



universität
wien

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Virtual Reality –
Definition, Presence und Anwendung im
musikwissenschaftlichen Kontext“

verfasst von / submitted by

Giuliano Iacenda, BA

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Arts (MA)

Wien, 2019 / Vienna 2019

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

UA 066 836

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Masterstudium Musikwissenschaft

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. Christoph Reuter, M.A.

Kurzfassung

Diese Masterarbeit gibt eine Übersicht über die Zusammenhänge von Musik und Virtual Reality. Es werden eine Definition des Begriffs, der historische Hintergrund der Technologie und der Zusammenhang mit der Presence-Forschung erörtert. Darüber hinaus werden musikwissenschaftliche Theorien der Klangwahrnehmung und -lokalisation besprochen und mit dem Prozess der Auralisation für virtuelle Umgebungen vereinbart, sowie Binauralsynthese und Ambisonics-Technologie erklärt. Aktuelle Forschungs- und Anwendungsgebiete von Virtual Reality werden aufgelistet und im Kontext der Musikwissenschaft analysiert. Dazu gehören musikalische VR-Anwendungen in den Bereichen der Medizinforschung, des Bildungswesens und des Entertainmentsektors sowie eine Übersicht an Ambisonics-Plugins für derzeitige DAWs. Zuletzt wird auf die digitalen Entwicklungsumgebungen Unity und Unreal Engine eingegangen sowie auf deren Nutzen für die Erstellung von virtuellen Umgebungen und die Einbindung von Audio-SDKs, Middleware und Spatializer-Plugins.

Abstract

This Master's Thesis gives an overview over the relationship between music and virtual reality. A definition of the term, the historical background of the technology and its connection with the Presence-research will be discussed. Furthermore, musicological theories of sonic perception and sound localization will be combined with the process of auralization for virtual environments, as well as a consideration of binaural synthesis and the technology of Ambisonics. Current research and applications of Virtual Reality will be listed and analyzed in a musicological context. Part of this will be musical VR-applications in the fields of medicine research, education and the entertainment sector, in addition to an overview of Ambisonics-plugins for current DAWs. Moreover, the digital development environments Unity and Unreal Engine will be discussed, along with their usage for the creation of virtual environments and their integration of audio-SDKs, middleware, and spatializer-plugins.

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG	1
2. DAS COMEBACK VON VIRTUAL REALITY	
- HINTERGRÜNDE UND TECHNISCHER FORTSCHRITT	3
2.1 Was ist Virtual Reality? - Entstehung, Bedeutung, Definition	3
2.1.1: Entstehung des Begriffs und der Technologie	4
2.1.2: Presence und Telepresence	9
2.1.3: Definitionen und Terminologien im Überblick	16
2.1.4: 2012: Das Comeback	21
2.2 Technologische Fortschritte und aktueller Stand	23
2.2.1: Oculus Rift und HTC Vive im Vergleich	25
2.2.2: Übersicht aller aktuellen Geräte	26
3. VIRTUAL REALITY IN DER MUSIKWISSENSCHAFT	
- KONZEPTE, VERSTÄNDNIS UND FORSCHUNG	27
3.1 Auralisation	28
3.1.1: Raumklang, Räumliches Hören und Lokalisation	28
3.1.1.1: Interaurale Pegeldifferenzen	30
3.1.1.2: Interaurale Zeitdifferenzen	31
3.1.1.3: Cone of Confusion und vertikale Lokalisation durch spektrale Merkmale	32
3.1.1.4: Distanzhören	36
3.1.2: Räumliches Hören mit Kopfhörern	37
3.1.2.1: Messung von HRTFs	38
3.1.2.2: Messunterschiede bei individuellen und nicht-individuellen HRTFs	40
3.1.2.3: (Dynamische) Binauralsynthese	41
3.1.3: Ambisonics und 3D Raumklang	43
3.2 Auditive Presence	45
3.2.1: Visuelle Einflüsse auf die auditive Wahrnehmung	45
3.2.2: Authentizität und Plausibilität in VR Forschung	47
3.2.3: Forschung im Bereich der virtuellen Akustik zur Verbesserung von Presence	48
4. VIRTUAL REALITY IN DER MUSIKWISSENSCHAFT	
- ANWENDUNGEN UND ENTWICKLUNG	52
4.1 Anwendungen in VR im Allgemeinen	52
4.1.1: Lineare Anwendungen	52
4.1.2: Interaktive Anwendungen	53
4.2 Musikbezogene Anwendungen	55
4.2.1: Musikalische VR Anwendungen im Bereich der Medizinforschung	55
4.2.2: Musikalische VR Anwendungen im Bereich der Ausbildung und dem Bildungswesen	57
4.2.3: Musikwiedergabe, Visualizer und Musikvideos	58
4.2.4: Musikspiele/Rhythmusspiele	61
4.2.5: Musikpraxis und Recording Software	64
4.2.6: Ambisonics Plugins für lineare VR-Anwendungen	69
4.3 Entwicklungsumgebungen für Virtual Reality	74

4.3.1: Definition.....	74
4.3.2: SDKs und VR-Anwendungsentwicklung.....	75
4.3.4: Middleware.....	77
4.3.5: Audio-Spatializer mit HRTF Einbindung und SOFA-Format.....	79
4.3.6: Einbindung von Steam Audio Plugin in Unity und Unreal.....	81
4.3.6.1: Einbindung in Unity.....	82
4.3.6.2: Einbindung in Unreal Engine.....	86
4.3.6.3: Fazit zur Steam Audio Plugin Einbindung.....	89
 5. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....	 91
 LITERATURVERZEICHNIS.....	 94
 ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	 114
 ANHANG.....	 118
Anhang A: Übersicht aller aktuellen VR-Geräte.....	118
Anhang B: Vergleich von Musikwiedergabe- und Visualisierungsanwendungen in VR.....	119
Anhang C: Vergleich von Rhythmusspielen in VR.....	120
Anhang D: Vergleich von Anwendungen musikalischer Kreation und Aufnahmesoftware in VR.....	121

1. Einleitung

Ziel dieser Masterarbeit ist es, eine Übersicht der Virtual Reality (VR) Technologie zu geben und dabei ihre Bedeutung, Funktionsweise und Anwendung im musikwissenschaftlichen Kontext zu erörtern. Die Arbeit besteht aus drei Teilen, die sich auf (1) die Entwicklung, Definition und das „Comeback“ von VR, (2) das musikwissenschaftliche Verständnis für die Technik und (3) ihre Anwendungsgebiete im musikwissenschaftlichem Kontext beziehen.

Im ersten Teil liegt der Fokus somit auf der Herkunft des Begriffs „Virtual Reality“ sowie dem geschichtlichen und technologischen Hintergrund, aus dem der Begriff hervorging. Dieser hat wiederum dank weiterer technologischer Fortschritte in jüngster Zeit zu einer Rückkehr von VR in die Konsumgüterindustrie geführt, wird deswegen als Comeback angesehen. Auch wird hier eine tabellarische Übersicht über die aktuellsten VR-Geräte gegeben.

Der zweite Teil definiert daraufhin alle nötigen Begriffe und Konzepte, die mit der klanglichen Wahrnehmung der Menschen zusammenhängen und mit deren Hilfe beim Prozess der Auralisation klanglich kohärente virtuelle Welten erzeugt werden. Dabei wird auch auf bestimmte Messmethoden für die binaurale Kopfhörer- und Lautsprecherwiedergabe sowie auf das Verfahren für die Aufnahme und Wiedergabe mit Hilfe von Ambisonics eingegangen.

Der dritte Teil dient zur Übersicht der aktuellen Technik und Entwicklungsverfahren, die mit Musik, Klangerzeugung und Klangmanipulation einhergehen. Darunter fallen entwickelte musikspezifische Anwendungen für den Verbrauchermarkt, Ambisonics-Plugins für Digital Audio Workstations (DAWs), Entwicklungsumgebungen für Spiele, Software-Development Kits (SDKs) für Audiodesign, Middleware und „Spatializer“-Plugins zur digitalen Auralisation. Zudem dient eine Schritt-für-

Schritt-Anleitung zur Einbindung vom Steam Audio Plugin in die Entwicklungsumgebungen Unity und Unreal der Veranschaulichung des Aufbaus eines musikwissenschaftlichen Experiments.

Im Rahmen der Masterarbeit ist die Forschung um das Phänomen der „Presence“ oder dem Gefühl des „Vor-Ort-Seins“ ein Themengebiet, das alle drei Teile der Arbeit umfasst. Dieses Phänomen wird zumeist durch die virtuelle Realität hervorgerufen und lässt den Nutzer glauben, durch ein bestimmtes Medium wie der VR an einen anderen Ort transferiert worden zu sein. Hierzu wird der Begriff mit dem Bezug auf die virtuelle Realität definiert, in musikwissenschaftlichen Anwendungsgebieten untersucht und im Kontext von Entwicklungssoftware betrachtet.

2. Das Comeback von Virtual Reality

–

Hintergründe und technischer Fortschritt

2.1 Was ist Virtual Reality?

– Entstehung, Bedeutung, Definition

Im Laufe des 20. Jahrhunderts brachte die Menschheit neue Erfindungen hervor, die gewisse technologische Entwicklungen mit sich trugen. Bestimmte Entwicklungen, wie z.B. bewegte Bilder, Stereoskopie (3D-Filme) und „Head-Mounted Displays“ (HMDs), dienten der Entstehung der sogenannten „Virtual Reality“ (VR) (LaValle, 2017, S.22-33). VR ist ein Phänomen, das in den 1990ern das erste Mal an großer Popularität gewann und seit der Erfindung des Internets genauso schnell wieder aus dem „Mainstream“ verschwand (Rubin, 2018, S. 25). Seit 2012 entsprang jedoch eine neue Quelle internationaler Neugierde rund um das Phänomen, denn durch den nicht zu bremsenden technologischen Fortschritt und der Vorstellung in eine virtuelle Welt abtauchen zu können oder sich im übertragenem Sinne an neue Orte „beamen“ zu können, ohne sein eigenes Wohnzimmer zu verlassen, wurde der Traum von VR nie aufgegeben (Rubin, 2018, S. 35-45). Doch was ist diese virtuelle Welt überhaupt? Was hält sie für uns parat, bzw. welchen Nutzen kann sie uns erbringen? Um ihr Wesen definieren zu können, wird zunächst ein genauer Blick auf ihre Geschichte und die Entstehung des Begriffs Virtual Reality geworfen (1.1.1), ein Abstecher in die Definition von Presence und Telepresence unternommen (1.1.2) und darauffolgend eine Übersicht an historischen und populären Definitionen dargelegt (1.1.3). Eine

geschichtliche Erläuterung der letzten Jahre, in denen VR wieder an neuer Popularität gewann, beendet das Kapitel (1.1.4).

2.1.1: Entstehung des Begriffs und der Technologie

Der Begriff „Virtual Reality“ und das Konzept, das sich dahinter verbirgt, hat in der Literatur mehrere verschiedene Entstehungsgeschichten. Immanuel Kant nutzte den Begriff wahrscheinlich als erstes in einem Nachwort eines Buches von S.T. Soemmering. Dabei soll er jedoch keinen spezifischen Bezug auf die später entwickelte Technologie genommen haben (Kant, 1796, S. 30-35). Der moderne Gebrauch des Begriffs sei durch den Informatiker Jaron Lanier in den 1980er Jahren popularisiert worden (siehe Seite 7). In der Belletristik sei der Begriff im Jahre 1935 das erste Mal aufgetaucht. So haben Sadler und Dooley herausgefunden, dass der Begriff zum ersten Mal in dem Science-Fiction Roman „Pygmalion's Spectacles“ von Stanley G. Weinbaum im Jahre 1935 an die Öffentlichkeit gebracht wurde (Sadler, & Dooley, 2014, 159-182; Weinbaum, 1935).

Bedeutende technologische Entwicklungen haben die virtuelle Realität ermöglicht (LaValle, 2017, S. 22-33). Dazu gehören fortschreitende Entwicklungen in der Photographie, Kinematographie und in den Videospielen. Jedoch seien zwei weitere Schritte maßgebend für den heutigen Verlauf der Technologie bezüglich Virtual Reality: Zum einen habe die Erfindung der Stereoskopie (benannt nach der Erfindung des Stereoskops nach C. Wheatstone um 1838; Wade, 2002, S. 265) dafür gesorgt, dass einem Einzelbild ein im Volksmund genannter „3D“ Effekt auferlegt wurde. Hierbei handelt es sich um einen durch Überlagerung zweier Bilder erzeugten Räumlichkeitseffekt, der zum Beispiel durch Brillengläser mit polarisiertem Lichtfilter hervorgerufen wird. Dieser Filter lässt jedes Auge ein leicht unterschiedliches Bild

sehen, um somit eine Illusion von Räumlichkeit, also Dreidimensionalität zu erzeugen. In den USA wurde um ca. 1939 der „View-Master“ sehr beliebt, der stereoskopische Bilder durch ein kleines Gerät anzeigte, das man sich direkt vor die Augen hält. Diese Bilder waren meist Szenerien von Städten (LaValle, 2017, S. 29-30). Die Erfindungen des 3D Kinos und des „Sensorama“ in den 1950er Jahren versuchten die Sinne des Menschen noch weiter zu stimulieren, indem 3D Video, ein Vibrationsstuhl, binauraler Sound, Wind und Gerüche miteinander kombiniert wurden (LaValle, 2017, S. 30). Das Streben nach immer größer werdender Immersion, bzw. das „sich Verlieren in einer anderen Welt,“ oder das „Abtauchen,“ sei dabei ein wichtiger Bestandteil gewesen (Slater, 2018, S. 432). Von daher gilt für LaValle, dass als zweiter Punkt auch das stetige Vergrößern des Sichtfeldes eine Option war, um die Menschen leichter vergessen zu lassen, dass sie sich in einer durch ein Medium kreierte Wirklichkeit befinden. Das „Cinerama“ System der 1950er verfügte über ein kurvig, weites Sichtfeld, welches unseren gekrümmten Fernsehern oder Monitoren heutzutage ähnelt. Das gekrümmte Kino und demnach der Wille sich immer weiter umhüllen zu wollen, soll dem später entwickelten CAVE-System aus der Virtual Reality Familie zugrunde liegen (dazu mehr weiter unten) (LaValle, 2017, S.30). Peter Rubin (2018) vertritt in seinem Buch *Future Presence* auch den Standpunkt, dass es im Laufe des zwanzigsten Jahrhunderts technologische Entwicklungen gab, die zur Entwicklung von Virtual Reality Geräten ihre Hilfestellung geleistet haben. So wurde es 1963 durch eine Erfindung vom Wissenschaftler Ivan Sutherland das erste Mal möglich auf einem Computerbildschirm zu malen, zu skizzieren und gemalte Objekte anzuordnen. Diese Erfindung in Form eines Computerprogramms nannte Sutherland „Sketchpad“ (Rubin, 2018, S. 20). Dafür gebraucht wurde ein Computerbildschirm, den man in Kombination mit einem

sogenannten „Lichtgriffel“ (aus dem englischen „Light-Pen“) nach Belieben beschriften konnte. Dieses Programm sei nur der Anfang einer Reihe von progressiven Entwicklungen gewesen (Rubin, 2018, S. 20-25). Im Jahre 1968 entwickelte



Abb. 1: „Damoklesschwert“ von Ivan Sutherland (Kaur, 2019)

Sutherland das „Sword of Damocles“, das erste Virtual bzw. Augmented Reality Gerät in Form eines HMDs („Head-Mounted Display“, zu Deutsch: „am Kopf befestigter Bildschirm“). Dieses war so schwer, dass es von an der Decke befestigten Metallstangen gehalten und

dann vor die Augen geschoben werden musste. Das Gestänge ließ sich beim Aufsetzen des HMDs je nach Drehung und Kopfneigung bewegen. Zu sehen war ein kleiner transparenter Würfel, der sich je nach Drehung mit dem Sichtfeld mitbewegte. In dieser Form konnte noch nicht viel mit der neuen Technologie angefangen werden, jedoch konnte Sutherland die Technologie für den Gebrauch in Flugsimulatoren kommerzialisieren lassen (Rubin, 2018, S. 21).

