

Aus der Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde
Medizinische Hochschule Hannover
Abteilung experimentelle Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde
Ärztlicher Direktor: Prof. Dr. T. Lenarz

Das Mittel- und Außenohr des Menschen und des Foxhound

*Ein anatomischer Vergleich in Bezug auf einen
otologischen Versuch*

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin
der
Medizinischen Hochschule
Hannover

Vorgelegt von
Roman Koriat
Hannover
2006

Angenommen vom Senat der Medizinischen Hochschule Hannover

Am 18.03.2008

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Hochschule Hannover

Präsident: Prof. Dr. Dieter Bitter-Suermann

Betreuer der Arbeit: Prof. Dr. Benno P. Weber

Referent: Prof. Dr. Hans-Jürgen Hedrich

Koreferent: Prof. Dr. Timo Stöver

Tag der mündlichen Prüfung: 18.03.2008

Promotionsausschussmitglieder:

Prof. Dr. Thomas Lenarz

Prof. Dr. Rolf-Dieter Battmer

Prof. Dr. Dr. Martin Rucker

1	<u>EINLEITUNG</u>	6
1.1	SOZIALE UND PSYCHISCHE FOLGEN VON SCHWERHÖRIGKEIT	6
1.1.1	DEMOGRAPHISCHE DATEN	6
1.1.2	ZUR ALLTAGSBEDEUTUNG DES HÖRENS	6
1.2	GESCHICHTE DER HÖRFORSCHUNG	7
1.2.1	ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE	7
1.2.2	ENTWICKLUNG DER HÖRGERÄTE	8
1.3	PROBLEMATIK DER KONVENTIONELLEN HÖRHILFEN	8
1.3.1	AKZEPTANZ	9
1.3.2	BEDIENUNG	9
1.3.3	LIMITIERENDE FAKTOREN	9
1.4	ANFORDERUNGEN AN IMPLANTIERBARE GERÄTE	10
1.4.1	LEISTUNGSANFORDERUNGEN	10
1.4.2	MATERIALANFORDERUNGEN	10
1.4.3	ART DER IMPLANTATION UND DES GERÄTES	10
1.5	VORSTELLUNG DES VORLIEGENDEN GERÄTES	10
1.6	ENTWICKLUNG DER VERGLEICHENDEN ANATOMIE DES GEHÖRORGANS	11
1.6.1	GESCHICHTE DER ABSTAMMUNGSLEHRE	11
1.6.2	VERGLEICHENDE ANATOMIE DES GEHÖRORGANS	12
1.7	ZIELSETZUNG	14
2	<u>MATERIAL UND METHODEN</u>	15
2.1	VERSUCHSTIERE	15
2.1.1	GENEHMIGUNG DES TIERVERSUCHS	15
2.1.2	ALTER, RASSE UND GESCHLECHT	15
2.1.3	HALTUNGSBEDINGUNGEN	17
2.2	IMPLANTAT UND BEFESTIGUNGSSYSTEME	17
2.2.1	PIEZOELEKTRONISCHES WANDLERSYSTEM	17
2.2.2	KOPPELEMENT	17
2.2.3	IMPLANTIERTES MIKROPHON	18
2.2.4	HAUPTELEKTRONIK UND EXTERNES MIKROPHON	18
2.2.5	ELEKTRISCHE ZULEITUNGEN	18
2.2.6	SCHRAUBEN	18
2.2.7	GLASIONOMERZEMENT	18
2.2.8	STERILISATION	18
2.3	ANÄSTHESIE	19
2.4	IMPLANTATION	19
2.5	HÖRPHYSIOLOGISCHE MESSUNGEN	22
2.6	EXPLANTATION	22
2.6.1	PERFUSION	22
2.6.2	ENTNAHME DER FELSENBEINE	23
2.7	POSTOPERATIVE PRÄPARATION UND MORPHOMETRIE	24
2.8	LICHTMIKROSKOPISCHE AUFBEREITUNG	25
2.9	AUSGUSSPRÄPARAT	26
2.10	MAZERATION EINES FOXHOUNDSCHÄDELS	26

2.11	HUMANE OSSIKEL	26
2.12	VERWENDETE LÖSUNGEN UND CHEMIKALIEN	27
2.12.1	GEPUFFERTES FORMALDEHYD	27
2.12.2	NATRIUM-CACODYLAT-PUFFER (0,2 M)	27
2.12.3	KARNOVSKY-FIXIERUNG	27
2.12.4	EDTA	27
2.13	BILDDOKUMENTATION	28
2.13.1	VIDEOAUFNAHMEN UND -BEARBEITUNG	28
2.13.2	FOTOGRAFIEEN	28
3	ERGEBNISSE	29
3.1	ANATOMIE DES AUßENOHRES : MENSCH	29
3.1.1	AURICULA	29
3.1.2	MEATUS ACUSTICUS EXTERNUS	30
3.1.3	MEMBRANA TYMPANI	31
3.2	ANATOMIE DES AUßENOHRES : FOXHOUND	33
3.2.1	AURICULA	33
3.2.2	MEATUS ACUSTICUS EXTERNUS	34
3.2.3	MEMBRANA TYMPANI	37
3.3	ANATOMIE DES MITTELOHRES : MENSCH	39
3.3.1	CAVITAS TYMPANICA	39
3.3.2	OSSICULA	41
3.3.3	BÄNDER	42
3.3.4	MUSKELN	43
3.3.5	VERLAUF DER CHORDA TYMPANI DURCH DIE PAUKENHÖHLE	43
3.3.6	CELLULAE MASTOIDAE	43
3.4	ANATOMIE DES MITTELOHRES : FOXHOUND	43
3.4.1	CAVITAS TYMPANICA	43
3.4.2	OSSICULA	49
3.4.3	BÄNDER	52
3.4.4	MUSKELN	53
3.4.5	VERLAUF DER CHORDA TYMPANI DURCH DIE PAUKENHÖHLE	55
3.5	VERGLEICH DER ANATOMISCHEN STRUKTUREN	56
3.5.1	AUßENOHR	57
3.5.2	MITTELOHR	59
4	DISKUSSION	65
4.1	ANFORDERUNGEN DES VORLIEGENDEN VERSUCHS UND METHODENKRITIK	65
4.1.1	WAHL DER VERSUCHSTIERSPEZIES	65
4.1.2	BEWERTUNG DER IMPLANTATSTABILITÄT	66
4.1.3	PATHOLOGISCHE BEWERTUNG	67
4.1.4	GLASIONOMERZEMENT IONOCEM®	67
4.1.5	OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT DER IMPLANTATMATERIALIEN	68
4.1.6	ANÄSTHESIE	69
4.2	BEWERTUNG DER ANATOMISCHEN UNTERSCHIEDE UND IHRER AUSWIRKUNGEN AUF DAS EXPERIMENT	69

4.3	REAKTION DES MITTEL- UND INNENOHRES AUF DIE IMPLANTATION	70
4.3.1	MITTELOHRGEWEBE	70
4.3.2	INCUS	70
4.3.3	INNENOHR	71
4.3.4	ALLGEMEINE BEOBACHTUNGEN	71
5	AUSBLICK	72
5.1	BEWERTUNG DES TIERMODELLS	72
5.2	BEWERTUNG DES VORLIEGENDEN AKTORSYSTEMS	72
6	ZUSAMMENFASSUNG	74
7	LITERATURVERZEICHNIS	76
8	ANHANG: MAßE AM AUßEN- UND MITTELOHR DES FOXHOUND	93
9	VERZEICHNIS DER BILDER UND ZEICHNUNGEN	98
10	VERZEICHNIS DER TABELLEN	99
	LEBENS LAUF	100

1 Einleitung

1.1 Soziale und psychische Folgen von Schwerhörigkeit

1.1.1 Demographische Daten

Die Hörminderung stellt zunehmend ein Problem innerhalb der Bevölkerung der westlichen Industrieländer dar. Untersuchungen zufolge waren in den USA im Jahre 1981 etwa 24 Millionen Menschen, hauptsächlich mittleren und höheren Lebensalters, von Hörschädigungen betroffen (GOODE, 1995; zit. nach FELLER). Studien zeigen auch in der Bundesrepublik Deutschland einen Anteil der Schwerhörigen an der Gesamtbevölkerung von etwa 10% (KRÜGER, 1991).

Die Inzidenz bei Jugendlichen steigt an. Unter regelmäßigen Diskothekenbesuchern zeigten 15% einer Untersuchungsgruppe einen Hörverlust von 20 db. Im Alter von 65 Jahren leidet bereits jeder zweite an einer Hörminderung mindestens dieser Ausprägung. Es wird für die Zukunft mit einer steigenden Anzahl der Hörbehinderten gerechnet, da der Anteil der älteren Menschen an der Gesamtbevölkerung zunimmt und die Lebenserwartung steigt (RICHTBERG, 1995).

1.1.2 Zur Alltagsbedeutung des Hörens

Erst durch eine starke Beeinträchtigung oder den kompletten Verlust der Hörfähigkeit wird dem Erkrankten ihre Bedeutung für die tägliche Lebensbewältigung bewusst. Im Folgenden seien einige Beispiele für die Bedeutung des Sinnes Hören dargestellt:

- Alarmierung
- Kommunikation
- räumliche Orientierungssicherheit
- Aufmerksamkeitszentrierung
- emotionale Einfärbung einer Aussage (das Ohr als „Auge des Gemüts“).

Der Verlust der oben genannten Fähigkeiten hat nach RICHTBERG (1995) eine Vielzahl von schwerwiegenden Folgen. Schwerhörig Gewordene klagen darüber, dass sie nicht mehr so unbefangen leben können wie zuvor. Es schleichen sich Unsicherheit und Nervosität in ihren Alltag, die bis zum Verlust des normalen Umweltvertrauens führen können.

Die eingeschränkte Kommunikationsfähigkeit zieht ein Gefühl des Ausgeschlossenenseins der „Gruppe des Augenblicks“ nach sich und kann zum Verlust der Zugehörigkeit und folglich zur Vereinsamung

führen. Ferner geht die Hörminderung regelhaft mit psychosomatischen und psychovegetativen Beschwerden einher. Ein Indikator für das Ausmaß der psychischen Belastung in der Gruppe der Schwerhörigen ist die gegenüber dem Durchschnitt der Gesamtbevölkerung signifikant erhöhte Suizidrate (RICHTBERG, 1990).

1.2 Geschichte der Hörforschung

1.2.1 Anatomie und Physiologie

Bereits im antiken Griechenland versuchte man, die Physiologie des Hörens zu verstehen. Die älteste Theorie stammt von DIOGENES (550-460 v. Chr.), der annahm, dass der Schall in bestimmten Blutgefäßen enthaltene Luft in Schwingung versetzt. ARISTOTELES postulierte etwa 384 v. Chr. seine Theorie vom *aer implantatus*, dem luftgefüllten Innenohr, die, von CLAUDIUS GALEN (131-201) nur leicht modifiziert, bis ins 18. Jahrhundert Bestand hatte (nach BAST, 1949).

Erst in der Renaissance begann mit der Wiedergeburt der Wissenschaften die systematische, naturwissenschaftliche Erforschung des Gehörorgans. Der Anatom ANDREAS VESALIUS (1514-1564) beschrieb die ersten beiden Ossikel und nannte sie Malleus und Incus. Sein Schüler PHILIPUS INGRASSIA (1510-1580) entdeckte den Stapes. Die Cochlea wurde 1522 von BARTHOLOMEUS EUSTACHIUS beschrieben. GUICHARD JOSEPH DUVERNEY (1648-1730) wies als erster die Schalleitung als Funktion der Gehörknöchelchen nach. Erst 1760 aber konnte DOMENICO COTUGNO die Lehrmeinung vom aristotelischen *aer implantatus* widerlegen, indem er bewies, dass es sich bei der Scala vestibuli und Scala tympani um flüssigkeitsgefüllte Räume handelt (nach GITTER, 1990).

Entscheidende Grundsteine für das physikalische Verständnis des Hörens wurden erst im 19. Jahrhundert gelegt. 1843 entdeckte OHM die Fourierzerlegung des Schalls in eine Summe von Sinuswellen. HERMANN HELMHOLTZ (1863) präzierte das OHM'sche Gesetz der Akustik und beschrieb das Prinzip der Impedanzwandlung im Mittelohr.

Eine ausführliche Arbeit zur Histologie des Mittelohrraumes veröffentlichte KESSEL (1892). Mit verbesserten Abbildungsverfahren verfeinerten sich die anatomischen Untersuchungen und es folgten licht- und rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen zu den verschiedenen Teilen des Gehörorgans, ihrer Funktion und Mechanik (u. a. ALTMANN ,1961; LIM 1968 und 1970; GYO, 1987).

HÜTTENBRINK (1992) zeigte, dass die Ossikelkette um einen imaginären, oberhalb von ihr gelegenen Rotationspunkt schwingt. Die Bewegung des Stapes im ovalen Fenster ist anscheinend ungerichtet und nicht vorhersagbar. Der Ausschlag beträgt nur wenige Pikometer.

1.2.2 Entwicklung der Hörgeräte

Die einfache Methode der Schallbündelung mittels eines Hörrohres stammt noch aus Zeiten vor einer präzisen Geschichtsschreibung. Sie konnte erst nach profunderem Verständnis der Hörphysiologie durch technische Geräte ersetzt werden.

Im Jahre 1640 beschrieb MARCUS BANZER Erfolge mit einer implantierten künstlichen Membrana tympanica. Diese Idee aufgreifend wurden verschiedene Modelle artifizieller Trommelfelle entwickelt (TOYNBEE, 1854; NICHOLSON, 1885), wobei einige nicht nur als Prothese, sondern auch als Hörhilfe dienten (nach BERGER, 1984).

Die Grundlage für die heutige Cochlea Implant Technologie schuf VOLTA 1800 mit seiner Hypothese über die elektrische Stimulation des Hörnervs.

Um 1890 erschienen erste carbongestützte elektrische Hörhilfen unter Anwendung von Telefontechnik mit Kohlekörnermikrofon. Es folgten Geräte, die auf einer Verstärkung mittels einer herkömmlichen Vakuumröhre basierten (um 1920), die dann etwa dreißig Jahre später von den frühen Hörgeräten mit Transistortechnik abgelöst wurden (nach GOODE, 1995).

Erste Versuche mit einem elektromechanischen bzw. mit einem elektromagnetischen Wandler-System unternahmen WILSKA (1935) und RUDBERG (1946). Eine zunehmende Miniaturisierung der elektronischen Bauteile erlaubte den Ausbau dieser Ansätze und ermöglichte einige andere. So wird seit den siebziger Jahren an der Entwicklung von Hörgeräten unter anderem basierend auf Knochenleitung oder auf piezoelektrischen Prinzipien gearbeitet.

Gleichzeitig wurden konventionelle Geräte ebenfalls weiter miniaturisiert und mit digitaler Signalverarbeitung und Prozessortechnologie verbessert.

1.3 Problematik der konventionellen Hörhilfen

Konventionelle Hörgeräte bringen eine Reihe von Problemen mit sich, die nicht nur im technischen Bereich zu suchen sind, sondern auch medizinischen Indikationen und nicht zuletzt einem menschlichen Faktor unterliegen.

1.3.1 Akzeptanz

Schwerhörigkeit ist in der Gesellschaft stärker als Behinderung stigmatisiert als zum Beispiel eine Visusminderung. Sie zieht oft einen Verlust an Ansehen nach sich und führt somit zu einer Minderung des Selbstwertgefühls. Dies ist immer noch einer der Hauptgründe dafür, daß sehr viele Patienten das regelmäßige Tragen eines Hörgerätes ablehnen. Eine Untersuchung in den USA zeigte, dass weniger als 12% der Schwerhörigen ständige Träger einer Hörhilfe sind (FOOD AND DRUG ADMINISTRATION, 1993).

So genannte Im-Ohr-Geräte (z. B. Gehörgangs- und Conchageräte), die aufgrund ihrer Unauffälligkeit die kosmetischen Anforderungen wohl am besten erfüllen, sind in den Vereinigten Staaten mit etwa 25% Marktanteil die bei den Patienten beliebteste Hörhilfe (GOODE, 1995). Die medizinische Indikation ist hier der limitierende Faktor, das Gerät stellt nicht für alle Patienten eine praktikable Lösung dar.

1.3.2 Bedienung

Der Nachteil der Miniaturisierung liegt in der Handhabung der Hörhilfen. Älteren Menschen ist es häufig nicht möglich, ein solch filigranes Gerät korrekt einzustellen oder einzusetzen. Die Folge ist, dass das Gerät trotz vorhandenem Willen nicht genutzt und dann subjektiv keine Verbesserung sondern eine weitere Beeinträchtigung der Hörfähigkeit empfunden wird.

1.3.3 Limitierende Faktoren

Die Tonqualität der konventionellen Hörhilfen, besonders im Bereich höherer Frequenzen, ist immer noch unzureichend. Die Verstärkung ist zudem durch das Entstehen einer elektroakustischen Rückkopplung begrenzt. Bislang waren Versuche, das Feedback mittels Filtertechnologie zu unterbinden, nicht zufrieden stellend (KATES, 1991).

Ein starker Leistungsabfall tritt im Bereich der Frequenzen unterhalb von 500 Hz und über 4000 Hz auf. Die Folge ist eine Minderung sowohl der Tonqualität als auch der Qualität des Höreindrucks (TOS, 1994).

Die bei Patienten beliebten Im-Ohr-Geräte können nur bei milder Schwerhörigkeit eine gute Hilfe sein, da ihr Verstärkungsgrad limitiert ist (WORKING GROUP ON COMMUNICATION AIDS FOR THE HEARING IMPAIRED, 1991).

Da theoretisch mittels elektromechanischer Systeme mit direkter Ankopplung im Mittelohr oder an der Knochenleitung eine hohe Verstärkung bei naturgetreuer Klangqualität möglich ist und

kosmetische Probleme umgangen werden können, wird die Forschung im Bereich der teil- und vollimplantierbaren Hörgeräte vorangetrieben.

1.4 Anforderungen an implantierbare Geräte

An implantierbare Geräte werden bestimmte Mindestanforderungen gestellt, die das Design und die Art der Ankopplung regulieren (FOOD AND DRUG ADMINISTRATION, 1993).

1.4.1 Leistungsanforderungen

Der Verstärkungsgrad und die Signalwiedergabe sollen denen, die konventionelle Hörgeräte erzielen, überlegen sein.

1.4.2 Materialanforderungen

Die zu implantierenden Teile müssen biokompatibel und biostabil sein. Sie müssen als Langzeitimplantat verwendbar sein und dürfen den Bereich, in dem sie implantiert werden, nicht für Infektionen anfällig machen (GOODE, 1995).

1.4.3 Art der Implantation und des Gerätes

Der Idealfall sieht eine Implantation mit minimalem Aufwand vor, am besten als ambulanten Eingriff. Der Patient soll keinerlei Einschränkungen seiner Aktivitäten (z. B. Schwimmen) in Kauf nehmen müssen. Bei Defekten müssen das ganze Gerät oder einzelne Teile möglichst unkompliziert austauschbar sein. Ferner darf das Implantat im ausgeschalteten Zustand das Resthörvermögen nicht beeinträchtigen. Einige Autoren fordern, dass während der Implantation keine irreversiblen Schäden gesetzt werden sollen, so dass dieser Eingriff ohne Defekte rückgängig gemacht werden kann (GOODE, 1995).

1.5 Vorstellung des vorliegenden Gerätes

Die dargelegten Hintergründe führten zur Entwicklung eines vollimplantierbaren Hörgerätes. Neuartig im Vergleich zu früheren Modellen anderer Arbeitsgruppen ist das subepithelial im äußeren Gehörgang implantierbare Mikrophon, eine einfache Ankopplungsmethode an die intakte Ossikelkette und eine vollimplantierbare Prozessor- und Batterieeinheit. Diese wurden 1995 im Tierversuch auf klinische Anwendbarkeit geprüft.

1.6 Entwicklung der vergleichenden Anatomie des Gehörorgans

1.6.1 Geschichte der Abstammungslehre

Bis zum Ende des 18. Jahrhunderts galt in der Biologie die vorherrschende Lehrmeinung von der Unveränderlichkeit der Arten. Diese wurde aus der biblischen Schöpfungsgeschichte abgeleitet und besagte, dass die Arten, wie sie bekannt waren, seit Beginn der Welt vorhanden seien.

Als erster beschrieb dann der Naturforscher CARL VON LINNÉ (1707-1778) ein einheitliches System für Pflanzen und Tiere. Er ordnete sie anhand von Bauähnlichkeiten. Der Begründer der Paläontologie GEORGES CUVIER (1769-1832) verglich Skeletteile ausgestorbener Tiere mit denen noch lebender und beschrieb u.a. den homologen Aufbau der Vordergliedmaßen. Nach seiner Theorie vernichteten Naturkatastrophen von Zeit zu Zeit einen Großteil der Arten. Sich daran anschließende „Neuschöpfungen“ sorgten für neue, kompliziertere Lebewesen.

Auch LAMARCK (1744-1829) erkannte die Homologie der Organe und erklärte diese durch Verwandtschaft der Lebewesen. 1809 veröffentlichte er sein Buch „Philosophie zoologique“ in dem er eine Stammesentwicklung der Arten vertrat. Er versuchte diese damit zu erklären, dass erworbene Anpassungen auf Nachkommen vererbt würden, und wurde somit zum Begründer der Evolutionstheorie. Ferner war LAMARCK der erste, der Stammbäume erstellte.

1859 erschien CHARLES DARWINS „On the origin of species by means of natural selection“, in dem er seine Theorie einer Abstammung der heutigen Lebewesen von früheren einfacheren Formen beschrieb. Er begründete sie mit dem Begriff der Selektion. Diese hatte er unter anderem in ihrer künstlichen Form als Auswahl in Züchtungsvorgängen beobachtet.

Weit weniger Beachtung fand zunächst JOHANN GREGOR MENDEL's (1865) Beschreibung seiner Kreuzungsversuche an verschiedenen Erbsenrassen und die von ihm daraus abgeleiteten Gesetzmäßigkeiten der Vererbung. Erst um die Jahrhundertwende wurde die Bedeutung seiner Forschung erkannt und diente FISHER und SEWALL-WRIGHT als Grundlage für Untersuchungen auf dem Gebiet der Populationsgenetik.

In der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts trug u.a. die Molekularbiologie wesentlich zur Erklärung des Evolutionsgedanken bei, wobei sich die Schwerpunkte der Forschung mehr und mehr in Richtung eines Erklärungsversuchs zur Entstehung des Lebens verlagerten (nach BAYRHUBER, 1989).

1.6.2 Vergleichende Anatomie des Gehörorgans

Die ersten Arbeiten zur vergleichenden Anatomie des Gehörorgans waren bemüht, einen Überblick über möglichst viele Arten zu geben. HYRTL veröffentlichte 1845 ein umfangreiches Werk über das Ohr der Säugetiere, in dem die makroskopischen Verhältnisse beim Hund aber nur wenig Platz einnehmen. Die Canidae werden gemeinsam abgehandelt, und es finden sich nur Maße aus dem Ohr des Fuchses und des Wolfes. 1884 erschien der zweite Band von RETZIUS „Das Gehörorgan der Wirbeltiere“, der sich unter anderem mit den Säugetieren befasste, wobei aber der Hund keine Berücksichtigung fand.

Um die Jahrhundertwende änderte sich die Situation. In einigen Arbeiten über die Haussäugetiere wurden auch die anatomischen Verhältnisse des Hundes beschrieben. DENKER (1899) untersuchte das Trommelfell und die benachbarten knöchernen Strukturen, während SCHMIDT (1902) die Ohrmuscheln und die Knorpel des äußeren Ohres einiger Säuger mit denen des Menschen verglich. Auch in Werken, die alle Säugetierklassen behandelten, fanden die Verhältnisse beim Hund, meist zusammen mit anderen Canidae, nur Berücksichtigung. VAN KAMPEN (1905) beschrieb die knöchernen Strukturen der Tympanalgegend und BONDY (1907) beschäftigte sich mit dem Trommelfell und der Shrapnellschen Membran.

HONDA (1908) befand, dass die anatomischen Verhältnisse des Hundeohres in der damaligen Literatur nicht umfassend genug dargestellt würden, und veröffentlichte seinerseits eine Arbeit, die sich ausschließlich mit diesen befasste. Auch FREUND (1910) versuchte, das damalige Wissen zusammenzufügen und durch eigene Forschung Wissenslücken zu beheben, indem er den äußeren Gehörgang verschiedener Säugetiere anhand von Ausgusspräparaten beschrieb. Weiterhin stellte er Unterschiede zu den Verhältnissen beim Menschen heraus und berücksichtigte Variationen zwischen verschiedenen Hunderassen. BOAS (1912) bemängelte, dass über 50 Jahre nach der Entmystifizierung der vergleichenden Anatomie durch das „Erscheinen des genialen Buches des großen Engländers“ Fortschritte auf diesem Gebiet kaum auszumachen seien. Um einen Zusammenhang zwischen den Säugetieren aufzuzeigen, stellte er umfangreiche Untersuchungen über das äußere Ohr, insbesondere die Ohrknorpel, an.

Ein Mangel an histologischen Abhandlungen veranlasste HEGEWALD (1922) eine Arbeit über die mikroskopischen Verhältnisse des äußeren Gehörganges bei Haussäugetieren zu veröffentlichen. Mit demselben Thema beschäftigte sich auch GROTERJAHN (1922). Das Innenohr der Wirbeltiere und der Verlauf des N. vestibulocochlearis wurde von ARIENS KAPPERS (1920-21) beschrieben.

In der folgenden Zeit wiesen Autoren darauf hin, dass einige Erkenntnisse scheinbar auf der Basis von jeweils nur wenigen Präparaten einer Spezies gewonnen wurden und somit fehler- und lückenhaft seien. Sie gingen in ihren Arbeiten ferner auf Rassen- und Altersunterschiede ein (HOLZ, 1931; VAU, 1938).

Andere Forscher beschränkten sich wiederum auf einen bestimmten Teil des Gehörorgans und verglichen die Verhältnisse bei verschiedenen Säugern, aber auch Vögeln oder Amphibien. KEEN (1940, 1942) untersuchte die Bulla tympanica, die Ossikel und die Cochlea samt Promontoriumsregion, während DE BURLET (1943) sich mit dem gesamten Innenohr auseinandersetzte. Einen Vergleich der Gehörknöchelchen einiger Säugetiere veröffentlichte ELMOFTY (1967) und GRAY (1953) beschrieb den Verlauf der Chorda tympani verschiedener Wirbeltiergruppen.

Eine Arbeit, die ausschließlich canide Strukturen mit humanen vergleicht, handelt von der Blutversorgung der Membrana tympani (MAHER, 1988).

Diese Veröffentlichungen ebneten den Weg für zusammenfassende Werke. Die Anatomie des Ohres ist in einigen Büchern sehr ausführlich beschrieben, und es wird auf die unterschiedlichsten Arten eingegangen (WERNER, 1960). Ferner sind die Kapitel „Sinnesorgane“ der veterinärmedizinischen Lehrbücher im Hinblick auf das Gehörorgan umfangreich und verweisen regelmäßig auf die Verhältnisse beim Menschen (BÖHME, 1991). Die für einen otologischen Versuch am Hund nötigen Vorinformationen wie rassenspezifische Unterschiede und genaue Maße bestimmter Strukturen können und wollen diese Werke nicht leisten.

1.7 Zielsetzung

Diese Arbeit ist Teil eines Projektes zur Langzeitstabilität eines vollimplantierbaren Mittelohrhörgerätes.

Ziel des Experiments war es, an einem geeigneten Tiermodell Informationen über das Verhalten des Implantats während einer Implantationsdauer von mindestens 24 Wochen und seine Auswirkungen auf das umliegende Gewebe und das Sinnesorgan Ohr zu erhalten.

Die vorliegende Untersuchung befasst sich mit den Strukturen, in die das Hörgerät implantiert wurde: dem äußeren und mittlerem Ohr des Foxhound und ihrer Vergleichbarkeit mit analogen humanen Strukturen. Sie umfasst die Vermessung und genaue Beschreibung dieser anatomischen Strukturen des Foxhound. So soll aus einer rein anatomischen Sichtweise ein Ausblick auf den bevorstehenden Humanversuch gegeben werden. Unter Einbeziehung der weiteren Ergebnisse die im Rahmen dieses Experimentes gewonnen wurden helfen diese Daten und ihre Gegenüberstellung zu den humanen Voraussetzungen eine Optimierung des Hörgerätes im Hinblick auf weitere Experimente zu erreichen. Ferner schafft diese Arbeit eine Grundlage für weitere otologische Tierversuche.

2 Material und Methoden

2.1 Versuchstiere

2.1.1 Genehmigung des Tierversuchs

Der Antrag für das Versuchsvorhaben „Tierexperimentelle Evaluation von Funktion und Stabilität eines neuartigen Hörgeräts“ wurde am 22.11.1994 gestellt. Die Genehmigung gemäß § 8 Abs. 1 des Tierschutzgesetzes von 1993 (BGBl. I. S.254) erteilte die Bezirksregierung Hannover am 20.01.1995.

2.1.2 Alter, Rasse und Geschlecht

In die vorliegende Studie gingen 22 gesunde Hunde der Rasse Foxhound ein (vgl. Abb. 1). 18 Tiere stammten aus dem Institut für Versuchstierkunde der Ruprecht-Karls-Universität in Heidelberg, weitere vier kamen aus der Tierhaltung des Universitäts-Krankenhauses Eppendorf in Hamburg.



Abbildung 1: Foxhound mit Halskragen zur Aufnahme der externen Komponenten

Von den Hunden waren 13 weiblichen und 9 männlichen Geschlechts. Es handelte sich ausnahmslos um ausgewachsene Tiere, die zum Zeitpunkt der Implantation zwischen 10 und 60 Monaten alt waren. Das Durchschnittsalter betrug 18,2 Monate (siehe Tabelle 1).

Das Körpergewicht der Hunde, gemessen nach einer Futterpause von 18 Stunden, betrug zwischen 22 kg und 41 kg und im Durchschnitt $34,5 \pm 4,5$ kg.

Hundenummer	Geschl.	Geburtsdatum	Implantation	Explantation
90/072	w	06.06.90	28.06.95	09.01.96
92/105	m	27.12.92	21.06.95	11.01.96
93/137	m	01.07.93	19.06.95	16.01.96
92/037	m	08.08.92	26.06.95	18.01.96
94/076	w	31.08.94	24.07.95	23.01.96
94/068	w	07.08.94	26.07.95	25.01.96
94/085	m	06.09.94	31.07.95	29.01.96
94/066	w	07.08.94	02.08.95	30.01.96
94/072	w	07.08.94	07.08.95	13.02.96
94/070	w	07.08.94	14.08.95	15.02.96
94/064	w	07.08.94	16.08.95	20.02.96
94/083	m	06.09.94	23.08.95	22.02.96
94/078	w	06.09.94	28.08.95	26.02.96
93/132	w	27.07.93	04.09.95	27.02.96
93/002	w	23.02.93	06.09.95	29.02.96
94/089	m	06.09.94	12.09.95	11.03.96
94/081	m	06.09.94	13.09.95	12.03.96
94/087	m	06.09.94	18.09.95	13.03.96
94/054	w	04.08.94	20.09.95	19.03.96
94/060	w	04.08.94	27.09.95	21.03.96
94/406	w	12.06.94	09.10.95	26.03.96
94/407	m	12.06.94	10.10.95	28.03.96
männl. Tiere	weibl. Tiere	jüngstes Tier	ältestes Tier	Durchschnitt
9	13	10 Monate	60 Monate	18,2 Monate

Tabelle 1: Übersicht über die Versuchstiere

2.1.3 Haltungsbedingungen

Die Tiere wurden in Einzelboxen mit Auslauf im Zentralen Tierlabor der Medizinischen Hochschule Hannover gehalten. Während der Haltungsdauer herrschte normaler Tag- und Nachtrhythmus. Die Raumtemperatur lag bei 15° - 21° C.

