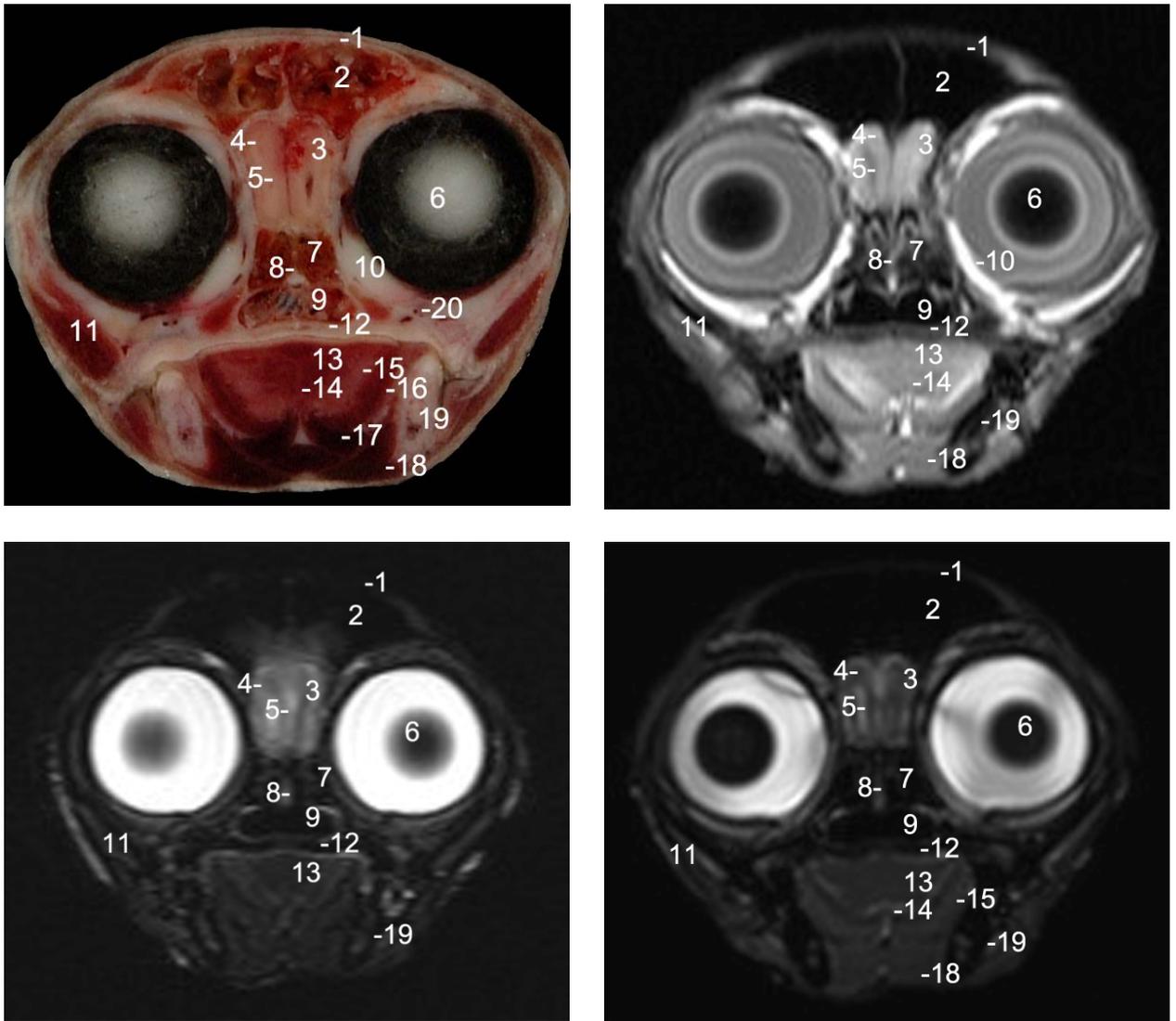


Abbildung 40: Katze 9, Schicht 85, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>1</sub>, Mitte: links: T<sub>2</sub>; rechts CISS; Unten: Lokalizator: 1 Os frontale; 2 Sinus frontalis; 3 Bulbus olfactorius; 4 Substantia grisea telencephali; 5 Substantia alba telencephali; 6 Lens; 7 Labyrinthus ethmoidalis; 8 Septum nasi; 9 Meatus nasopharyngeus; 10 Corpus adiposum extra-orbitale; 11 M. masseter; 12 Os palatinum und Palatum durum; 13 M. lingualis proprius; 14 Septum linguae; 15 M. hyoglossus; 16 M. styloglossus; 17 M. geniohyoideus; 18 M. digastricus; 19 Mandibula; 20 A. et N. infraorbitalis.

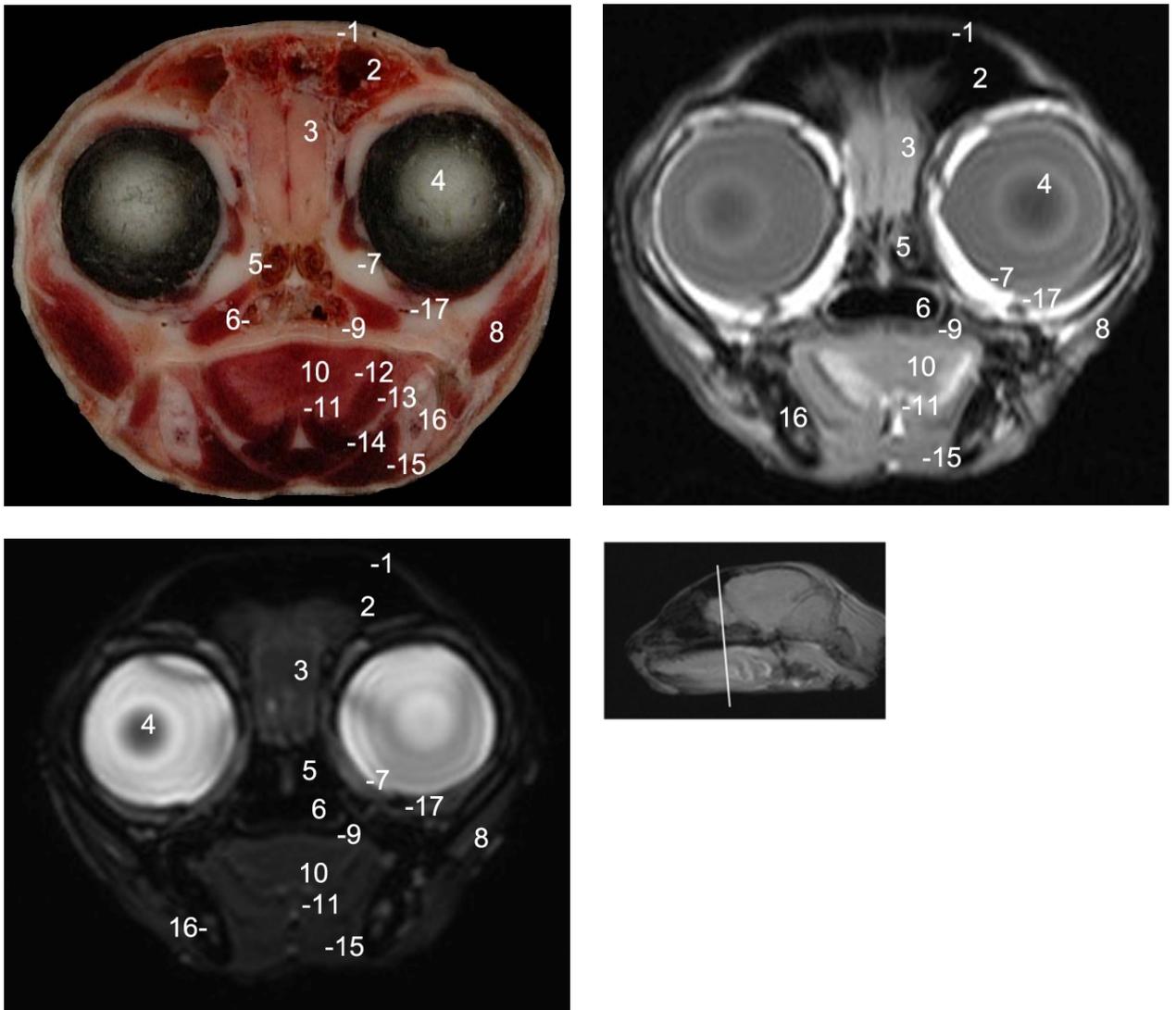


Abbildung 41: Katze 9, Schicht 83, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>1</sub>; Unten: links: CISS; rechts: Lokalizier: 1 Os frontale; 2 Sinus frontalis; 3 Bulbus olfactorius; 4 Lens; 5 Labyrinthus ethmoidalis; 6 Meatus nasopharyngeus; 7 Corpus adiposum extraperiorbitale; 8 M. masseter; 9 Os palatinum und Palatum durum; 10 M. lingualis proprius; 11 Septum linguae; 12 M. hyoglossus; 13 M. styloglossus; 14 M. geniohyoideus; 15 M. digastricus; 16 Mandibula; 17 A. et N. infraorbitalis.

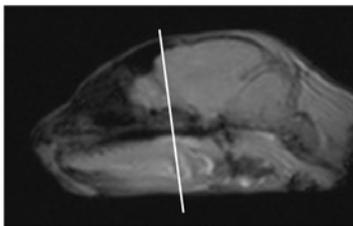
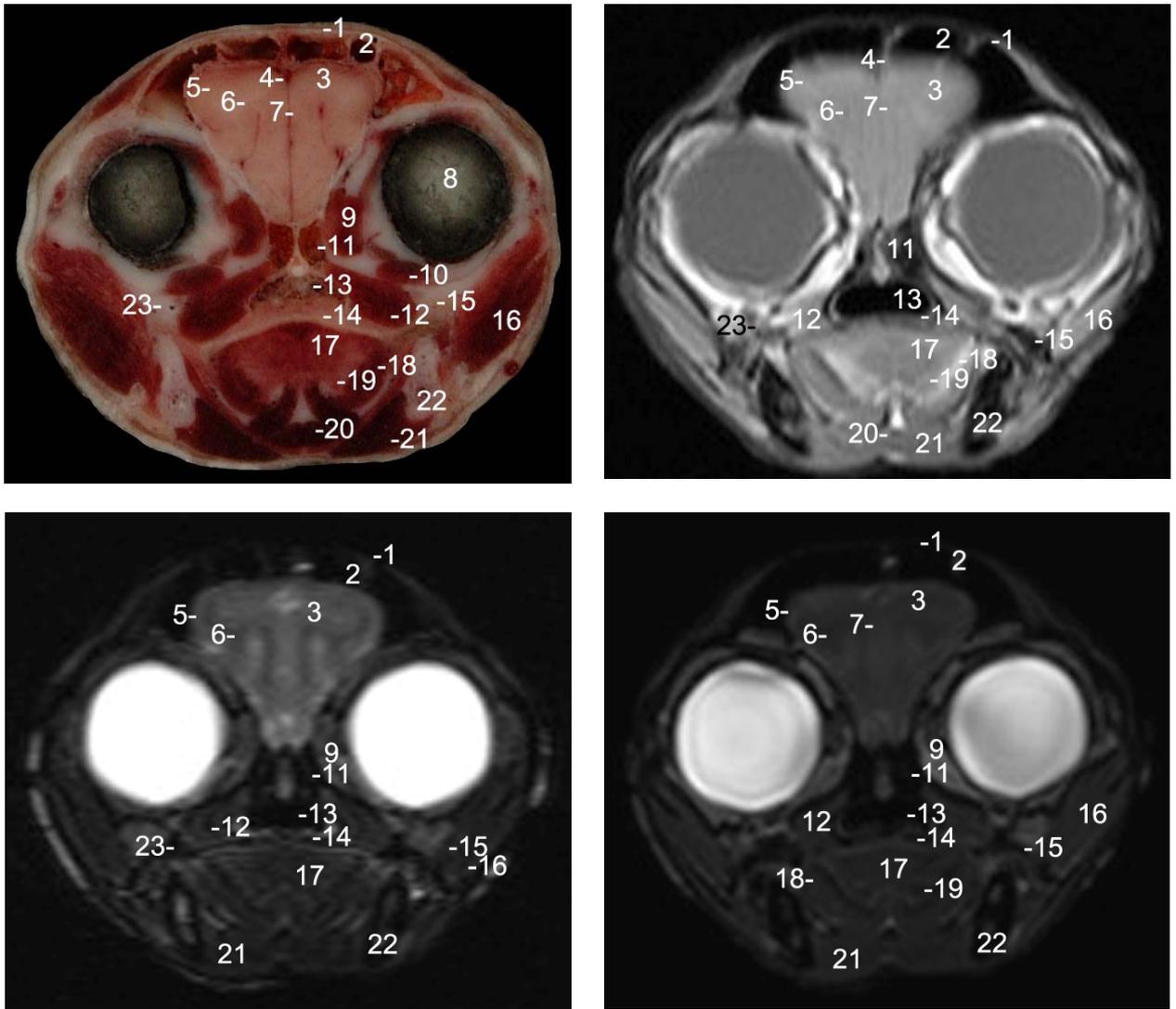


Abbildung 42: Katze 9, Schicht 80, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>1</sub>, Mitte: links: T<sub>2</sub>; rechts CISS; Unten: Lokalizer: 1 Os frontale; 2 Sinus frontalis; 3 Telencephalon (Polus rostralis hemispherii); 4 Sinus sagittalis dorsalis; 5 Substantia grisea / Cortex cerebri; 6 Substantia alba / Corpus medullare cerebri; 7 Fissura longitudinalis cerebri/ Falx cerebri; 8 Lens; 9 M. rectus medialis; 10 M. rectus ventralis; 11 Os praesphenoidale; 12 M. pterygoideus medialis; 13 Meatus nasopharyngeus; 14 Os palatinum und Palatum durum; 15 Maxilla; 16 M. masseter; 17 M. lingualis proprius; 18 M. styloglossus; 19 M. hyoglossus; 20 M. geniohyoideus; 21 M. digastricus; 22 Mandibula; 23 A. et N. infraorbitalis.

## 4.2.1.3 Querschnitte in Höhe des Telencephalon

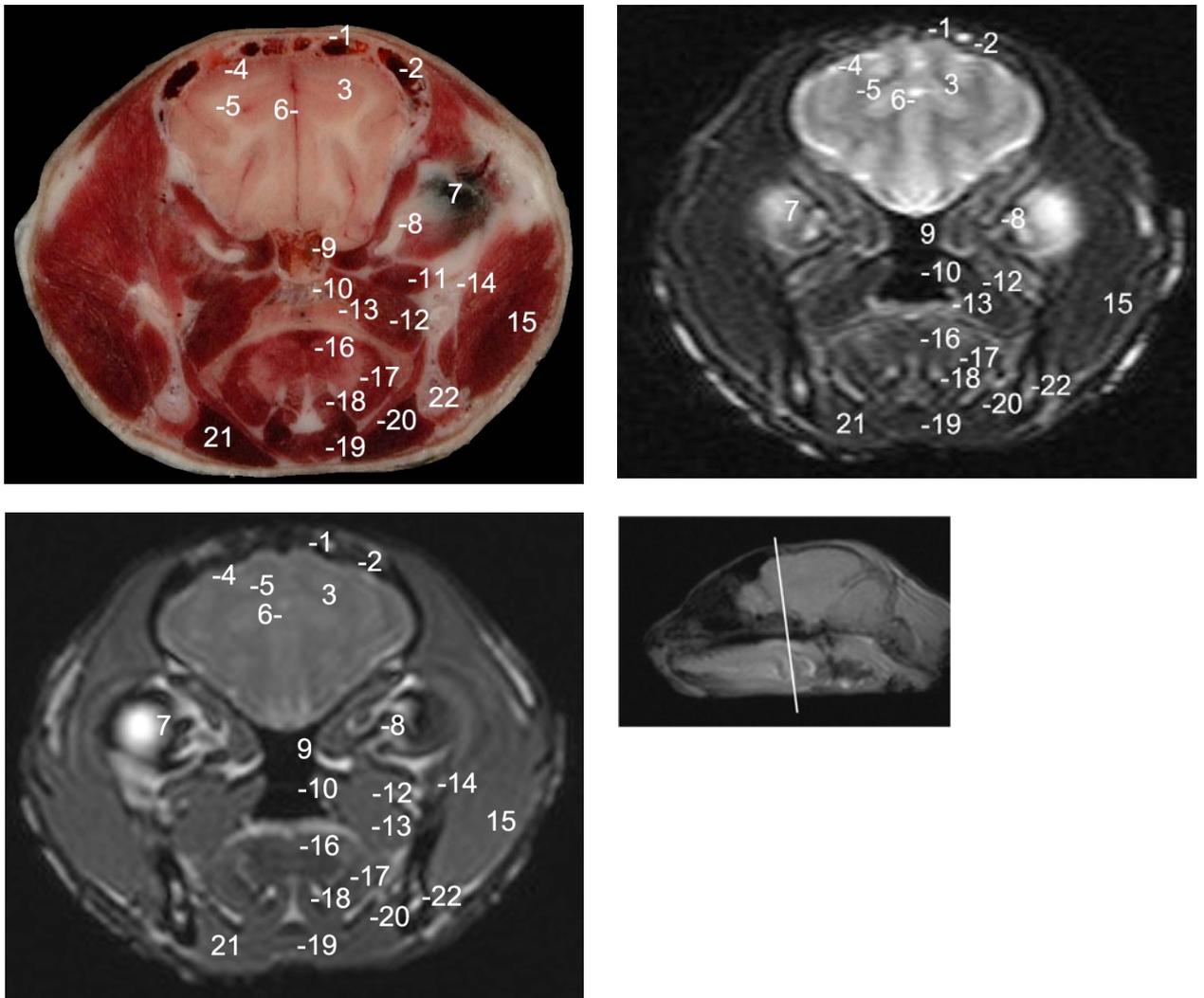


Abbildung 43: Katze 9, Schicht 77, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>1</sub>; Unten: links: CISS; rechts: Lokalizier: 1 Os frontale; 2 Sinus frontalis; 3 Telencephalon, Hemispherium cerebri; 4 Substantia grisea / Cortex cerebri; 5 Substantia alba / Corpus medullare cerebri; 6 Fissura longitudinalis cerebri / Falx cerebri; 7 Bulbus oculi; 8 N. opticus; 9 Os praesphenoidale mit durch Septum getrennten Sinus sphenoidales; 10 Meatus nasopharyngeus; 11 M. pterygoideus lateralis; 12 M. pterygoideus medialis; 13 Os palatinum und Palatum durum; 14 Maxilla; 15 M. masseter; 16 M. lingualis proprius; 17 M. hyoglossus; 18 M. genioglossus; 19 M. geniohyoideus; 20 M. mylohyoideus; 21 M. digastricus; 22 Mandibula.

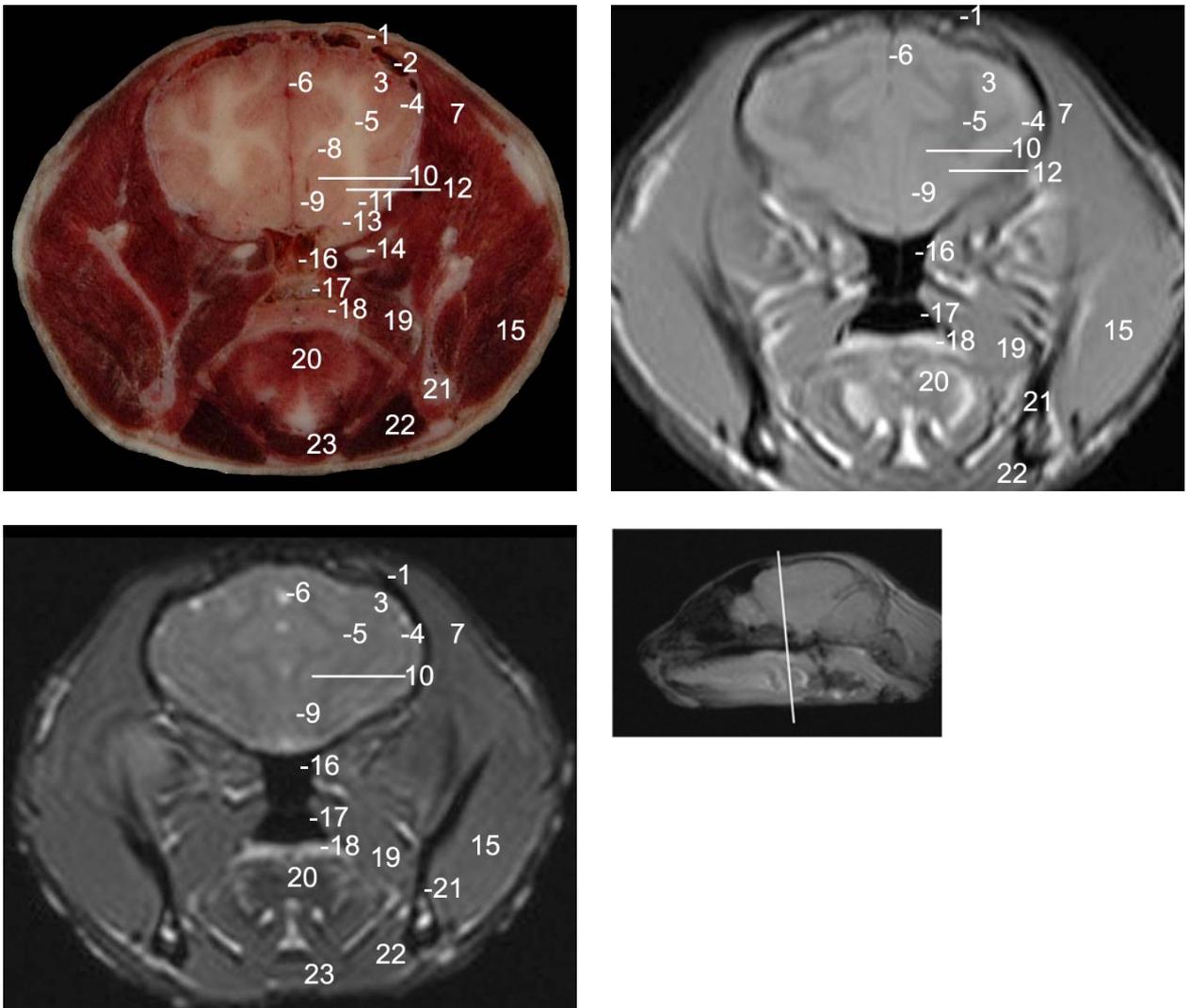


Abbildung 44: Katze 9, Schicht 73, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>1</sub>; Unten: links: CISS; rechts: Lokalizier: 1 Os frontale; 2 Sinus frontalis; 3 Telencephalon; Lobus frontalis; Hemispherium cerebri; 4 Substantia grisea / Cortex cerebri; 5 Substantia alba / Corpus medullare cerebri; 6 Fissura longitudinalis cerebri / Falx cerebri; 7 M. temporalis; 8 Vorderhorn des Ventriculus lateralis; 9 Pars septalis rhinencephali mit Nuclei septi; 10 Nucleus caudatus; 11 Capsula externa; 12 Putamen; 13 Tuberculum olfactorium; 14 N.opticus; 15 M. masseter, 16 Sinus sphenoidalis, 17 Meatus nasopharyngeus; 18 Velum palatinum; 19 M. ptery-goideus medialis; 20 Lingua, 21 Mandibula, 22 M. digastricus; 23 M. geniohyoideus.

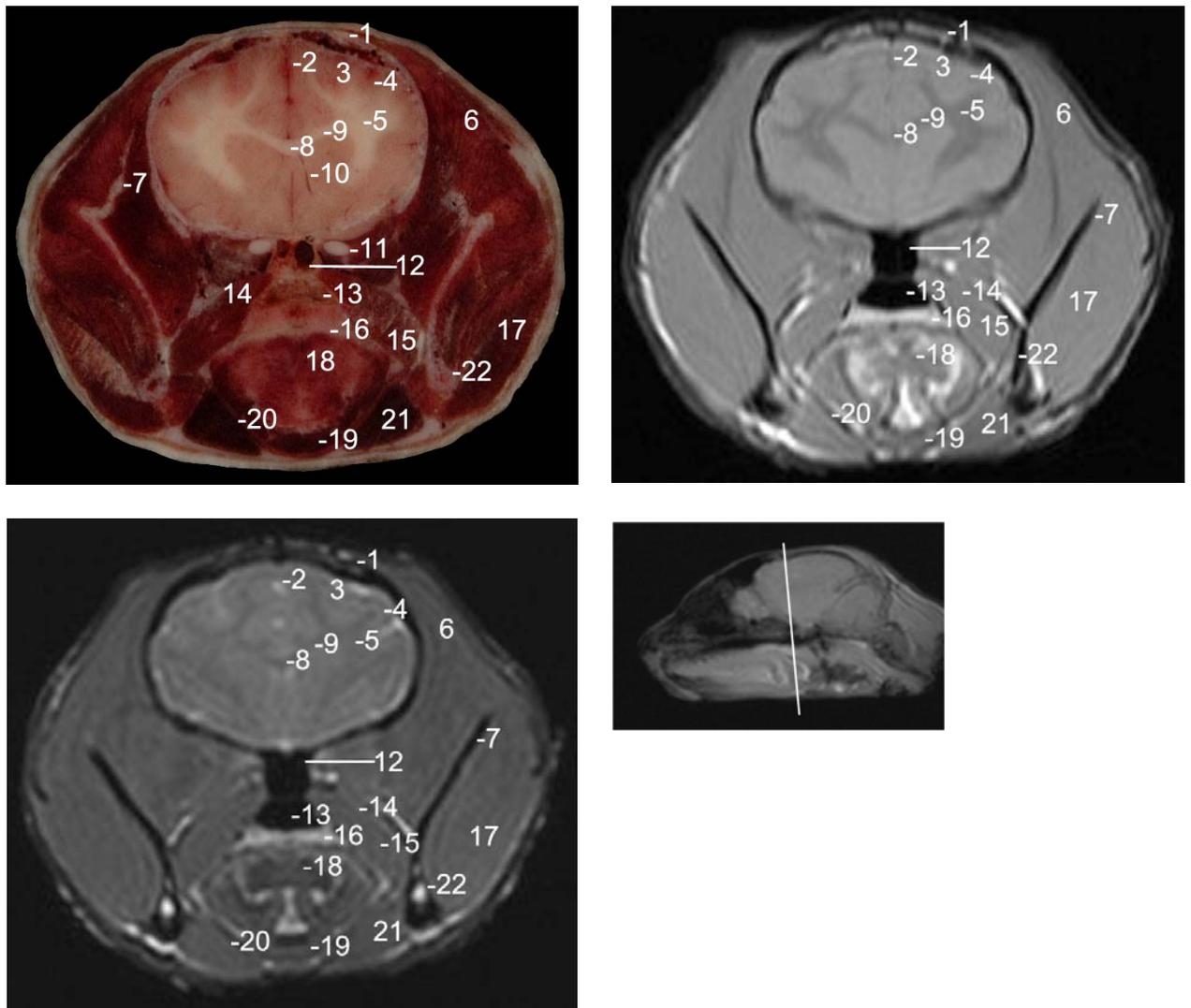


Abbildung 45: Katze 9, Schicht 71, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>1</sub>; Unten: links: CISS; rechts: Lokalisier: 1 Os frontale; 2 Fissura longitudinalis cerebri; 3 Telencephalon, Hemispherium cerebri; 4 Substantia grisea / Cortex cerebri; 5 Substantia alba / Corpus medullare cerebri; 6 M.temporalis; 7 Mandibula; 8 Genu corporis callosi; 9 Radiatio corporis callosi; 10 Vorderhorn des Ventriculus lateralis; 11 N.opticus; 12 Sinus sphenoidalis; 13 Meatus nasopharyngeus; 14 M. pterygoideus lateralis; 15 M. pterygoideus medialis; 16 Velum palatinum; 17 M. masseter; 18 M. lingualis proprius; 19 M. geniohyoideus; 20 M. mylo-hyoideus; 21 M. digastricus; 22 Mandibula.

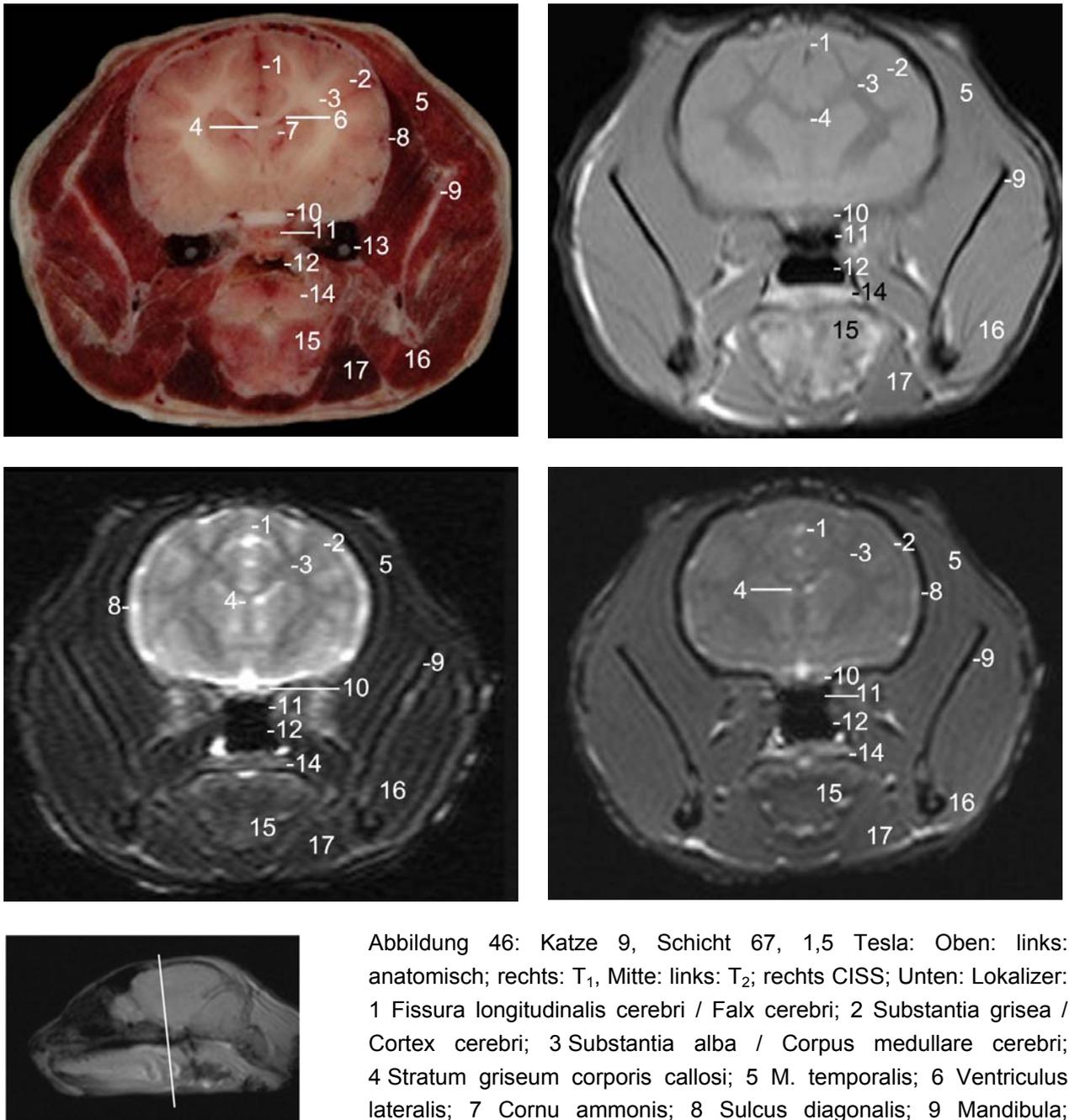


Abbildung 46: Katze 9, Schicht 67, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>1</sub>, Mitte: links: T<sub>2</sub>; rechts CISS; Unten: Lokalizier: 1 Fissura longitudinalis cerebri / Falx cerebri; 2 Substantia grisea / Cortex cerebri; 3 Substantia alba / Corpus medullare cerebri; 4 Stratum griseum corporis callosi; 5 M. temporalis; 6 Ventriculus lateralis; 7 Cornu ammonis; 8 Sulcus diagonalis; 9 Mandibula; 10 N.opticus / Chiasma opticum; 11 Os sphenoidale; 12 Meatus nasopharyngeus; 13 N. trigeminus; 14 Velum palatinum; 15 Radix linguae; 16 M. masseter; 17 M. digastricus.

## 4.2.1.4 Querschnitte in Höhe des Diencephalon

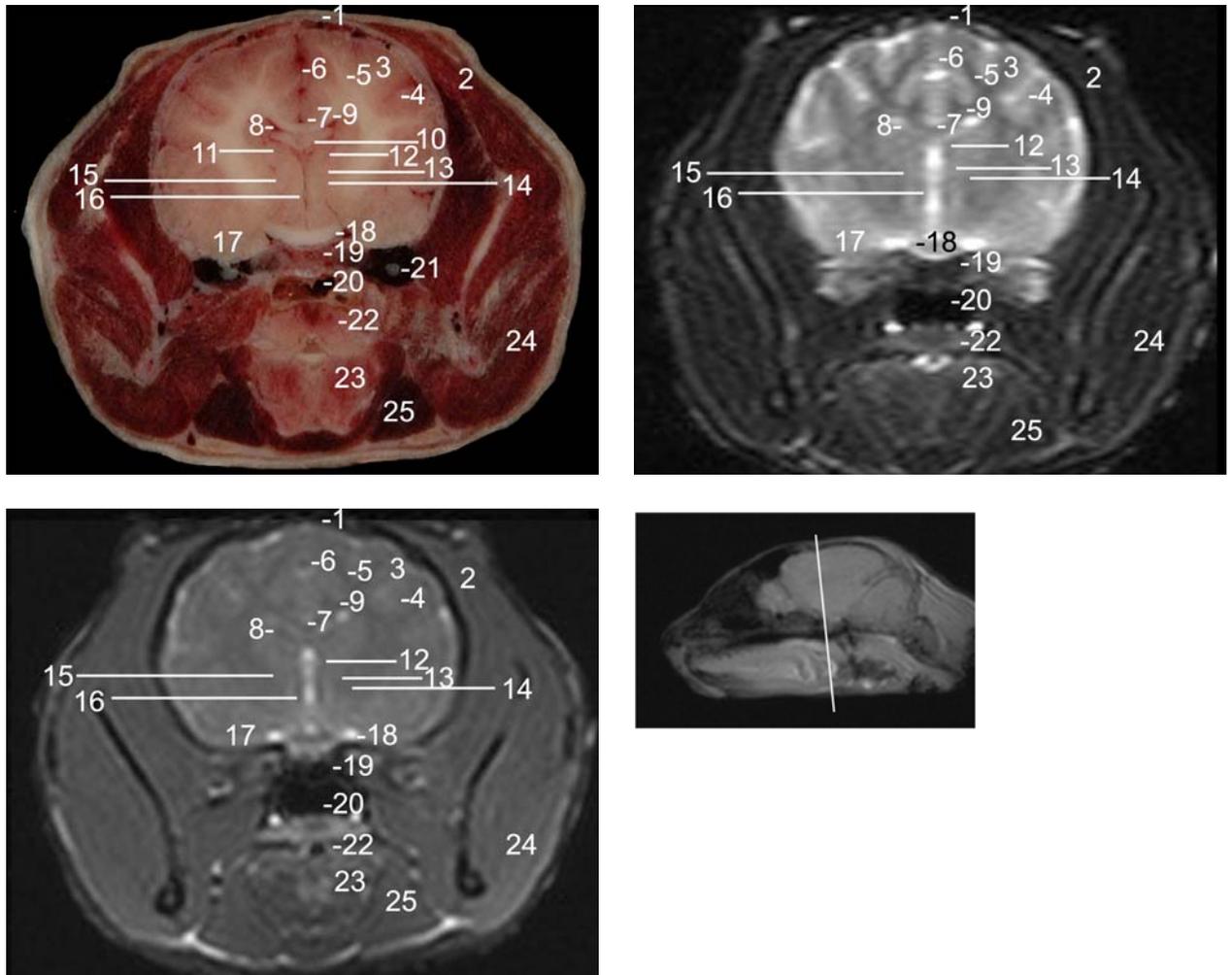


Abbildung 47: Katze 9, Schicht 66, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>2</sub>; Unten: links: CISS; rechts: Lokalizier: 1 Os parietale; 2 M. temporalis; 3 Telencephalon, Hemispherium cerebri; 4 Substantia grisea / Cortex cerebri; 5 Substantia alba / Corpus medullare cerebri; 6 Fissura longitudinalis cerebri / Falx cerebri; 7 Induseum griseum; 8 Ventriculus lateralis mit Plexus choroideus; 9 Corpus callosum; 10 Cornu ammonis; 11 Nucleus caudatus; 12 Nucleus rostralis dorsalis thalami; 13 Nucleus rostralis medialis thalami; 14 Nucleus lateralis dorsalis thalami; 15 Formatio reticularis thalami; 16 Ventriculus tertius mit Plexus coroideus ventriculi III und Sulcus hypothalamicus; 17 Lobus piriformis; 18 Chiasma opticum, Übergang zu Tractus opticus; 19 Os sphenoidale; 20 Meatus nasopharyngeus; 21 N. trigeminus; 22 Velum palatinum; 23 Radix linguae; 24 M. masseter; 25 M. digastricus.

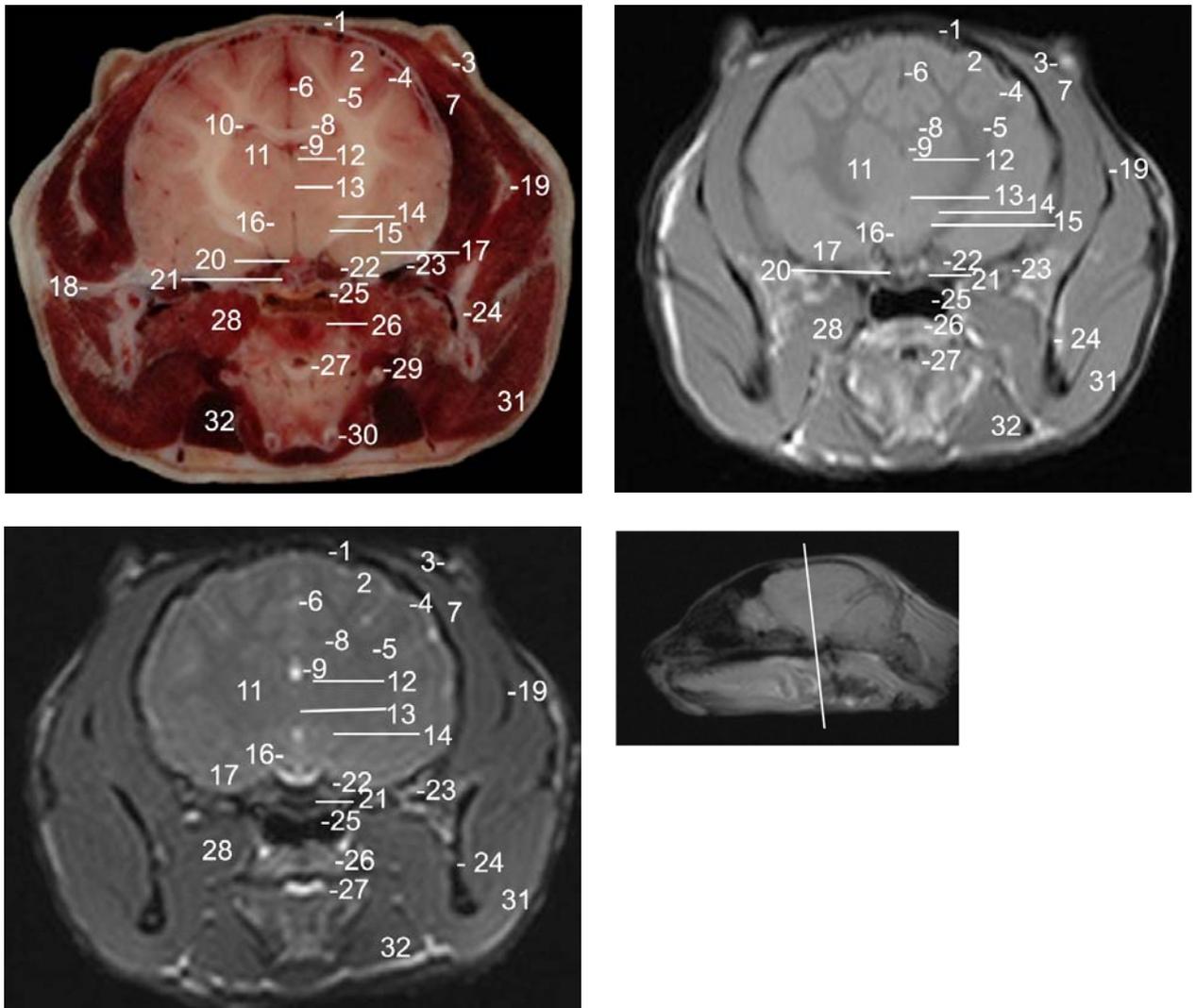


Abbildung 48: Katze 9, Schicht 64, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>1</sub>; Unten: links: CISS; rechts: Lokalisier: 1 Os parietale; 2 Telencephalon, Hemispherium cerebri; 3 Cartilago auriculae; 4 Substantia grisea / Cortex cerebri; 5 Substantia alba / Corpus medullare cerebri; 6 Fissura longitudinalis cerebri / Falx cerebri; 7 M. temporalis; 8 Corpus callosum; 9 Ventriculus tertius; 10 Ventriculus lateralis; 11 Thalamus; 12 Nucleus habenulae; 13 Nucleus reuniens, gehört zu den Nuclei paraventriculares; 14 Nucleus ventralis lateralis thalami; 15 Nucleus subthalamicus; 16 Hypothalamus; 17 Lobus piriformis; 18 Os zygomaticum; 19 Processus coronoideus mandibulae; 20 Hypophysis; 21 Os basisphenoidale / Sella turcica; 22 Fissura orbitalis; 23 Foramen rotundum; 24 Mandibula; 25 Meatus nasopharyngeus; 26 Velum palatinum; 27 Epiglottis; 28 M. pterygoideus medialis; 29 Stylohyoideum; 30 Thyreohyoideum; 31 M. masseter; 32 M. digastricus.