Laut LaValle hat das „Sword of Damocles“ von Sutherland ein wichtiges Konzept erbracht, welches er „the perception of stationarity“ nennt (LaValle, 2017, S. 30). Dieses Konzept richtet sich an den statisch vor der Sicht des Menschen feststehenden Würfels, der sich bei jeder Blickbewegung oder Kopfneigung entsprechend mitbewegt. Dazu sagt er: „To make an object appear to be stationary while you move your sense organ, the device producing the stimulus must change its output to compensate for the motion. This requires sensors and tracking systems to become part of the VR system.“ (LaValle, 2017, S. 30) Demnach habe das erste VR System von

Sutherland ein Tracking-System (zu Deutsch: Verfolgungssystem) in Kombination mit Sensoren für die Erkennung von Kopfbewegungen besessen, welches die Tür für neue Erfindungen öffnete.



Abb. 2: VR-Headset "VIVED" von NASA
(The VR Shop, 2015).

Laut Rubin (2018) erblickte in den nächsten Jahrzehnten eine Welle von neuen Erfindungen das Licht der Welt, die der Virtual Reality zu mehr Popularität verhalfen. In den 1970ern entwickelte die

amerikanische Air Force Helme für Flugsimulatoren,

die eine Anzahl an wichtigen Informationen auf das Sichtfeld des Trägers projizieren konnten (Rubin, 2018, S. 21). Daraufhin folgte laut Rubin das Programm „Super Cockpit“, welches den Flugpiloten erstmals eine Flugsimulation bot, die in Kombination mit Helm, Fluganzug und Handschuhen eine Umgebung, sowie die Fluginstrumentation anzeigte, mit der die Piloten interagieren konnten (Rubin, 2018, S. 22). Das erste VR Headset, das nicht nur für Flugsimulationen diente, wurde daraufhin von der NASA im Jahr 1988 entwickelt: Mit dem Namen „VIVED“ (Virtual Visual Environment Display; siehe Abb. 2) war der Name Virtual Reality fast schon erfunden, der neuartige Helm wurde aber im Veröffentlichungsartikel jedoch noch als „künstliche Realität“ bezeichnet (Rubin, 2018, S. 22). Dieses Gerät sollte erstmals das „Environment-Hopping“ (Umgebungsspringen) möglich machen; also eine künstlich erstellte Umgebung anzeigen, die man durch das Aufsetzen des Helms besuchen konnte. (Rubin, 2018, S. 22) Im selben Jahr wurde von Jaron Lanier und seiner Firma VPL Research ein weiteres HMD entwickelt, das „EyePhone“. Lanier wird oft als der Vater des Virtual Reality bezeichnet, da er

zusätzlich zu seiner Erfindung den Terminus „Virtual Reality“ zur Veröffentlichung des EyePhone verbreitete. Lanier selbst sieht die Entstehung der Technik und des Begriffs als das Kind einer „langen Reihe von Wissenschaftlern und Unternehmern“ (Lanier, 2018, S. 67). Von Kommerzialisierung war Ende der 1980er aber noch nicht zu sprechen; das Headset wurde zusammen mit ein paar Handschuhen („Data Gloves“) und sogar einem Anzug („Data Suit“) kombiniert und der Preis für alles zusammen soll sich auf 350000 US Dollar belaufen haben (Rubin, 2018, S. 23). Das System ließ den Träger in eine virtuelle Welt eintauchen, in der sogar, dank der Accessoires, Arme und Beine gesehen und kontrolliert werden konnten (Rubin, 2018, S. 23). Garner (2018) zeigt auf, dass Virtual Reality in den 1990er Jahren nicht zum Stillstand gekommen ist. So gab es 1991 mit „Angels“ das erste interaktive VR Kino, in dem der Zuschauer sich in einem 360° Szenario umsehen konnte und mit Handgesten interagieren konnte (Garner, 2018, S. 193). Im Jahr 1991 wurde erstmals das schon weiter oben kurz erwähnte „Cave Automatic Virtual Environment“ (CAVE) veröffentlicht. Hierbei stand nicht das HMD im Mittelpunkt, sondern der Mensch selbst in einem viereckigen Raum, an dessen Wände, Decke und Boden Grafiken projiziert wurden. Das CAVE sei auch ausschlaggebend für das Weiterentwickeln von positionellem Klang (siehe Punkt 3.1; Garner, 2018, S. 193). Laut Rubin wurde Virtual Reality in den 1990ern zudem zu einem Kultphänomen. Filme und Serien wie „Lawnmower Man“ (1992), „Demolition Man“ (1993), „Wild Palms“ (1993), „The Thirteenth Floor“ (1999), oder die Serie „VR Troopers“ (1994-1996) drehten sich alle um die neuen Gadgets und malten mögliche Zukunftsszenarien auf die Leinwände der Zuschauer (Garner, 2018, S. 151). Der „Virtual Boy“ von Nintendo aus dem Jahre 1995 war die erste VR Konsole für zu Hause, die erschwinglich war, aber leider nicht fortschrittlich genug

entwickelt war, um einen durchschlagenden Erfolg zu erzielen (Garner, 2018, S. 195-196). Zum Ende des Jahrzehnts sei VR wieder fast komplett von der Bildfläche verschwunden. Daran sollen bestimmte Faktoren die Schuld getragen haben: Zum einen sei die Technologie noch zu fremd und zu unterentwickelt gewesen, habe zu viel Geld gekostet und die Menschen beim Ausprobieren krank gemacht (durch die berühmt berüchtigte „Motion Sickness“). Zum anderen wäre die Ankunft des Internets dafür verantwortlich gewesen, dass der VR der Wind aus den Segeln genommen wurde (Rubin, 2018, S. 24-25). Der Datenhighway war noch in seiner Anfangsphase, wuchs aber sehr schnell heran. So konnte man Mitte der 1990er schon Bilder teilen, Online Einkäufe tätigen und sich gegenseitig elektronische Briefe schreiben. Garner etikettiert diese Periode der 1990er mit dem Ausdruck „consumer market downturn“; das schwindende Interesse der Konsumenten gegenüber einem Produkt, das ihre Erwartungen noch nicht komplett erfüllen konnte (Garner, 2018, S. 192). Das Phänomen wurde also für eine Weile von der Allgemeinheit und den Medien vergessen, wurde von Universitäten, Wissenschaftsinstituten und Laboren jedoch nicht aufgegeben (Rubin, 2018, S. 25). Aber was ist es, das die virtuelle Realität so viel einzigartiger macht, als andere Medien? Zur Beantwortung dieser Frage und zur Erschließung einer genauen Definition ist ein genauer Blick auf ein anderes Phänomen notwendig: „Presence“.

2.1.2: Presence und Telepresence

Die *International Society for Presence Research* schreibt, dass Presence ein psychologischer Zustand eines Menschen sei, bei dem durch technologisches Eingreifen in die Wahrnehmung ein Erlebnis hervorgerufen wird, in dem die Technologie selbst durch die Wahrnehmung für nicht-existent gehalten wird (International Society for Presence Research

(ISPR), 2000, Paragraph 1). Vereinfacht heißt das, dass Presence generell auftritt, wenn man sich beim Gebrauch eines bestimmten Mediums an einen anderen Ort versetzt fühlt. Weiterhin wird geschrieben:

*„Except in the most extreme cases, the individual can indicate correctly that s/he is using the technology, but at *some level* and to *some degree*, her/his perceptions overlook that knowledge and objects, events, entities, and environments are perceived as if the technology was not involved in the experience“*
(ISPR, 2000, Paragraph 1).

Demnach handelt es sich bei Presence um eine durch Technologie erzeugte Manipulation unserer Wahrnehmung, die jedoch meist vom Individuum durchschaut wird.

Jonathan Steuer (1992) schrieb am Anfang der 1990er ausgiebig über das Phänomen und richtete sich dabei nicht nur auf die Definition und Wirkungsweise von VR, sondern auch auf die Erzeugung von Presence im Allgemeinen. Er legte weiterhin fest, dass eine Definition von Virtual Reality nicht möglich sei, ohne einen Bezug auf Presence und Telepresence zu nehmen. Der Grund dafür bestehe darin, dass VR bis zum Schreiben seiner Arbeit von technischen Definitionen dominiert worden sei, dabei jedoch das Erlebnis der virtuellen Welt außen vor gelassen würde. Demnach versucht er VR nicht anhand von technischen Details zu definieren, sondern die klare „Experience“ hinter dem Phänomen in Worte zu fassen (Steuer, 1992, S. 4-5). Dabei muss erwähnt werden, dass die Begriffe Presence und Telepresence heutzutage meist als Synonyme im Sprachgebrauch benutzt werden. (ISPR, 2000, Paragraph 1) Für Steuer gab es jedoch einen wichtigen Unterschied: Presence definiere sich als die aktive Wahrnehmung des Ortes, der den Menschen unmittelbar umgibt. Dabei komme Presence durch die aktive Stimulation einiger oder aller Sinnesorgane zum Vorschein, d.h. unsere Augen und/oder unsere Ohren etc. erhalten einen bestimmten Impuls

aus unserer Umgebung. Dieser Impuls wird von unserer Wahrnehmung als die unmittelbare Realität definiert. Telepresence dahingegen sei die wahrgenommene Umgebung mit dem Filter eines Mediums. In Steuers Worten: „Telepresence is defined as the experience of presence in an environment by means of a communication medium“ (Steuer, 1992, S. 6). Der Mensch erlebt demnach zwei Realitäten gleichzeitig, sobald seine Wahrnehmung durch ein Medium beeinflusst wird. Zum einen die ihn unmittelbar umgebende Realität, d.h. Presence, und zum anderen eine durchs Medium vermittelte Realität. Telepresence könne von jedem Medium hervorgerufen werden; so versetze ein Buch den Leser an einen Ort, an dem der Autor eine Geschichte erzählt; der Fernseher versetze uns an einen virtuellen Ort, an dem der Zuschauer und die auf dem Fernseher dargestellten Objekte und Personen an einem Ort zusammenkommen; ein Videospiel bringe einen virtuellen Raum hervor, an dem der Spieler aktiv agieren könne (Steuer, 1992, S. 9). Steuer lehnt seine Definition von Telepresence an die Definition von Reeves (1991) an. Dieser sieht Telepresence als ein Gefühl des „vor Ort seins“. Dies sei eine Kombination von automatischen Wahrnehmungsprozessen und absichtlicher Ausrichtung unserer Aufmerksamkeit auf bestimmte Bewusstseinsprozesse, wie z.B. eine Erzählung, die uns glauben lassen, wirklich an einem durch Technologie bzw. Medium vermittelten Ort zu sein (Reeves, 1991). Lombard & Ditton (1997) nennen dieses Phänomen „the illusion of non-mediation“. Hierbei handle es sich um eine Fehlwahrnehmung des Menschen, bei der geglaubt wird das Medium existiere nicht. Dem Anwender des Mediums werde somit eine neue Welt präsentiert, die dem Öffnen und dem Blick aus einem offenen Fenster gleiche (Lombard & Ditton, 1997). Diese Definition ähnelt der der ISPR, mit dem Unterschied, dass Lombard & Ditton das Phänomen der Presence in sechs verschiedene Punkte konzeptualisieren. Die Form der Präsenz, die sich um Virtual

Reality und durch andere Medien induzierte Presence dreht, sehen sie nur als einen Teil des Konzepts; nämlich der Teil in dem Presence eine Wahrnehmungs- und psychologische Immersion hervorruft. Die „illusion of non-mediation“ ziehe sich jedoch durch jeden Aspekt ihrer Konzeptualisierung und kann für jedes Medium angewandt werden (Lombard & Ditton, 1997). Um wieder auf Steuers Definition von Telepresence zurückzukommen, ist es interessant zu erörtern, was für ihn eine virtuelle Realität zustande bringt. Da er, wie weiter oben schon erwähnt, die Technologie hinter dem Virtual Reality Phänomen mit einer Definition versehen will, die nicht nur technische Ausdrücke verwendet, sondern das Erlebnis in den Mittelpunkt stellt, geht er einen Schritt zurück und sagt „A virtual reality is defined as a real or simulated environment in which a perceiver experiences telepresence“ (Steuer, 1992, S. 7). Er ist sich dessen bewusst, dass diese Definition nicht den Definitionen des neuen Mediums allein entspricht, sondern eher das Erlebnis aller existierender Medien in eins zusammenfasst. Als Beispiel nimmt er das Telefon: Zwei Leute, die miteinander telefonieren, befinden sich in einer durch die Technologie des Telefons erschaffenen virtuellen Realität und sind dort elektronisch präsent. Für Steuer ist es von daher sinnvoller den Terminus *Virtual Reality* auf diese Weise zu definieren, als ihn auf die technische Neuheit seiner Zeit zu beschränken. Was macht das neue Medium jedoch so einzigartig im Vergleich zu anderen Medien? Das starke Gefühl des vor Ort seins war immerhin nicht vergleichbar mit der Telepresence vorangegangener Medien. Steuer erstellt demnach ein Verhältnisdiagramm von Variablen, die die Stärke von Telepresence beeinflussen können und demnach den VR Geräten ihre „Macht“ verleihen (siehe Abb. 3) (Steuer, 1992, S. 11-14). Seine zwei Hauptvariablen sind dabei „Vividness“

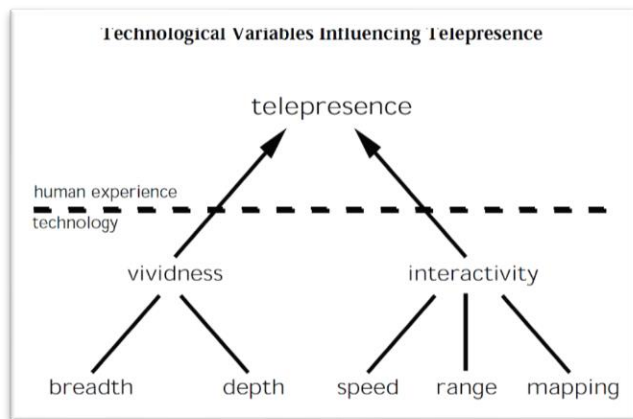


Abb. 3: Technologische Variablen, die Telepresence beeinflussen
(Steuer, 1992, S. 11)

