

Binaurale Messungen zur Verifikation einer akustischen Entwurfsmethodik für Architekten

Christoph Moldrzyk
FSP-PV/PRZ, TU Berlin; Email: aural@prz.tu-berlin.de

Einleitung

Der Entwurfsprozeß von Räumen durch Architekten läßt bisher nur sehr bedingt raumakustische Kriterien in die Raumgestaltung einfließen. Traditionell haben visuell-räumliche und konzeptionelle Gestaltungsprinzipien Vorrang. Ergebnis sind oft für ihren Einsatzzweck nicht optimal geeignete Räume. Daher soll mit einer akustischen Entwurfsmethodik Architekten ein Werkzeug zur Verfügung gestellt werden, mit dem nach entsprechender Einarbeitung der Entwurf von Räumen unter Einbeziehung der späteren Akustik gelingt. Dieses Werkzeug sieht den Entwurf von Räumen unter Einsatz binauraler Raumsimulationstechnik vor. Die Simulationsergebnisse werden über Kopfhörer mit Headtracker auralisiert. Zur Verifikation und Datenakquise dient ein neuartiger Kunstkopf, dessen Kopf gegenüber dem Torso drehbar ist.

Entwurf und Akustik

Der herkömmliche Entwurfsprozeß teilt sich historisch bedingt in den architektonischen Entwurf aufgrund visuell-funktionaler Parameter und eine darauf folgende Beratung durch Akustiker aufgrund akustischer Parameter auf. Letztere muß meist ohne die Möglichkeit einer korrigierenden Raumbildung auskommen, so daß in vielen Fällen lediglich kosmetische Verbesserungen zu erzielen sind. Es treten grundlegende Fehler in der Raumbildung auf, die bei Kenntnis der entscheidenden Kriterien für die Akustik eines Raumes bereits in der ersten, architektonisch motivierten Phase zu vermeiden gewesen wären – so denn die Akustik eines Raumes in den Entwurfsprozeß des Architekten einbeziehbar wäre. Da die zukünftige Akustik eines Raumes für Architekten jedoch nur sehr schwer vorab durch akustische Parameter zu erfassen und somit in den Entwurfsprozeß integrierbar ist, werden akustische Kriterien nicht in der geeigneten Phase angewandt. Im Ergebnis führt diese Vorgehensweise für den Auftraggeber zu unbefriedigenden bis unbrauchbaren, sehr selten zu gelungenen, in keinem Fall aber zu kalkulierbaren Ergebnissen. Für den Architekten bleibt sie auch deshalb sehr unbefriedigend, weil keinerlei Methodik bereitsteht, weder in der Ausbildung noch in der Praxis, um diese Lücke zu schließen und somit Räume auch akustisch in der gleichen Qualität zu entwerfen, die im visuell-funktionalen Kontext architektonischen Entwerfens längst vorausgesetzt und auch erreicht wird.

Die angestrebte akustische Entwurfsmethodik soll die Situation für die am Gestaltungsprozeß der Akustik eines Raumes beteiligten Seiten – Architekten wie Akustiker – verbessern: über das Hilfsmittel Auralisation werden dem Architekten klangliche Entwurfskriterien zur Verfügung gestellt. Die Entwicklung einer akustischen Entwurfsmethodik basiert auf dem Nachweis der Konsistenz solcher klanglicher Kriterien in der Kette vom realen Hören bis hin zur Auralisation mit einem Simulationsprogramm.

Eingebunden in eine geeignete Entwurfsmethodik wird die Fähigkeit des Architekten, die Akustik geplanter Räume zu imaginieren, durch binaurale Simulation entwickelt und trainiert. Über die Schnittstelle der Auralisation eines Entwurfs wird für den entwer-

fenden Architekten erstmals eine gezielte akustische Raumplanung im visuell-funktionalen Kontext möglich, die zudem durch die Verifikation der akustischen Entwurfsmethodik objektivierbar und damit auch für beide Seiten überprüfbar ist.