Gefüttert wurde mit feuchtem Alleinfuttermittel, welchem Flocken zugesetzt wurden. Die Hunde hatten freien Zugang zu einer Selbsttränke.

Über den gesamten Versuchszeitraum wurden die Hunde täglich tierärztlich betreut.

2.2 Implantat und Befestigungssysteme

Allen 22 Versuchstieren wurde linksseitig das neuartige Hörgerät der Fa. IMPLEX im Bereich des Mittel- und Außenohres implantiert, welches sich aus folgenden Komponenten zusammensetzt:

2.2.1 Piezoelektronisches Wandler-system

Der Wandler wurde aus Titan Grade 2 nach ASTM F 67 gefertigt. Er bestand aus einem Korpus und einem Konus, aus dem eine Koppelstange heraustrat. Der Bereich des elektronischen Anschlusses befand sich an der Unterseite des Konus und wurde zusätzlich mit einem implantierbaren Silikonklebstoff abgedichtet.

Das Funktionsprinzip des Wandlers beruhte auf einem piezoelektrisch angeregtem Aktorelement, das eine dünne, mit dem Gehäuse verschweißte Membran in Schwingungen versetzte. Die Mittenauslenkung gab diese dann an die Koppelstange weiter.

Der Wandler wurde mittels einer dreifingerigen Lochstreifenplatte aus Titan am umgebenden Knochen verschraubt.

2.2.2 Koppel-element

Das Koppel-element bestand aus einem Feingolddraht (Durchmesser 0,4 mm, hart wie gezogen, Reinheit 99,9%), der an einem Ende zu einer Schlaufe, einem Hirtenstab ähnlich, gebogen wurde. Dieses Ende wurde um das Crus longum des Incus gelegt, während das andere mit der Koppelstange des Wandlers verbunden wurde. So konnten die Schwingungen auf die Ossikelkette übertragen werden.

2.2.3 Implantiertes Mikrofon

Das interne Mikrofon bestand aus Titan Grade 2 nach ASTM F 67. Es wurde subepithelial in den Meatus acusticus externus implantiert. Die Befestigung erfolgte ebenfalls mit einer Lochstreifenplatte, die den anatomischen Verhältnissen entsprechend individuell zugeschnitten wurde.

2.2.4 Hauptelektronik und externes Mikrofon

Die speziell für diese Studie entwickelte Hauptelektronik wurde nicht implantiert, sondern von den Tieren in einem Halskragen getragen.

Aufgrund von Feedback-Problemen wurden die hörphysiologischen Messungen mit einem externem Mikrofon durchgeführt.

2.2.5 Elektrische Zuleitungen

Die transcutanen Kabel, die den Wandler und das interne Mikrofon mit der Hauptelektronik verbanden, waren an den Implantaten verschweißt. Die Verbindungen wurden zusätzlich mit Silikonkleber (NusILMED- 1137, VascoMed GmbH) abgedichtet, um das Eindringen von Flüssigkeit in die Implantate zu verhindern. Die Kabel waren mit einem Silikonschlauch (Do Corning Silastic RX50, VascoMed GmbH) umhüllt. Die Verbindung zur Hauptelektronik wurde durch Steckverbindungen gewährleistet.

2.2.6 Schrauben

Zur Fixierung der Lochplatten und -streifen dienten Schrauben der Fa. Medicon (2, 3 und 4 mm). Dabei wurden ein passender Gewindeschneider und Bohrer derselben Firma benutzt.

2.2.7 Glasionomerzement

Um zusätzliche Stabilität zu erreichen, wurden die Implantate an den Lochstreifen mit Glasionomerzement (Ionocem®, normal oder low viscosity, Fa. Ionos) befestigt. Zudem wurde das Koppelement sowohl am Incus, als auch an der Koppelstange des Wandlers zementiert. Es wurde hierfür aufgrund der engen anatomischen Verhältnisse eigens eine Applikationsmethode entwickelt (WEBER, 1998).

2.2.8 Sterilisation

Wandlermodul, Mikrofon und Kabel wurden in 100% Ethylendioxid bei 0,7 bar und 37° C beziehungsweise 55° C gassterilisiert.

Das Koppелеlement sowie die Schrauben wurden in einem Dampfsterilisator gemeinsam mit den Operationssets sterilisiert.

2.3 Anästhesie

Für Implantation, postoperative Messungen und Explantation erhielten die Hunde eine Praemedikation über einen Verweilkatheter in der V. cephalica antebrachii mit Levomethadon (I-Polamivet®, Fa. Hoechst), 0,75 mg/kg KG, maximal 22,5 mg je Tier, sowie mit Propionylpromazin (Combelen®, Fa. Bayer) 0,1 mg/kg KG.

Die Narkose wurde über einen Tubus mit einem Halothan-Stickoxydul-Sauerstoffgemisch aufrechterhalten.

Zur cardiovasculären Stabilisierung wurde mit Ringer-Lactat Lösung 10 ml/kg/h infundiert.

Die Körpertemperatur wurde rektal gemessen und durch Infrarotbestrahlung bei $37,4 \pm 0,7^\circ \text{C}$ (n=685) gehalten (JACOBI, 1997).

2.4 Implantation

Bei den Tieren wurde, modifiziert nach HENSCHEL (1975), eine laterale Bulla-Osteotomie durchgeführt. Dabei wurde besonders auf Schonung des N. facialis geachtet. Der Wandler wurde in die Bulla eingebracht und befestigt. Das Koppелеlement wurde angepasst und so gebogen, dass es mit ausreichendem Abstand zu den umliegenden Strukturen implantiert werden konnte. Das gebogene Ende wurde um das Crus longum des Incus gelegt und mittels zweier 0,6 mm Häkchen festgecrimpt (vgl. Abb. 2 und 3i). Das freie Ende wurde mit Glasionomerezement mit der Koppelstange des Wandlers verbunden (vgl. Abb. 3ii bis 3iv).

Links lateral der Bullotomie wurde ein Implantatbett für das Mikrofon geschaffen. Unter Erhaltung des Epithels wurde ein Fenster in den knöchernen Teil des äußeren Gehörganges gebohrt, so dass die Membran subepithelial nahe dem Trommelfell zu liegen kam (vgl. Abb. 4). Danach erfolgte die Befestigung durch Verschrauben und Zementieren. Die Lage der einzelnen Komponenten des Hörgerätes nach der Implantation ist schematisch in Abb. 5 dargestellt.

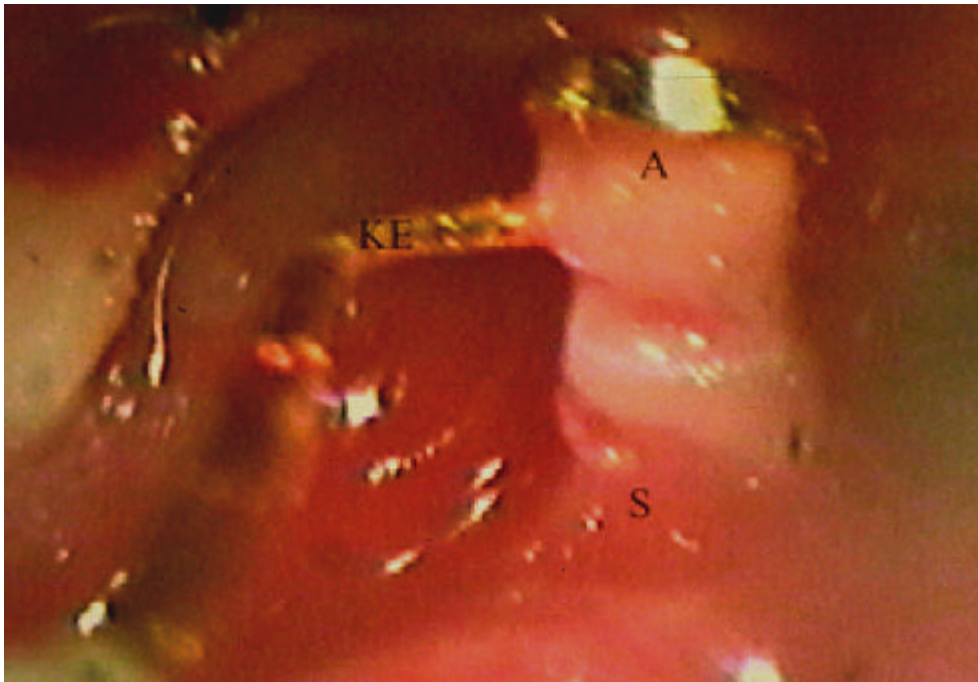


Abbildung 2: Anbringen des Koppel-elementes am Incus

KE = Koppel-element, A = Amboss, S = Stapes

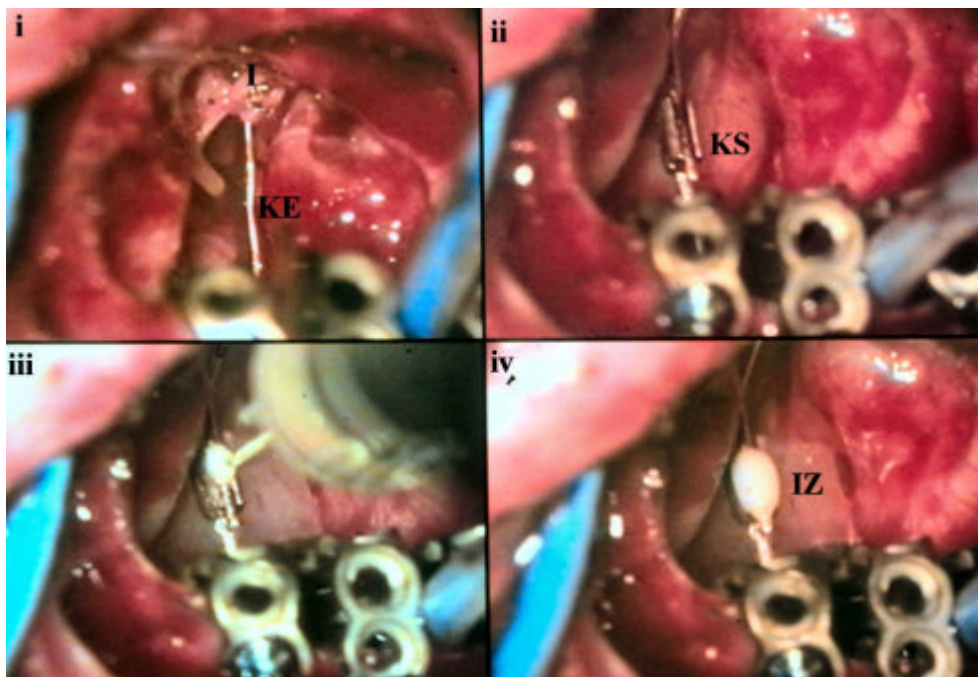


Abbildung 3: Ankopplung des Wandlers

i: Koppel-element KE am Incus I befestigt

ii: Verbindung des Koppel-elementes an die Koppelstange KS des Wandlers

iii: Befestigung mit Ionomerzement

iv: Fertige Ankopplung mit Ionomerzement IZ

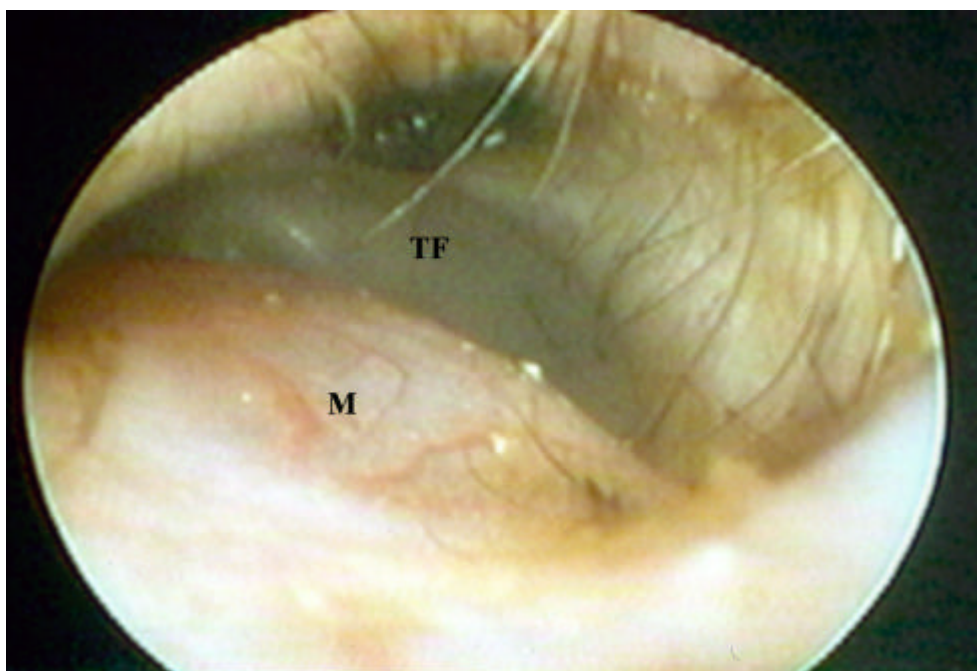


Abbildung 4: Meatus acusticus ext. mit subepithelial gelegenem Mikrophon

TF = Trommelfell, M = Durch das Mikrophon hervorgerufene Vorwölbung

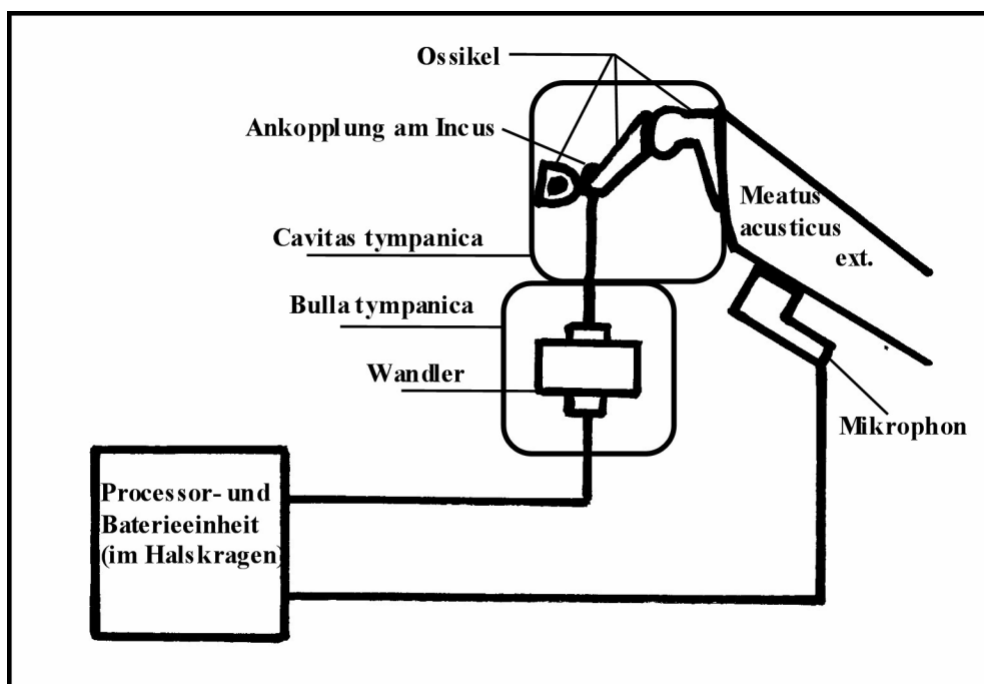


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Lage der implantierten und externen Komponenten

2.5 Hörphysiologische Messungen

Präoperativ, während der Implantation und regelmäßig postoperativ wurden hirnstammaudiometrische Messungen mit einem Nicolet Compact-Auditory-Electrodiagnostic-System durchgeführt (JACOBI, 1997).

Dabei wurden rein akustische (AEP), Knochenleitungs- (BEP) sowie durch das Wandler-System erzeugte mechanisch angeregte (MEP) evozierte Potentiale gemessen. Die rechte Seite diente als Nullprobe.

2.6 Explantation

Nach Ablauf der Versuchszeit wurde bei den Tieren der operative Zugang wiederholt. Die implantierten Komponenten wurden dargestellt und auf Stabilität geprüft. Danach wurde eine intravasale Perfusion der vorderen Körperhälfte durchgeführt.

2.6.1 Perfusion

Im Rahmen der Explantations-Operation wurde eine intravitale, intravasale Perfusion durchgeführt. Dabei wurden die Tiere exzitationslos getötet.

Zunächst wurde eine Thorakotomie durchgeführt, die Aorta distal des Aortenbogens abgeklemmt und durch die Herzwand ein Katheter in die linke Kammer eingebracht. Als Abfluss diente ein kleiner Schnitt im rechten Auriculum cordis.

Darauf wurde mit 0,9 % Natriumchlorid-Lösung gespült. Dieser war als Antikoagulant Heparin (15.000 IE) beigemischt worden. Anschließend wurde mit Karnovsky-Lösung perfundiert und somit der Bereich des Kopfes fixiert. Um einen konstanten Perfusionsdruck zu gewährleisten, wurden die Flüssigkeitsbehälter etwa 120 cm über dem Operationsfeld aufgehängt. Zur Vermeidung einer Embolie wurde das gesamte System zuvor entlüftet.

Anschließend wurde auch auf der rechten Seite eine Bulla-Osteotomie durchgeführt und die Cochlea durch das runde Fenster mit einer Kanüle mit derselben Lösung nachfixiert (vgl. Abb. 6). Ebenso wurde auf der linken Seite verfahren. Um einen Flüssigkeitsabfluss durch das ovale Fenster zu erreichen, wurde rechtsseitig in den meisten Fällen der Stapes zerstört.

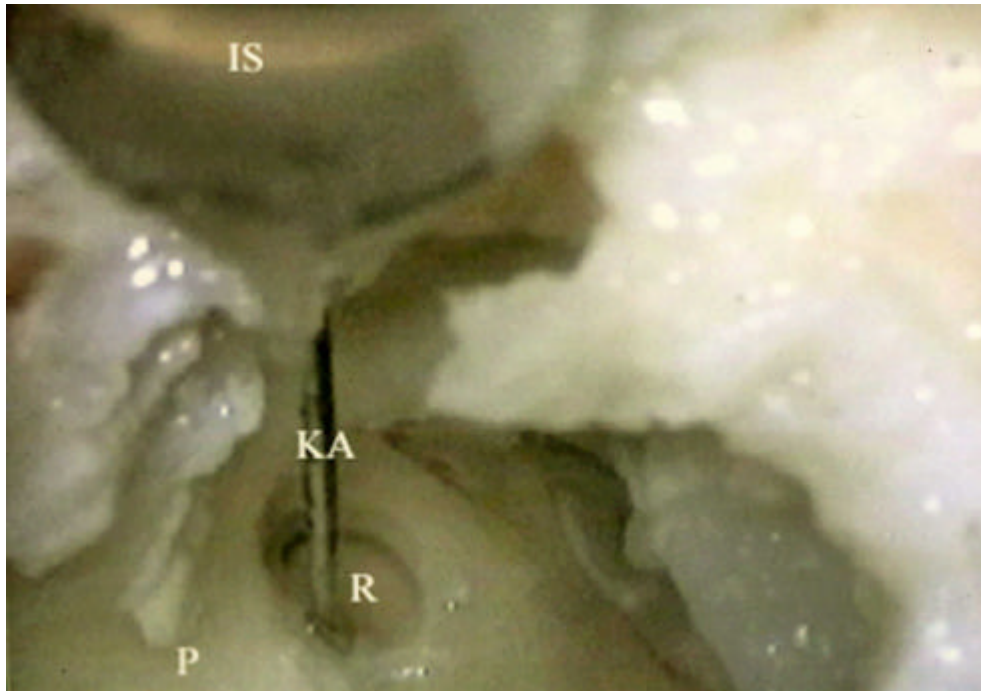


Abbildung 6: Perforation des rechten runden Fensters zur Perfusion

P = Promontorium, R = rundes Fenster, KA = Kanüle, IS = Spritze

2.6.2 Entnahme der Felsenbeine

Bei der überwiegenden Anzahl der Tiere wurden die Felsenbeine mit einer handelsüblichen Bogensäge beidseitig herausgetrennt. Sie wurden sofort in mit Fixationslösung gefüllte Behälter eingelegt und für 24 Stunden bei 4° C gelagert.

Bei fünf Tieren wurde die Heraustrennung mit einer oszillierenden Säge vorgenommen. Die Führung des stark vibrierenden Gerätes erwies sich jedoch als schwierig und führte zu Destruktionen im Innenohrbereich, so dass schließlich darauf verzichtet wurde.

Die Außenohren wurden postoperativ im Bereich des äußeren Gehörganges ca. 3 - 4 cm lateral des Trommelfells und lateral des das Mikrophon tragenden Teils abgetrennt und in Behälter mit gepuffertem Formaldehyd (4%) überführt.

2.7 Postoperative Präparation und Morphometrie

An allen Hunden wurden ein bis vier Tage post mortem beidseits Messungen im Mittel- sowie Außenohrbereich durchgeführt.

Auf der rechten Seite wurden zunächst die Dimensionen des Mittelohres vermessen. Darauf wurden die noch intakten Ossikel mittels Sichel- und Rundmessern sowie feinen otologischen Instrumenten herausgelöst und deren Maße erhoben.

Aus den Felsenbeinen der implantierten Seite wurden die Komponenten des Hörgerätes herauspräpariert. Aufgrund von Osteoneogenese und Granulationsgewebe im Mittelohr waren verlässliche Messungen hier nicht mehr möglich.

Nachdem das Mikrophon aus dem umliegenden Gewebe gelöst worden war, fand eine Vermessung des äußeren Gehörganges und der Ohrmuschel statt. Das Implantatlager wurde danach abgesetzt und weiter für die histologische Beurteilung aufbereitet.

Die Messungen der Fenestrae ovales erfolgte in einigen Fällen nach drei bis vier Wochen. Der die Cochlea tragende Teil des Knochens wurde erst vom Mittelohr getrennt und dann vollständig mit EDTA entkalkt. Die Maße des jeweils erhaltenen Stapes wurden ebenfalls zu diesem Zeitpunkt erhoben. Darauf wurde die Cochlea für eine rasterelektronenmikroskopische Untersuchung aus dem Felsenbein herauspräpariert. Die Morphologie des Corti Organs sollte Aufschluss darüber geben, ob das Implantat Schädigungen im Innenohr hervorgerufen hat.

Alle Arbeitsschritte wurden fotografisch und schriftlich dokumentiert. Zum Erheben der Maße wurden Millimeterpapier und ein Messgerät der Fa. Leibinger benutzt.

Die Lokalisation der erhobenen Dimensionen ist in Abbildung 7 dargestellt, hinsichtlich der Messergebnisse wird auf die Tabellen 4 bis 8 verwiesen.

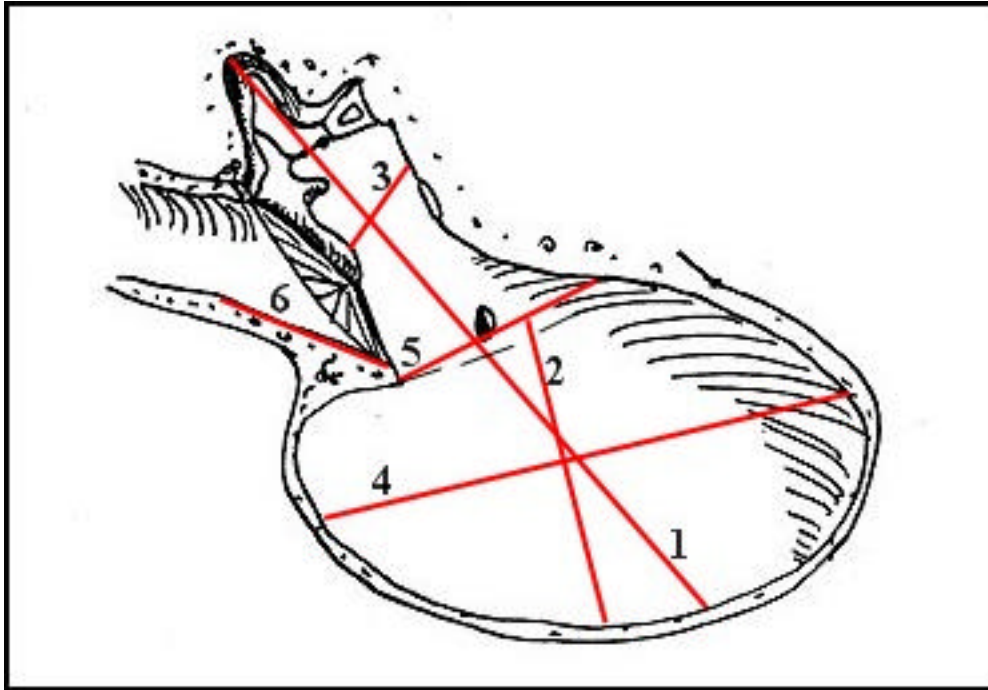


Abbildung 7: Darstellung der Messebenen

- 1: Bullawand – Recessus epitympanicus; 2: Bullahöhe;
 3: Hammergriff – Promontorium; 4: Größter Bulladurchmesser;
 5: Durchmesser am Bullaeingang; 6: Längenunterschied der Wände des Meatus acusticus externus durch schräge Einfassung des Trommelfells

2.8 Lichtmikroskopische Aufbereitung

Intraoperativ genommene Probeexzisionen, die in gepuffertem Formaldehyd (4 %) fixiert wurden, sowie aus den bereits fixierten makroskopischen Präparaten entnommene Proben wurden, falls erforderlich, in EDTA entkalkt, mit Aqua bidest. gespült, in einer aufsteigenden Ethanolreihe (25%, 50%, 75%, 90%, 100%) dehydriert und in einem Einbettautomaten in Paraffin eingebettet.

Es wurden Semidünnschnitte (5 μm) mit einem Schlittenbahn-Mikrotom angefertigt. Anschließend erfolgte eine HE-Standardfärbung nach MEIER (BÖCK, 1989). Die Schnitte wurden mit einem Durchlichtmikroskop (Zeiss Axioskop) ausgewertet.

2.9 Ausgusspräparat

Von der rechten Cavitas tympanica eines nicht implantierten Foxhoundkopfes wurde ein Ausgusspräparat des Mittelohres erstellt. Dieses erfolgte mittels Biodur E20 mit Härter (Fa. G. v. Hagens). Der Kunststoff wurde durch ein Loch in der Membrana tympani in das Mittelohr gefüllt.

Nach seiner Aushärtung wurden die umliegenden Strukturen mit HCl entfernt.

Das Ausgusspräparat fand Verwendung in der Planung des operativen Zugangs zu den Strukturen des Mittelohrs und der Befestigung der Implantatkomponenten.

2.10 Mazeration eines Foxhoundschädels

Der Schädel eines nicht implantierten Foxhounds wurde, nachdem ihm die Haut abpräpariert worden war, in mit handelsüblichem Waschmittel versetztem Wasser gekocht. Fleisch und Weichteile ließen sich danach problemlos entfernen.

Der Schädel wurde zusätzlich mit Wasserstoffperoxid gespült.

2.11 Humane Ossikel

Von Prof. Weber, damals Oberarzt in der HNO-Klinik der Medizinischen Hochschule Hannover wurden humane Ossikel zur Verfügung gestellt, um eine bildhafte Gegenüberstellung zu denen des Foxhound zu ermöglichen. Die Ossikel wurden im Rahmen von Operationskursen und experimentellen Felsenbeinstudien in Zusammenarbeit mit dem Anatomischen Institut der Medizinischen Hochschule Hannover gewonnen. Der Präparator war dabei jeweils Prof. B.P. Weber.

2.12 Verwendete Lösungen und Chemikalien

2.12.1 Gepuffertes Formaldehyd

Komponenten	Menge
Aqua dest.	900 ml
Natriumhydrogenphosphat, wasserfrei	4 g
Dinatriumhydrogenphosphat, wasserfrei	6,5 g
Formol (35%)	100 ml

Tabelle 2: Gepuffertes Formaldehyd

2.12.2 Natrium-Cacodylat-Puffer (0,2 M)

1. 8,56 g Dimethylarsinsäure- Natriumsalz in 200 ml Aqua bidest. gelöst
2. 1. mit 0,1 N HCl auf einen pH von 7,4 eingestellt.

2.12.3 Karnovsky- Fixierung

Komponenten	Menge auf 100 ml
CaCl ₂ x H ₂ O	25 mg
Glutaraldehyd (25%)	10 ml
Formaldehyd (8%)	25 ml
Aqua bidest.	15 ml
Na-Cacodylat-Puffer (0,2 M, pH 7,3)	50 ml

Tabelle 3: Karnovsky- Fixierung

2.12.4 EDTA

1. 34g Trispuffer in 1000 ml Aqua bidest. gelöst.
2. 100 g Titriplex III gelöst in 1.
3. pH mittels Titrierung mit konzentrierter Natronlauge zwischen 7,0 und 7,4 eingestellt.

2.13 Bilddokumentation

2.13.1 Videoaufnahmen und -bearbeitung

Während der Operationen sowie einiger Präparationsschritte wurden Videobilder mit einer Chipkamera, die auf einem OP-Mikroskop der Firma Zeiss (OP-M 1) montiert war und einem Super-VHS-Rekorder (Panasonic NV-HS 800) auf FUJI Super-VHS-Kassetten festgehalten.

Die otendoskopischen Bilder wurden mit einem Otoskop über den gleichen Videorekorder aufgenommen.

Die Generierung von Standbildern und ihre Bearbeitung erfolgte an einem APPLE Power Mac 8500/150. Dabei wurden die Programme „Videoplayer“ und „Adobe Photoshop 3.04“ verwendet.

2.13.2 Fotografien

Die fotografische Dokumentation erfolgte über eine am OP-Mikroskop montierte Olympus OM-4 Ti Spiegelreflexkamera. Mit dieser Kamera wurden ebenfalls Aufnahmen der histologischen Schnitte angefertigt. Es wurden Kodak Ektachrome 160 ET Diafilme verwendet.

Einige Präparationsschritte wurden zusätzlich freihändig mit einer Yashica „Dental Eye“ Spiegelreflexkamera auf Kodak Ektachrome 100 HC Diafilmen festgehalten.

3 Ergebnisse

3.1 Anatomie des Außenohres: Mensch

3.1.1 Auricula

Die Ohrmuschel liegt seitlich am Kopf zwischen Kiefergelenk und Processus mastoideus. Sie umgreift von okzipital die Mündung des äußeren Gehörgangs und hat die Form eines flachen Trichters, dessen konkave Seite dem Schädel abgewandt ist. Sie besteht aus einer mit Haut bedeckten Knorpelplatte. Dieser Knorpel ist elastisch und gewährleistet Formstabilität. Lediglich das Ohrläppchen, eine einfache Hautduplikatur, ist knorpelfrei.

