

Räumliche Schallquellenlokalisierung unter Zuhilfenahme von Kunstkopf und ähnlichen Messsystemen

Daniel Trojer¹, Robert Henneberger¹, Stefan Sentpali¹

¹ Labor für Akustik und Dynamik Hochschule München, 80335 München, Deutschland, Email: daniel.trojer@hydro2motion.de

Motivation

Die Fähigkeit des Menschen, welche als *Räumliches Hören* bzw. *Richtungshören* bezeichnet wird, ermöglicht es ihm anhand von Schalldruckpegelunterschieden und Laufzeitdifferenzen Schallquellen räumlich zu lokalisieren. Um diese Fähigkeit auch für die Forschung, Technik und die Tonakustik nutzbar zu machen, wurden in den vergangenen Jahrzehnten diverse Kunstkopfmesssysteme entwickelt und vorgestellt, welche eine Lokalisierung der Geräuschquelle zulassen. Im Rahmen dieser Arbeit wird untersucht, in wie fern die Kunstkopfgometrie abstrahiert werden darf um dennoch eine binaurale Aufnahme realisieren zu können. Es soll gezeigt werden, dass auch wesentlich einfacher und leichter zu fertigende Geometrien genutzt werden können, binaurale Aufnahme zu generieren. Für die Untersuchung ist es notwendig einen Prüfstand in Form eines Drehtisches zu konstruieren, welcher mit konstanter Winkelgeschwindigkeit um die Hochachse kreist. Des weiteren werden Messaufbauten mit je drei verschiedenen Trennkörpern aufgebaut und vermessen.

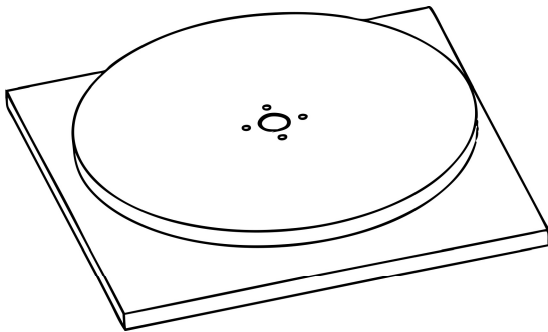


Abbildung 1: Drehtisch

Drehtisch und Trennkörper

Der angefertigte Drehtisch dreht den Messaufbau während jeder Messung konstant einmal um die Hochachse. Vor dem Tisch wird die Schallquelle, in diesem Fall ein Lautsprecher, positioniert. Während der Drehung des Messaufbaues wird somit eine rundum wandernde Schallquelle simuliert. Die Winkelgeschwindigkeit ist von 1-10°/Sekunde einstellbar. Der gesamte Messablauf kann über eine LAN Schnittstelle gesteuert und überwacht werden. Die Untersuchungen wurden im schallarmen Raum der Hochschule München durchgeführt. Zusätzlich zum KEMAR-Kunstkopf [1] wurden noch zwei weitere *Kopfgeometrien* untersucht:

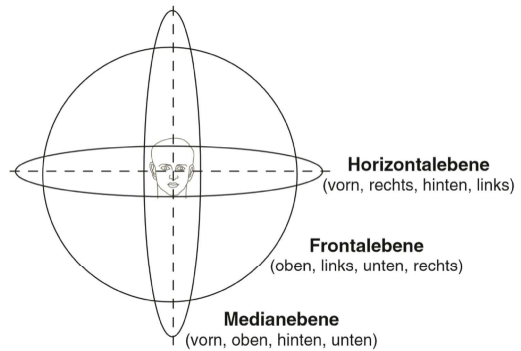


Abbildung 2: Lokalisationsebenen [4]

T-Disk

Die T-Disk stellt eine Abstraktion des Kunstkopfes in einer Dimension dar. Die Geometrie der T-Disk entspricht dem Profilschnitt des Kunstkopfes entlang der Medianebene.

Diese T-Disk weist folgende Eigenschaften auf:

- Dicke der Scheibe: 10 mm
- Material der Scheibe: Sperrholzplatte
- Schaumtyp: Schaumstoff-Absorbermaterial¹
- Schaumdicke: 10 mm, 20 mm
- Mikrofonposition: diametral, identisch mit dem Ohrkanaleingang des Kunstkopfes
- Mikrofonabstand: identisch mit dem des Kunstkopfes



Abbildung 3: T-Disk mit angebrachtem Schaum

¹Typ RG40/60 und RG35/50

Jecklin-Scheibe

Die von Jürg Jecklin[2, 584] erstmals vorgestellte kreisrunde Scheibe, welche mit Schaumstoff bzw. Filz umhüllt ist, stellt eine mögliche Alternative zum Kunstkopf dar. Die beidseitig angeordneten Mikrofone generieren einen binauralen Höreindruck. Für die durchgeführten Versuche wurde eine Jecklin-Scheibe angefertigt, welche folgende Eigenschaften aufweist:

- Durchmesser der Scheibe: 300 mm
- Dicke der Scheibe: 10 mm
- Material der Scheibe: Sperrholzplatte
- Schaumtyp: Schaumstoff-Absorbermaterial ²
- Schaumdicke: 10 mm, 20 mm
- Mikrofonposition: mittig
- Mikrofonabstand: identisch mit dem des Kunstkopfes



Abbildung 4: Jecklin-Scheibe mit angebrachtem Schaum

Untersuchung

Der Messablauf ist wie folgt zu beschreiben: Im schallarmen Raum wurde der Drehtisch mittig positioniert. Auf dem darauf aufliegenden Schulter Simulator wurden abwechselnd der Kunstkopf, die T-Disk und die Jecklin-Scheibe montiert. Die Messungen wurden bei verschiedenen Schalldruckpegeln (60, 80 und 100 dB) durchgeführt. Des Weiteren ist jeder Messdurchgang mit 4 verschiedenen Anstellwinkeln des Lautsprechers durchgeführt worden. Diese Positionen beinhalten die Beschallung des Kunstkopfes von Unten (-30° zur Horizontalebene), Frontal (Lautsprechermitte auf Höhe des Gehöreinganges (0°)), mit leicht positivem Winkel ($+30^\circ$ zur Horizontalebene) und stark angestellt ($+60^\circ$ zur Horizontalebene). Einen zusätzlichen Parameter stellen die zwei verschiedenen Schäume und deren unterschiedliche Dicke dar. Die Messungen wurden mit dem PAK-Mobile durchgeführt. Der Drehtisch und die Schallquelle wurden von außerhalb des Messraumes bedient. Als Messgeräusch diente ein *Weißes Rauschen* und zur Feststellung der Laufzeitunterschiede wurde ein Sinuston mit 1 kHz verwendet. Beim Start der Drehung triggerte eine Lichtschranke das Messsystem. So ist ein winkelgenauer Vergleich der verschiedenen Messergebnisse möglich.

²Typ RG40/60 und RG35/50

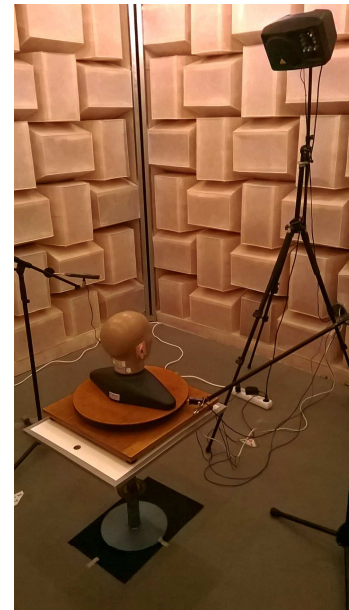


Abbildung 5: Kunstkopfmessung (Position der Schallquelle: $+60^\circ$)

Auswertung

Im Rahmen der Auswertung werden zunächst die Gesamtschalldruckpegel der verschiedenen Messungen über die Zeit bzw. den zurückgelegten Winkel geplottet. Da es sich insgesamt um mehr als 40 verschiedene Messkonfigurationen handelt (Anstellwinkel des Lautsprechers, Schaumtyp, Schaumdicke, Schalldruckpegel) werden im Vorlauf lediglich die Messungen des Kunstkopfes, die der T-Disk sowie die der Jecklin-Scheibe ohne Schaum verglichen und bewertet. Der Plot der drei Graphen in je ein Diagramm lässt gut erkennen in wie fern sich die Jecklin-Kurve bzw. die T-Disk-Kurve an den Graph des Kunstkopfes, welcher in diesem Fall das Optimum darstellt, annähern.

Dabei wird folgendes festgestellt:

- Zwischen Kunstkopf und T-Disk bzw. Jecklin-Scheibe besteht immer ein Pegeloffset. Bei allen Aufnahmen ist die des Kunstkopfes lauter als die der beiden anderen. Dies ist vermutlich auf die Trichterwirkung der Ohrmuschel (Pinna) zurückzuführen. Sie vermag aufgrund ihrer Geometrie, insbesondere Frequenzen oberhalb von 2 kHz zu verstärken [3] [4].
- Die Graphen der Jecklin-Scheibe und der T-Disk unterscheiden sich vor allem bei der Messung von 0° Anstellwinkel des Lautsprechers voneinander. Hier zeigt die Jecklin-Scheibe eine sehr starke Pegelzunahme bei etwa 270° der Drehung auf ³. Die T-Disk bleibt dem Verlauf der Kunstkopfaufnahme weiter treu.

