

Untersuchungen am Kopf der Graumulle  
(*Cryptomys anelli* sp. nova; aus Sambia, Lusaka)  
mit lichtmikroskopischen und  
modernen bildgebenden Verfahren

INAUGURAL-DISSERTATION  
zur Erlangung des Doktorgrades beim  
Fachbereich Veterinärmedizin  
der Justus-Liebig-Universität Gießen

OLIVER G. SCHUMM



Aus dem Zentrum der Morphologie  
(Dr. Senckenbergische Anatomie III)  
des Klinikums der Johann Wolfgang Goethe Universität  
Frankfurt am Main

Betreuer: Prof. Dr. H. A. Oelschläger

Eingereicht über das Institut für Veterinär- Anatomie, -Histologie  
und -Embryologie der Justus-Liebig-Universität Gießen

im Fachbereich vertreten durch: Prof. Dr. G. Hummel

Untersuchungen am Kopf der Graumulle  
(*Cryptomys anelli* sp. nova; aus Sambia, Lusaka)  
mit lichtmikroskopischen und  
modernen bildgebenden Verfahren

INAUGURAL-DISSERTATION  
zur Erlangung des Doktorgrades beim  
Fachbereich Veterinärmedizin  
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Eingereicht von  
OLIVER G. SCHUMM  
Tierarzt aus Kelsterbach (Hessen)

Gießen 2005

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

Dekan: Prof. Dr. M. Reinacher

---

1. Berichterstatter: Prof. Dr. H. A. Oelschläger

2. Berichterstatter: Prof. Dr. G. Hummel

Tag der mündlichen Prüfung: 28.02.2005

# Inhaltsverzeichnis

1	<b>EINLEITUNG</b>	1
2	<b>MATERIAL UND METHODE</b>	4
	2.1 <b>Computertomographie (CT)</b>	5
	2.1.1 Methode	5
	2.1.2 Material	6
	2.2 <b>Magnetresonanztomographie (MRT)</b>	7
	2.2.1 Methode	7
	2.2.2 Material	8
	2.3 <b>Histologie</b>	8
	2.4 <b>Zeichnungen des Kopfskelettes</b>	11
	2.5 <b>Fotografien des Kopfskelettes</b>	12
	2.6 <b>Röntgenbilder</b>	12
3	<b>ERGEBNISSE</b>	13
	3.1 <b>Dokumentation und Erfassung des Kopfskelettes</b>	13
	3.1.1 Schädelknochenzeichnungen	14
	3.1.2 Fotografien des Schädels	19
	3.1.3 3d - Rekonstruktion der Computertomogramme des Kopfes	22
	3.1.4 Röntgenaufnahmen	24
	3.1.5 3d – Rekonstruktion des gesamten Skeletts	26
	3.2 <b>Schnittserien durch den Kopf von <i>Cryptomys</i></b>	27
	3.2.1 Beschreibung der transversalen Schnittserie	28
	3.2.2 Beschreibung der horizontalen Schnittserie	35
	3.2.3 Beschreibung der sagittalen Schnittserie	49
	3.3 <b>Zusammenfassende dreidimensionale Betrachtung der morphologischen Ergebnisse</b>	63
4	<b>DISKUSSION</b>	69
	4.1 <b>Allgemeine Aspekte</b>	69
	4.2 <b>Makroskopisch – morphologische Befunde</b>	70

4.3	<b>Synthetische Betrachtung der Befunde der Histologie und der bildgebenden Verfahren</b>	72
4.4	<b>Technische Untersuchungsergebnisse</b>	76
5	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	82
6	<b>SUMMARY</b>	83
7	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	84
8	<b>BILDTEIL</b>	90
8.1	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	90
	- <i>Cryptomys</i>	90
	- Meerschweinchen	93
8.2	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	94
	- Schädelknochenzeichnungen - <i>Cryptomys</i>	94
	- Fotografien des Schädels	96
	- 3d - Rekonstruktion der Computertomogramme des Kopfes	100
	- Röntgenaufnahmen	103
	- 3d – Rekonstruktionen des gesamten Skeletts aus Computertomogrammen	104
	- transversale Schnittserie von <i>Cryptomys</i>	106
	- horizontale Schnittserie von <i>Cryptomys</i>	118
	- sagittale Schnittserie von	148
	- Schädelknochenzeichnungen – Meerschweinchen	176
	<b>DANKSAGUNG</b>	177

# 1 EINLEITUNG

In der Systematik wird die Gattung *Cryptomys* aufgrund einer Anzahl anatomischer Merkmale den Stachelschweinverwandten (Hystricomorpha) zugeordnet und gehört zur Familie der Sandgräber (Bathyergidae; Tullberg, 1899). *Cryptomys* ist die am weitesten verbreitete Gattung der Bathyergidae und bewohnt einen großen Teil Afrikas südlich des Äquators von Zentralafrika (Südost) bis Südafrika (Burda et al. 1999). In früheren Arbeiten von Burda (1989) und von Marhold (1989) wurden die von mir untersuchten Graumulle konventionell als *Cryptomys hottentotus* bezeichnet. Nach weiteren Untersuchungen (Burda et al. 1992, Filippucci et al. 1994) wurden sie mit einem Chromosomensatz ( $2n = 68$ ) als eine neue Art: *Cryptomys spec.* aus Sambia (Lusaka) bezeichnet. Heute werden sie – nach molekularbiologischen Untersuchungen – als *Cryptomys anselli sp. nova* (Lusakapopulation) klassifiziert (Burda et al. 1999; Ingram et al. 2004).

Insbesondere die Lusakapopulation ist in den letzten Jahren erforscht worden: Der Lusakagraumull ist ein eusozial und permanent unterirdisch lebender Pflanzenfresser, der hauptsächlich offene Landschaften als Lebensraum bevorzugt. *Cryptomys* fehlt nur in wüstenartigen Gebieten. Die Tiere leben in lockeren Böden der Halbwüste, in Steppen, Busch- und offenen Waldgebieten, wurden aber auch in felsigem oder morastigem Grund gefunden (Morlok, 1983).

Die Graumulle sind in Gruppen von 4 - 24 oder mehr Tieren zusammengeschlossen (Marhold 1989). In einer solchen Familie sind alle Altersstufen vertreten. Ihr Lebensraum besteht aus einem Nest, welches sich in einer Tiefe von 15 - 90 cm befindet, Futterkammern, Fäkalienplätzen und einem verbindenden Gangsystem. Sie leben in einem Habitat mit niedriger O<sub>2</sub>- und hoher CO<sub>2</sub>-Konzentration, relativ hoher sowie konstanter Temperatur und Luftfeuchtigkeit. Lange Trockenzeiten sind mit geringem Futteraufkommen gekoppelt (Marhold 1989). Die Tiere graben mit den Zähnen und befördern die Erde mit den Vorder- und Hinterbeinen hinter sich. Deshalb werden sie von Spatz und Stephan (1961) als "Kopfwühler" und von Starck (1961) als "Zahngräber" bezeichnet. Wenn sie eine Ladung loser Erde an die Oberfläche transportieren, bewegen sie sich rückwärts. Dabei ist aber immer etwas Erde zwischen den Tieren und der Oberfläche (Jarvis und Bennett 1990).

Der Graumull legt sein überwiegend gerades Gangsystem in Süd-Südost-Richtung an. Verschließt man das Gangsystem, baut er ein neues, welches erstaunlicherweise parallel zu dem alten Haupttunnel verläuft. Dies lässt auf eine Magnet-Kompass-Orientierung schließen (Burda et al. 1990; Marhold et al. 1997). Die Gänge sind bis zu mehrere hundert Meter lang und vom Nahrungsangebot und der Populationsgröße abhängig (Burda 1989, Marhold 1989, Jarvis und Bennett 1990). Ihr Futter, hauptsächlich unterirdische Pflanzenteile (Knollen), erreichen sie, indem sie 13 - 16 cm unter der Erdoberfläche befindliche Gänge graben. Leicht zu transportierende Geophyten werden in Futterkammern gelagert (Marhold 1989, Jarvis und Bennett 1990).

Insbesondere die Reproduktion und das Sozialverhalten wurden intensiv erforscht (Burda 1989, 1990, 1995; Begall 1997; Begall und Burda 1998; Willingstorfer et al. 1998). *Cryptomys anselli* sp. nova lebt monogam und eusozial (Burda 1989) und zeigt einen sexuellen Dimorphismus. Die männlichen Tiere sind größer als die weiblichen. Meist bilden das größte Männchen und das größte Weibchen das sich reproduzierende Paar, das heißt "König" und "Königin" (Burda 1989, Marhold 1989, Jarvis und Bennett 1990). Die anderen Tiere sind supprimiert, aber nicht infertil (Burda und Lohfink-Schumm, mündliche Mitteilungen); bei den betroffenen Weibchen kommt es zu keinem Eisprung. Sie nehmen der "Königin" verschiedene Aufgaben (Nestbau, Fütterung der Jungtiere) ab und ermöglichen es ihr somit, Energie für die Reproduktion einzusparen (Jarvis und Bennett 1990). Die Tragzeit beträgt 98 +/- 9 Tage, die durchschnittliche Wurfgröße zwei Junge (Burda 1989).

In der Lusakapopulation wurden weiterhin erforscht: das Gehör, die Ohrmorphologie und die Lautäußerungen (Müller und Burda 1989; Burda et al. 1992; Müller et al. 1992; Lindenlaub und Burda 1993, 1994; Lindenlaub et al. 1995; Kössl et al. 1996; Brückmann und Burda 1997; Credner et al. 1997), Aspekte der Neuroanatomie (Oelschläger und Burda 1992; Misek et al. 1996) der Stoffwechselphysiologie (Marhold und Nagel 1995), der Neuroanatomie der Magnetrezeptoren (Nemec et al. 2001; Oelschläger et al. 2002), sowie das Gehirn (Boller 1970; Oelschläger et al. 2002).

Das unterirdische Leben ist sicherer und von äußeren Einflüssen nicht so stark betroffen wie das Leben an der Oberfläche. Jedoch wird das Gangsystem zur Regenzeit überschwemmt und die Graumulle werden von natürlichen Feinden wie Hyänen, Füchsen, Wildkatzen oder Vögeln ausgegraben oder beim Durchwühlen der Erde nahe der Oberfläche erbeutet, beziehungsweise von Schlangen in den Gängen gejagt.

Den Graumullen sieht man auf den ersten Blick an, dass sie zu den Nagetieren gehören.

Tullberg beschrieb die Familie der Bathyergidae schon 1899 in seinem Buch „Über das System der Nagethiere“. Bei der Schilderung von zwei Exemplaren von *Georhynchus capensis*, Pallas, einer nahverwandten Art, bemerkte er, der Kopf sei sehr groß und rundlich. Dies trifft auch auf *Cryptomys* aus Sambia zu, welche infolge der spezifischen Anpassung an die unterirdische und grabende Lebensweise charakteristische Merkmale zeigt. Boller (1970) schreibt: "Dazu gehören als die auffälligsten: walzenförmiger Körper, Verkürzung der Extremitäten, Rückbildung des Schwanzes, des äußeren Ohres, des optischen Apparates u. a." Die Tiere haben ihrem Alter entsprechend ein graues bis braunes Fell. Dominierend ist der Kopf, welcher die gleiche Breite und Höhe aufweist wie der restliche Körper (Walzenform). Die Walzenform wird durch die kurzen Beine, den kurzen Schwanz und die sehr kleinen Ohrmuscheln noch begünstigt. Besonders auffällig sind die Schneidezähne. Sie ragen aus dem Maul hervor und sehen wie Schaufeln eines Baggers aus. Das durchschnittliche Gewicht von sich fortpflanzenden Tieren beträgt bei Weibchen 79,1 g und bei Männchen 96,1 g (Burda 1989, 1990), bei einer Körperlänge der männlichen Tiere von durchschnittlich 121,5 mm und der weiblichen Tiere von 119,3 mm (Burda, mündliche Mitteilung).

Die Grabweise und die damit verbundenen morphologischen Anpassungen des Kopfes wurden erst in den letzten Jahren erforscht (Nevo 1999; Lacey et al. 2000).

In der vorliegenden Arbeit wird mit Hilfe neuer bildgebender Verfahren (Computertomographie, Magnetresonanztomographie) der Kopf von *Cryptomys anelli sp. nova* untersucht. Diese Ergebnisse werden durch histologische Schnittserien abgesichert und ergänzt. Dabei stellte sich die Frage, ob es überhaupt möglich ist, ein so kleines Objekt zu scannen und inwieweit die Ergebnisse interpretiert werden können. Das Hauptaugenmerk wurde hierbei auf das Kopfskelett gerichtet. Es hat sich herausgestellt, dass mit Hilfe dieser Verfahren die Topographie des Kopfes ausgezeichnet dargestellt werden kann, so z.B. die Knochen des Craniums und die Lage der Nagezähne, sowie die Kaumuskulatur und einige Kopfdrüsen. Bisher liegen diesbezüglich noch keine Untersuchungen an *Cryptomys* vor.

## 2 MATERIAL UND METHODE

Hauptgegenstand der vorliegenden Untersuchung sind computertomographische und kernspintomographische Scans von *Cryptomys anselli sp. nova*. Als Korrelat zu diesen Aufnahmen wurden histologische Schnittserien dieser Spezies angefertigt. Für einen Überblick über das Kopfskelett von *Cryptomys* wurden sowohl Abbildungen aus der Literatur übernommen und modifiziert, als auch Fotografien und Röntgenaufnahmen eines Schädelpräparates hergestellt. Dreidimensionale computertomographische Rekonstruktionen ergänzen die Dokumentation.

Für die vorliegende Untersuchung standen insgesamt fünf Tiere zur Verfügung (drei weibliche (w), zwei männliche (m) Tiere). Drei Exemplare stammen aus einer in Frankfurt a.M. gehaltenen Kolonie, ein weiteres Exemplar (männlich, ausgewachsen) war in Sambia tot aufgefunden und eingefroren worden (Tab. 1). Von zwei weiteren Wildfängen wurden im Zentrum der Morphologie (Frankfurt a.M.) Schädelpräparate hergestellt. Zur Einarbeitung in die Morphologie des Graumullkopfes dienten vor allem die Arbeiten von Tullberg (1899), Boller (1970) und Morlok (1983). Die Nomenklatur stammt weitgehend von Popesco et al. (1990). Zu Beginn der eigenen Untersuchungen wurde der Kopf des eingefrorenen Exemplars aus Sambia mit modernen bildgebenden Verfahren (Computertomographie, CT und Magnetresonanztomographie, MRT) dokumentiert. Röntgenaufnahmen und Fotos von dem vollständig erhaltenen Schädelskelett wurden in Ergänzung dazu angefertigt. Drei komplette Köpfe (Kapitel 2. 3) wurden histologisch bearbeitet.

**Tabelle 1** Liste des bearbeiteten Materials

Tier Nr.	Geschlecht	Alter	Gewicht in Gramm	Verwendung
1	w	4 Monate	46,0	Histologie
2	m	4 Monate	44,6	Histologie
3	w	4 Monate	42,1	Histologie
4	m	Adult (?)	110,0	CT, MRT
5	w	ca. 3 Jahre	unbekannt	Schädelpräparat

## 2.1 Computertomographie (CT)

### 2.1.1 Methode

Bei der Computertomographie handelt es sich um eine computergestützte Röntgentechnik. Technische Voraussetzungen sind die Röntgenröhre, der Detektor und ein leistungsfähiger Computer. In einem großen offenen Ring befinden sich die Röntgenröhre und das Detektorfeld. Beide Komponenten stehen sich gegenüber. Auf ein in den Ring geschobenes Objekt, werden aus unterschiedlichen Winkeln, in jeweils einer Ebene, Röntgenstrahlen gerichtet. Die Röntgenabsorption durch das Objekt wird mit den hochempfindlichen Detektoren des Detektorfeldes gemessen. Somit entstehen Querschnittsdarstellungen des Objektes in Form von Röntgenbildern. Die Absorptionswerte werden in einem Computer digitalisiert und in Dichtewerte der einzelnen Volumenelemente umgerechnet. Diese Dichtewerte orientieren sich an der Dichte des normalen Hirngewebes. Strukturen niedrigerer Dichte werden hypodens, solche mit höherer Dichte hyperdens genannt. Die Dichte bzw. die Absorptionseigenschaften eines Objektdetails werden in Hounsfield - Einheiten (H.E.) gemessen. Die Scala der H.E. ist so gewählt, dass Luft einen Wert von - 1000, Wasser einen Wert von +/- 0 und Knochen einen Wert von bis zu + 1000 besitzt.

Diese Zahlenwerte werden in Graustufen übersetzt und als Schirmbild auf dem Monitor dargestellt. Jedes punktförmige Bildelement (Pixel) entspricht einem Objektelement (Voxel). Somit bestimmt der Absorptionswert des Voxels den Grauwert des Pixels. Da für die Darstellung des Bildes nur eine begrenzte Anzahl von Grautönen zur Verfügung steht, wird ein sogenanntes Fenster eingerichtet. In diesem Fenster kann die Anzahl von Dichtewerten pro Grauton variiert werden. "Das Fenster ermöglicht es also, die Aussagefähigkeit eines Grautons in Bezug auf die repräsentierten Dichtewerte zu verändern (Radü et al. 1987). Ist das Fenster eng, ändern sich die Grautöne schon aufgrund geringer Dichteunterschiede. In einem weiten Fenster befinden sich dagegen viele Dichteeinheiten pro Grauton. Nun ist es möglich, die Fensterbreite um einen beliebigen Dichtewert (Level) anzuordnen. Will man zum Beispiel Knochen darstellen, so wird das Fenster auf etwa + 400 HE eingestellt („weiches“ Knochenfenster).

Die Röntgenröhre ist ein konventionelles Gerät, das im Spannungsbereich von 70 -140 kV und 40 - 280 mA arbeitet.

Zwei Detektortypen stehen für die CT zur Verfügung:

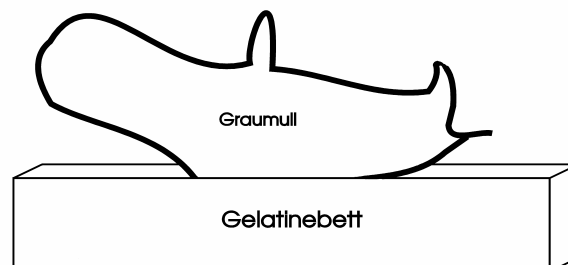
1. Hochdruckgas - Ionisationskammern (mit Xenon gefüllt)
2. Szintillationskristalle (aus Natriumjodid und/oder Kalziumfluorid)

Der Vorteil der Computertomographie ist die hohe Kontrastauflösung. "Diese gute Auflösung ergibt sich daraus, dass zum einen die Messanordnung störende Streustrahlen eliminiert und zum anderen die Empfindlichkeit des Detektors sehr viel höher ist als die des Röntgenfilms (Lange et al. 1988). Dabei ist zwischen der Kontrast- und der Detailauflösung zu unterscheiden. Beide beeinflussen sich gegenseitig. Je größer der Dichteunterschied im Objekt, desto höher die Detailauflösung und je größer die Objektdetails, desto besser die Kontrastauflösung (Lange et al. 1988). Sind der Abtastvorgang und/oder die Datenverarbeitung des Computertomographen nicht korrekt, kann es zu Bildartefakten kommen. Dabei entstehen streifen- oder flächenförmige Störungen auf dem Monitor. Streifenförmige Artefakte werden oft durch aktive Bewegungen des Objektes verursacht. Fischgräten- oder sägezahnartige Streifenmuster entstehen ebenfalls durch Bewegungsartefakte. Bei relativ hohen Objektkontrasten können radiäre Streifen über das gesamte Bild verlaufen.

### 2. 1. 2 Material

Die Tomogramme wurden an einem toten und auf  $- 21^{\circ} \text{C}$  gefrorenen Tier gewonnen (Tier Nr. 5, s. Tab. 1). Für den Transport benutzte ich eine große Kühlbox mit Gefrieraggregaten. Die Untersuchungszeit beschränkte sich auf ca. 3 - 4 Stunden. Nach etwa 5 Stunden wäre das Tier zu weit aufgetaut und nicht mehr formstabil gewesen.

Abb. A



Für die CT-Aufnahmen wurde eine 20 cm lange, 10 cm breite und 5 cm hohe Plastikschale mit

Backgelatine ausgegossen. Auf ihr wurde das Tier mit Klebestreifen lagestabil fixiert (siehe Abb. A). Die Plastikschaale wurde mit Klebebändern am CT-Untersuchungstisch befestigt. Plastik, Gelatine und Klebebänder beeinflussten die Tomographie nicht. Die Tiere konnten somit auf dem CT-Untersuchungstisch in allen drei Ebenen problemlos untersucht werden. Relativbewegungen des Tieres zwischen den einzelnen Scans (Vorschub: 1mm) wurden durch die elastische Gelatine gut abgefangen.

Die computertomographischen Schichtaufnahmen wurden mit einem Rotationstomographen mit Hochdruck-Ionisationskammer-System (Modell: Somatom Plus, Siemens) erstellt. Die Schichten von 1 mm Dicke bei einer Stromstärke von 165 mA und mit einer Röhrenspannung von 120kV entstanden in einem Knochenfenster von +1000 HE.

## **2. 2 Magnetresonanztomographie (MRT)**

### **2. 2. 1 Methode**

Hier soll nur ein kurzer Einblick in die Komplexität der angewandten Methode gegeben werden. Eine ausgezeichnete Beschreibung der Methode wurde von Rauschmann (1992) vorgelegt.

Zentrales Element der Kernspintomographie ist ein supraleitender Magnet zur Erzeugung stabiler Magnetfelder. In einem solchen künstlich angelegten Magnetfeld werden Patienten untersucht. Die Protonen (Wasserstoffkerne des Körpers) werden als Dipole im Magnetfeld ausgerichtet, ihre ursprüngliche Orientierung im äußeren Magnetfeld (der Erde) wird dadurch verändert. "Ein Hochfrequenzsender im Radiowellenbereich wird benötigt, um die Protonen innerhalb der vorgegebenen Energiezustände anregen zu können (Resonanz). Nach Anregung durch das Hochfrequenz-Signal kehren die Protonen in einen niedrigeren Energiezustand zurück, sie relaxieren (Relaxation)" (Uhlenbrock, 1990). Bei der Relaxation senden die Protonen die absorbierte Energie als elektromagnetische Welle mit definierter Frequenz aus, welche mit Hilfe einer Empfangsspule gemessen werden kann. Somit werden Protonendichten von Geweben messbar. Die Vermessung von Weichteilgewebe ähnlicher Protonendichte und ihre Unterscheidung ist dadurch möglich. In einem Computer werden diese Informationen digitalisiert und in Bildmaterial übersetzt. Durch die Beeinflussung von Messparametern ist es möglich, die Ausrichtung der Protonen im Magnetfeld (Magnetisierungsvektor) zu steuern.

### 2. 2. 2 Material

Grundlage für die Lagerung des gefrorenen Tieres (-21°C) bildete hier ein 15 cm langer, 10 cm breiter und 10 cm hoher Haushaltsschwamm. Ein senkrechtes Loch im Schwamm (Durchmesser: 2,5 cm) diente der Lagerung des Tieres, von welchem nur noch der Kopf und die Vordergliedmaßen herausschauten (Abb. B). Zur Befestigung des Schwammes am MRT-Tisch wurden Klebebänder verwendet. Schwamm und Klebebänder beeinflussten die MRT nicht. Zur Messung der Magnetresonanz wurde eine Augen-Ohr-Spule verwendet. Diese wurde waagrecht über den Kopf des Tieres platziert. Die Masse des Tieres allein reichte für Messungen nicht aus, weshalb zusätzlich mit Wasser gefüllte Plastiktanks auf den Untersuchungstisch gelegt wurden.

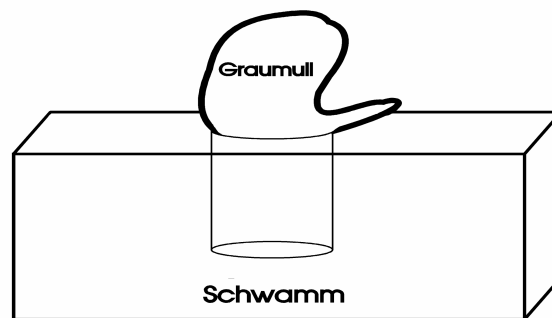


Abb. B

Die magnetresonanztomographischen Schichtaufnahmen wurden mit einer Feldstärke von 1,5 Tesla (Magnetom 42 SP, Siemens) erstellt. Die Schichtdicken betragen in der sagittalen und transversalen Ebene 2,2 mm; in der horizontalen Ebene 2,1 mm. Die Serien wurden in einem T<sub>2</sub> gewichteten Verfahren mit einer Spin-Echo-Zeit (TE) von 90 ms und einer Repetitionszeit (TR) von 2090 ms in der sagittalen und der transversalen Ebene und 1900 ms in der horizontalen Ebene dokumentiert.

### 2. 3 Histologie

Um die CT- und MRT- Schnittserien eindeutig interpretieren zu können, wurden histologische Schnittpräparate angefertigt. Hierfür standen drei juvenile Tiere zur Verfügung. Jedes Tier wurde in einer anderen Richtung des Raumes geschnitten (siehe Tab. 2).

**Tabelle 2**

<u>Tier Nr.</u>	<u>Geschlecht</u> (m/w)	<u>Alter</u> (Monate)	<u>Körpergewicht</u> (Gramm)	<u>Schnittebene</u>
1	w	vier	46 g	sagittal
2	m	vier	44,6 g	horizontal
3	w	vier	42,1 g	transversal

Die Tiere wurden mit Ketamin<sup>R</sup>/Rompun<sup>R</sup> narkotisiert und anschließend durch Thorakotomie (beidseitiger Pneumothorax) getötet. Nach Eröffnung des Herzbeutels konnte das rechte Herzohr eingeschnitten werden. Mit Hilfe einer kleinen Butterflykanüle wurde unter hydrostatischem Druck mit gekühltem Phosphatpuffer transcardial die Aorta ascendens perfundiert. Das im System befindliche Blut wurde über das Kapillarsystem und das eröffnete rechte Herzohr ausgespült. Nach 5-10 Minuten wurde die Perfusion mit gekühltem 4% igem Paraformaldehyd fortgesetzt. Anschließend wurde der Kopf im Atlantookzipitalgelenk vom Körper getrennt und es wurden die Kopfhaut sowie das Schädeldach entfernt. Die präparierten Köpfe mussten zur Nachfixierung für 24 Stunden in 4 % igem Paraformaldehyd verbleiben. Danach wurden sie für die Glykolmethacrylateinbettung über einen Zeitraum von vier Wochen gewässert. Dabei fand alle 24 Stunden ein Wechsel des Leitungswassers statt. Nach der Wässerung wurden die Köpfe für 24 Stunden mit Decal<sup>R</sup> entkalkt und anschließend entwässert. Die Präparate wurden dafür in einen Gazestreifen eingepackt und schwebend in Alkohol eingetaucht. Somit konnte das im Kopfgewebe befindliche Wasser (es ist schwerer als Alkohol) auf den Grund des Gefäßes sinken. Die Entwässerung fand mit Hilfe einer aufsteigenden Isopropanolreihe statt (80-, 90- und 100%ig). Jede Konzentrationsstufe war zweimal vertreten; in jeder Stufe der Alkoholreihe blieben die Köpfe 24 Stunden. Die Einbettung der kompletten Köpfe wurde mit dem RWL-Medium-Kit der Firma RWL Histotechnologie Vagen/Obb. durchgeführt. Es handelte sich dabei um ein wasserhaltiges Glykolmethacrylat-Einbettmedium für die Histologie. Die Einbettung erfolgte nach Empfehlung des Herstellers (Werner 1990).

RWL-Medium-Kit besteht aus folgenden Komponenten:

- Glykolmethacrylat (GMA) und Butoxyethanol mit Copolymer

- Glykolmethacrylat und N,N - Dimethylanilin
- wasserhaltiges Dibenzoylperoxid

In diesen Kunststoff sollten die ca. 3 x 2,5 cm großen Köpfe eingebettet werden. Dafür musste der Kunststoff gewisse Eigenschaften aufweisen. Glykolmethacrylat kann bei einer Schnittdicke von 0,5 -12 µm in Blöcken von bis zu fünf Zentimetern Kantenlänge geschnitten werden.

Vor der eigentlichen Einbettung war eine Infiltration notwendig. Die in einem lichtundurchlässigen Glas befindliche Infiltrationslösung (RWL Histotechnologie) wurde in einen Exsikkator aus Glas gestellt, der Kopf hineingegeben und das Glas mit Alufolie lose abgedeckt. Danach wurde der Exsikkator geschlossen, an eine Wasserstrahlpumpe angeschlossen und auf einen langsam laufenden Schüttler gestellt. Diese Vorrichtung sollte die noch im Kopf befindliche Luft herausschütteln und absaugen sowie das Eindringen der Infiltrationslösung erleichtern. Letztere wurde dreimal gewechselt. Nun war der halbtransparente Kopf für die Einbettung (Polymerisation) bereit. Ein Polyethylengefäß mit Deckel, in welches der Kopf exakt hineinpasste, wurde mit der Polymerisationslösung gefüllt. Der Kopf musste nun ohne Luft in die Lösung eingebracht werden. Danach wurde der Deckel aufgesetzt, ohne Luftblasen in dem Gefäß zu belassen. Auf den Ausschluss von Luft war deshalb genau zu achten, da Sauerstoff die Polymerisation von Glykolmethacrylat (GMA) hemmt. Die Polymerisation von GMA ist eine exotherme Reaktion; dabei vereinigen sich mehrere Einzelmoleküle zu einem großen Molekül (Polymerisation) und es entsteht der harte Kunststoff. Das Gefäß wurde in ein 7° C kaltes Wasserbad gesetzt und für die Zeit der Polymerisation in einen Kühlschrank gestellt. Durch diese Kühlung sollte ein zu schnelles Abfließen der Polymerisation verhindert werden. Das GMA war nach ca. 48 Stunden durchgehärtet. Der entstandene Block wurde aus dem Plastikgefäß geschnitten und zu einem Quader getrimmt. Die Kanten des Quaders wurden mit Schmirgelpapier glatt geschliffen, so dass der Kopf gut zu sehen war. Der so vorbereitete Block wurde mit einem Kunststoffkleber der Firma RWL Histotechnologie auf einen weiteren Plastikblock aufgeklebt. Dieser zuletzt genannte Block konnte nun zum Schneiden eingespannt werden. Die Mikrotomie erfolgte mit einem Rotations-Mikrotom HM 340 der Firma Microm/Heidelberg. Zum Schneiden wurden D-Messer (Hartmetall-Einmalklingen, Fa. Microm) verwendet. Der Messeranstellwinkel betrug 20°. Die zwischen fünf und zwölf Mikrometer dicken Schnitte wurden zur Streckung in ein 70° C warmes Wasserbad gegeben, auf mit Chromalaun beschichtete Objektträger aufgezogen und auf einer Wärmeplatte (70° C)

getrocknet. Dabei zogen sie sich auf der Oberfläche des Objektträgers beim Verdunsten des Wassers von selbst glatt. Die aufgezogenen Schnitte wurden bis zur Färbung in einem Wärmeschrank bei 37° C aufbewahrt. Die Färbung der Objekte erfolgte mit der RWL G-Stain Trichrom-Färbung (Mikrowelle) der Firma RWL Histotechnologie, einer von Werner (1990) speziell für Glykomethacrylat- Schnitte entwickelten histologischen Färbemethode, bei welcher das Glykomethacrylat in situ verbleibt.

Der Kit umfasst folgende Lösungen:

- A: Essigsäure
- B: Hämatoxylin Gill
- C: Bläu-Reagenz
- D: Biebrich Scharlach - Fuchsin
- E: Anilinblau
- F: Zenker Fixierlösung (modifiziert)
- G: Gram Jodlösung (modifiziert)
- H: Natriumthiosulfat

Durch Biebrich Scharlach - Fuchsin und Anilinblau werden Muskelgewebe und kollagene Fasern unterschiedlich angefärbt. Das Färben in der Mikrowelle führt zu einer intensiven Tingierung der Gewebe bei geringer Anfärbung des Kunststoffes. Zellkerne, kollagene Fasern und Knochen werden blau, Zytoplasma, Keratin, Muskelfasern und Bindegewebsfasern rot angefärbt.

Die Färbung wurde in Küvetten durchgeführt, so dass jeweils zehn Objektträger im Format 60 x 76 mm mit je 4 Schnitten gleichzeitig bearbeitet werden konnten. Die Durchführung erfolgte streng nach Vorschrift (Werner, 1990). Die Trocknung der nassen Schnitte erfolgte auf einer Wärmeplatte bei 60° C. Sie wurden anschließend in absolutes Isopropanol getaucht, in Xylol aufgehellt und mit Eukitt<sup>R</sup> eingedeckt.

## **2.4 Zeichnungen des Kopfskelettes**

Die Abbildungen 1 – 3 (S. 94f.) zeigen die Schädelknochen in verschiedenen Ansichten. Grundlage dieser Zeichnungen bildeten die für eine Arbeit von Boller (1970) angefertigten

Zeichnungen von H. L. Schneeberger (Frankfurt a.M.). Sie zeigten entweder den Oberschädel oder nur den Unterkiefer. Die Schattierungen in den Zeichnungen wurden im Computer vollständig entfernt. Die Frontalansicht (Abb. 1) wurde ohne Unterkiefer übernommen; für die beiden anderen Schädelzeichnungen (Abb. 2+3) fertigte ich eine Kollage aus Oberschädel und Unterkiefer an. Die Zeichnungen wurden mit Hilfe des Computers zusammengestellt und beschriftet (Software: CorelDraw™ Classic).

## **2.5 Fotografien des Kopfskelettes**

Zur Verfügung stand ein präparierter Schädel von einem etwa drei Jahre alten weiblichen Exemplar von *Cryptomys anselli sp. nova* (Tier Nr. 5, s. Tabelle 1). Die Säuberung erfolgte durch Larven von Speckkäfern, welche die Weichteile des Kopfes entfernten.

Die Fotografien wurden mit einer Minolta XGM Kamera (Spiegelreflex) mit Makroobjektiv und Agfapan APX 25 schwarz/weiß-Negativfilmen aufgenommen. Als Lichtquellen dienten zwei Kaltlichtleuchten mit insgesamt fünf Glasfaserschwanenhälsen.

## **2.6 Röntgenbilder**

Oberschädel und Unterkiefer des in Kapitel 2. 5 beschriebenen Präparates (Tier Nr. 5, s. Tabelle 1) wurden in Watte gebettet auf dem Röntgentisch platziert. Die Aufnahmen wurden mit einem in der Tiermedizin gebräuchlichen Röntgengerät (Eikemeier, Microvet 100M / Blaufilme und 400er Verstärkerfolien) in der Tierärztlichen Klinik für Kleintiere Dr. Linneweber in Obertshausen aufgenommen. Die so entstandenen Röntgenbilder wurden auf einem Röntgenbildbetrachter fotografiert (Negativ-Film; Agfapan APX 100) und entwickelt, so dass Positive der Röntgenbilder entstanden.

# 3 ERGEBNISSE

## 3.1. Dokumentation und Erfassung des Kopfskelettes

Dieses Kapitel ist der umfassenden Beschreibung des Schädels und seiner Knochenelemente mit unterschiedlichen Verfahren gewidmet. Dadurch soll ein Überblick über die Anatomie des Kopfskelettes vermittelt und die Orientierung in den Schnittserien erleichtert werden.

Die Dokumentation beinhaltet:

- Schädelzeichnungen
- Fotografien
- Röntgenaufnahmen
- Tomogramme [Computertomographie (CT)  
und Magnetresonanztomographie (MRT)]
- CT- Rekonstruktionen des Kopfes (3D)
- CT- Rekonstruktionen des Gesamtskeletts (3D)

Boller (1970) beschrieb in seinem Artikel "Untersuchung an Schädel, Kaumuskulatur und äußerer Hirnform von *Cryptomys hottentotus* (Rodentia, Bathyergidae)" ausführlich den Schädel von *Cryptomys*. Die dabei von Schneeberger (Frankfurt a.M.) angefertigten Schädelzeichnungen wurden von mir mit Hilfe des Computers modifiziert.

Die Schädelmorphologie wird in drei Ansichten dargestellt:

- Rostralansicht ohne Unterkiefer (Abb. 1)
- Dorsalansicht (Abb. 2)
- Lateralansicht von links (Abb. 3)

Als Ergänzung zu den genannten Zeichnungen wurden von einem kompletten Schädelpräparat **Fotografien** angefertigt (Abb. 4-10). Dabei kamen folgende Ansichten zur Darstellung:

- Rostralansicht (Abb. 4)
- Dorsalansicht (Abb. 5)
- Lateralansicht von links (Abb. 6)
- Rostrolateralansicht (links) (Abb. 7)
- Laterokaudalansicht (links) (Abb. 8)

- Ventralansicht (Abb. 9)
- Dorsolaterokaudalansicht (Abb. 10)

Aus der sagittalen Serie von **Computertomogrammen** wurde der Schädel mit Hilfe des Computers als dreidimensionale Rekonstruktion dargestellt. Dabei wurden folgende Ansichten ausgewählt:

- Lateralansicht von links (Abb. 11)
- Dorsalansicht (Abb. 12)
- Rostralansicht (Abb.13)
- Rostrolateralansicht von links (Abb. 14)
- Ventralansicht (Abb. 15)

Parallel zu den Computertomogrammen wurden konventionelle **Röntgenbilder** angefertigt. Es handelt sich hierbei um Negativdarstellungen. Folgende Einstellungen wurden ausgewählt:

- Dorsoventraler Strahlengang (Abb. 16)
- Laterolateraler Strahlengang (Abb. 17)

Schließlich wurden noch zwei **computertomographische Rekonstruktionen** des gesamten Skeletts durchgeführt. Sie sollen die Bilddokumentation abrunden und die Möglichkeiten der Computertomographie im Bereich der Tiermedizin aufzeigen. Folgende Rekonstruktionen liegen vor:

- Dorsalansicht (Abb. 18)
- Dorsolateralansicht von rechts (Abb. 19)

Im Folgenden wird das Kopfskelett zuerst anhand der drei Schädelzeichnungen (Abb. 1-3) besprochen. Eine detaillierte Beschreibung des Schädels von *Cryptomys* war bereits von Boller (1970) vorgelegt worden. Darauf folgt die Besprechung der Computer- und Magnetresonanztomogramme (Schnittserien). Die übrigen Darstellungen werden kurz gestreift und besonders interessante Details erläutert.

### **3. 1. 1 Schädelknochenzeichnungen**

#### **Rostralansicht des Schädels ohne Unterkiefer (Abb. 1; S. 94)**

Bei dieser zweidimensionalen Darstellung erscheint der lang gestreckte Schädel maximal gestaucht; kaudale Anteile wie die Bulla tympanica (BT) scheinen daher näher an den

Schneidezähnen (IO) zu liegen, als dies in Wirklichkeit der Fall ist. Die Inzisiven (IO) sind breit und liegen eng aneinander. Ihr sichtbarer Anteil ragt weit aus den wuchtigen Ossa incisiva (I) heraus, welche in ihrer Mitte die beiden Ossa nasalia (N) einschließen. Am rostralen Rand der Nasenbeine erkennt man die Apertura nasi externa (a). Sie ist im Gegensatz zu anderen grabenden Nagetieren weiter nach kaudal versetzt (vgl. Abb. 2). Lateral und ventral wird sie vom Os incisivum (I) begrenzt.

Der rostrale Teil des Schädels ist leicht nach ventral geneigt. Er geht nach dorsal in das Os frontale (F) über, welches mit seinem Gegenüber eine deutliche Crista facialis (CF) bildet (Boller, 1970). Am Übergang vom Os incisivum (I) zum Os maxillare (M) bzw. zum Processus zygomaticus ossis maxillaris (PZM) befindet sich beiderseits das Foramen infraorbitale (f), welches durch den Processus zygomaticus mit einem Ramus inferior und einem Ramus superior begrenzt wird. Das nach Boller (1970) gezeichnete Foramen infraorbitale entspricht nicht ganz dem des mir vorliegenden Schädels (Abb. 4, 7; nicht beschriftet); hier ist es kleiner und nicht nierenförmig, sondern oval. Seine Lage und Achse sind jedoch mit der Zeichnung von Boller (1970) identisch. Die Achse des Foramen infraorbitale verläuft von dorsomedial nach ventrolateral. Blickt man von rostral durch das Foramen infraorbitale, so ist die Pars squamosa ossis temporalis (PST) zu sehen. Diese grenzt medial an das Os frontale (F) und geht lateral in den Processus zygomaticus ossis temporalis (PZT) über. Der Jochbogen, welcher den Schädel beiderseits (zwischen der Praeorbital- und der Temporalregion) armiert und dadurch bei vielen Säugetieren Verwindungen des Vorderschädels (Viscerocranium) gegen den Hinterschädel (Neurocranium) verhindert (Oelschläger, pers. Mitt.), besteht aus dem Processus zygomaticus ossis maxillaris (PZM), dem Os zygomaticum (Z) und dem Processus zygomaticus ossis temporalis (PZT), welcher breitflächig in die Pars squamosa ossis temporalis (PST) übergeht. Der Jochbogen flankiert seitlich ein geräumiges Foramen temporale (Abb. 2, ftm) als Durchtritt des Musculus temporalis und dient gleichzeitig dem Musculus masseter als Ursprungsfläche. Allerdings befindet sich in diesem Foramen temporale auch ein großer Drüsenkörper (vgl. tHisto5, S. 114). Der Processus zygomaticus ossis maxillaris (PZM) geht in das Os maxillare (M) über, das mit seinem Processus alveolaris (PAL) die Oberkieferbackenzähne (D) trägt. Auf Höhe des Processus zygomaticus des Schläfenbeins (PZT) liegen das Praesphenoid (PS) und das Basisphenoid. Hier liegt auch das Foramen masticatorium (fm).

Kaudal liegen die Bullae tympanicae (BT) breit der Schädelbasis an und ragen weit nach lateral vor (Boller, 1970). Dahinter liegen die Processus paracondylares (PP) und medial davon Anteile

des Os basioccipitale, die Condyli occipitales (CO).

### **Dorsalansicht** (Abb. 2; S. 94)

Diese Schädelansicht umfasst auch den Unterkiefer. Dieser befindet sich in der Abb. von Boller (1970) allerdings nicht ganz korrekt in seiner physiologischen Lage. Der Processus angularis des Unterkiefers (PAN) liegt etwas zu weit seitlich neben dem Porus acusticus externus (p). Somit liegt der gesamte Unterkiefer etwas zu weit rostral (s. Abb. 5). Der Schädel entspricht einem nach rostral verjüngten Keil, welcher im mittleren Abschnitt durch die Jochbögen erheblich verbreitert wird. Das Verhältnis zwischen Länge und Breite des Schädels beträgt 3 : 2. Die Länge des Schädels wird durch die Nasenbeine und insbesondere durch die enorm ausgeprägten Schneidezähne des Oberkiefers (IO) und das zugehörige Os incisivum (I) bestimmt. Das Neurocranium hingegen erscheint längsoval bzw. schon nahezu rund. Die maximale Breite befindet sich dicht hinter der Sutura zygomaticotemporalis (nicht beschriftet). Wie die weit ausladenden Jochbeinbögen sind auch die Oberkieferschneidezähne (IO) recht auffällig. Sie ragen rostral aus den umgebenden Knochen hervor. Die Nasenöffnungen (Apertura nasi externa (a); Abb. 1) sind dorsal bzw. kaudal von den Ossa nasalia (N) begrenzt. Diese erstrecken sich spindelförmig nach okzipital und werden in dieser Ansicht vom Os incisivum (I) vollständig umfasst. In dem mir vorliegenden Schädel skelett grenzt allerdings das Nasenbein direkt an das Os frontale (F, s. Abb. 5). Trotzdem erstrecken sich auch hier die beiden Flügel des Os incisivum weiter nach kaudal als die Nasalia. Das Os incisivum (I, von Boller 1970 als Praemaxillare bezeichnet) flankiert die Nasalia. Hier werden die enorme Größe des "Praemaxillare" (I) und die geringe Größe der Nasalia (N) deutlich. Unter dem Os nasale liegt die schmale Nasenhöhle. Innerhalb des Os incisivum verlaufen die Schneidezähne (IO) im Bogen bis hin zur Schädelbasis. Somit ist die Nasenhöhle in ihrer Breite durch die Schneidezähne begrenzt (Boller, 1970). Der Processus zygomaticus des Maxillare (PZM) entspringt nahezu senkrecht von der Schädelseitenwand. Er ist in einen oberen und einen unteren Ast geteilt; zwischen diesen Ästen befindet sich beiderseits das kleine Foramen infraorbitale (f).

Die Partes squamosi der Schläfenbeine (PZT), welche die Schädelseitenwand zu einem großen Teil bilden, setzen sich nach okzipital über einen schmalen Steg am Rand des Os parietale (PA) in den von Boller (1970) beschriebenen Processus supramastoideus (PSM) fort. Das Os frontale

(F) befindet sich im Zentrum des Schädeldaches. Kaudal stößt es an das Os temporale (T) und das Os parietale (PA).

Das Os nasale (eigenes Schädelpräparat) und die kaudalen Ausläufer des Os incisivum liegen rostral. Ein Os lacrimale zwischen Frontale (F) und Maxillare (M) ist nicht zu erkennen, vermutlich ist es mit diesen Knochen verschmolzen (Boller, 1970). Eine Incisura frontalis (nicht bezeichnet) teilt die Ossa frontalia und Ossa parietalia genau in der Medianen. Die hier vorhandene sogenannte Crista facialis geht weit kaudal in die transversal gestellten Cristae lambdoideae (nicht beschriftet) über (Boller, 1970). Der nach rostral geneigte Bereich der Crista lambdoidea sowie ein kleiner davor gelegener Streifen des Schädeldaches wird von mir als Os interparietale (IP) bezeichnet, obwohl (entgegen der Beschreibung von Boller, 1970) dieser Streifen nicht durch Suturen von den angrenzenden Knochen abgesetzt ist. Hinter der Crista lambdoidea beginnt die fast senkrechte Squama occipitalis (SO). Seitlich an ihrem kaudalen Rand sieht man Anteile der Occipitalia, die Condyli occipitales (CO). Lateral der Hinterhauptschuppe (SO) sind Anteile des Schläfenbeins zu erkennen, der Processus mastoideus (PMA), die Bulla dorsalis (BD) und der Porus acusticus externus (p). Von der kräftig entwickelten Mandibula (MB) ist nur ein kleiner Teil zu sehen. Bei exakter Position des Unterkiefers würde sich der Processus coronoideus (PC) etwas weiter kaudal, kurz vor dem Processus zygomaticus ossis temporalis (PZT) befinden (s. Abb. 5). Die weit ausladende Crista masseterica (CrM) ist hier daher kaudal des Processus coronoideus gelegen. Sie befindet sich allerdings nicht auf dessen Höhe, sondern am ventralen Rand der Mandibula. Auf Grund der Unterkieferfehlstellung ist der normalerweise hinter der Pars squamosa ossis temporalis (PST) erscheinende Processus articularis des Unterkiefers (Abb. 3, PAM) nicht zu sehen. Der Processus angularis (PAN) weist nach laterokaudal und befindet sich neben dem Porus acusticus externus (p).

### **Lateralansicht von links** (Abb. 3; S.95)

Die Seitenansicht gibt einen guten Überblick über den Schädel. Hier werden die enormen Ausmaße des Unterkiefers gegenüber dem langgestreckten und dorsoventral abgeflachten Oberschädel deutlich.

Besonders auffällig sind die Schneidezähne (IO, IU). Sie treten wie Schaufeln eines Baggers aus den Kiefern hervor, verlaufen im Bogen bis hin zur Schädelbasis und erreichen dabei etwa zwei

Drittel der Schädel­länge. Die Alveole des oberen Inzisivus ist deutlich zu erkennen und reicht bis hinter den letzten Backenzahn (in Abb. 3 nicht sichtbar – s. Abb. 6). Der untere Inzisivus verläuft in einem komplementären Bogen zum Processus articularis der Mandibula (PAM) und damit in Richtung des Ohres, wobei er drei Viertel der Unterkieferlänge einnimmt. Das Os incisivum (I) ist ebenfalls vergleichsweise groß und mit dem Os maxillare über eine Suture innig verzahnt. Diese Suture befindet sich ventral vom Processus zygomaticus ossis maxillaris (PZM) und dem Foramen infraorbitale (f). Die dorsokaudale Grenze des Os incisivum liegt zwischen dem dorsalen Fortsatz des Processus zygomaticus der Maxilla und der okzipital sichtbaren Grenze des Os nasale (N), also nicht, wie in der Zeichnung nach Boller (1970) dargestellt, am dorsalen Rand des Processus zygomaticus ossis maxillaris (PZM) in dorsokaudaler Richtung. Das Os incisivum bildet einen Teil der Schädel­seitenwand und grenzt ventral an das Os maxillare (M). Die dort erkennbare gezackte Suture liegt knapp dorsal der Schneidezahnalveole (nicht sichtbar) (s. Abb. Nr. 6). Die auf dieser Linie gelegene Fissura sphenoidalis (fs) wird zum Teil vom Frontale (F) mitgebildet. Ebenfalls oberhalb der Schneidezahnalveole, hinter dem Processus zygomaticus (PZM), befindet sich der Canalis nasolacrimalis (cl). Das Os zygomaticum (Z) zieht unter etwa 120° vom Processus zygomaticus ossis maxillaris nach lateral und im Bogen horizontal in Richtung des Processus zygomaticus ossis temporalis (PZT). Dabei überdeckt es von lateral einen Teil des Maxillare sowie den Processus coronoideus (PC) der Mandibula. Unter dem Jochbeinbogen erkennt man teilweise die Kronen der Oberkieferbackenzähne sowie den Processus alveolaris der Mandibula (PAL) mit den darin befindlichen Backenzähnen (D). Vom dritten Backenzahn bis hin zur Bulla tympani (BT) wird die Schädelbasis von der breitflächigen Mandibula verdeckt.

Das Kiefergelenk wird vom Processus zygomaticus des Temporale (PZT), der Pars squamosa ossis temporalis (PST) und dem Processus articularis ossis mandibulae (PAM) gebildet. Daher wird der Gelenkkopf (PAM) nicht vollständig vom Os temporale umfasst, d.h. die Gelenkpfanne ist nach hinten offen.

Das Squamosum (PST) reicht vom Kiefergelenk weit in die Schädelkalotte hinein und trennt hier teilweise das Frontale (F) vom Parietale (PA). Das Os parietale stellt die größte Komponente der Schädelkalotte dar. Rostral stößt es an das Frontale, kaudal ist es mit dem Os interparietale (IP) verschmolzen. Lateral wird es durch den Processus supramastoideus des Os temporale (PSM) begrenzt. Dieser kaudale Fortsatz der Pars squamosa ossis temporalis (PSM) stößt kaudal auf die lateralen Ausläufer der Crista lambdoidea (IP). Unter diesem Kamm

befindet sich die Hinterhauptschuppe (SO), welche nach lateral in die temporalen Anteile des Ohres übergeht. Der Processus mastoideus (PMA) ist recht groß. Er geht nach ventrokaudal in den Processus paracondylaris (PP) über. Das vor dem Processus mastoideus gelegene schlitzförmige Foramen stylomastoideum (fsm) wird nach okzipital durch einen mächtigen Kamm begrenzt (nicht sichtbar), welcher sich nach dorsal in die Crista lambdoidea (IP) fortsetzt. Dorsorostral des Foramen stylomastoideum befindet sich der Porus acusticus externus (p). Ventral davon ist ein kleiner lateraler Teil der Bulla tympani (BT) und dorsal davon die Bulla dorsalis (BD) zu erkennen. An der Grenze zwischen Bulla dorsalis und Pars squamosa ossis temporalis (PST) befindet sich das Foramen postglenoidale (fp; Boller, 1970). Vom Condylus occipitalis (CO) ist in der Lateralansicht nur ein kleines Stück zwischen dem Processus angularis des Unterkiefers (PAN) und dem Processus paracondylaris (PP) zu sehen. Die Fossa masseterica des Unterkiefers (FM) ist sehr ausgedehnt. Ihr unterer Rand wird von der Crista masseterica (CrM) verstärkt. Auffällig ist, dass der Processus angularis (PAN) weiter nach okzipital reicht als der Processus articularis (PAM).

Der vordere Teil der Schneidezahnalveole des Unterkiefers ist gut sichtbar. Sie „trägt“ den Processus alveolaris (PAL). Unter diesem befindet sich das Foramen mentale (fm).

### **3. 1. 2 Fotografien des Schädels**

#### **Rostralansicht (Abb. 4; S. 96)**

Besonders auffällig sind die breiten, meißelförmigen Schneidezähne, die aus den Kiefern weit nach rostral hervorragen. Auch wird die enorme Größe und Stärke des Unterkiefers deutlich, so im großen Abstand zwischen Ramus mandibulae und der weit ausladenden Fossa masseterica (Crista masseterica). Auch die Konvergenz bzw. Neigung der Rami mandibulae nach kaudal bzw. medial verstärkt diesen Eindruck. Der Processus coronoideus ist dagegen leicht nach lateral geneigt und ragt kurz vor dem Processus zygomaticus ossis temporalis (Abb. 6, 7, 8, 10) in das Foramen temporale hinein. Deutlich erkennbar ist der Sulcus mandibulae zwischen Schneidezahnalveole und Ramus mandibulae (nicht bezeichnet). Der Oberschädel ist dorsoventral deutlich abgeplattet. Durch die weit nach lateral ausladenden Jochbögen erscheint er sehr breit. Die größte Breite wird im hinteren Teil der Jochbögen erreicht. Dorsal der

Oberkieferschneidezähne blickt man in die Nasenöffnung. Das schmale Septum nasi ist gut zu erkennen. Beiderseits dieser Apertura nasi externa sind die Foramina infraorbitalia in den Processus zygomatici der Maxillae zu sehen. Diese Processus werden durch die Foramina in zwei deutlich erkennbare Äste geteilt.

### **Dorsalansicht** (Abb. 5; S. 96)

Bei dieser Abbildung befindet sich der Unterkiefer in korrekter Position. Der kaudale Anteil des Processus articularis der Mandibula ist hinter der Pars squamosa ossis temporalis deutlich zu sehen. Die Processus angulares umfassen beiderseits löffelartig die Ohrregion (Abb. 5, 6). Medial des Arcus zygomaticus sind die Processus coronoidei und darunter die massiven Cristae massetericae erkennbar.

Im Schädeldach sind die einzelnen Knochen durch Suturen voneinander abgegrenzt. Hier sind vor allem die topographischen Beziehungen zwischen Os incisivum, Ossa nasalia und Ossa frontalia deutlich. Auch die Suturen zwischen den Frontalia und Parietalia sind gut zu sehen.

### **Lateralansicht von links** (Abb. 6; S. 97)

Auf diesem Foto ist der Verlauf des oberen Inzisivus gut zu erkennen. Dorsal des Processus alveolaris der oberen Backenzähne sieht man die laterale Vorwölbung der Schädelseitenwand im Bereich des Maxillare. Besser als in der Zeichnung (Abb. 3) stellen sich hier der Processus articularis der Mandibula und seine Gelenke mit dem Processus zygomaticus und der Pars squamosa des Temporale dar. Die Crista sagittalis an der Dorsalkontur des Schädeldaches ist deutlich sichtbar. Der Unterkiefer ist plastischer als auf den Schädelzeichnungen, so dass auch von lateral die keilförmige Konvergenz der beiden Mandibeln zu erkennen ist. Auch die prominente Crista masseterica und der weit nach okzipital reichende Processus angularis sind markanter dargestellt.

### **Rostrolateralansicht von links** (Abb. 7; S. 97)

Diese schräg seitliche Aufnahme verdeutlicht wiederum die Dimensionen der oberen und unteren Nagezähne, die mit ihren Alveolen in einem Bogen bis hinter die letzten Backenzähne

reichen. Die Nasenöffnung ist relativ weit nach hinten verlagert. Klar erkennbar sind das kleine Foramen infraorbitale sowie der Verlauf des schmalen Jochbogens, der kaudal in einen breiten, aber flachen Processus zygomaticus squamosi übergeht und hier das Kiefergelenk mit gestaltet. Weitere Details sind die okkludierten Reihen von Backenzähnen im Oberkiefer, die lateroventral gestellt sind und auf die weiter voneinander getrennten Unterkieferbackenzähne stoßen, sowie nicht zuletzt der massive Unterkiefer mit seiner weit ausladenden Fossa masseterica.

### **Laterokaudalansicht von links** (Abb. 8; S. 98)

Die Ansicht von seitlich hinten lässt deutlich das solide Kiefergelenk erkennen. Von der Mitte der Crista lambdoidea aus verläuft die vom Interparietale, Parietale und Frontale gebildet Crista sagittalis in der Medianebene nach rostral. Im Okzipitalbereich sind die Hinterhauptschuppe sowie die beiden Condylus occipitales und die Processus mastoidei mit den Processus paracondylares zu erkennen.

### **Ventralansicht** (Abb. 9; S. 98)

Bei der Betrachtung der Basalansicht fallen die beiden Unterkieferschneidezähne auf; in der Mandibula ist ihr leicht geschwungener Verlauf zu erkennen. Die Unterkieferäste sind im vorderen Teil der Schneidezahnalveolen durch Bindegewebe miteinander verbunden (lockere, „offene“ Symphyse). Nach okzipital divergieren sie in einem Winkel von etwa  $45^\circ$  und enden in einem deutlichen Abstand jeweils neben der Bulla tympanica des betreffenden Ohres. In der Mitte der Schneidezahnalveole weist der eigentliche Ramus mandibulae mit seiner Crista masseterica weiter nach lateral, um sich kaudal dann wieder der Alveole zu nähern und in den Processus angularis überzugehen. Die Jochbögen sind aus dieser Position nur in ihrem vorderen und mittleren Bereich zu sehen, denn der Unterkiefer verdeckt auf beiden Seiten den breiten Processus zygomatici ossis temporalis. Die Schädelbasis wird rostral von dem weit nach kaudal reichenden Os palatinum gebildet. Das Palatinum schiebt sich rostral keilförmig zwischen die Backenzahnreihen des Oberkiefers (Maxillae, nicht sichtbar). Die Laminae horizontalis et perpendicularis des Palatinum sind zu erkennen. Das Os pterygoideum erstreckt sich bis zum Basisphenoid. Mit den weit kaudal reichenden Palatina sind die Choanen ebenfalls stark nach kaudal verlagert. Lateral des Basisphenoids sind die Fossae pterygoideae und die Foramina

ovalia gelegen. Kaudal an das Basisphenoid grenzt, durch eine deutliche Sutura getrennt, die Basis des Os occipitale. Diese geht laterokaudal in die beiden Condyli occipitales über, welche rostral und lateral das etwas nach kaudoventral geneigte Foramen magnum begrenzen. Der dorsokaudale Rand des Foramen magnum wird von der Squama occipitalis gebildet. Durch dieses Foramen ist nach rostral die Schädelbasis bis zur Fossa cranii rostralis und zum Ethmoid einzusehen (nicht dargestellt). Zwischen dem Occipitale und den knöchernen Ohren befinden sich die Foramina lacera caudalia. Von den Condyli occipitales aus verlaufen die Processus paracondylares zur ventralen Fläche der Processus mastoidei. Sehr auffällig sind die großen Bullae tympanicae. Ihre Achsen weisen in einem Winkel von etwa 45° zur Sagittalebene nach rostromedial. Am lateralen Rand der Bulla erkennt man den Porus acusticus externus.

#### **Dorsolaterokaudalansicht** (Abb. 10; S. 99)

Dieses letzte Bild der Fotodokumentation soll noch einmal die Komplexität des Schädels eines "Zahngräbers" (Starck, 1961) mit enorm kräftig ausgebildeten Unterkiefern und Kiefergelenken, sehr weit ausladenden Jochbögen und tief im Schädel verankerten Nagezähnen darlegen. Letzten Endes durch die Inzisiven erhält der eher kurze und kompakte Schädel eine vergleichsweise langgestreckte Form.

### **3. 1. 3 3d - Rekonstruktion der Computertomogramme des Kopfes**

#### **Lateralansicht von links** (Abb. 11; S. 100)

Diese und die folgenden Abbildungen wurden mit Hilfe eines Computers erstellt. Sie zeigen die dreidimensionale Rekonstruktion des Schädels aus der Serie von sagittalen Computertomogrammen eines intakten Graumull-Kopfes. Die einzelnen Tomogramme bzw. Schichten sehen wie Höhenlinien auf einer Landkarte aus; sie sind jeweils einen Millimeter stark. Diese Darstellung des Schädels kommt durch die Einstellung des Knochenfensters im Scanner zustande (siehe Material und Methode). Die zuletzt aufgezählten Merkmale eines

"Zahngräbers" sind hier deutlich zu erkennen. Wie schon in den Seitenansichten beschrieben, ragen die Schneidezähne wie die Schaufeln eines Baggers aus dem Schädel hervor. Der schmale Jochbogen endet kaudal breit im Os temporale. Das Kiefergelenk ist bei dieser Einstellung des Knochenfensters nicht erfasst; der Unterkiefer scheint mit dem Schädel verwachsen. Der Ramus mandibulae wird durch die "Höhenlinien" in seinem Verlauf anschaulich dargestellt. Je heller die Struktur ist, desto weiter lateral (zum Betrachter hin) ist sie gelegen.

#### **Dorsalansicht** (Abb. 12; S. 100)

Der Schädel ist wiederum geringfügig nach vorne geneigt. Trotz der Knochenfenstereinstellung auf feine Knochenstrukturen wurde ein Teil der Nasalia nicht erfasst. Das bedeutet, dass es sich hier um sehr dünne Knochen handelt. Die Anteile der Processus mastoidei weisen Löcher auf; sie bestehen ebenfalls aus sehr dünnen Knochen. Der Unterkiefer scheint wieder mit dem Oberschädel verwachsen. Besonders auffällig sind die Enden der beiden Processus coronoidei: Sie liegen rostral der Processus zygomatici der Ossa temporalia und sind als helle Punkte erkennbar.

Auch die vorderen Anteile der Halswirbelsäule und des Schultergürtels sind hier zu erkennen. Die Halswirbel sind zwar voneinander zu unterscheiden, scheinen aber methodisch bedingt miteinander verwachsen. *Cryptomys* besitzt Claviculae und damit gelenkige Verbindungen der Schultergürtelhälften am Sternum und über die Rippen an der Wirbelsäule.

#### **Rostralansicht** (Abb. 13; S. 101)

Diese Ansicht wurde in einem härteren Knochenfenster rekonstruiert. Deshalb sind die Nasenbeine nicht dargestellt und man erhält einen Einblick in die Nasenhöhle. Das Septum nasi ist schemenhaft erkennbar (vgl. Abb. 14). Die Schneidezähne, insbesondere die des Oberkiefers, sind gut zu sehen. Vom Unterkiefer sind die Alveole des Inzisivus, der Ramus mandibulae mit dem Processus coronoideus und der weit nach laterokaudal ausladende Processus angularis sichtbar. Sogar der Komplex der Backenzähne ist als ein Konglomerat rechts hinter den Inzisiven dargestellt. Auch das Foramen infraorbitale ist im Processus zygomaticus ossis maxillaris der linken Kopfseite andeutungsweise zu sehen.

### **Rostolateralansicht von links** (Abb. 14; S. 101)

Diese Ansicht entspricht weitgehend der Abb. 7. Die geringe Dicke des Nasale und der Schädelkalotte sind deutlich zu erkennen. Hier ist der Knochen nicht oder nicht vollständig dargestellt, stattdessen schaut man auf die inneren Nasenstrukturen. Ein Teil des Processus angularis fehlt ebenfalls. Dies deckt sich mit den Beobachtungen am Schädelpräparat. Hält man den Schädel gegen eine helle Lichtquelle, so sind diese Knochenpartien durchscheinend.

### **Ventralansicht** (Abb. 15; S. 102)

Hierbei handelt es sich eigentlich um eine rostroventrale Ansicht. Trotzdem korrelieren die beiden Ventralansichten (Abb. Nr. 9, 15) gut miteinander. Besonders auffällig sind die Strukturen der Schädelbasis. Das Pterygoid stellt sich solide dar. Ebenfalls sehr massiv ist ein Knochensteg zwischen den medialen Anteilen der Ohren zu sehen. Er liegt genau an der Stelle, wo sich die Suture zwischen Basisphenoid und Okzipitale befindet. Bei Popesko et al. (1990) wird dieser Bereich am Meerschweinchenschädel als Synchronosis sphenoccipitalis bezeichnet. Hier liegt auch nach eigenen Beobachtungen am Schädel eine massive Brücke vor, welche sich vom übrigen Knochen abhebt. Die Bullae tympanicae sind inhomogen dargestellt. Dies liegt an der geringen Auflösung des eingestellten Knochenfensters und bedeutet, dass der Knochen der Bulla relativ dünn ist.

Ein Teil der Wirbelsäule und des Schultergürtels ist auch in dieser Ansicht zu sehen. Die Wirbelsäule scheint mit dem Schädel verwachsen. Wie schon erwähnt, liegt dies aber an der Einstellung des Knochenfensters und der Dicke der Scans.

## **3. 1. 4 Röntgenaufnahmen**

### **Dorsoventraler Strahlengang** (Abb. 16; S. 103)

Es handelt sich hier um eine Röntgenbild-Negativdarstellung, also um ein fotografisches Positiv. Die Dichte des Unterkiefers ist beeindruckend. Die Schneidezähne der Mandibula sind schwarz,

ihr Verlauf im Unterkiefer bis zum Kiefergelenk ist deutlich erkennbar. Der Ramus mandibulae biegt im kaudalen Drittel der Schneidezahnalveole nach lateral ab, läuft aber dann kaudalwärts wieder auf sie zu. Die Crista masseterica ist annähernd schwarz dargestellt. Vom Oberschädel sind die weit ausladenden Jochbögen sowie der kaudale Teil der Schädelbasis mit den Ohrregionen und dem Foramen magnum zu sehen. Vergleicht man diese Darstellung mit der Fotografie der Ventralansicht (Abb. 9), erkennt man weitere Details. So sind bei genauer Betrachtung im mittleren Abschnitt der Mandibula, zwischen den Unterkieferästen, die schwarz gezeichneten Backenzähne zu erahnen. Dahinter sind die sagittal gestellten Pterygoide erkennbar, desgleichen der massive Knochensteg zwischen den medialen Anteilen der Bullae tympanicae. Porus acusticus externus, Processus mastoideus und der Processus paracondylaris lassen sich mit Hilfe der Röntgenfotografie ebenfalls identifizieren. Die Condyli occipitales rahmen das Foramen magnum ventral und lateral ein.

#### **Laterolateraler Strahlengang** (Abb. 17; S. 103)

Bei dieser Röntgenaufnahme ist der Verlauf der Schneidezähne deutlich dargestellt. Auf den ersten Blick könnte man den Schädel mit dem eines Vogels verwechseln. Die Inzisiven ragen weit aus dem Schädel hervor. Der obere Inzisivus verläuft in einem Bogen nach kaudal bis hin zur Schädelbasis. Über seinem proximalen Ende liegt der vordere Teil der Schädelhöhle. Die Schädelhöhle ist bis auf die Überlagerung durch den hinteren Teil des Jochbogens zu erkennen. Rostral der vorderen Schädelgrube befinden sich die Nasenhöhlen; Schädel- und Nasenhöhlen sind durch die Siebbeinplatten (Laminae cribrosae) voneinander getrennt. Alle Backenzähne sind sichtbar. Der untere Inzisivus verläuft ebenfalls bogenförmig und zieht in Richtung Ohr bis zum Kiefergelenk. Die Rami mandibulae sind nur schemenhaft zu erkennen, ihr Gelenkkopf ist bestenfalls zu erahnen. Dagegen ist der Processus zygomaticus ossis temporalis mit seinem breiten Ansatz an der Schädelseitenwand deutlich zu sehen. Er vermittelt scheinbar (projektionsbedingt) zwischen den proximalen Enden des oberen und des unteren Inzisivus. Die Ohrregion ist infolge Überlagerung der beiden Seiten nur ungefähr auszumachen.

### **3. 1. 5 3d - Rekonstruktion des gesamten Skeletts aus Computertomogrammen**

#### **Dorsalansicht** (Abb. 18; S. 104)

Die beiden letzten Bilder sollen den Dokumentationsteil abrunden und die technischen Möglichkeiten der Computertomographie aufzeigen.

Nach der ausführlichen Besprechung des Schädels soll nur kurz auf das übrige Skelett eingegangen werden. Auffällig ist das gut ausgeprägte Schultergürtelskelett. Der Brustkorb ist flach und breit (vgl. Abb. 19), das Becken schmal und der Schwanz kurz. Boller (1970) beschrieb die Walzenform des Körpers von *Cryptomys*; sie kann anhand des Skelettes gut nachvollzogen werden.