Der äußere, freie Rand der Ohrmuschel, die Helix, ist gegen die an der Mündung des Meatus acusticus externus gelegene Muschelhöhlung (Concha) umgekrepelt, und sein vorderer Endabschnitt, der Helixschenkel (Crus helicis), zieht im Bogen über und gegen diese Strukturen. Etwa parallel zum Helixbogen verläuft näher zur Concha die Anthelix, ein Wulst, der sich ebenfalls etwa halbkreisförmig um diese legt. In seinem vorderen Teil spaltet er sich in zwei Schenkel - die Crura anthelicis, die ihrerseits die Fossa triangularis begrenzen, während sich an seinem hinteren Ende, direkt über dem Ohrläppchen eine Vorwölbung, der Antitragus, befindet. Ihm gegenüber sitzt ein die Mündung des äußeren Gehörganges nach hinten etwas überragender Höcker, der Tragus. Diese beiden Strukturen werden durch die Incisura intertragica getrennt, während die Incisura auris anterior zwischen Tragus und Helix liegt. Die Rinne zwischen Helix und Anthelix wird als Scapha bezeichnet. Die Concha auriculae wird vom Crus helicis, der Anthelix, sowie dem Tragus und Antitragus begrenzt.

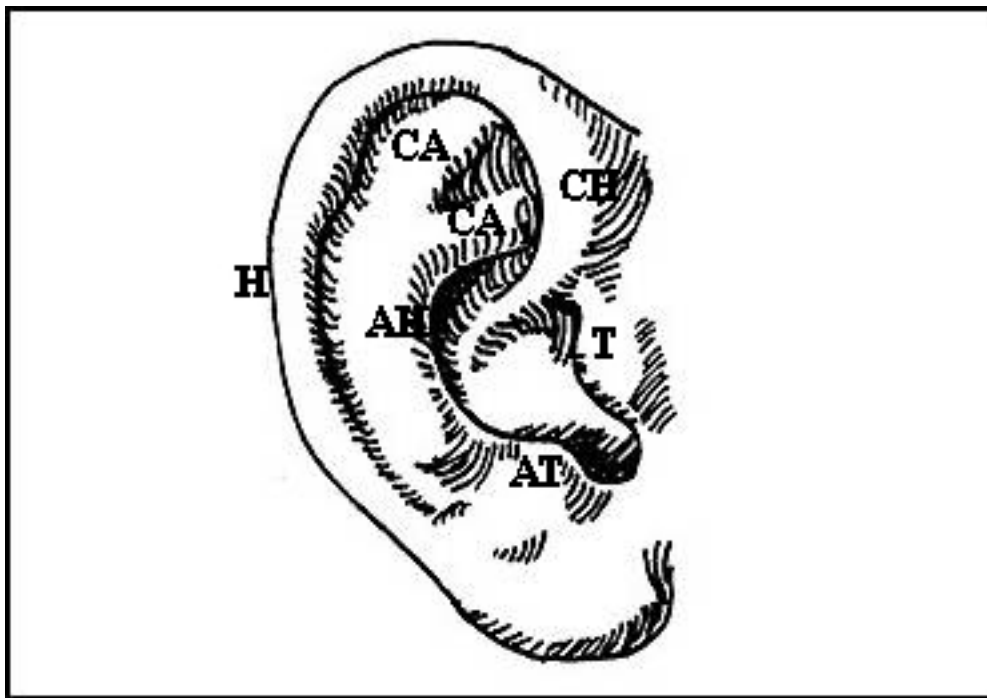


Abbildung 8: Auricula (nach FENEIS, 1988)

*H = Helix, CH = Crus helicis, AH = Anthelix, CA = Crus anthelicis,
T = Tragus, AT = Antitragus*

3.1.2 Meatus acusticus externus

Der äußere Gehörgang verläuft von seiner lateralen Mündung nach vorne oben, bis er medial das Trommelfell erreicht. In seinem Verlauf wird er im lateralen Drittel von Knorpel umgeben, während die medialen zwei Drittel im Knochen des Os temporale liegen. Sein Durchmesser wird als kreisrund bis oval beschrieben (BECK, 1992) und ändert sich während des Verlaufs. So beträgt er am Eingang zum knorpeligen Teil 5 - 7 mm, weitet sich dann um etwa 4 mm, und verengt sich am Übergang zum knöchernen Teil wieder. Es folgen eine abermalige Erweiterung und eine erneute Verjüngung im inneren Drittel. Vor dem Trommelfell weitet sich der Gehörgang noch einmal. Durch die schräge Lage des Trommelfells ergeben sich unterschiedliche Wandlängen: So ist die vordere Wand am längsten, die untere 1 mm, die hintere 5 mm und die obere 6 mm kürzer. Die Angaben über die Länge des gesamten Ganges schwanken zum Teil erheblich. BECK (1992) geht von einer Durchschnittslänge von lediglich 24 mm aus, während BAST (1949) im Schnitt 36 mm gemessen hat. Dieser Wert wird auch von SCHIEBLER (1991) angegeben.

Die Haut, die den Meatus acusticus externus auf seiner vollen Länge auskleidet, nimmt in ihrer Schichtdicke zum Trommelfell hin ab. Sie verbindet sich im knöchernen Teil schließlich mit dem

Periost. Die im gesamten knorpeligen Teil vorhandenen Drüsen und Wollhaare fehlen im knöchernen Teil weitgehend.

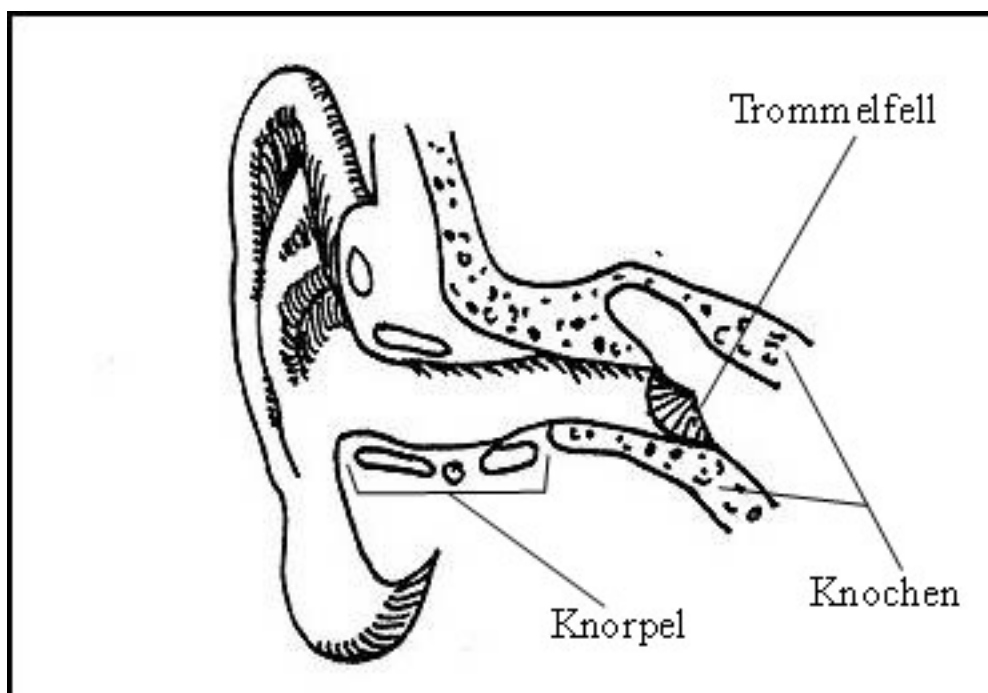


Abbildung 9: Meatus acusticus ext. (nach FENEIS, 1988)

3.1.3 Membrana tympani

Das Trommelfell bildet die mediale Grenze des äußeren Gehörgangs. Es ist im rinnenförmigen Sulcus tympanicus eingelassen, wobei es sich, bis auf den Bereich der Pars flaccida, durch seinen verdickten Rand, den Anulus fibrosus, scharf von der Gehörgangswand abhebt. Seine Form ist elliptisch. Der horizontale Durchmesser ist mit durchschnittlich 7,9 mm größer als der vertikale, der 7,5 mm beträgt. Die Membran ist so geneigt, dass die laterale Fläche nach vorne unten zeigt, da der obere und hintere Teil etwa 6 mm weiter außen liegen als der untere und vordere. Ihre Form ist die eines Trichters, dessen konvexe Seite nach medial gewandt ist. Die Spitze dieser Konvexität, der Umbo, wird vom Ansatz des Hammergriffs gebildet.

Das Trommelfell wird in zwei Teile eingeteilt: Während die Pars flaccida oder Shrapnell-Membran nur einen kleinen Teil oberhalb des Hammers umfasst, wird der Großteil der Membran zur gespannten Pars tensa gerechnet. Mit dieser ist der Hammergriff fest in der Stria maellaris verwachsen. Der Trommelfellnabel (Umbo), die am tiefsten eingezogene Stelle der Membran, befindet sich an ihrem unteren Ende.

Das Trommelfell ist dreischichtig aufgebaut. Es besteht aus einer äußeren Kutisschicht, einer Lamina propria, die für die Verdickung im Anulus fibrosus verantwortlich ist, und der inneren Schleimhautschicht. Diese überzieht den Hammergriff, der eine bindegewebige Verbindung mit der Lamina propria eingeht.

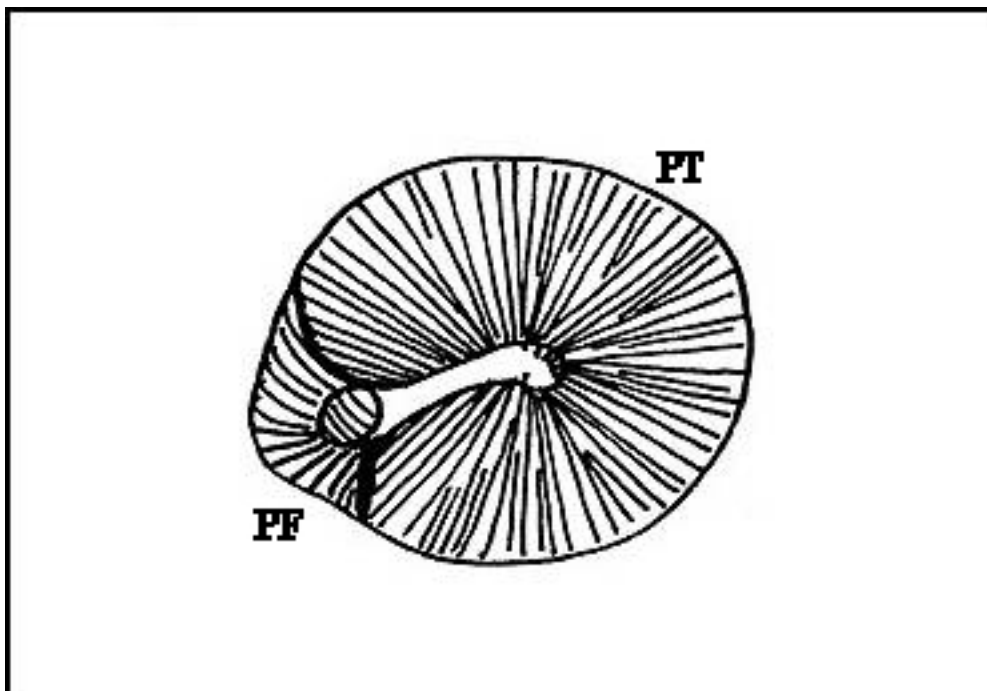


Abbildung 10: Trommelfell (nach FENEIS, 1988)

PT = Pars tensa, PF = Pars flaccida

3.2 Anatomie des Außenohres: Foxhound

3.2.1 Auricula

Wie auch bei anderen Jagdhunden wird die Ohrmuschel des Foxhound aufgrund ihrer Lageform zu den schlaffen Hängeohren gezählt. Um auf die Concha blicken zu können, muss zuerst die Auricula angehoben werden. Die Beschreibung in dieser Arbeit bezieht sich aus diesem Grunde auf eine in aufrechter Position gehaltene Ohrmuschel (vgl. Abb. 11). Somit kann von einem vorderen und hinteren Muschelrand gesprochen werden. Der Muschelrücken oder die konvexe Fläche der Pinna zeigt nach medial, die konkave oder innere nach lateral.

Die Form der Ohrmuschel wird vom elastischen Cartilago auriculae bestimmt und hat beim Foxhound Ähnlichkeit mit einer Tüte, wobei die Spitze (Apex auriculae) stark abgerundet ist. Der Knorpel ist weich und biegsam, wird aber in seinem proximalen Bereich, in dem der Vorder- und Hinterrand aufeinander treffen und eine Röhre bilden, dicker und somit auch steifer.

Der gesamte freie Rand der Ohrmuschel wird als Helix, die etwas oberhalb der Mündung des Meatus acusticus externus liegende Querleiste als Anthelix bezeichnet. Das von diesen Strukturen auf der konkaven Seite eingerahmte Dreieck ist die Scapha. Ihre Höhe beträgt durchschnittlich ca. 15 cm, schwankt aber in den Maßen von 12 - 17 cm. Am vorderen Muschelrand, ungefähr auf Höhe der Grenze zwischen dem proximalen und mittleren Drittel befindet sich eine Spitze, die Crus helices distalis, unterhalb deren die Helix in zwei dünne Knorpelleisten, die Crura helices medialis und lateralis, mündet. Diese beiden Leisten ziehen nach lateral und hinten. Die Crus medialis trifft lateral der Mündung des äußeren Gehörganges auf den Tragus, von dem sie durch die Incisura tragohelices getrennt wird. Der eine unregelmäßig rechteckige Form aufweisende Tragus wiederum wird kaudal durch die Incisura intertragica vom Antitragus getrennt. Dieser hat eine schmale und längliche Form und steht mit dem Hinterrand der Helix in Verbindung. Er wird in einen medialen und einen lateralen Ast unterteilt, wobei der laterale Ast die äußere Wand einer Tasche bildet, deren mediale Wand aus Haut besteht. Proximal der unteren Begrenzung der Scapha, dem Antitragus, liegt die Muschelhöhle. Auch hier lässt sich weiterhin das Modell der Tüte anwenden, ihr Durchmesser in Richtung der Mündung des äußeren Gehörgangs nimmt kontinuierlich ab, bevor sie schließlich über das Cavum conchae in den Meatus acusticus externus mündet.

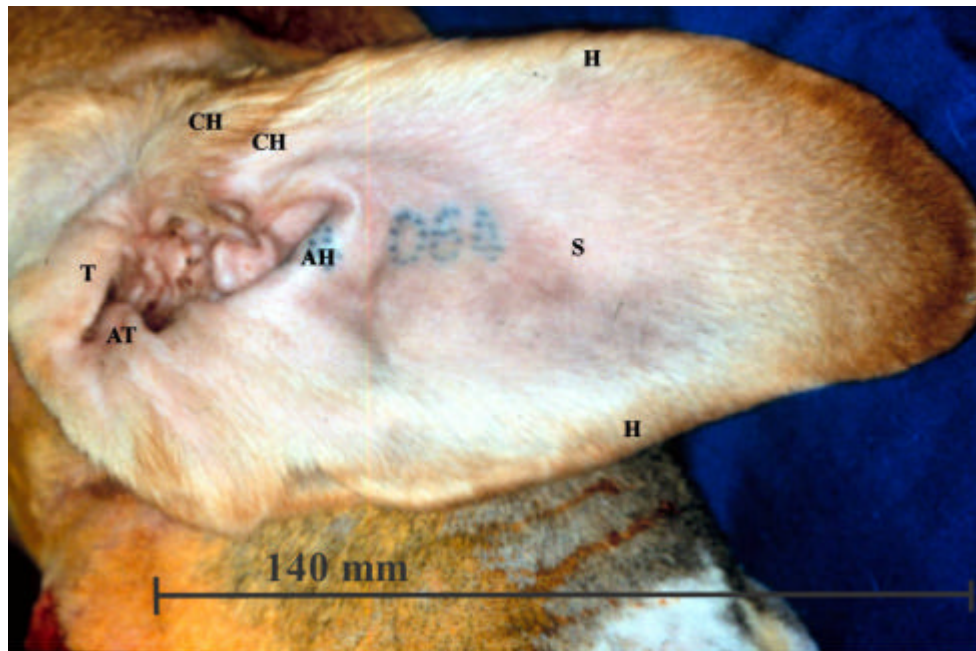


Abbildung 11: Auricula *H = Helix, CH = Crura Helicis, S = Scapha,*
AH = Anthelix, T = Tragus, AT = Antitragus

Die äußere Muschelhaut ist kurz und dicht behaart, während sich auf der inneren Seite nur gröbere und längere Haare (Tragi) befinden. Diese sollen das Eindringen von Fremdkörpern in den Meatus acusticus externus verhindern. Die Haare werden gegen die Concha spärlicher und zarter. Im Cavum conchae sind nur noch wenige, feine Härchen vorhanden. Im Gegensatz zum Muschelrücken ist die innere Muschelhaut nicht pigmentiert (GETTY, 1956).

3.2.2 Meatus acusticus externus

Der äußere Gehörgang des Foxhound ist 74 ± 5 mm ($n = 34$) lang. Er lässt sich in zwei ungefähr gleichlange Abschnitte unterteilen. Von seiner Mündung in das Cavum conchae zieht der vertikale Teil nach ventral und leicht rostral und medial, bevor er nach einem scharfen Knick von durchschnittlich $134 \pm 3,5^\circ$ (vgl. Abb. 12) in den horizontalen Abschnitt übergeht, der medial zum Trommelfell zieht. Die Länge des vertikalen Anteils beträgt 39 ± 4 mm, die des horizontalen 35 ± 2 mm.

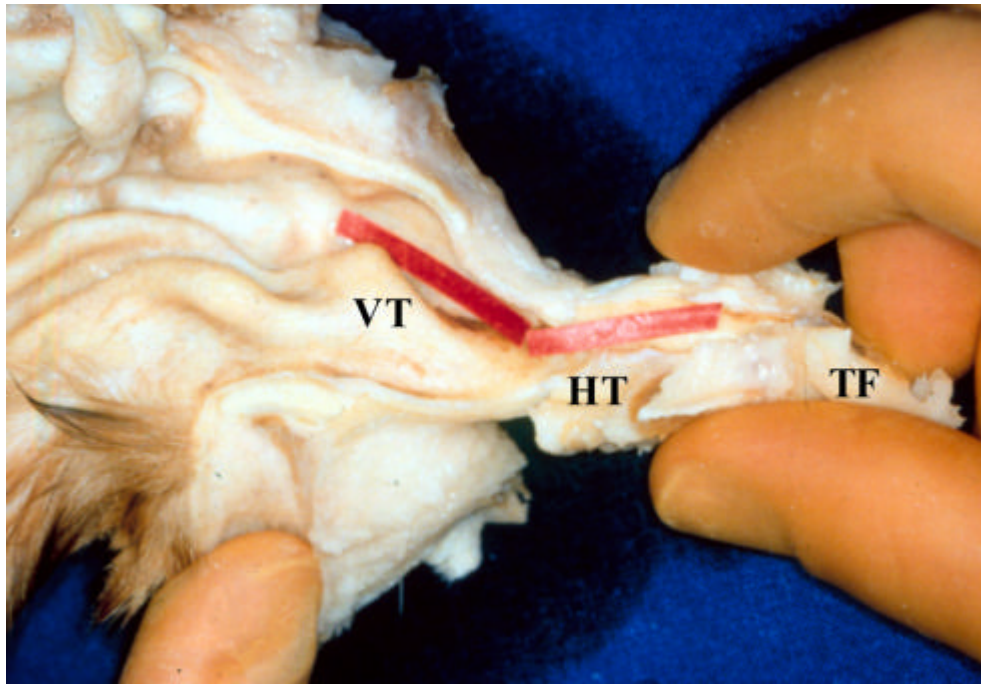


Abbildung 12: Meatus acusticus ext., Darstellung des Winkels

*VT = Vertikaler Anteil des Meatus acust. ext., HT = Horizontaler Anteil,
TF = Trommelfell*

Der Querschnitt des Gehörganges ist distal oval bis bohnenförmig, weiter medial oval bis rund. Sein Durchmesser nimmt kontinuierlich ab: Er beträgt in der Mitte des vertikalen Abschnittes 22 mm x 14 mm, in der Mitte des horizontalen 8 mm x 5 mm. Kurz vor seinem medialen Ende ist er an der engsten Stelle noch etwa einen Millimeter schmaler und weitet sich dann am Trommelfell leicht auf (vgl. Abb. 14). Durch die schräge Lage der Membran ist die untere Wand fast $8 \pm 0,6$ mm länger als die obere (vgl. Abb. 13 und 17).

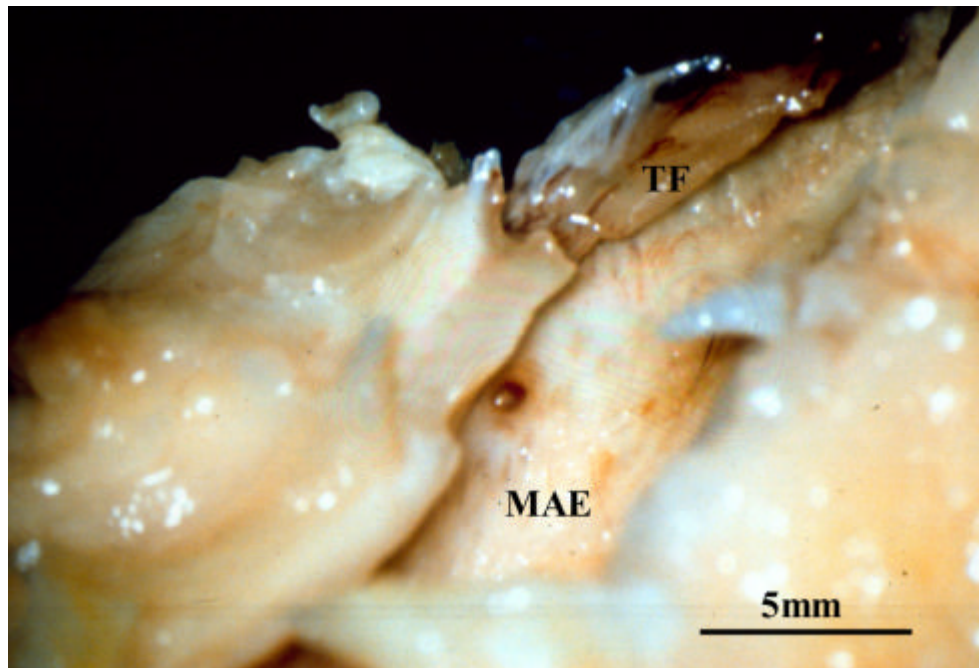


Abbildung 13: Meatus acusticus ext. mit knöchernem Anteil

MAE = Meatus acusticus ext., TF = Trommelfell

Der größte Teil des Gehörganges wird knorpelig begrenzt. Nur ein etwa 4 - 6 mm langer Abschnitt ist von einem knöchernen Ring umgeben, der zur Pars tympanica des Felsenbeins zu zählen ist.

In seinem gesamten Verlauf wird der Meatus acusticus externus von nicht pigmentierter Haut ausgekleidet, die zum Trommelfell hin zarter wird. Auch die Anzahl der dort vorhandenen Haare nimmt nach medial hin ab. Im Corium der Haut befinden sich Talg- und apokrine Schweißdrüsen, die ein fett- und pigmenthaltiges Sekret, das Cerumen, produzieren (GETTY, 1993).

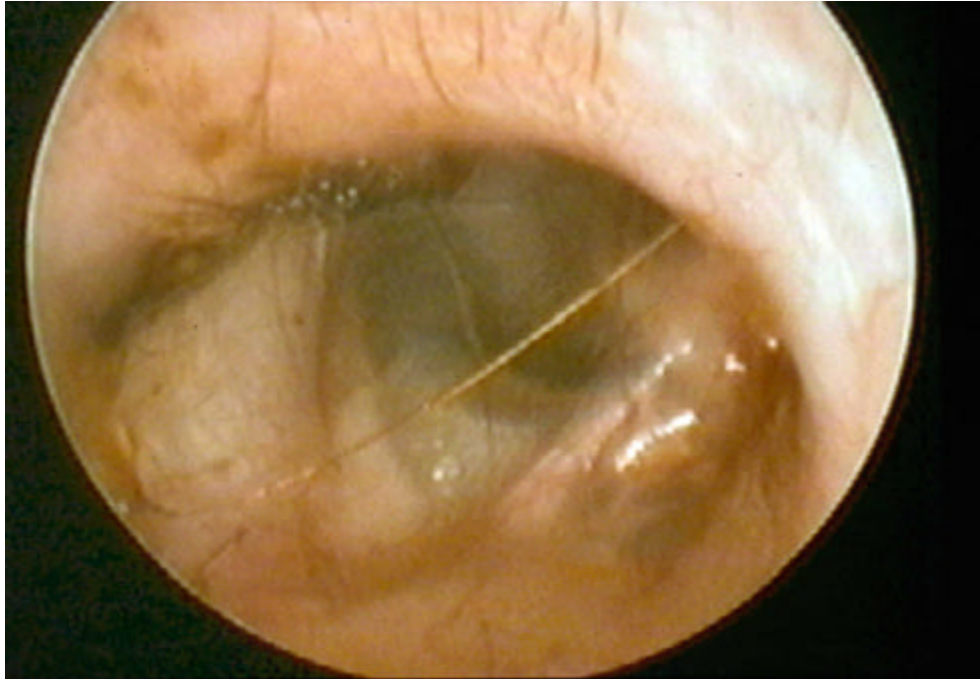


Abbildung 14: Meatus acusticus ext., Endoskopie, Blick auf die engste Stelle des Meatus acusticus ext.

3.2.3 Membrana tympani

Das Trommelfell ist eine dünne, häutige Membran, die die mediale Grenze des äußeren Gehörganges bildet und damit das äußere vom mittleren Ohr trennt. Es ist im Anulus tympanicus eingespannt und durch den Anulus fibrocartilagineus befestigt. Diese randständige Verdickung weist nur im dorsalen Bereich eine kleine Lücke auf. Diese wird von der Pars flaccida geschlossen, die einen kleinen, dreieckigen Teil des Trommelfells ausmacht, der sich zwischen dem Processus lateralis mallei und dem Membranrand erstreckt. Der verbleibende Teil des Trommelfells wird als Pars tensa bezeichnet. Der Umriss des Foxhound-Trommelfells ist elliptisch bis andeutungsweise bohnenförmig. Der längere Durchmesser, der im Durchschnitt $10,6 \pm 0,9$ mm beträgt, erstreckt sich von rostral nach laterodorsocaudal, während der kürzere ($7,3 \pm 0,5$ mm) nahezu vertikal steht. Diese Maße ergeben eine Fläche von etwa 61 mm^2 (vgl. Abb. 16). Die laterale Wand der Membran zeigt nach vorne unten, während die mediale nach hinten oben gerichtet ist. Das Trommelfell ist sehr schräg gestellt, so dass sich bei den Wänden des äußeren Gehörganges Längenunterschiede von bis zu 8 mm ergeben (vgl. Abb. 13). Die Form der Membran erinnert an einen nach innen eingezogenen Trichter. Die am tiefsten eingezogene Stelle wird als Umbo bezeichnet (vgl. Abb. 15). Von hier aus kann man von

lateral in dorsocaudaler Richtung die Stria mallearis verfolgen, den durch die Membran scheinenden Hammergriff, der auf die Pars flaccida zuläuft.

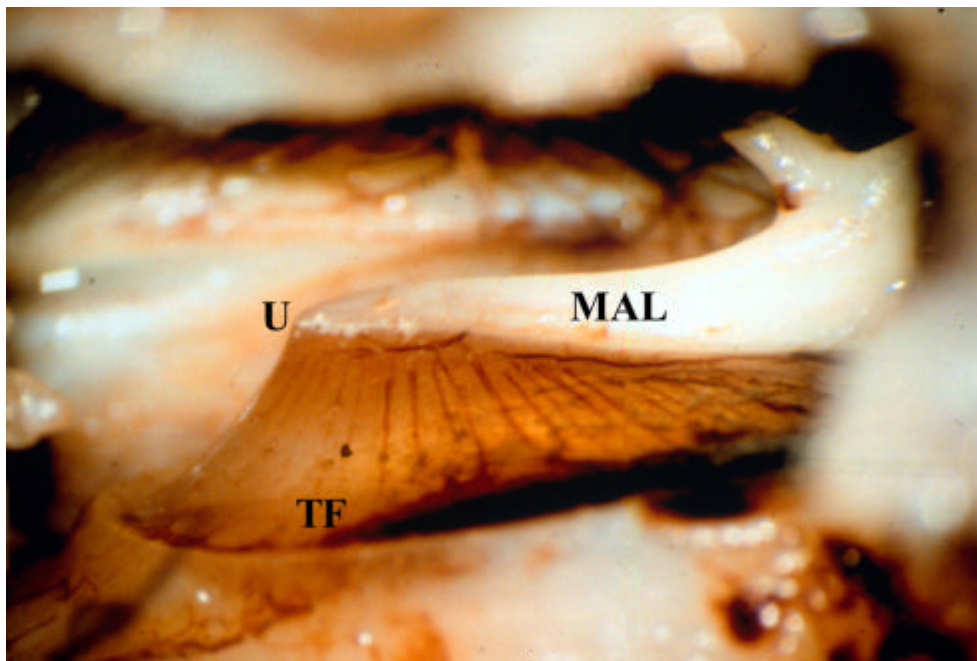


Abbildung 15: TF = Trommelfell, Pars tensa; U = Umbo, MAL = Hammergriff

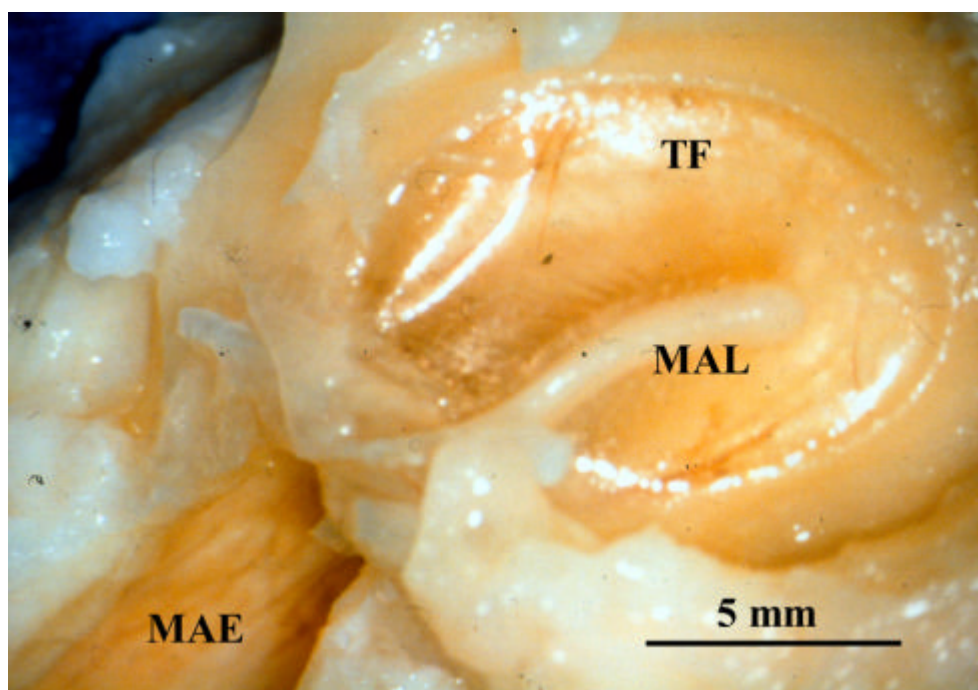
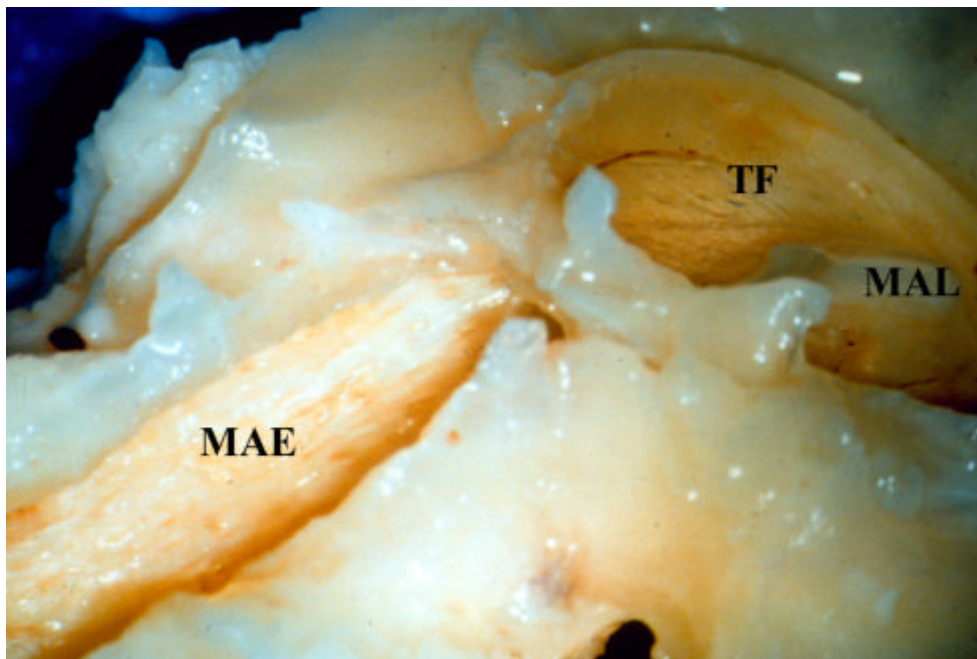


Abbildung 16: TF = Trommelfell, MAL = Hammergriff, MAE = Meatus acusticus ext.

