

Untersuchungen zur tieffrequenten Wiedergabe bei dreidimensionaler Beschallung

Ramona Beinstingel, Gerhard Krump

Technische Hochschule Deggendorf, 94469 Deggendorf, E-Mail: ramona.beinstingel@stud.th-deg.de

Technische Hochschule Deggendorf, 94469 Deggendorf, E-Mail: gerhard.krump@th-deg.de

Einleitung

Das etablierte 5.1 Surround-System wird zukünftig vermutlich immer mehr durch die dreidimensionale Wiedergabetechnik erweitert. Aufgrund der zusätzlichen Raumdimension ermöglicht ein 3D-Wiedergabesystem eine naturgetreue Rekonstruktion des Klangerlebnisses. Nach Theile und Wittek hilft besonders die Hinzunahme von Höheninformationen beim Erfassen der Attribute der räumlichen Wahrnehmung [1]. Hierzu wurden vier Hörversuche durchgeführt, um mit geeigneten Darbietungssignalen die notwendige Positionierung, aber auch Frequenzbereich, Abstrahlrichtung und Präsenz des Basses zu untersuchen. Versuchsaufbau, Durchführung und Beurteilung der Ergebnisse, die den Einfluss der Basswiedergabe, speziell im Height- und Top-Layer-Bereich bei dreidimensionaler Beschallung veranschaulichen sollen, werden erläutert.

Versuchsumgebung und Rahmenbedingung

Zur Versuchsdurchführung stand ein Abhörraum mit einem 13.1 Beschallungssystem zur Verfügung. Die dreidimensionale Beschallung lässt sich gemäß Abb. 1 in die drei Ebenen Ear-Level (surround), Height (upper) und Top (overhead) untergliedern [2].

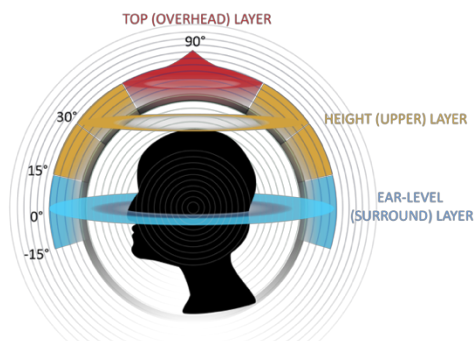


Abbildung 1: Visualisierung der Wiedergabeebenen in einem 3D-Beschallungssystem verändert nach [2].

Wie in Abbildung 2 zu erkennen ist, befindet sich die erste Ebene auf Höhe des Ohres des Zuhörers. Dabei kommt ein 7.1 System zum Einsatz. Die zweite Ebene ist oberhalb der ersten Ebene platziert. Diese Lautsprecheraufteilung entspricht einem 5.0 System. Die dritte Ebene beinhaltet lediglich einen direkt über dem Zuhörer angebrachten Lautsprecher (sog. „Top“). Die Probanden befinden sich bei jedem Versuch im *Sweet Spot* des 3D-Soundsystems.

In dem Beschallungssystem kamen zwei verschiedene Lautsprechertypen zum Einsatz. Die Horizontalebene wurde mit sieben Boxen vom Typ ME Geithain RL901K (3 dB-Frequenzbereich 25 Hz - 20 kHz) und einem Subwoofer Basis 14K abgedeckt [3]. Ergänzend dazu befinden sich an den übrigen Positionen 2-Wege Nearfield-Monitore KH 120 A G (3 dB-Frequenzumfang 52 Hz - 21 kHz) der

Firma Neumann [4]. Die Versuchssteuerung erfolgte gemäß [5] mit den Programmen Ableton Live 10 und Max für Live sowie Lemur, welches eine digitale Bewertung über ein iPad ermöglichte.

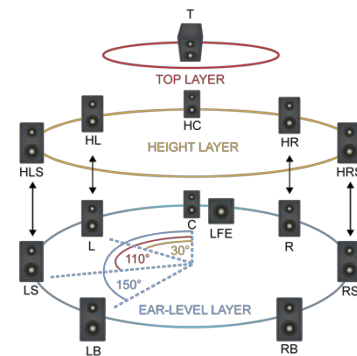


Abbildung 2: 13.1 Lautsprecheranordnung des 3D-Beschallungssystems verändert nach [2].

