



universität  
wien

# DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

„Die Anatomie des Mittel- und Innenohres bei *Meles meles*,  
*Martes martes* und *Lutra lutra* mittels  
computertomographischen Analysen“

verfasst von

Marie-Christine Paul

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2014

Studienkennzahl lt. Studienblatt: A 190 445 338

Studienrichtung lt. Studienblatt: Lehramtsstudium UF Biologie und Umweltkunde UF Latein

Betreut von: ao. Univ.-Prof. Mag. Dr. Doris Nagel

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abstract</b> .....	<b>3</b>
<b>Einleitung</b> .....	<b>4</b>
<b>A Theoretischer Hintergrund</b> .....	<b>5</b>
<b>1. Systematik der Mustelidae</b> .....	<b>5</b>
1.1. <i>Lutra lutra</i> .....	7
1.2. <i>Martes martes</i> .....	8
1.3. <i>Meles meles</i> .....	10
1.4. <i>Mustela nivalis</i> .....	11
<b>2. Das Ohr</b> .....	<b>13</b>
2.1. Funktion und Einteilung des Ohres .....	13
2.2. Äußeres Ohr (Auris externa) .....	14
2.3. Mittelohr (Auris media).....	15
2.3.1. Paukenhöhle (Cavum tympani) .....	15
2.3.2. Gehörknöchelchen (Ossicula auditus) .....	16
2.3.3. Höhle des Warzenfortsatzes (Antrum mastoideum) und Warzenfortsatzzellen (Cellulae mastoideae) .....	21
2.3.4. Ohrtrumpete (Tuba auditiva, Eustachische-Röhre) .....	21
2.4. Innenohr (Auris interna) .....	22
<b>3. Verschiedene Techniken der morphologischen Untersuchung von Auris media und Auris interna</b> .....	<b>27</b>
<b>B Praktischer Teil</b> .....	<b>29</b>
<b>4. Untersuchtes Material</b> .....	<b>29</b>
<b>5. Mikro-Computertomographie und 3D-Rekonstruktion</b> .....	<b>30</b>
<b>6. Morphologische Untersuchung</b> .....	<b>34</b>
6.1. Malleus .....	35
6.2. Incus.....	39
6.3. Stapes .....	43
6.4. Auris interna .....	46
<b>7. Diskussion der morphologischen Untersuchung</b> .....	<b>52</b>
7.1. Malleus .....	52
7.2. Incus.....	53
7.3. Stapes .....	54
7.4. Auris interna .....	54
7.5. Morphologische Merkmale in Abhängigkeit von Lokomotion .....	55

7.6. Morphologische Merkmale in Abhängigkeit von Phylogenie.....	55
<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>67</b>
<b>Summary.....</b>	<b>68</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>69</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>71</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>75</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>76</b>
<b>Appendix.....</b>	<b>81</b>
<b>Danksagung.....</b>	<b>82</b>
<b>Curriculum Vitae.....</b>	<b>83</b>

## **Abstract**

Almost 170 years ago the first morphological studies of the middle and inner ear through molds of the ear region were carried out by Hyrtl. The ear's importance as a sensory organ was quickly recognized, however a lot of unresolved questions remained: Why is there such a large variability of the middle and inner ear? Is this connected to the function of hearing?

It was found that the phylogenetical aspect plays a very important role and therefore the research is also of significance in paleontology.

Due to the help of computer tomography, it has also been possible for nearly 20 years to examine the ear region, which delivered further insights, as for example that the anatomy of the semicircular canals is linked to an individual's mode of locomotion.

The following study deals with the anatomy of the middle and inner ear, which were reconstructed three-dimensionally using CT scan, of four taxa of mustelids: *Lutra lutra*, *Martes martes*, *Meles meles* and *Mustela nivalis*.

In the theoretical part the way of life, distribution, nutritional and ecological requirements of these species are presented. Furthermore, an overview of the main parts and components of the ear with explanations of their origin, structure and function is given.

After a brief introduction on computer tomography and 3D-reconstruction, a comparative-morphological analysis of the 3D-images of Auris media, consisting of the auditory ossicles malleus, incus, and stapes and Auris interna of the same taxa, will be conducted in the practical part.

## Einleitung

Vor beinahe 170 Jahren wurden die ersten morphologischen Untersuchungen von Mittel- und Innenohr durch Ausgüsse der Ohrregion von Hyrtl durchgeführt. Dabei wurde sehr schnell die Bedeutung des Ohres als Sinnesorgan erkannt, jedoch standen noch viele Fragen offen: Warum weist das Mittel- und Innenohr eine so große Variabilität auf? Hat dies etwas mit der Funktion des Hörens zu tun?

Doch man fand heraus, dass der phylogenetische Aspekt eine sehr große Rolle spielt und diese Untersuchungen deshalb auch in der Paläontologie von Bedeutung sind.

Seit fast 20 Jahren ist es außerdem möglich mittels computertomographischen Analysen die Ohrregion zu untersuchen, was weitere Erkenntnisse lieferte, wie zum Beispiel, dass die Anatomie der Bogengänge mit dem Lokomotionsmodus eines Individuums in Zusammenhang steht.

Diese Arbeit setzt sich mit der Anatomie des Mittel- und Innenohres, die mittels CT-Scan dreidimensional rekonstruiert wurde, von vier Taxa der Musteliden auseinander: *Lutra lutra*, *Martes martes*, *Meles meles* und *Mustela nivalis*.

Im theoretischen Teil werden Lebensweise, Verbreitung, Ernährung und ökologische Ansprüche dieser Arten vorgestellt. Desweiteren folgt ein Überblick über die wichtigsten Abschnitte und Bestandteile des Ohres mit Erklärungen zu deren Entstehung, Aufbau und Funktion.

Im praktischen Teil werden nach einer kurzen Einführung zur Computertomographie und 3D-Rekonstruktion die 3D-Bilder von Auris media, bestehend aus den Gehörknöchelchen Malleus, Incus, und Stapes, und Auris interna der Taxa einer vergleichend-morphologischen Analyse unterzogen.

## **A Theoretischer Hintergrund**

### **1. Systematik der Mustelidae**

Die Mustelidae (SWAISON 1835) sind eine Familie der Ordnung Carnivora (BOWDICH 1821), die auf jeden Kontinent auf der Erde vertreten sind, ausgenommen Australien und der Antarktis (NOWAK 1999).

Letztere Studien ergaben eine Aufteilung der Mustelidae in acht Unterfamilien: Mustelinae, Galictinae, Helictidinae, Martinae, Melinae, Lutrinae, Mellivorinae und Taxidiinae (SATO et al. 2004, FULTON & STROBECK 2006, KOEPFLI et al. 2008) (Abb. 1). YU et al. (2011) unterteilte die Mustelidae nach verschiedenen molekularbiologischen Untersuchungen nur noch in sechs Unterfamilien: Taxidiinae, Melinae, Martinae, Helictidinae, Lutrinae, Mustelinae.

Jedoch ist auch diese Unterfamilienklassifikation der Mustelidae nicht eindeutig gesichert (YU et al. 2011).

Die ältesten Vertreter der Mustelidae sind aus dem frühen Oligozän bekannt (STUBBE 1993). Da die Auftrennung der Familie in einer sehr kurzen Zeitspanne erfolgte ist sowohl Ursprung, Phylogenie und Radiation noch nicht eindeutig geklärt (YU et al. 2011).

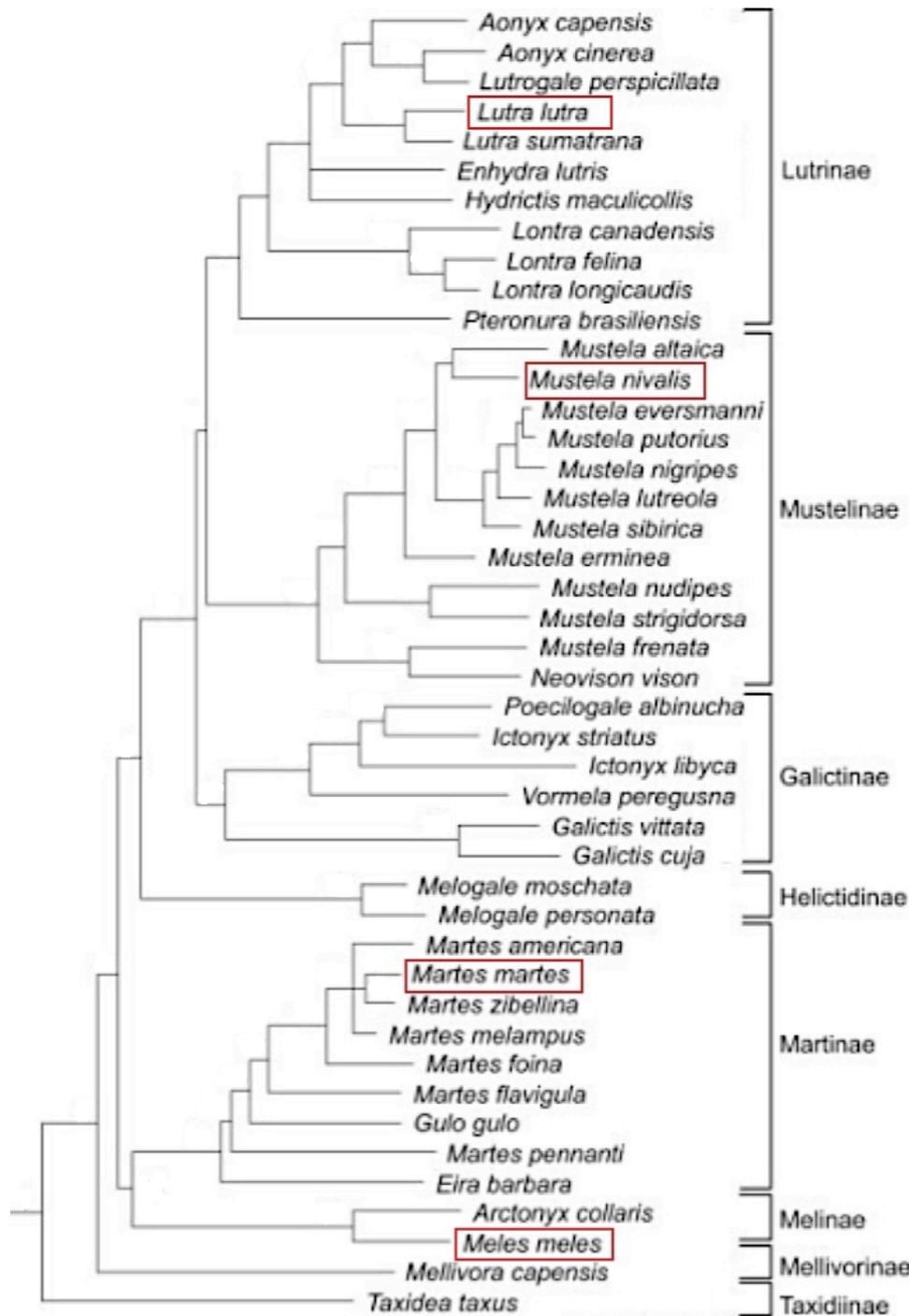


Abb. 1: Kladogramm der Mustelidae (nach KOEPFLI et al. 2008). Die Taxa, die in dieser Arbeit behandelt werden, wurden markiert.

Da in dieser Studie das Mittel- und Innenohr der Taxa *Lutra lutra* (LINNAEUS 1758), *Martes martes* (LINNAEUS 1758), *Meles meles* (LINNAEUS 1758) und *Mustela nivalis* (LINNAEUS 1766) untersucht werden, soll genauer auf deren Lebensweise, Verbreitung, Ernährung und ökologischen Ansprüche eingegangen werden.

### 1.1. *Lutra lutra*

Das Taxon *Lutra lutra* (Fischotter) (Abb. 2) gehört zu der Unterfamilie der Lutrinae (BONAPARTE 1838) und zur Gattung *Lutra* (BRÜNNICH 1771) (MASON & MACDONALD 2009).

Er ist der längste (Kopf-Rumpf- und Schwanzlänge bis 130 cm) und drittschwerste (♂ bis 10 kg) Vertreter, nach dem Vielfraß (*Gulo Gulo*, LINNAEUS 1758) und dem Dachs (*Meles meles*), der Mustelidae (REUTHER 1993).



Abb. 2: *Lutra lutra* ([http://en.wikipedia.org/wiki/File:Fischotter\\_Lutra\\_lutra1.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Fischotter_Lutra_lutra1.jpg), 10.5.2014).

Da es sich um einen außerordentlich guten Taucher und Schwimmer handelt, weist er einige zusätzliche Anpassungen an das Medium Wasser auf: *Lutra lutra* besitzt einen stromlinienförmigen Körper (AULAGNIER et al. 2009). Um voranzukommen verwindet er diesen wellenförmig und spreizt seine mit Schwimmhäuten versehenen Pfoten (REUTHER 1993). Sein langer, spitz auslaufender und abgeflachter Schwanz dient dabei der Stabilisierung (EGGERS 1985, JONGH 1986). In der Regel kann man eine Tauchdauer von 5-20 Sekunden beobachten (REUTHER 1993). Ebenso kann der Gehörgang des Fischotters beim Tauchen durch Muskelkontraktion verschlossen werden ohne dabei die Ohrmuschel umzuklappen. Der Gehörgang ist dann nur noch als Linie zu erkennen (REUTHER 1993).

Aufgrund seiner Lebensweise besiedelt der Fischotter alle vom Wasser beeinflussten Lebensräume. Dabei ist es wichtig, dass sowohl Flach- und Tiefwasserzonen, sowie verschiedene Uferstrukturen auf kleinsten Raum vorhanden sind, die wiederum gute Versteckmöglichkeiten bieten (REUTHER 1993).

Das Verbreitungsgebiet erstreckt sich von Irland im Westen bis Japan im Osten und vom nördlichen Polarkreis bis Nordafrika (MASON & MACDONALD 2009). In Europa ist *Lutra lutra* fast überall zu finden, außer auf Grönland und Island (FESTETICS 1980) (Abb. 3).

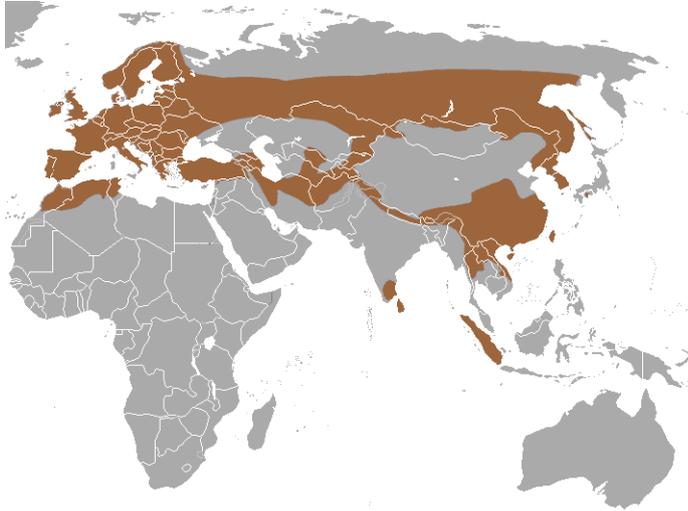


Abb. 3: Verbreitungsgebiet von *Lutra lutra*

([http://commons.wikimedia.org/wiki/File:European\\_Otter\\_area.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:European_Otter_area.png), 10.5.2014).

Das Beutespektrum ist von seinem Lebensraum abhängig und somit ernährt sich der Fischotter von allen auf und im Wasser lebenden Tieren (REUTHER 1993).

Fischotter sind dämmerungs- und nachtaktive Tiere, die den Tag in einem Versteck am Ufer verbringen, wobei sich deren Eingang unter Wasser befindet (AULAGNIER et al. 2009).

### **1.2. *Martes martes***

*Martes martes* (Baummarder) (Abb. 4) gehört zu der Unterfamilie der Martinae und zur Gattung *Martes* (PINEL 1792) (STUBBE 1993).



Abb. 4: *Martes martes* ([http://i.telegraph.co.uk/multimedia/archive/01916/pine-marten\\_1916551i.jpg](http://i.telegraph.co.uk/multimedia/archive/01916/pine-marten_1916551i.jpg), 10.5.2014).

Er besitzt einen schlanken und sehr beweglichen Körper. Diesen benötigt er aufgrund seiner semiaborealen Lebensweise. Er ist ein sehr guter Kletterer und es können von Baum zu Baum Entfernungen von 3-4 m überwunden werden. Weiters hat er verhältnismäßig längere Hinterextremitäten als reine Bodenbewohner (STUBBE 1993).

Er hält sich fern von Siedlungen in Nadel, Laub- oder Mischwäldern auf und im Gebirge kommt er bis zur Baumgrenze vor (AULAGNIER et al. 2009).

Insgesamt ist der Baummarder in großen Teilen Europas und Westasiens vorzufinden. Von Irland und Großbritannien bis hin zum westlichen Sibirien und südlich bis zur Nord-West-Küste des Schwarzen Meeres. Kein Vorkommen ist auf Island festzustellen (STUBBE 1993) (Abb. 5).



Abb. 5: Verbreitungsgebiet von *Martes martes* ([http://commons.wikimedia.org/wiki/File:European\\_Pine\\_Marten\\_area.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:European_Pine_Marten_area.png), 10.5.2014).

Bei Baumardern handelt es sich um Nahrungsopportunisten, was bedeutet, dass seine Ernährung sehr vielseitig ist: sie reicht von kleinen Nagern, Vögel, Amphibien, Spitzmäusen und Insekten bis hin zu Früchten (AULAGNIER et al. 2009).

Wie auch *Lutra lutra*, ist *Martes martes* dämmerungs- und nachtaktiv. Tagsüber verbringt er vor allem auf Bäumen die Zeit, die gute Möglichkeiten zum Verstecken bieten (hohle Stämme) (AULAGNIER et al. 2009).

### 1.3. *Meles meles*

*Meles meles* (Europäischer Dachs) (Abb. 6) gehört zur Unterfamilie der Melinae (LINNAEUS 1758) und der Gattung *Meles* (BRISSON 1762) (NEAL 1975).



Abb. 6: *Meles meles* (<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/10/Badger-badger.jpg>, 10.5.2014).

Der Dachs besitzt einen gedrungenen Körper (STUBBE 1993) und kann bis zu 1 m an Größe (Kopf-Rumpf- und Schwanzlänge) und bis zu 15 kg an Gewicht erreichen, wobei sehr große jahreszeitlich bedingte Gewichtsschwankungen auftreten (LÜPS & WANDELER 1993).

An seinen fünf vorderen Zehen befinden sich kräftige und nicht rückziehbare Krallen, die zur Nahrungssuche und Anlage des Baus eingesetzt werden (LÜPS & WANDELER 1993).

Bevorzugt hält sich der Dachs in Wäldern und Waldrändern auf, wo gute Voraussetzungen für den Erdbau gegeben sind. In solch einem Bau leben die Dachse in einem Familienverband mit bis zu 12 Individuen (LÜPS & WANDELER 1993). Die Baue werden außerdem über viele

Generationen benutzt. 1968 wurde in Deutschland ein Bau-System ausgegraben, das auf 12000 Jahre geschätzt wurde (PETERS et al. 1972).

Das Verbreitungsgebiet von *Meles meles* schließt nahezu ganz Europa ein, ausgenommen der nördlichen Teile Skandinaviens. Richtung Süden reicht das Vorkommen bis zum Mittelmeerraum (NEAL 1975) (Abb. 7).



Abb. 7: Verbreitungsgebiet von *Meles meles*

([http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/53/European\\_Badger\\_area.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/53/European_Badger_area.png), 10.5.2014).

Obwohl die Dachse im Familienverband zusammenleben sind sie in der Regel alleine auf Nahrungssuche (LÜPS & WANDELER 1993). Sie ernähren sich vor allem von Regenwürmern, gefolgt von Amphibien, Nagern, Insekten und auch Pflanzenkost spielt eine wesentliche Rolle (AULAGNIER et al. 2009).

*Meles meles* ist dämmerungs- und nachtaktiv, ruht in den Erdbauen und hält Winterruhe (LÜPS & WANDELER 1993).

### **1.4. *Mustela nivalis***

*Mustela nivalis* (Mauswiesel) (Abb. 8) gehört zur Unterfamilie Mustelinae (FISCHER 1817) und zur Gattung *Mustela* (LINNAEUS 1758), welche im Vergleich zu den anderen Mustelidengattungen aufgrund ihres extrem penetrant duftenden Analdrüsensekrets auch Stinkmarder genannt wird (STUBBE 1993).



Abb. 8: *Mustela nivalis*

([http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e3/Mustela\\_nivalis\\_-\\_British\\_Wildlife\\_Centre-4.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e3/Mustela_nivalis_-_British_Wildlife_Centre-4.jpg), 13.5.2014).

*Mustela nivalis* ist das kleinste rezente Raubtier, wobei eine nord-südwärts gerichtete Größen- und Gewichtszunahme festzustellen ist (REICHSTEIN 1993). Die Kopf-Rumpf-Länge liegt etwa zwischen 14 cm und 20 cm (♂) (STUBBE 1993) und auch das Gewicht schwankt von im Norden Europas vorkommenden Arten mit weniger als 30 g (♀) und im Süden vorkommenden Arten mit über 200 g (♂) (STOLT 1979).

Die Lebensräume des Mauswiesels sind sehr vielgestaltig und reichen von Äcker und Waldränder bis hin zu Siedlungen (REICHSTEIN 1993).

Das Vorkommen reicht von Westeuropa bis China. Ebenfalls verbreitet ist *Mustela nivalis* im nördlichen Afrika und Nordamerika. Nicht zu finden ist es in Irland und Island (STUBBE 1993) (Abb. 9).

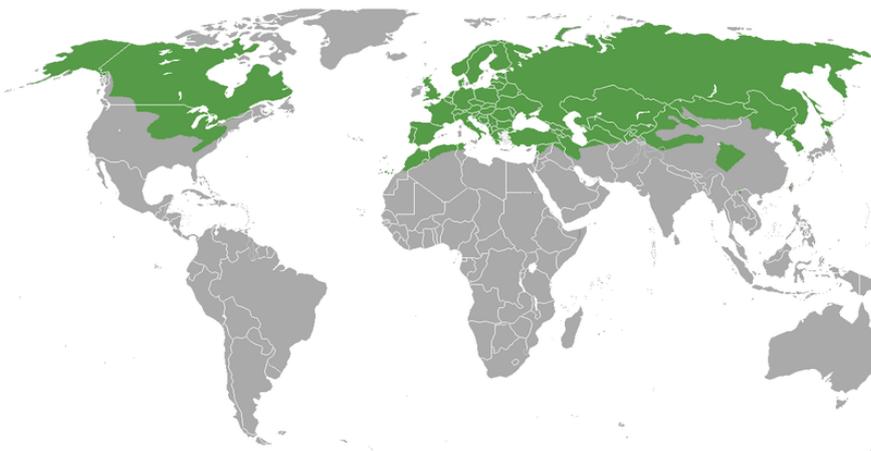


Abb. 9: Verbreitungsgebiet von *Mustela nivalis*

([http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/85/Least\\_Weasel\\_area.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/85/Least_Weasel_area.png), 13.5.2014).

Das Mauswiesel ist ein Bodenjäger und ist mit seinem beweglichen und länglichen Körper an die unterirdischen Gänge und Nester der Beutetiere angepasst. Zu diesen gehören vor allem Wühlmäuse, echte Mäuse und Hamster (REICHSTEIN 1993). Im Gegensatz zu den meisten Musteliden ist *Mustela nivalis* vor allem tagaktiv (FRANK 1962).

