

3 Material und Methode

3.1 Untersuchungsobjekt

Als Untersuchungsobjekte wurden eine vom Institut für Veterinäranatomie der FU Berlin zur Verfügung gestellte eingeschläferte mittelalte deutsche Schäferhündin (Tier 1) und ein von einer Berliner Tierarztpraxis zur Verfügung gestellter eingeschläferter mittelalter deutscher Schäferhund-Mix (Tier 2) genutzt. Bei beiden Tieren wurde der äußere Gehörgang otoskopisch untersucht und seine Unversehrtheit festgestellt. Es wurden keine Fremdkörper (Grannen, Schmutz, verfilzte Haare, getrocknetes Ohrenschmalz) im Ohrkanal gefunden. Des Weiteren gab es keine Anzeichen einer Irritation der Schleimhaut. Das Trommelfell stellte sich unauffällig dar. An Kopf und Ohrmuschel wurden keine Verletzungen und sichtbaren Abnormitäten registriert.

3.2 Erstellung von plastischen Modellen

Für die realistische Wiedergabe der anatomischen Verhältnisse bei den Modellen wurden Abdrücke von den Außenohren der beiden zur Verfügung stehenden Hunde angefertigt. Für die Anfertigung der Negativabdrücke von den Hundeohren diente als Abdruckmasse ein zweikomponentiges, elastisches Formenbaumaterial auf Silikonkautschukbasis (SICOVOSS RF, VOSSCHEMIE – technisches Merkblatt siehe Anhang). Dieses Material besitzt eine mittlere Viskosität mit hoher Reißfestigkeit und Bruchdehnung sowie hervorragenden Trenneigenschaften. Es wird i.d.R. für die Herstellung von einteiligen Formen für nahtlose Figuren, Dekorationsartikeln und ähnlichem verwendet; aber auch für Herstellung von Abdrücken von wissenschaftlichen Objekten (persönliche Mitteilung von Tierpräparatoren des Naturkundemuseums Berlin). Durch Zugabe eines flüssigen Additivs (SICO-THIX, VOSSCHEMIE – technisches Merkblatt siehe Anhang) wurde die Konsistenz der Silikonkautschukmasse entsprechend den Erfordernissen in den Teilschritten der Abdrucknahme verändert. Zur besseren Entfernung der Abdrücke wurden die stark behaarten Anteile des Außenohres (insbesondere die Rückwand der Ohrmuschel und die angrenzenden Bereiche des Kopfes) mit einem Trennmittel (Vaseline®) behandelt. Bei der Abdruckanfertigung erfolgte als erstes die Abdruckabnahme der Rückwand der Ohrmuschel (konvexe Oberfläche). Die Anfertigung der Rückwand erfolgte mittels Gipsbinden und diente der Stabilisierung und Fixierung der Außenohre in einer definierten Ohrposition. Für das Tier 1 wurden nur Abdrücke in der nach vorn gerichteten Ohrposition angefertigt (diese Position

gilt als Stellung bei erhöhter Aufmerksamkeit); für das Tier 2 wurden sowohl Abdrücke in der nach vorn als auch in der seitlich gerichteten Position angefertigt (Abb. 3-1).



Abb. 3-1: Ohrstellungen beim Haushund: links – vorwärts gerichtete Ohrposition bei erhöhter Aufmerksamkeit, rechts – seitwärts gerichtete Ohrposition

Mittels eines dünnen Schlauchs mit aufgesetzter Spritze wurde mit dem Ausfüllen des Ohrkanals unmittelbar vor dem Trommelfell begonnen. Hier wurde mit Abdruckmasse ohne Zugabe des Additivs gearbeitet. Durch diese Verfahrensweise wurde eine blasenfreie Wiedergabe des Gehörganges bis hin zum Trommelfell und der Innenstrukturen der Concha erzielt. Nach dem Auffüllen der Concha wurde mit der bis auf Pastenkonsistenz eingedickten Silikonkautschukmasse weitergearbeitet. Dies ermöglichte eine Abnahme der vertikalen Außenohrbestandteile, z. B. der senkrecht stehenden äußeren Ohrmuschel. Nach 24-stündiger Aushärtung wurde der Negativabdruck problemlos entfernt. Abb. 3-2 zeigt den Negativabdruck des rechten Außenohres von Tier 2, der eine sehr realistische Repräsentation der anatomischen Strukturen darstellt.