Insgesamt haben acht Personen (4 weiblich, 4 männlich) im Alter von 22 bis 28 Jahren die Hörversuche durchlaufen. Jede Versuchsperson hat den Versuch viermal durchgeführt. Im Folgenden werden Lautsprecher mit LS und Versuchspersonen mit VP abgekürzt.

Hörversuch I: Basston Lokalisation

Versuchsdurchführung

Ein tieffrequenter Sinus wurde über einen einzelnen LS abgespielt. Die Anfangsfrequenz des Tones betrug 60 Hz. Alle fünf Sekunden erfolgte eine Erhöhung der Frequenz des Tones um 10 Hz, bis es zu einer Lokalisation durch die VP oder zur Erreichung des Maximalwertes von 380 Hz kam. Aufgrund des identischen Aufbaus von linker und rechter Seite des Beschallungssystems wurden die Einzeltöne nur durch die in Abb. 3 angegebenen sieben der insgesamt 14 Lautsprecherboxen abgegeben. Jeder der sieben erhielt viermal das Signal mit einem am Ohr auftretenden Pegel von 60 phon. Daraus ergaben sich 28 Einzeltöne mit zufälliger Reihenfolge der ausgewählten Lautsprecher, die der VP nacheinander angeboten wurden.

Sobald der VP eine Lokalisation möglich war, signalisierte sie dies durch Heben der Hand. Ihre Entscheidung teilte die VP durch anschließendes Zeigen auf den vermuteten LS mit. Die Ergebnisse wurden unkommentiert notiert und es erfolgte die Fortsetzung des Versuchs.

Versuchsergebnisse

Die insgesamt 224 Angaben geben Hinweise auf die Lokalisationsfähigkeit des Sinustones bei verschiedenen kopfbezogenen Richtungen und die Grenzfrequenz, ab der eine bewusste Lokalisation möglich ist. Es erfolgt zunächst eine Unterteilung in zutreffend und in fehlerhaft lokalisierte LS. Die prozentuale Anzahl der positiv bestätigten

Lautsprecherselektionen ist in Abbildung 3 visualisiert. Auffallend ist die lediglich hohe Richtigkeit des RB Lautsprechers. Dieser besitzt im Gegensatz zu den anderen Lautsprecherboxen keine kongruente Box in der Height-Ebene. Das bestärkt die Vermutung, dass eine Unterscheidung zwischen den vertikal übereinander liegenden LS schwierig ist.

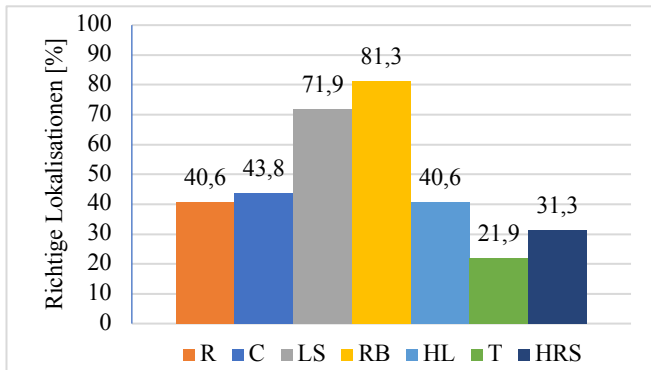


Abbildung 3: Korrekte Lokalisationen des jeweiligen abstrahlenden LS in Prozent.

Werden in der Auswertung Positionierungsfehler in der Höhe als richtig zugelassen und wird somit nur in horizontaler Richtung auf fehlerhaft lokalisierte Schallquellen geachtet, so steigt die Genauigkeit der Angaben, abgesehen von zwei Ausnahmen, gemäß Abb. 4 auf mindestens 75 %. Nur für die Lautsprecherpositionen T und C beläuft sich die Rate der korrekten Lokalisationen inklusive der vertikalen Abweichungsmöglichkeit auf weiterhin niedrige 55 % bis 60 %.