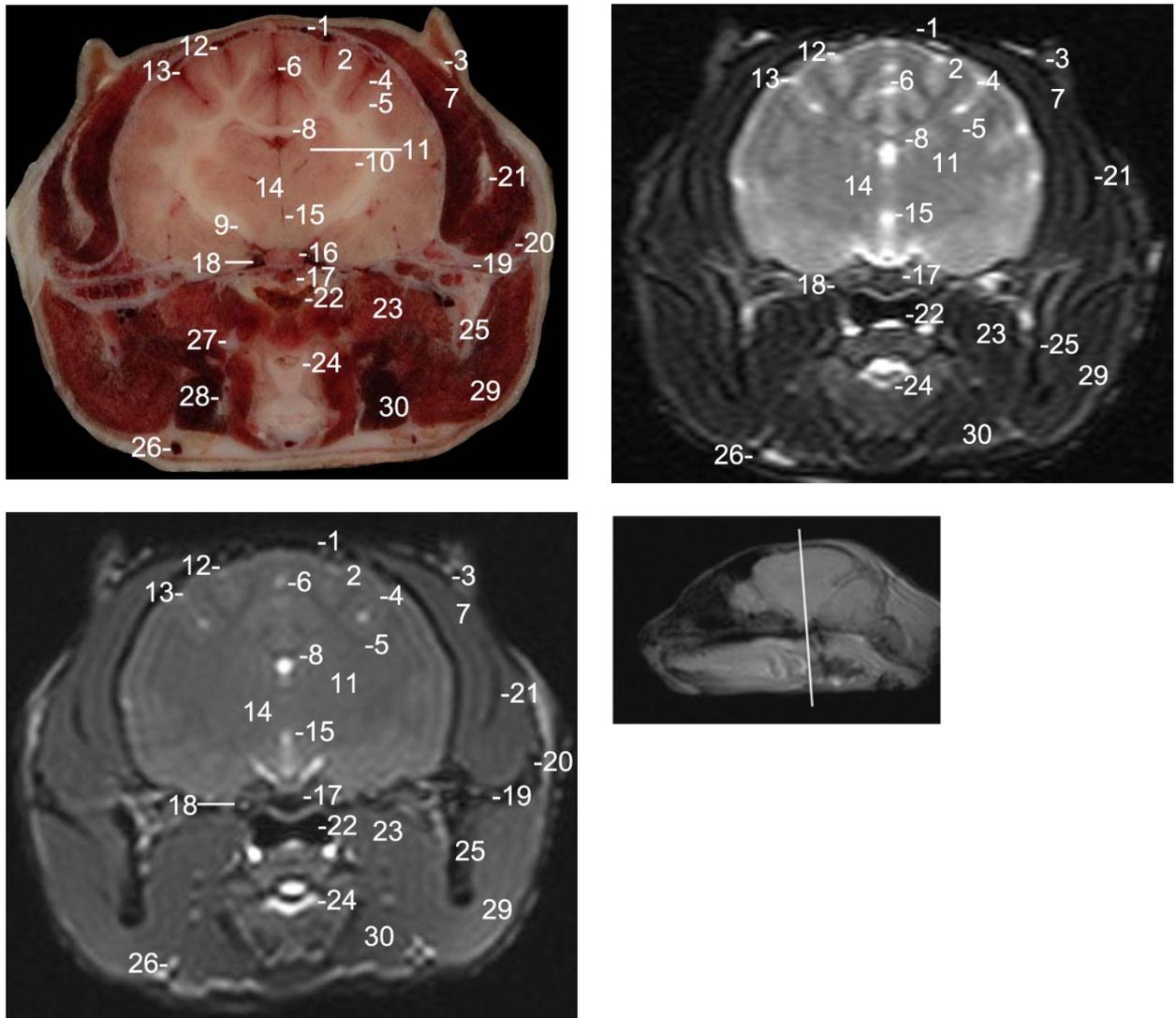


Abbildung 49: Katze 9, Schicht 62, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>2</sub>; Unten: links: CISS; rechts: Lokalizier: 1 Os parietale; 2 Telencephalon, Hemispherium cerebri; 3 Cartilago auriculae; 4 Substantia grisea / Cortex cerebri; 5 Substantia alba / Corpus medullare cerebri; 6 Fissura longitudinalis cerebri / Falx cerebri; 7 M. temporalis; 8 Corpus callosum; 9 Tractus opticus; 10 Haupt- und Nebenkern des Corpus geniculatum laterale des Metathalamus; 11 Formatio reticularis; 12 Sulcus coronalis; 13 Sulcus suprasylvius caudalis; 14 Thalamus mit Adhaesio interthalamica; 15 Ventriculus tertius; 16 Hypophysis; 17 Os basisphenoidale; 18 Foramen ovale; 19 Cavum articulare; 20 Processus zygomaticus ossis temporalis; 21 Processus coronoideus mandibulae; 22 Meatus nasopharyngeus; 23 M. pterygoideus medialis; 24 Epiglottis; 25 Mandibula; 26 Vena facialis; 27 Stylohyoideum; 28 Thyreohyoideum; 29 M. masseter; 30 M. digastricus.

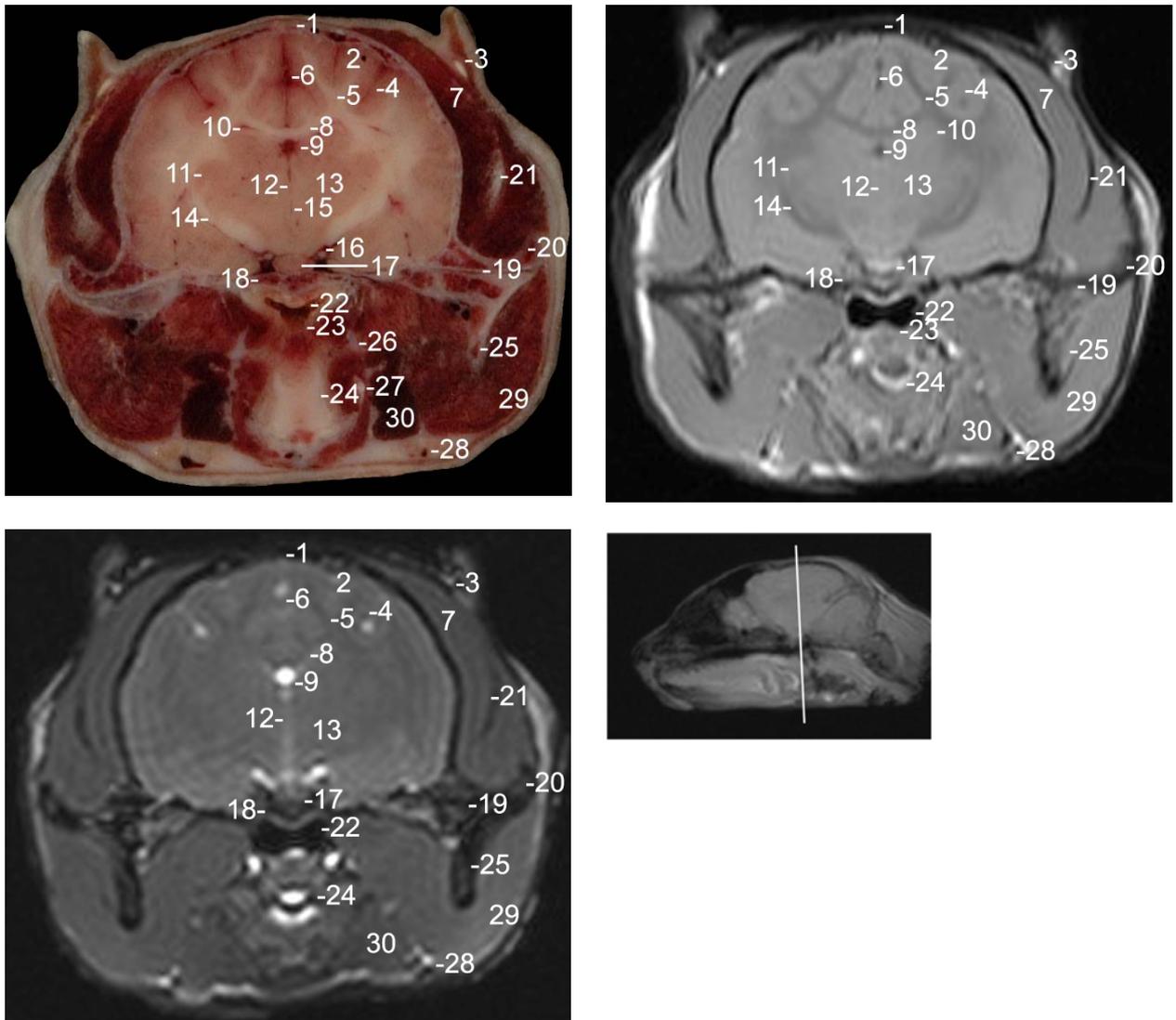


Abbildung 50: Katze 9, Schicht 61, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>1</sub>; Unten: links: CISS; rechts: Lokalizer: 1 Os parietale; 2 Telencephalon, Hemispherium cerebri; 3 Cartilago auriculae; 4 Substantia grisea / Cortex cerebri; 5 Substantia alba / Corpus medullare cerebri; 6 Fissura longitudinalis cerebri / Falx cerebri; 7 M. temporalis; 8 Corpus callosum; 9 Ventriculus tertius; 10 Ventriculus lateralis; 11 Haupt- und Nebenkern des Corpus geniculatum laterale; 12 Adhaesio interthalamica; 13 Thalamus; 14 Corpus geniculatum mediale; 15 Ventriculus tertius; 16 N. oculomotorius, N. trochlearis, N. abducens, N. ophthalmicus, N. maxillaris; 17 Hypophysis; 18 Os basisphenoidale; 19 Cavum articulare; 20 Processus zygomaticus ossis temporalis; 21 Processus coronoideus mandibulae; 22 Pars nasalis pharyngis; 23 Palatum molle; 24 Epiglottis; 25 Mandibula; 26 Stylohyoideum; 27 Thyreohyoideum; 28 Vena facialis; 29 M. masseter; 30 M. digastricus.

#### 4.2.1.5 Querschnitte auf Höhe des Übergangs vom Diencephalon zum Mesencephalon:

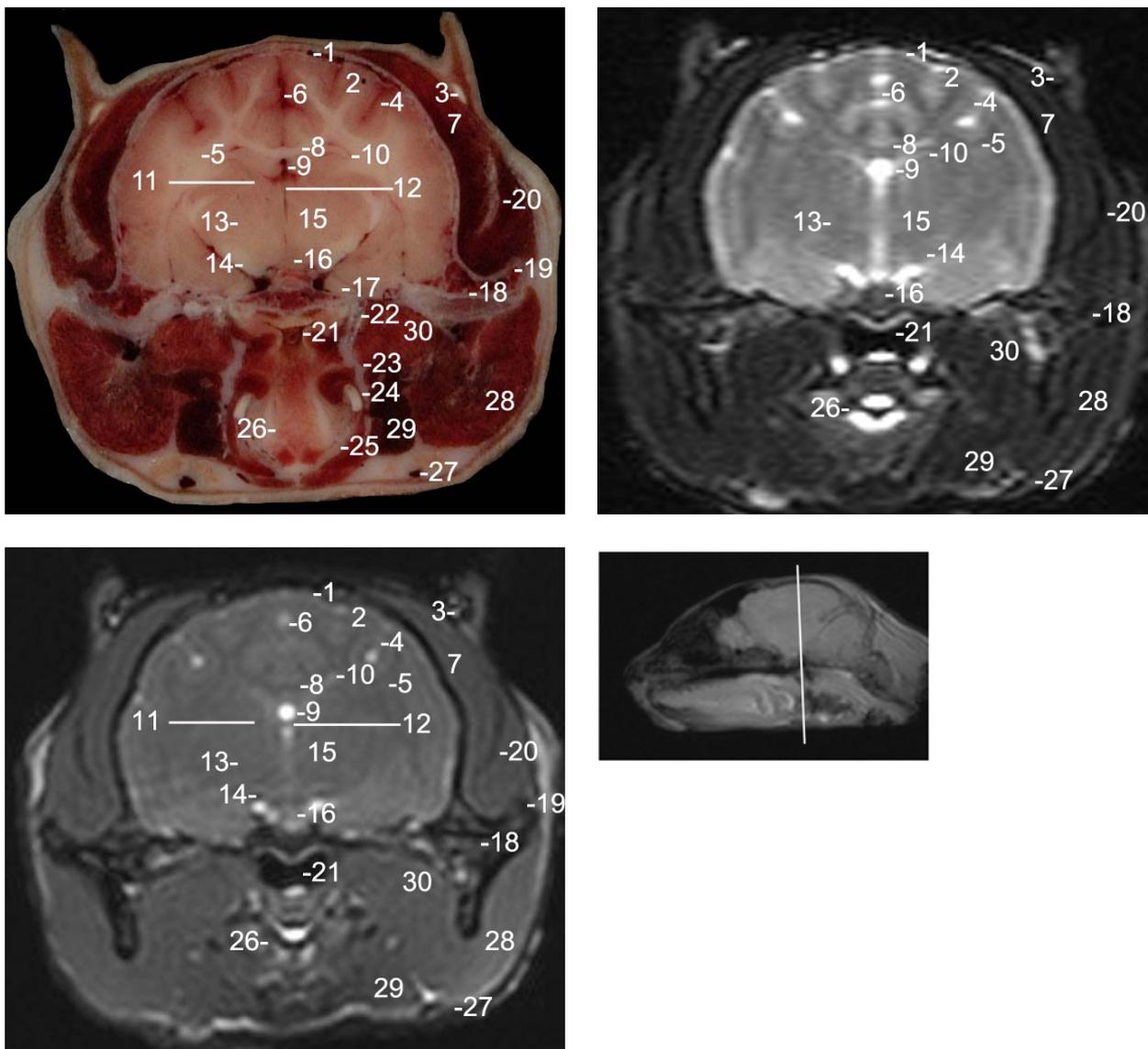


Abbildung 51: Katze 9, Schicht 60, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>2</sub>; Unten: links: CISS; rechts: Lokalizier: 1 Os parietale; 2 Telencephalon, Hemispherium cerebri; 3 Cartilago auriculae; 4 Substantia grisea / Cortex cerebri; 5 Substantia alba / Corpus medullare cerebri; 6 Fissura longitudinalis cerebri / Falx cerebri; 7 M. temporalis; 8 Corpus callosum; 9 Ventriculus tertius; 10 Ventriculus lateralis; 11 Colliculus rostralis; 12 Commissura colliculorum rostralium; 13 Formatio reticularis tegmenti; 14 Crus cerebri; 15 Thalamus; 16 Corpus mamillare mit Nuclei corporis mamillaris; 17 N. oculomotorius, N. trochlearis, N. abducens, N. ophthalmicus, N. maxillaris; 18 Cavum articulare; 19 Processus zygomaticus ossis temporalis; 20 Processus coronoideus mandibulae; 21 Pars nasalis pharyngis; 22 Os pterygoideum mit Hamulus pterygoideus; 23 Stylohyoideum; 24 Cornu rostrale cartilaginis thyreoideae; 25 Cartilago thyreoidea, 26 Epiglottis; 27 Vena facialis; 28 M. masseter; 29 M. digastricus; 30 M. pterygoideus lateralis.

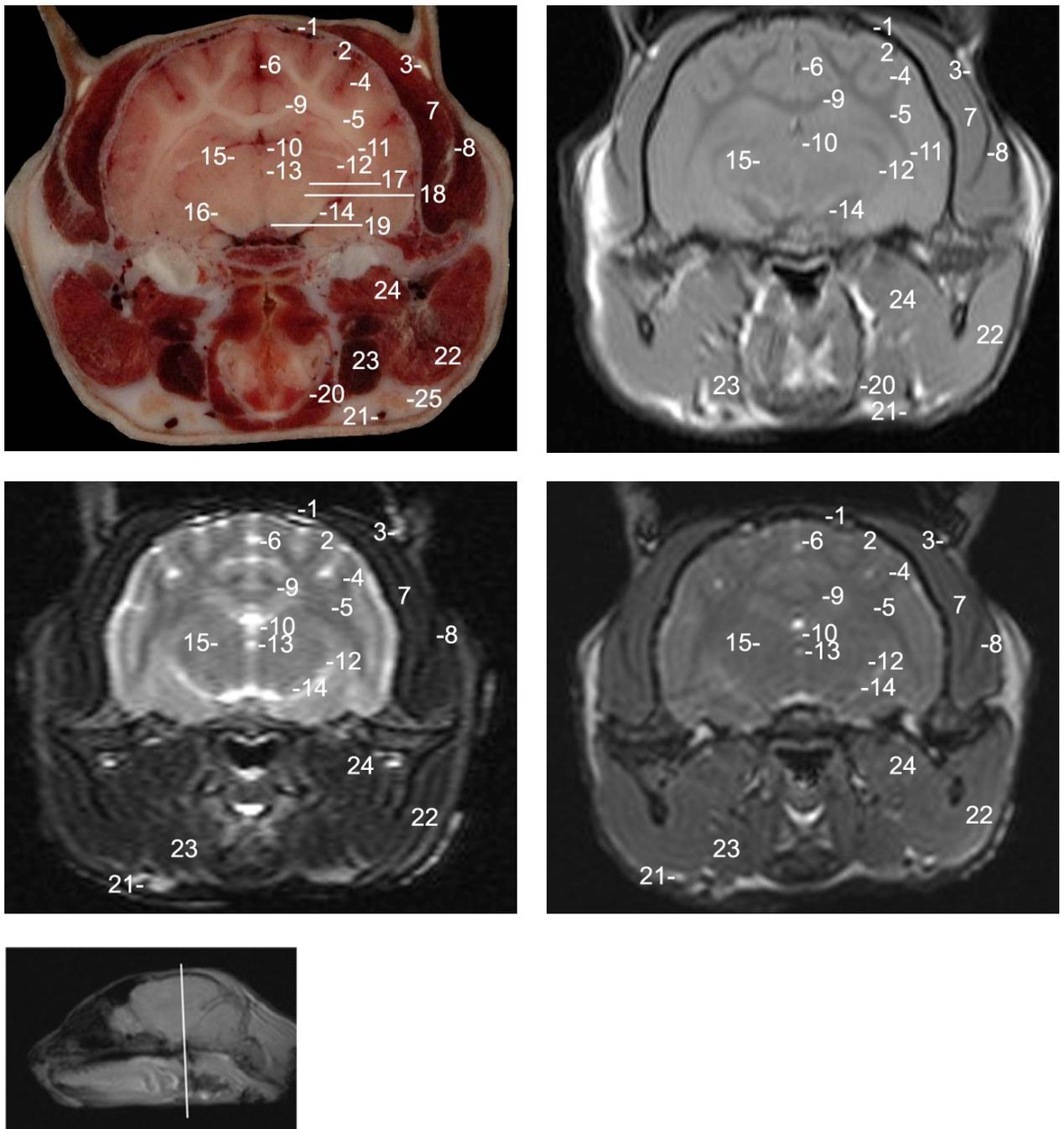


Abbildung 52: Katze 9, Schicht 58, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>1</sub>, Mitte: links: T<sub>2</sub>; rechts CISS; Unten: Lokalizer: 1 Os parietale; 2 Telencephalon, Hemispherium cerebri; 3 Cartilago auriculae; 4 Substantia grisea / Cortex cerebri; 5 Substantia alba / Corpus medullare cerebri; 6 Fissura longitudinalis cerebri / Falx cerebri; 7 M. temporalis; 8 Processus coronoideus mandibulae; 9 Corpus callosum; 10 Epiphyse; 11 Ventriculus lateralis; 12 Corpus geniculatum laterale; 13 Aquaeductus mesencephali; 14 Crus cerebri; 15 Colliculus rostralis; 16 N. ruber; 17 Brachium colliculi caudalis; 18 Lemniscus medialis und lateralis; 19 Fasciculus retroflexus; 20 Cartilago thyroidea; 21 Vena facialis; 22 M. masseter; 23 M. digastricus; 24 M. pterygoideus lateralis; 25 Ln. mandibularis.

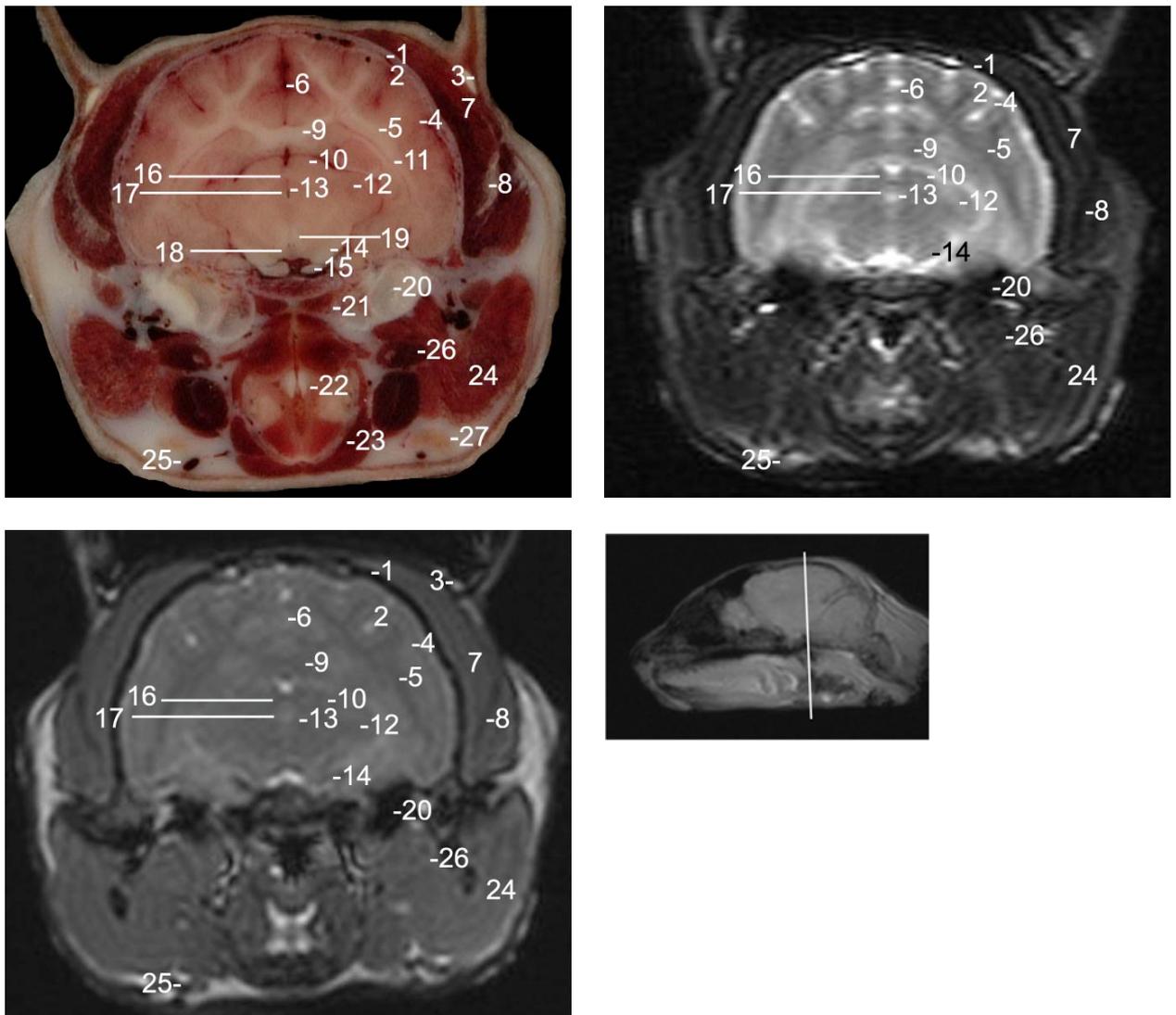


Abbildung 53: Katze 9, Schicht 57, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>2</sub>; Unten: links: CISS; rechts: Lokalizier: 1 Os parietale; 2 Telencephalon, Hemispherium cerebri; 3 Cartilago auriculae; 4 Substantia grisea / Cortex cerebri; 5 Substantia alba / Corpus medullare cerebri; 6 Fissura longitudinalis cerebri / Falx cerebri; 7 M. temporalis; 8 Processus coronoideus mandibulae; 9 Corpus callosum; 10 Colliculus rostralis; 11 Ventriculus lateralis; 12 Corpus geniculatum laterale; 13 Aquaeductus mesencephali; 14 Crus cerebri; 15 N. oculomotorius, N. trochlearis, N. abducens, N. ophthalmicus, N. maxillaris, N. mandibularis; 16 Commisura colliculorum rostralium mit Nucleus tractus mesencephali n. trigemini; 17 Substantia grisea centralis; 18 Nucleus intercruralis; 19 Fasciculus retroflexus und Faserzüge des N. oculomotorius; 20 Bulla tympanica; 21 M. longus capitis; 22 Cartilago arytenoidea; 23 Cartilago thyreoidea; 24 M. masseter; 25 Vena facialis; 26 M. pterygoideus lateralis; 27 Ln. mandibularis.

## 4.2.1.6 Querschnitt auf Höhe des Mesencephalon:

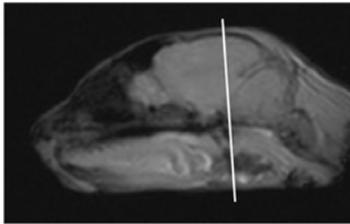
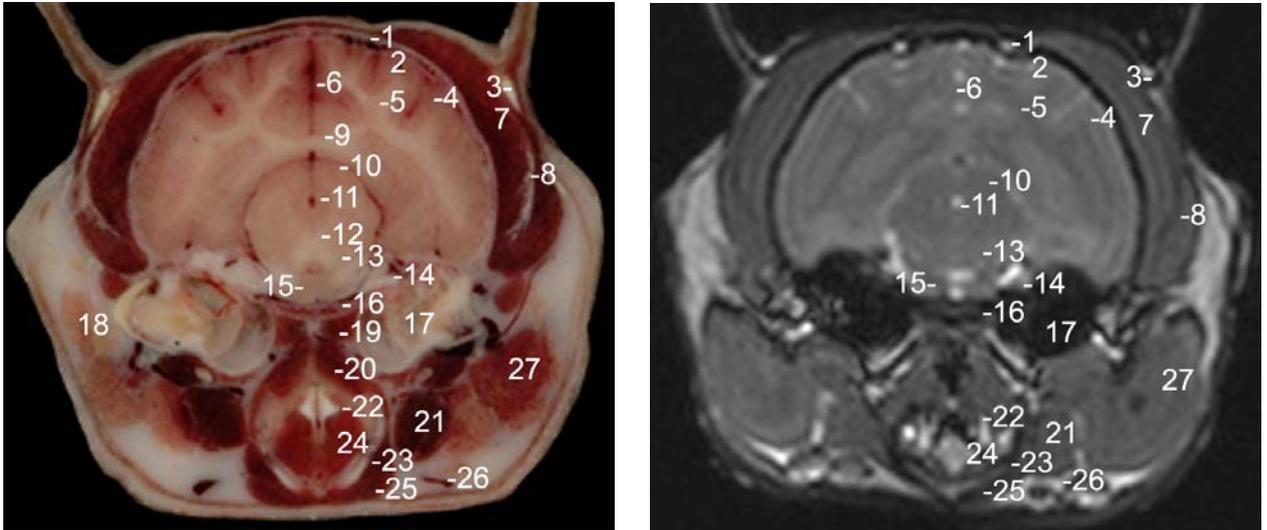


Abbildung 54: Katze 9, Schicht 55, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; rechts: CISS; Unten: links: Lokalizer: 1 Os parietale; 2 Telencephalon, Hemispherium cerebri; 3 Cartilago auriculae; 4 Substantia grisea / Cortex cerebri; 5 Substantia alba / Corpus medullare cerebri; 6 Fissura longitudinalis cerebri / Falx cerebri; 7 M. temporalis; 8 Processus coronoideus mandibulae; 9 Corpus callosum; 10 Nucleus colliculi caudalis; 11 Aquaeductus mesencephali; 12 Decussatio pedunculorum cerebellarium rostrale; 13 Crus cerebri; 14 N. oculomotorius, N. trochlearis, N. abducens, N. ophthalmicus, N. maxillaris, N. mandibularis; 15 Pons; 16 Os basisphenoidale 17 Bulla tympanica; 18 Glandula parotis; 19 M. longus capitis; 20 M. thyreopharyngeus; 21 M. digastricus; 22 Cartilago arytenoidea; 23 Cartilago thyreoidea; 24 M. vocalis et M. ventricularis; 25 M. sternohyoideus; 26 Vena facialis; 27 M. masseter.

#### 4.2.1.7 Querschnitte durch das Mesencephalon um den Bereich der Colliculi caudales und den Okzipitallappen der Großhirnhemisphären:

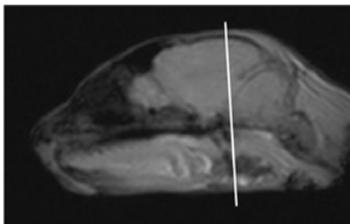
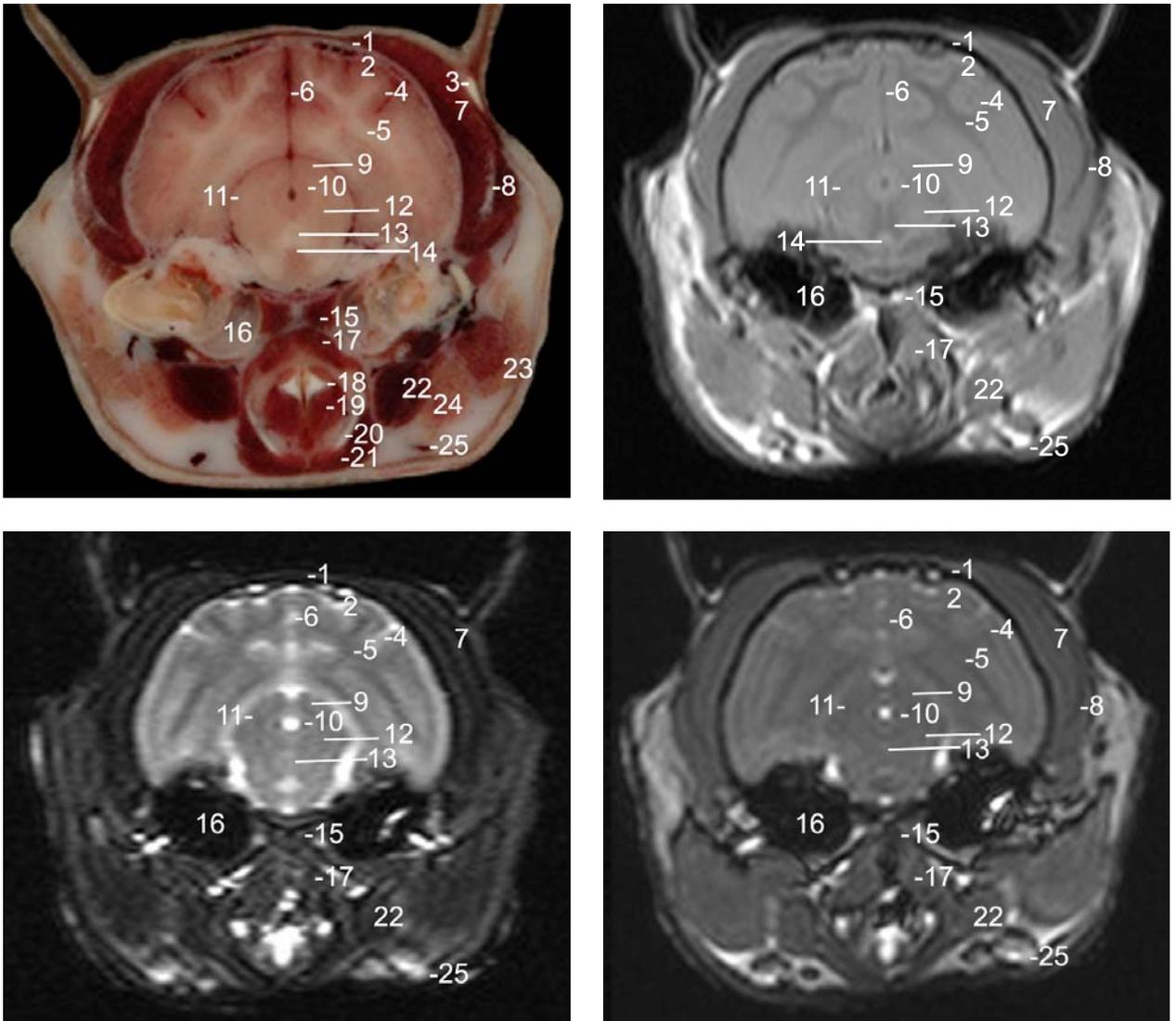


Abbildung 55: Katze 9, Schicht 54, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>1</sub>, Mitte: links: T<sub>2</sub>; rechts CISS; Unten: Lokalizier: 1 Os parietale; 2 Telencephalon, Hemispherium cerebri; 3 Cartilago auriculae; 4 Substantia grisea / Cortex cerebri; 5 Substantia alba / Corpus medullare cerebri; 6 Fissura longitudinalis cerebri / Falx cerebri; 7 M. temporalis; 8 Processus coronoideus mandibulae; 9 Nucleus colliculi caudalis; 10 Substantia grisea centralis; 11 Lemniscus lateralis; 12 Formatio reticularis mit Nucleus reticularis tegmenti und Nucleus tegmenti ventralis; 13 Decussatio pedunculorum cerebellarium rostrale und Fasern des Pedunculus cerebellaris rostralis; 14 Nucleus intercruralis; 15 M. longus capitis; 16 Bulla tympanica; 17 M. thyropharyngeus; 18 Cartilago aryaenoidea; 19 M. vocalis et M. ventricularis; 20 Cartilago thyroidea; 21 M. sternohyoideus; 22 M. digastricus; 23 Glandula parotis; 24 Glandula mandibularis; 25 Vena facialis.

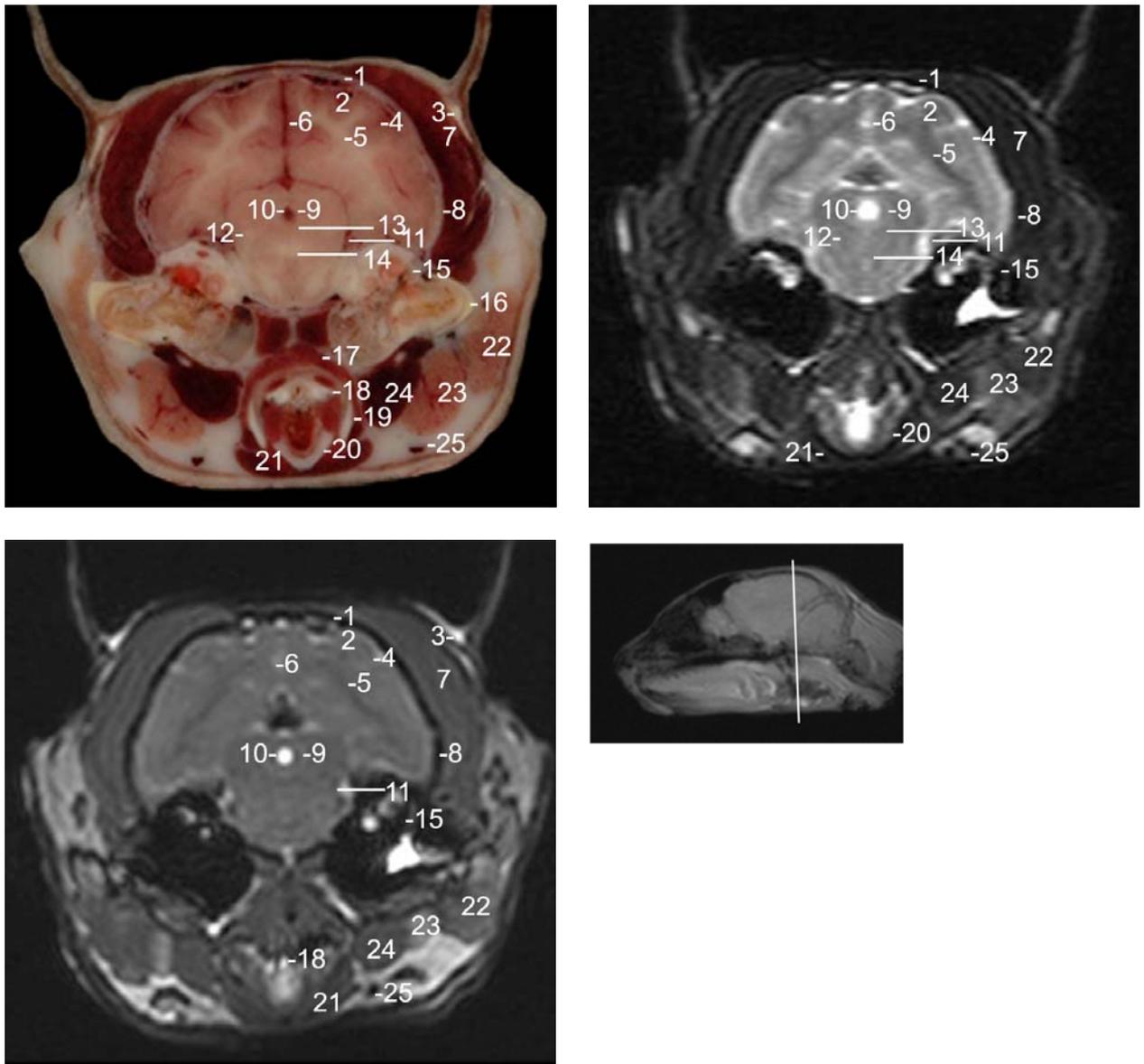


Abbildung 56: Katze 9, Schicht 52, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>2</sub>; Unten: links: CISS; rechts: Lokalizer: 1 Os parietale; 2 Telencephalon, Hemispherium cerebri; 3 Cartilago auriculæ; 4 Substantia grisea / Cortex cerebri; 5 Substantia alba / Corpus medullare cerebri; 6 Fissura longitudinalis cerebri / Falx cerebri; 7 M. temporalis; 8 Os temporale; 9 Substantia grisea centralis; 10 Aquaeductus mesencephali; 11 Sulcus lateralis; 12 Lemniscus medialis; 13 Fasciculus longitudinalis medialis mit N. interstitialis; 14 Decussatio pedunculorum cerebellarium rostrarium; 15 Pars petrosa ossis temporalis; 16 Pars cartilaginea tubae auditivæ; 17 M. thyreopharyngeus; 18 Cartilago aryaenoidea; 19 Cartilago thyreoidea; 20 Cartilago cricoidea; 21 M. sternohyoideus; 22 Glandula parotis; 23 Glandula mandibularis; 24 M. digastricus; 25 Vena facialis.

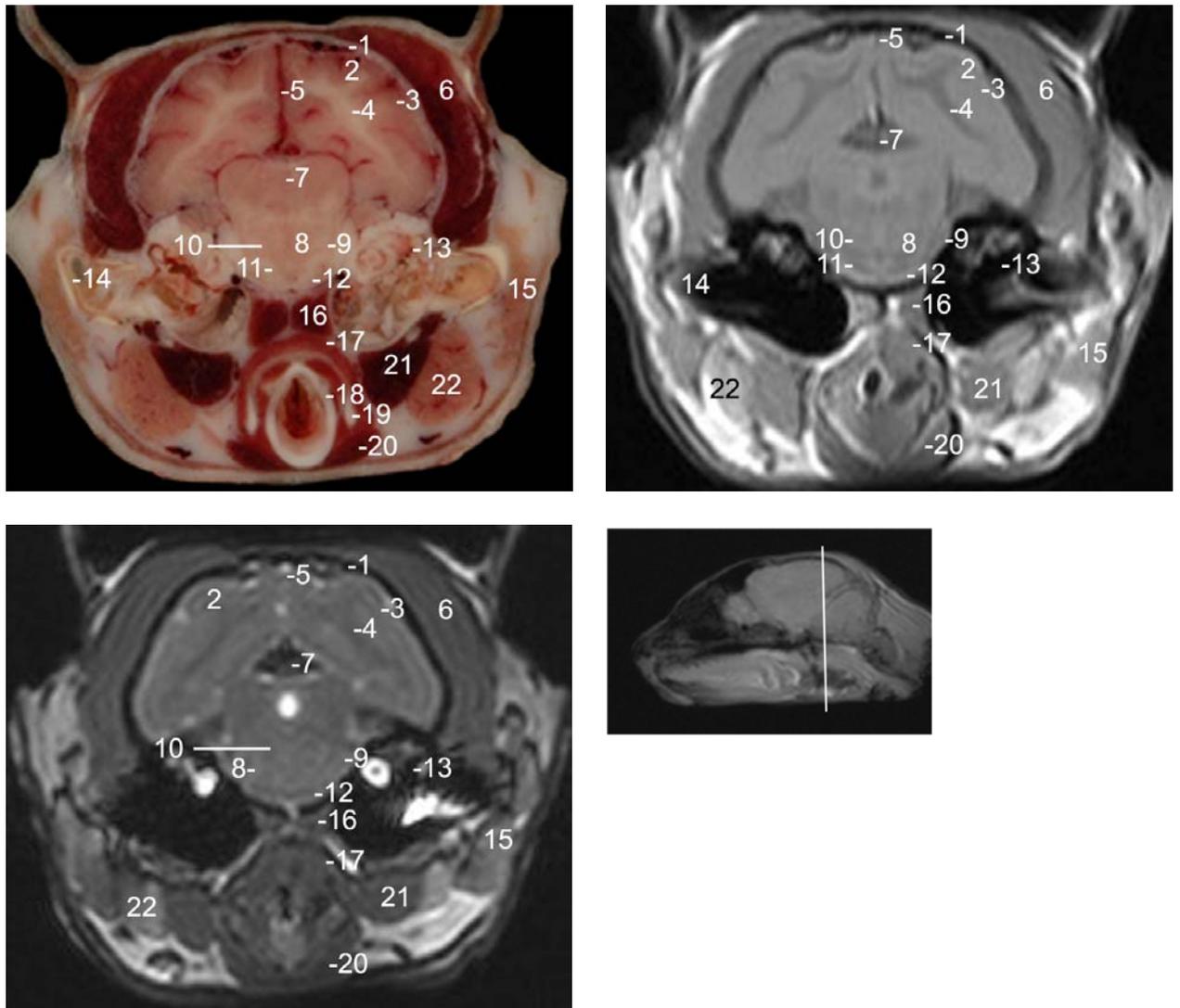


Abbildung 57: Katze 9, Schicht 51, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>1</sub>; Unten: links: CISS; rechts: Lokalizer: 1 Os parietale; 2 Telencephalon, Hemispherium cerebri; 3 Substantia grisea / Cortex cerebri; 4 Substantia alba / Corpus medullare cerebri; 5 Fissura longitudinalis cerebri / Falx cerebri; 6 M. temporalis; 7 Cerebellum; 8 Metencephalon; 9 Nucleus sensibilis pontinus n. trigemini und Nucleus motorius n. trigemini; 10 Formatio reticularis; 11 Tractus pyramidalis; 12 Fibrae transversae pontis mit eingestreuten Brückenkernen; 13 Pars petrosa ossis temporalis; 14 Meatus acusticus externus; 15 Glandula parotis; 16 M. longus capitis; 17 M. thyreopharyngeus; 18 Cartilago cricoidea; 19 Cartilago thyreoidea; 20 M. sternohyoideus; 21 M. digastricus; 22 Glandula mandibularis.