(= Lebensnähe) und „Interactivity“ (= Interaktivität). Unter Lebensnähe versteht er die Detailfülle, die eine virtuelle Umgebung den einzelnen Sinnen bieten kann. Dabei spaltet er die Lebensnähe in „Umfang der Wahrnehmung (sensory

breadth) und Tiefe der Wahrnehmung (sensory depth) auf. Der Wahrnehmungsumfang geht von allen verschiedenen Sinneseindrücken aus, die crossmodal, d.h. gleichzeitig und miteinander interagierend durch das jeweilige Medium übertragen werden können. Das bedeutet je mehr Sinne (Hören, Sehen, Fühlen, Riechen, Schmecken) durch das Medium angesprochen werden und miteinander kombiniert werden können, desto lebensnäher wird die Erfahrung des Menschen in der Telepresence. Die Tiefe der Wahrnehmung deutet er auch als „Bandbreite“ unserer Wahrnehmung, d.h. je besser die Fähigkeit eines Mediums das echte Leben widerzuspiegeln, desto höher der Grad an Lebensnähe. Medien streben immer nach einer höheren Bandbreite: Audioaufnahmen sollen so natürlich wie möglich klingen; Videoaufnahmen sollen so detailreich wie die Wirklichkeit erscheinen. Zum Beispiel sei das Telefon auf die Übertragung von Sprache optimiert und habe deswegen eine geringe auditive Bandbreite. Die CD dahingegen wurde für die bestmögliche Übertragung von aufgenommener Musik entwickelt und habe somit eine höhere auditive Bandbreite. Sobald neue Technologien den Wahrnehmungsumfang und die Wahrnehmungstiefe so weit entwickelt haben, dass eine Unterscheidung von Fiktion und Realität undeutlich wird, wäre das Ergebnis aufregend und erschreckend zugleich: aufregend, da es viele neue

Möglichkeiten gebe neue und ferne Welten zu erleben und erschreckend, weil man eben nicht mehr genau erkennen könne, wo die Fiktion endet und die Realität anfängt (Steuer, 1992, S. 14).

Die Interaktivität ist für Steuer das Ausmaß an Modifizierbarkeit von der Form und des Inhalts der virtuellen Umgebung (Steuer, 1992, S. 14-17). Dabei gelten die drei Hauptkomponenten „speed“ (Geschwindigkeit), „range“ (Reichweite) und „mapping“ (Zuordnung) als entscheidende Variablen für die Förderung von Telepresence. Die Geschwindigkeit der Interaktion nennt er auch die Reaktionszeit, wobei eine Echtzeitinteraktion eine optimale Telepresence hervorrufe: „The actions of the user instantaneously alter the mediated environment.“ (Steuer, 1992, S. 15) Ein Videospiel oder ein VR-Gerät soll von daher einen hohen Grad an Interaktivität bieten, wohingegen gewöhnliche Filme und Bücher keine direkte Interaktivität zulassen (d.h. ein Eingreifen in die Geschichte ist nicht möglich). Die Reichweite der Interaktivität wird als der Grad der Manipulation von bestimmten Eigenschaften in einer virtuellen Umgebung definiert. Das heißt, je mehr Veränderung eines Parameters durch den Nutzer möglich sei, desto besser die Interaktivität und folglich Telepresence (Steuer, 1992, S. 16). LaValle (2017, S. 5) sieht die Möglichkeit der Interaktivität als ein perfektes Beispiel für die virtuelle Realität und leitet daher den Begriff „Teleoperation“ ab.

Die letzte Variable Steuers, die Zuordnung, dreht sich um das genaue Zuordnen von Steuergerät und Aktion in der durchs Medium vermittelten Welt. Somit sei z.B. die Bewegung des Wurfs eines Baseballs oder das Steuern eines Lenkrads so natürlich wie möglich auf die virtuelle Umgebung zu übertragen, um einen höchstmögliche Telepresence zu erreichen (Steuer, 1992, S. 16). Zusammengefasst hat Steuer

erkannt, dass die virtuelle Realität nicht zwingend von einer neuartigen Technologie ausgehen muss, sondern sich auf alle Medien relativieren lässt. Sein Ziel das Erlebnis hinter der neuen Technologie zu beschreiben, erreicht er dadurch, dass er die Benutzung verschiedener Medien miteinander vergleicht und sie nach Lebensnähe und Interaktivität einordnet, die wiederum die Telepresence oder das Gefühl an einem anderen Ort zu sein fördern. Dass das neue Medium einen hohen Grad an Telepresence liefert, hat er mit seiner Arbeit deutlich gemacht und dafür den Weg geschaffen, VR an sich nicht nur als eine technische Erfindung zu sehen, sondern auch als eine erlebniserschaffende Welt, die zusätzlich zu unserer alltäglich wahrgenommenen Realität bestehen kann. Seitdem entwickelte sich eine Forschung nach Presence, über die noch heutzutage recherchiert und experimentiert wird. Nordahl und Nilsson schreiben, dass seit 1930 bis 2007 ungefähr 1800 Artikel über Presence geschrieben wurden, wobei 1400 davon in den letzten 15 Jahren verfasst wurden, die alle unterschiedliche Denkansätze und Definitionen von Presence darbieten. Nordahl und Nilsson selber benutzen den Begriff „Immersive Virtual Reality“, um das technologische Gerät von einer durch ein Medium vermittelten virtuellen Realität abzugrenzen (Nordahl & Nilsson, 2014, S. 213-214). Der Begriff „Immersion“ wird häufig auch als Synonym von Presence verwendet, ist laut Slater jedoch grundlegend distinkt. So ist für ihn alles was Steuer mit Lebensnähe und Interaktivität beschreibt ein wichtiger Faktor für die Immersion eines Systems. Was Presence angeht ist für Slater der überzeugende Faktor das Ausgetrickstwerden der Wahrnehmung und somit eine Illusion der Echtheit hervorzurufen (Slater, 2018, S. 431- 433). Die Wahrnehmung werde dabei ausgetrickst, jedoch nicht die (geistige) Kognition – zu keinem Zeitpunkt glaubt man wirklich z.B. an einer Klippe zu stehen, aber die Wahrnehmung reagiert

schneller als das rationale Denken der Kognition. Somit biete ein VR System gleichzeitig einen hohen Grad an Immersion, sowie die Fähigkeit die Illusion „of being there“ zu übermitteln.

Doch wie wird die Virtual Reality heutzutage genau beschrieben, mit allen technischen Definitionen und der Forschung nach Presence mit einbezogen? Zur Erklärung folgt ein Abschnitt über prominente Definitionen des Virtual Reality Phänomens.

2.1.3: Definitionen und Terminologien im Überblick

Eine der Definitionen, die Steuer den Anreiz gaben seine Arbeit über Virtual Reality zu schreiben lautet wie folgt:

„Virtual Reality is electronic simulations of environments experienced via headmounted eye goggles and wired clothing enabling the end user to interact in realistic three-dimensional situations“
(Coates, 1992).

Sofort wird deutlich, dass diese Definition Virtual Reality als eine Erfindung beschreibt, die aus mehreren technischen Geräten besteht und eine elektronische Simulation hervorrufen kann. Diese Definition ist also eine rein technische Definition der neuen Erfindung der späten 80er. Garner zeigt auf, dass sich seit der Veröffentlichung von Steuers Arbeit die Definition mit Hilfe von Steuers Einfluss zu einer Kombination aus technischer Beschreibung und Beschreibung eines Erlebnis geworden ist (Garner, 2018, S.15-16). So seien die Definitionen der ersten Generation von Virtual Reality eher technologisch-deskriptiv und die dahingegen zweite Generation, startend ab dem „Comeback“ im Jahr 2012 (siehe Punkt 1.1.4), eher erlebnisorientiert bzw. eine Kombination aus beiden. Zu Erklärungsbeginn gibt Garner die Definition des Merriam-Webster Wörterbuchs aus dem Jahre 2018 an, die lautet: „[A]n artificial environment which is experienced through sensory stimuli [...] provided by a

computer and in which one's actions partially determine what happens in the environment" (Merriam-Webster Inc., 2019). Man erkennt, dass hier das Erlebnis von VR im Vordergrund steht, die (sehr allgemein beschrieben) durch einen Computer möglich gemacht wird. Den Definitionen, die Steuer bemängelte, fehlten laut Garner das konzeptuelle Verständnis und die konzeptuelle Analyse von Virtual Reality, die es möglich machten eine Dichotomie von VR bzw. nicht-VR aufzustellen und zudem VR z.B. mit Augmented Reality zu vergleichen. Durch diese Ergänzung der Definition sei eine Verschiebung des Inhalts in Richtung Nutzererlebnis aufgetreten: „VR remains a predominant technology/hardware-focused concept but with pockets of thought describing VR as an experience.“ (Garner, 2018, S. 15) Dabei herrsche in neueren Publikationen sogar der Trend die technologische Definition weiter zurückzunehmen und die Nutzererfahrung stärker zu betonen. So hat auch Rubins Definition auf den ersten Blick keine erkennbare Erwähnung der Technologie hinter dem Begriff: „Virtual Reality is an artificial environment that's immersive enough to convince you that you're actually inside it.“ (Rubin, 2018, S. 28) Dabei macht er deutlich, dass unter „artificial environment“ auch ein Foto, ein Film oder ein Videospiel zu verstehen sei, die Immersion auch durch ebendiese hervorgerufen werden können und, dass man niemals wirklich überzeugt sein könne, sich in einer anderen Welt zu befinden, aber dass unser Gehirn ausgetrickst werden kann, dies zu glauben (im gleichen Sinne wie Lombards & Dittons „illusion of non-mediation“). In ähnlicher Manier schreibt auch LaValle seine Definition: „Inducing targeted behavior in an organism by using artificial sensory stimulation, while the organism has little or no awareness of the interference.“ (LaValle, 2017, S. 1-2) Dabei verdeutlicht er, dass unter „targeted behavior“ ein Erlebnis gemeint ist, das vom Programmierer kreiert

wurde. Das Wort „awareness“ wird auch hier mit Presence und dem Ausgetrickstwerden des Gehirns beschrieben. LaValles Untersuchungen zeigen auch, dass dieses Ausgetrickstwerden mit neurologischen Versuchen bewiesen werden konnte: So habe man die Orientierung von Mäusen getestet und herausgefunden, dass neuronale Strukturen mit dem Namen „Ortszellen“ vom Gehirn erschaffen werden, die positionelle Daten speichern und uns bei der Rückkehr zu einem bestimmten Ort mit der Orientierung helfen. Diese Ortszellen werden laut LaValle auch in einer virtuellen Realität geformt und zeigen somit auf, dass das Gehirn denkt, sich an einem realen Ort zu befinden (LaValle, 2017, S. 4). Dieses neuronale Eingreifen in unsere Wahrnehmung macht Virtual Reality auch zum Kandidaten für mehr Fachgebiete als nur rekreative Gebiete wie Gaming und Filme. So schreiben Lombard & Ditton (1997), dass VR z.B. auch für die Architektur und das Innendesign, das Sporttreiben oder Ausbau von chirurgischen Fähigkeiten genutzt werden könne. Im gleichen Sinne richtet sich das Buch „Experience on Demand“ von Gründer und Direktor des Virtual Human Interaction Lab Jeremy Bailenson (2018) auch an Leute, für die VR ein neues Thema ist. So schreibt er in seinem Buch unter anderem über die Vor- und Nachteile des Gebrauchs von VR, Forschungen in Sachen Rassismus und Traumatherapie und vom Erfolg von virtuellen American Football Trainingssimulatoren. Seine Mission dabei ist das neue Medium den Menschen näher zu bringen und die Risiken und Tücken gegenüber den positiven Aspekten abzuwägen:

„VR will not only give us access to experiences that are difficult to obtain, it will also allow us to see impossible things, fantastic things, things that will allow us to see the real world in new ways and allow us to stretch our minds beyond anything we can imagine. [...] When done right, VR experiences [...] will feel so realistic and immersive they will have the potential, similar to experiences in the real world, to enact profound and lasting changes in us.“
(Bailenson, 2018, S. 6)

Virtual Reality befindet sich noch in ihren Anfängen, jedoch geht der technologische Fortschritt rapide voran. So gebe es laut LaValle (2017, S. 7) zum einen den Fortschritt in synthetisch kreierte Welten, die komplett erfundene Welten mit Hilfe von geometrischen Formen und simulierter Physik abbilden. Zum anderen gebe es noch die „captured“ Welt, die mit Hilfe von modernen Aufnahmetechniken panoramische Ausblicke auf die VR Brille übertragen.

Zum Abschluss soll noch eine Übersicht über verschiedene Terminologien gegeben werden, die entweder synonym mit dem Begriff Virtual Reality benutzt werden, oder leicht davon abweichen. Lanier schreibt in seinem Buch „Anbruch einer neuen Zeit“ über den Begriffskrieg, der schon seit Anbeginn der Erfindung von Ivan Sutherlands Damoklesschwerter begonnen habe: „VR fühlt sich immer noch ein bisschen an wie ein neu entdecktes, riesiges, unbekanntes Land, das in jedem von uns den inneren Konquistador weckt. Alle Beteiligten wollen einen eigenen Begriff geprägt haben oder sich eine Vorrangstellung sichern, um sich zu verewigen.“ (Lanier, 2018, S. 68-69). Seit jeher haben sich weitere Beschreibungen und Abgrenzungen des Begriffes entwickelt, die im Folgenden erklärt werden. LaValle (2017, S. 5) fasste zusammen, dass der Begriff „Virtual Environments“ synonym mit VR gebraucht werde, jedoch von Universitätsforschern bevorzugt verwendet werde. „Augmented Reality“ (AR) beziehe sich auf ein System, meistens in Form einer Brille, das sich vor das Sichtfeld des Nutzers legt und zusätzlich zur Realität computergenerierte Bilder anzeigen kann (LaValle, 2017, S.5). Der Begriff „Mixed Reality“ (MR) sei ein Oberbegriff für VR, AR und normaler Realität. Zudem gebe es noch den Begriff „perception engineering“ der sich hauptsächlich auf VRs Fähigkeit bezieht, die Wahrnehmung eines Menschen zu manipulieren (LaValle, 2017, S.5). Auch gebe es das philosophische Problem hinter dem Begriff Virtual

Reality, da er im Prinzip ein Widerspruch in sich sei. Aus dem Grunde habe man sich in manchen Fällen auf den Term „Virtuality“ geeinigt (LaValle, 2017, S.5).