## 2. Das Ohr

### 2.1. Funktion und Einteilung des Ohres

Das Ohr wird in die drei Abschnitte, äußeres Ohr (Auris externa), Mittelohr (Auris media) und Innenohr (Auris interna), unterteilt (Abb. 10):

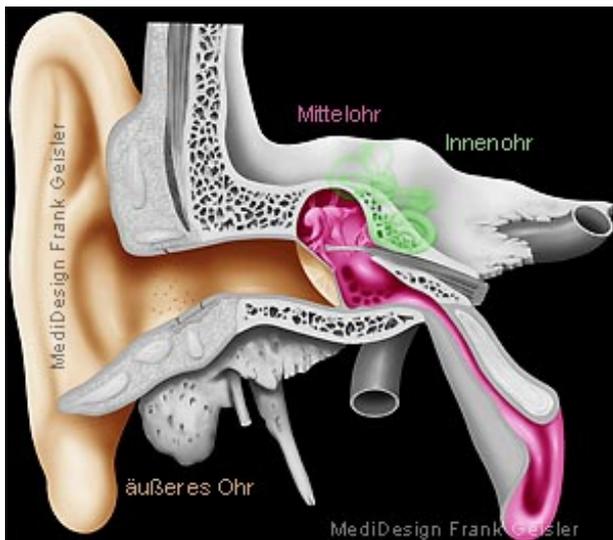


Abb. 10: Übersicht der drei Abschnitte des Ohres: äußeres Ohr, Mittelohr und Innenohr ([http://www.humamed.de/mobil\\_site/anatomie-bilder17.html](http://www.humamed.de/mobil_site/anatomie-bilder17.html), 16.06.2014).

Weiters besteht das Ohr aus zwei Sinnesorganen mit verschiedenen Funktionen: das Hörorgan und das Gleichgewichtsorgan (FALLER & SCHÜNKE 2004).

Das Hörorgan nimmt akustische Reize auf und analysiert diese, das Gleichgewichtsorgan wiederum jene Reize, die über die Bewegung und Lage des Kopfes Auskunft geben (AUMÜLLER et al. 2007).

Welche Abschnitte des Ohres am jeweiligen Sinnesorgan beteiligt sind zeigt die folgende Tabelle (Tab. 1).

Tab. 1: Funktion des Hör- und Gleichgewichtsorgan mit beteiligtem Ohrabschnitt (AUMÜLLER et al. 2007).

Organ	Funktion	beteiligter Ohrabschnitt
Hörorgan	• Schalleitung und Verbesserung der Richtungsartung	äußeres Ohr
	• Schallumwandlung (Transformation)	
Gleichgewichtsorgan	• Erregung von Sinneszellen	Mittelohr
	• Sensoren zur Erkennung der Lage des Kopfes	
	• Sensoren zur Erkennung von Bewegungen des Kopfes	Innenohr

## 2.2. Äußeres Ohr (Auris externa)

Beim äußeren Ohr unterscheidet man drei Abschnitte: die Ohrmuschel (Auricula), der äußere Gehörgang (Meatus acusticus externus) und das Trommelfell (Membrana tympanica) als Grenze zum Mittelohr (AUMÜLLER et al. 2007).

Eine Ohrmuschel ist nur bei den Säugetieren vorzufinden. Sie besitzt die Funktion eines Schalltrichters und kann durch spezielle Muskeln bewegt werden (PFLUMM 1996).

Bei den Mustelidae sind die Ohrmuscheln nach vorne gerichtet, da sie vor allem nachts auf Beutesuche gehen und sich an ihre Beute anschleichen (WERNER 1960).

Weiters ist die Auricula aus elastischem Knorpel aufgebaut, der sich in Richtung des äußeren Gehörgangs fortsetzt (FALLER & SCHÜNKE 2004).

Den äußeren Gehörgang kann man wiederum in den knorpeligen und knöchernen Gehörgangsteil gliedern. Am Übergang der beiden Teile befindet sich eine Engstelle, welche Isthmus genannt wird (BRUNNER & NÖLDEKE 1997).

Bei den Mustelidae ist der zweite, knöcherne Abschnitt des äußeren Gehörgangs kurz und schräg nach vorne gerichtet (WERNER 1960).

Damit keine Fremdkörper oder Krankheitserreger in das Ohr eindringen können, wird der äußere Gehörgang mittels Ohrenschmalz (Zerum) befeuchtet (MROWINSKI & SCHOLZ 2006).

Am Ende des äußeren Gehörgangs befindet sich das aufgespannte Trommelfell worauf die Schallwellen treffen und es in Schwingungen versetzen (PFLUMM 1996). Funktionen des Trommelfells sind somit die weitere Übertragung dieser Schwingungen an die Gehörknöchelchenkette (AUMÜLLER et al. 2007) und die Membran schließt zusätzlich den Luftraum der Paukenhöhle (Cavum tympani) nach außen hin ab (WERNER 1960).

### **2.3. Mittelohr (Auris media)**

Das Mittelohr setzt sich aus der Paukenhöhle (Cavum tympani) mit den Gehörknöchelchen (Ossicula auditus), der Höhle des Warzenfortsatzes (Antrum mastoideum) und Warzenfortsatzzellen (Cellulae mastoideae) und der Ohrtrumpete (Tuba auditiva, Eustachische-Röhre) zusammen (AUMÜLLER et al. 2007).

#### **2.3.1. Paukenhöhle (Cavum tympani)**

Die Paukenhöhle besitzt drei Etagen, den Kuppelraum (Epitympanon), den Hauptraum (Mesotympanon) und den Paukenkeller (Hypotympanon), und sechs Wände, Paries membranaceus (lateral), Paries labyrinthicus (medial), Paries mastoideus (dorsal), Paries caroticus (ventral), Paries jugularis (kaudal) und Paries tegmentalis (kranial) (AUMÜLLER et al. 2007) (Abb. 11).

In diesem Hohlraum, der mit einer Schleimhaut ausgekleidet ist, befindet sich die Gehörknöchelchenkette (AUMÜLLER et al. 2007).

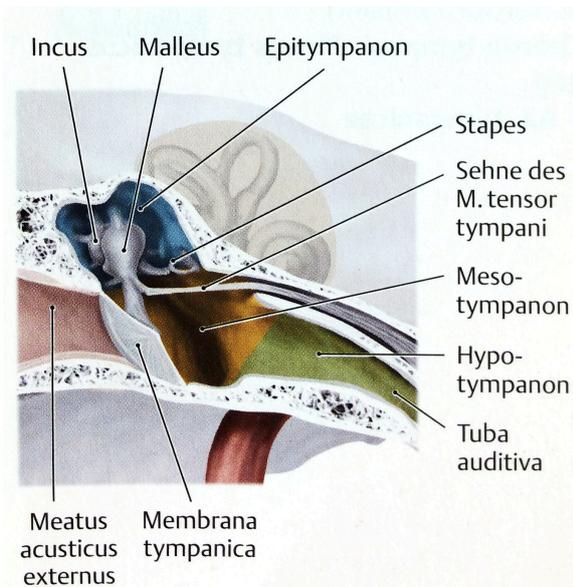


Abb. 11: Die drei Etagen der Paukenhöhle mit unterschiedlichen Farben unterlegt: Kuppelraum (Epitympanon) (blau), Hauptraum (Mesotympanon) (orange) und Paukenkeller (Hypotympanon) (grün) (AUMÜLLER et al. 2007).

### 2.3.2. Gehörknöchelchen (Ossicula auditus)

In diesem ersten Teil der Arbeit soll vor allem auf die Entstehung und Funktion der Gehörknöchelchen eingegangen werden. Der genaue Aufbau mit der Benennung der einzelnen Abschnitte von Hammer (Malleus), Amboss (Incus) und Steigbügel (Stapes) folgt im praktischen Teil, der „morphologischen Untersuchung“.

#### 2.3.2.1. Entstehung der Gehörknöchelchen (Ossicula auditus)

Aufgrund der Landeroberung der Wirbeltiere musste eine Entwicklung erfolgen, die sich an den Unterschied zwischen den Schallwellenwiderstand von Wasser und Luft anpasste (PFLUMM 1996).

Zwei Systeme im Mittelohr schaffen es diese Impedanzanpassung, die Anpassung zwischen zwei verschieden kompressiblen Medien, auszuführen.

Die erste Anpassung besteht darin, dass Hammer und Amboss so konstruiert sind, dass es beim Schwingen zu einer Untersetzung der Schallamplitude, jedoch zur Erhöhung der Kraft kommt (MÜLLER & FRINGS 2009, HILDEBRAND & GOSLOW 2004).

Die zweite Anpassung besteht in einer Druckübersetzung. Diese erfolgt durch die Übertragung des Drucks vom 60 mm<sup>2</sup> großen Trommelfell auf das 3,5 mm<sup>2</sup> kleine ovale Fenster (MÜLLER & FRINGS 2009) (Abb. 12).

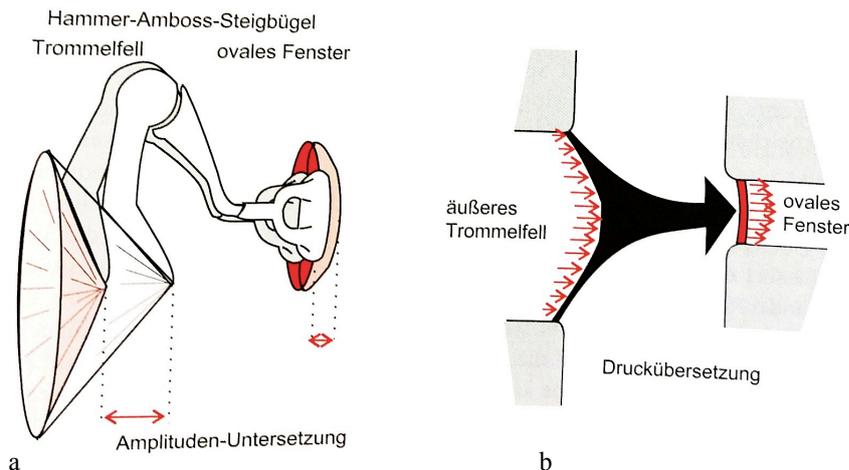


Abb. 12: Zwei Systeme der Impedanzanpassung. a: Hammer-Amboss-Komplex ermöglicht eine Amplituden-Untersetzung und Erhöhung der Kraft durch die Hebelwirkung, b: Übertragung des Drucks vom großen Trommelfell auf das kleine ovale Fenster (MÜLLER & FRINGS 2009).

Ohne diese Anpassungen würden 98% der Schallenergie an der Grenzfläche zwischen Luft und Flüssigkeit im Innenohr reflektiert werden (MÜLLER & FRINGS 2009).

Die Theorie von REICHERT (1837) und GAUPP (1911) liefert ein Modell für die Entstehung der Gehörknöchelchen: Das primäre Kiefergelenk der Fische, gebildet von Articulare und Quadratum, wanderte ins Mittelohr und der Hammer ist dem Articulare, der Amboss dem Quadratum homolog (Abb. 14).

Der Hammer ist wiederum ein Verschmelzungsprodukt, wobei seine Hauptmasse dem eben genannten Articulare entspricht, ein kleiner Teil jedoch aus dem Praearticulare – oder auch als Goniale bezeichnet – entstanden ist. Am Hammer kann man diesen kleinen Knochen als Fortsatz, den sogenannten Processus gracilis, erkennen (PFLUMM 1996) (Abb. 13).

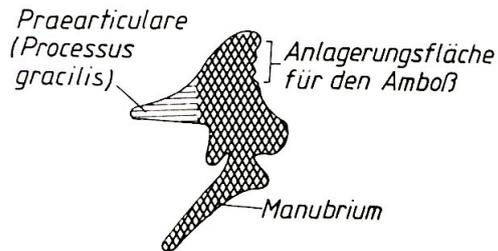


Abb. 13: Hammer entstanden als Verschmelzungsprodukt aus Articulare und Praearticulare. Das Praearticulare ist nur noch als Fortsatz, Processus gracilis, erkennbar (in dieser Abbildung strichliert dargestellt). Der andere Teil (in karo-Form dargestellt) entstand aus dem Articulare (PFLUMM 1996 aus STARCK 1979).

Aus dem Angulare entstand das Tympanicum (Paukenbein) (PFLUMM 1996) (Abb. 14). Der Stapesteil und die Extracolumella der Columella auris haben sich aus unterschiedlichen Teilen des Hyalbogens entwickelt. Der Abschnitt, der dem späteren Steigbügel entspricht, aus dem obersten Teil, dem Pharyngohyale, die Extracolumella aus dem anschließendem Hyomandibulare (PFLUMM 1996).

Anhand der folgenden Abbildung kann man den Verlauf der Entstehung der Gehörknöchelchen verfolgen: Bei den Säugetieren (Abb. 14 a) besteht das Unterkiefer nur aus dem Dentale. Das sekundäre Kiefergelenk bilden Dentale und Squamosum und das ursprüngliche primäre Kiefergelenk ist im Mittelohr als Hammer und Amboß vorzufinden. Bei den Fischen (Abb. 14 d) wird das Unterkiefer in Dentale, Spleniale, Angulare und Supraangulare eingeteilt. Articulare und Quadratum bilden das primäre Kiefergelenk. Bei den Fischen und Reptilien, Amphibien und Vögeln (Abb. 14 b,c) liegen Dentale und Squamosum weiter auseinander als bei den Säugetieren (Abb. 14 a). Das Dentale hat im Verlauf immer mehr an Größe zugenommen

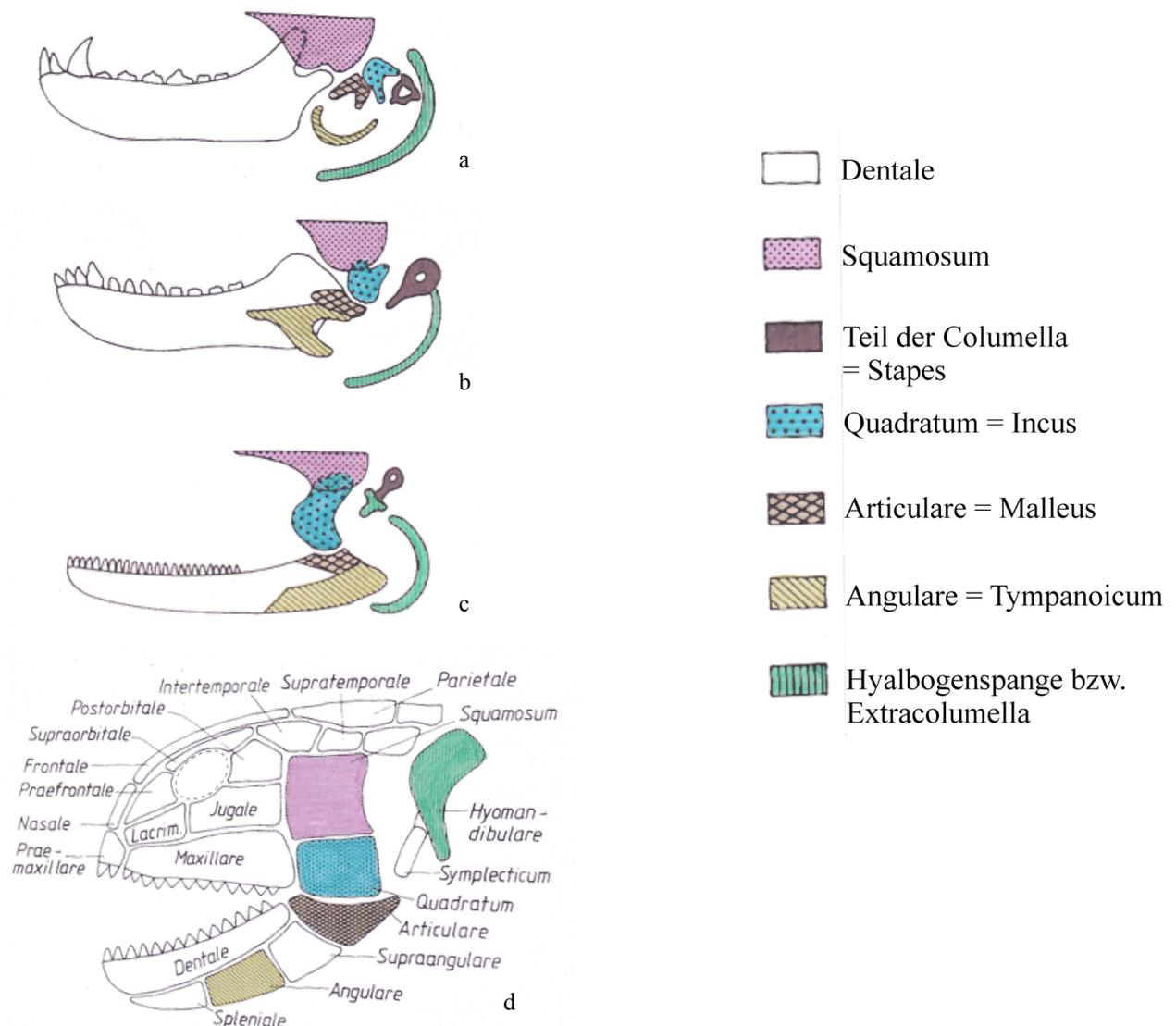


Abb. 14: Schematische Darstellung der Umwandlung des primären Kiefergelenks der Fische (d) bis zu den Gehörknöchelchen der Säugetiere (a) (nach PFLUMM 1996 nach STARCK 1979 und HENKEL 1973).

Beweise für die Reichert-Gauppsche Theorie liefert die Entwicklung von Säugetier-Feten. Dabei kann man in einer kurzen Zeitspanne der Entwicklung stammesgeschichtlich sehr alte Zustände erkennen. Der Meckelsche Knorpel, benannt nach Johann Friedrich Meckel, ist ein langer Stab, der das primäre Unterkiefer bildet und sich während der Entwicklung immer mehr zurückbildet. Darüber befindet sich das Dentale als Deckknochen. In diesem Zustand liegen zwei Kiefergelenke vor. Das primäre Kiefergelenk zwischen dem Hammer und Amboss und das sekundäre Kiefergelenk zwischen Dentale und Squamosum (PFLUMM 1996) (Abb. 15).

Entdeckt hat man diesen Merkmalszustand bei den Beuteltieren, die in einem sehr frühen Stadium geboren werden, und in einer Zeitdauer von ungefähr drei Wochen zwei funktionierende Kiefergelenke vorweisen und mit dem Hammer-Amboss-Gelenk ihr Unterkiefer bewegen können (PFLUMM 1996).

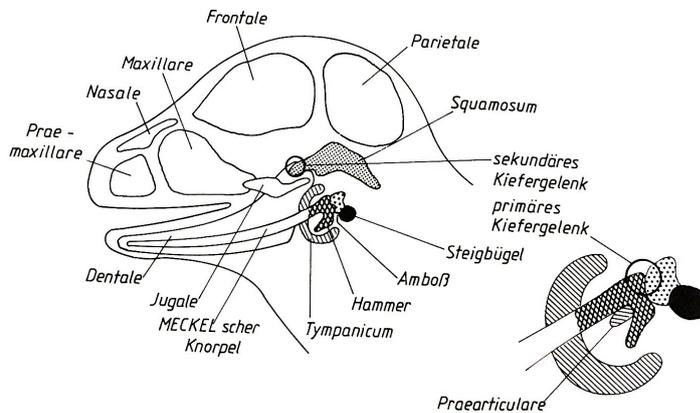


Abb. 15: Zwei funktionierende Kiefergelenke dargestellt anhand eines Beuteltierembryos. Primäre Kiefergelenk zwischen dem späteren Hammer und Amboss und sekundäre Kiefergelenk zwischen Dentale und Squamosum (PFLUMM 1996 nach PORTMANN 1959 und STARCK 1979).

Die Paläontologie verifiziert die These, dass es am Übergang zwischen Reptil- und Säugetier somit auch Arten gegeben haben muss, die über zwei Kiefergelenke verfügten. Ein fossiles Beispiel dafür stellt *Diarthrognathus* dar, was so viel bedeutet wie „mit zwei Gelenken am Kiefer“. *Probainognathus* oder „Doppelgelenker“ ist ein anderes Modell aus der Trias (PFLUMM 1996) (Abb. 16).

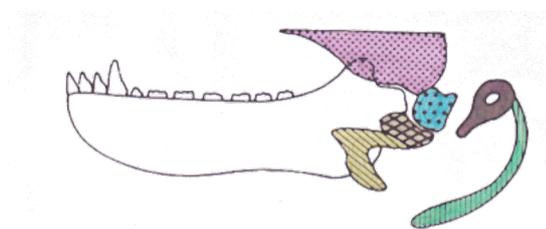


Abb. 16: Darstellung eines Doppelgelenker (nach PFLUMM 1996 nach HENKEL 1973).

PFLUMM (1996) argumentiert, dass die Knochen des primären Kiefergelenk ins Mittelohr wanderten, da diese bereits zuvor die Aufgabe der Schallübertragung hatten. Dies kann anhand der Reptilien veranschaulicht werden, die den Kopf auf den Boden legen um einen

akustischen Reiz mittels der Unterkieferknochen wahrzunehmen. Dadurch wird der Schall über das primäre Kiefergelenk zum Innenohr geleitet.

### **2.3.2.2. Funktion der Gehörknöchelchen (Ossicula auditus)**

Die Gehörknöchelchen stellen eine Verbindung zwischen Trommelfell und ovalem Fenster her. Diese gelenkige Verbindung übernimmt die Funktion die durch die Schallwellen verursachten Schwingungen des Trommelfells zum Innenohr weiterzuleiten. Dabei überträgt der Steigbügel über das ovale Fenster die Schwingungen auf die Flüssigkeit des Innenohrs (FALLER & SCHÜNKE 2004).

Der Steigbügel wird zusätzlich durch den Steigbügelmuskel (Musculus stapedius), der am Processus muscularis stapedis ansetzt, der Hammer durch den Spannmuskel des Trommelfells (Musculus tensor tympani), der am Processus muscularis mallei ansetzt, fixiert (FALLER & SCHÜNKE 2004).

Diese Muskeln kontrahieren bei hohen Frequenzen, wodurch die Schwingungen des Trommelfells nicht mehr so gut über die Gehörknöchelchenkette weitergeleitet werden, was das Innenohr somit vor zu hohen Reizen schützt (CLASEN & GERŠIĆ 1975).

### **2.3.3. Höhle des Warzenfortsatzes (Antrum mastoideum) und Warzenfortsatzzellen (Cellulae mastoideae)**

Die Höhle des Warzenfortsatzes ist ein mit Schleimhaut ausgekleideter und luftgefüllter Raum, der wiederum aus weiteren kleineren Warzenfortsatzzellen besteht, die alle untereinander verbunden sind. Der Zugang zum Antrum mastoideum liegt in der hinteren Wand der Paukenhöhle (AUMÜLLER et a. 2007).

### **2.3.4. Ohrtrumpete (Tuba auditiva, Eustachische-Röhre)**

Die Ohrtrumpete beginnt in der Vorderwand der Paukenhöhle und endet im Nasenrachenraum. Sie übernimmt die Funktion des Druckausgleichs zwischen der Luft in der

Paukenhöhle und dem jeweils herrschenden atmosphärischen Außendruck (AUMÜLLER et al. 2007, MROWINSKI & SCHOLZ 2006). Das erste Drittel der Ohrtrumpete ist knöchern, die anderen beiden sind knorpelig-membranös. Jener Teil dehnt sich trichterförmig aus und an der Stelle, an der die beiden Teile aufeinander treffen befindet sich eine Engstelle, die hier Isthmus tubae auditivae genannt wird (AUMÜLLER et al. 2007).

### 2.4. Innenohr (Auris interna)

Da der genaue Aufbau des Innenohrs mit den dazugehörigen Bezeichnungen im praktischen Teil behandelt wird soll auch an dieser Stelle, wie bereits bei den Gehörknöchelchen, die morphologische Beschreibung in den Hintergrund gerückt werden.

Das Innenohr liegt in der Felsenbeinpyramide (Abb. 17) und wird aufgrund seines komplexen Aufbaus auch Labyrinth genannt (FANGHÄNEL et al. 2009)

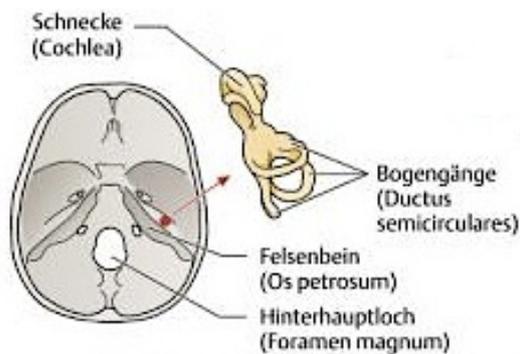


Abb. 17: Lage des Innenohres im Schädel (FALLER & SCHÜNKE 2004).