## 4.2.1.8 Querschnitte durch das Metencephalon

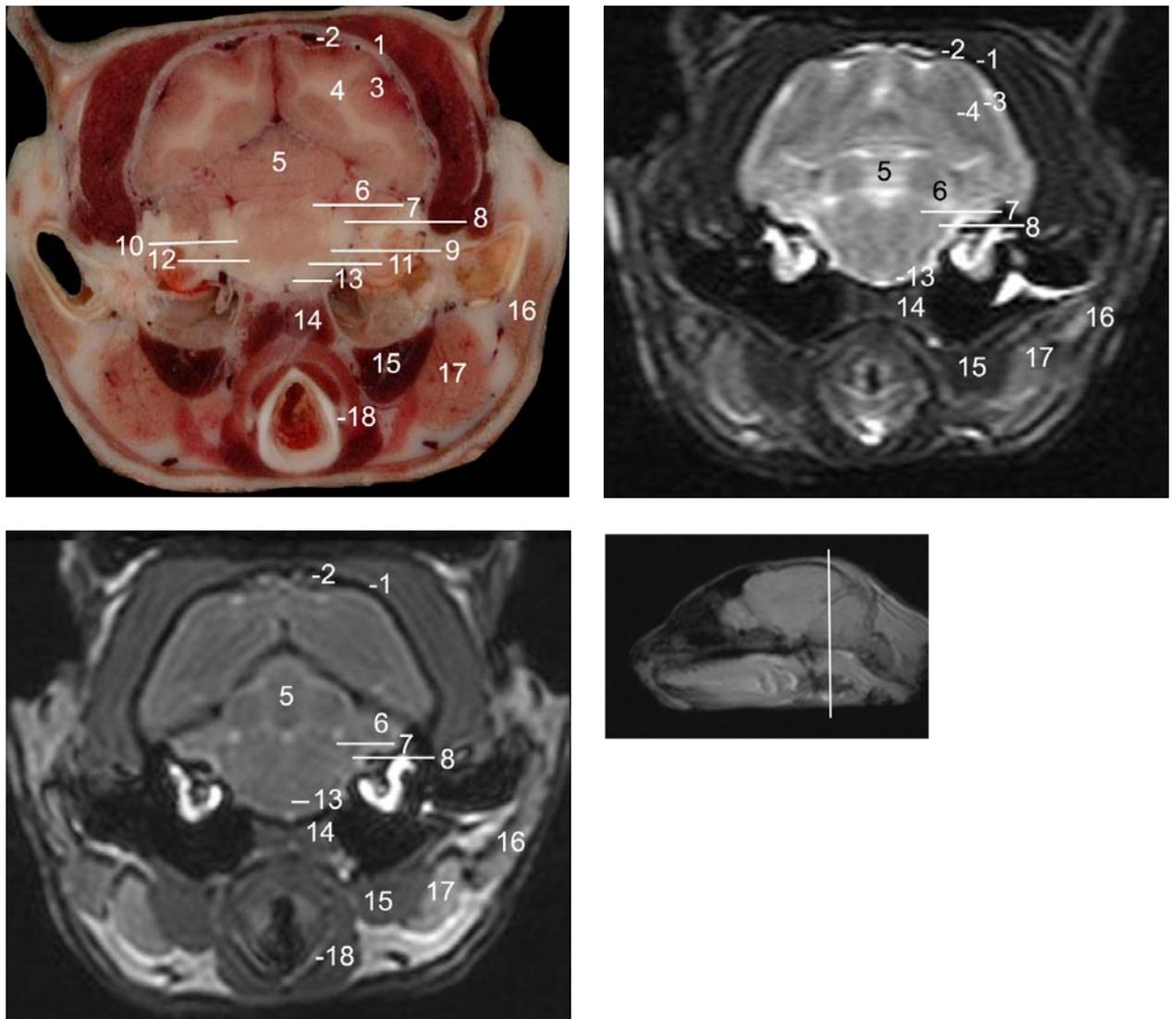


Abbildung 58: Katze 9, Schicht 49, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>2</sub>; Unten: links: CISS; rechts: Lokalizator: 1 Os parietale; 2 Cavum subarachnoideale encephali; 3 Substantia grisea / Cortex cerebri; 4 Substantia alba / Corpus medullare cerebri; 5 Lobus rostralis cerebelli; 6 Hemispheria cerebelli; 7 Pedunculus cerebellaris rostralis sive Brachium conjunctivum; 8 Pedunculus cerebellaris medius sive Brachium pontis; 9 Nucleus sensibilis pontinus trigemini und Nucleus motorius n. trigemini; 10 Tractus rubrospinalis; 11 Lemniscus medialis; 12 Lemniscus lateralis mit Nucleus lemnisci lateralis; 13 Fibrae transversae pontis mit eingestreuten Brückenkernen; 14 M. longus capitis; 15 M. digastricus; 16 Glandula parotis; 17 Glandula mandibularis; 18 Cartilago cricoidea.

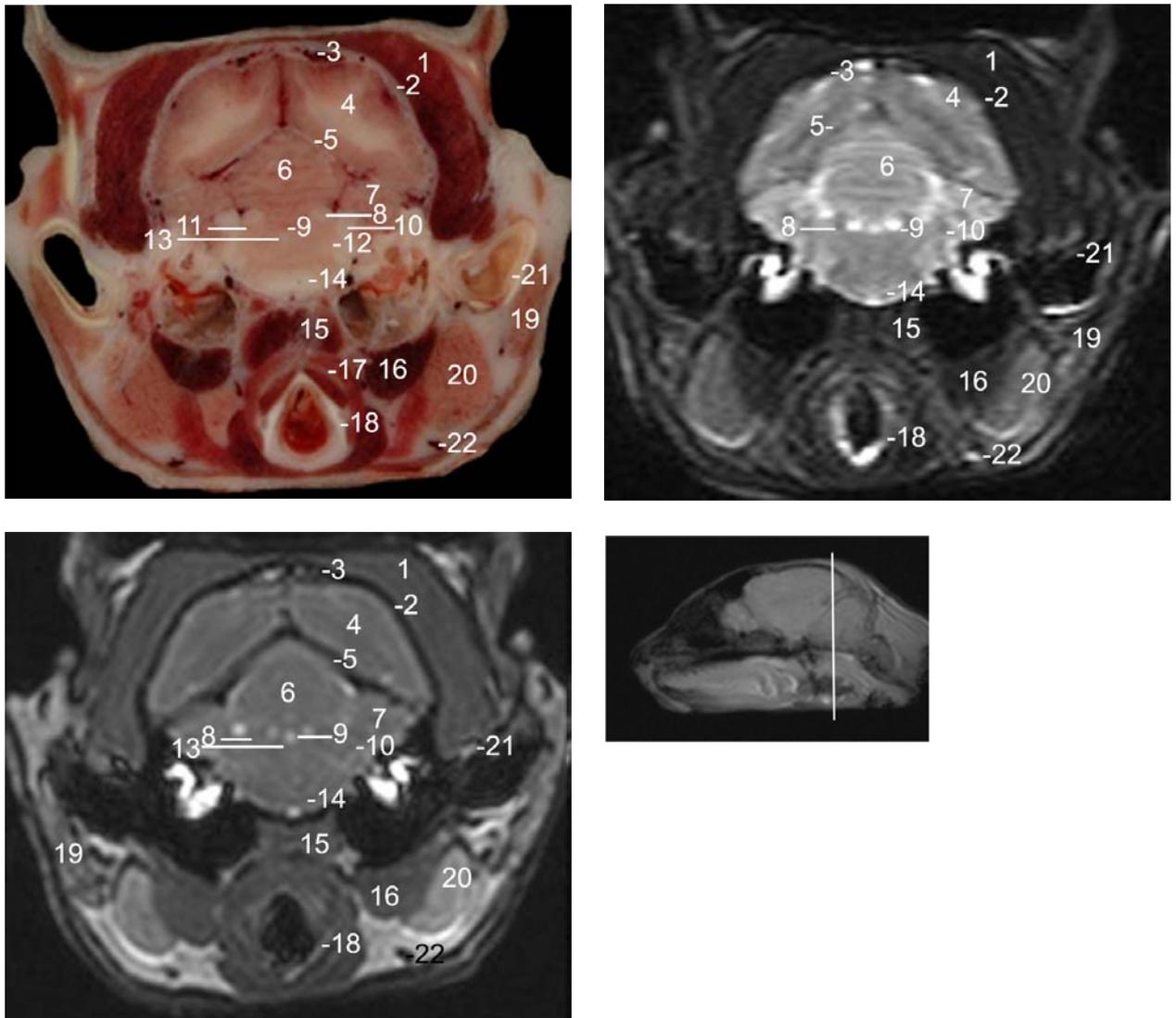


Abbildung 59: Katze 9, Schicht 48, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>2</sub>; Unten: links: CISS; rechts: Lokalizer: 1 M. temporalis; 2 Os parietale; 3 Cavum subarachnoideale encephali; 4 Telencephalon; 5 Tentorium cerebelli osseum; 6 Lobus medianus cerebelli / Vermis cerebelli; 7 Hemispherium cerebelli; 8 Pedunculus cerebellaris rostralis sive Brachium conjunctivum; 9 Ventriculus quartus; 10 Pedunculus cerebellaris medius sive Brachium pontis; 11 Tractus mesencephalicus mit Nucleus tractus mesencephalici n. trigemini; 12 Nucleus sensibilis pontinus trigemini und Nucleus motorius n. trigemini; 13 Fasciculus longitudinalis medialis; 14 Fibrae transversae pontis mit eingestreuten Brückenkernen; 15 M. longus capitis; 16 M. digastricus; 17 Oesophagus; 18 Cartilago cricoidea; 19 Glandula parotis; 20 Glandula mandibularis; 21 Meatus acusticus externus cartilagineus; 22 Vena facialis.

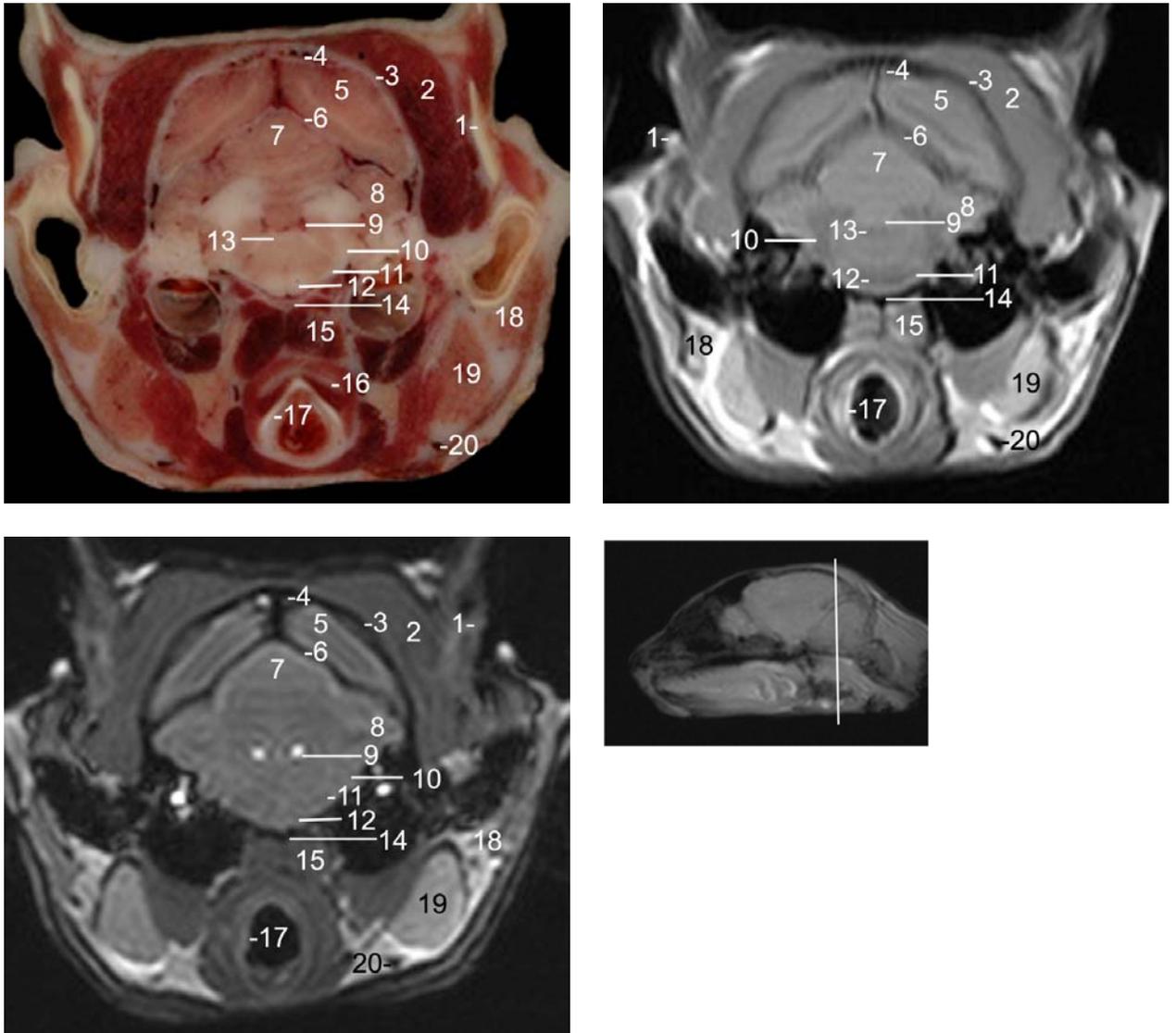


Abbildung 60: Katze 9, Schicht 46, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>1</sub>; Unten: links: CISS; rechts: Lokalizer: 1 Cartilago auriculae; 2 M. temporalis; 3 Os parietale; 4 Cavum subarachnoideale encephali; 5 Telencephalon; 6 Tentorium cerebelli membranaceum; 7 Lobus medianus cerebelli / Vermis cerebelli; 8 Hemispherium cerebelli; 9 Ventriculus quartus; 10 Pedunculus cerebellaris caudalis sive Corpus restiforme; 11 Corpus trapezoideum; 12 Pyramis; 13 Fasciculus longitudinalis medialis; 14 Os occipitale, Pars basilaris; 15 M. longus capitis; 16 Oesophagus; 17 Cartilago cricoidea; 18 Glandula parotis; 19 Glandula mandibularis; 20 Vena facialis.

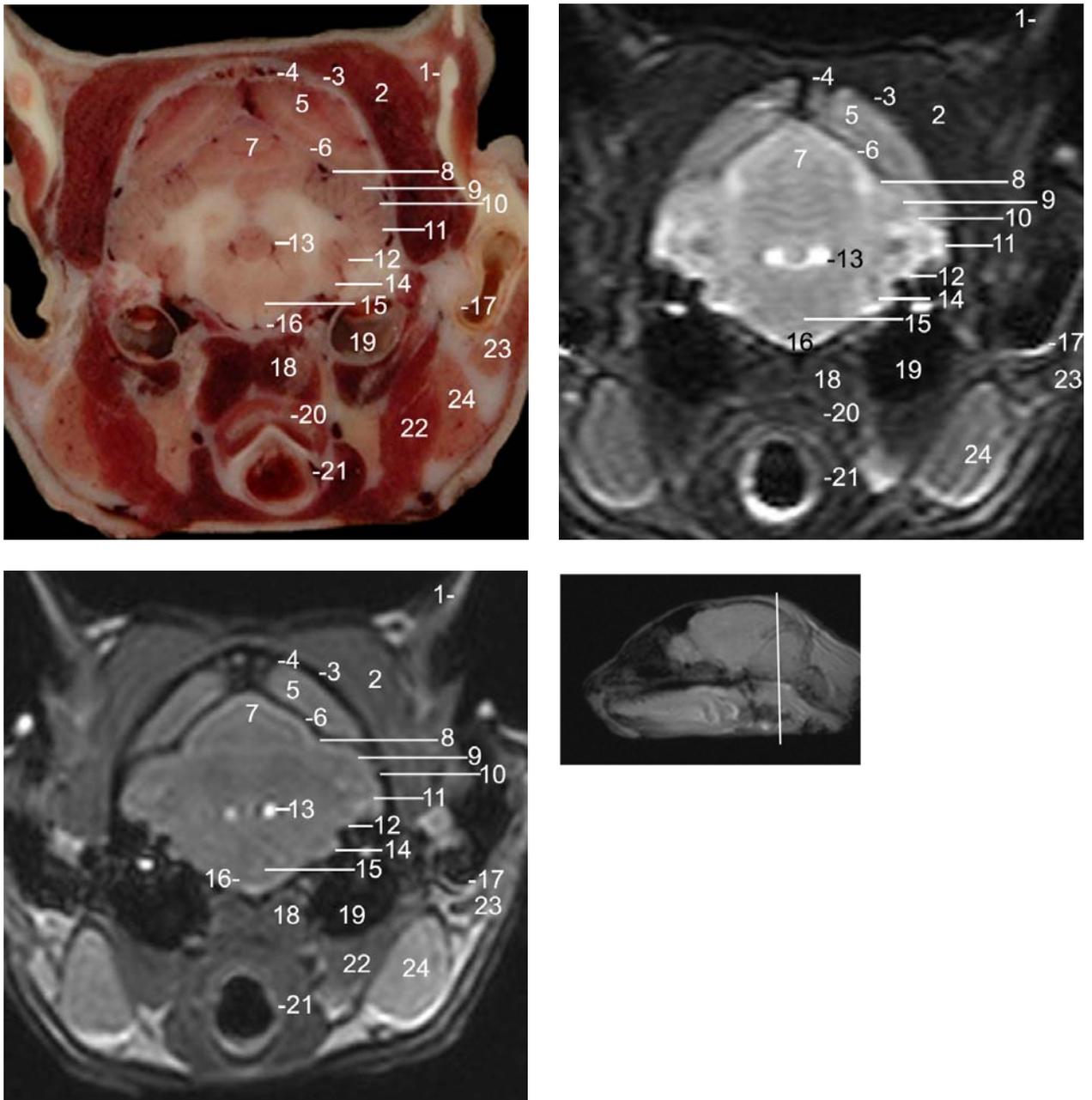


Abbildung 61: Katze 9, Schicht 45, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>2</sub>; Unten: links: CISS; rechts: Lokalizer: 1 Cartilago auriculae; 2 M. temporalis; 3 Os parietale; 4 Cavum subarachnoideale encephali; 5 Telencephalon; 6 Tentorium cerebelli osseum; 7 Lobus medianus cerebelli / Vermis cerebelli; 8 Sulcus paramedianus; 9 Lobus ansiformis; 10 Sulcus parafloccularis; 11 Paraflocculus; 12 Flocculus; 13 Ventriculus quartus und Nodus; 14 Nucleus cochlearis dorsalis und Nucleus cochlearis ventralis des Tuberculum acusticum; 15 Formatio reticularis mit Raphe; 16 Pyramis; 17 Meatus acusticus externus cartilagineus; 18 M. longus capitis; 19 Bulla tympanica; 20 Oesophagus; 21 Cartilago cricoidea; 22 M. digastricus; 23 Glandula parotis; 24 Glandula mandibularis.

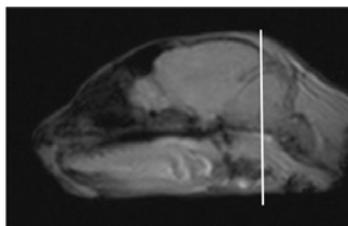
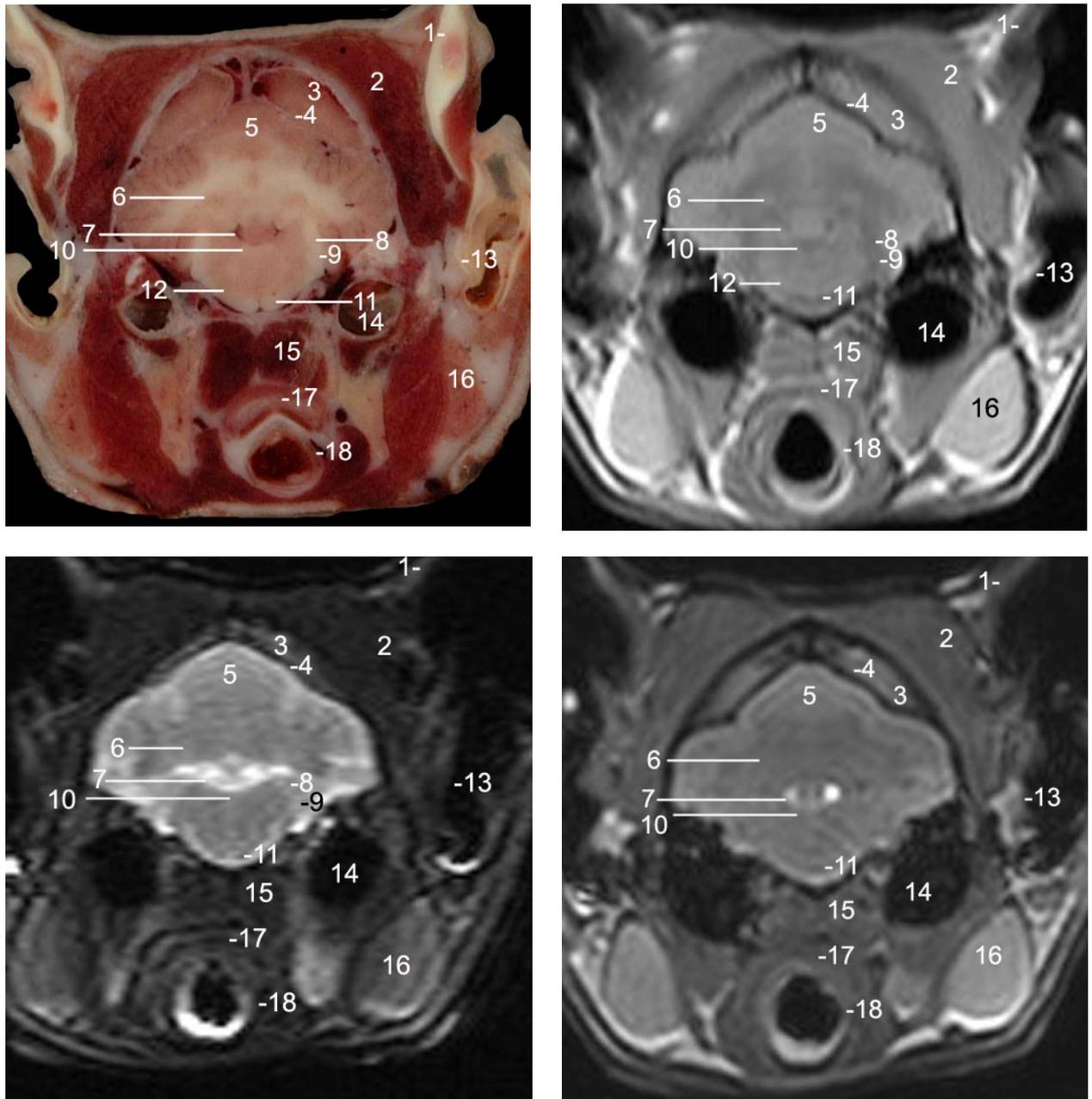


Abbildung 62: Katze 9, Schicht 44, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>1</sub>; Mitte: links: T<sub>2</sub>; rechts: CISS; Unten: Lokalizier: 1 Cartilago auricularae; 2 M. temporalis; 3 Telencephalon; 4 Tentorium cerebelli osseum; 5 Lobus medianus cerebelli / Vermis cerebelli; 6 Markkörper des Kleinhirns mit Nucleus lateralis cerebelli, Nucleus interpositus lateralis cerebelli, Nucleus interpositus medialis cerebelli und Nucleus fastigii sive tecti (Kleinhirnkerne); 7 Ventriculus quartus; Fossa rhomboidea; 8 Pedunculus cerebellaris caudalis sive Corpus restiforme; 9 Tractus spinalis n. trigemini und Nucleus tractus spinalis n. trigemini; 10 Fasciculus longitudinalis medialis; 11 Pyramis; 12 Nucleus dorsalis corporis trapezoidei; 13 Meatus acusticus externus cartilagineus; 14 Bulla tympanica; 15 M. longus capitis; 16 Glandula mandibularis; 17 Oesophagus; 18 Trachea.

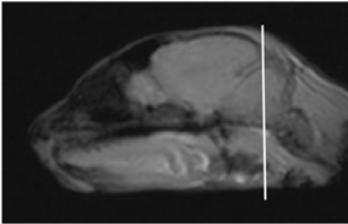
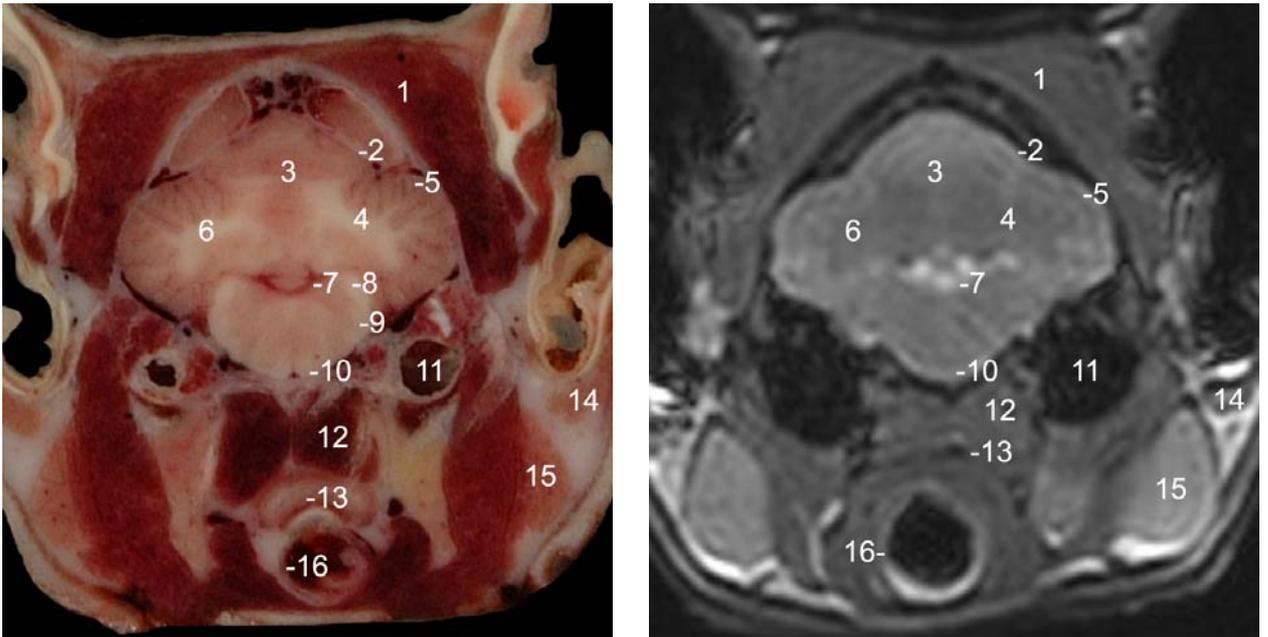


Abbildung 63: Katze 9, Schicht 43, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; rechts: CISS; Unten: Lokalizier: 1 M.temporalis; 2 Tentorium cerebelli osseum; 3 Lobus medianus cerebelli / Vermis cerebelli; 4 Hemispherium cerebelli; 5 Lobuli cerebellares unterteilt in Folia cerebelli; 6 Substantia alba cerebelli; 7 Ventriculus quartus; Fossa rhomboidea; 8 Pedunculus cerebellaris caudalis sive Corpus restiforme; 9 Tractus spinalis n. trigemini; 10 Pyramis; 11 Bulla tympanica; 12 M. longus capitis; 13 Oesophagus; 14 Glandula parotis; 15 Glandula mandibularis; 16 Trachea.

## 4.2.1.9 Querschnitte durch das Cerebellum und das Myelencephalon

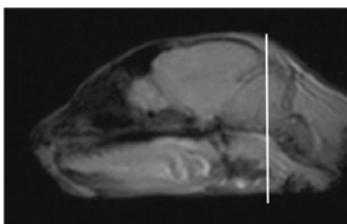
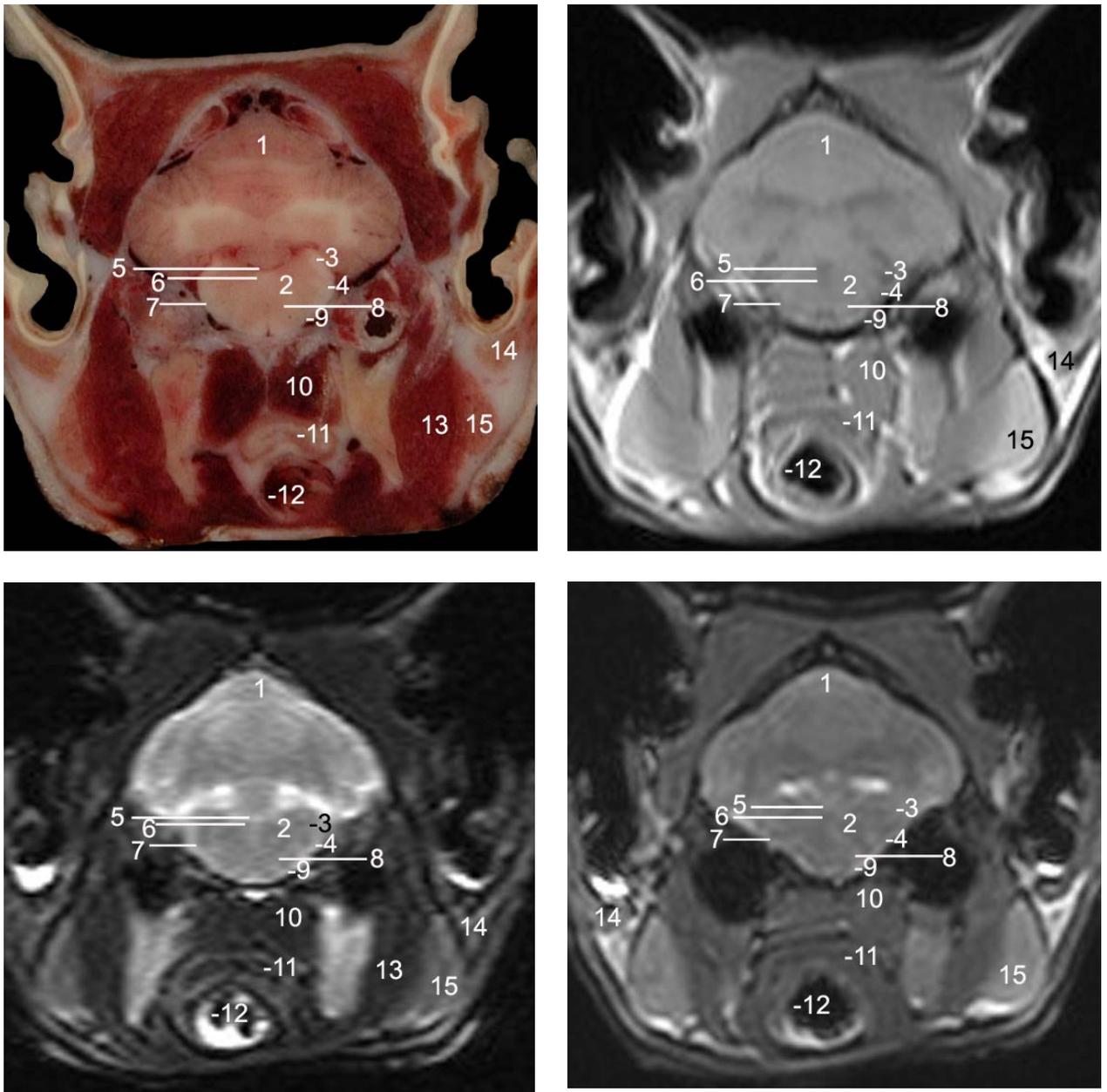


Abbildung 64: Katze 9, Schicht 42, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>1</sub>; Mitte: links: T<sub>2</sub>; rechts: CISS; Unten: Lokalizier: 1 Cerebellum; 2 Myelencephalon; 3 Pedunculus cerebellaris caudalis sive Corpus restiforme; 4 Tractus spinocerebellaris dorsalis und Tractus spinalis n. trigemini und Nucleus tractus spinalis n. trigemini; 5 Ventriculus quartus; Fossa rhomboidea; 6 Fasciculus longitudinalis medialis; 7 Fibrae arcuatae superficiales; 8 Formatio reticularis; 9 Tractus spinocerebellaris ventralis; 10 M. longus capitis; 11 Oesophagus; 12 Trachea, 13 M. masseter; 14 Glandula parotis; 15 Glandula mandibularis.

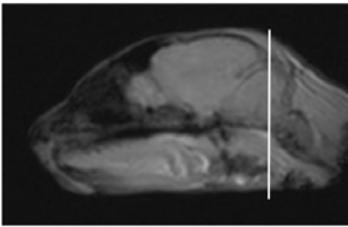
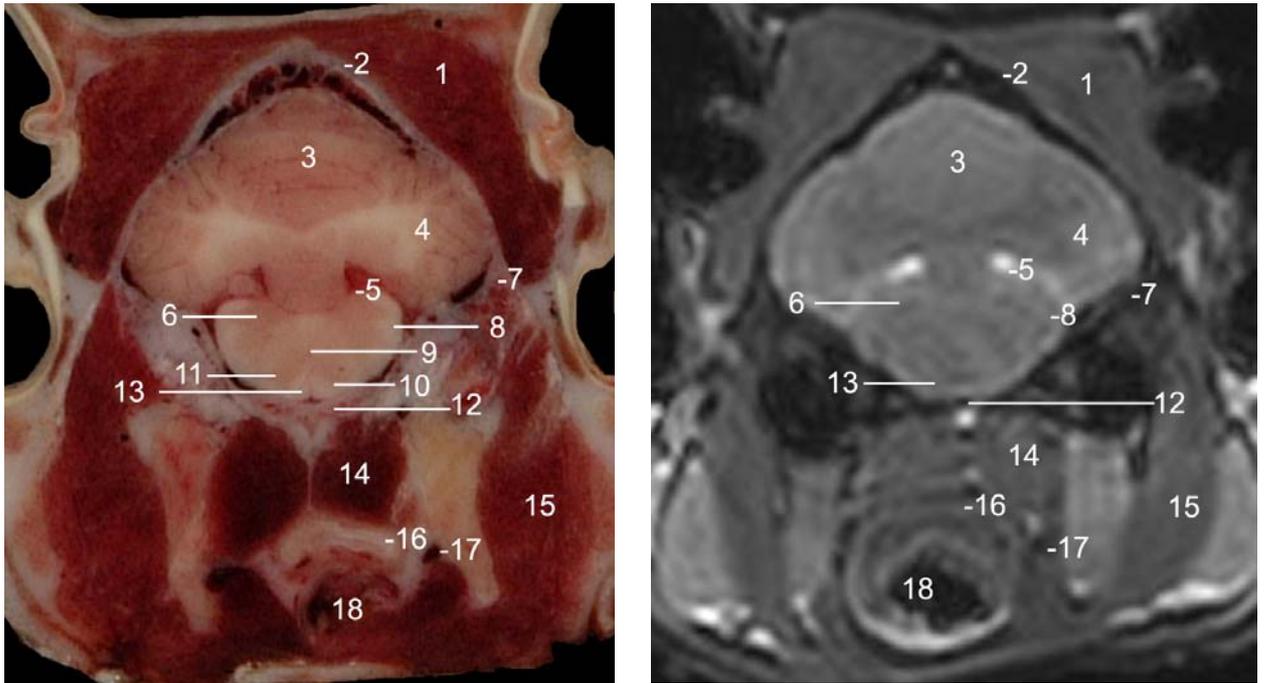


Abbildung 65: Katze 9, Schicht 41, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; rechts: CISS; Unten: Lokalizier: 1 M. temporalis; 2 Os parietale; 3 Vermis cerebelli; 4 Hemispherium cerebelli; 5 Ventriculus quartus; 6 Dorsalstrangkern: N. cuneatus und N. gracilis; 7 Os temporale; 8 Tractus spinalis n. trigemini; 9 Raphe; 10 Lemniscus medialis; 11 Nucleus olivaris; 12 Os occipitale; 13 Pyramis; 14 M. longus capitis; 15 M. sternocleidomastoideus; 16 Oesophagus; 17 A. carotis externa; 18 Trachea.

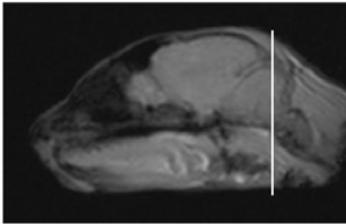
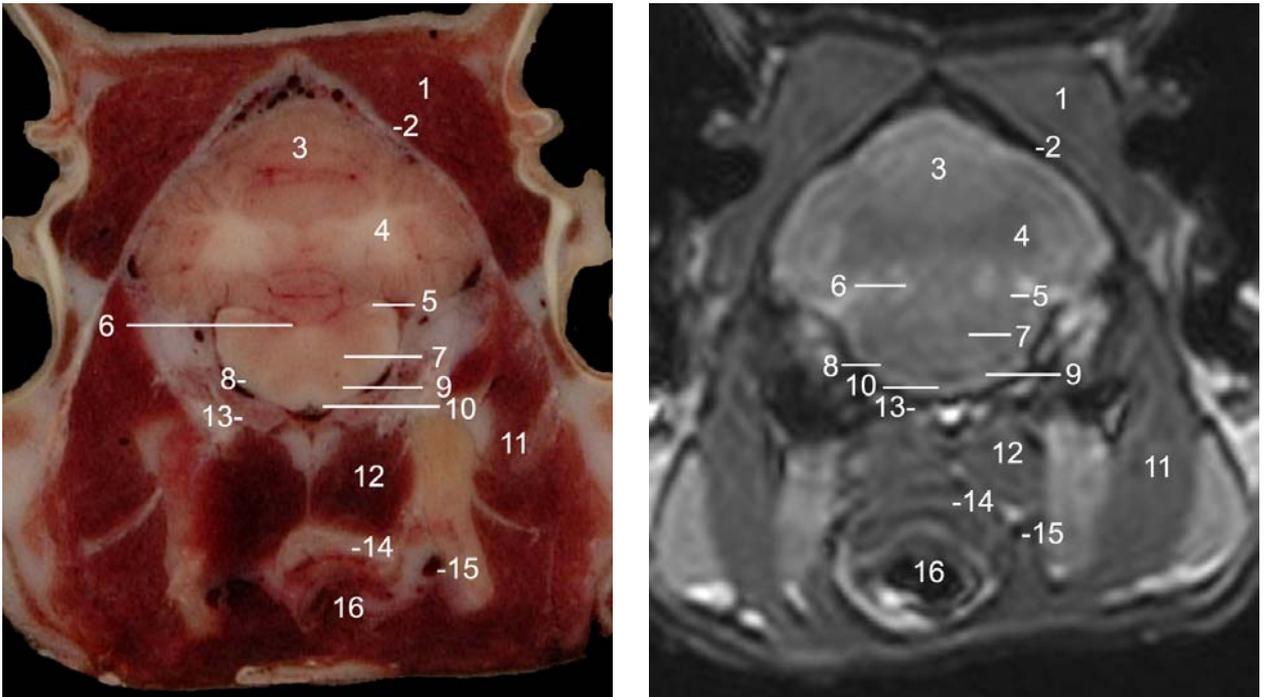


Abbildung 66: Katze 9, Schicht 40, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; rechts: CISS; Unten: Lokalizer: 1 M. temporalis; 2 Os parietale; 3 Substantia grisea cerebelli; 4 Substantia alba cerebelli; 5 Pedunculus cerebellaris caudalis sive Corpus restiforme; 6 Ventriculus quartus; 7 Formatio reticularis; 8 Tractus rubrospinalis (MONAKOWsches Bündel); 9 Nucleus funiculi lateralis; 10 Pyramis; 11 M. sternocleidomastoideus; 12 M. longus capitis; 13 Os occipitale; 14 Oesophagus; 15 A. carotis externa; 16 Trachea.

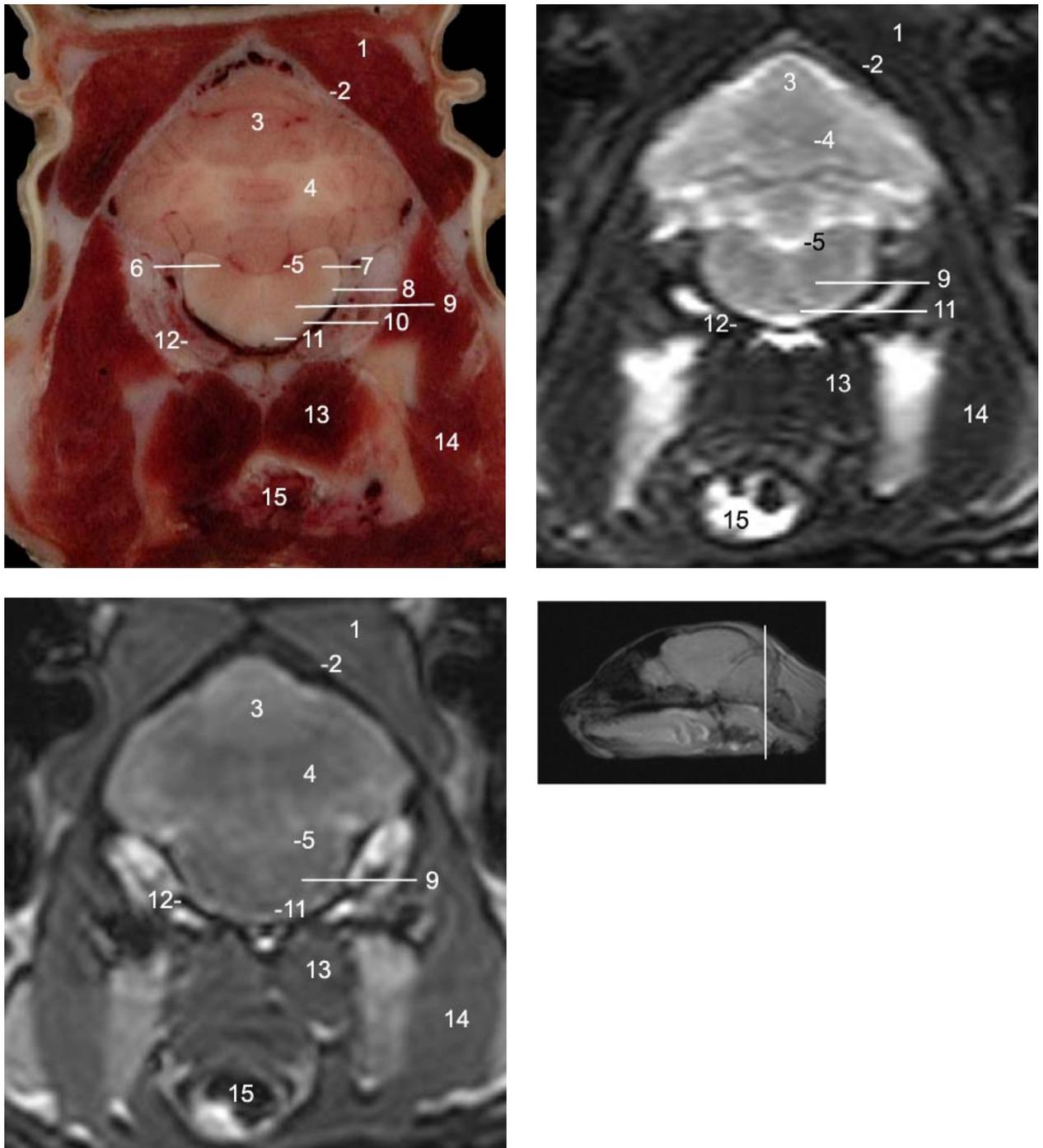


Abbildung 67: Katze 9, Schicht 39, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>2</sub>; Unten: links: CISS; rechts: Lokalisier: 1 M. temporalis; 2 Os parietale; 3 Substantia grisea cerebelli; 4 Substantia alba cerebelli; 5 Ventriculus quartus; 6 Nucleus gracilis; 7 Nucleus cuneatus; 8 Tractus spinalis n. trigemini; 9 Formatio reticularis mit Fibrae arcuatae profundae; 10 Nucleus funiculi lateralis; 11 Pyramis; 12 Os occipitale; 13 M. longus capitis et M. longus colli; 14 M. sternocleidomastoideus; 15 Trachea.