Paul Mealy (2018) schreibt, dass Mixed Reality auch von AR und VR abgegrenzt werden kann. Während man in AR keinerlei Möglichkeit besitze, die auf die Realität generierte virtuelle Umwelt zu manipulieren, habe man in MR die Möglichkeit mit den virtuellen Objekten zu interagieren. Die Begriffe seien jedoch nicht beständig, sodass häufig MR und AR synonym gebraucht werden. Seiner Ansicht nach seien Termini wie diese noch ständig im Wandel, da sich die Technologie noch in ihrer Anfangsphase der Entwicklung befinde (Mealy, 2018, S. 8-12). Mealy beschreibt ebenfalls den Begriff „Augmented Virtuality“ (AV), der eine Umkehrung von AR darstelle. Somit werde ein reales Objekt in eine computergenerierte virtuelle Welt eingebunden. Als Beispiel nennt er das von der Firma Intel gescheiterte Projekt „Alloy“, das sich zum Ziel setzte, echte materielle Gegenstände (wie zum Beispiel die eigenen Hände) der Umgebung in die virtuelle Welt einzubinden (Mealy, 2018, S. 13).

Eine interessante Übersicht boten Milgram und Kishino (1994), indem sie das „Reality-Virtuality Continuum“ aufstellten (siehe Abb. 4). Das Kontinuum verbindet echte Umgebungen mit virtuellen Umgebungen auf einer „Virtualitätsachse“. Somit umfasst die „Extended Reality“ (XR) alle Formen der Realität, worunter jedoch Mixed Reality die Realitäten der AR und AV überspannen und das „Real Environment“ für die echte Welt und das „Virtual Environment“ für die VR steht (Milgram & Kishino, 1994, S. 3-4).

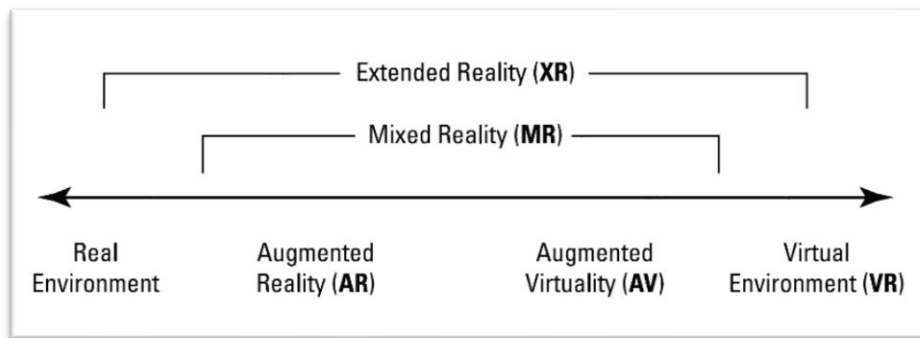


Abb. 4: Realitäts- und Virtualitätskontinuum von Milgram & Kishino
(Mealy, 2018, S.14).

Die genannten Punkte sollen zur Verdeutlichung des Phänomens ausreichen, um das Comeback im Jahre 2012 nachvollziehen zu können. Wie dies zustande gekommen ist und welche die leitenden Firmen waren, wird im nächsten Abschnitt erklärt.

2.1.4: 2012: Das Comeback

Laut Rubin (2018, S. 26) wurde ein Gerät namens „Oculus Rift“ das erste Mal 2012 bei der jährlichen Videospielemesse E3 (Electronic Entertainment Expo) in Los Angeles exklusiv für eine geringe Anzahl an Menschen vorgeführt. Dabei handelte es sich um ein Virtual Reality Headset, welches den zuvor veröffentlichten 3D Action-Shooter „Doom“ als Demo in VR spielbar machte. Zu dem Zeitpunkt sei das Headset noch provisorisch zusammengestellt gewesen: ein Headset aus Plastik, aus dem mit Klebeband verbundene Kabel herausragten und das mit einem Gurt einer Skibrille zusammengeflocht wurde, um es am Kopf befestigen zu können (Rubin 2018, S. 26). Im Verlauf des nächsten Jahres sei die Oculus Rift ein erfolgreiches Projekt geworden, das mit Hilfe der amerikanischen Crowdfunding Firma Kickstarter Unterstützung in Form von über zwei Millionen US Dollar erhielt (Rubin, 2018, S.27). Nachdem sich Vorstandsvorsitzender von Facebook Mark Zuckerberg bei einem Treffen in Bailensons Labor der Firma VHIL mit der Technik anfreundete, kaufte Facebook daraufhin die Firma Oculus für ungefähr zwei

Milliarden Dollar auf (Bailenson, 2018, S. 6-7). Ein klares Argument dafür war laut Bailenson, dass die Oculus Rift für ungefähr 300\$ an die Konsumenten gebracht werden konnte, was mit dem Hightech Headset von VHIL im Wert von 30000\$ nicht möglich war. Auch wenn die Technologie von VHIL noch viel fortgeschrittener war als die der Oculus Rift, habe sich die Technologie im Allgemeinen seit dem ersten Anlauf VR an die Masse zu bringen bereits deutlich verbessert (mehr dazu in Abschnitt 1.2) (Bailenson, 2018, S. 8-9). Nach der Acquisition von Oculus durch Facebook im Jahr 2014 hat Google seine erste „Billigvariante“ eines VR Headsets herausgebracht: Google Cardboard. Dieser kleine Kasten aus Pappe wird in Kombination mit dem Smartphone zu einem VR Headset, das bestimmte YouTube Videos und Apps in virtual Reality anzeigen kann. (Google VR, 2019) Erst neuerdings lieferte Nintendo mit ihrem „Nintendo Labo VR“ eine sehr ähnliche und ebenfalls kostengünstige Idee. Hier wird Fokus auf das eigene Zusammenbauen der VR Brille mit Pappe gelegt. Daraufhin kann man anstelle eines Smartphones seine Nintendo Switch Konsole benutzen, um VR Apps zu spielen und selbst zu entwickeln. Dazu kommen noch Erweiterungen wie der zusammenbaubare Blaster oder Elefant, die man sich nach Anleitung ebenfalls selbst aus Pappe zusammensetzen kann (Nintendo, 2019). Andere Firmen haben auch ihre High-end VR Geräte entwickelt, um in den Markt einzusteigen: die koreanische Firma HTC in Kooperation mit Valve brachte die „Vive“ 2015 auf den Markt, Google entwickelte das erste Gerät, das nicht aus Pappe bestand, namens „Daydream“ in 2016 und Sony brachte seine „Playstation VR“ ebenfalls 2016 auf den Markt. Dies ist nur eine kleine Auswahl der Vorreiter des Comebacks, in Abschnitt 1.2.2 wird eine generelle Übersicht aller neuen Geräte geliefert. Laut Bailenson (2018, S. 8) sei VR zum „Mainstream“ geworden, seitdem 2016 eine Werbung von Playstation VR in Zusammenarbeit mit

amerikanischer Fastfood Firma Taco Bell während der Übertragung des Super Bowls ausgestrahlt wurde. Jedoch gebe es noch einige Einschränkungen, die VR noch nicht komplett massentauglich machen. So seien die neuesten HMDs noch sehr teuer und meist nicht komfortabel genug um lange getragen zu werden. Darüber hinaus herrsche eine enorme Strapazierung der Augen und bei manchen Leuten würden bestimmte Apps immer noch Übelkeit verursachen. Die Benutzung bestimmter Apps setze auch eine großräumige Umgebung voraus, welche in kleinen Wohnungen häufig nicht gegeben sei (Bailenson, 2018, 9-10).

Anhand dieser Punkte kann man sehen, dass die VR Technologie ein erfolgreiches Comeback feiern konnte, sich jedoch noch nicht komplett auf dem Markt bewährt hat. Im folgenden Abschnitt wird versucht die technologischen Fortschritte, die VR Geräte seit den 1990ern verzeichnen konnten, zu spezifizieren. Zudem werden Oculus Rift und HTC Vive in puncto Hardware miteinander verglichen und eine Übersicht über die aktuellen VR Geräte gegeben.

2.2 Technologische Fortschritte und aktueller Stand

Die moderne VR Technologie habe laut Garner (2018, S. 15-17) den gleichen Geist, wie die der 1990er Jahre. Die Ästhetik der Headsets sei gleichgeblieben, die Produkte seien nur kleiner und ergonomischer geworden. Darüber hinaus seien die Interessengebiete für Forschung und Entwicklung sowie für VR Applikationen der frühen 1990er Jahre mit den heutigen vergleichbar. Somit werde heutzutage nach stets noch besserer Technologie für das „Mapping“ (Zuordnung von natürlichen Bewegungen in VR), nach Immersionssteigerung und psychologischem Verständnis für das Erstellen virtueller Umgebungen geforscht (Garner, 2018, S.16). Bezüglich der VR Applikationen prägen in puncto Forschung das Gebiet der

Telepresence, psychologische oder physische Rehabilitationstechnologien sowie Militärtraining noch immer einen großen Teil der Wissenschaft. Was die technologischen Entwicklungen angeht, listet Garner eine Reihe von Punkten auf, die im Gegensatz zu den 1990ern jedoch einen deutlichen Unterschied zur Rückkehr von VR aufzeigen. Hierzu gehören verbesserte bzw. automatisierte Produktionstechnik, die Verbesserung der Hardware für bestimmte Applikationen (z.B. Rehabilitationstraining), das Übernehmen der Produktion von VR durch Kapitalgesellschaften im Gegensatz zu einzelnen kleinen Firmen und die Integration von bereits bestehenden „Toolsets“, wie zum Beispiel Entwicklungsumgebungen oder Audio Software Development Kits (Garner, 2018, S.17-21). All diese Punkte haben laut Garner zu einer größeren Akzeptanz für den Neuanlauf der VR Technologie gesorgt:

„[A]s VR spreads in its application, the hardware becomes more affordable, the quality reflects user demands, corporate marketing and branding increases desirability, and VR features become embedded in numerous hardware products. This presents us with the most significant difference between the generations of VR“
(Garner, 2018, S. 21-22).

Der wieder angewachsene VR Trend sei mit dem Durchbruch der Heimcomputer und Webbrowser in den 1990ern zu vergleichen: je mehr Leute Zugriff auf die Technologie bekommen, desto mehr wird diese auch weiterentwickelt (LaValle, 2017, S. 8). Auch habe die Oculus Rift eins der größten Benutzungsprobleme der VR Geräte der 1990er gemieden, nämlich die Übelkeit erregende Verzögerung bei der Übertragung von Bewegung zu Bild (englisch: „lag“) (Bailenson, 2018, S. 7). Die Allgegenwärtigkeit von heutigen Smartphones habe auch ihren Beitrag zur Entwicklung von maßgebenden technischen Entwicklungen im VR Bereich geführt. So habe der Fortschritt der Smartphone Technologie eine deutliche Verbesserung in der Entwicklung von Bildschirmen, Detektorelementen,

Positionsrückmelder und Rechenleistung hervorgebracht. All diese Elemente konnten der Entwicklung von VR Geräten zugutekommen (LaValle, 2017, S. 30-31).

Diese technologischen Entwicklungen haben zu einer Reihe von Produktionsmerkmalen geführt, die miteinander verglichen werden können. Dazu zählen die Reichweite des Headtracking, ihre Genauigkeit, die Displayauflösung pro Auge, der Sehbereich (engl. field of view; FoV), die Bildwiederholrate und die Bildschwankungen (engl. jitter). Darüber hinaus wird oft noch angegeben ob ein positionelles Tracking, d.h. eine Bewegung im Raum, mit dem Gerät möglich ist, oder ob man nur den Kopf im virtuellen Raum bewegen kann. Im folgenden Abschnitt sollen die beiden zuerst auf dem Markt erschienenen VR Geräte anhand der oben genannten Merkmale miteinander verglichen werden.

2.2.1: Oculus Rift und HTC Vive im Vergleich

Die HTC Vive hat sich die Oculus Rift bezüglich ihrer Technik deutlich zum Vorbild genommen. Die nur wenige Tage nach der Rift veröffentlichte HTC Vive (Rift: 28.3.2016 - HTC Vive: 5.4.2016) lieferte fast dieselben technischen Spezifikationen wie das HMD von Oculus. Zu erwähnen ist auch, dass beide Geräte als finale Version für Konsumenten erschienen, nachdem mehrere Versionen für Entwickler produziert wurden. Borrego et al. (2018, S. 2) stellen fest, dass beide Geräte ein OLED („Organic Light Emitting Diode“) Display verwenden sowie dieselbe Auflösung von 2160x1200 Pixeln bei jeweils 90Hz Bildwiederholungsrate. Das Sichtfeld (FoV) beider Geräte unterscheidet sich jedoch: die Vive hat ein horizontales Sichtfeld von 110° und ein vertikales von 113°, wobei die Rift horizontal bei 94° und vertikal bei 93° liegt. Das Gewicht der Vive liegt bei 563g und ist damit 93g schwerer als die Rift (470g). Die Hauptuntersuchung, die Borrego et al. in ihrer Arbeit erforschen, beläuft sich

jedoch vor allem auf den Vergleich zwischen der Reichweite des Headtracking beider Geräte, dessen Genauigkeit und den Grad an erzeugten Bildschwankungen. Dabei kam heraus, dass das Headtracking der Vive einen Bewegungsfreiraum von knapp 25m² zulässt, wohingegen die Rift auf nur knapp 12m² Reichweite gemessen wurde. Bei der Genauigkeit und den Bildschwankungen wurden sehr ähnliche Ergebnisse festgestellt, jedoch war bei der Vive in Standhöhe die Genauigkeit schlechter und die Bildschwankungen stärker im Vergleich zu Sitzhöhe. Das aufgestellte Trackingsystem beider HMDs bot für die Rift eine Reichweite von 4,25m und für die Vive 6,75m. Borrego et al. konkludieren daraus, dass sich beide Geräte gut für gesundheitsorientierte Applikationen, wie z.B. Rehabilitationsanwendungen und Motorfunktionsanwendungen eignen würden (Borrego et al., 2018, S. 4-5).

2.2.2: Übersicht aller aktuellen Geräte

In Tabelle 1 werden die bisher erschienenen Geräte mit den bedeutendsten technischen Kennmerkmalen aufgelistet (siehe Anhang A). Dabei werden kabelgebundene Headsets bzw. PC-basierte Systeme von Smartphone-basierten, Konsolen-basierten und kabellosen („wireless“) Headsets abgegrenzt. Die „standalone“ Varianten von VR Headsets gehören zu einer erst vor kurzem eingeführten Technik, in der das Headset ohne jegliche Verbindung zu Computer, externen Trackingsensoren oder Smartphone eine virtuelle Umgebung anzeigen kann. Hierbei wird das Tracking über Sensorkameras an der Frontseite des HMDs durchgeführt. Zudem haben HTC und Oculus mit der Vive Pro und Rift S schon neuere Versionen ihrer Headsets veröffentlicht.

Hiermit soll alles nötige Vorwissen für eine folgende, detaillierte Betrachtung des räumlich-akustischen Arbeitsverfahrens der VR Geräte gegeben sein.