Dieser Hörversuch zeigt, dass eine zutreffende Lokalisation einer Schallquelle auch bei tiefen Frequenzen entlang der Horizontalebene sehr gut möglich ist, die Fähigkeit zur Lokalisation in der Median- und Frontalebene des Gehörs jedoch vergleichsweise schlecht ausgeprägt ist.

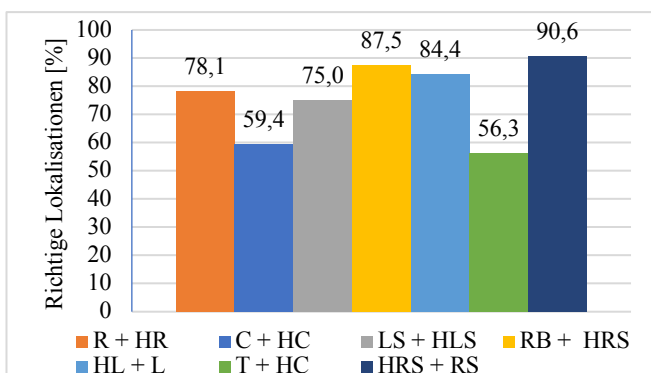


Abbildung 4: Korrekte Lokalisationen (inkl. vertikaler Abweichungen) des jeweiligen abstrahlenden LS in Prozent.

Abbildung 5 zeigt, dass die Anzahl der getätigten und richtig bestätigten Lokalisationen bis zum Höchstwert bei 130 Hz ansteigt. Anschließend folgt ein Rückgang der Anzahl. Dieses Ergebnis bestätigt die Aussage von Mangold, dass es einem Menschen unmöglich ist, einen Sinuston unterhalb 80 Hz zu lokalisieren [6]. Weiterhin wird deutlich, dass in dieser Versuchsreihe das Lokalisationspotential zwischen 100 Hz und 140 Hz am größten war. Die Erfolgsrate basiert für diesen Frequenzbereich auf vielen Lokalisationsversuchen und liegt stets bei mindestens 60 %.

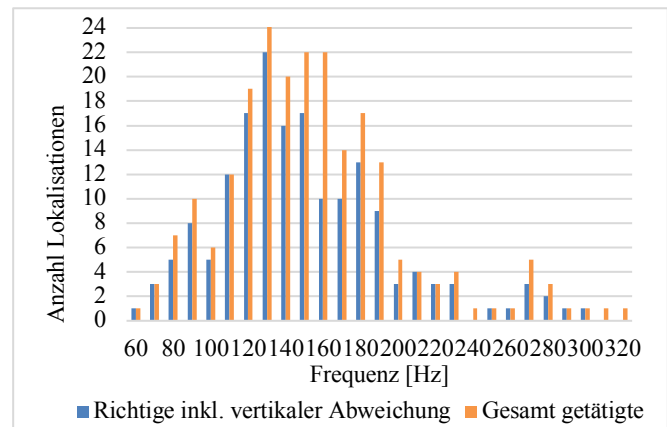


Abbildung 5: Anzahl richtiger (inkl. vert. Abweichung) und getätigter Lokalisationen in Abhängigkeit von der Frequenz.

Hörversuch II: Sinustonwiedergabe bei Terzband-Mittelfrequenzen

Versuchsdurchführung

In diesem Versuch wurden pro Durchgang Töne bei den Mittelfrequenzen der Terzbänder von 63 Hz bis 10 kHz in zufälliger Reihenfolge über den mittleren Deckenlautsprecher T bzw. zum Vergleich mit dem Center C abgestrahlt. Es erfolgte eine Pegelanpassung der Sinustöne der Terzmittelfrequenzen an die Kurven gleicher Lautheit in Höhe von 60 phon, wodurch sich die VP besser auf die Frequenzbewertung ohne Beeinflussung durch die empfundene Lautstärke konzentrieren konnte. Eine Bewertung jedes Sinustons erfolgte durch die VP bereits während der Wiedergabe. Mit der Bestätigung der Einschätzung begann die nächste Tonwiedergabe. Es wurden vier identische Durchgänge, aber mit jeweils verschiedenen Frequenzabfolgen dargeboten.