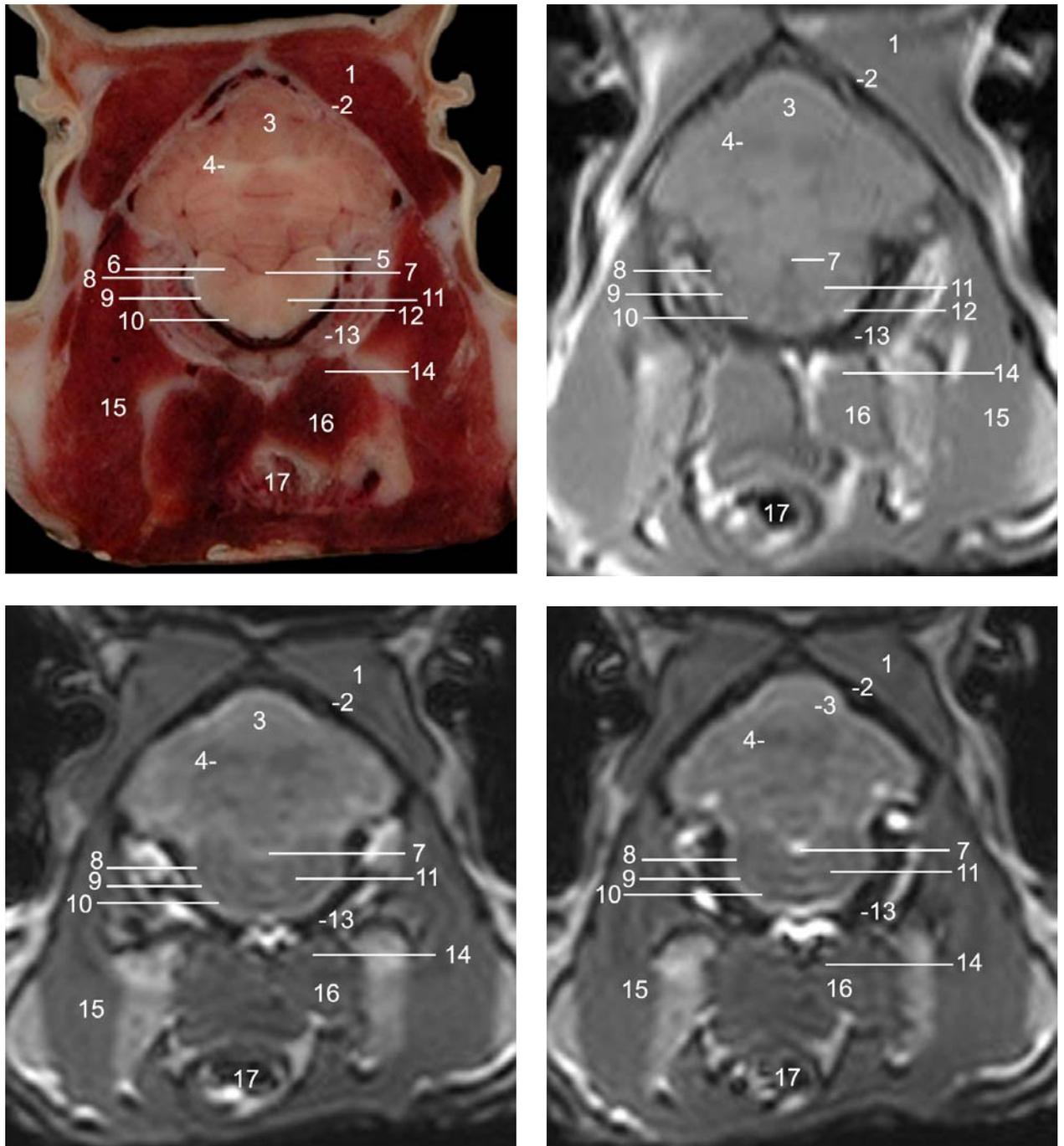


Abbildung 68: Katze 9, Schicht 38, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>1</sub>; Mitte: links: CISS Schicht 19; rechts: CISS Schicht 18; Unten: Lokalisier: 1 M. temporalis; 2 Os parietale; 3 Substantia grisea cerebelli; 4 Substantia alba cerebelli; 5 Nucleus cuneatus; 6 Nucleus gracilis; 5+6 Dorsalstrangkern; 7 Ventriculus quartus; 8 Tractus spinocerebellaris dorsalis; 9 Fibrae arcuatae superficiales; 10 Tractus spinocerebellaris ventralis; 11 Formatio reticularis mit Fibrae arcuatae profundae; 12 Nucleus funiculi lateralis; 13 Os occipitale; 14 M. rectus capitis ventralis; 15 M. sternocleidomastoideus; 16 M. longus capitis et M. longus colli; 17 Trachea.

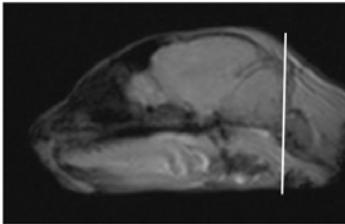
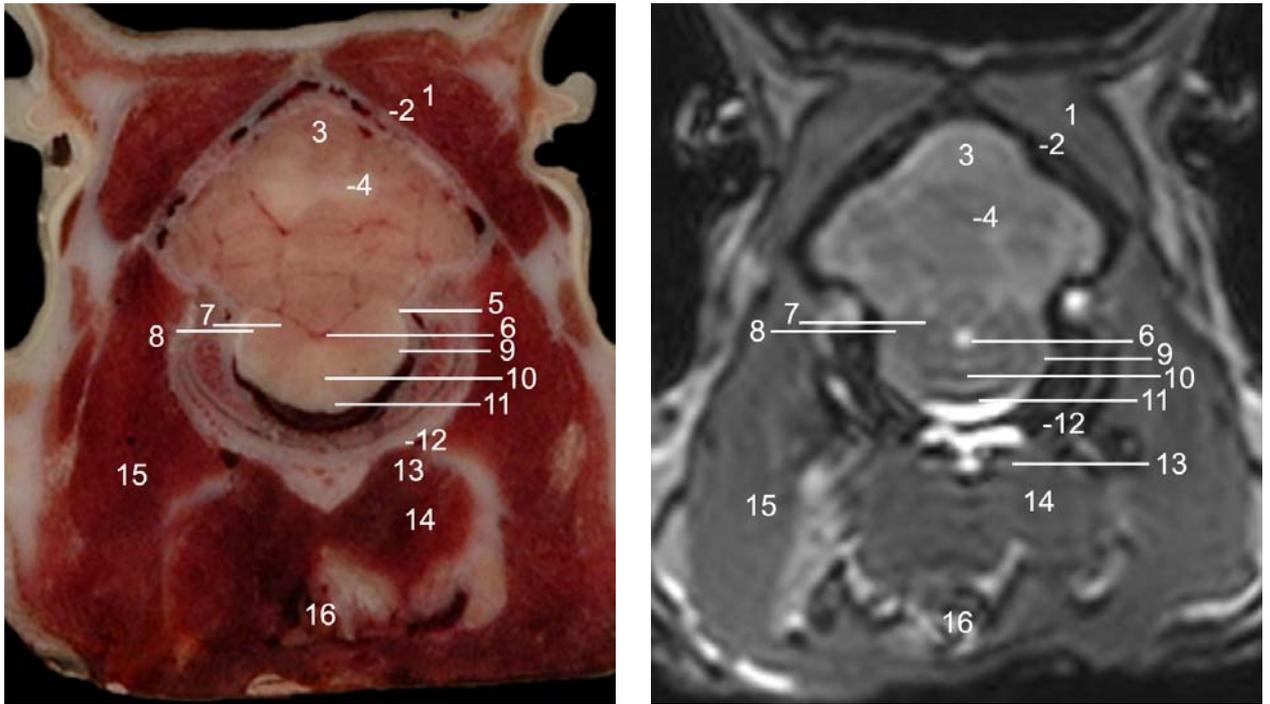


Abbildung 69: Katze 9, Schicht 37, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; rechts: CISS; Unten: Lokalizer: 1 M. temporalis; 2 Os parietale; 3 Substantia grisea cerebelli; 4 Substantia alba cerebelli; 5 Pedunculus cerebellaris caudalis sive Corpus restiforme; 6 Ventriculus quartus; 7 Nucleus gracilis; 8 Nucleus cuneatus; 7+8 Dorsalstrangkern; 9 Fibrae arcuatae superficiales; 10 Raphe; 11 Pyramis; 12 Atlas; 13 M. rectus capitis ventralis; 14 M. longus capitis et M. longus colli; 15 M. sternocleido-mastoideus; 16 Trachea.

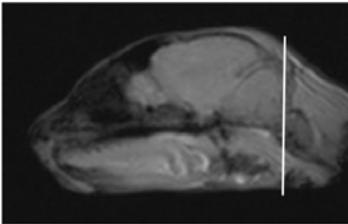
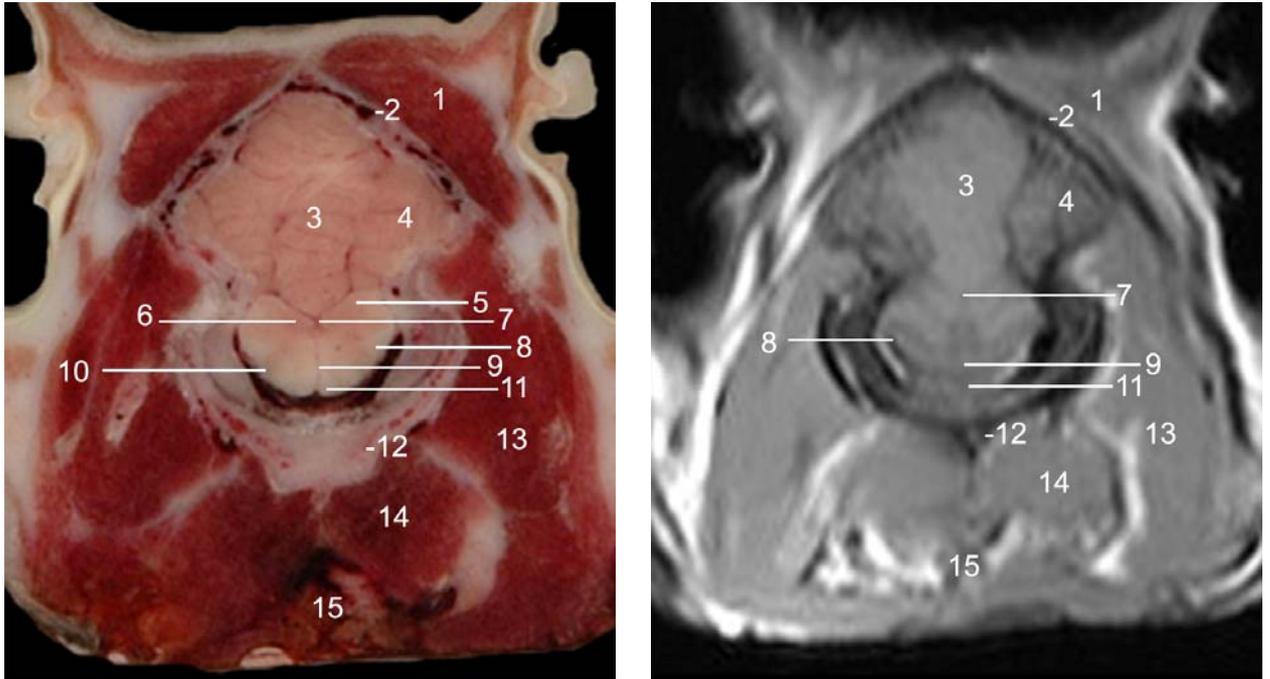


Abbildung 70: Katze 9, Schicht 36, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>1</sub>; Unten: Lokalizier: 1 M. temporalis; 2 Diploe des Os parietale; 3 Vermis cerebelli; 4 Hemispherium cerebelli; 5 Nucleus cuneatus; 6 Nucleus gracilis; 5+6 Dorsalstrangkerne; 7 Ventriculus quartus / Fossa rhomboidea; 8 Tractus rubrospinalis; 9 Raphe; 10 Nucleus funiculi lateralis; 11 Decussatio pyramidum; 12 Atlas; 13 M. sternocleidomastoideus; 14 M. longus capitis et M. longus colli; 15 Trachea.

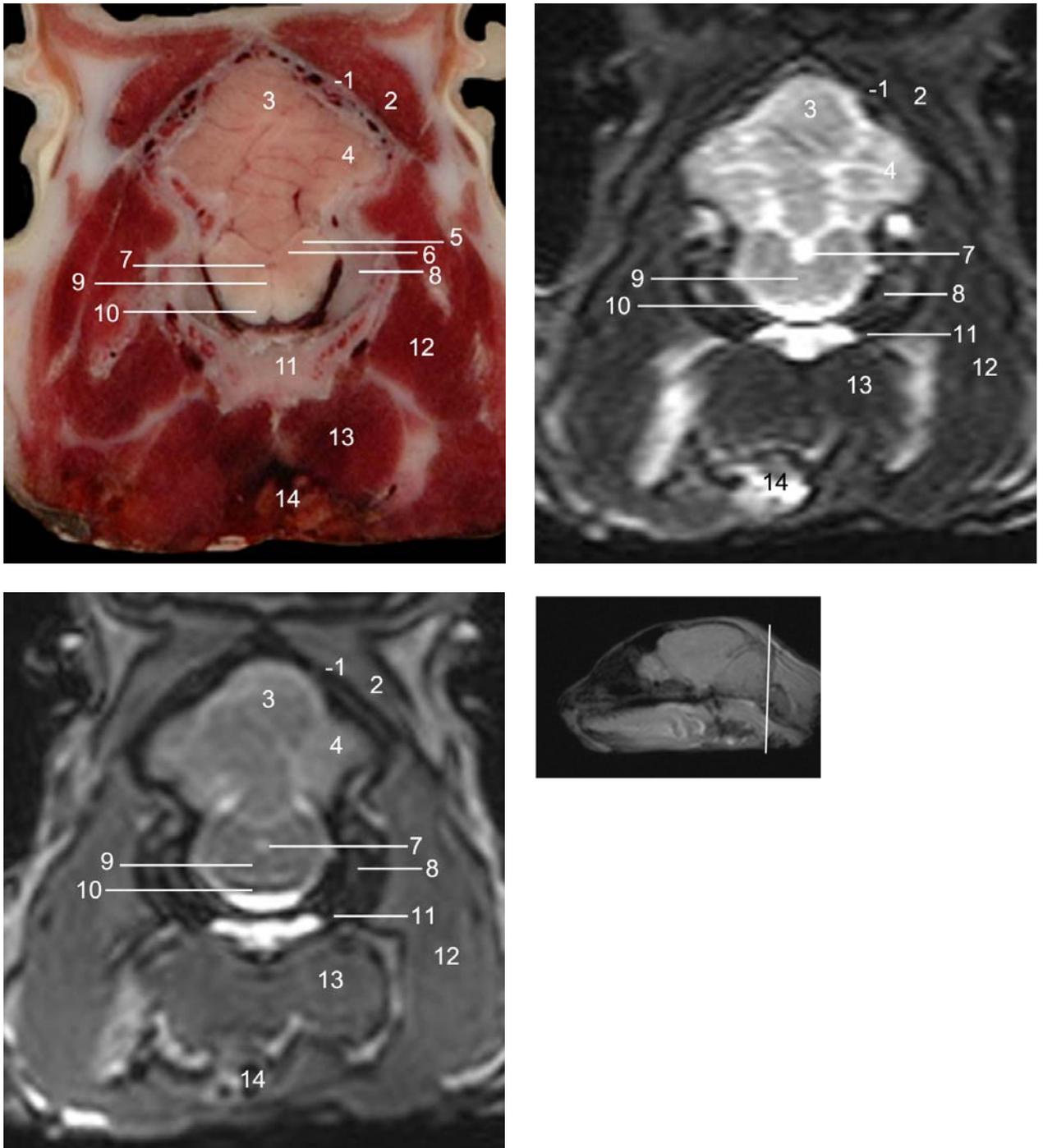


Abbildung 71: Katze 9, Schicht 35, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>2</sub>; Unten: links: CISS; rechts: Lokalizier: 1 Os parietale; 2 M. temporalis; 3 Vermis cerebelli; 4 Hemispherium cerebelli; 5 Nucleus cuneatus; 6 Nucleus gracilis; 5+6 Dorsalstrangkern; 7 Canalis centralis; 8 Condylus occipitalis; 9 Decussatio lemniscorum medialium der Fibrae arcuatae profundae; 10 Decussatio pyramidum; 11 Atlas; 12 M. sternocleidomastoideus; 13 M. longus capitis et M. longus colli; 14 Trachea.

#### 4.2.1.10 Querschnitte durch das Cerebellum und den rostralen Teil der Pars cervicalis der Medulla spinalis

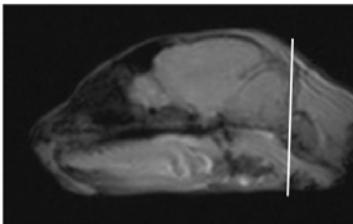
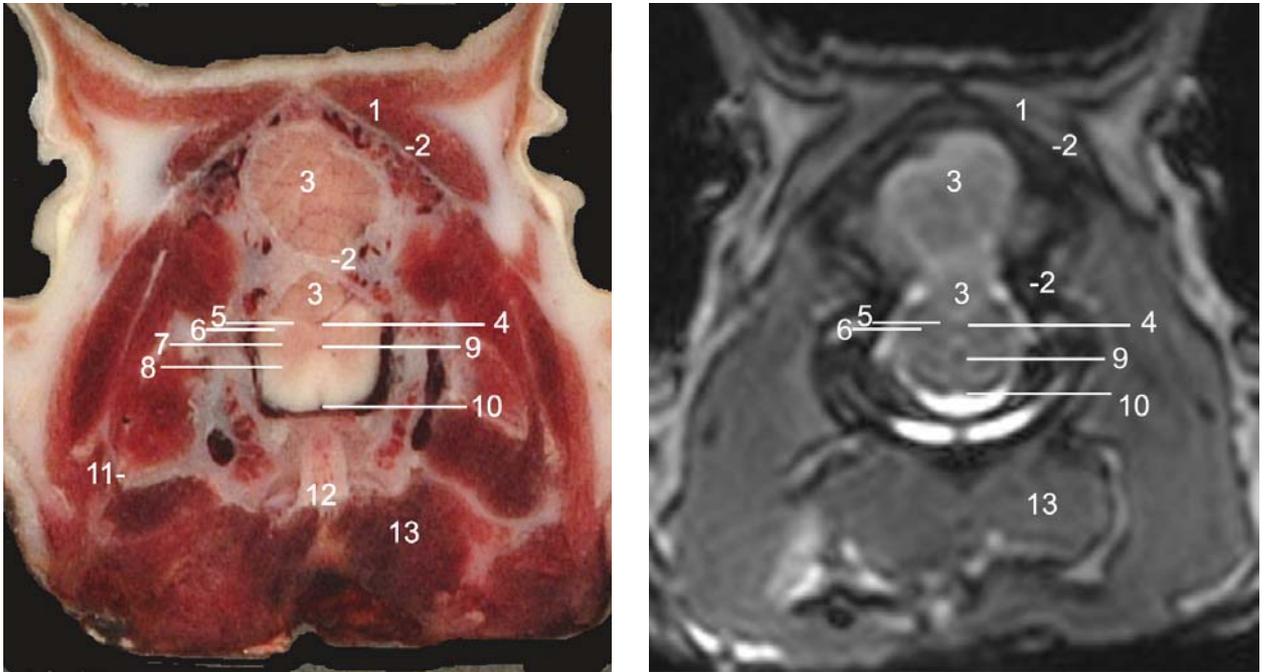


Abbildung 72: Katze 9, Schicht 33, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; rechts: CISS; Unten: Lokalizer: 1 M. temporalis; 2 Diploe des Os occipitale; 3 Vermis cerebelli; 4 Sulcus medianus dorsalis; 5 Fasciculus gracilis; 6 Fasciculus cuneatus; 7 Cornu dorsale der Substantia grisea der Medulla spinalis; 8 Cornu ventrale der Substantia grisea der Medulla spinalis; 9 Canalis centralis; 10 Fissura mediana ventralis; 11 Ala atlantis; 12 Dens axis; 13 M. longus capitis et M. longus colli.

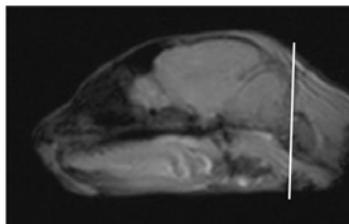
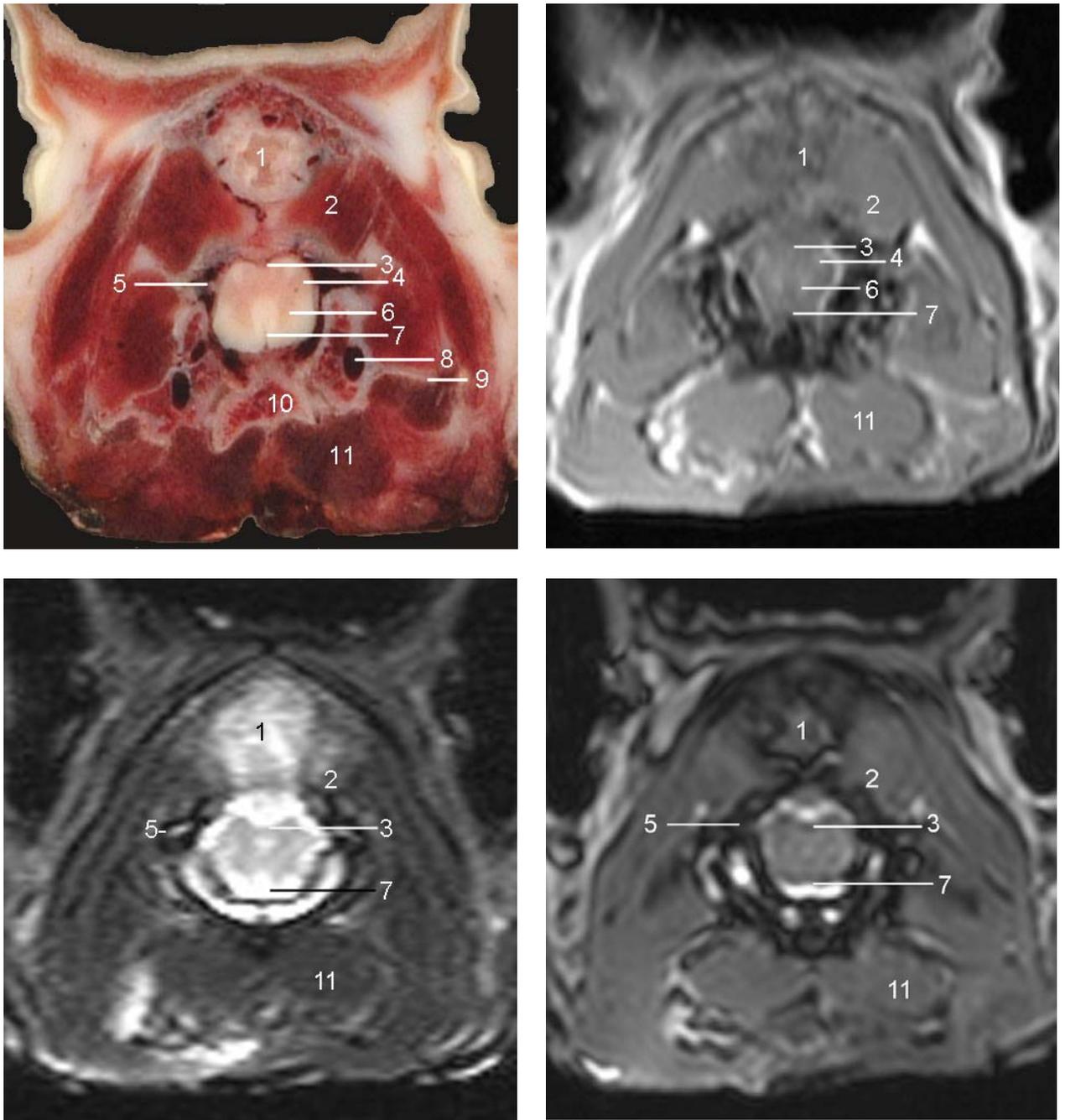


Abbildung 73: Katze 9, Schicht 31, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>1</sub>; Unten: links: T<sub>2</sub>; rechts: CISS; Unten: Lokalizier: 1 Cerebellum; 2 M. rectus capitis dorsalis major und minor; 3 Sulcus medianus dorsalis; 4 Cornu dorsale der Substantia grisea der Medulla spinalis; 5 Radix dorsalis; 6 Cornu ventrale der Substantia grisea der Medulla spinalis; 7 Fissura mediana ventralis; 8 Foramen transversarium des Atlas, 9 Ala atlantis; 10 Axis; 11 M. longus colli.

#### 4.2.1.11 Querschnitte durch den rostralen Teil der Pars cervicalis der Medulla spinalis

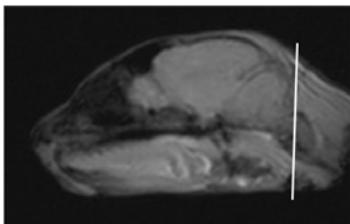
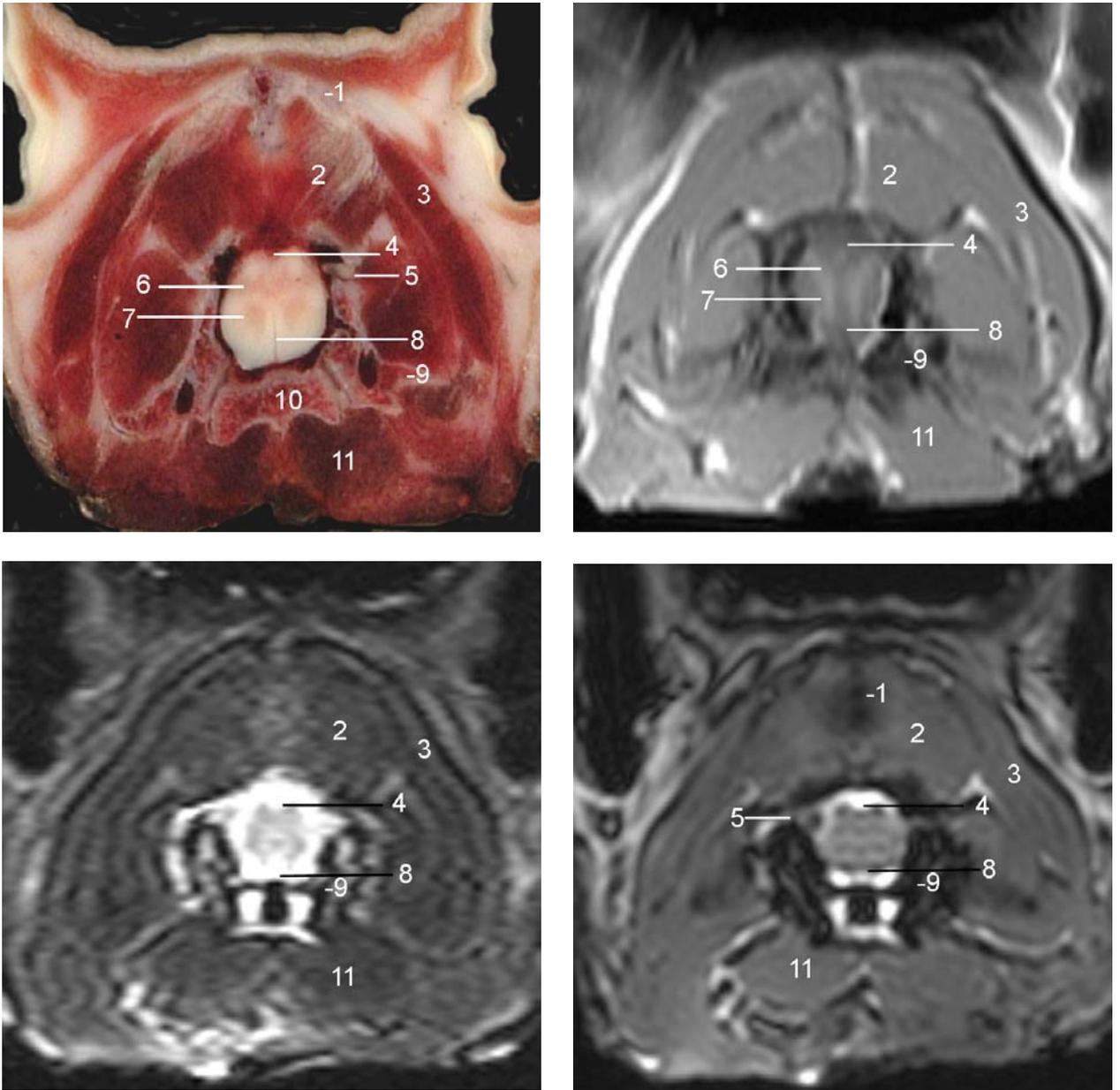


Abbildung 74: Katze 9, Schicht 30, 1,5 Tesla: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>1</sub>; Mitte: links: T<sub>2</sub>; rechts: CISS; Unten: Lokalizier: 1 Os occipitale; 2 M. rectus capitis dorsalis major und minor; 3 M. splenius; 4 Sulcus medianus dorsalis; 5 Truncus n. spinalis I; 6 Cornu dorsale der Substantia grisea der Medulla spinalis; 7 Cornu ventrale der Substantia grisea der Medulla spinalis; 8 Fissura mediana ventralis; 9 Atlas; 10 Axis; 11 M. longus colli.

## 4.2.2 Sagittale Darstellung des Katzenkopfes

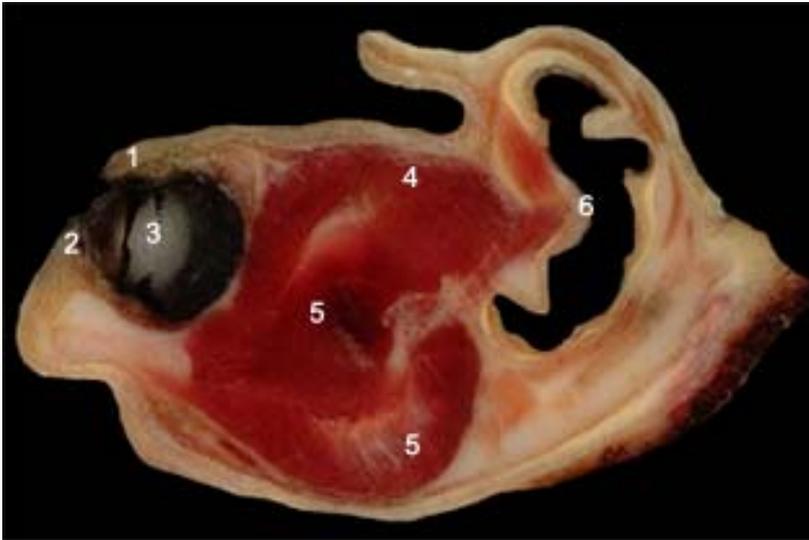


Abbildung 75: Katze 1,  
Schicht 32, 0,25 T: Links:  
Oben: anatomisch; Mitte:

T<sub>1</sub>; Unten: T<sub>2</sub>;

Rechts: Lokalizer:

1. Palpebra superior
2. Palpebra inferior
3. Lens
4. M. temporalis
5. M. masseter
6. Meatus acusticus externus.

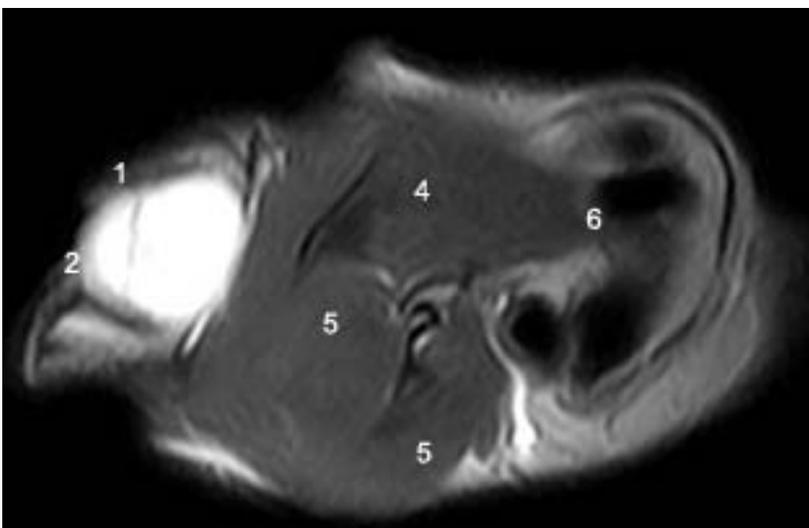
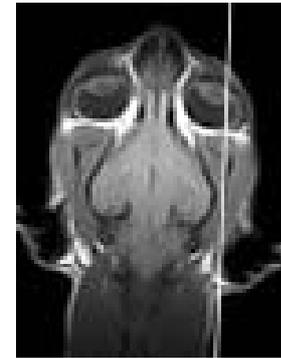
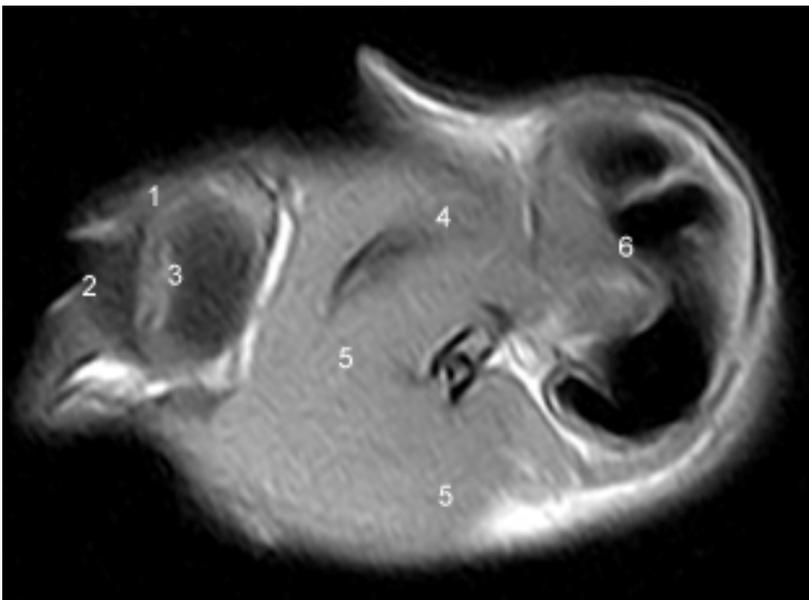
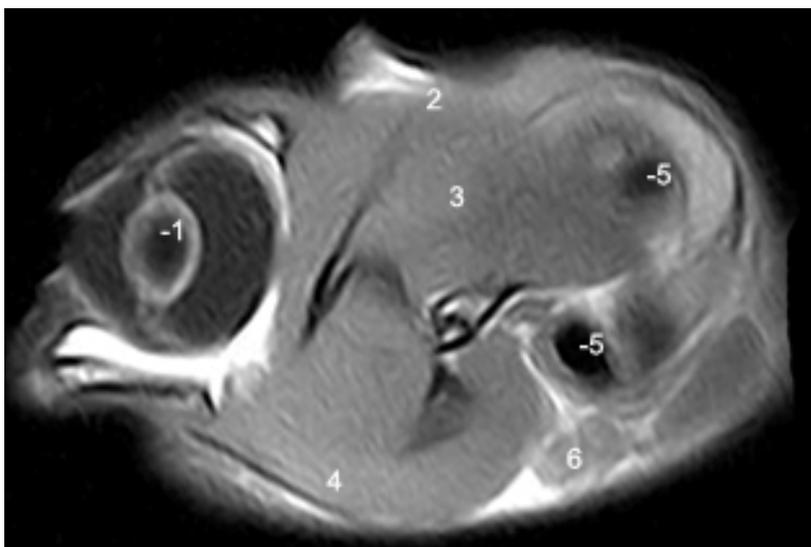
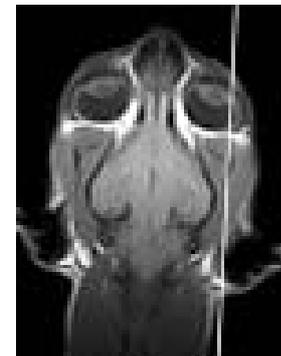
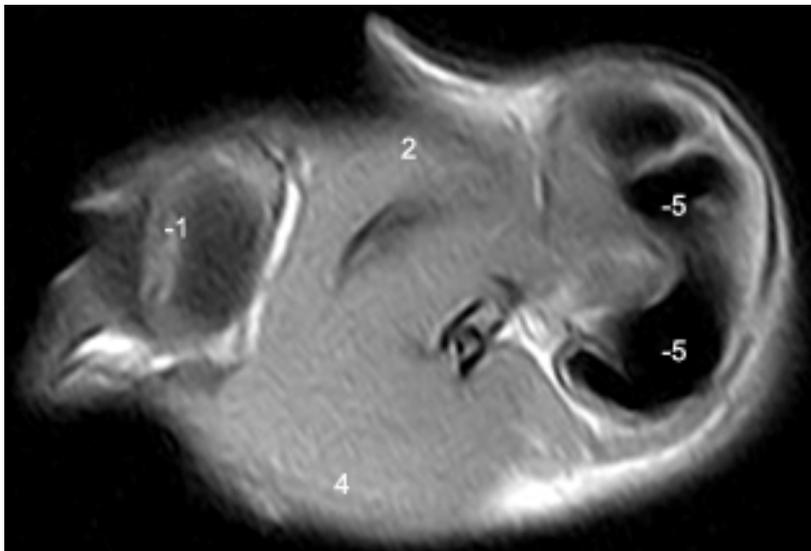




Abbildung 76: Katze 1,  
Schicht 78, 0,25 T: Links:  
Oben: anatomisch; Mitte:  
T<sub>1</sub>,Schicht 4; Unten: T<sub>1</sub>,Schicht 5;

Rechts: Lokalizer:

1. Lens
2. M. temporalis
3. Telencephalon
4. M. masseter
5. Meatus acusticus exter-  
nus
6. Glandula mandibularis
7. Glandula sublingualis  
major.



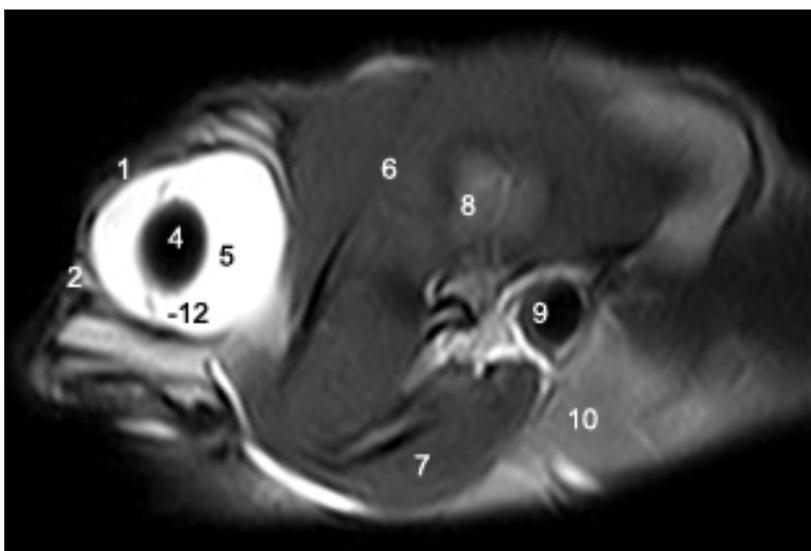
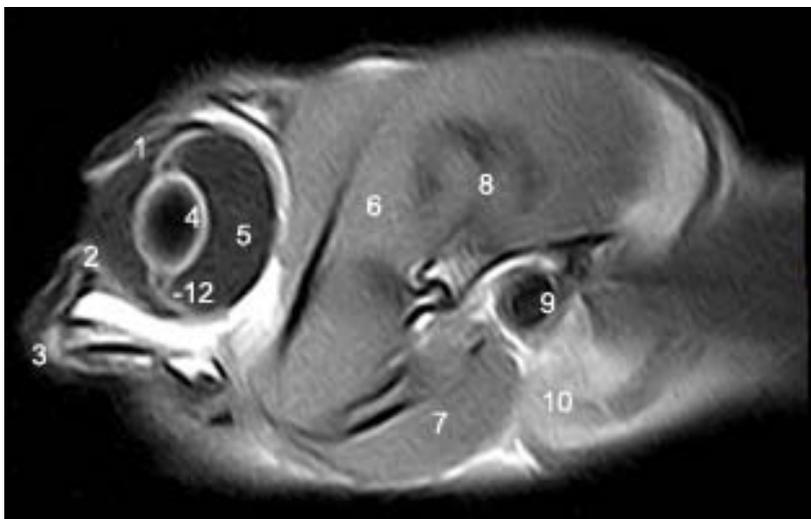
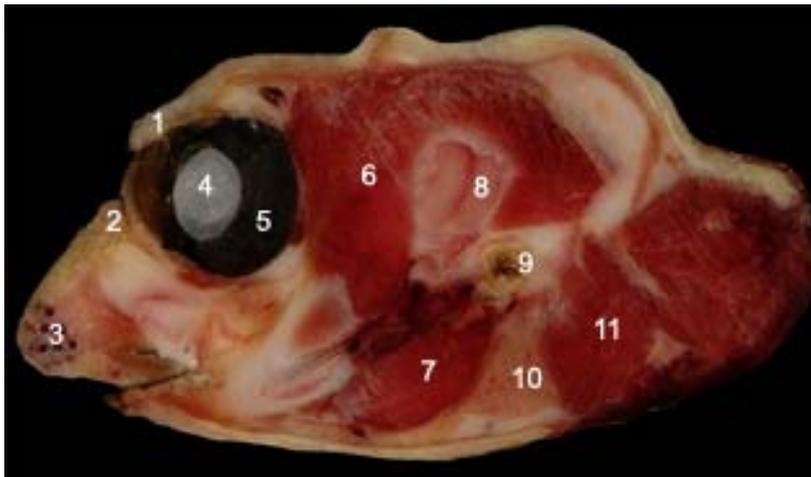
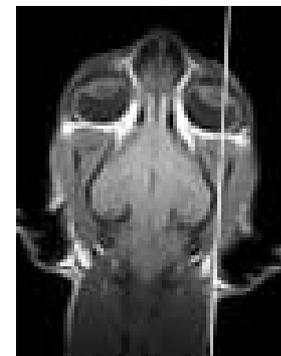


Abbildung 77: Katze 1,  
Schicht 38, 0,25 T: Links:  
Oben: anatomisch; Mitte:  
T<sub>1</sub>; Unten: T<sub>2</sub>;

Rechts: Lokalizier:

1. Palpebra superior
2. Palpebra inferior
3. Ansatzstelle der Tasthaare
4. Lens
5. Corpus vitreum
6. M. temporalis
7. M. pterygoideus medialis
8. Telencephalon
9. Meatus acusticus externus
10. Glandula mandibularis
11. M. sternocleidomastoideus
12. Iris.