3. Virtual Reality in der Musikwissenschaft

–

Konzepte, Verständnis und Forschung

Eine virtuelle Realität würde nicht „Realität“ genannt werden, wenn sie nicht Ähnlichkeiten mit der echten Realität aufweisen würde. Wir sehen darin virtuelle Räume, die unseren Räumen sehr ähnlich sein können oder sogar gleichen. Genauso sollte sich auch die akustische Wahrnehmung in virtuellen Räumen verhalten. VR Geräte wie die Oculus Rift und HTC Vive benutzen vorwiegend Kopfhörer zur räumlichen Darstellung einer akustischen Situation. Die Oculus Rift ist bei Auslieferung sogar schon mit angeschraubten, aber ersetzbaren Kopfhörern ausgestattet. Der binauralen, bzw. beidseitigen Klangausgabe mit Stereokopfhörern kann in einer virtuellen Szene ein räumlicher Klang „hinzugefügt“ werden, sodass eine Lokalisation von virtuellen Schallereignissen aus verschiedenen Richtungen realisierbar gemacht wird (Garas, 2000, S. 3; Jenny, 2018, S. 2). Dieser meist von Computern generierte Vorgang wird auch „Auralisation“ genannt, oder beschrieben als künstliches Verklanglichen einer akustischen Situation. In Michael Vorländers Worten: „Auralization is the technique of creating audible sound files from numerical (simulated, measured, or synthesized) data“ (Vorländer, 2008, S.3). Zudem wird das Vorhersagen von akustischem Verhalten „Modellierung“ genannt und häufig von Akustikingenieuren angewendet (Vorländer, 2008, S.1). Abschnitt 3.1 wird sich mit allen Konzepten auseinandersetzen, die für eine Auralisation notwendig sind. Darunter befindet sich das räumliche Hören und die Lokalisation von Klängen (3.1.1), welches wiederum die interauralen Pegel- (3.1.1.1) und Zeitdifferenzen (3.1.1.2), den „Cone of Confusion“ und die

vertikale Lokalisation (3.1.1.3), sowie das Distanzhören (3.1.1.4) umfasst. Die Funktionsweise vom räumlichen Hören mit Kopfhörern (3.1.2) inkludiert die Messung der „Head-Related-Transfer-Functions“ (HRTFs) (3.1.2.1), die Messunterschiede bei individuellen und nicht-individuellen HRTFs (3.1.2.2) und die (dynamische) Binauralsynthese (3.1.2.3) zur Durchführung der Auralisation in der VR. Punkt 3.1.3 fokussiert sich auf die Ambisonics-Technik und ihren Unterschied zur Binauralsynthese.

In der VR wird die Auralisation hauptsächlich genutzt, um dem Nutzer ein besseres Gefühl von Presence zu vermitteln (Väljamäe et al., 2004). In Abschnitt 3.2 wird daraufhin diskutiert ob und wie dieses Gefühl durch auditorische Hilfestellung in der virtuellen Welt einen positiven Unterschied erbringt. In Punkt 3.2.1 wird der Einfluss unserer Seh Wahrnehmung auf das Hören untersucht und welche Rolle diese beim Erzeugen von Presence spielt. Dann, in Punkt 3.2.2, wird der Unterschied von Authentizität und Plausibilität in der VR Forschung beschrieben und unter welchen Aspekten Presence auftreten kann. Letztlich, in Punkt 3.2.3, werden generelle Aspekte der Presence Forschung mit Schwerpunkt der auditorischen Wahrnehmung diskutiert.

3.1 Auralisation

3.1.1: Raumklang, Räumliches Hören und Lokalisation

Die Quintessenz der Akustik ist der Klang. Dieser wird in Form von Wellen in gasförmigen oder elastischen Medien übertragen. Seine Entstehung, Übertragung, Rezeption, Wahrnehmung und Auswertung erstreckt sich über Fachgebiete der Physik, dem Ingenieurwesen und der Psychologie. Messbare Parameter werden in der Akustik durch physikalische Eigenschaften beschrieben, wie zum Beispiel die Nachhallzeit, das Stärkemaß, die Schärfe oder Stärke eines

Klangs (Vorländer, 2008, S.2-3). Die Psychoakustik dahingegen dreht sich um die subjektive Wahrnehmung der Klänge. Jens Blauert legte deswegen den Unterschied zwischen einem Schallereignis und einem Hörereignis fest: Ersteres bezieht sich nur auf die objektive, physikalische Klangausbreitung ausgehend von einer bestimmten Quelle, wobei sich letzteres auf das subjektive Wahrnehmungsereignis bezieht. So seien auch die abgeleiteten Wörter wie „Schallquelle“, „Schallsignal“ und „Schallwelle“ bestimmte Merkmale der Schallereignisse und all das, was mit dem menschlichen Ohr wahrgenommen wird, Merkmale eines Hörereignisses (Blauert, 1997, S. 2). Von einer Schallquelle ausgehende Schallsignale erstrecken sich in einem Raum in allen drei Dimensionen (Breite, Höhe, Tiefe) und lassen sich durch das menschliche Gehör lokalisieren (Rumsey, 2001, S. 1). Je nachdem ob man sich draußen im sogenannten „freien Feld“ oder in einem geschlossenen Raum aufhält, gibt es Unterschiede in der Art, wie sich Schallsignale ausbreiten. So werden Schallwellen in geschlossenen Räumen von den Wänden zum Teil absorbiert und zum Teil reflektiert, wobei sich Schallwellen im freien Feld bis in weite Entfernung ausbreiten können (Rumsey, 2001, S.2-5). Die Lautstärke im freien Feld sinkt demnach auch schneller ab als im geschlossenen Raum, da die Schallenergie sich über eine immer weiter vergrößernde Fläche ausbreiten kann (Rumsey, 2001, S. 3). Ähnlich wie im freien Feld verhalte sich auch ein sogenannter „reflexionsarmer“ Raum, der rundum mit Absorbern verkleidet ist, um eine bestmögliche Schallabsorption zu garantieren. In Abbildung 5 ist zu sehen, wie sich der Schall in drei verschiedenen Raumtypen verhält: der Schall im schallarmen Raum sinkt bei seiner Ausbreitung rapide im Pegel ab, während ein durchschnittlicher Raum und ein stark

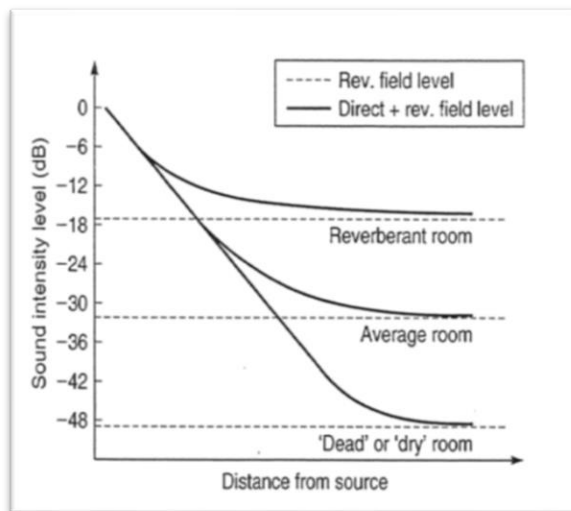


Abb. 5: Schallübertragung in drei verschiedenen Raumtypen (Rumsey, 2001, S. 6).

nachhallender Raum den Schall durch diffuse Reflektionen länger tragen können (Rumsey, 2001, S. 5). Die im Folgenden definierte Klanglokalisierung des menschlichen Gehörs funktioniert einfacher im freien Feld, da es keine direkten Reflexionen gibt, die den Hörer verwirren

könnten (Rumsey, 2001, S. 3).

Generell steht der Begriff „Lokalisation“ in der Psychoakustik für das Orten einer bestimmten Schallquelle anhand bestimmter Merkmale. Die zeitliche und spektrale Struktur eines Klangs sorgen dafür, dass das menschliche Gehör die Herkunft eines Klangs überhaupt wahrnehmen kann. Unser Gehirn nutzt drei verschiedene Methoden, um die Richtung eines Schallereignisses zu orten: Es wertet interaurale Zeitdifferenzen, interaurale Schalldruck- bzw. Pegeldifferenzen und die Klangfarbe bzw. spektrale Merkmale eines Schallereignisses aus (Blauert, 2003, S. 13-14). „Interaural“ bedeutet „zwischen den Ohren“ (lat. „inter“ = zwischen und „auris“ = Ohr, bzw. „aural“ = durch das Ohr). Die ersten beiden Methoden nutzt das Gehör zur links-rechts Lokalisation.

3.1.1.1: Interaurale Pegeldifferenzen

Am Ende des 18. Jahrhunderts stellte Lord Rayleigh mit der Hilfe von reinen Pfeiftönen fest, dass das Gehör einen Klang einer Schallquelle lokalisieren kann, indem es eine Unterscheidung der Laufwege zwischen den beiden Ohren anhand der unterschiedlichen Pegel des Klangs erkennen kann

(Rayleigh, 1907, S. 215). Wenn ein Klang zum Beispiel in einem Winkel von 90° auf das linke Ohr eintrifft, wird

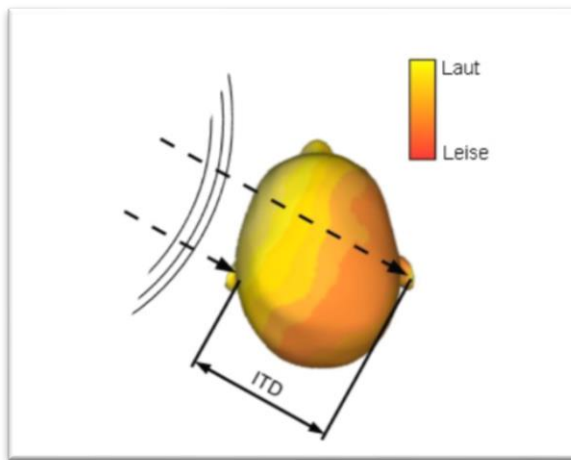


Abb. 6: Horizontale Lokalisation durch ILD und ITD
(Mihocic, 2014, S. 14)

der Klang, der zum rechten Ohr geht, zuerst vom Kopf verdeckt, was eine interaurale Pegeldifferenz (engl. interaural level difference, ILD) zur Folge hat. Die ILD ist demnach die Differenz des Schalldruckpegels zwischen beiden Ohren und dort wo der Schalldruck beim Hörereignis

stärker wahrgenommen wird, kann das Schallereignis lokalisiert werden. Ein Maximum von 35 dB und ein Minimum von 1 dB Lautstärkeunterschied kann zwischen beiden Ohren wahrgenommen werden, wenn die Schallquelle mit einer Frequenz von minimal 1500 Hz und einem Einfallswinkel von 90° auf das linke oder rechte Ohr eintrifft (Middlebrooks & Green, 1991, S. 140; Mihocic, 2014, S. 13).

3.1.1.2: Interaurale Zeitdifferenzen

Rayleigh fand zudem heraus, dass wenn die Schallwelle sich unterhalb einer Frequenz von ca. 1500 Hz bewegt, dementsprechend auch die Wellenlänge deutlich größer als ein durchschnittlicher Kopf gemessen werden kann (der durchschnittliche Abstand zwischen zwei Ohren beträgt ca. 17,5 cm (Blauert, 1997, S. 58)). In diesem Falle kann die ILD zur Berechnung des Unterschieds nicht mehr genutzt werden, da sich der Schall um den Kopf herum beugt (Blauert, 1997, S. 120). Eine Schallwellenbeugung ist ein physikalisches Phänomen, das auftritt, wenn der Schall durch ein zu kleines Hindernis gehemmt wird. Bei Schallwellen

niedriger Frequenzen (<800 Hz) werden durch das Auftreffen auf ein Hindernis sogenannte Elementarwellen gebildet, die sich um das Hindernis beugen (Deutsche Gesellschaft für Akustik (DEGA), 2006, S.43). Von daher werden zur Klanglokalisation tiefer Frequenzen eher Phasenunterschiede zu Rate gezogen werden müssen: „When a pure tone of low pitch is recognized as being on the right or the left, the only alternative to the intensity theory is to suppose that the judgement is founded upon the difference of *phases* at the two ears.“ (Rayleigh, 1907, S. 218). Hier wird demnach die interaurale Zeitdifferenz (engl. interaural time difference, ITD) bzw. die interaurale Phasendifferenz (IPD) für die Lokalisation genutzt. Die ITD beschreibt die Differenz des Schallwegs, die durch die zeitliche Verzögerung beim Laufweg des Schalls zwischen beiden Ohren berechnet werden kann. Gleichermaßen ist die IPD die Differenz zwischen der Phasenverschiebung, die durch eine mögliche Zeitverzögerung bei beiden Ohren eintritt. Bei einem Schallereignis von 1600 Hz mit einem Einfallswinkel von 90° entsteht eine Phasenverschiebung von ca. 21 cm, die sich 180° um den Kopf herum beugt. Die ITD kann in diesem Fall bei 0,6 ms Zeitverzögerung gemessen werden (Fastl & Zwicker, 2007, S. 293). Die Erkenntnis von Rayleigh die horizontale Klanglokalisation mit der ITD und ILT zu beschreiben wurde daraufhin als „Duplex-Theorie“ bekannt (Middlebrooks & Green, 1991, S. 140).