#### **Dorsolateralansicht** (Abb. 19; S. 104)

Die dorsoventrale Abplattung des kompletten Skeletts wird noch einmal deutlich dargestellt. Die Schulterblätter sind nach dorsal bzw. medial abgerundet. Die Ossa coxae verlaufen nahezu parallel zur Schwanzwirbelsäule.

## 3.2 Schnittserien durch den Kopf von *Cryptomys*

### Einführung

In diesem Kapitel erfolgt die systematische Darstellung und Beschreibung der histologischen Schnitte sowie des computer- und kernspintomographischen Bildmaterials. Der Kopf von *Cryptomys anselli sp. nova* wird in den drei Hauptebenen dargestellt, das Bildmaterial in der Reihenfolge Transversal -, Horizontal - und Sagittalserie präsentiert. Der Schwerpunkt liegt jeweils auf den Computertomogrammen des Graumullkopfes. Dabei werden die Strukturen der histologischen Schnitte sowie der CT- und MRT- Schnitte hinsichtlich ihrer Gemeinsamkeiten dargestellt: Auf jeweils zwei Seiten befindet sich links oben der histologische Schnitt, links unten der MRT-Scan, rechts oben der CT-Scan und rechts unten die dem CT-Scan direkt zugehörige Legenden-Abbildung.

Das MRT-Bild kann bis zu einem gewissen Grad als "Negativ" zum CT-Bild gesehen werden. Knochen ist im MRT signalarm, Weichteilgewebe dagegen signalreich dargestellt. Ein weiterer Unterschied besteht in der Abgrenzbarkeit der einzelnen Weichteile gegeneinander. Gehirngewebe, Fett und sogar Muskulatur können im MRT in den meisten Fällen unterschieden werden, jedoch ist die Auflösung der Bilder oft gering, so dass einzelne Strukturen nur mit Hilfe der Histologie und der CT eindeutig zu identifizieren sind. Knochengewebe ist dagegen sowohl im CT als auch im MRT gut zu sehen. Aus diesem Grund wird im Folgenden bei der Beschreibung der MRT-Schnitte besonderer Wert auf die Darstellung der Knochen und Zähne als Orientierungshilfen gelegt. Weichteile werden nur bei guter Abgrenzbarkeit besprochen.

Das Hauptaugenmerk wird auf die Mikrotomschnitte und Computertomogramme gelegt. Die Magnetresonanztomogramme sollen als Ergänzung dazu gesehen werden. Die Besprechung der Schnitthorizonte erfolgt somit in der Reihenfolge: Histologie, CT, MRT.

### 3. 2. 1 Beschreibung der transversalen Schnittserie

#### Schnittführung

Der Kopf wurde von rostral nach okzipital in Abständen bzw. Schichten von 1 mm bzw. 2 mm durchgemessen. Dies betrifft sowohl den Mikrotom-Schnitt (tHisto1 etc.) als auch den CT-Scan (tCT1 etc.), während im Kernspintomographen (tMRT1 etc.) aus technischen Gründen nur eine Schichtdicke von 2.2 mm möglich war.

Für die Dokumentation der Befunde wurden von diesen Serien jeweils sechs miteinander korrelierende Schnitthorizonte (Mikropräparat, Scans der Computer- und Magnetresonanztomographie) ausgewählt.

#### Schnitthorizont 1 (Abb. S. 106, 107)

**Mikrotomschnitt (tHisto1)** Die erste von sechs ausgesuchten Schnittebenen stammt aus dem rostralen Bereich des Kopfes von *Cryptomys*. Die Schnittebene ist dorsal etwas nach kaudal geneigt, deshalb erscheint der Schnitt in seiner dorsoventralen Ausdehnung zu hoch. Deutlich erkennt man die Nasenhöhle (cn) mit dem knorpeligen Septum nasi (S), den Conchae und dem knöchernen Vomer (V) sowie die beiderseits angrenzenden Oberkieferschneidezähne (IO). Zwischen Vomer und Corpus ossis incisivi (CI) befindet sich Fett- und Bindegewebe (nicht bezeichnet). Darunter sieht man Fett-, Binde- und Drüsengewebe sowie verhorntes Plattenepithel (nicht bezeichnet) als Begrenzung der Mundhöhle. Die dorsalen und lateralen Knochenteile sind in diesem Schnitt teilweise herausgebrochen. Es handelt sich um das Os nasale (N) und das Os incisivum (I). Der Unterkieferschneidezahn ist auf Grund der Neigung der Schnittebene noch nicht dargestellt.

**CT-Schnitt (tCT1)** Die Schneidezähne und Knochen stellen sich hyperdens dar. Vergleicht man die in Präparat (tHisto1) beschriebenen Knochenstrukturen und die Schneidezähne mit den hyperdensen Strukturen des CT-Bildes, so stimmen sie weitgehend überein (unterschiedlicher Maßstab). Die Nasenhöhle - hier hypodens (schwarz) - wird vom Septum nasi (S) zweigeteilt

und dorsal von den Ossa nasalia (N) sowie lateral von den Ossa incisiva (I) und den Oberkieferinzisiven (IO) begrenzt. Das Corpus ossis incisivi (CI) bildet die untere Begrenzung des Cavum nasi (cn). Auf diesem CT-Scan, welcher im Gegensatz zum mikroskopischen Präparat korrekt in der Transversalebene steht, liegt um den Oberschädel herum noch schwach hyperdenses Weichteilgewebe (Bäckchen; nicht bezeichnet). Die Unterkieferinzisiven (IU) liegen isoliert vom Oberkiefer direkt darunter.

**MRT-Scan (tMRT1)** Sieht man den MRT-Scan als Negativ zum CT-Scan, so sind die dort bereits beschriebenen Strukturen hier ebenfalls zu erkennen. Knochen und Schneidezähne sind hypointens dargestellt, die Schneidezähne des Oberkiefers (IO) an ihrer schwach hyperintensiven Aussenkontur zu erkennen. Weitere Einzelheiten sind nicht ersichtlich.

### **Schnitthorizont 2** (Abb. S. 108, 109)

**Mikrotomschnitt (tHisto2)** Diese Schnittebene liegt in Höhe des Foramen infraorbitale (vgl. Abb. 3, f). Das Foramen (nicht bezeichnet) wird von der Pars infraorbitalis des Musculus zygomaticomandibularis (Mzi) durchzogen. Das Os maxillare (M) liegt dem Muskel medial an. Ventrolateral geht der Knochen in den Processus zygomaticus ossis maxillaris (PZM) über. Dorsal ist er mit dem Os incisivum (I) und dieses wiederum mit dem Os nasale (N) verwachsen, welches das Dach der Nasenhöhle (cn) bildet. Letztere zeigt in diesem Schnitt ihre maximale Ausdehnung. Das knorpelige Septum nasi (S) und der dazugehörige knöcherne Vomer (V) trennen das Cavum nasi (cn) in zwei gleiche Hälften. Zwischen den Endoturbinalia (e) befinden sich seitliche Erweiterungen der Nasenhöhle, unter denen sich auf beiden Seiten des Schädels der obere Incisivus (IO) befindet. Der Zahn wölbt die Maxilla (M) seitlich etwas vor, so dass sein Verlauf wie am Schädelpräparat verfolgt werden kann (siehe Schädel Fotografien, S. 96-99). Unter den Incisiven befindet sich der ventrale Anteil des Canalis nasolacrimalis (n). Die untere Knochengrenze des Oberschädels bildet das Corpus maxillae (CM). Zwischen den rechten und linken Corpora maxillae befinden sich die Foramina incisiva (fi).

**CT-Scan (tCT2)** Dieser Scan liegt kaudal des Foramen incisivum; dennoch korreliert er gut mit dem mikroskopischen Präparat. Das Cavum nasi (cn) zeigt in diesem Bild ungefähr die gleiche Ausdehnung wie im Mikrotomschnitt. Auch die übrigen Strukturen sind in beiden Schnitten

nahezu identisch. Sehr anschaulich sind die hyperdensen Oberkieferinzisiven (IO). Selbst die Foramina incisiva (fi) sind zu erahnen. Zusätzlich zum Oberschädel sind die Unterkieferinzisiven (IU) sichtbar.

**MRT-Scan (tMRT2)** Würde man das CT-Bild über das MRT-Bild legen, so würden die hyperintensiven Strukturen der Computertomographie die hypointensen Strukturen der Kernspintomographie überlagern. Die topographische Situation im Oberschädel ist somit dieselbe wie im mikroskopischen Präparat und im CT-Scan. Da aber Weichteilgewebe im MRT deutlicher dargestellt wird als in der Computertomographie, sieht man zum Beispiel die Zunge (L). Sie ist über den unteren Schneidezähnen (IU) zu finden.

### **Schnitthorizont 3** (Abb. S. 110, 111)

**Mikrotomschnitt (tHisto3)** Dieser Schnitt verläuft in Höhe der Augen hinter dem Eingang in den Canalis nasolacrimalis durch das Os zygomaticum (Z) und den rostralen Teil des Corpus mandibulae. Bei näherer Betrachtung erkennt man weit dorsal den Bulbus olfactorius (bo), welcher dorsal vom Os frontale (F) und ventral von der Lamina basalis des Os ethmoidale (nicht bezeichnet) begrenzt wird. Darunter befinden sich die Nasenhöhle (cn) mit dem Septum nasi (S), der Vomer (V) sowie die Endoturbinalia (e). Dorsal und ventral der oberen Incisiven (IO) befindet sich hier der im Bogen verlaufende Canalis nasolacrimalis (n). Das Os maxillare (M) stellt die seitliche Begrenzung der Nasenhöhle und der oberen Incisiven (IO) dar. Der Musculus zygomaticomandibularis (Mz) liegt der Maxilla (M) lateral an. Er zieht medial am Os zygomaticum (Z) entlang nach ventral. Der Musculus temporalis (Mt) liegt dem Os frontale (F) auf. Beide Augen (durch Dehydrierung etwas deformiert) sind der Glandula infraorbitalis (Gi) aufgelagert. Das Corpus maxillae (CM) ist zum Teil aus dem Schnitt herausgebrochen. Ventral des Vomer (V) sind die Foramina incisiva (fi) erkennbar. In der Mundhöhle ist ein Teil der Zunge (L) zu sehen, lateral die Muskulatur und das Fett-, Binde- und Drüsengewebe der Wangen (nicht bezeichnet).

**CT-Scan (tCT3)** Im Vergleich zum Mikrotomschnitt ist der Unterkiefer hier weiter kaudal getroffen. Der Scan verläuft knapp hinter dem Eingang in den Canalis lacrimalis und durch die Nasenhöhle (cn), welche die gleiche Ausdehnung wie im Mikrotomschnitt aufweist. Das Os

ethmoidale mit seinen Zellen (unruhige, schwach hyperdense Struktur, E) ist angeschnitten, wahrscheinlich aber auch der rostrale Teil des Bulbus olfactorius mit den Fila olfactoria. Die Ossa frontalia (F) bilden das Dach des Oberschädels, die Processus alveolares der Maxillae (PAL) den Boden. Auf der rechten Seite, in Höhe des harten Gaumens, ist der Jochbogen (Z) dargestellt. Die oberen Inzisiven (IO) heben sich deutlich von den übrigen Knochenstrukturen ab. Der signalarme Punkt in der Mitte des Zahnes entspricht dessen Pulpa. Der Unterkiefer (Corpus mandibulae, CB) ist in seiner rostralen Spitze angeschnitten. Er umgibt die unteren Schneidezähne (IU), ist aber durch einen deutlichen Spalt (Paradontium) von ihnen getrennt.

**MRT-Scan (tMRT3)** Diese MRT-Schnittführung ist mit jener im CT-Scan identisch. In der Mitte des Oberkopfes sind das Siebbein bzw. der Bulbus olfactorius dargestellt (nicht beschriftet). Die Schneidezähne (IO, IU) sind schwarz (kontrastarm), die Pulpahöhle (nicht bezeichnet) ist kontrastreich. Die im CT-Scan beschriebenen Knochen sind hier hypointens, d.h. kontrastarm und somit schwarz. Der Musculus temporalis (Mt) der linken Kopfseite ist deutlich zu sehen. Dies ist ein durch das Auftauen bedingter Artefakt (siehe Material und Methode). Der Musculus masseter profundus (Ma) ist in seinem Verlauf vom Ursprung des Jochbogens bis zum Unterkiefer dargestellt. Die Zunge (L) ist deutlich zu erkennen.

#### **Schnitthorizont 4** (Abb. S. 112, 113)

**Mikrotomschnitt (tHisto4)** Dieser histologische Schnitt verläuft drei Millimeter weiter okzipital parallel zu tHisto3. Er führt durch das Cavum cranii (c) mit dem darin befindlichen Gehirn. In der Mitte des Kopfes sind die Oberkieferschneidezähne (IO) und die Backenzähne des Oberkiefers (D) getroffen, im Unterkiefer die Inzisiven (IU) und Backenzähne. In der spaltförmigen Mundhöhle liegt die jetzt deutlich verbreiterte Zunge (L). Die Schädelhöhle (c) wird dorsolateral vom Os frontale (F) und ventral vom Praesphenoid (PS) sowie der Ala ossis praesphenoidalis (AP) begrenzt. Auf der rechten Seite ist am Übergang von der Ala ossis praesphenoidalis (AP) zum Os maxillare (M) die Fissura sphenoidalis (fs) zu sehen. Das Praesphenoid ragt mit seinem Corpus (CP) in den Epipharynx (ep) hinein. Seitlich vom nasalen Anteil des Pharynx verlaufen die Oberkieferschneidezähne im Os maxillare (M). Darunter erkennt man Oberkieferbackenzähne (D), die medial im Processus palatinus (PPM) und im

Processus alveolaris (PAL) der Maxilla verankert sind. Die Processus palatini (PPM), welche den harten Gaumen bilden, sind nach ventral mit Muskulatur und Schleimhaut (nicht bezeichnet) bedeckt. Nur zu erahnen sind weitere Oberkieferbackenzähne (D), die seitlich des harten Gaumens ventral der bereits beschriebenen Backenzähne liegen. Hierbei könnte es sich um die zweite Generation von Backenzähnen handeln.

Die Ober- und die Unterkieferbackenzähne (D) stehen in Kontakt und zeigen an, dass der Mund geschlossen ist. Lateral des Processus alveolaris des Oberkiefers (PAL) verläuft der Musculus masseter profundus (Ma), welcher am Unterrand des Jochbeinbogens (Z) entspringt. Seine kräftige Sehnenplatte ist auch auf diesem Schnitt im medioventralen Teil des Muskels zu sehen. Der Musculus temporalis (Mt) bedeckt das Os frontale (F) vollständig. Zwischen beiden Muskeln einer jeden Seite (Ma, Mt) befindet sich ein großer Drüsenkörper, bei dem es sich vermutlich um die Glandula infraorbitalis (Gi) handelt.

**CT-Scan (tCT4)** Der zum Mikrotomschnitt gehörige CT-Scan entspricht dem vorherigen tCT3. Im Vergleich mit dem histologischen Präparat sind die Knochenstrukturen nahezu identisch. Die Oberkieferinzisiven (IO) zeigen deutliche Pulpahöhlen (nicht bezeichnet). Sie liegen unter den Alae ossis praesphenoidalis (AP) und schließen die Siebbeinregion zwischen sich ein. Darunter befindet sich der Epipharynx (ep). Die Oberkieferbackenzähne (D) sind in den Processus alveolares (PAL) und den Processus palatini der Maxilla (PPM) verankert. Die Molaren des Oberkiefers sind nach außen, die des Unterkiefers nach innen gerichtet und beide besitzen parallele Kauflächen. In der Mandibula (MB/Schneidezahnalveole) sind die unteren Schneidezähne (IU) verankert. Die Unterkieferbackenzähne (D) stellen sich vom Unterkiefer isoliert dar. Weichteilgewebe ist, wie im CT-Scan zuvor, nicht zu erkennen.

**MRT-Scan (tMRT4)** Dieser Scan korreliert ebenfalls mit dem histologischen Schnitt, auch stimmt er sehr gut mit dem zugehörigen Computertomogramm überein. Zwar sind einzelne Knochenelemente nicht identifizierbar, doch als Ganzes dem Knochenkomplex im CT-Bild recht ähnlich. Auch die Darstellung der Muskulatur entspricht der Situation im histologischen Präparat: Die Musculi masseter (Ma) und temporalis (Mt) sind gut zu sehen. Die große Glandula infraorbitalis (Gi) ist zwischen diesen Muskeln hypointens dargestellt. Das Gehirn ist in diesem Schnitt das am stärksten hypointense Gewebe.

### **Schnitthorizont 5** (Abb. S. 114, 115)

**Mikrotomschnitt (tHisto5)** Diese Schnittebene befindet sich zwei Millimeter okzipital von tHisto4. Der Schnitt wurde ausgewählt, um das kaudale Ende der Oberkieferinzisiven und ihre Beziehung zur Schädelbasis zu zeigen. Das Cavum cranii (c) ist bedeutend größer, ansonsten differiert dieser Schnitt morphologisch kaum von dem vorhergehenden. Die Unterschiede sind in der Bildmitte konzentriert. Unter dem Praesphenoid (PS), den Flügeln (AP) und dem Körper (CP) des Keilbeins befinden sich Anschnitte der Schneidezahnalveolen (SA). Die Oberkieferbackenzähne (D) sind lateral durch die Lamina perpendicularis ossis palatini (Lpp) flankiert. Sie grenzen an einen nicht identifizierten großen Drüsenkörper (vgl. tHisto4, tMRT4). Der Processus coronoideus (PC) der Mandibula (CB) gibt sich als Insertion des Musculus temporalis (Mt) zu erkennen.

**CT-Schnitt (tCT5)** Dieser CT-Scan stimmt mit dem mikroskopischen Präparat gut überein. Im Vergleich mit dem letzten CT-Scan (tCT4) sind nur wenige Veränderungen zu vermerken. Dies gilt für den hinzugekommenen Anschnitt des Processus coronoideus ossis mandibulae (PC), welcher sich zwischen dem Jochbogen (Z) und dem Os maxillare (M, IO) befindet. Über dem Epipharynx (ep) ist das Corpus ossis sphenoidalis (CP) zu sehen. In der Mandibula (CB) sind die Schneidezähne (IU) mit deutlichen Parodontal-Spalten und die Backenzähne (D) erkennbar.

**MRT-Schnitt (tMRT5)** Entgegen dem vorherigen MRT-Bild (tMRT4) können hier einzelne Knochen nicht angesprochen werden, doch sind die Schnittebenen von MRT- und CT-Bild wieder identisch: Würde man die Knochenkonturen der Computertomographie über jene der Kernspinaufnahme legen, wären beide deckungsgleich; letztere ist also tatsächlich ein Negativ der CT-Aufnahme.

### **Schnitthorizont 6** (Abb. S. 116, 117)

**Mikrotomschnitt (tHisto6)** Dieser Schnitt soll vor allem den Verlauf des unteren Inzisivus (IU) verdeutlichen. Er befindet sich hier in Höhe des Kiefergelenks. Dieses wird vom Processus zygomaticus ossis temporalis (PZT), der Pars squamosa ossis temporalis (PST) und dem Processus articularis ossis mandibulae (PAM) gebildet. Deutlich ist der Schneidezahn (IU) in

seiner hier mehr oder minder längs angeschnittenen Alveole zu erkennen. Zwischen der Schneidezahnalveole im Ramus mandibulae (MB) und der Crista masseterica befindet sich die tiefe "Incisura praeangularis" (Boller, 1970), die ich als Sulcus mandibulae (<) bezeichnen möchte. Die Schädelhöhle hat hier ihre größte Ausdehnung. Begrenzt wird sie dorsal vom Os parietale (PA), lateral vom Os temporale (T) mit seinen Ausläufern (PZT und PST) und ventral vom Basisphenoid (B) und dessen Alae (AB). Deutlich ist die Fossa pterygoidea (fp) in der Ala ossis basisphenoidalis (AB) sichtbar. Die Musculi pterygoidei mediales (Mp) und laterales (Mpl) sind durch ihre Ursprünge an der Ala ossis basisphenoidalis (AB) charakterisiert. Im harten Gaumen trennt die Lamina horizontalis ossis palatini (Lhp) den Epipharynx (ep) von der Mundhöhle mit der darin befindlichen Zunge (L) ab. Zur Mundhöhle hin ist das Palatinum mit Drüsengewebe und Schleimhaut bedeckt. Zwischen Mundhöhle und Unterkieferast liegt nicht identifiziertes Drüsengewebe. Als oberflächliche Kaumuskulatur sind der Musculus temporalis (Mt) und der Musculus masseter (Ma) vertreten.

Das Gehirn ist in diesem Schnitt vollständig erhalten; deutlich ist die Hippocampus-Formation zu erkennen (nicht beschriftet).

**CT-Schnitt (tCT6)** Die Darstellung der Knochen von Oberschädel und Unterkiefer geht mit der im mikroskopischen Präparat konform. Kleinere Abweichungen ergeben sich aus der etwas anders verlaufenden Schnittebene.

Hier sind sogar das Foramen ovale (\*) und die Fossa sphenopterygoidea (fp) erkennbar. Der Processus pterygoideus ossis basisphenoidalis (PPB) umgibt den Epipharynx (ep). Die Muskulatur ist vom übrigen Weichteilgewebe nicht zu unterscheiden.

**MRT-Schnitt (tMRT6)** Das Gehirn ist an seiner hyperintensiven Darstellung deutlich zu erkennen. Auch der Musculus temporalis ist kontrastreich. Dies ist wiederum ein Auftauartefakt. Die Knochenkonturen sind mit denen der CT-Aufnahme identisch, allerdings nicht gut von einander abzugrenzen. Nur die Kaumuskulatur - Masseter (Ma) und Temporalismuskulatur (Mt) - hebt sich undeutlich von den Knochen ab. Die Knochenstrukturen werden durch die Muskulatur scheinend erkennbar.

## 3. 2. 2 Beschreibung der horizontalen Schnittserie

### Schnittführung

Die Schnittführung ist mehr oder weniger horizontal (parallel zur Auflagefläche des Kopfes). Der Kopf wurde in 1 mm -Schnitten von dorsal nach ventral erfasst. Dies betrifft sowohl die Mikrotomschnitte als auch die Computertomogramme und ihre Legendenabbildungen.

Im Kernspintomographen war aus bildtechnischen Gründen nur eine Schichtdicke von 2.1 mm möglich, so dass nur jeder zweite bzw. dritte CT- Scan durch einen MRT-Schnitt ergänzt wird.

Insgesamt wurden für die Dokumentation der Strukturen des Kopfes und ihrer Topographie 15 Schnitthorizonte ausgewählt.

Die histologische Schnittserie bietet schichtweise Einblick in die topographische Anatomie des Kopfes von *Cryptomys*. Die Schnittführung ist allerdings nicht exakt horizontal. Nimmt man die Bildmitte als einen Drehpunkt an, so ist die Ebene rechts und kaudal geringfügig nach ventral gekippt.

### Schnitthorizont 1 (Abb. S. 118, 119)

**Mikrotomschnitt (hHisto1)** Der erste Schnitt führt durch die Schädelhöhle (c) und die Nasenhöhle (cn). Deutlich ist das stark geschrumpfte Gehirn in dem viel zu groß erscheinenden Cavum cranii (c) zu sehen (Entwässerungsartefakt). Der Bulbus olfactorius (nicht bezeichnet) liegt in der Fossa cranii rostralis (fr) und steht über seine Fila olfactoria (Riechnerv) durch die Lamina cribrosa des Os ethmoidale (E) mit der Riechschleimhaut im Nasenhöhlengrund in Verbindung. Das Kleinhirn (nicht bezeichnet) ist aus der Fossa cranii caudalis (fc) herausgelöst und liegt zusammen mit den beiden Großhirnhemisphären (nicht bezeichnet) in der Fossa cranii media. Das Os interparietale (IP) und die dahinter liegende Halsmuskulatur (nicht beschriftet) begrenzen die Schädelhöhle nach kaudal. Die laterale Begrenzung wird vom Os parietale (PA) und Os frontale (F) gebildet. Am Os frontale entspringt beiderseits der Musculus temporalis (Mt). Die Begrenzungen der Nasenhöhle (cn) sind das Os maxillare (M) nach lateral, das Os ethmoidale zur Schädelhöhle hin und das Os incisivum (I) nach rostral. Im Cavum nasi (cn)

lassen sich Einzelheiten erkennen, so das Septum nasi (S), welches die Nase in zwei gleiche Hälften teilt, sowie die Endoturbinalia (e) und die Sinus paranasales (s).

**CT-Scan (hCT1)** Die Ebene des hier gezeigten CT-Scans ist rostral etwas nach ventral gekippt. Außerdem liegt sie generell etwas weiter ventral als das entsprechende histologische Präparat (hHisto1). Trotzdem korrelieren die beiden Ebenen gut miteinander.

Die Weichteilgewebe sind wieder einheitlich schwach hypodens dargestellt. Muskulatur, Gehirn, Drüsen und Fettgewebe lassen sich nicht voneinander unterscheiden. Dagegen ist das Knochengewebe deutlich zu erkennen. Je stärker und je dichter der Knochen ist, umso heller tritt er in Erscheinung. Vergleicht man den Mikrotomschnitt (hHisto1) und das Computertomogramm (hCT1) miteinander, so sind die Schädelhöhle (c) und die Nasenhöhle (cn) fast identisch gestaltet. Das Cavum cranii ist hier in die vordere Schädelgrube (fr) und in die Schädelhöhle (c) gegliedert. Die hintere Schädelgrube ist nicht zu erkennen, da der Schnitt im okzipitalen Kopfteil etwas weiter dorsal verläuft. Das kaudale Schädeldach wird vom Os parietale (PA) gebildet. Daran schließt sich okzipitalwärts der Interparietalknochen (IP) an. Das Os incisivum (I) ist die hellste Struktur im Bereich der Nase. Die Nasenhöhle (cn) stellt sich als sagittaler Doppelspalt hypodens dar, mit dem Septum nasi (S) in der Mitte. Lateral des Cavum nasi (cn) sieht man die Endoturbinalia (e). Das Os ethmoidale (E) liegt quer zur Längsachse zwischen Nasen- und Schädelhöhle.

## **Schnitthorizont 2** (Abb. S. 120, 121)

**Mikrotomschnitt (hHisto2)** Es sind keine deutlichen Veränderungen zum vorherigen Schnitt (hHisto1) zu erkennen. Betrachtet man das Größenverhältnis zwischen Nasenhöhle (cn) und Schädelhöhle (c), so beträgt die Fläche der Nasenhöhle nur etwa ein Fünftel der Fläche der Schädelhöhle. Dieses Verhältnis wird sich aber bei tiefer gelegenen Schnitten temporär zugunsten der Nasenhöhle verschieben. Die Endoturbinalia (e) des Cavum nasi (cn) sind hier etwas größer. Im kaudalen Kopfbereich rechts, in Höhe des Kleinhirns (nicht bezeichnet), ist der Anschnitt des knöchernen Ohres zu sehen, das Cavum tympani (CT) ist im Os temporale (T) erkennbar. Auf der gegenüberliegenden Seite ist noch das Os parietale (PA) angeschnitten. Der Knochen setzt sich kaudalwärts in das Os temporale (T) fort.

**CT-Scan (hCT2)** Auf dieser Abbildung ist das Größenverhältnis der beiden Kopfhöhlen, welche durch die Lamina cribrosa des Os ethmoidale (E) von einander getrennt werden, deutlich ausgeglichener. Das Os incisivum (I) und das Os maxillare (M) bilden die laterale Begrenzung der Nasenhöhle (cn) mit den darin befindlichen Endoturbinalia (e). Die Nasenhöhle wird in ihrer Mitte vom Septum nasi (S) in zwei gleiche Hälften geteilt. Die Basis des Processus zygomaticus ossis maxillaris (PZM) ist auf beiden Seiten der Maxilla zu sehen. Der rostrale Knochen kann als Os incisivum (I) angesprochen werden. Die vordere Schädelgrube (fr) wird beiderseits vom Os frontale (F) umfasst, rostral vom Os ethmoidale. Nach kaudal geht das Frontale in das Os parietale (PA) über. Die hintere Begrenzung der Schädelhöhle (c) bildet das Os interparietale (IP).

**MRT-Scan (hMRT2)** Die Serie der Kernspintomogramme ist im Vergleich zu den Serien der Mikrotomschnitte und der Computertomogramme generell etwas nach ventral verschoben. Darüber hinaus ist jeder Schnitt kaudal leicht nach ventral gekippt. Deshalb ist die Nasenhöhle auf diesem Scan noch nicht sichtbar. Die Weichteilgewebe sind gut zu erkennen und von Knochengewebe zu unterscheiden, welches hypointens, also schwarz dargestellt ist. In der Schädelhöhle ist das Gehirn mit seinem Bulbus olfactorius, den Großhirnhemisphären und dem Kleinhirn deutlich zu sehen. Zu beiden Seiten des Kleinhirns erkennt man runde, hypointense Strukturen. Es handelt sich um knöcherne Anteile der Ohren. Das Großhirn und der Bulbus olfactorius werden ebenfalls von hypointensen schmalen knöchernen Laminae flankiert. Es dürfte sich um das Os frontale (F) handeln, welches lateral von der Temporalismuskulatur (Mt) begrenzt wird.

### **Schnitthorizont 3** (Abb. S. 122, 123)

**Mikrotomschnitt (hHisto3)** Im kaudalen Bereich ist beiderseits der dorsale Teil des knöchernen Ohres zu sehen. Die Pars petrosa ossis temporalis (PPT) begrenzt das Cavum tympani (CT) zum Cavum cranii hin, nach aussen die Bulla dorsalis (BD). Das Ohr liegt also mit seiner dorsalen Spitze direkt an der Schädelhöhle und verursacht die Einschnürung zwischen Cavum cranii (c) und der hinteren Schädelgrube (fc). Die kaudale knöcherne Begrenzung der hinteren Schädelgrube bildet die Squama occipitalis (SO). An ihr inseriert die deutlich sichtbare

Halsmuskulatur (nicht bezeichnet). Eine weitere Veränderung zum vorherigen Mikrotomschnitt (hHisto2) ist das Auftreten des Augenfettkörpers (Corpus adiposum orbitae). Auf beiden Seiten liegt er als keilförmiges helleres Areal zwischen Haut (nicht bezeichnet), Os maxillare (M) und Musculus temporalis (Mt). Auf der linken Schädelseite ist der Processus zygomaticus ossis temporalis (PZT) isoliert dargestellt; er liegt kurz vor dem Ohr am okzipitalen Rand des Musculus temporalis (Mt).

**CT-Scan (hCT3)** Wie schon erwähnt, verläuft dieser Scan rostral tiefer als der mikroskopische Referenzschnitt (hHisto3). Deshalb sind seitlich der Nasenhöhle (cn) schon die beiden Schneidezähne (IO) erfasst. Sie sind tangential angeschnitten, so dass sie trotz ihres bogenförmigen rostrokaudalen Verlaufes wie gerade verlaufende Zähne aussehen. Direkt dahinter liegt die Lamina cribrosa des Os ethmoidale (E). Die Schneidezähne werden vom Os incisivum (I) und Os maxillare (M) getragen; der hintere Teil des Maxillare (M) entspricht der Schneidezahnalveole. Deutlich sieht man beide Processus zygomatici ossis maxillaris (PZM) vom Maxillare ausgehend nach lateral und kaudal ziehen. Das Cavum cranii (c) wird seitlich vom Os frontale (F) und vom Os temporale (T) umgeben. Auf der rechten Seite erweitert sich das Os temporale zum Processus zygomaticus ossis temporalis (PZT). Kaudal davon ist die Schädelseitenwand nochmals verdickt. Hierbei handelt es sich um den Anschnitt der Bulla dorsalis (BD) als Teil des Ohres. Die Hinterhauptschuppe (SO) begrenzt die Schädelhöhle okzipital.

#### **Schnitthorizont 4** (Abb. S. 124, 125)

**Mikrotomschnitt (hHisto4)** Dieser Schnitt liegt in Höhe der Augen. Sie sind auf beiden Seiten der Nasenhöhle (cn) zu sehen und vom Corpus adiposum bulbi oculi (nicht bezeichnet) umgeben. Der Bulbus olfactorius (nicht bezeichnet) verschwindet allmählich aus dem Schnittbild. Die vordere Schädelgrube ist kaum mehr sichtbar. Das Cavum cranii (c) und die hintere Schädelgrube (fc) sind dagegen deutlich zu erkennen. Der Processus zygomaticus ossis temporalis (PZT) ist jetzt auch auf der linken Kopfseite sichtbar.

Die Nasenhöhle (cn) zeigt ihre maximale Entfaltung. Dasselbe gilt für die Conchae nasales (e). Deutlich ist das Septum nasi (S) erkennbar. An der Grenze zwischen der Nasen- und der

Schädelhöhle hat sich gegenüber Abbildung hHisto3 kaum etwas geändert. Allerdings bildet jetzt das Os maxillare (M) den vorderen Teil der Schädelhöhle (c) und die Processus zygomatici ossis temporalis (PZT) ragen weiter nach lateral vor.

**CT-Scan (hCT4)** Im Nasenbereich hat sich nichts verändert. Die Strukturen im hinteren Kopfbereich werden deutlicher. Dabei handelt es sich um jene Knochen des Neurocraniums, die an der Bildung des Kiefergelenkes beteiligt sind und um die Knochen des Ohres. Der Processus zygomaticus ossis temporalis (PZT) als Teil des Temporale (T) bildet die Pfanne des Kiefergelenkes; auf der rechten Seite ist er besonders gut zu sehen. Sein Ursprung an der Schädelseitenwand (Squama) ist breitflächig. Kaudal der Gelenkpfanne zwischen der Pars petrosa ossis temporalis (PPT) und der Bulla tympani (BT) ist das Mittelohr (CT) angeschnitten. Auf der rechten Seite ist im Weichteilgewebe ein kurzer Abschnitt des Meatus acusticus externus (p) hypodens dargestellt.

#### **Schnitthorizont 5** (Abb. S. 126, 127)

**Mikrotomschnitt (hHisto5)** Der hier vorliegende Mikrotomschnitt stimmt weitgehend mit dem zuvor beschriebenen CT-Scan (hCT4) überein. Die Oberkieferschneidezähne (IO) verlaufen seitlich entlang der gesamten Nasenhöhle (cn) und werden vom Os incisivum (I), Os maxillare (M) und dem Os ethmoidale (E) begrenzt. Zwischen ihnen sieht man Teile der Nasenhöhle (cn) mit den Conchae nasales und dem Septum nasi (S). Die kaudale Grenze wird vom Siebbein (E) gebildet. Ethmoid und Praesphenoid (PS) bilden die vordere Begrenzung des Cavum cranii. Die Processus zygomatici des Maxillare (PZM) sind markant. Sie ragen im rechten Winkel aus der Schädelseitenwand heraus und ihnen liegen die zygomatikomandibularen Muskeln (Mz) an. Das Pendant zum Processus zygomaticus des Maxillare (PZM) ist der Processus zygomaticus ossis temporalis (PZT). Dieser Fortsatz liegt auf beiden Seiten hinter dem Musculus temporalis (Mt) und vor dem Processus articularis ossis mandibulae (PAM), in dessen Zentrum die kaudale Spitze des Unterkieferschneidezahns (IU) zu sehen ist. Der Processus zygomaticus ossis temporalis (PZT) und die Pars squamosa ossis temporalis (PST) sowie der Processus articularis der Mandibula (PAM) bilden zusammen das Kiefergelenk. Dieses ist auf der rechten Kopfseite gut zu erkennen und zeigt, dass der Processus articularis kaudal nicht von Knochen umfasst

wird. Die Anteile im Mittelohr (CT) sind infolge von Einbettungs- und Schneideartefakten (Zerreißen des Gewebes) nicht eindeutig zu differenzieren. Die hintere Begrenzung der Schädelhöhle bildet das Os occipitale (O).

**CT-Scan (hCT5)** In dieser Schnittebene sind die Oberkieferinzisiven (IO) aufgrund ihres bogenförmigen Verlaufes im vorderen und hinteren Nasenbereich angeschnitten. Dazwischen sind das Os maxillare (M) mit seinem Processus zygomaticus (PZM) sowie die Nasenhöhle (cn) mit dem Septum nasi (S) zu erkennen. Kaudal grenzen die Incisiven an das Praesphenoid (PS). Die Schädelhöhle (c) wird hier fast nur vom Os temporale begrenzt. Vergleicht man diesen CT-Scan mit dem Mikrotomschnitt (hHisto5), stimmen die Knochenstrukturen des Kiefergelenkes (PZT, PST und PAM) und des Ohres (PPT und BT) mit ihm überein.

**MRT-Scan (hMRT5)** Dieser MRT-Schnitt entspricht weitgehend dem Präparat hHisto5. Er liegt 2.1 mm tiefer als der vorherige MRT-Scan (hMRT2) und zeigt das hyperintens erscheinende Gehirn und rostral davon liegend die hypointense Nasenhöhle (cn). Der vordere Teil des Gehirns wird vom Schädel mit aussen anliegender Muskulatur sowie Fett- und Drüsengewebe flankiert. Undeutlich erkennt man das Kiefergelenk (Kiefergelenk), welches kurz vor dem Ohr liegt. Das Original-MRT-Bild zeigt mit dem CT-Bild identische Strukturen des Kiefergelenkes; es ist wie ein Negativ zum CT-Bild.

### **Schnitthorizont 6** (Abb. S. 128, 129)

**Mikrotomschnitt (hHisto6)** Zwischen den oberen Incisiven liegt die Nasenhöhle (cn) und der Vomer (V). Die Schnittebene grenzt teilweise schon an die Schädelbasis. Das Praesphenoid (PS) ist im Bereich zwischen Nasenhöhle (cn) und Schädelhöhle (c) zu erkennen. Es ragt keilförmig in Richtung Basisphenoidale vor und deutet auf die Anteile des Gehirns (nicht bezeichnet), die dem Basisphenoid aufliegen. Das Os temporale (T) ist die seitliche Begrenzung des Cavum cranii (c). Sein Processus zygomaticus (PZT) und seine Pars squamosa (PST) bilden hier einen Teil des Kiefergelenkes. Auf der linken Kopfseite ist der Processus coronoideus ossis mandibulae (PC) zu sehen. Er dient der Insertion des Musculus temporalis (Mt). Das hinter dem Kiefergelenk liegende Ohr lässt an seinem äußeren Teil, der Bulla tympanica (BT), den

Eingang (->) in das Mittelohr (CT) erkennen.

**CT-Schnitt (hCT6)** Die Details des Mikrotomschnittes (hHisto6) finden sich auch auf diesem CT-Scan. Am Praesphenoid können ein Corpus (CP) und beide Alae (AP) unterschieden werden. Auf der linken Seite ist der Porus acusticus externus (p) zu erkennen. Nicht sichtbar ist dagegen der Processus coronoideus der Mandibula. In deren Processus articularis (PAM) ist auch das kaudale Ende des unteren Incisivus (IU) zu sehen.

### **Schnitthorizont 7** (Abb. S. 130, 131)

**Mikrotomschnitt (hHisto7)** Dieser Schnitt verläuft durch den Nasenhöhlengrund knapp über dem harten Gaumen. Praesphenoid (PS) und Basisphenoid (B) sind in der Mitte des Bildes erkennbar, umgeben vom Musculus pterygoideus medialis (Mp). Die Wurzelspitzen der beiden Oberkieferschneidezähne (IO) reichen bis fast an die Schädelbasis heran. Sie werden von einer Schneidezahnalveole des Maxillare (M) umfasst. Auf der rechten Seite, zwischen Schneidezahnalveole und Ohr, ist die Ala ossis basisphenoidalis (AB) angeschnitten. In der schmal keilförmigen Fossa cranii caudalis (fc) zwischen den ausgedehnten Bullae tympanicae befindet sich ein Teil des Rautenhirns. Die knöchernen Ohren weisen von laterokaudal nach rostromedial. Ihre äußere Wand bilden die Bulla tympanica (BT) und der Processus mastoideus (PMA), die innere Wand die Pars petrosa ossis temporalis (PPT). Dazwischen befindet sich das Cavum tympani (CT). Am medialen Rand desselben ist die Cochlea (C) deutlich sichtbar. Der Musculus masseter (Ma) umgibt mit seinem äußeren und inneren Anteil die Knochen des Kiefergelenkes (nicht bezeichnet). Der Processus zygomaticus des Temporale (PZT) weist nach rostromedial zum mittleren Teil des Jochbogens.

**CT-Scan (hCT7)** Der CT-Scan ist identisch mit dem entsprechenden Mikrotomschnitt (hHisto7). Beide Processus coronoidei (PC) der Mandibula sind jetzt zu erkennen. Details der Ohren, wie im mikroskopischen Präparat zu sehen, sind im CT-Bild nicht dargestellt. Betrachtet man die Processus zygomatici (PZM) und (PZT) der Maxilla (M) bzw. des Os temporale (T), ist der weit ausladende Jochbogen bereits zu erahnen. Der Processus articularis mandibulae (PAM;

mit unterem Incisivus IU) hat hier seinen maximalen Durchmesser erreicht.

**MRT-Scan (hMRT7)** Im Kernspintomogramm sind sowohl die Ohrregionen als auch die Nasenhöhle (cn) hypointens (schwarz) dargestellt. Direkt vor den Ohren sind hyperintense, fast ovale Strukturen zu sehen. Es handelt sich hierbei um die Processus articulares der Mandibula (PAM), welche nach rostral und lateral von den ebenfalls signalarm dargestellten Processus zygomatici ossis temporalis (PZT) flankiert werden. Davor liegen Muskulatur und Drüsengewebe. Der Hirnstamm ist schwach hyperintens und reicht von der Verjüngung rostral zwischen den Ohren (Ohr) bis zur Squama occipitalis (nicht bezeichnet).

### **Schnitthorizont 8** (Abb. S. 132, 133)

**Mikrotomschnitt (hHisto8)** Der auffälligste Unterschied zum vorhergehenden Schnitt (hHisto7) sind die in der Mitte des Bildes deutlich erkennbaren Reihen von Oberkieferbackenzähnen. Sie umfassen je drei Molaren (D), davon sind hier jeweils zwei dargestellt. Lateral des jeweils letzten Backenzahnes sind die proximalen Enden der Oberkieferschneidezähne (IO) sichtbar. Zwischen den Backenzähnen befindet sich der Epipharynx (ep), die Verbindung zwischen Nasenhöhle (cn) und dem übrigen Rachen. Das Cavum nasi (cn) ist durch den Vomer (V) in die beiden Nasenhöhlen geteilt wird. Seitlich sind die weit ausladenden Processus zygomatici der Maxilla (PZM) zu sehen. Der kaudale Anteil des Jochbogens (PZT) verschwindet langsam aus der Schnittebene. Dafür sind jetzt beide Unterkieferäste (PAM) vorhanden. Die Alveole des Unterkieferschneidezahnes (IU) geht rostral in den Processus coronoideus (PC) und kaudal in den Processus angularis (PAN) der Mandibula über.

**CT-Scan (hCT8)** Der hintere Bereich des CT-Scans entspricht recht gut dem eben beschriebenen Mikrotomschnitt (hHisto8), jedoch gibt es in der vorderen Hälfte Abweichungen vom mikroskopischen Präparat. Hier ist der Kopf etwas höher geschnitten, weshalb die Backenzähne noch nicht zu sehen sind. Der Epipharynx (ep) ist allerdings schon erkennbar. Er grenzt direkt an den Vomer (V) und ist hypodens dargestellt. Die Oberkieferschneidezähne (IO) sind an ihren proximalen und distalen Enden geschnitten. Das Os zygomaticum (Z) ist hier über eine größere Strecke zu verfolgen. Das Corpus ossis incisivi (CI) stellt die vordere knöcherne

Suspension der Oberkieferinzisiven (IO) dar und vermittelt auf diesem Scan zwischen dem Vorderabschnitt der Schneidezähne und dem Jochbogen (Z). Der kaudale Bereich der Schädelbasis ist erst teilweise zu sehen: Das Praesphenoid (PS) ist hier stabförmig dargestellt und seitlich erkennt man die Ala ossis basisphenoidalis (AB). Daraus ergibt sich, dass die Ebene dieses Scans hier weiter dorsal verläuft als jene des Mikrotomschnittes.

### **Schnitthorizont 9** (Abb. S. 134, 135)

**Mikrotomschnitt (hHisto9)** In der Bildmitte ist der Epipharynx (ep) isoliert zu sehen. Er wird von den hinteren Backenzähnen (D) und vom kaudal anschließenden Os palatinum (P) seitlich begrenzt. Das Basisphenoid (B) stößt in Höhe der Ohren an das Basiokzipitale (O). Am knöchernen Ohr ist nur noch das Cavum tympani (CT) zu erkennen. Sein kaudaler Anteil ist als Processus mastoideus (PMA) mit dem Processus paracondylaris (PP) des Os occipitale verwachsen. Die Fossa cranii caudalis (fc) liegt mediokaudal der Ohren und wird vom Os occipitale (Exokzipitale, O) umfasst. Lediglich kaudal ist sie scheinbar offen. Auf diesem Schnitt ist auch der mittlere Abschnitt des Jochbogens (Z) gut erkennbar. Die Unterkieferäste gleichen den in Bild (hHisto8) beschriebenen. Vor den Dentis molares (D) liegt die Nasenhöhle (cn) mit dem Vomer (V), umgeben vom Os maxillare (M).

**CT-Scan (hCT9)** In diesem Computer-Scan fallen die oberen Schneidezähne (IO) mit dem Os incisivum ins Auge, von denen der kaudale und der rostrale Abschnitt zu sehen ist. Die Incisiven liegen in Höhe des Epipharynx (ep) kurz vor oder besser gesagt unter der Schädelbasis (B und AB). Infolge der Dicke des Scans ist der Bereich zwischen den proximalen und distalen Anteilen der Incisiven kaum zu identifizieren. Es handelt sich um das Corpus maxillae (CM) mit wahrscheinlich einem basalen Rest der Nasenhöhle (cn). Die Jochbögen (Z) sind hier in ihrem Mittelabschnitt (isoliert) abgebildet. Die Ohren sind durch einen transversalen Knochensteg aus Basisphenoid (B) und Basisoccipitale (O) miteinander verbunden. In beiden Ohren ist das Cavum tympani (CT) schwarz. An der medialen Wand ist rechts eine kleine, ovale und schwach hyperdense Struktur, die Cochlea (C) zu erkennen. Die verbliebene Fossa cranii caudalis (fc) wird seitlich von der Pars petrosa des Os temporale (PPT) und kaudal von den Condyli occipitales (CO) eingerahmt.

**MRT-Scan (hMRT9)** Auf dem MRT-Bild erkennt man die hypointense Nasenhöhle (cn) mit dem schwach hyperintensiven Vomer (V). Gut zu sehen sind die Unterkieferinzisiven (IU). In der Bildmitte erscheinen sie wie zwei "Augen" mit dunkler Pupille. Von ihnen erstreckt sich beiderseits jeweils ein signalarmer Bogen nach ventrokaudal, die Processus angulares (PAN). Zwischen bzw. hinter den Unterkieferwinkeln befinden sich die hypointens dargestellten, in ihrem unteren Bereich angeschnittenen Ohren. Die hintere Schädelgrube (fc) wird kaudal der Ohren sichtbar.

### **Schnitthorizont 10** (Abb. S. 136, 137)

**Mikrotomschnitt (hHisto10)** Im Vergleich mit dem zuvor beschriebenen Mikrotomschnitt (hHisto9) zeigt der hier vorliegende kaum Unterschiede, da er nur einen Millimeter tiefer liegt. Wie in dem CT-Scan (hCT9) ist das Corpus ossis incisivi (CI) zu sehen. Es trägt den distalen Abschnitt des Incisivus (IO) und geht in einer stark gezackten Suture in das Corpus der Maxilla (CM) über. In diesem liegen die Backenzähne. Hinter den Molaren (D) erkennt man das Os palatinum (P) mit seiner Lamina horizontalis (Lhp), welches kaudal in das Os pterygoideum (PT) übergeht. Zwischen den beiden Flügelbeinen (PT) befindet sich der Epipharynx (ep) mit den Choanen (Apertura nasi interna; nicht bezeichnet). Deutlich ist im okzipitalen Kopfbereich der Übergang zwischen dem Basisoccipitale (O) und den Condylis occipitales (CO) zu sehen. Weiter kaudal ist die Medulla oblongata (mo) kurz vor dem ersten Halswirbel (1. HW; Atlas) angeschnitten.

**CT-Scan (hCT10)** Vergleicht man das CT-Bild mit dem mikroskopischen Präparat, erkennt man eine deutliche Übereinstimmung. Die Oberkieferschneidezähne (IO) sind an zwei Stellen zu sehen. Nahe dem rostralen Abschnitt der oberen Incisiven liegt das Os incisivum (I). Die dahinter liegende Partie des Schnittes ist knochenfrei und wird nach kaudal durch das Corpus maxillae (CM) begrenzt. Dieser Teil der Maxilla trägt die Dentis molares (D) des Oberkiefers. Zwischen den kaudalen Abschnitten der Schneidezähne (IO) und den dahinter liegenden Laminae horizontales der Palatina (Lhp) befindet sich der Epipharynx (ep). Seine okzipitale Begrenzung ist das Basisphenoid (B), welches in die Pars basalis ossis occipitalis (PB) übergeht. Dieser Teil bildet, wie schon beschrieben, den Verbindungssteg zwischen beiden Ohren. Den

Abschluss der Schädelknochen bilden die Condyli occipitales (CO). Der Processus paracondylaris (PP) ist als ein Teil der Ohrregion erkennbar.

### **Schnitthorizont 11** (Abb. S. 138, 139)

**Mikrotomschnitt (hHisto11)** Dieser Schnitt erfasst die untere Ohrregion (BT und CT), den weichen Gaumen (pm) sowie die Oberkieferbackenzähne (D) und den distalen Teil der oberen Incisiven (IO). Letztere sind hier noch vom Os incisivum (I) umgeben. Nach kaudal folgt eine Weichteilregion mit Fett- und Bindegewebe (nicht bezeichnet), welche hier scheinbar zwischen dem Os incisivum und dem harten Gaumen vermittelt. Dieser besteht beiderseits aus dem Processus palatinus maxillae (PPM) und den Laminae horizontalis (Lhp) und perpendicularis (Lpp) des Os palatinum. Lateral davon befinden sich die Processus alveolares der Maxillaria mit den Backenzähnen (D).

Der harte Gaumen geht kaudal in den weichen Gaumen, das Palatum molle (pm) über. Das Os pterygoideum (PT) flankiert den weichen Gaumen bis hinter den Epipharynx (ep). Der lange Musculus pterygoideus medialis (Mp) erstreckt sich vom Os pterygoideum (PT) bis zum kaudalen Teil der Mandibula (PAN). Lateral des harten und weichen Gaumens befinden sich ausgedehnte Muskelmassen (Musculus masseter, Ma), welcher die Mandibula mit äußeren und inneren Anteilen vollständig umfasst. An den Unterkieferästen sind deutlich das Corpus (CB) mit Incisivus (IU) und der Processus angularis (PAN) auszumachen. Die Ohren (CT) sind weit basal getroffen und von den übrigen Schädelknochen scheinbar isoliert (Bullae). Im kaudalen Kopfabschnitt geht das Os occipitale mit seiner Pars basilaris (PB) beiderseits in die Condyli occipitales (CO) über, welche mit dem Atlas (1. HW) gelenkig verbunden sind.

**CT-Scan (hCT11)** Der Processus palatinus maxillae (PPM) und die Lamina horizontalis ossis palatini (Lhp) sind als Teile des harten Gaumens zu erkennen. In ihnen liegen die Dentis molares (D) des Oberkiefers (im Original besser sichtbar) und das proximale Ende der Oberkieferschneidezähne (IO). Der Epipharynx (ep) wird rostral von der Lamina horizontalis ossis palatini (Lhp) begrenzt, lateral von den Ossa pterygoidea (PT) und kaudal vom Basisphenoid (B). Der am weitesten kaudal gelegene Knochen in diesem Scan ist der Atlas mit seinem Arcus dorsalis (A). Letzterer nähert sich seitlich den Bullae tympanicae und kaudal der

Pars basilaris ossis occipitalis (PB) an. Obwohl sich die Bullae der Pars basilaris - in dieser Schnittebene - scheinbar weitgehend anschmiegen, sind sie doch durch einen deutlichen Spalt von dieser getrennt.

**MRT-Scan (hMRT11)** Der hier vorliegende Scan zeigt einen Schnitt durch den Kopf auf Höhe des Processus palatinus ossis maxillae. Da der Scan nach hinten zu aus der horizontalen Ebene etwas nach ventral gekippt ist, sind die Ohren nicht mehr angeschnitten, die vorderen Oberkiefermolaren noch nicht zu sehen und die Nasenhöhle (cn) ist in ihrem ventralen Bereich getroffen. In der Nasenhöhle sind die Incisiven (IO) schemenhaft zu erkennen. Von den Backenzähnen sind einige aufgrund ihrer Hypointensität zu erahnen. Die Unterkieferäste werden auch hier von enormen Muskelmassen des Masseter (Ma) eingerahmt. Innen sind auf beiden Seiten die charakteristischen Schneidezähne (IU, helle Punkte in einem dunklen Hof) erkennbar. Die übrigen Anteile der Mandibula sind als hypointense Linien dargestellt, welche vom Inzisivus nach rostral und nach laterokaudal verlaufen.

### **Schnitthorizont 12** (Abb. S. 140, 141)

**Mikrotomschnitt (hHisto12)** Dieser Schnitt weicht nur geringfügig von dem zuvor beschriebenen Mikrotomschnitt (hHisto11) ab, allerdings läuft er hier direkt durch das Palatum molle (pm). Die Lamina perpendicularis ossis palatini ist nicht mehr zu sehen. Während das rechte Ohr verschwunden ist, wurde das linke Ohr noch angeschnitten, entsprechend der rechts etwas nach ventral gekippten Schnittebene.

**CT-Schnitt (hCT12)** Auch der CT-Scan entspricht weitestgehend der Situation des mikroskopischen Präparates (hHisto11). Der harte Gaumen ist nur noch durch die Lamina horizontalis des Palatinums (Lhp) vertreten. Alle vier Backenzähne (D) sind sichtbar. Von den Ohren sind nur noch tangentielle Anschnitte der Bullae tympanicae vorhanden. Dahinter liegen scheinbar isoliert die Condylus occipitales (CO), welche mit dem Atlas (1. HW) gelenken.

**MRT-Schnitt (hMRT12)** Hier ist der harte Gaumen mit Anteilen der vordersten Backenzähne (D) des Oberkiefers erfasst. In der Nasenregion sind die Schneidezähne (IO) etwas deutlicher zu

sehen. Ansonsten trifft auf dieses Bild die Beschreibung des vorhergehenden MRT-Schnittes (hMRT11) zu. Die Bullae tympanicae (nicht bezeichnet) sind gerade noch angeschnitten. An der Mandibula (MB) ist links der Processus articularis (PAM) getroffen.

### **Schnitthorizont 13** (Abb. S. 142, 143)

**Mikrotomschnitt (hHisto13)** Rostral ist die Alveole des Inzisivus dargestellt. Zwischen ihr und den Oberkiefermolaren (D) befindet sich Wangenschleimhaut, Muskulatur, Drüsen- und Bindegewebe (sämtlich nicht bezeichnet). Anstelle des Palatum molle ist jetzt die kaudale Mundhöhle (nicht bezeichnet; hell) angeschnitten. Dahinter ist, jenseits der Pterygoide, der Epipharynx (ep) zu erkennen. Außer dem schon beschriebenen Musculus masseter (Ma) ist der Musculus pterygoideus medialis (Mp) zu sehen. Er zieht auf beiden Seiten vom Os pterygoideum (PT) nahezu transversal zum kaudalen Teil des Unterkieferastes, dem Processus angularis (PAM).

**CT-Scan (hCT13)** Deutlich sind die Dentes molares (D) des Oberkiefers (innere Reihe) und des Unterkiefers (äußere Reihe) zu erkennen. An die Unterkiefermolaren (nicht bezeichnet) grenzen beiderseits die Mandibularäste (MB), welche an ihrem medialen Rand kaudal die Unterkieferinzisiven (IU) tragen. Dabei ist die Schneidezahnalveole mit dem Schneidezahn schon weitgehend vom Ramus mandibulae getrennt. Zwischen den unteren Inzisiven (IU) liegen die Ossa pterygoidea (PT) mit ihren beiden Flügeln. Dahinter erscheint hypodens das Larynxlumen (l). Der Atlas (1. HW) ist auf diesem Scan ebenfalls zu sehen.

### **Schnitthorizont 14** (Abb. S. 144, 145)

**Mikrotomschnitt (hHisto14)** Das auffälligste Detail ist hier die Zunge (L). Sie liegt in der spaltförmigen Mundhöhle und wird seitlich von den Processus alveolares (PAL) mit ihren Molaren (D) begrenzt. Die Zungenspitze deutet auf die seitlich gelegene Wangenschleimhaut (nicht bezeichnet) und die Oberkieferinzisiven (IO) vor dem rostralen Gaumen. Der jeweils hinterste Zahn in der Mandibula ist der Unterkieferschneidezahn (IU). Er hat sich während der Evolution der Bathyergidae im Sinne einer besseren Verankerung sekundär bis hinter die Region

der Molaren ausgedehnt und verläuft nun unter den Backenzähnen im Bogen nach vorn. Am Zungenrund (nicht bezeichnet) ist der Larynx (l) deutlich erkennbar. Kaudal davon liegt der Atlas. Auffällig ist auch der Musculus masseter (Ma), der den Unterkiefer mit seinem inneren und äußeren Anteil umschließt.

**CT-Scan (hCT14)** Auch auf dem CT-Scan sind die Oberkieferschneidezähne (IO) noch zu sehen. Vergleicht man die Knochendarstellung des CT-Schnittes mit dem Mikrotomschnitt, so sind beide nahezu identisch.

**MRT-Scan (hMRT14)** Dieser Schnitt verläuft ebenfalls durch den Unterkiefer. Der dominierende Musculus masseter (Ma) ist hyperintens dargestellt. Die Oberkieferinzisiven (IO) sind rostral zu sehen. Die Unterkieferinzisiven (IU) sind in der Mandibula verankert und sitzen hinter den hypointens dargestellten Backenzähnen (D). Laterokaudal der Unterkiefer-schneidezähne beginnen die Unterkieferwinkel. Zwischen den Unterkieferästen befindet sich die Zunge (L). Den Larynx (l) erkennt man direkt dahinter an einem longitudinalen hypointensen Streifen, der nach vorne von einem hyperintensiven Halbkreis begrenzt wird.

Aufgrund lediglich geringfügiger Veränderungen werden die folgenden vier Schnittreihen nicht beschrieben und nicht dargestellt. Dies bedeutet, dass der nächste Schnitt (hHisto/CT/MRT15) fünf Millimeter unter dem zuletzt beschriebenen Schnittniveau liegt; er ist der letzte in dieser Schnittserie.

### **Schnitthorizont 15** (Abb. S. 146, 147)

**Mikrotomschnitt (hHisto15)** Dieser Mikrotomschnitt verläuft durch den basalen Unterkieferbereich. Die Schneidezähne (IU) sind nahe der tiefsten Stelle des Kopfes getroffen. Sie liegen in der Schneidezahnalveole des Unterkiefers (MB). Laterokaudal davon ist der Musculus masseter (Ma) angeschnitten. Kaudal liegt die Trachea (t) mit ihren knorpeligen Spangen (x) und dem Musculus sternohyoideus (Ms).

**CT-Schnitt (hCT15)** Die Unterkieferschneidezähne (IU) sind etwas höher angeschnitten als im zuvor beschriebenen Mikrotomschnitt, doch befinden wir uns hier schon unter der Mundhöhle.

Deutlich ist ihre Verankerung in der Mandibula (MB) zu erkennen. Auf der linken Seite ist ein kleiner Teil des Corpus mandibulae (CB) sichtbar. Es handelt sich hierbei um die Crista masseterica. Die Trachea (t) ist, wie auch im Mikrotomschnitt, im hinteren Bildbereich angeschnitten.

### **3.2.3 Beschreibung der sagittalen Schnittserie**

#### **Schnittführung**

Der Graumullkopf wurde in Schnitten mit einem Abstand von jeweils 1mm voneinander von links nach rechts dargestellt. Dies entspricht den Abständen der CT-Scans und der sie erklärenden Legendenabbildungen. Dagegen musste im Kernspintomographen aus technischen Gründen eine Schichtdicke von 2.2 mm gewählt werden, so dass nur jeder zweite bzw. dritte CT - Scan von einem MRT - Scan ergänzt wird.

Insgesamt sind für die sagittale topographische Dokumentation der Strukturen des Kopfes 14 Schnitthorizonte erfasst worden.

Verglichen mit den Computertomogrammen sind die Magnetresonanztomogramme aus der Sagittalebene leicht nach lateral links geneigt; letztere verlaufen also von rostralateral nach mediokaudal. Dennoch korrelieren die Ebenen von CT und MRT gut miteinander.

### **Schnitthorizont 1** (Abb. S. 148, 149)

**Mikrotomschnitt (sHisto1)** Dieser am weitesten lateral (links) gelegene Schnitt zeigt in seinem Zentrum den Musculus masseter (Ma), dessen Fasermassen nach ventrokaudal zum Processus angularis ziehen. Darüber liegt deutlich sichtbar der Arcus zygomaticus (AZ). Kaudal davon ist der Porus acusticus externus (p) mit seinem knorpeligen Gehörgang und angrenzendes Drüsengewebe (nicht bezeichnet) zu erkennen. Dorsal von Arcus zygomaticus und Porus acusticus externus liegt der Musculus temporalis (Mt). Seine Fasern verlaufen ebenfalls in ventrokaudaler Richtung. Am rechten Bildrand ist die kaudal gelegene Glandula parotidea (G) dargestellt.

**CT-Scan (sCT1)** Knochengewebe wird hier auf Grund seiner hohen Dichte hyperdens dargestellt. Weichteile (Muskulatur, Drüsen, Fett- und Bindegewebe) sind hier durch die Einstellung des Computertomographen im Knochenfensterbereich nicht voneinander zu unterscheiden. Sie erscheinen einheitlich inhomogen und schwach hyperdens. Somit werden im Vergleich zu den histologischen Präparaten Dichteunterschiede zwischen den Strukturen (Knochen und Weichteile) besonders deutlich.

Der Arcus zygomaticus (AZ) ist nahezu in seiner gesamten Ausdehnung (Länge) angeschnitten und erscheint homogen hyperdens. Dorsal davon ist der hypodens dargestellte Porus acusticus externus (p) gelegen; sein Lumen erscheint als kleiner schwarzer Punkt.

**MRT-Scan (sMRT1)** Gut zu erkennen ist der leicht inhomogen hypointens dargestellte Arcus zygomaticus (AZ). Kaudal davon sieht man schon laterale Anteile des Ohres mit dem Porus acusticus externus (p). Der Musculus masseter (Ma) erscheint deutlich hyperintens. Er wird ventral von der hypointensen Crista masseterica (CrM) flankiert. Sie erscheint als horizontaler Balken unter dem knöchernen Ohr.

### **Schnitthorizont 2** (Abb. S. 150, 151)

**Mikrotomschnitt (sHisto2)** Zu den schon im vorhergehenden Schnitt (sHisto1) beschriebenen Strukturen kommt im dorsorostralen Kopfbereich die Glandula infraorbitalis (Gi) hinzu. Unter dem Os zygomaticum (Z) erscheint der hintere Teil des Unterkieferinzisivus (IU) und damit der

laterale Teil des Unterkieferastes, welcher sich an der Bildung des Kiefergelenks beteiligt. Er wird vom Mandibularknochen (Schneidezahnalveole) umfasst, welcher mit dem Oberschädel in Kontakt zu stehen scheint. Ventral des Zahnes präsentiert sich das sichelförmig erscheinende Corpus mandibulae (CB), dessen kaudaler Abschnitt in den Processus angularis (PAN) übergeht.

**CT-Scan (sCT2)** In diesem Schnitt ist der Verlauf des Arcus zygomaticus zu erkennen: rostral gelegen ist der Processus zygomaticus ossis maxillaris (PZM), kaudal das Os zygomaticum (Z). Vom Unterkiefer sind das Corpus mandibulae (CB; es dürfte sich hier um die Crista masseterica handeln), die Fossa masseterica (FM; schwach signalreich) und der Processus angularis (PAN) getroffen. Der Porus acusticus externus (Lumen; p) ist signifikant signalarm.

### **Schnitthorizont 3** (Abb. S. 152, 153)

**Mikrotomschnitt (sHisto3)** Das Os zygomaticum (Z) geht nach okzipital in den Processus zygomaticus ossis temporalis (PZT) über; sein breiter Ansatz an der Schädelseitenwand ist zu erkennen. Darüber liegt der Musculus temporalis (Mt), davor die „Infraorbitaldrüse (Gi)“. Der untere Incisivus (IU) ist an seinem proximalen Ende geschnitten. Er wird vom Corpus der Mandibula (CB/ Schneidezahnalveole) umgeben, welche etwas weiter medial den Processus articularis bildet. Die Mandibula wird vorne und hinten vom Musculus masseter (Ma) eingeschlossen. Bei dem nach rostral ziehenden Ast der Mandibula (CB) handelt es sich um die Crista masseterica (CrM). Der kaudalwärts ziehende Ast geht in den Processus angularis (PAN) über.

**CT-Scan (sCT3)** Dieser Schnitt ist mit dem vorhergehenden CT-Schnitt (sCT2) nahezu identisch. Der dort noch sichtbare kaudale Anteil des Os zygomaticum ist hier bereits in den Processus zygomaticus (PZT) des Schläfenbeins übergegangen. Der dorsale Teil der Mandibula wird zum Processus articularis (PAM) und bildet weiter medial den unteren Partner des Kiefergelenkes.

**MRT-Scan (sMRT3)** Wie auch im CT-Schnitt ist die Mandibula - hier signalarm - gut zu erkennen. Sie wird vom Musculus masseter (Ma) eingerahmt. Obere Anteile der Mandibula

lassen deren Processus articularis (PAM) und den Processus zygomaticus ossis temporalis erahnen. Darüber liegt der Musculus temporalis (Mt). Kaudal des Kiefergelenks befindet sich das deutlich hypointens erscheinende knöcherne Ohr, dahinter die unregelmäßig signalreich dargestellte Halsmuskulatur. Einige der erwähnten Knochenstrukturen sind aufgrund der Auflösungsgrenzen des MRT-Gerätes nicht eindeutig anzusprechen.

#### **Schnitthorizont 4** (Abb. S. 154, 155)

**Mikrotomschnitt (sHisto4)** Der hier vorliegende Schnitt weist grundsätzlich dieselben Strukturen auf wie der zuvor beschriebene. Der ventrokaudale Teil des Corpus mandibulae (CB) ist als Processus angularis (PAN) anzusprechen, der dorsale Unterkieferteil als sein Processus articularis (PAM). Letzterer zeigt nun deutlichen Kontakt zum Processus zygomaticus ossis temporalis (PZT). Die Kontaktfläche beider Knochen ist ausgedehnt, der Gelenkspalt nicht dargestellt.

**CT-Scan (sCT4)** Der Vergleich der Schnitte (sHisto4) und (sCT4) zeigt deutliche Übereinstimmungen. Abweichungen liegen nur im Bereich des Os zygomaticum vor. Im CT-Scan ist nicht das gesamte Jochbein dargestellt, sondern nur dessen laterale Anteile (PZT, PZM). Der Porus acusticus externus (p) ist auf beiden Schnitten eindeutig zu erkennen. Der Anschnitt des Unterkiefers ist bei sCT4 bis auf den hier noch nicht erfassten Inzisivus mit dem mikroskopischen Präparat identisch (sHisto4). Der Kontakt zwischen dem Processus articularis der Mandibula (PAM) und dem Kaudalabschnitt des Jochbogens (PZT) ist hier bereits sichtbar (nicht in Legenden- Abb.). Die kleine dreieckige und hyperdense Struktur zwischen den beiden Knochenteilen entspricht dem lateralen Anschnitt des Gelenkkopfes (nicht bezeichnet). Hier wird wieder deutlich, dass die Schnittebene des Computertomogramms geringfügig von dorsolateral links nach medioventral rechts verläuft und somit nicht genau parasagittal liegt. Dadurch ist der untere Mandibularbereich schon angeschnitten, der obere Teil - das Kiefergelenk - aber nicht.