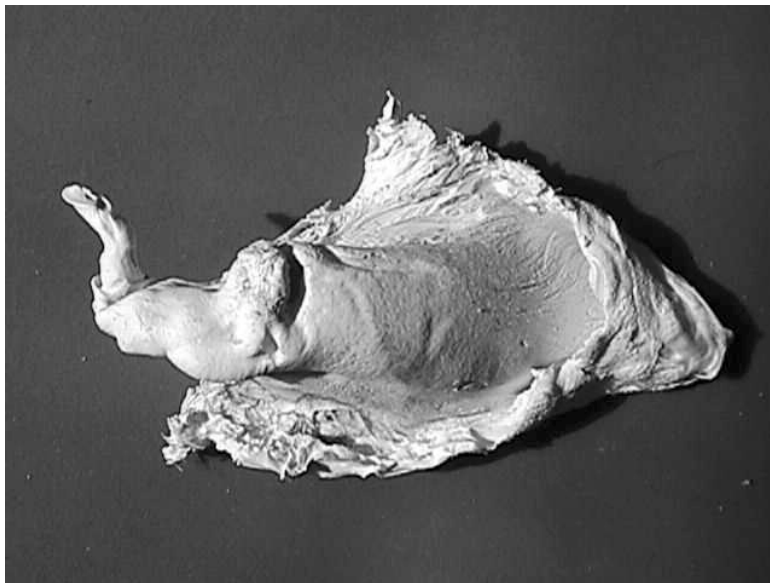


Abb. 3-2: Negativabdruck des rechten Außenohres von Tier 2

Von diesen Abdrücken war dann die Herstellung von originalgetreuen als auch modifizierten Außenohrmodellen möglich. Als Material für diese Modelle diente wiederum die Silikonkautschukmasse. Um eine Haftung der Abdrücke mit den zu erstellenden Modellen zu vermeiden, wurde der Abdruck des Außenohres als erstes mit einem Trennmittel (Vaseline®) behandelt. Danach wurde als erste Schicht SICIVOSS RF ohne SICO-THIX mittels Pinsel auf den Abdruck aufgetragen (optimale Wiedergabe der Außenohrinnenstrukturen). Für die folgenden Schichten wurde die Silikonkautschukmasse wiederum auf Pastenkonsistenz eingedickt. Zur Stärkung der aufrechten Stellung der äußeren Ohrmuschel (Pinna) im Modell wurde ein Innengerüst aus Pappmaché hergestellt und in die Abdruckmasse eingelagert (siehe Abb. 3-3). Nach 24-stündiger Aushärtung wurde der Abdruck aus dem Modell problemlos entfernt. Das mediale Ende des äußeren Gehörganges (Trommelfellposition) wurde bei der Anfertigung der Außenohrmodelle offen gelassen. Diese Öffnung diente später der Positionierung des Mikrofons. Zur exakten und reproduzierbaren Positionierung des Mikrofons im Modell und zur Schaffung eines schallharten Abschlusses des noch verbleibenden Zwischenraums zwischen Mikrophon und medialem Ende des äußeren Gehörganges des Außenohrmodells, wurden Abschluss-Stopfen aus der Silikonkautschukmasse angefertigt (siehe Abb. 3-3).

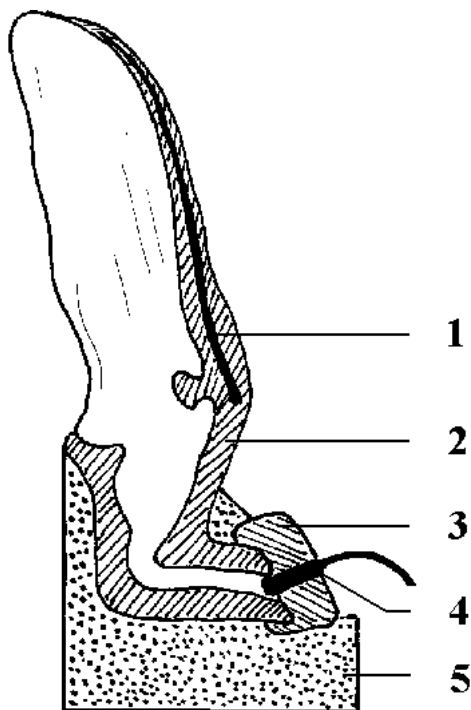


Abb. 3-3: schematischer Aufbau eines Außenohrmodells: 1 – Innengerüst aus Pappmaché, 2 - Modell aus Silikonkautschukmasse, 3 – Abschluss-Stopfen aus Silikonkautschukmasse, 4 - Elektretmikrofon im Abschluss-Stopfen, 5 – Gipsblock

Die distalen Teile der Modelle wurden in Gipsblöcke eingeschlossen, um Standfestigkeit zu erreichen und die Positionierung der Modelle bei den Messungen konstant zu halten.

Durch Entfernen einzelner Außenohrelemente, Verkleinern der Ohrmuschelgröße bzw. Entfernen der Innenstrukturen einschließlich der Anthelix in der Concha wurden die Modelle bei der Anfertigung modifiziert. Mittels der modifizierten Modelle erfolgte eine genaue Untersuchung der Beeinflussung des Schallübertragungsverhaltens durch einzelne Bestandteile des Außenohres.

Folgende Modelle wurden angefertigt:

- Tier 1 – rechtes und linkes Außenohrmodell – original vorwärts gerichtet (Abb. 3-4 a)
- Tier 1 – rechtes Außenohrmodell – ohne Conchainenstrukturen vorwärts gerichtet (Abb. 3-4 b)
- Tier 1 – rechtes Außenohrmodell – ohne Pinna vorwärts gerichtet (Abb. 3-4 c)
- Tier 2 – rechtes und linkes Außenohrmodell – original vorwärts gerichtet
- Tier 2 – rechtes und linkes Außenohrmodell – original seitwärts gerichtet (Abb. 3-5)