³Das linke Ohr befindet sich zu diesem Zeitpunkt auf der Schallquellen-abgewandten Seite

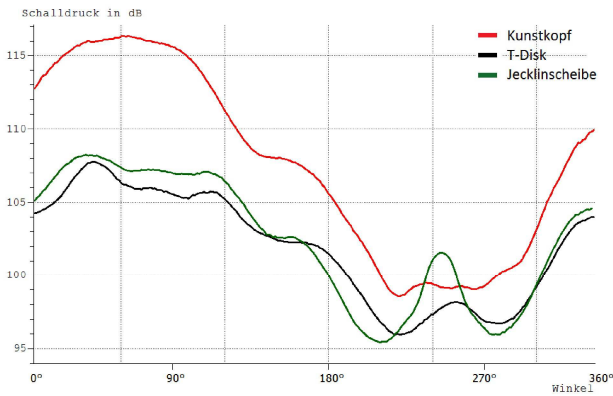


Abbildung 6: Bei 270° der Drehung ist die Abweichung der Jecklin-Scheibe gut sichtbar

- Die Betrachtung weiterer Messungen hat aufgezeigt, dass sich der Graph der Jecklin-Scheibe sich dem des Kunstkopfes gut annähert. Jedoch ist die auftretende Phasenverschiebung oft stärker ausgeprägt, als die der T-Disk. Dies ist insbesondere an den Stellen 180° und 270° feststellbar.
- Die T-Disk zeigt ihre geometrische Ähnlichkeit zum Kunstkopf in der Dynamik der Aufnahmen. Sie reagiert etwas empfindlicher auf kleine Pegelschwankungen.

Diejenigen Messungen, an welchen die Jecklin-Scheibe und die T-Disk mit den Schäumen versehen waren, hatten deutlich leisere Aufnahmen zum Ergebnis. Nur zwei der vier Schaumkonfigurationen erwiesen sich als sinnvoll. Bei den Schäumen handelt es sich um die Typen RG40/60 (weiß) und RG35/50 (blau)⁴. Allerdings sind nicht beide Schäume für alle Winkelpositionen der Schallquelle bestens geeignet. So kann für Positionen mit Ausnahme der Frontalbeschallung (0°), der RG40/60 Schaum (weiß) verwendet werden. Für die Messungen, bei welchen der Messaufbau frontal beschallt wird, eignet sich der RG35/50 Schaum (blau) besser.

Probandenstudie

Um eine subjektive Bewertung der Messaufbauten durchführen zu können Bedarf es einer Probandenstudie. Es sollen Musik-Aufnahmen welche mit dem Kunstkopf, der T-Disk und der Jecklin-Scheibe aufgezeichnet wurden, miteinander verglichen werden.

Die Gruppe, bestehend aus weiblichen und männlichen Probanden, umfasst 8 Hörer. Ihre Aufgabe besteht darin, die Aufnahmen danach zu bewerten wie sehr der Eindruck einer rundum kreisenden Schallquelle vermittelt wird. Die Auswertung bringt folgende Erkenntnis:

- Die Kunstkopfaufnahme vermittelt am besten den Eindruck einer rundum kreisenden Schallquelle. Diese Aufnahme ist auch die lauteste.

⁴Der Absorberschaum wurde über Diethard Balzer e.K. bezogen. Die genannten Artikel wurden aufgrund Labor-interner Messungen zur Schallabsorption ausgewählt.

- Die T-Disk und die Jecklin-Scheibe vermitteln nur bedingt den erstrebten Geräuscheindruck. Die Vorne-Hinten-Lokalisation gelingt nur schwer.

Dem Höreindruck der Probanden zufolge vermittelt die Jecklin-Scheibe einen stärkeren räumlichen Eindruck als die T-Disk.

Zusammenfassung

Die Untersuchung ergab, dass der Kunstkopf in einem beschränkten Rahmen abstrahiert werden kann. Der Vergleich der Schalldruckpegel zeigt, dass sich die Aufnahmen der Jecklin-Scheibe und der T-Disk, der der Kunstkopfaufnahme stark annähern. Allerdings verspricht die Verwendung der T-Disk bessere Messergebnisse als die Jecklin-Scheibe, insbesondere bei frontaler Beschallung. Die Ergebnisse der Probandenstudie decken sich nicht mit denen der Auswertung. Mit der Jecklin-Scheibe konnte, laut den Probanden, ein besseres räumliches Hörerlebnis erzielt werden.

Eine Vielzahl von messtechnischen Untersuchungen wurden getätigt und ausgewertet. Um umfangreichere Resultate zu erzielen sind weiterführende Versuche, insbesondere Probandenstudien, nötig.

Literatur

- [1] <http://kemar.us/>
- [2] Weinzierl, Stefan: Handbuch der Audiotechnik. Springer, 2008
- [3] Sinambari, Sentpali: Ingenierakustik, 5.Auflage. Springer
- [4] Genuit, Klaus: Sound-Engineering im Automobilbereich. Springer