### **Schnitthorizont 5** (Abb. S. 156, 157)

**Mikrotomschnitt (sHisto5)** Im dorsorostralen Bereich des Kopfes sind das Auge und die äußere Augenmuskulatur zu erkennen. Hinter bzw. unter dem kleinen Auge liegen die Tränendrüse (Gl) und die Infraorbitaldrüse (Gi). Der Musculus temporalis (Mt) ist kaudal von diesen Strukturen gelegen und grenzt an den kaudalen Abschnitt des Jochbogens (PZT). Der Processus zygomaticus ossis temporalis und der darunterliegende Processus articularis der Mandibula (PAM) lassen das Kiefergelenk in Erscheinung treten. Kaudal davon befindet sich der Porus acusticus externus (p) mit seinem hier kreisrunden Lumen. Im Vergleich mit dem vorherigen Mikrotomschnitt (sHisto4) sind Abweichungen im rostroventralen Abschnitt der Mandibula (Corpus; CB) offensichtlich: Hier ist die Crista masseterica (nicht bezeichnet) besonders stark ausgebildet.

**CT-Scan (sCT5)** Der gegen den vorhergehenden CT-Schnitt um einen Millimeter nach medial verschobene Scan zeigt ebenfalls andeutungsweise das Kiefergelenk (nicht bezeichnet): Processus zygomaticus ossis temporalis (PZT) und Processus articularis ossis mandibulae (PAM) liegen unmittelbar aneinander. Betrachtet man die Struktur des "Kiefergelenks" genauer, so ist der Abschnitt des proximalen Endes des Inzisivus (nicht bezeichnet) im Processus articularis ossis mandibulae (PAM) zu sehen; es handelt sich dabei um die ovoide hypodense Struktur in dieser Knochenpartie (Pulpaöhle). Die Mandibula zieht mit ihrem Corpus (CB) nach ventral. Der Processus angularis (PAN) ist aufgrund der lateralen Schnittführung vom restlichen Unterkiefer scheinbar isoliert. Im rostralen Teil des Schnittes ist der Processus zygomaticus der Maxilla (PZM) als dreieckiges Gebilde zu erkennen. Die dorsale Spitze des Dreiecks geht in das Os incisivum (I) über. Der Porus acusticus externus (p) ist wiederum stark hypodens.

### **Schnitthorizont 6** (Abb. S. 158, 159)

**Mikrotomschnitt (sHisto6)** Dieses histologische Präparat zeigt das Kiefergelenk mit seinen Anteilen [Processus zygomaticus ossis temporalis (PZT), Pars squamosa ossis temporalis (PST) und Processus articularis der Mandibula (PAM)]. Das Cavum cranii (c) ist tangential angeschnitten; dieses "Fenster" liegt inmitten des Schläfenknochens. Unter dem Processus

articularis (PAM) imponiert der untere Incisivus (IU). Rostral des Schneidezahnes ist der Processus coronoideus ossis mandibulae (PC) getroffen, dessen Basis mit der Alveole des Incisivus (nicht bezeichnet) in Verbindung steht. Wie in den vorangegangenen Histo-Schnitten ist auch hier der Processus zygomaticus ossis maxillaris (PZM) dargestellt. Er befindet sich direkt vor dem Kronfortsatz (PC) des Unterkiefers. Auge, Drüsen, Muskulatur, Gehörgang und ventrale Anteile des Unterkiefers sind mit den Details in den zuvor beschriebenen Schnitten weitgehend identisch.

**CT-Scan (sCT6)** Die Gegenüberstellung von CT- und Mikrotomschnitt zeigt wieder eine deutliche Übereinstimmung in den knöchernen Strukturen. An Details sind in dem CT-Scan enthalten: das Kiefergelenk mit seinen Komponenten (PZT, PST und PAM), der Processus zygomaticus ossis maxillaris (PZM), der Processus coronoideus ossis mandibulae (PC), das Corpus mandibulae (CB) und der Porus acusticus externus. Der Unterkieferschneidezahn (IU) und seine Alveole sind im Bereich des Kiefergelenkes deutlich zu erkennen, desgleichen der Übergang des rostralen Jochbogenabschnittes (PZM) in das Os incisivum (I). Der Meatus acusticus externus (m) verläuft in einem Bogen zum Mittelohr.

**MRT-Scan (sMRT6)** Die runde schwarze Struktur im rechten oberen Viertel des Bildes stellt das knöcherne Ohr dar. Seine okzipitale Spitze (Processus mastoideus mit dem aufgesetzten Processus paracondylaris (PP) zeigt in Richtung Atlas. Das Ohr scheint aus dieser Blickrichtung dorsoventral abgeplattet. Im Vergleich mit dem CT-Scan und der dazu gehörigen Legendenabbildung ist die Morphologie des Kiefergelenkes gut zu erkennen (Processus zygomaticus ossis temporalis (PZT), Processus articularis (PAM) und Corpus der Mandibula (CB). Auch der vom Corpus mandibulae nach dorsoventral ziehende Processus coronoideus ossis mandibulae (PC) ist deutlich. Im Bereich des Vorderkopfes ist der Processus zygomaticus ossis maxillaris (PZM) als hypointense Struktur zu erkennen, welche kaudal vom rostralen Anteil des Musculus masseter (nicht beschriftet) begrenzt wird. Über dem Ohr bzw. dem Jochbogen imponiert der hyperintense Musculus temporalis, dahinter die Halsmuskulatur.

### **Schnitthorizont 7** (Abb. S. 160, 161)

**Mikrotomschnitt (sHisto7)** In der oberen Bildhälfte fällt das Cavum cranii (c) ins Auge. Es ist noch vollständig von Anteilen des Os temporale (T) umgeben. Rostroventral davon befindet sich der Processus zygomaticus (PZT), während kaudal die Pars squamosa (PST) aus dem Temporale (T) hervorgeht. Im Schläfenmuskel (Mt) eingebettet verläuft ein Abschnitt des Os incisivum (I) senkrecht nach ventral bis zum Processus zygomaticus ossis maxillaris (PZM). Davor liegt das Auge mit den schon beschriebenen Drüsen. Zwischen dem Processus zygomaticus der Maxilla und dem Corpus mandibulae (CB) befindet sich der rostrale Teil des Musculus masseter (Ma). Im Unterkiefer dominiert der untere Schneidezahn (IU). Ein kleiner Teil der Bulla tympanica (BT) liegt direkt hinter dem äußeren Gehörgang (p).

**CT-Scan (sCT7)** In diesem Scan sind im Bereich des Vorderkopfes die beiden Incisiven (IO, IU) die auffälligsten Strukturen. Die Darstellung des Os incisivum (I) und des Processus zygomaticus ossis maxillaris (PZM) ist mit der Situation in dem zugehörigen mikroskopischen Schnitt weitgehend identisch. Processus zygomaticus (PZT) und Pars squamosa (PST) des Os temporale sind bei der vorliegenden CT-Auflösung scheinbar mit dem Unterkiefer (CB) und insbesondere mit dem proximalen Anteil des Inzisivus (IU) verwachsen. Die Bulla tympanica (BT) ist in diesem Schnitt der am weitesten kaudal gelegene Knochen. Die Eintrittspforte des Gehörgangs (p) in das Mittelohr ist deutlich zu sehen.

### **Schnitthorizont 8** (Abb. S. 162, 163)

**Mikrotomschnitt (sHisto8)** Im Vergleich mit dem vorhergehenden Schnitt (sHisto7) sind Veränderungen lediglich im kaudalen Bereich des Kopfes zu erkennen. Das Cavum cranii (c) wird kaudal von der Pars squamosa des Temporale (PST) begrenzt, dorsal vom Os parietale (PA), dorsorostral vom Os frontale (F) und ventral vom Processus zygomaticus ossis temporalis (PZT). Hinter der Schädelhöhle ist die Bulla tympanica (BT) mit dem doppeltem Abschnitt des Cavum tympani (CT) gelegen.

**CT-Scan (sCT8)** Beide Schneidezähne (IO und IU) sind in ihrem sagittalen Verlauf

anschaulich dargestellt. Der obere Incisivus (IO) verläuft dorsal des Corpus ossis incisivi (CI). In seinem mittleren Anteil wird er vom Corpus maxillae (CM) und vom Os incisicum (I) flankiert. Der untere Incisivus (IU) erstreckt sich im Bogen bis vor das Ohr (BT). Er ist hier nicht vollständig angeschnitten, es fehlt der mittlere Teil. Stattdessen sieht man die ihn umgebenden Knochen, das Corpus mandibulae (CB/Schneidezahnalveole) und den Processus alveolaris (PAL), welche die knöcherne Verankerung der Unterkiefermolaren bilden. Dorsal des unteren Incisivus ist das Cavum cranii (c) tangential angeschnitten und vollständig vom Os temporale (T) umgeben. Die Verbindung zur Bulla tympanica (BT) stellt die Pars squamosa ossis temporalis (PST) dar. Vom Cavum tympani (CT) sind wie im Mikrotomschnitt (sHisto8) zwei Recessus dargestellt.

**MRT-Scan (sMRT8)** Der vorliegende Scan ist mit dem Mikrotomschnitt (sHisto8) weitgehend identisch. In dem lateralen „Fenster“ des Neurocraniums ist das Gehirn (Gehirn) an seiner hyperintensiven Struktur zu erkennen. Dorsal und rostral ist es von der Schädelseitenwand und dem darauf liegenden Musculus temporalis umgeben. Der rostrale Teil des Muskels ist nach ventral auf den Unterkiefer hin ausgerichtet, in dessen Verlauf der signalarme untere Schneidezahn (nicht bezeichnet) undeutlich zu sehen ist. Kaudal des Gehirns liegt das Ohr mit seinem hypointensen Cavum tympani (CT). Auch hier sind die Grenzen des Auflösungsvermögens des verwendeten Kernspintomographen erreicht.

### **Schnitthorizont 9** (Abb. S. 164, 165)

**Mikrotomschnitt (sHisto9)** Auffällig sind das Cavum cranii (c) und das Ohr mit Bulla tympanica (BT), Bulla dorsalis (BD) und der Mittelohrhöhle (CT). Cavum cranii und Bulla tympanica sind durch eine Lamina der Pars petrosa ossis temporalis (PPT) voneinander getrennt. Darüber liegt das Os interparietale (IP). Von der Wand der Bulla tympanica verlaufen kleine Septen in die Paukenhöhle und unterteilen sie. Dorsal von Schädelhöhle und Ohr liegt der Musculus frontalis (Mf). Das Cavum cranii wird rostral vom Os frontale (F) und der Ala ossis basisphenoidalis (AB) begrenzt. Vor dieser liegt der Musculus temporalis (Mt). Sein ventrales Ende zieht in Richtung auf die Pars molaris des Unterkiefers (PM). Das Corpus mandibulae (CB) liegt hier rostral des hinteren Masseteranteils (Ma) und beinhaltet den unteren

Schneidezahn (IU). Vor dem Schläfenmuskel befindet sich eine große Drüse, die Glandula infraorbitalis (Gi).

**CT-Scan (sCT9)** Deutlich zu erkennen ist die Lage der Schneidezähne (IO und IU). Der obere Incisivus (IO) zieht bogenförmig in Richtung der rostralen Schädelbasis, ist aber noch nicht in seiner gesamten Länge getroffen. Er wird dorsal vom hier tangential angeschnittenen Os nasale (N) mit dem Cavum nasi (cn) begrenzt. Die darunter befindlichen Strukturen wurden bis auf das Os palatinum (P) schon beschrieben. Es liegt unter dem Schneidezahn und dient ihm als Auflagefläche. Der Mandibularkörper (CB/Schneidezahnalveole) scheint mit seiner Pars molaris (PM), dem Processus alveolaris (PAL) und drei der vier Backenzähne (D) auf dem unteren Incisivus (IU) zu liegen, vom letzteren durch einen schmalen Spalt getrennt. Die hier dargestellten Knochen der Hirnkapsel und des Ohres sind mit denen des Mikrotomschnittes (sHisto9) weitgehend identisch.

#### **Schnitthorizont 10** (Abb. S. 166, 167)

**Mikrotomschnitt (sHisto10)** Die Hauptunterschiede zum vorherigen Mikrotomschnitt betreffen den rostralen Bereich des Kopfes. Die Nasenhöhle (cn) ist dorsal vom Os nasale (N) und ventral vom Os maxillare (M) mit dem anliegenden Os incisivum (I) begrenzt. Zwischen diesen Strukturen und dem Unterkiefer liegt der kraniale Anteil des Musculus masseter (Ma). Der Unterkiefer stellt sich mit seinem Processus alveolaris (PAL), einem Backenzahn (D) und dem linken unteren Schneidezahn (IU) dar. Dahinter liegt der okzipitale Anteil des Musculus masseter (Ma). Die Schädelhöhle wird rostral vom Os frontale (F) mit dem daran vorbeiziehenden Musculus temporalis begrenzt, ventral vom Basisphenoid (B). Weitere Veränderungen gegenüber dem vorhergehenden Schnitt betreffen die Ohrregion. Die Paukenhöhle (CT) ist hier geräumig und birgt die Gehörknöchelchen (#) sowie die Bogengänge (x). Die Gehörknöchelchen sind in diesem Schnitt nicht eindeutig voneinander zu unterscheiden.

**CT-Scan (sCT10)** Der vorliegende paramediane CT-Scan schneidet den Kopf genau in der Mitte der linken Ober- (IO) und Unterkieferschneidezähne (IU) und ermöglicht eine exakte Beschreibung ihres Verlaufes. Beide erstrecken sich nahezu durch den gesamten Schädel bis hin zur mittleren Schädelbasis (IO) bzw. zum Ohr (IU). Der obere Incisivus verläuft seitlich an der

Nasenhöhle (cn) vorbei bis hin zum Praesphenoid (PS). Dorsal von ihm liegt das Os nasale (N) und im hinteren Teil das Os ethmoidale (E), ventral das Corpus ossis incisivi (CI) und weiter kaudal die Nasenhöhle (cn), das Os maxillare (M) und das Gaumenbein (P). Dem Os palatinum liegt ventral der Processus alveolaris der Maxilla (PAL) an, welcher die oberen Backenzähne (D) trägt. Die Grenze zwischen Nasenhöhle (cn) und Schädelhöhle (c) stellt das Os ethmoidale (E) dar. Praesphenoid (PS) und Basisphenoid (B) sind durch einen Knorpelhaft verbunden und bilden die ventrale Begrenzung des Cavum cranii, dorsal sind die Ossa frontalia (F), parietalia (PA) und interparietalia (IP) daran beteiligt. Zum Ohr hin geht das Basisphenoid in die Pars petrosa des Os temporale (PPT) über. Die Morphologie des Mittelohres ist bis auf den hier sichtbaren Processus paracondylaris (PP) identisch mit der des vorhergehenden Mikrotomschnittes. Der Processus mastoideus (nicht bezeichnet) trägt den Processus paracondylaris. Die Zunge (L) füllt die Mundhöhle aus.

**MRT-Scan (sMRT10)** Von allen Scans ist das Gehirn bei diesem am besten zu erkennen (nicht beschriftet). Es ist mit seinem Bulbus olfactorius, den Großhirnhemisphären und dem Kleinhirn hyperintens dargestellt. Darüber liegt das Schädeldach mit dem Musculus temporalis (Mt) und dahinter die Halsmuskulatur. Unter dem vorderen Drittel des Gehirns sind deutlich der Oberkieferschneidezahn (IO) und sein schwach hyperintensives Zahnfach zu erkennen. Der Verlauf des Incisivus ist mit dem in der CT-Schnittreihe beschriebenen identisch. Unterhalb des Kleinhirns ist der hypointense knöcherne Anteil des Ohres zu sehen. Letzteres zeigt hier eine geringe Höhe. Der Unterkiefer ist in seinem mittleren Abschnitt getroffen und hypointens. Die Backenzähne (D) und der Schneidezahn (IU) sind nur schemenhaft zu erkennen; sie werden durch einen schwach hyperintensen Streifen voneinander abgegrenzt.

### **Schnitthorizont 11** (Abb. S. 168, 169)

**Mikrotomschnitt (sHisto11)** Der hier vorliegende histologische Schnitt verdeutlicht wiederum den Verlauf der Schneidezähne. Der Oberkieferinzisivus (IO) ist in seinem hinteren Teil angeschnitten; sein kaudales Ende liegt am Praesphenoid (PS). Im Vergleich zum vorhergehenden CT-Scan (sCT10) ist hier das Gaumenbein nicht mehr zu erkennen. Die schräggestellte dorsocaudale Lamina der Pars petrosa ossis temporalis (PPT) stellt zugleich die hintere basale Begrenzung der Schädelhöhle dar. Folgt man dieser Knochenplatte nach kaudal,

so umschließt sie die Fossa cranii caudalis (fc) auch seitlich, zusammen mit dem Os interparietale (IP). Das knöcherne Ohr weicht gewissermaßen nach ventral aus, zugunsten der hinteren Schädelgrube (fc). Unmittelbar hinter der Lamina der Pars petrosa (PPT) befindet sich eine kleine Höhle, die basale Windung der Cochlea (C). Der Sacculus (SA) und ein Teil eines Bogenganges (x) sind kaudal der Cochlea gelegen. Ventral und kaudal sind diese drei Strukturen weiträumig vom Cavum tympani (CT) umgeben; die äußere Begrenzung des Mittelohres ist die Bulla tympanica (BT). Im Unterkiefer sind alle Zähne zu erkennen: Der kaudale Abschnitt des Schneidezahnes (IU) und alle vier Backenzähne (D) im Processus alveolaris des Unterkiefers (PAL). Die Schädelhöhle ist dorsal offen; hierbei handelt es sich um ein Schneideartefakt.

**CT-Scan (sCT11)** In diesem Scan sind vom oberen Incisivus (IO) nur der vordere und hintere Bereich dargestellt. Die Nasenhöhle (cn) wird dorsal vom Os nasale (N) und ventral vom Os maxillare (M) sowie dem Corpus ossis incisivi (CI) begrenzt. Gut sichtbar ist das Os ethmoidale (E) als Trennwand zwischen der Nasenhöhle und der vorderen Schädelgrube (fr). Die Hirnkapsel wird von den Ossa frontalia (F), parietalia (PA), interparietalia (IP), der Pars petrosa ossis temporalis (PPT), dem Basisphenoid (B) und dem Praesphenoid (PS) gebildet. Der Processus alveolaris des Oberkiefers (PAL) trägt die Oberkieferbackenzähne (D) und liegt dem oberen Incisivus (IO) an. Dieser wiederum hat hier offenbar Kontakt zum Praesphenoid. Das Mittelohr (CT) stellt sich genauso dar wie im Mikrotomschnitt (sHisto11): Die Bulla tympanica ist hyperdens, das Cavum tympani umgibt das im Detail nicht zu erkennende Innenohr (C). Kaudal der Paukenhöhle ist der Abschnitt des Atlas (1.HW) sichtbar. Auch die Struktur des Unterkiefers (CB/Schneidezahnalveole) stimmt mit der des Mikrotomschnittes gut überein.

**MRT-Scan (sMRT11)** Vor dem deutlich dargestellten Gehirn (weiß) liegt die Nasenhöhle (cn). In ihr sind schwach hyperintense Strukturen zu erahnen, deutlicher aber der vordere Teil der Schneidezahnalveole mit dem Oberkieferschneidezahn (IO). Unter der Nasenhöhle und über der Zunge (nicht beschriftet) befindet sich ein signalarmer Streifen, der sich im Bereich des rostralen Hirnabschnittes verbreitert und danach wieder streifenförmig nach kaudal bis in die Region des Kehlkopfes zieht. Hierbei handelt es sich um Anteile des harten Gaumens, von kranial nach kaudal das Os incisivum (CI), die Maxilla (M) mit ihren Partes molaris und alveolaris (PAL) sowie die Backenzähne (D). Vom Unterkiefer sind nur der signalarme Schneidezahn (IU) und das ebenfalls hypointense Corpus mandibulae bzw. die Schneidezahnalveole zu erkennen. Direkt unter dem Gehirn sieht man die strichförmige schwarze Schädelbasis. Das Gebiet unter

dem Basisphenoid (B) ist inhomogen. Unter dem Kleinhirn (nicht bezeichnet) befindet sich das knöcherne Ohr (Ohr). Es ist in seinem medialen Bereich angeschnitten; morphologische Strukturen sind nicht zu differenzieren. Der weiße Streifen über Gehirn und Schädeldach, welcher sich auf der Körperoberfläche noch weiter nach kaudal verfolgen lässt, ist ein Artefakt. Es handelt sich hierbei um die wasserreiche Unterhaut und Haut; das eingefrorene Tier taute während der Untersuchung langsam auf.

### **Schnitthorizont 12** (Abb. S. 170, 171)

**Mikrotomschnitt (sHisto12)** Der hier vorliegende Schnitt liegt nahe der Medianebene. Veränderungen zum vorherigen Mikrotomschnitt (sHisto11) sind hauptsächlich im Bereich des Vorderkopfes und des Ohres zu sehen. Die ventrale Begrenzung der Nasenhöhle (cn) wird nun vom Os maxillare (M), dessen Processus alveolaris (PAL) mit den darin befindlichen Oberkieferbackenzähnen (D) und dem kaudalen Anteil des Oberkieferschneidezahnes (IO) gebildet. Ventral von diesen Strukturen ist das Palatinum (P) zu erkennen. Im Unterkiefer ist ein großer Teil des Inzisivus (IU) zu sehen. Er wird vom Mandibularknochen (MB/Schneidezahnalveole) umfasst. Zwischen Ober- und Unterkiefer sind die Wangenschleimhaut und Drüsengewebe (nicht bezeichnet) nur undeutlich zu sehen. Im kaudalen Bereich der Mundhöhle ist der Pharynx (ph) erkennbar, dahinter dominiert das Ohr. Letzteres ist in diesem Schnitt nicht vollständig erhalten. Der untere Teil der Bulla (BT) ist zerbrochen. Trotzdem ist die Cochlea (C) mit ihren Windungen gut zu erkennen. Darüber befindet sich das Kleinhirn in der Fossa cranii caudalis (fc).

**CT-Scan (sCT12)** Die Ausdehnung der Nasenhöhle (cn) ist jetzt deutlich zu erkennen. Topographische Veränderungen gegenüber dem Niveau des vorhergehenden Scans sind in diesem Bereich nicht zu sehen. Die unteren Schneidezähne (IU) und die Unterkiefermolaren sind nur noch mit ihrem Vorderabschnitt präsent. Die Schädelhöhle (c) besteht aus dem Cavum cranii (c) sowie der vorderen und der hinteren Schädelgrube (fr, fc). Die hintere Begrenzung der Schädelhöhle ist die Squama occipitalis (SO). Die Mittelohrregion scheint hier im Verhältnis zum gesamten knöchernen Ohr kleiner. Die Bulla tympanica (BT) geht offenbar nahtlos in den Condylus okzipitalis (CO) über; dieser stellt den Kontakt zur Halswirbelsäule (Atlas/1. HW) her.

### **Schnitthorizont 13** (Abb. S. 172, 173)

**Mikrotomschnitt (sHisto13)** Hier ist die Unterteilung des Hirncavums (c) in drei Abschnitte deutlich. Die kaudale Begrenzung der hinteren Schädelgrube (fc; mit Cerebellum) besteht aus der Hinterhauptschuppe (SO) und dem Condylus occipitalis (CO), welcher mit dem Atlas (1. HW) das Atlantookzipitalgelenk bildet. Das linke Ohr ist in seinem medialen Bereich angeschnitten, das Cavum tympani (CT) vergleichsweise eng. Dabei wird deutlich, wie weit das Ohr nach medial reicht. Zwischen Os ethmoidale (E) und dem Basisphenoid (B) liegt das Praesphenoid (CP). Darunter erkennt man noch drei Zahnfächer der linken Oberkiefermolaren (D). Direkt hinter den Backenzähnen beginnt der weiche Gaumen (pm). Er bildet die untere Begrenzung des Epipharynx (ep), des so genannten Nasenrachenraumes. Die Zunge (L) ist im Cavum oris deutlich zu sehen; an ihrem Grund ist der Larynx (l) schemenhaft erkennbar. Unter der Zunge und hinter dem Schneidezahn (IU) ist ein Teil von dessen Alveole, die Pars incisiva ossis mandibulae (PI) deutlich.

**CT-Scan (sCT13)** Dieser CT-Scan ist mit dem entsprechenden Mikrotomschnitt (sHisto13) bis auf Einzelheiten identisch. Die wenigen Unterschiede liegen im Bereich der Nasenhöhle (cn). Hier ist der Schneidezahn (IO) noch vorhanden. Oberkiefermolaren sind nicht zu sehen, dafür aber der Processus alveolaris (PAL). Dahinter ist das längs angeschnittene Pterygoid (PT) erkennbar.

**MRT-Scan (sMRT13)** Der vorliegende Schnitt zeigt einen Medianschnitt durch den Kopf von *Cryptomys anselii sp. nova*. Die Nasenhöhle (cn) ist hypointens; in ihr liegen schwach hyperintense Strukturen, die aber nicht direkt angesprochen werden können. Vermutlich handelt es sich um die Conchae nasales und die oberen Incisiven. Die ventrale Begrenzung der Nasenhöhle bildet ein signalreicher Streifen, der in Richtung Kehlkopf zieht; hierbei handelt es sich vermutlich um die Schleimhaut des harten und weichen Gaumens. Darunter liegt die signalreiche Zunge (L), welche rostral die signalarme Mandibula (MB) teilweise überlagert. Direkt hinter dem Zungengrund befindet sich, wie im zugehörigen Mikrotomschnitt (sHisto13), eine kleine ringförmige Struktur, der Larynx (l). Das Gehirn mit dem verlängerten Mark ist wiederum die auffälligste hyperintense Struktur und somit das am hellsten dargestellte Organ. Der Verlauf des Rückenmarks im Canalis vertebralis ist deutlich zu erkennen; die Wirbelkörper unterhalb des Rückenmarks sind hypointens. Direkt hinter dem Kleinhirn bzw. dem Os

occipitale (Squama) ist die hyperintense Nackenmuskulatur zu sehen.

#### **Schnitthorizont 14** (Abb. S. 174, 175)

**Mikrotomschnitt (sHisto14)** Jetzt liegt auch im histologischen Präparat ein Medianschnitt vor. Deutlich ist der Epipharynx (ep) als Verbindung zwischen Nasenhöhle (cn) und Cavum oris zu sehen. Hierbei wird deutlich, wie weit die Choanen nach okzipital verlegt sind. Die knöcherne Grenze zwischen Mund- und Nasenhöhle bildet der Processus palatinus maxillae (PPM) und die angrenzende Lamina horizontalis ossis palatini (Lhp). Der weiche Gaumen (pm) als muskulöse Trennwand reicht kaudal bis kurz vor den Kehlkopf (l). Die Lamina perpendicularis ossis palatini (Lpp) liegt über dem Palatum molle (pm) dem Basisphenoid (B) an. Wie im vorher beschriebenen MRT-Schnitt (sMRT13) liegt die Zungenspitze auf einem Teil des unteren Incisivus (IU), welcher im Unterkieferknochen (MB/Schneidezahnalveole) verankert ist. Im direkten Vergleich mit dem vorhergehenden Mikrotomschnitt (sHisto13) sind keine weiteren Abweichungen zu sehen.

**CT-Scan (sCT14)** Die Ebene dieser Aufnahme ist wie alle Computertomogramme dieser Serie geringfügig gedreht, so dass kein idealer Medianschnitt vorliegt. Der rostroventrale und der kaudale Bereich sind mit dem zugehörigen Mikrotomschnitt (sHisto14) identisch. Vor der Nasenhöhle (cn) ist bereits der rechte Schneidezahn (IO), darunter sind die rechten Backenzähne (D) zu sehen. Zwischen Halswirbelsäule (1. HW) und der Ventralkontur des Halses befindet sich ein signalarmer Strang, der in Richtung Rumpf zieht. Es handelt sich hierbei um die Trachea (t); einzelne Knorpelspangen sind nicht auszumachen.

### 3.3 Zusammenfassende dreidimensionale Betrachtung der morphologischen Ergebnisse

Dieses Kapitel zeigt die Eigenschaften und die Grenzen bildgebender Verfahren an einem für die Tiermedizin vergleichsweise kleinen Objekt. Der Kopf von *Cryptomys* wurde in Schichten untersucht. Die Histologie und die Röntgenuntersuchung belegen die in der Computertomographie und Kernspintomographie dargestellten Strukturen Schicht für Schicht. Diese Schichten werden nun wieder zusammengesetzt und ergeben dabei einen nahezu klinisch anwendbaren Überblick über den Schädel und die Weichteile des Kopfes von *Cryptomys*.

Im folgenden steht die Bezeichnung .. (doppelter Punkt) für alle zusammengehörigen Darstellungen eines Schnitthorizonts; z.B. (t..4) für tHisto4, tCT4 und tMRT4.

#### Oberschädel und Oberkieferinzisiven

Die oberen Inzisiven von *Cryptomys* verlaufen im dorsal konvexen Bogen durch die Maxilla (Abb. sCT10; sMRT10; sHisto11). Sie enden laterokaudal der letzten Oberkiefermolaren; Zahnspitze und Zahnende liegen nahe der Medianen, das Mittelstück weicht etwas nach lateral ab. Ihr Verlauf ist auch im Schädelpräparat zu erkennen (Abb. 6).

Die oberen Schneidezähne sind rostral im Os incisivum verankert, kaudal im Os maxillare. Sie verlaufen in einer Alveole, die sich in ihrer kaudalen Hälfte aussen an der Schädelseitenwand abbildet (Abb. 6, 8, 10); hier kommt es zu einer Vorwölbung der Maxilla nach lateral. Das kaudale Ende der Schneidezahnalveole befindet sich hinter den oberen Backenzähnen (Abb. 6, 7). Die Fissura sphenoidalis grenzt äußerlich den hinteren Teil der Alveole zum Frontale hin ab (Abb. 3, 6). Etwa zwei Drittel der Gesamtlänge des knöchernen Schädels werden von den Inzisiven in Anspruch genommen (Abb. sCT10). Der bogenförmige Verlauf wird nicht nur in der Sagittalen deutlich. Betrachtet man die horizontale Schnittserie, so werden die Oberkieferinzisiven dorsal zuerst in ihrem Mittelteil dargestellt. Hier liegen die Schneidezähne weit auseinander. Je weiter ventral die Schnitte liegen, desto mehr werden die rostralen und die kaudalen Abschnitte der Zähne getroffen und desto mehr nähern sich diese einander an. Sie laufen seitlich an der Nasenhöhle entlang (Abb. hCT3-9; hHisto5-8; tCT1-3; tHisto1-3; tMRT2; tMRT3); auch rostral liegen sie lateral der noch schmalen, aber hohen Nasenhöhle (Abb. tHisto1, tCT1, tMRT1), verdrängen diese aber im mittleren und hinteren Drittel nach medial (Abb. t..2, 3). Der dorsale Anteil der Nasenhöhle befindet sich über den Schneidezähnen (Abb.

sCT9; sHisto11, t..2, 3). In der horizontalen Serie sind also, von dorsal kommend, zuerst die Nasenhöhle und dann die Zähne zu sehen. Bemerkenswert ist die Tatsache, wie nahe die oberen Inzisiven an die Schädelbasis heranreichen, sie haben mit der sie umgebenden Alveole scheinbar Kontakt zum Ethmoid (Abb. sCT10, 11; sHisto11; t..4) und über dieses auch zum Praesphenoid. Die Auflösung in den Tomogrammen (CT und MRT) ist nicht so gut, dass dieser Kontakt zwischen Schneidezahnalveole und Praesphenoid bestätigt werden kann, doch wird die Nähe dieser beiden Knochen deutlich (Abb. sCT10, 11; sMRT10; hCT5-9; hHisto5-8; t..4, 5). Bei der Betrachtung des Schädelpräparates ist gut zu erkennen, dass kein direkter Kontakt zwischen Oberkieferinzisiven bzw. deren Alveolen und dem Ethmoid oder dem Praesphenoid besteht. Das Ethmoid ist aber beiden Knochen sehr nahe und verbindet sie auf kürzestem Wege miteinander (Abb. sHisto11-14; sCT11-14).

### **Unterkiefer und Unterkieferinzisiven**

Die Unterkieferschneidezähne erstrecken sich in einem nach ventral konvexen Bogen weit in die Mandibula hinein (Abb. 16, 17; sCT10). Ihr vorderes Ende liegt deutlich hinter und etwas unter dem vorderen Teil der Oberkieferschneidezähne (Abb. 3, 4, 6-11, 13-15, 17; sCT10). Die Inzisiven des Unterkiefers entsprechen in ihrer Länge, Breite und in der massiven Art gut ihren Partnern im Oberschädel. Die Schneidezahnalveolen (Abb. 9, 15, 16) reichen bis in den Processus articularis der Mandibula hinein (Abb. sHisto3-6; sCT8, 9; hCT7; hHisto8; t..6) und erstrecken sich sogar über etwa drei Viertel der gesamten Kopflänge. Kaudal liegen beide Schneidezähne in ihren Alveolen weit auseinander und konvergieren rostralwärts (Abb. 4, 8, 9, 13, 15, 16). Damit ist auch der Verlauf der Unterkieferäste und somit die Keilform des Unterkiefers beschrieben (Abb. s..14). Bei *Cryptomys* verlaufen die unteren Inzisiven ventral der Backenzähne (Abb. sCT9, 10; sHisto11; sMRT11; t..5). Die Schneidezahnalveole löst sich im rostralen zweiten Drittel teilweise vom Ramus mandibulae (Abb. sCT9, 10; sHisto11; sMRT11); dadurch entsteht im Kaudalabschnitt des Unterkiefers zwischen Alveole und Ramus der Sulcus mandibulae (Abb. 4; t..6).

Der Ramus mandibulae ist fast rechteckig und mit einem breit oval nach kaudal ziehenden löffelförmigen Processus angularis versehen (Abb. 6, 7; sMRT3; sHisto4; sCT4, hHisto8-14; hCT8-14, hMRT7, 9, 11, 12, 14). Die Crista masseterica sitzt tief und ist prominent (Abb. 4, 6-9, 13, 14). Der Processus coronoideus ragt weit über die Schneidezahnebene heraus (Abb. sHisto6; sCT6; hCT6-9; hHisto7-9). An diesen markanten Punkten setzt die Kaumuskulatur an (Musculus masseter, Musculus zygomaticomandibularis, Musculus temporalis, Musculus

pterygoideus und Musculus digastricus. Auch der Processus articularis ist sehr massiv gebaut. Er weist eine längsovale, sehr breit angelegte Gelenkfläche auf, welche parasagittal gestellt ist (Abb. 5, 6, 8, 10; Abb. sHisto4; sCT6; hCT5; hHisto5). Der Processus articularis steht mit dem vorderen Teil seiner Gelenkfläche in Kontakt mit dem Processus zygomaticus und der Pars squamosa des Os temporale (Abb. 5, 6, 8, 10; Abb. sHisto4; sCT5, 6; hHisto5, 6; hCT5, 6; t..6). Der freie hintere Teil des Processus articularis ist deutlich zu erkennen (Abb. 6, 8, 10).

### **Backenzähne**

Die Lage der Backenzähne ist gut zu sehen, sie liegen im Processus alveolaris der Maxilla (Oberkiefer) bzw. der Mandibula (Unterkiefer). Die Zahnreihen des Oberkiefers divergieren nach ventrolateral (Abb. tCT4; tHisto5, hHisto9, 10), die des Unterkiefers konvergieren nach dorsomedial (Abb. tHisto4, 5; 7). Bei geschlossenem Kieferapparat liegen die Oberkieferbackenzähne also innen und die des Unterkiefers aussen (Abb. 7). Dies ist sehr gut in einem horizontalen bzw. transversalen CT-Scan zu sehen (Abb. hCT13, tCT4, 5).

### **Jochbogen**

Der Processus zygomaticus ossis temporalis ist massiv gebaut und entspringt breit an der Pars squamosa des Os temporale (Abb. Nr. 1-8, 10-14; Abb. sMRT1; sHisto3-5; sCT5-7; t..6). Dieser hintere Teil des Jochbogens tritt (wie auch der vordere Processus zygomaticus ossis maxillaris) nahezu horizontal aus der Schädelseitenwand hervor (Abb. 1-16; Abb. sCT2-6; sHisto3-6; hMRT3-7; hHisto4-7). Der Processus zygomaticus ossis temporalis reicht weiter nach lateral als der vordere Teil des Jochbogens (Abb. 1, 2, 4, 5, 7-10, 11-15; Abb. h..7). Auch auf den Bildern der sagittalen Schnittserie ist zuerst der hintere Teil des Processus zygomaticus zu erkennen, bevor weiter medial der vordere angeschnitten wird (Abb. sHisto3-6). Die Verbindung zwischen den Jochfortsätzen Processus zygomaticus ossis maxillaris et ossis temporalis stellt das Os zygomaticum her (Abb. 1-16; Abb. hCT8-10; hHisto9, 10; t..3). Dieses Knochenelement ist am Übergang zum Processus zygomaticus ossis temporalis am weitesten lateral gelegen und zieht waagrecht zum vorderen Jochbeinfortsatz (Abb. hCT5). Der Knochen ist dorsoventral stark abgeplattet und seine dorsale Fläche ist nach lateral geneigt.

### **Ohrregion**

Das Ohr ist ein nach außen konvexer, leicht nach ventral gerichteter, ovoider zugespitzter Körper, welcher zum Zentrum des Schädels (Choanen) weist. Die Lage der knöchernen Ohren

und ihre äußere Form ist in den Fotografien des Schädels am deutlichsten zu sehen (Abb. 2, 3, 5, 6, 8-10). Die 3D-Rekonstruktionen der Computertomographien zeigen das knöcherne äußere Ohr nur schemenhaft, zum Teil auch nur unvollständig (Abb. 11-15). Bei den konventionellen Röntgenaufnahmen sind die Ohren als Ganzes durchleuchtet und mit allen Details in eine Fläche projiziert (Abb. Nr. 16, 17). In den sagittalen und horizontalen Schnittserien ist das Ohr dagegen schichtweise dargestellt. Hier erkennt man nicht nur die Dimension, den Bau und die Grenzen des knöchernen Ohres, sondern zum Teil auch Mittel- und Innenohranteile (Abb. hHisto2-12; hMRT2, 5, 7, 9; hCT3-12; sCT7-13; sMRT1, 3, 6, 8, 10; sHisto7-13). Die Ventralansicht des Schädelpräparats (Abb. 9, 16) zeigt deutlich das spitze, nach rostromedial gerichtete und sackartige Mittelohr. Die rostralen Anteile der Bullae tympanicae liegen sehr nahe beieinander (Abb. hMRT9; hCT11; hHisto10). Sie sind kompress, d. h. lateromedial abgeplattet. Ihre Unterkanten liegen in Höhe der proximalen Enden der Oberkieferschneidezähne (Abb. sCT10, 11; sMRT12, 13; hHisto11; hCT12).

Die Lage des Ohres wird auch anhand der Schnittserien deutlich. In der sagittalen Schnittebene ist der kompress Bau des Ohres erkennbar. Demzufolge ist das Ohr im ersten Schnitt kaum, im zweiten Schnitt aber fast in seiner ganzen Größe dargestellt (Abb. sHisto8, 9; sCT8, 9).

Diese seitliche Abplattung wird in der Horizontalen bestätigt (Abb. hCT4-8; hHisto3-6). In dieser Ebene wird eine von aussen nicht sichtbare Erweiterung des Mittelohres in dorsaler Richtung erkennbar (Abb. hHisto2, 3; hCT4). Verfolgt man in den Schnitten/ Scans den Verlauf des Ohres nach ventral, so wird seine Beteiligung an der Bildung der Schädelseitenwand deutlich (Abb. hHisto3-11; hCT5-11). Die Längsachse der Paukenhöhle verlagert sich von parasagittal von kaudal-lateral nach rostral-medial und leicht nach ventral (Abb. hHisto5-11; hCT6-12). Der ventrale Abschnitt der Paukenhöhle gelangt nach medial und bildet einen Teil der Schädelbasis (Abb. hHisto9; hCT9); dabei wird die hintere Schädelgrube (Abb. hMRT2, 5, 7, 9; hCT4-12; hHisto5-11) nach lateral hin abgegrenzt (Abb. sHisto8-10; sCT8-10; sMRT8). Nach okzipital wird im Processus mastoideus ebenfalls ein Recessus des Mittelohres sichtbar (Abb. sMRT6; sCT10; hMRT7; hHisto8; hCT10). Weiter ventral erkennt man die oben beschriebene Ausdehnung nach medial. Dem Processus mastoideus sitzt der Processus paracondylaris auf.

Folgt man den sagittalen Scans durch die Ohrregion, so ist auch das Innenohr erkennbar. Im histologischen Präparat sind allerdings weitaus mehr Details zu sehen als in der Computertomographie. Die Kernspintomographie ist nicht in der Lage, Einzelheiten des Innenohres darzustellen. Im Mittelohr sind im histologischen Präparat die Gehörknöchelchen,

im Innenohr die Bogengänge (Abb. sHisto10), der Sacculus (Abb. sHisto11) und die Schnecke (Abb. sHisto12) zu erkennen. Im CT-Scan sind immerhin die Gehörknöchelchen und die Schnecke eindeutig anzusprechen (Abb. sCT10-12). Die inneren Anteile des knöchernen Ohres gestalten in der sagittalen und horizontalen Ansicht den bogenförmigen Verlauf der Schädelhöhle. Die sagittale Scanserie zeigt im lateralen Anschnitt den oberen und mittleren Teil des Innenohres (Abb. sMRT3, 6; sCT9; sHisto10).

### **Gaumen und Rachenregion**

Bei den Untersuchungen fiel ein lang gestreckter Epipharynx auf (Abb. sHisto13, 14; sCT14; hCT8-12; hHisto8-13; t.4-6). Er endet in einer weit kaudal im Kopf liegenden Apertura nasi interna (Choane; Abb.: hCT11; hHisto12, 13; sHisto14). Diese wird vom Palatinum umgeben und vom Pterygoideum flankiert (Abb. hHisto10-12; hCT11, 12; t.4-6). Beide Strukturen sind, im Vergleich zum Meerschweinchen, weit nach kaudalwärts verschoben (Abb. 9, 15, 16), somit liegen sie direkt unter dem rostralen Teil der Hirnkapsel (Abb. sHisto13; sCT13; sMRT13) und reichen bis ins Zentrum des Schädels. Der rostrale und mittlere Teil der Schädelbasis werden vom Praesphenoid und dem Basisphenoid gebildet (Abb. sHisto13; sMRT13; sCT14; hHisto5-11; hCT5-10; t.4-6). Die Suture zwischen Prae- und Basisphenoid ist im histologischen Präparat (Abb. hHisto7) erkennbar. Im Computer- und Magnetresonanztomogramm ist solch ein Strukturdetail leider nicht darstellbar. Anhand dieser Schnittbilder ist der nach okzipital abfallende Verlauf der Basis sichtbar (Abb. sHisto13; sMRT13, 14; sCT14). Die Basis ist ein schmaler medianer Steg (Abb. sHisto13; sCT14, sMRT14; hCT6-9, hHisto7, 8). Seitlich davon befinden sich die Flügel (Alae) dieser Knochen, welche die Schädelbasis mitbilden (Abb. sCT6-10, sHisto7, 8). Zwischen dem Corpus und den Alae befinden sich beiderseits zwei große Fossae. Es handelt sich um die von Boller (1970) beschriebenen Fossae sphenopterygoideae. Sie sind besonders gut im transversalen CT-Scan zu sehen (Abb. tCT6). Blickt man am Schädel in das Foramen magnum, erkennt man die soeben beschriebene Anordnung von innen. Durch die Öffnung sind auch die Schneidezahnalveolen von medial zu erkennen. Diese Ansicht der Schneidezahnfächer ergibt sich aus dem schon beschriebenen Verlauf der Oberkieferschneidezähne (Abb. sCT10).

Der hinterste Anteil der Schädelbasis wird vom Okzipitale gebildet. An seiner Verbindung mit dem Basisphenoid ist ein dicker Knochenwulst zu sehen. Die Naht zwischen diesen Knochen ist im Mikrotomschnitt deutlich (Abb. hHisto9, 10). Im CT-Scan erkennt man diese zwar nicht, aber es findet sich hier aufgrund der Dicke des Wulstes eine kontrastreich dargestellte Erhebung

(Abb. sCT14, hCT10, 11).

### **Schädelhöhle**

Die drei Teile der Schädelhöhle sind stets gut zu erkennen, sowohl die vordere und hintere Schädelgrube und die Haupthöhle (Abb. s..13). In den histologischen Präparaten sind teilweise Schrumpfungartefakte aufgetreten. Vor allem das Nervengewebe ist durch die massive Entwässerung stark geschrumpft, daher ist beispielsweise das Cerebellum erheblich verkleinert und die hintere Schädelhöhle erscheint teilweise leer.

Die Computertomographie stimmt hinsichtlich der Struktur der Schädelhöhle mit den histologischen Präparaten weitgehend überein. Das Gehirn ist mit der Computertomographie nicht erfasst, die das Cavum cranii begrenzenden Knochen werden aufgrund ihrer Absorptionsfähigkeit jedoch mehr oder weniger hell dargestellt. Das MRT-Bild zeigt das Gehirn dagegen deutlich; hier sind die umgebenden Knochen schwarz (hypointens).

# 4 DISKUSSION

## 4.1. Allgemeine Aspekte

Im Vergleich zur Schädelanatomie anderer Nager zeigt der Graumull (*Cryptomys anselli sp. nova*) extreme Anpassungen an sein Biotop. Nicht nur die Tatsache, dass *Cryptomys* subterrann lebt - das machen andere Säugetiere auch (z.B. Maulwürfe), sondern vor allem, dass *Cryptomys* sich seinen Weg mit den Zähnen bahnt, hat zur Evolution eines Schädels geführt, der seinesgleichen sucht.

*Cryptomys* und das Meerschweinchen (*Cavia porcellus*) sind Stachelschweinverwandte. Deshalb soll für einen morphologischen Vergleich das Meerschweinchen herangezogen werden. Zur Verdeutlichung der Unterschiede zwischen den beiden Spezies sind am Ende des Bildteils (S. 176; Abb. 20, 21)) zwei Ansichten von Meerschweinchenschädeln beigefügt. Diese Zeichnungen sind dem anatomischen Atlas von Popesko et al. (1990) entnommen. Die auf den Zeichnungen befindlichen Ziffern sind als Anlage im Abkürzungsverzeichnis (S. 93) erklärt.

Bei *Cryptomys anselli sp. nova* handelt es sich um ein Säugetier, dessen extreme Lebensweise mit spezifischen Anpassungen korreliert, welche es ihm erlauben, bei den kargen örtlichen Gegebenheiten in seinem Lebensraum zu überleben. Daher ist von besonderem Interesse, welche anatomischen Veränderungen am Kopf solcher "Zahngräber" (Starck, 1961) vorliegen. Hier sind in erster Linie die miniaturisierten, aber offenbar normal entwickelten Augen, die großen Schneidezähne und die kleinen Ohrmuscheln zu nennen.

Die morphologischen Besonderheiten am Kopf von *Cryptomys* wurden bislang nur wenig untersucht. Die wichtigsten Arbeiten stammen von Boller (1970) und Morlok (1983).

Damals und auch heute werden Säugetiere anhand von morphologischen Kriterien systematischen Taxa zugeordnet. Nach genetischen Untersuchungen ist die systematische Zuordnung der Graumulle jedoch problematisch. Filippucci et al. (1994) untersuchten Populationen von *Cryptomys* aus Sambia und fanden heraus, dass es hier mehrere genetische Varianten gibt. Die von mir bearbeiteten Exemplare stammen aus dem Gebiet von Lusaka in Sambia. Ihre Chromosomenzahl beträgt  $2n = 68$ . Zu Beginn meiner Untersuchungen war diese Tatsache noch nicht bekannt, so dass ich davon ausgehen musste, dass es sich hier um

*Cryptomys hottentotus* handele, also um die von Boller (1970) untersuchte Spezies. Da aber die Chromosomenzahl von *C. hottentotus*  $2n = 54$  beträgt, ist dies offenbar nicht der Fall. Die Frage, ob die von Boller (1970) untersuchten Tiere wirklich *C. hottentotus* waren, ist leider nicht mehr zu beantworten. Selbst die Klärung, ob diese Tiere aus demselben Gebiet stammten, würde diese Frage nicht beantworten, da sich die Habitate verschiedener Graumull-Spezies in Sambia überschneiden könnten.

Bei den genetischen Untersuchungen wurde ebenfalls festgestellt, dass unsere *Cryptomys spec.* aus Lusaka mit dem Damara-Graumull *C. damarensis* ( $2n = 74, 78$ ) näher verwandt ist als mit *C. hottentotus* ( $2n = 54$ ). Auch wurde noch eine weitere genetische Variante in Sambia entdeckt. Es handelt sich um *Cryptomys Itezhi-Tezhi* ( $2n = 58$ ). Diese Art ist unserer *Cryptomys* aus Lusaka (*C. anelli*) somit hinsichtlich der Chromosomenzahl am nächsten verwandt; beide scheinen sich morphologisch nicht voneinander zu unterscheiden. Allerdings stellt sich die Frage, ob sie genetisch so weit voneinander entfernt sind, dass sie als eigenständige Arten bezeichnet werden können; sind sie aufgrund ihrer unterschiedlichen Chromosomenzahl Arten oder nur Rassen? Lässt sich diese Frage durch Kreuzungsversuche und den Nachweis von fertilen Nachkommen beantworten? Bislang gibt es dazu keine Untersuchungen. Im übrigen ist es wahrscheinlich, dass noch weitere genetische Varianten existieren. Hält man sich die Lebensweise der Graumulle vor Augen, so wäre die Bestätigung dieser Hypothese nicht überraschend. Die Tiere leben in großen Familien zusammen und in gegen andere Familien abgegrenzten Territorien. Ein Kontakt der Familien untereinander ist selten, wenn nicht gar durch die räumliche Trennung unmöglich. Warum sollten sich die Populationen bzw. Spezies einer Stamm-Art nicht im Laufe der Zeit und nach den Gesetzen der Evolution genetisch voneinander entfernt haben? Deshalb müssen neben morphologischen auch weitere genetische Untersuchungen durchgeführt werden, um die Systematik der Graumulle zu vervollständigen.

## **4. 2 Makroskopisch - morphologische Befunde:**

Gestützt auf die bisherigen Untersuchungen am Graumullkopf (Boller 1970; Morlok 1983) sollen hier lediglich von diesen Arbeiten abweichende oder ergänzende eigene Befunde diskutiert werden.

Das mir vorliegende Schädelpräparat stammt von einem ca. vier Jahre alten weiblichen Tier.

Am Schädel sind selbst bei diesem adulten Tier noch Knochennähte sichtbar. Aufgrund der Suturen können die meisten Knochen voneinander unterschieden werden: Indessen sind sowohl Lacrimale als auch das Interparietale nicht durch Suturen von den angrenzenden Knochen getrennt. Das Os lacrimale scheint mit dem Ramus superior (Boller, 1970) des Processus zygomaticus ossis maxillaris und dem rostralen Anteil des Os frontale verschmolzen zu sein. Es wäre allerdings auch möglich, dass das Lacrimale im Laufe der Evolution verschwunden ist. Diese Vermutung kann in dieser Arbeit leider nicht beantwortet werden. Dagegen kann die Lage des Os interparietale vermutet werden, obwohl hier ebenfalls keine Suturen sichtbar sind. Ob in der Ontogenese des Graumulls ein Interparietale auftritt, ist nicht bekannt. Geht man von der Lage des Interparietale beim Meerschweinchen aus, so findet sich in der Schädelkalotte von *Cryptomys spec.*, eine Knochenverstärkung vor dem kaudalen Rand der Parietalia. Hierbei könnte es sich um die verschmolzene prominente Naht zum Os parietale hin handeln. Das Os parietale ist sehr dünn, lediglich der okzipitale Teil ist dicker. Hier befindet sich die beschriebene Knochenverstärkung - eine zusätzliche Crista. Andererseits könnte auch die Naht zwischen Interparietale und Squama occipitalis im Bereich der Crista lambda durch Verschmelzung dieser Elemente miteinander verschwunden sein. An dieser Stelle setzt die sehr stark ausgebildete Nackenmuskulatur an; die von ihr ausgeübten Zugkräfte könnten im Laufe der Evolution zu einer Verschmelzung des Interparietale mit den kaudal angrenzenden Knochen geführt haben, während die eine bzw. die andere Sutura verschwindet, bildet sich eine Crista, in unserem Falle zusätzlich auch eine Leiste nach innen zur Schädelhöhle hin; letztere ist durch das Foramen magnum zu sehen. Generell würde ich die Existenz der soeben beschriebenen Crista als eine Konsequenz der enormen Zugkräfte der Nackenmuskulatur auf die betreffenden kaudalen Schädelknochen werten, als eine umgebaute Sutura mit dem benachbarten Knochen und einer erheblich verbesserten Statik des Schädeldaches (Tentoriumansatz).

Bei dem mir vorliegenden Schädel grenzt das Os frontale direkt an das Os nasale. In der von Boller (1970) übernommenen Zeichnung (Abb. 1-3) ist dies nicht der Fall. Hier ist das Nasale auch kaudal vom Inzisivum umgeben. Boller (1970) beschreibt dies selbst als "nicht normal"; andere ihm vorliegende Schädel zeigen die von mir festgestellte und beschriebene Topographie des Frontale.

Eine weitere morphologische Abweichung wurde von mir am Foramen infraorbitale ermittelt und dokumentiert (Abb. 1). Die Öffnung wird von Boller (1970) als nierenförmig und recht groß beschrieben und gezeichnet. Die beiden von mir untersuchten Präparate zeigen aber eine ovale, fast tropfenförmige Gestalt; außerdem sind die von mir dokumentierten Öffnungen viel kleiner.

Worin ist die Ursache für die genannten Unterschiede in der Morphologie der besprochenen Schädel von *Cryptomys* zu sehen? Zum einen könnte es sich um verschiedene Unterarten und zum anderen um individuelle Variationen innerhalb einer Subspezies handeln. Im Augenblick ist diese Frage nicht zu beantworten, da über die Gattung *Cryptomys* insgesamt noch recht wenig bekannt ist.

### **4.3 Synthetische Betrachtung der Befunde der Histologie und der bildgebenden Verfahren**

#### **Oberschädel und Oberkieferinzisiven**

Bei der Betrachtung der Oberkieferinzisiven anderer Säugetiere, insbesondere anderer Nager, fällt ein großer Unterschied auf. Die Oberkieferinzisiven ragen bei weitem nicht so weit nach vorn aus dem Maul wie bei *Cryptomys*. Die Schneidezähne des Meerschweinchens sind ebenfalls im Os incisivum verankert. Sie liegen im Processus alveolaris, beeinflussen die Nasenhöhle allerdings nicht, d. h. diese wird nicht durch die beiden Processus alveolare eingeengt. Zudem ragen die Inzisiven nach vorn nicht über die Ebene der Nares hinaus.

Die Inzisiven von *Cryptomys* sind dagegen deutlich länger. Etwa zwei Drittel bis zu drei Viertel der gesamten Schädellänge werden von ihnen in Anspruch genommen. Durch den enormen Raumbedarf der Inzisiven und deren Alveolen wird das Aussehen des knöchernen Schädels verändert. Morlok (1983) beschreibt, warum die Zähne während der Evolution diese Ausmaße erreicht haben: "Die verstärkte Benutzung der Inzisiven bewirkt eine höhere Abnutzung und macht eine kräftige Verankerung im Schädel notwendig. Daher sind die Inzisivalveolen bei Proodontie besonders lang".

*Cryptomys anelli sp. nova* ist ein Zahngräber und entwickelte im Laufe der Evolution einen schaufelbaggerartigen Zahnapparat, dessen „Schaufeln“ die Inzisiven sind. Um Zahnbrüche in hartem Substrat zu vermeiden (langer Hebelarm), sind die Zähne in den großzügig angelegten Schneidezahnalveolen mit langen Kollagenfasern des Paradontium „elastisch“ verankert; die Gefahr einer Zahnläsion oder gar eines Knochenbruchs beim Graben wird dadurch stark verringert.

### **Unterkiefer und Unterkieferinzisiven**

Kein anderer Nager weist solche Dimensionen der Unterkieferschneidezähne auf wie *Cryptomys*. Hier wird der enorme Kraftaufwand beim Zahngraben deutlich. Meerschweinchen, Ratte oder Hase benötigen ihre Schneidezähne nur zum Nagen. Deshalb sind ihre Zähne im Unterkiefer weniger intensiv verankert.

In ihrer Länge und Breite sowie im massiven Bau entsprechen die Inzisiven des Unterkiefers von *Cryptomys* denen des Oberschädels und erstrecken sich über etwa zwei Drittel bis drei Viertel der gesamten Unterkieferlänge. Der Unterkiefer ist mit seinen beiden Ästen keilförmig nach rostral gerichtet. Darüber hinaus konvergieren die beiden Unterkieferäste beträchtlich; weder Hase, Ratte oder Meerschweinchen weisen eine solch massive Keilform des Unterkiefers auf.

Der Unterkiefer von *Cryptomys* als Ganzes ist im Vergleich zu dem des Meerschweinchens größer und massiver gebaut. Ramus mandibulae, Crista masseterica und Processus coronoideus sind markant und bieten große Ansatzflächen für eine enorm stark entwickelte Kaumuskulatur. Das nach hinten offene Kiefergelenk von *Cryptomys* ist auffällig. Diese vom Meerschweinchen abweichenden Verhältnisse korrelieren mit der longitudinalen Streckung des Processus articularis. Die funktionelle Bedeutung dieser verlängerten Gelenkfacette ist nur zu vermuten: der Unterkiefer kann, unter Nutzung des hinteren Teils seiner Gelenkpartie, weiter nach vorne geschoben (Translation) und somit besser zum Graben von Gängen genutzt werden. Beim Meerschweinchen gibt es dagegen nur eine vergleichsweise kleine Kiefergelenkfläche, hier ist keine so starke Translation des Unterkiefers möglich.

Der Abstand der Kiefergelenke ist bei *Cryptomys* besonders groß; dies gibt dem Kopf Stabilität beim Graben.

### **Backenzähne**

Die Stellung der Backenzähne beim Graumullweicht nicht von der des Meerschweinchens ab, doch ist ein topographischer Unterschied im Oberschädel beider Arten erkennbar. Der vordere Jochbogen beginnt bei *Cryptomys anelli* rostral des vordersten Backenzahnes. Dies verdeutlicht die enorme Beiß- (Kau-) kraft von *Cryptomys*. Je weiter nach vorne sich der Jochbogen am Schädel ausdehnt und damit auch die an ihm entspringende Kaumuskulatur, um so größer sind die an den Schneidezähnen entwickelten Kräfte (Scherkräfte) und um so höher ist die Effizienz beim Graben. Die zur Futterbereitung kauend-mahlenden Eigenschaften der Backenzähne werden dadurch nicht beeinträchtigt, sondern eher noch verstärkt.

## **Jochbogen**

Bei *Cryptomys* fällt in der Aufsicht die Keilform des Schädels auf, die insbesondere durch die Jochbögen zustande kommt. Die Processus zygomatici ossis temporalis et ossis maxillaris ragen ungleich weit aus dem Schädel heraus. Damit liegen beide Jochbeine nicht parallel zueinander, sondern konvergieren nach kranial (wie die Unterkieferhälften). Beim Meerschweinchen dagegen treten beide Anteile (Processus zygomaticus der Maxilla und des Temporale) etwa gleich weit aus dem Schädel nach lateral heraus. Die Betrachtung des *Cryptomys*schädels von dorsal lässt die Keilform erkennen, während beim Meerschweinchen eine walzenförmige Gestalt des Schädels vorliegt.

Der Jochbogen von *Cryptomys* ist kaudal flach (dorsoventral abgeplattet) und seine dorsale Fläche ist etwas nach lateral geneigt; rostral ist er eher drehrund und Schmäler als bei *Cavia*. Die Jochbeine von Ratte und Meerschweinchen sind dagegen rostral höher und seitlich abgeplattet. Bei diesen Spezies verlaufen die Jochbögen parallel zueinander. Da Meerschweinchen und Ratten keine extremen Kräfte beim Kauen benötigen, ist auch keine exzessive Ursprungsfläche der Kaumuskulatur am Oberschädel notwendig. Bei *Cryptomys* wird durch die Neigung der Jochbögen nach lateroventral und den konvergierenden Verlauf derselben zueinander die Ursprungsfläche für die Kaumuskulatur vergrößert und somit die Kaukraft (Grabkraft) erhöht. Aufgrund des zu geringen Auflösungsvermögens der MRT und CT bei kleinen Knochen sind Details mit den genannten Methoden nicht darzustellen. [Die Stellung der Knochen zueinander ist in der dreidimensionalen CT-Rekonstruktion andeutungsweise und auf den Schädelfotos deutlich zu sehen].

## **Ohrregion**

Das Ohr von *Cryptomys*, welches im Vergleich zur Situation bei Ratte und Meerschweinchen in der Lateralansicht vom massiven Kiefergelenk und dem Unterkieferast fast vollständig verdeckt wird, liegt dem hinteren Teil des Schädels lateral und okzipital an. Die Bullae tympanicae sind im Gegensatz zum Meerschweinchen groß und mit ihrer rostralen Spitze zur Mitte des Kopfes gerichtet und in sich etwas gekrümmt, als würden sie dem keilförmigen Verlauf (Konvergenz) der Unterkieferäste folgen. Die Bullae tympanicae sind schmal aber hoch (mediolateral abgeplattet); ihre Unterkanten liegen auf einer Linie mit jenen der Oberkieferschneidezähne. Beim Meerschweinchen liegen die Unterkanten der Bullae tympanicae etwas weiter ventral in Höhe der Unterkante der Oberkiefermolaren. Diese morphologischen Unterschiede sind wohl am besten durch die raumfordernden Unterkieferäste von *Cryptomys* zu erklären.

Eine deutliche Abweichung zum nahverwandten Meerschweinchen liegt bei *Cryptomys* in der Form der Bulla tympanica. Sie ist beim Meerschweinchen rund und in sagittaler Richtung gestreckt. Ihre Längsachsen stehen ebenfalls sagittal, während sich die Bullae von *Cryptomys anelli sp. nova* der Keilform der Unterkieferäste anpassen. Die Längsachsen beider Bullae verlaufen beim Graumull somit nicht parallel, sondern deuten rostromedial in Richtung Schädelbasis. Diese Lageveränderung ist über die Vergrößerung des Kiefergelenkes zu verstehen: Durch die vertikale Ausdehnung des Gelenkkopfes wurde der rostrale Teil des Ohres nach medial abgedrängt. Zudem verändert sich die Größe des Porus acusticus externus; er wirkt beim Graumull enger und liegt im kaudalen Anteil der Bulla (Verdrängungsprozess). In der Lateralansicht beim Meerschweinchen liegt der Porus hingegen zentral. Bei *Cryptomys* wird hier die Anpassung an eine unterirdische und grabende Lebensweise deutlich. Die Tiere müssen in den Gängen nicht besonders gut hören (eingeschränktes Hörspektrum) und durch die geringe Neigung des Porus nach laterokaudal wird beim Graben das Einfallen von Erde in den äußeren Gehörgang vermieden. Graumulle hören wahrscheinlich eher durch die Aufnahme von Vibrationen mittels des Unterkiefers (Brückmann und Burda, 1997).

### **Gaumen und Rachenregion**

Zur Größenrelation von Viszerokranium und Neurokranium:

Bei *Cryptomys* beträgt das Verhältnis der Länge des Neurokraniums zu der des Viszerokraniums 1 : 1, im Gegensatz zu anderen Nagern, wo das Neurokranium länger ist als das Viszerokranium. Der Epipharynx von *Cryptomys anelli sp. nova* ist gestreckt und die ihn umgebenden Knochen scheinen nach kaudal verlagert und wahrscheinlich auch verlängert. Es stellt sich nun die Frage, ob bei *Cryptomys* während der Evolution das Neurokranium zugunsten des Viszerokraniums kleiner wurde, oder ob das Neurokranium bei den anderen Nagern größer wurde, ohne das Viszerokranium zu verändern. Das Neurokranium von *Cryptomys* sieht allerdings in Längsrichtung etwas gestaucht aus, so dass die Antwort eher in dessen Kompaktierung zu suchen ist. Das Basisphenoid von *Cryptomys* ist im Verhältnis zur Schädelbasis des Meerschweinchens sehr breit angelegt. Es sieht so aus, als ob parallel zur Stauchung des Neurokraniums die Schädelbasis ebenfalls gestaucht worden wäre. Demzufolge sind die Fossae sphenopterygoideae beim Meerschweinchen deutlich geräumiger, wahrscheinlich aufgrund der ausbleibenden Stauchung des Neurokraniums und des viel kleineren Kiefergelenks bei dieser vorwiegend oberirdisch lebenden Spezies.

Somit ist im Vergleich mit der vorderen Schädelhöhle des Meerschweinchens beim Graumull

auch der Bereich für den Bulbus olfactorius gestaut und dieser Teil der Schädelbasis in der Aufsicht breit und kurz, aber dennoch gut in die allgemeine Keilform des Vorderschädels eingepasst.

## **4.4 Technische Untersuchungsergebnisse:**

Die Graumulle ließen sich mit den angewandten Methoden (Histologie, Röntgen, Computer- und Kernspintomographie) gut untersuchen. Die Resultate sind befriedigend. Ein Überblick über die knöcherne Anatomie des Graumullschädels ist durch die Kombination aller angewandten Methoden sehr gut möglich.

### **Histologie**

Die Herstellung der Mikrotomschnitte erforderte viel Zeit und Geduld. Von der Perfusion bis hin zum Färben des fertigen Schnittes vergingen pro Kopf etwa zwei bis drei Monate. Bei der Herstellung eines jeden Mikrotomschnittes war es bis zum Ende fraglich, ob ein brauchbares Ergebnis zustande kommen würde. Abgesehen von manchen Schrumpfungartefakten (Entwässerung durch Isopropanol), Lufteinschlüssen (bei der Infiltration und Einbettung in Mettacrilat entstanden), Schneideartefakten (durch defekte Messer oder verstelltes Mikrotom verursacht) und Färbefehlern (durch zu langes „Kochen“ in der Mikrowelle) sind die Schnitte gut gelungen. Erstaunlich gut ist die Qualität der Schnitte jedoch, wenn man bedenkt, dass ein Kopf ca. drei Zentimeter lang und zweieinhalb Zentimeter breit ist. Dazu kommt die Heterogenität der verschiedenen Kopfgewebe. Vom Fettgewebe bis zu den Zähnen musste alles in einem Vorgang möglichst gleichmäßig geschnitten werden. Somit kam es v.a. auf die sorgfältige Entkalkung (Decal) und Einbettung an. Die Eigenschaften des Glykolmethacrylats wurden bereits in Kapitel 2 beschrieben. Entscheidend war jedoch die Färbung des Schnittes. Hier wurde eine Trichrom-Färbung nach Werner (1990) in der Mikrowelle gewählt. Die in der vorliegenden Arbeit gezeigten Mikrotomschnitte sind allerdings schwarz/weiß. Dadurch wird Knochen genauso dunkel dargestellt wie Drüsengewebe oder zusammengesobener Muskel (Schneideartefakt). Durch zu ausgedehnte Artefakte im jeweiligen Schnitt war die Untersuchung von Details teilweise nicht möglich. Alles in allem erfüllten die Mikrotomschnitte jedoch ihren Zweck als ein Referenzsystem für die zugehörigen CT- und MRT-Scans und waren bei der

Analyse von Geweben infolge ihrer Detailfreudigkeit um ein vielfaches überlegen.

## **Röntgen**

Die Röntgenaufnahmen wurden dieser Arbeit als ein Standard der bildgebenden Verfahren beigelegt. Sie verdeutlichen insbesondere den Verlauf der Schneidezähne und den komplexen und massiven Bau des Schädels. Auf diesen Bildern sind alle wesentlichen Strukturen des Schädels zu sehen. Es sind die Nagezähne, der Unterkiefer, das kräftige Os incisivum, die Backenzähne mit ihrem Halteapparat, der Jochbogen, das knöcherne Ohr sowie die Schädelkalotte.

## **Computertomographie (CT)**

Mit diesem Verfahren kann der Aufbau des Kopfskeletts in Serie anschaulich gezeigt werden. Weichteile werden nicht dargestellt. Mit Hilfe von Scans in allen drei Ebenen des Raumes ist die Lage der einzelnen Strukturen eindeutig zu bestimmen. Die Computertomographie ermöglicht die Darstellung von Knochen und Zähnen, selbst bei Objekten von der Größe eines Graumullkopfes. Damit wird bewiesen, dass eine morphologische Untersuchung des Kopfskeletts solch kleiner Tiere mit gutem Erfolg möglich ist.

Rekonstruktionen mit Hilfe der Computertomographie belegen ebenfalls die erfolgreiche Darstellung biologischer Objekte in Schichtbildern. Bei diesen Verfahren ergeben die Serienschnittbilder hintereinander gelegt einen Quader. Dieser setzt sich demzufolge aus vielen dünnen Schichten zusammen und ergibt ein dreidimensionales Bild. In diesen Rekonstruktionen ist das Schädelskelett von *Cryptomys* deutlich erkennbar. Feinere Strukturen sind infolge des begrenzten Auflösungsvermögens der Schichtbilder nicht erfasst. Berücksichtigt werden sollte aber auch, in welchem Fensterbereich diese Rekonstruktionen erstellt wurden. Das Fenster wurde hier so gewählt, dass auch dünne Knochen (z.B.: Schädelkalotte) sichtbar gemacht werden konnten.