Bei diesem Versuch hatte die VP mittels semantischen Differential zu bewerten, ob der dargebotene Ton angenehm oder unangenehm klingt. Die Eingaben der VP erfolgten mithilfe eines auf einem Tablet von Null bis Zehn äquidistant eingeteilten Sliders, dessen Linienlänge der Empfindung angepasst werden sollte. Dessen linke Seite war mit „unangenehm“ und rechte Seite mit „angenehm“ deklariert. Zwischenstufen waren ebenfalls erlaubt.

V Versuchsergebnisse

Es wurde der Zentralwert ihrer vier Durchläufe jeder Testperson ermittelt und davon wieder der Median der acht VP, welcher in Abb. 6 bei jeder Mittelfrequenz durch einen blauen Punkt dargestellt ist. Zusätzlich wurde der Hörversuch mit dem Centerlautsprecher C zum Vergleich durchgeführt, dessen Ergebnisse in orange eingetragen sind.

Die beiden annähernd linear abfallenden Graphen machen deutlich, dass das Ohr nicht kritisch gegenüber tiefen Frequenzen von oben reagiert und diese entgegen der Annahme keine „erdrückende“ Wirkung hervorrufen. Vielmehr werden diese Frequenzen als angenehm eingestuft. Diese wohltuende Impression ist bei Abstrahlung von oberhalb noch ausgeprägter als von vorne. Im mittleren Frequenzbereich ist die Schallquellenposition bei dieser Untersuchung weniger relevant, während sich bei den hohen Frequenzen ab 8 kHz eine Bevorzugung zur Abstrahlung aus dem Center LS abzeichnet.

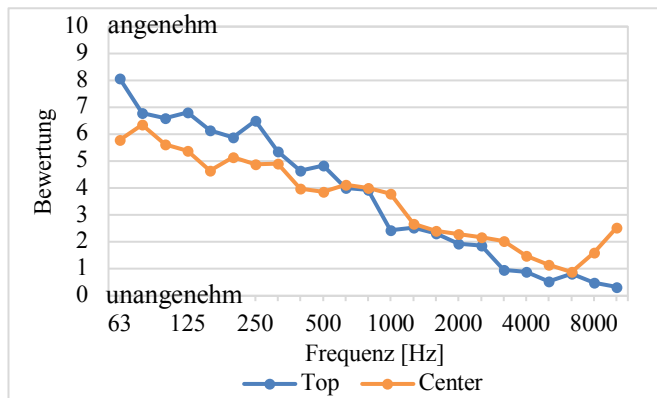


Abbildung 6: Angenehmheit der Sinustöne der jeweiligen Terzband-Mittelfrequenzen wiedergegeben vom Top-LS T (blau) bzw. Center-LS C (orange).

Hörversuch III: Manipulierte Musikwiedergabe durch verschiedene Hochpassfilter

Versuchsdurchführung

Dieser Hörversuch sollte die Basswiedergabe aus dem Top-LS T beurteilen und erforderte daher einen stärker ausgeprägten Bassanteil aus dem oberen LS als er in der Regel vorhanden ist, weshalb eine individuelle Anpassung zweier dreidimensional abgemischter Musikstücke verwendet wurde. Es wurde ein eher düster klingendes Hip-Hop-Musikstück und ein eher fröhlich klingendes Funk Rock-Lied verwendet. Alle Varianten wurden über das gesamte LS-System wiedergegeben. Dabei wurde der VP zunächst die jeweils für diesen Hörversuch abgemischte Version ungefiltert dargeboten, um ihr einen Bezugspunkt bereitzustellen. Anschließend erfolgte die Wiedergabe dreier weiterer Varianten, bei denen das Signal für den Top-LS T mit Hochpassfiltern der Grenzfrequenzen 100 Hz, 250 Hz und 500 Hz im Bassbereich begrenzt wurde. Alle anderen LS erhielten immer das ungefilterte Signal. Somit war ein üblicher Bassanteil aus den Surround Kanälen (ab 70 Hz) und dem LFE-Kanal (20 Hz – 150 Hz) weiterhin vorhanden.