Es wird in das knöcherne und häutige Labyrinth gegliedert, wobei das mit Endolymphe gefüllte häutige Labyrinth in das mit Perilymphe gefüllte knöcherne Labyrinth eingelagert ist. Die beiden Flüssigkeiten unterscheiden sich vor allem an ihrem Gehalt an Natrium- und Kaliumionen (FALLER & SCHÜNKE 2004).

Der Teil des Innenohres, welcher bei den Säugetieren mehrere Windungen aufweist, wird aufgrund der schneckenhausähnlichen Form auch Schnecke (Cochlea) genannt. Diese besteht aus drei Gängen: beginnend am ovalen Fenster (Fenestra ovalis) liegt der Vorhofgang (Scala vestibuli), dieser geht an der Schneckenspitze (Helicotrema) in den Paukengang (Scala tympani) über und endet am runden Fenster (Fenestra rotunda), welches abschließend mit

einer Membran verschlossen ist. Zwischen diesen beiden Gängen befindet sich der Schneckengang (Ductus cochlearis) (PFLUMM 1996).

Der Schneckengang ist im Gegensatz zu den beiden anderen Gängen mit Endolymphe gefüllt und wird durch die Basilarmembran (Lamina basilaris) vom Paukengang und durch die Reissner-Membran vom Vorhofgang abgegrenzt (FALLER & SCHÜNKE 2004).

Auf der Basilarmembran befindet sich das Corti-Organ, das eigentliche Hörorgan, da es die Sinneszellen enthält, die die mechanischen Reize in elektrische Signale umwandeln (AUMÜLLER et al. 2007).

Das Corti-Organ besteht aus Haar- und Stützzellen (Abb. 18). Die Haarzellen gliedert man in äußere und innere Haarzellen: im Querschnitt kann man drei äußere Haarzellen und eine innere Haarzelle erkennen. Insgesamt ergeben sich daraus 3 mal 3500 = 10500 äußere Haarzellen und 1 mal 3500 = 3500 innere Haarzellen (MÜLLER & FRINGS 2009).

Diese zahlreichen Haarzellen tragen Stereozilien, wobei nur die Stereozilien der äußeren Haarzellen in die darüber liegende gallertige Schicht (Membrana tectoria) hineinragen (AUMÜLLER et al. 2007, FALLER & SCHÜNKE 2004).

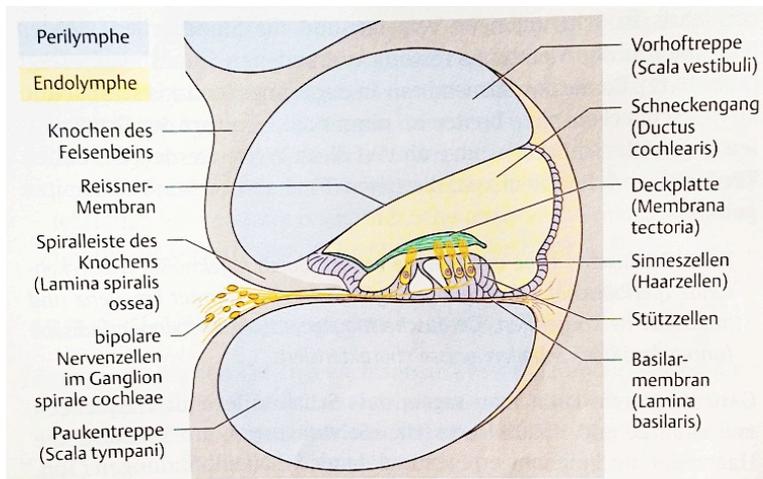


Abb. 18: Schematischer Querschnitt durch eine Cochleawindung. Corti-Organ bestehend aus Deckplatte, Haar- und Stützzellen (FALLER & SCHÜNKE 2004).

Der Hörvorgang funktioniert wie folgt: Die Fußplatte des Steigbügels trifft auf das ovale Fenster und löst Druckwellen im dahinterliegenden Vorhofgang aus (HILDEBRAN & GOSLOW 2004). Diese Wellen drücken an die seitlichen Wände des perilymphatischen Ganges. Nach außen befindet sich der harte Schädelknochen, nach innen jedoch die Reißner-Membran, die von der Welle ausgebeult wird. Diese Wanderwelle, die sich nun im

Schneckengang befindet beult wiederum die Basilarmembran aus, die nach unten in den Paukengang ausweichen kann und, obwohl sich auch dort inkompressible Flüssigkeit befindet, kann der Druck an das runde Fenster weitergeleitet werden, welches den Rest an Energie an die Luft in der Paukenhöhle abgibt (MÜLLER & FRINGS 2009) (Abb. 19).

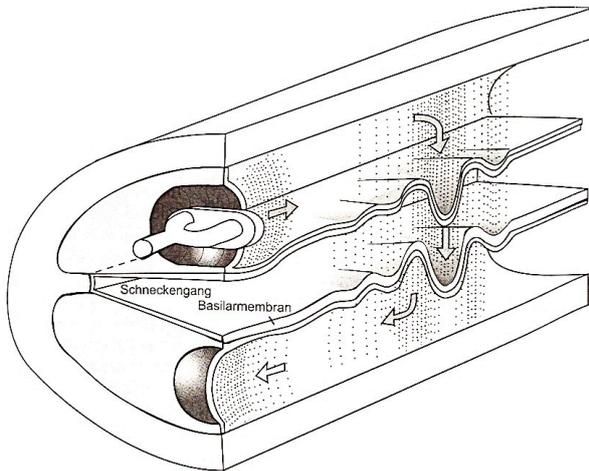


Abb. 19: Weg der Schallenergie vom ovalen Fenster, weiter über den Vorhofsgang, Schneckengang und Paukengang zum runden Fenster.

Die Schallwellen drücken an die Trennwände (Reißner-Membran und Basilarmembran) und versetzen die Membranen in Schwingungen. Die restliche Energie entweicht über das runde Fenster (MÜLLER & FRINGS 2009).

Je nach dem wie hoch die Frequenz ist, wird an unterschiedlichen Orten der Basilarmembran die maximale Amplitude erreicht (AUMÜLLER et al. 2007). Die hohen Frequenzen in der Nähe des ovalen Fensters, die tiefen Frequenzen in der Nähe des Helikotrema (PFLUMM 1996) (Abb. 20).

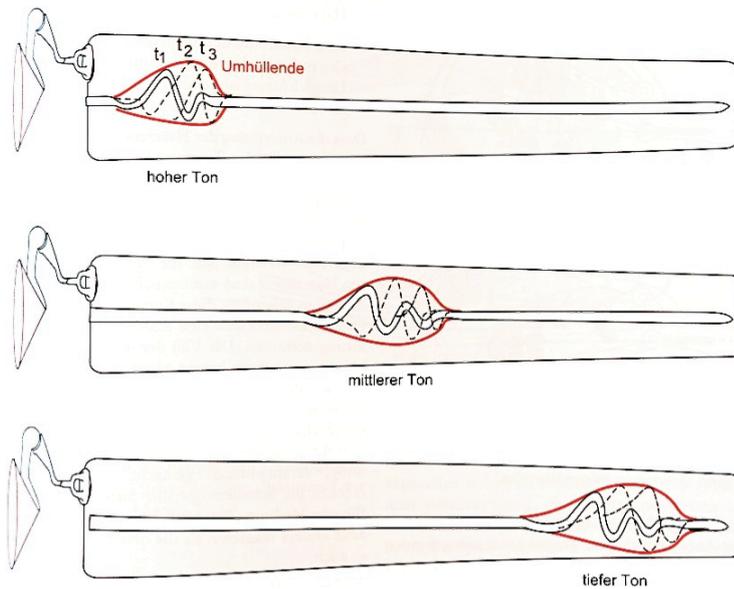


Abb. 20: Schematische Darstellung der Tonwahrnehmung. Hohe Töne werden in der Nähe des ovalen Fensters, tiefe Töne in der Nähe des Helikotremas gehört (MÜLLER & FRINGS 2009).

Durch die entstandene Auslenkung der Basilarmembran verschieben sich die äußeren Haarzellen des Corti-Organ gegenüber der Tektorialmembran und es kommt zu einer Abscherung und Erregung der Stereozilien, wobei die mechanischen in elektrische Reize umgewandelt werden (AUMÜLLER et al. 2007).

Zum Gleichgewichtsorgan zählen die drei Bogengänge (Ductus semicirculares) mit den Erweiterungen (Ampullae), in denen die Sinnesleisten mit den Sinneszellen (Cristae ampullares) liegen und das große und kleine Vorhofsäckchen (Utriculus und Sacculus) mit den Sinnesfeldern (Macula utriculi und Macula sacculi). Sie registrieren Veränderungen der Beschleunigung und der Lage und dienen somit der Orientierung im Raum (FALLER & SCHÜNKE 2004).

Die Cristae ampullares nehmen vor allem Drehbeschleunigungen wahr (Abb. 21). In jeder Erweiterung der drei Bogengänge, welche in den drei Hauptebenen des Raumes liegen, befindet sich eine Crista ampullaris, die Stütz- und Sinneszellen aufweist. Aus den Sinneszellen ragen Sinneshaare, die in eine gallertige Cupula hineinreichen. Wenn nun die Endolymphe in den Bogengängen in Bewegung versetzt wird, kommt es zur Auslenkung der Cupula mit den Sinneshaaren und die Sinneszellen werden erregt (FALLER & SCHÜNKE 2004).

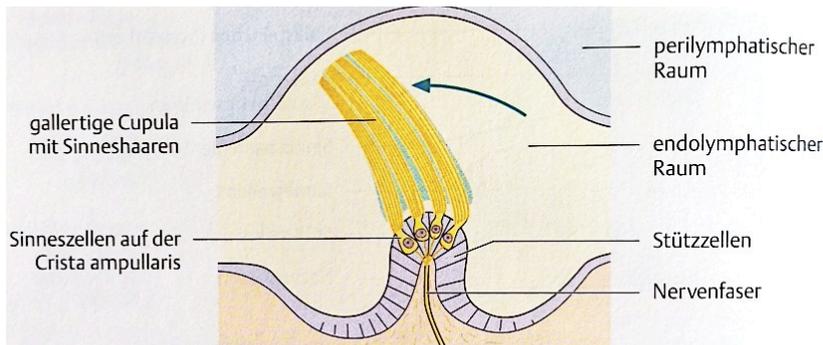


Abb. 21: Schematische Darstellung einer Bogengangsampulle (FALLER & SCHÜNKE 2004).

Die Maculae des Utriculus und Sacculus nehmen vor allem geradlinige Beschleunigungen wahr (Abb. 22). Die Macula utriculi registriert Horizontalbeschleunigungen, da sie am Boden des Utriculus horizontal befestigt ist. Die Macula sacculi hingegen registriert Vertikalbeschleunigungen, da sie senkrecht an der Vorderwand des Sacculus liegt. Die Maculae bestehen aus Stütz- und Sinneszellen und darauf befindet sich eine gallertige Membran, die zusätzlich mit kleinen Kalksteinchen (Statolithen) beschwert ist. In diese ragen wiederum die Sinneshaare hinein, die bei horizontaler oder vertikaler Beschleunigung durch das Kippen der Statolithenmembran verbogen werden und somit eine Reaktion der Sinneszellen auslösen (FALLER & SCHÜNKE 2004).

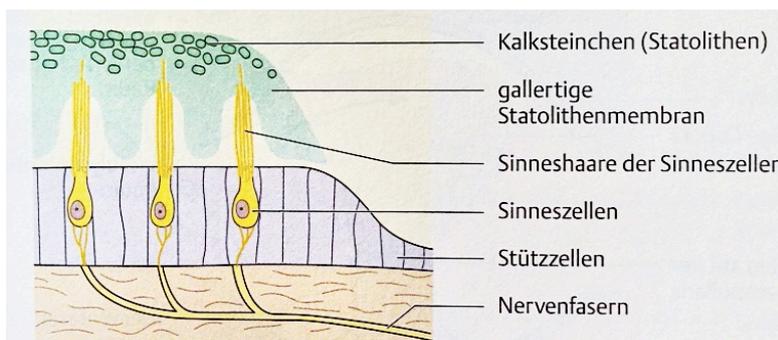


Abb. 22: Schematische Darstellung eines Sinnesfeldes (FALLER & SCHÜNKE 2004).

Abschließend soll eine schematische Darstellung aller Abschnitte des Ohres mit den wichtigsten Bestandteilen (Abb. 23) einen Gesamtüberblick geben.

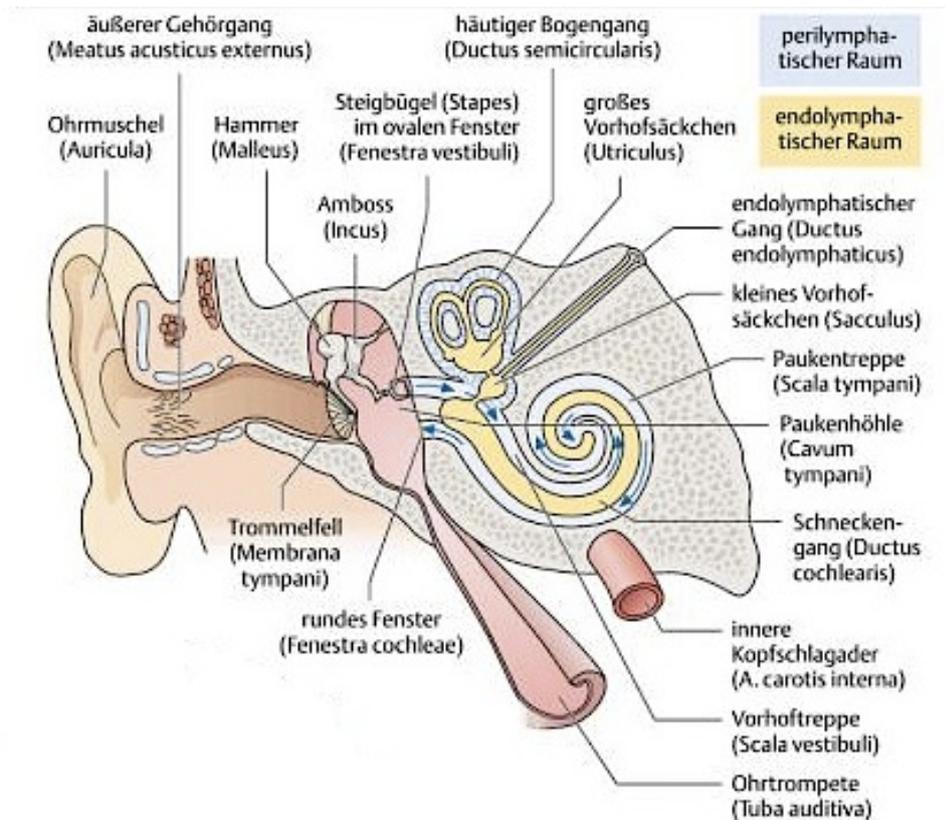


Abb. 23: Schematische Darstellung der rechten Ohrregion am Beispiel des Menschen (FALLER & SCHÜNKE 2004).

### 3. Verschiedene Techniken der morphologischen Untersuchung von Auris media und Auris interna

WERNER (1960) fasst die bis dahin verwendeten Techniken um das Gehörorgan morphologisch zu untersuchen zusammen: Dabei waren vor allem „die Präparation durch Sektion“, „Korrosionspräparate“ und „das mikroskopische Schnittpräparat“ von Bedeutung.

Vor der Erfindung des Mikrotoms war die Zergliederung mit Skalpell und Scheren die einzig geeignete Technik. Das Problem dabei war jedoch, dass durch die Sektion oft Zusammenhänge zerstört wurden.

Die Methode der Korrosion ermöglicht es die Hohlräume mit einer erstarrenden Masse (Wachs-Harz-Gemisch oder Metalllegierung) auszufüllen und danach das umgebende Gewebe zu beseitigen. HYRTL (1845) wandte als Erster diese Technik an. GRAY (1907)

schaffte es mittels Einbettung der Inhalte des Hohlraums durch Paraffin diese zu schützen und anschließend durch Beseitigung des Knochens mittels Säureeinwirkung die Weichteile in Zusammenhang darzustellen, welche nach Entfernung des Paraffins freigeworden sind. So isolierte er das häutige Labyrinth als Ganzes mit perilymphatischer Umgebung.

Ebenfalls ist die mikroskopische Untersuchung der Präparate eines solch kompliziert gebauten Organs unverzichtbar. Dabei betont WERNER (1960), dass möglichst wenige Einwirkungen auf das Präparat geschehen dürfen, da es zur Verringerung der Substanz führt.

Abschließend weist er darauf hin, dass es wichtig ist die Resultate mit anderen Methoden zu kombinieren und zu überprüfen, da es nur so möglich ist dieses Organ wahrheitsgemäß darzustellen. Aus einseitigen Anwendungen sind somit auch einige Irrtümer und Kontroversen entstanden.

Anhand der neueren Methode der computertomographischen Analyse können genauere Daten und Ergebnisse erzielt werden, weshalb in der abschließenden Diskussion dieser Arbeit unter anderem die neuen Resultate dieser Studie mit jenen von HYRTL (1845), DORAN (1879) und FLEISCHER (1970) verglichen werden.

## B Praktischer Teil

### 4. Untersuchtes Material

Für die Untersuchungen der Auris interna und Auris media dienten mazerierte Schädelpräparate. Rezent Material von vier Taxa der Familie Mustelidae wurden verglichen: *Lutra lutra* (Abb. 24 a+b), *Martes martes* (Abb. 24 c+d), *Meles meles* (Abb. 24 e+f) und *Mustela nivalis* (Abb. 24 g+h). Diese Schädel wurden aus der paläontologischen Sammlung der Universität Wien sowie dem Naturhistorischen Museum Wien entliehen.

Genauere Informationen zu den einzelnen Schädeln sind aus dem Appendix zu entnehmen.

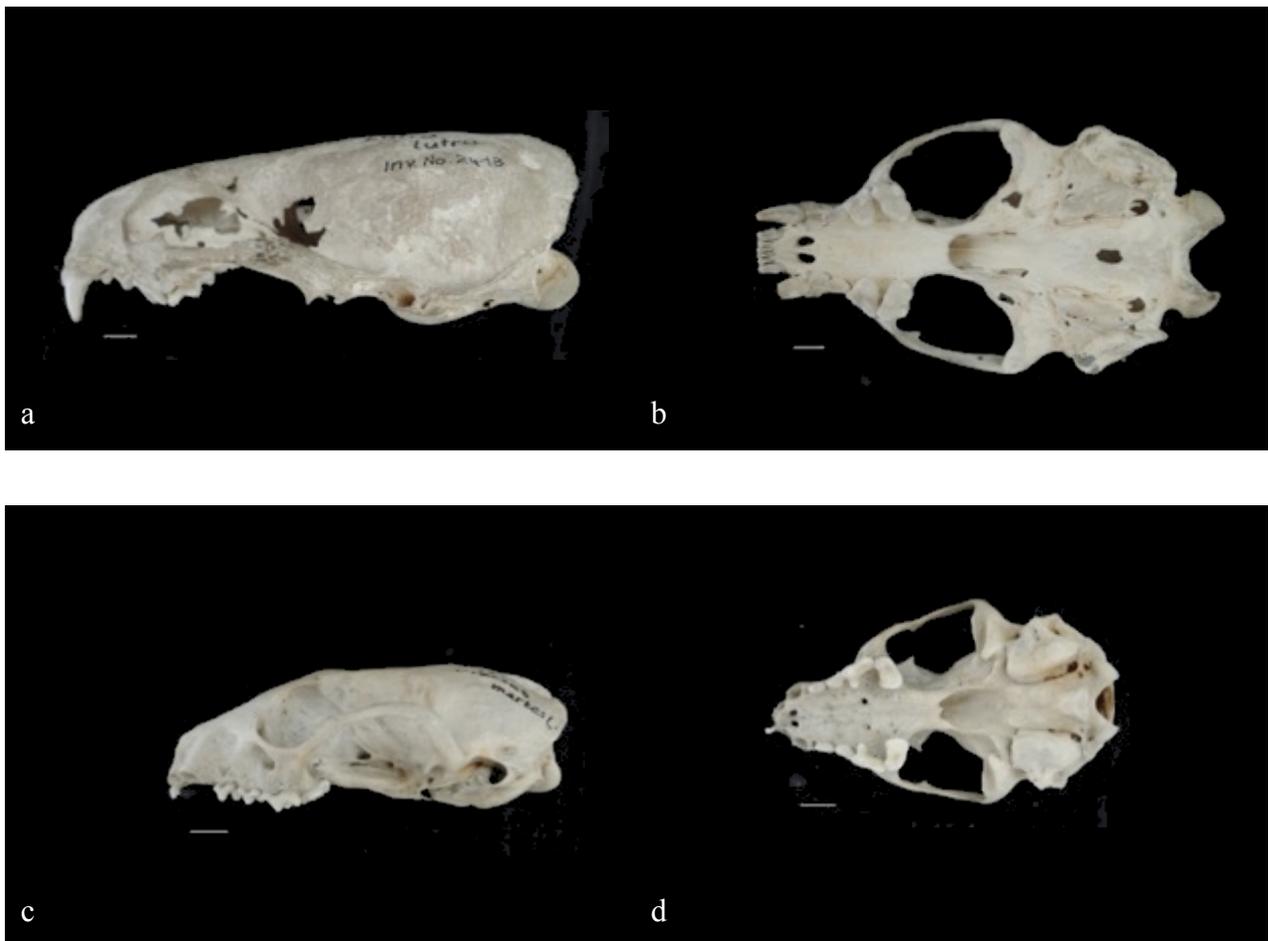




Abb. 24: Untersuchtes Material

a + b: Schädel von *Lutra lutra* (PIUW 2413), a: lateral, b: occlusal; Das Material der Untersuchung des Mittel- und Innenohres von *Lutra lutra* entstammt dem Naturhistorischen Museum (von diesem Schädel ist keine Inventarnummer bekannt). Zur Vervollständigung und zum Vergleich wurde Material aus der Sammlung des Paläontologischen Instituts abgebildet. c + d: Schädel von *Martes martes* (PIUW 1678), c: lateral, d: occlusal. e + f: Schädel von *Meles meles* (PIUW 1319), e: lateral, f: occlusal. g + h: Schädel von *Mustela nivalis* (PIUW 7351), g: lateral, h: occlusal. Maßstab a-h: 1 cm.

## 5. Mikro-Computertomographie und 3D-Rekonstruktion

Um die Schädelpräparate zerstörungsfrei zu untersuchen, wurde das Material mittels Mikro-Computertomographie ( $\mu$ CT) am Institut der Paläontologie, Universität Wien gescannt (Mikro-CT Scanner 1173 Skyscan, Firma Bruker (Abb. 25)). Anschließend wurden die Scans

manuell segmentiert und virtuell dreidimensional mit der Software Amira 5.4.1. (Visualization Sciences group) rekonstruiert.



Abb. 25: Mikro-CT 1173 Skyscan mit Steuercomputer im Institut für Paläontologie, Wien.

Im Folgenden werden die Vorgänge von den computertomographischen Aufnahmen bis hin zur Entstehung der 3D-Bilder genauer beschrieben.

Zu Beginn wird das zu untersuchende Objekt von der austretenden Strahlung der Röntgenröhre durchdrungen. Die Strahlung trifft danach abgeschwächt auf den gegenüberliegenden Messwertempfänger, dem sogenannten Detektor (GRILLENBERGER & FRITSCH 2012).

Außerdem erfolgt eine 180° Drehung und es entsteht ein Querschnittsbild des zu untersuchenden Objekts.

Die Bildmatrix setzt sich aus einzelnen zweidimensionalen Bildpunkten (Pixel) zusammen. In der 3D-Darstellung entsprechen diese Bildpunkte Volumeneinheiten (Voxel) (FEYTER & KRESTIN 2005) (Abb. 26).

