

# Mit eigenen Ohren in fremden Welten – Individuelle Hörwahrnehmung in virtueller Realität

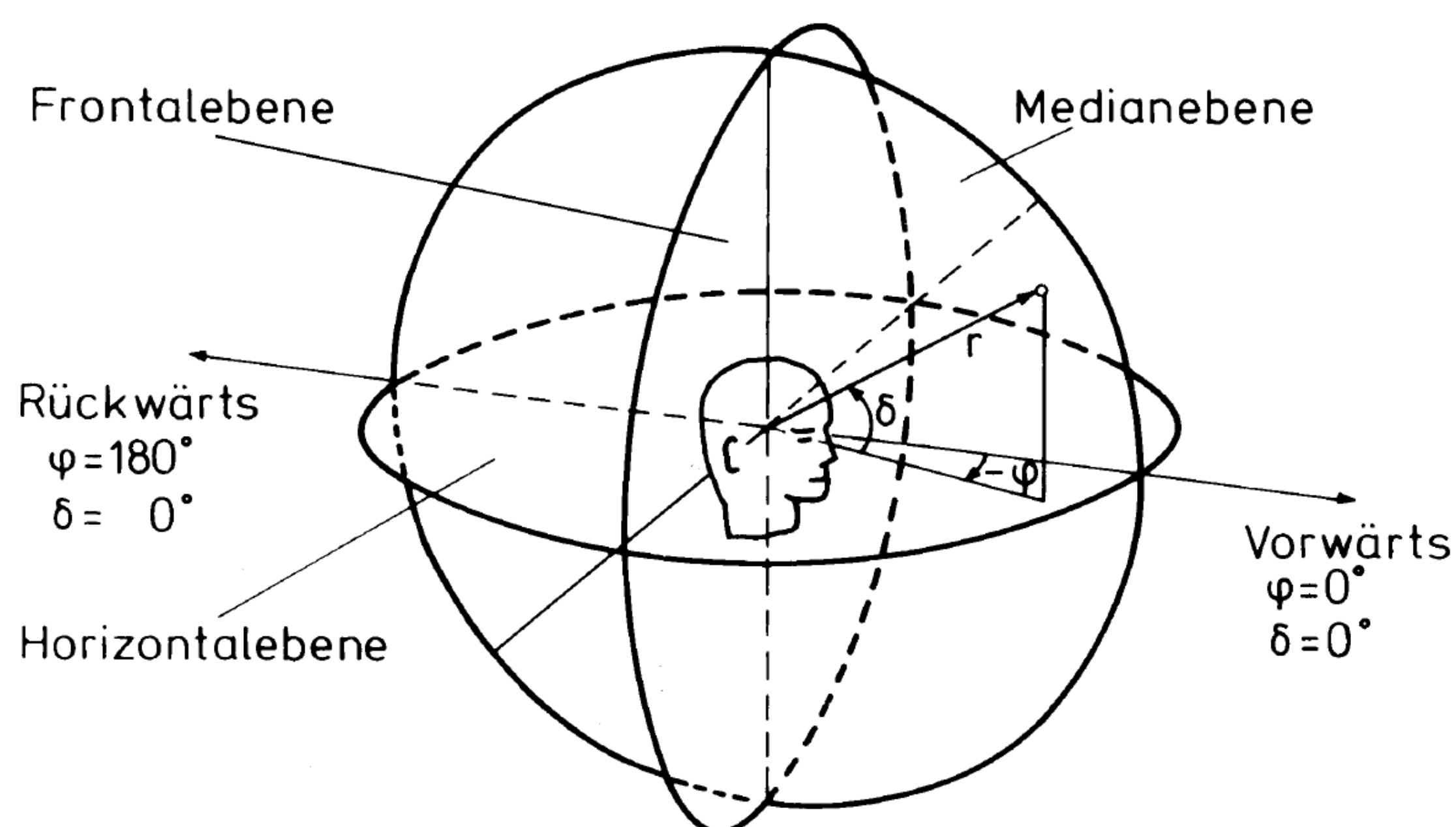
Claudia Jenny<sup>1,2</sup>, Piotr Majdak<sup>2</sup>, Christoph Reuter<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Musikwissenschaftliches Institut der Universität Wien

