

## BOHEAR – Außenohrmodell

Schmidt, Sebastian und Hudde, Herbert

Institut für Kommunikationsakustik, Ruhr-Universität Bochum, (sebastian.schmidt@rub.de, herbert.hudde@rub.de)

### Motivation:

Das BOchum Head and EAR Model (BOHEAR) wurde bislang erfolgreich zur Simulation von Schwingungsvorgängen im menschlichen Kopf eingesetzt. Zukünftig sollen darüber hinaus auch akustische Phänomene im Gehörgang, an der Ohrmuschel und am Kopf sowie an gehörbezogenen Geräten (Hörgeräte, Gehörschutz, Kopfhörer) modelliert werden. Die bisher am Kopfmodell eingesetzte Pinna besitzt eine zur Simulation von Schädel-schwingungen ausreichende Detaillierung, ist jedoch zur Nachbildung der interessierenden Vorgänge wenig geeignet. Daher wurde das System um eine zusätzliche, detailgetreue Außenohrgeometrie erweitert. Diese besteht aus einer mittels Magnetresonanztomografie nachgebildeten natürlichen Pinna mit einem Gehörgang, der zum Mittelohr hin durch ein Trommelfell abgeschlossen wird. Die Manubriumkoppelfläche wird durch eine mit dem BOHEAR-Mittelohrmodell berechnete dreidimensionale Punktimpedanz belastet, so dass ein natürlicher Gehörgangsabschluss nachgebildet wird. Aufgrund dieser Eigenschaften stellt BOHEAR eine sehr realistische Simulationsumgebung für die akustischen Vorgänge in der unmittelbaren Umgebung der Pinna dar.

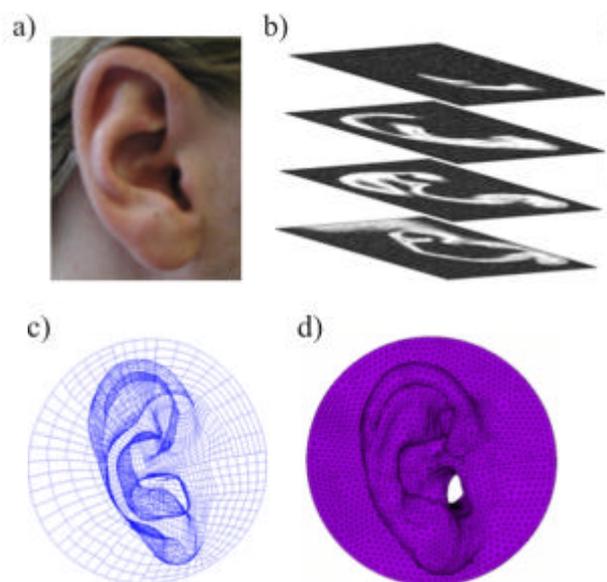


Abbildung 1: Die Konstruktion des BOHEAR-Außenohrmodells. Über MR-Aufnahmen (b) der Pinna (a) wird ein CAD-Modell aller natürlichen Strukturen hergestellt (c). Die dadurch gewonnenen Daten werden zur Bildung eines Finite-Elemente-Netzwerks (d) genutzt.

### Simulationen:

Die aktuellen Untersuchungen am BOHEAR-Außenohrmodell konzentrieren sich auf die Schallausbreitung in der Ohrmuschelhöhle und im Gehörgang. Dieser

wird meist vereinfachend durch ein eindimensionales Modell (Quelle mit Innenimpedanz, Kettenmatrix und Abschlussimpedanz) als akustische Leitung nachgebildet, um das grundsätzliche Verhalten akustischer Größen (beispielsweise des Drucks am Trommelfell) abschätzen zu können. Am BOHEAR-Außenohrmodell wurde der Schalldruckverlauf im Gehörgang als Funktion der Frequenz simuliert. Ausgangspunkt ist das Luftschallmodell (Abbildung 2). Dieses wird durch eine laterale Punkt-schallquelle angeregt. Man erhält Ergebnisse für verschiedene Frequenzen. Der Druck  $p_E$  wird an einem stets festbleibenden Punkt im ersten Gehörgangsdrittel ausgelesen. Zur Visualisierung werden fünf Flächen gleichen Drucks im Gehörgang dargestellt. Diese liegen -bezogen auf  $p_E$  bei 97% (grün), 99% (gelb), 100% (blau), 101% (orange) und 103% (rot). Ziel dieser Darstellung ist es, die Gültigkeit des eindimensionalen Schallfeldmodells im Gehörgang zu überprüfen. In Abbildung 3 ist für die genannten Frequenzen jeweils der Gehörgang zwischen Pinna und Trommelfell gezeigt, wobei die Pinna zwar nicht vollständig dargestellt, jedoch in der Simulation voll berücksichtigt wurde.