Das Trommelfell besteht aus drei Schichten. Dem Stratum cutaneum, einer pigmentlosen Hautschicht, die weder Haare noch Drüsen enthält, dem Stratum proprium, das aus einer Radiär- und einer Zirkulärfaserschicht aufgebaut ist, und einer inneren Schleimhautschicht, dem Stratum mucosum der

Paukenhöhle. Dieses überzieht den Hammergriff und ist mit dem Stratum proprium bindegewebig verbunden (DYCE, 1991).



*Abbildung 17: Trommelfell, Verdeutlichung der schrägen Einfassung
Bezeichnungen s. Abb. 16*

3.3 Anatomie des Mittelohres: Mensch

Das Mittelohr ist ein System lufthaltiger, miteinander in Verbindung stehender Räume. Der zentrale Raum, auf den in dieser Arbeit das Augenmerk gerichtet wird, ist die Paukenhöhle. Sie liegt zwischen dem äußeren Ohr und der Schläfenbeinpyramide. Ferner gehören dazu die Tuba auditiva, die vorne medial die Verbindung zum Pharynx bildet, und das Antrum mastoideum, über das die Paukenhöhle hinten oben mit den Cellulae mastoideae, die ebenfalls zum Mittelohr gerechnet werden, kommuniziert.

3.3.1 Cavitas tympanica

Die Form der Pauke ist grob quaderförmig, wobei ihr unterer Teil, analog zur Lage des Trommelfells, weiter medial liegt als der obere. Sie ist etwa 20 mm hoch und 10 mm lang (SAITO, 1971; SCHIEBLER, 1991). Ihre Ausdehnung von lateral nach medial beträgt an der engsten Stelle zwischen dem Umbo des Trommelfells und dem Promontorium 2,5 mm, sonst 5 - 7 mm (BECK, 1992).

Die Paukenhöhle wird in drei Abschnitte unterteilt: das Hypotympanon, das sich unter dem Niveau des Trommelfells befindet, das Mesotympanon direkt medial des Trommelfells und als oberer Teil

das Epitympanon, zu dem u.a. der Recessus epitympanicus gehört, der den Hammerkopf und den Ambosskörper aufnimmt (vgl. Abb. 18).

Es werden 6 Wände als Begrenzungen des Tympanons unterschieden. Die obere Wand wird von einer dünnen Knochenplatte gebildet, die die Pauke von der mittleren Schädelgrube abgrenzt. Der Boden besteht ebenfalls aus Knochen, unterhalb dessen sich der Bulbus venae jugularis internae befindet. Die hintere Wand grenzt an den Processus mastoideus. In ihrem oberen Teil öffnet sie sich zum Antrum mastoideum, über das die Verbindung zu den Cellulae mastoidae hergestellt wird. Darunter befindet sich die Eminentia pyramidalis, ein knöcherner Vorsprung, aus dem die Sehne des dahinterliegenden M. stapedius zum Stapesköpfchen zieht. Die vordere Wand ist in ihrem unteren Teil knöchern, während sie im oberen das Ostium tympanicum der Ohrtrumpete beinhaltet. Die laterale Wand wird weitgehend vom Trommelfell gebildet, und ist ober- und unterhalb davon knöchern. In der medialen Wand imponiert ein durch die dahinter liegende Basalwindung der Cochlea hervorgerufener Vorsprung, das Promontorium. Oberhalb davon befindet sich das ovale Fenster (Fenestra vestibuli), das vollständig durch die Fußplatte des Stapes verschlossen ist. Sein Längendurchmesser beträgt 3,5 mm bis 4 mm, seine Breite 1,5 - 2,5 mm (BECK, 1992). Darüber ist der Vorsprung des knöchernen Kanals des N. facialis, hinter dem der Wulst des horizontalen Bogenganges in die Paukenhöhle vorspringt. Unterhalb des Promontoriums liegt die Nische des runden Fensters (Fenestra cochleae). Die Membran des Fensters befindet sich in einer Tiefe von 0,65 mm bis 2 mm und hat einen Querdurchmesser von 1,3 mm sowie einen Längsdurchmesser von 1,2 - 1,4 mm (DAVIDSON, 1968; BECK, 1992).

In der Paukenhöhle befinden sich die Gehörknöchelchen, Bänder, Schleimhautfalten und die Binnenohrmuskeln sowie ein Abschnitt der Chorda tympani.

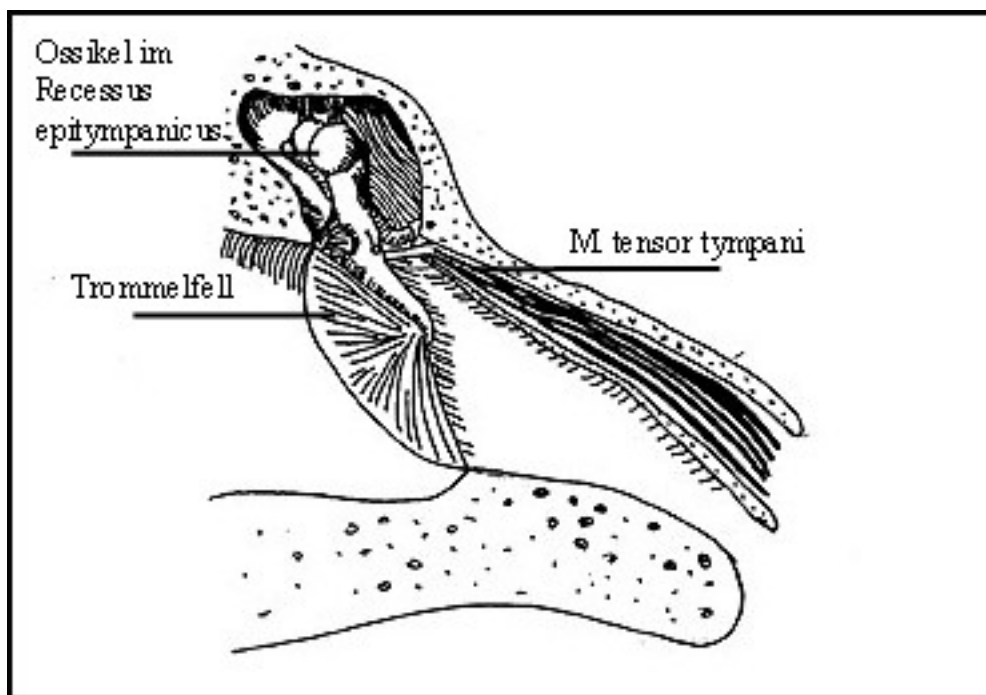


Abbildung 18: *Cavitas tympanica* (nach FENEIS, 1988)

3.3.2 Ossicula

Die Kette der drei Gehörknöchelchen Hammer, Amboss und Steigbügel überträgt die Schwingungen des Trommelfells auf den perilymphatischen Raum des Labyrinths.

Der Hammer (Malleus) wird unterteilt in Kopf, Hals, Griff und zwei Fortsätze. Der Kopf liegt oberhalb des Niveaus des Trommelfells im Recessus epitympanicus. An seiner Rückseite ist die sattelförmige Gelenkfläche, über die er mit dem Amboss in Verbindung tritt. Der Hammergriff ist an der Stria mallearis in das Trommelfell eingewebt. Der längere Fortsatz (Processus anterior) steckt in der Fissura petrotympanica, während der kürzere Processus lateralis in Richtung Trommelfell zeigt. Die Länge des Hammers beträgt 7 mm bis 9 mm, wobei ca. 5 mm allein auf den Griff entfallen (BECK, 1992).

Der Amboss (Incus) ähnelt in seiner Form einem Molaren mit zwei Wurzeln und lässt sich somit in einen Körper und einen langen sowie einen kurzen Schenkel unterteilen. Der nach vorne gerichtete Teil des Körpers (die „Krone“) ist über das Hammer-Amboss-Gelenk mit dem Hammer verbunden. Der kürzere, plumpere Schenkel (Crus breve) zieht vom Körper aus nach hinten, wo er mit der Rückwand des Tympanons verbunden ist. Das dünnere Crus longum ragt frei in die Pauke, wo es in seinem Verlauf nach unten medial hinter und annähernd parallel zum Hammergriff liegt. Es trägt an seiner Spitze, die nach medial gebogen ist, eine kleine Verdickung, den Processus lenticularis, über

den es mit dem Steigbügel artikuliert. Der Amboss ist gemessen an seinem langen Schenkel 6,8 mm, am Crus breve entlang 4,8 mm lang.

Der Name Steigbügel (Stapes) entspricht der Gestalt dieses Knochens. Er besteht aus einem Kopf, der mit dem Processus lenticularis des Ambosses artikuliert, einem kurzen Hals, zwei Schenkeln und einer Fußplatte. Der vordere Schenkel ist etwas kürzer, weniger gekrümmt und ein wenig dünner als der hintere. Beide besitzen an ihrer konkaven Seite eine Furche, den Sulcus stapedis, und inserieren in der Fußplatte, die einen bohnenförmigen Umriss hat. Durch sie wird das ovale Fenster vollständig verschlossen. Die Länge des Stapes schwankt zwischen 2,9 mm und 4 mm (BAST, 1949; DASS, 1966).

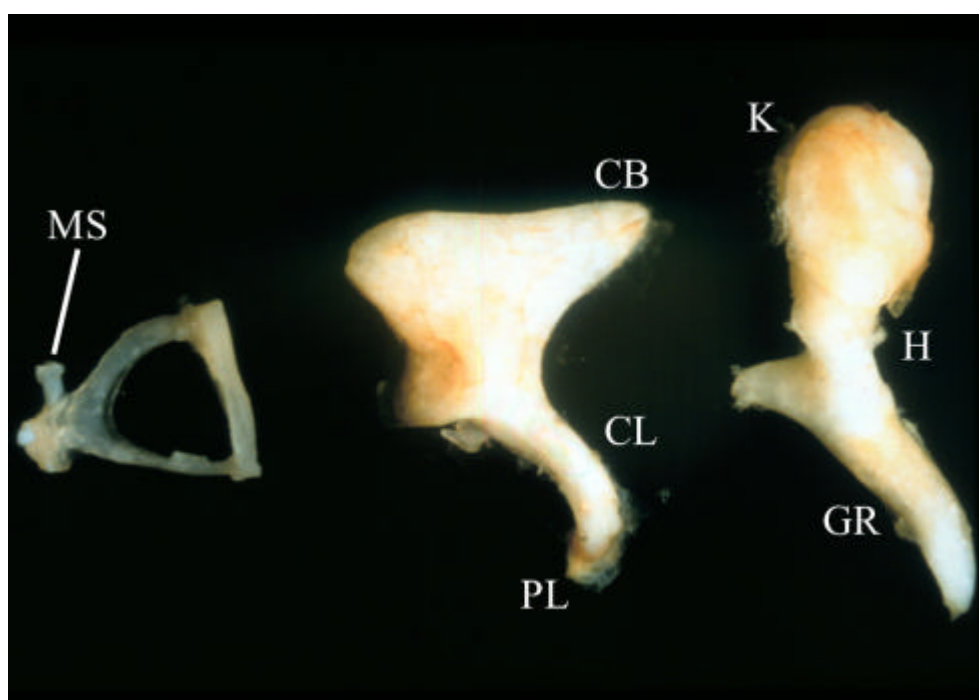


Abbildung 19: Ossikel des Menschen; v.l.n.r. Stapes, Incus, Malleus

K = Kopf, H = Hals, GR = Griff, CB = Crus breve, CL = Crus longum,

PL = Proc. lenticularis, MS = Sehne des M. stapedius

3.3.3 Bänder

Zusätzlich zu den Gelenkkapseln gibt es Bänder, die die Ossikel mit der Paukenwand verbinden und ihre Bewegung einschränken. So ist der Hammerkopf über das Lig. mallei superius mit dem Paukendach verbunden, während der Hals durch das Lig. mallei laterale mit dem knöchernen Teil der lateralen Wand oberhalb des Trommelfells kommuniziert. Ein weiteres Band, das Lig. mallei anterius, verbindet den Processus anterior mit der vorderen Wand. Am Amboss zieht das Lig. incudis

posterius vom Crus breve zur hinteren Wand und das Lig. incudis superius vom Körper zum Tegmen tympani. Die Fußplatte des Stapes ist durch das Lig. annulare stapedis im ovalen Fenster eingehängt (BAST, 1949).

3.3.4 Muskeln

Im Mittelohr befinden sich zwei quergestreifte Binnenohrmuskeln: Der M. tensor tympani entspringt am oberen Teil der Tuba auditiva und am vorderen Teil des Canalis musculotubularis. Seine Sehne zieht im rechten Winkel um den Processus cochleariformis und setzt im oberen Teil des Hammergriffs von medial an (vgl. Abb. 18). Bei Kontraktion wird das Trommelfell gespannt und gleichzeitig die Stapesplatte in das ovale Fenster gedrückt. Die Innervation erfolgt über den N. trigeminus. Der M. stapedius liegt hinter der Prominentia pyramidalis, aus der seine Sehne austritt und zum Stapeskopf zieht (vgl. Abb. 19). Er zieht den Stapeskopf nach hinten und hebt so das vordere Ende der Fußplatte nach außen. Der Muskel wird vom N. facialis innerviert (DEMANEZ, 1975).

3.3.5 Verlauf der Chorda tympani durch die Paukenhöhle

Die Chorda tympani gehört zum N. intermedius, dem nicht-motorischen Anteil des N. facialis. Sie führt in der Hauptsache afferente Geschmacksfasern.

Ihr Eintritt in die Paukenhöhle erfolgt durch den Canaliculus chordae tympani nahe dem Hinterrand des Trommelfells. Diesem liegt sie in ihrem Verlauf in anteriorer Richtung in den Plicae malleares an. Sie zieht zwischen dem Hammergriff und dem langen Ambossschenkel zur Fissura petrotympanica und verlässt dort das Tympanon.

3.3.6 Cellulae mastoideae

Im Schläfenbein, vor allem im Warzenfortsatz, findet sich ein System pneumatischer Zellen. Diese sind postnatal von der Paukenhöhle her durch Pneumatisierung entstanden. Sie münden in das Antrum mastoideum, das von hinten einen Zugang zum Recessus tympanicus der Paukenhöhle hat.

3.4 Anatomie des Mittelohres: Foxhound

3.4.1 Cavitas tympanica

Die Paukenhöhle ist ein lufthaltiger Raum, der zwischen dem äußeren Gehörgang und dem inneren Ohr liegt. Ihre Lage ist analog zu der des Trommelfells schräg, wobei der ventrale Teil weiter medial zum Liegen kommt als der dorsale (Vgl. Abb. 20). Die Form der Höhle ist unregelmäßig

quaderförmig, wobei sich ventral eine etwa bohnenförmige Struktur, die Bulla tympanica, anschließt (vgl. Abb. 21 und 22). Die Ausdehnung der Cavitas tympanica beträgt (ohne Bulla) von rostral nach kaudal ca. 15 mm und von ventral nach dorsal 14 mm \pm 2,9 mm (n = 22). Von lateral nach medial erstreckt sich die Paukenhöhle am weitesten am Eingang zur Bulla tympanica (10 mm \pm 1,8 mm; n = 22), weiter dorsal wird sie schmaler, um auf Höhe des Promontoriums auf der einen und des Hammers auf der anderen Seite die engste Stelle zu erreichen (3,1 mm \pm 0,3 mm; n = 43). Danach weitet sie sich auf etwa 5 mm kaudal des Tubenostiums auf.

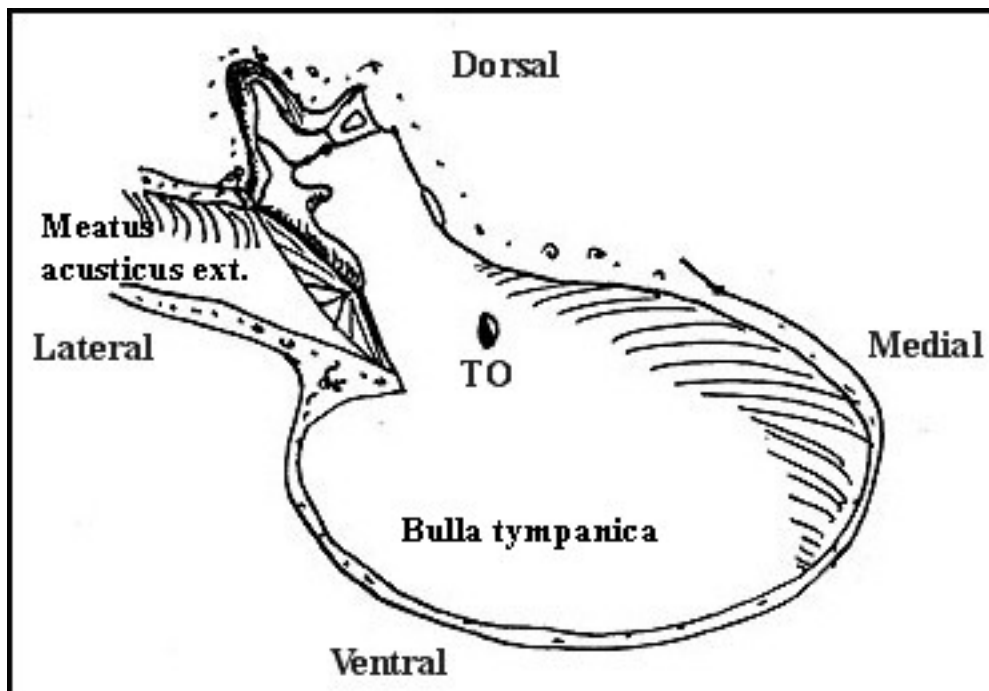


Abbildung 20: Verdeutlichung der Lage des Mittelohres beim stehenden Hund.
Das Tubenostium TO befindet sich in der rostralen (humananatomisch: kranialen) Wand, somit ist ein linkes Ohr dargestellt.

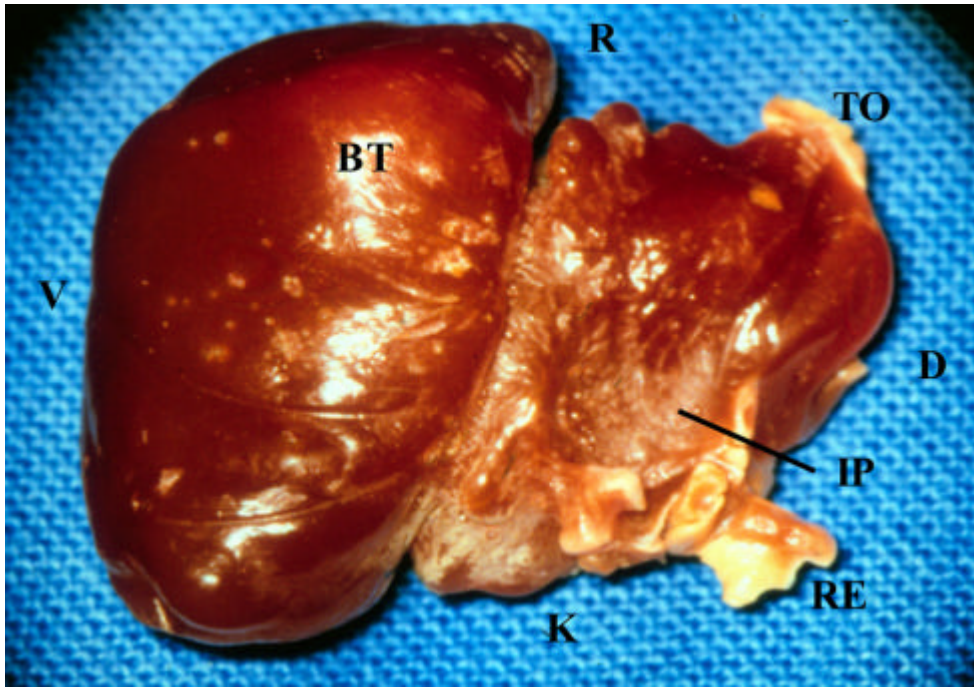


Abbildung 21: Bulla-Ausguss, Ansicht von medial

BT = Bulla tympanica, IP = Impression des Promontorium, RE = Recessus Epitympanicus, TO = Tubenostium, V = Ventral, D = Dorsal, K = Kaudal, R = Rostral

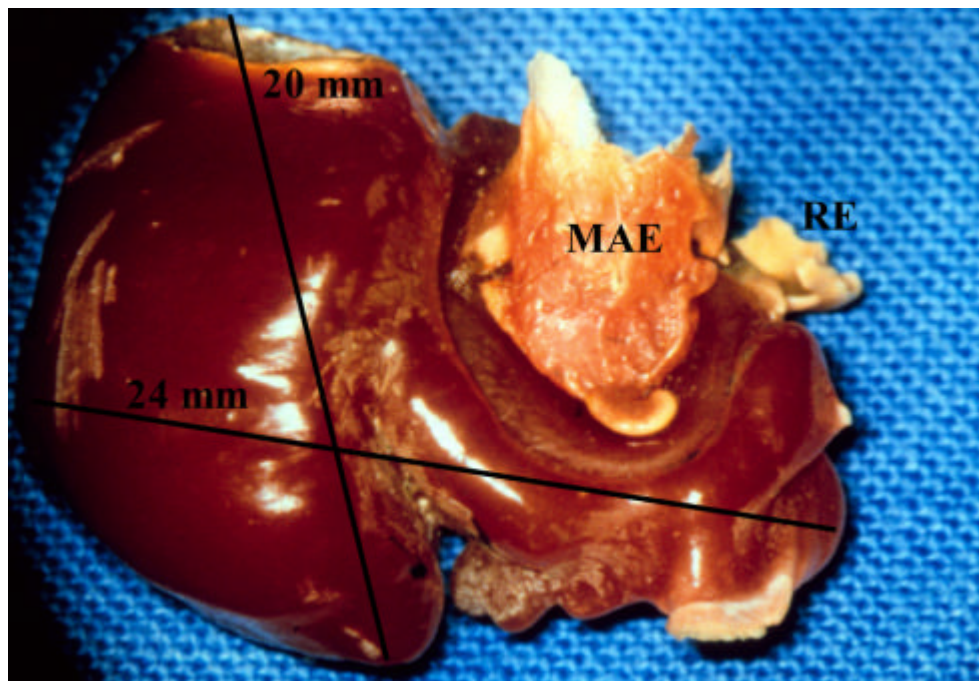


Abbildung 22: Bulla-Ausguss, Ansicht von lateral

MAE = Meatus acusticus ext, RE = Recessus epitympanicus

Die Ausmaße der Bulla betragen von dorsal nach ventral $10,4 \text{ mm} \pm 1,4 \text{ mm}$ ($n = 22$), von rostral nach kaudal am Punkt der größten Ausdehnung $21 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ ($n = 22$) und am Übergang zum Mesotympanon $15 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ ($n = 22$). Die Strecke von lateral nach medial erreicht ein Maximum von $13,6 \text{ mm} \pm 2,1 \text{ mm}$ ($n = 22$). In der Gesamtheit der beiden Teile ergibt sich eine Ausdehnung der Cavitas tympanica von ventral nach dorsal von $21,4 \text{ mm} \pm 2,2 \text{ mm}$ ($n = 22$) (vgl. Abb. 22). Dabei ist festzustellen, dass die Bulla der männlichen Tiere um 1 mm höher (11 mm gegen 10 mm) und ihre maximale Ausdehnung größer ($21,9 \text{ mm} \times 14 \text{ mm}$ gegen $20,3 \text{ mm} \times 13,2 \text{ mm}$) als die der weiblichen Tiere ist (vgl. Tab. 8).

Die Paukenhöhle wird in drei Abschnitte unterteilt: das dorsal liegende Epitympanon, das sich beim stehenden Hund oberhalb des Niveaus des Trommelfells befindet den dorsalen Abschluss desselben bildet der Recessus epitympanicus, der den Hammerkopf und den Amboss beherbergt (vgl. Abb. 23). Das mittlere Mesotympanon (vgl. Abb. 26), und das ventrale Hypotympanon unterhalb der Membrana tympani, zu dem auch die Bulla tympanica gerechnet wird (BÖHME, 1991).

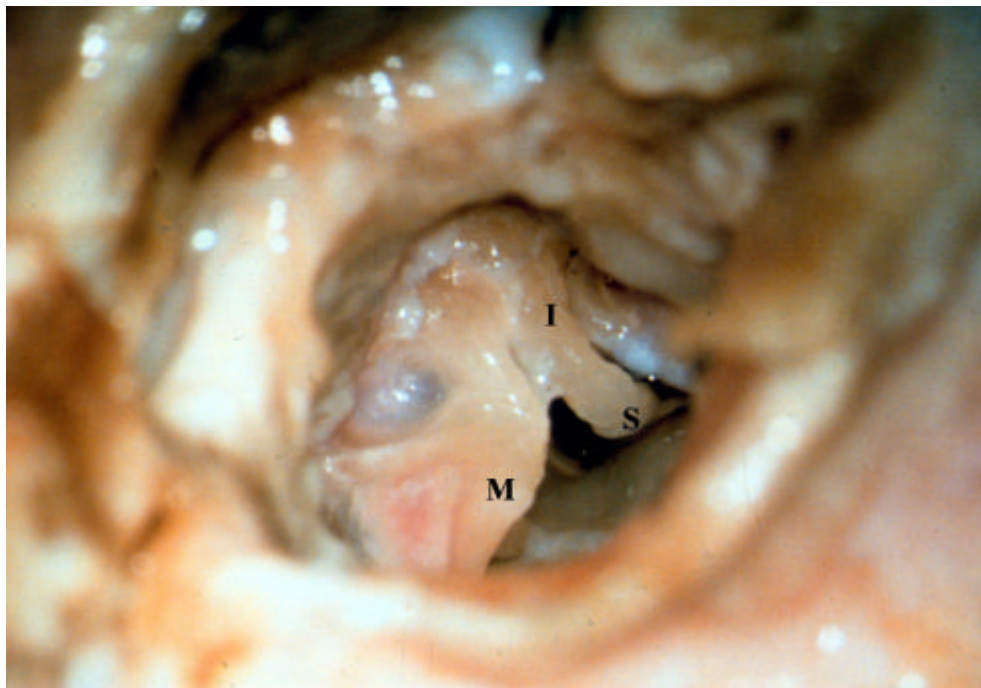


Abbildung 23: Mesotympanon und Recessus epitympanicus mit Ossikeln

M = Malleus, I = Incus, S = Stapes

Die Begrenzung dieses Hohlraumes bilden 6 Wände. Die Paries tegmentalis, das Dach der Paukenhöhle, wird aus Knochen gebildet. Es trennt den Recessus epitympanicus von der hinteren Schädelgrube. Die hintere Wand, Paries mastoideus, grenzt gegen den Processus mastoideus. In der

Nähe des ovalen Fensters beherbergt sie hinter einer dünnen Knochenschicht die Fossa musculae stapedis oder minor, in der sich der gleichnamige Muskel befindet. Seine Sehne zieht zum Kopf des M. stapedius. Die ebenfalls knöcherne Vorderwand wird als Paries tubarius bezeichnet. Hier findet sich das Ostium tympanicum tubae auditivae, die Mündung des knöchernen Teils der Hörtrumpete in die Paukenhöhle. Sie stellt über die Rachenhöhle eine Verbindung nach außen her. Die mediale Wand des Mesotympanon oder Paries labyrinthicus ist gleichzeitig die laterale Wand des Labyrinths und trennt somit das mittlere vom inneren Ohr. Die sich medial von ihr befindende Basalwindung der Cochlea bewirkt eine in das Mesotympanon hineinragende knöcherne Vorwölbung, das Promontorium. An seiner dorsalen Seite liegt das ovale Fenster (Fenestra vestibuli), das durch die Fußplatte des Stapes vollständig verschlossen wird. Die Länge beträgt in rostrokaudaler Richtung 1,5 mm und in dorsoventraler 0,9 mm. Unterhalb des Promontoriums liegt das durch die Membrana tympani secundaria abgeschlossene runde Fenster (Fenestra cochleae). Seine Form ist rund bis leicht oval, der Durchmesser beträgt 1,8 mm (vgl. Abb. 24).