<sup>2</sup> Institut für Schallforschung (ISF) der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW)

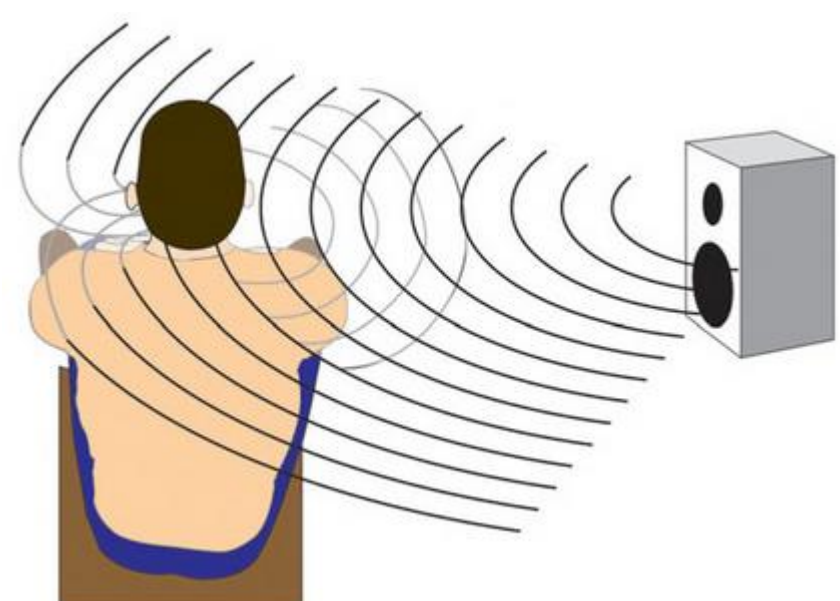
## Hintergrund

Seit Urzeiten ist der Mensch in der Lage sich durch das Gehör in seiner Umwelt zu orientieren. Die realistische Nachbildung auditorischer Szenen über Kopfhörer ist eine große Herausforderung, denn eine präzise Ortung von Schallquellen in der Median- und Frontalebene (vorne/hinten und oben/unten) ist über Kopfhörer besonders schwierig. Es fehlen die individuellen Merkmale, die unser Gehör bei der Richtungswahrnehmung von Schallereignissen nutzt. Die Nachbildung dieser Merkmale, die eine realitätsnahe 3D-Audiowiedergabe über Kopfhörer ermöglichen, ist eine besondere Herausforderung und gerade durch den aktuellen technischen Fortschritt bei 3D-Virtual-Reality-Brillen von großer Bedeutung.



Kopfbezogenes Koordinatensystem (Blauert, Braasch 2008, S. 88).

Binaurales (beidohriges) Hören ist eine wichtige Voraussetzung für räumliches Hören. Zur Bestimmung des Ortes einer Schallquelle verwendet das Gehör die Außenohrübertragungsfunktionen (engl. head-related transfer functions, HRTFs), welche die Filterung einer Schallquelle durch Außenohr, Kopf und Rumpf des Hörers beschreiben. Ausschlaggebend für die Lokalisationswahrnehmung sind hierbei die durch die Anthropometrie (wie z.B. Pinnaform oder Ohrabstand) gegebenen frequenzabhängigen Merkmale der HRTFs. Diese Merkmale variieren individuell je nach Außenohrform und Kopfgröße.



Pegel- und Phasenunterschied zwischen den Ohren beim Richtungshören (Culling, Akeroyd in Plack 2010, S. 124).



Reflexionen innerhalb der Ohrmuschel sind abhängig vom Schalleinfallswinkel (Culling, Akeroyd in Plack 2010, S. 128).