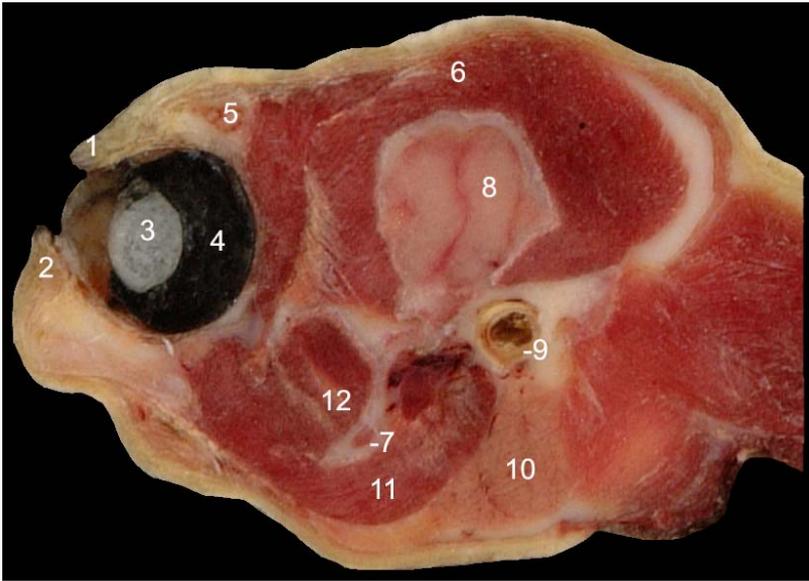
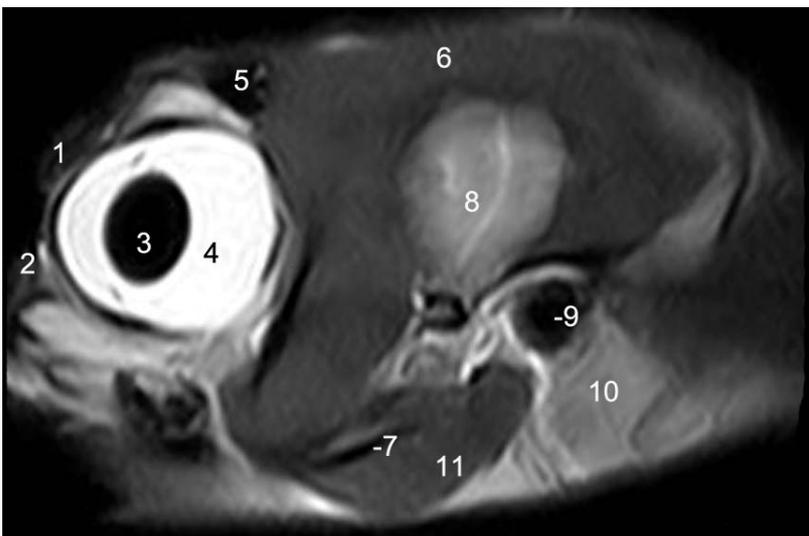
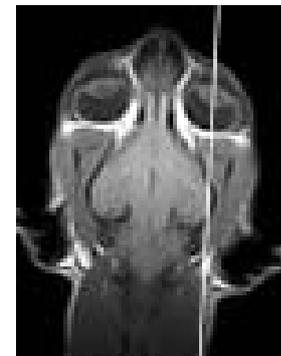
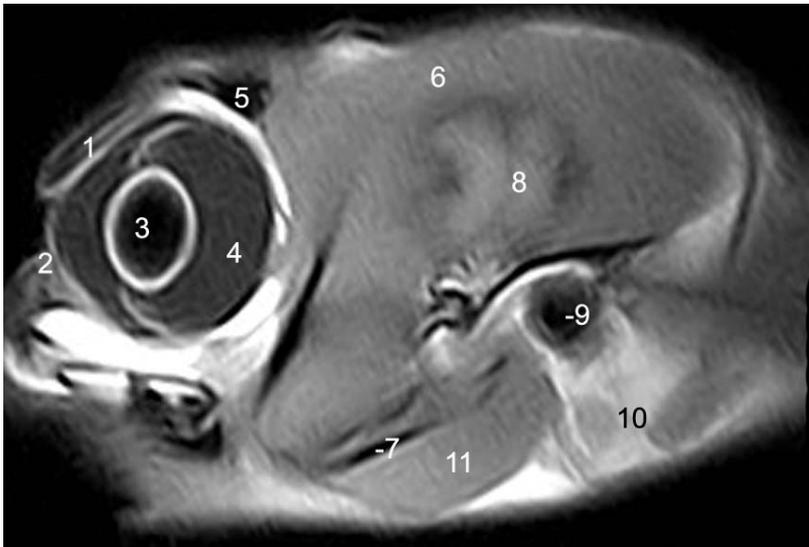


Abbildung 78: Katze 1, Schicht 75, 0,25 T: Links: Oben: anatomisch; Mitte: T<sub>1</sub>; Unten: T<sub>2</sub>; Rechts: Lokalizer:  
 1. Palpebra superior  
 2. Palpebra inferior  
 3. Lens  
 4. Corpus vitreum  
 5. Sinus frontalis  
 6. M. temporalis  
 7. Mandibula  
 8. Telencephalon  
 9. Meatus acusticus externus  
 10. Glandula mandibularis  
 11. M. pterygoideus med.  
 12. M. masseter.



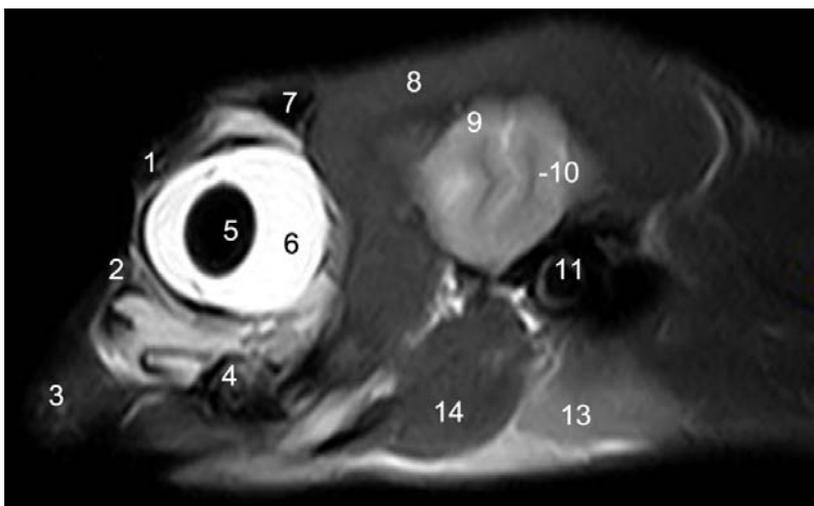
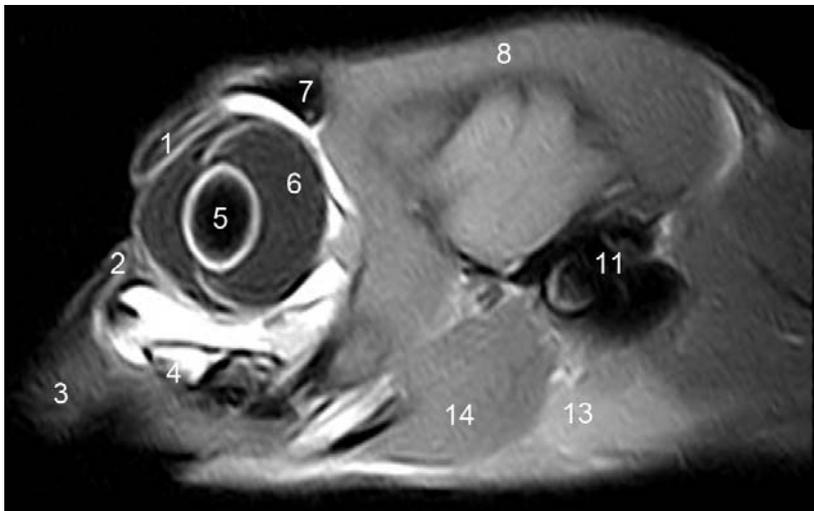
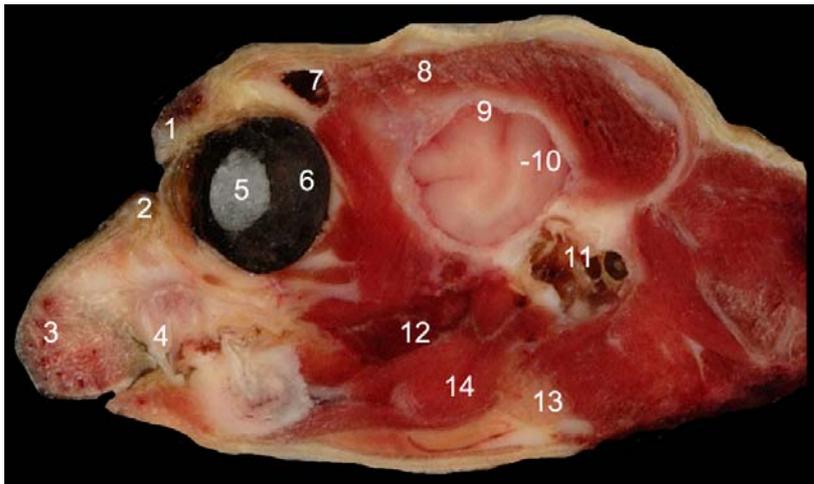
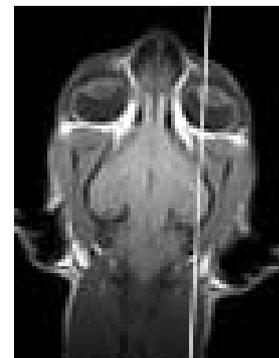


Abbildung 79: Katze 1,  
Schicht 41, 0,25 T: Links:  
Oben: anatomisch;  
Mitte: T<sub>1</sub>; Unten: T<sub>2</sub>;  
Rechts: Lokalizer:

1. Palpebra superior
2. Palpebra inferior
3. Planum nasale
4. Caninus
5. Lens
6. Corpus vitreum
7. Sinus frontalis
8. M. temporalis
9. Substantia grisea telencephali
10. Substantia alba telencephali
11. Pars petrosa ossis temporalis
12. Lingua
13. Glandula mandibularis
14. M. pterygoideus med.



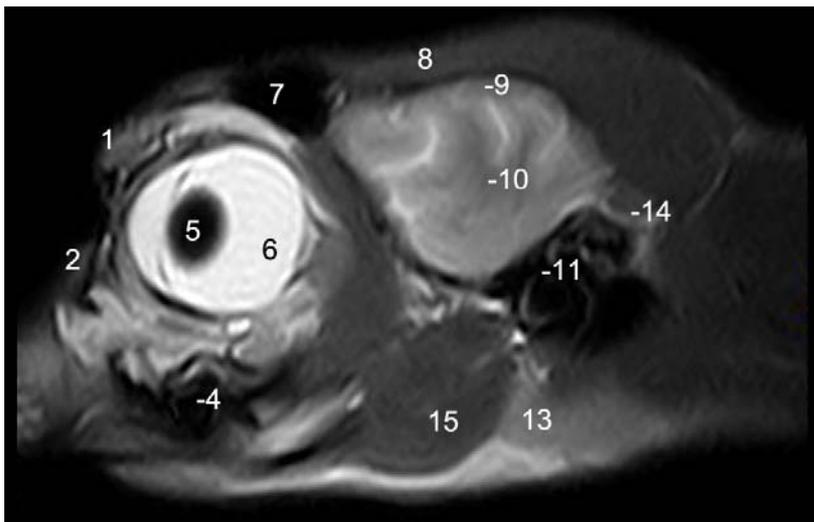
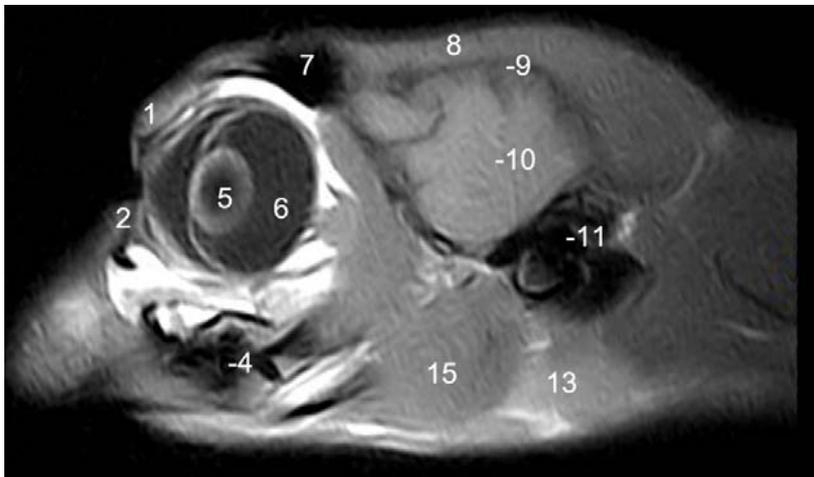
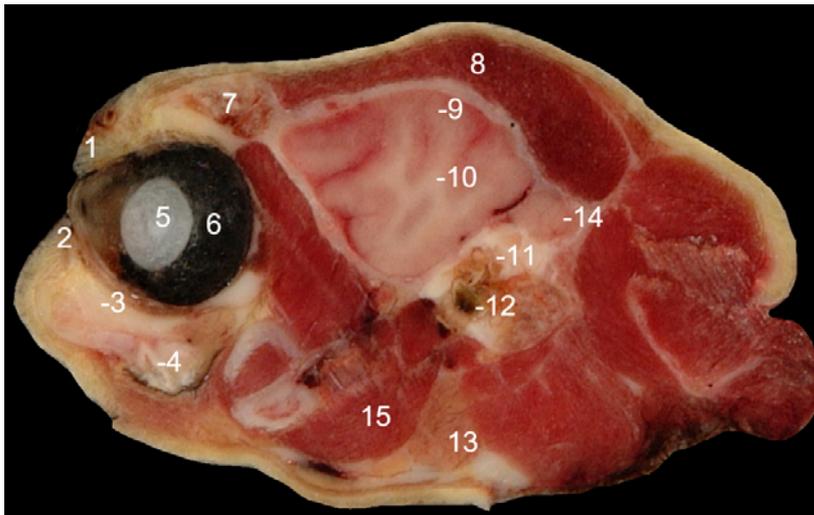
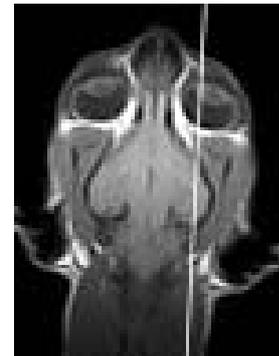


Abbildung 80: Katze 1,  
Schicht 72, 0,25 T: Links:  
Oben: anatomisch; Mitte:  
T<sub>1</sub>; Unten: T<sub>2</sub>;

Rechts: Lokalizer:

1. Palpebra superior
2. Palpebra inferior
3. Os zygomaticum
4. Dens praemolaris
5. Lens
6. Corpus vitreum
7. Sinus frontalis
8. M. temporalis
9. Substantia grisea telen-  
cephali
10. Substantia alba telen-  
cephali
11. Pars petrosa ossis tem-  
poralis
12. Meatus acusticus exter-  
nus
13. Glandula mandibularis
14. Cerebellum
15. M. pterygoideus med.



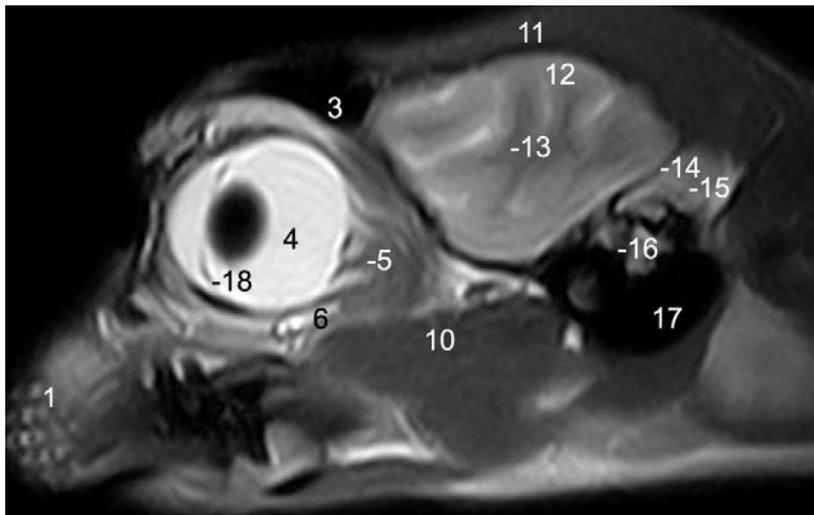
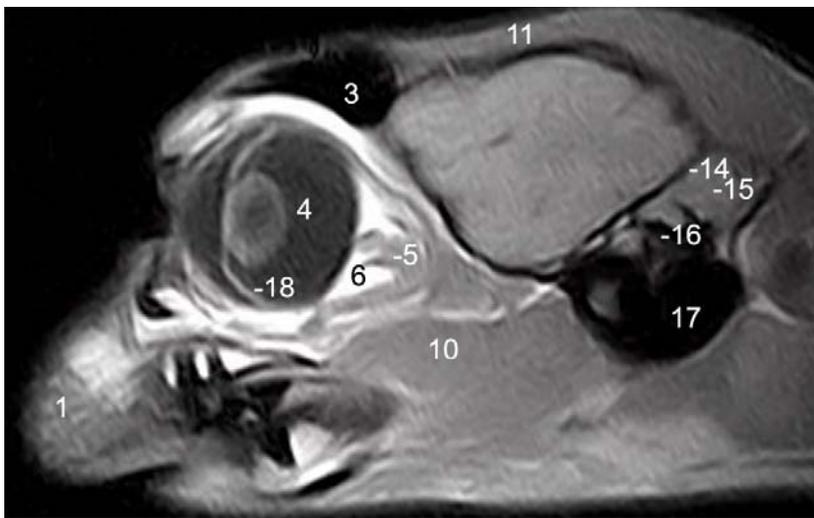
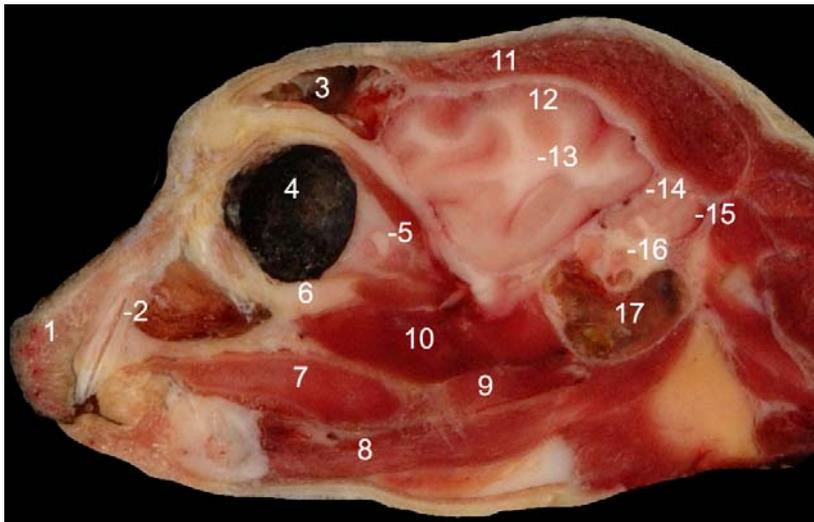
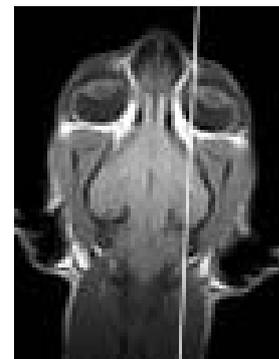


Abbildung 81: Katze 1,  
Schicht 45, 0,25 T: Links:  
Oben: anatomisch; Mitte:  
T<sub>1</sub>; Unten: T<sub>2</sub>;

Rechts: Lokalizer:

1. Planum nasale
2. Caninus
3. Sinus frontalis
4. Bulbus oculi
5. N. opticus
6. Corpus adiposum intraperiorbitale
7. Lingua
8. M. digastricus
9. M. styloglossus
10. M. pterygoideus med.
11. M. temporalis
12. Substantia grisea telencephali
13. Substantia alba telencephali
14. Tentorium cerebelli osseum
15. Cerebellum
16. Pars petrosa ossis temporalis
17. Bulla tympanica
18. Iris.



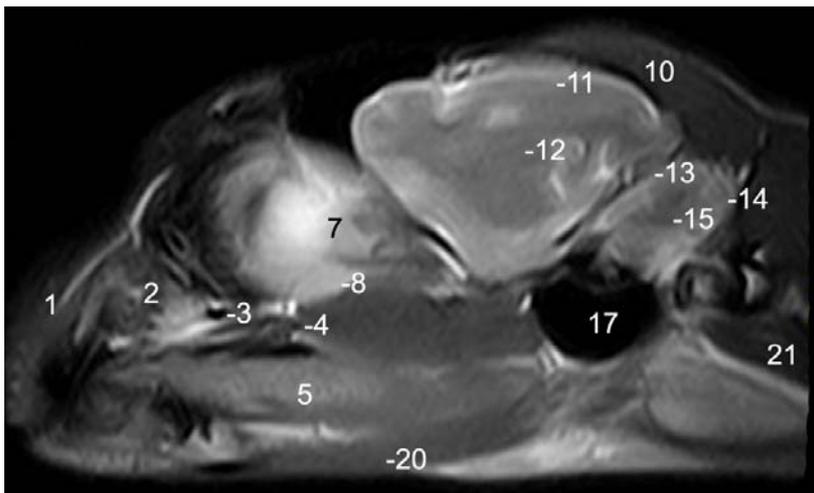
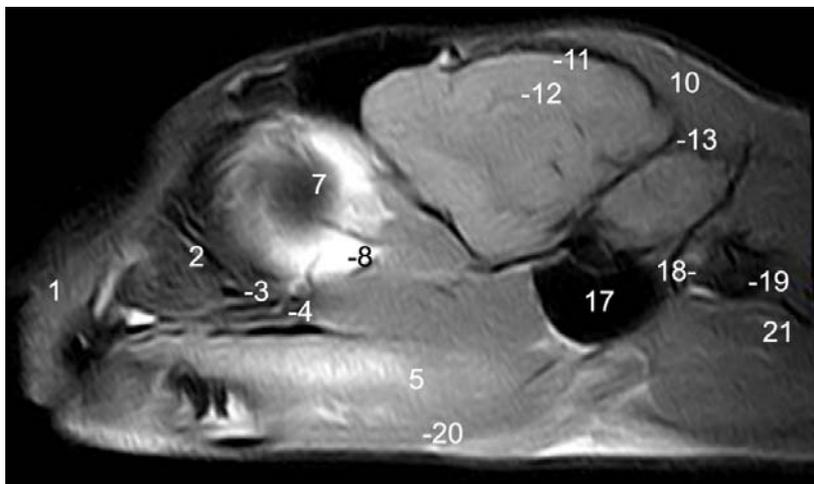
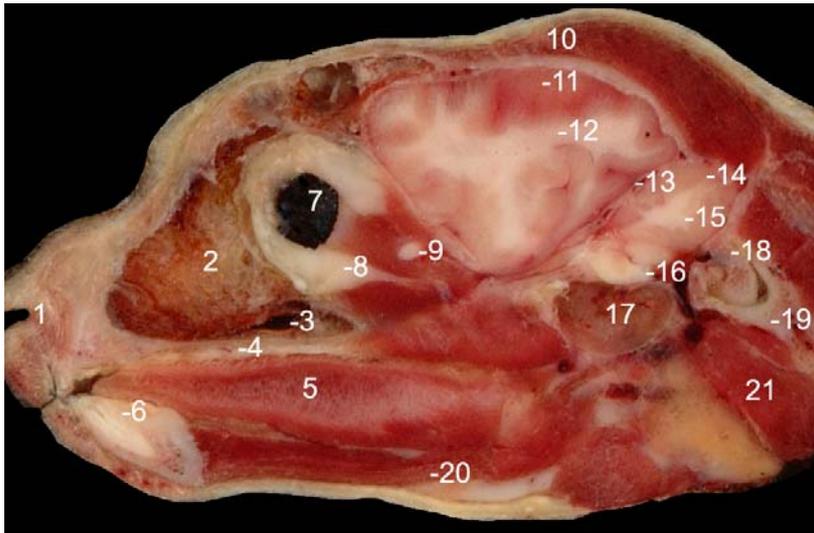
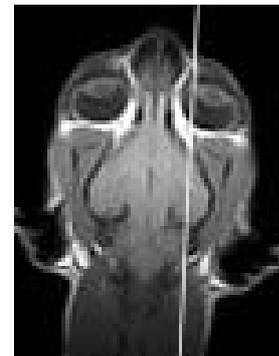


Abbildung 82: Katze 1, Schicht 66, 0,25 T: Links: Oben: anatomisch; Mitte: T<sub>1</sub>; Unten: T<sub>2</sub>;

Rechts: Lokalizer:

1. Planum nasale
2. Concha nasalis media
3. Meatus nasi ventralis
4. Palatum durum
5. Lingua
6. Caninus
7. Bulbus oculi
8. Corpus adiposum intaperiorbitale
9. N. opticus
10. M. temporalis
11. Substantia grisea telencephali
12. Substantia alba telencephali
13. Tentorium cerebelli osseum
14. Substantia grisea cerebelli
15. Substantia alba cerebelli
16. Pons
17. Bulla tympanica
18. Condylus occipitalis
19. Atlas
20. M. geniohyoideus
21. M. sternocleidomastoideus.



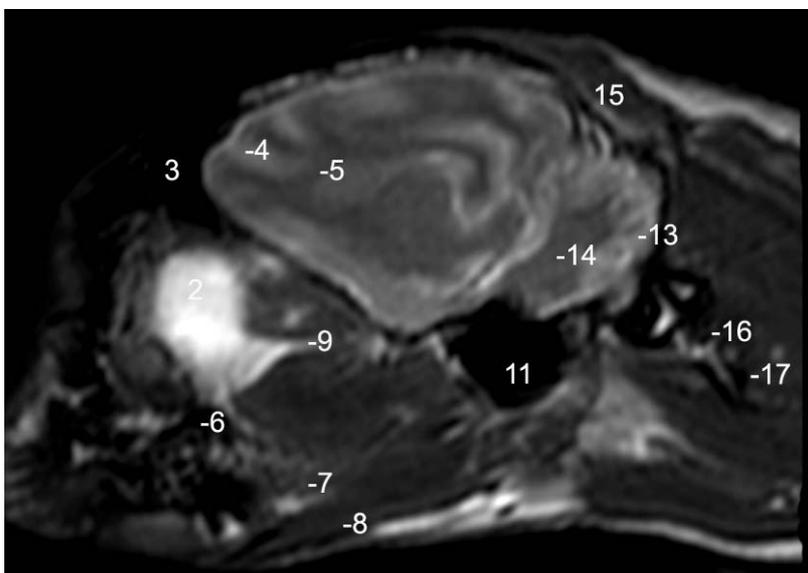
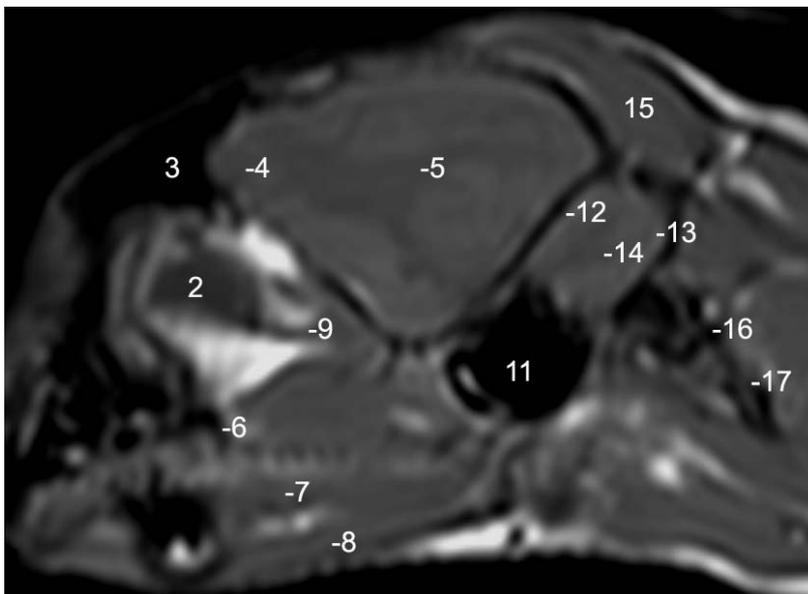
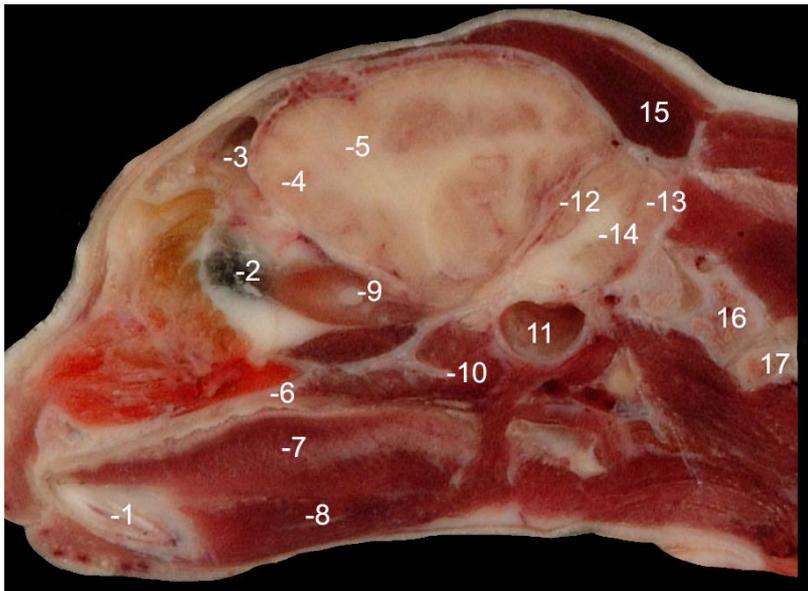
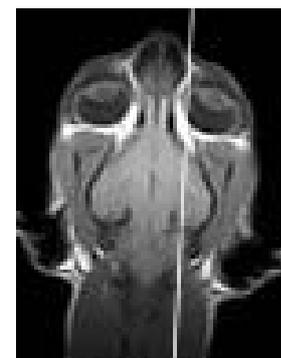


Abbildung 83: Katze 13, Schicht 57, 3,0 T: Links: Oben: anatomisch; Mitte: T<sub>1</sub>; Unten: T<sub>2</sub>;

Rechts: Lokalizer:

1. Caninus
2. Bulbus oculi
3. Sinus frontalis
4. Substantia grisea telen-cephali
5. Substantia alba telen-cephali
6. Palatum durum
7. Lingua
8. M. geniohyoideus
9. N. opticus
10. Hamulus pterygoideus
11. Bulla tympanica
12. Tentorium cerebellum osseum
13. Substantia grisea cerebelli
14. Substantia alba cerebelli
15. M. temporalis
16. Atlas
17. Axis.



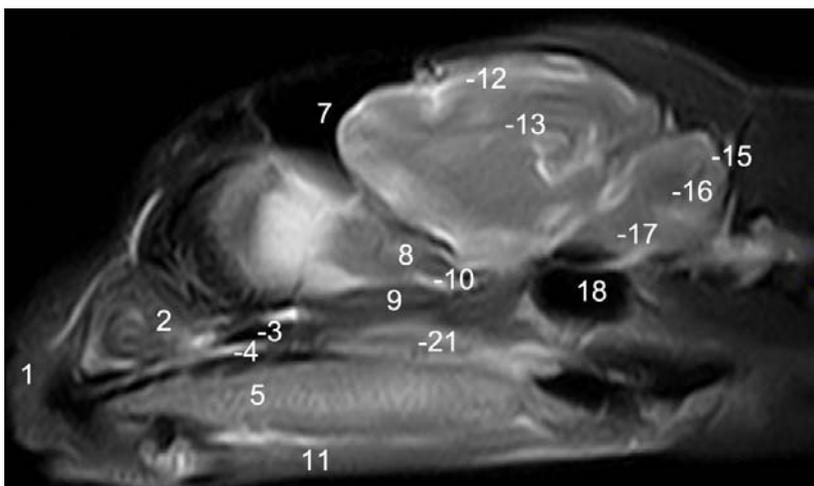
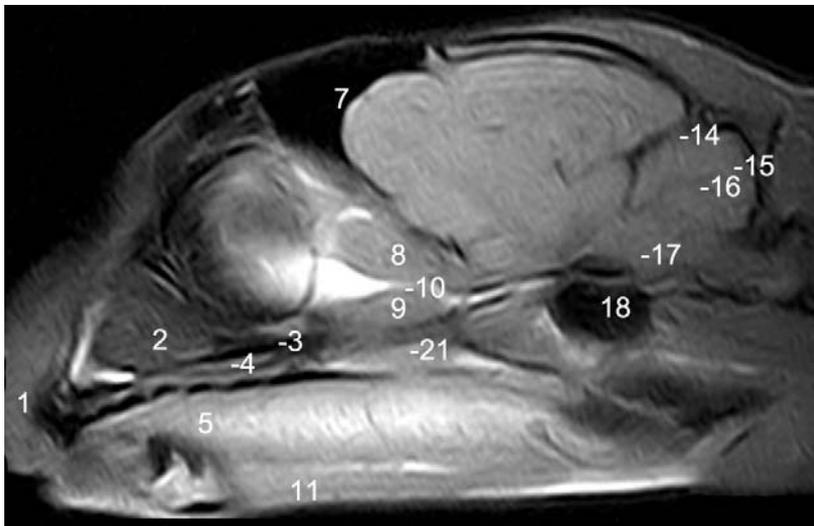
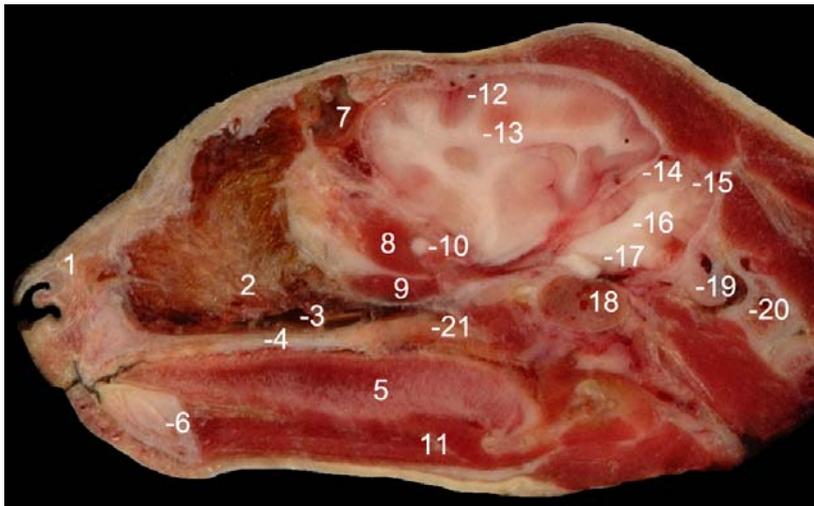
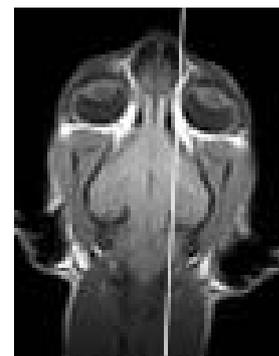


Abbildung 84: Katze 1, Schicht 51, 0,25 T: Links: Oben: anatomisch; Mitte: T<sub>1</sub>; Unten: T<sub>2</sub>;

Rechts: Lokalizer:

1. Naris
2. Concha nasalis ventralis
3. Meatus nasi ventralis
4. Palatum durum
5. Lingua
6. Caninus
7. Sinus frontalis
8. M. rectus medialis des Bulbus oculi
9. M. rectus ventralis des Bulbus oculi
10. N. opticus
11. M. geniohyoideus
12. Substantia grisea telencephali
13. Substantia alba telencephali
14. Tentorium cerebelli osseum
15. Substantia grisea cerebelli
16. Substantia alba cerebelli
17. Pons
18. Bulla tympanica
19. Condylus occipitalis
20. Atlas
21. Palatum molle.



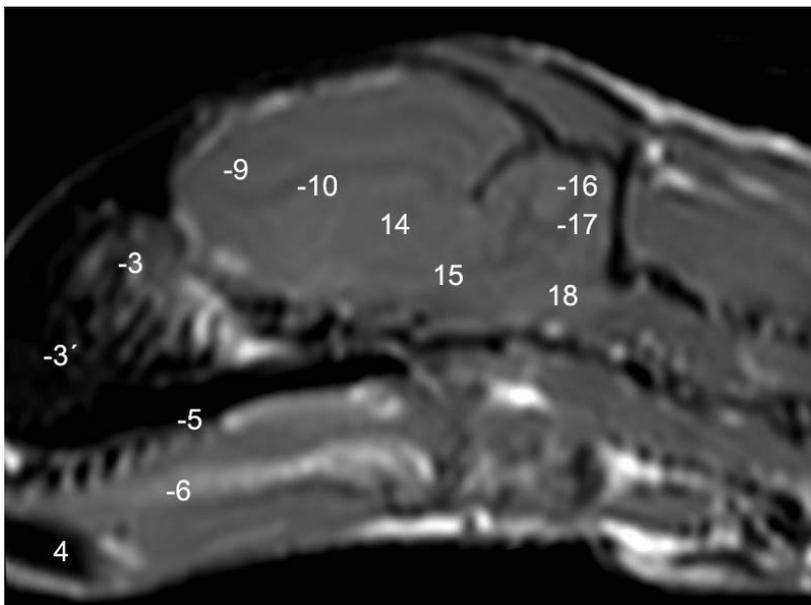
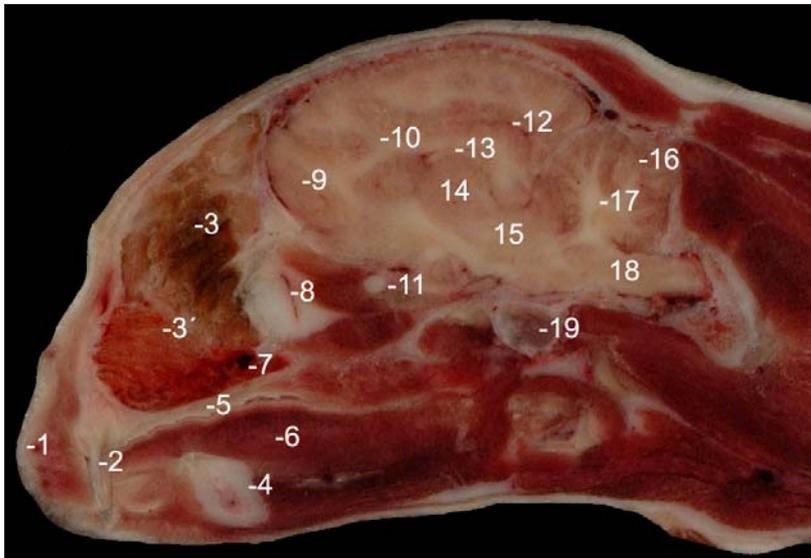


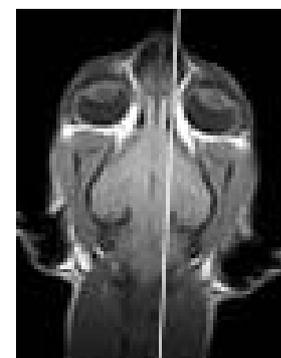
Abbildung 85: Katze 13, Schicht 44, 3,0 T: Links:

Oben: anatomisch;

Unten: T<sub>1</sub>;

Rechts: Lokalizier:

1. Planum nasale
2. Caninus
3. Ethmoturbinalia;
- 3' Maxilloturbinalia
4. Mandibula
5. Palatum durum
6. Lingua
7. Meatus nasi ventralis
8. Corpus adiposum intraperiorbitale
9. Substantia grisea telencephali
10. Substantia alba telencephali
11. N. opticus
12. Ventriculus lateralis
13. Ventriculus tertius
14. Thalamus
15. Mesencephalon
16. Substantia grisea cerebelli
17. Substantia alba cerebelli
18. Medulla oblongata
19. Bulla tympanica.