Der kompakte und formstabile Kopf von *Cryptomys* besitzt teilweise sehr dichte Strukturen. Hier sind vor allem die Schneidezähne und die Mandibula zu nennen. Bei der Herstellung der Mikrotomschnitte gab es aufgrund der großen Unterschiede in der Dichte der Gewebe und der Größe des Kopfes trotz der Kunststoff-Einbettungsprobleme. Diese unterschiedlichen Eigenschaften waren aber gerade für die Herstellung der CT- und MRT-Aufnahmen erwünscht. Wie oben bereits erwähnt, sind die verwendeten Geräte für die Diagnostik am Menschen entwickelt und gebaut worden. Der gesamte Kopf von *Cryptomys* ist aber kleiner als das

knöchernen Ohr eines erwachsenen Menschen. Somit war zu befürchten, dass sich die "geringe Größe" des Schädels auf die Untersuchung an diesen Geräten ungünstig auswirken würde. In der vorliegenden Studie sollten jedoch zumindest die massiven Knochen (Mandibula etc.) und die Zähne dargestellt werden.

Die im Computertomographen erzeugten Bilder sind erstaunlich gut; Knochengewebe stellt sich je nach Absorption der Röntgenstrahlen unterschiedlich hell dar. Je dicker (dichter) der Knochen, desto heller (hyperdenser) erscheint er auf dem Bild. Eine so starke Signalgebung kann jedoch andere Strukturen innerhalb einer Schichtdicke von 1 mm überlagern. Daher werden Knochen häufig nur unscharf abgebildet. Kleinere Knochen und Knochenstrukturen sind wahrnehmbar, nicht jedoch Gehörknöchelchen oder ähnliches. Sie werden von den Röntgenstrahlen ohne Absorption durchdrungen. Die meisten Knochen des Kopfes sind mehr oder weniger deutlich dargestellt. Knochenkonturen sind gut zu sehen, allerdings keine Suturen.

### **Magnetresonanztomographie (MRT)**

Eine große Herausforderung bestand in der Untersuchung des Kopfes von *Cryptomys* mit Hilfe der Magnetresonanztomographie. Ich ging mit der Erwartung an diese Aufgabe heran, Nervengewebe (hier insbesondere Fasermassen), aber auch andere Weichteilgewebe sowie Knochen darstellen zu können. Weichteilgewebe sind im MRT-Bild mehr oder weniger hell (hyperintens), Knochen ganz schwarz (hypointens) wiedergegeben. Leider ließen die ersten Untersuchungen schnell erkennen, wo die Grenzen des damals verwendeten Kernspintomographen liegen: Bei einer Schichtdicke von 2,1 – 2,3 Millimeter können Weichteile recht gut dargestellt werden. Einige solcher Gewebe sind sogar in gewissen Grenzen voneinander unterscheidbar. Nervengewebe (Gehirn) ist bei dieser Technologie allerdings nur als eine helle Masse (Bildzone) zu erkennen, austretende Hirnnerven sind nicht darstellbar. Dagegen sind einzelne Muskeln zu differenzieren.

Ein Hauptgrund für die nicht voll befriedigende Darstellung liegt sicherlich in der Schichtdicke von über zwei Millimetern. Wie bei der Computertomographie überlagern bei einer solchen Schichtdicke die starken Signale die schwächeren. Die Darstellung der Knochen interessierte mich besonders, nachdem dieses Gewebe so gut im CT-Scan zu sehen war, doch nicht der Knochen selbst, sondern das ihn umgebende Weichteilgewebe sollte die Konturen und den Verlauf der Knochen deutlich herausstellen. Da aber die Grenzen des Auflösungsvermögens überschritten waren, wurde dies fast unmöglich. Geringere Schichtdicken (bis zu einem halben Millimeter) waren zwar möglich, die Auflösung der Scans wurde jedoch schlechter. Trotzdem

konnten der Verlauf der massiven Schneidezähne und des Unterkiefers sowie viele andere Details gezeigt werden. Im Verein mit den Mikrotomschnitten und den CT-Scans konnte ein guter Überblick über die Strukturen des Schädels gegeben werden.

Fazit: Bei allen Fortschritten der modernen bildgebenden Verfahren (CT, MRT) bleiben für die Grundlagenforschung ausgedehnte Kontrollen an histologischen Schnittserien unabdingbar, um einzelne Gewebe sicher zu interpretieren. Dies gilt auch für größere Spezies/ Individuen, ist bei solchen Exemplaren aber aus Gründen der Größendimensionen naturgemäß ungleich schwieriger zu realisieren.

### **Anregung und Ausblick**

Der Schädel von *Cryptomys anelli sp. nova* weicht in seinem Bau deutlich von dem anderer Nagetiere ab. Der massive Kieferapparat dient dem effizienten Graben beim Nahrungserwerb und beim Anlegen ausgedehnter Gänge („Zahngräber“), in denen sich die Tiere orientieren müssen. Bei der Interpretation der Befunde stellte sich die Frage: Wie ist es den Tieren möglich, sich im Magnetfeld zu orientieren und ganz gezielt in Südostrichtung nahezu gerade Gänge zu bauen (Burda et al. 1990)? Bei Aalen, Tauben, Mäusen, Delphinen und anderen Tieren ist dieses Phänomen, sich im Magnetfeld der Erde zu orientieren, ebenfalls nachgewiesen oder zumindest vermutet worden. Teilweise wurde anorganisches magnetisches Material im Kopf dieser Tiere gefunden (Gould und Kirschvink 1979, Kirschvink und Gould 1981, Mather und Baker 1981, Zoeger et al. 1981, Baker et al. 1983, Hanson et al. 1984, Walker et al. 1984, Credle 1988, Kirschvink 1989, Parkinson und Hanks 1989, Olcese 1990). Warum soll es solches Material nicht bei *Cryptomys* geben? Auch wenn die Rezeptoren noch nicht bekannt sind, wurden vor kurzem Hinweise auf die Verarbeitung magnetischer Informationen im Gehirn des Graumulls gegeben (Nemec et al. 2001; Oelschläger et al. 2002). Die vielfältigen und theoretisch möglichen Bauweisen und Materialien einer solchen potentiellen "Antenne" sollen hier nicht besprochen werden. Interessant ist aber die Frage, wo im Körper sich ein solches "Material" befinden kann. Eine Beteiligung des Nervus trigeminus an der Magnetorientierung ist bislang nicht nachgewiesen (Oelschläger, persönliche Mitteilung), aber nicht unwahrscheinlich (Fleissner et al. 2003). Meine Vermutung wäre, dass sich in den Schneidezahnalveolen eine "Antenne" befindet. Mit der Überlegung, dass je länger eine Antenne, umso besser ist der Empfang, bietet sich dieses Modell geradezu an. Zudem befinden sich die Inzisivalalveolen des Oberkiefers in idealer Nähe zum Os ethmoidale und somit auf kürzestem Wege zum Gehirn.

Zusätzlich stellt sich die Frage, wie die nervalen Impulse entstehen. Gibt es Rezeptorstrukturen und magnetische Substanzen in den Zahnalveolen, im Zahngewebe oder in der Pulpa, mit Afferenzen zu den auswertenden Hirnarealen? Dienen die Inzisiven also nicht nur zum Graben, sondern sind sie auch Träger einer solchen „Antenne“? Von Interesse wäre auch der Nachweis von orientierungsrelevantem Magnetit-Material im Körper von *Cryptomys*, welches sich ja überall befinden kann, nicht nur im Kopf.

Die Fähigkeit, lange gerade Gänge zu bauen, erlaubt sicherlich die „systematische“ Erkundung eines größeren Habitats und gegebenenfalls die Konzentration der Aktivität auf lohnende Areale, oder bei Problemen ein Ausweichen in andere, günstigere Gebiete.

Die Zähne und ihr Halteapparat könnten eventuell auch für die Perzeption von Infraschall von Bedeutung sein. Setzt *Cryptomys anseli sp. nova* den massigen Unterkiefer mit seiner engen topographischen Beziehung zum Ohr als Horchorgan ein? Ist der verlängerte Unterkiefer-schneidezahn dafür vielleicht eine Antenne?

Mit der vorliegenden Arbeit sollen die anatomischen Grundlagen geschaffen werden, um diese offenen Fragen durch weitere wissenschaftliche Untersuchungen zu klären.

## **Schlussbemerkung**

Es wäre wünschenswert gewesen, wenn in der Computertomographie durch leistungsfähigere Spulen und in der Kernspintomographie durch ein evtl. stärkeres Magnetfeld, oder generell durch weiterentwickelte Computer bzw. Software bessere Aufnahmen hätten erzielt werden können. Bei Untersuchungen mit ultramodernen Scannern (MRT bis zu 17 Tesla Magnetfeldstärke) können schon kleinste Details wie Nervenstrukturen des Innenohres von Säugetier-Embryonen gestellt werden. Technische Weiterentwicklungen bieten Vorteile in der täglichen Praxis, in der gezielten Diagnostik und in der genauen Lokalisation von Defekten oder Neubildungen (Tumoren).

Als praktischer Tierarzt wünsche ich mir, diese genannten Methoden anwenden zu können, was in der letzten Zeit möglich geworden, aber noch recht teuer ist. Für unsere Untersuchungen stehen aus Kostengründen oft nur alte Geräte zur Verfügung. Die überwiegend sehr guten, in der Humanmedizin zur Verfügung stehenden Geräte werden meist bis tief in die Nacht gefahren, um amortisiert werden zu können. Die Investitionen auch nur für eines dieser Geräte sprengen oft den finanziellen Rahmen selbst einer gut gehenden Tierklinik. Eine weitere Spezialisierung auf diesem Gebiet wäre aber dringend erforderlich, meines Erachtens sogar eine entsprechende Fachtierarztausbildung. Wir überweisen in unserer Praxis gezielt zu Tierärzten mit solchen Geräten, welche die Untersuchungsergebnisse auch angemessen interpretieren können.

## 5 ZUSAMMENFASSUNG

Graumulle (*Cryptomys*) sind unterirdisch lebende, zahngabende Nagetiere. Sie graben lange, gerade Gänge. Ihre Kopfanatomie weicht von den uns bekannten Verhältnissen bei Nagern (Meerschweinchen, Ratte, Maus, Kaninchen) deutlich ab.

Anhand von Ansell's Graumull (*Cryptomys anelli sp. nova*), einer neu beschriebenen Art aus Sambia (Lusaka) wurde die topographische Anatomie des Kopfes erarbeitet. Zu Beginn der Untersuchungen wurde ein Kopf mit modernen bildgebenden Verfahren (Computertomographie [CT], Magnetresonanztomographie [MRT]) in drei Ebenen (transversal, horizontal und sagittal) dokumentiert. Als eine Referenz für die Auswertung und Interpretation der Schichtbilder wurden histologische Schnittserien angefertigt (ebenfalls in den drei Ebenen des Raumes). Ein Schädel wurde präpariert und als Modell für Fotografien und Röntgenaufnahmen genutzt.

Insbesondere die Schädelknochen werden beim Graumull durch die Computertomographie gut dargestellt. Die MRT ist mehr oder weniger eine Ergänzung zur CT-Dokumentation. Eine echte Grundlage stellen die histologischen Schnittserien dar; sie sind extrem reichhaltige Informationsträger und ermöglichen die Identifikation des Gewebes.

Beim Graumull prägen die Inzisiven und deren Alveolen die Kopfmorphologie. Die Oberkieferinzisiven verlaufen im Bogen nach dorsal und kaudal bis hin zur Schädelbasis. Die Unterkieferinzisiven erstrecken sich im komplementären Bogen bis zu den Kiefergelenken.

Die Schnittserien geben detaillierte Einblicke in die Anatomie des Kopfes. Die einzelnen Untersuchungsmethoden ergänzen sich gegenseitig zu einem komplexen Gesamteindruck vom Kopf des Graumulls.

Als eine Art „Nebenprodukt“ ist bei den vorliegenden Untersuchungen ein topographischer Atlas des Kopfes von *Cryptomys anelli* entstanden, welcher als eine Fundgrube für die Anpassungen dieser Tiere an ihren Lebensraum unter Tage dienen kann.

## 6 SUMMARY

African mole rats (*Cryptomys*) are subterranean animals digging long straight tunnels with their teeth. Due to this their cranial morphology differs markedly from that in other rodents as Guinea pig, rat, mouse, or rabbit.

The topography of the cranium and soft tissues is documented in five specimens of the Lusaka mole-rat (*Cryptomys anselii spec. nova*) from Zambia. One of the heads was scanned with modern imaging techniques (Computer-assisted tomography [CT] and Magnetic resonance imaging [MRT]) in the three dimensions (transverse/coronal, horizontal, and sagittal planes). Histological verification of the results was done using series of conventional microslides in the three dimensions. One skull was dissected, cleared, and used as a reference for photographic and X-ray documentation.

As a whole, CT scanning is optimal for the investigation of the skull with modern imaging. MRT scanning is more or less complementary to CT documentation. Nevertheless, routine histology is much more detailed as to, e.g. , the delimitation of the skull elements and, particularly, as to the identity of tissues.

In mole-rats, the morphology of the skull is stamped by the extraordinarily large incisors and their suspension. The incisors of the upper jaw curve dorsalward and extend caudalward as far as the presphenoid bone. The incisors of the lower jaw extend caudalward and curve dorsalward in order to terminate near the temporomandibular joint.

Taken as a whole, the different techniques applied here give satisfactory insight into the complex structure of the mole-rat head.

The data collected, representing a three-dimensional atlas of the mole-rat head, may help to understand the evolutionary strategy of these animals with regard to their adaptation to life underground and to survive in a barren environment.

# 7 LITERATURVERZEICHNIS

- Baker, R. R., Mather, J. G. and Kennaugh, J. H. (1983): *Magnetic bones in human sinuses*. Nature 301: 78-80.
- Begall, S. (1997): *The application of the Gompertz model to describe body growth*. Growth, Dev. Aging 61: 61-67.
- Begall, S., Burda, H. (1998): *Reproductive characteristics and growth rate in the eusocial Zambian common mole-rat (Cryptomys sp.; Bathyergidae)*. Z. Säugetierk. 63(5): 297-306.
- Boller, N. (1970): *Untersuchungen an Schädel, Kaumuskulatur und äußerer Gehirnform von Cryptomys hottentotus (Rodentia, Bathyergidae)*. Z. wiss. Zool. 181: 7-65
- Brückmann, G., Burda, H. (1997): *Hearing in blind subterranean Zambian common mole-rats (Cryptomys sp.; Bathyergidae, Rodentia)*. J. Comp. Physiol. A 181: 83-88.
- Burda, H. (1989): *Relationships among rodent taxa as indicated by reproductive biology*. Z. Zool. Syst. Evol. Forsch. 27: 49-57.
- Burda, H. (1989): *Reproductive biology (behaviour, breeding, and postnatal development) in subterranean mole-rats, Cryptomys hottentotus (Bathyergidae)*. Z. Säugetierk. 54: 360-376.
- Burda, H. (1990): *Constraints of pregnancy and evolution of sociality in mole-rats. With special reference to reproductive and social patterns in Cryptomys hottentotus (Bathyergidae, Rodentia)*. Z. Zool. Syst. Evol. Forsch. 28: 26-39.

- Burda, H. (1995): *Individual recognition and incest avoidance in eusocial common mole-rats rather than reproductive suppression by parents*. *Experientia* 51: 411-413.
- Burda, H., Marhold, S., Westenberger, T., Wiltschko, R. and Witschko, W. (1990): *Magnetic compass orientation in the subterranean rodent *Cryptomys hottentotus* (*Bathyergidae*, *Rodentia*)*. *Experientia* 46: 528-530.
- Burda, H., Bruns, V., Hickman, G.C. (1992): *The ear in subterranean Insectivora and Rodentia in comparison with ground-dwelling representatives. I. Sound conducting system of the middle ear*. *J. Morphol.* 214: 49-61.
- Burda, H., Zima, J., Scharff, A., Macholan, M., and Kawalika, M. (1999): *The karyotypes of *Cryptomys anelli* sp. nova and *Cryptomys kafuensis* sp. nova: new species of the common mole-rat from Zambia (*Rodentia*, *Bathyergidae*)*. *Z. Säugetierk.* 64: 36-50.
- Credle, V.R. (1988): *Magnetite and Magnetoreception in Stranded Dwarf and Pygmy Sperm Whales, *Kogia simus* and *Kogia breviceps**. The University of Miami, Marine Mammals Laboratory and Electron Microscope Laboratory.
- Credner, S., Burda, H., Ludescher, F. (1997): *Acoustic communicating underground: Vocalisation characteristics in subterranean social mole-rats (*Cryptomys* sp., *Bathyergidae*)*. *J. Comp. Physiol. A* 180: 245-255.
- Filipucci, M.G., Burda, H., Nevo, E and Kocka, J. (1994): *Allozyme divergence and systematics of Common mole-rats (*Cryptomys*, *Bathyergidae*, *Rodentia*) from Zambia*. *Z. Säugetierk.* 59: 42-51.
- Fleissner, G., Holtkamp-Rötzler, E., Hanzlik, M., Winkelhofer, M., Fleissner, G., Petersen, N., Wilschko, W. (2003): *Ultrastructural analysis of a putative magnetoreceptor in the beak of homing pigeons*. *J. Comp. Neurol.* 458: 350-360
- Gould, J.L. and Kirschvink, J.L. (1979): *Pigeons have magnets*. *Science* 205: 1027-1029.

- Hanson, M., Wirmark, G., Öblad, M. and Strid, L. (1984): *Iron-rich particles in European eel*. Comp. Biochem. Physiol. 79A, 2: 311-316.
- Ingram, C.M., Burda, H., Honeycutt, R.L. (2004): *Molecular phylogenetics and taxonomy of the African mole-rats, genus Cryptomys and the new genus Coetomys Gray, 1864*. Mol. Phylogen. Evol., 31: 997-1014.
- Jarvis, J.U.M. and Bennett, N.C. (1990): *The evolutionary history, population biology and social structure of African mole-rats. Family Bathyergidae*. In Evolution of Subterranean Mammals at the Organismal and Molecular Levels, edited by E. Nevo and O. A. Reig, Press in Clinical and Biological Research, vol. 335. New York: Wiley-Liss., 97-128.
- Kirschvink, J.L. and Gould, J.L. (1981): *Biogenic magnetite as a basis for magnetic field detection in Animals*. BioSystems 13: 181-201.
- Kirschvink, J.L. (1989): *Magnetite biomineralization and geomagnetic sensitivity in higher animals: An update and recommendations for future study*. Bioelectromagnetics 10: 239-259.
- Kössl, M., Frank, G., Burda, H. Müller, M. (1996): *Acoustic distortion products from the cochlea of the blind African mole rat, Cryptomys spec.* J. Comp. Physiol. A 178: 427- 434.
- Lacey, E., Patton, J.L., Cameron, G.N. (2000): *Life Underground: The Biology of Subterranean Rodents*. The University of Chicago Press, Chicago, London.
- Lange, S., Grumme, T., Kluge, W., Ringel, K., Meese, W. (1988): *Zerebrale und spinale Computertomographie*. Schering-Verlag.
- Lindenlaub, T., Burda, H. (1993): *Morphometry of the vestibular organ in neonate and adult African mole-rats, Cryptomys species*. Anat. Embryol. 188: 159-162.

- Lindenlaub, T., Burda, H. (1994): *Functional allometry of the semicircular ducts in subterranean mole-rats Cryptomys (Bathyergidae, Rodentia)*. Anat. Rec. 240: 286-289.
- Lindenlaub, T., Burda, H., Nevo, E. (1995): *Convergent evolution of the vestibular organ in the subterranean mole-rats, Cryptomys and Spalax, as compared with aboveground rat, Rattus*. J. Morphol. 224: 303-311.
- Marhold, S. (1989). *Stoffwechsel, Atem- und Herztigkeit des afrikanischen Graumulls Cryptomys hottentotus*. Diplomarbeit FB Biologie, Univ. Frankfurt am Main.
- Marhold, S., Nagel, A. (1995): *The energetics of the common mole-rat Cryptomys, a subterranean eusocial rodent from Zambia*. J. Comp. Physiol. B 164: 636-645.
- Marhold, S., Wiltschko, W., Burda, H. (1997): *A magnetic polarity compass for direction finding in a subterranean mammal*. Naturwissenschaften 84: 421-423.
- Mather, J.G., Baker, R.R. (1981): *Magnetic sense of direction in woodmice for route-based navigation*. Nature 291: 152-155.
- Misek, I., Tichy, F., Burda, H. (1996): *SEM structure of the olfactory epithelium in newborn mole-rat (Cryptomys sp., Bathyergidae, Rodentia)*. Acta Vet. Brno 65: 321-328.
- Morlok, W.F. (1983): *Vergleichend- und funktionell - anatomische Untersuchungen an Kopf, Hals und Vorderextremitten subterrner Nagetiere (Mammalia: Rodentia)*. Courier Forschungsinstitut Senckenberg 64: 1-237.
- Mller, M., Burda, H. (1989): *Restricted hearing range in a subterranean rodent, Cryptomys hottentotus (Bathyergidae)*. Naturwissenschaften 76: 134-135.

- Müller, M., Laube, B., Burda, H., Bruns, V. (1992): *Structure and function of the peripheral auditory system in the African mole rat (Cryptomys hottentotus); evidence for a low frequency acoustic fovea.* J. Comp. Physiol. A 171: 469-476.
- Nemec, P., Altmann, J., Marhold, s., Burda, H. and Oelschläger, H.H.A. (2001): *Neuroanatomy of magnetoreception: The superior colliculus involved in magnetic orientation in a mammal.* – Science 294: 366-368
- Nevo, E. (1999): *Mosaic Evolution of Subterranean Mammals; Regression, Progression, and Global Convergence.* Oxford University Press 9: 66-76.
- Oelschläger, H.H.A., Burda, H., Nemec, P. (2002): *Kompaß im Kopf.* Gehirn und Geist 3: 88-89
- Oelschläger, H.H.A., Burda, H. (1992): *LHRH-immunocytochemistry in the nervus terminalis of mammals.* In: Doty, R.L und Müller-Schwarze, D. (eds.) *Chemical Signals in Vertebrates VI.* New York: 31-35.
- Olcese, J.M. (1990): *The neurobiology of magnetic field detection in rodents.* Progr. Neurobiol. 35: 325-330.
- Parkinson, W.C. und Hanks, C.T. (1989): *Experiments on the interaction of electromagnetic fields with mammalian systems.* Biol. Bull. 176: 170-178.
- Popesko, P., Rajtova, V., Horak, J. (1990): *Atlas anatomie malych laboratornych zvierat* (Bände 1 und 2). Priroda, Bratislava.
- Radü, E.W., Kendall, B.E., Moseley, I.F. (1987): *Computertomographie des Kopfes.* Thieme-Verlag Stuttgart, New York.
- Rauschmann, M.A. (1992): *Morphologie des Kopfes beim Schlanken Delphin Stenella attenuata mit besonderer Berücksichtigung der Hirnnerven. Makroskopische Präparation und moderne bildgebende Verfahren.* Med. Diss. Univ. Frankfurt am Main.

- Starck, D. (1961): *Bemerkungen über Grabanpassungen bei Säugetieren und über die äußere Form des Gehirns von Notoryctes typhlops Stirling 1889 (Marsupialia, Notoryctidae)*. Zool. Anz. 166: 423-432.
- Spatz, H. und Stephan, H. (1961): *Adaptive Konvergenz von Schädel und Gehirn bei "Kopfwühlern"*. Zool. Anz. 166: 402-423.
- Tullberg, T. (1899): *Ueber das System der Nagetiere*. Nova Acta Reg. Soc. Sci. Upsala Ser. 3, 18: 1-514.
- Uhlenbrock, D. (1990): *Kernspintomographie des Kopfes*. Thieme-Verlag, Stuttgart, New York.
- Walker, M.M., Kirschvink, J.L., Chang, S-B.R. and Dizon, A.E. (1984): *A candidate magnetic sense organ in the Yellowfin tuna, Thunnus albacares*. Science 224: 751-753.
- Werner, J. (1990): *Wasserhaltige Glykolmethacrylat- Einbettmedien für die Histologie - Mit besonderer Berücksichtigung von RWL-Medium -*. RWL Histotechnologie Vagen/Obb. - Prospekt.
- Werner, J. (1990): *RWL G-Stain Färbemethoden für Glykolmethacrylat*. RWL Histotechnologie Vagen/Obb. - Prospekt.
- Willingstorfer, W., Burda, H., Winckler, J. (1998): *Ovarian growth and folliculogenesis in breeding and non-breeding females of a social rodent, the Zambian common mole-rat, Cryptomys sp.* J. Morphol. 237: 33-41.
- Zoeger, J., Dunn, J.R. and Fuller, M. (1981): *Magnetic material in the head of the Common Pacific Dolphin*. Science 213: 892-894.

# 8 Bildteil

## 8.1 Abkürzungsverzeichnis

(Nomenklatur nach Popesko et al., 1990)

- *Cryptomys*

<b>A</b>	Arcus dorsalis atlantis	<b>D</b>	Dentes molares
a	Apertura nasi externa	<b>E</b>	Os ethmoidale
AB	Ala ossis basisphenoidalis	e	Endoturbinalia
AM	Angulus mandibulae	eg	Epiglottis
AP	Ala ossis praesphenoidalis	ep	Epipharynx
AZ	Arcus zygomaticus		
<b>B</b>	Os basisphenoidale	<b>F</b>	Os frontale
b	Backenschleimhaut	f	Foramen infraorbitale
BD	Bulla dorsalis	fc	Fossa cranii caudalis
BT	Bulla tympanica	fi	Foramen incisivum
		FM	Fossa masseterica
<b>C</b>	Cochlea (Innenohr)	fm	Foramen mentale
c	Cavum cranii	fp	Fossa sphenopterygoidea
Ca	Cartilago cricoidea	fr	Fossa cranii rostralis
CB	Corpus mandibulae	fs	Fissura sphenoidalis
CF	Crista facialis	fsm	Foramen stylomastoideum
CI	Corpus ossis incisivi	ft	Fossa pterygoidea
cl	Canalis lacrimalis	ftm	Foramen temporale
CM	Corpus maxillae		
cn	Cavum nasi	<b>G</b>	Glandula parotidea
CN	Conchae nasales	Gi	Glandula infraorbitalis
CO	Condylus occipitalis	Gl	Glandula lacrimalis
CP	Corpus ossis praesphenoidalis	Gm	Glandula mandibularis
CrM	Crista masseterica		
CT	Cavum tympani (Mittelohr)	<b>I</b>	Os incisivum
		IO	Dentes incisivi (Oberkiefer)
		IU	Dentes incisivi (Unterkiefer)

IP	Os interparietale	OK	Oberkiefer
<b>L</b>	Lingua	<b>P</b>	Os palatinum
l	Larynx	p	Porus acusticus externus
Lhm	Lamina horizontalis corporis maxilla	PA	Os parietale
Lhp	Lamina horizontalis corporis palatini	PAL	Processus alveolaris maxillae seu mandibulae
Lpm	Lamina perpendicularis ossis mandibulae seu ossis maxilla	PAM	Processus articularis mandibulae
Lpp	Lamina perpendicularis ossis palatini	PAN	Processus angularis mandibulae
<b>M</b>	Os maxillare	PB	Pars basalis ossis occipitalis
m	Meatus acusticus externus	PC	Processus coronoideus mandibulae
Ma	Musculus masseter	ph	Pharynx
MB	Mandibula	PI	Pars incisiva mandibulae
Mf	Musculus frontalis	PM	Pars molaris
mo	Medulla oblongata	pm	Palatum molle
Mp	Musculi pterygoidei medialis et lateralis	PMA	Processus mastoideus
Ms	Musculus sternohyoideus	PMT	Processus maxillaris ossis temporalis
Mt	Musculus temporalis	PP	Processus paracondylaris
Mz	Musculus zygomatico-mandibularis anterior	PPB	Processus pterygoideus ossis sphenoidalis
Mzi	Pars infraorbitalis des Mz	PPI	Processus palatinus ossis incisivi
<b>N</b>	Os nasale	PPM	Processus palatinus ossis maxilla
n	Canalis nasolacrimalis	PPT	Pars petrosa ossis temporalis
<b>O</b>	Os occipitale	PS	Os praesphenoidale
o	Oesophagus	PSM	Processus supramastoideus
		PST	Pars squamosa ossis temporalis
		PT	Os pterygoideum
		PZM	Processus zygomaticus ossis maxillaris

PZT	Processus zygomaticus ossis temporalis	<b>Symbole</b>	
		*	Foramen ovale
<b>S</b>	Septum nasi		
s	Sinus paranasales	o	Foramen interpraemaxillare
SA	Schneidezahnalveole		
sa	Sacculus	<	Sulcus (Fossa) mandibulae
SM	Sulcus mandibulae		
SO	Squama occipitalis	+	Labyrinth (Bogengänge)
<b>T</b>	Os temporale	x	Trachealspange
t	Trachea		
TY	Os tympanicum	#	Gehörknöchelchen
<b>U</b>	Unterkiefer	1.HW	erster Halswirbel (Atlas)
<b>V</b>	Vomer		
<b>Z</b>	Os zygomaticum		

**- Meerschweinchen (Abkürzungsverzeichnis aus Popesko et al., 1990)**

**Abb. 20 (Dorsalansicht)**

1. Os interparietale
2. Squama occipitalis
3. Os parietale
- 4.- 10. Os temporale
- 4.- 6. Pars squamosa ossis temporalis
5. Processus zygomaticus
6. Processus caudalis
7. Processus mastoideus
8. Bulla dorsalis
9. Porus acusticus externus
10. Linea temporalis
11. Os zygomaticum
- 12.- 14. Maxilla
12. Processus alveolaris
13. Processus zygomaticus
14. Facies facialis
- 15., 16. Os incisivum
17. Os nasale
18. Os frontale
19. Processus zygomaticus ossis frontalis
20. Orbita
21. Hiatus infraorbitalis
22. Arcus zygomaticus
23. Dens incisivus

**Abb. 21 (Lateranansicht von links)**

1. Os nasale
- 2.- 4. Os incisivum
2. Corpus
3. Processus alveolaris
- 5.- 8. Maxilla
5. Facies facialis
6. Facies orbitalis
7. Processus alveolaris
8. Processus zygomaticus
- 9.- 11. Os lacrimale
9. Facies facialis
10. Facies nasalis
11. Facies orbitalis
- 12.- 14. Os frontale
12. Squama frontalis
13. Facies orbitalis
14. Margo orbitalis
15. Os parietale
16. Os interparietale
- 17.- 19. Os occipitale
17. Squama occipitalis
- 18., 19. Pars lateralis
18. Condylus occipitalis
19. Processus paracondylaris
- 20.- 24. Os temporale
- 20.- 22. Pars squamosa
21. Processus retrotympanicus
22. Processus zygomaticus
23. Pars tympanica
24. Processus mastoideus
25. Os zygomaticum
26. Ala ossis praesphenoidalis
27. Lamina perpendicularis ossis palatini
28. Os pterygoideum
- 29.- 31. Mandibula
29. Processus coronoideus
30. Corpus
31. Ramus

## 8.2 Abbildungsverzeichnis

### SCHÄDELKNOCHENZEICHNUNGEN

- CRYPTOMYS (nach Boller 1970)

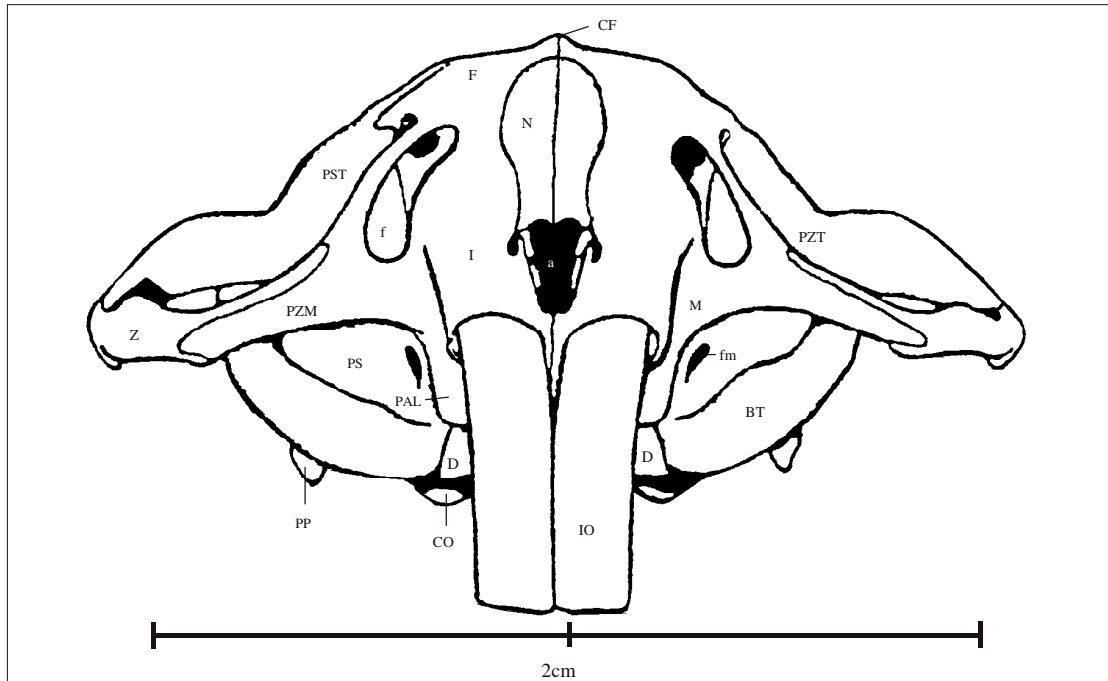


Abb. 1 - Rostralansicht ohne Unterkiefer

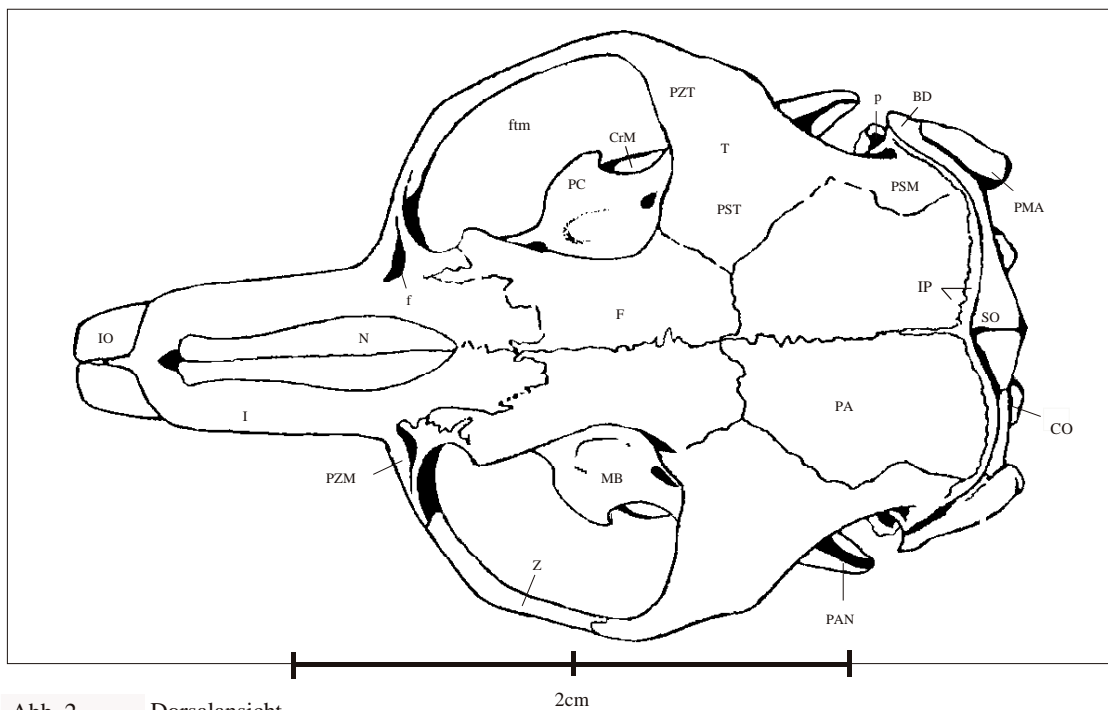


Abb. 2 Dorsalansicht

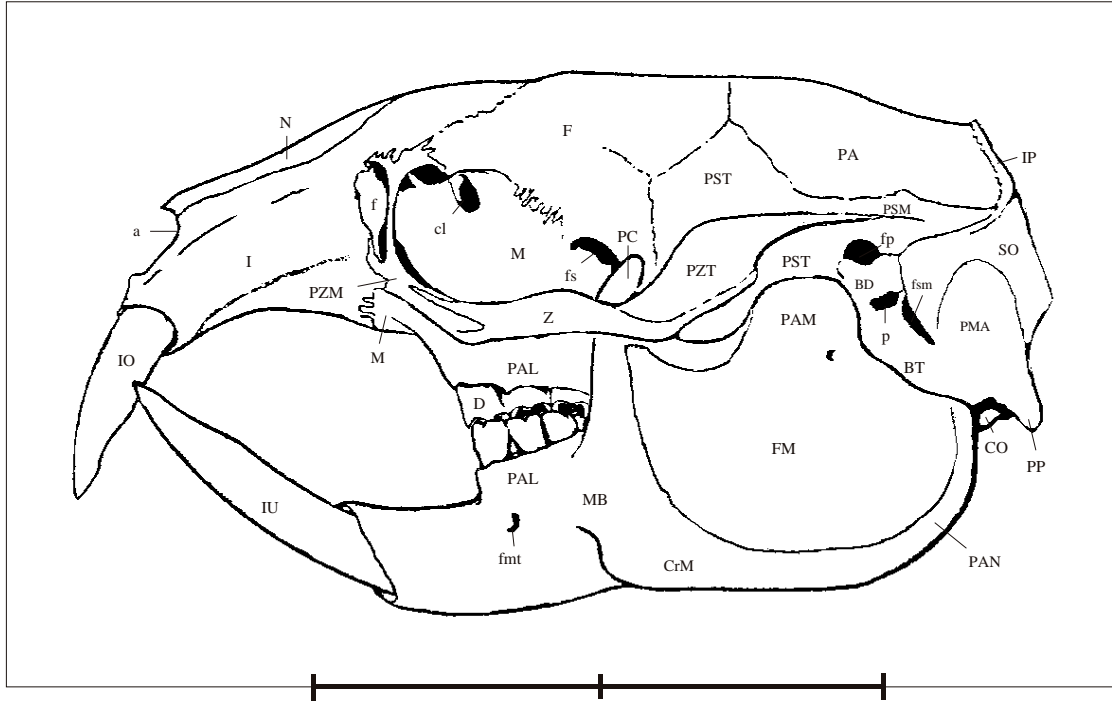


Abb. 3 - Seitenansicht ( links )

2cm

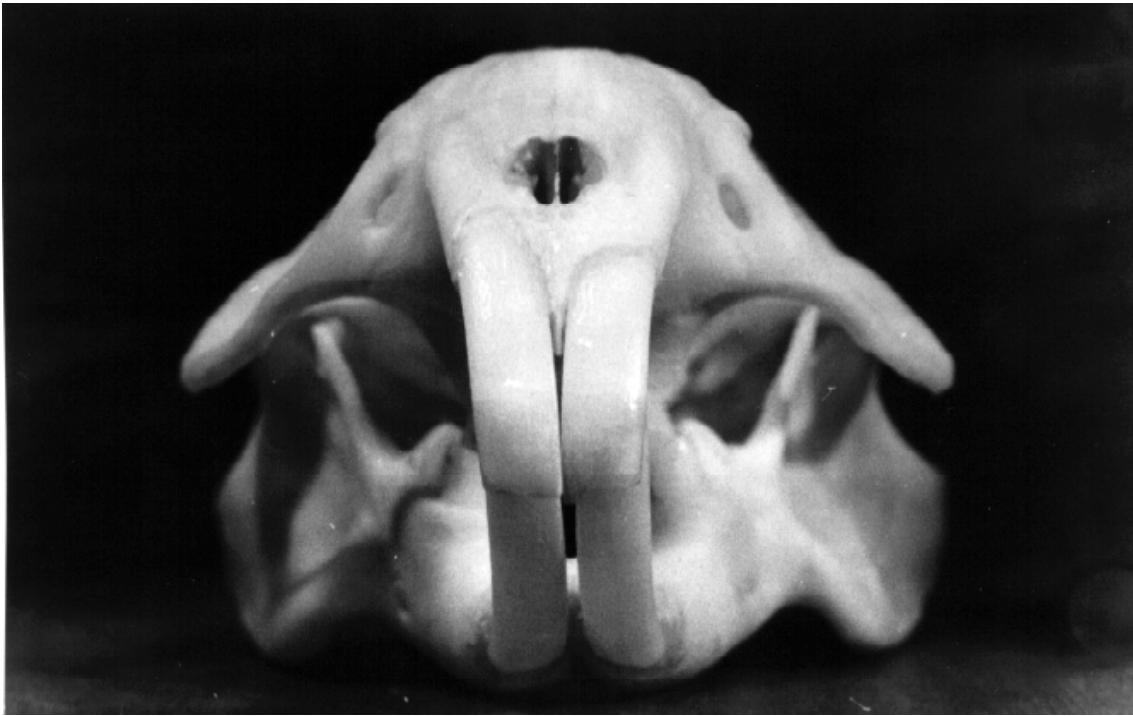


Abb. 4 - Rostralansicht



Abb. 5 - Dorsalansicht



Abb. 6 - Lateralansicht von links



Abb. 7 - Rostrolateralansicht (links)



Abb. 8 - Laterokaudalansicht (links)



Abb. 9 - Ventralansicht



Abb. 10 - Dorsolaterokaudalansicht

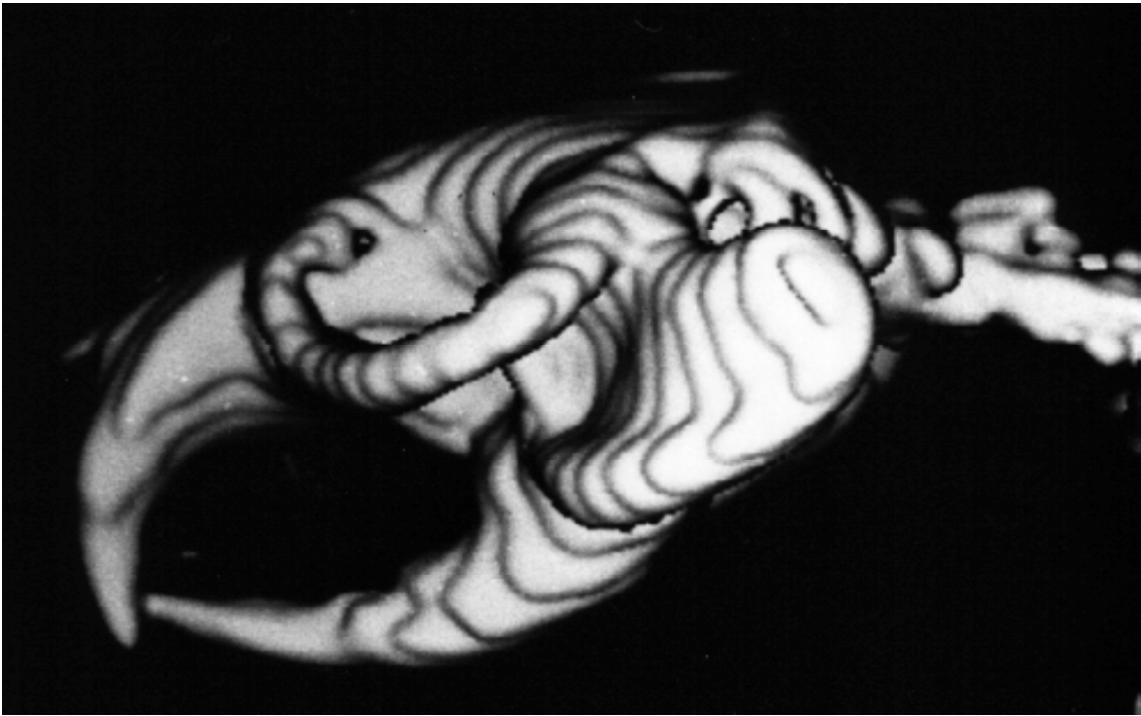


Abb. 11 - Laterolateralansicht von links

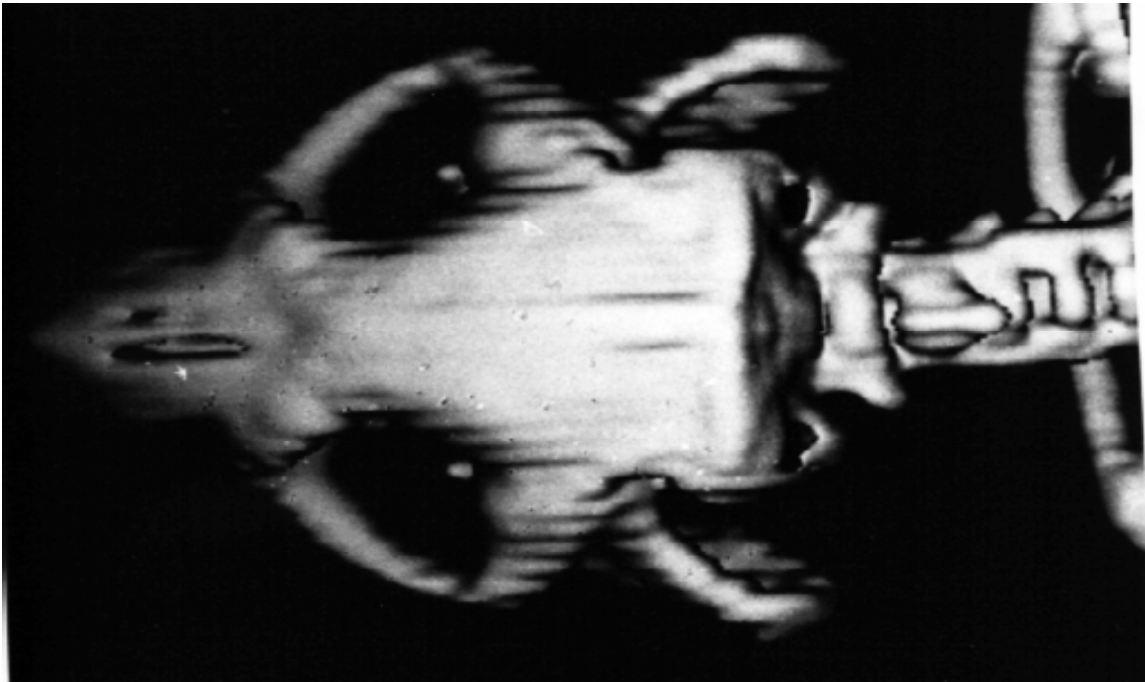


Abb. 12 - Dorsalansicht

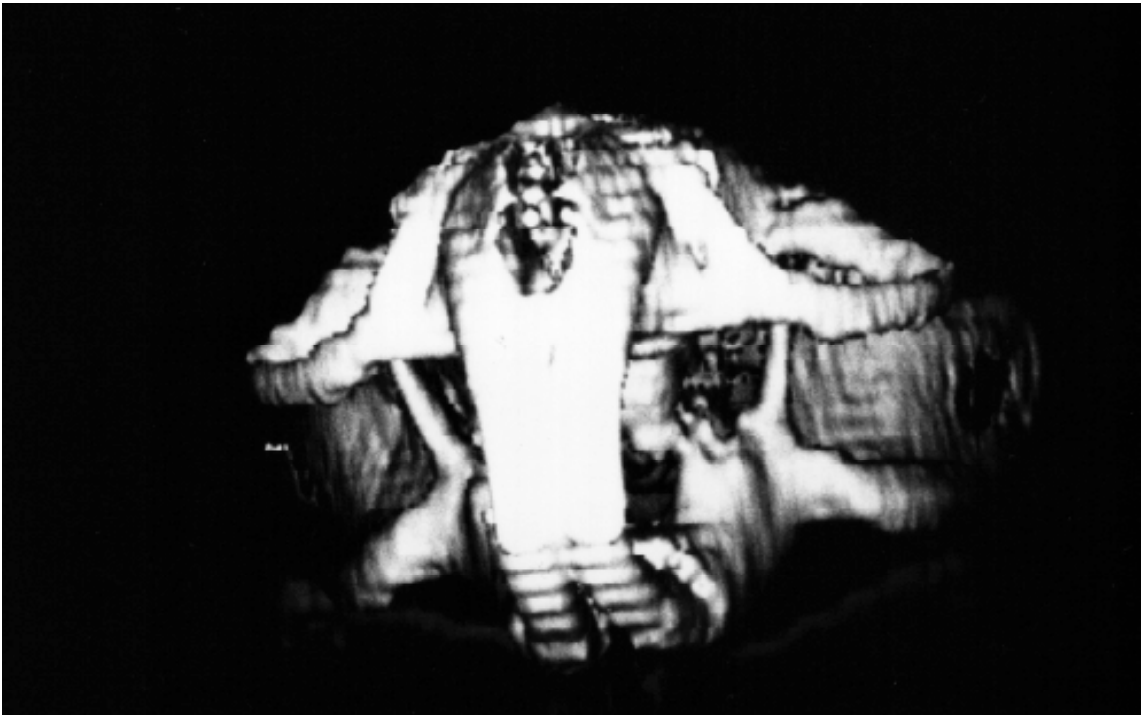


Abb. 13 - Rostralansicht

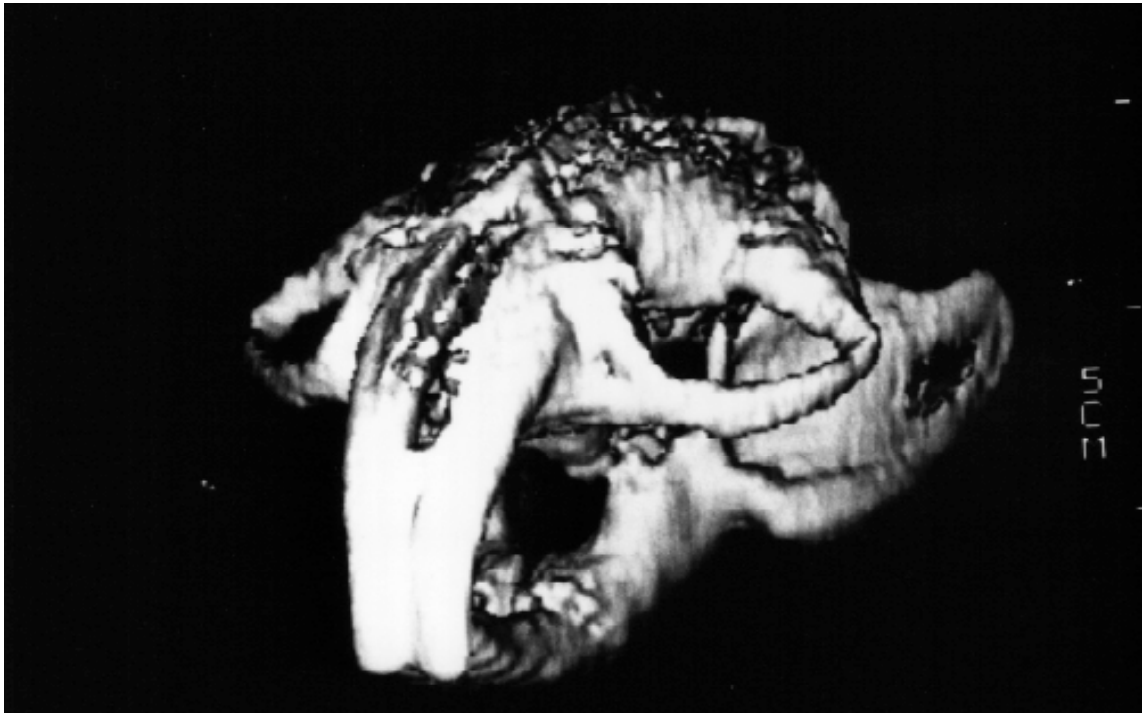


Abb 14 - Rostrolateralansicht von links

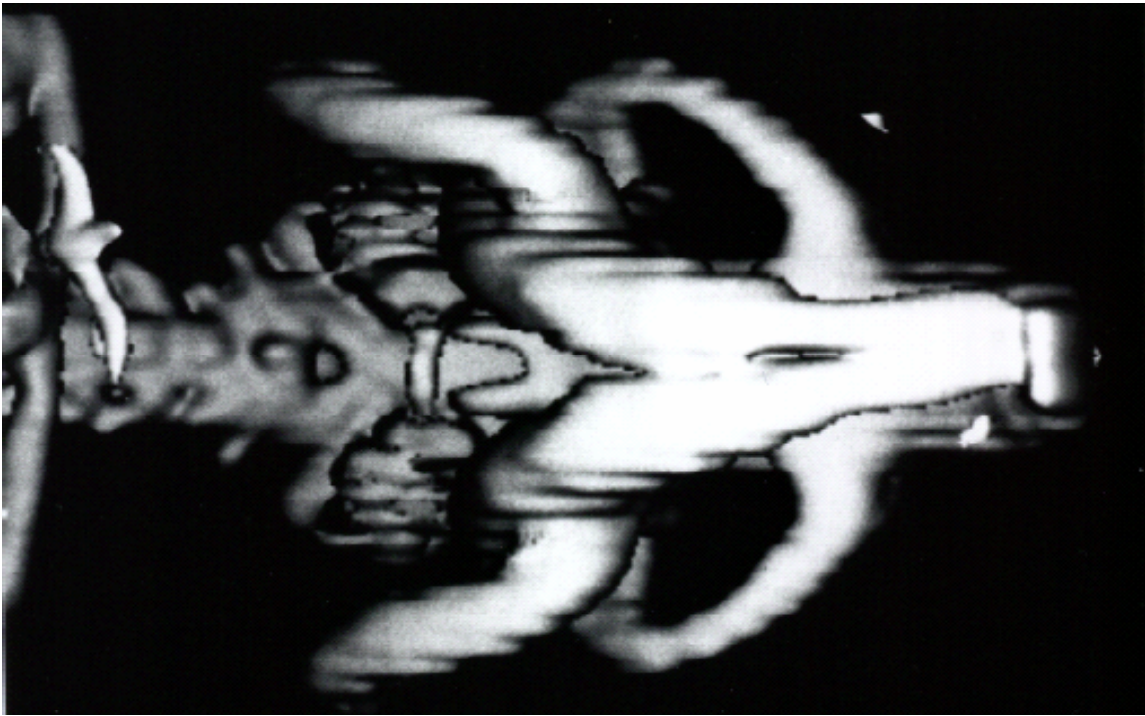


Abb. 15 - Ventralansicht

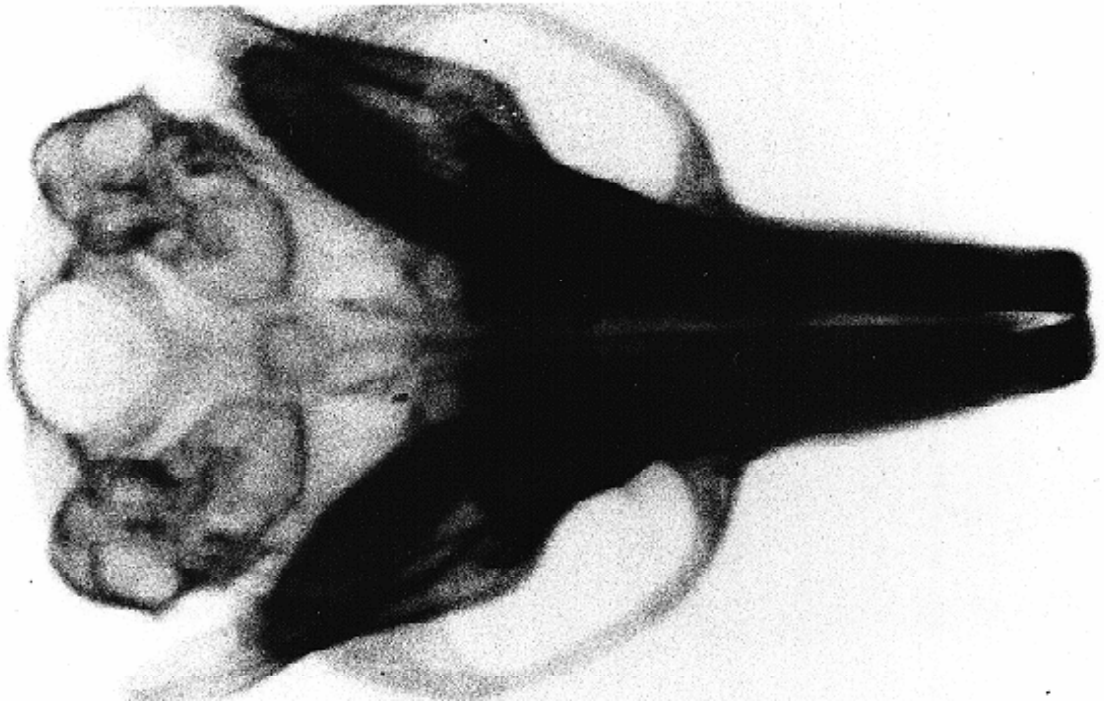


Abb. 16 - Dorsoventraler Strahlengang



Abb. 17 - Laterolateraler Strahlengang

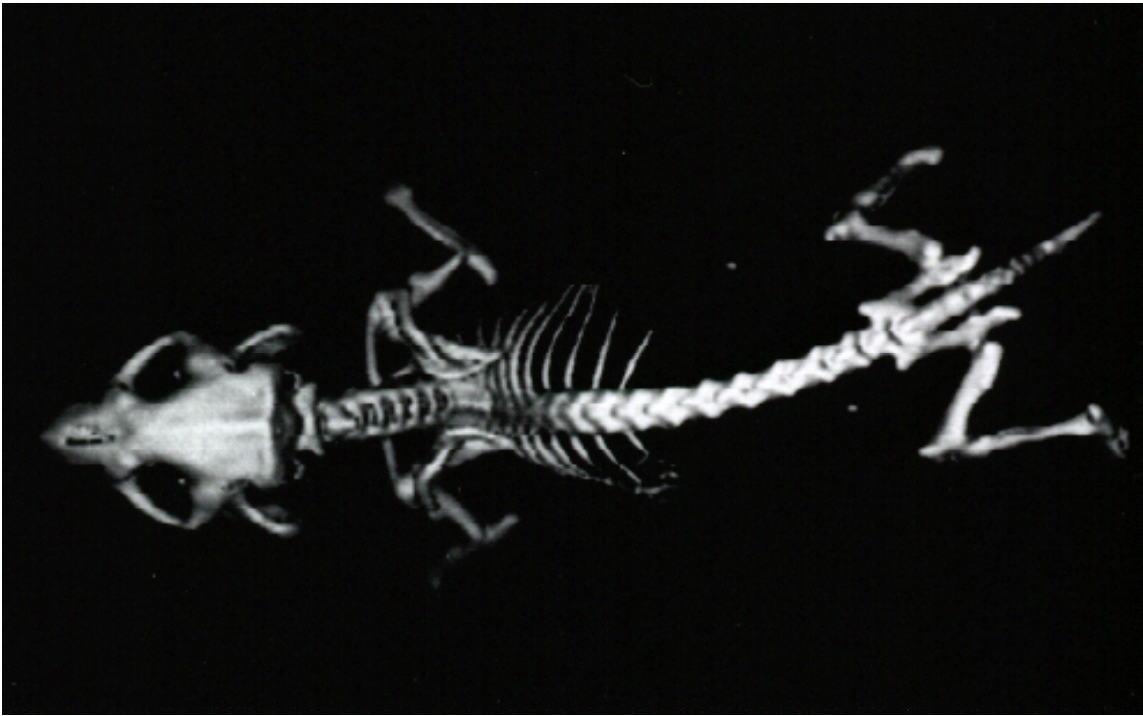


Abb. 18 - Dorsalansicht



Abb. 19 - Dorsolateralansicht von rechts

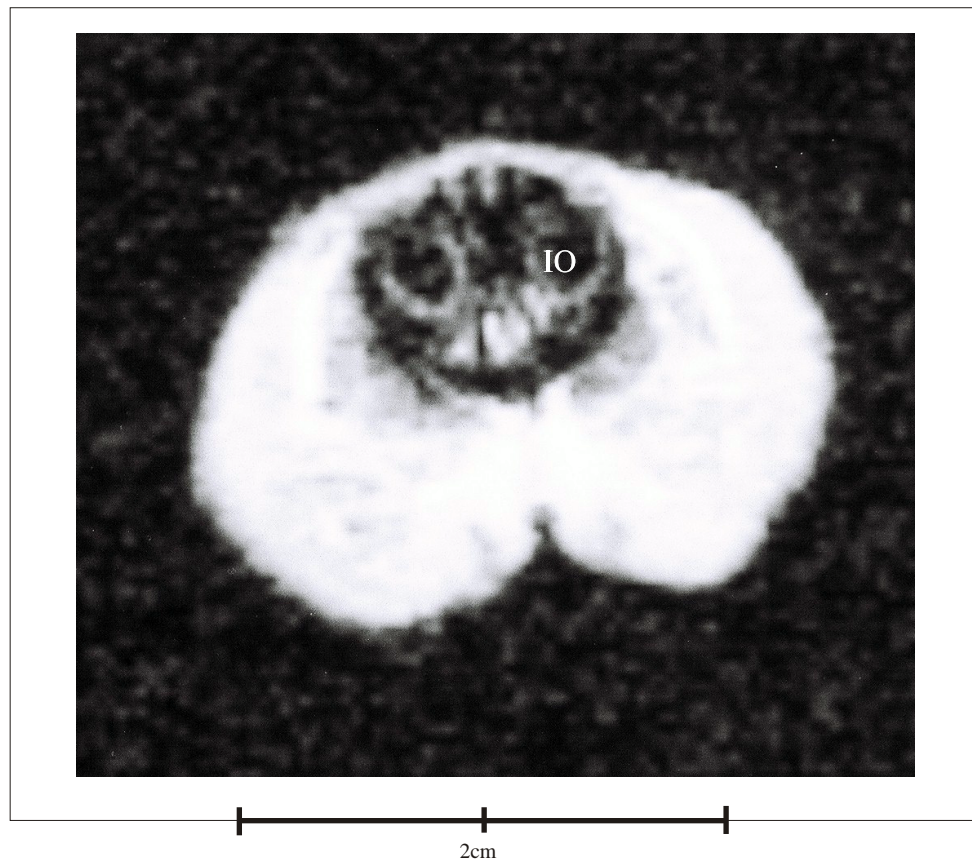


# Transversale Schnittserie von Cryptomys

tHisto 1

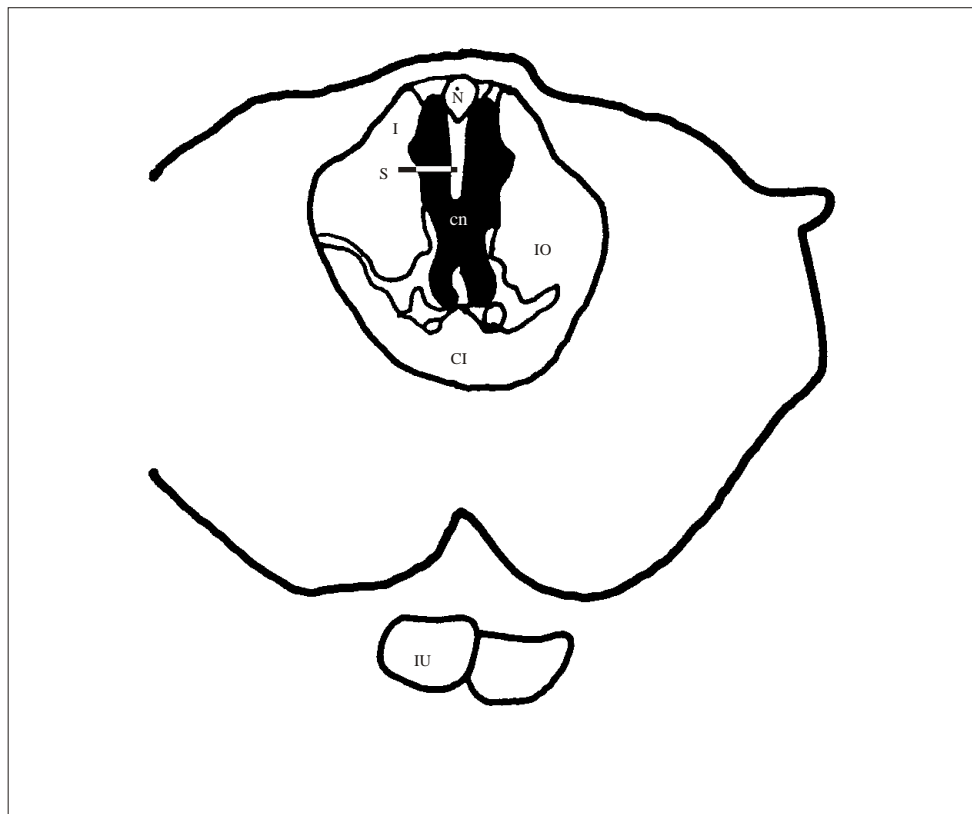
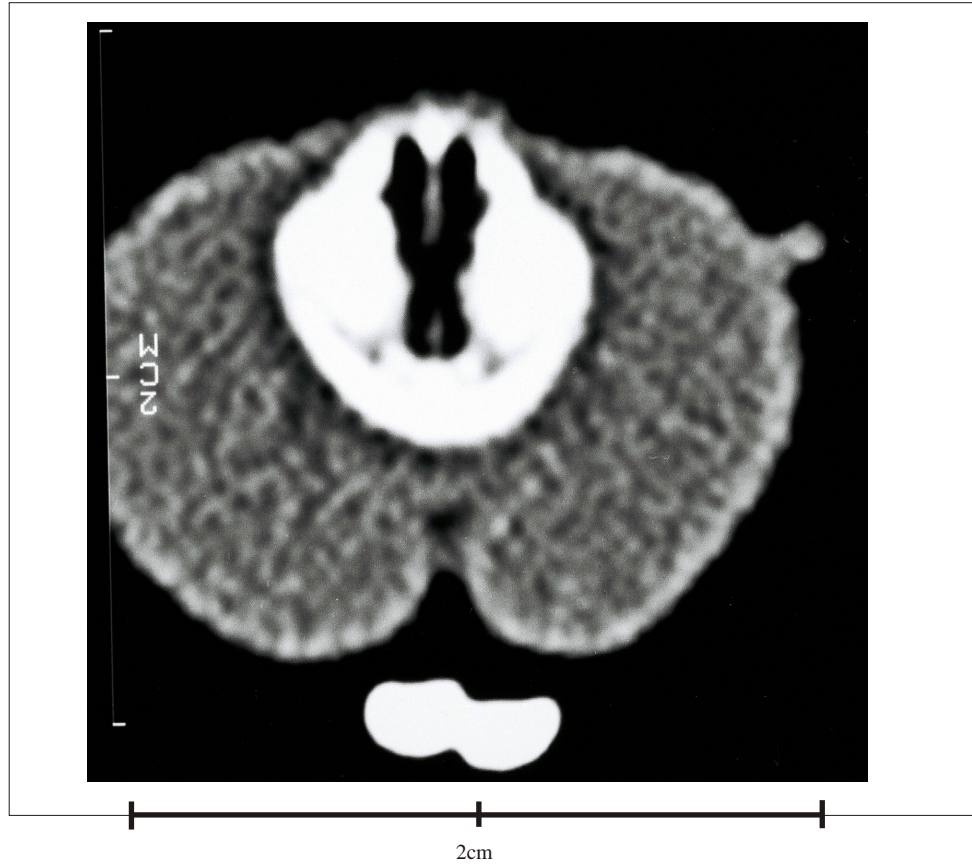