Tabelle 1: Übersicht der bipolaren Adjektiv-Paare 1 bis 8

Nr.	Bipolare Adjektiv-Paare	
	Wertigkeit 0	Wertigkeit 10
1	erdrückend	frei
2	unbehaglich	sympathisch
3	schlecht	gut
4	beängstigend	vertraut
5	störend	beruhigend
6	kalthertzig	herzlich
7	düster	fröhlich
8	ungemütlich	wohltuend

Die Teilnehmer bewerteten jedes der beiden Lieder in seinen vier Varianten in zufälliger Reihenfolge jeweils zweimal. Die Bewertungsmethode basierte ebenfalls auf dem semantischen Differenzial. Wie in Versuch II wurde den VP das Tablet für die Evaluierung bereitgestellt. Im Unterschied zum vorangegangenen Versuch wurde der Höreindruck mithilfe von acht verschiedenen Wort-Pärchen gemäß Tabelle 1 durchgeführt.

Versuchsergebnisse

In Abbildung 7 bzw. Abbildung 8 ist jeweils der Median der 16 Einzelwerte der acht VP pro Adjektiv-Paar 1 bis 8 für das

hier verwendete Lied der Musikrichtung Hip-Hop bzw. Funk Rock dargestellt. Grundsätzlich wird durch diesen Hörversuch ersichtlich, dass eine Tieftonwiedergabe über den Top LS die Grundstimmung eines Liedes beeinflusst.

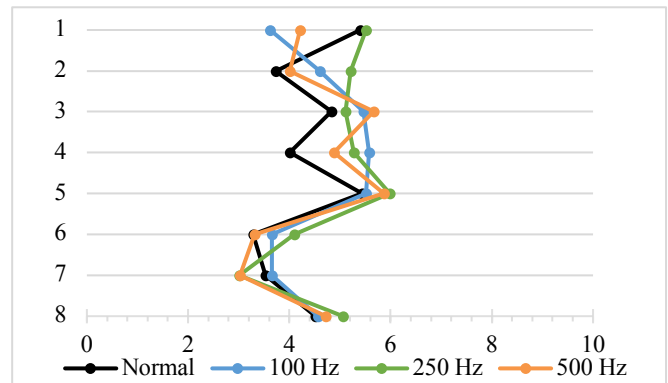


Abbildung 7: Ergebnisse Hörversuch III für Lied Hip-Hop ohne (schwarz) bzw. mit Hochpassfilterung (farbig) bei LS T.

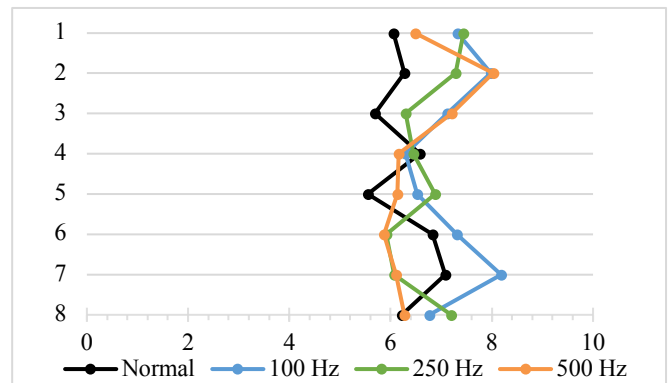


Abbildung 8: Ergebnisse Hörversuch III für Lied Funk ohne (schwarz) bzw. mit Hochpassfilterung (farbig) bei LS T.

Beim Vergleich der verschiedenen Varianten ist zu erkennen, dass die normale, also ungefilterte, mit Bass von oben versehene Version tendenziell am schlechtesten empfunden wird. Andererseits schneidet die im Top-LS T bei 500 Hz hochpassgefilterte Version ebenfalls etwas schlechter ab als die 100-Hz-Version. Daraus ergeben sich zwei Schlussfolgerungen: Zum einen sind Frequenzen unterhalb 100 Hz redundant. Zum anderen ist es erforderlich Frequenzen zwischen 100 Hz und 500 Hz über den mittleren Deckenlautsprecher abzugeben. Dies verleiht dem Musikstück einen breiten und brillanten Klang. In dieser Arbeit ist weiterhin die Wahl des Musik-Genres entscheidend für den notwendigen Umfang der Bassanteile. Bei Betrachtung des düsteren Liedes (Hip Hop) kann der Bassanteil auf Frequenzen oberhalb 250 Hz reduziert werden, selbst mit Frequenzen ab 500 Hz wirkt es noch düster und unbehaglich. Im Gegensatz dazu erfordert das muntere Musikstück (Funk Rock) Frequenzen zwischen 100 Hz und 250 Hz für einen vollen Klang.