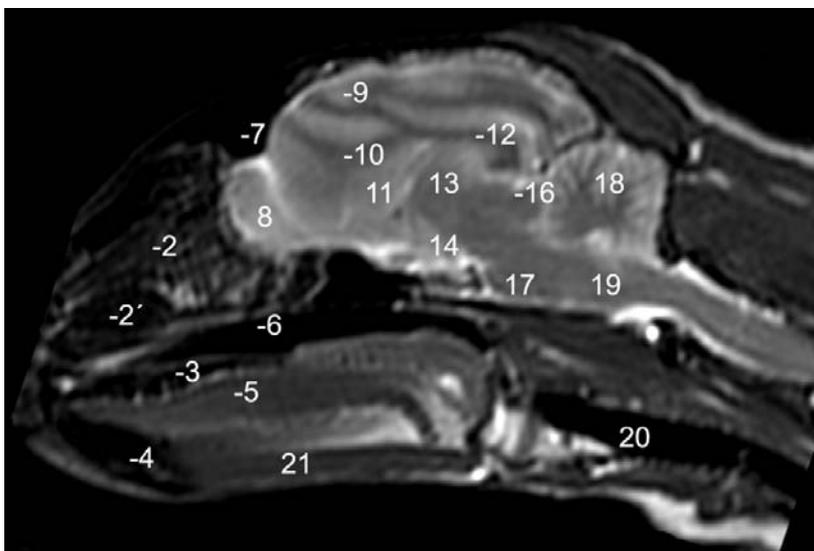
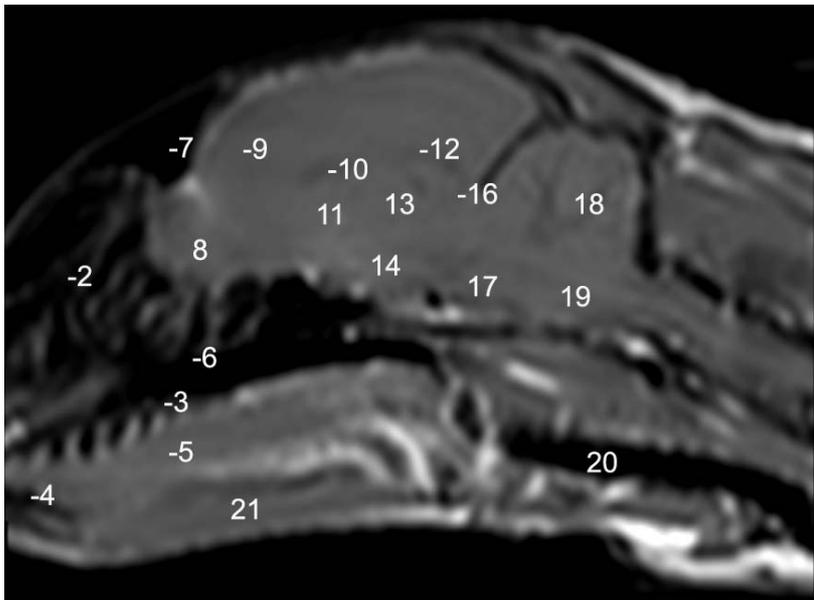
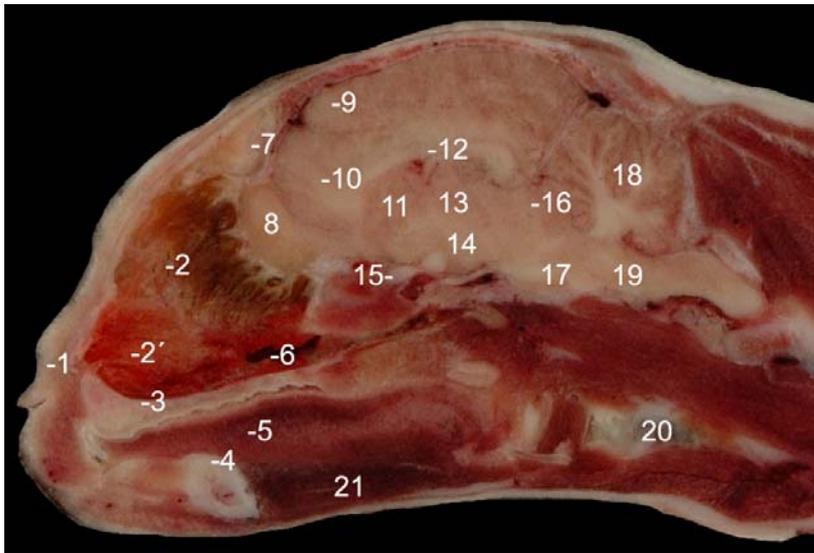
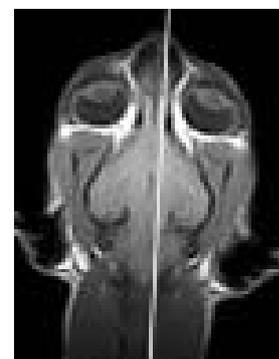


Abbildung 86: Katze 13, Schicht 46, 3,0 T: Links: Oben: anatomisch; Mitte: T<sub>1</sub>; Unten: T<sub>2</sub>;

Rechts: Lokalizer:

1. Planum nasale
2. Ethmoturbinalia
- 2'. Maxilloturbinale
3. Palatum durum
4. Mandibula
5. Lingua
6. Meatus nasi ventralis
7. Sinus frontalis
8. Bulbus olfactorius
9. Substantia grisea telencephali
10. Substantia alba telencephali
11. Nucleus caudatus
12. Corpus callosum
13. Thalamus
14. Hypothalamus
15. N. opticus
16. Lamina quadrigemina
17. Pons
18. Cerebellum mit Arbor vitae
19. Medulla oblongata
20. Trachea
21. M. geniohyoideus.



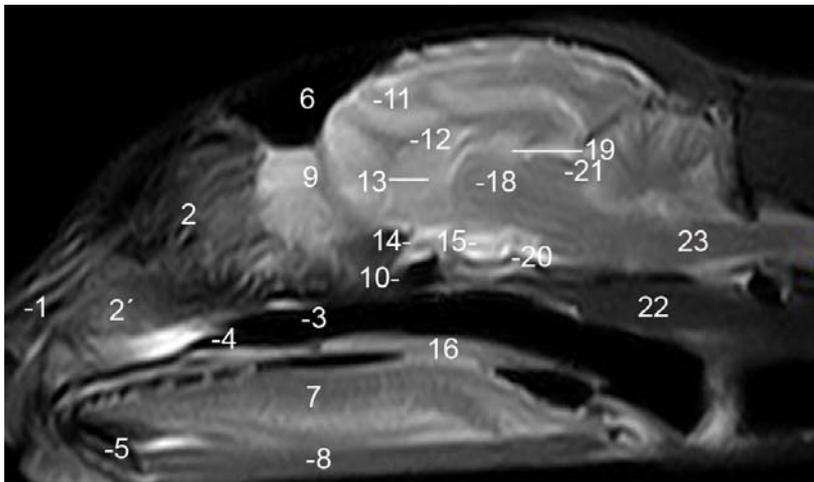
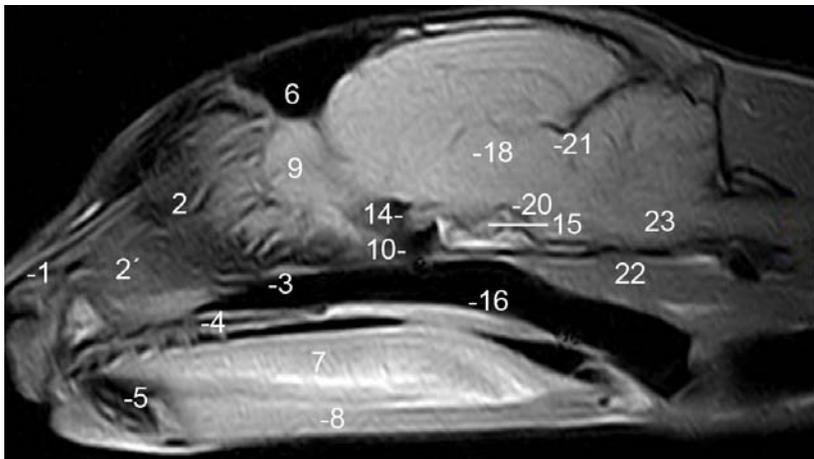
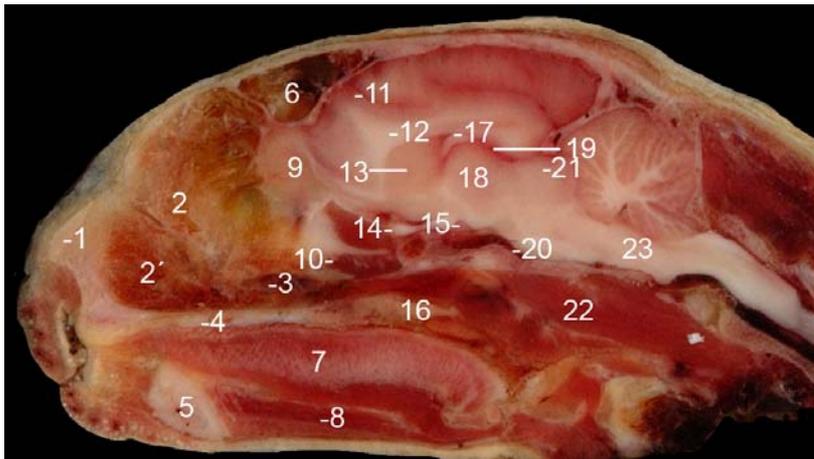
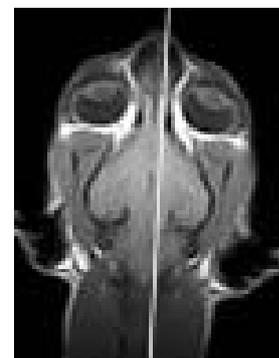


Abbildung 87: Katze 1,  
Schicht 60, 0,25 T: Links:  
Oben: anatomisch;  
Mitte: T<sub>1</sub>; Unten: T<sub>2</sub>;  
Rechts.: Lokalizer:

1. Nasus
2. Ethmoturbinalia
- 2'. Maxilloturbinalie
3. Meatus nasopharyngeus
4. Palatum durum
5. Mandibula
6. Sinus frontalis
7. Lingua
8. M. geniohyoideus
9. Bulbus olfactorius
10. Sinus sphenoidalis
11. Substantia grisea telencephali
12. Substantia alba telencephali
13. Nucleus caudatus
14. N. opticus
15. Hypophyse
16. Velum palatinum
17. Corpus callosum
18. Adhaesio interthalamica
19. Ventriculus tertius
20. Sella turcica
21. Lamina quadrigemina
22. M. longus capitis
23. Medulla oblongata.



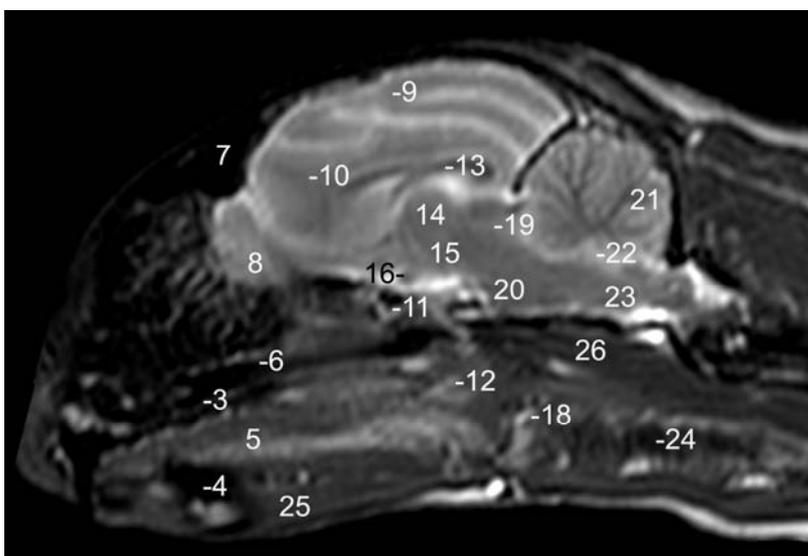
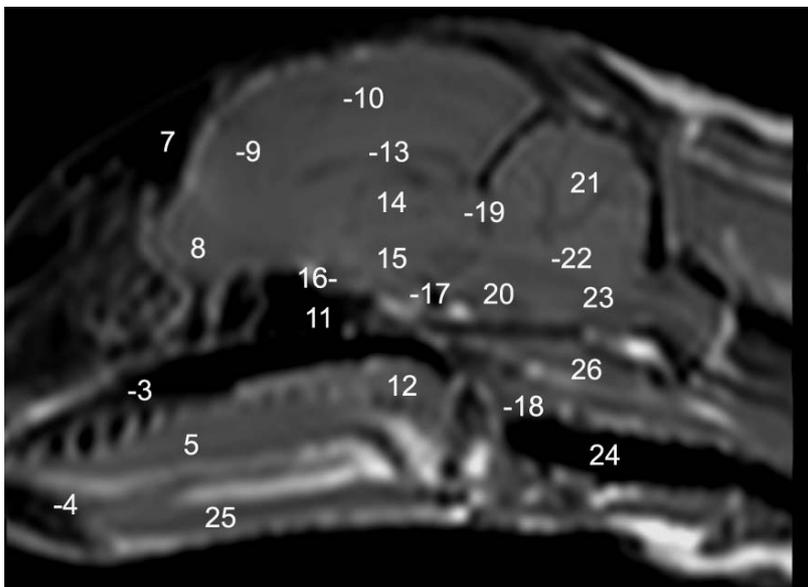
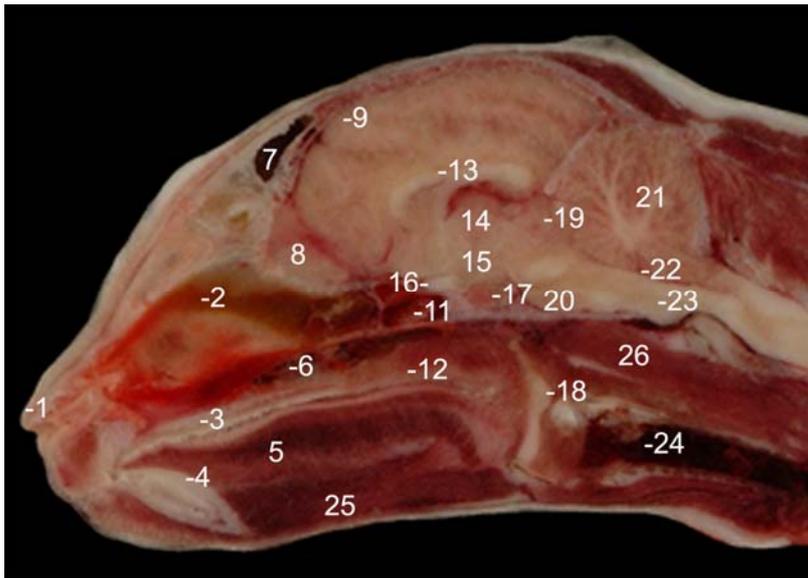
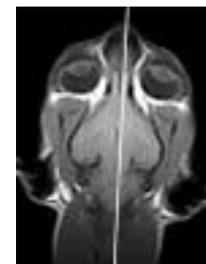


Abbildung 88: Katze 13, Schicht 49, 3,0 T: Links: Oben: anat.; Mitte: T<sub>1</sub>; Unten: T<sub>2</sub>;

Rechts: Lokalizer:

1. Nasus
2. Septum nasi
3. Palatum durum
4. Mandibula
5. Lingua
6. Meatus nasi ventralis
7. Sinus frontalis
8. Bulbus olfactorius
9. Substantia grisea telen-  
cephali
10. Substantia alba telen-  
cephali
11. Sinus sphenoidalis
12. Velum palatinum
13. Corpus callosum
14. Thalamus
15. Hypothalamus
16. N. opticus
17. Hypophyse in Sella  
turcica
18. Epiglottis
19. Lamina quadrigemina
20. Pons
21. Cerebellum mit Arbor  
vitae
22. Ventriculus quartus
23. Medulla oblongata
24. Trachea
25. M. geniohyoideus
26. M. longus capitis.



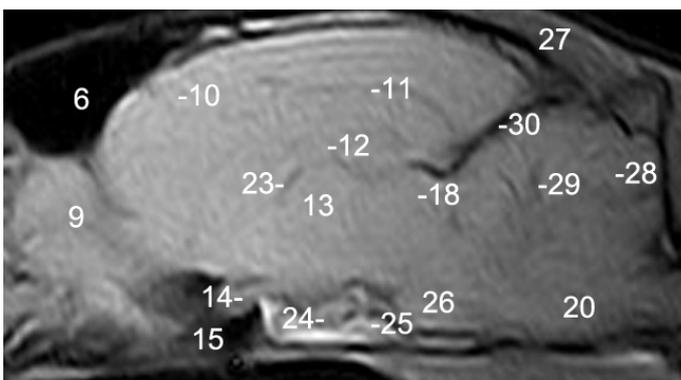
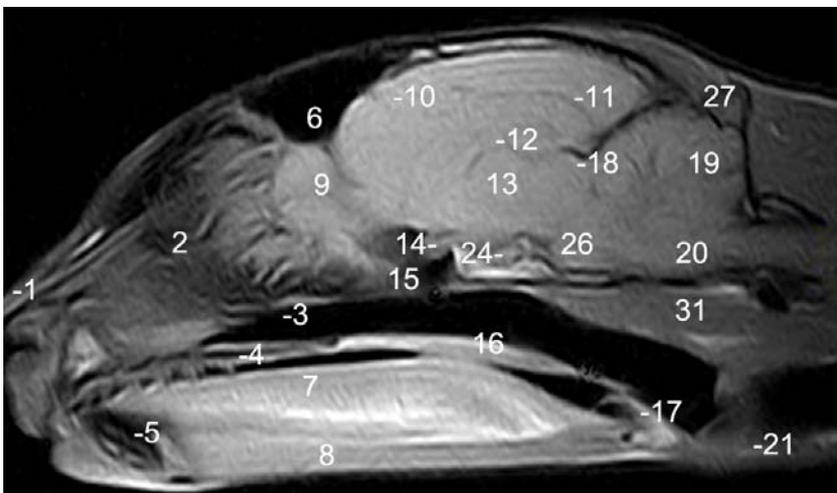
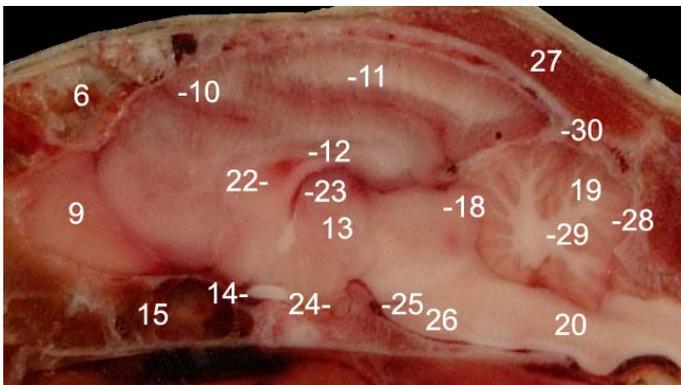
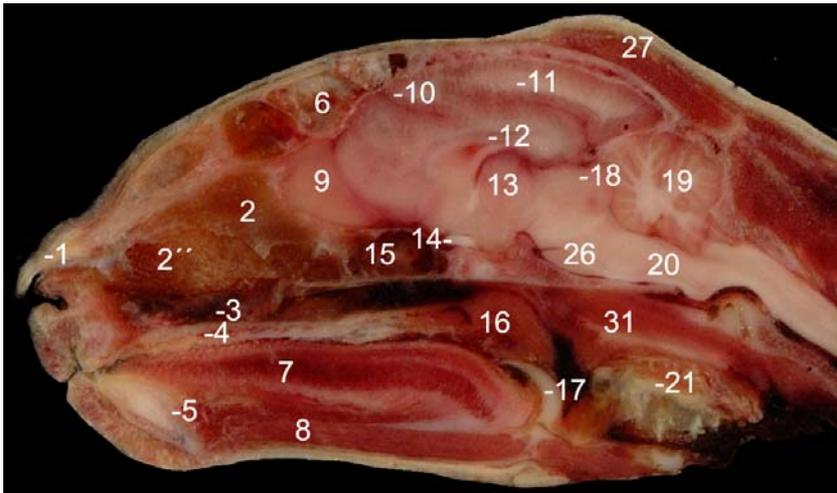
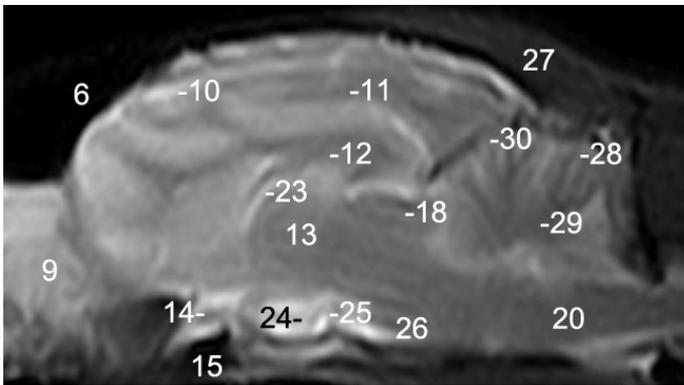
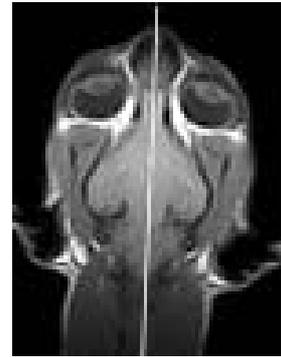
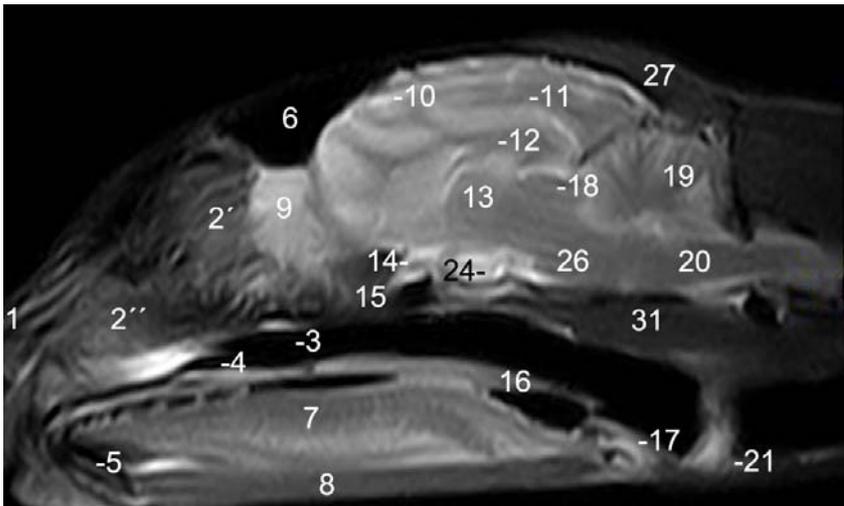


Abbildung 89: Katze 1, Schicht 56, 0,25 T: jeweils Ausschnittsvergrößerung zur Verbesserung der Übersicht angefügt: Links: Oben: anatomisch; Mitte: T<sub>1</sub>; Unten: T<sub>2</sub>;

Rechts: Lokalizer:

1. Planum nasale
2. Nasenseptum
- 2'. Ethmoturbinalia
- 2''. Maxilloturbinalia
3. Meatus nasi ventralis
4. Palatum durum
5. Caninus
6. Sinus frontalis
7. Lingua
8. M. geniohyoideus
9. Bulbus olfactorius
10. Substantia grisea telencephali
11. Substantia alba telencephali
12. Corpus callosum
13. Adhaesio interthalamica
14. N. opticus
15. Sinus sphenoidalis
16. Velum palatinum
17. Epiglottis
18. Lamina quadrigemina
19. Cerebellum
20. Medulla oblongata
21. Cartilago cricoidea
22. Septum pellucidum
23. Ventriculus tertius
24. Hypophyse
25. Liquor cerebrospinalis
26. Pons
27. M. temporalis
28. Substantia grisea cerebelli
29. Substantia alba cerebelli
30. Tentorium cerebelli osseum
31. M. longus capitis.



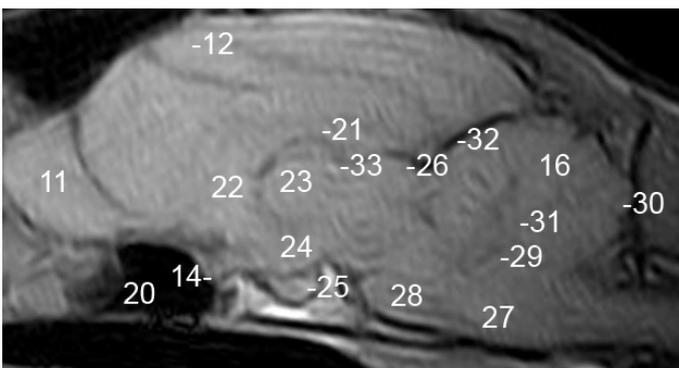
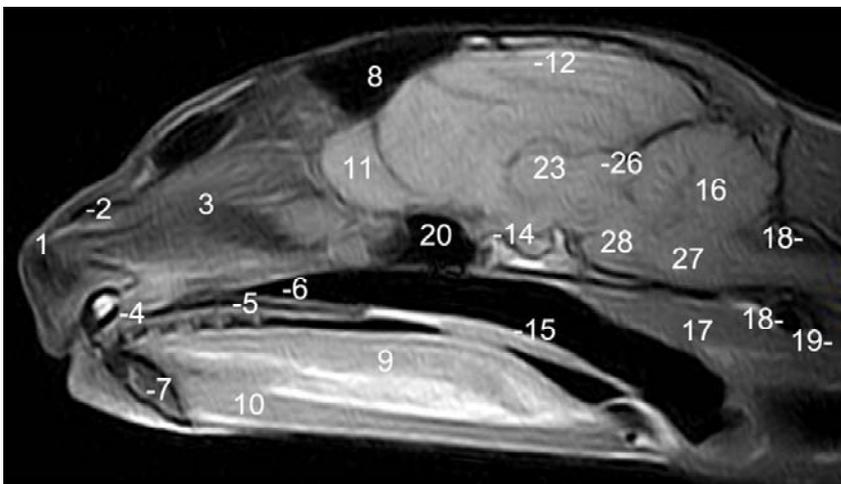
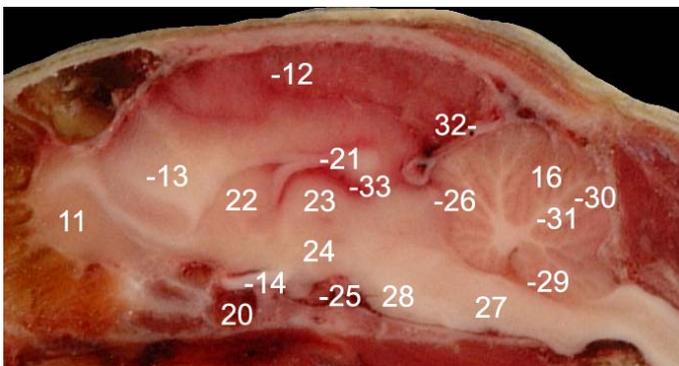
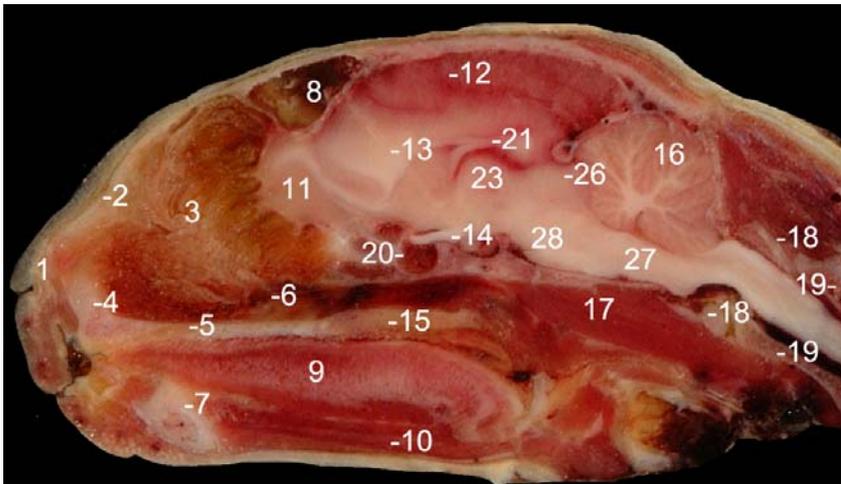
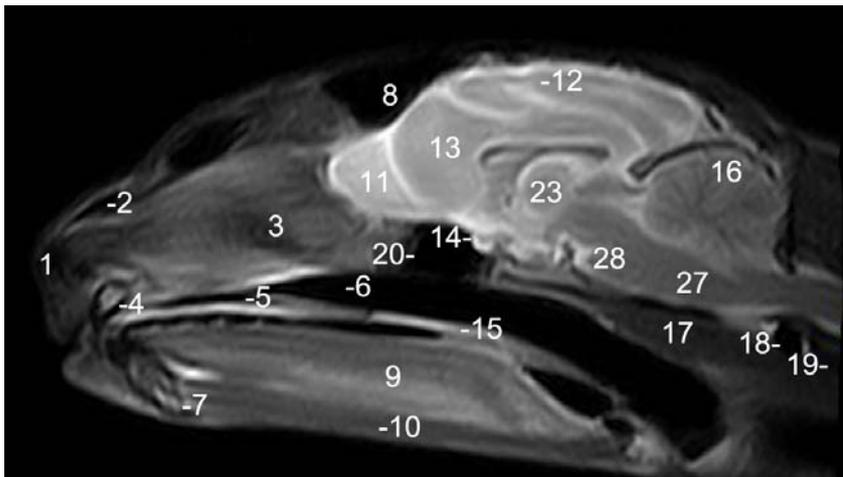
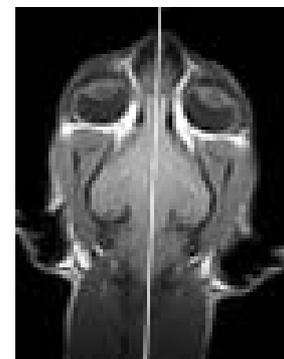
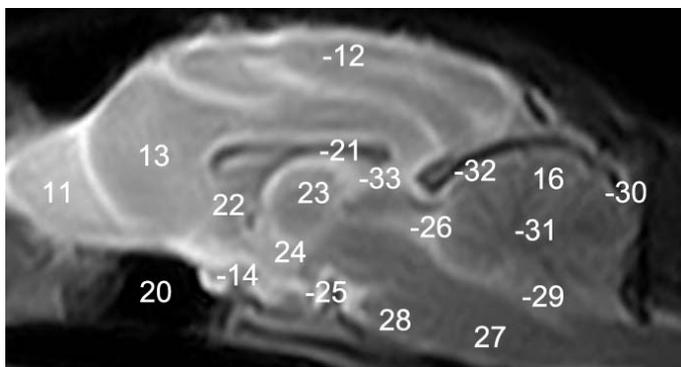


Abbildung 90: MEDIANE: Katze 1, Schicht 59, 0,25 T: jeweils Ausschnittsvergrößerung zur Verbesserung der Übersicht angefügt: Links: Oben: anatomisch; Mitte: T<sub>1</sub>; Unten: T<sub>2</sub>; Rechts: Lokalizer:

1. Planum nasale
2. Os nasale
3. Ethmoturbinalia
4. Os incisivum
5. Palatum durum
6. Meatus nasi ventralis
7. Mandibula
8. Sinus frontalis
9. Lingua
10. M. geniohyoideus
11. Bulbus olfactorius
12. Substantia grisea telencephali
13. Substantia alba telencephali
14. N. opticus
15. Velum palatinum
16. Cerebellum mit Arbor vitae
17. M. longus capitis
18. Atlas
19. Axis
20. Sinus sphenoidalis
21. Corpus callosum
22. Nucleus caudatus
23. Thalamus
24. Hypothalamus
25. Hypophyse
26. Lamina quadrigemina
27. Medulla oblongata
28. Pons
29. Ventriculus quartus
30. Substantia grisea cerebelli



- 31. Substantia alba cerebelli
- 32. Tentorium cerebelli osseum
- 33. Venticulus tertius.



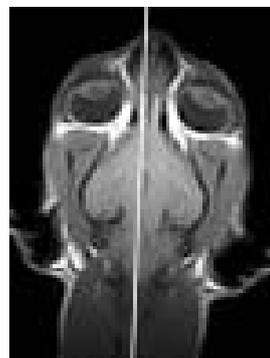
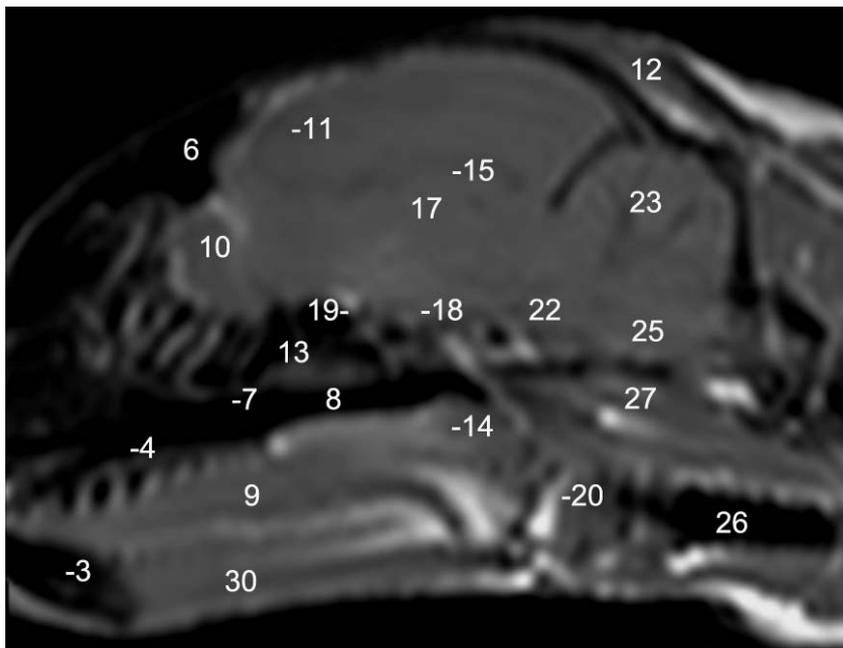
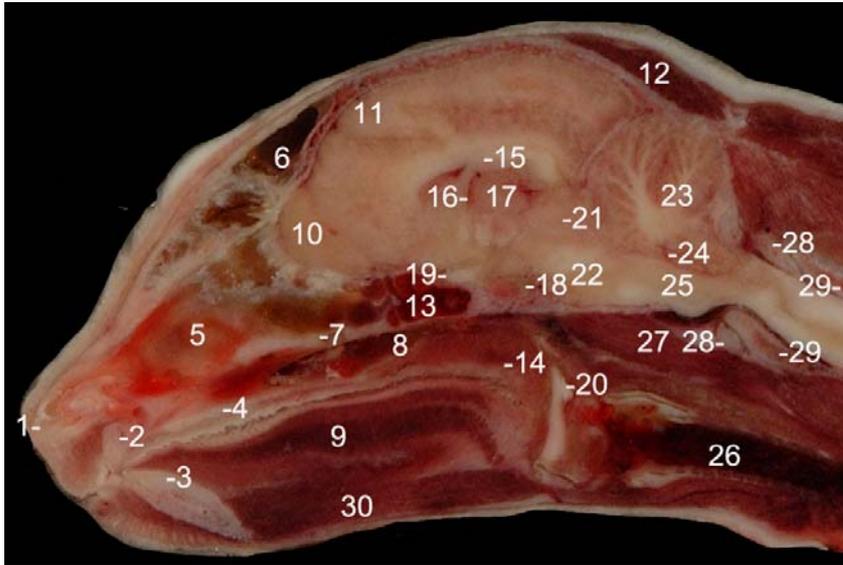


Abbildung 91: Katze 13, Schicht 50, 3,0 T: Links:

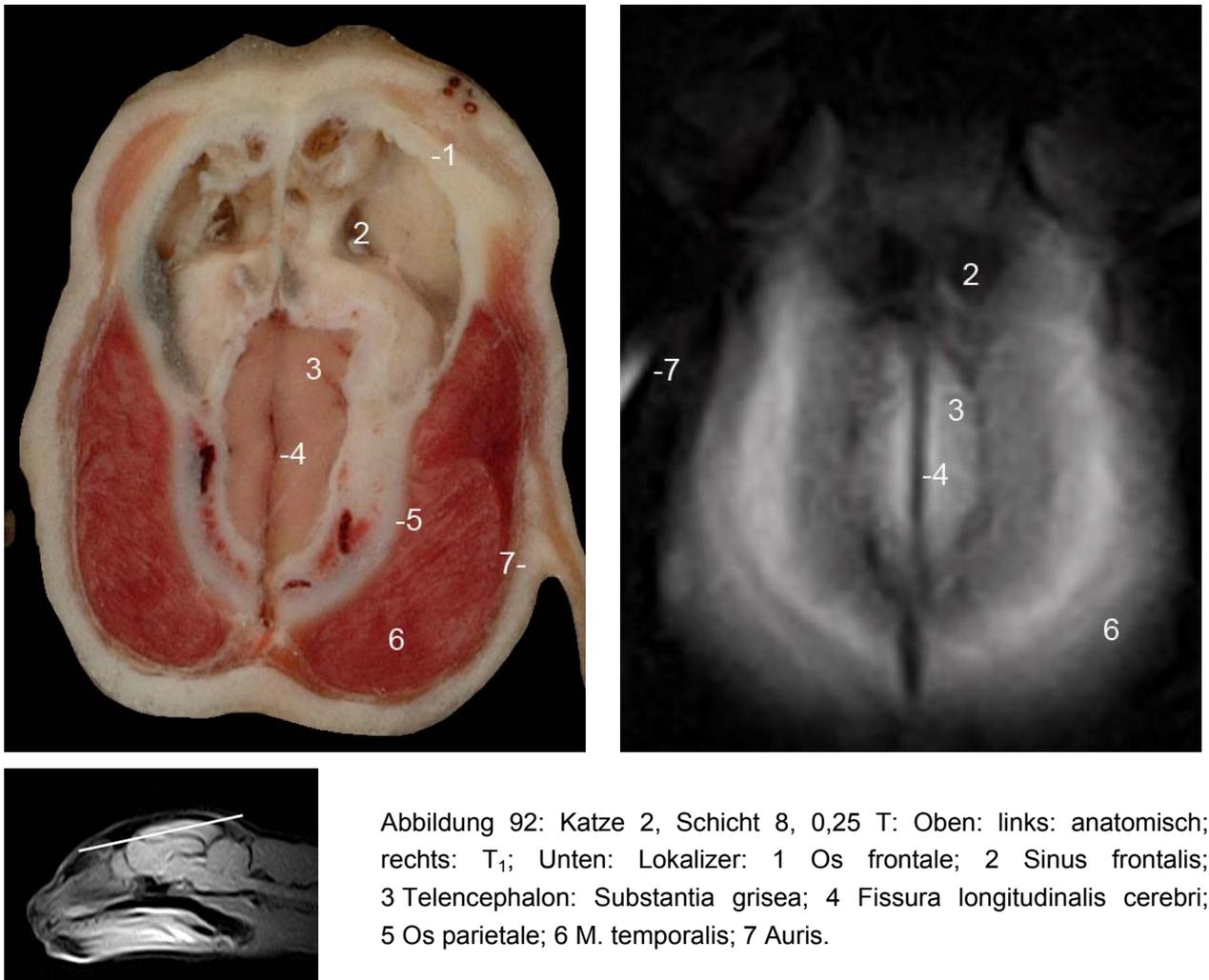
Oben: anatomisch;

Mitte: T<sub>1</sub>;

Unten: Lokalizier:

1. Apex nasi
2. Os incisivum
3. Mandibula
4. Palatum durum
5. Septum nasi
6. Sinus frontalis
7. Vomer
8. Meatus nasopharyngeus
9. Lingua
10. Bulbus olfactorius
11. Substantia grisea telencephali
12. M. temporalis
13. Sinus sphenoidalis
14. Velum palatinum
15. Corpus callosum
16. Ventriculus tertius
17. Adhaesio interthalamica
18. Hypophyse in Sella turcica
19. N. opticus
20. Epiglottis
21. Lamina quadrigemina
22. Pons
23. Cerebellum mit Arbor vitae
24. Ventriculus quartus
25. Medulla oblongata
26. Trachea
27. M. longus capitis
28. Atlas
29. Axis
30. M. geniohyoideus.

## 4.2.3 Dorsale Darstellung des Katzenkopfes



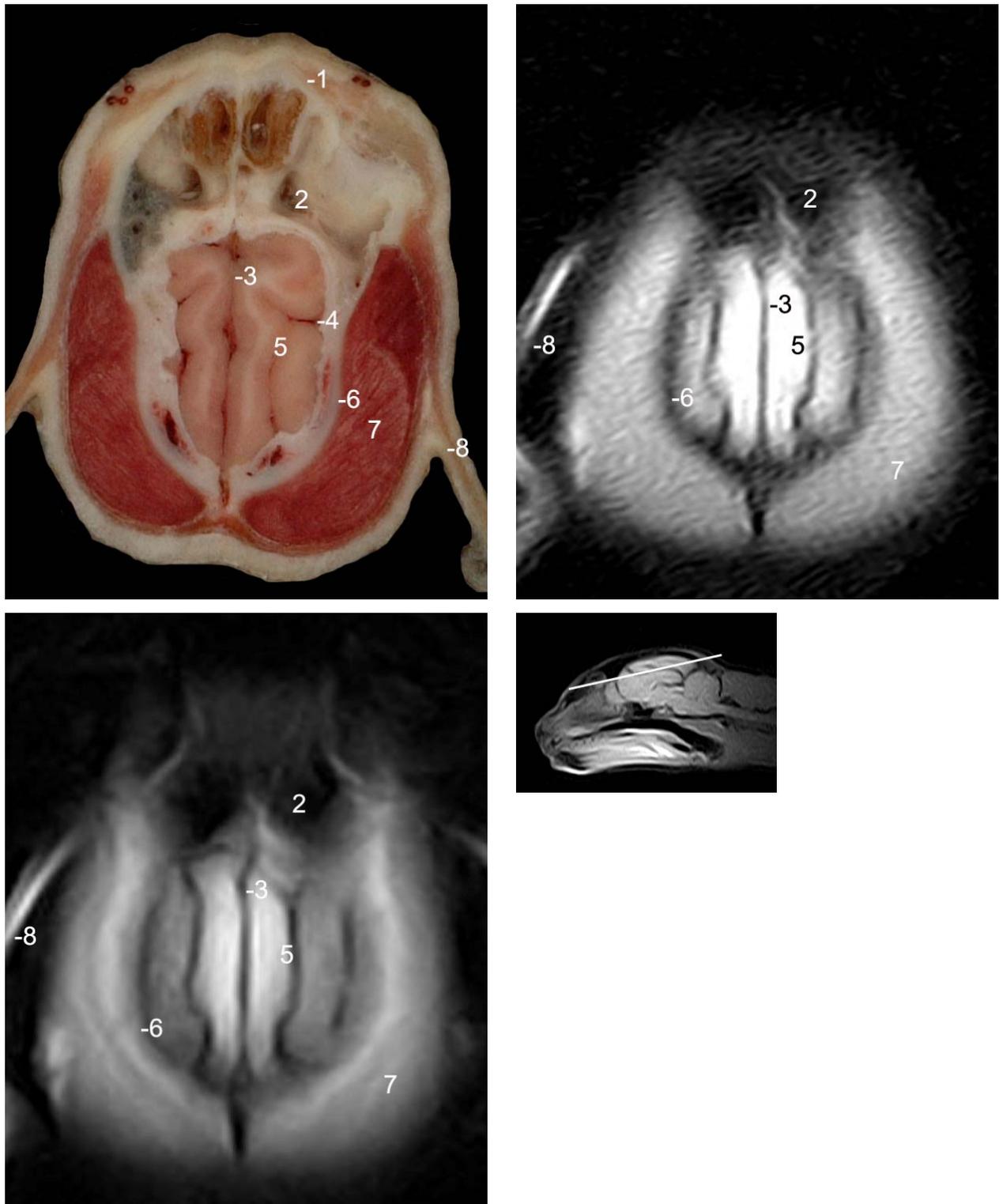


Abbildung 93: Katze 2, Schicht 10, 0,25 T: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>1</sub>; Unten: links: T<sub>1</sub> 3D; rechts: Lokalizier: 1 Os nasale; 2 Sinus frontalis; 3 Fissura longitudinalis cerebri; 4 Fossa lateralis cerebri; 5 Telencephalon mit Substantia alba und grisea; 6 Os parietale; 7 M. temporalis; 8 Auris.