tMRT 1



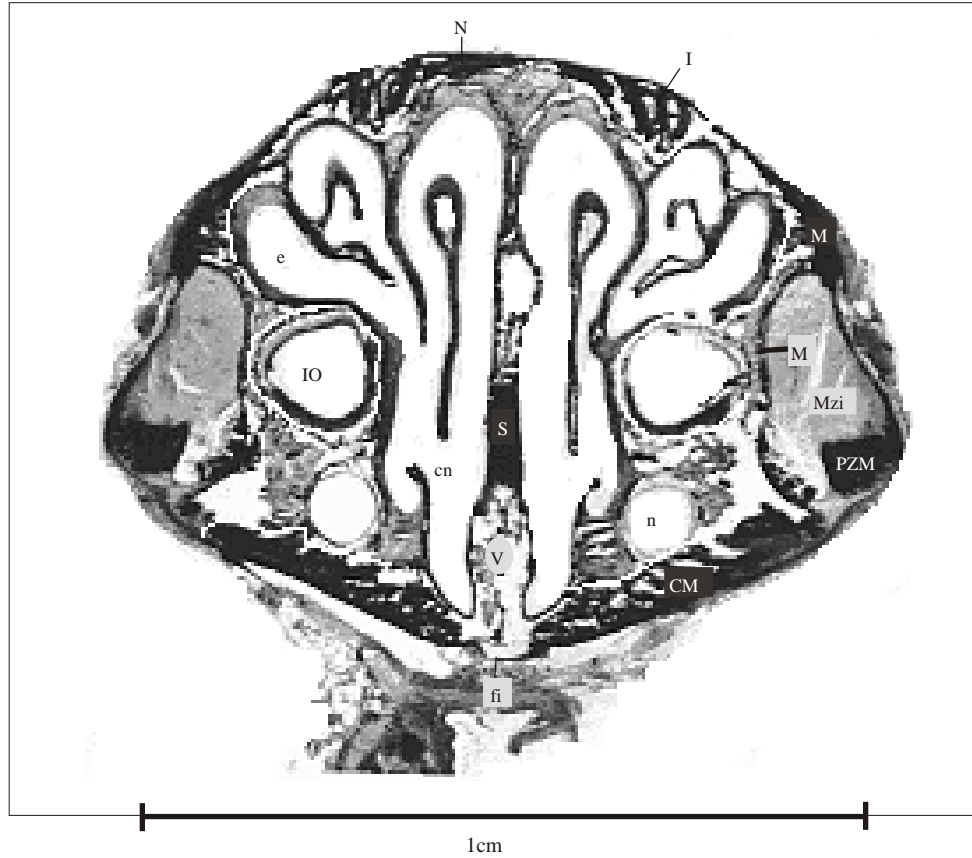
# Transversale Schnittserie von Cryptomys

tCT1

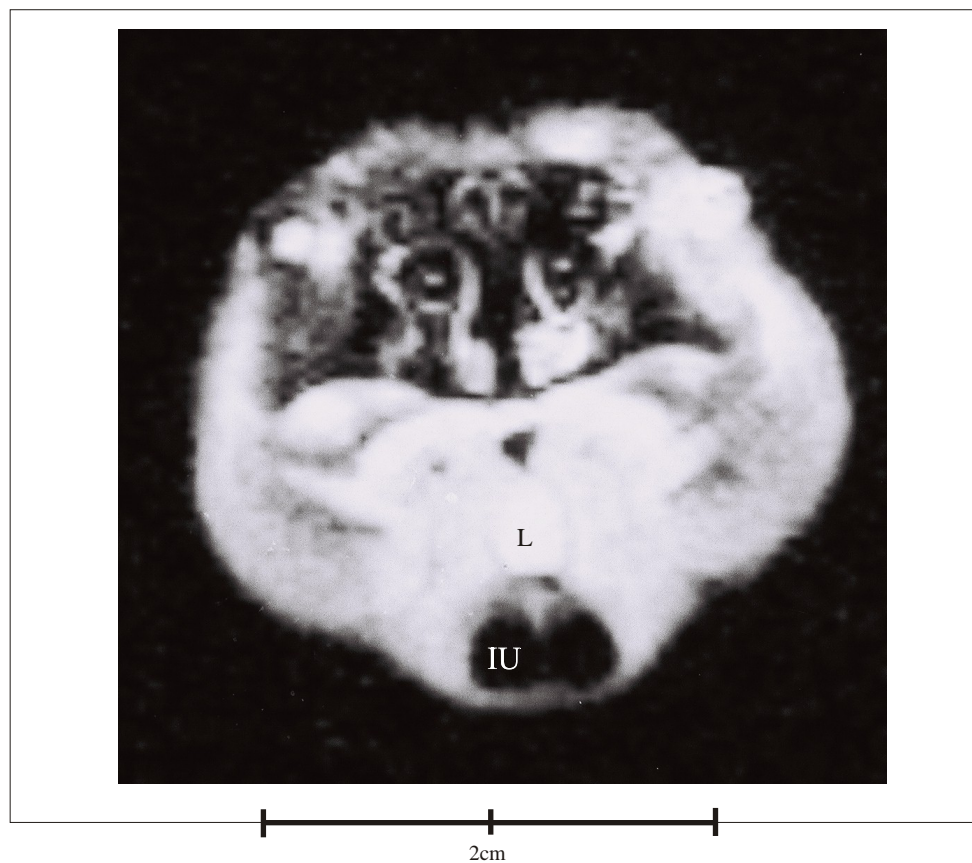


# Transversale Schnittserie von Cryptomys

tHisto2



tMRT2

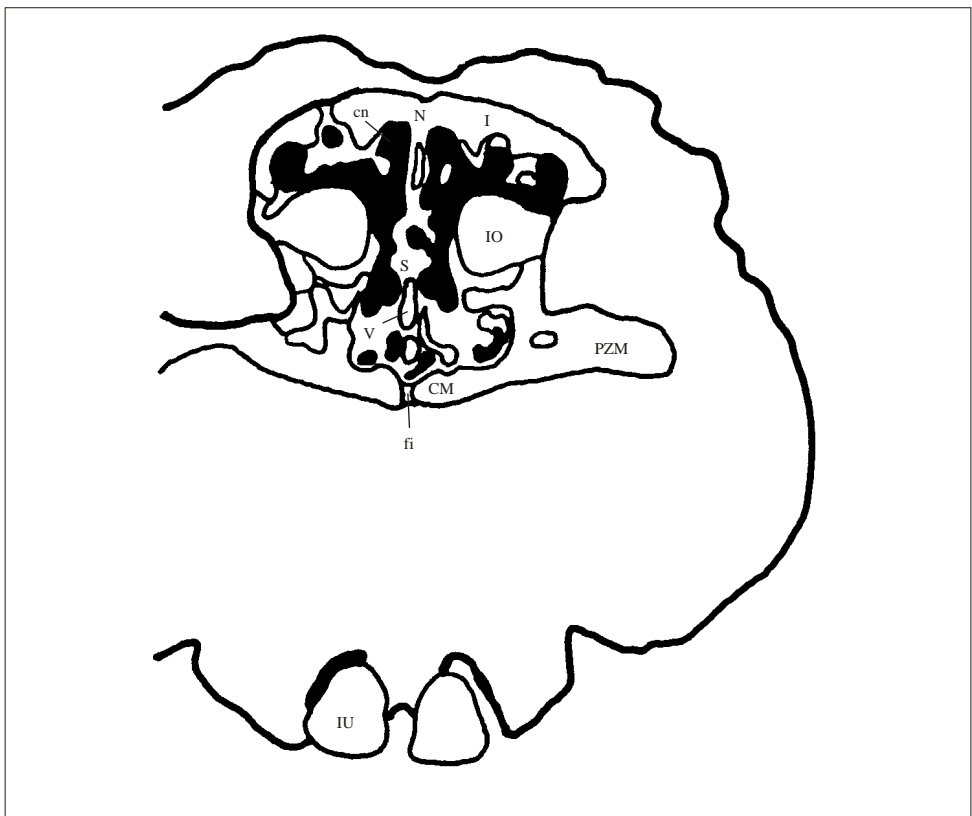


# Transversale Schnittserie von Cryptomys

tCT2

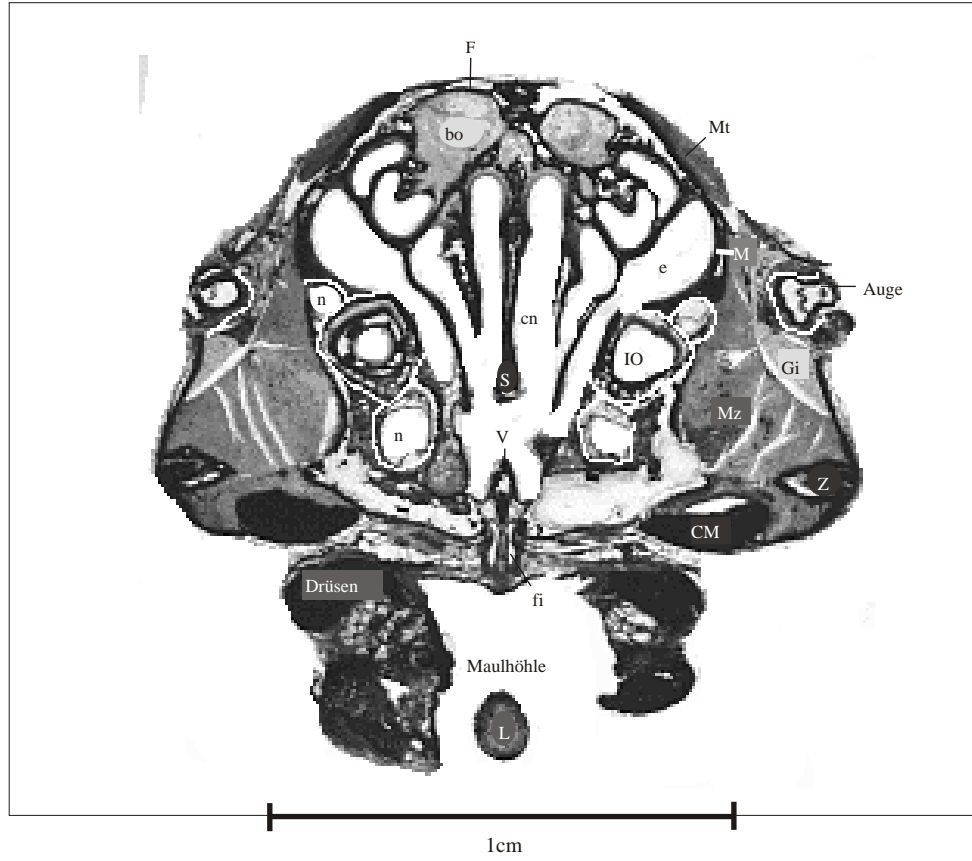


2cm

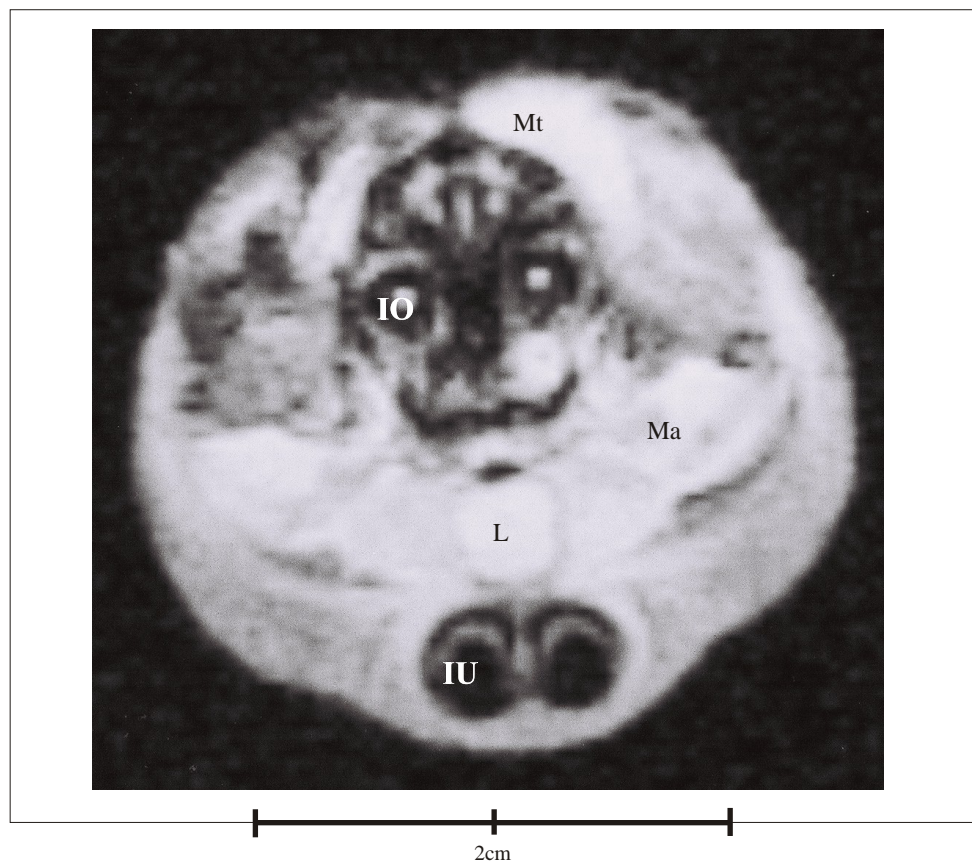


# Transversale Schnittserie von Cryptomys

tHisto3



tMRT3

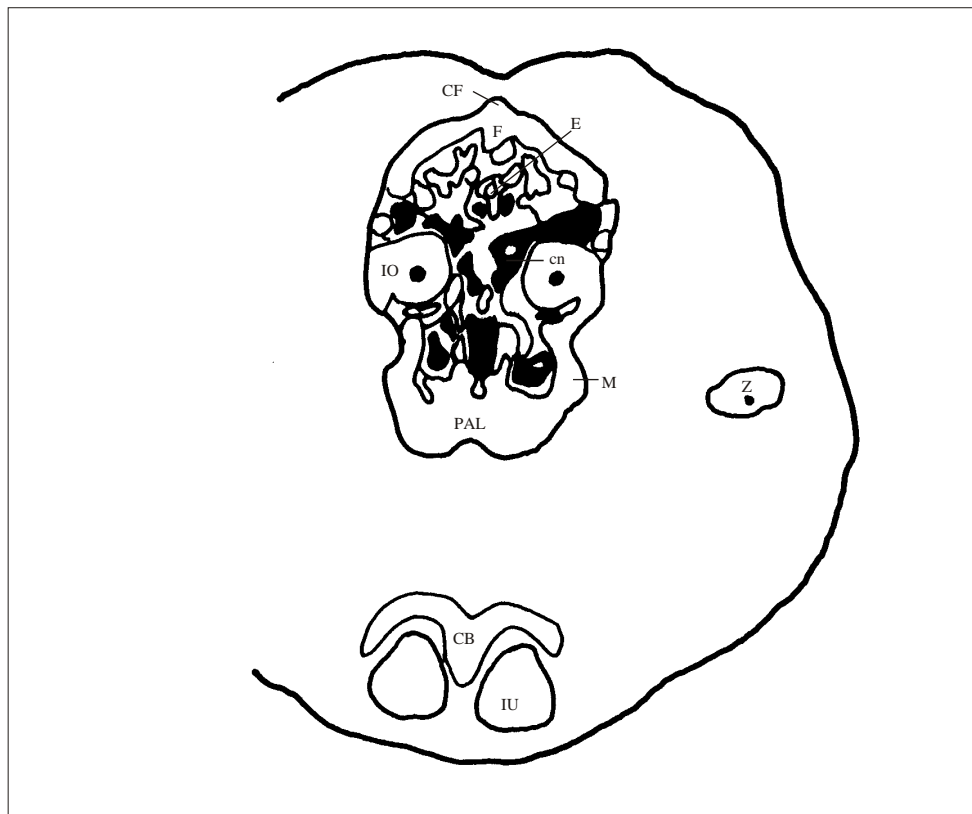


# Transversale Schnittserie von Cryptomys

tCT3

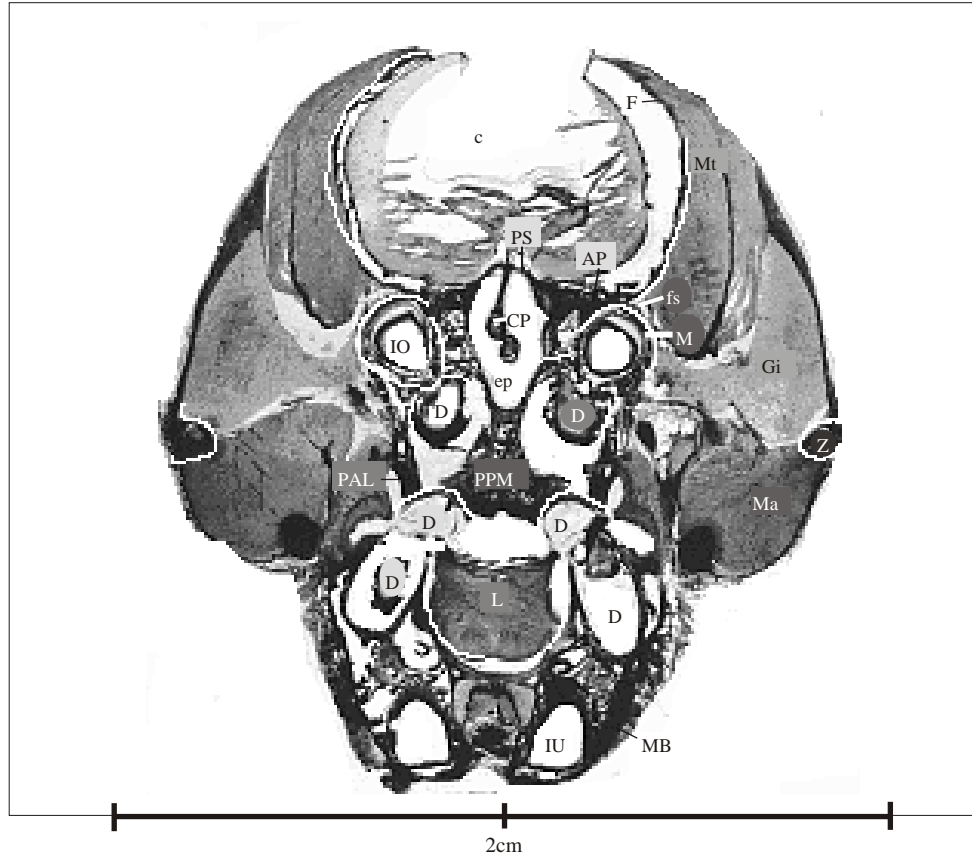


2cm

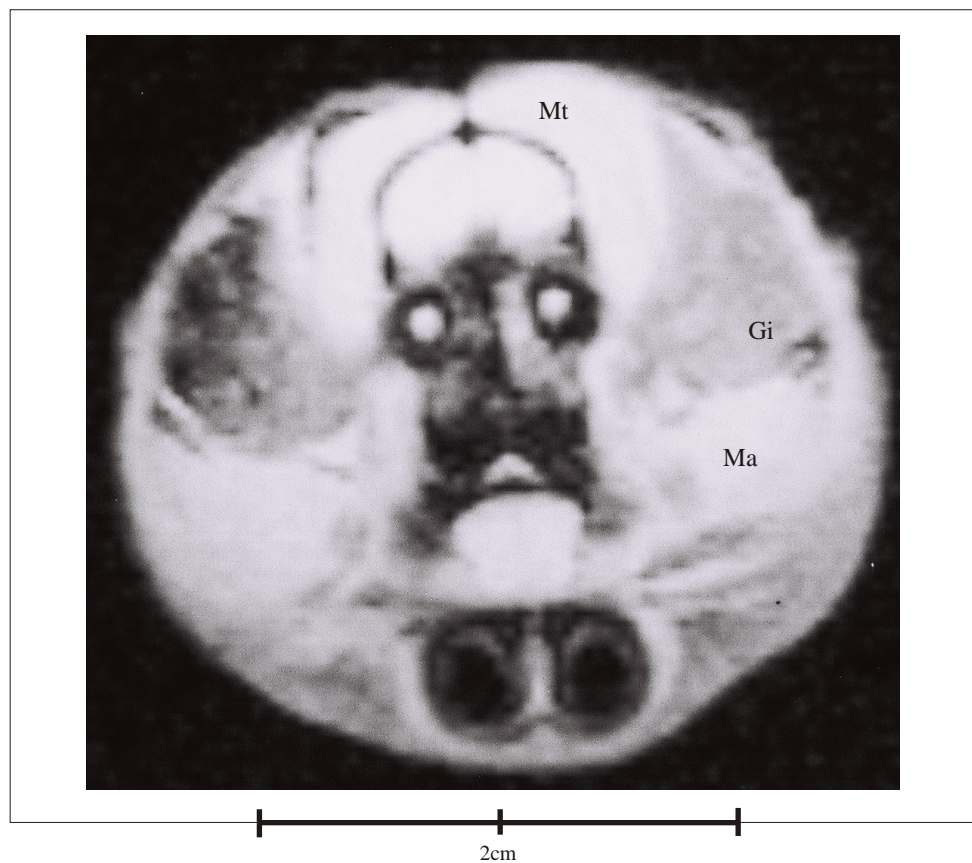


# Transversale Schnittserie von Cryptomys

tHisto4



tMRT4

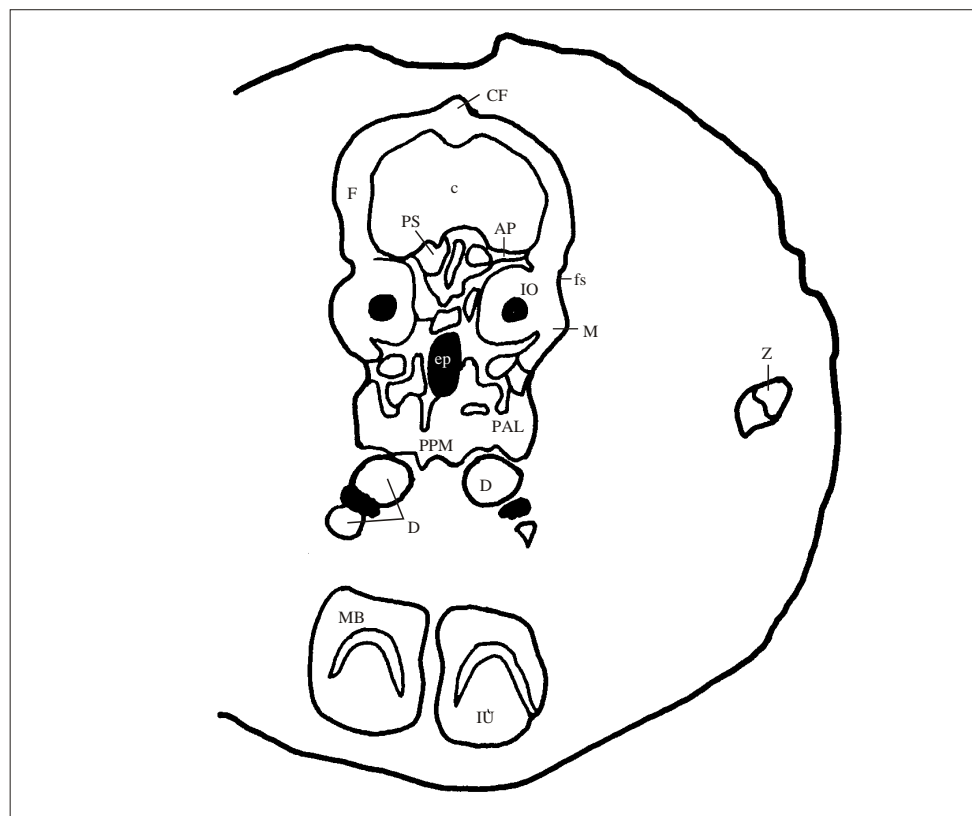


# Transversale Schnittserie von Cryptomys

tCT4

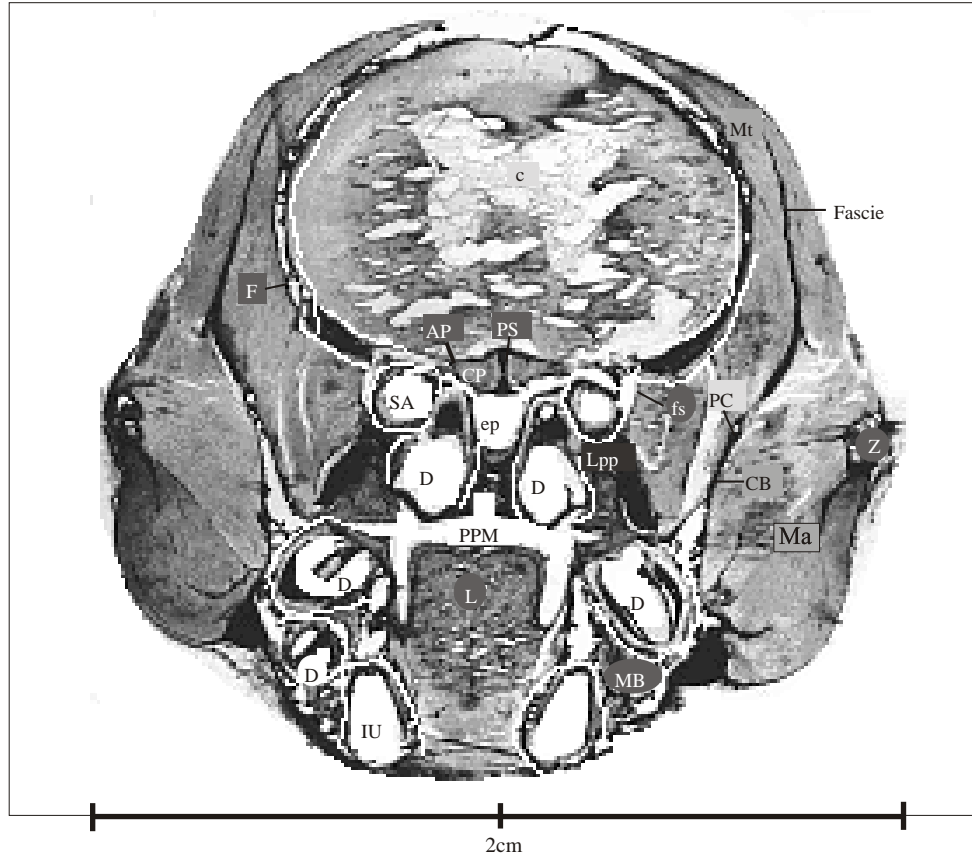


2cm

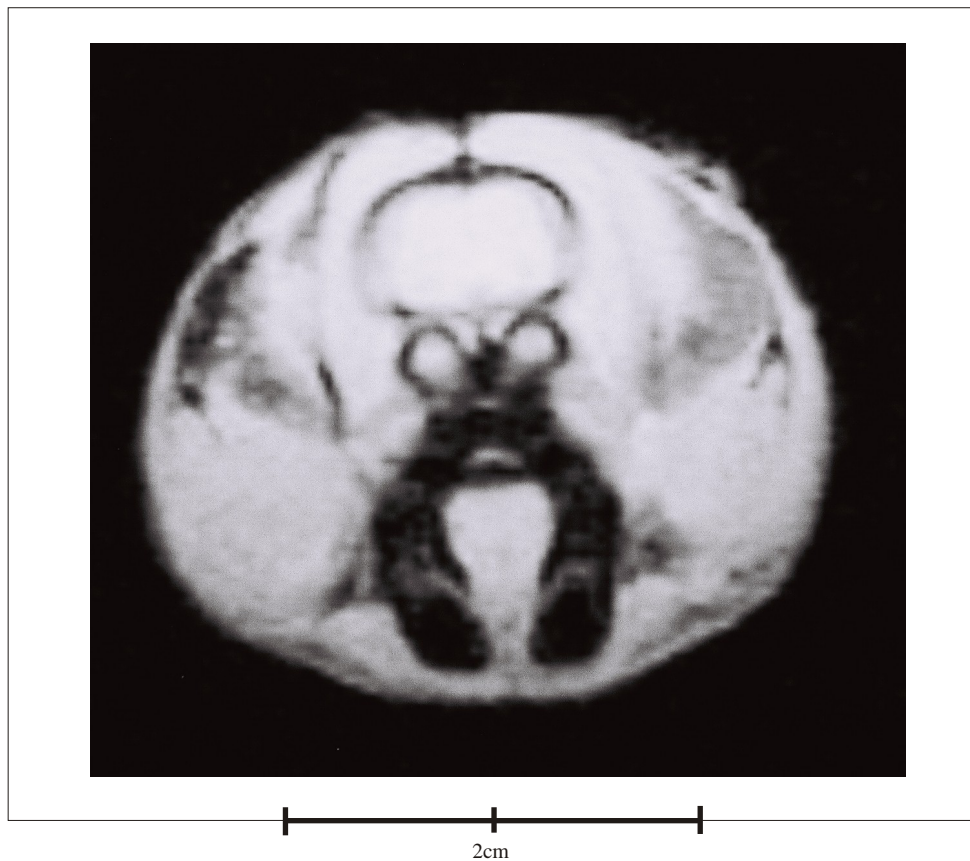


# Transversale Schnittserie von Cryptomys

tHisto5

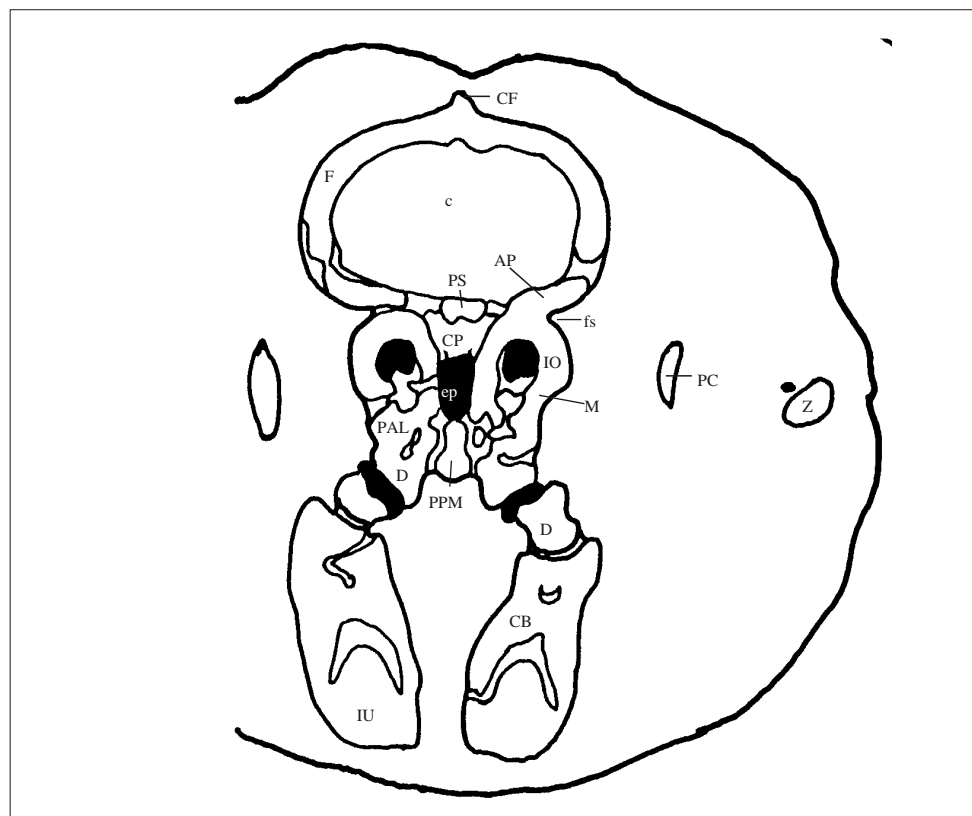


tMRT5



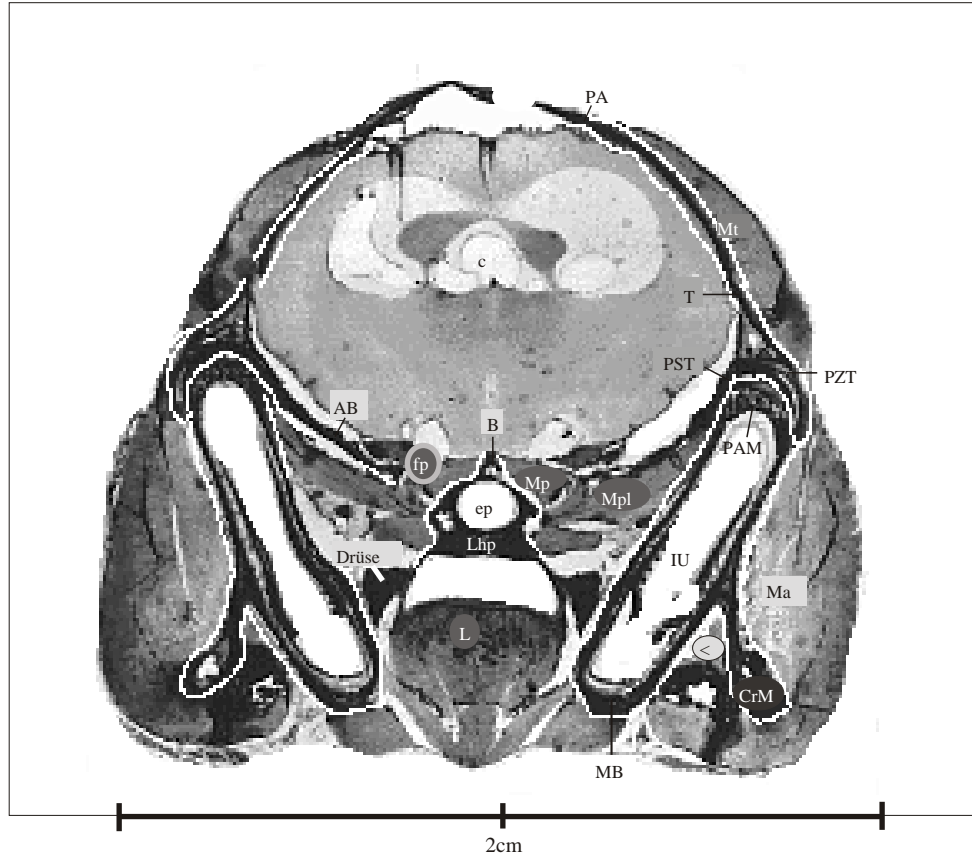
# Transversale Schnittserie von Cryptomys

tCT5

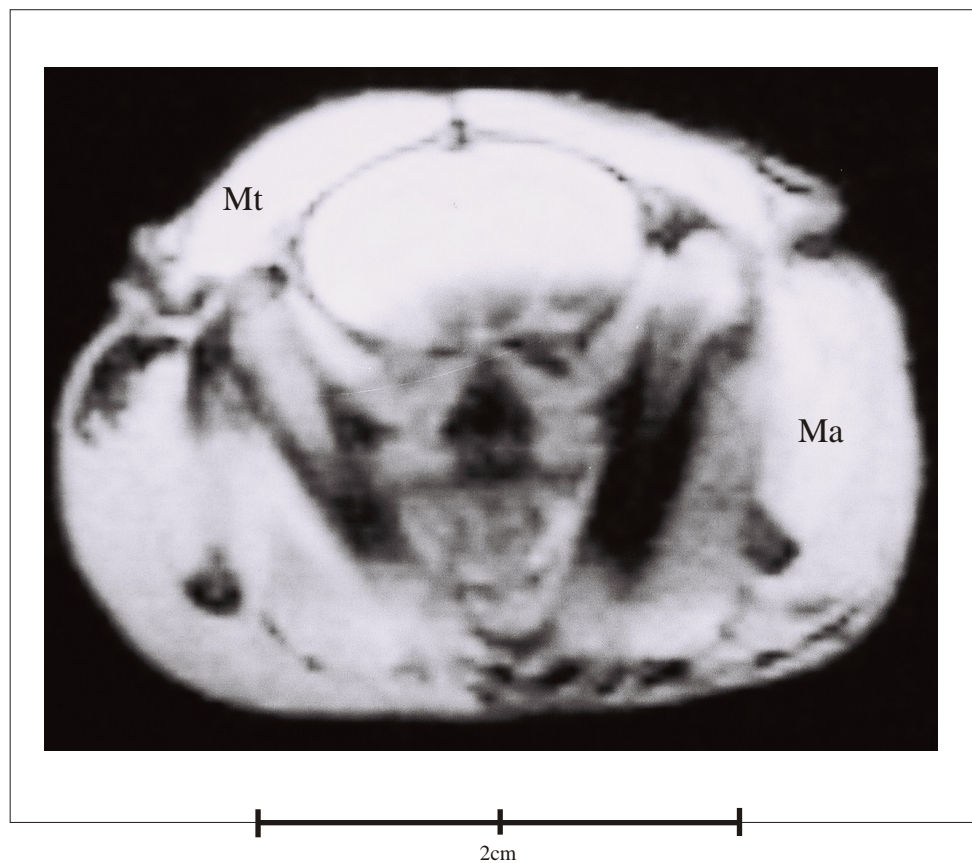


# Transversale Schnittserie von Cryptomys

tHisto6

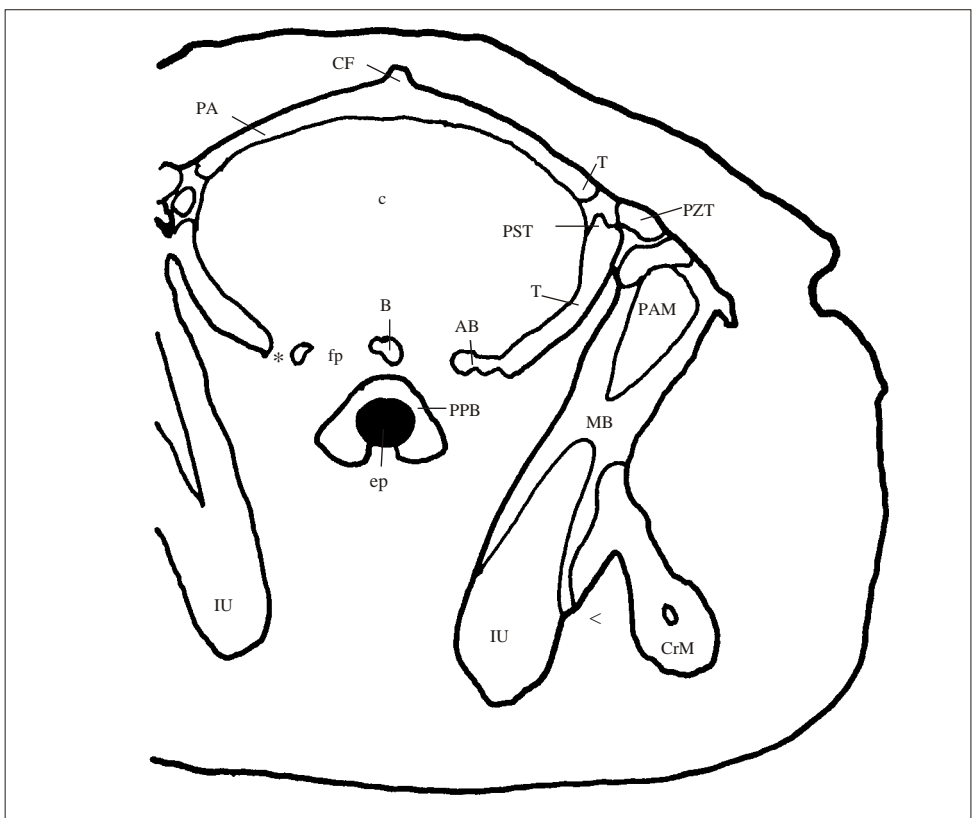


tMRT6



# Transversale Schnittserie von Cryptomys

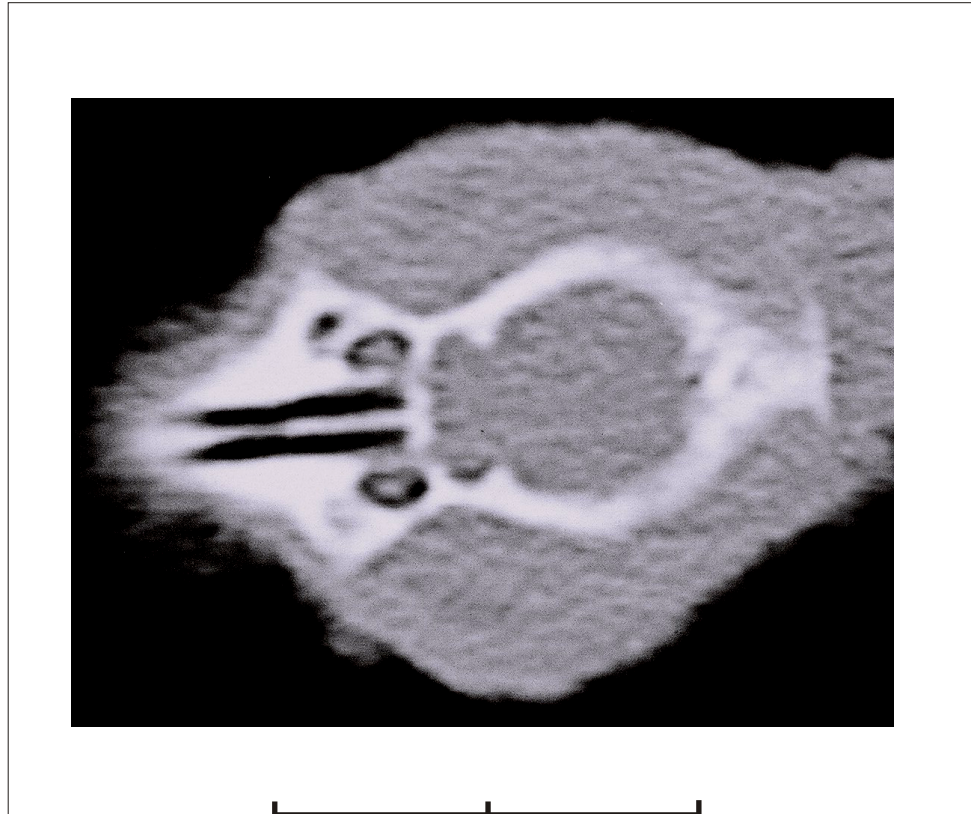
tCT6



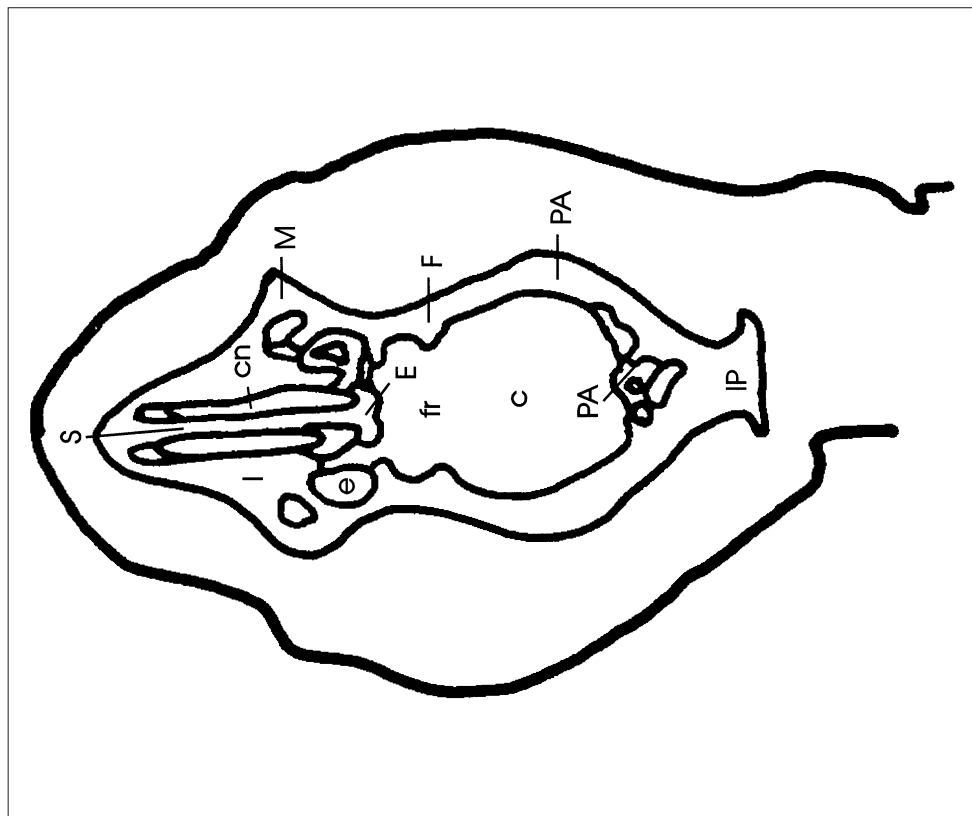


# Horizontale Schnittserie von Cryptomys

hCT1

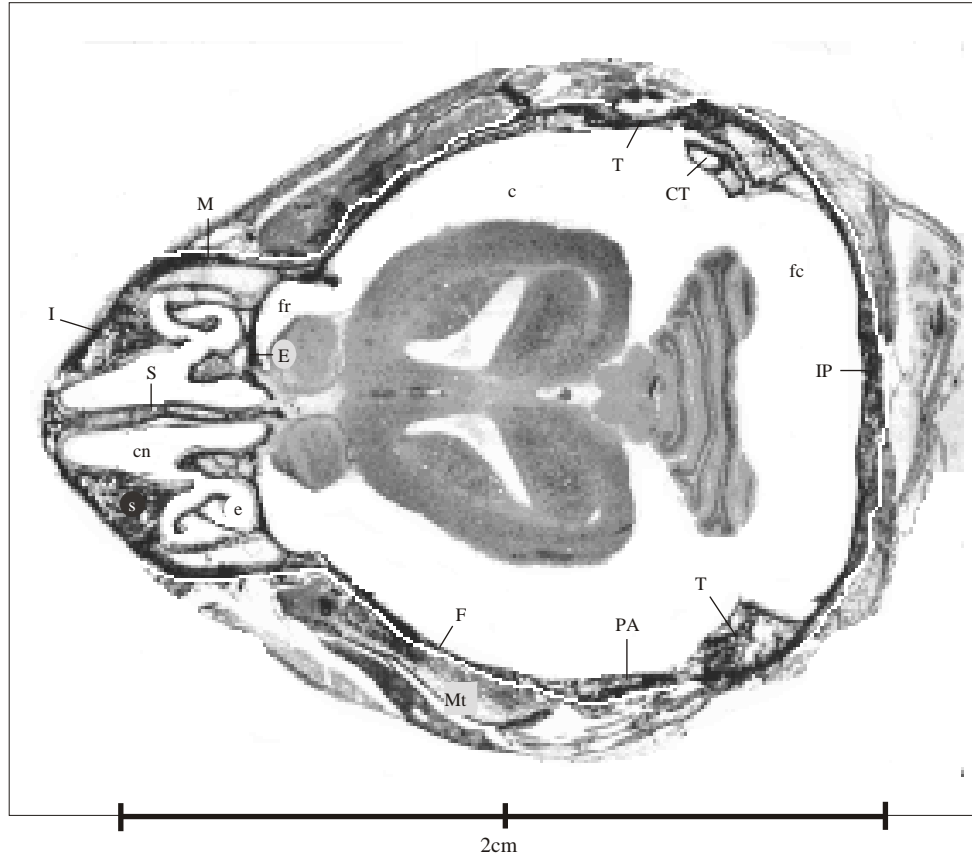


2cm

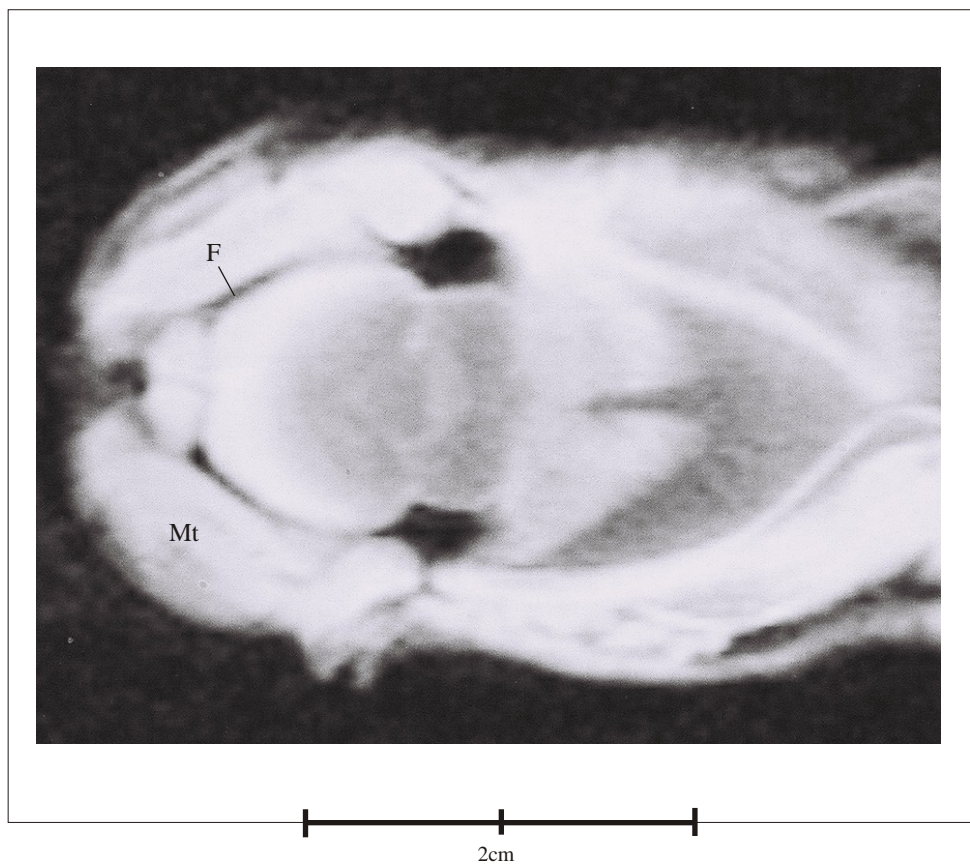


# Horizontale Schnittserie von Cryptomys

hHisto2

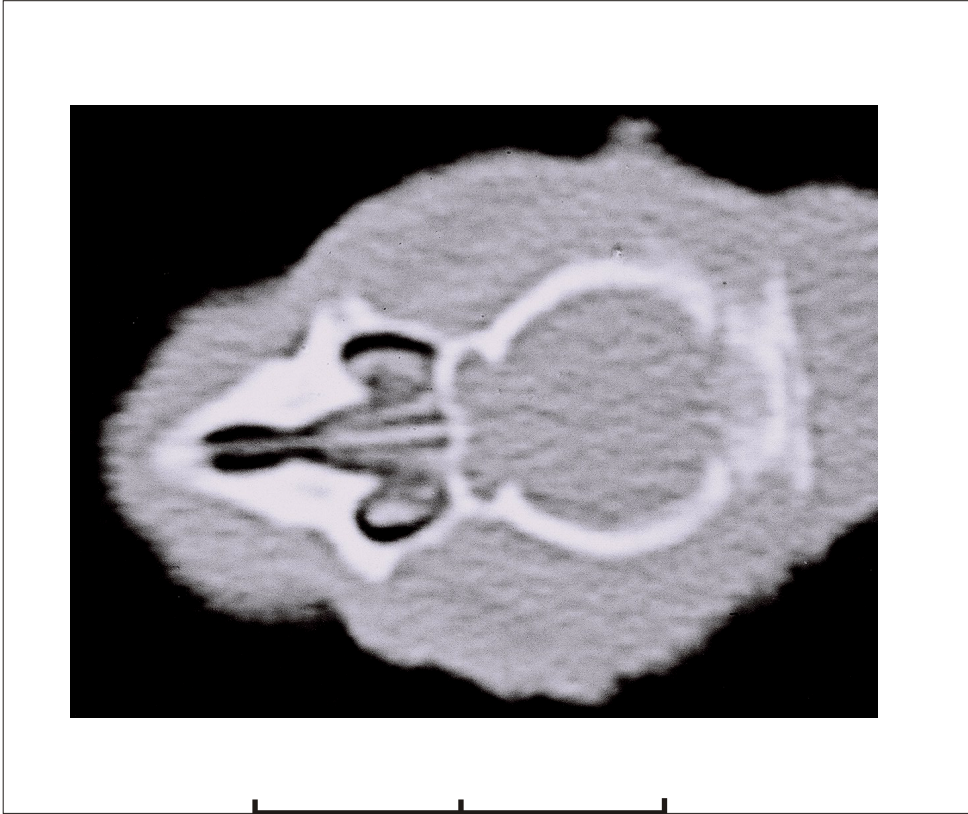


hMRT2

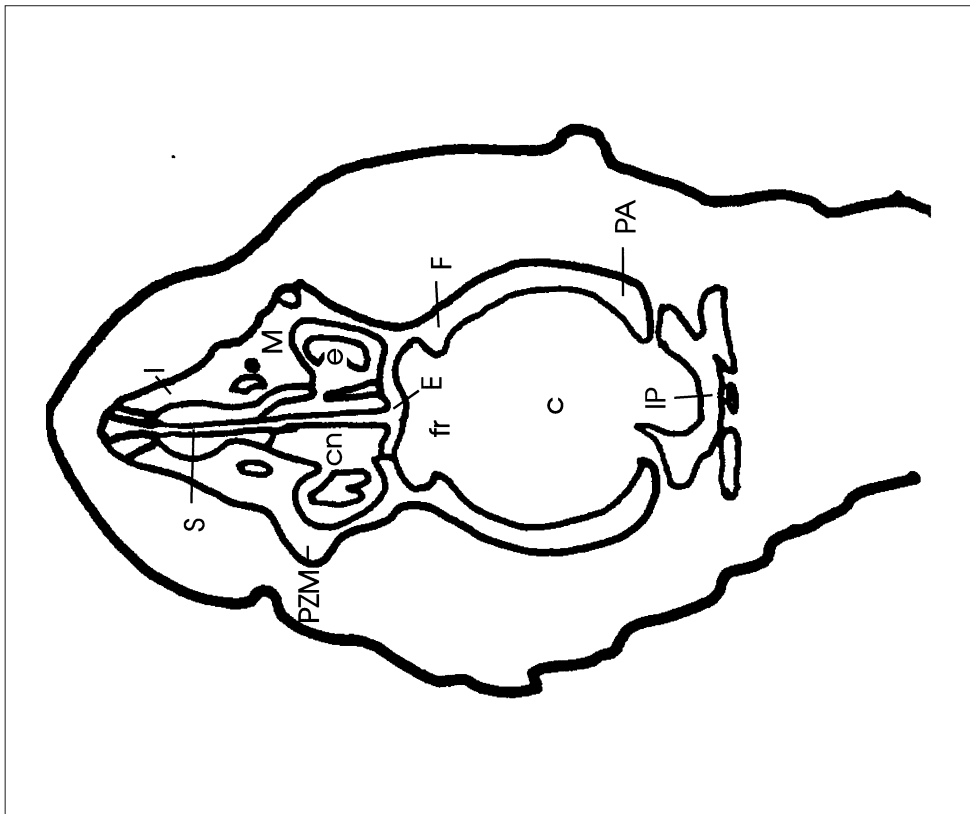


# Horizontale Schnittserie von Cryptomys

hCT2

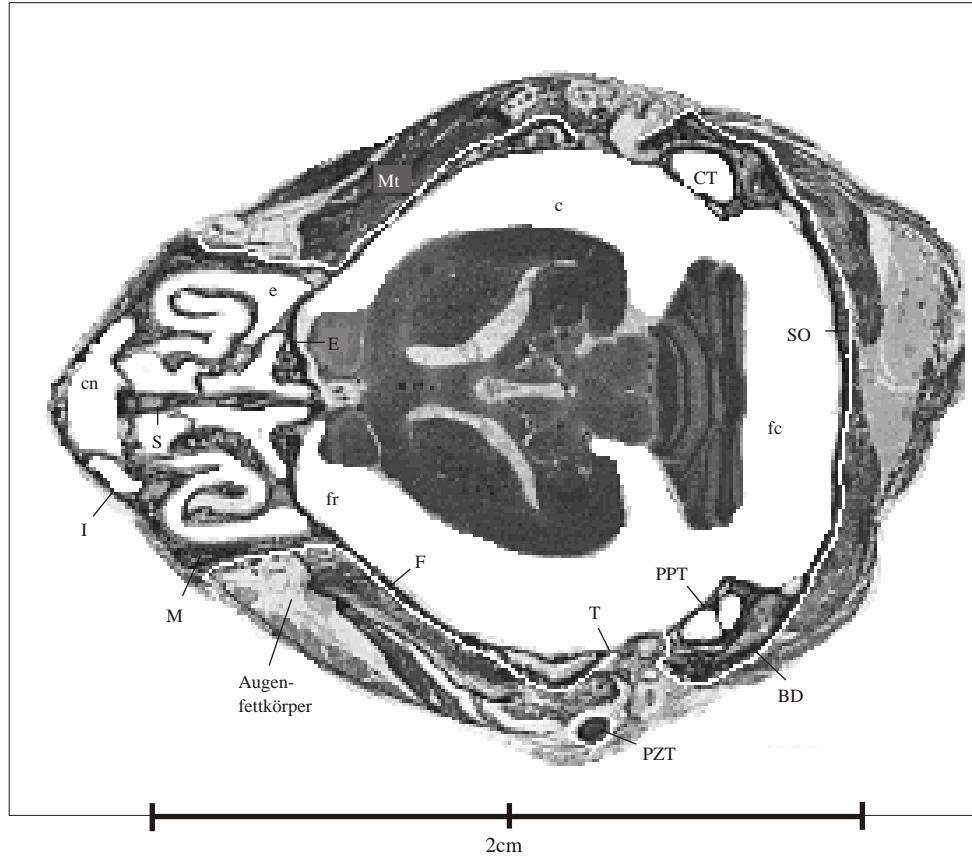


2cm



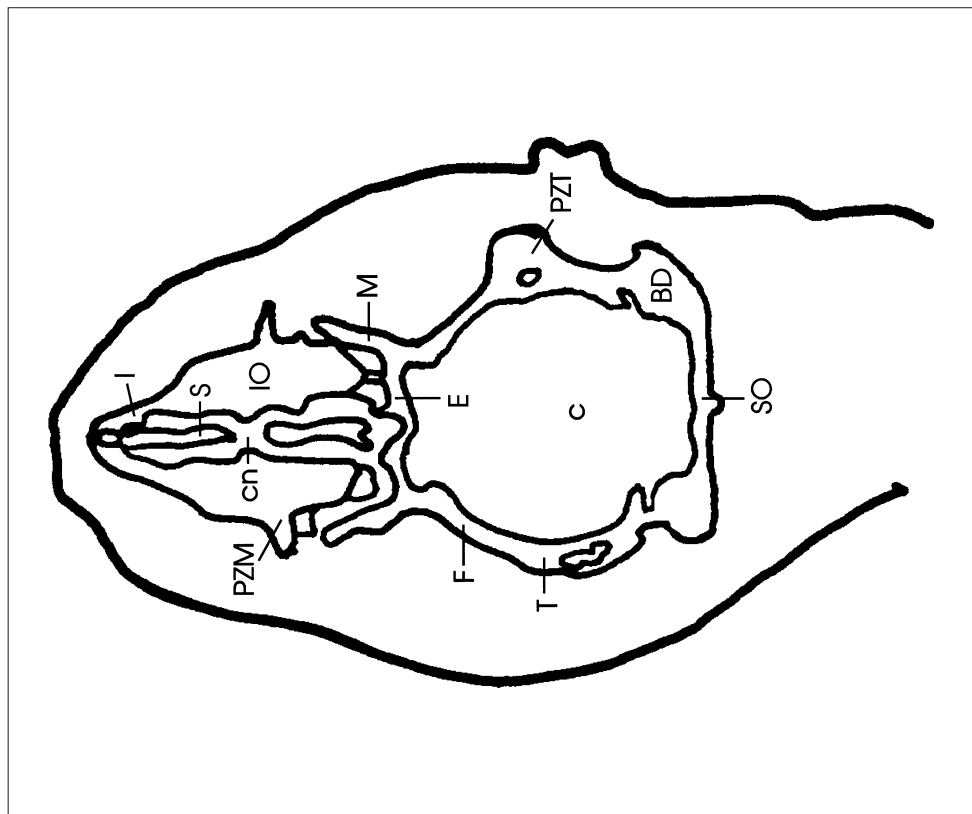
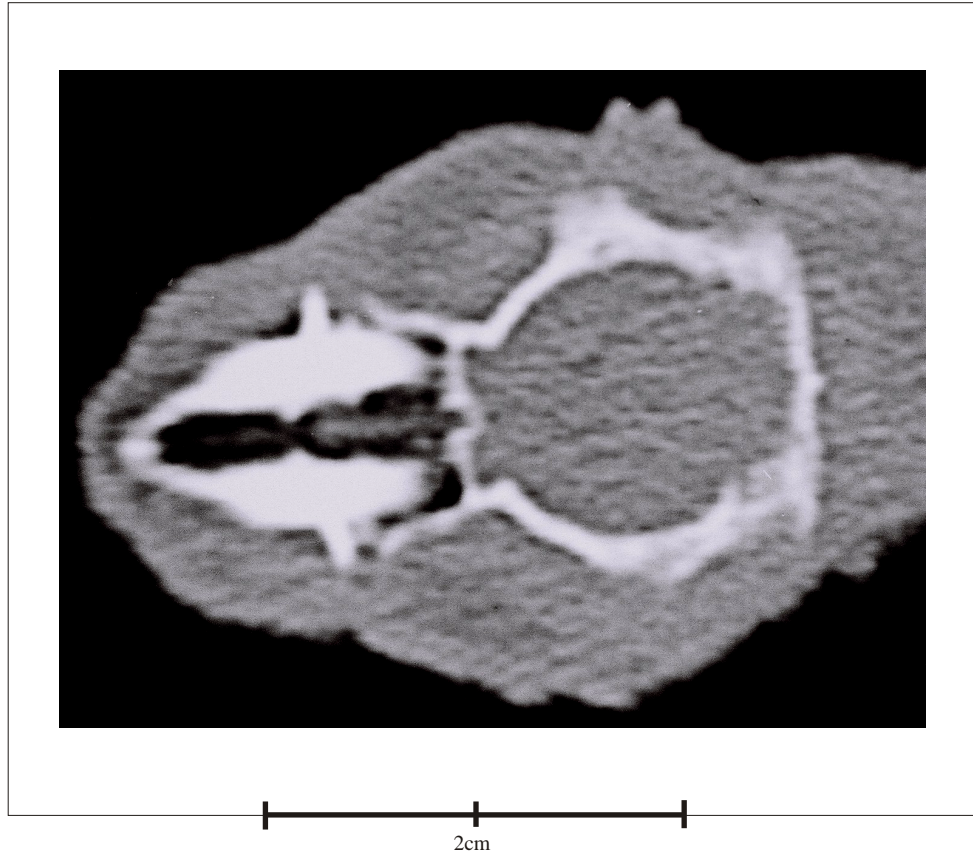
# Horizontale Schnittserie von Cryptomys

hHisto3



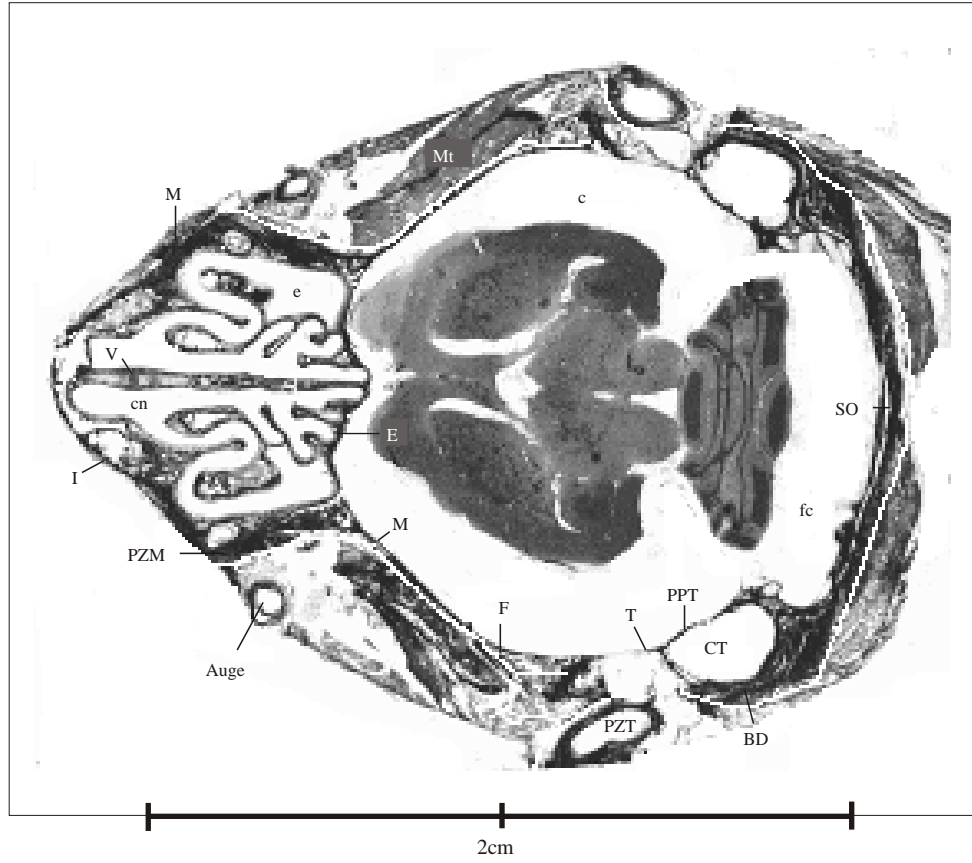
# Horizontale Schnittserie von Cryptomys

hCT3



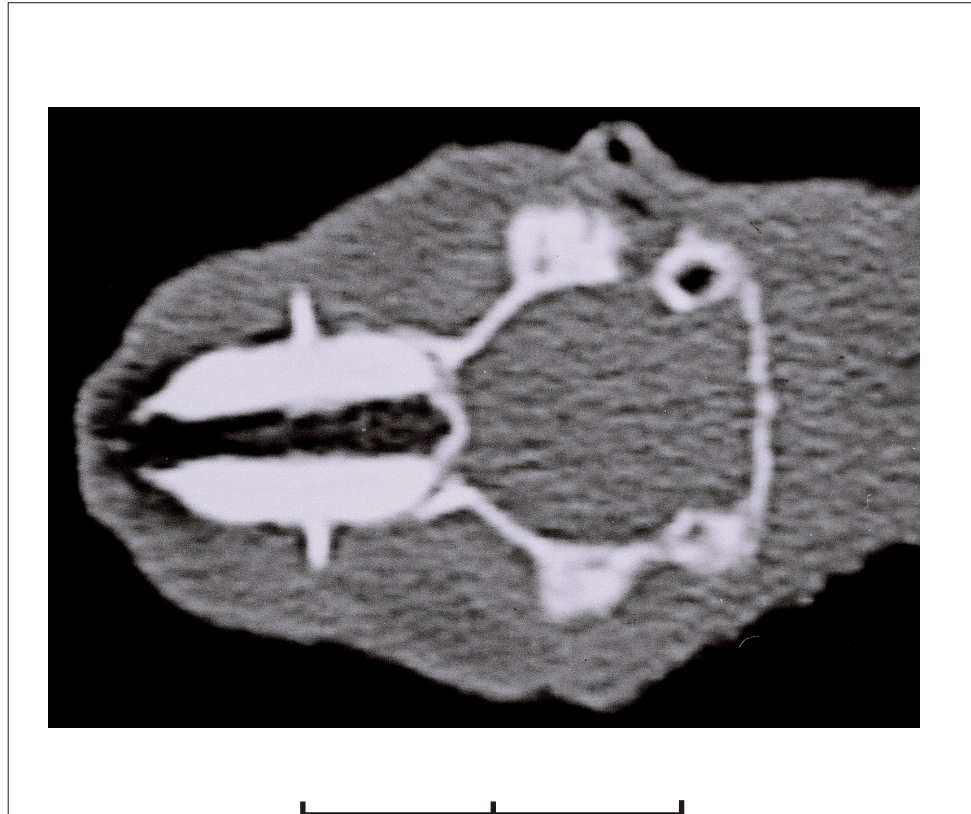
# Horizontale Schnittserie von Cryptomys