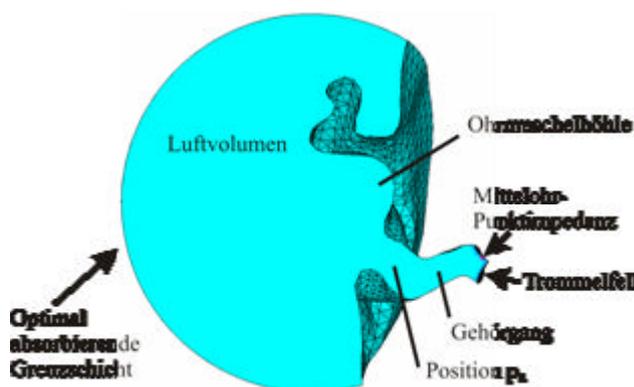


Abbildung 2: Schnittbild des zur Simulation der Gehörgangsdru-cke verwendeten Finite-Elemente-Modells. Die nicht sichtbare Schallquelle befindet sich seitlich neben der Pinna.

### Ergebnisse:

Bei niedrigen Frequenzen (800 Hz) sind die Flächen gleichen Schalldrucks deutlich voneinander entfernt. Die Druckänderung im Gehörgang überschreitet 3% nicht. Mit steigender Frequenz (4000 Hz) nähern sich die Flächen einander an, ändern jedoch mit der Frequenz ihren Winkel zum Gehörgang. Zwischen 8 und 10 kHz (8320 Hz) prägen sich Schwingungen quer zum Gehörgang aus. Es bildet sich eine sattelförmige Ansammlung der Flächen gleichen Drucks im Knick des Gehörgangs. Erreicht man charakteristische Frequenzen wie beispielsweise die gezeigte 3/4-Resonanz bei 10,4 kHz, breiten sich die

Strukturen bis in die (nicht gezeigte) Pinna aus. Bei noch höheren Frequenzen (10,7 kHz und 13,1 kHz) wird die bereits beobachtete Winkeländerung der Flächen immer deutlicher.

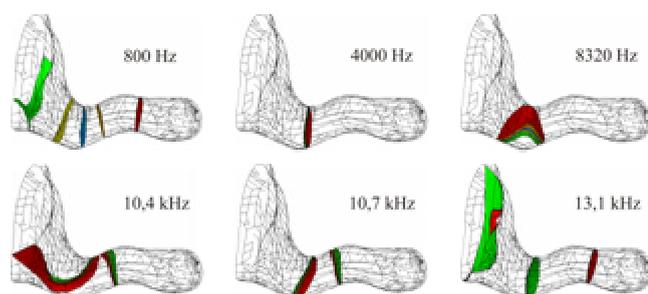


Abbildung 3: Flächen gleichen Drucks im Gehörgang als Funktion der Frequenz.

### Schlussfolgerung:

Lage und Form einer Wellenfront am Eingang des Gehörgangs variieren mit der Frequenz. Bei Resonanz lösen sich die Wellenfronten teilweise vom Gehörgang und breiten sich bis in die Umgebung der Pinna aus. Die Ergebnisse zeigen, dass Messungen mit Sondenmikrofonen im Eingangsbereich des Gehörgangs stark von der exakten Position der Sonde abhängen und somit extrem stör anfällig sind.

### Ausblick:

Neben diesem Modell existieren Simulationen, die Gewebe und Knorpel in der Pinna nachbilden. Zukünftig wird BOHEAR um Modelle von gehörbezogenen Geräten (Otoplastiken, Im-Ohr- und Hinter-dem-Ohr-Hörgeräte, Gehörschutz, Kopfhörer) erweitert, um deren Betrieb realistisch simulieren zu können.