3.1.1.3: Cone of Confusion und vertikale Lokalisation durch spektrale Merkmale

ITD und ILT können jedoch nur für die horizontale Lokalisierung von Klängen gebraucht werden, da es bei der vertikalen Lokalisation zu Problemen kommt. Zur Verdeutlichung wird in Abb. 7 das kopfbezogene Koordinatensystem angeführt. Auf der angegebenen

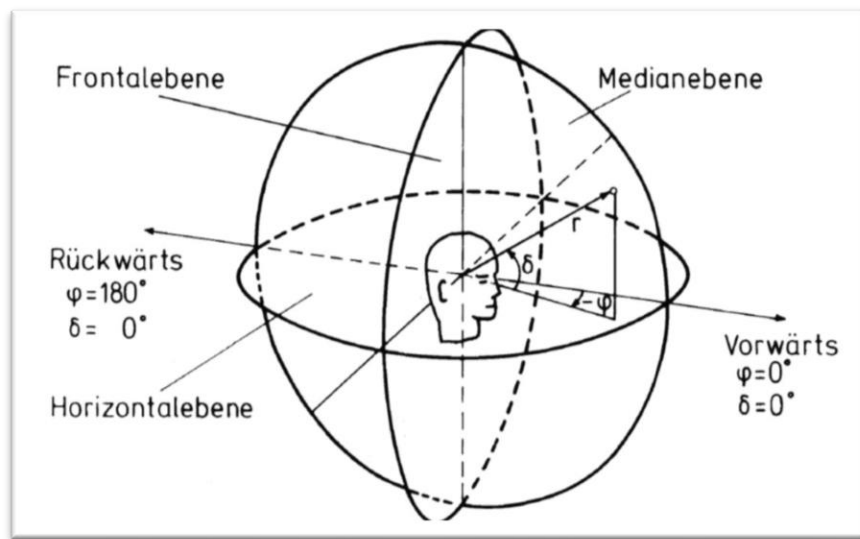


Abb. 7: Räumliches Hören im kopfbezogenen Koordinatensystem
(Blauert, 1997, S. 11)

Horizontalebene findet die links-rechts Lokalisation statt und die Richtung, aus der der Klang kommt, wird mit dem Seiten- bzw. Azimutwinkel φ (griech. Phi) gemessen. Die Medianebene gibt mit Hilfe des Erhebungs- bzw. Elevationswinkels δ die Richtungen vorne-hinten und oben-unten an. Die Frontalebene gibt links-rechts und oben-unten an und r steht für die Entfernung. Zum einen kann eine Vorne- und Hinten-Verwechslung auftreten, sobald ein Klang direkt von vorne oder von hinten auftritt. Pegel- und Zeitdifferenz haben in diesem Fall den gleichen Abstand zu beiden Ohren und können nicht voneinander unterschieden werden (Jenny, 2018, S. 11). Eine einfache Möglichkeit diese Unterscheidung in Erfahrung zu bringen, ist den Kopf leicht nach links oder rechts zu drehen, um eine größere Distanz zwischen einem der beiden Ohren und der Schallquelle zu erhalten, damit ITD und ILT wieder messbar werden (Kapralos et al., 2008, S. 529). Zum anderen können auch gleiche Zeit- und Pegeldifferenzen auftreten, wenn der Schall sich auf einer Seite vertikal nach oben und nach unten erstreckt: auf dem sogenannten „Cone of Confusion“ kann das Gehör über die Elevation (oben-unten) eines Klangs in der Medianebene keinen genauen Rückschluss über dessen Herkunft ziehen. Die Elevation erstreckt sich dabei von links oder rechts gesehen neben den Ohren und formt einen kegelförmigen Bereich, auf dessen Grenzlinien ITD und

ILT ständig gleichbleiben (siehe Abb. 8). Um dennoch den

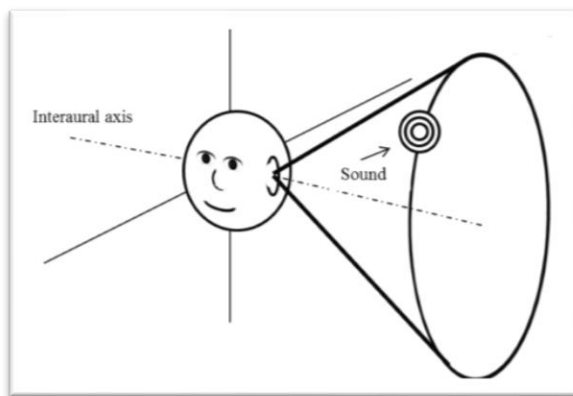


Abb. 8: Cone of Confusion
(Hughes, 2011, S.12)

Klang lokalisieren zu können, greift das Gehör auf die spektralen Merkmale von Klängen zurück. Wenn ein Klang im freien Feld oder in einem Raum von einer Schallquelle ausgesendet wird, sorgen die natürlichen Reflexionen, die unser Körper (Rumpf, Kopf,

Ohrmuschel) verursacht, für eine spektrale Veränderung des Klangs. In Blauerts Worten:

„Acoustically the pinna functions as a linear filter whose transfer function depends on the direction and distance of the sound source. By distorting incident sound signals linearly, and differently depending on their direction and distance, the pinna codes spatial attributes of the sound field into temporal and spectral attributes. Therein lies its importance for spatial hearing“
(Blauert, 1997, S. 63).

Blauert verdeutlicht, dass sogenannte „lineare Verzerrungen“ entstehen, wenn ein Klang auf den Körper und vor allem auf die Pinna (Ohrmuschel) des Menschen trifft, welche Hinweise auf die zeitlichen und spektralen Merkmale der Herkunft der Klangquelle geben. Vor allem in hohen Frequenzbereichen werden Klänge durch eine solche Filterung lokalisiert (Blauert, 1997, S. 101). Diese Filterung wird als sogenannte Außenohrübertragungsfunktion (engl. head-related transfer function, HRTF; Møller et al., 1995) beschrieben. Die HRTF ist von Mensch zu Mensch unterschiedlich, da jeder eine unterschiedliche Körperform, Kopfgröße und Ohrmuschelform hat. Je nach Schalleinfallrichtung tritt somit eine spezifische Reflektion des Klangs auf, welche eine Ortung der Klangquelle in der Medianebene zulässt (siehe Abb. 9). Im Gegensatz zu den binaural verarbeiteten ITDs und ILTs,

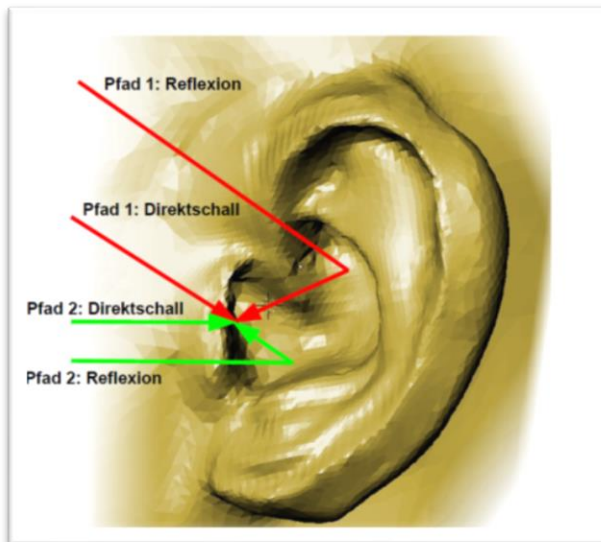


Abb. 9: Klangortung zweier Quellen durch spektrale Merkmale (Mihocic, 2014, S.15)

können spektrale Merkmale der HRTFs auch mit nur einem Ohr, also monaural, verarbeitet werden. Es wird demnach nur ein Ohr benötigt um Rückschluss auf die vertikale Position einer Schallquelle zu ziehen (Jenny, 2018, S. 11).

Versuche von Blauert (2003) haben gezeigt, dass

Reflektionen in gewissen Frequenzbereichen auch einen Effekt außerhalb der Medianebene haben und sogar für das Distanzhören fungieren können (siehe Punkt 3.1.1.4). Wie weiter oben schon erwähnt werden Klangsignale von der Pinna reflektiert bevor sie im Gehör ankommen und dabei werden bestimmte Frequenzbereiche verstärkt, die Aufschluss auf die Herkunft des Klanges geben. So seien besonders bei der Wahrnehmung von Musik die verstärkten Signale im Bereich von 2 bis 7 kHz vermehrt als sehr „präsent“ und im frontalen Bereich von Probanden lokalisiert worden. Der Bereich um 1 kHz soll zu Hörereignissen führen, die eher diffus bzw. zerstreut im Raum schweben und sollen manchmal sogar klingen, als ob der Klang von hinten komme. Signale, die im Bereich um 8 kHz verstärkt werden, sollen auf eine Klanglokalisation über der Horizontalebene weisen, also mit einer geringen bis hohen Elevation (Blauert, 2003, S. 105-106).

Zudem sind noch die Unterschiede in der Genauigkeit der Lokalisation zu nennen, welche auch als „Lokalisationsunschärfe“ bezeichnet wird. Laut Blauert (1997, S. 38) besitzt das menschliche Gehör nicht dieselbe räumliche Genauigkeit wie Kalkulationen technischer Messungen. Die kleinste Änderung eines Schallereignisses

kann somit zu einer Ortsänderung des Hörereignisses führen. Gemessen wurde, dass je nach Frequenz Pegelunterschiede von 1 dB und Laufzeitunterschiede von 10 μ s einem minimal wahrnehmbaren Winkel (engl. minimum audible angle, MMA) von 1° entsprechen (Mills, 1958). Generell sind in der Horizontalebene Schallereignisrichtungen von vorne oder hinten präziser als von links oder rechts: Bei einem Winkel von 0° können ca. 3-4° Lokalisationsunschärfe auftreten. Bei einer seitlichen Beschallung dahingegen wurden bis zu 10° Lokalisationsunschärfe gemessen (Blauert, 1997, S. 38). In der Medianebene wurde festgestellt, dass oben und unten eine Lokalisationsunschärfe von 4° bei Rauschsignalen und 9° bei Sprachsignalen auftreten kann (Perrott & Saberi, 1990).

3.1.1.4: Distanzhören

Zahorik et al. (2005) beschreiben die Fähigkeit die Entfernung von Schallereignissen zu lokalisieren als weniger akkurat wie die Bestimmung des Winkels beim Richtungshören. Mehrere akustische Merkmale treten hierbei in Kraft. So spielen vor allem die Schallintensität einer Schallquelle eine wichtige Rolle für das Distanzhören. Die Distanz einer Schallquelle wird dabei als näher empfunden, wenn sie lauter ist und weiter entfernt, wenn sie leiser ist. Zudem werden Klänge als näherkommend beschrieben, wenn die Klangquelle als anschwellend empfunden wird und sich entfernend bei abschwellendem Klang, wobei die empfundene Distanzerhöhung bzw. -senkung als niedriger gemessen wurde, als die physikalisch reelle Messung dieser (Zahorik et al., 2005, S. 411-412). In geschlossenen Räumen wird zum Ermitteln einer sich außerhalb des Raums befindlichen Schallquelle das Verhältnis zwischen Direktschall und Nachhall zur Rate gezogen. Vereinfacht beschrieben heißt das, dass je näher die Schallquelle sich zum besagten Raum befindet, die Kraft des Direktschalls größer ist im Vergleich zu der des

Nachhalls und vice versa (Zahorik et al., 2005, S. 412-413). Als Begleiterscheinung nennen Zahorik et al. (2005) die Klangverfärbung einer Schallquelle durch nachhallbedingte Reflexionen in bestimmten Räumen: „As distance increases, the proportion of the reflected energy increases, thereby potentially changing the at-the-ear spectrum in a systematic fashion.“ (Zahorik et al., 2005, S. 414). Generell werde das Klangspektrum ab einer Distanz von 15 m durch die klangabsorbierende Qualität der Luft bedeutend verändert und habe zur Folge, dass beim Gehör ankommende Klang schon Distanzinformationen enthalte. Die Möglichkeit die Klangquelle zu sehen oder die Familiarität mit einer bestimmten Klangquelle spiele auch eine wichtige Rolle. Somit könne man mit der Sicht besser einschätzen wo ein Geräusch herkommt oder man kann erlernen wie weit ein Geräusch vom Hörereignis entfernt ist, wenn man es immer und immer wieder von unterschiedlichen Distanzen hört (Zahorik et al., 2005, S. 415-416).

3.1.2: Räumliches Hören mit Kopfhörern

Wie in 3.1.1.3 schon erwähnt sind die Außenohrübertragungsfunktionen (HRTFs) definiert als die von Mensch zu Mensch spezifische akustische und richtungsabhängige Filterung des Schalls durch die Struktur von Oberkörper, Kopfform und Pinna (Blauert, 1997; Møller et al., 1995). Sie kann somit auch als „akustischer Fingerabdruck“ beschrieben werden (Jenny, 2018, S. 26). In dieser Filterung sind demnach Informationen zum Laufweg des Schalls gespeichert, nämlich interaurale Zeitdifferenzen (ITDs und ILDs) und die monauralen spektralen Merkmale. Diese Merkmale können heutzutage mit Hilfe von technischen Mitteln ermittelt werden und für das räumliche Hören mit Kopfhörern verwendet werden. Während man bei binauraler Kopfhörerwiedergabe mit Hilfe von Laufzeit- und

Pegeldifferenzen einen Lateralisationseffekt (Lokalisation eines Hörereignisses auf der Horizontalebene; Fastl & Zwicker, 2007, S. 308) erzeugen kann, können berechnete HRTFs verwendet werden, um die Lokalisation auch in der Medianebene zu ermöglichen: „Mit der Nachbildung der akustischen Eigenschaften des Gehörs durch das Hinzufügen der persönlichen HRTFs kann die eigene natürliche Richtungswahrnehmung wiederhergestellt werden“ (Jenny, 2018, S. 15).

3.1.2.1: Messung von HRTFs

Bei einer Messung von HRTFs kommt es zunächst darauf an, ob die Messung an einer bestimmten Person oder mit einem Kunstkopf durchgeführt werden soll. Der Kunstkopf, der heutzutage am meisten gebraucht wird und als industrieller Standard gilt, ist der sogenannte „Knowles Electronic Manikin for Acoustic Research“ (KEMAR) Kunstkopf, der unter anderen von der Firma G.R.A.S. Sound & Vibration A/S aus Dänemark hergestellt wird. (G.R.A.S., o.D.). Ursprünglich von Hugh Knowles im Jahre 1972 entwickelt, basierte die finale Version des KEMAR Kunstkopfs auf einer genauen Studie über die durchschnittlichen Ausmessungen des menschlichen Kopfes und Körpers. Demnach kann mit Hilfe des Kunstkopfs von einer ähnlichen akustischen Reflexion eines Schallereignisses bei akustischen Messungen ausgegangen werden. Mit zwei in beiden Gehörgängen platzierten Mikrofonen werden in kurzen Zeitabständen Schallimpulse aus einer kugelförmig angeordneten Lautsprecherkonstellation rundum der zu testenden Person oder Kunstkopfs ausgestrahlt (Zaar, 2010, S. 8-9). Da es bei der Bewegung des Kopfes zu Messfehlern kommen kann, wird auch häufig ein kreisförmiges Lautsprecher-Array verwendet, wobei die Testperson dann auf einer Drehscheibe sitzt und in geringen Zeitabständen im Kreis gedreht wird. Durch menschliche Hörer verursachte

Messfehler können durch die Verwendung des KEMAR verhindert werden. Generelle Vorteile des KEMAR sind die Statik und die Schallosigkeit. Ein menschliches Testsubjekt kann unbewusst den Kopf minimal verdrehen oder selber Schalle, wie z.B. Atmen, Räuspern oder Schlucken, erzeugen, die die Messungen verfälschen können (Grasser et. al., 2014, S.12). Nachteil für die Nutzung des KEMAR ist jedoch der Verlust der präzisen Individualität der Messung (siehe Punkt 3.1.2.2).