hHisto4

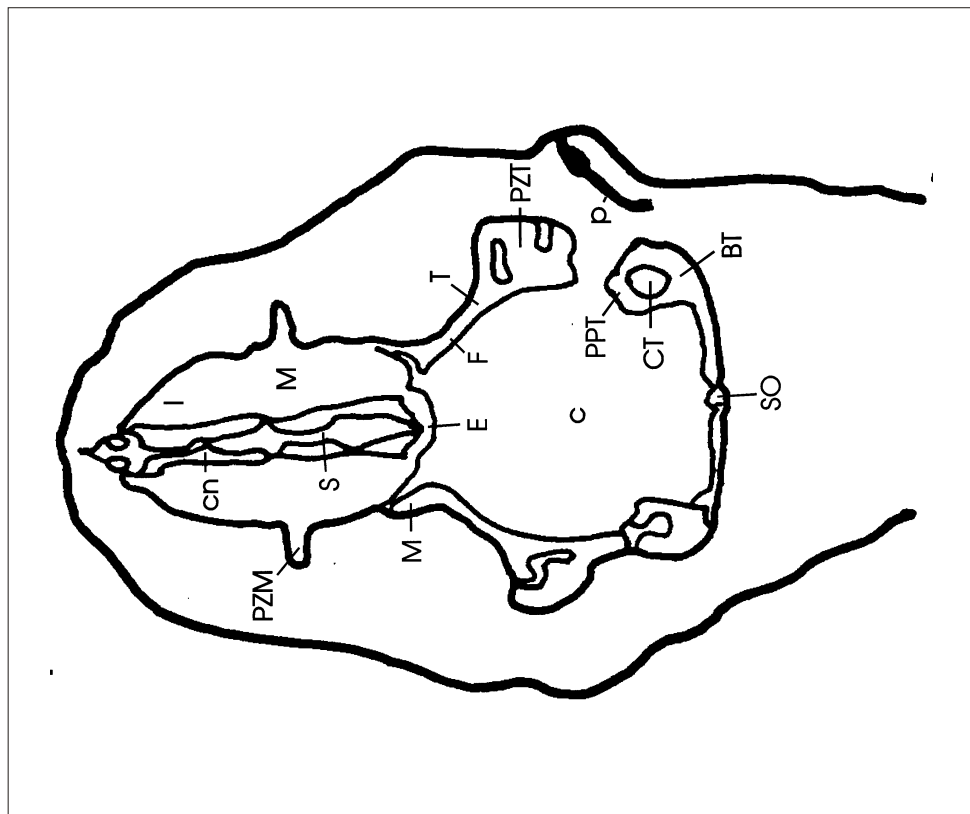


# Horizontale Schnittserie von Cryptomys

hCT4

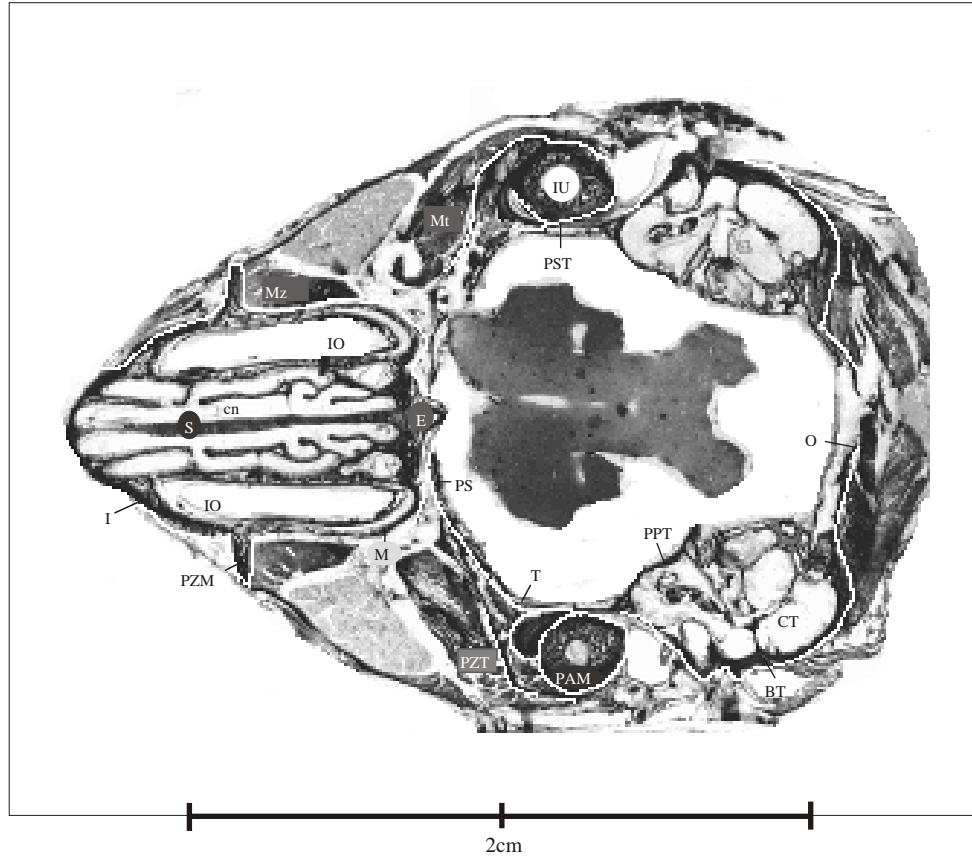


2cm

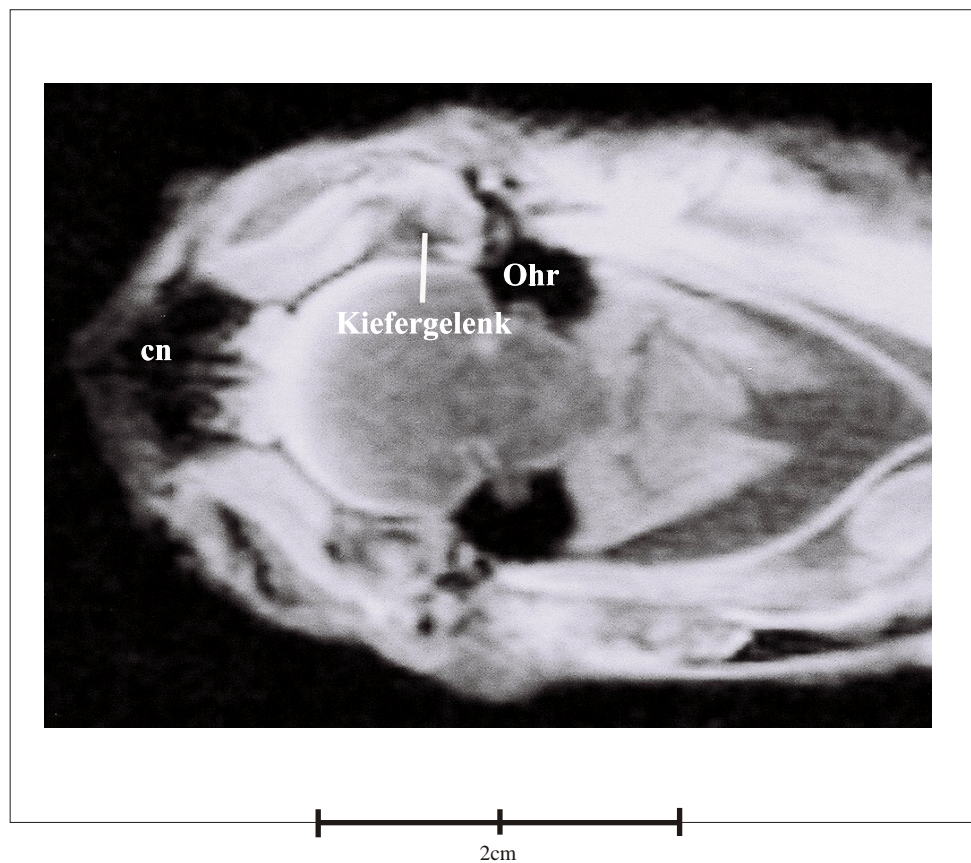


# Horizontale Schnittserie von Cryptomys

hHisto5



hMRT5

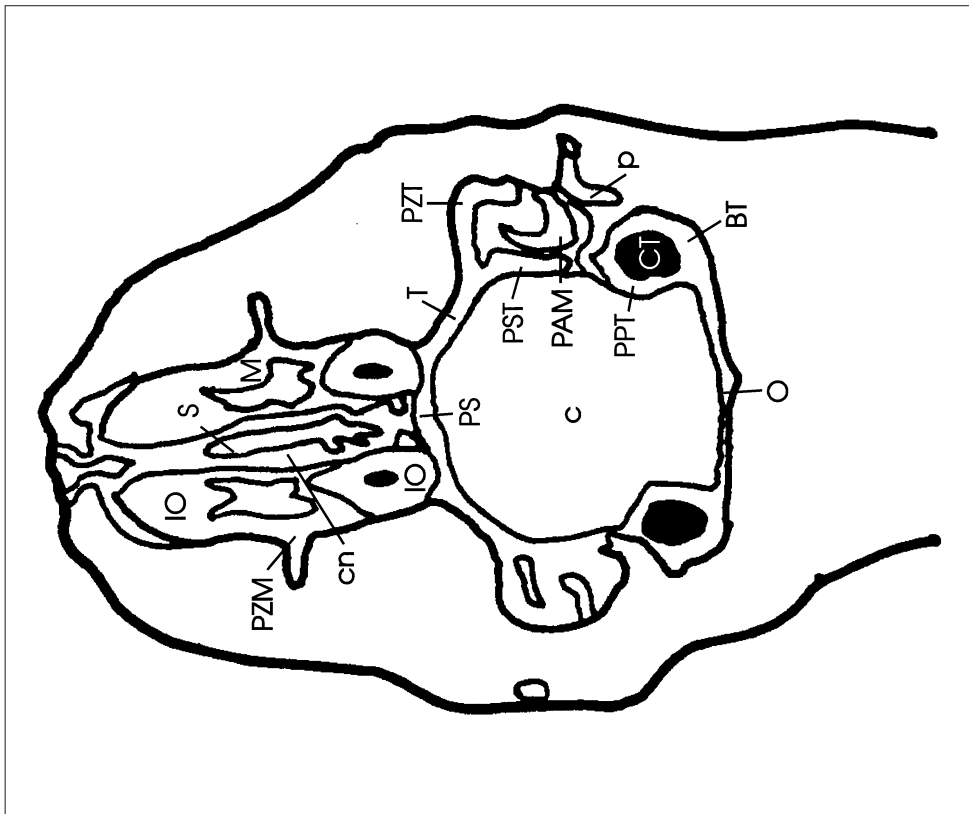


# Horizontale Schnittserie von Cryptomys

hCT5

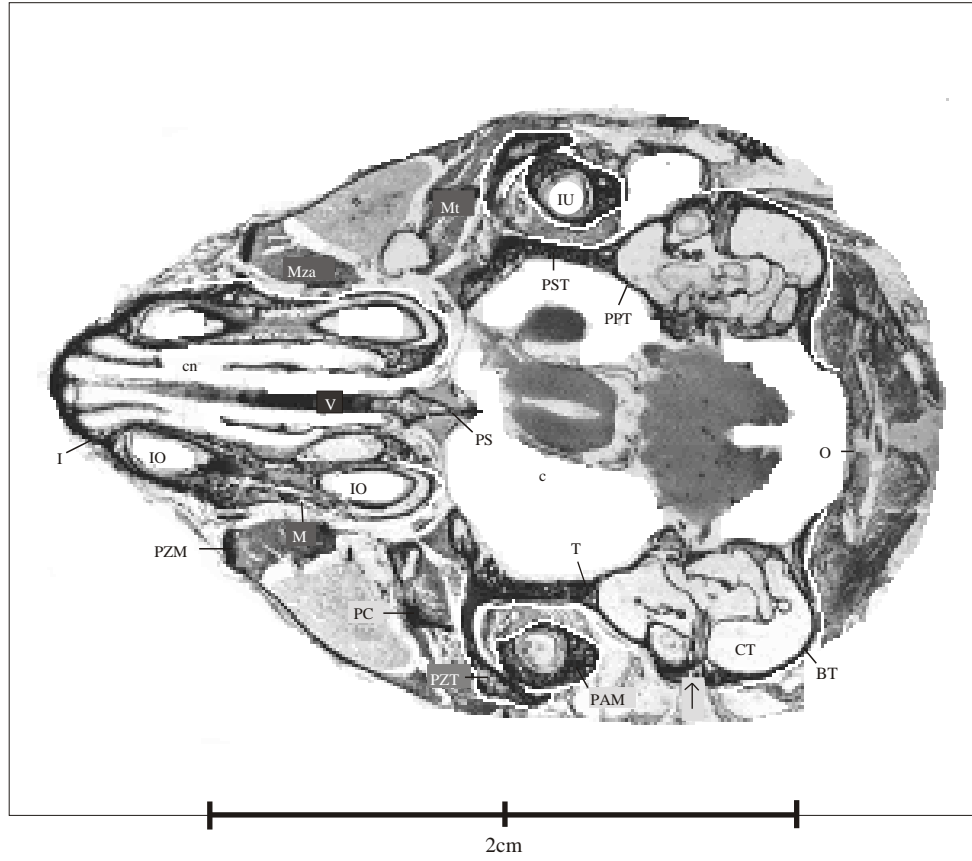


2cm



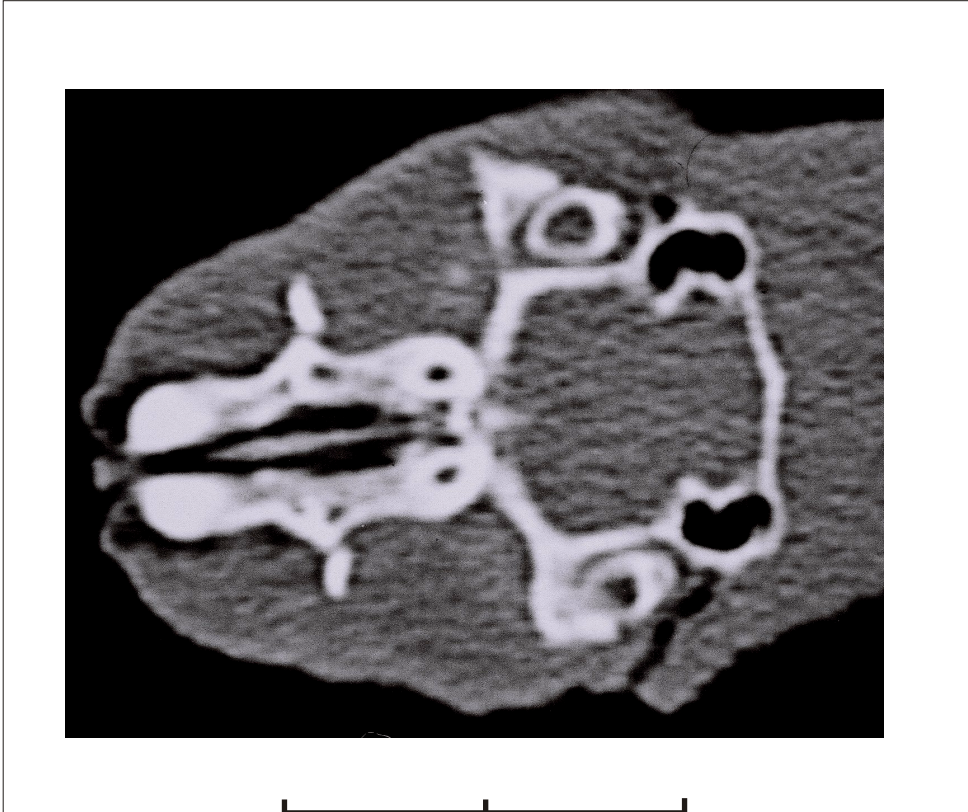
# Horizontale Schnittserie von Cryptomys

hHisto6

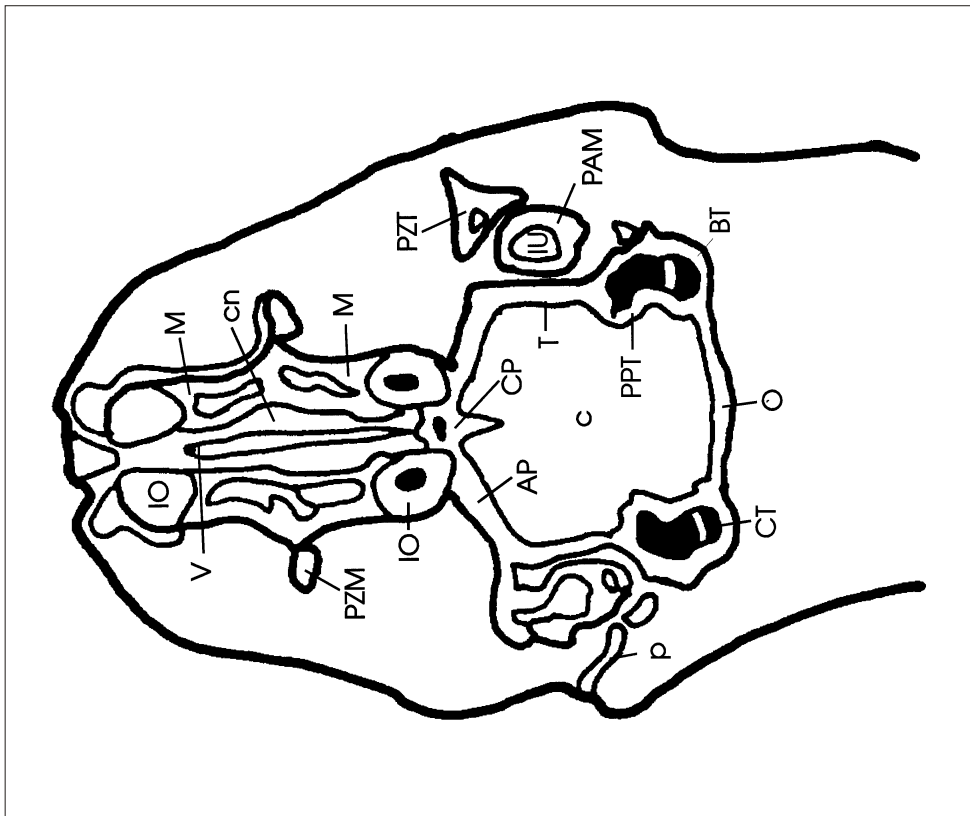


# Horizontale Schnittserie von Cryptomys

hCT6

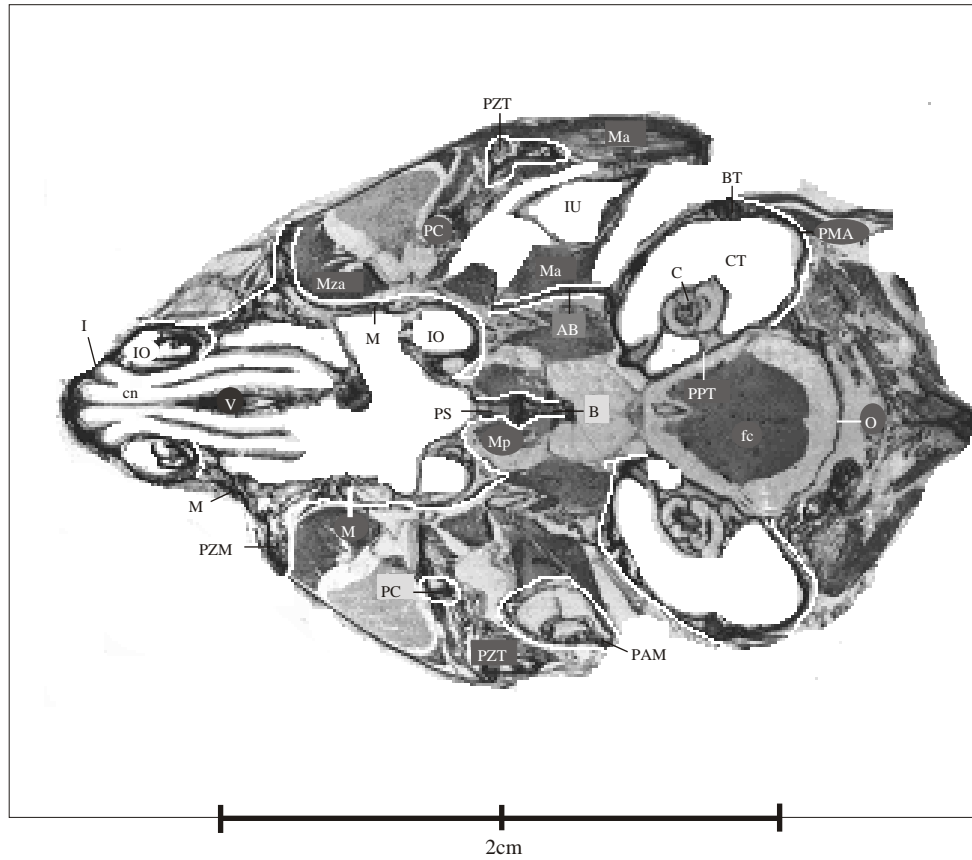


2cm

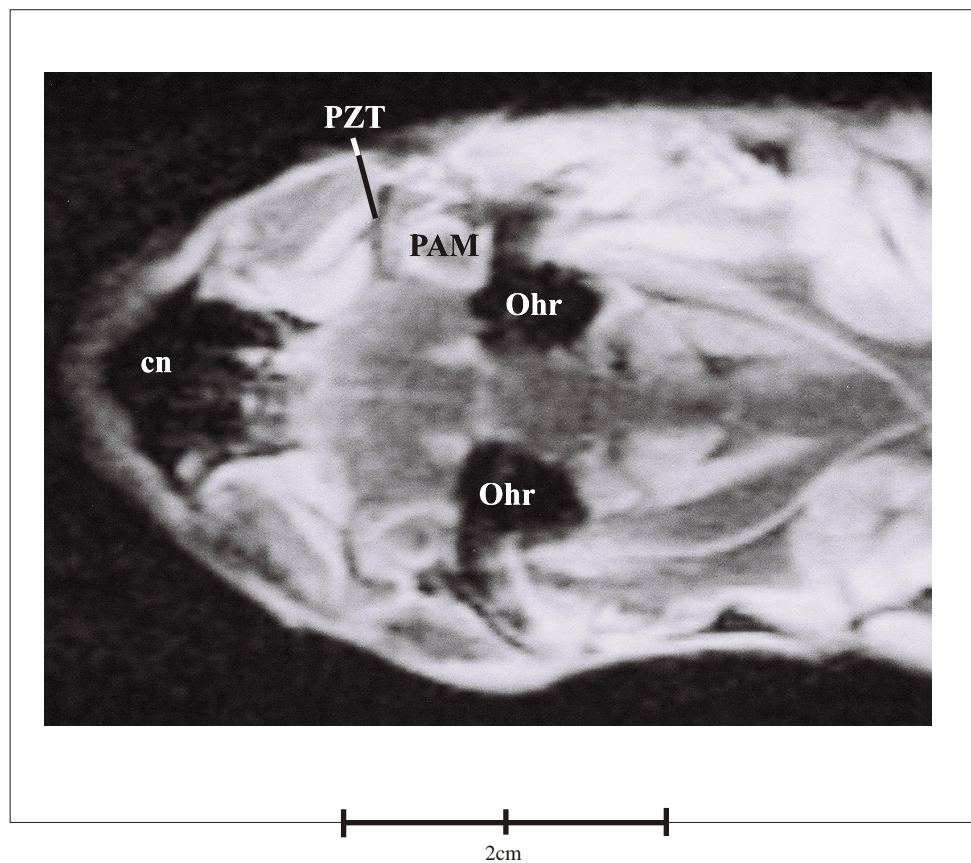


# Horizontale Schnittserie von Cryptomys

hHisto7

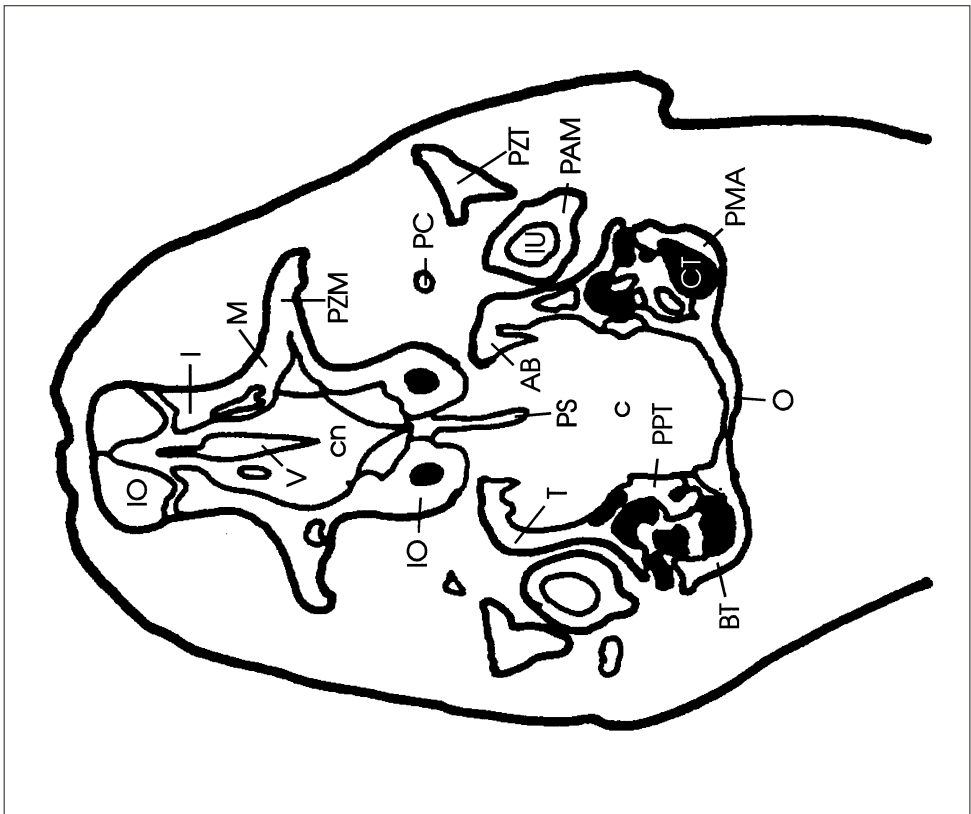
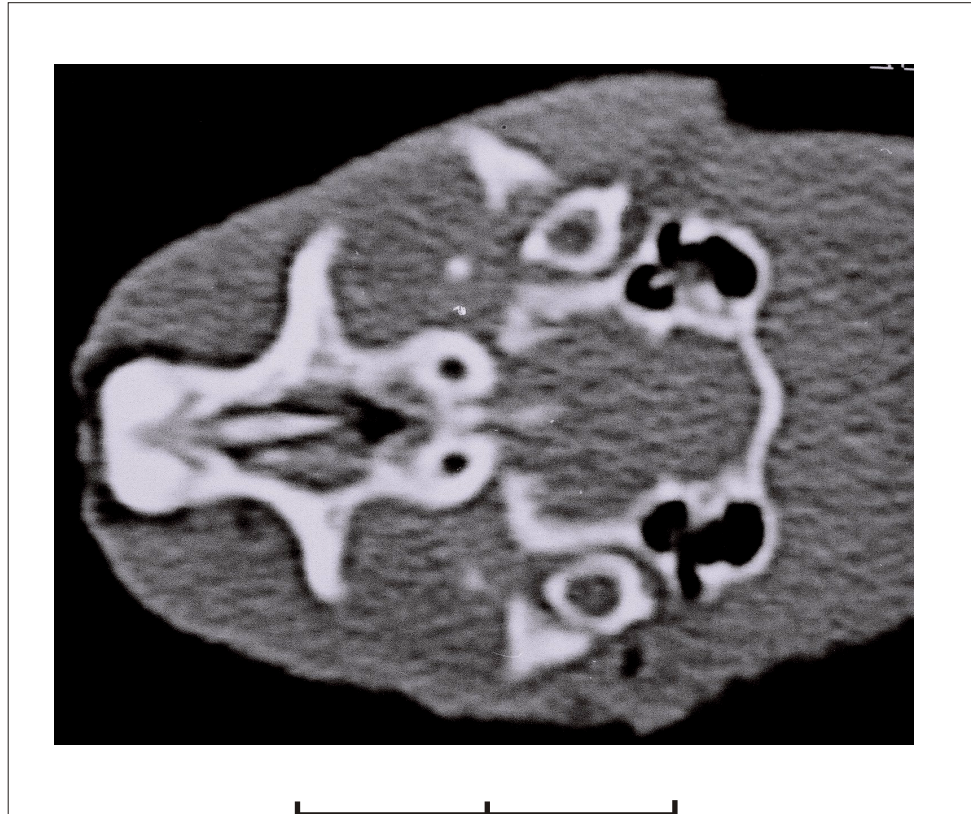


hMRT7



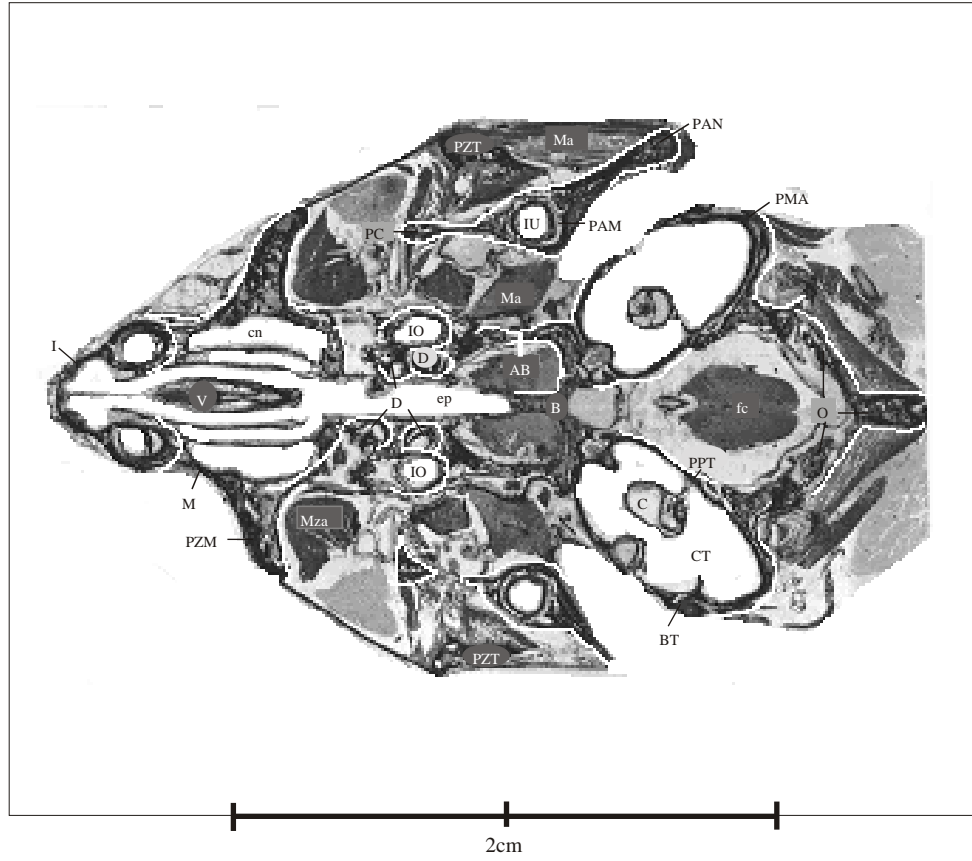
# Horizontale Schnittserie von Cryptomys

hCT7



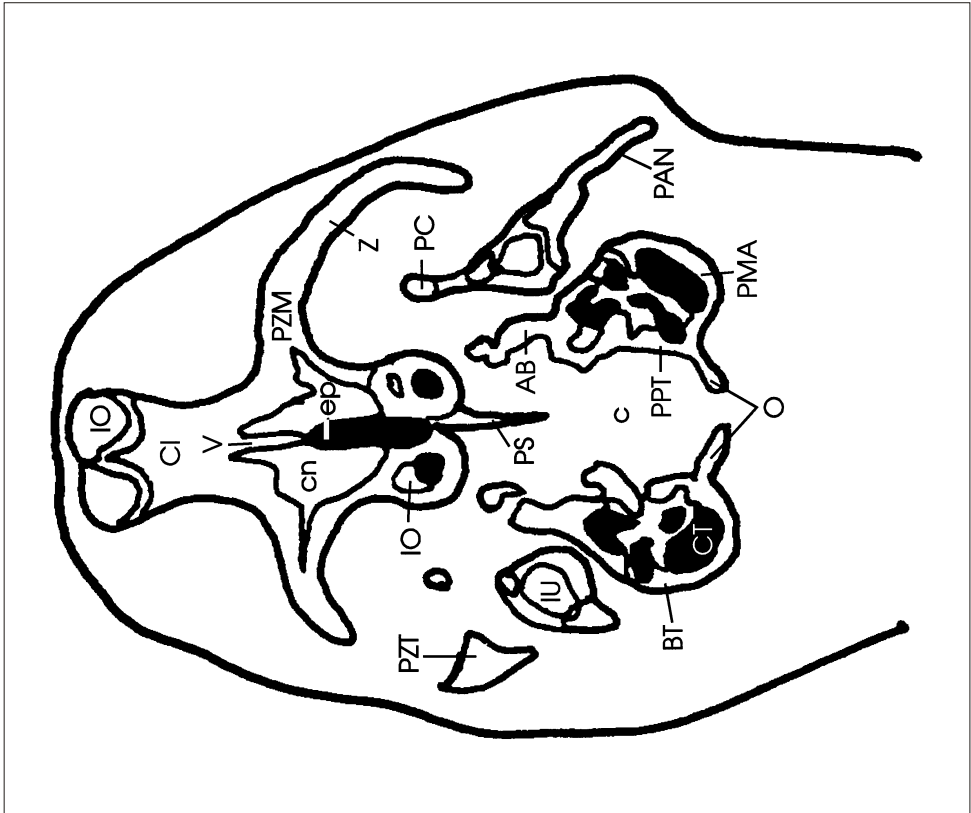
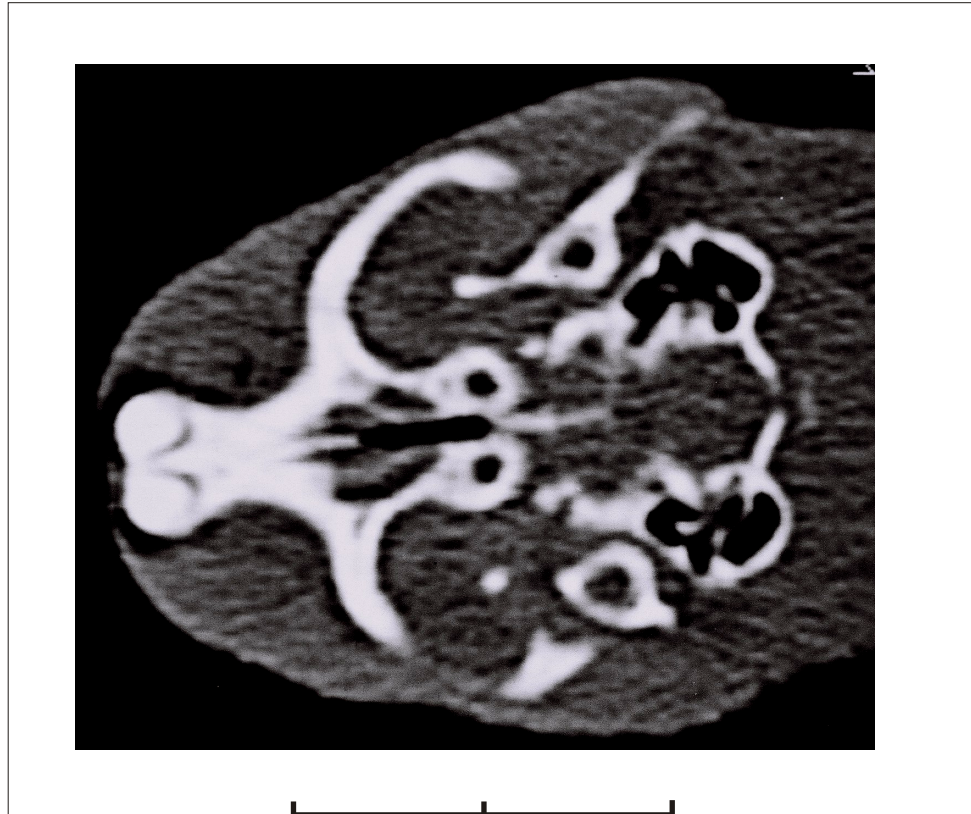
# Horizontale Schnittserie von Cryptomys

hHisto8



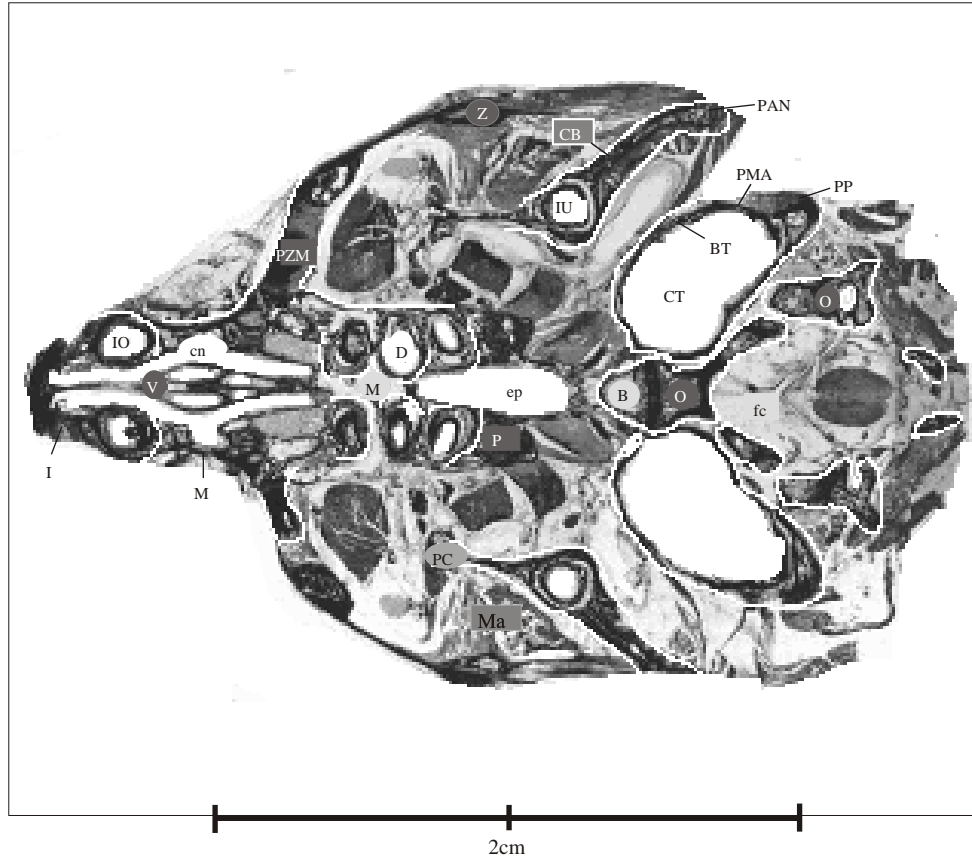
# Horizontale Schnittserie von Cryptomys

hCT8

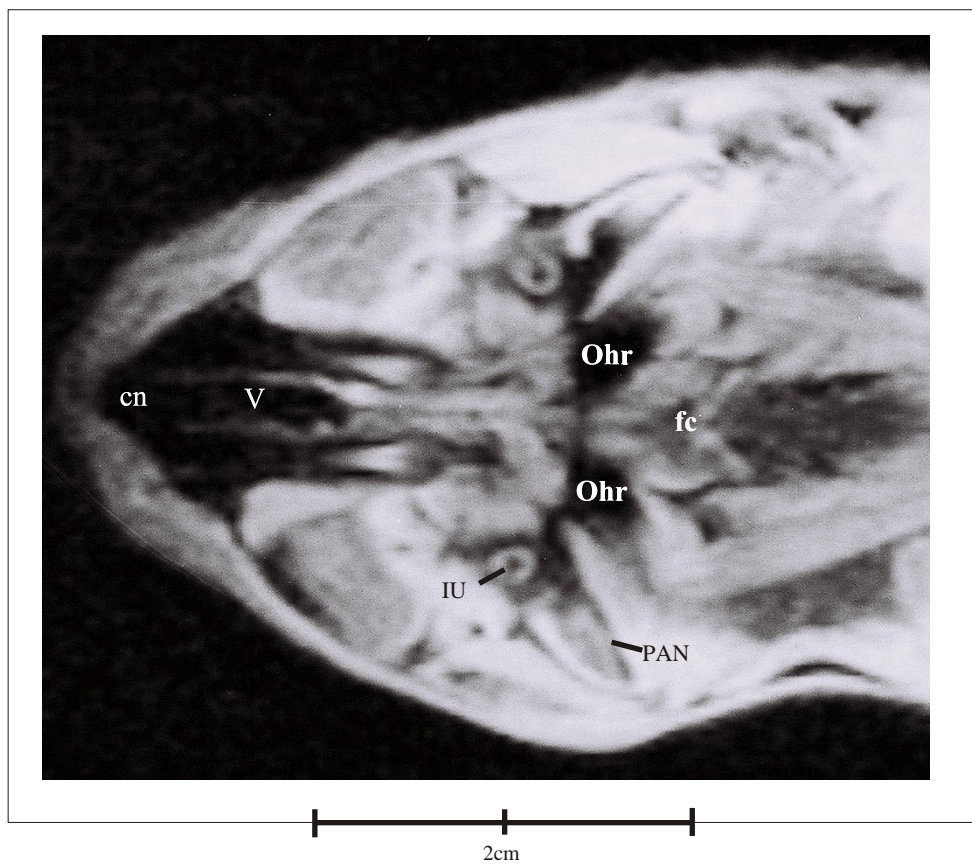


# Horizontale Schnittserie von Cryptomys

hHisto9

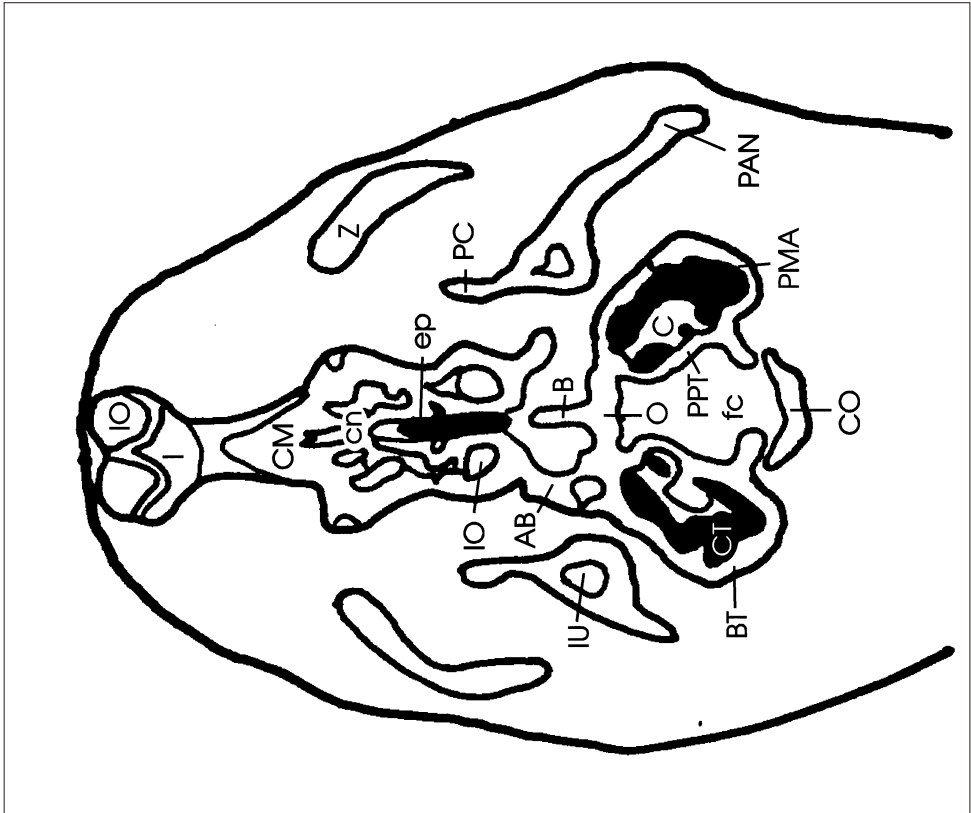


hMRT9



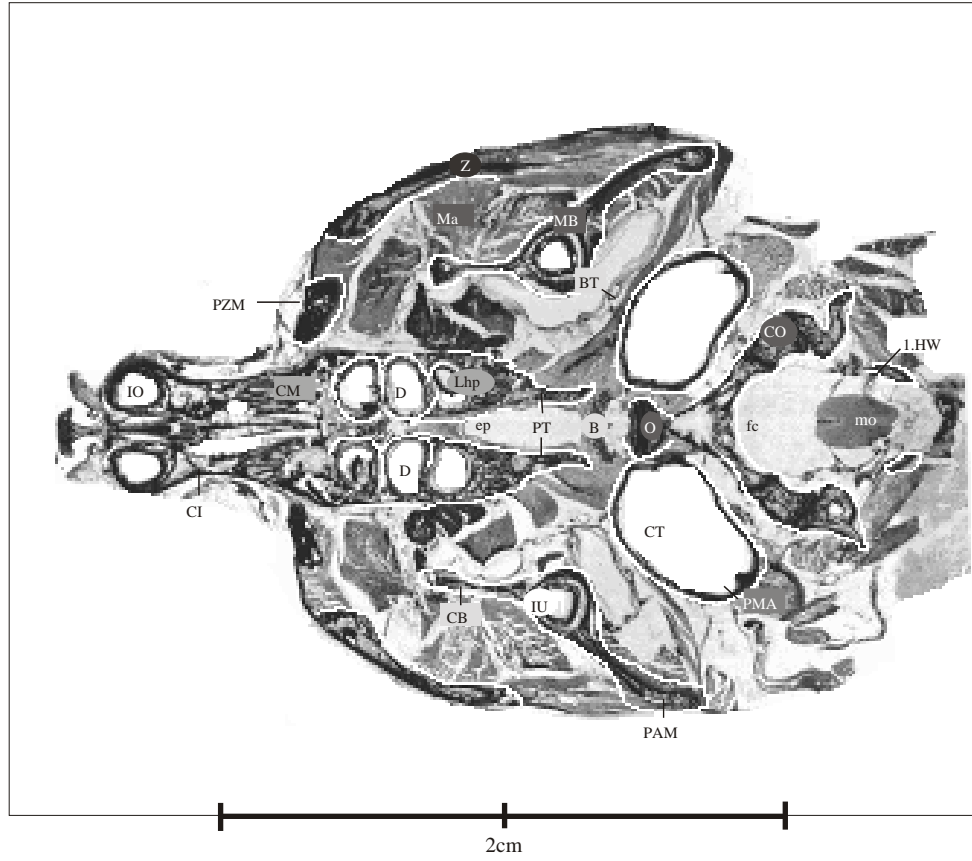
# Horizontale Schnittserie von Cryptomys

hCT9



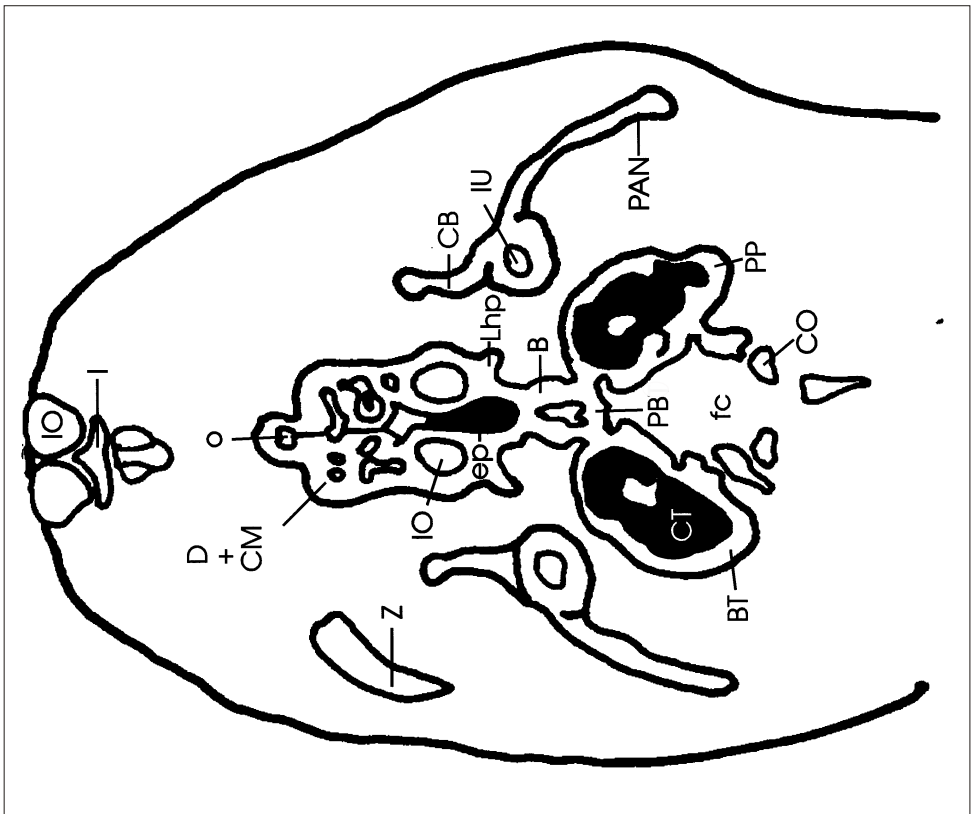
# Horizontale Schnittserie von Cryptomys

hHisto10



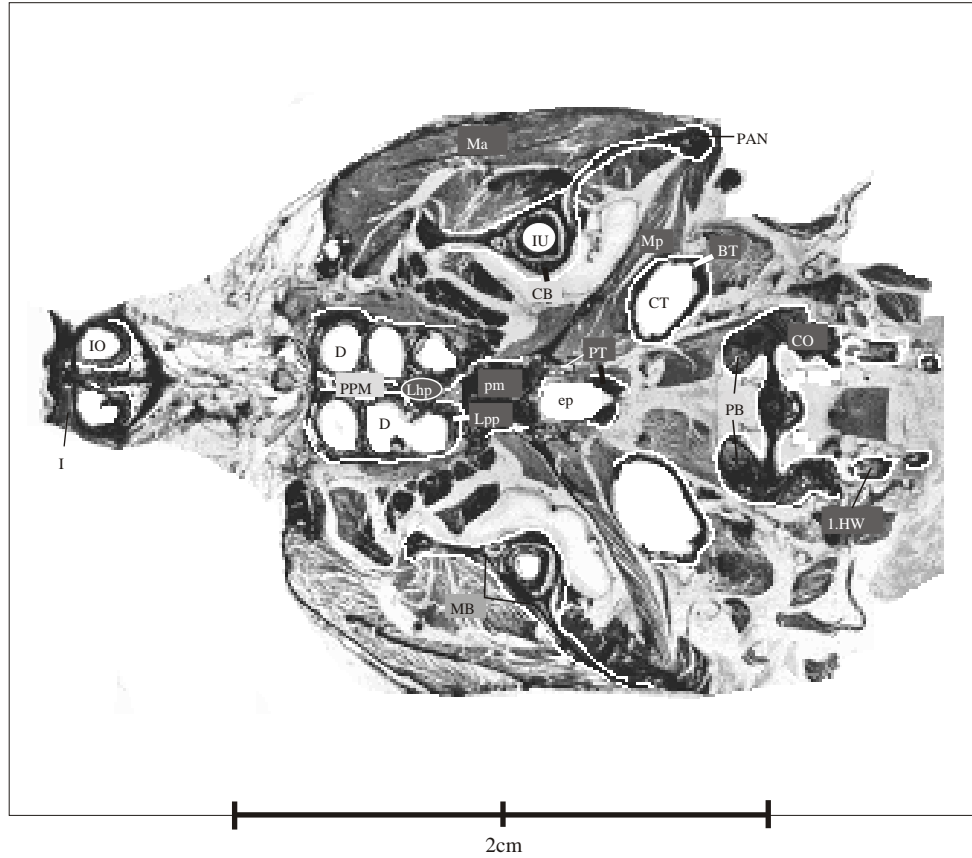
# Horizontale Schnittserie von Cryptomys

hCT10

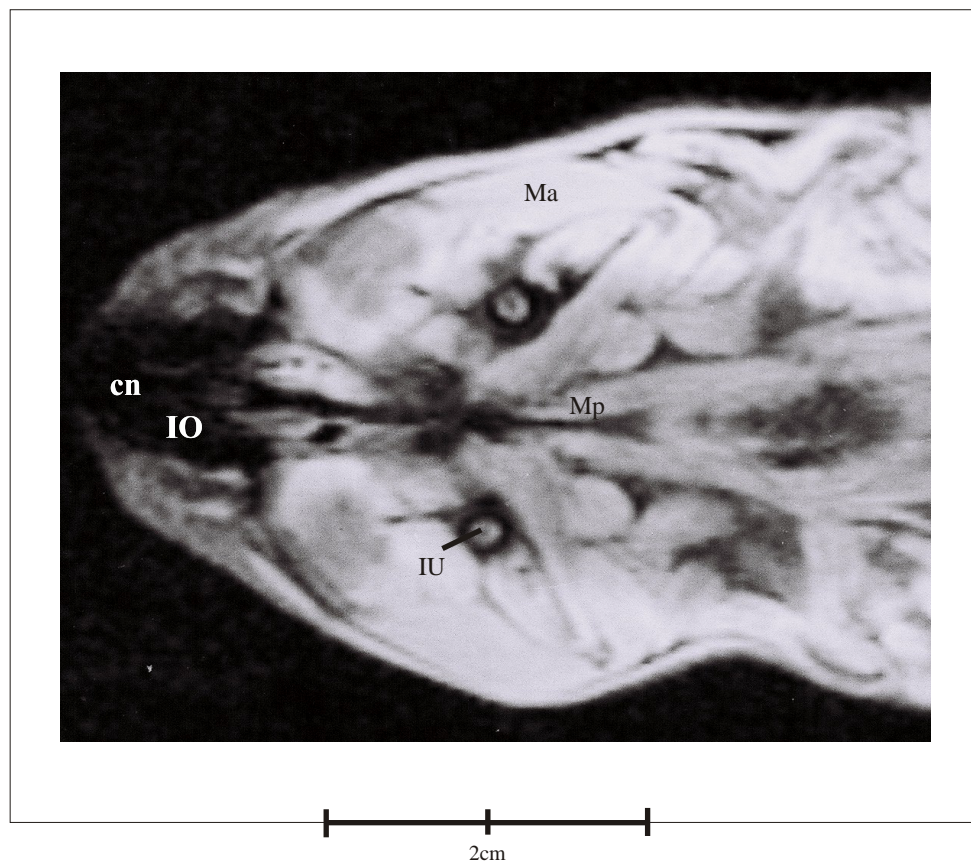


# Horizontale Schnittserie von Cryptomys

hHisto11

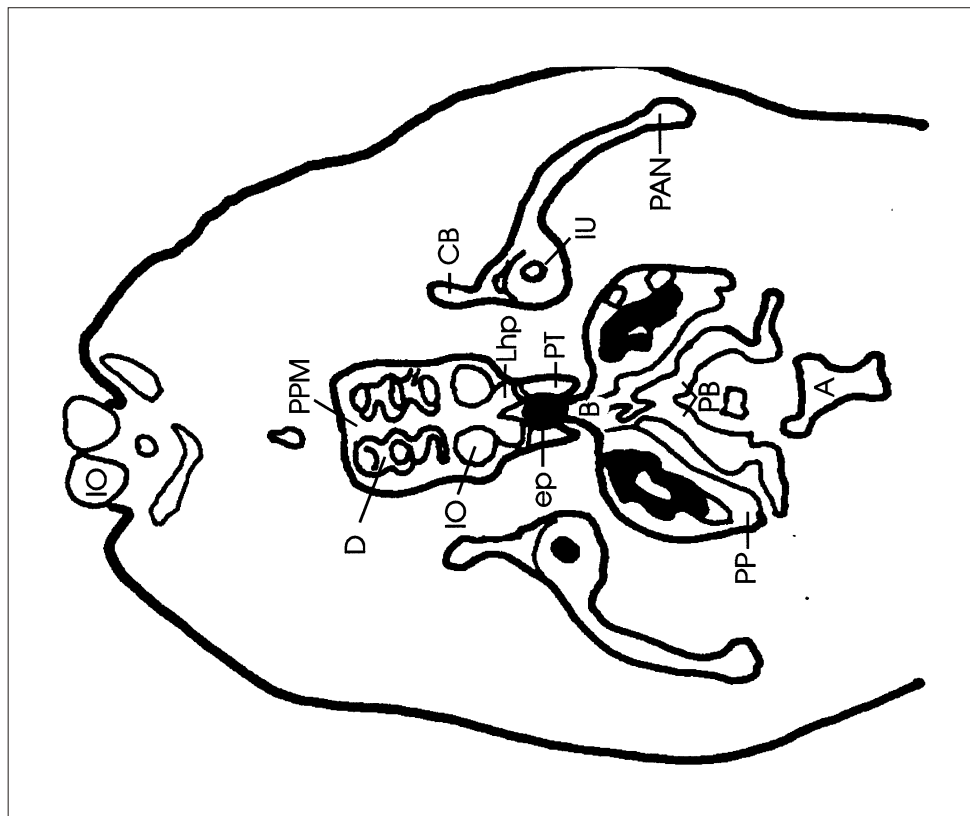


hMRT11



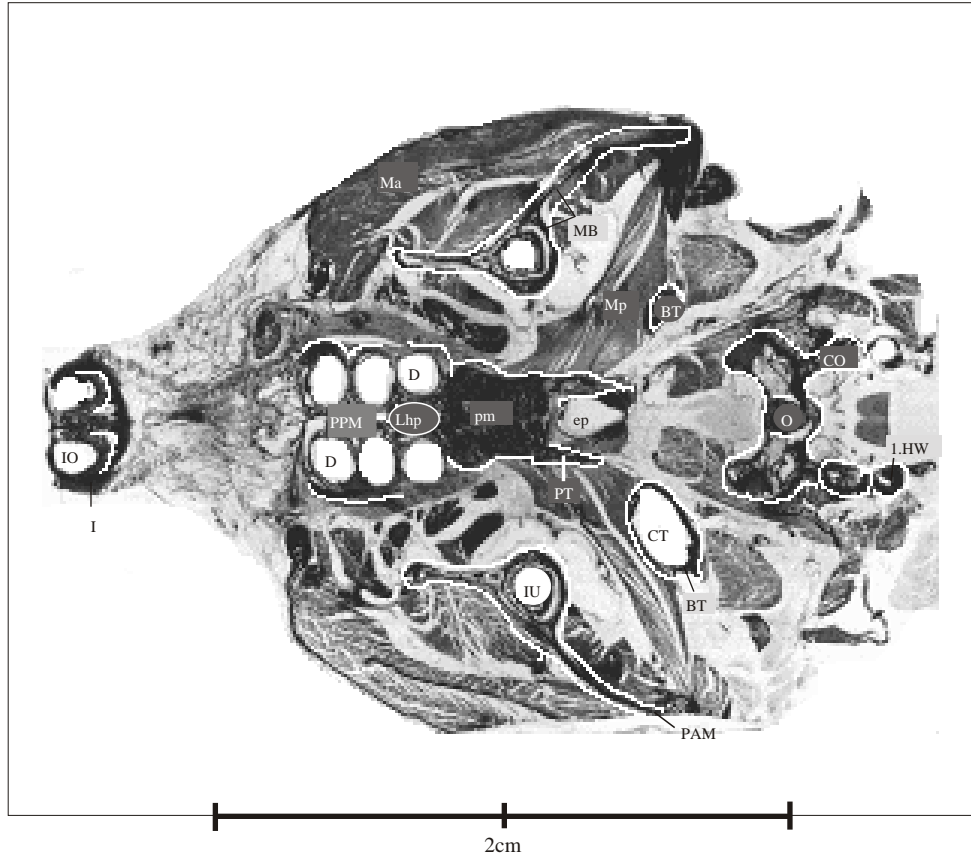
# Horizontale Schnittserie von Cryptomys

hCT11

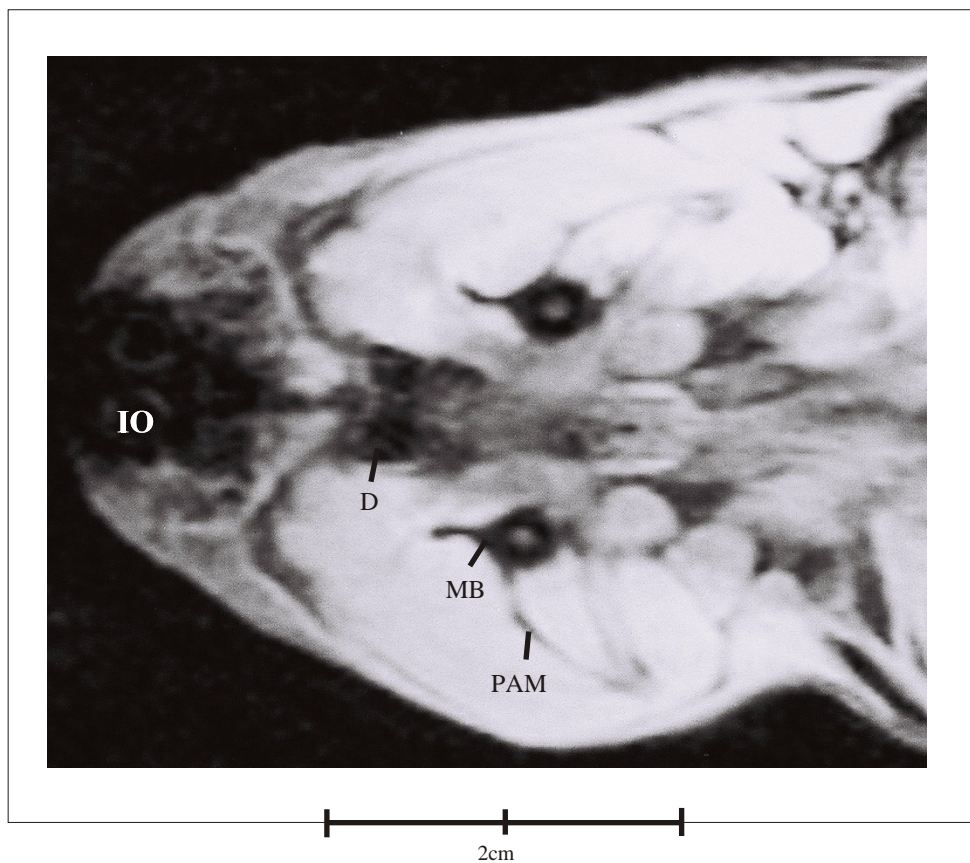


# Horizontale Schnittserie von Cryptomys

hHisto12



hMRT12

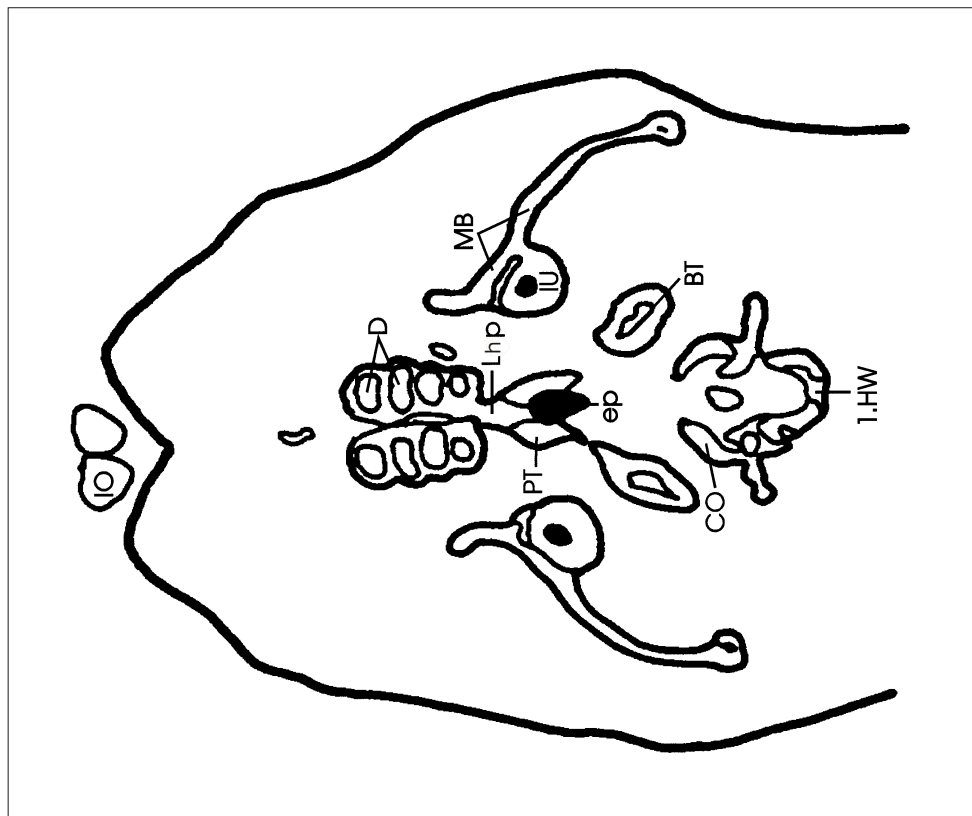


# Horizontale Schnittserie von Cryptomys

hCT12

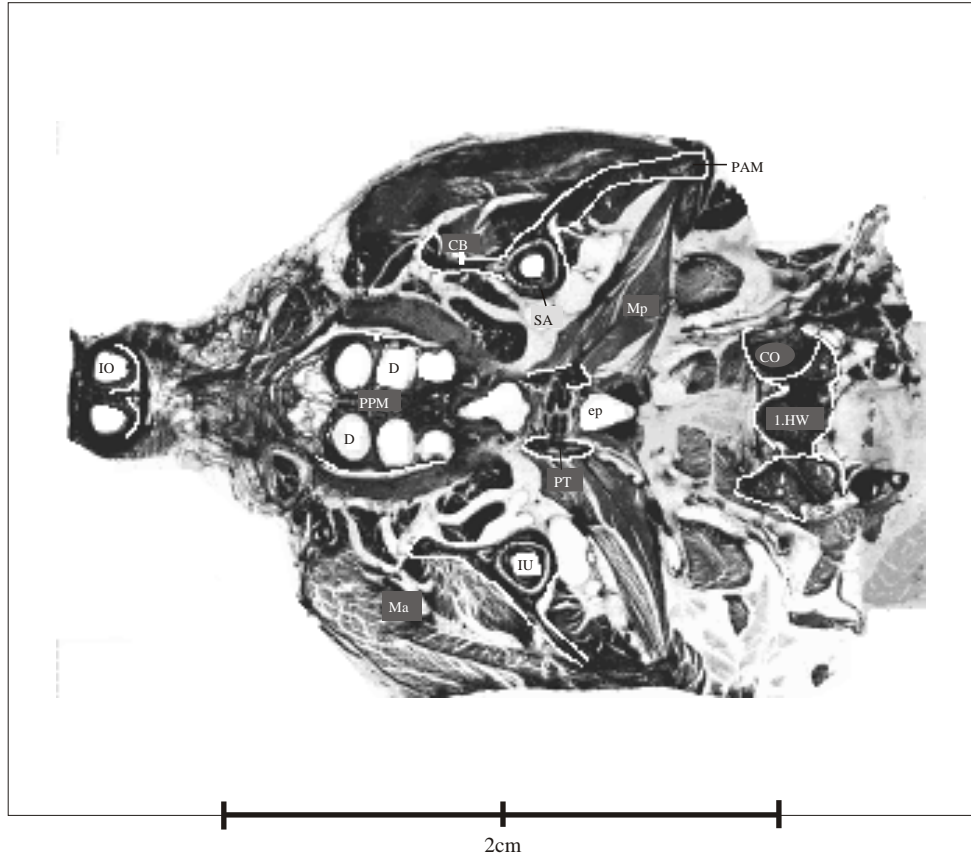


2cm



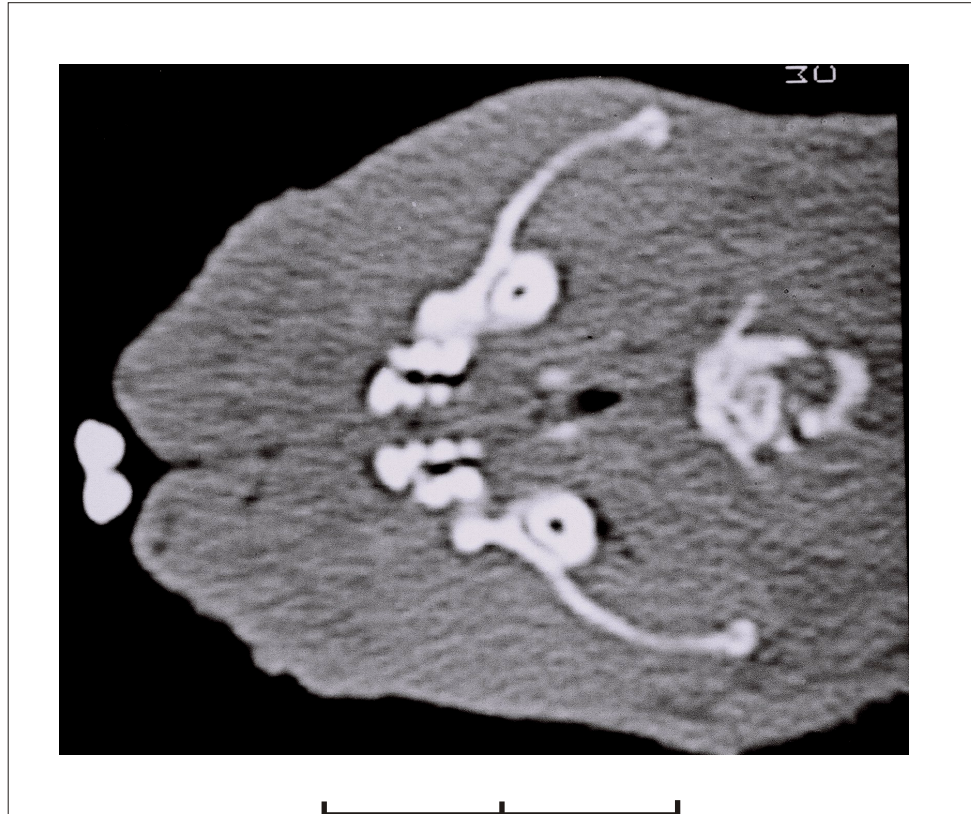
# Horizontale Schnittserie von Cryptomys