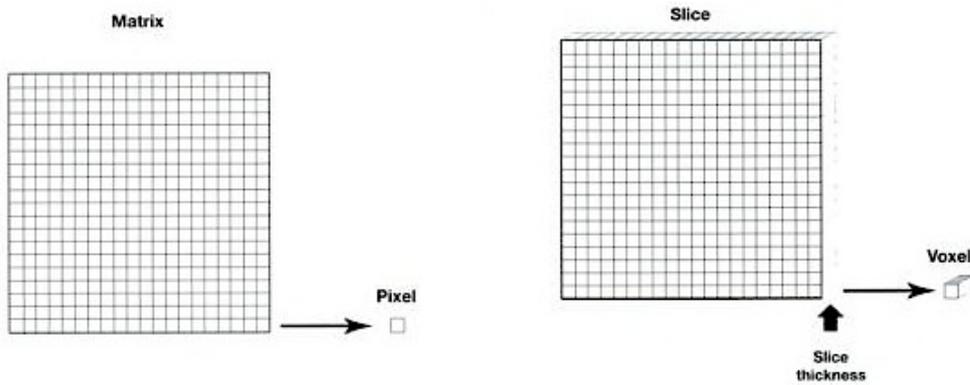


Abb. 26: Graphische Darstellung des Unterschieds von Pixel zu Voxel (FEYTER & KRESTIN 2005).

Aufgrund des Absorptionsanteils der Strahlung im entsprechenden Voxel, kann man wiederum auf die Dichte des Objekts schließen (GRILLENBERGER & FRITSCH 2012).

Diese Dichtewerte werden in Hounsfield-Units (HU) – benannt nach Godfrey N. Hounsfield, dem Erfinder der Computertomographie – übertragen. Auf dieser Skala entspricht minus 1000 HU dem Absorptionswert von Luft, 0 HU dem von Wasser (BUZUG 2008). Der Schwächungskoeffizient von Knochengewebe liegt etwa bei 400 HU (KALENDER 2006) (Abb. 27).

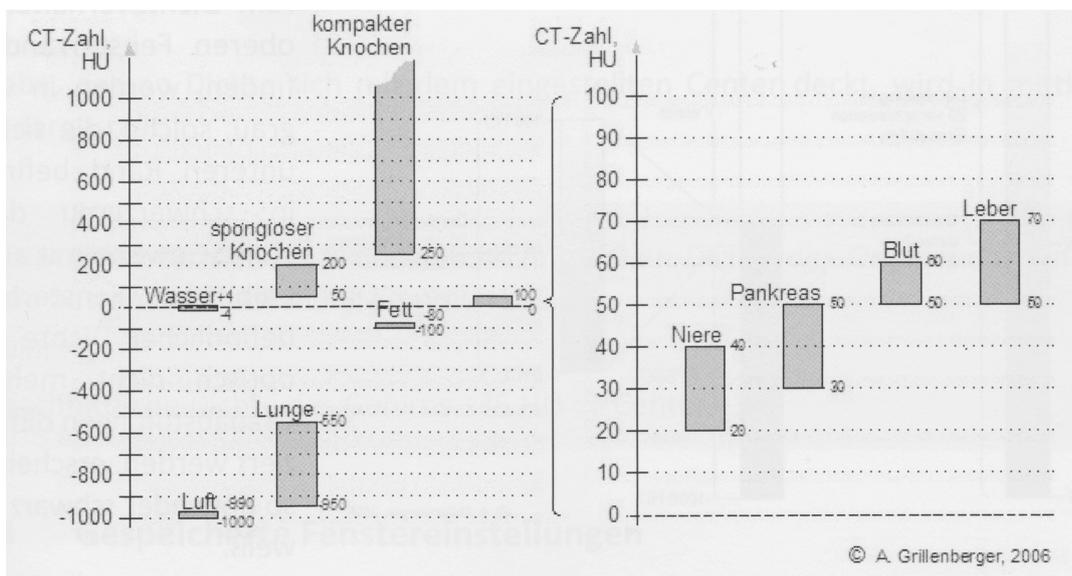


Abb. 27: HU-Werte von verschiedenen Geweben auf der Hounsfield-Skala (GRILLENBERGER & FRITSCH 2012).

Die Weiterverarbeitung der CT-Scans erfolgte mit dem Programm Amira 5.4.1. Die knöchernen Bereiche (hoher Absorptionswert) wurden hell und die luftgefüllten Räume (niedriger Absorptionswert) dunkel dargestellt. Malleus, Incus, Stapes und Auris interna wurden manuell segmentiert (Abb. 28) und danach virtuell dreidimensional rekonstruiert (Abb. 29).

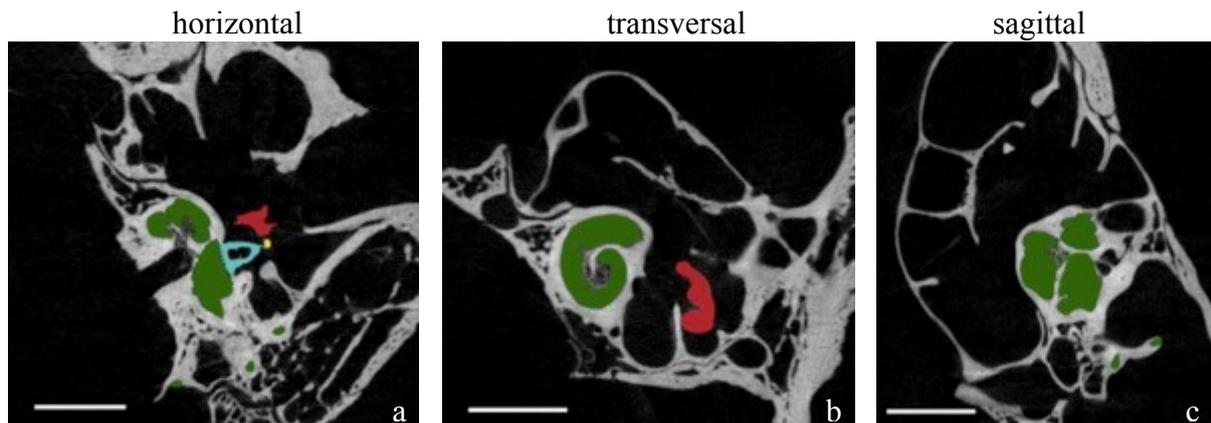


Abb. 28: 2D-Segmentierung mittels Amira 5.4.1.. a: horizontale Ansicht, b: transversale Ansicht, c: sagittale Ansicht von *Meles meles* (PIUW 1319). Farbcode: grün: Auris interna, rot: Malleus, gelb: Incus, türkis: Stapes. Maßstab: 5 mm.

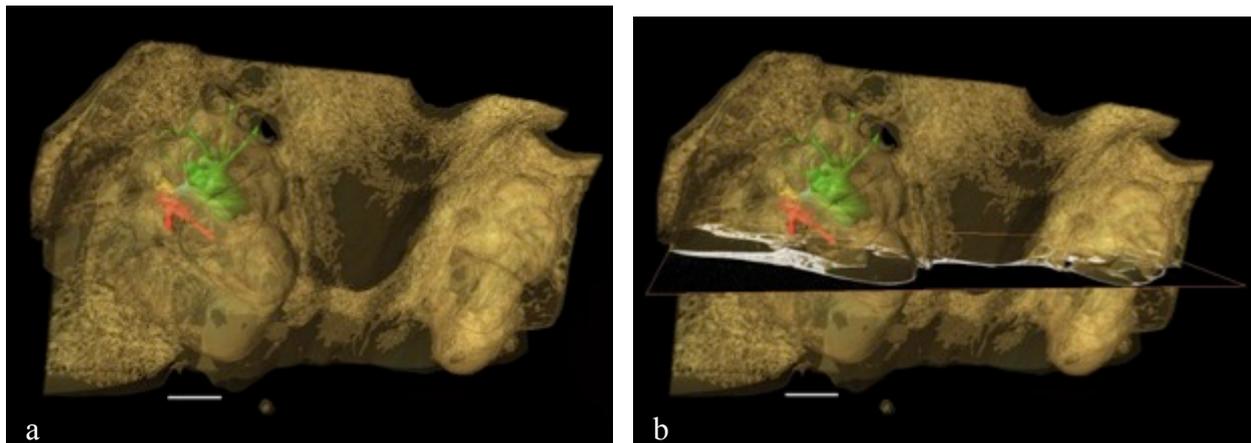


Abb. 29: 3D-Rekonstruktion mittels Amira 5.4.1.. a: Auris interna und Auris media virtuell dreidimensional innerhalb des Cavum tympani von *Meles meles* (PIUW 1319) dargestellt. Bei Abb. 29 b wurde zusätzlich der entsprechende Mikro-CT Schnitt eingeblendet. Farbcode: grün: Auris interna, rot: Malleus, gelb: Incus, türkis: Stapes. Maßstab: 5 mm.

Die abschließende Bearbeitung der 3D-Screenshots aus dem Programm Amira erfolgte mittels Adobe Photoshop CS4. Dabei wurden einheitliche Bildtafeln mit Maßstab angefertigt. Diese befinden sich im Abschnitt „morphologische Untersuchung“ nach der vergleichenden Analyse des jeweiligen Gehörknöchelchens bzw. des Innenohres.

Dabei sei zu erwähnen, dass die Anzahl der Cochleawindungen folgendermaßen bestimmt wurde: Man beginnt an der Artikulationsstelle des Stapes und zählt wie viele 360° Drehungen bis zur Spitze der Cochlea vorhanden sind.

Um die Ohrregionen der unterschiedlichen Taxa miteinander vergleichen zu können, wurden jeweils die zu untersuchenden Strukturen des rechten Ohres nachgebildet. Wenn jedoch diese Seite der Ohrregion nicht alle Elemente enthalten hat, wurde die linke Seite rekonstruiert und mittels Adobe Photoshop CS4 horizontal gespiegelt und die Strukturen somit als jene der rechten Seite dargestellt.

Letztendlich wurden für die phylogenetische Analyse die Merkmale der Bildtafeln zuerst tabellarisch aufgelistet und anschließend per Blockdiagramm graphisch dargestellt.

## **6. Morphologische Untersuchung**

Im Folgenden wird die Morphologie der Gehörknöchelchen (Ossicula auditus) und des Innenohres (Auris interna) der vier Taxa beschrieben. Die Nomenklatur der einzelnen Teile von Auris media stützt sich auf FLEISCHER (1970), die der Auris interna auf FLEISCHER (1970), SPOOR et al. (2004), SCHALLER (2007) und EKDALE & ROWE (2011). Die Bildtafeln mit den 3D-Rekonstruktionen folgen im Anschluss der jeweiligen Ossicula auditus und der Auris interna.

Zu Beginn soll jeweils eine 3D-Darstellung mit Beschriftung einen Überblick der anschließend beschriebenen Objekte geben.

## 6.1. Malleus

Der Malleus besteht grundsätzlich aus drei großen Abschnitten, dem Caput mallei, Collum mallei und Manubrium mallei, an welchem sich ein kleiner löffelförmiger Fortsatz, die Spatula befindet. Weitere wichtige Bezeichnungen für den Aufbau des Malleus sind der Processus muscularis, Processus lateralis, Processus gracilis, Processus cephalicus, die knöcherne Lamina und die Facies articularis.

Der erst genannte der Processi befindet sich „an der von der Trommelhaut abgewendeten Seite des Halses bei allen Arten ein langer, dünner, aber starker, etwas nach aufwärts gebogener Fortsatz [...]. Er nimmt die Sehne des Tensor tympani auf, und könnte deshalb Processus muscularis genannt werden.“ (HYRTL 1845).

An der gegenüberliegenden Seite des Processus muscularis befindet sich entsprechend der untersuchten Art der Processus lateralis. Beide Processi bilden die ventral gelegene Grenze des Collum mallei; die dorsal gelegene Grenze ist definiert durch den unteren Rand des Caput mallei (SCHWARZ 2012).

Der Processus gracilis und der Processus cephalicus schließen zwischen sich eine dünne knöcherne Lamina ein.

Die Gelenkung zwischen Malleus und Incus wird Facies articularis genannt.

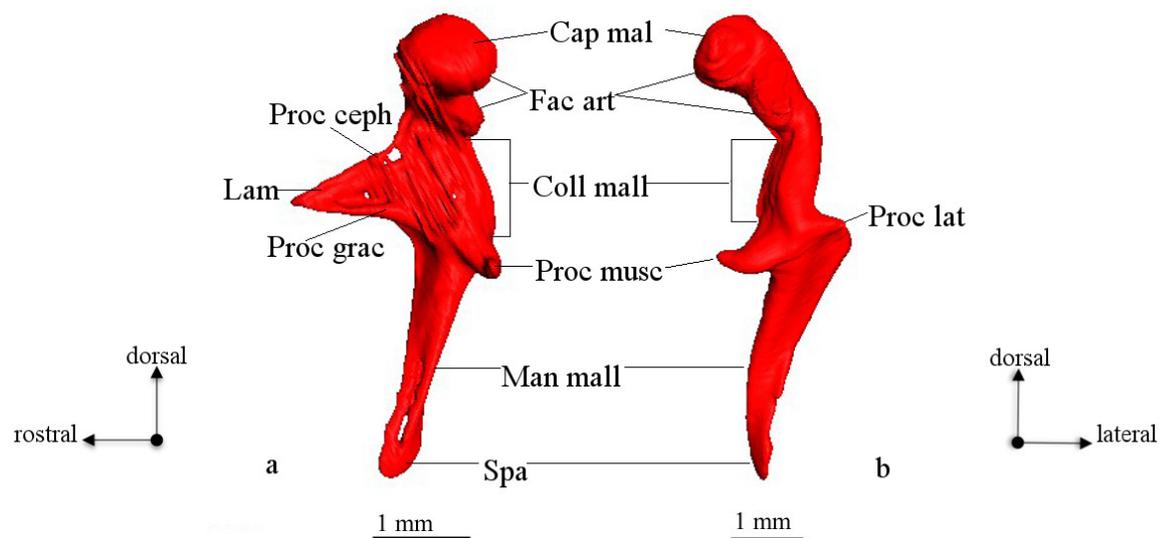


Abb. 30: 3D-Darstellung des rechten Malleus von *Martes martes* (PIUW 1678) (Ansichten: a: medial und b: occipital) ergänzt nach FLEISCHER (1970) und SCHWARZ (2012).

Abkürzungsverzeichnis befindet sich im Anhang.

Das Caput mallei ist bei allen vier Taxa nach medial geneigt (Abb. 31.1.-4.a).

Die Facies articularis ist groß und besteht aus zwei Gelenkfacetten (Abb. 31.1.-4.b).

Der Processus cephalicus ist bei *Meles meles* von allen untersuchten Taxa am längsten und deutlich zu erkennen (Abb. 31.3.c). Bei *Lutra lutra* (Abb. 31.1.c) und *Martes martes* (Abb. 31.2.c) ist er nur schwach ausgeprägt und bei *Mustela nivalis* nicht erhalten.

Diese verschieden starken Ausprägungen decken sich mit jenen des Processus gracilis (Abb. 31.1.d, 31.2.d, 31.4.d), der ebenfalls bei *Meles meles* (Abb. 31.3.d) eindeutig erkennbar ist.

Wie dünn die knöcherne Lamina zwischen dem Processus cephalicus und dem Processus gracilis ist, lässt sich anhand der zahlreichen Aussparungen in diesem Bereich in der 3D-Rekonstruktion feststellen. Bei der Öffnung des Malleus von *Lutra lutra* (Abb. 31.1.e) handelt es sich nicht um eine Beschädigung, sondern um eine strukturelle Begebenheit. Ob diese Öffnung von Knorpel verschlossen ist, kann ohne weitere Untersuchung nicht abschließend entschieden werden.

Der durch die knöcherne Lamina ausgefüllte Bereich zwischen dem Processus gracilis und Processus cephalicus ist bei *Lutra lutra* lang und spitz (Abb. 31.1.f), bei *Martes martes* etwas kürzer, doch ebenfalls spitz (Abb. 31.2.f) und bei *Meles meles* kurz und stumpf (Abb. 31.3.f). Bei *Mustela nivalis* ist er leider nicht erhalten.

Der Processus lateralis ist bei *Martes martes* (Abb. 31.2.g) und *Meles meles* (Abb. 31.3.g) noch ansatzweise vorhanden, bei *Lutra lutra* ist er jedoch nicht mehr feststellbar (Abb. 31.1.g).

Der Processus muscularis ist an der Basis stämmig und lang. Die Beugung des Processus muscularis ist bei *Martes martes* spitzzulaufend nach dorsal zeigend und insgesamt erkennt man eine rostro-dorsal verlaufende Biegung (Abb. 31.2.h).

Bei *Meles meles* ist der Processus muscularis groß und nach ventral geneigt (Abb.31.3h).

Bei *Lutra lutra* (Abb. 31.1.h) und *Mustela nivalis* (Abb. 31.4.h) sind die Processi kürzer und bei letzterem Taxon entspringt der Processus muscularis sehr weit ventral. Dadurch zeigt der Malleus in seiner gesamten Gestalt ein langes Collum mallei und kurzes Manubrium.

Die Biegung zwischen dem Processus cephalicus und dem Caput mallei ist bei allen Taxa ein stumpfer Winkel mit etwas mehr als  $90^\circ$  (Abb. 31.1.-3.i), ausgenommen *Mustela nivalis*, bei dem der Processus cephalicus nicht erhalten ist und daher keine Aussage über den Winkel gemacht werden kann.

Der Winkel zwischen dem Processus gracilis und dem Manubrium mallei ist bei *Lutra lutra* (Abb. 31.1.j), *Martes Martes* (Abb. 31.2.j) und *Meles meles* (Abb. 31.3.j) spitz, bei *Mustela nivalis* jedoch stumpf ausgeprägt (Abb. 31.4.j).

Das Manubrium mallei erhält durch die Verbindung mit der Membrana tympani (Trommelfell) für gewöhnlich eine konkave Form (Abb. 31.2.-4.k). Nur bei *Lutra lutra* verläuft das Manubrium mallei konvex zur Membrana tympani (Abb. 31.1.k).

Das Manubrium mallei wird von einem Kanal durchzogen. Dieser ist bei allen vier Taxa sichtbar (Abb.31.1.-4.l). Bei *Martes martes* kommt es zu einer Aussparung am Ende dieses Kanals (Abb.31.2.m).

Die Spatula weist bei *Mustela nivalis* (Abb. 31.4.n) und auch bei *Lutra lutra* (Abb. 31.1.n) eine breite Form auf; bei *Martes martes* (Abb. 31.2.n) und *Meles meles* (Abb. 31.3.n) ist sie etwas schmaler.

Beim Taxon *Mustela nivalis* ist dorsal des Processus muscularis ein Foramen zu erkennen (Abb. 32.4.o).

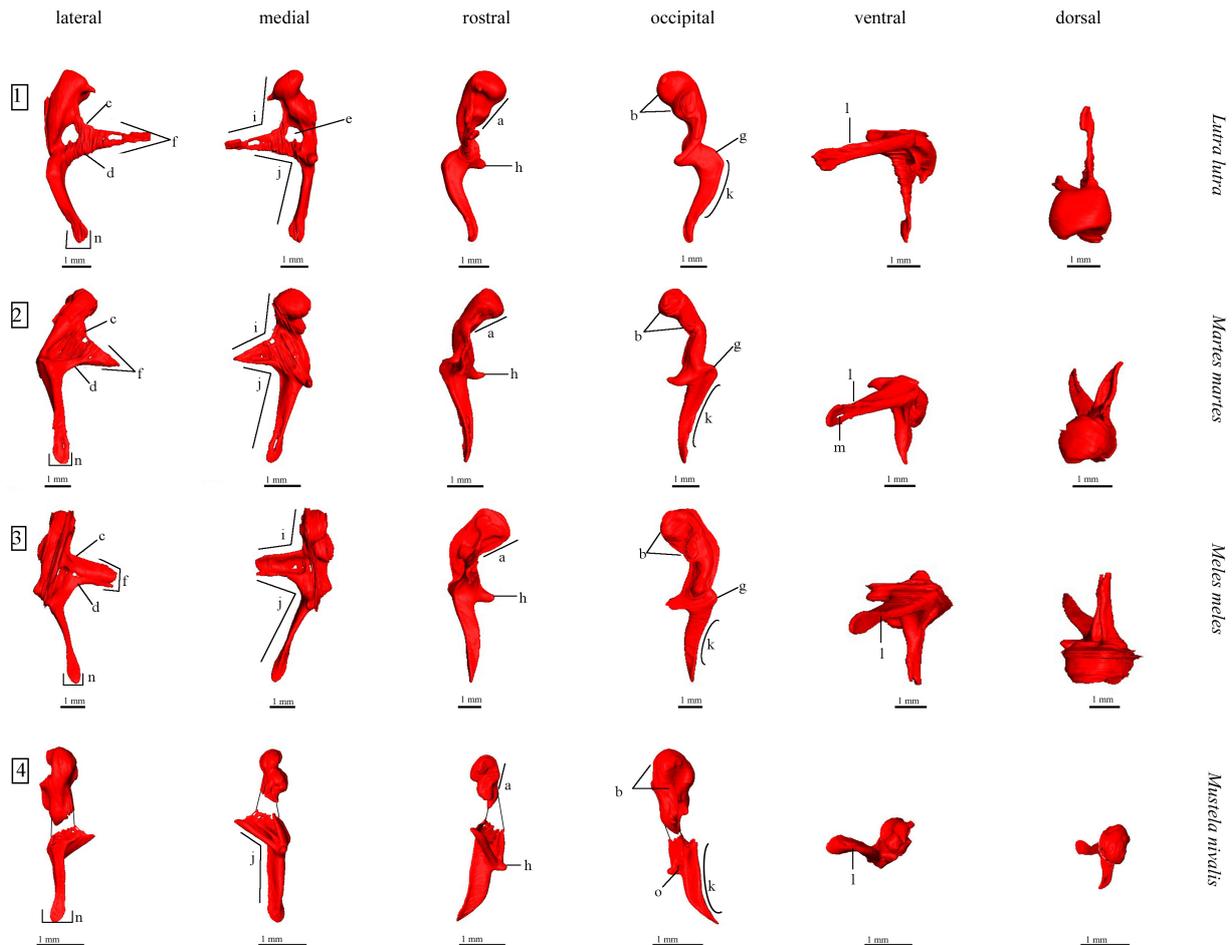


Abb. 31: 3D-Rekonstruktion des rechten Malleus aller vier Taxa im Vergleich.

1: a: Caput mallei ist nach medial gebeugt. b: Facies articularis bestehend aus zwei Gelenkfacetten. c: Processus cephalicus schwach ausgeprägt. d: Processus gracilis schwach ausgeprägt. e: keine Knochensubstanz vorhanden. f: Processus cephalicus und Processus gracilis formen ein langes und spitzes Dreieck. g: Processus lateralis fehlt. h: Processus muscularis kurz und nach ventral geneigt. i: Winkel zwischen dem Processus cephalicus und dem Caput mallei beträgt mehr als  $90^\circ$ . j: Winkel zwischen dem Processus gracilis und dem Manubrium mallei beträgt weniger als  $90^\circ$ . k: konvexe Biegung des Manubrium mallei. l: röhrenförmiger Kanal. n: breite Form der Spatula.

2: a: Caput mallei ist nach medial gebeugt. b: Facies articularis bestehend aus zwei Gelenkfacetten. c: Processus cephalicus schwach ausgeprägt. d: Processus gracilis schwach ausgeprägt. f: Processus cephalicus und Processus gracilis formen ein kurzes und spitzes Dreieck. g: Processus lateralis ansatzweise vorhanden. h: Processus muscularis spitzzulaufend nach dorsal zeigend, rostro-dorsal verlaufende Biegung. i: Winkel zwischen dem Processus cephalicus und dem Caput mallei beträgt mehr als  $90^\circ$ . j: Winkel zwischen dem Processus

gracilis und dem Manubrium mallei beträgt weniger als  $90^\circ$ . k: konkave Biegung des Manubrium mallei. l: röhrenförmiger Kanal. m: Aussparung am Ende des Kanals. n: schmale Form der Spatula.

3: a: Caput mallei ist nach medial gebeugt. b: Facies articularis bestehend aus zwei Gelenkfacetten. c: Processus cephalicus deutlich ausgeprägt. d: Processus gracilis deutlich ausgeprägt. f: Processus cephalicus und Processus gracilis formen ein kurzes und stumpfes Dreieck. g: Processus lateralis ansatzweise vorhanden. h: Processus muscularis groß und nach ventral geneigt. i: Winkel zwischen dem Processus cephalicus und dem Caput mallei beträgt mehr als  $90^\circ$ . j: Winkel zwischen dem Processus gracilis und dem Manubrium mallei beträgt weniger als  $90^\circ$ . k: konkave Biegung des Manubrium mallei. l: röhrenförmiger Kanal. n: schmale Form der Spatula.