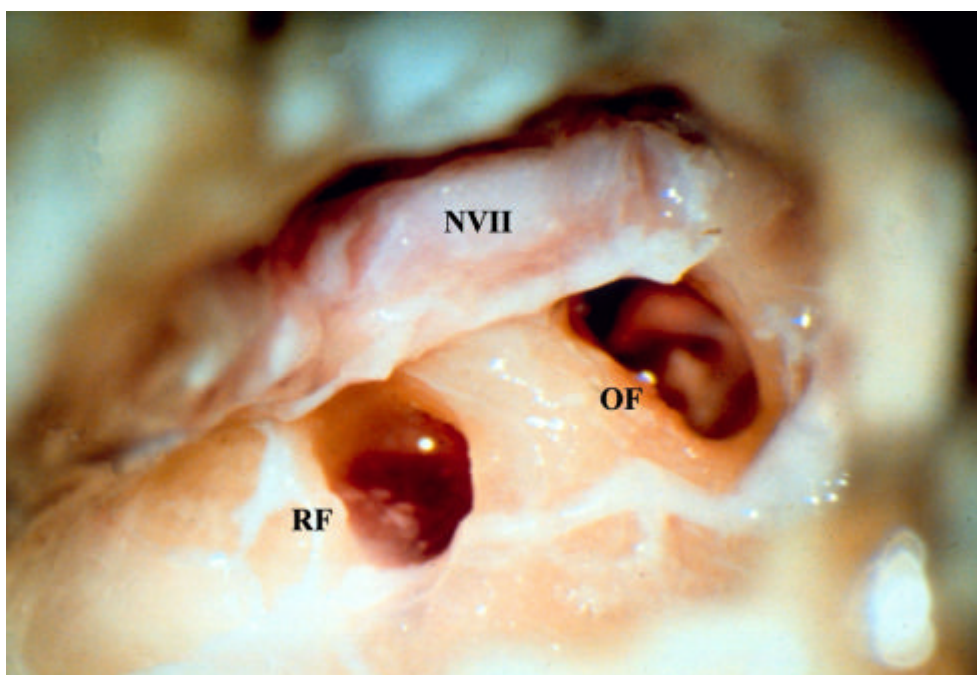


Abbildung 24: Rundes und ovales Fenster

RF = rundes Fenster, OF = ovales Fenster, NVII = N. facialis

Die laterale Wand des Mesotympanon wird zum größten Teil von der Membrana tympani gebildet und trennt das mittlere vom äußeren Ohr. Die laterale und mediale Wand des Hypotympanon sowie der Boden der Paukenhöhle gehören zur Bulla tympanica. Diese hat in etwa Bohnenform, wobei die

konkave Seite dem Mesotympanon zugewandt ist. Ihre Grenze bildet eine 1 mm starke Knochenschicht, wobei die gesamte Struktur die Schädelbasis nach ventral überragt. Trotz überlagernder Muskulatur bleibt die Bulla von außen gut tastbar. Die Oberfläche ihrer Innenseite ist größtenteils glatt, jedoch finden sich an der lateralen Wand auf Höhe des Übergangs zum Mesotympanon bei einzelnen Tieren tropfsteinförmige Knochenspitzen, die bis zu einigen Millimetern in die Paukenhöhle hineinragen können (vgl. Abb. 25).

Die gesamte Paukenhöhle ist mit einer zarten Schleimhaut ausgekleidet, die mit einschichtigem Plattenepithel und stellenweise Flimmerepithel bedeckt ist und somit der Schleimhaut der Tuba auditiva und der des Nasopharynx ähnelt (BÖHME, 1991; FOX, 1986).

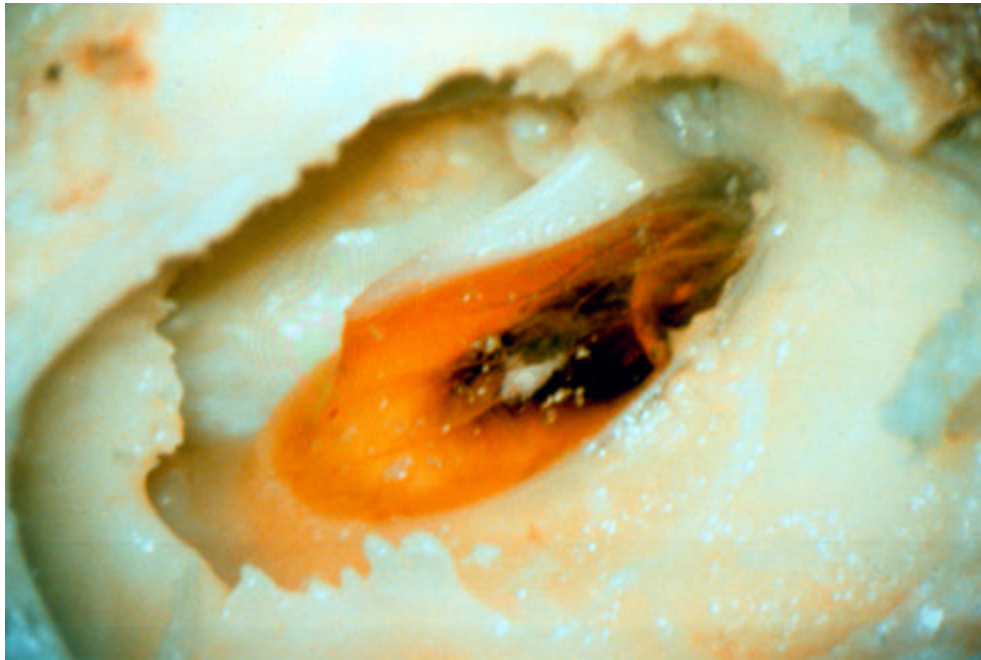


Abbildung 25: Trommelfell und Knochenspitzen am Übergang zum Mesotympanon

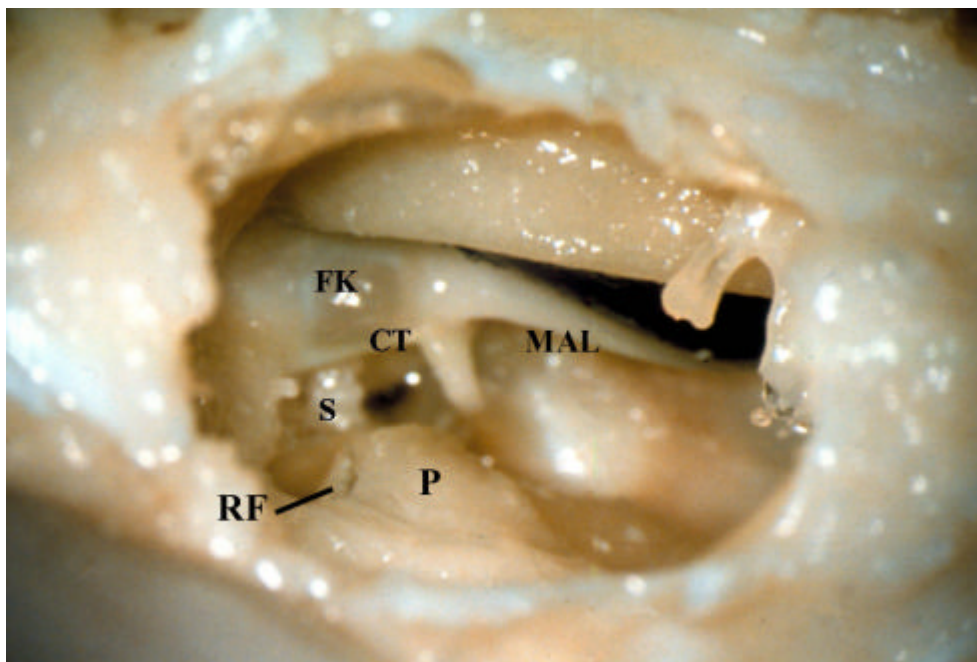


Abbildung 26: Übersicht Mesotympanon

*FK = Fettkörper, CT = Chorda tympani, S = Stapes, MAL = Hammergriff
RF = rundes Fenster, P = Promontorium*

3.4.2 Ossicula

Der Hammer (Malleus) besteht aus Kopf, Hals und Griff. Er ist das am weitesten lateral liegende und größte Gehörknöchelchen. Der im Querschnitt dreieckige Griff ist mit seiner leicht konkaven, lateralen Fläche dem Trommelfell zugewandt und in der Stria maellaris in diesem verankert. Aus ihm geht im stumpfen Winkel der Hals hervor, der den Griff mit dem dicken, abgerundeten Hammerkopf verbindet. Der Kopf liegt im Recessus epitympanicus. An seiner medialen Seite befindet sich eine sattelförmige Gelenkfläche, über die er mit dem Incus artikuliert. Es werden am Hammer drei Fortsätze unterschieden. Am Griff sitzt unterhalb des Halses der kurze Processus lateralis, der über das Ligamentum mallei lateralis mit dem Anulus tympanicus verbunden ist. An der Grenze zwischen Hals und Kopf befindet sich der beim Foxhound 2,2 mm lange Processus muscularis. Dieser ragt nach medial, und an seinem Ende befindet sich ein kleiner Haken, an dem die Sehne des Musculus tensor tympani inseriert. An der Vorderfläche des Halses liegt der Processus rostralis, der durch das Ligamentum mallei rostralis an der Wand des Recessus epitympanicus befestigt ist. Zwischen dem Hammerkopf und diesem Fortsatz spannt sich eine zarte Knochenschicht, die Lamina ossei (vgl. Abb. 27). Die Gesamtlänge des Hammers liegt beim Foxhound bei $9 \text{ mm} \pm 0,75 \text{ mm}$ ($n = 25$), der Hammergriff ist $6,6 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ ($n = 32$) lang.

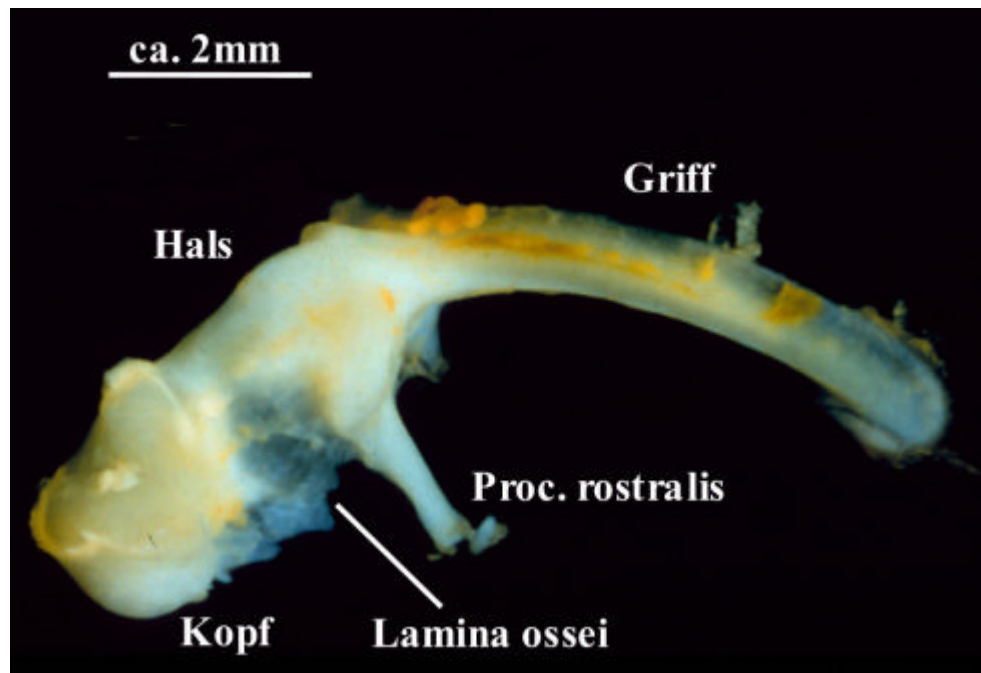


Abbildung 27: Malleus des Foxhound

Der Amboss (Incus) liegt, kaudal des Hammers, im Recessus epitympanicus. Seine Form ähnelt der eines menschlichen Molaren mit zwei in annähernd rechtem Winkel zueinander stehenden Wurzeln (vgl. Abb. 28). Auf dem Ambosskörper befindet sich eine Gelenkfläche, über die der Incus mit dem Malleus im Recessus epitympanicus artikuliert. Die kürzere der Wurzeln - oder Crura - zieht nahezu horizontal nach kaudal in die Fossa incudis, während die längere, Crus longum, nach ventral zeigt. An ihrem Ende zweigt ein kleiner Haken, das syndesmotisch verbundene, sehr kleine, runde Linsenbeinchen (Os lenticulare), in einem nahezu rechten Winkel nach medial ab, um mit dem Stapeskopf zu artikulieren. Beim Hund wird das Os lenticulare als selbstständiges, viertes Ossikel angesehen.

Der Incus des Foxhound misst etwa $2,7 \text{ mm} \pm 0,3 \text{ mm}$ ($n = 29$) in der Länge und $3 \text{ mm} \pm 0,4 \text{ mm}$ ($n = 29$) in der Breite.

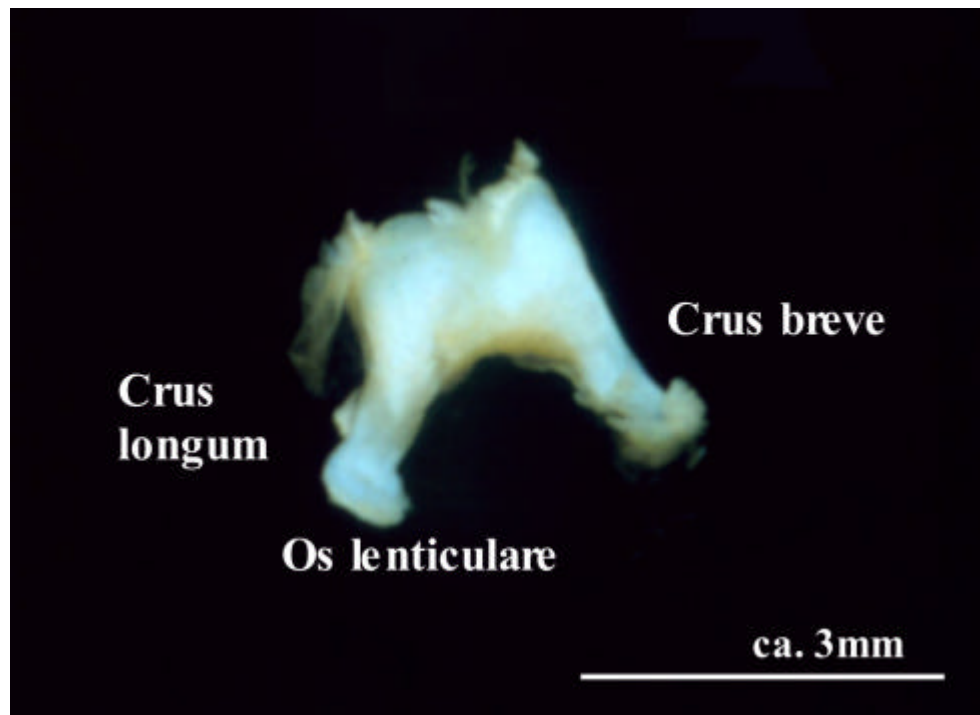


Abbildung 28: *Incus des Foxhound*

Der Stapes ist das am weitesten medial liegende Gehörknöchelchen. Es besteht aus einem Kopf, einem Hals, zwei Schenkeln sowie einer Fußplatte und einem Processus muscularis (vgl. Abb 29). Es liegt in einer horizontalen Ebene, wobei die Fußplatte nach medial gewandt ist. Dort trifft sie auf das ovale Fenster, das sie vollständig verschließt. Ihre Form ist analog der des Fensters oval. An den rostralen und kaudalen Seiten der Fußplatte inserieren die beiden Schenkel, von denen der letztere minimal kürzer ist. Beide haben in einer in der Sagittalebene liegenden Schnittführung einen hufeisenähnlichen Querschnitt, sind in der Mitte ausgehöhlt und zur Stapesmitte hin offen. An der Stelle, an der die Schenkel zusammenlaufen, beginnt der Hals, der im Stapesköpfchen mündet. An seiner kaudalen Seite befindet sich ein kurzer Fortsatz, der der Sehne des Musculus stapedius als Ansatz dient. Der Stapes misst von medial nach lateral 2,3 mm und von rostral nach kaudal 1,6 mm. Die von Schenkel, Hals und Fußplatte eingerahmten Öffnungen sind verschieden groß, wobei die ventrale mit 1,5 mm x 0,8 mm größer ist als die dorsale, die 0,9 mm x 0,6 mm misst. Dieser Größenunterschied ergibt sich aus der unmittelbaren Nachbarschaft der ventralen Öffnung zum Promontorium.

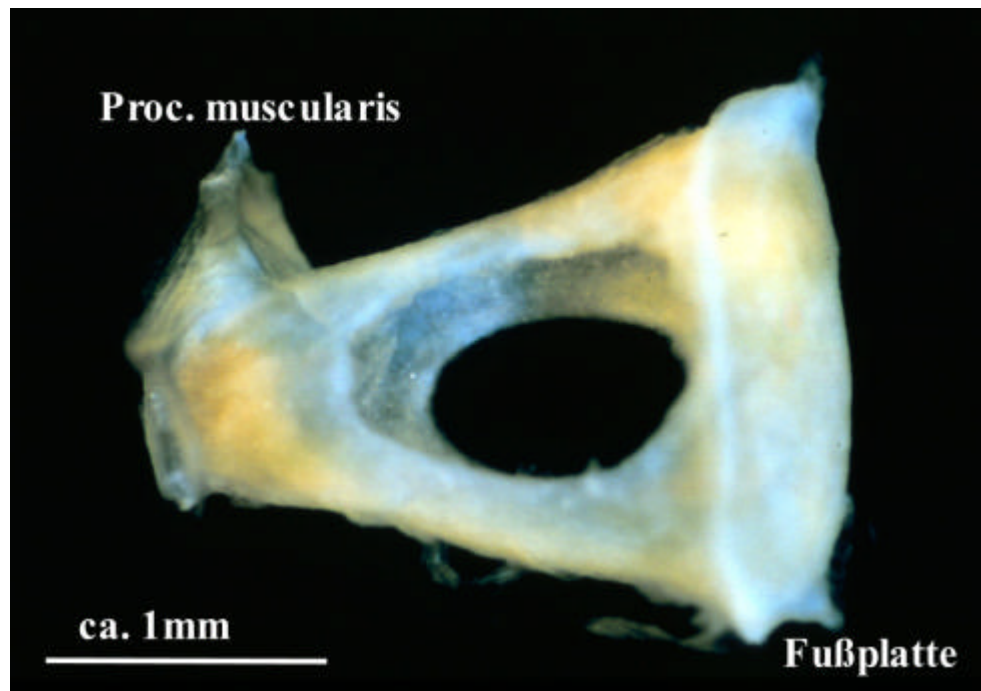


Abbildung 29: Stapes des Foxhound

3.4.3 Bänder

Einige Bänder fixieren die Ossikel an den Wänden der Paukenhöhle. Am Hammer befindet sich das Ligamentum laterale, das den Processus lateralis mit dem Anulus tympanicus verbindet. Das Ligamentum mallei rostrale zieht vom Processus rostralis zur Höhlenwand, während das Ligamentum mallei superius vom Hammerkopf zum Dach des Recessus epitympanicus zieht. Der Incus besitzt ein Ligamentum caudale, das den kurzen Schenkel in der Fossa incudis fixiert, und ein Ligamentum dorsale, das den Amboßkörper mit dem Dach des Recessus epitympanicus, in dem er liegt, verbindet. Ein weiteres Band verbindet das Crus longum mit dem gegenüberliegenden Hammerhals. Der Steigbügel ist über das Ligamentum anulare stapedis in das ovale Fenster eingehängt (ELLENBERGER, 1943; DYCE, 1991).

3.4.4 Muskeln

Zwei kleine, quergestreifte Muskeln ergänzen im Mittelohr die funktionelle Einheit des Schalleitungsapparats. Der *M. tensor tympani* liegt in der Fossa muscularis major im rostromedialen Winkel der Paukenhöhle, etwas dorsal der Tubenmündung. Seine schlanke Sehne zieht nach ventral und biegt rechtwinklig nach lateral zum *Processus muscularis* des Hammers ab. Bei Kontraktion spannt er das Trommelfell. Die Innervation erfolgt über den *N. trigeminus* (vgl. Abb. 30).

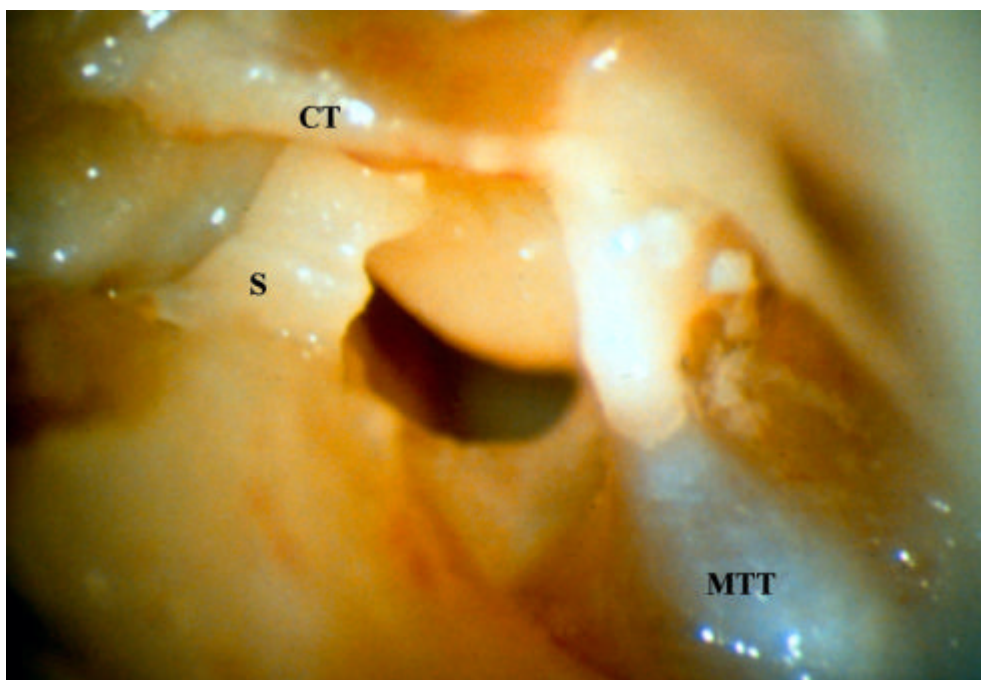


Abbildung 30: *M. tensor tympani* (MTT)

S = *Stapes*, *CT* = *Chorda tympani*

Der *M. stapedius* liegt in der Fossa muscularis minor in der Hinterwand der Pauke. Seine Sehne entspringt kaudal und lateral des ovalen Fensters und zieht zum Processus muscularis des Stapes (vgl. Abb. 31). Der vom *N. facialis* innervierte Muskel stellt den Stapes und somit auch seine Fußplatte im ovalen Fenster schräg.

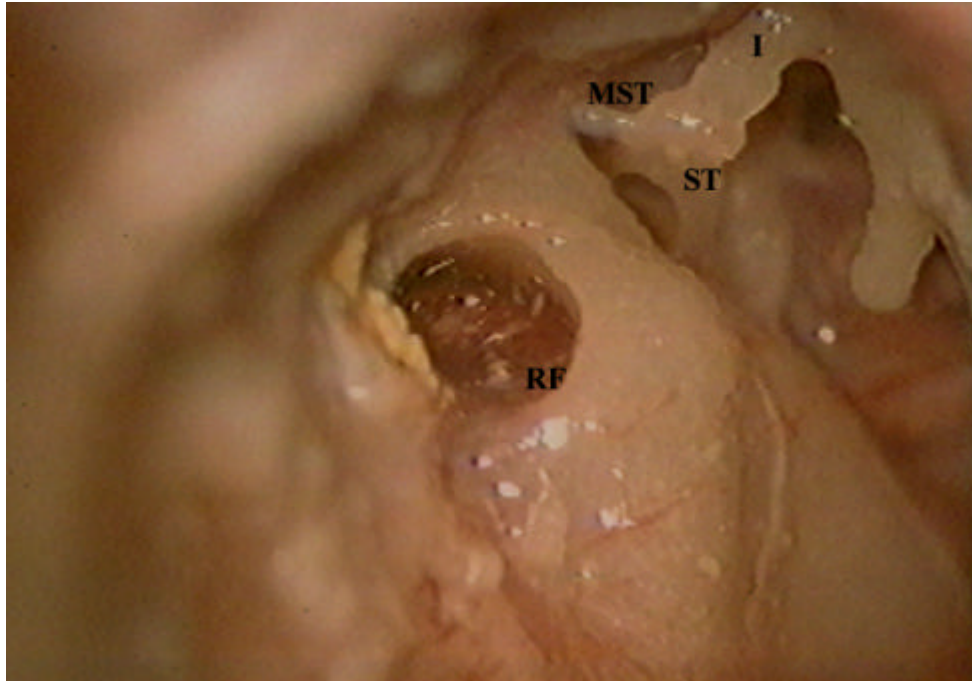


Abbildung 31: Sehne des M. stapedius (MST)

RF = rundes Fenster, ST = Stapes, I = Incus

3.4.5 Verlauf der Chorda tympani durch die Paukenhöhle

Die Chorda tympani tritt nahe des hinteren Randes des Trommelfells in die Paukenhöhle ein. Sie zieht an diesem entlang nach dorsal und kreuzt den Malleus ventral des Processus muscularis. So verläuft sie zwischen Hammer und langem Ambossschenkel und verlässt die Pauke durch die Fissura petrotympanica ventral des Sehnenaustritts des M. stapedius. Unregelmäßig findet sich hier ein kleiner Knorpel, der von einem Fettkörper umgeben ist. Er stützt die Chorda tympani, so dass diese frei über den Trommelfellrand ziehen kann, ohne ihn oder andere Strukturen zu berühren (vgl. Abb. 32 bis 34).

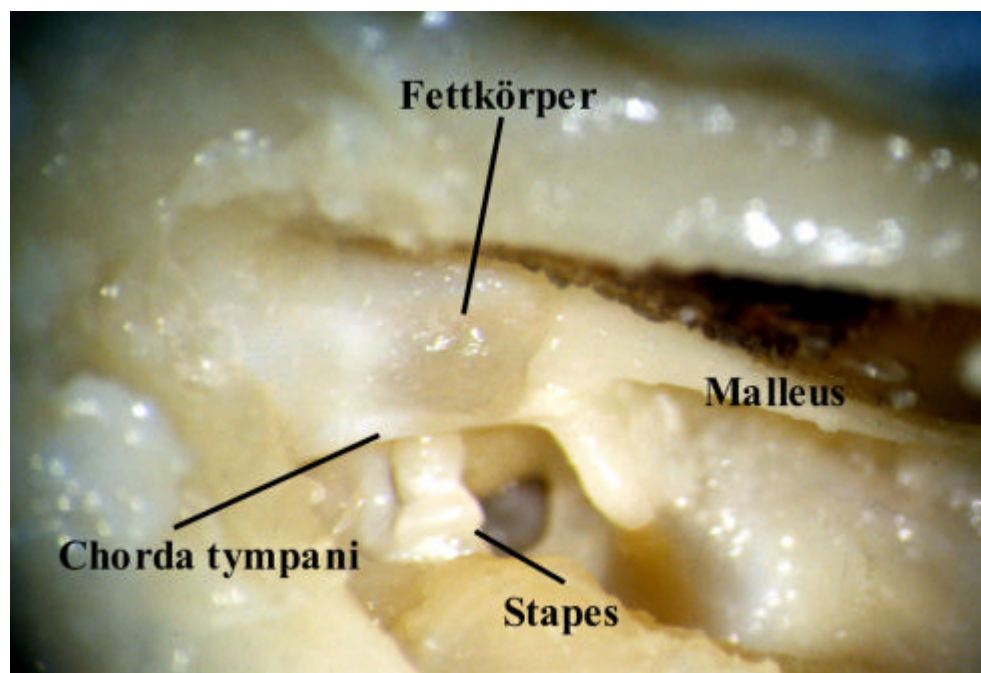


Abbildung 32: Chorda tympani und Fettkörper

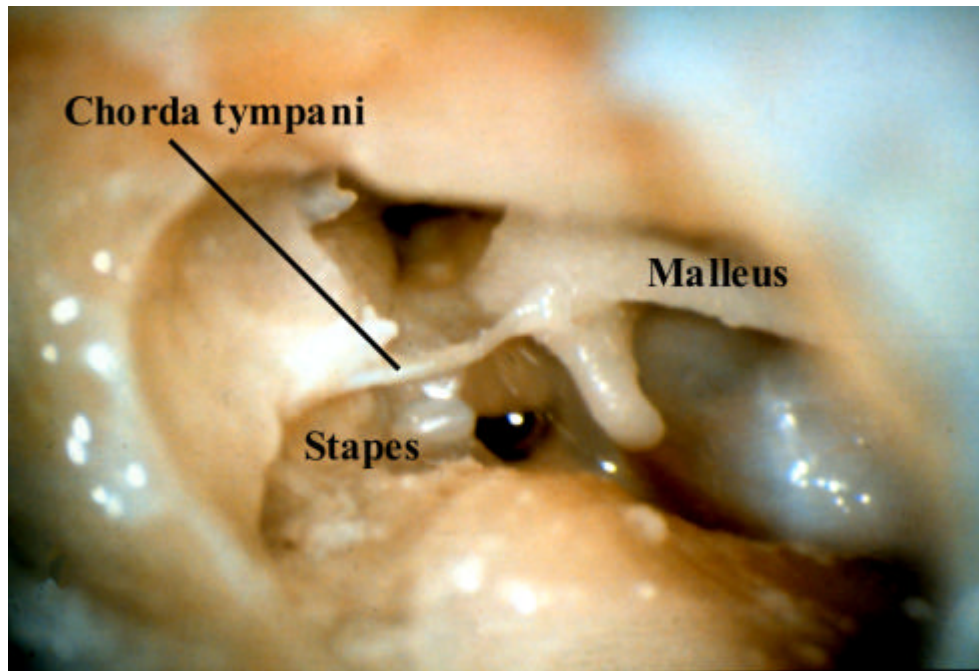


Abbildung 33: Nach Präparation des Fettkörpers

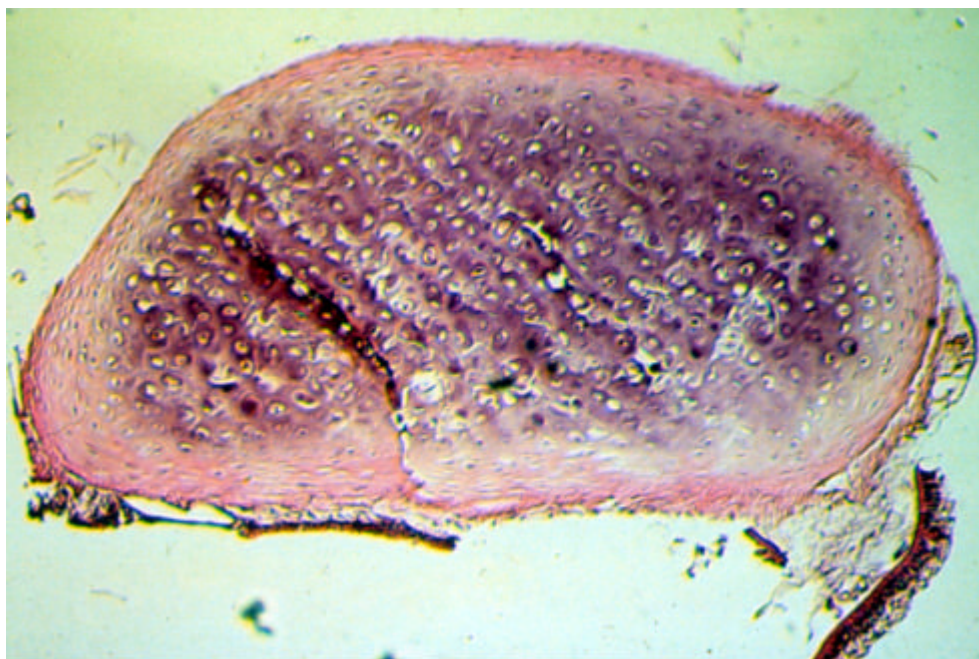


Abbildung 34: Konischer Knorpel, unregelmäßig im Fettkörper an der Chorda tympani vorkommend, (H.E., etwa 120-fach)

3.5 Vergleich der anatomischen Strukturen

Es ist allgemein bekannt, dass das Gehörorgan der Hunde sensibler ist als das des Menschen. Die Ursache dafür ist hauptsächlich im Innenohr zu suchen, doch spielen auch die äußeren und mittleren Anteile des Organs eine Rolle in diesem Vorgang. Die Ohrmuschel des Hundes ermöglicht in ihrer

ursprünglichen, aufgerichteten Form eine bessere Bündelung der Schallwellen zur Concha hin als die humane (BYSTRENIN, 1970).