hHisto13

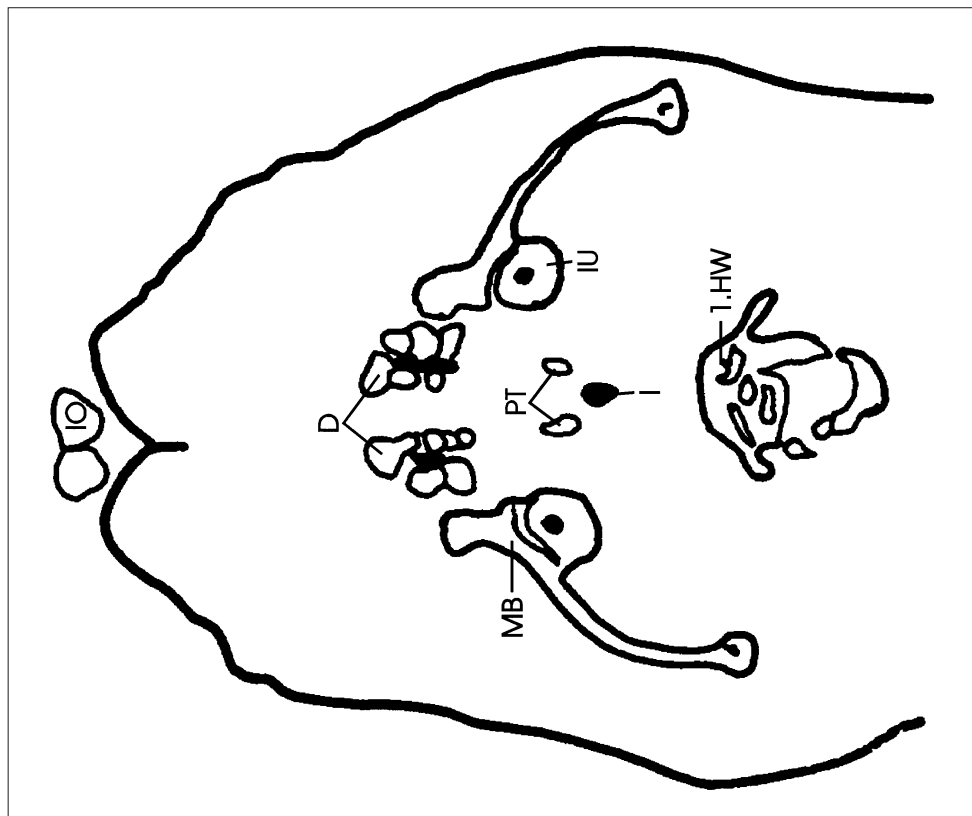


# Horizontale Schnittserie von Cryptomys

hCT13

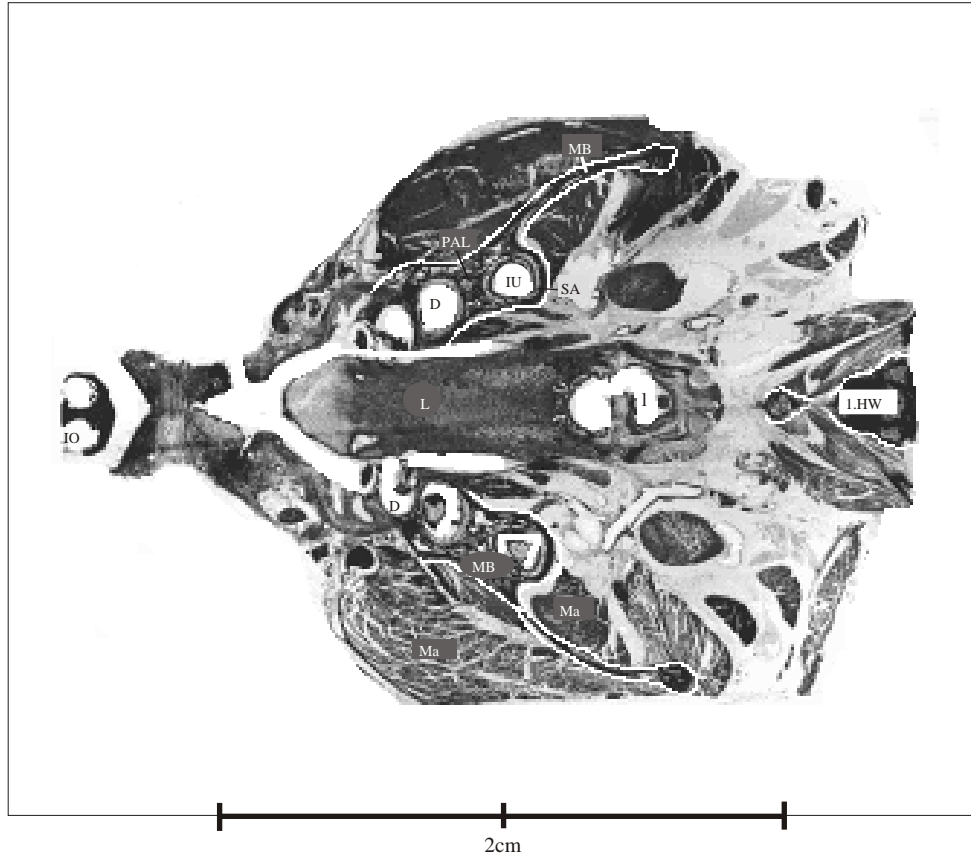


2cm

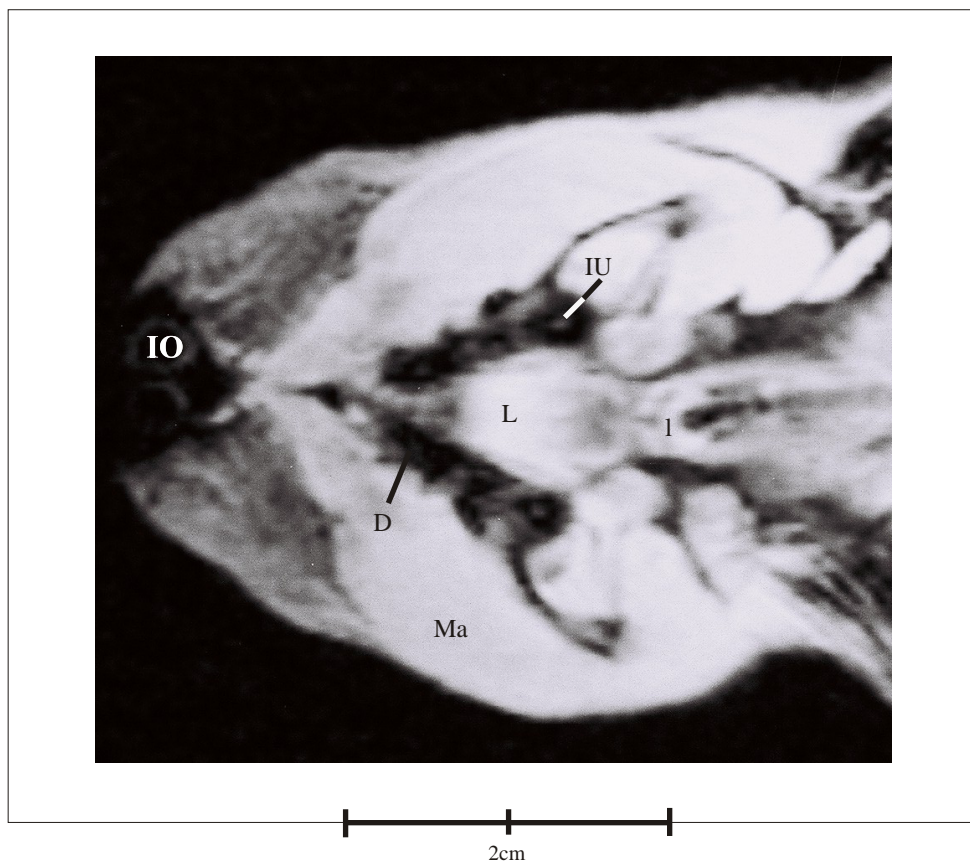


# Horizontale Schnittserie von Cryptomys

hHisto14

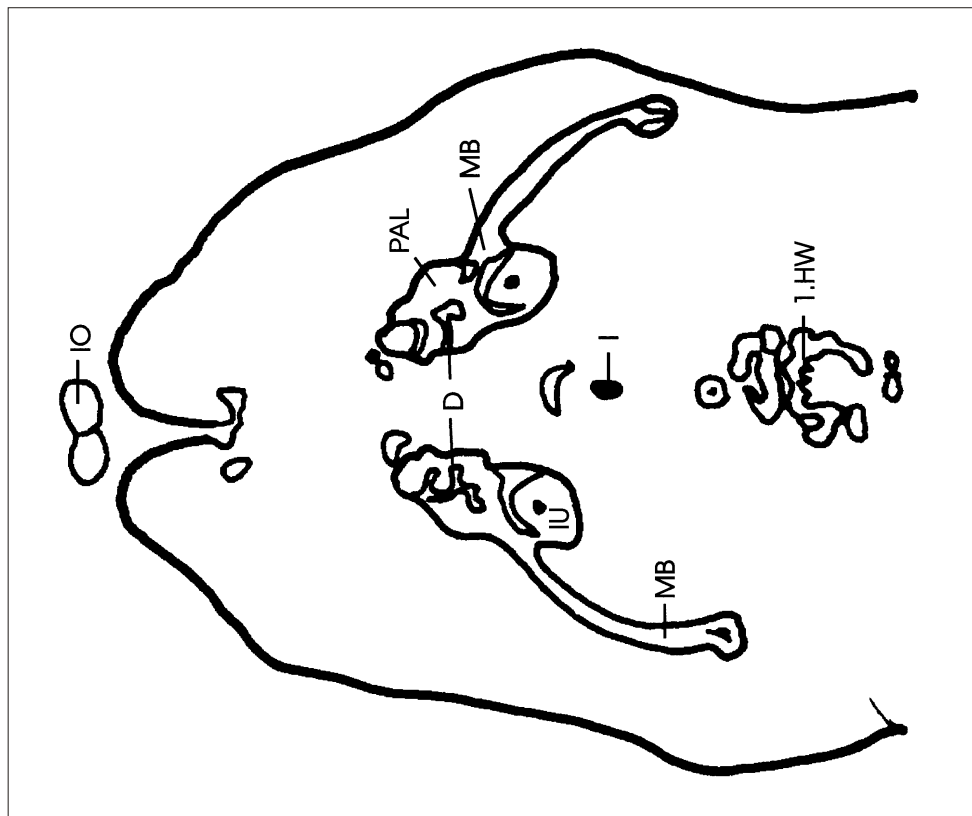
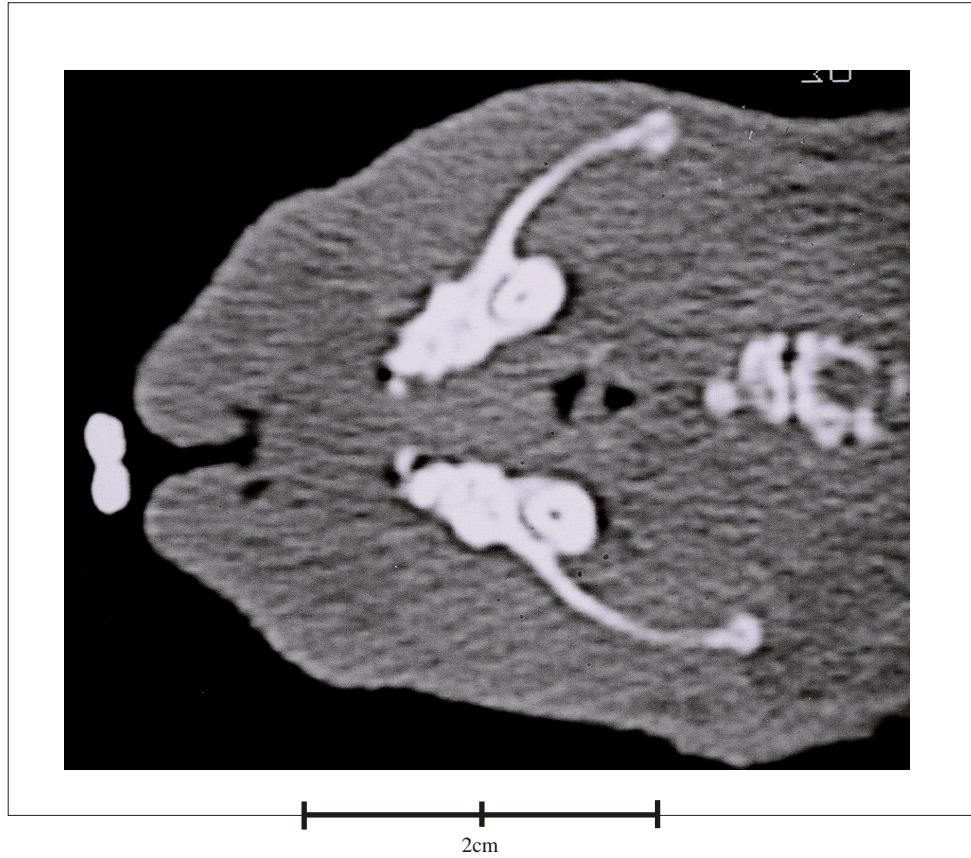


hMRT14



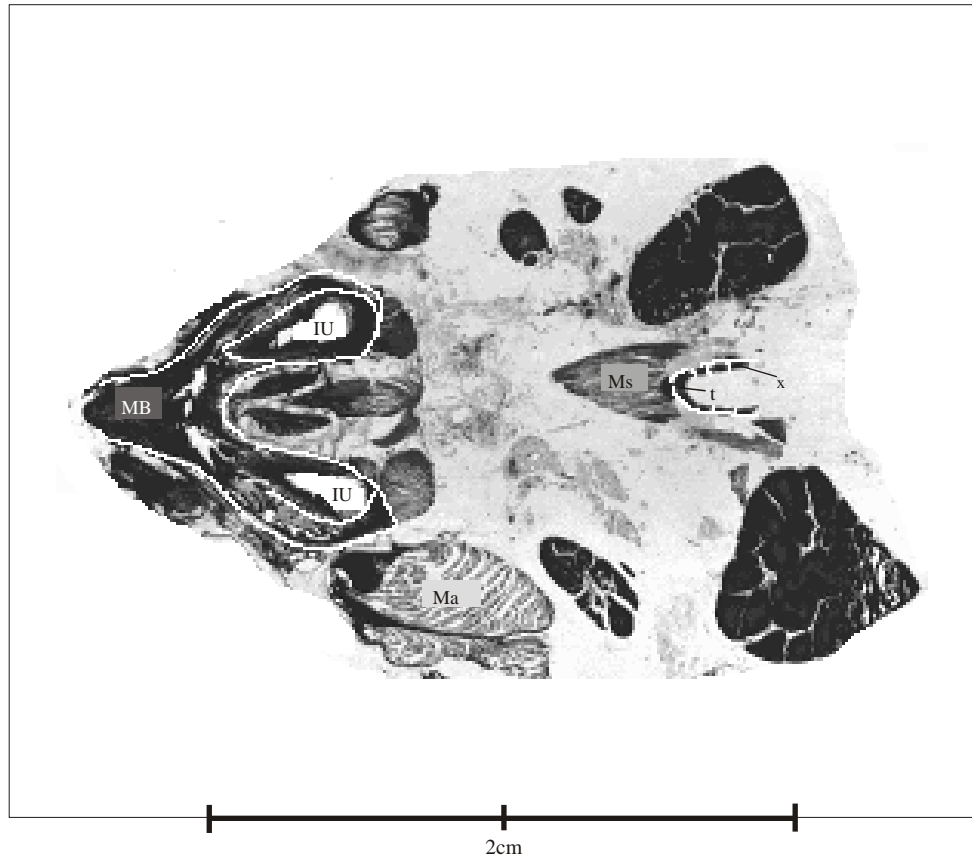
# Horizontale Schnittserie von Cryptomys

hCT14



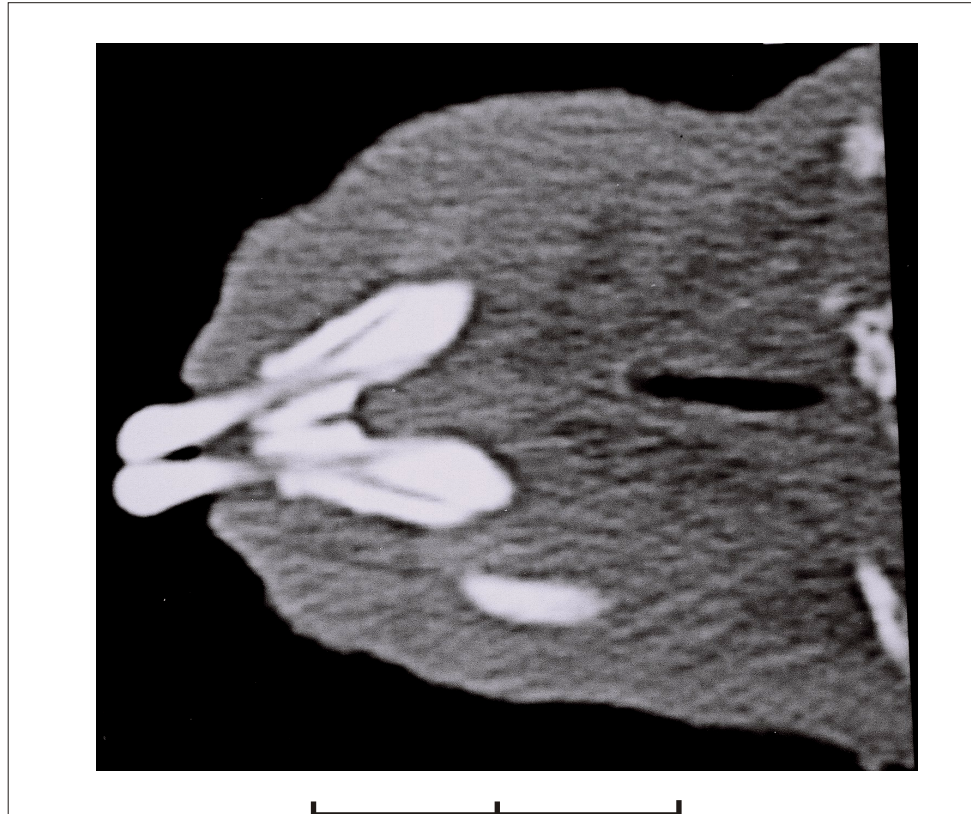
# Horizontale Schnittserie von Cryptomys

hHisto15

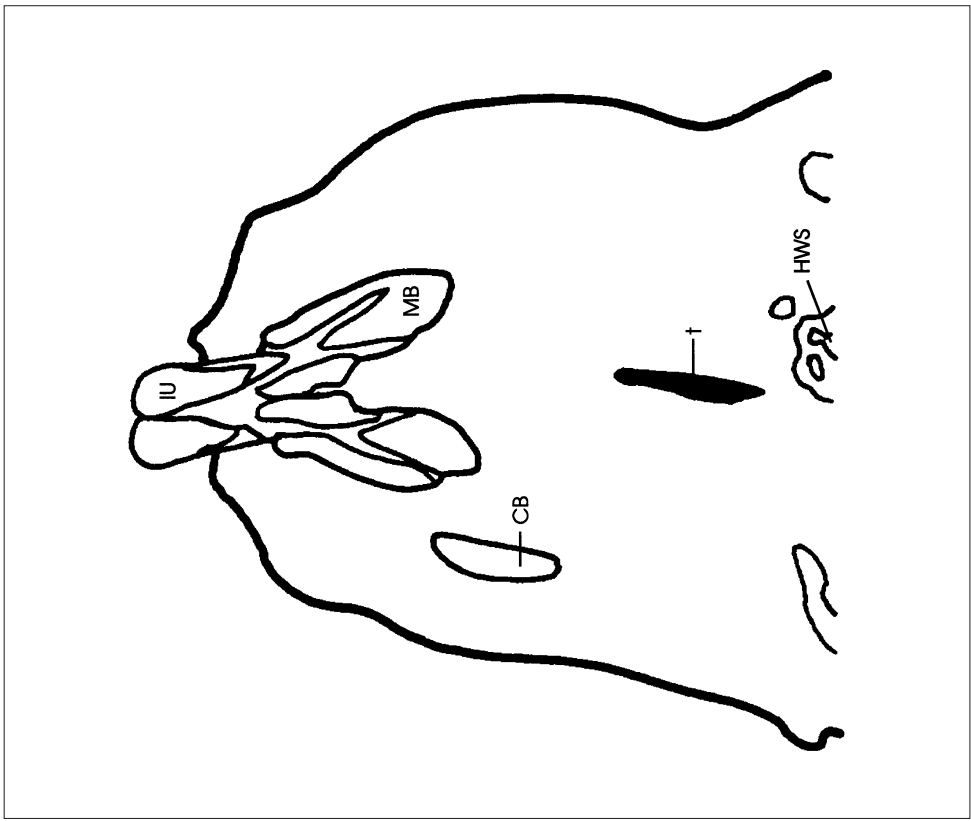


# Horizontale Schnittserie von Cryptomys

hCT15

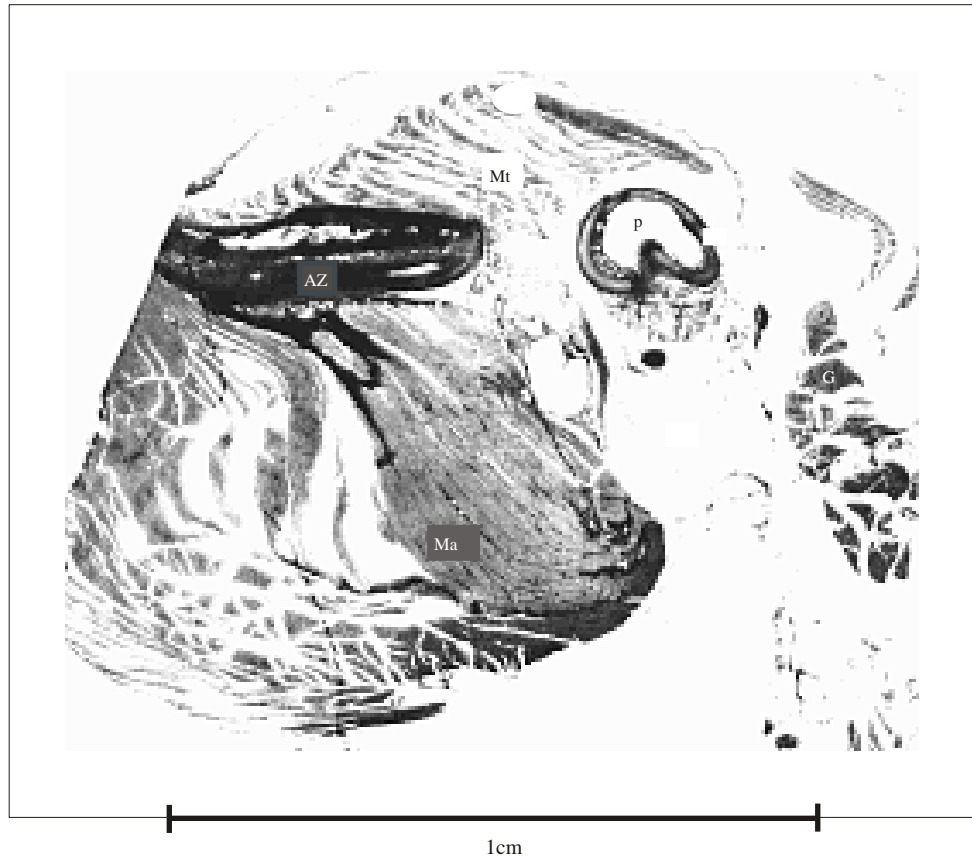


2cm

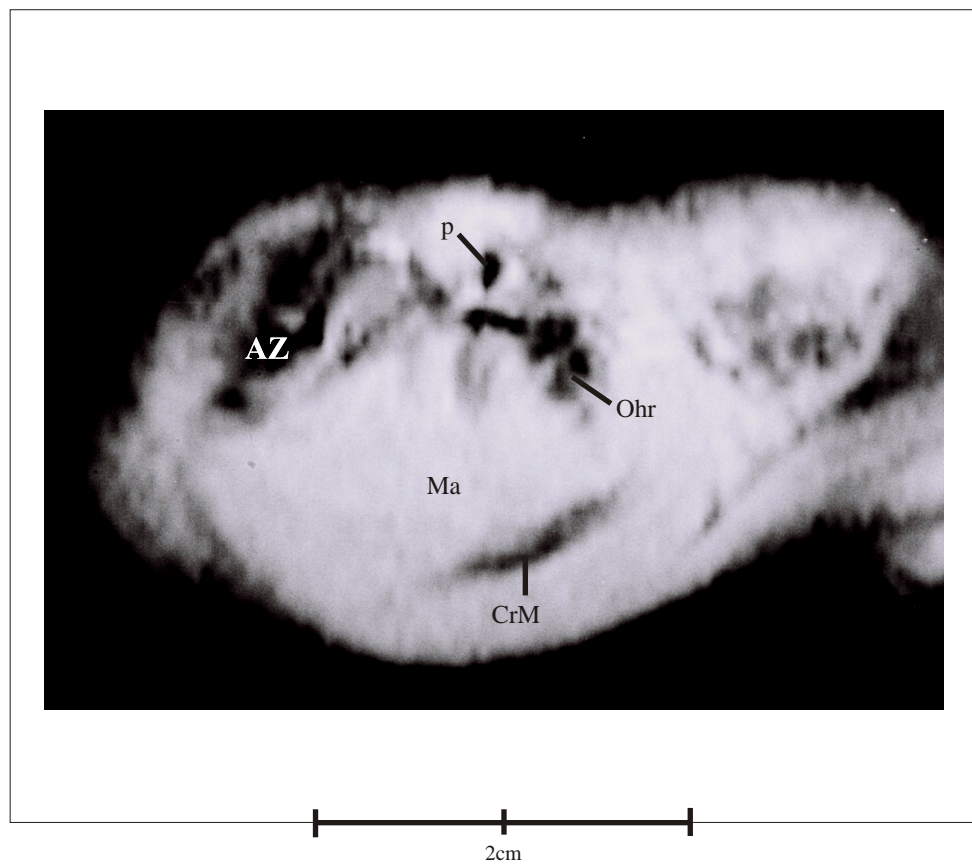


# Sagittale Schnittserie von Cryptomys

sHisto1

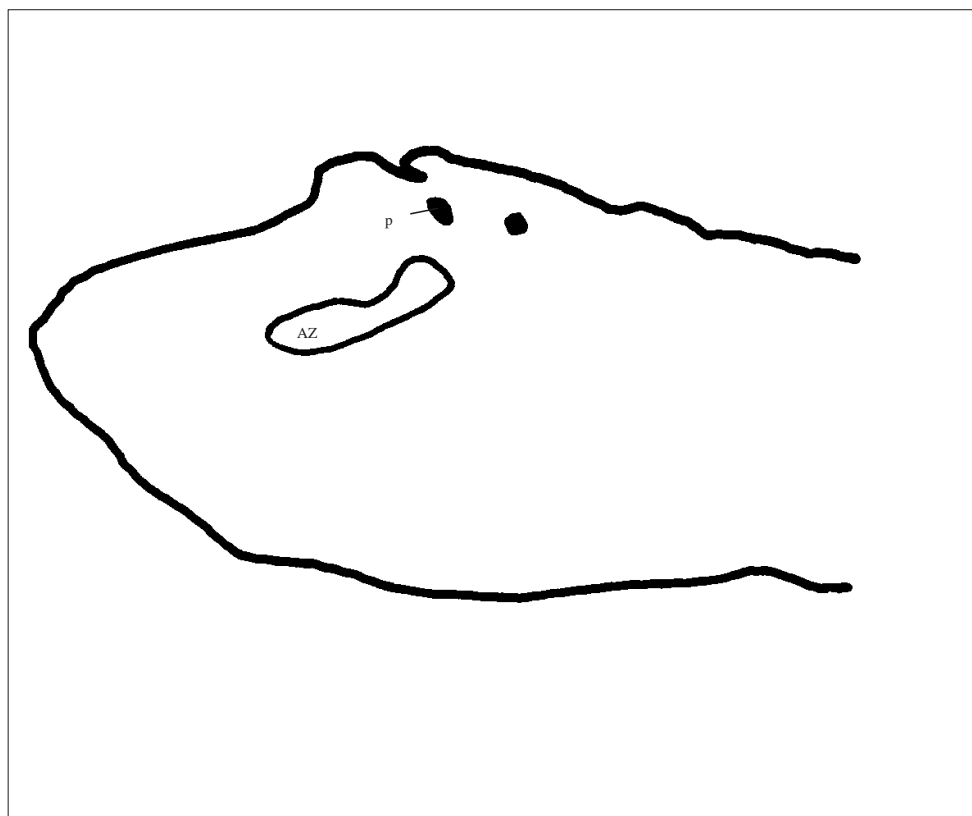
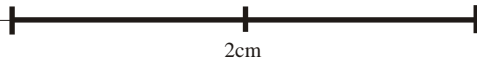
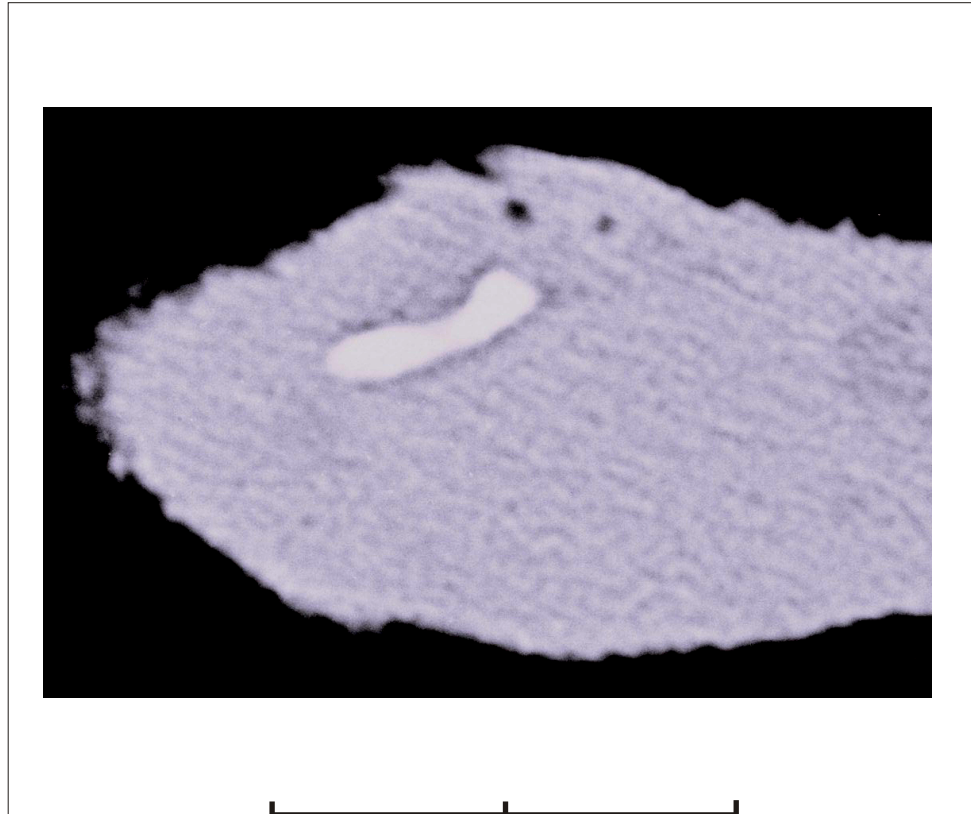


sMRT1



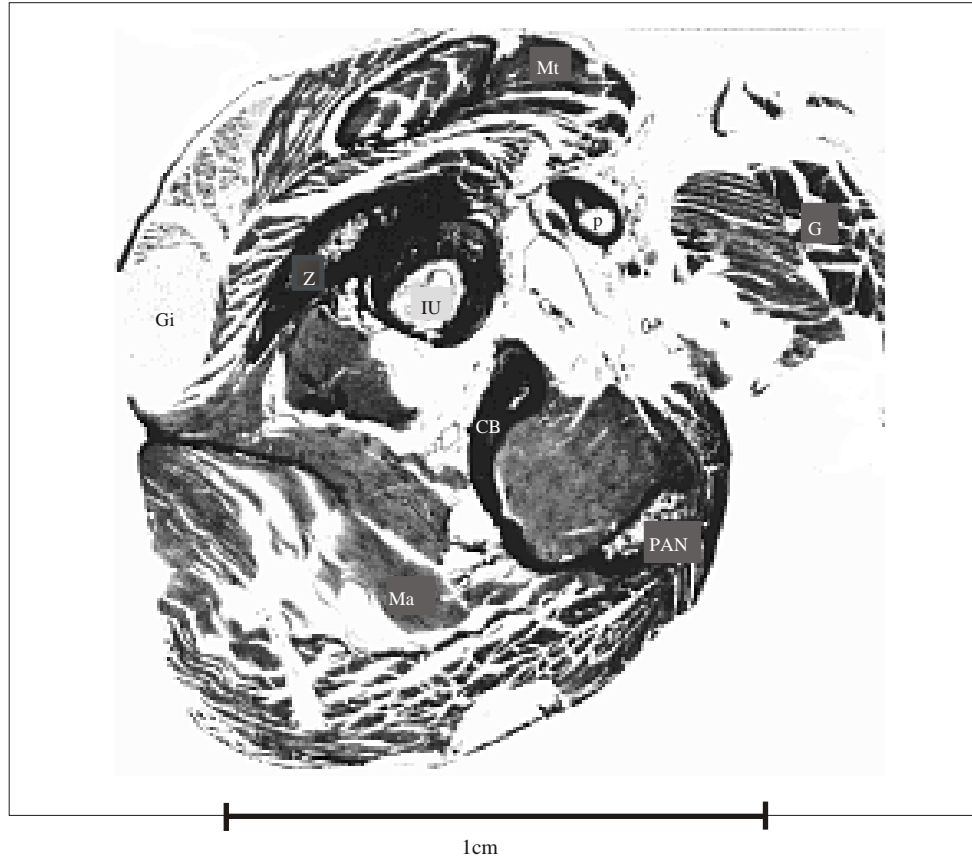
# Sagittale Schnittserie von Cryptomys

sCT1



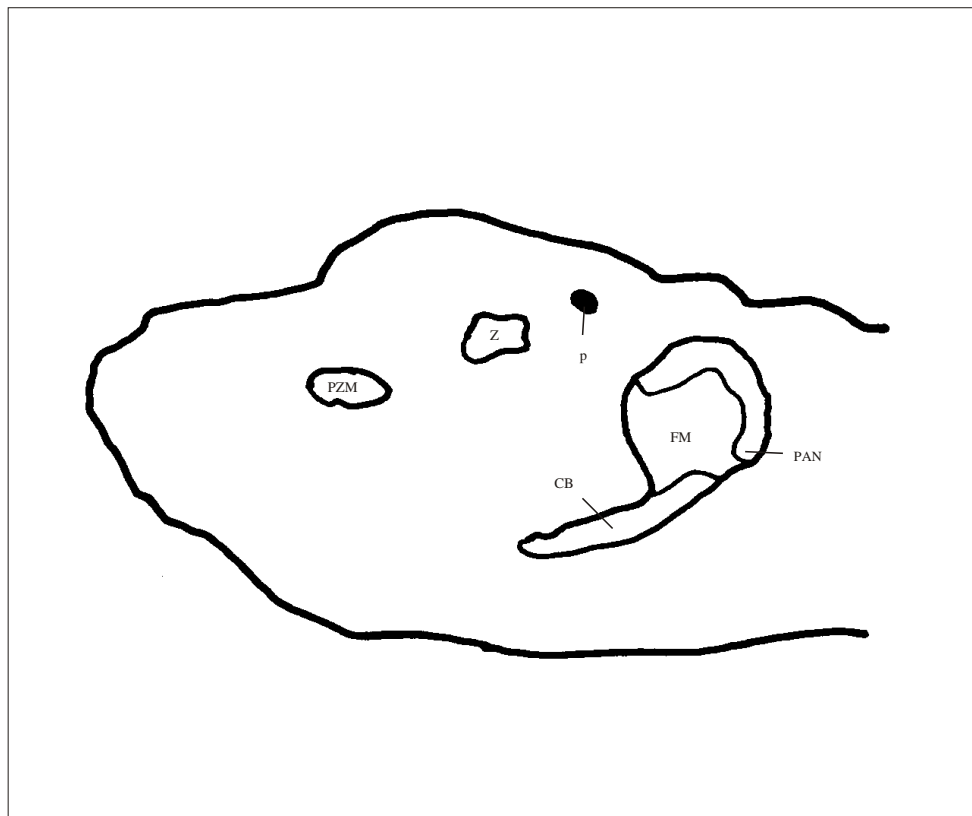
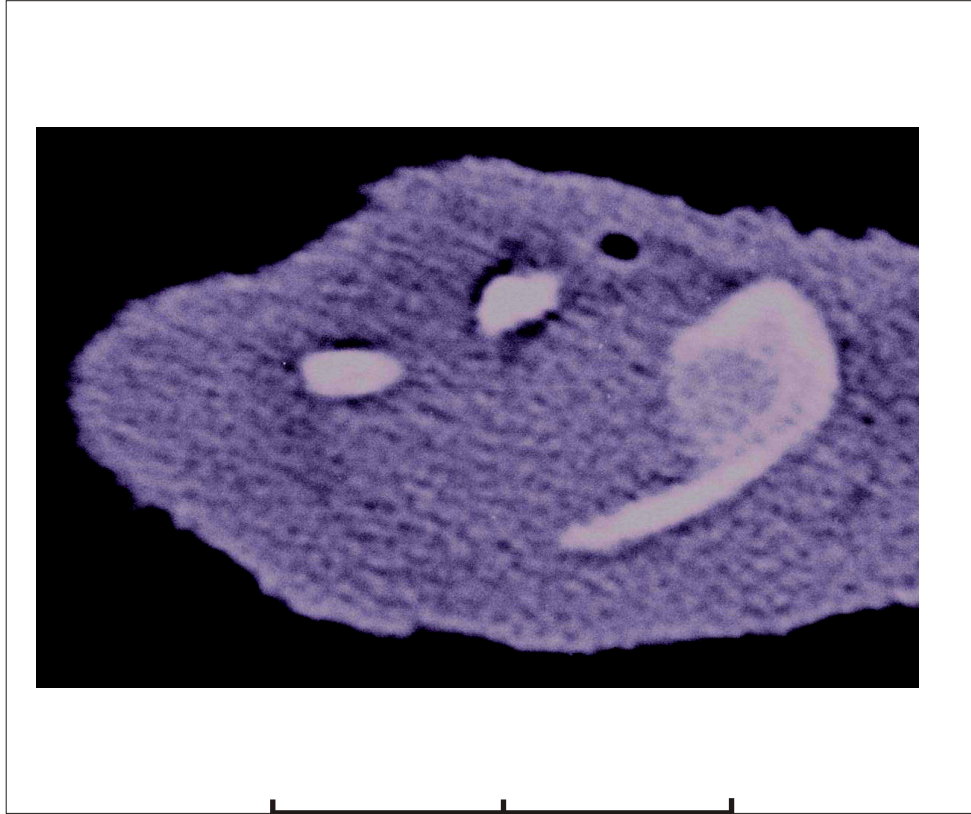
# Sagittale Schnittserie von Cryptomys

sHisto2



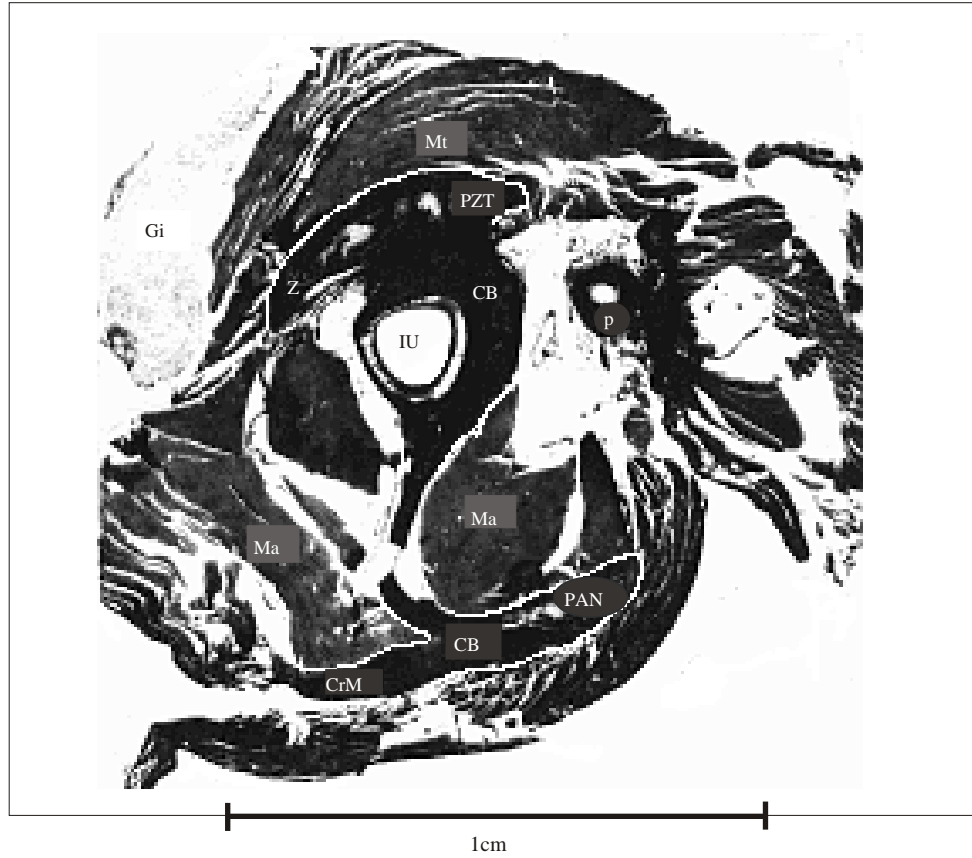
# Sagittale Schnittserie von Cryptomys

sCT2

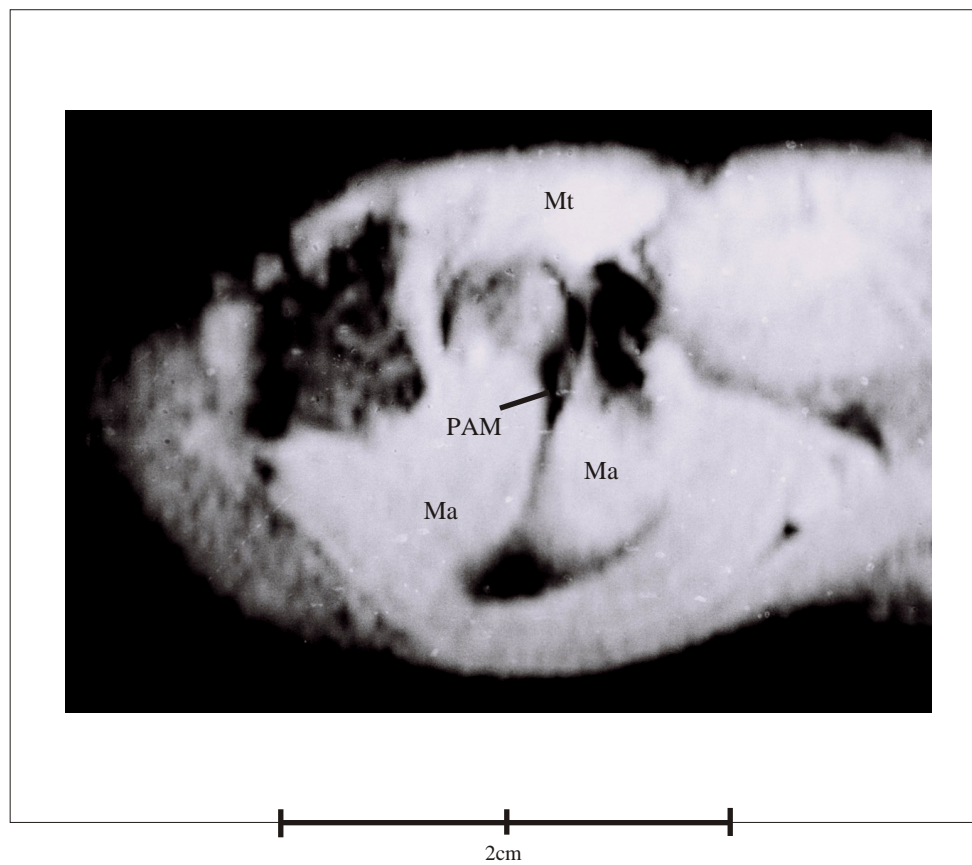


# Sagittale Schnittserie von Cryptomys

sHisto3

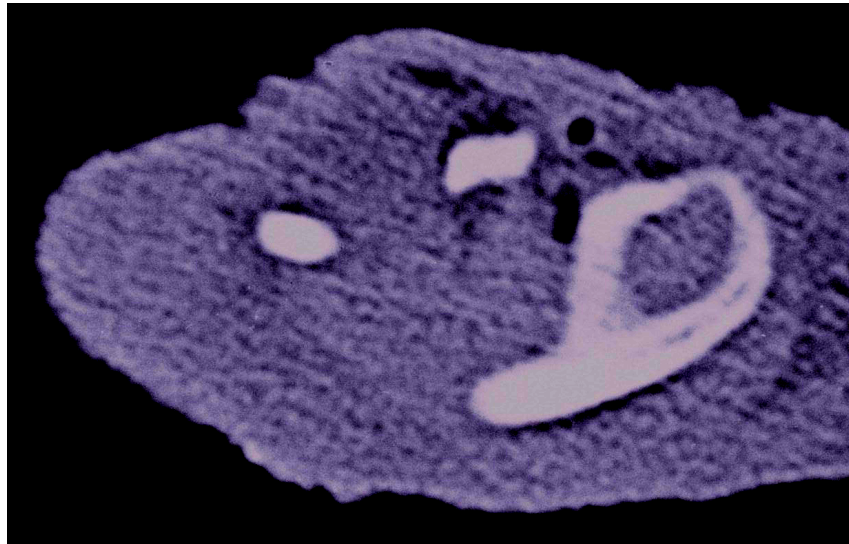


sMRT3

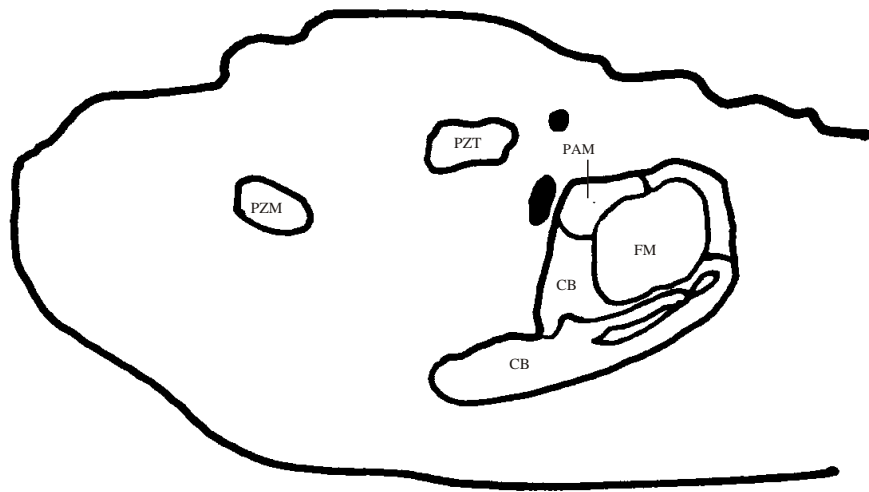


# Sagittale Schnittserie von Cryptomys

sCT3

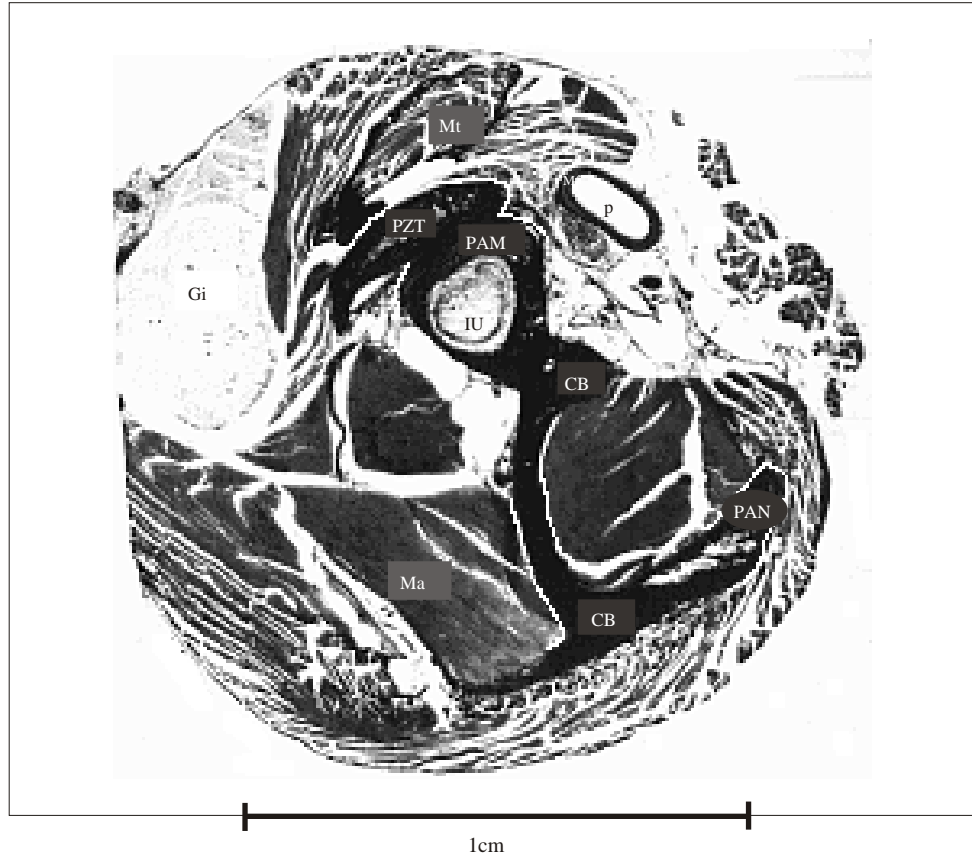


2cm



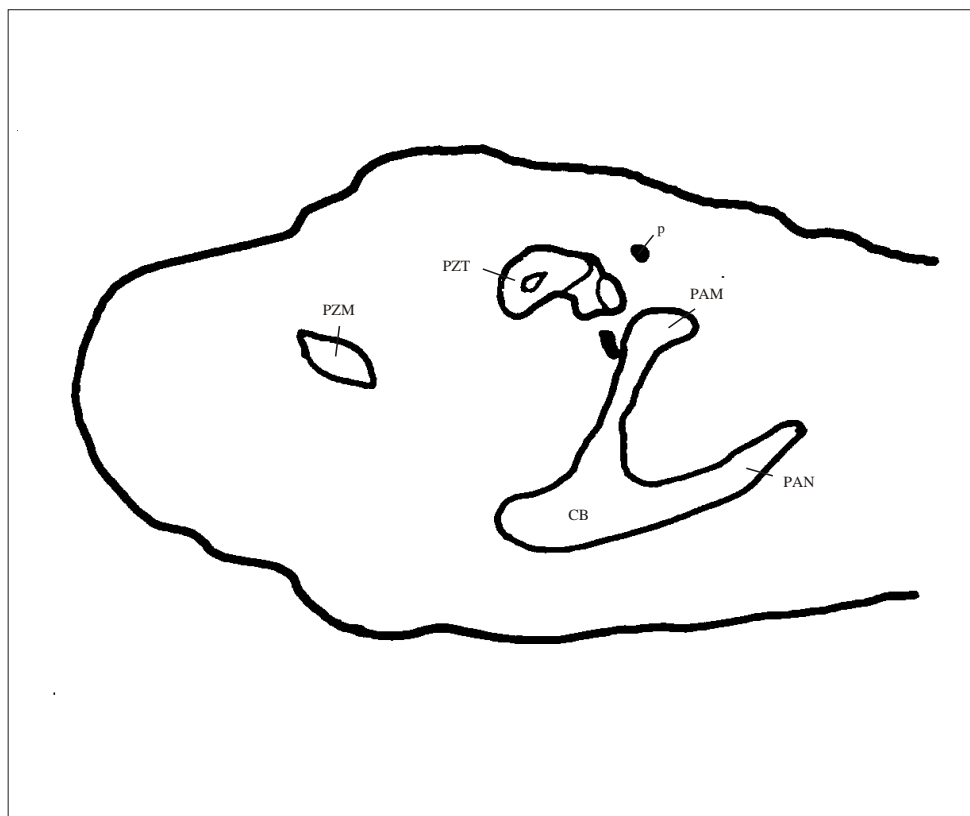
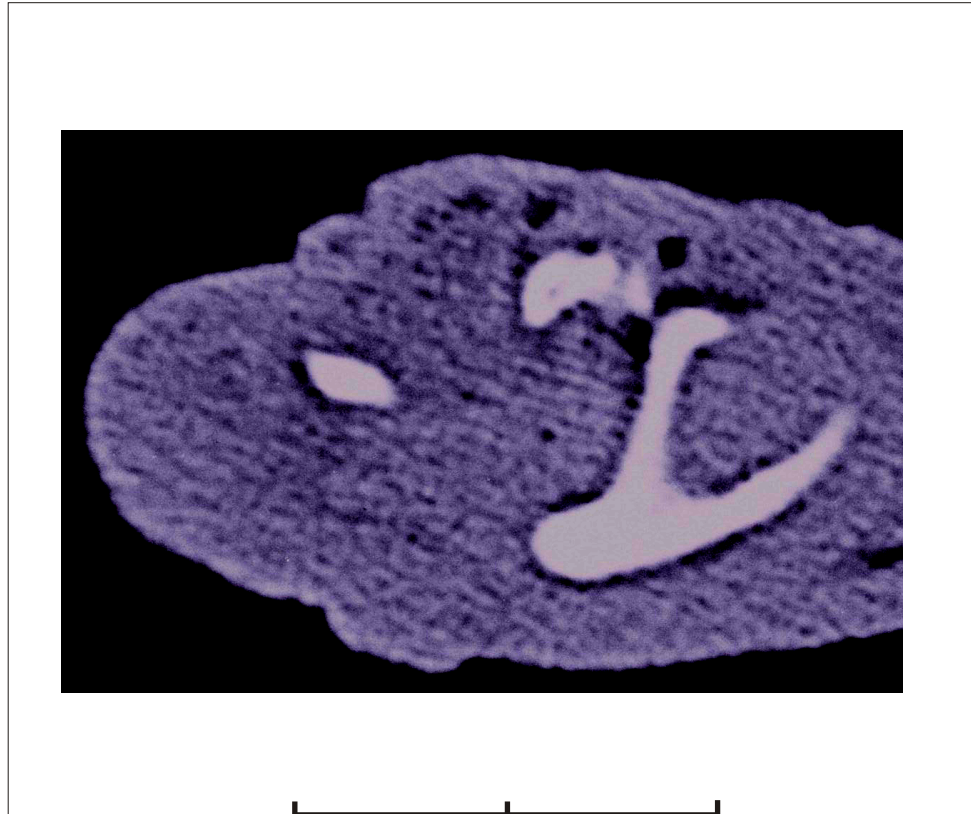
# Sagittale Schnittserie von Cryptomys

sHisto4



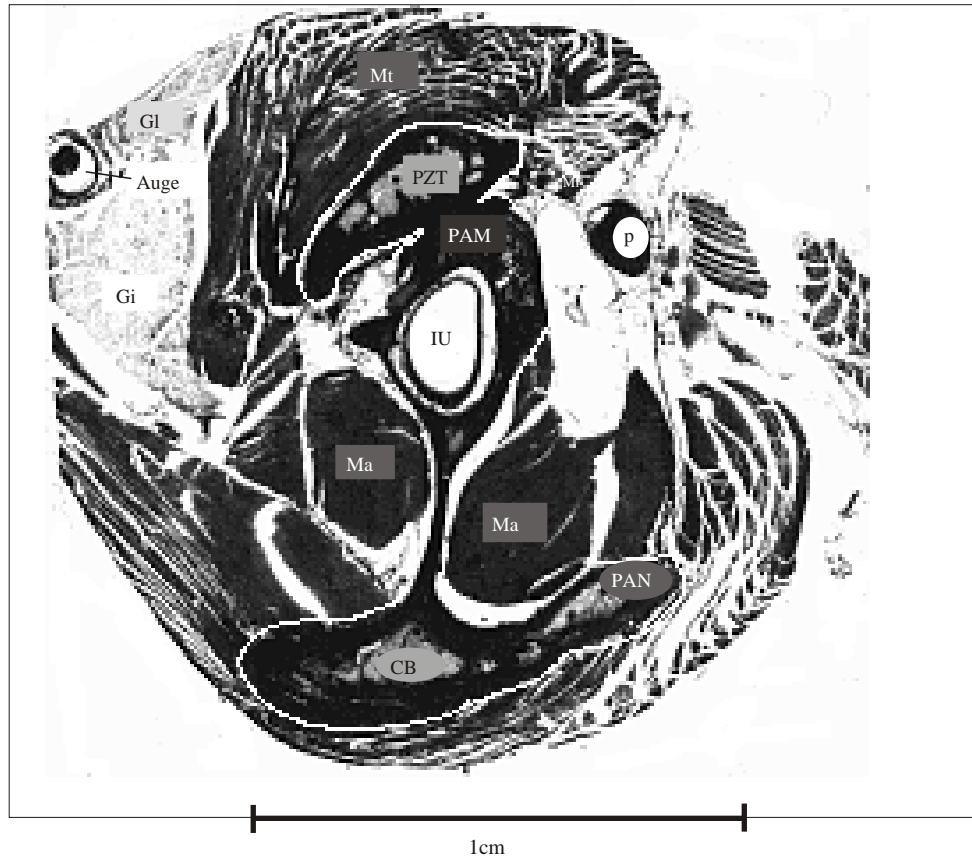
# Sagittale Schnittserie von Cryptomys

sCT4



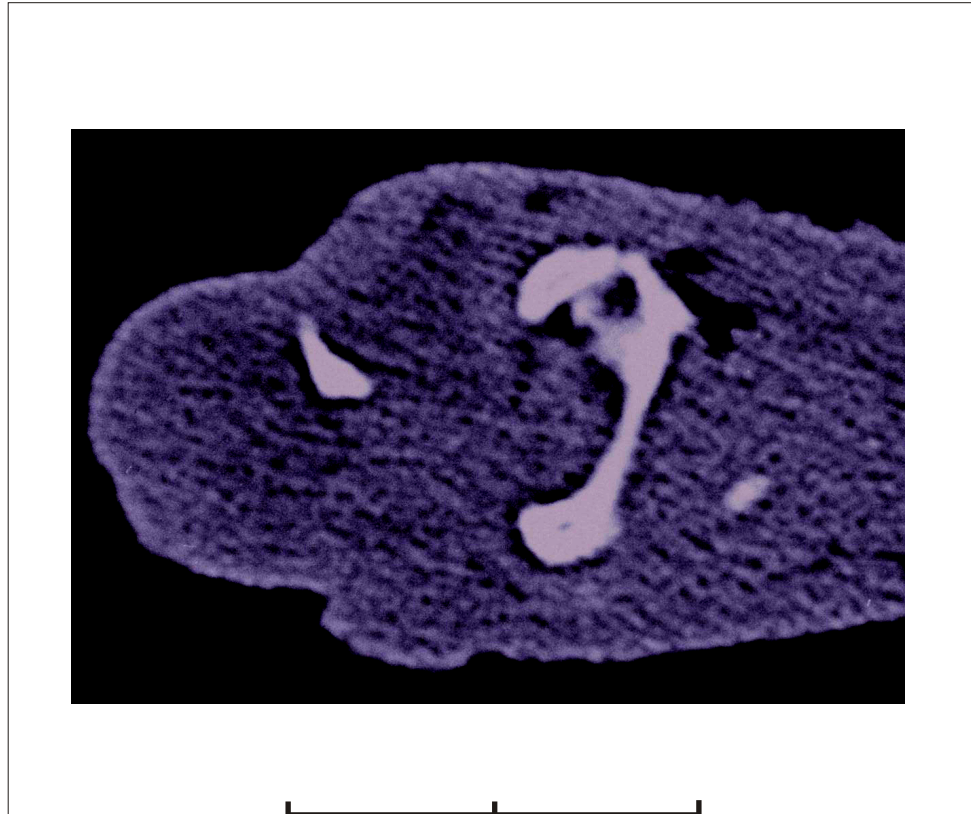
# Sagittale Schnittserie von Cryptomys

sHisto5

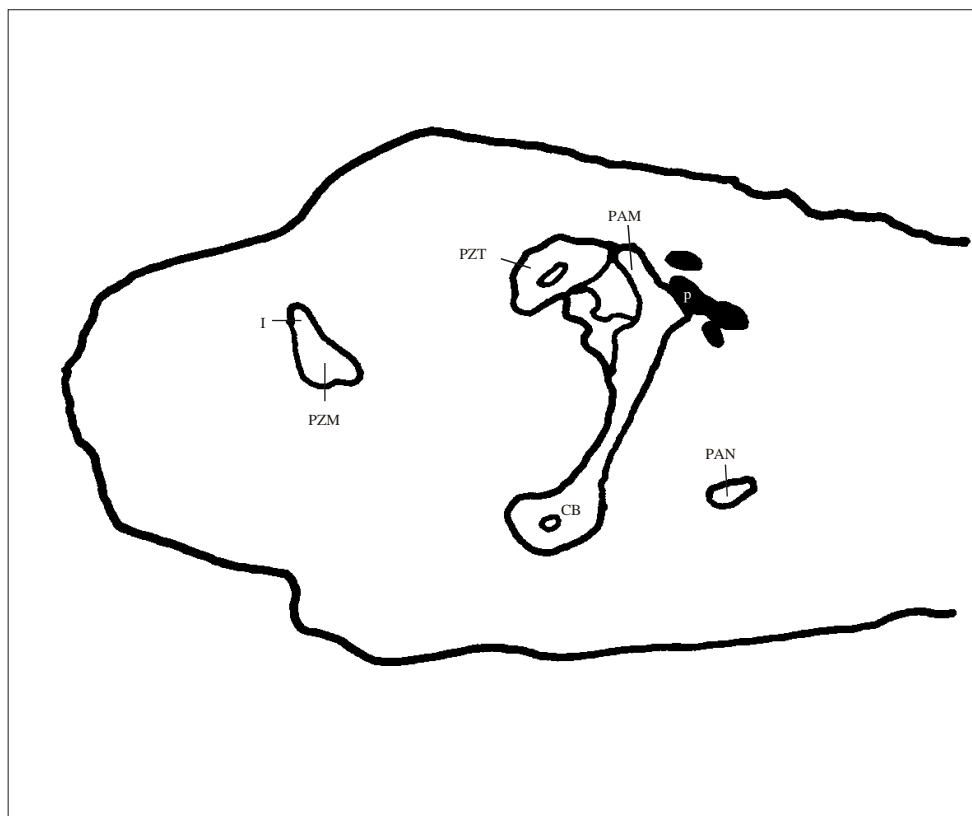


# Sagittale Schnittserie von Cryptomys

sCT5

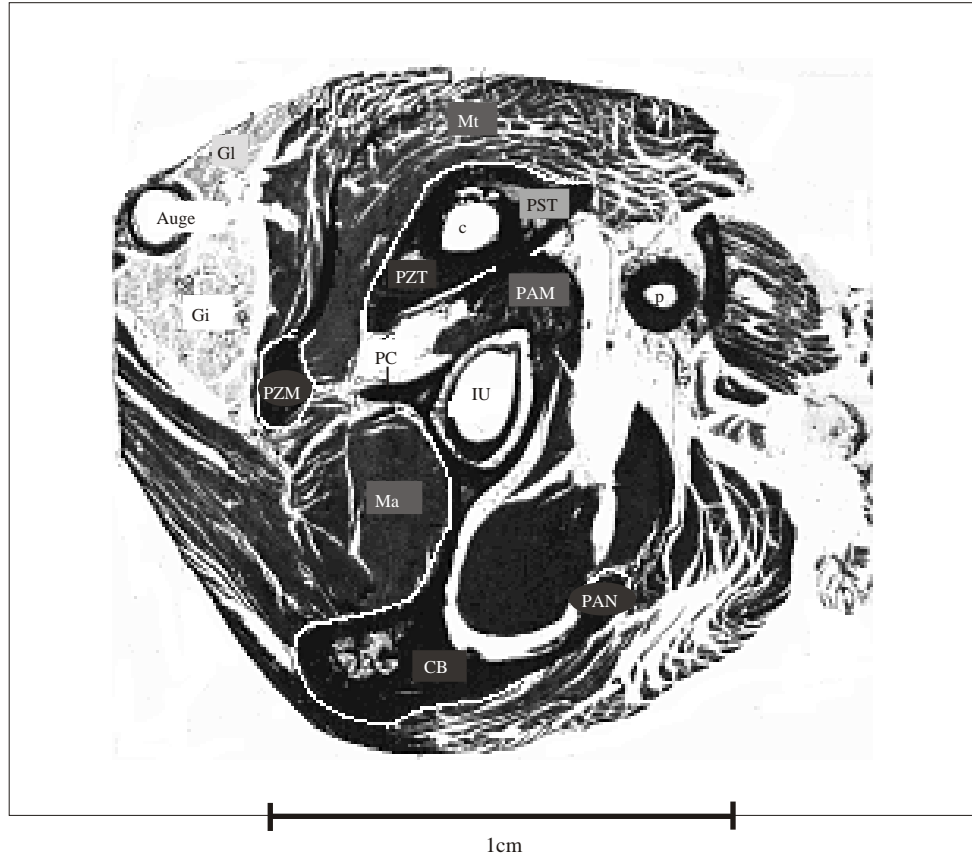


2cm

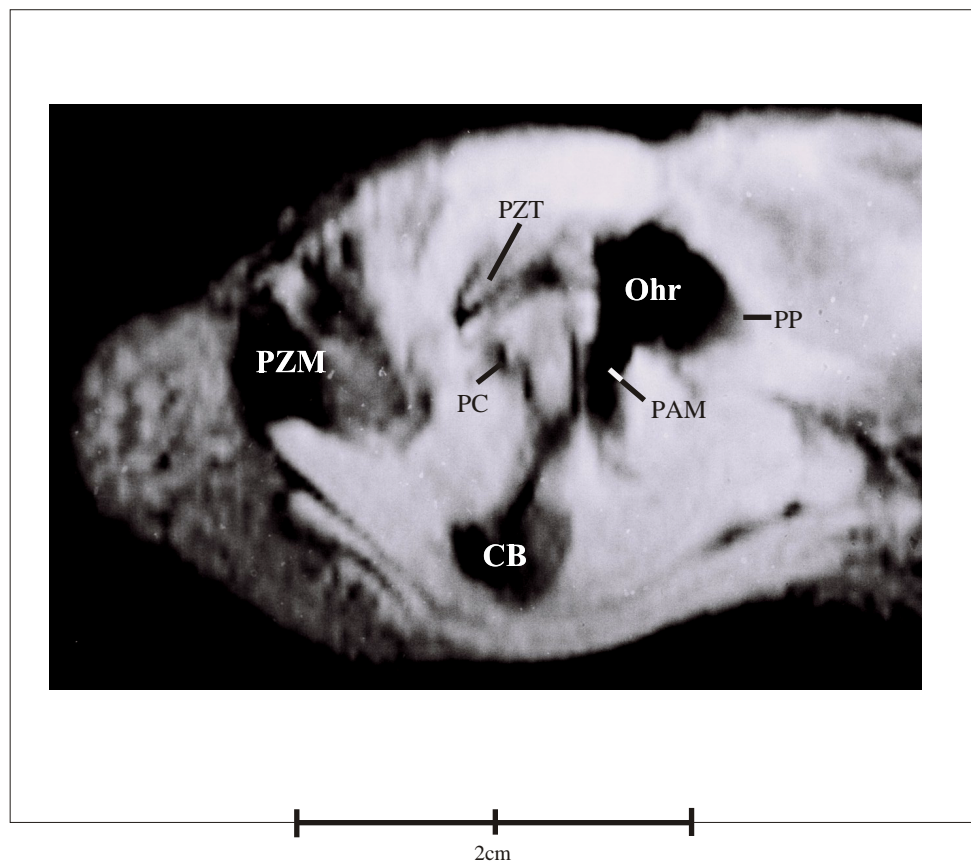


# Sagittale Schnittserie von Cryptomys

sHisto6

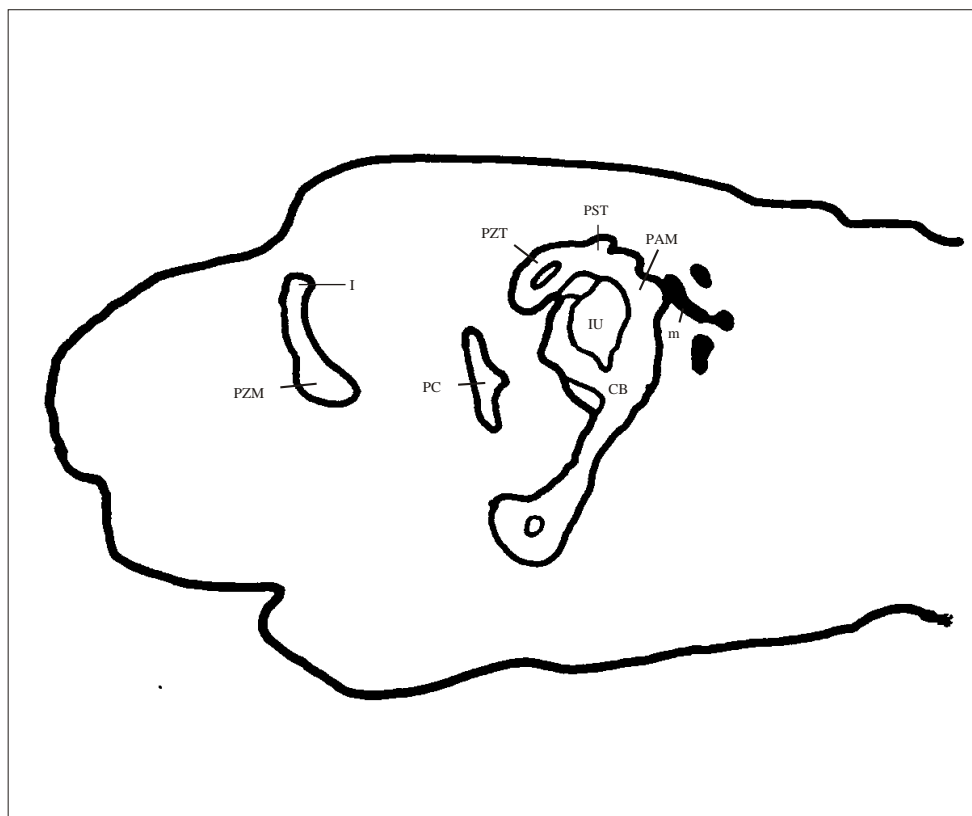
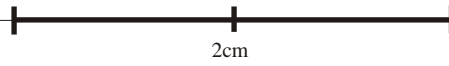
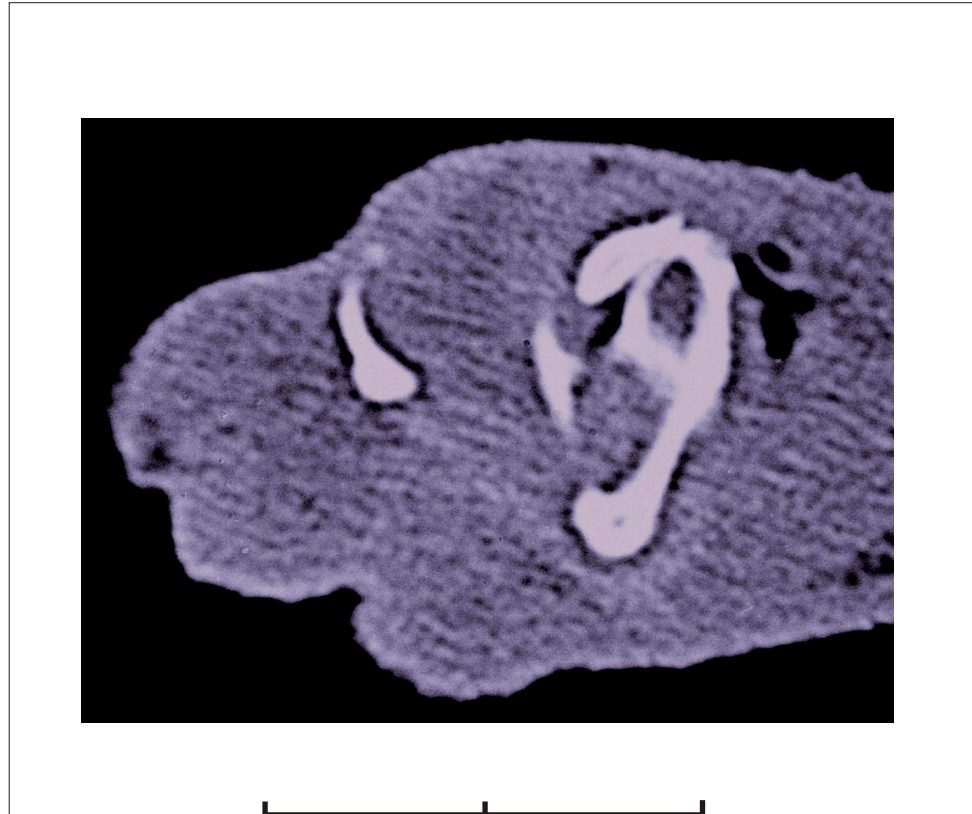