Hörversuch IV: Musikwiedergabe mit erhöhten Bassanteil verschiedener LS

Versuchsdurchführung

Dieser Hörversuch entspricht hinsichtlich Aufbau, Durchführung und Auswertung dem Versuch III. Lediglich die Manipulation der Musikstücke unterscheidet sich. Anstatt des

Einsatzes von HP-Filtern wurden der VP anschließend an die Wiedergabe der Ausgangsversion eines der beiden Musikstücke Hip-Hop bzw. Funk folgende Varianten dargeboten.

- Verstärkung der Bassanteile der LS „HL“, „HR“ und „HC“
- Verstärkung des Bassanteils des LS „Top“
- Verstärkung der Bassanteile der LS „HLS“ und „HRS“

Die Verstärkung erfolgte durch die Hinzunahme der LFE-Tonspur zu den entsprechenden LS. Das entspricht einem Umfang von 40 Hz bis 150 Hz. Es wurde darauf geachtet, dass die Gesamtlautheit des Systems stets gleich blieb.

Versuchsergebnisse

Im Gegensatz zu Versuch III sollte dieser Versuch Hinweise geben bezüglich der Empfindung der Basswiedergabe aus unterschiedlichen Abstrahlrichtungen oberhalb des Kopfes.

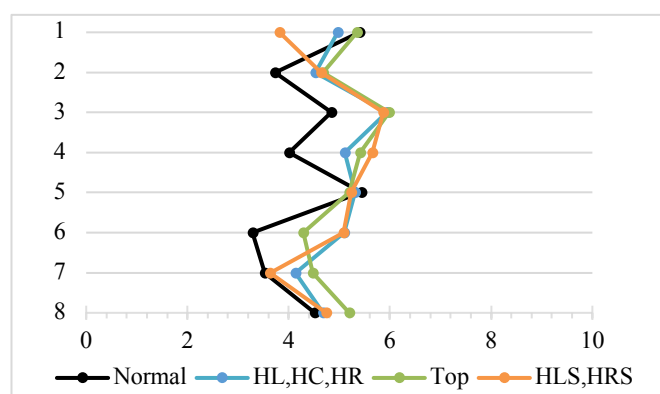


Abbildung 9: Ergebnisse Hörversuch IV für Lied Hip-Hop ohne (schwarz) und mit Bassanhebung bei HL,HR,HC (blau), T (grün) und HLS,HRS (ocker).

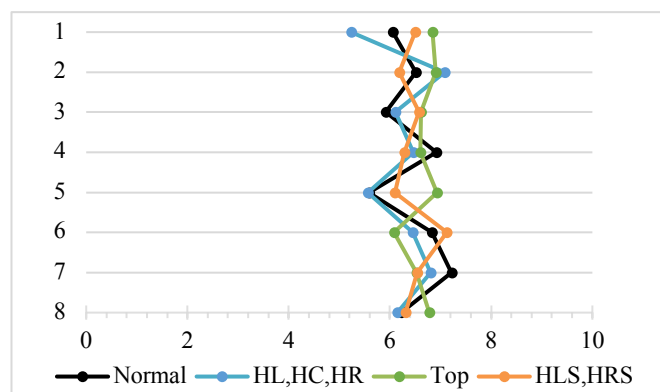


Abbildung 10: Ergebnisse Hörversuch IV für Lied Funk ohne (schwarz) und mit Bassanhebung bei HL,HR,HC (blau), T (grün) und HLS,HRS (ocker).