4: a: Caput mallei ist nach medial gebeugt. b: Facies articularis bestehend aus zwei Gelenkfacetten. c: Processus cephalicus schwach ausgeprägt. h: Processus muscularis kurz und entspringt weit ventral. j: Winkel zwischen dem Processus gracilis und dem Manubrium mallei beträgt mehr als  $90^\circ$ . k: konkave Biegung des Manubrium mallei. l: röhrenförmiger Kanal. n: breite Form der Spatula. o: Foramen

## 6.2. Incus

Grundsätzlich besteht der Incus aus einem Körper (Corpus incudis) und zwei Erweiterungen (Crus breve incudis und Crus longum incudis). Die Anschlussstelle an den Stapes wird Processus lenticularis, die Gelenkung an der der Malleus ansetzt Facies articularis genannt.

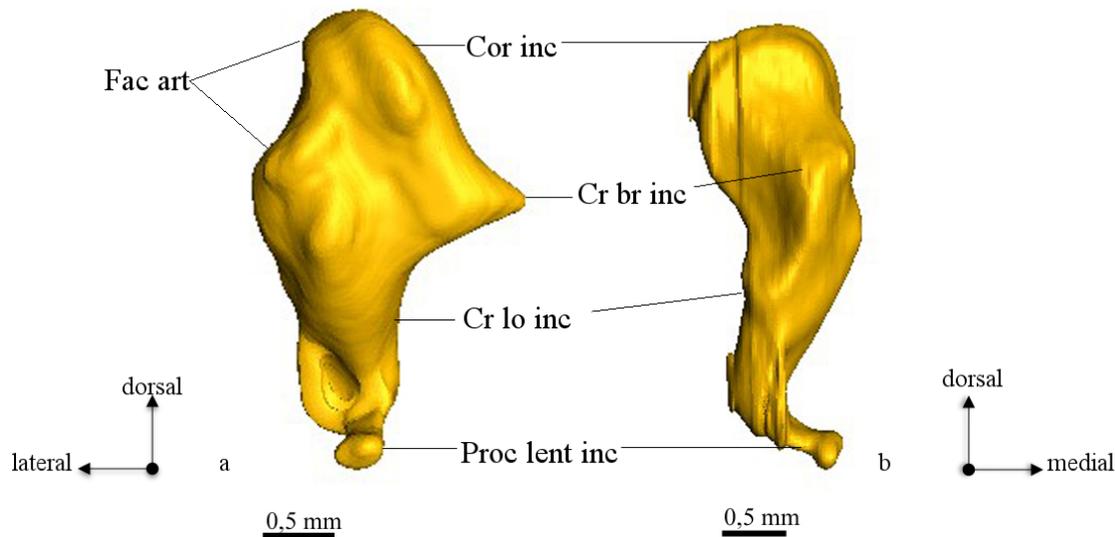


Abb. 32: 3D-Darstellung des rechten Incus von *Lutra lutra* (Ansichten: a: medial, b: occipital) ergänzt nach FLEISCHER (1970). Abkürzungsverzeichnis befindet sich im Anhang.

Der Corpus incudis des Incus bei *Lutra lutra*, *Meles meles* und *Martes martes* hat eine deutliche Vertiefung (Abb. 33 1.-3.a), bei *Mustela nivalis* ist eine geringere Einbuchtung festzustellen (Abb. 33.4.a).

Bei den untersuchten Objekten ist das Crus breve incudis bei *Lutra lutra* (Abb. 33.1.b) und *Mustela nivalis* (Abb. 33.4.b) etwas kürzer, als bei den anderen beiden Taxa (Abb.33.2.-3.b).

Desweiteren dreht das Crus breve incudis bei *Meles meles* (Abb. 33.3.c) und *Mustela nivalis* (Abb. 33.3.c) nach medial. Bei *Lutra lutra* (Abb. 33.1.c) und *Martes martes* (Abb. 33.2.c) ist keine Beugung vorzufinden und verläuft daher gerade nach rostral.

Die Krümmung oberhalb des Crus breve incudis bei medialer Ansicht läuft bei *Lutra lutra* (Abb. 33.1.d) und *Meles meles* (Abb. 33.3.d) vom Corpus incudis in einer geraden Linie Richtung Ende des Crus breve incudis, sodass eine Spitze entsteht, bei *Martes martes* (Abb. 33.2.d) und *Mustela nivalis* (Abb.33.4.d) verläuft diese Linie etwas gebogen, sodass ein sehr kompaktes Ende des Crus breve incudis hervorgeht.

Bei *Meles meles* (Abb. 33.3.e) und *Mustela nivalis* (Abb.33.4.e) schließen das Crus breve incudis und Crus longum incudis einen rechten Winkel ein, bei den anderen beiden Taxa (Abb. 33.1.-2.e) ist dieser Winkel größer als 90°.

Das Crus longum incudis ist bei *Lutra lutra* (Abb. 33.1.f) und *Mustela nivalis* (Abb. 33.4.f) dick und kompakt ausgeprägt, bei *Meles meles* (Abb. 33.3.f) und *Martes martes* (Abb. 33.2.f) ist es schmal.

Desweiteren ist das Crus longum incudis bei *Lutra lutra* (Abb. 33.1.g) und *Mustela nivalis* (Abb. 33.4g) gekrümmt und mit einer rinnenförmigen Einbuchtung versehen.

Bei occipitaler Ansicht lässt sich eine etwa s-förmige Verknöcherung bei *Lutra lutra*, *Martes martes* und *Mustela nivalis* feststellen (Abb. 33.1.,2.,4.h).

Der Processus lenticularis incudis ist nur bei *Lutra lutra* erhalten (Abb. 33.1.i), da dieser filigrane Fortsatz sehr leicht abbricht.

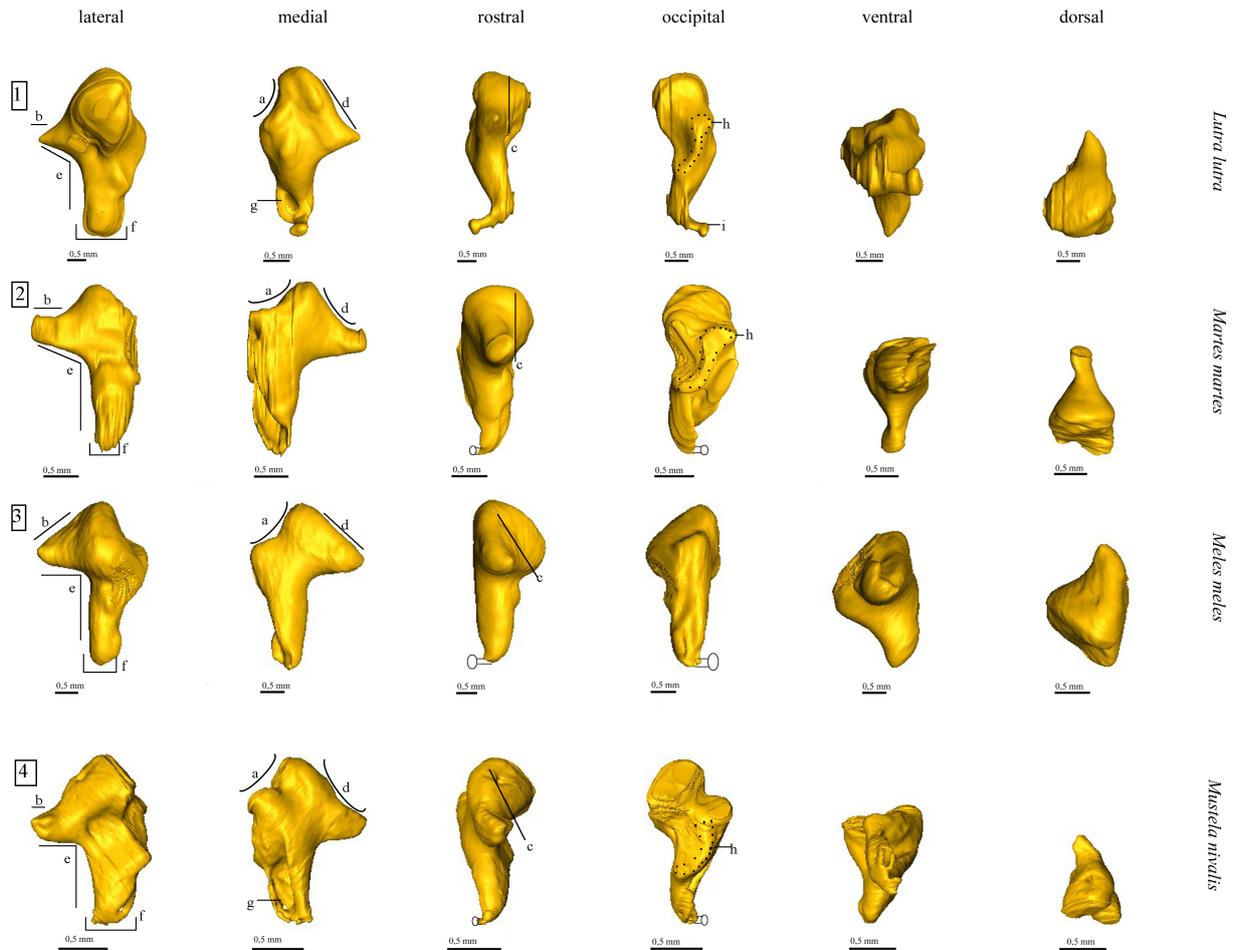


Abb. 33: 3D-Rekonstruktion des rechten Incus aller vier Taxa im Vergleich.

1: a: tiefe Einbuchtung in den Corpus incudis. b: kurzes Crus breve incudis. c: Crus breve incudis ohne Beugung. d: gerade Linie vom Corpus incudis in Richtung Ende des Crus breve incudis mit spitzem Ende. e: Winkel zwischen Crus breve incudis und Crus longum incudis größer als  $90^\circ$ . f: Crus longum incudis dick und kompakt. g: Crus longum incudis rinnenförmig gehöhlt. h: s-förmige Verknöcherung. i: Processus lenticularis incudis.

2: a: tiefe Einbuchtung in den Corpus incudis. b: verlängertes Crus breve incudis. c: Crus breve incudis ohne Beugung. d: gebogene Linie vom Corpus incudis in Richtung Ende des Crus breve incudis mit kompaktem Ende. e: Winkel zwischen Crus breve incudis und Crus longum incudis größer als  $90^\circ$ . f: Crus longum incudis schmal. h: s-förmige Verknöcherung.

3: a: tiefe Einbuchtung in den Corpus incudis. b: verlängertes Crus breve incudis. c: Crus breve incudis nach medial gedreht. d: gerade Linie vom Corpus incudis in Richtung Endes des Crus breve incudis mit spitzem Ende. e: rechter Winkel zwischen Crus breve incudis und Crus longum incudis. f: Crus longum incudis schmal.

4: a: geringe Einbuchtung in den Corpus incudis. b: kurzes Crus breve incudis. c: Crus breve incudis nach medial gedreht. d: gebogene Linie vom Corpus incudis in Richtung Ende des Crus breve incudis mit kompaktem Ende. e: rechter Winkel zwischen Crus breve incudis und Crus longum incudis. f: Crus longum incudis dick und kompakt. g: Crus longum incudis rinnenförmig gehöhlt. h: s-förmige Verknöcherung.

### 6.3. Stapes

Die zwei geradlinigen Schenkeln des Stapes (Crus posterius stapedis, Crus anterius stapedis) sind zu einem Dreieck geformt und die Basis (Basis stapedis) ist zum Vestibulum (Vorhof) hin mehr oder weniger bauchig (HYRTL 1845, DORAN 1879). Das Crus posterius stapedis kann außerdem einen Processus muscularis stapedis in der Nähe des Capitulum stapedis, welches wiederum an den Incus anschließt, aufweisen. Zwischen den beiden Schenkeln befindet sich das Foramen intercrurale.

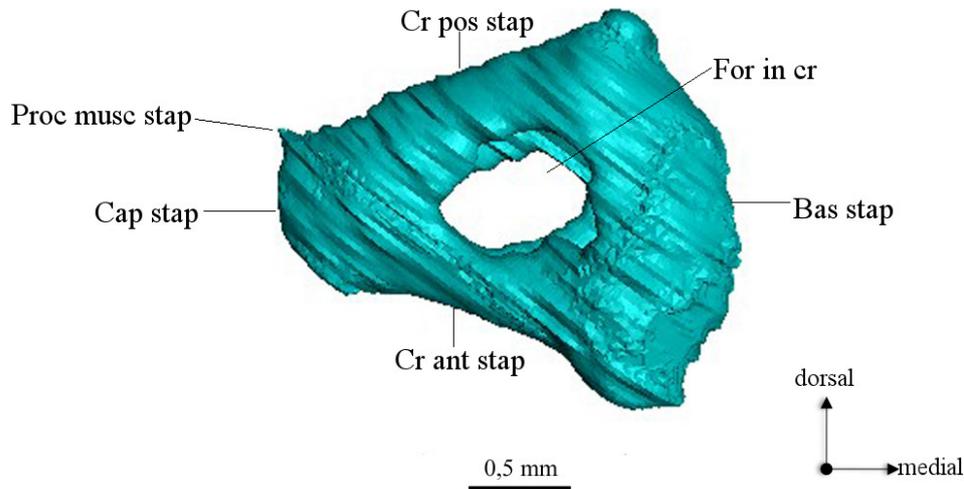


Abb. 34: 3D-Darstellung des rechten Stapes von *Lutra lutra* (Ansicht: rostral) ergänzt nach FLEISCHER (1970). Abkürzungsverzeichnis befindet sich im Anhang.

Die konvex gewölbte Basis stapedis kann man besonders bei *Lutra lutra* (Abb. 35.1.a) und *Mustela nivalis* (Abb. 35.4.a) erkennen. Bei *Martes martes* kann man bei rostraler und occipitaler Ansicht sehen, dass die Basis stapedis nicht mit der extrem bauchigen Form von *Lutra lutra* und *Mustela nivalis* vergleichbar ist (Abb. 35.2.a). Bei *Meles meles* weist die

Basis stapedis weder eine konvexe, noch konkave Biegung auf, sondern ist im dorsalen Bereich nach lateral gebogen (Abb. 35.3.a).

Weiters kann man von medial betrachtet sehen, dass die Basis stapedis bei *Lutra lutra* (Abb. 35.1.b) und *Meles meles* (Abb. 35.3b) eine eher breite und dicke Form hat, bei *Martes martes* (Abb. 35.2.b) und *Mustela nivalis* (Abb.35.4.c) lang und dünn ist.

Das Capitulum stapedis ist bei *Martes martes* deutlich abgegrenzt (Abb. 35.2.c) und auch bei *Mustela nivalis* kann man einen Übergang zwischen Capitulum stapedis und den Crus anterius stapedis und Crus posterius stapedis erkennen. (Abb. 35.4.c).

Die Fläche des Capitulum stapedis, welches an den Incus angrenzt, ist bei *Lutra lutra* (Abb. 35.1.d) und *Martes martes* (Abb. 35.2.d) gerade, bei *Mustela nivalis* schräg (Abb. 35.4.d) und bei *Meles meles* spitz (Abb. 35.3.d).

Der Processus muscularis stapedis ist eindeutig bei *Martes martes*, *Mustela nivalis* und *Lutra lutra* (Abb. 35.1.,2.,4.e) erkennbar. Bei *Meles meles* ist kein Processus muscularis ausgebildet.

Prinzipiell sind die beiden Schenkel sehr gleichförmig gestaltet, nur bei *Lutra lutra* kann man beim Crus anterius stapedis eine konkave Wölbung feststellen (Abb. 35.1.f).

Bei ventraler und dorsaler Ansicht auf das Crus posterius stapedis bzw. Crus anterius stapedis zeigt *Lutra lutra* eine eher o-förmige Rundung (Abb. 35.1.g), bei den anderen drei Taxa liegt eine u-förmige Rundung vor (Abb.35.2-4.g).

Das Foramen intercrurale ist bei *Lutra lutra* oval (Abb. 35.1.h), bei *Martes martes*, *Meles meles* und *Mustela nivalis* rund (Abb.35.2.-4.h).

Bei *Martes martes* (Abb. 35.2.i) und *Mustela nivalis* (Abb. 35.4.i) ist das Foramen intercrurale von rostraler Ansicht verschlossen. Um diese Ausbildung dieses Merkmals zu verifizieren wurde zusätzlich der Stapes im linken Mittelohr rekonstruiert. Auch der linke Stapes zeigte das verschlossene Foramen intercrurale.

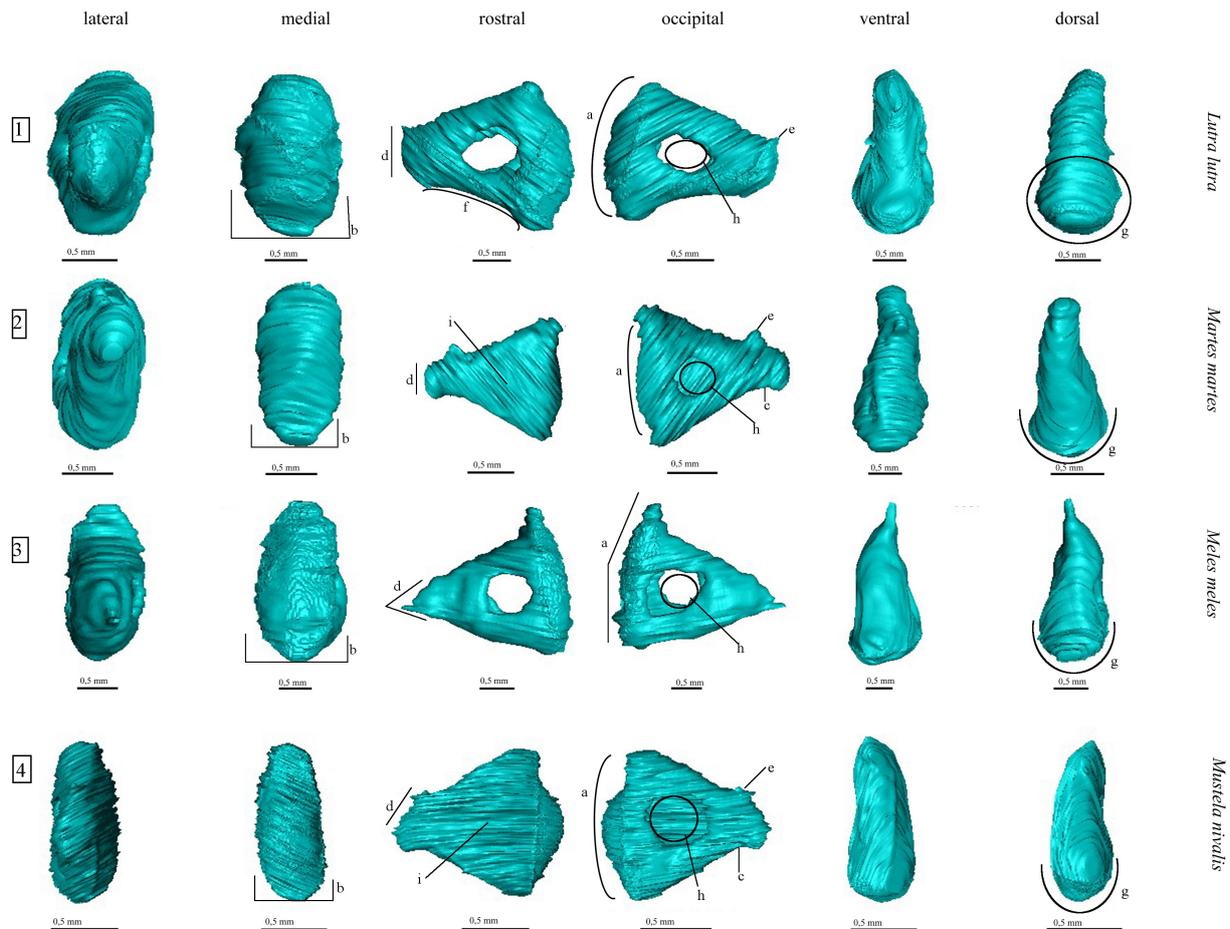


Abb. 35: 3D-Rekonstruktion des rechten Stapes aller vier Taxa im Vergleich.

1: a: konvex gewölbte Basis stapedis. b: breite und dicke Form der Basis stapedis. d: gerade Fläche des Capitulum stapedis. e: Processus muscularis stapedis. f: konkave Wölbung des Crus anterior stapedis. g: o-förmige Rundung des Crus posterior stapedis bzw. Crus anterior stapedis. h: ovales Foramen intercrurale.

2: a: leicht konvex gewölbte Basis stapedis. b: lange und dünne Form der Basis stapedis. c: Übergang zwischen Capitulum stapedis und Crus anterior stapedis und Crus posterior stapedis. d: gerade Fläche des Capitulum stapedis. e: Processus muscularis stapedis. g: u-förmige Rundung des Crus posterior stapedis bzw. Crus anterior stapedis. h: rundes Foramen intercrurale. i: Foramen intercrurale rostral verschlossen.

3: 2: a: Basis stapedis im dorsalen Bereich nach lateral gebogen. b: breite und dicke Form der Basis stapedis. d: spitzes Capitulum stapedis. g: u-förmige Rundung des Crus posterior stapedis bzw. Crus anterior stapedis. h: rundes Foramen intercrurale.

4: 2: a: konvex gewölbte Basis stapedis. b: lange und dünne Form der Basis stapedis. c: Übergang zwischen Capitulum stapedis und Crus anterior stapedis und Crus posterior stapedis. d: schräge Fläche des Capitulum stapedis. e: Processus muscularis stapedis. g: u-

förmige Rundung des Crus posterius stapedis bzw. Crus anterius stapedis. h: rundes Foramen intercrurale. i: Foramen intercrurale rostral verschlossen.

#### 6.4. Auris interna

Drei Bestandteile der Auris interna sind die Bogengänge. Der Canalis semicircularis anterior (=anteriöser Bogengang), der Canalis semicircularis posterior (=posteriöser Bogengang) und der Canalis semicircularis lateralis (=lateraler bzw. horizontaler Bogengang).

Desweiteren beginnt jeder Bogengang mit einer Ampulle – benannt nach dem jeweiligen Bogengang: Ampulla ossea anterior (=Ampulle des anterioren Bogenganges), Ampulla ossea posterior (=Ampulle des posterioren Bogenganges) und Ampulla ossea lateralis (=Ampulle des lateralen bzw. horizontalen Bogenganges).

Die Stelle, an der sich der anteriore und posteriore Bogengang treffen nennt man Crus commune. Zwischen der Ampulle des posterioren und lateralen Bogenganges kann sich das Crus commune secundarium befinden (SCHWARZ 2012). Dieses weisen jedoch nur drei der vier untersuchten Taxa auf: *Lutra lutra*, *Meles meles* und *Mustela nivalis*. *Martes martes* zeigt kein Crus commune secundarium.

Von medial kann der Recessus ellipticus des Utriculus und den Recessus sphaericus des Sacculus mehr oder weniger deutlich erkannt werden.

Die beiden länglichen Fortsätze werden Aquaeductus vestibuli und Canaliculus cochleae genannt. Der Aquaeductus vestibuli tritt bei den untersuchten Taxa dieser Studie auf der Höhe des Crus commune aus und ist trichterförmig ausgeprägt. Der Canaliculus cochleae ist dicker und kompakter im Durchmesser und weitet sich in seiner Gestalt nicht so stark trichterförmig aus.

Bei der 3D-Rekonstruktion ebenfalls zu erkennen ist die Artikulation des Stapes (Fenestra ovalis), die Fenestra rotunda, die Cochlea und eine auf der Cochlea befindliche Lamina spiralis ossea secundaria nach FLEISCHER (1970).