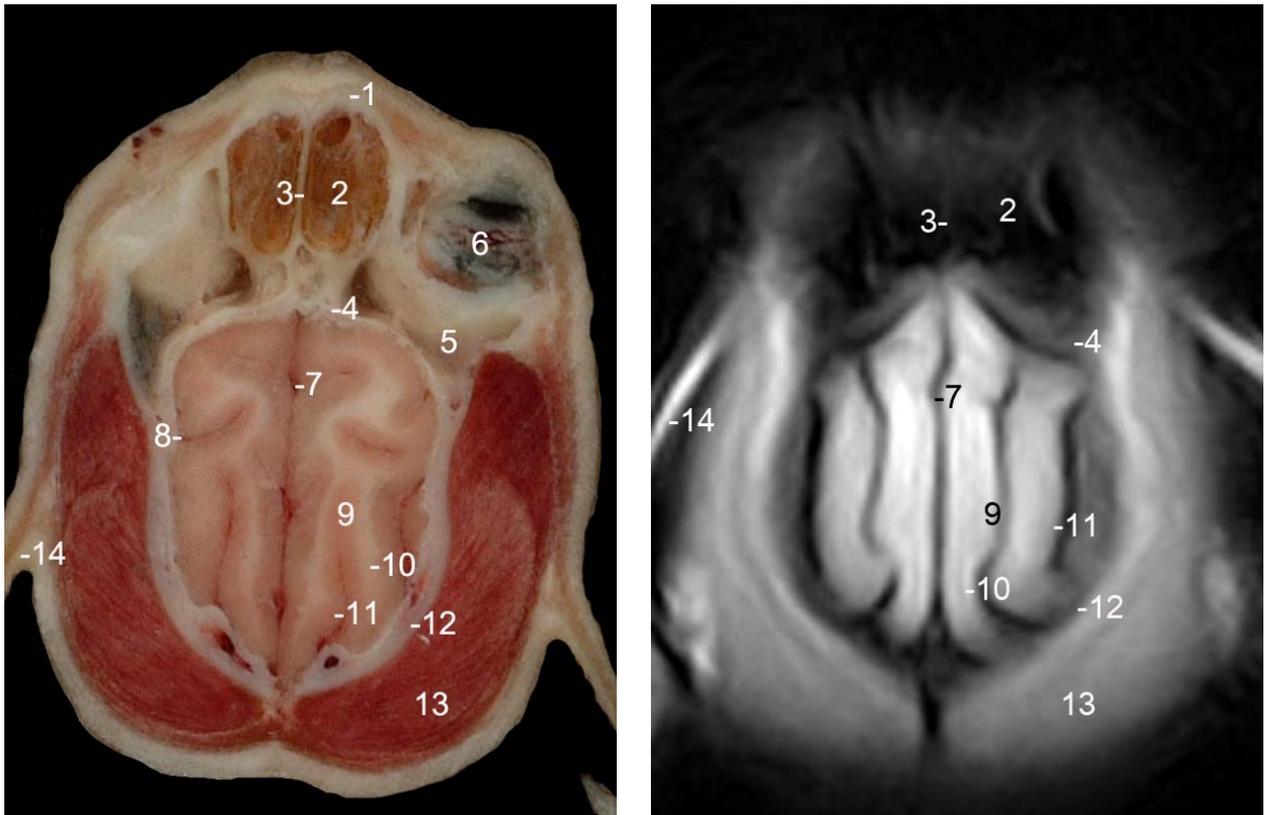


Abbildung 94: Katze 2, Schicht 12, 0,25 T; Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>1</sub> 3D; Unten: Lokalizator: 1 Os nasale; 2 Ethmoturbinalia; 3 Septum nasi; 4 Os frontale; 5 Sinus frontalis; 6 Bulbus oculi; 7 Fissura longitudinalis cerebri; 8 Fossa lateralis cerebri; 9 Telencephalon; 10 Substantia alba telencephali; 11 Substantia grisea telencephali; 12 Os parietale; 13 M. temporalis; 14 Auris.

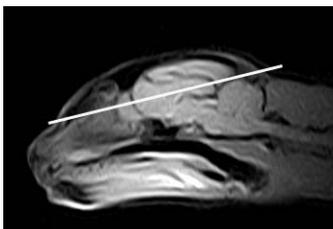
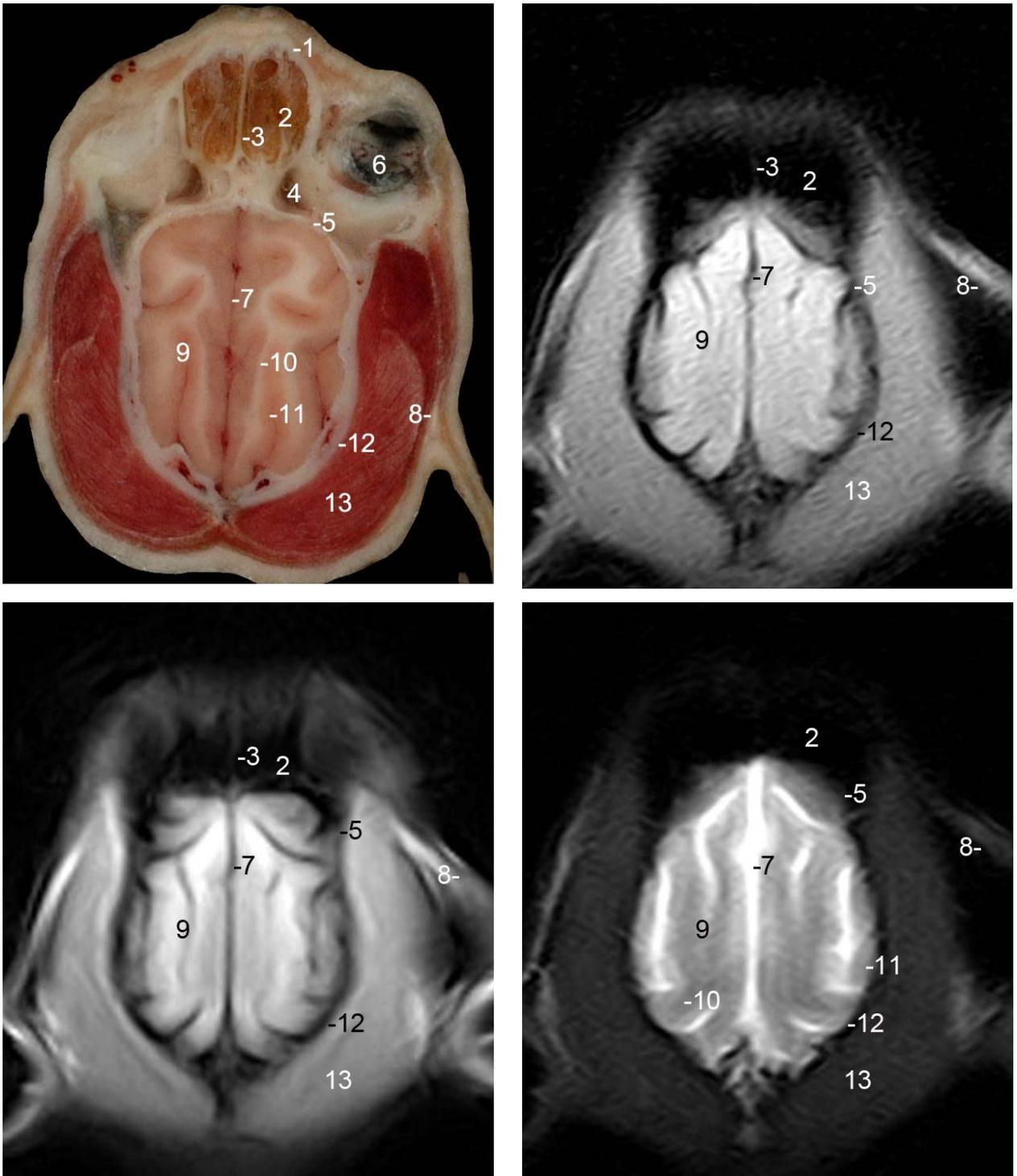


Abbildung 95: Katze 2, Schicht 13, 0,25 T: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>1</sub>; Mitte: links: T<sub>1</sub> 3D; rechts: T<sub>2</sub>; Unten: Lokalizer: 1 Os nasale; 2 Ethmoturbinalia; 3 Septum nasi; 4 Sinus frontalis; 5 Os frontale; 6 Bulbus oculi; 7 Fissura longitudinalis cerebri; 8 Auris; 9 Telencephalon; 10 Substantia alba telencephali; 11 Substantia grisea telencephali; 12 Os parietale; 13 M. temporalis.

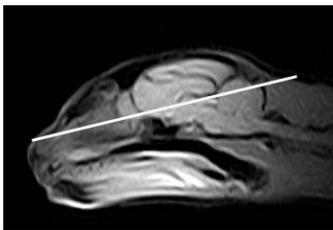
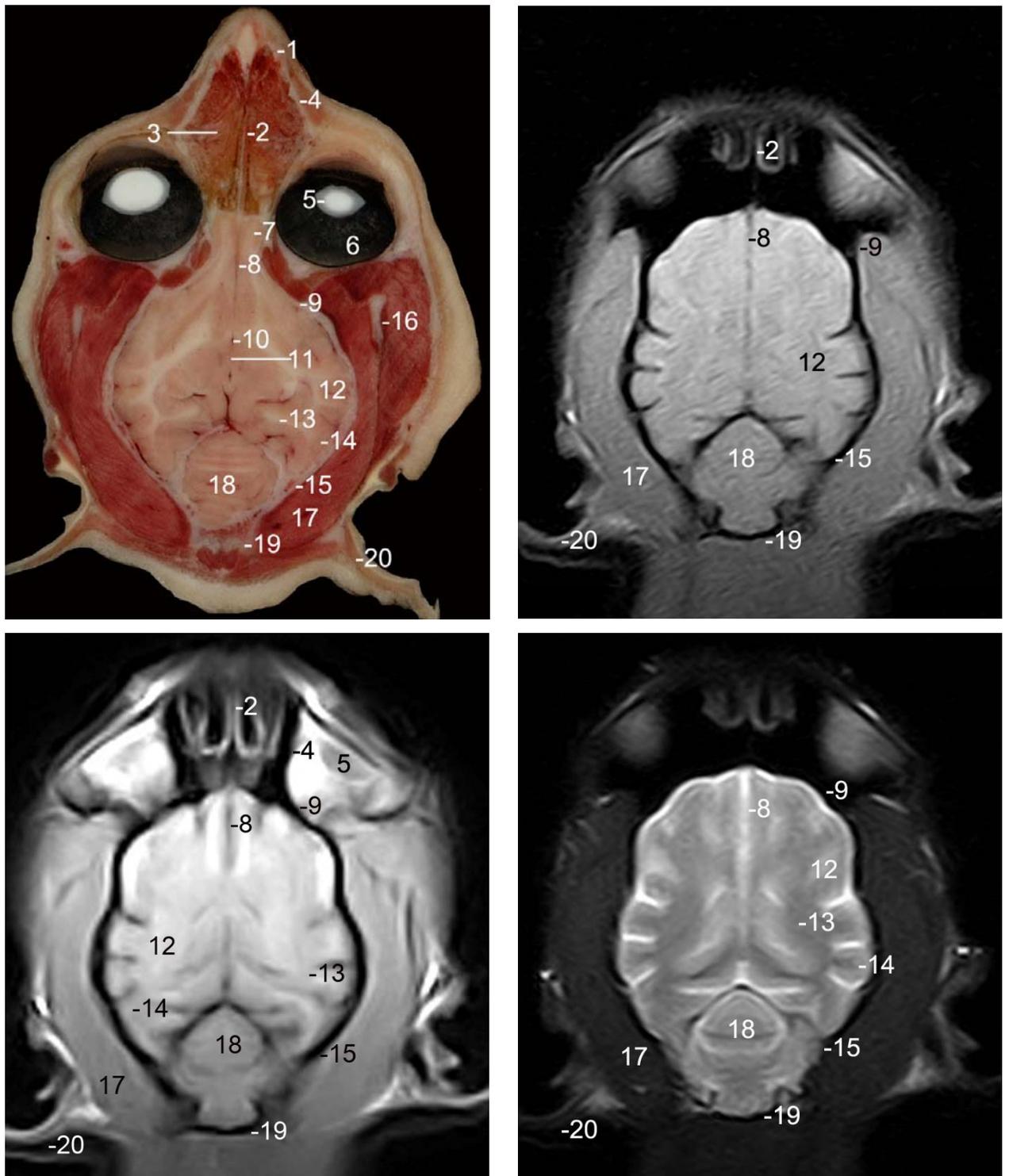


Abbildung 96: Katze 2, Schicht 28, 0,25 T: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>1</sub>; Mitte: links: T<sub>1</sub> 3D; rechts: T<sub>2</sub>; Unten: Lokalizier: 1 Os incisivum; 2 Septum nasi; 3 Concha nasalis media; 4 Maxilla; 5 Lens; 6 Corpus vitreum; 7 Bulbus olfactorius; 8 Fissura longitudinalis cerebri; 9 Os frontale; 10 Ventriculus tertius; 11 Adhaesio interthalamica; 12 Telencephalon; 13 Substantia alba telencephali; 14 Substantia grisea telencephali; 15 Os parietale; 16 Processus coronoideus mandibulae; 17 M. temporalis; 18 Cerebellum; 19 Os occipitale; 20 Auris.

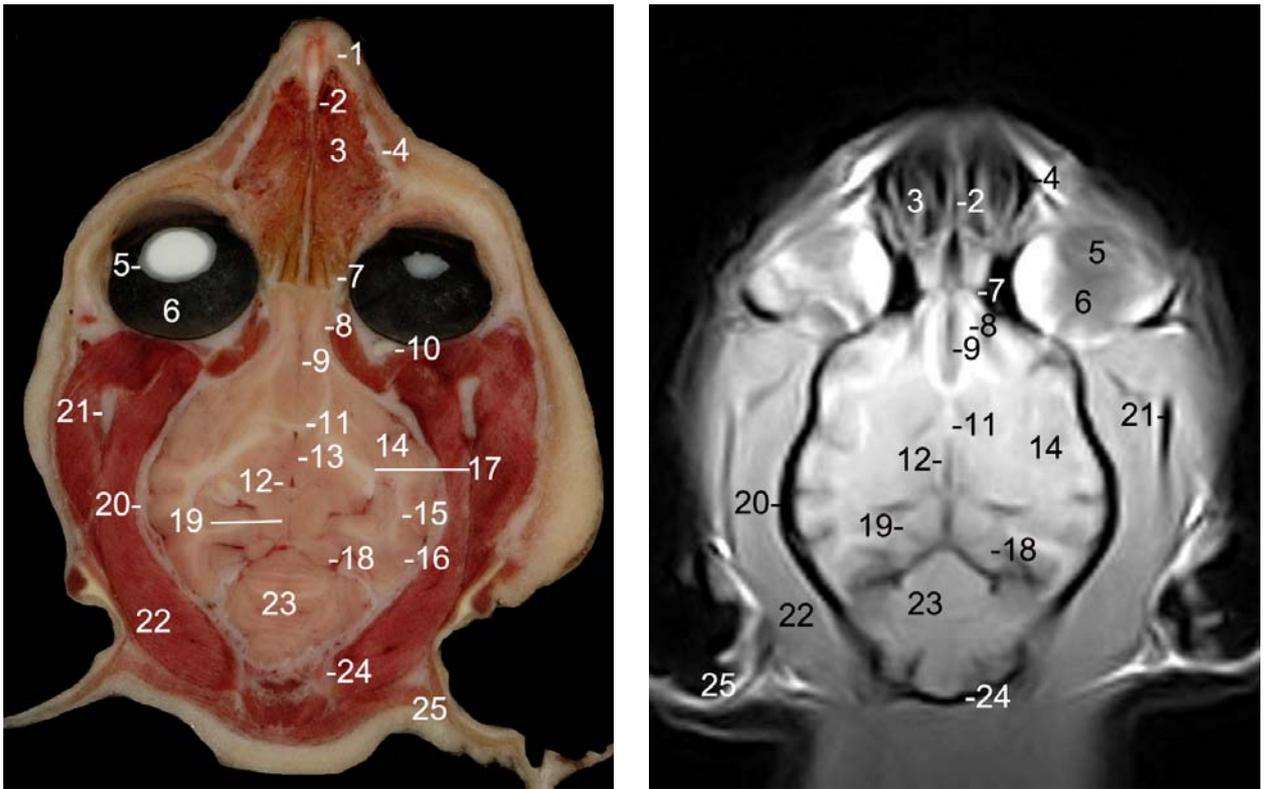


Abbildung 97: Katze 2, Schicht 29, 0,25 T: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>1</sub> 3D; Unten: Lokalizator: 1 Os incisivum; 2 Septum nasi; 3 Concha nasalis media; 4 Maxilla; 5 Lens; 6 Corpus vitreum; 7 Lamina cribrosa des Ethmoids; 8 Bulbus olfactorius; 9 Fissura longitudinalis cerebri; 10 N. opticus; 11 Commissura rostralis; 12 Ventriculus tertius; 13 Adhaesio interthalamica; 14 Telencephalon; 15 Substantia alba telencephali; 16 Substantia grisea telencephali; 17 Tractus opticus; 18 Colliculus caudalis der Lamina tecti; 19 Mesencephalon; 20 Os temporale; 21 Processus coronoideus mandibulae; 22 M. temporalis; 23 Cerebellum; 24 Os occipitale; 25 Auris.

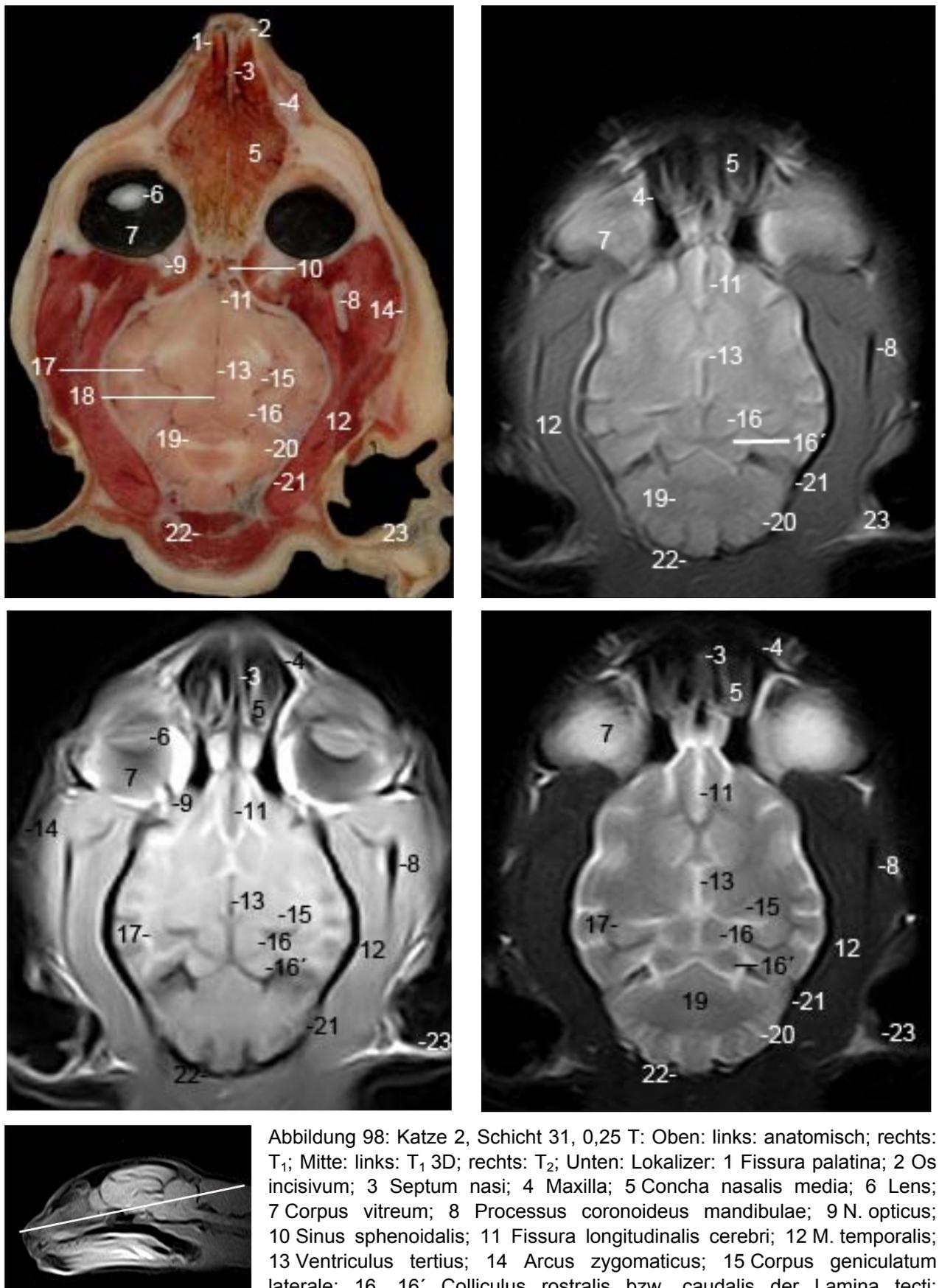


Abbildung 98: Katze 2, Schicht 31, 0,25 T: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>1</sub>; Mitte: links: T<sub>1</sub> 3D; rechts: T<sub>2</sub>; Unten: Lokalizier: 1 Fissura palatina; 2 Os incisivum; 3 Septum nasi; 4 Maxilla; 5 Concha nasalis media; 6 Lens; 7 Corpus vitreum; 8 Processus coronoideus mandibulae; 9 N. opticus; 10 Sinus sphenoidalis; 11 Fissura longitudinalis cerebri; 12 M. temporalis; 13 Ventriculus tertius; 14 Arcus zygomaticus; 15 Corpus geniculatum laterale; 16, 16' Colliculus rostralis bzw. caudalis der Lamina tecti; 17 Hippocampus; 18 Formatio reticularis; 19 Substantia alba cerebelli; 20 Substantia grisea cerebelli; 21 Os temporale; 22 Os occipitale; 23 Auris.

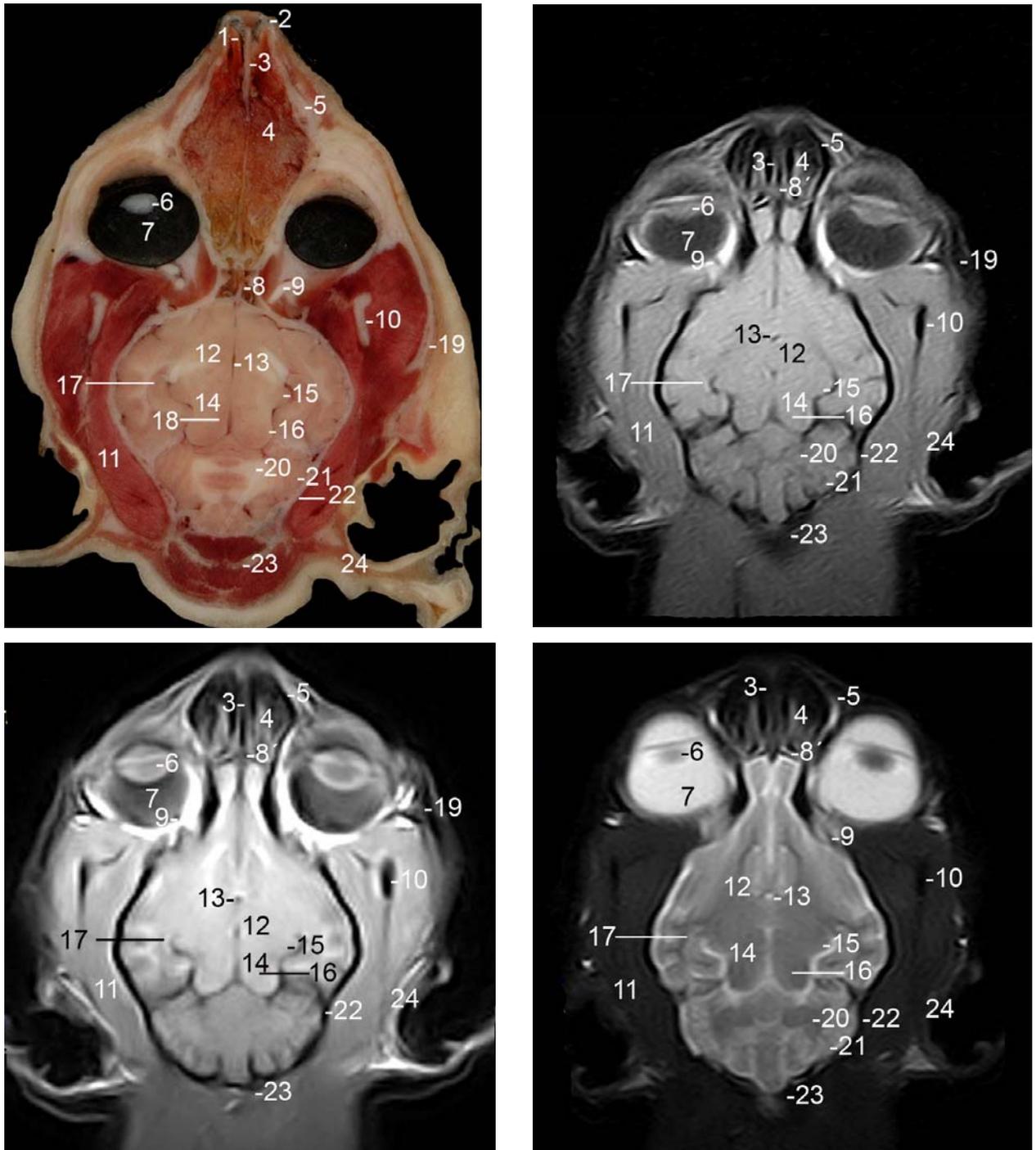


Abbildung 99: Katze 2, Schicht 32, 0,25 T: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>1</sub>; Mitte: links: T<sub>1</sub> 3D; rechts: T<sub>2</sub>; Unten: Lokalizier: 1 Fissura palatina; 2 Os incisivum; 3 Septum nasi; 4 Concha nasalis media; 5 Maxilla; 6 Lens; 7 Corpus vitreum; 8 Sinus sphenoidalis; 8' Lamina cribrosa des Os ethmoidale; 9 N. opticus; 10 Processus coronoideus mandibulae; 11 M. temporalis; 12 Diencephalon; 13 Ventriculus tertius; 14 Mesencephalon; 15 Corpus geniculatum laterale; 16 Colliculus caudalis der Lamina tecti; 17 Hippocampus; 18 Formatio reticularis; 19 Arcus zygomaticus; 20 Substantia alba cerebelli; 21 Substantia grisea cerebelli; 22 Os parietale; 23 Os occipitale; 24 Auris.

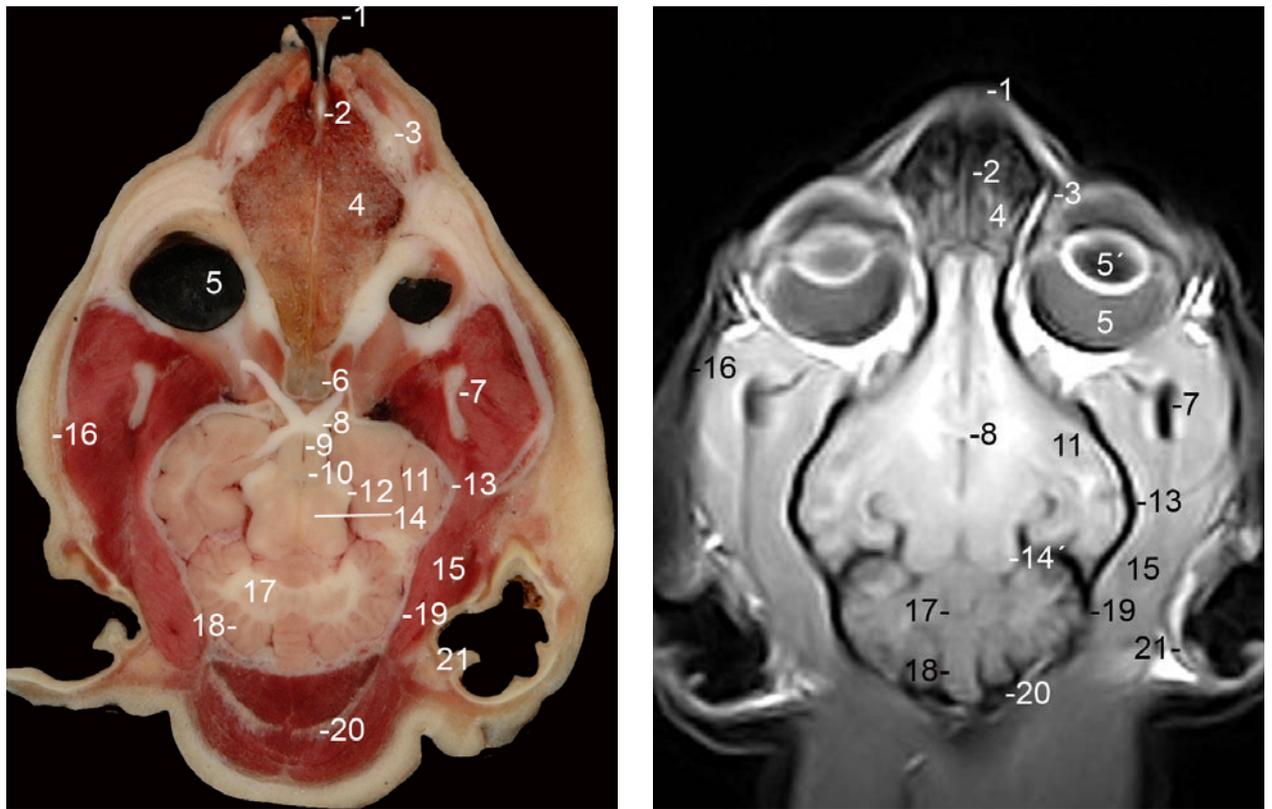


Abbildung 100: Katze 2, Schicht 35, 0,25 T: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>1</sub> 3D; Unten: Lokalizier: 1 Apex nasi; 2 Septum nasi; 3 Maxilla; 4 Concha nasalis ventralis; 5 Bulbus oculi, 5' Lens; 6 Sinus sphenoidalis; 7 Processus coronoideus mandibulae; 8 Chiasma opticum; 9 Tuber cinereum et Recessus infundibuli; 10 Corpus mamillare; 11 Telencephalon; 12 Tractus opticus; 13 Os temporale; 14 Tegmentum mesencephali, 14' Colliculus caudalis der Lamina tecti; 15 M. temporalis; 16 Arcus zygomaticus; 17 Substantia alba cerebelli; 18 Substantia grisea cerebelli; 19 Os parietale; 20 Os occipitale; 21 Auris.

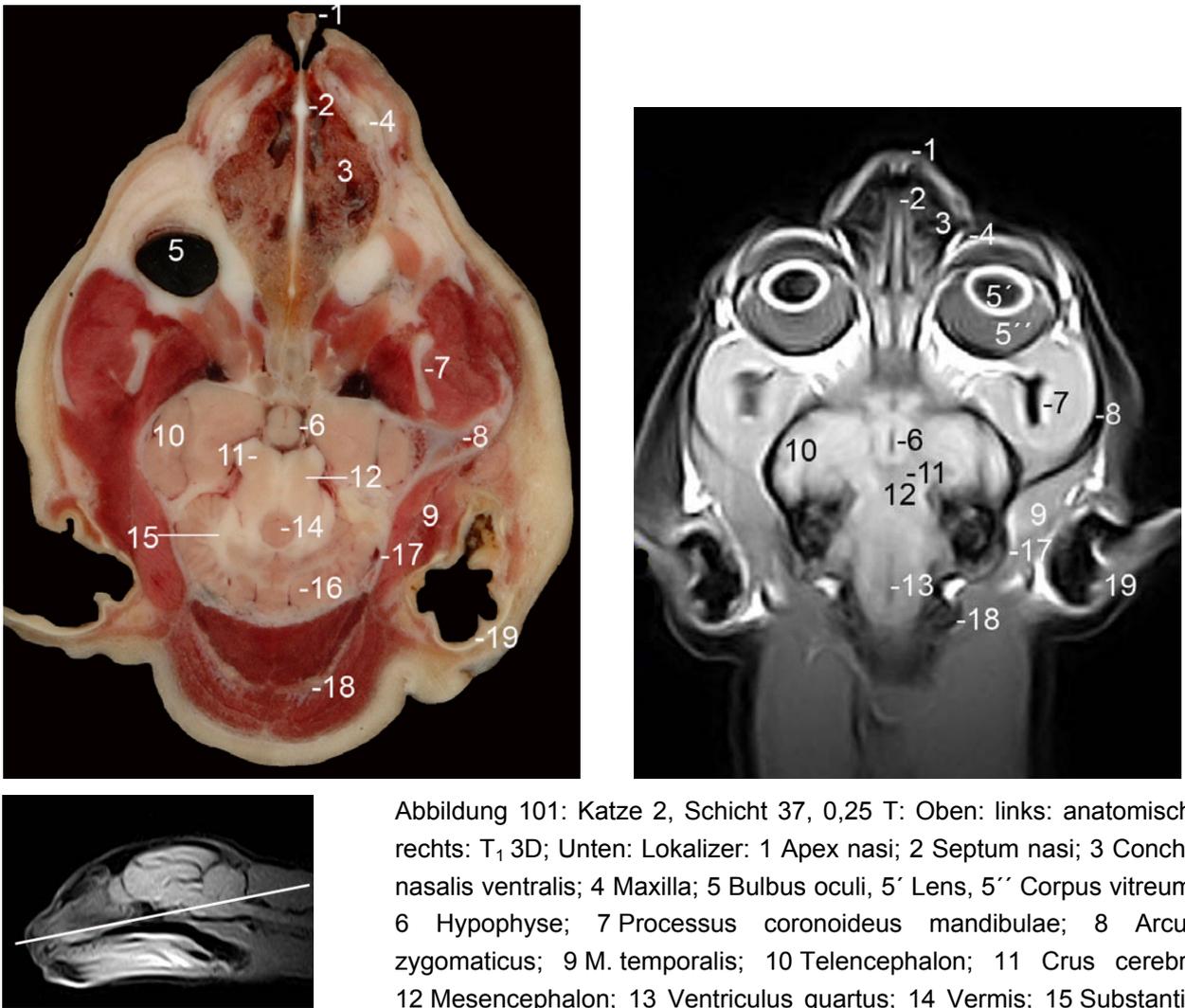


Abbildung 101: Katze 2, Schicht 37, 0,25 T: Oben: links: anatomisch; rechts: T<sub>1</sub> 3D; Unten: Lokalizer: 1 Apex nasi; 2 Septum nasi; 3 Concha nasalis ventralis; 4 Maxilla; 5 Bulbus oculi, 5' Lens, 5'' Corpus vitreum; 6 Hypophyse; 7 Processus coronoideus mandibulae; 8 Arcus zygomaticus; 9 M. temporalis; 10 Telencephalon; 11 Crus cerebri; 12 Mesencephalon; 13 Ventriculus quartus; 14 Vermis; 15 Substantia alba cerebelli; 16 Substantia grisea cerebelli; 17 Os temporale; 18 Os occipitale; 19 Auris.

### 4.3 Darstellbarkeit neuronaler Strukturen sowie der Nase und der Sinus paranasales

Im Folgenden sollen wichtige Strukturen im Überblick dargestellt werden, die im Atlasteil dieser Dissertation im Detail zu sehen sind:

#### 4.3.1 Darstellbare Strukturen im Gehirn

Anlehnend an den Literaturteil sollen die Gehirnabschnitte hier von kaudal nach kranial besprochen werden: Im Rhombencephalon sind der IV. Ventrikel (z. B. Abb. 90/29) mit der Fossa rhomboidea (z. B. Abb. 62/7) und seinem Sulcus medianus dorsalis (z. B. Abb. 72/4) zu erkennen. Im Myelencephalon (s. Abb. 64 bis 74) findet man in der Medulla oblongata (z. B. Abb. 90/27) die Kerne der Dorsalstränge Fasciculus gracilis und Fasciculus cuneatus (z. B. Abb. 68/ 5+6), welche sich bei den verwendeten MRT-Einstellungen magnetresonanztomographisch schlechter als anatomisch darstellen lassen, wohingegen die Fissura mediana ventralis (z. B. Abb. 73/7) sowie die Pyramides (z. B. Abb. 62/11) und das Corpus trapezoideum (z. B. Abb. 60/11) mit den Nuclei dorsales corporis trapezoidei (Abb. 62/12) in beiden Schnittbildtechniken gut erkannt werden können, ebenso wie die am Übergang zum Metencephalon (Abb. 58ff.) liegenden Pedunculi cerebellares caudales (z. B. Abb. 60/10). Die Pons (Abb. 90/28), aus Tegmentum pontis mit Formatio reticularis (z. B. Abb. 64/8) und Raphe (z. B. Abb. 65/9) und der eigentlichen Pons mit den Fibrae pontis transversae (Abb. 58/13), welche durch den Tractus pyramidalis (z. B. Abb. 57/11) unterteilt werden, kann ebenso in beiden Techniken dargestellt werden wie die Lemnisci laterales (Abb. 55/11), die drei Pedunculi cerebellares (caudales (s. Abb. 60/10), medii (z. B. Abb. 58/8), rostrales (z. B. Abb. 58/7) und die Wurzelfasern des Nervus trigeminus (Abb. 62/9). Im Cerebellum (z.B. Abb. 90/16), aus Vermis (Abb. 71/3) und Hemisphaeria cerebelli (Abb. 71/4), lässt sich vor allem in den anatomischen Schnitten, aber auch in den magnetresonanztomographischen Bildern, gut der Markkörper des Kleinhirns (Abb. 62/6) mit den Nuclei laterales cerebelli, den Nuclei interpositi laterales cerebelli, den Nuclei interpositi mediales cerebelli und den Nuclei fastigii erkennen. Die Lobi sind, wie man z. B. in Abbildung 63 erkennt, durch Furchen in Lobuli cerebellares und Folia cerebelli unterteilt.

Das Mesencephalon (Abb. 54 ff.), mit den Colliculi rostrales (z. B. Abb. 53/10) und caudales (z. B. Abb. 55/9), die das Tectum mesencephali bilden, zu dem auch der

Nucleus tractus mesencephali n. trigemini (Abb. 53/16) gehört, sind in beiden Techniken gut darstellbar, genauso wie die lateral und basal liegenden Crura cerebri (z. B. Abb. 54/13). Dazwischen findet man das Tegmentum mesencephali mit dem Aqueductus mesencephali (z. B. Abb. 54/11), umgeben von der in beiden Schnitttechniken sehr gut darstellbaren Substantia grisea centralis (z. B. Abb. 55/10), und der Formatio reticularis (z. B. Abb. 55/12) mit den nicht genau zu differenzierenden Nuclei reticulares tegmenti und dem darstellbaren Nucleus intercruralis (Abb. 55/14).

Das Diencephalon ist u.a. in den Abb. 47ff. zu finden. Seinen größten Teil stellt das Thalamencephalon dar, wo auch der III. Ventrikel (z.B. Abb. 47/16) liegt. Im Epithalamus sind die Tubercula habenulae mit den Nuclei habenulares (Abb. 48/12) beheimatet. Während man diese auf den magnetresonanztomographischen Schnittbildern noch erahnen kann, sind die Kerngebiete im Thalamus (z. B. Abb. 90/23), die Nuclei periventriculares thalami und die Nuclei paraventriculares (Nucleus centralis medialis, Nucleus rhomboidalis, u.a.) auf dem vorliegenden Bildmaterial nicht zu differenzieren. Einzige Ausnahme bildet der Nucleus reuniens, der in der Abbildung 48 (Nummer 13) anhand seiner Lage benannt wurde. Die Laminae medullares thalami, welche die Kerne in eine dorsale (Nucleus rostralis dorsalis (Abb. 47/12)), eine mediale (Nucleus rostralis medialis (Abb. 47/13)) und eine laterale (Nuclei laterales thalami (Abb. 47/14)) Gruppe unterteilen, sind nicht zu sehen, was folglich auch für die Nuclei intralaminares gilt. Die Adhaesio interthalamica ist sowohl auf den sagittalen (z.B. Abb. 87/18) als auch auf den transversalen Bildern (z.B. Abb. 49/14) in beiden Schnitttechniken gut zu sehen. Das Corpus geniculatum laterale (Abb. 52/12) und – mediale (Abb. 50/14) des Metathalamus erkennt man an der hügeligen Form.

Das Corpus mamillare des Hypothalamus (z. B. Abb. 90/24) mit den darin liegenden Nuclei corporis mamillaris kann magnetresonanztomographisch und anatomisch dargestellt werden, wie Abbildung 51 (Nummer 16) zeigt, im Gegensatz zum Tuber cinereum (Abb. 100/9), welches nur anatomische zu benennen ist. Der Nucleus supraopticus, der Nucleus paraventricularis, die Nuclei hypothalamici rostralis, - dorso-medialis und - ventromedialis, der Nucleus infundibularis, die Nuclei tuberis laterales, der Nucleus tuberomamillaris sowie der Nucleus periventricularis caudalis können weder in den anatomischen Schnitten noch in den vorliegenden magnetresonanztomographischen Schnitten genau abgegrenzt werden. Die Hypophyse dagegen ist

gut zu erkennen, z. B. in Abbildung 89 (Nummer 24). Vom Chiasma opticum und dem Tractus opticus lieferte v.a. das anatomische Schnittbildfoto der Abbildung 100 ein anschauliches x-förmiges Bild, aber auch die transversalen (z. B. Abb. 47/18) magnetresonanztomographischen und anatomischen Bilder lassen die beiden Strukturen erkennen.