Der Aufbau des Schalleitungsapparats des Foxhound entspricht dem des Menschen. Es wird ebenfalls von einem äußeren, einem mittleren und einem inneren Ohr gesprochen. Auch die Strukturen innerhalb dieser Bereiche sind gut vergleichbar.

3.5.1 Außenohr

3.5.1.1 Auricula

Die vergleichende Anatomie der Auricula findet ihre Grundlage in der Dissertation von SCHMIDT (1902). Er stellte die Ohrknorpel unterschiedlicher Säugetiere denen des Menschen gegenüber und glich die Nomenklatur an.

Während beim Menschen die Form der Auricula zu dem treffenden Begriff Ohrmuschel geführt hat, hat sie beim Hund eher Tütenform (vgl. Abb. 8 und 11). Beim Foxhound muss man, um diesen Vergleich nachvollziehen zu können, die Spitze des schlaff herunterhängenden Ohres anheben. Den Lehren DARWIN's folgend war die Ohrmuschel unserer Vorfahren ähnlich spitz aufgestellt. Später krepelte sich die Helix in Richtung Concha. Als einziges Überbleibsel dieser Form blieb das Darwin'sche Höckerchen erhalten. Der scharfe Rand der Ohrmuschel beim Foxhound wird also der Helix des Menschen gleichgesetzt, die beim Foxhound abgerundete Spitze dem gelegentlich vorkommenden Tuberculum auriculae.

Anstelle des humanen Crus helicis, das über dem Gehörgang gegen das Muschelinnere zieht, existieren beim Foxhound am Grunde des vorderen Muschelrandes zwei Knorpelleisten. Diese werden als Crura helicis mediale und laterale bezeichnet und ziehen seitlich zum Gehörgang, aber nicht über diesen hinweg. Die beim Menschen parallel zur Helix verlaufende Anthelix imponiert beim Foxhound als Querleiste, die etwas oberhalb der Mündung des äußeren Gehörgangs liegt. Anders als die humane teilt sie sich nicht in zwei Crura auf. Somit existiert auch keine Fossa triangularis.

Die unterschiedlichen Lagebeziehungen der Helix und Anthelix zueinander resultieren in verschiedenen Formen der Scaphae. Während sie beim Menschen eine Rinne bildet, wird beim Hund der von ihnen eingerahmte, dreieckige Teil der konkaven Muschelseite so bezeichnet. Der am vorderen Muschelrand des Menschenohres sitzende Tragus wird am unteren Rand durch die Incisura intertragica vom Antitragus getrennt. Beim Foxhound bilden diese Strukturen den vorderen Tütenwinkel. Dabei greift der Tragus von vorne, der Antitragus von hinten um die Mündung des

Meatus acusticus externus. Wie auch beim Menschen werden sie durch die Incisura intertragica voneinander abgegrenzt. Die Grenzen des Cavum conchae werden somit beim Menschen wie beim Foxhound von dem Crus helicis, der Anthelix, dem Tragus und dem Antitragus gebildet.

Anders als beim Menschen ist die äußere Muschelhaut des Foxhound dicht behaart. Auf der inneren Seite wachsen die Haare gegen die Concha spärlicher und es finden sich dort, analog zu den humanen Verhältnissen, Schutzhaare, die das Eindringen von Fremdkörpern verhindern sollen (ARTMEIER, 1978).

3.5.1.2 Meatus acusticus externus

Der Verlauf des äußeren Gehörgangs weist beträchtliche Unterschiede auf. Beim Menschen zieht er von innen kommend nach kaudal und ventral, wobei er in seinem äußeren Anteil einen leichten Knick nach lateral macht. Der Meatus acusticus externus des Foxhound dagegen verläuft von innen etwa 35 mm nach lateral, wo er nach einem Knick von $134^\circ \pm 4^\circ$ ($n = 34$) weitere 39 mm nach dorsal und nur noch leicht nach lateral und kaudal zieht. Wie beim Menschen wird er in seinem Verlauf zum Teil von Knochen und zum Teil von Knorpel umgeben. Anders dagegen sind die Proportionen. Während man beim Menschen von knöchernen medialen zwei Dritteln spricht, ist beim Foxhound nur ein kleinerer Teil von etwa 4 - 6 mm vom Knochen des Felsenbeins umgeben.

Der Querschnitt des äußeren Gehörgangs des Menschen ist kreisrund bis oval. Er verengt und weitet sich mehrfach während seines Verlaufs. Beim Foxhound ändert sich der Querschnitt von lateral, wo er oval bis bohnenförmig imponiert, nach medial zu oval bis kreisrund. Der Durchmesser nimmt kontinuierlich nach medial hin ab und weitet sich nur kurz vor dem Trommelfell noch etwas. Wie auch beim Menschen sind durch die schräge Lage des Trommelfells die Wände des äußeren Gehörganges des Foxhound nicht gleich lang. Die Differenz beträgt 6 mm bzw. 8 mm (vgl. Abb. 13 und 17). In beiden Fällen sind die rostralen und ventralen Wände länger als die kaudalen und dorsalen.

Sowohl beim Menschen, als auch beim Foxhound wird die Haut des Gehörganges nach medial hin zarter und die Anzahl der Haare und Drüsen geringer.

3.5.1.3 Membrana tympani

Das Trommelfell grenzt den äußeren Gehörgang gegen das Mittelohr ab. Beim Menschen ist es elliptisch und misst 7,9 mm x 7,5 mm. Beim Foxhound ist es elliptisch bis andeutungsweise bohnenförmig. Die Maße betragen 10,6 mm x 7,3 mm. In beiden Fällen liegt der größere

Durchmesser horizontal. Die Fläche des humanen Trommelfells ist mit 46 mm² gegenüber 61 mm² beim Foxhound wesentlich kleiner. Die Form ist bei Mensch und Hund gleich trichterförmig nach medial eingezogen. Ebenso sind die Stria mallearis und der Umbo eindeutig auszumachen. Auch die Unterteilung in Pars tensa und Pars flaccida hat sowohl beim Menschen als auch beim Foxhound Gültigkeit.

Der histologische Aufbau weist vom humanen zum caniden Trommelfell ebenfalls keine bemerkenswerten Unterschiede auf. Ein dreischichtiger Aufbau mit einem vom Stratum mucosum überzogenen Hammergriff imponiert in beiden Fällen. Eine Untersuchung der Blutversorgung des Trommelfells bei Mischlingshunden ergab starke Ähnlichkeiten mit der des Menschen und empfahl, diese Tatsache zu Übungszwecken oder zur Erprobung von neuen Operationstechniken zu nutzen (MAHER, 1988).

3.5.2 Mittelohr

3.5.2.1 Cavitas tympanica

Die Lage der Paukenhöhle ist sowohl beim Menschen als auch beim Foxhound analog zu der des Trommelfells schräg. In der Form ergeben sich einige Unterschiede. So ist das wesentlich kleinere canide Mastoid nicht pneumatisiert, und es existiert kein Antrum mastoideum. Eine bohnenförmige Paukenbulla (Bulla tympanica) überragt hingegen die Paukenhöhle nach ventral (vgl. Abb. 35). In einigen Tieren konnte man entlang einer Linie am Eingang der Bulla tropfsteinförmige Knochenvorsprünge beobachten. Diese sind wohl als Teil eines unvollständigen Septums zu sehen, dass in einigen Hunderassen verstärkt auftritt und bei den Felidae die Cavitas tympanica in zwei voneinander unabhängige Räume teilt (GROTERJAHN, 1922; HOLZ, 1931; KEEN, 1942).

Von der Bulla abgesehen ist die Form bei Mensch und Foxhound grob quaderförmig. Die Größenverhältnisse sind in etwa vergleichbar. Auch die Strukturen innerhalb der Cavitas tympanica sind auf beiden Seiten vorhanden. Einzig der konische Knorpel und der ihn umgebende Fettkörper des Foxhound (vgl. Abb. 32 bis 34) existiert im Menschenohr nicht.

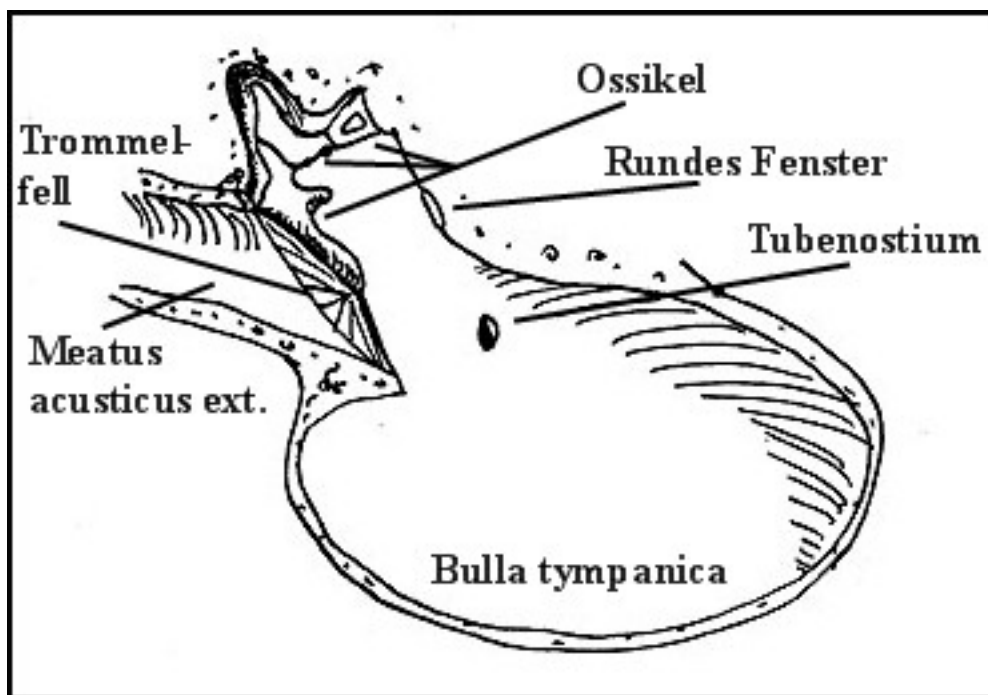


Abbildung 35: Cavitas tympanica des Hundes mit Bulla tympanica (nach FOX, 1986)

3.5.2.2 Ossicula

Der Hammer wird unterteilt in Kopf, Hals und Griff. Er liegt am weitesten lateral und ist in der Stria mallearis mit dem Trommelfell verbunden. Der Griff ist beim Menschen mit 5 mm über 1,5 mm kürzer und nicht so schlank konfiguriert wie der des Foxhound. Über einen kurzen Hals ist er mit dem Kopf verbunden, der im Recessus epitympanicus mit dem Incus artikuliert. Neben den auch beim Menschen vorkommenden Processus lateralis und anterior, der beim Hund rostralis heißt, imponiert beim Foxhound an der medialen Seite des Halses der zum 2,2 mm langen Processus muscularis herausgezogene Ansatz des M. tensor tympani. Eine andere Besonderheit des caniden Hammers ist die sich zwischen Processus rostralis und Hammerkopf spannde Lamina ossei (vgl. Abb. 27 und 36).

Im Größenvergleich entspricht der humane Malleus etwa dem des Foxhound, wobei dieser insgesamt filigraner erscheint.

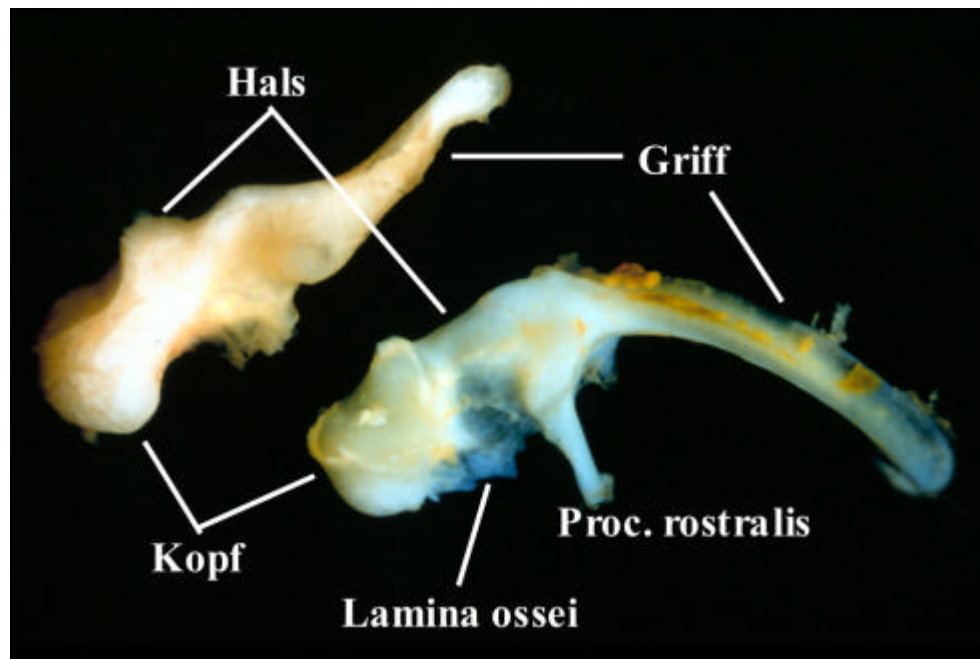


Abbildung 36: *Malleus, Mensch (oben), Foxhound (unten)*

Das nächst mediale Ossikel ist der Incus. Die Form ist auch hier ähnlich, wobei der humane Amboss wesentlich größer und klobiger ist (vgl. Abb. 37). In beiden Fällen erscheint ein Vergleich mit einem Molaren mit zwei Wurzeln angebracht. Es existieren hier und dort jeweils ein Körper, ein Crus longum und ein Crus breve. Einzig der Processus lenticularis des humanen Incus findet seinen Gegenpart in einem selbstständigen Knochen, dem syndesmotisch mit dem Crus longum verbundene Os lenticulare. Rein formal besteht die canide Ossikelkette aus vier Gehörknöchelchen.

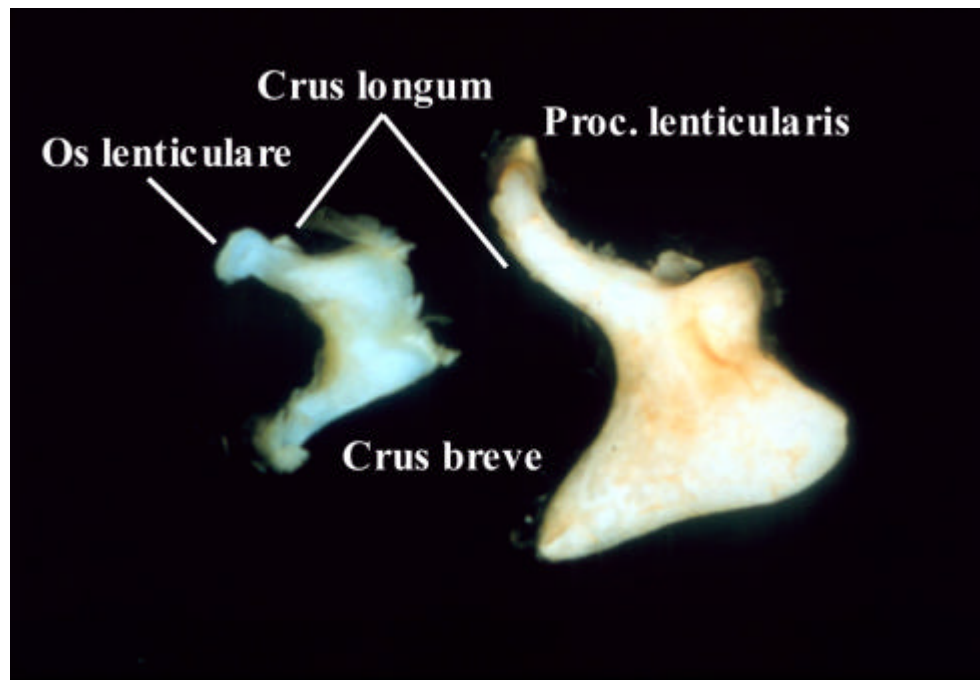


Abbildung 37: Incus des Menschen (r) und des Foxhound (l)

Das am weitesten medial gelegene Ossikel ist der Stapes. Auch hier ähneln sich die Formen. Allein die Schenkel des menschlichen Steigbügels imponieren etwas geschwungener und lassen ihn so etwas filigraner erscheinen (vgl. Abb. 38). Der Stapes des Foxhound ist etwas kleiner, die Schenkel verlaufen gerader und setzen in einem spitzeren Winkel an der Fußplatte an. Im Gegensatz zum Menschen, wo er eine Variation mit 25 %-iger Häufigkeit darstellt, kommt hier der Processus muscularis regelmäßig vor (BAST, 1949). Er sitzt an der kaudalen Seite des Halses.

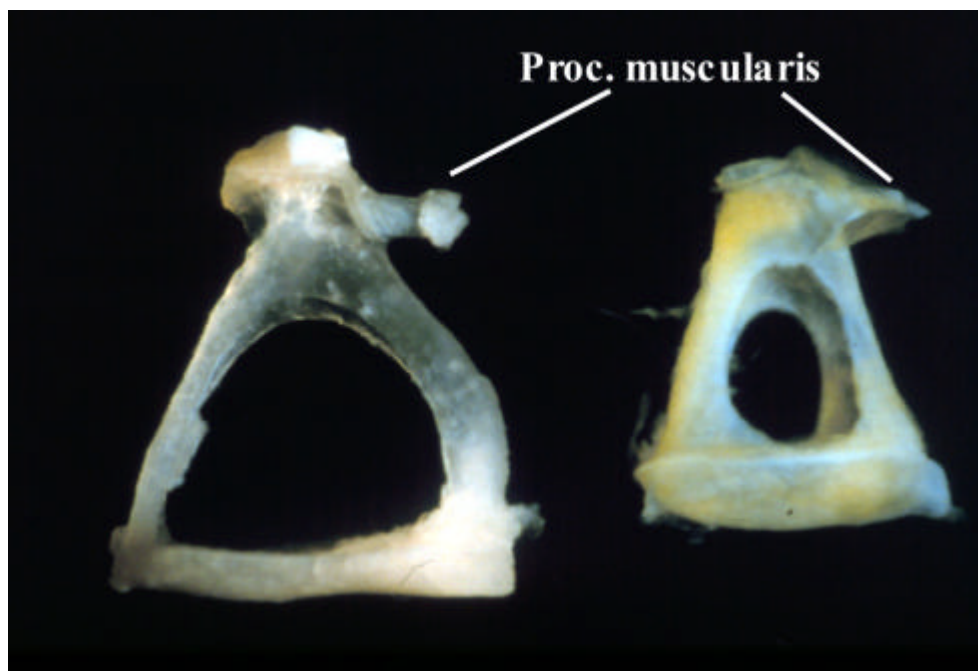


Abbildung 38: *Stapes des Menschen (l) und des Foxhound (r)*

3.5.2.3 Bänder

Am Hammer existieren sowohl beim Menschen, als auch beim Foxhound das Ligamentum mallei laterale, das vom Hammerhals, bzw. Proc. muscularis nach lateral zieht, das Ligamentum superius als Verbindung des Hammerkopfes mit der Decke des Recessus epitympanicus und das Ligamentum anterius bzw. rostrale, das vom entsprechend gleichnamigen Processus nach vorne zur Paukenwand läuft. Am Amboss zieht das Ligamentum incudis superius bzw. dorsale vom Körper zum Tegmen tympani und das Ligamentum incudis posterius bzw. caudale vom Crus breve zur Paukenwand. Sowohl beim Menschen als auch beim Foxhound ist die Fußplatte des Steigbügels über das Ligamentum anulare stapedis im ovalen Fenster aufgehängt.

3.5.2.4 Muskeln

Ebenso wie die Bänder sind die Binnenohrmuskeln in ihrer Lage und Funktion gleich. Der M. tensor tympani liegt etwas dorsal der Tuba auditiva. Seine Sehne zieht zum Hammerhals bzw. dem sich dort befindlichen Processus muscularis. Er spannt in beiden Fällen das Trommelfell. Der M. stapedius liegt in der Fossa musculae stapedis in der Hinterwand nahe des ovalen Fensters. Seine Sehne zieht zum Stapeskopf bzw. dem Processus muscularis. Durch Zug am Steigbügel verkantet er den Stapes und dämpft so dessen Schwingungen.

3.5.2.5 *Chorda tympani*

In beiden Fällen tritt die Chorda tympani nahe des Trommelfellhinterrandes in die Paukenhöhle ein. Während sie beim Menschen nun unterhalb der Schleimhaut, dem Trommelfell anliegend, nach dorsal zieht, liegt sie beim Foxhound gut sichtbar frei in der Pauke. Dafür verantwortlich könnte ein Knorpel sein, der nach der Durchtrennung der Chorda im Verlauf der Implantation bei etwa der Hälfte der Hunde geborgen werden konnte. Ein solcher konischer Knorpel wurde in der Literatur bisher nur bei Katzen und anderen Felidae, aber auch bei einer Hyäne beschrieben (SPENCE, 1890; HARTMANN, 1992). In seiner Funktion stützt er den Nerv, so dass dieser frei über das Trommelfell hinweg ziehen kann. In ihrem weiteren Verlauf verlässt die Chorda tympani die Paukenhöhle durch die Fissura petrotympanica.

4 Diskussion

4.1 Anforderungen des vorliegenden Versuchs und Methodenkritik

4.1.1 Wahl der Versuchstierspezies

Das vorliegende vollimplantierbare Mittelohrhörgerät mit seinen Komponenten Mikrofon und piezoelektronisches Wandler-System bedingte mit seinen Maßen bestimmte Mindestanforderungen an die Anatomie des für die Implantation vorgesehenen Tieres. Der nächste Schritt zur Komplettierung der Versuchsanordnung war somit die Wahl eines geeigneten Versuchstieres. Die vorliegende Literatur gab für eine solch spezielle Fragestellung keine weiterführenden Hinweise, es wurden lediglich Studien zur Testung von Biokompatibilität bestimmter Materialien durchgeführt, wobei die Größe des Mittelohres nicht der limitierende Faktor war (WELLS, 1987; BERNECKER, 1993; SCHWAGER, 1998) oder ein Tier aus einer anderen als otologischen Perspektive bewertet (ANDERSEN, 1970; ANDERSON, 1986). Versuchsanordnungen ähnlich der hier vorliegenden fanden sich nicht.

Folgende Kriterien wurden schlussendlich für die Wahl der Versuchstiere festgelegt:

1. Das Mittelohr des Tieres muss eine gewisse Mindestgröße haben, um die Implantatteile aufnehmen zu können.
2. Der Implantationszugang muss möglichst direkt gestaltet werden können und ohne größere Komplikationen für das Tier sein.
3. Die anatomischen Verhältnisse und die Art der Implantation müssen in ihren Grundprinzipien auf den Menschen übertragbar sein (DYCE, 1991).
4. Eine gewisse Verhältnismäßigkeit in Bezug auf den Versuch muss gewährleistet bleiben; ethische Gesichtspunkte gebieten, die Belastung für die Tiere möglichst gering zu halten.

Vergleichend anatomische Literatur zeigte, dass das Mittelohr von Nagetieren bei weitem zu klein dimensioniert ist (HOLZ, 1931). Die Katze kommt aus demselben Grund nicht als Versuchstier in Frage (HARTMANN, 1992). Bei der Betrachtung der Anatomie des Schweineschädels wurde offensichtlich, dass das Operationsfeld von der Mandibula verdeckt wird. Die daraus resultierenden Unwägbarkeiten bezüglich des Zugangsweges und die Gefahr von postoperativ auftretenden

Problemen bei potentiell gestörtem Fressverhalten hätten den Versuchserfolg ernsthaft gefährden können, so dass auch das Schwein als nicht geeignet angesehen wurde.

Die Literatur zeigte aber auch, dass die anatomischen Verhältnisse beim Hund durchaus die vollständige Implantation der vorliegenden Komponenten ermöglichen könnte (GROTERJAHN, 1922; HOLZ, 1931; BÖHME, 1991). Ebenso liegen größere anatomische Hindernisse wie beim Schwein bei einem operativen Zugang über die ventral am Schädel gelegene Bulla tympanica nicht vor, so dass der postoperative Verlauf kalkulierbarer erschien. So schien ein angemessen großer Hund als ein geeignetes Tier, wobei man sich schließlich für die Entscheidung für die Rasse Foxhound.

Der operative Zugang wurde an bekannte veterinärmedizinische Methoden angelehnt und für diesen Versuch modifiziert (HENSCHEL, 1975; BOOTHE, 1991).

Eine absolut unerlässliche Forderung war, im Rahmen dieses Experiments jedes Tier möglichst weitgehend zu untersuchen. So sollten alle verwertbaren Strukturen so umfassend wie möglich analysiert werden, um das Opfern des Versuchstieres ethisch vertretbar zu machen. Trotz der engen räumlichen Verhältnisse in der Bulla und der damit verbundenen Probleme wurde dies von der gesamten Arbeitsgruppe erfolgreich verwirklicht.

Bei allen Versuchen und Messungen am lebenden Tier wurde auf Schmerzfreiheit und artgerechte Haltungs- und Lebensbedingungen geachtet (LOW, 1971; HARTSFIELD, 1991). Dies konnte nur durch einen großen Arbeitseinsatz seitens des gesamten Teams erfolgreich realisiert werden, wobei besonders die Bedürfnisse der Hunde erfüllt werden sollten. Eine wünschenswerte Rudelhaltung der Tiere jedoch ließen die in einem Halskragen getragenen externen Bauteile nicht zu, da man Beschädigungen oder gar Verluste von Gerätkomponenten befürchtete.

4.1.2 Bewertung der Implantatstabilität

Aufgrund einer erheblichen Gewebsneubildung in der Bulla musste die Bewertung der Implantatstabilität zunächst klinisch gestellt werden. Die erforderliche Präparation hätte zu erheblichen Artefakten führen können. Die guten Ergebnisse späterer Untersuchungen sprechen für eine hervorragende Dauerfestigkeit der Implantationsmethode (PHILIPPS, 1997).

Eine Ausrissmessung zur quantitativen Bestimmung der Festigkeit der Ankopplung wäre wünschenswert gewesen, hätte aber die Zerstörung von Strukturen, die ebenfalls bewertet werden mussten, zur Folge gehabt.

4.1.3 Pathologische Bewertung

Neuartige Biomaterialien müssen vor der Anwendung im humanen Bereich zunächst im Tierversuch beurteilt werden (ANDERSON, 1986). In dem vorliegenden Experiment sind jedoch ausschließlich Materialien verwendet worden, die bereits in vorhergegangenen Studien ihre Biokompatibilität unter Beweis gestellt hatten. Daher mussten lediglich die spezielle Situation im Mittelohr und die Kombination der Implantatstoffe beurteilt werden.

Die histopathologische Beurteilung wurde durch die chronische Infektion im Wundbereich erschwert. So konnte die eigentliche Reaktion auf das Implantat am Beispiel der Tiere dargestellt werden, die keine schweren Komplikationen im Wund- und Kabelbereich aufwiesen.

4.1.4 Glasionomerzement Ionocem®

Ionocem® ist eine Weiterentwicklung herkömmlicher zahnmedizinischer Zemente, wobei die Eigenschaften insofern geändert worden sind, als dass unter anderem der im oralen Bereich unerwünschte Leckfluss von Ionen unterbunden wurde. Ionocem® besteht aus zwei Komponenten: einer organischen Polycarbonsäure und einem Glaspulver (Kalzium-Aluminium-Fluor-Silikat-Glas). Die Reaktion zur Bildung des Zementes besteht aus drei Schritten (GEYER, 1993):

1. Polycarbonsäure löst Kalzium- und Aluminiumionen aus den Glaspartikeln
2. Bildung eines wasserempfindlichen Kalziumpolyalkenoatgels
3. Weitervernetzung durch Aluminiumpolyalkenoat zum abgebundenen Ionocem®.

Die chemische Beschaffenheit erklärt die Verätzungserscheinungen bei Kontakt mit Weichteilgewebe während der Implantation. Es ist ferner auf einen möglichst trockenen Situs zu achten, da es sonst zum Verlust des Zements kommen kann (HOTZ, 1980).

In diversen Studien zeigte Glasionomerzement eine bessere Biokompatibilität als Materialien wie Methylacrylat (HEUMANN, 1980; WELLS, 1987), wobei gerade im Bereich der Chirurgie am Mittelohr die Einsatzmöglichkeiten vielfältig sind (DAZERT, 1994; EHSANI, 1994; GEYER, 1993).

Die Befestigung von Implantatteilen mit Ionocem® erzielte, unter anderem im Bereich der Cochlea Implant Chirurgie, bereits sehr gute Ergebnisse im Bezug auf die Langzeitstabilität (MÜLLER, 1993). Auch in dem vorliegenden Experiment waren die Ergebnisse am Wandler und der Ankopplung am Incus hervorragend (PHILIPPS, 1997). Die Verwendung kleiner Mengen des Zementes zur Verbindung zweier Ossikel wurde bereits mit Erfolg erprobt (HEHL, 1989). Dem entsprechen die Befunde dieses Versuchs, mit Ionocem® kleine Implantatteile dauerhaft fest zu fixieren.

Es ist jedoch zu beachten, dass Glasionomermzement erst ab einer bestimmten Schichtdicke eine ausreichende Quervernetzung der Glaspartikel erreicht (RÜDEL, 1994). Ferner ist eine großflächige Kontaktfläche des Zementes zum zu fixierenden Teil besser als eine großzügige Anhäufung auf einer kleinen Stelle, da die Adhäsion der Ionomerzemente größer ist als die Kohäsion (DAZERT, 1994; GEYER, 1993).

In jedem Fall muss ein direkter Kontakt des Zementes mit den Liquorräumen vermieden werden, da er in einigen Fällen eine Aluminiumencephalopathie ausgelöst haben soll (RENARD, 1994). Klinische Studien haben gezeigt, dass unter konsequenter Vermeidung von Kontakten zu Liquorräumen und neuronalen Strukturen keine derartigen Komplikationen auftreten (WEBER, 1996).

Von anderen Werkstoffen, die eine Alternative zu Ionocem® sein könnten, zeigten Hydroxyapatit und Fibrinkleber eine geringere Dauerfestigkeit, da Resorptionserscheinungen auftraten (DE LANGE, 1989; HARRIS, 1983). Histoacryl® oder Cyano-Butyl-Acrylat-Kleber führten im Bereich der Ossikelkette zu starken Abstoßungsreaktionen (WELLS, 1987).