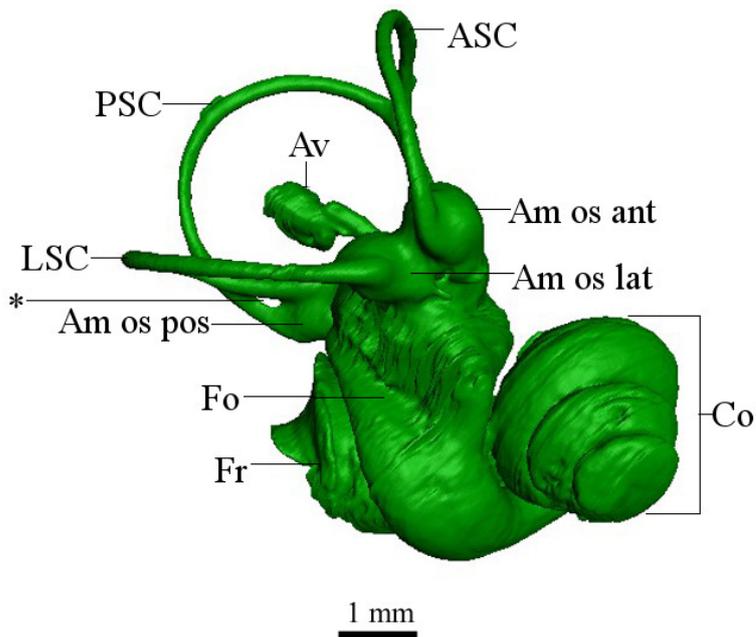


Abb. 36: 3D-Darstellung der rechten Auris interna von *Martes martes* (PIUW 1678) (Ansicht: rostral) ergänzt nach SCHWARZ (2012). \* Hier würde sich das Crus commune secundarium befinden; *Martes martes* weist jedoch kein solches auf. Abkürzungsverzeichnis befindet sich im Anhang.

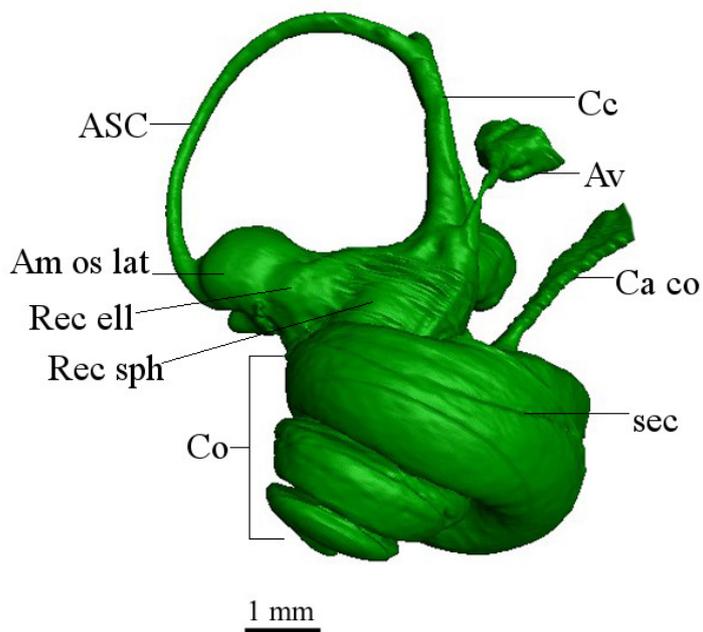


Abb. 37: 3D-Darstellung der Auris interna von *Martes martes* (PIUW 1678) (Ansicht: medial) ergänzt nach SCHWARZ (2012) und FLEISCHER (1970). Abkürzungsverzeichnis befindet sich im Anhang.

Beschreibung der untersuchten Cochlea:

Die Anzahl der Cochleawindungen ist bei *Lutra lutra*, *Martes martes* und *Meles meles* zwei (Abb. 38.1.-4.a), bei *Mustela nivalis* sind es drei Drehungen (Abb. 38.4.a).

Die Abstände zwischen diesen Windungen unterscheidet sich zwischen den vier Taxa: Bei *Mustela nivalis* sind eindeutige Zwischenräume zwischen allen Windungen erkennbar (Abb. 38.4.b), bei *Martes martes* (Abb. 38.2.b) und *Lutra lutra* (Abb.38.1.b) ist bei der ersten Windung ein größerer Abstand, bei den anschließenden nur noch ein geringer Zwischenraum festzustellen. Bei *Meles meles* ist ausschließlich bei der ersten Drehung ein Freiraum zwischen den Cochleawindungen zu sehen (Abb. 38.3.b).

Auch die Form der Cochlea ist sehr verschieden. Bei *Meles meles* ist sie sehr flach (Abb. 38.3.c), bei *Martes martes* (Abb. 38.2.c) und *Lutra lutra* (Abb. 38.1.c) etwas spitzer und bei *Mustela nivalis* türmt sie sich aufgrund der wenig verjüngenden Größenunterschiede auf (Abb. 38.4.c).

Bogengänge:

Der anteriore Bogengang hat bei *Meles meles* eine runde Form (Abb. 38.3.d), bei *Martes martes* erfolgt eine leichte Stauchung in ventro-medialer Richtung (Abb. 38.2.d); diese Stauchung ist bei *Lutra lutra* (Abb. 38.1.d) und *Mustela nivalis* (38.4.d) noch ausgeprägter.

Außerdem kann man erkennen, dass der anteriore Bogengang bei *Lutra lutra* deutlich höher ist (Abb. 38.1.e), als bei den anderen drei Taxa (Abb. 38.2.-4.e), bei denen – vor allem bei lateraler Ansicht gut erkennbar – der anteriore und posteriore Bogengang auf gleicher Höhe abschließen.

In dorsaler Ansicht ist der Canalis semicircularis anterior von *Martes martes* nach lateral geneigt (Abb. 38.2.f), bei den anderen Taxa verläuft er geradlinig (Abb. 38.1,3.,4.f).

Der posteriore Bogengang weist bei allen vier Taxa eine runde Form auf (Abb. 38.1.-4.g).

In dorsaler Ansicht sieht man, dass dieser Bogengang bei *Lutra lutra*, *Meles meles* und *Mustela nivalis* geradlinig verläuft (Abb. 38.1.,3.,4.h), bei *Martes martes* jedoch gebogen ist (Abb. 38.2.h).

Der laterale Bogengang ist in lateraler Ansicht bei *Lutra lutra* (Abb. 38.1.i) und *Mustela nivalis* (Abb. 38.4.i) leicht nach dorsal gebogen, bei *Martes martes* verläuft er schräg nach ventral (Abb. 38.2.i) und bei *Meles meles* geradlinig (Abb. 38.3.i). Auch bei dorsaler Ansicht

lassen sich Unterschiede zwischen den Taxa erkennen: Bei *Meles meles* ist der laterale Bogengang oval (Abb. 38.3.j), bei *Martes martes*, *Mustela nivalis* und *Lutra lutra* zeigt er eine ovale Krümmungslinie, die im spitzen Winkel aus der lateralen Ampulle hervorkommt (Abb. 38.1.,2.,4.j).

Die Bogengängen sind bei *Martes martes* am dünnsten, etwas dicker im Durchmesser bei *Meles meles* und *Lutra lutra*, und am dicksten bei *Mustela nivalis*.

Der Aquaeductus vestibuli kreuzt bei occipitaler Ansicht bei den drei Taxa *Lutra lutra*, *Martes martes* und *Mustela nivalis* das Crus commune in der unteren Hälfte (Abb. 38.1.,2.,4.k), bei *Meles meles* in der Mitte (Abb. 38.3.k).

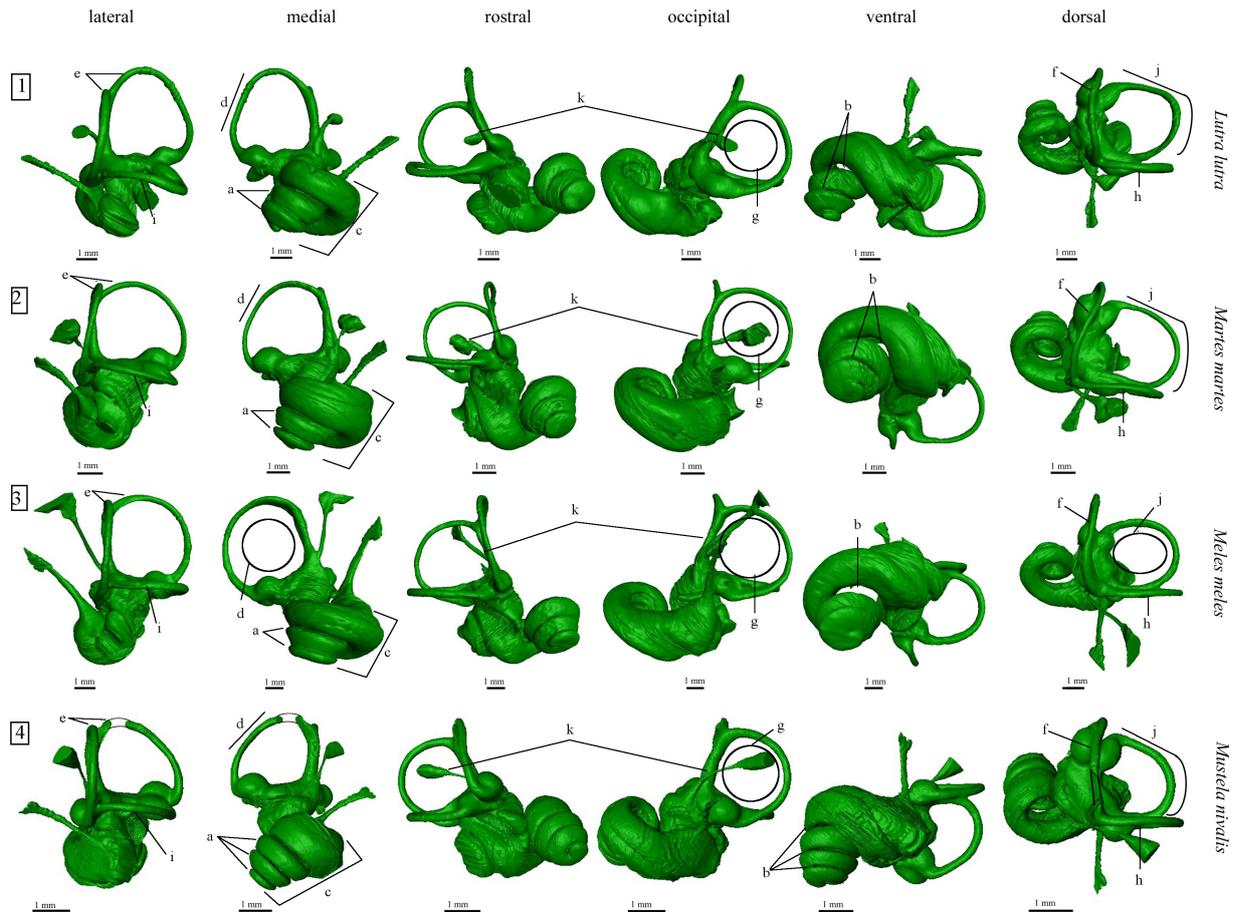


Abb 38: 1: a: zwei Windungen der Cochlea. b: bei erster Windung großer Abstand, bei zweiter Windung geringer Abstand. c: spitze Form der Cochlea. d: Stauchung des anterioren Bogenganges in ventro-medialer Richtung. e: anteriore Bogengang höher als posteriorer Bogengang. f: anteriorer Bogengang verläuft geradlinig. g: runde Form des posterioren Bogengangs. h: posteriorer Bogengang geradlinig. i: lateraler Bogengang nach dorsal gebogen. j: ovale Krümmungslinie des lateralen Bogenganges, die im spitzen Winkel aus der lateralen Ampulle hervorkommt. k: Aquaeductus vestibuli kreuzt Crus commune in der unteren Hälfte.

2: a: zwei Windungen der Cochlea. b: bei erster Windung großer Abstand, bei zweiter Windung geringer Abstand. c: spitze Form der Cochlea. d: Stauchung des anterioren Bogenganges in ventro-medialer Richtung. e: anteriorer und posteriorer Bogengang auf selber Höhe. f: anteriorer Bogengang nach lateral geneigt. g: runde Form des posterioren Bogengangs. h: posteriorer Bogengang gebogen. i: lateraler Bogengang schräg nach ventral verlaufend. j: ovale Krümmungslinie des lateralen Bogenganges, die im spitzen Winkel aus der lateralen Ampulle hervorkommt. k: Aquaeductus vestibuli kreuzt Crus commune in der unteren Hälfte.

3: a: zwei Windungen der Cochlea. b: Abstand bei erster Windung. c: flache Form der Cochlea. d: runde Form des anterioren Bogenganges. e: anteriorer und posteriorer Bogengang auf selber Höhe. f: anteriorer Bogengang verläuft geradlinig. g: runde Form des posterioren Bogengangs. h: posteriorer Bogengang geradlinig. i: lateraler Bogengang geradlinig. j: ovale Form des lateralen Bogengangs. k: Aquaeductus vestibuli kreuzt Crus commune in der Mitte.

4: a: drei Windungen der Cochlea. b: Abstände zwischen allen drei Windungen. c: aufgetürmte Cochlea durch wenig kleiner werdende Windungen. d: Stauchung des anterioren Bogenganges in ventro-medialer Richtung. e: anteriorer und posteriorer Bogengang auf selber Höhe. f: anteriorer Bogengang verläuft geradlinig. g: runde Form des posterioren Bogengangs. h: posteriorer Bogengang geradlinig. i: lateraler Bogengang nach dorsal gebogen. j: ovale Krümmungslinie des lateralen Bogenganges, die im spitzen Winkel aus der lateralen Ampulle hervorkommt. k: Aquaeductus vestibuli kreuzt Crus commune in der unteren Hälfte.

## 7. Diskussion der morphologischen Untersuchung

In diesem Teil sollen einerseits nochmals die morphologischen Übereinstimmungen der Auris media und Auris interna der vier Taxa hervorgegeben werden und andererseits eine Gegenüberstellung mit den früheren Resultaten von HYRTL (1845), DORAN (1879) und FLEISCHER (1970) erfolgen.

### 7.1. Malleus

Bezüglich der Morphologie des Caput mallei stimmen alle vier Taxa überein. Ebenso ist es bei der Facies articularis mit ihren zwei Gelenkfacetten, was bereits von DORAN (1879) beschrieben wurde.

Beim Processus cephalicus und Processus gracilis liegt eine Merkmalsübereinstimmung bei *Lutra lutra* und *Martes martes* vor, da er bei diesen nur schwach ausgeprägt ist. Auch die knöcherne Lamina bildet bei *Lutra lutra* und *Martes martes* ein spitzes Dreieck.

Der Processus lateralis ist bei *Martes martes* und *Meles meles* noch vorhanden, bei *Lutra lutra* ist dieser nicht mehr erkennbar, was somit nicht ganz der Aussage von DORAN (1879) entspricht: „There is always a rudimentary processus brevis“. Der Processus brevis entspricht in dieser Studie dem Processus lateralis.

Der Processus muscularis kann anhand der dreidimensionalen Rekonstruktion als stämmig und lang beschrieben werden, wie ihn auch bereits DORAN (1879) darstellte. Die Beugung des Processus muscularis bei *Martes martes* weist nach jetziger Studie einen rostro-dorsalen Verlauf auf, im Gegensatz dazu beschrieb FLEISCHER (1970) eine rostro-ventrale Beugung. Die Beugung der anderen drei Taxa *Lutra lutra*, *Meles meles* und *Mustela nivalis* stimmt durch einen rostro-ventralen Verlauf überein.

Der Winkel zwischen dem Processus cephalicus und Caput mallei ist bei allen vier Taxa stumpf.

Der Winkel zwischen dem Processus gracilis und dem Manubrium ist bei allen Taxa ausgenommen *Mustela nivalis* spitz. Diese Feststellung stimmt jedoch nicht mit der von DORAN (1879) überein: „the very acute angle formed between the neck and the somewhat stout processus gracilis.“

Das Manubrium mallei weicht nur bei *Lutra lutra* mit seiner konvexen Form von der üblichen konkaven Form der drei anderen Taxa ab.

Die Spatula ist bei *Mustela nivalis* und *Lutra lutra* breit, wie bereits FLEISCHER (1970) feststellte; bei *Martes martes* und *Meles meles* ist sie etwas schmaler.

Durch das bei *Mustela nivalis* dorsal des Processus muscularis befindliche Foramen verläuft die Chorda tympani (Paukensaite).

Der Verlauf der Chorda tympani ist außerdem ein weiteres Beweisstück der Reichert-Gauppsche Theorie, da bei den Reptilien die Chorda tympani hinter dem Articulare vorbeizieht, bei den Säugetieren diese den Hammer kreuzt, der dem Articulare homolog ist (PFLUMM 1996).

Abschließend muss an dieser Stelle jedoch erwähnt werden, dass sich der Vergleich der Morphologie des Malleus' zwischen allen vier Taxa in dieser Studie als schwierig erweist, da dieser bei *Mustela nivalis* nicht vollständig erhalten ist.

### 7.2. Incus

Der Corpus Incudis stimmt bei *Lutra lutra* und *Meles meles* überein, ebenso wie bei *Martes martes* und *Mustela nivalis*.

Dass das Crus breve incudis bei *Lutra lutra* und *Mustela nivalis* etwas kürzer ist, als bei den anderen beiden Taxa wurde bereits von HYRTL (1845) und DORAN (1879) beschrieben.

Morphologische Gemeinsamkeiten zwischen *Meles meles* und *Mustela nivalis* gibt es bei der Drehung des Crus breve nach medial und dem Winkel zwischen dem Crus breve incudis und Crus longum incudis, parallel dazu erfolgt eine Übereinstimmung zwischen *Lutra lutra* und *Martes martes*.

Das Ende des Crus breve incudis hingegen entspricht bei *Lutra lutra* und *Meles meles* der gleichen Gestalt, sowie bei *Martes martes* und *Mustela nivalis*.

Die Morphologie des Crus longum incudis deckt sich bei *Lutra lutra*, *Martes martes* und *Mustela nivalis*. Weiters ist diese bei *Lutra lutra* und *Mustela nivalis* gekrümmt und rinnenförmig eingebuchtet, was HYRTL (1845) mit seiner Aussage „sehr stark gekrümmt, an seiner vorderen Seite rinnenförmig gehöhlt“ ebenfalls – jedoch nur für das Taxon *Lutra lutra* – beschrieb.

Eine s-förmige Verknöcherung liegt bei *Lutra lutra*, *Martes martes* und *Mustela nivalis* vor.

### 7.3. Stapes

Die Basis stapedis ist bei *Lutra lutra* und *Mustela nivalis* konvex, bei *Martes martes* etwas weniger bauchig und bei *Meles meles* weder nach außen, noch nach innen gebogen. Vergleicht man diese Resultate mit früheren Ergebnissen stimmen diese nicht mit FLEISCHER (1970) überein, der die Basis stapedis bei *Martes martes* als konkav beschrieb, und auch das Ergebnis von HYRTL (1845), der die Gattung *Meles* zu jenen zählt, die eine sehr blasenförmige Basis vorweist, kann anhand der Rekonstruktion des Stapes bei *Meles meles* nicht bestätigt werden.

Gemeinsamkeiten bei der Breite der Basis stapedis sind bei *Lutra lutra* und *Meles meles*, ebenso wie bei *Martes martes* und *Mustela nivalis* erkennbar.

Das Capitulum stapedis ist bei *Martes martes* und *Mustela nivalis* von den beiden Schenkeln Crus anterius stapedis und Crus posterius stapedis abgegrenzt. Im Gegensatz dazu beschrieb FLEISCHER (1970) nur bei *Martes martes* einen deutlichen Übergang.

Die Fläche des Stapes, die an den Incus ansetzt, ist bei *Lutra lutra* und *Martes martes* identisch.

Der Processus muscularis ist bei *Martes martes*, *Mustela nivalis* und *Lutra lutra* vorhanden.

Die beiden Schenkeln sind bei allen drei Taxa ziemlich gleichgestaltig, ausgenommen *Lutra lutra*.

Auch beim Foramen intercrurale weicht *Lutra lutra* mit einer ovalen Form von den anderen Taxa ab.

Information zum von rostraler Ansicht verschlossene Foramen intercrurale bei *Martes martes* und *Mustela nivalis* liefert u.a. FLEISCHER (1970), der es bei *Mustela* als „verengt“ beschrieb, und auch HYRTL (1845) liefert zahlreiche Beispiele von Anomalien des Stapes und betont, dass vor allem bei diesem Gehörknöchelchen sehr häufig Missbildungszustände auftreten.

### 7.4. Auris interna

Die Anzahl der Cochleawindungen ist bei *Lutra lutra*, *Martes martes* und *Meles meles* identisch, bei den Abständen zwischen den Windungen und der Form der Cochlea stimmen *Martes martes* und *Lutra lutra* überein. Das Auftürmen der Cochlea bei *Mustela nivalis* aufgrund der wenig verjüngenden Größenunterschiede hat HYRTL (1845) ebenfalls bereits beschrieben: „Je mehr die Windungen der Schnecke sich an Grösse gleich bleiben, desto mehr

müssen sie sich über einander thürmen, je kleiner sie werden, desto mehr können sie sich in einander schieben.“

Die Form der Bogengänge ist sehr vielgestaltig, wobei sich die meisten Übereinstimmungen zwischen den Taxa *Lutra lutra* und *Mustela nivalis* ergeben.

Der Aquaeductus vestibuli kreuzt bei den drei Taxa *Lutra lutra*, *Martes martes* und *Mustela nivalis* das Crus commune auf gleicher Höhe.

## 7.5. Morphologische Merkmale in Abhängigkeit von Lokomotion

Das Innenohr, als Gleichgewichtsorgan, liefert Informationen über den Lokomotionsmodus. Dabei ist der Durchmesser der Bogengangkanäle bei fossorialen Arten deutlich größer als bei arborealen Arten (SCHWARZ 2012).

Im Vergleich mit dieser Studie ergibt sich nach dreidimensionaler Rekonstruktion der Bogengänge der untersuchten Taxa folgendes: Der Durchmesser der Bogengänge bei *Martes martes*, welcher nach ökologischen Studien (STUBBE 1993) eine semiarboreale Lebensweise aufweist, ist im Gegensatz zu den anderen drei Taxa am geringsten.

Ebenfalls eindeutige Ergebnisse liefern die Bogengänge mit großem Durchmesser von *Mustela nivalis* mit einer fossorialen Lebensweise.

Weniger konkrete Aussagen können zu *Meles meles* und *Lutra lutra* gemacht werden, von denen der zuerst Genannte ebenfalls eine fossoriale Lebensweise, letzterer eine amphibische Lebensweise aufweist. Diese besitzen in etwa gleich große Durchmesser der Bogengänge und liegen somit zwischen dem sehr geringen Durchmesser von *Martes martes* und den etwas dicker und kompakteren Bogengängen von *Mustela nivalis*.

Insgesamt deckt sich das Ergebnis bei *Martes martes* und *Mustela nivalis* dieser Studie eindeutig mit jenen von SCHWARZ (2012).

## 7.6. Morphologische Merkmale in Abhängigkeit von Phylogenie

Um die Daten der übereinstimmenden Merkmale von Auris media und Auris interna zwischen den vier Taxa vergleichen zu können, wurden sie tabellarisch (Tab. 2-5) und anschließend mittels Diagramm graphisch (Abb. 39-42) ausgewertet; zuerst in Bezug auf jedes einzelne Gehörknöchelchen und das Innenohr, danach eine Gesamtübersicht aller Merkmale sowohl bei Auris media, als auch bei Auris interna.

Die Bezeichnungen a, b, c... der Merkmale in der Tabelle decken sich mit der Beschriftung der jeweiligen Merkmale der Bildtafeln mit den 3D-Rekonstruktionen.

Beim Malleus wurden aufgrund der Unvollständigkeit bei *Mustela nivalis*, nur jene Merkmale verglichen, die bei allen vier Taxa vorhanden sind.