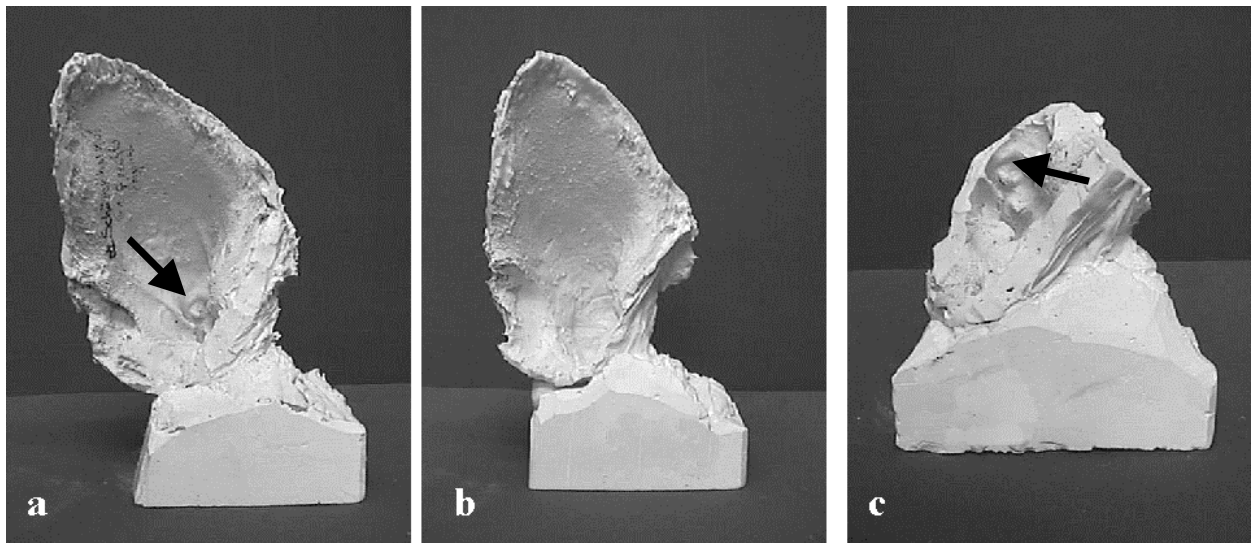


Abb. 3-4: Modell des rechten Außenohres von Tier 1: (a) originales Außenohrmodell, (b) Modell ohne Conchainenstrukturen, (c) Modell ohne Pinna; Pfeil in Bild a und c weist auf die Position der Anthelix in den beiden Modellen hin



Abb. 3-5: rechtes und linkes Außenohrmodell von Tier 2 in der seitwärts gerichteten Ohrposition (Anordnung der beiden Modelle wie im Versuchsaufbau)

Am linken Außenohrmodell (Tier 2 – original vorwärts gerichtet) wurde zu einem späteren Zeitpunkt eine Otitis-Operation (nach Formston/McCunn, modifiziert von Hinz) simuliert, wobei die Schnittführung nicht ganz so tief wie bei normalen Operationen erfolgte. Der Keil wurde während des Versuchs problemlos entfernt und wieder eingesetzt. Abb. 3-6 zeigt das Modell vor und nach dem Entfernen des Keils, welches die gestaltliche Auswirkung der Otitis-Operation am Modell darstellt.

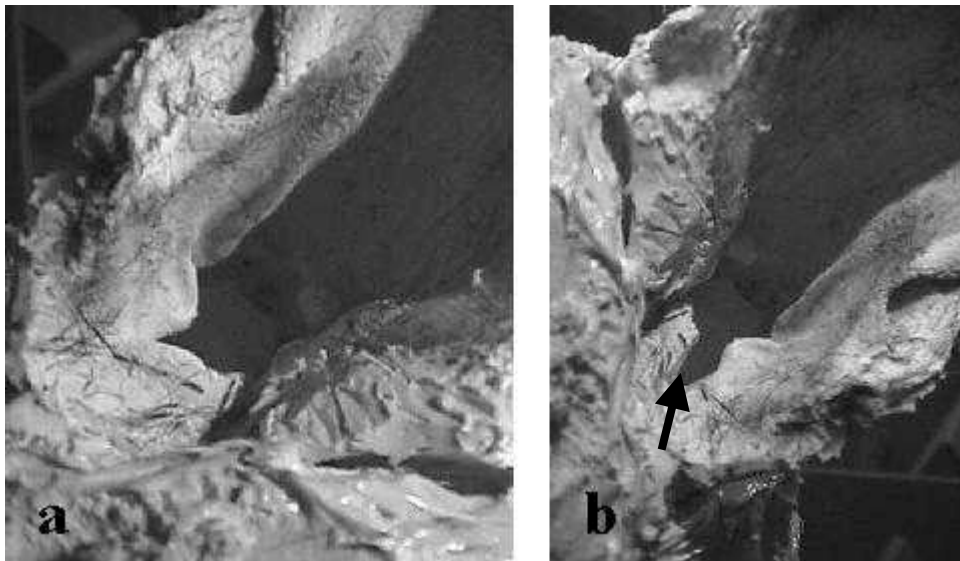


Abb. 3-6: Modell des linken Außenohres von Tier 2: (a) Modell vor dem Simulieren einer Otitis-Operation, (b) Modell nach dem Simulieren einer Otitis-Operation durch das Entfernen eines Keils (Pfeil)

Weiterhin wurde an diesem Modell das Kupieren der Ohrmuschel simuliert. Das Kupieren erfolgte in zwei Stufen – als erstes in Anlehnung an den Rassestandard Deutsche Dogge, danach an den Rassestandard kaukasischer Schäferhund [Dietz & Henschel, 1988] (Abb.

3-7). Durch diese Veränderung der Modelle (Verkleinern der Ohrmuschel wie beim Kupieren oder einer Resektion der Ohrmuschel infolge Wundversorgung bzw. teilweise Eröffnen des Gehörganges wie bei Otitis-Operationen) wurde der Einfluss von operativer Manipulationen auf das Schallübertragungsverhalten des Außenohres untersucht.