4.1.5 Oberflächenbeschaffenheit der Implantatmaterialien

Die Oberfläche eines Werkstoffes ist für die erfolgreiche Implantation von entscheidender Bedeutung (GRISTINA, 1994). Implantatteile für eine Anwendung im Mittelohr unterliegen einzigartigen Anforderungen. Einerseits sollen sie nicht mit der Umgebung verwachsen, andererseits ist eine dauerhaft stabile Implantation für ihre einwandfreie Funktion unerlässlich (MERCHANT, 1994).

Studien zeigten in Bezug auf Titan, dass bei rauen Implantatoberflächen Knochenapposition gefördert wird, während glatte Oberflächen von einer fibrinösen Kapsel umgeben werden (MARTIN, 1995). Im Bereich der implantierbaren Hörgeräte spielen diese Ergebnisse eine entscheidende Rolle. So müssten zu fixierende Implantatteile eine raue Oberfläche aufweisen, und die Bereiche, die frei schwingen sollen, eine glatte, um eine Immobilisation durch Verwachsungen zu vermeiden. Bei dem vorliegenden Modell war dies nicht der Fall. Die Gehäuse der implantierten Teile und die Oberfläche der Osteosyntheseplatten waren glatt, was sich in einer scharfen Abgrenzung zur fibrinösen Kapsel zeigte. Die Wandlerstange dagegen war rau und förderte somit die starken Verwachsungen mit dem umliegenden Gewebe, obwohl gerade sie frei beweglich sein musste. Das Feingold der Koppelstange wiederum wies eine glatte Oberfläche auf, was Verwachsungen in diesem Bereich entgegenwirkte.

4.1.6 Anästhesie

Bei Narkosezeiten von 12,5 h bis 16,9 h wurden die Hunde engmaschig überwacht, um einen sicheren und möglichst komplikationslosen Verlauf zu gewährleisten.

Intraoperativ zeigten sich bis auf eine milde Azidose stabile Parameter. Postoperativ wurden in zwei Hunden umschriebene Schwellungen im M. triceps bzw. M. masseter der operierten Seite, in einem dritten Tier ein Hämatom eines Hinterlaufs gesehen, die rasch und rückstandslos ausheilten.

Ein adäquates Monitoring ermöglichte so eine sichere Langzeitnarkose mit einer Überlebensrate von 100% und regelrechtem postoperativen Verlauf in nahezu allen Fällen.

4.2 Bewertung der anatomischen Unterschiede und ihrer Auswirkungen auf das Experiment

Die Form des Meatus acusticus externus ist von einer Hunderasse zur anderen unterschiedlich, und auch die Länge des knöchernen Anteils variiert (VAU, 1938; STOUT-GRAHAM, 1990). Die Befestigung des Mikrophons wäre bei einem längeren knöchernen Gehörgang deutlich leichter gewesen, und auch die Implantation im Menschen wird aufgrund des dort längeren knöchernen Anteils des Gehörgangs wesentlich einfacher durchzuführen sein. So kann möglicherweise eine noch höhere Implantatstabilität erreicht werden.

Die Form der Cavitas tympanica scheint von einer Hunderasse zur anderen leicht, aber für diesen Versuch entscheidend, zu variieren. So fiel bei der Betrachtung eines Schäferhundschädels auf, dass eine Ankopplung an den Incus aufgrund des weit in die Paukenhöhle hineinragenden Promontoriums nicht möglich gewesen wäre, da das Koppellement zu stark hätte gebogen werden müssen. Das Mittelohr des Foxhound erlaubte eine Ankopplung, bei der die Koppelstange nur minimal gebogen wurde und zudem in ihrem gesamten Verlauf einen ausreichenden Abstand zu den benachbarten Strukturen aufwies.

Die Raumverhältnisse innerhalb der Cavitas tympanica des Foxhound erforderten eine andere Vorgehensweise, als die für den Humanversuch geplante. Dort soll der Wandler in den Processus mastoideus implantiert und am Incus vom Antrum mastoideum aus angekoppelt werden. Durch die ungenügende Größe des Processus mastoideus des Hundes musste ein Zugang von der anderen Seite geplant werden. Die Bulla tympanica des Foxhound erwies sich als ausreichend groß, um den Wandler aufzunehmen. Da der Abstand zwischen Trommelfell und Promontorium beim Foxhound

größer ist als beim Menschen (3,1 mm zu 2,5 mm), konnte die Ankopplung auf diesem Wege realisiert werden, ohne fürchten zu müssen, dass die in Schwingung versetzten Implantatteile gegen umliegende Strukturen stoßen. Einzig die Chorda tympani musste oft durchtrennt werden, da sie sonst zu nahe am Koppelement gewesen wäre. Im späteren Verhalten der Tiere machte sich dieser Eingriff aber nicht bemerkbar.

Somit ist der Foxhound ein geeignetes Tiermodell für ein solches Experiment. Der grundsätzlich vergleichbare Aufbau des Schalleitungsapparates erlaubt es, aus den gewonnenen Ergebnissen Schlüsse für den bevorstehenden Humanversuch zu ziehen. Die an dem Aktorsystem vorgenommenen Modifikationen dienten zur Optimierung der Befestigung und haben keinen Einfluss auf die Funktionsweise des Gerätes.

4.3 Reaktion des Mittel- und Innenohres auf die Implantation

Im Rahmen des Experimentes wurden die das Implantat umgebenden und davon betroffenen Strukturen untersucht. Es sollte gezeigt werden, inwiefern die Ankopplung des Implantats und die unphysiologische Situation insgesamt Auswirkungen in diesem Bereich zeigen.

4.3.1 Mittelohrgewebe

In der Bulla fanden sich bei der Explantations-Operation bindegewebige Neubildungen verschiedener Ausmaße und Konsistenz.

Es zeigte sich allerdings kein Hinweis auf eine Gewebsschädigung durch die verwendeten Werkstoffe. Die Implantate waren von einer gut abgegrenzten fibrösen Kapsel umgeben.

Bei Tieren mit geringgradiger eitriger Infektion war zu beobachten, dass die Entzündungsreaktion von der Hautwunde in Richtung der Implantate kontinuierlich abnahm. Daraus ist zu folgern, dass diese nicht gegen die Implantatteile gerichtet war.

Ferner fanden sich keine Fremdkörperriesenzellen, die auf eine Biodegeneration der verwendeten Materialien schließen lassen (FINCK, 1994).

4.3.2 Incus

Die rasterelektronenmikroskopische Untersuchung der Inci zeigte in keinem Fall Destruktionen oder Atrophien im Vergleich zur nicht angekoppelten Seite. Auch bei Hunden, die aufgrund von technischen Problemen nicht über den gesamten Zeitraum durch das Hörgerät stimuliert wurden, ließ sich kein Schaden nachweisen.

Dies bedeutet, dass sowohl bei normaler Stimulation als auch bei Implantataktivität, wie zum Beispiel nach Defekt oder nach einem Unfall des Implantatträgers, kein Schaden am Incus zu erwarten sein dürfte (PHILIPPS, 1997).

4.3.3 Innenohr

Eine andere Untersuchung im Rahmen des Versuches zeigte, dass sowohl die Verstärkung durch das Gerät als auch der Anregungsmechanismus an den Ossikeln keinen Schaden an den Zilien der Haarzellen hinterlässt. Dabei wurde die Cochlea in ihrem gesamten Verlauf dargestellt und die Haarzellen rasterelektronenmikroskopisch untersucht (STRAUCHMANN, 1998).

Schädigungen der Zellorganellen wurden nicht untersucht.

4.3.4 Allgemeine Beobachtungen

Aufgrund technischer Defekte an den elektrischen Zuleitungen wurden Revisionseingriffe notwendig. Hier zeigten sich bereits nach einem Monat beginnende Granulationen und bindegewebige Neubildungen der Mucosa. Im weiteren Verlauf bildeten fast alle Hunde Infektionen im Bereich der perkutan geführten Kabel aus.

Bei graduellem Abfall der Intensität der Entzündungsreaktion distal der Ausleitungsstelle der Zuleitungen wurde von einer ascendierenden Infektion von der Hautwunde aus ausgegangen.

Die Implantatteile blieben selbst bei komplettem Ausriss der Zuleitungen fest verankert und konnten bei der Explantation auch in diesem Fall als stabil bewertet werden (PHILIPPS, 1997).

5 Ausblick

5.1 Bewertung des Tiermodells

Der Foxhound erfüllt die anatomischen Voraussetzungen für einen solchen otologischen Versuch. Die Größenverhältnisse erlaubten selbst bei etwas kleineren Tieren eine problemlose Implantation und dauerstabile Befestigung der Implantatteile. Von Vorteil wäre ein etwas längerer knöcherner Anteil des äußeren Gehörganges mit einem größeren Durchmesser gewesen, der die Befestigung des Mikrophons erleichtert hätte. Eine andere Vereinfachung würde ein weniger in die Cavitas tympanica hineinragendes Promontorium darstellen. Bei einer besseren Sicht auf die Ossikel könnte die in die Bulla zu fräsende Öffnung kleiner gehalten werden, ohne die Ankopplung zu erschweren. Ein Blick in einen Schäferhunds Schädel zeigte, dass unterschiedliche Hunderassen durchaus nennenswerte Unterschiede in diesem Bereich aufweisen. Auch sind verschieden lange knöcherne Anteile des Meatus acusticus externus beschrieben worden (WERNER, 1960). Schließlich würde ein größerer Abstand des Incus zur Mittelohrwand hin das Befestigen des Koppellements erleichtern.

5.2 Bewertung des vorliegenden Aktorsystems

Die eingangs erwähnten Probleme bei der Anwendung von konventionellen Hörgeräten konnten auch durch den Einsatz von digitaler Datenverarbeitung nicht zufrieden stellend gelöst werden. Somit dürfte eine Entwicklung von praktikablen Alternativen der nächste logische Schritt sein. Die letzten Jahre brachten eine Fülle von neuen Lösungsansätzen, die im Verlauf unterschiedlichen Erfolg zeigten.

Langzeit-Evaluation von Patienten mit teilimplantierbaren Hörhilfen auf elektromechanischer Basis der ersten Generation zeigte, dass die Akzeptanz des Gerätes mit der Zeit stark abnahm und durchschnittlich 24 Monate betrug (CAYE-THOMASEN, 2002). Als Grund wurden Schwierigkeiten bei der korrekten Bedienung und Dislokationen von Implantatteilen genannt. Für teilimplantierbare Geräte, die auf TJELLSTRÖM's BAHA-Prinzip aufbauen, scheinen nach stetiger technischer Optimierung die Langzeit-Ergebnisse besser zu sein (NIEHAUS, 1994; TJELLSTROEM, 1994; SCHUPBACH, 2004).

Vollimplantierbare Hörgeräte mit piezoelektronischer Funktionsweise und Hörgeräte, die ähnlich wie das dieser Arbeit zugrunde liegende aufgebaut waren, sind in letzter Zeit Gegenstand klinischen Multicenter- und Stufe III-Studien und zeigten dabei gute Ergebnisse bezüglich der Verbesserung des

Hörvermögens und der Spracherkennung (FISCH, 2001; STERKERS, 2003; ZENNER, 2003 und 2004).

Vorteilhaft an dem vorliegenden Gerät ist zum einen das subepithelial gelegene Mikrofon, das vollimplantiert ist, und dem Patienten somit kein außen zu tragendes Gerät zumutet, zum anderen die Erhaltung der Ossikelkette. Deren Zerstörung beim Implantationsvorgang würde zu einer vorsichtigeren Indikationsstellung führen und u.a. eine Zulassung in den Vereinigten Staaten vermutlich verhindern (FOOD AND DRUG ADMINISTRATION, 1993).

Ferner muss der Operateur keine vollkommen neue Operationstechnik erlernen. Die Art der Ankopplung ist an eine herkömmliche Methode bei Stapesoperationen angelehnt.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse der Untersuchung, dass das vorliegende Hörgerät über einen längeren Zeitraum stabil und funktionsfähig bleibt. Weder das Mittel- noch das Innenohr werden von ihm geschädigt. Die Implantation des Mikrofons unterhalb des Gehörgangsepithels erweist sich ebenfalls als praktikabel (KOSTER, 1998). Da die perkutane Führung der elektrischen Zuleitungen lediglich für diesen Versuchsaufbau so gewählt wurde, können die Ergebnisse bezüglich der Infektionsreaktion und Stabilität der Kabel nicht auf eine geplante Implantation beim Menschen übertragen werden. Eine subkutane Lage der entsprechenden Aggregate, analog der eines Herzschrittmachers, sollte auch aufgrund der langjährigen Erfahrungen auf diesem Gebiet, weitaus weniger komplikationsträchtig sein.

Diese Vorteile und Ergebnisse zeigen, dass die vorliegende Hörhilfe klinische Anwendbarkeit besitzt. Es bliebe noch zu klären, inwiefern das Resthörvermögen durch ein Gerät, eingeschränkt wird, wenn es nach der Implantation, zum Beispiel durch Verlust der Stromversorgung, funktionsunfähig wird. Im nächsten Schritt wird die Dauerfestigkeit und -stabilität sowie die Funktionalität am Menschen bestätigt werden müssen. Die Ergebnisse dieses Experiments sind für eine Optimierung und Perfektionierung der Implantate für den humanen Bereich zu nutzen. Nur die konsequente Beseitigung der Probleme führt zu einem funktionsfähigen und langzeitstabilen Implantat. Gerade diese Voraussetzungen sind aufgrund des erheblichen operativen Aufwands und aus ethischen Gesichtspunkten unerlässlich.

6 Zusammenfassung

Die vorliegende tierexperimentelle Studie, deren Teil diese Arbeit darstellt, gliedert sich in drei Abschnitte:

1. Erarbeiten und Bewertung eines geeigneten Tiermodells
2. Entwicklung einer Implantationstechnik
3. Bewertung der Funktionalität und Langzeitstabilität des vorliegenden Hörgerätes.

Mittelpunkt dieser Arbeit ist die Bewertung des Tiermodells und seiner Übertragbarkeit auf den humanen Anwendungsbereich. Es wurden Schädel verschiedener Säugetiere im Hinblick auf Implantationsmöglichkeiten im Mittelohr beurteilt. Der Foxhound erschien als geeignetes Versuchstier für dieses Experiment.

Für die vom Menschen abweichenden anatomischen Voraussetzungen wurden die Implantatteile äußerlich modifiziert. Eine Implantationstechnik, die an herkömmliche Operationstechniken angelehnt ist, musste entwickelt werden. Zur dauerhaft stabilen Befestigung wurde zusätzlich zu der Verschraubung Ionozement verwendet. Dazu wurde eine Methode entwickelt, die dessen Mikroapplikation erlaubt.

Mittels dieser Methoden wurde das neuartige Hörgerät Anfang 1995 in 22 Foxhounds implantiert, wobei das Mikrofon subepithelial im äußeren Gehörgang zu liegen kam. Das piezoelektronische Aktorsystem wurde in die Bulla tympanica eingebracht und mit einer Goldschlinge, die am Crus longum incudi befestigt wurde, an die Ossikelkette angeschlossen.

Über einen Zeitraum von sechs Monaten wurden bei den Tieren regelmäßig hirnstammaudiometrische Messungen durchgeführt, um die Funktion der Hörgerätkomponenten zu prüfen.

Nach diesem Zeitraum erfolgte die Explantation der Hörgeräte. Es wurden morphometrische Messungen an den äußeren und mittleren Teilen der Foxhoundohren vorgenommen. Dabei fand sich eine anatomische Besonderheit, ein die Chorda tympani im Mittelohr stützender, konischer Knorpel. In der vorliegenden Literatur ist eine Beschreibung desselben bei Hunden bislang nicht erfolgt.

Es zeigte sich, dass der Foxhound ein geeignetes Tiermodell für diese Art von otologischem Versuch darstellt, da der Aufbau des Schalleitungsapparates weitgehend gleich ist. Beachtenswerte Unterschiede sind das beim Hund größere Trommelfell, der längere Hammergriff, die das Mittelohr nach ventral abschließende Bulla tympanica und der unterschiedliche Verlauf der Chorda tympani.

Diese sind für die Beurteilung der Ergebnisse im Hinblick auf Humanversuche allesamt jedoch nicht relevant.

Die anatomischen Voraussetzungen für eine Implantation beim Foxhound weichen von den humanen ab. Diesem Problem kann aber durch Modifikationen an den Implantaten, die das Gesamtergebnis nicht beeinträchtigen, begegnet werden. Es ist möglich, den Foxhound für weitere Versuche auf diesem Gebiet als Versuchstier zu wählen.

Die HörerätKomponenten und das benachbarte Gewebe wurden mikroskopisch untersucht, um die Reaktionen auf diese unphysiologische Situation zu bewerten.

Dabei zeigte sich, dass die Implantatteile überwiegend stabil und funktionstüchtig waren. Die Befestigung mittels Schrauben und Ionomerzement konnte als dauerstabil bewertet werden. Die Einheilung in das umliegende Gewebe entsprach aus der Literatur zu entnehmenden Erkenntnissen. Lediglich durch bestimmte Materialien verursachte Wundheilungsstörungen traten negativ in Erscheinung. Es zeigte sich, dass Modifikationen an den Oberflächenstrukturen einiger Implantatteile sinnvoll wären.

Das vorliegende Hörerät konnte bei praktikabler Operationstechnik für einen Zeitraum von sechs Monaten implantiert werden. Dabei trat keine Schädigung des Mittelohres durch das Implantat selbst auf. Für erfahrene Operateure ließe sich eine Implantation dieses Gerätes gut erlernen, da sie an otologische Eingriffe angelehnt ist.

7 Literaturverzeichnis

1. Altmann, F.; Basek, M. The finer structure of the human stapes. *Archives of Otolaryngology* 73:507-512, 1961.
2. Andersen, A.C.; Good, L.S. The Beagle as an experimental dog. *Iowa State University Press*, Ames, Ia., 1970.
3. Anderson, J.M.; Hughes, H.C. Experimental animal selection. In: Handbook of biomaterials evaluation. *MacMillan*, New York, 1986.
4. Ariëns Kappers, C.U. Vergleichende Anatomie des Nervensystems. *E.F. Bohm*, Haarlem, 1920.
5. Artmeier, P.; König, H.E. Zur Ohrakupunktur beim Hund. *Kleintier Praxis* 23:299-306, 1978.
6. Baker, R.S.; Wood, M.W.; Hough, J.V.D. The implantable hearing device for sensorineural hearing impairment: the Hough Ear Institute experience. *Otolaryngologic Clinics of North America* 28 (1):147-154, 1995.
7. Bartels, T.; Meyer, W. Eine schnelle und effektive Methode zur Mazeration von Wirbeltieren. *Deutsche Tierärztliche Wochenschrift* 98:407-409, 1991.
8. Bast, T.H.; Anson, B.J. The Temporal Bone and The Ear. *Charles C. Thomas*, Springfield, Il, 1949.
9. Bayrhuber, H.; Kull, U. Linder Biologie. 20. Auflage, *J.B. Metzler*, Stuttgart, 1989.

10. Beck, C. Anatomie und Histologie des Ohres. In: Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde in Praxis und Klinik Bd. 5., *Georg Thieme Verlag*, Stuttgart, 1992.
11. Berger, K.W. The hearing aid: its operation and development. *National Hearing Aid Society*, Livonia, Mi., 1984.
12. Bernecker, F.; Hormann, K.; Donath, K. Animal experiment study of the biocompatibility of dentin and enamel as ear ossicle prosthesis. *HNO* 41 (5): 250-253, 1993.
13. Blauch, B.; Strafass, A.C. Histologic relationship of the facial (7th) and vestibulocochlear (8th) cranial nerves within the petrous temporal bone in the dog. *American Journal of Veterinary Research* 35:481-486, 1974.
14. Boas, J.E.V. Zur vergleichenden Anatomie des Ohrknorpels der Säugetiere. *Anatomischer Anzeiger* 30:434-442, 1907.
15. Boas, J.E.V. Ohrknorpel und äußeres Ohr der Säugetiere. *Selbstverlag*, Kopenhagen, 1912.
16. Böck, P. Histologische Färbungen. In: Romeis Mikroskopische Technik. *U&S*, München, 1989.
17. Böhme, G. Sinnesorgane. In: Lehrbuch der Anatomie der Wirbeltiere Bd. 4. Nickel, R.; Schummer, A.; Seiferle, E. (Hrsg.), 3.Auflage. *Parey*, Berlin, 1991.
18. Bojrab, M.J. Current techniques in small animal surgery. *Lea & Febiger*, London, 1990.
19. Bondy, G. Beiträge zur vergleichenden Anatomie des Gehörorgans der Säuger. *Anatomische Hefte* 106, 1908.

20. Boothe, H.W. Surgery of the tympanic bulla. *Problems in Veterinary Medicine* 3 (2):254-269, 1991.
21. Boyd, J.S. A colour atlas of clinical anatomy of the dog and cat. *Wolfe*, Glasgow, 1991.
22. Bunte, M.; Strunz, V.; Gross, U.; Brömer, H.; Deutscher, K. Vergleichende Untersuchungen über die Haftung verschiedener Implantatmaterialien im Knochen. *Deutsche Zahnärztliche Zeitung* 32:825-828,1977.
23. De Burlet, H.M. Vergleichende Anatomie des statoakustischen Organs. In: Handbuch der vergleichenden Anatomie der Wirbeltiere. *U&S*, 1934.
24. Bystrenin, V. The importance of auricular conchae for hearing orientation in the sagittal plane. *Vestnik Oto-rino-laringologii* 32:71-76, 1970.
25. Caye-Thomasen, P.; Jensen, J.H.; Bonding, P.; Tos, M. Long-term results and experience with the first-generation semi-implantable electromagnetic hearing aid with ossicular replacement device for mixed hearing loss. *Otol. Neurotol.* 23 (6):904-911, 2002.
26. Dass, R.; Grewal, B.S.; Thapar, S.P. Human stapes and its variations. *Journal of Laryngology and Otology* 80 (11):1023-1037, 1966.
27. Dazert, S. Kiefernhöhlenobliteration mit Ionomerzement am Kaninchen. *HNO* 41:a25-a26, 1993.
28. Demanez, J.P. Aspects anatomique, physiologique et fonctionel des muscles endo-tympaniques. *Acta Oto-Rhino-Laryngologica Belgica* 29:770-774, 1975.
29. Denker, A. Vergleichend-anatomische Untersuchungen über das Gehörorgan der Säugetiere nach Corrosionspräparaten und Knochenschnitten. 17. Auflage. *Veit & Co.*, Leipzig, 1899.

30. Donaldson, J.A. Fossula of the cochlear fenestra. *Archives of Otolaryngology* 88:124-130, 1968.
31. Dormer, K.J.; Bryce, G.E.; Hough, J.V.D. Selection for biomaterials for middle and inner ear implants. *Otolaryngologic Clinics of North America* 28 (1):1727, 1995.
32. Dumon, T.; Zennaro, O.; Charlet de Sauvage, R.; Aran, J.M.; Bébéar, J.P. Implants d'oreille moyenne, développement d'un prototype humain. *Revue de Laryngologie* 114 (2):147-150, 1993.
33. Dyce, K.M.; Sack, W.O.; Wensing, C.J.G. Anatomie der Haustiere. *Ferdinand Enke Verlag*, Stuttgart, 1991.
34. Ehsani, B.; Collo, D. Drei Jahre Erfahrungen mit Ionomerzement in der rekonstruktiven Mittelohrchirurgie. *Laryng. Rhinol. Otol.* 73:381-384, 1994.
35. Ellenberger, W.; Baum, H. Handbuch der vergleichenden Anatomie der Haustiere. 18. Auflage. *Springer*, Berlin, 1943.
36. El-Mofty, A.; El-Serafy, S. The ossicular chain in mammals. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol.* 76:903-909, 1967.
37. Feneis, H. Anatomisches Bildwörterbuch. 6. Auflage. *Georg Thieme Verlag*, Stuttgart, 1988.
38. Finck, K.M. Gewebeverträglichkeitsprüfung des Polyarylamids IXEF für ein Katheter-Port-System in einem nicht funktionalen Implantationsversuch. Berlin, 1994.
39. Fisch, U.; Cremers, C.W.; Lenarz, T.; Weber, B.P.; Babighian, G.; Uziel, A.S.; Proops, D.W.; O'Connor, A.F.; Charachon, R.; Helms, J.; Fraysse, B. Clinical experience with the Vibrant Soundbridge implant device. *Otol. Neurotol.* 22 (6):962-72, 2001.

40. Food and Drug Administration. *1977 FDA Regulations Update* 12, 1993.
41. Foss, I.; Flottorp, G. A comparative study of the development of hearing and vision in various species commonly used in experiments. *Acta Otolaryngologica* 77:202-214, 1974.
42. Fox, S.M.; Woody, B.J. The basics: Anatomy of the canine ear. *Veterinary Medicine* 81 (7):602-606, 1986.
43. Fredrickson, J.M.; Coticchia, J.M.; Khosla, S. Ongoing investigations into an implantable electromagnetic hearing aid for moderate to severe sensorineural hearing loss. *Otolaryngologic Clinics of North America* 28 (1):107-120, 1995.
44. Freund, L. Zur Morphologie des äusseren Gehörganges der Säugetiere. *Beiträge zur Anatomie, Physiologie, Pathologie und Therapie des Ohres, der Nase und des Halses* 3:1-34, 1910.
45. Gersdorff, M.; Deggouj, N. Les aides auditives implantables. *Revue de Laryngologie* 112 (4):293-296, 1991.
46. Getty, R. The Ear. In: Miller's Anatomy of the Dog. Edited by Evans, E. 3rd edition. W.B. Saunders, Philadelphia, 1993.
47. Getty, R.; Foust, H.L.; Presley, E.T.; Miller, M.E. Macroscopic anatomy of the dog. *American Journal of Veterinary Research* 17:364-375, 1956.
48. Geyer, G; Ionomezement, als Knochenersatzmaterial in der Ohrchirurgie - eine Tierexperimentelle und klinische Untersuchung. *Die Medizinische Welt* 44:716-724, 1993.
49. Geyer, G.; Helms, J. Ionomer-based bone substitute in otologic surgery. *European Archives of Otorhinolaryngology* 250:253-256, 1993.

50. Gitter, A.H. Eine kurze Geschichte der Hörforschung: II. Renaissance. *Laryng. Rhinol. Otol.* 69:495-500, 1990.
51. Goode, R.L. Current status and future of implantable electromagnetic hearing aids. *Otolaryngologic Clinics of North America* 28 (1):141-146, 1995.
52. Goode, R.L.; Rosenbaum, M.L.; Maniglia, A.J. The history and development of the implantable hearing aid. *Otolaryngologic Clinics of North America* 28 (1):1-16, 1995.
53. Gray, O. The Chorda Tympani. *Journal of Laryngology and Otology* 67:128-138, 1953.
54. Gristina, A. Implant failure and the immuno-incompetent fibro-inflammatory zone. *Clinical Orthopedics and Related Research* 298:106-118, 1994.
55. Groterjahn, G.A.K. Über den Bau der Paukenhöhle bei Pferd, Rind, Schaf, Schwein, Hund und Katze. Inaugural-Dissertation, Göttingen, 1922.
56. Gusic, B. O sluznici srednjeg uha. *Symp. Otorhinolaryng. Jug.* 1:207-212, 1966.
57. Gyo, K.; Aritomo, H.; Goode, R.L. Measurement of the ossicular vibration ratio in human temporal bones by use of a video measuring system. *Acta Otolaryngologica* 103:87-95, 1987.
58. Gyo, K.; Goode, R.L. Measurement of stapes vibration driven by the ceramic vibrator of a middle ear hearing implant - human temporal bone experiments. *Advances in Audiology* 4 (32):107-116, 1988.
59. Gyo, K.; Goode, R.L.; Craig-Miller, D. Stapes vibration produced by the output transducer of an implantable hearing aid. *Archives Otolaryngol.-Head-Neck-Surgery* 113 (10):1078-1081, 1987.

60. Gyo, K.; Yanigihara, N. Present status and outlook of the implantable hearing aid. *American Journal of Otolaryngology* 11 (4):250-253, 1990.
61. Harris, D.M.; Siedentop, K.H.; Loewy, A. Experimental use of fibrin tissue adhesive in middle ear surgery. *Laryngoscope* 93:1310-1313, 1983.
62. Hartmann, F.D. Zur topographischen Anatomie des Gleichgewichts- und Gehörorgans der Hauskatze. Inaugural Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover, 1992.
63. Hartsfield, S.M.; Jacobson, J.D. Anaesthesia for head and neck surgery. *Problems in Veterinary Medicine* 3 (2):123-141, 1991.
64. Hegewald, K. Vergleichende Histologische Untersuchungen über den äusseren Gehörgang der Haussäugetiere. Inaugural-Dissertation, Leipzig, 1922.
65. Hehl, K.; Schumann, K.; Beck, C.; Schöttle, W. Über die Verwendung von Glasionomerzement in der Chirurgie am kleinen Gelenk. *Laryng. Rhinol. Otol.* 68:490-492, 1989.
66. Von Helmholtz, H.L.F. Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik. *F. Vieweg und Sohn*, Braunschweig, 1865.
67. Henschel, E. Der latero-kaudale Zugang zum Tympanon. *Tierärztliche Praxis* 3:331-334, 1975.
68. Hentzer, E. Histological studies of the normal mucosa in the middle ear, mastoid cavities and eustachian tube. *Annals of Otolology* 79:823-827, 1970.
69. Heumann, H.; Steinbach, E. The effects of an adhesive in the middle ear. *Archives of Otolaryngology* 106:734-736, 1980.

70. Holz, K. Vergleichende anatomische und topographische Studien über das Mittelohr der Säugetiere. *Zeitschrift für Anatomie* 94:757-791, 1931.
71. Honda, Y. Gehörorgan des Hundes. Inaugural-Dissertation, Erlangen, 1908.
72. Hotz, P.R. Die Verarbeitung von Glasionomerkement. *Schweizer Monatsschrift der Zahnheilkunde* 90 (11):1070-1077, 1980.
73. Hough, J.V.D.; Dormer, K.J.; Baker, R.S.; Meikle, M.; Himelick, T. Middle ear implantable hearing device: ongoing animal and human evaluation. *Am. Otol. Rhinol. Laryngol.* 97:650-658, 1988.
74. Hough, J.V.D.; Hough, D.A.; McGee, M. Long-term results for the Xomed Audiant Bone Conductor. *Otolaryngologic Clinics of North America* 28 (1):43-52, 1995.
75. Hough, J.V.D.; Vernon, J.; Himelick, T.; Meikel, M.; Richard, G.; Dormer, K. A middle ear implantable hearing device for controlled amplification of sound in the human: a preliminary report. *Laryngoscope* 97 (2):141-151, 1987.
76. Hough, J.V.D.; Vernon, J.; Johnson, B.; Dormer, K.; Himelick, T. Experiences with implantable hearing devices and presentation of a new device. *Am. Otol. Rhinol. Laryngol.* 95:60-65, 1986.
77. Hudson, W.R.; Ruben, R.J. Hereditary deafness in the dalmatian dog. *Archives of Otolaryngology* 75:213-219, 1962.
78. Hüttenbrink, K.B. Die Mechanik und Funktion des Mittelohres. Teil 1: Die Ossikelkette und die Mittelohrmuskeln. *Laryngo-Rhino-Otol.* 71: 545-551, 1992.
79. Hyrtl, J. Vergleichend-anatomische Untersuchungen über das innere Gehörorgan des Menschen und der Säugetiere. *Friedrich Ehrlich Verlag, Prag*, 1845.