Tab. 2: Merkmalsübereinstimmungen des Malleus aller Taxa im Vergleich

MALLEUS	<i>Lutra lutra</i>	<i>Martes martes</i>	<i>Meles meles</i>	<i>Mustela nivalis</i>
a Cap mal nach medial	✓	✓	✓	✓
b Fac art aus zwei Gelenkfacetten	✓	✓	✓	✓
c Proc ceph schwach ausgeprägt	✓	✓		✓
Proc ceph deutlich ausgeprägt			✓	
h Proc musc kurz+ventral geneigt	✓			
Proc musc spitzzulaufend nach dorsal zeigend		✓		
Proc musc groß+ventral			✓	
Proc musc kurz+entspringt weit ventral				✓
j Winkel zwischen Proc grac+Man mall weniger als 90°	✓	✓	✓	
Winkel zwischen Proc grac+Man mall mehr als 90°				✓
k konvexe Biegung des Man mall	✓			
konkave Biegung de Man mall		✓	✓	✓
l röhrenförmiger Kanal	✓	✓	✓	✓
n breite Form der spa	✓			✓
schmale Form der Spa		✓	✓	

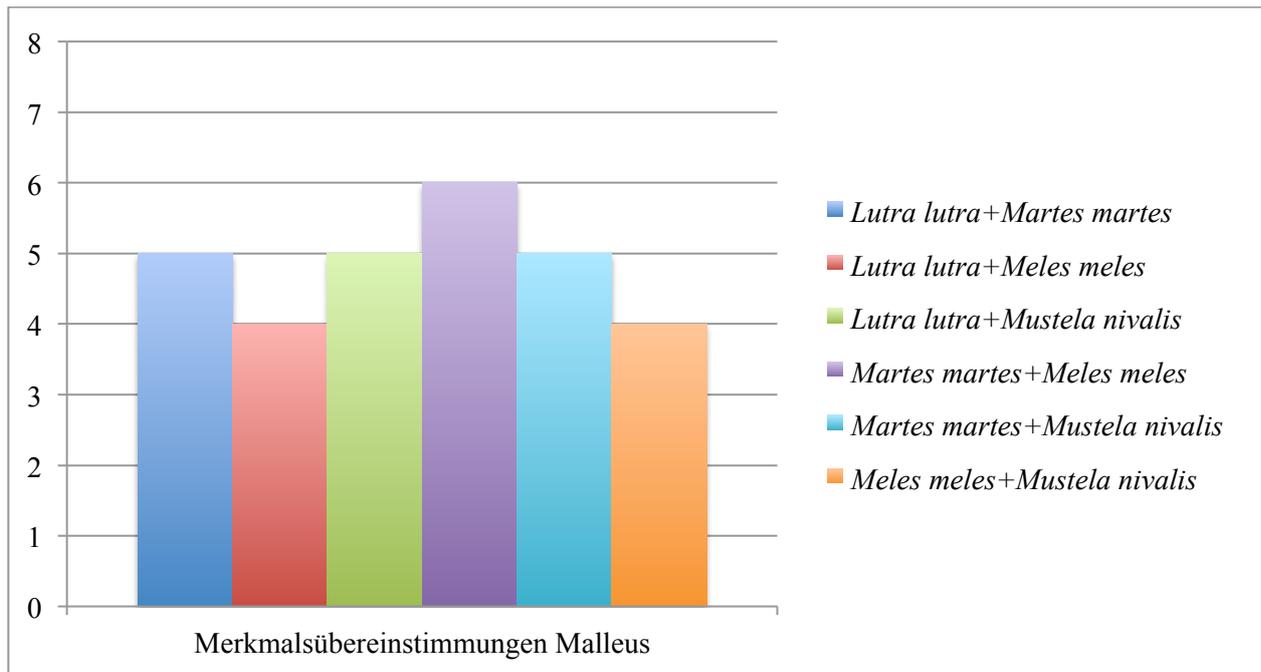


Abb. 38: Merkmalsübereinstimmungen des Malleus aller Taxa im Vergleich

Anhand der Abb. 39 kann man erkennen, dass *Lutra lutra* die meisten Übereinstimmungen mit *Martes martes* und *Mustela nivalis* aufweist, *Martes martes* die meisten mit *Meles Meles*. Die wenigsten Gemeinsamkeiten finden sich zwischen *Lutra lutra* und *Meles meles*, ebenso wie zwischen *Mustela nivalis* und *Meles meles*.

Tab. 3: Merkmalsübereinstimmungen des Incus aller Taxa im Vergleich

	INCUS	<i>Lutra lutra</i>	<i>Martes martes</i>	<i>Meles meles</i>	<i>Mustela nivalis</i>
a	tiefe Einbuchtung	✓	✓	✓	
	geringe Einbuchtung				✓
b	kurzes Cr br inc	✓			✓
	langes Cr br inc		✓	✓	
c	Cr br inc ohne Beugung	✓	✓		
	Cr br inc nach medial			✓	✓
d	gerade Linie: Cor inc-Cr br inc+spitzes Ende d. Cr br inc	✓		✓	
	gebogene Linie: Cor inc-Cr br inc+kompaktes Ende d. Cr br inc		✓		✓
e	Winkel Cr br inc+Cr lo inc größer 90°	✓	✓		
	Winkel Cr br inc+Cr lo inc 90°			✓	✓
f	Cr lo inc dick	✓			✓
	Cr lo inc schmal		✓	✓	
g	Cr lo inc rinnenförmig gehöhlt	✓			✓
	Cr lo inc nicht rinnenförmig gehöhlt		✓	✓	
h	s-förmige Verknöcherung	✓	✓		✓
	keine s-förmige Verknöcherung			✓	

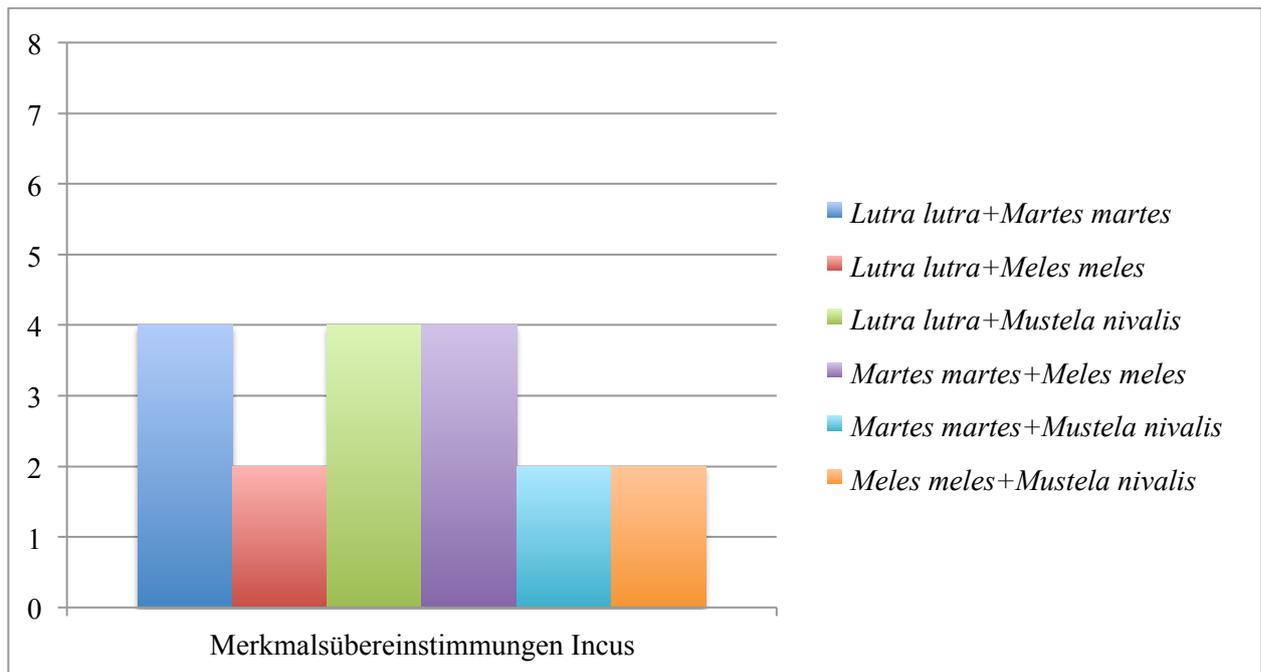


Abb. 39: Merkmalsübereinstimmungen des Incus aller Taxa im Vergleich

Anhand der Abb. 40 lässt sich feststellen, dass *Lutra lutra* die meisten Übereinstimmungen mit *Martes martes* und *Mustela nivalis* aufweist, *Martes martes* die meisten mit *Meles Meles* und *Lutra lutra*. Die wenigsten Gemeinsamkeiten finden sich zwischen *Lutra lutra* und *Meles meles* ebenso wie zwischen *Mustela nivalis* und *Meles meles*.

Tab. 4: Merkmalsübereinstimmungen des Stapes aller Taxa im Vergleich

	STAPES	<i>Lutra lutra</i>	<i>Martes martes</i>	<i>Meles meles</i>	<i>Mustela nivalis</i>
a	konvex gewölbte Bas stap	✓			✓
	leicht konvex gewölbt Bas stap		✓		
	Bas stap nach lateral gebogen			✓	
b	Bas stap breit und dick	✓		✓	
	Bas stap lang und dünn		✓		✓
c	Übergang zwischen Cap stap+Cr ant stap		✓		✓
	kein Übergang zwischen Cap stap+Cr ant stap	✓		✓	
d	gerade Fläche des Cap stap	✓	✓		
	spitze Fläche des Cap stap			✓	
	schräge Fläche des Cap stap				✓
f	konkave Wölbung des Cr ant stap	✓			
	geradliniges Cr ant stap		✓	✓	✓
g	o-förmige Rundung des Cr pos stap	✓			
	u-förmige Rundung des Cr pos stap		✓	✓	✓
h	ovales For in cr	✓			
	rundes For in cr		✓	✓	✓
i	For in cr rostral verschlossen		✓		✓
	For in cr nicht rostral verschlossen	✓		✓	

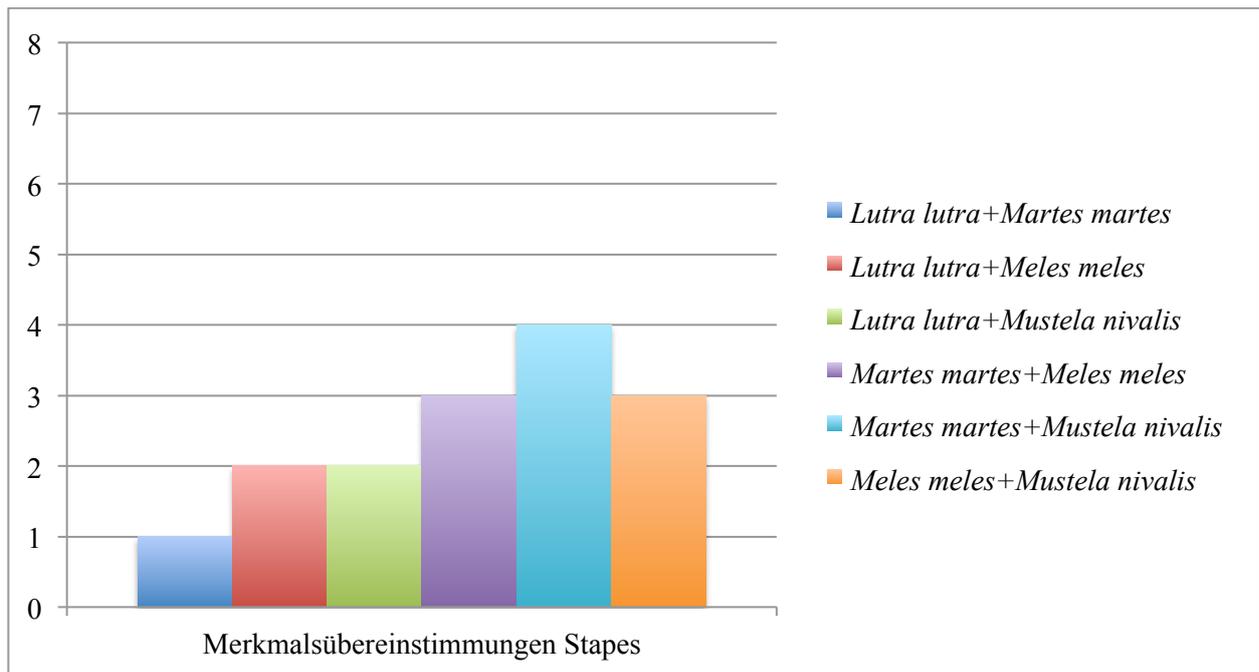


Abb. 40: Merkmalsübereinstimmungen des Stapes aller Taxa im Vergleich

Abb. 41 zeigt, dass *Lutra lutra* die meisten Übereinstimmungen mit *Meles meles* und *Mustela nivalis* aufweist, *Martes martes* die meisten mit *Mustela nivalis*. Die wenigsten Gemeinsamkeiten finden sich zwischen *Lutra lutra* und *Martes martes*.

Tab. 5: Merkmalsübereinstimmungen der Auris interna aller Taxa im Vergleich

	AURIS INTERNA	<i>Lutra lutra</i>	<i>Martes martes</i>	<i>Meles meles</i>	<i>Mustela nivalis</i>
a	zwei Windungen der Co	✓	✓	✓	
	drei Windungen der Co				✓
b	Abstand: bei erster Windung groß, bei zweiter gering	✓	✓		
	Abstand: nur bei erster Windung			✓	
	Abstand: zwischen allen Windungen				✓
c	spitze Form d. Co	✓	✓		
	flache Form d. Co			✓	
	aufgetürmte Co				✓
d	Stauchung des ASC in ventro-medialer Richtung	✓	✓		✓
	runde Form des ASC			✓	
e	ASC höher als PSC	✓			
	ASC auf selber Höhe mit PSC		✓	✓	✓
f	ASC verläuft geradlinig	✓		✓	✓
	ASC nach lateral geneigt		✓		
g	PSC mit runder Form	✓	✓	✓	✓
h	PSC geradlinig	✓		✓	✓
	PSC gebogen		✓		
i	LSC nach dorsal gebogen	✓			✓
	LSC schräg nach ventral verlaufend		✓		
	LSC geradlinig			✓	
j	LSC mit ovaler Krümmungslinie+spitzer Winkel	✓	✓		✓
	LSC mit ovaler Form			✓	
k	Av kreuzt Cc in unterer Hälfte	✓	✓		✓
	Av kreuzt Cc in der Mitte			✓	

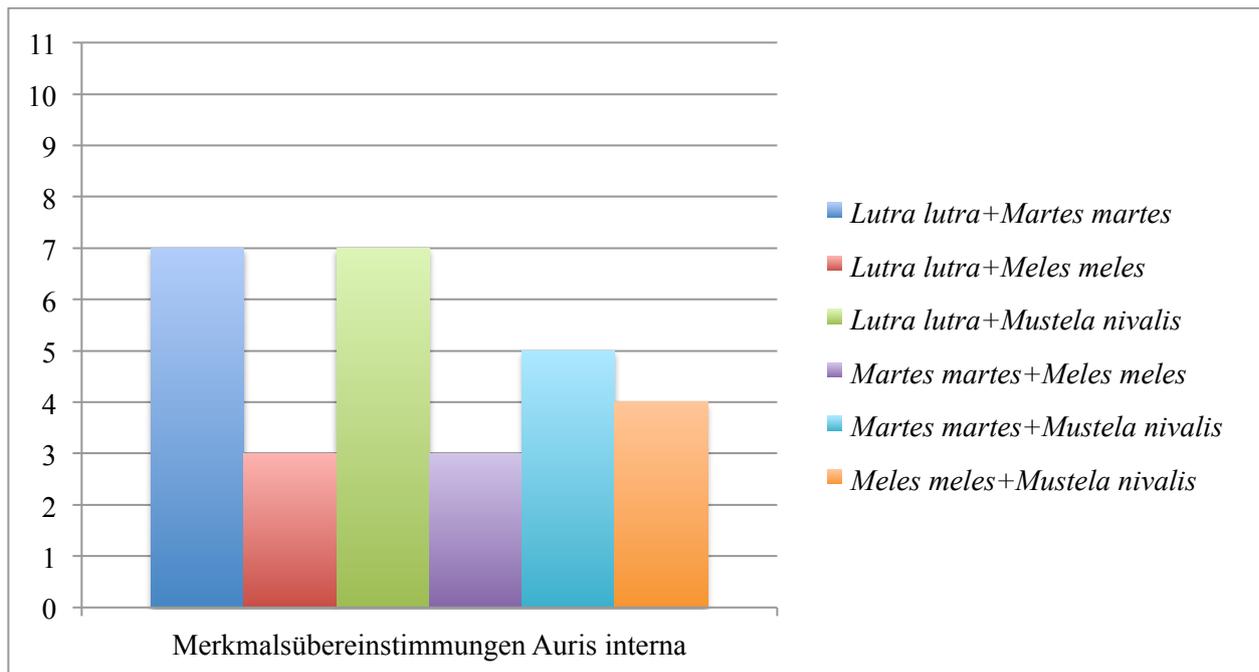


Abb. 41: Merkmalsübereinstimmungen der Auris interna aller Taxa im Vergleich

Anhand der Abb. 42 kann man erkennen, dass *Lutra lutra* die meisten Übereinstimmungen mit *Martes martes* und *Mustela nivalis* aufweist, *Meles meles* die meisten mit *Mustela nivalis*. Die wenigsten Gemeinsamkeiten finden sich zwischen *Lutra lutra* und *Meles meles* ebenso wie zwischen *Martes martes* und *Meles meles*.

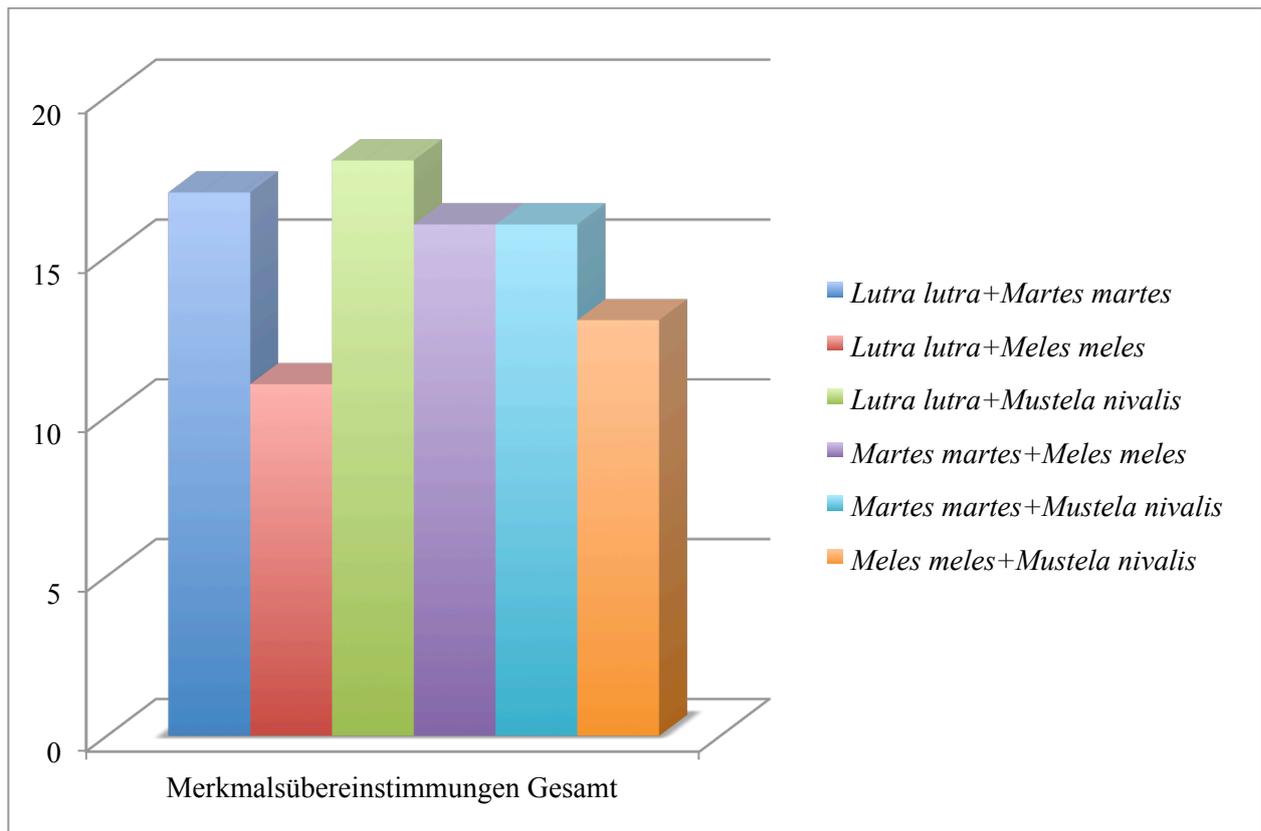


Abb. 42: alle Merkmalsübereinstimmungen aller Taxa

Anhand dieser Abbildung der Merkmalsübereinstimmungen bezüglich der Phylogenie der vier Taxa lässt sich sagen, dass die meisten morphologischen Gemeinsamkeiten zwischen *Lutra lutra* und *Mustela nivalis* auftreten. Weniger konkret sind die Ergebnisse bezüglich der meisten Merkmalsübereinstimmungen mit *Martes martes*, da hier sowohl *Lutra lutra*, *Mustela nivalis*, als auch *Meles meles* in Frage kommen würden. Eindeutiger sind dagegen wieder die Ergebnisse zwischen *Lutra lutra* und *Meles meles*, und *Mustela nivalis* und *Meles meles*, die am wenigsten Gemeinsamkeiten aufweisen. Das daraus resultierende Verwandtschaftsverhältnis verdeutlicht folgendes Kladogramm:

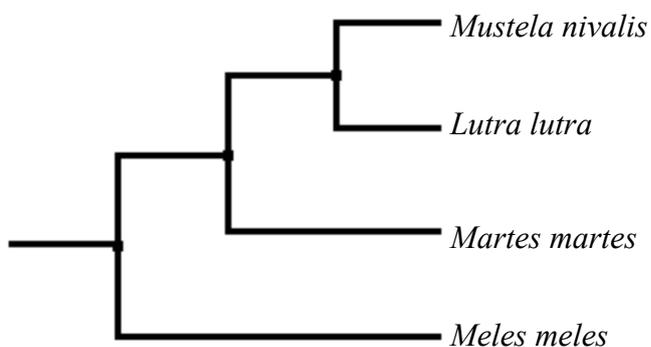


Abb. 43: Kladogramm der Taxa *Mustela nivalis*, *Lutra lutra*, *Martes martes* und *Meles meles*.

Im Großen und Ganzen decken sich diese Aussagen mit dem Kladogramm nach KOEPFLI et al. (2008), wo ebenfalls ein näheres Verwandtschaftsverhältnis zwischen *Lutra lutra* und *Mustela nivalis*, sowie zwischen *Martes martes* und *Meles meles* zu sehen ist.

Letztlich muss aber erwähnt werden, dass es sich hierbei um Tendenzen handelt und um wirklich eindeutige Aussagen machen zu können, müsste man noch weiteres Material untersuchen.

## Zusammenfassung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Anatomie des Mittel- und Innenohres bei *Lutra lutra*, *Martes martes*, *Meles meles* und *Mustela nivalis*.

Nach dreidimensionaler Rekonstruktion der Gehörknöchelchen und des knöchernen Labyrinths mittels dem Programm Amira 5.4.1 konnten vergleichend-morphologische Untersuchungen zwischen den vier Taxa gemacht werden.

In der abschließenden Diskussion wurden nochmals die morphologischen Merkmalsübereinstimmungen zwischen den vier Taxa hervorgehoben, die Ergebnisse dieser Studie jenen von früheren Studien von HYRTL (1845), DORAN (1879) und FLEISCHER (1970) gegenübergestellt und die morphologischen Merkmale in Abhängigkeit von Lokomotionsmodus und Phylogenie betrachtet.

Dabei stellte sich heraus, dass verglichen mit früheren Resultaten vor allem beim Malleus und Stapes einige andere morphologischen Begebenheiten festgestellt wurden.

Desweiteren wurde bezüglich des Lokomotionsmodus in Abhängigkeit des Durchmessers der Bogengangkanäle bestätigt, dass *Martes martes* mit der semiarborealen Lebensweise dünnere Bogengangkanäle aufweist, als *Mustela nivalis* mit der fossorialen Lebensweise.

Bezüglich der Phylogenie der untersuchten Taxa ist es schwieriger ein Muster zwischen den morphologischen Merkmalen der rekonstruierten Auris media und Auris interna zu erkennen. Daher wurden die Daten tabellarisch und graphisch ausgewertet. Dabei ist eine Tendenz der Merkmalsübereinstimmung zwischen *Lutra lutra* und *Mustela nivalis* festzustellen. Weniger konkrete Aussagen konnten zur Phylogenie zwischen *Martes martes* und den anderen drei Taxa gemacht werden. Um letztendlich eindeutige Ergebnisse zu liefern müsste noch weiteres Material untersucht werden.