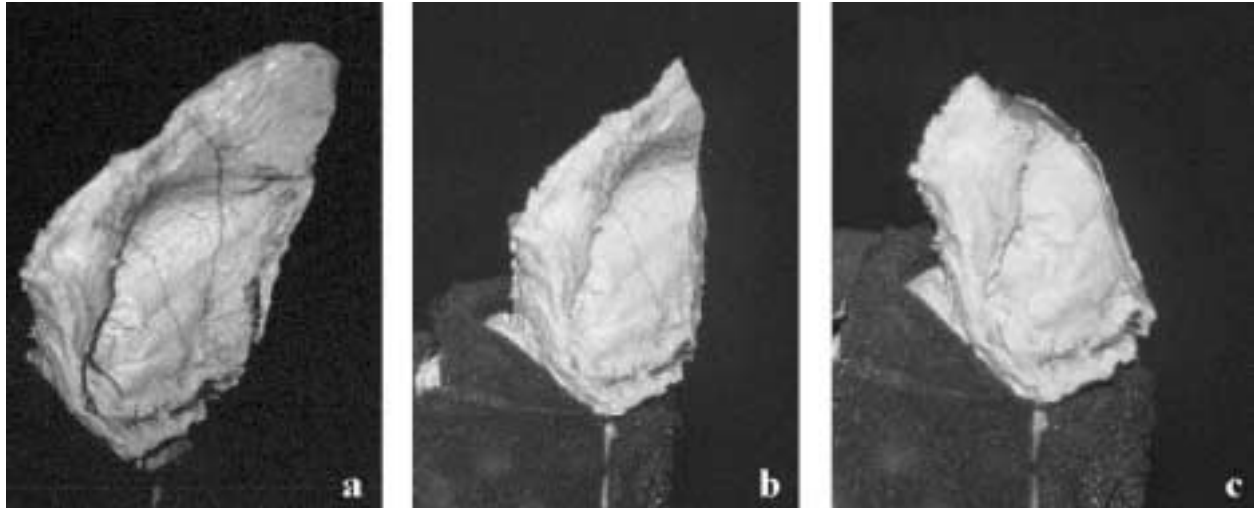


Abb. 3-7: Modell des linken Außenohres von Tier 2: (a) originales Außenohrmodell, (b) Modell nach dem Kupieren der äußeren Ohrmuschel in Anlehnung an den Rassestandard Deutsche Dogge, (c) Modell nach dem Kupieren der äußeren Ohrmuschel in Anlehnung an den Rassestandard kaukasischer Schäferhund

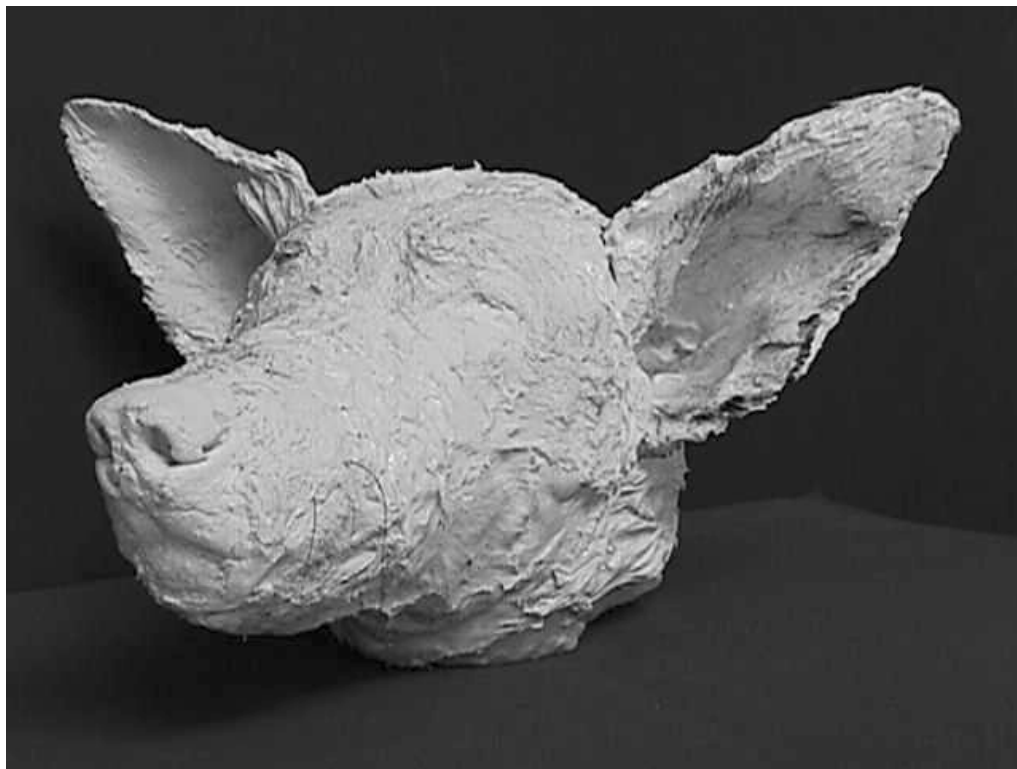


Abb. 3-8: Kunstkopf von Tier 2 mit rechtem und linkem Außenohrmodell (vorwärts gerichtet)

Vom Tier 2 wurde außerdem ein Gipsabdruck des Kopfes mittels Gipsbinden für die Herstellung eines Kunstkopfes angefertigt. Bei der Anfertigung des Kunstkopfes wurden Öffnungen für die Außenohre gelassen, so dass die Außenohrmodelle (original vorwärts gerichtet) an diesem Kunstkopf befestigt werden konnten. Als Oberflächenmaterial für den Kunstkopf diente wiederum das Silikonkautschukmaterial. Die oberste Schicht betrug 5 bis 10 mm dieses Materials. Der Rest wurde mit Polyurethanschaum (1 K-Montage Schaum) ausgeschäumt. Im Inneren wurde ein Hohlraum geschaffen, um später die Mikrofone von unten in das System einführen zu können. In Abb. 3-8 ist der Kunstkopf zu sehen, wobei hier das rechte und linke Außenohrmodell am Kunstkopf befestigt sind. Die Öffnung zum Hohlraum befindet sich an der Halsunterseite.

Durch Mazeration wurde der Schädel von Tier 2 aufgearbeitet und später für die Feststellung des Trommelfellabstandes genutzt. An Hand der Negativausgüsse wurde der anatomische Aufbau der Außenohre und seiner Bestandteile beschrieben und ausgemessen. Dazu wurden die Negativabdrücke des rechten und linken Außenohres von Tier 1 und 2 in der nach vorn gerichteten Ohrposition sowie die dazugehörigen Außenohrmodelle verwendet.