Die Schallsignale, die der Messung von HRTFs dienen, werden meistens in Form von sogenannten „exponentiellen Sweeps“ ausgestrahlt, d.h. Sinuswellen, die einer Frequenzmodulation unterzogen werden, können aber auch in Form von weißem

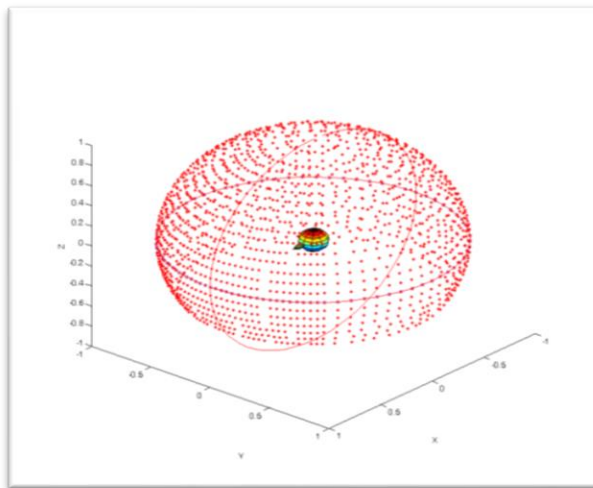


Abb. 10: HRTF Messung am ISF: Die roten Punkte stellen die Messpositionen dar. (Mihocic, 2014, S. 59).

Rauschen, „Maximum Length Sequence“ (MLS) oder anderen breitbandigen Signalen gemessen werden (für eine Übersicht siehe: Frank & Dietze, 2008). Der Schalldruck, der von diesen Signalen ausgeht, trifft auf die sich im Gehörgang befindliche Mikrofonmembran. Dabei gilt je höher der Schalldruck

ist, desto höher ist auch der Signal-Rausch-Abstand (engl. signal-noise-ratio; Maß für die technische Qualität eines Nutzsignals), was zu einem besseren Messergebnis führt (Welvaert & Rosseel, 2013). Eine hohe Anzahl an Übertragungswegen der Schallimpulse müssen somit gemessen werden, um die Schalleinfallrichtungen bestmöglich abzutasten (Zaar, 2010, S. 9). Am Institut für Schallforschung (ISF) in Wien wird bei einer akustischen Messung ein Raster von 1550 Messpositionen rundum die

Testperson erstellt, die zu einer exakten Messung der Übertragungswege führen (siehe Abb. 10).

3.1.2.2: Messunterschiede bei individuellen und nicht-individuellen HRTFs

Bei der Benutzung eines KEMAR Kunstkopfs für die Messung von HRTFs kann es vorkommen, dass die Klanglokalisation in der virtuellen Realität von der echten abweicht und nicht deutlich genug ausgeführt werden kann. Hierbei kann die falsche Lokalisation des Schallereignisses in Form einer Vorne-Hinten Verwechslung oder einer Im-Kopf-Lokalisation auftreten (Jenny, 2018, S. 16). Die Vorne-Hinten Verwechslung bezieht sich wortwörtlich auf die Verwechslung der Position eines Klangs im vorderen und hinteren Bereich des Kopfes, wobei der Begriff auch eine Oben-Unten Verwechslung in der Medianebene subsummiert. Grund für dessen Vorkommen sei vor allem der Cone of Confusion und Situationen, in denen der Kopf nicht zur Klarheit der ILDs und IPDs gedreht werden kann, wobei auch visuelle Rückschlüsse auf die Position des Schallereignisses von Bedeutung sein sollen (Wenzel, Wightman & Kistler, 1991, S. 358; Wallach, 1940). Darüber hinaus kann die Nutzung eines nicht-individuellen HRTFs zu einer Im-Kopf-Lokalisation führen (Toole, 1970; auch „Internalisation“ genannt: Jeffress & Taylor, 1961). Ihr gegenüber steht die „Externalisation“, die angibt wie deutlich die Position eines Schallereignisses innerhalb oder außerhalb des Kopfes perzipiert wird (Lindau et al., 2014). Dabei gilt es den Externalisationsgrad anhand der spektralen Merkmale des Direktschalls zu bestimmen, wobei Kopfbewegungen zur Positionsverdeutlichung verhelfen und die Sicht auf die und die Vertrautheit mit der Schallquelle die Externalisation begünstigen können (Durlach et al., 1992; Gil-Carvajal et al., 2016).

3.1.2.3: (Dynamische) Binauralsynthese

Um der virtuellen Umgebung eine stärkere Form von Presence zu vermitteln, sollte neben dem visuellen auch ein auditiver Stimulus beigefügt werden (siehe Punkt 3.2). Dieser sollte sich in der VR gleich wie auch im echten Leben verhalten. Mit Hilfe der Binauralsynthese können einer binauralen Kopfhörerwiedergabe Filter mit räumlichen Attributen hinzugefügt werden, welche wiederum durch den Prozess der Synthese für den Nutzer abgespielt werden (Lentz, 2008; Lentz et al., 2006). Somit können Informationen über bestimmte Positionen einer Schallquelle kopfspezifisch auf eine virtuelle Schallquelle übertragen werden. Mit aktuellen VR Geräten sind Kopfbewegungen in allen sechs Freiheitsgraden (engl. six degrees of freedom, 6DOF) möglich, d.h. links-rechts, oben-unten, sowie vorne-hinten (Chen et al., 2013). Der Prozess der Synthese wird zur dynamischen Binauralsynthese, sobald die virtuelle Schallquelle auch dann ihre Position beibehält, wenn sich der Kopf des Nutzers in der VR bewegt. Damit die Schallquelle immer an der richtigen Position wahrgenommen werden kann, muss ständig die Position der HRTF des Nutzers verändert werden. In Lentz et al. Worten:

„In a VR system, the listener's position is always known and can also be used to realize a synthetic sound source with a fixed position corresponding to the room coordinate system. The software calculates the relative position and orientation of the listener's head to the imaginary point where the source should be localized. By knowing the relative position and orientation the appropriate HRTF can be chosen from a database. It is also possible to synthesize many different sources and to create a complex three-dimensional scenario.”
(Lentz et al., 2006, S. 4-5)

Demnach wird eine Software verwendet, um einer bestimmten Position des Kopfes ein räumlich passendes HRTF zuzuordnen, das dem Gehör die Illusion eines oder mehrerer

Schallereignisse aus bestimmten Richtungen übermittelt. Die Methoden der Software belaufen sich laut Vorländer (2009, S. 38) auf Berechnungen der geometrischen Akustik und Stochastik, die unter den Namen „Ray-Tracing“ und „Radiosity“ bekannt sind und im Elektroingenieurwesen bei Signalverarbeitungsprozessen angewendet werden. Mit diesen Berechnungen kann man die Energie, die Verzögerung und die Einfallrichtung für Direktschall und Reflexionen ermitteln, sowie Absorptionen, Streuung und Diffraktionen berechnen (Vorländer, 2009, S. 38; LaValle, 2017, S. 328). Die Software gebraucht dabei einen Algorithmus, der auf dem mathematischen Prinzip der Signalfaltung basiert (Lentz et al., 2006, S. 10). Die Monosignale einer virtuellen Schallquelle werden dann mit HRTFs gefaltet, damit diese eine bestimmte Richtung und Distanz erhalten.

Wie oben schon erwähnt ist ein übereinstimmendes Paar von HRTFs für den Nutzer von größerem Vorteil, da es mit einem fremden Paar zu Fehllokalisationen und Klangverfärbungen kommen kann. Eine Messung des HRTF Paares für jede Einzelperson wäre jedoch zu aufwendig (Kaneko et al., 2016, S.1). Von daher wird auf eine Datenbank bereits erstellter, nicht-individualisierter HRTFs zurückgegriffen, die entweder von unterschiedlichen Ohrformen des KEMAR Kunstkopfs stammen, oder mit Hilfe von Versuchspersonen aufgenommen wurden. Für einen Nutzer mit durchschnittlicher Kopfform sind diese meist ausreichend, um in der VR Klänge lokalisieren zu können (Medonça et al., 2010, S. 2). Es wurde jedoch auch herausgefunden, dass der Mensch sich mit der Zeit an fremde HRTFs anpassen kann, dies umso schneller, wenn ein bestimmtes Training absolviert wird (Medonça et al., 2010, S. 5f.).

Die gemessenen HRTFs ordnen sich immer konkreten Positionen und Distanzen einer Schallquelle zu. Villegas et al. (2015, S. 203-210) fanden heraus, dass eine unbekannte Position

bzw. Distanz einer Schallquelle zum Nutzer mit Hilfe der Interpolation hinzugefügt werden kann. Somit können feste Positionen der HRTFs aus Datenbanken mit neuen unbekannten Positionen ergänzt werden.

Die dynamische Binauralsynthese wird im einfachsten Fall für die Kopfhörerwiedergabe verwendet, sowie auch die Nutzung der VR Brillen meist mit Kopfhörern einhergeht. Eine andere Methode ist die Wiedergabe über Lautsprecher erfolgen zu lassen. Hierbei muss darauf geachtet werden, dass das Übersprechen (engl. cross-talk) der zwei oder mehr Lautsprecher so gut wie möglich ausgeblendet wird, weil ansonsten die in der binauralen Wiedergabe kreierte Räumlichkeit verloren geht (Lentz et al., 2006, S. 6). Damit eine binaurale Wiedergabe räumlich bleibt, darf der rechte Kanal der Lautsprecher nur dem rechten Ohr und der linke Kanal nur dem linken Ohr zugeordnet sein, was bei einer Wiedergabe über Kopfhörer ohnehin schon gegeben ist. Mit Hilfe von einem sogenannten CRC Filter (engl. cross-talk cancellation) lässt sich die Lautsprecherüberkreuzung soweit diminuieren, sodass das Navigieren in der VR auch auf diese Weise möglich wird. Lentz et al. (2006, S. 7f.) benutzen außerdem ein System, dass den CRC Filter je nach Position des Nutzers anpasst, sodass eine freie Bewegung dessen möglich ist.

Die Binauralsynthese lässt sich demnach für lineare und interaktive VR-Anwendungen verwenden (siehe Punkt 4.1.1), die sowohl Kopfhörer- als auch Lautsprecherwiedergabe unterstützen.

3.1.3: Ambisonics und 3D Raumklang

Unter dem Begriff Ambisonics versteht man das Aufnehmen, Mischen und Abspielen von dreidimensionalem 360° Audio mit Hilfe eines sog. Klangfeldmikrophons (engl. soundfield microphone) und bestimmten Abmischungsverfahren (Vorländer,

2008, S. 288). Diese Technik wurde Anfang der 1970er Jahre von Michael Gerzon entwickelt (Gerzon, 1974). Sie basiert darauf, dass sich „ein beliebiges Wellenfeld in mehrere Kugelflächenfunktionen, sogenannten *sphärischen Harmonischen*, ähnlich wie bei der Fourieranalyse, zerlegen lässt“ (Christoph, 2013, S. 38). Hierbei wird ein vierkanaliges Aufnahme- und Wiedergabesystem eingesetzt, welches als „Ambisonics B-Format“ oder „First-Order Ambisonics“ (FOA) bezeichnet wird und bei dem das Klangfeldmikrophon zum Einsatz kommt: Die vier Kanäle werden von speziell angeordneten Mikrofonen auf dem Klangfeldmikrophon aufgenommen, wobei davon drei Kanäle die jeweiligen Achsen des Koordinatensystems (Y = vorne-hinten; Z = oben-unten; X = links-rechts) aufzeichnen und der vierte Kanal das Signal W eines omnidirektionalen Mikrophons (Mikrophon mit Kugelcharakteristik) erfasst (Vorländer, 2008, S. 288). Eine isotropische (richtungsunabhängige) Schallaufnahme kann somit erreicht werden, die das ganze dreidimensionale Klangfeld umfasst. Diese wird wiederum auf eine bestimmte Anordnung von Lautsprechern dekodiert. Im Gegensatz zu FOA gibt es noch die „Higher-Order Ambisonics“ (HOA) bei denen fünf oder mehr Aufnahmekanäle genutzt werden, um eine genauere und akkuratere Darstellung des gesamten Schallfelds zu erzielen (Shivappa et al., 2016, S. 4).

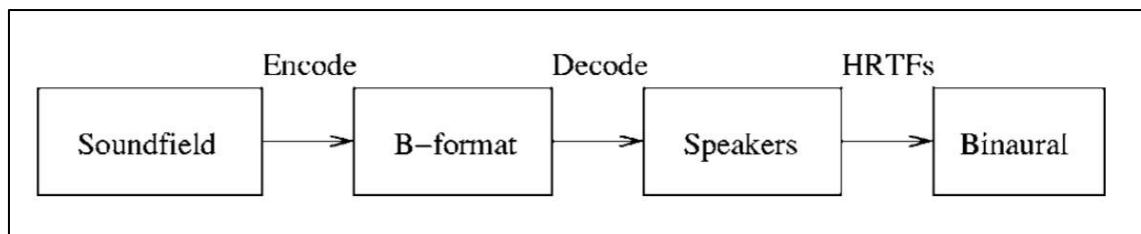


Abb. 11: Codierverfahren eines Klangfelds für binaurale Wiedergabe mit Hilfe von HRTFs (Menzies & Al-Akaidi, 2007, S. 1560).

Ambisonics unterscheiden sich von binauralen Aufnahmen hauptsächlich in der Anzahl der Kanäle. Binauraler Klang kann nur Stereo, also über zwei Kanäle wiedergegeben werden,

während Ambisonics mindestens 4 Kanäle benötigt und hauptsächlich für die Lautsprecherwiedergabe konzipiert ist. Ambisonics lässt sich auch für eine binaurale Kopfhörerwiedergabe konvertieren (siehe Abb. 11). Dies hat den Vorteil, dass es keine Limitierung an verwendeten Kanälen für die Lautsprecherwiedergabe gibt (ein Kanal pro Lautsprecher) und dass auch sonstiger Cross-Talk vermieden wird. Dadurch kann ein größerer Realismus erzielt werden (Menzies & Al-Akaidi, 2007, S. 1560). Der Decodierungsprozess wird dabei mit zuvor gemessenen HRTFs verknüpft, sodass die jeweilige Lautsprecherposition im virtuellen Raum vorhanden bleibt bzw. angepasst werden kann (Menzies & Al-Akaidi, 2007, S. 1559). In Punkt 4.2.6 erfolgt eine Auflistung häufig genutzter Plugins zur Abmischung von Aufnahmen im Ambisonics-Format.

Im Folgenden wird zunächst besprochen, wie durch die Binauralsynthese und Ambisonics ermöglichte Bewegungen in einer virtuellen Welt zur Immersion und dem Gefühl der Presence beitragen.