HRTFs können dazu verwendet werden, um Schallquellen virtuell über Kopfhörer räumlich darzubieten (sog. binaurale virtuelle Akustik (BVA), Vorländer 2008; Lindau 2014; Oehler 2014). Bei der Audiowiedergabe von 3D Klangereignissen mittels BVA kann die räumliche Wahrnehmung eingeschränkt sein, wenn die verwendeten Merkmale von den individuellen Merkmalen des Hörers abweichen (Middlebrooks 1999). Hierbei kann es zu inkorrekten virtuellen Schallquellenpositionen oder sogar zu einer Im-Kopf-Lokalisation kommen. 3D-Virtual-Reality-Brillen wie Oculus Rift modulieren zwar HRTFs zur Kopfhörerausgabe hinzu, jedoch ist damit keine richtige Oben-unten-vorne-hinten-Ortung garantiert, da die HRTFs für jede Person und für jedes Ohr einzeln individuell verschieden sind. Der Einfluss der Individualisierbarkeit der Kopfhörer-wiedergabe auf das Hörerlebnis mittels individueller HRTFs ist jedoch noch nicht vollständig erforscht.

## Ziel und Fragestellung

**„Inwiefern ist es möglich sich mit fremden HRTFs in einer virtuellen Welt akustisch zu orientieren und welche Abweichungen werden zu individuellen, persönlichen HRTFs toleriert?“**

Um die Notwendigkeit und den Einfluss der Individualisierung von HRTFs in der binauralen virtuellen Akustik zu untersuchen, steht in dem hier vorgestellten Projekt die 3D-Audio-Wahrnehmung von virtuellen audiovisuellen Klangszenen auf 3D-Virtual-Reality-Brillen im Vordergrund.

## Methode

Mittels einer Videobrille, einem Head-Tracking-System und einem Kopfhörer wird ein Konzept für eine virtuelle Realität umgesetzt. Die virtuelle visuelle Umgebung wird über die 3D-Virtual-Reality-Brille Oculus Rift präsentiert und mit der Software Unity in der Programmiersprache C# erstellt.

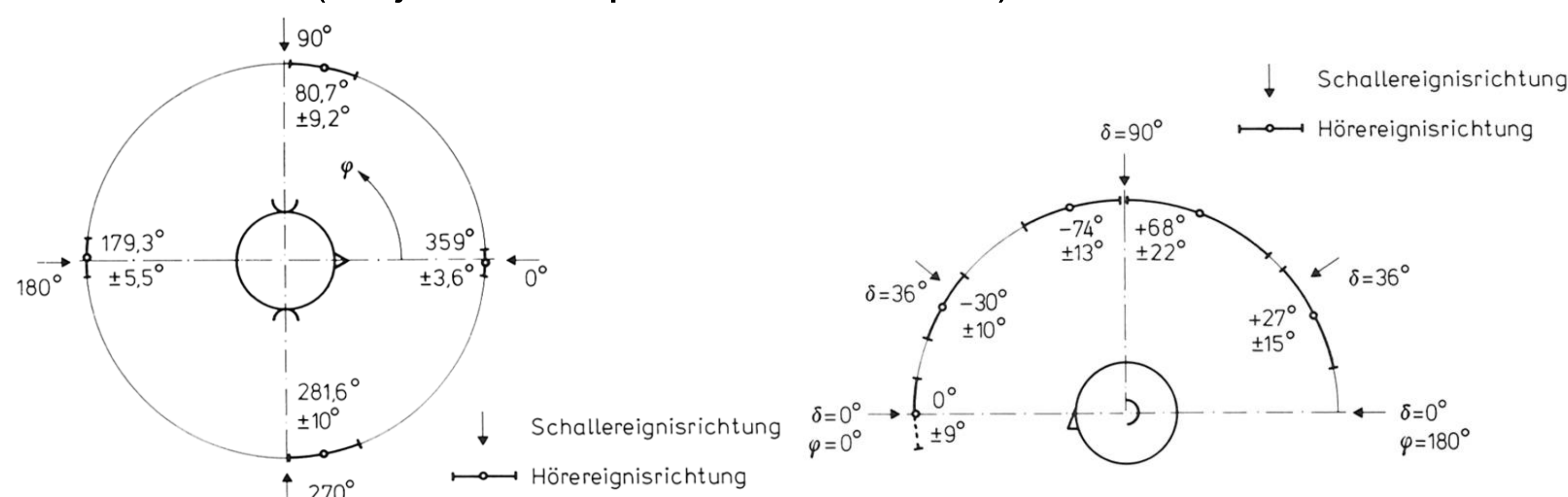


Oculus Rift Virtual Reality Headset (Webseite Oculus VR, <https://www.oculus.com/>).