3.3 Versuchsaufbau

Die Messungen fanden in einem reflexionsarmen Raum (IAC-Freifeld-Halbraum) statt, mit den inneren Abmessungen von 5,30 m × 2,20 m und einer Höhe von 2,20 m. Der IAC blockentkoppelte Akustik-Boden (LENZ-Boden) war mit einer Hygiene-Abdeckung und zusätzlichem textilem Bodenbelag ausgelegt. Die Akustik-Wandverkleidung bestand aus IAC VARITONE-Paneelen, die Akustik-Paneeldecke aus Standardpaneelen, Type Noise-Shield. Als Auskleidungsmaterial für die Decken- und Wandpaneele wurden Polyurethan-Schaumstoffkeile (ca. 250 mm hoch mit einer Basis von ca. 300 x 300 mm) verwendet, die für eine Grenzfrequenz $F_u = 400$ Hz ausgelegt sind. Das Material besitzt einen Schallabsorptionsgrad von mindestens 0,99 für Frequenzen über der Grenzfrequenz (laut Angaben des Herstellers). Dadurch sollte eine Echofreiheit in diesem Raum erzielt werden. Allerdings traten in Vorversuchen Reflexionen durch den Boden auf. Um diese Reflexionen zu reduzieren, wurde zwischen Lautsprecher und Modell eine Schallabsorptionsfläche plaziert. Ein Holzgestell (B x L x H:1,00 x 2,00 x 0,57 m) war mit einer Schaumstoffmatte versehen, worauf sich Schallabsorptionskegel (gleiche Polyurethan-Schaumstoffkeile wie zur Auskleidung des Raumes) befanden. Der Versuchsaufbau war mittig in der Schallkammer plaziert (Abb. 3-9).

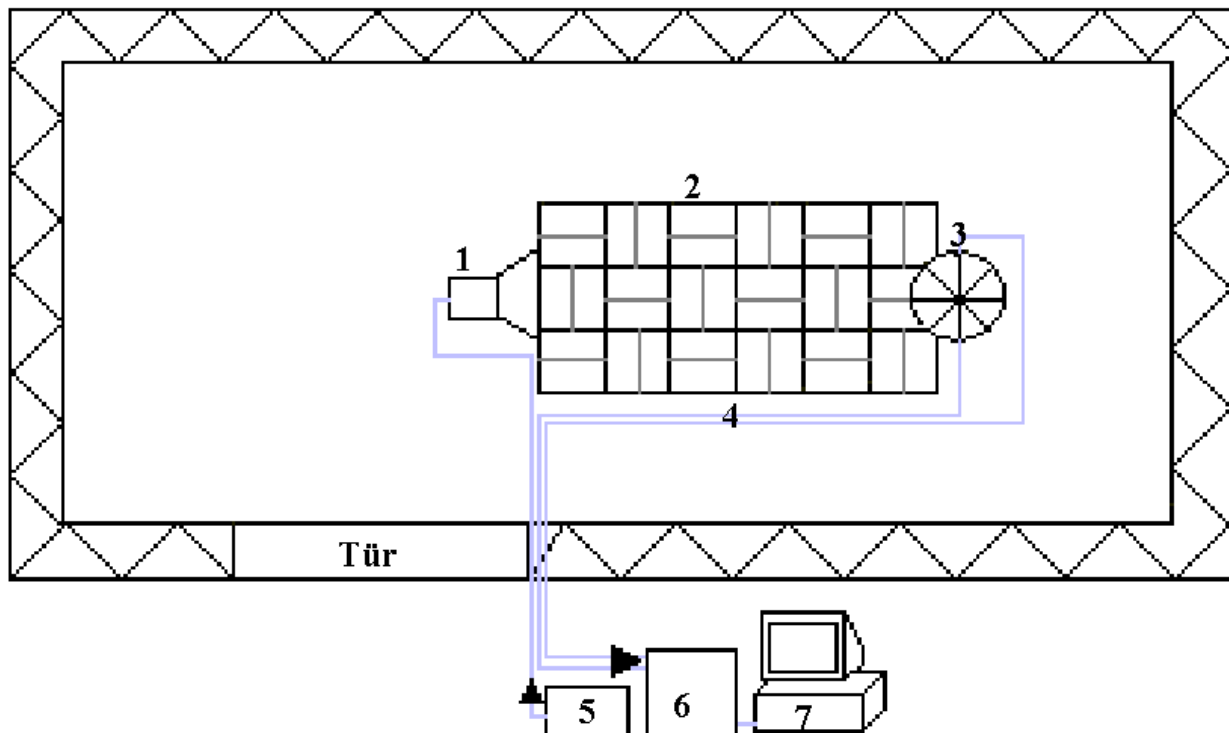


Abb. 3-9: Versuchsaufbau zur Bestimmung der Außenohrübertragungsfunktion in einem reflexionsarmen Raum: 1 – Lautsprecher in einer Höhe von 1,10 m; 2 – mit Schallabsorptionsmaterial belegtes Holzgestell; 3 – Drehtisch zur Aufnahme der plastischen Modelle; 4 – Mikrofonskabel; 5 – DAT-Recorder SONY TCD-D3 zur Wiedergabe der Testsignale; 6 – DAT-Recorder TASCAM DA-P1 zur Aufnahme der Mikrofonsignale, 7 – PC)