Vom Telencephalon (z. B. Abb. 43ff.) lässt sich folgendes darstellen: Das Rhinencephalon (z. B. Abb. 39ff.) mit der Pars septalis rhinencephali (Abb. 44/9) und den Nuclei septi, mit dem Bulbus olfactorius (Abb. 90/11) und dem Lobus piriformis (Abb. 47/17). In dessen Spitze liegt das Corpus amygdaloideum, zu dem der Nucleus tractus olfactorii lateralis, der Nucleus corticalis, der Nucleus basalis, der Nucleus lateralis, der Nucleus centralis und der Nucleus medialis gehören, welche aber auf den vorliegenden anatomischen und magnetresonanztomographischen Bildern nicht zu identifizieren sind. Das zur Hippocampusformation gehörende Cornu ammonis ist in den anatomischen Schnitten wesentlich besser zu finden als in den magnetresonanztomographischen Bildern (s. Abb. 46/7). Das Induseum griseum corporis callosi (Abb. 47/7) kann mit beiden Techniken erkannt werden. Dies gilt auch für die Gyri und Sulci (z. B. Abb. 49/12,13) des Neopalliums und die Lobi cerebri (z. B. Lobus frontalis (Abb. 44/3)), die Hemisphären (z. B. Abb. 50/2) und das Corpus callosum (Abb. 50/8). Auch die Commissura rostralis (Abb. 97/11) des Riechhirns kann mit beiden Techniken verifiziert werden, wohingegen die Commissura hippocampi auf keinem der Bilder zu finden war. Der Cortex cerebri und das Corpus medullare cerebri sind sehr deutlich sowohl in den anatomischen als auch den magnetresonanztomographischen Bildern zu sehen (z. B. Abb. 43/4,5), was auch für den Nucleus caudatus (Abb. 44/10) und das Putamen (Abb. 44/12) des Ganglienügels gilt.

#### 4.3.2 Darstellbare Strukturen der Nasenhöhle und Nasennebenhöhlen

##### 4.3.2.1 Cavum nasi

Alle Knochen, welche das Cavum nasi begrenzen (Os nasale (Abb. 34/1), Maxilla (Abb. 35/6), Os incisivum (Abb. 33/6), Os palatinum (Abb. 36/7), Lamina cribrosa (Abb. 97/7) des Os ethmoidale) können mittels Kernspintomographie und anatomischer Schnittbildtechnik dargestellt werden, wobei die anatomischen Schnittbilder der Magnetresonanz überlegen sind. Das gleiche gilt für das Vomer (Abb. 36/5), das

---

Septum nasi (Abb. 37/2), die Pars mobilis septi nasi (Abb. 32/2), die Cartilagine nasales laterales dorsales (Abb. 32/1) und die Nares (Abb. 32/3).

#### 4.3.2.2 Conchae nasales

Basallamellen (z.B. Abb. 36/3) und die sich daraus aufrollenden Spirallamellen (z.B. Abb. 34/4) stellen sich in den anatomischen und den magnetresonanztomographischen Schnitten dar, ebenso wie die sich daraus bildenden Recessus (Abb. 34/4). So konnten in der vorliegenden Arbeit die Concha nasalis dorsalis (Abb. 35/5), die Concha nasalis media (Abb. 35/8) und die Concha nasalis ventralis (Abb. 84/2) dargestellt werden.

#### 4.3.2.3 Meatus nasi

Mit beiden Schnittbildverfahren sind die Meatus nasi dorsalis (Abb. 33/2), - medius (Abb. 34/3), - ventralis (84/2) und - communis (Abb. 33/3) zu finden.

#### 4.3.3 Sinus paranasales

Sinus frontalis (Abb. 41/2), Recessus maxillaris (Abb. 38/13) und Sinus sphenoidalis (Abb. 88/11) lassen sich sowohl mit der anatomischen Gefrierschnitttechnik als auch magnetresonanztomographisch sehr gut darstellen.

---

## 5 Diskussion

In der vorliegenden Dissertation wurde der feline Kopf korrelativ mit anatomischen und magnetresonanztomographischen Schnittbildern dargestellt. Dabei sollten besonders das Gehirn mit seinen Kerngebieten, die Nasenhöhle und die Nasennebenhöhlen berücksichtigt werden. Daher wurde ein Atlas für den klinisch tätigen Tierarzt erstellt als diagnostische Referenz für die physiologische Anatomie.

### 5.1 Material und Methoden

#### 5.1.1 Material

Um verschiedene Einstellungen zu erproben und Vergleichs- und Auswahlmöglichkeiten als Grundlage für den Atlas zu haben, wurden insgesamt 14 Katzen untersucht.

Es wurde dabei streng darauf geachtet, dass die Tiere vor ihrem Tod keine Anzeichen einer neurologischen Störung aufwiesen und keine Anzeichen für eine Infektion mit FIP (Ausnahme: Katze 1), FeLV oder FIV (Ausnahme: Katze 2) vorhanden waren und die Tiere nicht an einer Infektion der oberen Atemwege litten. Auf diese Weise wurde sichergestellt, dass nur physiologische Befunde sowohl in den anatomischen Schnittbildern als auch in den MRT-Bildserien erhoben wurden. Eine Blutanalyse (rotes und weißes Blutbild; SNAP FIV/ FeLV Combo von IDEXX Laboratories; SPEED® F-CORONA von VIRBAC) hätte zusätzlich noch Klarheit bringen können, wurde aber aus Kostengründen nicht durchgeführt.

In dieser Arbeit wurden ausschließlich adulte Tiere untersucht, da deren größere Gehirne auch die Darstellung kleinerer Strukturen erlaubten. Jüngere Katzen wie beispielsweise Welpen zeigen ein noch nicht ausgereiftes Myelinisierungsmuster und damit eine schlechtere Kontrastierung der grauen und weißen Substanz im MRT (GROSS et al., 2010).

Es wurde darauf geachtet, dass das MRT am Todestag der Katze für die Untersuchung zur Verfügung stand. Dadurch wurde sichergestellt, dass zwischen dem Tod des Tieres und der MRT-Untersuchung nur maximal 6 Stunden vergangen waren und so noch keine Autolyse eingesetzt hat, durch welche der Kontrast zwischen grauer und weißer Substanz verloren gehen würde. Außerdem würden sich später -

---

laut Herrn Dr. Brühschwein (Radiologie der LMU München) - Gasbläschen bilden, bis nicht einmal mehr die Gyri erkennbar wären (Brühschwein, 2011). Das Gehirn gehört zu den enzymreichen, gut durchbluteten Organen mit primär gering ausgeprägtem Bindegewebeanteil, welche nach dem Tod makroskopisch die ersten auffälligen Gewebeaufweichungen und Strukturauflösungen zeigen (BRINKMANN und MADEA, 2004). Die Verdämmerung der Feinstuktur im Gehirn ist laut Brinkmann (2004) bereits nach wenigen Minuten feststellbar. So sind histologisch Karyolysis, Karyorhexis, Kernwandhyperchromasie und Pyknose nachweisbar. Zellmembranen, fibrilläre und gliöse Strukturen bleiben aber noch einige Zeit gut erhalten. Damit könnten die MRT-Aufnahmen zwar schlechter als an einem narkotisierten Tier sein, sie zeigen aber im Vergleich mit Patienten dennoch in hervorragender Weise das normalanatomische Erscheinungsbild des ZNS. Darüber hinaus wäre die Narkose eines Tieres für diesen Zweck ein Tierversuch gewesen, dessen Aufwand und Risiko für das untersuchte Tier bei einer Untersuchungsdauer von ein bis zwei Stunden unverhältnismäßig gewesen wäre.

### 5.1.2 Methoden

#### 5.1.2.1 Wahl der Schnittebene

Es wurden von acht Katzenköpfen transversale anatomische Schnitte angefertigt, von fünf Katzen sagittale Schnitte und von einer Katze dorsale Schnittbilder.

Diese Häufigkeitsverteilung hatte folgenden Grund: Transversale Schnitte sind für die Medizin meiner Ansicht nach am besten, da ein Vergleich von rechts und links auch ungeübteren Praktikern leicht Veränderungen bei der Symmetrie zeigt und so Hinweise auf pathologische Veränderungen liefert. Darüber hinaus ist diese Schnittebene im Vergleich zu den anderen beiden Ebenen die „geläufigste“, sei es in der Anatomie oder auch in der klinischen Anwendung. Ein Nachteil der transversalen Schnitfführung ist, dass man für eine vollständige Untersuchung je nach Schichtdicke sehr viele Aufnahmen braucht, was – laut Herrn Dr. Brühschwein aus der Radiologie der LMU München - in der Magnetresonanztomographie zeitlich bei Hochfeldgeräten nicht so ins Gewicht fällt wie bei Niederfeldsystemen (Brühschwein, 2011). Sagittale Schnitte wiederholen sich auf der gegenüberliegenden Seite, wodurch bei einer anatomischen oder magnetresonanztomographischen Schnittserie jeweils zwei fast identische Bilder anfallen. Es gibt allerdings geringe Unterschiede, z. B. ist die rechte

---

Großhirn-hemisphäre bei der Katze etwas größer als die linke (NICHEL et al., 2003b). Für dorsale Schnitte gibt es in der Literatur nur wenige Vergleichsmöglichkeiten, was ebenfalls deren untergeordnete Bedeutung in der Praxis aufzeigt. Bei Niederfeldgeräten, wo sich der zeitliche Faktor bemerkbar macht, wird – laut Herrn Dr. Brüschwein aus der Radiologie der LMU München - um des Seitenvergleichs und der geringeren Schnitzzahl willen statt der transversalen Ebene manchmal die dorsale Ebene angewendet (Brüschwein, 2011). Die dorsalen Schnitte wurden in der vorliegenden Arbeit nur für die Vollständigkeit berücksichtigt. Bei den magnetresonanz-tomographischen Bildern allerdings wurden immer Aufnahmen von mehreren Ebenen hergestellt. Dort finden sich, zur besseren Beurteilung der Struktur, neben den transversalen und sagittalen Bildern auch dorsale Schnitte.

#### 5.1.2.2 Einbettung und Sägen

Bei der Einbettung der Katzenköpfe ergab sich folgende Schwierigkeit: Anhand der MRT-Bilder mussten die Köpfe so in die Einbettmasse gelegt werden, dass die geplante anatomische Schnittebene dann möglichst genau mit den magnetresonanz-tomographischen Bildern übereinstimmte. Einmal eingebettet, gab es keine nachträgliche Korrekturmöglichkeit mehr, da die Säge nur vertikale Schnitte erlaubte. Die sagittalen und transversalen Darstellungen waren dabei einfacher zu bewerkstelligen, da die Köpfe nur mit ihrer Längsachse parallel zur Wand der Styroporbox liegen mussten (s. Abbildung 30), um mit den praxisüblichen MRT-Schnittebenen zu korrelieren. Bei der dorsalen Darstellung ergaben sich zwei Probleme: erstens die Lagerung des Kopfes. Da immer mehrere, unterschiedlich gelagerte Katzen in einer Box waren und der Block von vorne bis hinten millimeterweise abgesägt wurde, musste der Kopf für die dorsale Darstellung auf der Seite liegend eingebettet werden, was durch die weiche Einbettmasse und die Kopfform erschwert wurde. Zweitens sollten die MRT-Aufnahmen des Gehirns, wie in der Tiermedizin üblich, parallel zum Rhombencephalon angefertigt werden (und nicht parallel zur Ventralseite des Katzenkopfes), was in der Magnetresonanztomographie durch die Anfertigung von sogenannten Scouts vor den eigentlichen Bildern leicht möglich ist. Da beim anatomischen Schnittbilderverfahren diese Hilfsmittel nicht zur Verfügung stehen,

---

stellt diese Vorgehensweise, wie die vorliegende Dissertation zeigt, ein unsicheres und nicht ausreichend genaues Verfahren dar. Als Lösung würden sich Markierungen am Kopf anbieten, die mittels MRT so platziert werden, dass der Kopf dann anhand dieser in einem bestimmten Winkel eingebettet werden kann. Man könnte auch eine Box nur für denjenigen Kopf reservieren, der dorsal geschnitten wird, damit man diesen dann doch mit seiner ventralen Seite auf den Boden der Box legen und diese zum Schneiden dann drehen kann. Die Markierungen dürften nicht aus Metall sein, da diese zu Artefakten bei den MRT-Aufnahmen und zu Problemen beim Sägen führen würden.

#### 5.1.2.3 Einstellungen am MRT

Bei der Untersuchung mittels MRT wurden verschiedene MRTs, Spulen und nicht zuletzt Einstellungen und Schichtdicken ausprobiert, um eine bestmögliche Darstellung der Kerngebiete und der Nase und Nasennebenhöhlen zu haben. Diese sind in Tabelle 5 (MRT-Einstellungen für die Untersuchung) aufgezeigt. Alle verwendeten Einstellungen mittels einer Abbildung in dieser Arbeit darzustellen, würde den Rahmen der Dissertation sprengen. Die Bilder können aber bei der Autorin eingesehen werden. Für die Darstellung der Nasenmuscheln erwies sich die  $T_1$  am geeignetsten. Die Nasenmuscheln waren wesentlich deutlicher und die luftgefüllten Räume besser zu erkennen, da sie sich schärfer abgegrenzt haben. Das war zu erwarten, da, wie im Literaturteil erwähnt,  $T_1$ -gewichtete Bilder wegen des stärkeren Signals eine bessere Ortsauflösung, aber einen geringeren Gewebekontrast als  $T_2$ -gewichtete Bilder ergeben (SCHILD, 1997).

#### 5.1.2.4 Einfluss von Schichtdicke und Untersuchungszeit auf die Bildqualität

Bei zunehmender Schichtdicke im MRT wurden die Bilder deutlicher, der Nachteil war, dass dann weniger korrelative Bilder zu den anatomischen Schnittbildern vorhanden waren, welche ja eine geringere Schichtdicke von 1 mm hatten. Die Schichtdicke beeinflusst, wie oben erwähnt, das Signal-zu-Rausch-Verhältnis. Je dicker eine Schicht, umso besser ist das Signal bei gleichem Rauschen. Umgekehrt steigt aber mit zunehmender Schichtdicke, gerade bei kleinen Strukturen wie am Katzengehirn die Gefahr von Partialvolumeneffekten, da sich bei einer dicken Schicht

---

mehr Signale unterschiedlicher Gewebe innerhalb eines Voxels befinden können. Je dünner die Schicht, umso geringer das Signal und damit auch umso schlechter das Signal-zu-Rausch-Verhältnis (BEYER, 2008). Dies konnte auch für die Aufnahmen in der vorliegenden Arbeit bestätigt werden. Es ergab sich bei der vorliegenden Dissertation also das Problem, dass man bei den teils sehr kleinen Strukturen wie den Kerngebieten im Katzenschädel zugunsten des besseren Signals eine größere Schichtdicke von 2-3 mm in Kauf nehmen musste. Als Kompromiss wurden noch Aufnahmen in CISS-3D-Technik angefertigt.

Die MRT-Bilder, welche mit den stärkeren Magnetresonanztomographen hergestellt wurden, ergaben etwas mehr Details. Der Hauptvorteil bestand aber aus der wesentlich kürzeren Untersuchungszeit (siehe unten: Vergleich der Geräte anhand der Magnetfeldstärke). Dort hätte man durch eine längere Untersuchungszeit vielleicht noch bessere Ergebnisse erzielen können.

#### 5.1.2.5 Artefakt oder Kerngebiet?

Es hat sich in der vorliegenden Arbeit gezeigt, dass man allein an den MRT-Bildern nicht immer sicher entscheiden kann, ob es sich um ein Kerngebiet oder um ein Artefakt handelt, welches z.B. durch das sog. Rauschen bedingt ist. Auch wenn man die zweite Ebene oder die nächste Schicht zu Rate zieht, gibt es meist kein eindeutiges Ergebnis, da man ja, um einigermaßen scharfe Bilder zu machen, Schichtdicken von zwei bis drei Millimetern wählen musste. Auch ein Vergleich mit dem anatomischen Schnittbild bringt dahingehend nur selten ein eindeutiges Ergebnis, da bei den kleinen Kerngebieten auch der anatomische Schnitt oft undeutlich ist und es mit der bei dieser Dissertation angewandten Sägemethode keine hundertprozentige Korrelation im Hinblick auf Schichtebene und deren Winkelung im Raum zwischen den anatomischen und den magnetresonanztomographischen Schnittbildern gegeben hat.

#### 5.1.2.6 Vergleich der Geräte anhand der Magnetfeldstärke

Die Bildqualität wird in der MRT von Parametern bestimmt, die den Kontrast beeinflussen (TR, TE, Flipwinkel bei der Gradiententechnik) oder die Einfluss auf das Signal-zu-Rausch-Verhältnis nehmen, wie die Magnetfeldstärke, die Qualität der Empfangsspulen und der HF-Spulen, die Anzahl der Mittelungen und die

Voxelgröße. Außerdem ist ein weiteres Kriterium zur Bildoptimierung die räumliche Auflösung, die durch die Schichtdicke, den Schichtabstand, das FOV und die Matrix beeinflusst wird.

Das Signal-zu Rausch-Verhältnis ist folgendermaßen definiert: Das Rauschen im Bild ist eine zufällige Schwankung der Signalintensität, die nicht zur Bildinformation beiträgt und das für die Nutzinformation erforderliche Signal überlagert (Wannenmacher et al., 2006). Es erscheint im Bild als körniges regelloses Muster. Aus physikalischen Gründen ist das Rauschen unvermeidbar. Daher muss versucht werden, das Signal zu maximieren. Je höher die Feldstärke, umso besser das Signal. Das MR-Signal wächst quadratisch mit der Magnetfeldstärke, das Signal-zu-Rausch-Verhältnis wächst linear mit der Magnetfeldstärke. Das Rauschen wird also bei höherer Feldstärke ebenfalls stärker und die Inhomogenitäten nehmen zu. Dennoch ist ein positiver Effekt höherer Feldstärken im Vergleich zu niedrigeren zu erwarten.

Interessant wäre gewesen, dieselben Einstellungen bei den unterschiedlichen Geräten anzuwenden. Da aber in der Praxis wegen der Narkose die Untersuchungszeit so kurz wie möglich gemacht wird, wurde teilweise zugunsten der Untersuchungszeit auf bessere Bildqualität verzichtet. Die Untersuchungszeiten haben sich wesentlich unterschieden. Bei den transversalen Bildern dieser Dissertation war das folgendermaßen zu spüren: während bei dem 0,25 Tesla starkem Gerät z.B. für die  $T_1$ -Schnittserie ganze 14,39 Minuten benötigt wurden (Katze 2), konnten die  $T_1$ -Bilder mit dem 1,5 Tesla starkem Gerät in 5,42 Minuten (Katze 9) und mit dem 3,0 Tesla Gerät (Katze 13) in 4 Minuten angefertigt werden.

## **5.2 Medizinische Anwendungsmöglichkeiten der Ergebnisse**

Ziel der Arbeit war die korrelative Darstellung des felinen Kopfes anhand magnetresonanztomographischer und anatomischer Schnittbilder und die entsprechende Erstellung eines Atlas. Dieser kann Praktikern bei der Wahl der Einstellungen für den Magnetresonanztomographen und der Auswertung ihrer magnetresonanztomographischen Bilder helfen. Findet der Praktiker eine veränderte Struktur, kann er deren Lage benennen und nicht zuletzt dadurch auch auf die Auswirkungen für das Tier schließen. Allerdings konnten im Rahmen dieser Dissertation nicht alle mögli-

---

chen Einstellungen ausprobiert werden, das hätte den Rahmen einer einzelnen Dissertation gesprengt, und so kann auch nicht ausgeschlossen werden, dass nicht noch bessere Einstellungsmöglichkeiten vorhanden sind. Bei der vorliegenden Dissertation basieren die Einstellungen einerseits auf Literaturangaben, v.a. auf den Angaben von Hudson et al. im Artikel "Magnetic resonance imaging of the normal feline brain" im *Veterinary Radiology and Ultrasound* (HUDSON et al., 1995), wo bereits spezielle Angaben zur Einstellung gemacht werden und auf den Grundlagen von Büchern zur Physik der Magnetresonanztomographie, wie z.B. dem Buch *MRT-Einstelltechnik* von Möller (MÖLLER und REIF, 2003). Ebenso wurden aber auch eigene Erfahrungen bzw. die eines Besitzers einer Tierklinik mit MRT sowie diejenigen der radiologisch-technischen Assistentinnen der Praxis für Kernspintomographie beim Menschen, Professor Friedrich und Partner, mit in die Arbeit eingebracht.

Die Kerngebiete sollten besonders berücksichtigt werden, da in der heutigen Zeit sich kaum mehr ein Tierbesitzer mit der Diagnose „da ist was im Kopf“ zufrieden gibt, sondern genaue Lokalisation und Prognose erfahren möchte. Auch bei einer eventuellen Operation am Gehirn ist es wichtig, die Strukturen genau benennen zu können. Hierbei hat sich gezeigt, dass die Kerngebiete eine gewisse Größe besitzen müssen, um mittels MRT dargestellt werden zu können und rein von der Auflösung betrachtet die anatomischen Schnitte immer noch der Kernspintomographie überlegen sind. Aber selbst mit anatomischen Schnitten können nicht alle Kerngebiete makroskopisch dargestellt werden und man muss sich der Histologie bedienen. Dies ist v.a. im Rhombencephalon der Fall. Hierbei kann der Tierarzt dann eventuell von den Symptomen auf die Lokalisation einer Veränderung im Gehirn schließen, da ja anatomische Schnitte im Vergleich zu den magnetresonanztomographischen nur am toten Tier durchgeführt werden können. Dies ist ein entscheidender Vorteil der Kernspintomographie.

Die Nase ist bei der Katze endoskopisch wegen der dicht gefügten Nasenmuscheln nicht gut zugänglich und kann auch mit einem sehr feinen Endoskop nicht ausreichend und vollständig begutachtet werden. Zudem wird die Sicht oft durch Blutungen aus der stark durchbluteten Nasenschleimhaut gestört.

Will man z.B. einen Fremdkörper finden, ist neben der retrograden Untersuchung der Nase v.a. die Kernspintomographie geeignet. Im Vergleich zum Röntgen erhält man

---

eine überlagerungsfreie Darstellung, welche auch Weichteile besser darstellt als Röntgen und CT. Für eine MRT- Untersuchung sollte in der vorliegenden Dissertation Vergleichsmaterial geschaffen werden.

### **5.3 Relevanz der modernen Schnittbildverfahren**

Die modernen Schnittbildverfahren und hier v.a. die Magnetresonanztomographie sind aus der Tiermedizin heute nicht mehr wegzudenken. Ohne den Einsatz von ionisierenden Strahlen erschließt sie uns die Regionen des Körpers, die bislang dem Röntgen, dem Ultraschall und auch der Computertomographie verschlossen blieben. Innere Organe, das Weichteilgewebe und die Knochen können in verschiedenen Kontrasten und Schnittebenen dargestellt werden. Damit gelingt eine Differenzierung von pathologischen und physiologischen Strukturen. Es gibt auch schon neue, schnellere Aufnahmeverfahren, welche das Scannen einzelner Schnittbilder in Bruchteilen einer Sekunde möglich machen und so eine wirkliche Echtzeit-MRT liefern. Damit kann man beispielsweise ein schlagendes Herz untersuchen. In der Tiermedizin wird die MRT u.a. angewandt auf der Suche nach Tumoren, Entzündungen, erworbene oder angeborene Fehlbildungen (Hydrozephalus, Zysten), vaskulären Veränderungen, Blutungen und Degenerationen. Da die MRT-Bilder beliebig oft dargestellt werden können, ergeben sich auch gute Verlaufskontrollen von Krankheiten. Die Bilder dieser Dissertation zeigen, dass eine sehr gute Korrelation zwischen den MRT-Bildern und den anatomischen Schnittbildern möglich ist.

### **5.4 Ausblick**

Kenntnisse über die Anatomie sind in der Tiermedizin neben der Physiologie eine wichtige Grundlage für die Diagnostik und Therapie von pathologischen Veränderungen. Die Magnetresonanztomographie ist momentan das wichtigste Hilfsmittel in der Neurowissenschaft. Durch ständige Verbesserungen in der räumlichen und zeitlichen Auflösung konnten schon große Fortschritte in der Gehirnforschung erzielt werden. Momentan sind wir an einem Punkt angelangt, wo allerdings einer weiteren Erhöhung der Auflösung Grenzen gesetzt sind. Die Verwendung von Hochfeldgeräten kann diese Grenzen überwinden (HEIDEMANN, 2007) und wird meiner Meinung nach auch in der Tiermedizin irgendwann ihren Einzug finden. Allerdings ist der

---

Schritt zu höheren Magnetfeldstärken nicht unumstritten. Neben höherem Aufwand für Installation und den Betrieb treten auch hochfeldspezifische Probleme viel deutlicher auf. Eines dieser Probleme, die vermehrten Suszeptibilitätsartefakte, entsteht bei Magnetfeldinhomogenitäten an Nahtstellen zwischen zwei Geweben z.B. zwischen Luft und Knochen. Dadurch kommt es zu Auslöschungen oder Verzerrungen. Daneben erreicht auch die spezifische Absorptionsrate ihr Limit. Sie ist das Maß für die Absorption von elektromagnetischen Feldern in biologischem Gewebe. Durch dieses In-sich-Aufnehmen von Energie kommt es zu einer Erwärmung des Gewebes, die in vivo nicht ungefährlich ist.

Die Wissenschaft muss aber immer einen Schritt voraus gehen und deshalb wird z.B. am Max-Planck-Institut daran gearbeitet, die Vorteile der Ultra-Hochfeld-MRT nutzbar zu machen und dann Substrukturen in Gehirnarealen und Verknüpfungen zwischen einzelnen Arealen anatomisch und physiologisch mit einer bisher nicht erreichbaren Genauigkeit zu erfassen (HEIDEMANN, 2007). Dies würde natürlich auch für die Tiermedizin und bei solch kleinen Strukturen wie den Kerngebieten im Katzenhirn für einen großen Fortschritt sorgen. Außerdem könnte dann auch die Untersuchungszeit weiter reduziert werden, was gerade in der Tiermedizin, wo normalerweise die Untersuchung nur unter Narkose stattfinden kann, einen großen Vorteil bringt. Dadurch, dass man immer mindestens zwei Ebenen für die Diagnostik benötigt und auch verschiedene Wichtungen einsetzt, summieren sich die eingesparten Zeiten erheblich. Wo die MRT nicht nur starre Bilder liefert, sondern auch physiologische Vorgänge, die Aktivität von Gehirnarealen und die Durchblutung von Gehirngewebe, ist sie der Computertomographie überlegen.

Momentan ist die Einführung von Hochfeldgeräten mit einer Feldstärke von z.B. 7 T in Kliniken oder Tierarztpraxen noch in weiter Ferne, aber Geräte mit einer Magnetfeldstärke von 1,5 bis 3 T waren vor einigen Jahren ebenfalls „undenkbar“.

Ob sich allerdings auch die Möglichkeiten der Therapie in demselben Tempo wie die Diagnostik verbessern, bleibt zu bezweifeln. Allerdings ist in diesem Zusammenhang die Errichtung einer onkologischen Bestrahlungseinheit für Kleintiere an der Medizinischen Kleintierklinik ein Schritt in die Richtung, der verbesserten Diagnostik eine vergleichbare Therapie folgen zu lassen.



---

## 6 Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war die korrelative Darstellung der felines Nasenhöhle sowie Nasennebenhöhlen und des felines Gehirns unter besonderer Berücksichtigung der Kerngebiete anhand anatomischer und magnetresonanztomographischer Schnittbilder. Dazu wurden zum Vergleich 14 Katzenköpfe mit Magnetresonanztomographen unterschiedlicher Magnetfeldstärke, mit unterschiedlichen Spulen, Anregungssequenzen, Schichtdicken und in mindestens zwei Ebenen untersucht. Danach wurden anatomische Schnitte mittels Kryoschnittverfahren in drei Ebenen angefertigt.

Die Gegenüberstellung von anatomischem und magnetresonanztomographischem Schnittbild erfolgte jeweils als Serie von transversalen, sagittalen und dorsalen Bildern, wobei einem anatomischen Schnittbild meist zwei bis drei entsprechende magnetresonanztomographische Bilder unterschiedlicher, klinisch-relevanter Wichtungen gegenübergestellt wurden. Diese Bildtafeln wurden mit einer ausführlichen Beschriftung und einem Lokalizier versehen. Es entstand ein Atlas für den klinisch tätigen Tierarzt mit der Möglichkeit, verschiedene MRT-Einstellungen zu vergleichen. Dabei lieferten die transversalen Schnitte des Kopfes die größte Detailgenauigkeit bei der Darstellung der Nase und der Nasennebenhöhlen sowie neuronaler Strukturen.

Die stärkeren Magnetresonanztomographen erzeugten detailreichere und kontrastreichere Bilder, der Hauptvorteil dieser Geräte aber war die kürzere Untersuchungszeit bei gleichwertigen Bildern. Die Kerngebiete konnten - je nach Größe - nicht alle eindeutig dargestellt werden.

Bei einer rein anatomischen Betrachtung zeigt sich, dass die anatomischen Schnittbilder den MRT-Bildern in der Detaillierbarkeit deutlich überlegen sind. Es gibt aber für klinische Zwecke eine gute Korrelation zwischen der Anatomie als Goldstandard und der Magnetresonanztomographie, die in der Diagnostik zugrundegelegt werden kann, um in vivo eine Differenzierung der physiologischen Morphologie und der davon abweichenden pathologischen Strukturen sowie Verlaufskontrollen von Krankheiten zu haben.

---

## 7 Summary

Correlative anatomical and magnetic resonance cross-sectional imaging of the feline nasal cavity and paranasal sinuses and the feline brain with special reference to its nuclei

The objective of this study was the correlative imaging of the feline nasal cavity and the paranasal sinuses as well as the feline brain with special reference to its nuclei based on anatomical cross-sections and magnetic resonance images. 14 feline heads were analyzed using magnetic resonance tomography with different magnetic field strength, different coils, sequences of excitation and slice thickness. The analysis was performed at least in two planes per investigation. Anatomical slices were produced by cryo-sectioning in three orthogonal planes.

Stacks of anatomical sections in all three planes were correlated with a corresponding series of two to three MR images with different clinically relevant weightings. The images were labeled with detailed lettering and a localizer. The result was an atlas to be used by veterinary clinicians allowing to compare the different MR-imaging modalities. The greatest accuracy of detail was achieved by transverse cross-sections with regard to the nasal cavity, the paranasal sinuses as well as the brain's neuronal structures.

The MRTs with higher field strength produced images which were more detailed and high in contrast, but the key benefit was the shorter examination time with equal picture quality compared to low-field MRTs.

However, depending on their size, it was not possible to depict all the nuclei.

Under strictly anatomical considerations, the anatomical sections are superior to MRIs as to detailed images. Nonetheless between the anatomy as a gold standard and the MRI there is a good correlation, which can be taken as a sound basis in diagnostics to differentiate in-vivo physiological morphology from pathological changes as well as to monitor the process of diseases.

---

## 8 Literaturverzeichnis

- 1 Beitz, A. J. und Fletcher, T. F. (1993): The brain. In: H. E. Evans, Miller's Anatomy of the dog. W. B. Saunders, Philadelphia: S. 894-952.
- 2 Bernhardt, M. (2008): Gefrierbrand. Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Wikipedia.
- 3 Beyer, H.-K. (2008): MRT der Gelenke und der Wirbelsäule: Radiologisch-orthopädische Diagnostik, Berlin Heidelberg New York.
- 4 Böhme, G. (1994): Zentralnervensystem. In: J. Frewein und B. Vollmerhaus, Anatomie von Hund und Katze. Blackwell Wissenschaft, Berlin: S. 130-146.
- 5 Böttcher, P. und Maierl, J. (1999): Macroscopic cryosectioning: a simple new method for producing digital, threedimensional databases in veterinary anatomy. Anat. Histol. Embryol. **28**: 97-102.
- 6 Brinkmann, B. und Madea, B. (2004): Handbuch gerichtliche Medizin, Band 1. Springer, Berlin Heidelberg New York: S. 150.
- 7 Brühschwein, A. (2011): persönliche Mitteilung
- 8 Budras, K.-D., Fricker, W. und Richter, R. (2007): Atlas der Anatomie des Hundes. Schlütersche, Hannover.
- 9 Evans, H. E. (1993a): Arthrology. In: H. E. Evans, Miller's Anatomy of the dog. W. B. Saunders, Philadelphia: S. 219-257.
- 10 Evans, H. E. (1993b): The ear. In: H. E. Evans, Miller's Anatomy of the dog. W. B. Saunders, Philadelphia: S. 988-1008.

- 
- 11 Evans, H. E. (1993c): The skeleton. In: H. E. Evans, Miller's Anatomy of the dog. W. B. Saunders, Philadelphia: S. 122-218.
  - 12 Evans, H. E. und Kitchell, R. L. (1993): Cranial nerves and cutaneous innervation of the head. In: H. E. Evans, Miller's Anatomy of the dog. W. B. Saunders, Philadelphia: S. 953-987.
  - 13 Fletcher, T. F. (1993): Spinal cord and meninges. In: H. E. Evans, Miller's Anatomy of the dog. W. B. Saunders, Philadelphia: S. 800-828.
  - 14 Frewein, J. (1994a): Endokrine Drüsen. In: J. Frewein und B. Vollmerhaus, Anatomie von Hund und Katze. Blackwell Wissenschaft, Berlin: S. 440-448.
  - 15 Frewein, J. (1994b): Muskulatur. In: J. Frewein und B. Vollmerhaus, Anatomie von Hund und Katze. Blackwell Wissenschaft, Berlin: S. 77-129.
  - 16 Frewein, J. (1994c): Peripheres Nervensystem. In: J. Frewein und B. Vollmerhaus, Anatomie von Hund und Katze. Blackwell Wissenschaft, Berlin: S. 378-402.
  - 17 Gross, B., Garcia-Tapia, D., Riedesel, E., Matthew, N. und Jens, J. K. (2010): Normal canine brain maturation at magnetic resonance imaging. *Vet. Radiol. Ultrasound* **51**(4): 361-373.
  - 18 Habermehl, K.-H. (1994): Kopfdarm und Gebiß. In: J. Frewein und B. Vollmerhaus, Anatomie von Hund und Katze. Blackwell Wissenschaft, Berlin: S. 130-146.

- 
- 19 Heidemann, R. M. (2007): Magnetresonanztomographie bei hohen Feldstärken: Ist stärker besser? Tätigkeitsbericht; Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften. Leipzig.
  - 20 Hermanson, J. W. und Evans, H. E. (1993): The Muscular System. In: H. E. Evans, Miller's Anatomy of the dog. W. B. Saunders, Philadelphia: S. 258-384.
  - 21 Hogg, D. A. (1999): Topographical anatomy of the central nervous system. In: A. S. King, Central nervous system. Blackwell Science, Oxford: S. 256-296.
  - 22 Hudson, L. C., Cauzinille, L., Kornegay, J. N. und Tompkins, M. (1995): Magnetic resonance of the normal feline brain. Vet. Radiol. Ultrasound **36**(4): 267-275.
  - 23 Hullinger, R. L. (1993): The endocrine system. In: H. E. Evans, Miller's Anatomy of the dog. W. B. Saunders, Philadelphia: S. 559-585.
  - 24 Jackson, Simon A. und Thomas, Richard M. (2005): CT, MRT, Ultraschall auf einem Blick. Urban und Fischer Verlag, München: S. 66.
  - 25 King, A. S. (1999): Central Nervous System. Blackwell Science, Oxford.
  - 26 Kitchell, R. L. und Evans, H. E. (1993): The spinal nerves. In: H. E. Evans, Miller's Anatomy of the dog. W. B. Saunders, Philadelphia: S. 829-893.
  - 27 König, H. E. (1992): Anatomie der Katze. F. Enke, Stuttgart.

- 
- 28 König, H. E. (1994): Ohr. In: J. Frewein und B. Vollmerhaus, Anatomie von Hund und Katze. Blackwell Wissenschaft, Berlin: S. 433-439.
- 29 König, H. E. und Liebich, H.-G. (1999): Anatomie der Haussäugetiere: Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis, Bd. II. Organe, Kreislauf- und Nervensystem. Schattauer, Stuttgart.
- 30 Kramer, M. (2010): CT/MRT Korrekte Indikationsstellungen- Wann nehme ich welches Schnittbildverfahren. [http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2011/8151/pdf/Kramer\\_CT\\_MRT\\_2010.pdf](http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2011/8151/pdf/Kramer_CT_MRT_2010.pdf).
- 31 Lasserre, A. und Blohm, L. (2003): Kurzlehrbuch Radiologie. Urban und Fischer.
- 32 Liebich, H.-G. (2010): Funktionelle Histologie der Haussäugetiere und Vögel. Schattauer, Stuttgart.
- 33 Melzer, C. (1991): Entstehung und Bedeutung von Artefakten bei der sonographischen Diagnostik des Säuglingshüftgelenkes unter Berücksichtigung morphologischer Gegebenheiten Justus-Liebig-Universität Gießen, Habilitationsschrift, Gießen.
- 34 Möller, T. B. und Reif, E. (2003): MRT-Einstelltechnik. Thieme, Stuttgart.
- 35 Mortimer, C. E. (1996): Chemie: das Basiswissen der Chemie; mit Übungsaufgaben; 123 Tabellen. Thieme, Stuttgart; New York.
- 36 Murphy, C. J. und Pollock, R. V. H. (1993): The eye. In: H. E. Evans, Miller's Anatomy of the dog. W. B. Saunders, Philadelphia: S. 1009-1057.

- 
- 37 Nickel, R., Schummer, A. und Seiferle, E. (2003a): Muskelsystem. In: R. Nickel, A. Schummer und E. Seiferle, Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Verlag Paul Parey, Berlin, Hamburg. **Band 1:** S.
- 38 Nickel, R., Schummer, A. und Seiferle, E. (2003b): Nervensystem. In: D. G. Böhme, Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Verlag Paul Parey, Berlin. **Band 4:** S.
- 39 Salomon, F.-V., Geyer, H. und Gille, U. (2008): Anatomie für die Tiermedizin. F. Enke Verlag, Stuttgart.
- 40 Schild, H. (1997): MRI made easy. Schering Aktiengesellschaft Berlin.
- 41 Schnorr, B. und Kressin, M. (2006): Embryologie der Haustiere. Enke, Stuttgart.
- 42 Schuller, S. (2003): Magnetresonanztomographische Darstellung des Gelenkknorpels am Schulter- und Ellengogengelenk des Hundes. Ludwig-Maximilians-Universität, Diss. med. vet., München.
- 43 Vollmerhaus, B., Frewein, J., Roos, H. und Knospe, C. (1994a): Skelett. In: J. Frewein und B. Vollmerhaus, Anatomie von Hund und Katze. Blackwell Wissenschaft, Berlin: S. 4-52.
- 44 Vollmerhaus, B., Roos, H. und Quecke, A. (1996): Über die biologische Wertigkeit der Bewegungen im Kiefergelenk von Schäferhund und Hauskatze. Tierärztl. Prax. **24**(1): 73-78.
- 45 Vollmerhaus, B., Waibl, H. und Roos, H. (1994b): Gelenke. In: J. Frewein und B. Vollmerhaus, Anatomie von Hund und Katze. Blackwell Wissenschaft, Berlin: S. 53-76.

- 
- 46 Wannemacher, M., Debus, J. und Wenz, F. (2006): Strahlentherapie. Springer, Berlin Heidelberg New York: S178.
- 47 Warmuth, C. (2003): Nichtinvasive Magnetresonanz-Perfusionsmessung des Gehirns mittels Magnetischer Blutbolusmarkierung (Spin-Labeling). Humboldt-Universität, Diss. med., Berlin.
- 48 Wiesner, E. und Ribbeck, R. (2000): Lexikon der Veterinärmedizin. Enke im Hippokrates Verlag GmbH, Stuttgart.
- 49 Wild, P. (1994): Auge. In: J. Frewein und B. Vollmerhaus, Anatomie von Hund und Katze. Blackwell Wissenschaft, Berlin: S. 414-432.
- 50 Zengerling, M. T. (2004): „BovineDigit“ ein multimediales 3D-Lernprogramm. Ludwig-Maximilians-Universität, Diss. med. vet., München.

---

## 9 Danksagung

An erster Stelle möchte ich Herrn PD. Dr. Johann Maierl danken, der es mir überhaupt erst ermöglichte, eine tiermedizinische externe Doktorarbeit anzufertigen: Für seine engagierte Betreuung, seine vielen netten und hilfreichen E-Mails und Telefonate, seine Zeit, seine vielen guten Ratschläge und seine mentale Unterstützung. Vielen Dank!

Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. mult. H.-G. Liebich und Herrn Prof. Dr. Dr. Dr. F. Sinowatz möchte ich danken, dass ich an ihrem Institut meine Doktorarbeit durchführen durfte.

Ein ganz besonders herzliches Dankeschön gilt Herrn Prof. Dr. Friedrich, ohne dessen großzügige Hilfe meine Doktorarbeit schon am Anfang zum Scheitern verurteilt gewesen wäre. Danke, dass ich die Magnetresonanztomographen Ihrer Praxis benutzen durfte.

Danke an die Mitarbeiterinnen von Herrn Prof. Friedrich, ohne deren Hilfe arbeitstechnische Probleme nicht so einfach hätten bewältigt werden können.

Vielen Dank an meine Kollegin Sabine Becher, die mir mit ihrer eigenen Doktorarbeit eine Inspiration war und die mir vor allem am Anfang viel Zeit und Mühe durch ihre Unterlagen erspart hat, die sie immer großzügig mit mir geteilt hat.

Danke an Herrn Dr. Grappendorf, dessen MRT ich für meine ersten beiden Katzenköpfe verwenden durfte.

Danke an die Praxis Dipl. med. vet. Lekschas, Stadtlauringen, die mir Katzenköpfe zur Verfügung gestellt hat.

Danke an die Praxis Dr. H. Fischer, Bad Kissingen, für die zahlreichen Katzenköpfe und die stetige Unterstützung.

Danke auch an die Praxen Dr. Göde, Schweinfurt und A. Reddemann, Maßbach, für die Unterstützung.

Vielen Dank an Stefan Kopic für die sehr hilfreiche und nette Einführung in Photoshop®, die er sich extra für mich ausgedacht hat und seine ständige Hilfe bei technischen und sprachlichen Herausforderungen.

Danke an Thomas, der bei Problemen stets zur Stelle ist.

Nicht zuletzt ein ganz besonderer Dank an meine liebe Familie für die immerwährende mentale Unterstützung, die Sorge um mein leibliches Wohl, das Babysitten und vieles mehr. Ihr seid die Besten!