Lokalisationstest im reflexionsarmen Raum am ISF (Webseite ISF, <https://www.kfs.oeaw.ac.at/>).

Die dazu passende virtuelle Audioumgebung wird über die Filterung verschiedener Audiosignale mit HRTFs für verschiedene Richtungen konstruiert (je nach der Position der virtuellen Schallquellen und der Ausrichtung des Zuhörers). Dabei werden die Filteralgorithmen die Interaktion des Hörers in Echtzeit berücksichtigen (McAnally, Martin 2014). Auf Grundlage einer bereits bestehenden Datenbank individueller HRTFs am ISF werden Hörversuche durchgeführt, welche sowohl die Lokalisationswahrnehmung von mehreren dreidimensionalen statischen und dynamischen Quellen in unterschiedlichen virtuellen Räumen als auch die Entfernungswahrnehmung und die Bewertung der Klangqualität einbeziehen (Majdak, Goupell, Laback 2010).



Lokalisationsunsicherheit und Lokalisation in der Horizontalebene bei weißen Rauschimpulsen von 100ms (Blauert 1974, S. 33).

Lokalisationsunsicherheit und Lokalisation in der Medianebene bei fortlaufender Sprache eines bekannten Sprechers (Blauert 1974, S. 35).

Bei den Lokalisationstests wird untersucht wie groß die Abweichungen zu den eigenen HRTFs sind und wie stark die Beeinträchtigung der Lokalisationsschärfe ist. Die Stimuli werden je nach Funktionalität ausgewählt, wie etwa Rauschimpulse für den Lokalisationstest sowie für den Klangqualitätstest - nach Komplexität steigend - männliche und weibliche Sprache, ein einzelnes Instrument und ein komplexes Musikstück.

## Ausblick

Besonders in der Hörwahrnehmung entlang der vertikalen Dimension, des gerade wahrnehmbaren Winkels, der audiovisuellen Entfernungseinschätzung und in der Vorne-hinten-Ortung sind neue und aussagekräftige Resultate zu erwarten, da in einem virtuellen d.h. vollständig berechenbaren Raum auch eine genauere Erfassung der gegenseitigen Beeinflussung von auditiven und visuellen festen und sich im Raum bewegenden Stimuli möglich wird.

## Literatur

- BLAUERT, Jens: *Räumliches Hören*. Hirzel Stuttgart 1974.
- BLAUERT, Jens; BRAASCH, Jonas: Räumliches Hören. In: Weinzierl, S. (Hrsg.): *Handbuch der Audiotechnik*. Springer Berlin Heidelberg 2008, S. 87-122.
- CULLING, John F.; AKEROYD, Michael A.: Spatial hearing. In: Plack, C. (Hrsg.): *Oxford Handbook of Auditory Science: Hearing*. Oxford 2010, S. 123-144.
- LINDAU, Alexander: *Binaural Resynthesis of Acoustical Environments. Technology and Perceptual Evaluation*. Dissertation TU Berlin 2014.
- MAJDAK, Piotr; GOUPELL, Matthew J.; LABACK, Bernhard: 3-D localization of virtual sound sources: Effects of visual environment, pointing method, and training. In: *Attention, Perception, & Psychophysics* 72/2 (2010), S. 454-469.
- MCANALLY, Ken I.; MARTIN, Russell L.: Sound localization with head movement: implications for 3-d audio displays. In: *Frontiers in Neuroscience* 8/210 (2014), S. 1-6.
- MIDDLEBROOKS, John C.: Virtual localization improved by scaling nonindividualized external-ear transfer functions in frequency. In: *Journal of the Acoustical Society of America* 106/3 (1999), S. 1493-1510.
- OEHLER, Michael: Auditorische Szenenanalyse. In C. Reuter & Auhagen, W. (Hrsg.): *Musikalische Akustik [Kompendien Musik 16]*. Laaber: Laaber 2014, S. 195-217.
- VORLÄNDER, Michael: *Auralization*. Springer Berlin Heidelberg 2008.