Zunächst wird die These über ein Verlangen nach einer Basswiedergabe aus der Height- und Top-Ebene durch das wiederum schlechte Ergebnis der Ausgangsversion bestätigt. Wie in Versuch III wird das düstere Hip-Hop-Lied entsprechend schlechter beurteilt als das von Haus aus fröhlicher klingende Funk Rock-Lied. Ersteres enthält dadurch mehr Möglichkeiten zur Verbesserung über die Bassanhebung, die insgesamt zu einer optimistischeren Beurteilung der Beschallung führt.

Die Auswertung der bipolaren Skalen gibt Hinweise zur Positionierung der Basswiedergabe, wengleich die Effekte

nicht sehr groß sind. Eine verstärkte Tieftönwiedergabe durch die frontalen Lausprecherboxen tendiert zu einer sympathischen und fröhlichen Wahrnehmung des Liedes. Eine Verstärkung über die hinteren Boxen verschafft dem Musikstück einen vollen Klang. Jedoch kann dies bei einem düsteren Lied auch ein „erdrückendes“ Gefühl beim Zuhörer hervorrufen (s. Abb. 9, Bewertung 1 und 7). Entgegen der Vermutung vermittelt die überhöhte Basswiedergabe aus dem Top-LS bei beiden Liedern eher ein Gefühl von Vertrauen und Beruhigung anstatt von Beklemmung.

Zusammenfassung

Jeder Hörversuch verfolgte das Ziel, einen Beitrag zur Beantwortung der Eingangsfrage, inwieweit Position und Präsenz des Basses bei der Beschallung von oben notwendig ist, zu liefern. Die Versuche bringen erste Ergebnisse und bilden somit eine Grundlage für weitere Untersuchungen. Durch Kombination der Hörversuche wurden diverse Erkenntnisse über das Lokalisationspotential und die Empfindung eines Zuhörers gegenüber der Basswiedergabe bei Varianz in Positionierung, Frequenzbereich, Abstrahlrichtung und Präsenz des Basses gewonnen.

Hörversuch I zeigt, dass die vertikale Lokalisation tieffrequenter Töne und damit direkt übereinanderliegender Tieftöner schwierig ist und die horizontale Zuordnung bei 130 Hz zu 60 % richtig erfolgt. Aus Hörversuch III und IV wird ersichtlich, dass beim Zuhörer das Verlangen nach Frequenzen unter 500 Hz von oben besteht. Zudem zeigt Hörversuch IV, dass jeder Deckenlautsprecher bei verstärkter Basswiedergabe bestimmte Stimmungen hervorruft. Bei fröhlichen Liedern (Funk) kräftigt der Bass das Lied. Bässe von oben wirken nicht erdrückend, sondern frei, beruhigend und vertraut. Die Abbildung 6 aus Hörversuch II unterstützt diese These. Somit kann die Grundstimmung des Musikstückes durch geeignete Positionierung der Basswiedergabe verstärkt werden. Weiterhin kann für den Top LS aber auf Frequenzen unterhalb von 100 Hz ohne Qualitätsverluste für die auditive Erfahrung des Zuhörers verzichtet werden. Das ist womöglich auf die geringe Lokalisationsfähigkeit unter 100 Hz zurückzuführen.

Literatur

- [1] Theile, G. und Wittek, H.: Die dritte Dimension für Lautsprecher-Stereofonie. VDT- Magazin - Audio 3D und Auro 3D (2011) S. 1.
- [2] takeoffmedia - Auro-3D, URL: <http://www.auro3d-heimkino.de/auro3d-technik-special/auro3d-funktionsprinzip.html>
- [3] Musikelectronic Geithain GmbH - RL 901K, URL: <http://www.me-geithain.de/de/rl-901k.html>
- [4] Neumann Homepage - KH 120 A G URL: <https://de-de.neumann.com/kh-120-a-g>
- [5] Meier, P., Krump G.: Eine modulare Hörversuchssteuerung auf Basis von Audio-Plugins, in *DAGA '18*, München, DEGA Berlin, 2018, S. 1061–1064.
- [6] Mangold, R.: Informationspsychologie. Wahrnehmen und Gestalten in der Medienwelt. Springer-Verlag, Stuttgart, 2015.