sMRT6



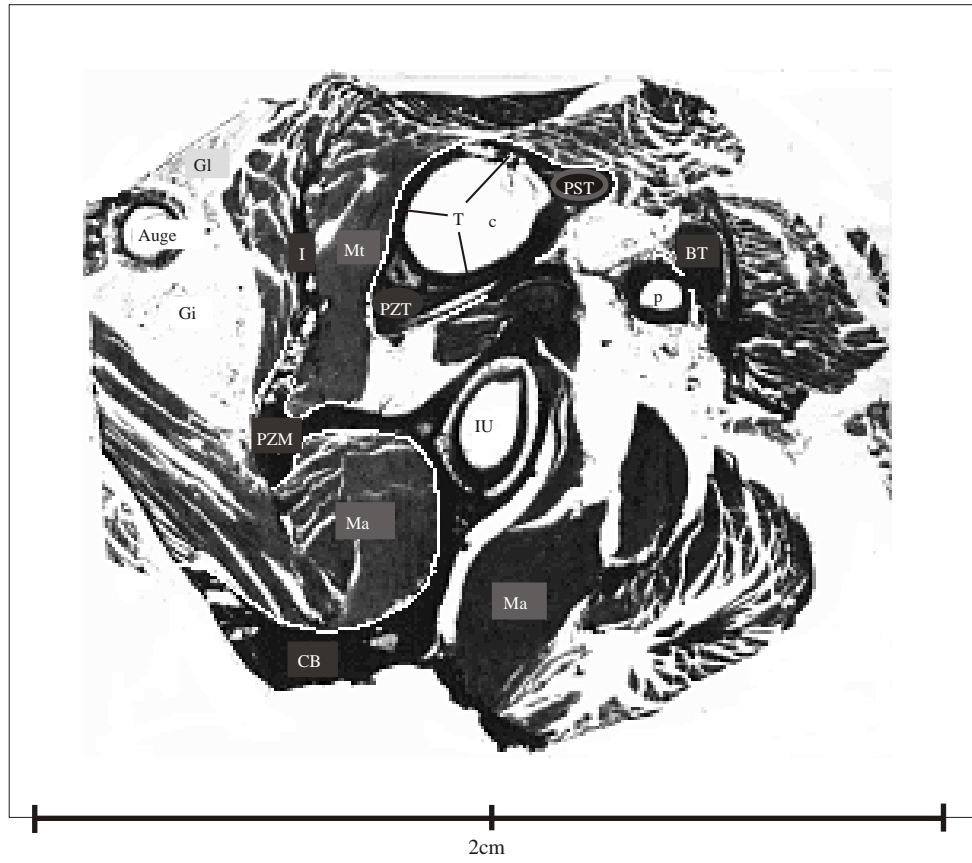
# Sagittale Schnittserie von Cryptomys

sCT6



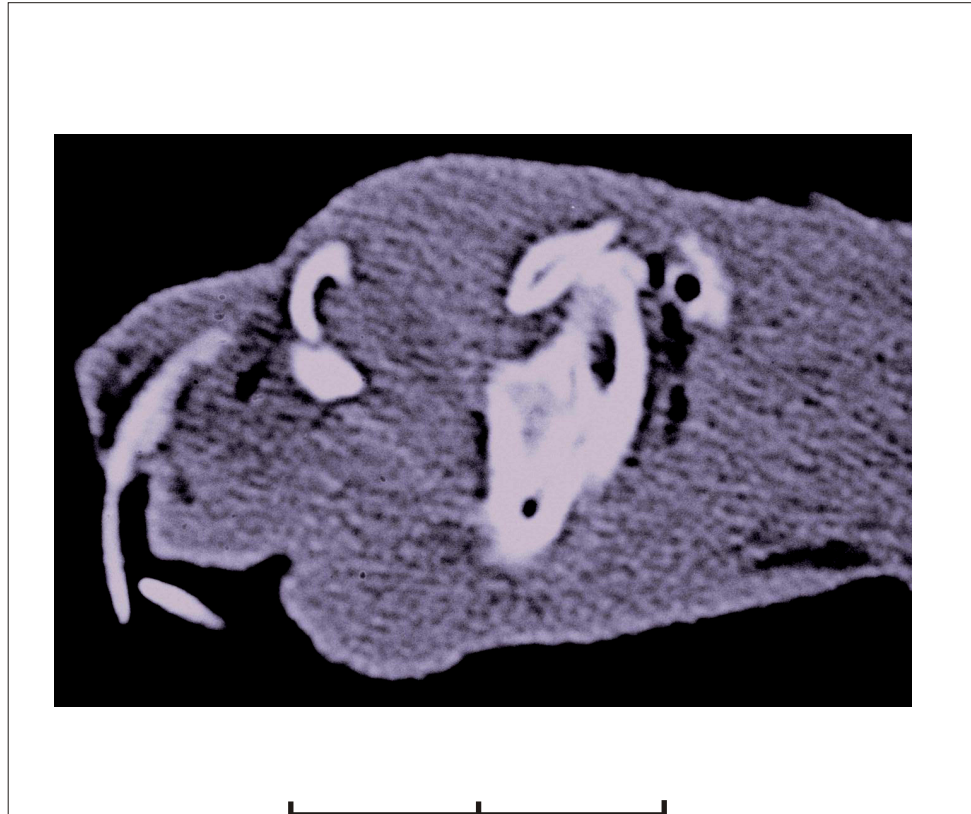
# Sagittale Schnittserie von Cryptomys

sHisto7

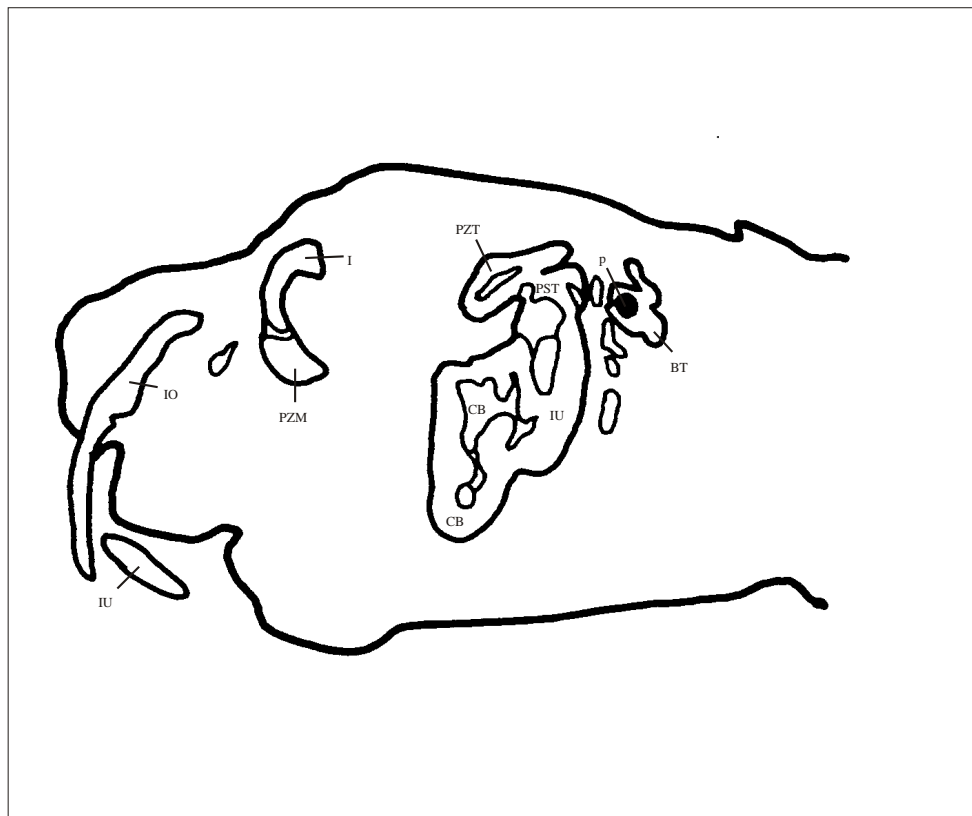


# Sagittale Schnittserie von Cryptomys

sCT7

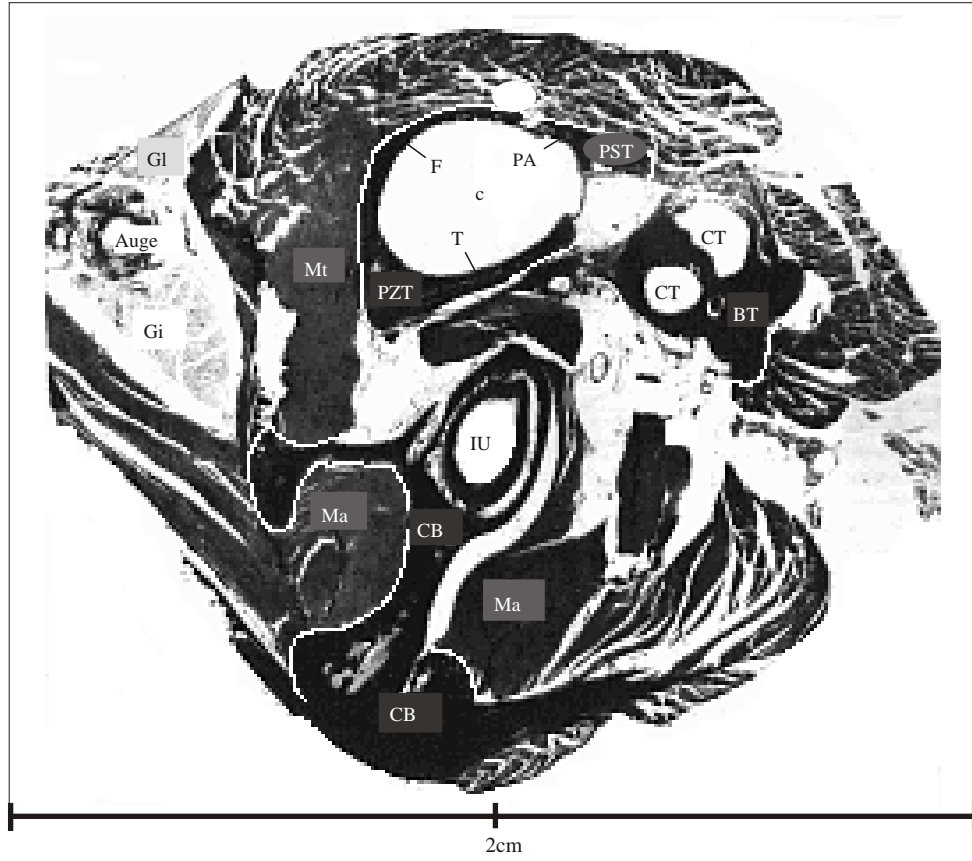


2cm

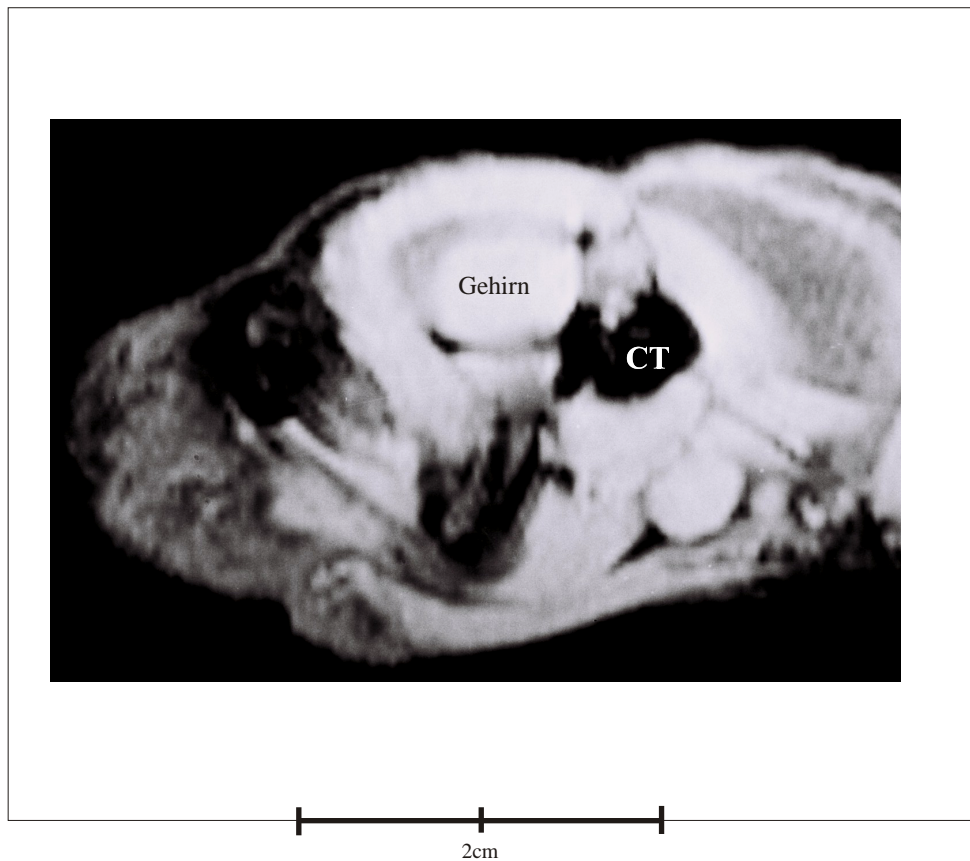


# Sagittale Schnittserie von Cryptomys

sHisto8

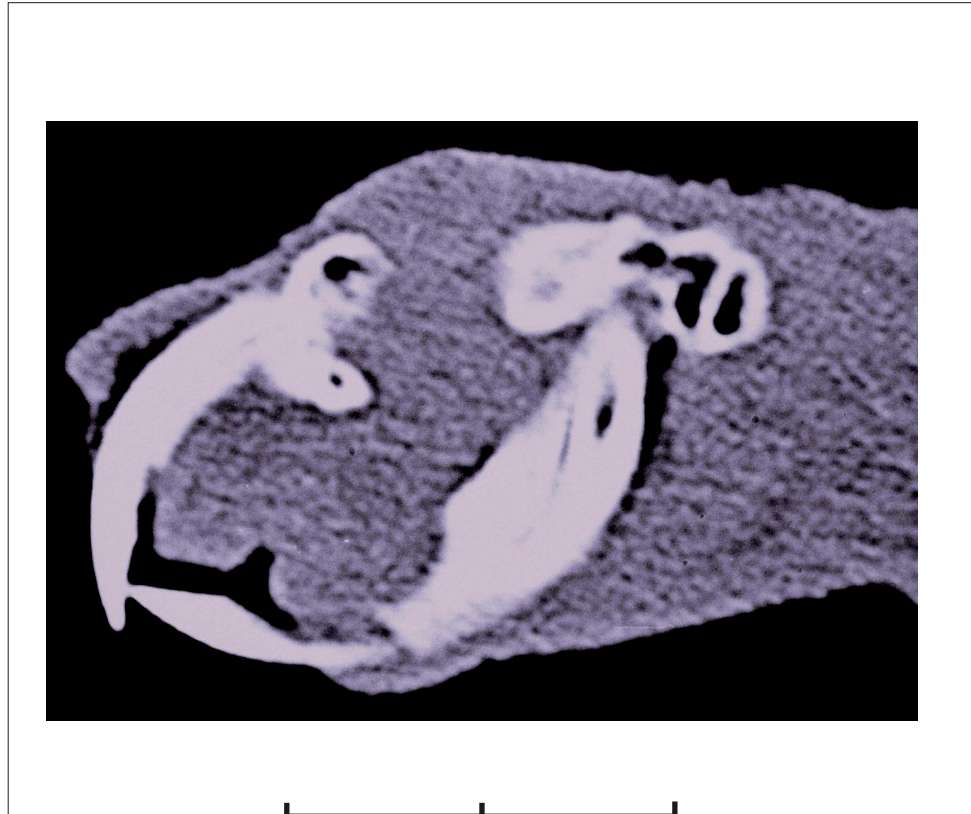


sMRT8

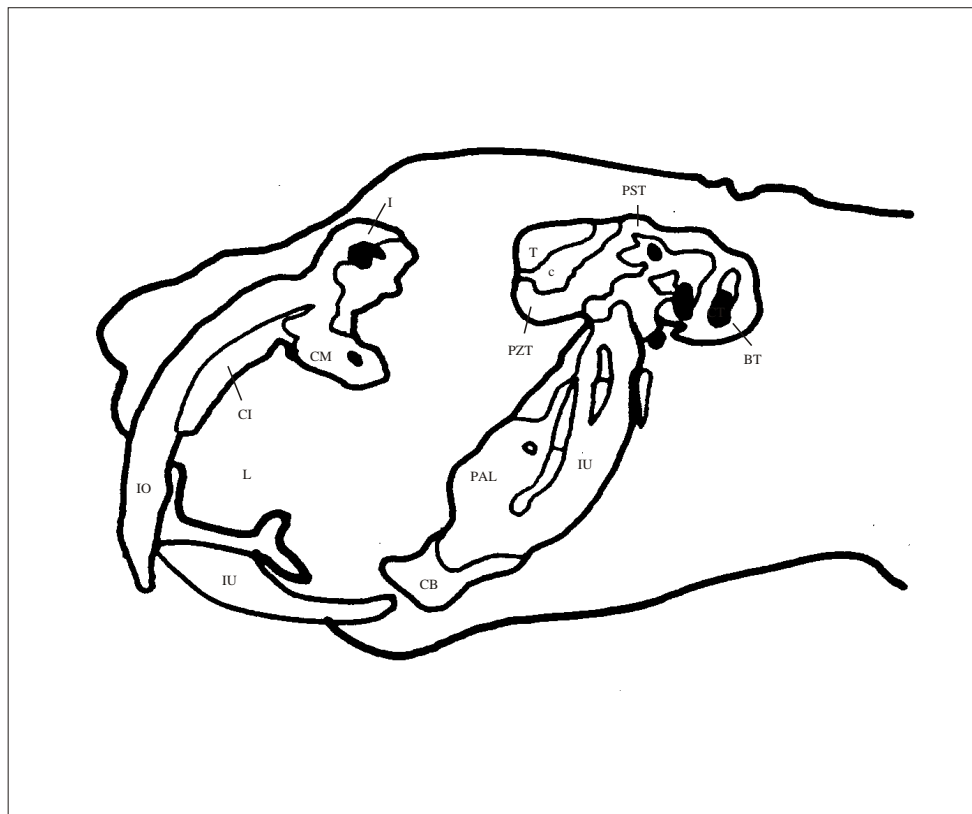


# Sagittale Schnittserie von Cryptomys

sCT8

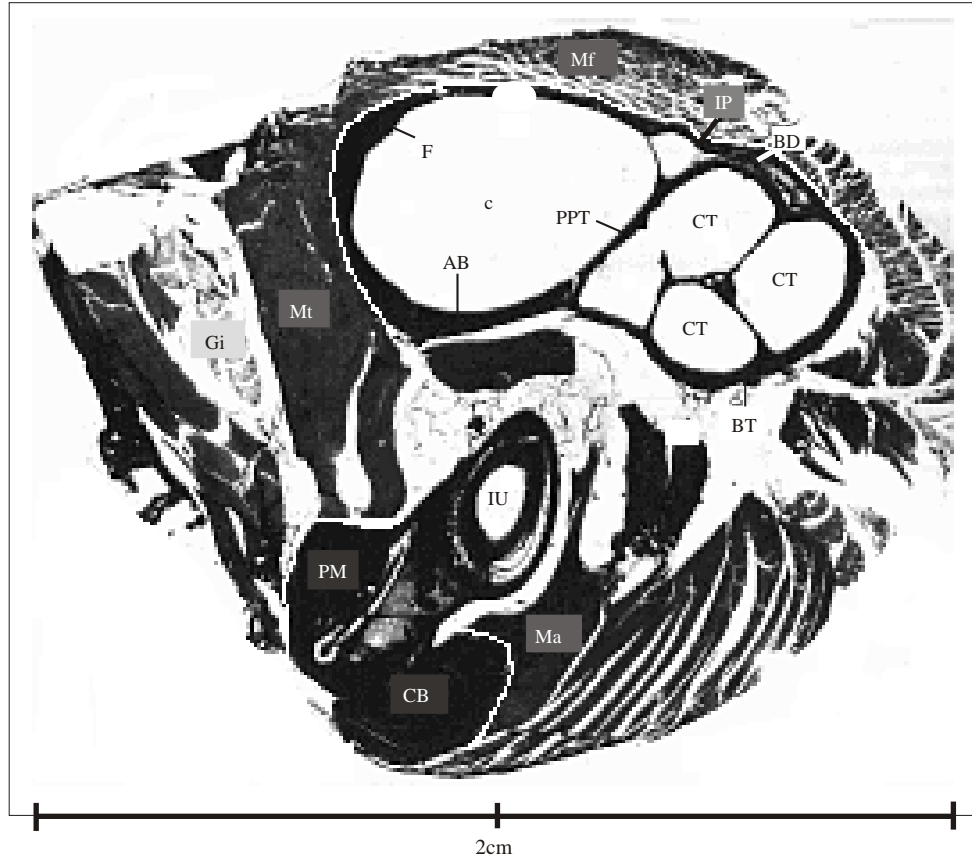


2cm



# Sagittale Schnittserie von Cryptomys

sHisto9

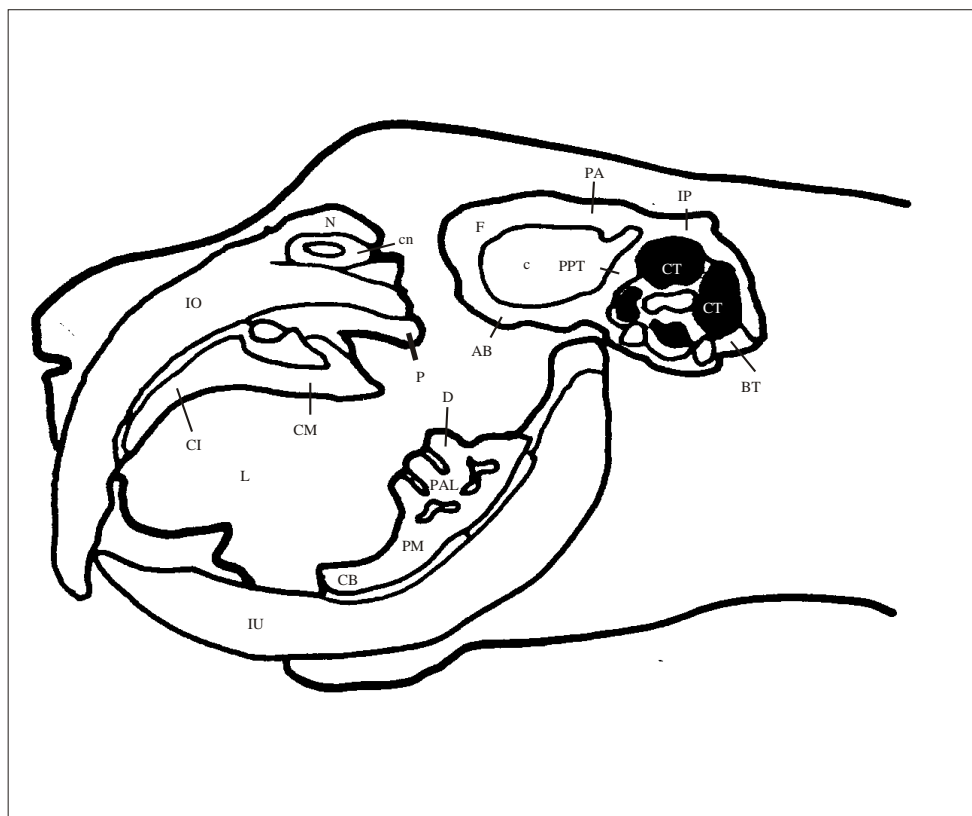


# Sagittale Schnittserie von Cryptomys

sCT9

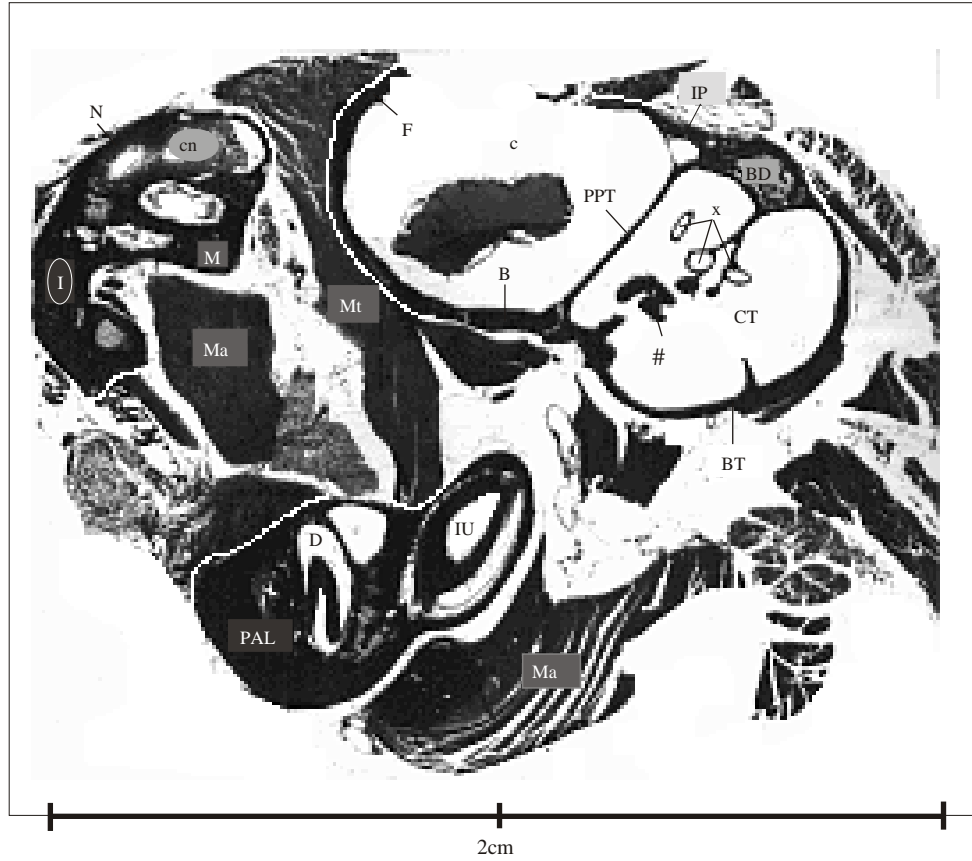


2cm

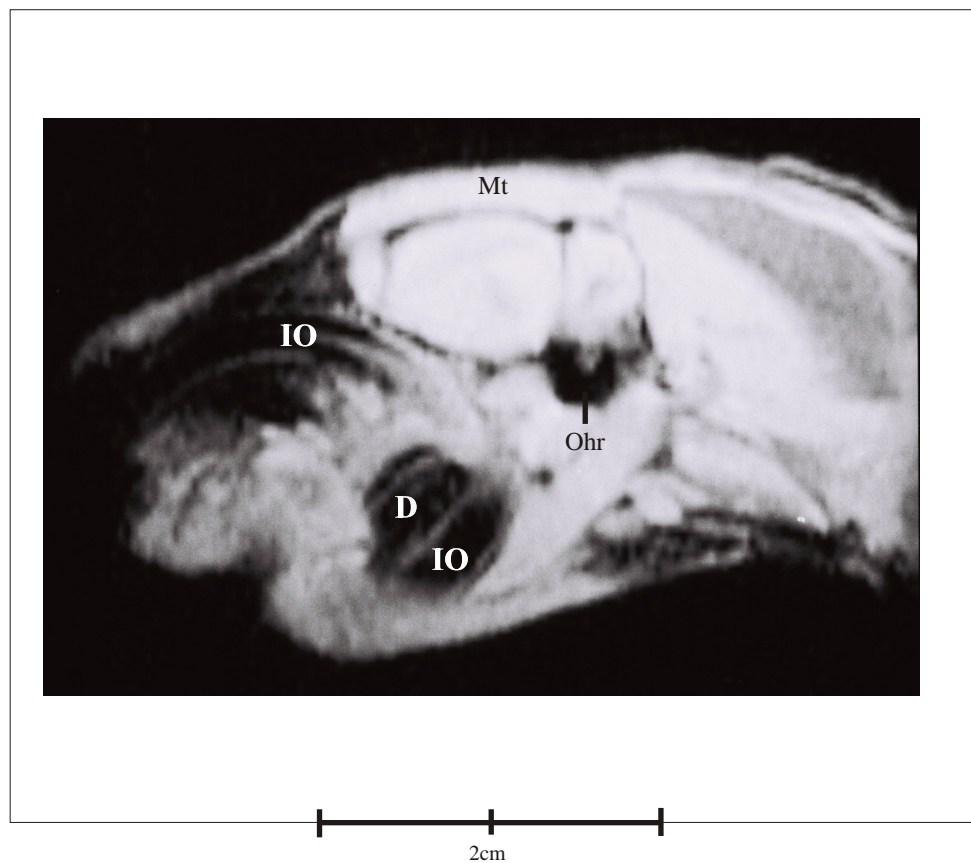


# Sagittale Schnittserie von Cryptomys

sHisto10

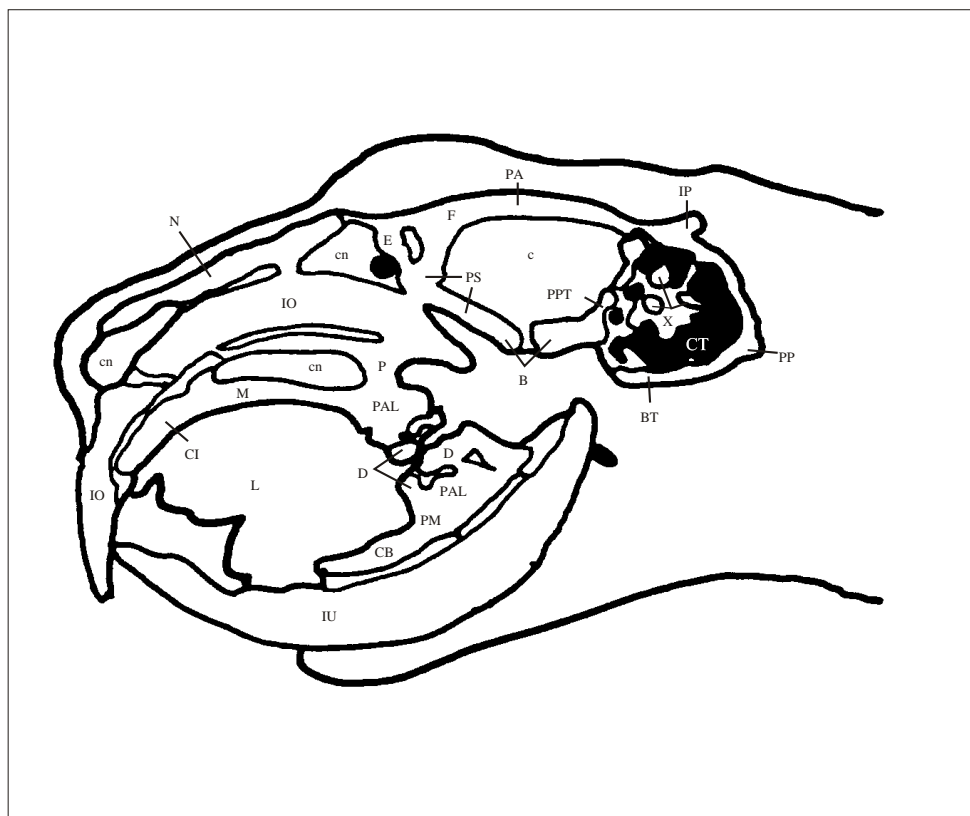


sMRT10



# Sagittale Schnittserie von Cryptomys

sCT10

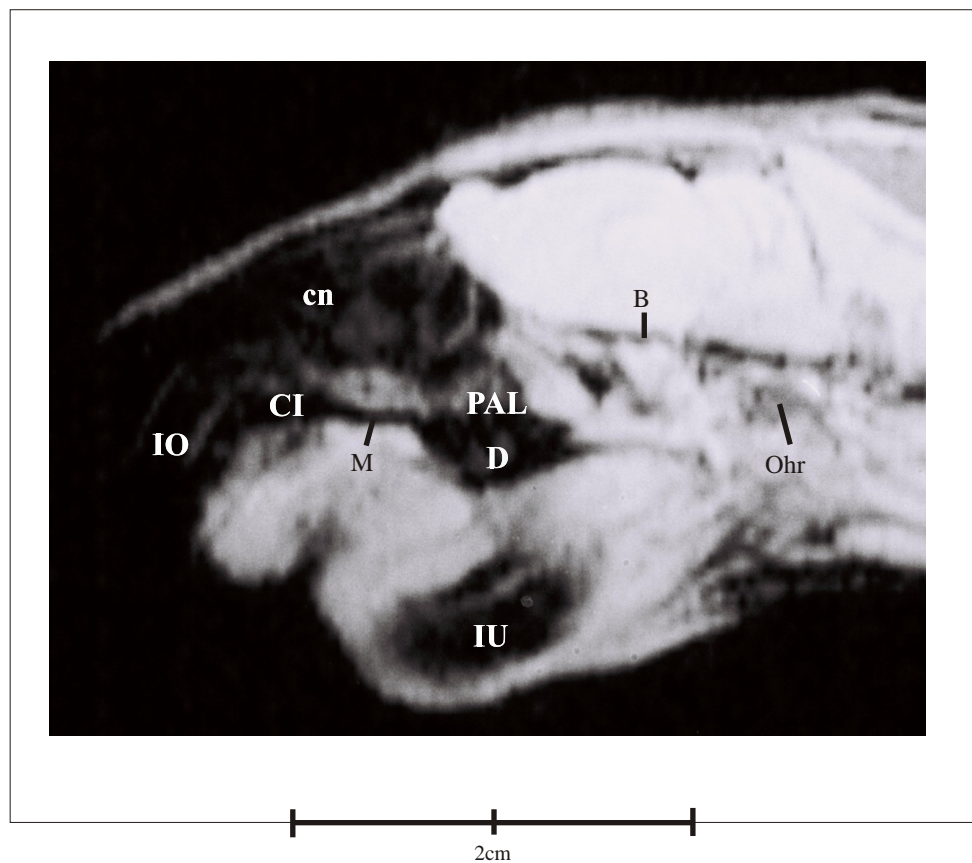


# Sagittale Schnittserie von Cryptomys

sHisto11

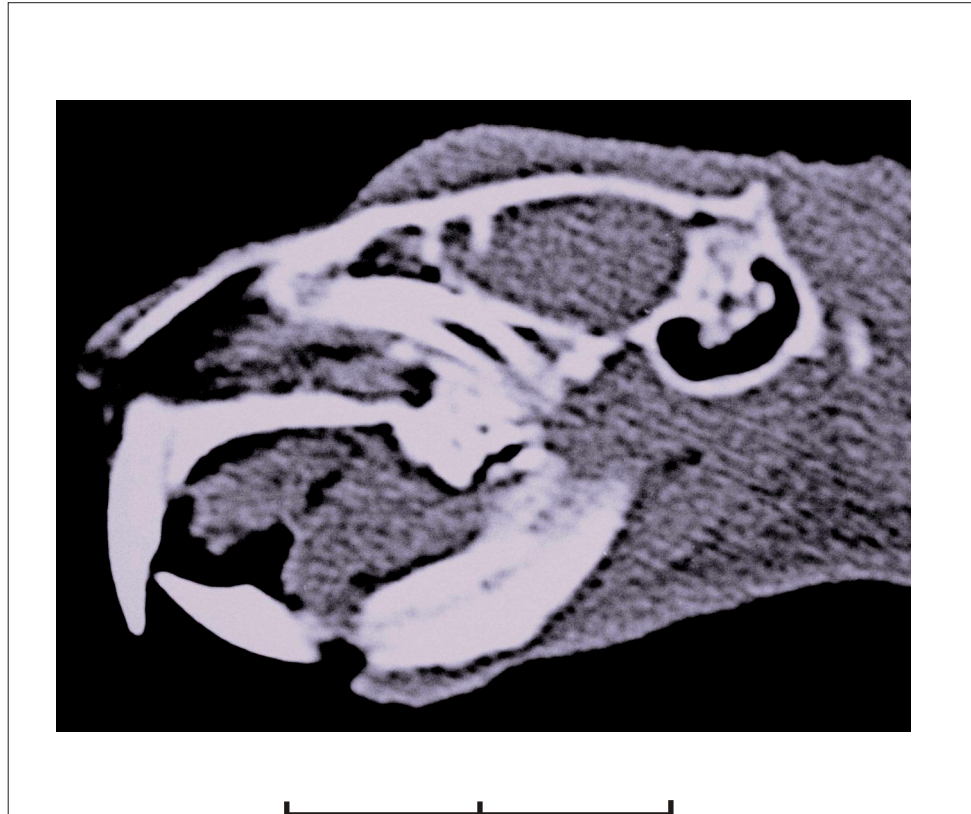


sMRT11

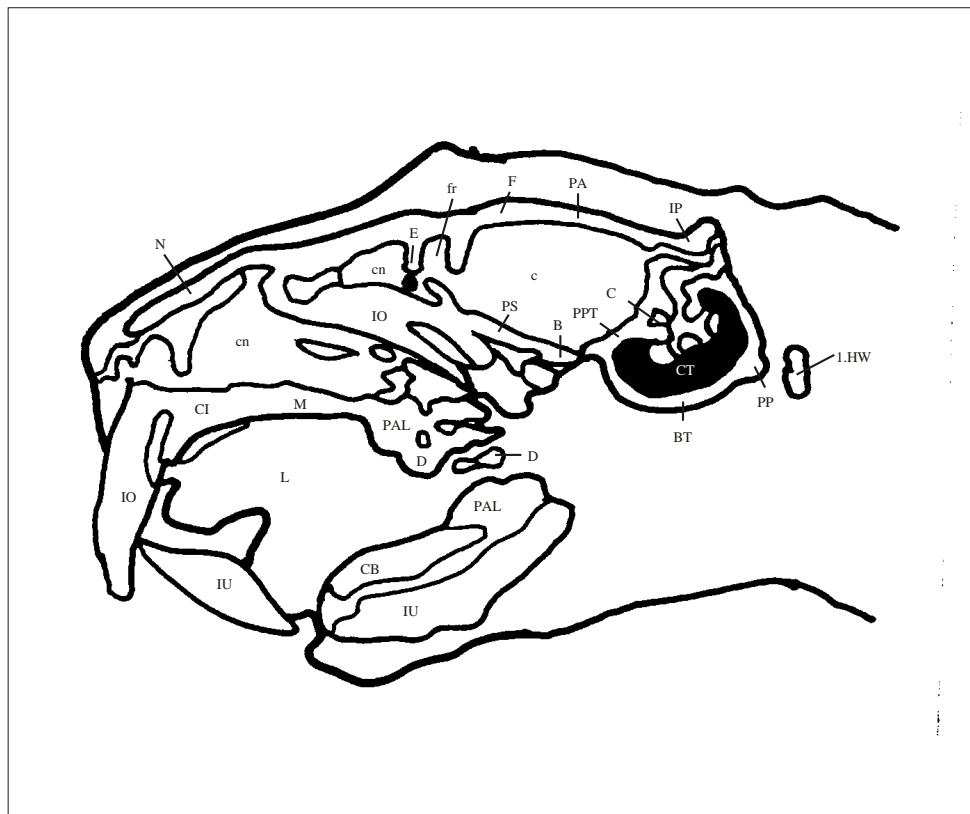


# Sagittale Schnittserie von Cryptomys

sCT11

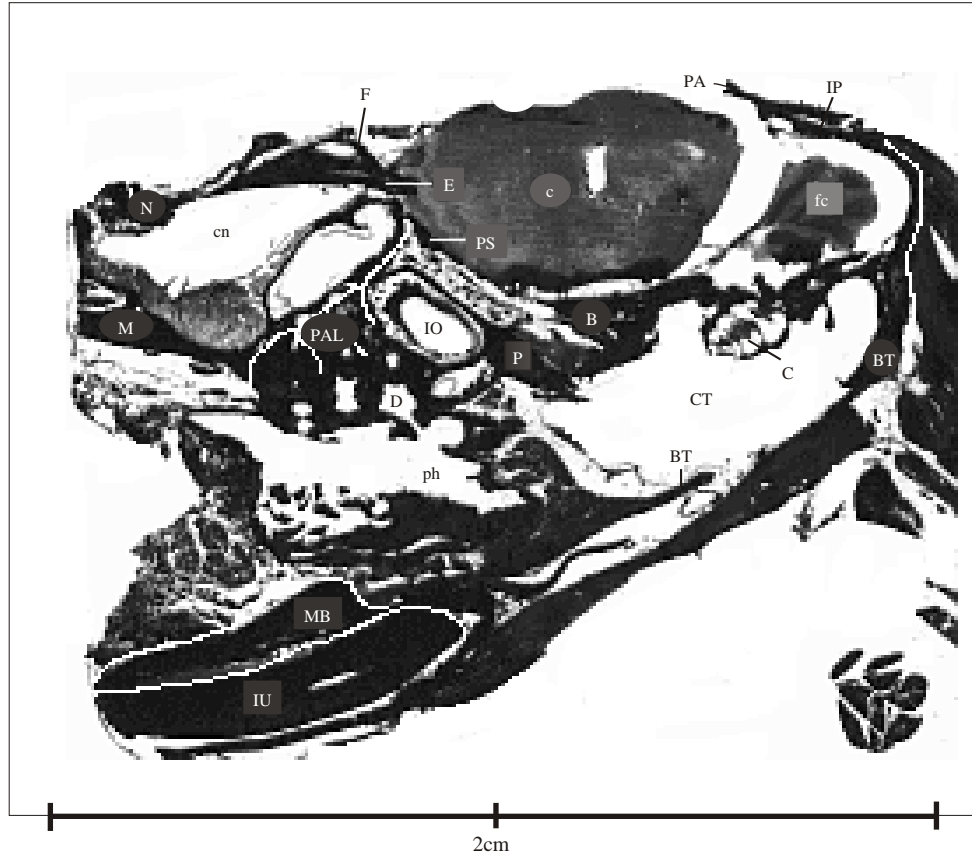


2cm



# Sagittale Schnittserie von Cryptomys

sHisto12

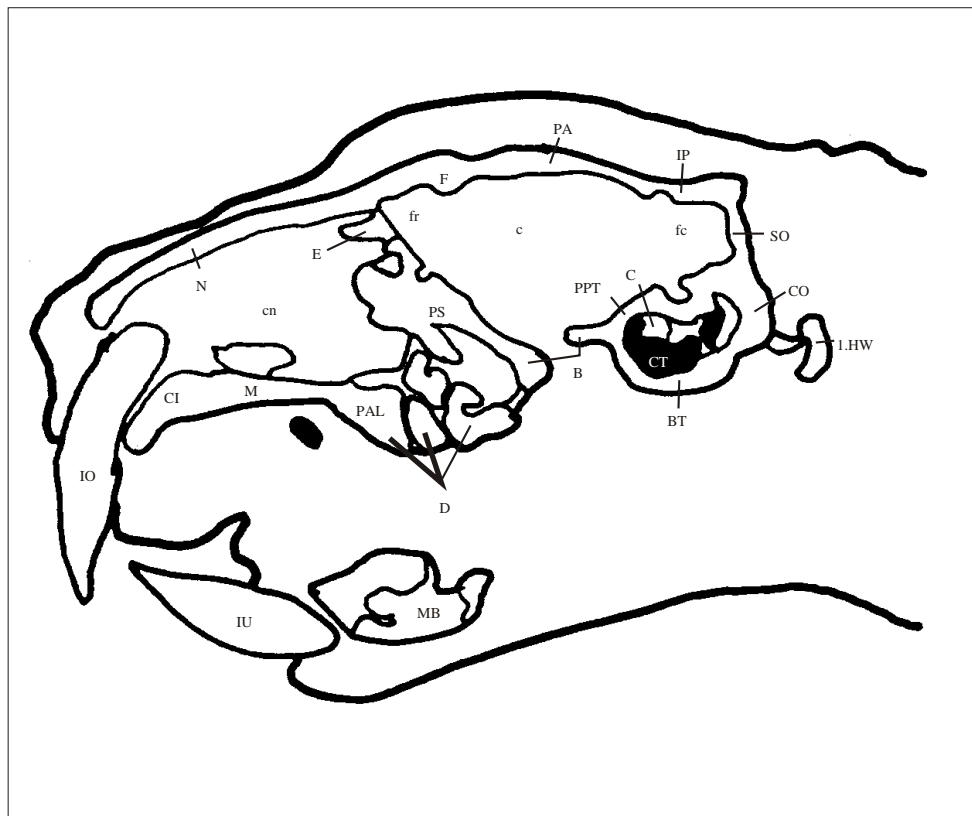


# Sagittale Schnittserie von Cryptomys

sCT12

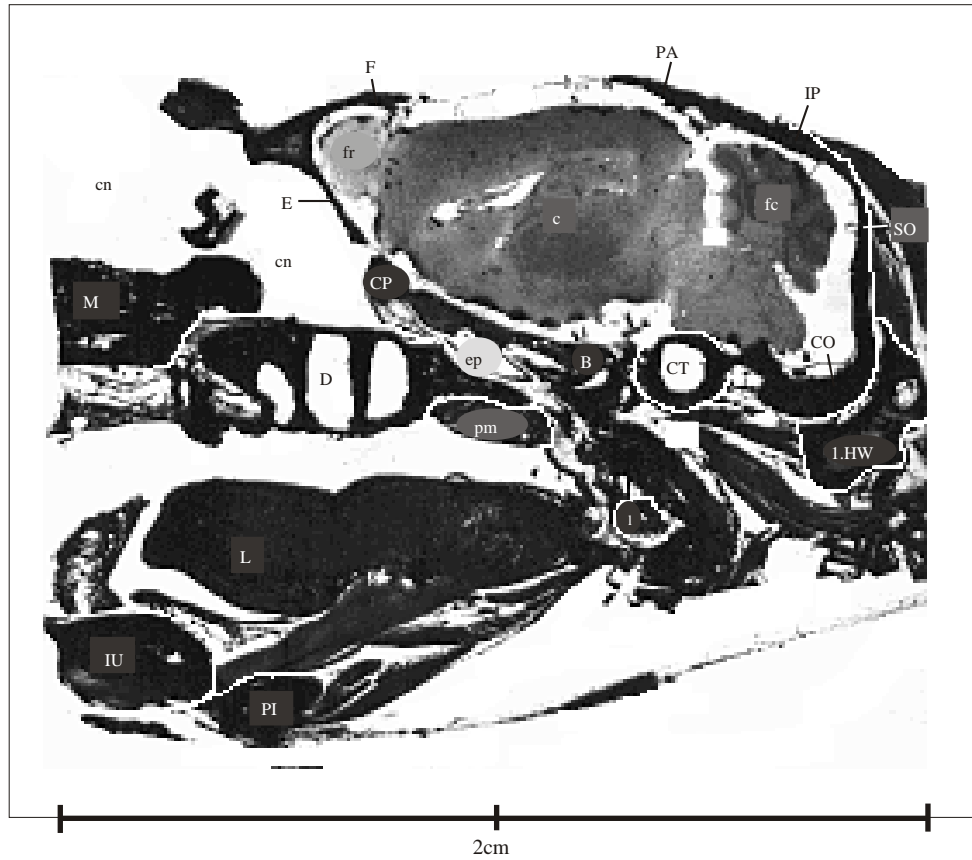


2cm

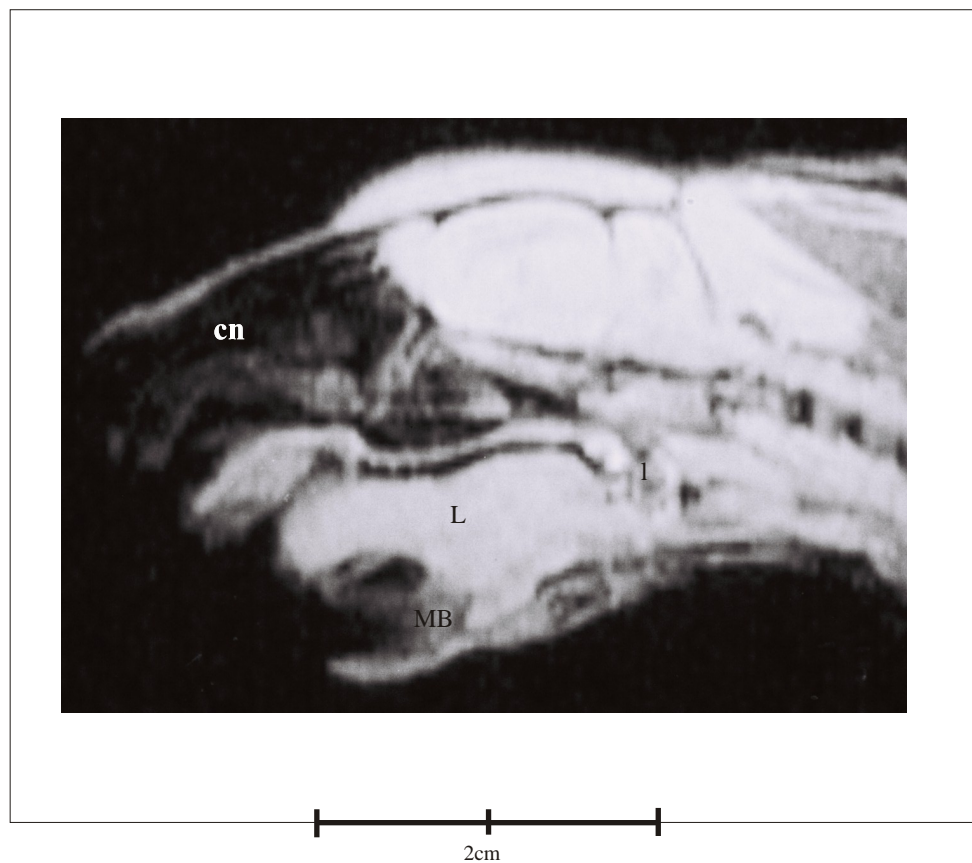


# Sagittale Schnittserie von Cryptomys

sHisto13



sMRT13

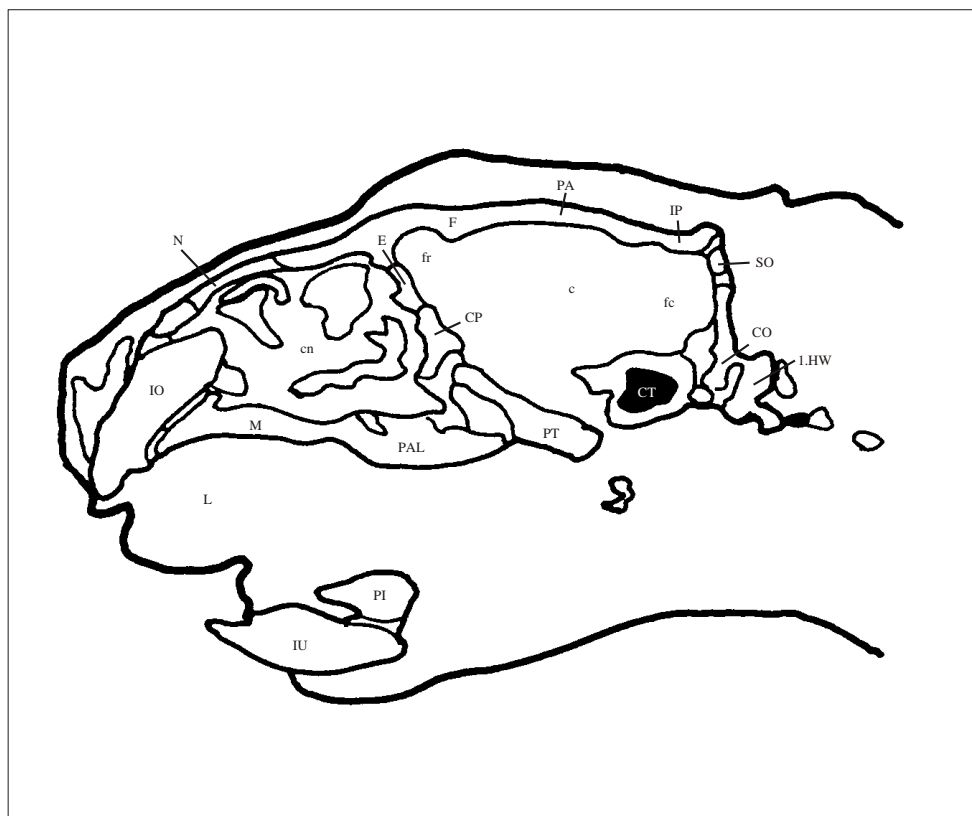


# Sagittale Schnittserie von Cryptomys

sCT13

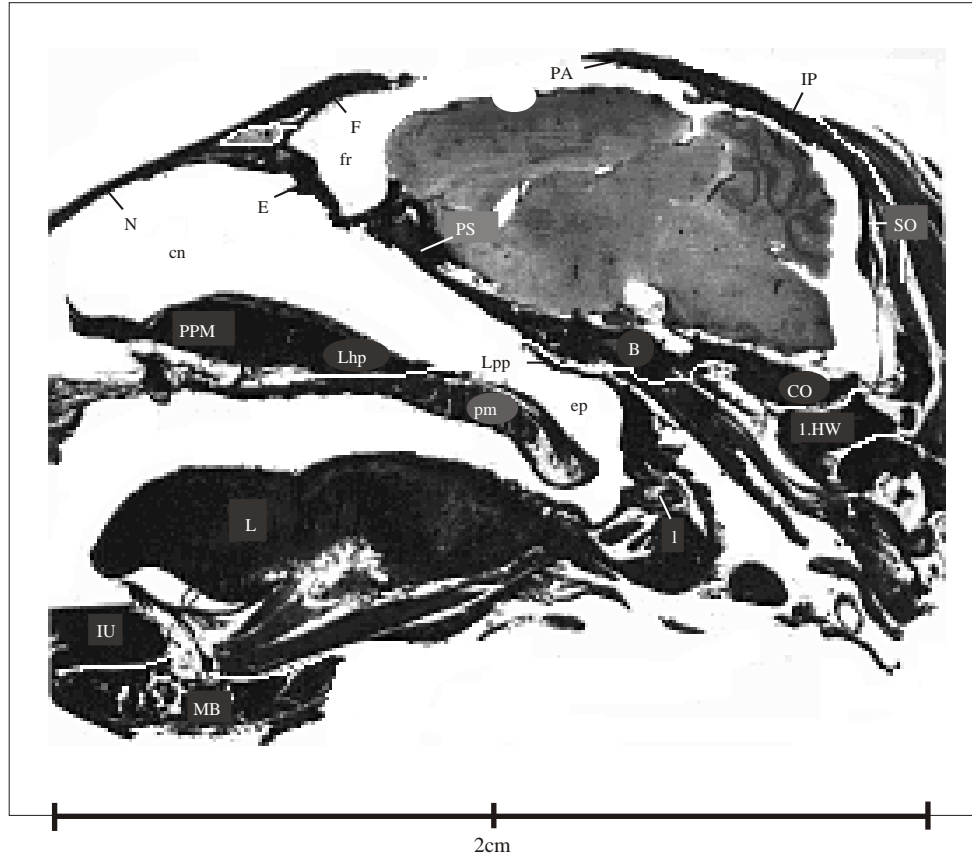


2cm



# Sagittale Schnittserie von Cryptomys

sHisto14



# Sagittale Schnittserie von Cryptomys

sCT14



2cm



# SCHÄDELKNOCHENZEICHNUNGEN

- Meerschweinchen

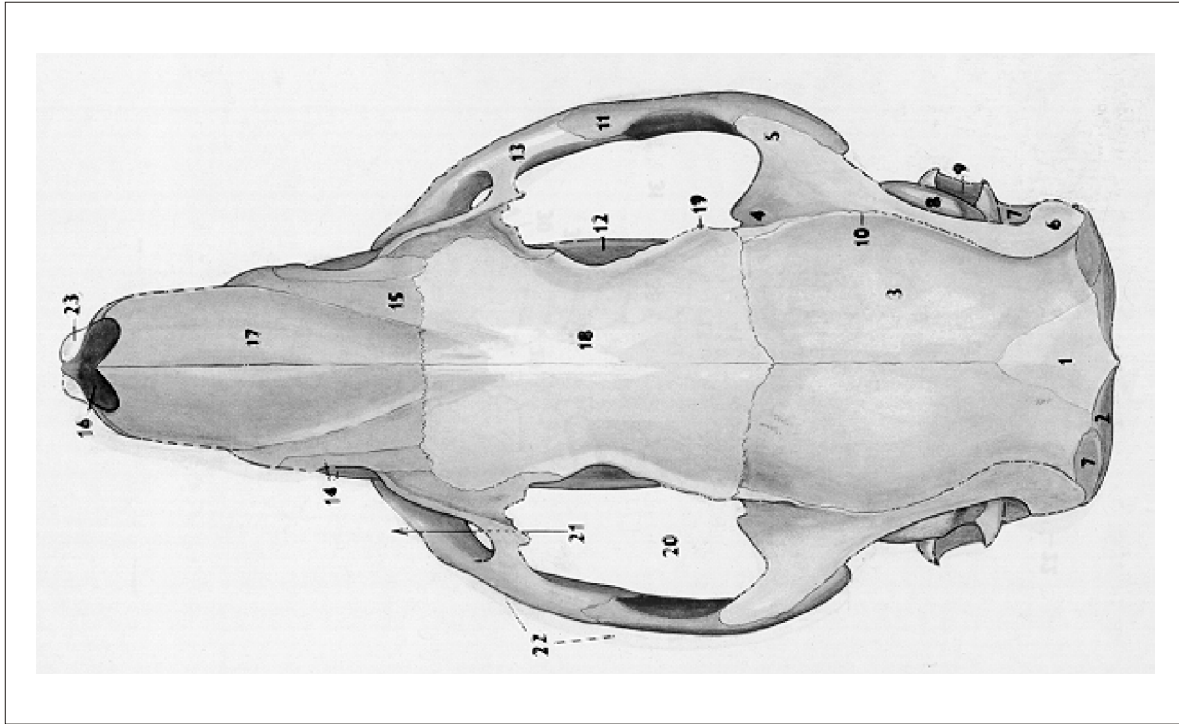


Abb. 20 - Dorsalansicht

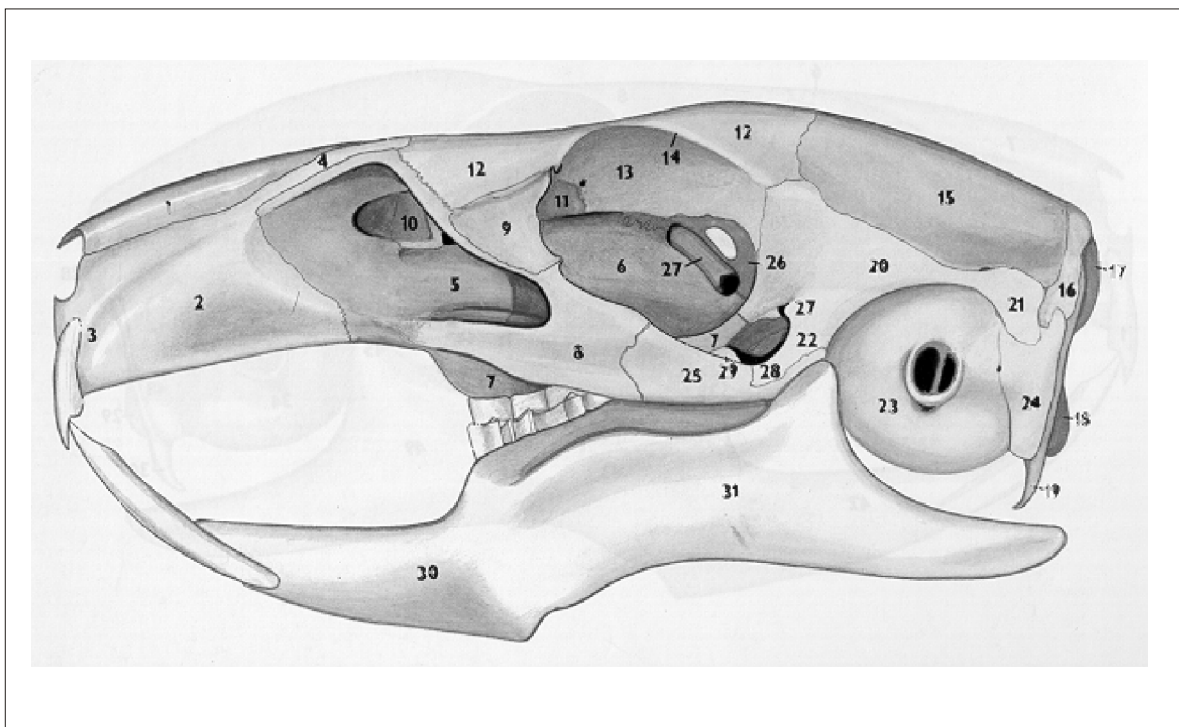


Abb. 21 - Lateralansicht von links

(Bilder aus Popesko et al., 1990)

## Danksagung

Mein Dank gilt an erster Stelle meinem Doktorvater, Herrn Professor Dr. H. A. Oelschläger (Institut für Anatomie III, Dr. Senckenbergische Anatomie) der Universität Frankfurt a. M. für die Überlassung des Themas, die Unterstützung und Beratung sowie für die Betreuung dieser Arbeit.

Ebenfalls danke ich Herrn Professor Dr. G. Hummel für die Betreuung im Fachbereich Veterinärmedizin der Justus Liebig-Universität Gießen, zur Erlangung des Titels Dr. med. vet..

Herrn Professor Dr. H. Burda (Essen) danke ich für die Bereitstellung der Exemplare von *Cryptomys spec.* aus seiner Zucht sowie für einen Wildfang und viele anregende Gespräche zu dieser Arbeit.

Ferner danke ich dem Klinikum der Johann Wolfgang Goethe-Universität – Zentrum der Radiologie – Abteilung Neuroradiologie, Frankfurt am Main, für die Erstellung der Computertomographien und der Radiologischen Gemeinschaftspraxis Dr. Halbsguth, Dr. Lochner, insbesondere Herrn Dr. Brandhorst in Frankfurt am Main für die Erstellung der Magnetresonanztomographien.

Weiterhin danke ich Frau I. Kirschenbauer aus der Dr. Senckenbergischen Anatomie III des Klinikums der Johann Wolfgang Goethe-Universität, Frankfurt am Main für die tatkräftige Unterstützung bei der Färbung der histologischen Schnitte und Herrn Dr. B. Linneweber, Kleintierklinik Obertshausen für die Bereitstellung seines Röntgengerätes zur Anfertigung der Röntgenbilder.

Ich danke meinen Eltern für ihr Verständnis, ihre Rücksichtnahme und die kontinuierliche Förderung meiner Ausbildung.

Besonderer Dank gilt meiner Frau Sylvia Lohfink-Schumm für die tatkräftige Unterstützung sowie der unendlichen Geduld bei der Anfertigung meiner Arbeit. Ohne sie hätte ich diese Arbeit nicht vollendet.