## Summary

This paper focused on the middle and inner ear anatomy of *Lutra lutra*, *Martes martes*, *Meles meles* and *Mustela nivalis*.

After the three-dimensional reconstruction of the auditory ossicles and the bony labyrinth with the Amira 5.4.1 program, it was possible to do comparative morphological studies between the four taxa.

In the final discussion the morphological feature matches between the four taxa were highlighted again and the results of this research were compared to those of previous studies of HYRTL (1845), DORAN (1879) and FLEISCHER (1970) as well as the morphological features in dependence of locomotion mode and phylogeny were looked at.

It turned out that compared to previous studies, especially malleus and stapes showed several different morphological characteristics.

Furthermore it was confirmed that concerning the mode of locomotion with respect to the diameter of the semicircular canal channels, *Martes martes* with the semiarborealen lifestyle has thinner semicircular canals than *Mustela nivalis* with the fossorialen lifestyle.

Concerning the phylogeny of the studied taxa it was difficult to recognize a “pattern” between the morphological features of the reconstructed Auris media and Auris interna. Thus, the data was listed in tabular form and graphically evaluated. A trend towards feature matching between *Lutra lutra* and *Mustela nivalis* was identifiable. Less specific statements could be made concerning the phylogeny of *Martes martes* and the other taxa. Ultimately, in order to deliver clear results more material would have to be examined.

**Abkürzungsverzeichnis**

Am os ant	Ampulla ossea anterior
Am os lat	Ampulla ossea lateralis
Am os ps	Ampulla ossea posterior
ASC	Canalis semicircularis anterior
Av	Aquaeductus vestibule
Bas stap	Basis stapedis
Ca co	Canaliculus cochleae
Cap mal	Caput mallei
Cap stap	Capitulum stapedis
Cc	Crus commune
Co	Cochlea
Coll mall	Collum mallei
Cor inc	Corpus incudis
Cr ant stap	Crus anterius stapedis
Cr br inc	Crus breve incudis
Cr lo inc	Crus longum incudis
Cr pos stap	Crus posterius stapedis
Fac art	Facies articularis
Fo	Fenestra ovalis
For in cr	Foramen intercrurale
Fr	Fenestra rotunda
Lam	knöchernen Lamina zwischen dem Processus cephalicus und Processus gracilis
LSC	Canalis semicircularis lateralis
Man mall	Manubrium mallei
Proc ceph	Processus cephalicus
Proc grac	Processus gracilis
Proc lat	Processus lateralis
Proc lent inc	Processus lenticularis incudis
Proc musc mall	Processus muscularis mallei
Proc musc stap	Processus muscularis stapedis

PSC	Canalis semicircularis posterior
Rec ell	Recessus ellipticus
Rec sph	Recessus sphaericus
sec	Lamina spiralis ossea secundaria
Spa	Spatula des Manubrium mallei

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Kladogramm der Mustelidae (nach KOEPFLI et al. 2008).....	6
Abb. 2: <i>Lutra lutra</i> ( <a href="http://en.wikipedia.org/wiki/File:Fischotter_Lutra_lutra1.jpg">http://en.wikipedia.org/wiki/File:Fischotter_Lutra_lutra1.jpg</a> , 10.5.2014). .....	7
Abb. 3: Verbreitungsgebiet von <i>Lutra lutra</i> ( <a href="http://commons.wikimedia.org/wiki/File:European_Otter_area.png">http://commons.wikimedia.org/wiki/File:European_Otter_area.png</a> , 10.5.2014). .....	8
Abb. 4: <i>Martes martes</i> ( <a href="http://i.telegraph.co.uk/multimedia/archive/01916/pine-marten_1916551i.jpg">http://i.telegraph.co.uk/multimedia/archive/01916/pine-marten_1916551i.jpg</a> , 10.5.2014). .....	9
Abb. 5: Verbreitungsgebiet von <i>Martes martes</i> ( <a href="http://commons.wikimedia.org/wiki/File:European_Pine_Marten_area.png">http://commons.wikimedia.org/wiki/File:European_Pine_Marten_area.png</a> , 10.5.2014). .....	9
Abb. 6: <i>Meles meles</i> ( <a href="http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/10/Badger-badger.jpg">http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/10/Badger-badger.jpg</a> , 10.5.2014). .....	10
Abb. 7: Verbreitungsgebiet von <i>Meles meles</i> ( <a href="http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/53/European_Badger_area.png">http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/53/European_Badger_area.png</a> , 10.5.2014). .....	11
Abb. 8: <i>Mustela nivalis</i> ( <a href="http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e3/Mustela_nivalis_-_British_Wildlife_Centre-4.jpg">http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e3/Mustela_nivalis_- British_Wildlife_Centre-4.jpg</a> , 13.5.2014). .....	12
Abb. 9: Verbreitungsgebiet von <i>Mustela nivalis</i> ( <a href="http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/85/Least_Weasel_area.png">http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/85/Least_Weasel_area.png</a> , 13.5.2014). .....	12
Abb. 10: Übersicht der drei Abschnitte des Ohres: äußeres Ohr, Mittelohr und Innenohr ( <a href="http://www.humamed.de/mobil_site/anatomie-bilder17.html">http://www.humamed.de/mobil_site/anatomie-bilder17.html</a> , 16.06.2014). .....	13

Abb. 11: Die drei Etagen der Paukenhöhle mit unterschiedlichen Farben unterlegt: Kuppelraum(Epitympanon) (blau), Hauptraum (Mesotympanon) (orange) und Paukenkeller (Hypotympanon) (grün) (AUMÜLLER et al. 2007).....	16
Abb. 12: Zwei Systeme der Impedanzanpassung (MÜLLER & FRINGS 2009).....	17
Abb. 13: Hammer entstanden als Verschmelzungsprodukt aus Articulare und Praearticulare (PFLUMM 1996 aus STARCK 1979). ....	18
Abb. 14: Schematische Darstellung der Umwandlung des primären Kiefergelenks der Fische (d) bis zu den Gehörknöchelchen der Säugetiere (a) (nach PFLUMM 1996 nach STARCK 1979 und HENKEL 1973).....	19
Abb. 15: Zwei funktionierende Kiefergelenke dargestellt anhand eines Beuteltierembryos (PFLUMM 1996 nach PORTMANN 1959 und STARCK 1979).....	20
Abb. 16: Darstellung eines Doppelgelenker (nach PFLUMM 1996 nach HENKEL 1973)....	20
Abb. 17: Lage des Innenohres im Schädel (FALLER & SCHÜNKE 2004). ....	22
Abb. 18: Schematischer Querschnitt durch eine Cochleawindung. Corti-Organ bestehend aus Deckplatte, Haar- und Stützzellen (FALLER & SCHÜNKE 2004).....	23
Abb. 19: Weg der Schallenergie vom ovalen Fenster, weiter über den Vorhofsgang, Schneckengang und Paukengang zum runden Fenster.....	24
Abb. 20: Schematische Darstellung der Tonwahrnehmung. Hohe Töne werden in der Nähe des ovalen Fensters, tiefe Töne in der Nähe des Helikotremas gehört (MÜLLER & FRINGS 2009).....	25
Abb. 21: Schematische Darstellung einer Bogengangsampulle (FALLER & SCHÜNKE 2004).....	26
Abb. 22: Schematische Darstellung eines Sinnesfeldes (FALLER & SCHÜNKE 2004). ....	26
Abb. 23: Schematische Darstellung der rechten Ohrregion am Beispiel des Menschen (FALLER & SCHÜNKE 2004). ....	27
Abb. 24: Untersuchtes Material.....	30

Abb. 25: Mikro-CT 1173 Skyscan mit Steuercomputer im Institut für Paläontologie, Wien..	31
Abb. 26: Graphische Darstellung des Unterschieds von Pixel zu Voxel (FEYTER & KRESTIN 2005).....	32
Abb. 27: HU-Werte von verschiedenen Geweben auf der Hounsfield-Skala (GRILLENBERGER & FRITSCH 2012).....	32
Abb. 28: 2D-Segmentierung mittels Amira 5.4.1.. a: horizontale Ansicht, b: transversale Ansicht, c: sagittale Ansicht von <i>Meles meles</i> (PIUW 1319). Farbcode: grün: Auris interna, rot: Malleus, gelb: Incus, türkis: Stapes. Maßstab: 5 mm. ....	33
Abb. 29: 3D-Rekonstruktion mittels Amira 5.4.1.. a: Auris interna und Auris media virtuell dreidimensional innerhalb des Cavum tympani von <i>Meles meles</i> (PIUW 1319) dargestellt. Bei Abb. 29 b wurde zusätzlich der entsprechende Mikro-CT Schnitt eingeblendet. Farbcode: grün: Auris interna, rot: Malleus, gelb: Incus, türkis: Stapes. Maßstab: 5 mm.....	33
Abb. 30: 3D-Darstellung des rechten Malleus von <i>Martes martes</i> (PIUW 1678) (Ansichten: a: medial und b: occipital) ergänzt nach FLEISCHER (1970) und SCHWARZ (2012). ....	35
Abb. 31: 3D-Rekonstruktion des rechten Malleus aller vier Taxa im Vergleich.....	38
Abb. 32: 3D-Darstellung des rechten Incus von <i>Lutra lutra</i> (Ansichten: a: medial, b: occipital) ergänzt nach FLEISCHER (1970).....	40
Abb. 33: 3D-Rekonstruktion des rechten Incus aller vier Taxa im Vergleich.....	42
Abb. 34: 3D-Darstellung des rechten Stapes von <i>Lutra lutra</i> (Ansicht: rostral) ergänzt nach FLEISCHER (1970).....	43
Abb. 35: 3D-Rekonstruktion des rechten Stapes aller vier Taxa im Vergleich.....	45
Abb. 36: 3D-Darstellung der rechten Auris interna von <i>Martes martes</i> (PIUW 1678) (Ansicht: rostral) ergänzt nach SCHWARZ (2012).....	47
Abb. 37: 3D-Darstellung der Auris interna von <i>Martes martes</i> (PIUW 1678) (Ansicht: medial) ergänzt nach SCHWARZ (2012) und FLEISCHER (1970). ....	47
Abb. 38: Merkmalsübereinstimmungen des Malleus aller Taxa im Vergleich.....	58

Abb. 39: Merkmalsübereinstimmungen des Incus aller Taxa im Vergleich..... 60

Abb. 40: Merkmalsübereinstimmungen des Stapes aller Taxa im Vergleich ..... 62

Abb. 41: Merkmalsübereinstimmungen der Auris interna aller Taxa im Vergleich..... 64

Abb. 42: alle Merkmalsübereinstimmungen aller Taxa ..... 65

Abb. 43: Kladogramm der Taxa *Mustela nivalis*, *Lutra lutra*, *Martes martes* und *Meles meles*.  
..... 65

## **Tabellenverzeichnis**

Tab. 1: Funktion des Hör- und Gleichgewichtsorgan mit beteiligtem Ohrabschnitt (AUMÜLLER et al. 2007). .....	14
Tab. 2: Merkmalsübereinstimmungen des Malleus aller Taxa im Vergleich .....	57
Tab. 3: Merkmalsübereinstimmungen des Incus aller Taxa im Vergleich.....	59
Tab. 4: Merkmalsübereinstimmungen des Stapes aller Taxa im Vergleich.....	61
Tab. 5: Merkmalsübereinstimmungen der Auris interna aller Taxa im Vergleich .....	63

## Literaturverzeichnis

AULAGNIER, S., HAFFNER, P., MITCHELL-JONES, A.J., MOUTOU, F., ZIMA, J. (2009): Die Säugetiere Europas, Nordafrikas und Vorderasiens: Der Bestimmungsführer. Hauptverlag, Bern.

AUMÜLLER, G., AUST, G., DOLL, A. (2007): Anatomie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart.

BRUNNER, R., NÖLDEKE, I. (1997): Das Ohr. Anatomie, Pathologie und Physiologie des Ohres für Hörgerätekustiker, Logopäden und audiologische Assistenzberufe. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York.

BUZUG, T.M. (2008): Computed Tomography. From Photon Statistics to Modern Cone-Beam CT. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.

CLASEN, B., GERŠIĆ, S. (1975): Anatomie und Physiologie der Sprech- und Hörorgane: Ein Überblick. Band 6. Helmut Buske Verlag, Hamburg.

DORAN, A.H.G. (1879): Morphology of the Mammalian Ossicula auditus. Transactions of the Linnean Society of London. 2<sup>nd</sup> Series: Zoology 1 (7): 371-497.

EGGERS, R. (1985): Die Lokomotion des Fischotters (*Lutra lutra*) im Wasser. Diplomarbeit am öko-ethologischen Institut der TU Braunschweig (unveröffentl.).

EKDALE, E., ROWE, T. (2011): Morphology and variation within the bony labyrinth in zhelestids (Mammalia, Eutheria) and other therian mammals. Journal of Vertebrate Paleontology 31 (3): 658-675.

FALLER, A., SCHÜNKE, M. (2004): Der Körper des Menschen. Einführung in Bau und Funktion. 14. Auflage. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York.

FANGHÄNEL, J., PERA, F., ANDERHUBER, F., NITSCH, R. (2009): Waldeyer-Anatomie des Menschen. 18. Auflage. Walter de Gruyter, Berlin, New York.

FESTETICS, A. (1980): Steckbrief: Fischotter. In: REUTHER, C., FESTETICS, A.: Der Fischotter in Europa. Verbreitung, Bedrohung, Erhaltung. Oderhaus und Göttingen. 67-70.

FEYTER, P.J., KRESTIN, G.P. (2005): Computed Tomography of the coronary arteries. Taylor and Francis Group, Oxfordshire.

FLEISCHER, G. (1970): Studien am Skelett des Gehörorgans der Säugetiere. Diss., Kiel.

FRANK, F. (1962): Biologie des Mauswiesels (*Mustela nivalis* L.) nach Beobachtungen an einer Gefangenschafts-Population. Unveröffentlichtes Manuskript.

FULTON, T.L., STROBECK, C. (2006): Molecular phylogeny of the Arctoidea (Carnivora): effect of missing data on supertree and supermatrix analyses of multiple gene data sets. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 41: 165-181.

GAUPP, E. (1911): Beiträge zur Kenntniss des Unterkiefers der Wirbeltiere, I, Der Proc. anterior (Folii) des Hammers der Säuger und das Goniale der Nichtsäuger. *Anatomischer Anzeiger* 39: 97-135.

GRAY, A.A. (1907): The labyrinth of animals, including mammals, birds, reptiles and amphibians. Vol. I.I: 1-198.

GRILLBERGER, A., FRITSCH, E. (2012): Computertomographie. Einführung in ein modernes bildgebendes Verfahren. Facultas Verlags- und Buchhandels AG, Wien.

HENKEL, S. (1973): Die Entstehungsgeschichte der Säugetiere. *Paläontologie und Evolutionsforschung*. Pressedienst Wissenschaft FU Berlin 7: 1-31.

HILDEBRAND, M., GOSLOW, G. (2004): Vergleichende und funktionelle Anatomie der Wirbeltiere. 5. Auflage. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.

HYRTL, J. (1845): Vergleichend-anatomische Untersuchungen über das innere Gehörorgan des Menschen und der Säugethiere. Friedrich Ehrlich, Prag.

JONGH, A. (1986): The underwater locomotion of the European otter (*Lutra lutra*). Ms. thesis, Groningen 1986 (unveröffentl.).

KALENDER, W.A. (2006): Computertomographie. Grundlagen, Gerätetechnologie, Bildqualität, Anwendungen. 2. Auflage. Publicis Corporate Publishing, Erlangen.

KOEPFLI, K.P., DEERE, K.A., SLATER, G.J. BEGG, C., BEGG, K., GRASSMAN, L., LUCHERINI, M., VERON, G., WAYNE, R.K (2008): Multigene phylogeny of the

Mustelidae: Resolving relationships, tempo and biogeographic history of a mammalian adaptive radiation. *BMC Biol.* 2008, 6: 10.

LÜPS, P., WANDELER, A.I. (1993): *Meles meles* – Dachs. In: NIETHAMMER, J., KRAPP, F.: Handbuch der Säugetiere Europas. Band 5: Raubsäuger – Carnivora (Fissipedia). Teil II: Mustelidae 2, Viverridae, Herpestidae, Felidae. Aula-Verlag, Wiesbaden. 856-907.

LÜPS, P., WANDELER, A.I. (1993): *Meles*. In: NIETHAMMER, J., KRAPP, F.: Handbuch der Säugetiere Europas. Band 5: Raubsäuger – Carnivora (Fissipedia). Teil II: Mustelidae 2, Viverridae, Herpestidae, Felidae. Aula-Verlag, Wiesbaden. 855-856.

MASON, C.F., MACDONALD S.M. (2009): *Otters: Ecology and Conservation*. Cambridge University Press.

MROWINSKI, D., SCHOLZ, G. (2006): *Audiometrie: eine Anleitung für die praktische Hörprüfung*. 3. Auflage. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York.

MÜLLER, W., FRINGS, S. (2009): *Tier- und Humanphysiologie*. 4. Auflage. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

NEAL, E. (1975): *Der Dachs*. BLV Verlagsgesellschaft München.

NOWAK, R.M. (1999): *Walker's Mammals of the World*, Band 1, 6<sup>th</sup> edition. JHU Press, Baltimore, Maryland.

PETERS, G., HEINRICH, W.-D., BEURTON, P., JÄGER, K.-D. (1972): Fossile und rezente Dachsbauten mit Massenanreicherungen von Wirbeltierknochen. *Mitt. Zool. Mus. Berlin* 48: 415-435.

PFLUMM, W. (1996): *Biologie der Säugetiere*. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin, Wien.

PORTMANN, A. (1959): *Einführung in die vergleichende Morphologie der Wirbeltiere*. Schwabe, Basel, Stuttgart.

REICHERT, C. (1837): Über die Visceralbogen der Wirbelthiere im Allgemeinen und deren Metamorphose bei den Vögeln und Säugethieren. *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medizin*: 120-222.

- REICHSTEIN, H. (1993): *Mustela nivalis* – Mauswiesel. In: NIETHAMMER, J., KRAPP, F.: Handbuch der Säugetiere Europas. Band 5: Raubsäuger – Carnivora (Fissipedia). Teil II: Mustelidae 2, Viverridae, Herpestidae, Felidae. Aula-Verlag, Wiesbaden. 571-627.
- REUTHER, C. (1993): *Lutra lutra* (Fischotter). In: NIETHAMMER, J., KRAPP, F.: Handbuch der Säugetiere Europas. Band 5: Raubsäuger – Carnivora (Fissipedia). Teil II: Mustelidae 2, Viverridae, Herpestidae, Felidae. Aula-Verlag, Wiesbaden. 907-962.
- SATO, J.J., HOSODA, T., WOLSAN, M., SUZUKI H. (2004): Molecular phylogeny of arctoids (Mammalia: Carnivora) with emphasis on phylogenetic and taxonomic positions of ferret-badgers and skunks. *Zoological Science*, 21: 111-118.
- SCHALLER, O. (2007): *Illustrated Veterinary Anatomical Nomenclature*. Enke Ferdinand, Stuttgart.
- SCHWARZ, C. (2012): Phylogenetische und funktionsmorphologische Untersuchungen der Ohrregion bei Sciuromorpha (Rodentia, Mammalia). Diss., Bonn.
- SPOOR, F. GARLAND, T., KROVITZ, G., RYAN, M.T., SILCOX, T.M., WALKER, A. (2007): The primate semicircular canal system and locomotion. *PNAS* 104 (26): 10808-10812.
- STARCK, D. (1979): *Vergleichende Anatomie der Wirbeltiere auf evolutionsbiologischer Grundlage*. Teil 2: Das Skelettsystem. Springer-Verlag, Heidelberg, New York.
- STOLT, B.-O. (1979): Colour pattern and size variation of the weasel *Mustela nivalis* L. in Sweden. *Zoon* 7: 55-61.
- STUBBE, M. (1993): *Martes martes*. In: NIETHAMMER, J., KRAPP, F.: Handbuch der Säugetiere Europas. Band 5: Raubsäuger – Carnivora (Fissipedia). Teil I: Carnidae, Ursidae, Procyonidae, Mustelidae 1. Aula-Verlag, Wiesbaden. 374-427.
- STUBBE, M. (1993): *Martes*. In: NIETHAMMER, J., KRAPP, F.: Handbuch der Säugetiere Europas. Band 5: Raubsäuger – Carnivora (Fissipedia). Teil I: Carnidae, Ursidae, Procyonidae, Mustelidae 1. Aula-Verlag, Wiesbaden. 370-374.
- STUBBE, M. (1993): *Mustela*. In: NIETHAMMER, J., KRAPP, F.: Handbuch der Säugetiere Europas. Band 5: Raubsäuger – Carnivora (Fissipedia). Teil II: Mustelidae 2, Viverridae, Herpestidae, Felidae. Aula-Verlag, Wiesbaden. 529-533.

STUBBE, M. (1993): Mustelidae – Marderartige. In: NIETHAMMER, J., KRAPP, F.: Handbuch der Säugetiere Europas. Band 5: Raubsäuger – Carnivora (Fissipedia). Teil I: Carnidae, Ursidae, Procyonidae, Mustelidae 1. Aula-Verlag, Wiesbaden. 365-370.

WERNER, C.F. (1960): Das Gehörorgan der Wirbeltiere und des Menschen. Beispiel für eine vergleichende Morphologie der Lagebeziehungen. Georg Thieme Verlag, Leipzig.

YU, L., PENG, D., LIU, J., LUAN, P., LIANG, L., LEE, H., LEE, M., RYDER, O.A., ZHANG, Y. (2011): On the phylogeny of Mustelidae subfamilies: analysis of seventeen nuclear non-coding loci and mitochondrial complete genomes. BMC Evolutionary Biology, 11:92.

## Appendix

Tabelle A: Auflistung der untersuchten Taxa.

Taxa	Sammlung	Inventar-Nr.	Fundort	Cb [mm]	Mikro-CT Auflösung [µm]
<i>Lutra lutra</i>	NHMW	k.A.*	k.A.	103,25.	23,16
<i>Martes martes</i>	PIUW	1678	Kettlasbrunn NÖ	81,59	19,63
<i>Meles meles</i>	PIUW	1319	k.A.	126,35	28,14
<i>Mustela nivalis</i>	PIUW	7351	k.A.	38,78	8,91

\* siehe: Untersuchtes Material

## **Danksagung**

Bedanken möchte ich mich bei meiner Diplomarbeitsbetreuerin, Univ.-Prof. Mag. Dr. Doris Nagel, für die Übernahme dieser Arbeit, fachkundige Unterstützung und Beantwortung all meiner Fragen.

Zudem danke ich Dr. Cathrin Schwarz, die sich ebenfalls während der gesamten Diplomarbeitsphase immer Zeit für meine zahlreichen Fragen genommen hat. Danke für die tolle Einführung und die Erklärungen zur 3D-Visualisierung von Daten und die hilfreichen Tipps.

Besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mich in der gesamten Studienzeit finanziell und emotional unterstützt haben und mir somit diese Arbeit überhaupt erst ermöglichten.

Außerdem danke ich meinem Freund Bernhard, der jederzeit ein offenes Ohr für mich hatte und immer für mich da war.

Zuletzt gilt mein Dank meiner Studienkollegin Nicole. Danke, dass du in den vier Jahren stets die richtigen Worte gefunden hast und immer den richtigen Rat parat hattest. Durch deine große Unterstützung hast du mir immer wieder Kraft geschenkt.

---

## Curriculum Vitae

### *Persönliche Daten:*

Name: Marie-Christine Paul  
Geburtsdatum: 28. Mai 1991 in Neunkirchen (NÖ)

### *Ausbildung:*

Juli 2014: Abschluss 2. Studienabschnitt  
Februar 2013: Abschluss 1. Studienabschnitt  
seit Oktober 2009: Universität Wien – Lehramtsstudium  
Biologie und Umweltkunde und Latein  
2001-2009: Gymnasium Sachsenbrunn (NÖ)  
1997-2001: Volksschule Schottwien (NÖ)

### *Arbeit:*

seit Dezember 2013: Lehrerin am BRG Gröhrmühlgasse (NÖ)  
Juli, August 2008-2012: Neupack Hirschwang (NÖ)  
Juli 2006/2007: Roco Modellspielwaren Gloggnitz (NÖ)