Auralisationstechnik

Zur akustischen Entwurfsmethodik gehört die entsprechende Wiedergabe der auralisierten Räume: entweder transaural mit übersprechkompensierten Lautsprechern oder binaural mit Kopfhörer. Letztere Abhörmethode bietet sich vor allem für die Berufsgruppe der Architekten an, da die Darbietung von der Außenwelt isoliert ist, ohne einen speziellen Abhörraum zu benötigen. Zugleich bietet die Kopfhörerwiedergabe ein hohes Maß an Immersion, das jedoch nur erzielbar ist, wenn Vorne/Hinten-Vertauschungen weitgehend ausgeschlossen sind. Dazu zählt auch eine hohe Klangfarbentreue, die u. a. durch individualisierte Außenohrübertragungsfunktionen (HRTF) erreicht wird. Dies gelingt nur, wenn auch kleinste Kopfbewegungen durch einen Head-Tracker in Verbindung mit einem Echtzeitfaltungsprozessor geringer Latenz [1] nachgeführt werden und somit genaueres Richtungshören erst ermöglicht wird. [2] Bisher existierende kunstkopfbasierte Systeme sind vorrangig wegen fehlender Nachführung und – falls diese existiert – zu großer Winkelabstände der zudem meist nicht individualisiert zugrundeliegenden HRTF-Daten artefaktanfällig und konnten deshalb in der Vergangenheit bei der raumakustischen Simulation oft nicht völlig überzeugen.

Grundlage der akustischen Entwurfsmethodik stellen Kriterien zur Überprüfung des Klanges von Räumen dar. Der Klang eines Raumes ergibt sich aus der Gesamtheit der bekannten Hörvorgänge. Zu ihrer Überprüfung wird unter dem Oberbegriff Raumeindruck [3] als ganz wesentlicher Punkt die Räumlichkeit [4] herangezogen, damit u. a. die Lokalisation im Schallfeld und hierzu wiederum werden z. B. Abbildungsschärfe, Elevation und Klangfarbe lokalisierter Quellen auf ihre klanglichen Eigenschaften mit Hilfe semantischer Differentiale [5] untersucht. Eine Überprüfung dieser Kriterien ist nicht möglich, ohne Lokalisation nahe am menschlichen Hörvermögen zu gewährleisten und diese findet ohne unterstützende Nachführung der Drehbewegung des Kopfes nicht statt. Deswegen erlaubt der dem Autor abgeformte Kunstkopf auf der Basis eines frei drehbaren Kopfes erstmalig Messungen der Raumübertragungsfunktionen mit einer weitgehenden Anpassung an die im sitzenden Zustand in der realen Hörsituation stattfindenden Drehbewegungen des Kopfes gegenüber dem Körper zur Ortung der Schallquellen und Bewertung des Raumeindrucks.

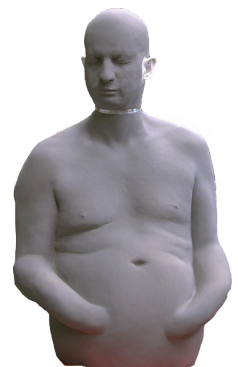


Abbildung 1: Torso mit im Hals drehbaren Kunstkopf

Binaurale Messungen

RAR

Im reflexionsarmen Raum der TU Berlin wurden zunächst die Außenohrübertragungsfunktionen des Kunstkopfes sowie die des Autors als VP für jeweils 151 Richtungen gemessen. Als Quelle kam ein Breitbandchassis von Bandor zum Einsatz. Die Mikrofone waren einmal sowohl für den Kunstkopf wie für die VP (geblocker Ohrkanal) entsprechend angepaßte Sennheiser KE4-211-2 bzw. zusätzlich für den Kunstkopf ein Intensitätsmikrofonsondenpaar B&K 4178. Der Kopfdrehwinkel wurde bei der VP über einen Logitech-Ultraschallheadtracker kontrolliert bzw. der Schrittmotor des Kunstkopfes über das Meßprogramm MF angesteuert.

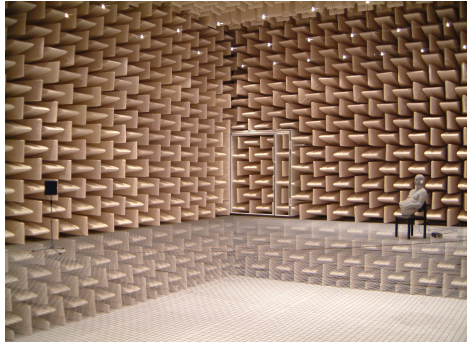


Abbildung 2: Kunstkopfmessung im RAR der TU Berlin

Dabei ergaben sich deutliche Unterschiede im Bereich um 800 Hz und 1,5-2,5 kHz zwischen VP und Kunstkopf, die durch Reflexionen der bei der Kunstkopfnachbildung weggelassenen Beine der VP entstehen können.