Alle metallischen Teile, wie das Gestänge der Lautsprecherhalterung oder der Aufbau des Modells, wurden mit Schaumstoff umgeben. Die Außenohrmodelle wurden auf einer horizontalen Holzleiste fest verankert, die wiederum über ein vertikales Gestänge auf einem Drehtisch befestigt wurde. Dadurch konnten die Modelle in horizontaler Richtung um eine zentrale Achse gedreht werden. Der Drehtisch besaß eine 10° -Einteilung von $0^\circ - 360^\circ$. Der Auslenkungswinkel in der Horizontalebene (Azimut: AZ) wurde durch Rotation des Drehtischs in 10° -Schritten verändert. Der Rotationspunkt war der angenommene Kopfmittelpunkt auf Höhe der normalen Trommelfellposition. Positive AZ korrespondieren mit ipsilateralen Schalleinfall bezogen auf das untersuchte Außenohrmodell, negative AZ stehen für einen contralateralen Schalleinfall. Der Abstand zwischen Modellaufbau und Lautsprecher betrug 2 m, um akustische Naheffekte auszuschließen; die Höhe von Lautsprechermittelpunkt und Mikrofonplatzierung betrug vom Boden aus 1,10 m. Der Abstand zwischen dem rechten und linken Außenohrmodell entsprach den natürlichen Gegebenheiten. Für die genaue Repositionierung des Versuchsaufbaus wurden Marker am Versuchsgestell und am Boden angebracht.

3.4 Messung der Übertragungsfunktion

Als Schallquelle wurde in allen Experimenten ein aktiver Kontroll-Lautsprecher Mini Monitor MM 201/TV (Klein + Hummel) verwendet. Dieser Einweglautsprecher besaß im Übertragungsbereich von 90 Hz bis 20 kHz ein Freifeld-Übertragungsmaß von max. ± 6 dB Abweichung von einer linearen Kennlinie (Angabe des Herstellers). Sennheiser Kondensator-Ansteckmikrofone mit Kugelcharakteristik (MKE 2) dienten als Messmikrofone. Diese Miniatur-Elektretmikrofone mit integriertem Phantom-Speiseadapter arbeiteten in einem Übertragungsbereich von 20-20000 Hz mit ± 3 dB Abweichung von einer linearen Kennlinie (Frequenzgang der Elektretmikrofone siehe Anhang). Die Messmikrofone befanden sich in den Abschluss-Stopfen der Modelle und wurden unmittelbar an der im Modell freigelassenen Trommelfellposition plaziert. Damit wurde ein schallharter Abschluss des Gehörganges erzielt. Für die Freifeldaufnahme wurden die gleichen Messmikrofone in gleicher Versuchsanordnung genutzt, allerdings ohne Anwesenheit der Modelle und an der Position des angenommenen Kopfmittelpunktes.

Als Eingangssignal wurde ein eigens generiertes und auf die spätere FFT-Analyse angepasstes bandbegrenztetes Pseudorauschen (500 Hz bis 20 kHz) mit einer Dauer von 1 s verwendet. Dieses Signal war ein Klang aus einer begrenzten Anzahl von phasenverschobenen Einzeltönen ($f_1 = 43,066$ Hz) mit gleicher Amplitude und einem Frequenzabstand von $43,066$ Hz³. Der Schalldruckpegel gemessen an der Modellposition betrug 67,9 dB. Als weiteres Signal diente ein 5x wiederholtes, bandbegrenztetes weißes Rauschen (500 Hz bis 20 kHz; 67,9 dB) von 1 s. Beim Arbeiten mit dem weißen Rauschen wurde der Mittelwert aus den 5 hintereinander dargebotenen Signalen gebildet. Die höhere Wiederholungsrate wurde gewählt, da weißes Rauschen mittels Zufallsgenerator erzeugt wird, wodurch eine gewisse Streuung bedingt ist. Die mit dem Pseudorauschen erzielten Ergebnisse wichen nicht von denen mit dem weißen Rauschen ab, so dass die Ergebnisse aus den Messungen mit dem weißen Rauschen nicht in die Ergebnissdarstellung mit eingingen. Für die Berechnung von Laufzeitdifferenzen wurde ein 500 Hz Sinuston (71,7 dB) mit einer Dauer von 1 s genutzt. Zur Vermeidung von Ein- und Ausschalteteffekten wurden alle Signale mit einer 5 ms dauernden Anstiegs- und Abfallrampe versehen. Das Mikrofonsignal

³ Durch die FFT-Analyse wird die Frequenzauflösung, also wie weit eng beieinanderliegende Frequenzen unterschieden werden, durch den Quotient der Abtastfrequenz und der FFT-Größe bestimmt, d.h. $44100 \text{ Hz} / 1024 = 43,066 \text{ Hz}$. Eine optimale Analyse erfolgt daher bei Signalen mit einem Frequenzabstand von $43,066 \text{ Hz}$.

(Freifeldsignal oder Ohrsignal) wurde in einen TASCAM DA-P1 DAT-Recorder eingespeist und entweder nach Analog/Digital-Wandlung (ADC, 16 Bit Auflösung, 44,1 kHz Abtastrate) direkt als digitales Signal an einen Messplatzrechner (IBM-kompatibler PC) weitergeleitet oder zunächst auf DAT-Band zwischengespeichert. Über den Eingangspiegelregler des Recorders wurde eine optimale Pegelaussteuerung des vom Mikrofon und dessen Mikrofonvorverstärker aufgenommenen analogen Ohr- bzw. Freifeldsignals vorgenommen. Zwischen jeder Messreihe wurde die korrekte Platzierung der Elektretmikrofone im Modell durch Entfernung und Wiederanbringung des Abschluss-Stopfens kontrolliert⁴. Im Vorfeld wurden 10 Messreihen an einem Außenohrmodell durchgeführt. Die Mittelwertkurve nach 3 Messreihen und das 95%ige-Konfidenzintervall unterschieden sich nur geringfügig von denen nach 10 Messreihen (Abb. 3-10). Aus diesem Grund wurde die Wiederholungsrate der Messreihen auf 3 festgelegt, d.h. jeder Versuch für ein Modell setzt sich aus mindestens 3 Messreihen zusammen. Das Konfidenzintervall wurde nach folgender Formel bestimmt:

$$\bar{x} \pm 1,96(\sigma / \sqrt{n}).$$

Die Mikrofonpositionierung während einer Messreihe wurde nicht verändert, und damit zeigte eine Änderung der spektralen Merkmale in den Übertragungsfunktionen einer Messreihe die Auswirkung der Änderung der Schalleinfallrichtung (AZ -180° bis 0° bis $+180^\circ$) an. Durch die Wiederholungsrate von 3 Messreihe je Versuch wurden Fehlmessungen durch schlechte Platzierung der Elektretmikrofone in den Modellen vermieden. Wichen die Messwerte einer Messreihe extrem von den Werten der beiden anderen Messreihen ab, wurde die Position der Elektretmikrofone im Modell nochmals überprüft und diese Messreihe wiederholt. Bei den Versuchen 6 sowie 8 (Simulieren einer Otitis-Operation und Resektion der äußeren Ohrmuschel) wurden alle Versuchsbedingungen während der Teilmessungen konstant gehalten, d.h. auch die Position der Elektretmikrofone blieb während aller Messreihen unverändert. Es wurde nur das Ohrmodell verändert. Die Änderung der Übertragungsfunktion zeigte damit die unmittelbaren Auswirkungen dieser Veränderungen an den Modellen an. Da speziell der Versuch 8 mit einem substantiellen Verlust des Modells verbunden war (Resektion der äußeren Ohrmuschel), fand keine Messwiederholung statt. Tabelle 3-1 zeigt die durchgeführten Messungen.

Alle Messdaten wurden auf CD gebrannt und sind im Tierstimmenarchiv des Museums für Naturkunde der Humboldt-Universität zu Berlin archiviert.

⁴ Eine Messreihe beinhaltet 36 hinter einander durchgeführte Messungen im 10° Intervall von 0° bis 350° in der Horizontalebene

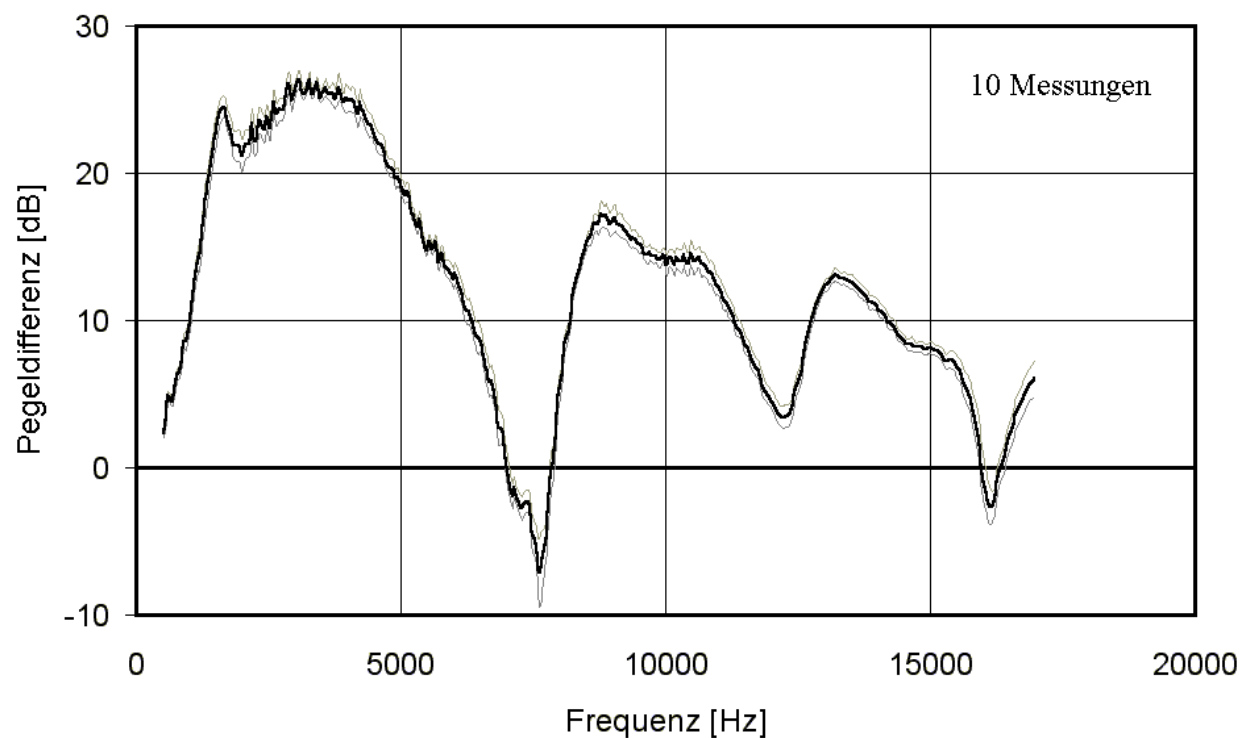
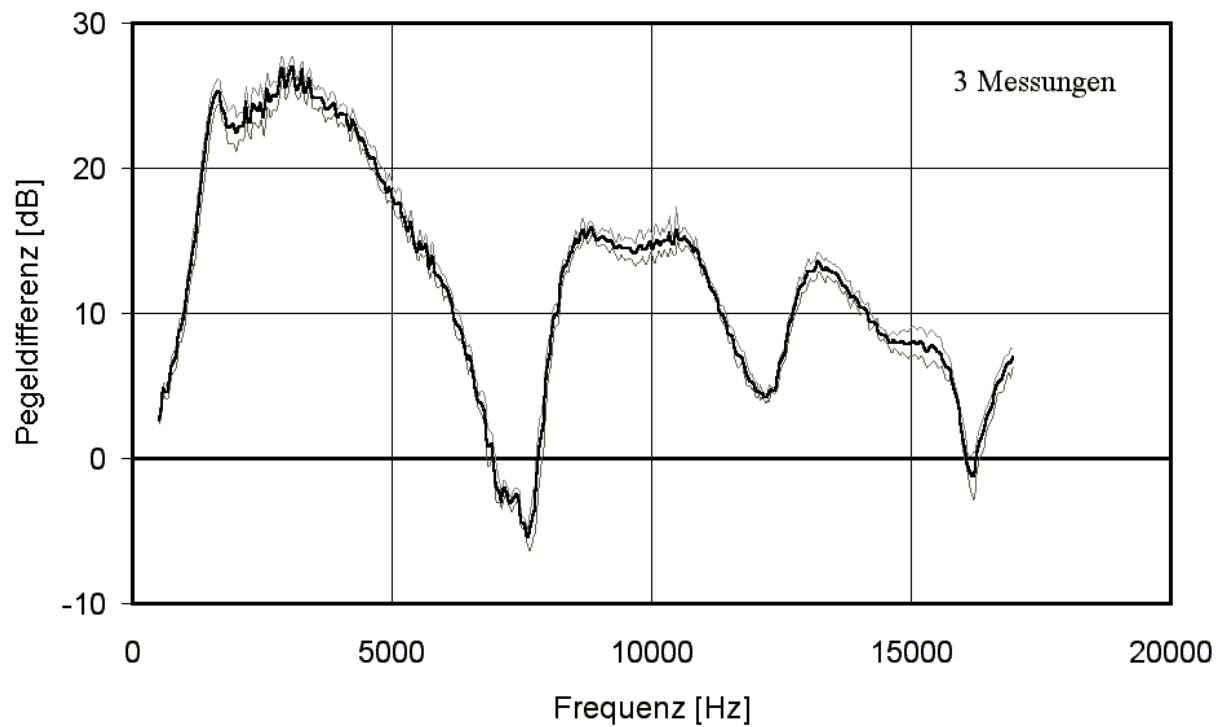