80. Jacobi, M. Elektrische Reaktionsaudiometrie (ERA) beim Hund unter Berücksichtigung eines piezoelektrischen Wändlers. Inaugural-Dissertation (Dr. med. vet.). Tierärztliche Hochschule Hannover, 1997.
81. Jenkins, T.W. The ear - Hearing and equilibrium. In: Functional Mammalian Neuroanatomy. 2nd edition. *Lea & Febiger*, Philadelphia, 1978.
82. Johansen, P.A. Measurement of the human ear canal. *Acustica* 33:349-351, 1975.
83. Van Kampen, P.N. Die Tympanalgegend des Säugetierschädels. *Gegenbaurs Morphologisches Jahrbuch* 34:501-508, 1905.
84. Kates, J.M. The problem of feedback in hearing aids. *J. Common. Disord.* 24:223-235, 1991.
85. Keen, J.A.; Grobbelaar, C.S. The comparative anatomy of the tympanic bulla and auditory ossicles, with a note suggesting their function. *Transactions of the Royal Society of South Africa* 27:307-329, 1940.
86. Keen, J.A. The comparative anatomy of the promontory region and of the bony cochlea in mammals. *Transactions of the Royal Society of South Africa* 29:49-58, 1942.
87. Kessel, J. Histologie der Ohrmuschel, des äußeren Gehörganges, Trommelfells und Mittelohres. In: Handbuch der Ohrenheilkunde. Band 1, 1892.
88. Kobrak, H.G. The middle ear. 2nd edition. *The University of Chicago Press*, Chicago & London, 1967
89. Kohllöffel, L.U.E. Notes on the comparative mechanics of hearing III. On Shrapnell's membrane. *Hearing Research* 13:83-88, 1984.

90. Kosagina, E. The individual changeability of the cochlear window. *Vestnik Otolaryngologii* 31:81-85, 1969.
91. Koster, M. Untersuchungen zur Einheilung eines subepithelial im äußeren Gehörgang des Foxhounds implantierten Mikrofons – Entwicklung eines implantierbaren Hörgerätes. Inaugural-Dissertation (Dr. med. vet.). Tierärztliche Hochschule Hannover, 1998.
92. Krüger, M. Häufigkeitsstatistische und demographische Angaben zum Personenkreis hörgeschädigter Menschen. In: Chancen für Hörgeschädigte. Claussen, W.H., Jussen, H. (Hrsg.) *E. Reinhard*, München-Basel, 1991.
93. De Lange, G.L.; Donath, K. Interface between bone tissue and implants of solid hydroxyapatite or hydroxyapatite coated titanium implants. *Biomaterials* 10 (3):121-125, 1989.
94. Lefèbre, H. Exploration fonctionnelle de l'audition chez le chien: possibilités actuelles. *Prat. Med. Chir. Anim. Comp.* 28:105-121, 1993.
95. Leonard, J.R.; Alexander, D.W. Anatomic variations in the area of the oval window. *Archives of Otolaryngology* 87:48-55, 1968.
96. Lim, D.J. Tympanic membrane. I: Pars tensa. *Acta Otolaryngologica* 66:181-198, 1968.
97. Lim, D.J. Tympanic membrane. II. Pars flaccida. *Acta Otolaryngologica* 66:515-532, 1968.
98. Lim, D.J. Human tympanic membrane. *Acta Otolaryngologica* 70:176-186, 1970.
99. Low, D.G. General examination of dogs. *Veterinary Clinics of North America* 1 (1):3-14, 1971.

100. Maher, W.P. Microvascular networks in tympanic membrane, malleus periosteum and annulus perichondrium of neonatal mongrel dog: a vasculoanatomic model for surgical considerations. *American Journal of Anatomy* 183:294-302, 1988.
101. Maniglia, A.J. Implantable hearing devices. *Otolaryngologic Clinics of North America* 22 (1):175-200, 1989.
102. Maniglia, A.J.; Ko, W.H.; Rosenbaum, M.L.; Zhu, W.L.; Werning, J.; Besler, R.; Drago, P. A contactless electromagnetic implantable middle ear device for sensorineural hearing loss. *ENT Journal* 73 (2):78-90, 1994.
103. Maniglia, A.J.; Ko, W.H.; Zhang, R.X.; Dolgin, S.R.; Rosenbaum, M.L.; Montague, F.W.Jr. Electromagnetic implantable middle ear hearing device of the ossicular-stimulating type: Principles, designs and experiments. *Acta Otolaryngologica* 3-15
104. Martin, P. Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Band IV. *Stickhardt & Ebner*, Stuttgart, 1923.
105. Martin, J.Y.; Schwartz, Z.; Hummert, T.W.; Schraub, D.M.; Simpson, J.; Lankford, J.; Dean, D.D.; Cochran, D.L.; Boyan, B.D. Effect of titanium surface roughness on proliferation, differentiation and protein synthesis of human osteoblast-like cells (MG63). *J. Biomed. Mat. Res.* 29:389-401, 1995.
106. Merchant, S.N.; Nadol, J.B. Histopathology of ossicular implants. *Otolaryngologic Clinics of North America* 27 (4):813-824, 1994.
107. Miller, M.E.; Witter, R.E. Applied anatomy of the external ear of the dog. *The Cornell Veterinarian* 32:64-86, 1942.
108. Müller, J.; Geyer, G.; Helms, J. Ionomerzement in der Cochlear-Implant-Chirurgie. *Laryng. Rhinol. Otol.* 72:36-38, 1993.

109. Naumow, N.P.; Simkin, G.N. Die akustische Bedeutung des äußeren Gehörganges bei Säugetieren. *Die Naturwissenschaften* 53:144-145, 1965.
110. Nielsen, S.W. Glands of the canine skin - morphology and distribution. *American Journal of Veterinary Research* 14:448-454, 1953.
111. Niehaus, H. Über den jetzigen Stand implantierbarer Hörgeräte. *HNO* 3:57-58, 1994.
112. Omulecki, M. Okienko okragle. *Otolaryngologia Polska* 17:175-183, 1963.
113. Omulecki, M. Sinus tympani. *Otolaryngologia Polska* 17:184-190, 1963.
114. Otto, K.A.; Weber, B.P.; Jacobi, M.; Hedrich, H.J. Retrospective evaluation of cardiopulmonary and acidbase variables during long-term anesthesia for experimental surgery in dogs. *Lab. Anim. Sci* 47 (6): 624-631, 1997.
115. Petri, J. Über Aufbau und Leistung der Ohrmuschel. *Zeitschrift für HNO-Heilkunde* 30:605-608, 1932.
116. Philipps, B. Tierexperimentelle Prüfung des Aktorsystems eines vollimplantierbaren Hörgerätes. Inaugural-Dissertation, Hannover, 1997.
117. Proctor, B. Surgical anatomy and embryology of the middle ear. *Transactions of the American Academy of Ophthalmology and Otolaryngology* 67:799-804, 1963.
118. Renard, J.L.; Felten, D.; Béquet, D. Post-otoneurosurgery aluminium encephalopathy. *Lancet* 344 (2):63-64, 1994.
119. Retzius, G. Das Gehörorgan der Wirbelthiere: Das Gehörorgan der Reptilien, der Vögel und der Säugethiere. *Samson & Wallin*, Stockholm, 1884.

120. Richtberg, W. Was Schwerhörigsein bedeutet. *Verlag E. Kind*, Großburgwedel, 1990.
121. Richtberg, W. Psychische und soziale Folgen von Schwerhörigkeit. *Krankenhauspsychiatrie* 6:169-174, 1995.
122. Roberto, M. A topographic quantitative analysis of the post-natal bone formation in the auditory ossicles of the dog. *Acta Otolaryngologica* 81:16-25, 1976.
123. Rose, W.R. Development of the ear. *Veterinary Medicine* :1372-1375, 1978.
124. Rudberg, R. A remarkable case of hearing improvement by means of an auditory apparatus. *Acta Otolaryngologica* 34:604-607, 1946.
125. Rüdél, C.; Zöllner, W. Ionomeric cement - a bone glue for device fixation. *ENT Journal* 73 (3):189-191, 1994.
126. Rutschmann, J. Magnetic audition auditory stimulation by means of altering magnetic fields on a permanent magnet fixed to the ear drum. *IRE Transactions on Medical Electronics* 6 (22):159, 1958.
127. Saito, R.; Igarashi, M.; Alford, B.R. Anatomical measurement of the sinus tympani. *Archives of Otolaryngology* 94:418-425, 1971.
128. Schiebler, T.H.; Schmidt, W. Organum vestibulocochleare. In: Anatomie. 4. Auflage. *Springer*, Berlin, 1991.
129. Schmidt, J. Vergleichend-anatomische Untersuchungen über die Ohrmuschel verschiedener Säugetiere. Inaugural-Dissertation, Leipzig, 1902.
130. Schupbach, J.; Kompis, M.; Hausler, R. Bone anchored hearing aids (B.A.H.A.) *Ther. Umschau* 61 (1):41-46, 2004.

131. Schwager, K. Titanium as an ossicular replacement material: results after 336 days of implantation in the rabbit. *American Journal of Otology* 19 (5): 569-573, 1998.
132. Schwalbe, G. Beiträge zur Kenntnis des äußeren Ohres der Primaten. *Zeitschrift für Morphologie und Anthropologie* 19:54-61, 1916.
133. Spence, T.B.; Cornell, A.B. A comparison of the external and middle ear of man and the cat. *Proceedings of the American Society of Microscopists* :146-164, 1890.
134. Stenfors, L.E.; Salén, B.; Winblad, B. The role of the pars flaccida in the mechanics of the middle ear. *Acta Otolaryngologica* 88:395-400, 1979.
135. Sterkers, O.; Boucarra, D.; Labassi, S.; Bebear, J.P.; Dubreuil, C.; Frachet, B.; Fraysse, B.; Lavieille, J.P.; Magnan, C.; Truy, E.; Uziel, A.; Vaneecloo, F.M. A middle ear implant, the Symphonix Vibrant Soundbridge: retrospective study of the first 125 patients implanted in France. *Otol. Neurotol.* 24 (3):427-436, 2003.
136. Stout-Graham, M.; Kainer, R.A.; Whalen, L.R.; Macy, D.W. Morphologic measurements of the external horizontal ear canal of dogs. *American Journal of Veterinary Research* 51 (7):990-994, 1990.
137. Stenger, P. Topographische Anatomie des Gehörgangs. In: Handbuch der speziellen Chirurgie des Ohres und der oberen Luftwege. Katz, L. (Hrsg.). 3.Auflage. Würzburg, 1922.
138. Strauchmann, B. Rasterelektromikroskopische Untersuchungen der Foxhoundcochlea im Rahmen einer tierexperimentellen Studie zur Entwicklung eines vollimplantierbaren Hörgeräts. Inaugural-Dissertation (Dr. rer. biol. hum.), Biologische Institute Hannover, 1999.

139. Studebaker, G.A. Fifty years of hearing aid research: an evaluation of progress. *Ear and Hearing* 1 (2):57-62, 1980.
140. Suzuki, J.I.; Koder, K.; Akai, S.; Nagai, K. Still further clinical observation of MEI implanted patients. *Transplants and Implants in Otology* 2:387-390, 1992.
141. Suzuki, J.I.; Koder, K.; Kyoko, N.; Yabe, T. Long-term clinical results of the partially implantable piezoelectric middle ear implant. *ENT Journal* 73 (2):104-107, 1994.
142. Suzuki, J.I.; Koder, K.; Yanigihara, N. Evaluation of middle ear implant: a six-month observation in cats. *Acta Otolaryngologica*. 95:646-650, 1983.
143. Tjellström, A. Vibratory stimulation of the cochlea through a percutaneous transducer. *Advances in Audiology* 4:44-50, 1988.
144. Tjellström, A.; Granström, G. Long-term follow-up with the bone-anchored hearing aid: a review of the first 100 patients between 1977 and 1985. *ENT Journal* 73 (2):112-114, 1994.
145. Tos, M.; Salomon, G.; Bonding, P. Implantation of electromagnetic ossicular replacement device. *ENT Journal* 73 (2):92-103, 1994.
146. Toynbee, J. On the use of an artificial membrana tympanica. Churchill, London, 1854.
147. Vau, E. Die Wanderung des knöchernen äußeren Gehörganges als Rassenmerkmal (Untersuchungen an Rind und Hund). *Zeitschrift für Anatomie und Entwicklungsgeschichte* 109:161-181, 1938.
148. Wakuri, H.; Mori, S.; Mutoh, K.I.; Kataoka, S.; Watanabe, S. Fiber arrangement in the canine tympanic membrane. *Okajimas Folia Anatomica* 65 (1):11-18, 1988.

149. Weber, B.P.; Philipps, B.; Strauchmann, B. Advances in the use of glass-ionomeric cement. Part 1: Experimental results and portrayal of a technique. *ORL J. Otorhinolaryngol. Relat. Spec.* 60 (2): 111-115, 1998.
150. Weber, B.P.; Philipps, B.; Strauchmann, B. Advances in the use of glass-ionomeric cement. Part 2: Functional results of fine application of low-viscosity glass-ionomeric cement: animal experimental results. *ORL J. Otorhinolaryngol. Relat. Spec.* 60 (2): 116-119, 1998.
151. Wells, J.; Gemon, W. Bony ossicular fixation using 2-cyano-butyl-acrylate adhesive. *Archives of Otolaryngol.-Head-Neck-Surgery* 113 (6):644-646, 1987.
152. Werner, C.F. Das Gehörorgan der Wirbeltiere und des Menschen. *VEB Georg Thieme, Leipzig*, 1960.
153. Wiggers, H.C. The function of the intra-aural muscles. *American Journal of Physiology* 120:771-180, 1937.
154. Wilska, A. Eine Methode zur Bestimmung der Horsch Wellenamplituden des Trommelfells bei verschiedenen Frquenzen. *Scand. Arch. Physiol.* 72:161-162, 1935.
155. Working Group on Communications Aids for the Hearing Impaired. Speech-perception for hearing-impaired people: current status and needed research. *Journal of the Acoustical Society of America* 90 (2):637-685, 1991.
156. Wustrow, F. Über den Knochenfeinbau in Hammer und Amboß. *Z. Laryng. Rhinol.* 35:544-554, 1954.

157. Yanigihara, N.; Arimoto, H.; Yamanaka, E.; Gyo, K. Intraoperative assessment of vibrator-induced hearing. *Advances in Audiology* 4: 124-133, 1988.
158. Zenner, H.P.; Baumann, J.W.; Reischl, G.; Plinkert, P.; Zimmermann, R.; Mauz, P.S.; Limberger, A.; Maassen, M.M. Patient selection for incus body coupling of a totally implantable middle ear implant. *Acta Otolaryngologica* 123 (6):683-696, 2003.
159. Zenner, H.P.; Limberger, A.; Baumann, J.W.; Reischl, G.; Zalaman, I.M., Mauz, P.S.; Plinkert, P.K.; Zimmermann, R.; Baumann, I.; De Maddalena, H.; Leysieffer, H.; Maassen, M.M. Phase III results with a totally implantable piezoelectric middle ear implant: speech audiometry, spatial hearing and psychosocial adjustment. *Acta Otolaryngologica* 124 (2):155-164, 2004.

8 Anhang: Maße am Außen- und Mittelohr des Foxhound

Nummer / Geschl.	Seite	Bulla-wand - Tuben-ostium	Bullawand - Rec. epitym-panicus	Hammergr. - Promon-torium	Bulla: Höhe	Bulla: größter Ø	Bulla: Eingangs-Ø	Pauken-höhe ohne Bulla
90/072	r	22	21	3	11	20x11	16x10	11
w	l			3				
92/105	r	26	23	3,5	11	21x16	15x9	15
m	l			3				
93/137	r	26	22,5	3,5	12	27x16	17x10	16
m	l			3				
92/037	r	26	22	4	10	21x13	17x9	16
m	l			3,5				
94/076	r	25	19	4	9	19x12	16x10	16
w	l			3				
94/068	r	26	19	3	8	22x13	16x8	18
w	l			3,5				
94/085	r	22	19	3	10	20x13	15x9	12
m	l			3,5				
94/066	r	24	21	3	9	19x17	17x9	15
w	l			3,5				
94/072	r	22	19	3,5	9	20x16	16x12	13
w	l			3				
94/070	r	25	18	2,8	10	22x14	14x9	15
w	l			3				
94/064	r	26	21	3,5	9	22x16	17x14	17
w	l			3				
94/083	r	28	23	3	10	24x13	15x9	18
m	l			3				
94/078	r	27	22	3	10	22x13	17x9	17
w	l			3,5				
93/132	r	24	23	3	9	17x10	13x8	15
w	l			3				
93/002	r	25	23	3	12	19x15	17x13	13
w	l			3,5				
94/089	r	21	25	3	12	21x14	11x9	9
m	l			3				
94/081	r	27	24	3	11	21x11	13x8	16
m	l			3				
94/087	r	21	26	3	13	20x17	12x9	8
m	l			3				
94/054	r	22	19	3	10	22x11	12x8	12
w	l			3				
94/060	r	21	20	3	11	20x11	12x9	10
w	l			3,5				
94/406	r	24	20	2,5	13	22x13	13x12	11
w	l			2,8				
94/407	r	24	22	2,5	10	22x14	15x13	14
m	l							
n		22	22	43	22	22	22	22
Durchschnitt		24,3	21,4	3,1	10,4	21x13,6	14,8x9,8	13,9
Standardabw.		2,16	2,16	0,32	1,37	2,01 / 2,11	1,99 / 1,79	2,89

(alle Maße in mm)

Tabelle 4: Maße im Mittelohr

Nummer / Geschl.	Seite	Trommel-fell	Hammer-länge	Hammer-grifflänge	Processus muscularis - Länge	Amboss-länge	Amboss-breite
90/072	r	12x7	7	6,5	3,5		
w	l	11,5x7	9,5	6,5	2		
92/105	r	12x7			2	3	2,5
m	l	11,5x8	9	7	2	3	4
93/137	r	10x7	10	6	1,8		
m	l	10x7				3	3
92/037	r	11x8	9,5	7	2,5	2,5	3,5
m	l	11x7,5					
94/076	r	10x7	9,5	6	2	2,5	3,5
w	l	10x7	7	5	2	2,5	3,2
94/068	r	12x7	9,5	7	2	3	2,8
w	l	12x7				2,5	3
94/085	r	9x7	9	7	2,5		
m	l	10x7		7	2,5	2,5	3
94/066	r	10x7		6,5	2	3	3,5
w	l	10,5x8	8,5	6,5	2,5	2,8	3,2
94/072	r	10,5x8	10	7	3		
w	l	11x8					
94/070	r	11x7,5	9	7	2,5	2,5	2,8
w	l	11x8	9	6,5	2	2,3	3
94/064	r	10,5x7		7	2,5		
w	l	11x7,5				3	3
94/083	r	11,5x7,5	9	7	2		
m	l	10x7		7	2	2,8	2,5
94/078	r	10,5x7,5	8,5	6	2	3	2,5
w	l	11x7,5	8,5	6	2	2,5	2,5
93/132	r	9x6	9	7	2,5		
w	l	10x7					
93/002	r	11x7		7	2	2	3
w	l	11x7,5	9,5	7	2	2	2,8
94/089	r	12x7					
m	l	12x7	10	7	2,8	2,5	3
94/081	r	10x8,5	9	6,5	2,5		
m	l	10x8				2,5	3
94/087	r	10x7	8,5	6,5	1,8		
m	l	10x7,5		7	2	3	2,5
94/054	r	10x8	9	7	2	3	2,8
w	l	11x7				3,2	3
94/060	r	10x7		7	2,5	3	3,5
w	l	11x7	9	6,5	2	2,8	3,8
94/406	r	9x7					
w	l	9,5x7	9	6	2	2,5	3,5
94/407	r	9,5x7	9,5	6,5	2	2,5	3
m	l	10x7				2,5	3
n		44	25	32	33	29	29
Durchschnitt		10,6x7,3	9	6,6	2,2	2,7	3
Standardabw.		0,86 / 0,47	0,75	0,48	0,38	0,32	0,39

(alle Maße in mm)

Tabelle 5: Maße an Trommelfell und Ossikeln

Nummer / Geschl.	Seite	Stapeshöhe	Stapebreite	Stapes: großes Fenster	Stapes: kleines Fenster	rundes Fenster	ovales Fenster
90/072	r					1,5x1,5	1,8x1,5
w	l	2,5				1,5x1,5	1,7x1,5
92/105	r	2,5				1,5x1,5	1,8x1,2
m	l					1,5x1,5	1,8x1,2
93/137	r					1,8x1,8	1,5x0,8
m	l					1,8x1,8	1,5x0,8
92/037	r					2,2x2,2	1,5x0,8
m	l					2,2x2,2	1,5x0,8
94/076	r					2x2	1,5x1
w	l					2x2	1,5x1
94/068	r					2x2	1,5x1
w	l					2x2	1,3x0,8
94/085	r					1,5x1,5	1,5x0,8
m	l					1,5x1,5	1,8x1
94/066	r					2x2	1,5x0,8
w	l					1,8x1,8	1,2x0,8
94/072	r					2x2	1,3x0,8
w	l					2x2	1,5x0,8
94/070	r					2,2x1,8	1,5x1
w	l					2x2	1,5x0,8
94/064	r					1,8x1,8	1,5x0,8
w	l	2	1,6	1,6x0,8	1x0,6	2x2	1,5x1
94/083	r					2x2	1,5x0,8
m	l	2	1,6	1,3x0,8	1,1x0,6	2x2	1,5x0,8
94/078	r	2,5			0,8x0,6	2x2	1,5x0,8
w	l					2x2	1,8x1
93/132	r					2x2	1,8x1
w	l					2x2	1,6x1
93/002	r					2,2x2	1,8x1
w	l					2,2x2	1,8x1
94/089	r	2,5			0,7x0,9	2,2x2	1,5x0,8
m	l					2x2	1,5x0,8
94/081	r					1,8x1,8	1,5x1
m	l					1,6x1,6	1,5x1
94/087	r					1,8x1,8	1,5x1
m	l				0,8x0,6	1,8x1,8	1,5x1
94/054	r					1,8x1,8	1,5x0,8
w	l					1,5x1,5	1,2x0,8
94/060	r					1,6x1,6	1,2x0,8
w	l					1,5x1,5	1,2x0,8
94/406	r					1,5x1,5	1,2x0,6
w	l					1,5x1,5	
94/407	r					2x2	1,5x1
m	l						
n		6	2	2	5	43	42
Durchschnitt		2,33	1,6	1,45x0,8	0,92x0,62	1,86x1,83	1,52x0,92
Standardabw.		0,26	0	0,21 / 0	0,13 / 0,04	0,24 / 0,22	0,18 / 0,18

(alle Maße in mm)

Tabelle 6: Maße an Stapes und Promontorium

Nummer / Geschl.	Seite	Pinna- länge	Meatus acust. ext.: Länge	Meatus acust. ext.: Länge vert. Teil	Ø Mitte vertikaler Teil	Meatus acust. ext.: Länge horiz. Teil	Ø Mitte horizon- taler Teil	Längendif. am Trommel- fell	Winkel (in Grad)
90/072	r	125	81	43	21x12	38	6x4,5	8	130
w	l	120	72	38	22x11,5	34	6x4	7,5	130
92/105	r	160	67	34	22x16	33	9x4	9	135
m	l	165	69	35	25x15	34	9x5	8	135
93/137	r	165	74	41	24x17	33	9x4	7,5	135
m	l	165	78	43	26x19	35	9x4	8	135
92/037	r	165	73	40	22x9	33	11x6	8,5	140
m	l	170	77	42	20x15	35	7x4	7,5	125
94/076	r	140	76	42	20x13	34	7x5	8	130
w	l	145	73	42	20x12	31	9x6	8	135
94/068	r	150	71	36	17x12	35	8x5	7,5	140
w	l	150	69	27	19x15	42	9x4	8	140
94/085	r	145	77	45	22x12	32	9x5	8,5	135
m	l	140	75	40	20x16	35	7x5	9	135
94/066	r	140	75	40	24x16	35	8x6	7	130
w	l	140	82	49	24x16	33	8x5	7	130
94/072	r						7x4	8	
w	l						7x5		
94/070	r	140	77	40	20x14	37	8x4	8	135
w	l	140	75	40	20x16	35	9x4	7	135
94/064	r						7x5	7	
w	l						7x6	7	
94/083	r						8x5	8	
m	l						9x4	7,5	
94/078	r	140	77	40	22x15	37	9x6	8	130
w	l	140	80	42	24x16	38	8x5	8	130
93/132	r	145	82	37	20x12	35	8x5	8,5	135
w	l	145	81	38	20x14	33	7x5	8,5	130
93/002	r	145	67	34	22x17	33	8x5	8,5	130
w	l	150	67	35	23x15	32	8x5	8	135
94/089	r								
m	l								
94/081	r								
m	l								
94/087	r	155	85	41	19x12	34	7x5	8	140
m	l	160	84	42	20x14	32	7x5	8,5	135
94/054	r	140	69	36	22x14	33	8x6	7,5	135
w	l	140	71	37	24x13	34	8x5	7	135
94/060	r	145	67	33	19x14	34	8x4	8	135
w	l	145	70	32	20x14	38	8x5	8,5	130
94/406	r	150	74	38	22x15	36	8x5	9	130
w	l	140	72	38	24x16	34	9x5	8	135
94/407	r	150	72	38	22x14	34	9x4	8	135
m	l	150	71	39	23x13	32	8x5	8,5	135
n		34	34	34	34	34	40	39	34
Durchschnitt		147,2	74,4	38,7	21,6x14,3	34,5	8x4,9	7,9	134
Standardabw.		11,1	5,1	4,1	2 / 2	2,2	10,7	0,6	3,5

(alle Maße in mm)

Tabelle 7: Maße am Außenohr

Wert	Geschl.	n	Durchschnitt	Standardabweichung
Bullahöhe	m	9	11	1,12
	w	13	10	1,41
Bulla: größter Ø	m	9	21,9x14	2,26 / 1,80
	w	13	20,3x13,2	1,89 / 2,27
Trommelfell	m	18	10,5x7,4	0,93 / 0,48
	w	26	10,6x7,2	0,82 / 0,47

(alle Maße in mm)

Tabelle 8: Ausgesuchte Werte, nach Geschlechtern getrennt

9 Verzeichnis der Bilder und Zeichnungen

Fig. 1	Foxhound mit Halskragen zur Aufnahme der externen Komponenten	15
Fig. 2	Anbringen des Kopppelementes am Incus	20
Fig. 3	Ankopplung des Wandler	20
Fig. 4	Meatus acusticus ext. mit subepithelial gelegnem Mikrophon	21
Fig. 5	Schematische Darstellung der Lage der Komponenten des Hörgerätes	21
Fig. 6	Perforation des rechten runden Fensters zur Perfusion	23
Fig. 7	Darstellung der Messebenen	25
Fig. 8	Auricula	30
Fig. 9	Meatus acusticus ext.	31
Fig. 10	Trommelfell	32
Fig. 11	Auricula	34
Fig. 12	Meatus acusticus ext., Darstellung des Winkels	35
Fig. 13	Meatus acusticus ext. mit knöchernem Anteil	36
Fig. 14	Meatus acusticus ext., Endoskopie	37
Fig. 15	Trommelfell, Umbo	38
Fig. 16	Trommelfell, Aufsicht	38
Fig. 17	Trommelfell, Verdeutlichung der schrägen Einfassung	39
Fig. 18	Cavitas tympanica	41
Fig. 19	Ossikel des Menschen	42
Fig. 20	Verdeutlichung der Lage des Mittelohres beim stehenden Hund	44
Fig. 21	Bulla-Ausguss, Ansicht von medial	45
Fig. 22	Bulla-Ausguss, Ansicht von lateral	45
Fig. 23	Mesotympanon und Recessus epitympanicus mit Ossikeln	46
Fig. 24	Rundes und ovales Fenster	47
Fig. 25	Trommelfell mit Knochenspitzen am Übergang zum Mesotympanon	48
Fig. 26	Übersicht Cavitas tympanica	49
Fig. 27	Malleus des Foxhound	50
Fig. 28	Incus des Foxhound	51
Fig. 29	Stapes des Foxhound	52
Fig. 30	M. tensor tympani	53
Fig. 31	Sehne des M. stapedius	54
Fig. 32	Chorda tympani und Fettkörper	55
Fig. 33	Nach Präparation des Fettkörpers	56
Fig. 34	Konischer Knorpel	56
Fig. 35	Cavitas tympanica des Hundes mit Bulla tympanica	60
Fig. 36	Malleus Mensch, Foxhound	61
Fig. 37	Incus des Menschen und des Foxhounds	62
Fig. 38	Stapes des Menschen und des Foxhounds	63

10 Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1	Übersicht über die Versuchstiere	16
Tab. 2	Gepuffertes Formaldehyd	27
Tab. 3	Karnovsky-Fixierung	27
Tab. 4	Maße im Mittelohr	93
Tab. 5	Maße an Trommelfell und Ossikeln	94
Tab. 6	Maße an Stapes und Promontorium	95
Tab. 7	Maße am Außenohr	96
Tab. 8	Ausgesuchte Werte, nach Geschlechtern getrennt	97

Lebenslauf

Name: Roman Koriat

Geburtstag/ -ort: 05.01.1973 in Oppeln (Polen)

Adresse: De-Vries-Hof 4
30627 Hannover

Eltern: Josef Koriat, Diplom-Ingenieur
Barbara Koriat, geb. Bogusz, Angestellte

Ausbildung:

06/1992:	Abitur am St. Ursula Gymnasium in Hannover
10/1992 – 06/2001:	Medizinstudium an der Medizinischen Hochschule Hannover

Berufliche Tätigkeit:

07/2001 – 12/2002:	Arzt im Praktikum in der Urologischen Klinik des Klinikum Hannover Siloah, Ärztlicher Leiter Prof. Dr. W.F. Thon
01/2003 – 12/2003:	Assistenzarzt in der Herz-Thorax-Gefäß- und Allgemein Chirurgie der Medizinischen Hochschule Hannover im Krankenhaus Oststadt in Hannover, Ärztlicher Leiter Prof. Dr. A. Haverich
01/2004. – 09/2006:	Assistenzarzt in der Urologischen Klinik des Klinikum Region Hannover Siloah, Ärztlicher Leiter Prof. Dr. W.F. Thon

Hannover, den 12.11.2006

Erklärung nach § 2 Abs. 2 Nrn. 5 und 6

Ich erkläre, dass ich die der Medizinischen Hochschule Hannover zur Promotion eingereichte Dissertation mit dem Titel „Das Mittel- und Außenohr des Menschen und des Foxhound, Ein anatomischer Vergleich in Bezug auf einen otologischen Versuch“ in der Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde unter Betreuung von Prof. Dr B.P. Weber ohne sonstige Hilfe durchgeführt und bei der Abfassung der Dissertation keine anderen als die dort aufgeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Ich habe diese Dissertation bisher an keiner in- oder ausländischen Hochschule zur Promotion eingereicht. Weiterhin versichere ich, dass ich den beantragten Titel bisher noch nicht erworben habe.

Hannover, den 12.11.2006

R.Koriat