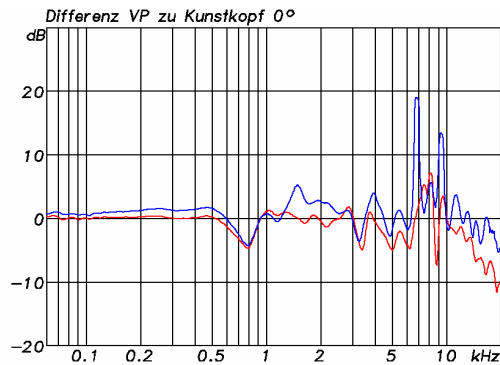


Abbildung 3: Differenz VP zu Kunstkopf in der 0°-Richtung (blau: linker Kanal, rot: rechter Kanal)

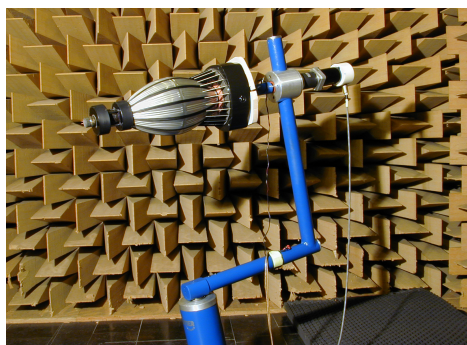


Abbildung 4: Biegestrahler MBL 101 im RAR Aachen

Realer Raum

Auf mehreren Positionen im Audimax der TU Berlin wurden die Übertragungsfunktionen mit dem Kunstkopf für jeweils 151 Richtungen gemessen. Dabei kam als omnidirektionale Quelle ein Biegestrahler MBL 101 B zum Einsatz. Bedingt durch den gegenüber typischen Dodekaedern niedrigeren unverzerrten Maximalschalldruck und den Ansprüchen für hochwertige Auralisationen (Signal/Störabstände von ca. 80-90 dB) müssen mit dieser Quelle viele Mittelungen durchlaufen werden. Entsprechend verlängert sich die Messdauer. Im Kontext der Verifikation der Entwurfsmethodik durch Vergleiche zwischen originalem Hören und binauraler Wiedergabe der mit trockenen Signalen gefalteten Raumübertragungsfunktionen (gemessen und simuliert) hat dieser Lautsprecher zwei Vorteile: er überstreicht den gesamten Hörbereich, was gerade in bezug auf die Untersuchung klanglicher Kriterien wichtig erscheint und er strahlt auch noch bei hohen Frequenzen weitgehend omnidirektional ab.

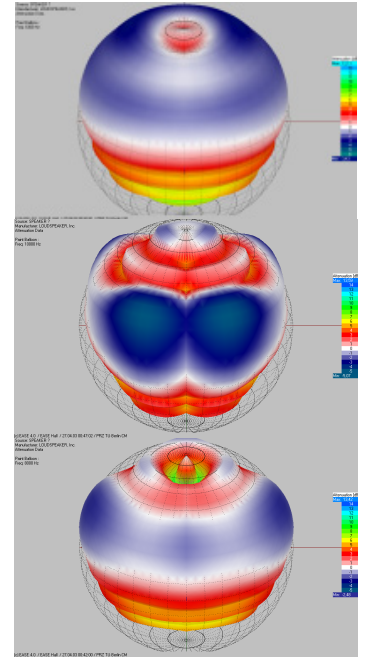


Abbildung 5: Rundstrahlverhalten MBL 101 B bei 6,3/8/10 kHz (v. o. nach u.)

Mit diesem Equipment werden real existierende Räume vermessen, auralisiert und simuliert. Die Ergebnisse aus einem Hörvergleich der realen Räume mit der Auralisation gemessener und simulierter Raumimpulsantworten werden evaluiert und dienen der Extraktion und Verifikation konsistenter Kriterien zur Entwicklung einer akustischen Entwurfsmethodik für Architekten.

Literatur

- ¹ Mackensen, P., Reichenauer, K., Theile, G.: Einfluß der spontanen Kopfdrehungen auf die Lokalisation beim binauralen Hören, 20. Tonmeistertagung Karlsruhe, Tagungsband, S. 218 - 228
- ² Felderhoff, U., Reichenauer, K., Theile, G.: Stabilität der Lokalisation bei verfälschter Reproduktion verschiedener Merkmale der binauralen Signale, 20. Tonmeistertagung Karlsruhe, Tagungsband, S. 229 - 237
- ³ Reichardt, Lehmann: Raumeindruck als Oberbegriff von Räumlichkeit und Halligkeit, Erläuterungen des Raumeindrucksmaßes R, ACUSTICA, Vol. 40, Stuttgart 1978
- ⁴ Kuhl, W.: Räumlichkeit als Komponente des Raumeindrucks, ACUSTICA, Vol. 40, Stuttgart 1978
- ⁵ Prante, H.: Modeling judgements of environmental sounds by means of artificial neural networks, Dissertation, Berlin 2001