Abb. 3-10: Mittelwertskurven nach 3 bzw. 10 Messreihen vom linken Außenohrmodell Tier 1 bei frontalem Schalleinfall (AZ 0°): Mittelwertkurve – schwarzer Graph; obere und untere Grenze des 95%iger Konfidenzintervall – grauer Graph

Tabelle 3-1: Überblick über die durchgeführten Versuche

| Versuch | Messreihe | Modell | Kunstkopf | rechtes Modell | linkes Modell |
|---------|-----------|--------|-----------|---------------------------------------|----------------------------|
| 1 | dog10 | 1 | ohne | original, vorwärts | original, vorwärts |
| 1 | dog11 | 1 | ohne | original, vorwärts | original, vorwärts |
| 1 | dog12 | 1 | ohne | original, vorwärts | original, vorwärts |
| 5 | dog13 | 1 | ohne | ohne Chonchainnenstrukturen, vorwärts | original, vorwärts |
| 5 | dog14 | 1 | ohne | ohne Chonchainnenstrukturen, vorwärts | original, vorwärts |
| 5 | dog15 | 1 | ohne | ohne Chonchainnenstrukturen, vorwärts | original, vorwärts |
| 5 | dog16 | 1 | ohne | ohne Chonchainnenstrukturen, vorwärts | original, vorwärts |
| 7 | dog17 | 1 | ohne | ohne Pinna, vorwärts | original, vorwärts |
| 7 | dog18 | 1 | ohne | ohne Pinna, vorwärts | original, vorwärts |
| 7 | dog19 | 1 | ohne | ohne Pinna, vorwärts | original, vorwärts |
| 2 | dog20 | 2 | ohne | original, vorwärts | original, vorwärts |
| 2 | dog21 | 2 | ohne | original, vorwärts | original, vorwärts |
| 2 | dog22 | 2 | ohne | original, vorwärts | original, vorwärts |
| 3 | dog23 | 2 | mit | original, vorwärts | original, vorwärts |
| 3 | dog24 | 2 | mit | original, vorwärts | original, vorwärts |
| 3 | dog25 | 2 | mit | original, vorwärts | original, vorwärts |
| 6 | dog27a | 2 | ohne | original, vorwärts | original, vorwärts |
| 6 | dog27b | 2 | ohne | original, vorwärts | nach simulierter Otitis-OP |
| 4 | dog28 | 2 | ohne | original, seitwärts | original, seitwärts |
| 4 | dog29 | 2 | ohne | original, seitwärts | original, seitwärts |
| 4 | dog30 | 2 | ohne | original, seitwärts | original, seitwärts |
| 8 | dog31 | 2 | ohne | original, vorwärts | original, vorwärts |
| 8 | dog32 | 2 | ohne | ohne | original, vorwärts |
| 8 | dog33 | 2 | ohne | ohne | Kupieren der Pinna um 1/3 |
| 8 | dog34 | 2 | ohne | ohne | Kupieren der Pinna um 2/3 |
| 8 | dog35 | 2 | ohne | original, vorwärts | Kupieren der Pinna um 2/3 |

3.5 Berechnung der Übertragungsfunktionen und Darstellung der Ergebnisse

Die Berechnung der Frequenzspektren erfolgte durch die Fast Fourier Transformation (FFT). Als FFT Spectral Analyse Software wurde SpectraLAB Version 4.32 (Sound Technology) verwendet. Es wurde mit 16-bit-Datentiefe, einer Abtastrate von 44,1 kHz und einer FFT-Größe von 1024 Punkten gearbeitet. In Vorversuchen wurde für die Auswertung der Pegeldifferenzen das Pseudorauschen und das weiße Rauschen genutzt. Die mit dem