3.2 Auditive Presence

3.2.1: Visuelle Einflüsse auf die auditive Wahrnehmung

Sobald man sich in einer virtuellen Umgebung befindet, sollte die visuelle und die auditive Wahrnehmung der Realität entsprechen und miteinander einhergehen, um ein Gefühl von Presence zu übermitteln. Bei Inkongruenz von visuellen und auditiven Ereignissen kann bis zu einem gewissen Grad der sogenannte „Bauchrednereffekt“ auftreten: Der sich bewegende Mund wird als Ursprung der Schallquelle gesehen und verschiebt somit die auditive Lokalisierung in Richtung der visuellen (Knudsen, 1994). Bei genauen Versuchen zum Thema wurde festgestellt, dass sich bei einem 7° Unterschied zwischen auditiver und visueller Quelle in der

Horizontalebene die auditive Lokalisation um 4° in Richtung visuelle Quelle bewegt (Hendrickx et al., 2015). Allerdings wurde in weiteren Studien festgestellt, dass der in dem Augenblick dominanter Sinn entscheidet ob der Fokus auf den visuellen oder auditiven Stimulus gelegt wird, was auch als Wahrnehmungsschärfe bezeichnet wird (Alais & Burr, 2004). Aber es können auch zeitliche und räumliche Gegebenheiten diese Verschiebung begünstigen, z.B. wenn der visuelle Stimulus dem auditiven zeitlich zuvorkommt oder wenn beide sich in Position unterscheiden (Recanzone, 2009). Solche audiovisuellen Verschiebungen können auch mit einem Paar nicht-individualisierter HRTFs auftreten: In einem Versuch aus dem letzten Jahr wurden aus einer Zusammenstellung von gut und schlecht bewerteten HRTFs (Katz & Parseihian, 2012) die Unterschiede der auditiven Wahrnehmung in der virtuellen Realität anhand eines Egoshooters getestet (Poirier-Quinot & Katz, 2018). Mit den Ergebnissen aus zwei verschiedenen Sitzungen konnte man feststellen, dass die Geschwindigkeit und Bewegungseffizienz der Nutzer in der VR bei HRTFs, die eine größere Ähnlichkeit mit der der Nutzer aufweisen, deutlich verbessert wurde. Nutzer konnten somit im Spiel eine deutlich bessere Leistung zeigen, da die visuellen Eindrücke mit den auditiven in einem höheren Grad übereinstimmten.

Larsson et al. (2010, S. 14) schreiben auch über Unstimmigkeiten bei audiovisueller Wiedergabe in virtuellen Umgebungen. So könnten falsch zugeordnete Klänge in einer bestimmten visuellen Umgebung das Gefühl von Presence vermindern. Als Beispiele werden Klänge aus der Natur genannt, die innerhalb eines geschlossenen Raumes abgespielt werden, oder wider Erwarten ungewöhnliche Schalldruckpegel einer bestimmten Schallquelle. In Experimenten von Völjamäe et al. (2004) und Larsson et al. (2008) fand man heraus, dass eine audiovisuelle Kongruenz eines sich langsam

bewegenden, vorbeifahrenden Autos auch dann Presence vermindert, wenn der HRTF eine falsche Räumlichkeit, z.B. der eines sich schnell bewegenden Autos, zugeordnet wurde.

3.2.2: Authentizität und Plausibilität in VR Forschung

Die Begriffe Authentizität und Plausibilität werden überwiegend im Bereich der Binauraltechnik gebraucht, um zwischen authentischer und nicht-authentischer Audiowiedergabe zu unterscheiden (Jenny, 2018, S. 38). Die Authentizität beschreibt nach Blauert (1997, S. 373) eine Unterscheidungsunmöglichkeit zwischen real gehörtem und durch Aufnahmen repräsentiertem Klang, d.h. je mehr der Klang einer wiedergegebenen Aufnahme der Realität gleicht, desto größer die Authentizität. In Situationen, in denen keine Vergleichsmöglichkeit zu realem Klang herangezogen werden kann, der Klang also simuliert ist, wird der Begriff Plausibilität verwendet (Lindau & Weinzierl, 2012). Dabei wird ein interner Referenzpunkt zu Rate gezogen, der besagt, dass der wahrgenommene Klang richtig, oder eben plausibel, klingt: „A simulation in agreement with the listener's expectation towards an equivalent real acoustic event.“ (Lindau & Weinzierl, 2012, S. 1187). Die Plausibilität einer Simulation eines Klangs wird dann mit einer einfachen Ja/Nein Antwort von den Versuchspersonen erfragt. Teilweise wurden auch Aufnahmen von KEMAR Kunstköpfen als plausibel bewertet, jedoch seien Unterschiede hörbar gewesen (Brinkmann, Lindau & Weinzierl, 2017).

In der Presence-Forschung kommt der Begriff der Plausibilität im Zusammenhang mit den Interaktionen des VR-Nutzers mit Objekten oder mit anderen Personen zur Verwendung. Dabei wird die individuelle Wahrnehmungsqualität der Interaktion in der VR als plausibel oder nicht beschrieben (Slater, 2009; Bergström et al., 2017). Slater (2009) nennt diese Form der Plausibilität die

Plausibilitätsillusion (engl. plausibility illusion; PSI). Die PSI wurde ferner mit drei bestimmten Bedingungen definiert: (1) Die Aktionen des Nutzers in der VR müssen ebenso wieder neue, darauf aufbauende Aktionen hervorrufen; (2) die Umgebung muss mit dem Nutzer korrespondieren, auch wenn der Nutzer keine bestimmten Aktionen ausführt; (3) die Umgebung und die Geschehnisse der virtuellen Umgebung müssen glaubwürdig sein und auf den Erfahrungen und dem Wissen der realen Welt des Nutzers basieren (Rovira et al. 2009).

In der Binauraltechnik gilt wie oben schon erwähnt die Authentizität als das wichtigste Bestreben. Da für die Schöpfer von virtuellen Umgebungen das Erzeugen von Presence am wichtigsten ist, wird in Studien zur VR eher der Begriff der Plausibilität auch im Zusammenhang mit der auditorischen Wiedergabe verwendet (Blauert, 1997, S. 389). Die PSI tritt auch in jenem Fall auf, wenn eine Interaktion zwischen zwei Nutzern einer virtuellen Umgebung auftritt. Dabei müssen beide Nutzer die Lautstärke und Verständlichkeit ihrer Stimmen sowie gewisse Tonfälle für plausibel deklarieren können (Nordahl & Nilsson, 2014, S. 226).

3.2.3: Forschung im Bereich der virtuellen Akustik zur Verbesserung von Presence

Bei der Wiedergabe von 3D-Audioaufnahmen mit Hilfe der Auralisation durch die Binauraltechnik soll die auditorische Realität in der virtuellen Umgebung simuliert werden. Jede Bewegung in der VR muss auch eine Veränderung des Klangs in Echtzeit hervorrufen, damit das Gefühl der Presence nicht unterbrochen wird (Larsson et al., 2010). Schon in den 1990er Jahren gab es Versuche, wie der Effekt von auditorischer Presence unsere Wahrnehmung beeinflusst. Hendrix & Barfield (1995) untersuchten die gefühlten Unterschiede von räumlicher Akustik in einer virtuellen Umgebung und stellten fest, dass Presence immer stärker vorhanden ist, wenn der

simulierte Raum auch räumlichen Klang bot. Wenn eine virtuelle Umgebung überhaupt keine Klänge oder Raumakustik bietet, stellt sich ein unnatürliches Gefühl ein. Gilkey & Weisenberger (1995, S. 358) beschreiben eine virtuelle Umgebung ohne Ton wie ein Gefühl der plötzlichen Taubheit und die virtuelle Welt als unbeweglich und sogar tot.

Der Begriff „umgebungsverankerte Presence“ (engl. environmentally anchored presence) von Murray et al. (2000) wurde nach einem Versuch definiert, in dem Probanden für 20 Minuten alltägliche Dinge ausführen sollten – jedoch mit Ohrstöpseln in den Gehörgängen. Aus einem Fragebogen mit Presence bezogenen Fragen ergab sich schließlich, dass Hintergrundgeräusche stark dazu beitragen ein Gefühl der Teilnahme an der Umgebung hervorzurufen. Pörschmann (2001) testete zu dem Thema das Hören der eigenen Stimme in einer virtuellen Umgebung. Sobald feste, klangdämmende oder in-ear Kopfhörer gebraucht werden, wird die eigene Stimme auf eine andere Weise wahrgenommen als üblich, was dazu beitragen kann, dass das Gefühl von Presence vermindert wird.

Eine wichtige Rolle spielt auch der Externalisationsgrad. So fanden Völjamäe et al. (2004) heraus, dass individualisierte HRTFs einen deutlich höheren Grad an Presence hervorrufen als nicht-individualisierte HRTFs. Wie in Punkt 3.1.2.2. schon gezeigt können Im-Kopf Lokalisierungen und Vorne-Hinten Verwechslungen durch passende individuelle HRTFs deutlich minimiert werden. Externalisation kann laut Larsson et al. (2010, S. 12) auch dazu beitragen die Wahrnehmung des Tragens der Kopfhörer zu verringern und demnach auch die umgebungsverankerte Presence verbessern. Zudem sollen konstante visuelle Eindrücke die Externalisation des Klangs begünstigen. Die Externalisation hängt also nicht nur von den individualisierten HRTFs ab (Larsson et al., 2010, S. 12).

In einem Versuch von Ozawa et al. (2003) wurde festgestellt, dass nicht nur eine gute Klanglokalisation eine Rolle bei der Verbesserung von Presence spielt, sondern auch die Übertragung von deutlichen Klanginformationen ein Faktor darstellt. Diese sollen dem Nutzer helfen sich eine Schallquelle besser vorstellen zu können. Freeman & Lessiter (2001) fanden diesbezüglich heraus, dass basslastigere Klänge und erhöhte Schalldruckpegel das Gefühl von Presence positiv beeinflussen können. In einer späteren Studie von Ozawa & Miyasaka (2004) wurde zudem festgestellt, dass ein höherer Schalldruckpegel in einem Versuch, in dem sich die Probanden virtuell in einem fahrenden Auto befanden, die Presence begünstigte, weil damit das fehlende Gefühl der nicht vorhandenen vibrotaktilen Stimulation ausgeglichen werden konnte.

Chueng & Marsden (2002, S. 1-5) schreiben über die Erwartung und Diskrimination von Klängen und dessen Bezug zur Presence: Der Begriff Erwartung wird in diesem Kontext als das Ausmaß der Erwartungshaltung einer Person gegenüber einer bestimmten Position des Klangs definiert. Dahingegen steht die Diskrimination für die definitive Deutlichkeit, die ein Klang geben kann, um seine Position zu offenbaren. Aus ihrer Studie ergab sich, dass Erwartungen über die angenommene Position von Klängen oftmals nicht der Wirklichkeit entsprechen, jedoch einen hohen Grad an Presence vermitteln, wenn der Klang wie erwartet von einer sichtbaren Quelle ausging. Wenn dies nicht der Fall war, verminderte sich auch das Gefühl der Presence. In virtuellen Umgebungen sollte demnach bevorzugt die Erwartungshaltung der Nutzer gegenüber bestimmten Klangpositionen befriedigt werden, um Presence besser zu vermitteln (Larsson et al., 2010).

In einem Experiment von Nordahl (2005) wurde festgestellt, dass Presence auch mit dem Sinn eines virtuellen Körpergefühls zusammenhängt. Dabei wurde getestet ob

selbsterschaffene Klänge wie Fußstapfen bei der Fortbewegung das Gefühl von Presence beeinflussen. Mehr Presence wurde induziert beim Versuch, in dem die Versuchsperson Fußstapfen bei Bewegung hören konnte, als in einem Versuch ohne jeglichen körpereigenen Klang. Zudem untersuchte Nordahl (2006) den Zusammenhang zwischen räumlichen Klang, sich bewegendem Schallquellen und körpereigenen Geräusche in Bezug auf Presence und fand dabei heraus, dass bei dem Zusammenspiel aller Faktoren das Gefühl der Presence nicht unbedingt erhöht wurde, die Versuchsperson jedoch sich mehr in der virtuellen Umgebung bewegte.

Lanier (2018, S. 305) prognostizierte schon in den 1980er Jahren, dass 360-Grad-Videos den Journalismus und die Politik verändern würden und damit für mehr Frieden sorgen könnten. Durch die gefühlte Presence einer 360-Grad-Aufnahme würde die Empathie der Menschen zunehmen, da sie z.B. die Gewalt im Nahen Osten deutlicher zu spüren bekommen könnten. Lanier warnt jedoch auch davor, dass das Medium in der Kommunikationstechnologie zur Verbreitung von Lügen und „Fake News“ genutzt werden könnte.

Anhand der Ergebnisse der in diesem Teil zusammengetragenen Studien lässt sich veranschaulichen, dass die auditive Wahrnehmung einen deutlichen Effekt auf das Gefühl von Presence haben kann.

Im folgenden Kapitel wird Virtual Reality im Zusammenhang mit ihrer Anwendung im Bereich der Musikwissenschaft untersucht.

4. Virtual Reality in der Musikwissenschaft

–

Anwendungen und Entwicklung

4.1 Anwendungen in VR im Allgemeinen

4.1.1: Lineare Anwendungen

Die Anwendungsbereiche der Virtual Reality sind sehr vielfältig. Wie in Punkt 2.1.3 schon erwähnt lässt sich eine virtuelle Welt neben dem Gaming auch für Simulationen, Training, Therapie und weiteres nutzen. Generell lassen sich solche Anwendungen und Applikationen der virtuellen Realität in zwei Gruppen unterscheiden: lineare und interaktive Anwendungen (Beermann, 2017, S. 39-40). In linearen Anwendungen sind die Nutzer nur Zuschauer eines Films, Videos, einer Spielübertragung oder sonstigen Events. D.h. innerhalb der VR ist keine Interaktion mit dem Präsentiertem möglich, abgesehen vom Umsehen durch Kopfdrehungen und eventuellen Bildvergrößerungen. Durch die Aufnahme von Bildern und Klang mit Hilfe von 360° Kameras ist es möglich eine virtuelle Umgebung darzustellen. Bei einer Liveübertragung können dadurch unendlich viele VR-Zuschauer an einem Event teilnehmen, was dazu geführt hat in solchen Situationen den Begriff „Infinite Seat“ zu verwenden (Munster, 2015, S. 15).

Wenn der Klang aus allen Richtungen dem Nutzer mittels HRTFs in der VR zugeordnet wird, können zudem noch extra Spuren, wie z.B. für Kommentatoren hinzugefügt werden. Heutzutage werden in Museen oder anderen Schauplätzen auch oft virtuelle Rundgänge angeboten. Damit können z.B. historische Gebäude oder Umgebungen für die Interessenten zu einem ehemaligen Zeitpunkt rekreiert werden (De Paolis, 2015, S. 19). In der

Architektur oder generell in der Raumakustik können auch lineare VR Anwendungen als Demonstration für Kunden oder sonstiges genutzt werden. So kann durch Nachhallsimulationen die Akustik eines zukünftigen Raums virtuell dargestellt werden (Mazuryk & Gervautz, 1996, S. 6).

4.1.2: Interaktive Anwendungen

Interaktive VR Anwendungen geben dem Nutzer die Freiheit das Erlebnis für sich selbst zu gestalten. Laut Beermann (2017, S. 40) gibt es dabei unterschiedliche Dimensionen, die von simplen Veranschaulichungen oder Entscheidungen bis hin zu handlungsalterierenden Veränderungen reichen. Bei interaktiven Filmen oder Videos kann der Nutzer die Handlung aus vorgegebenen Optionen selber bestimmen. Laut Lanier (2018, S. 305) können den 360-Grad-Videoaufnahmen virtuelle Elemente hinzugefügt werden, sodass z.B. computeranimierte Dinge oder Charaktere in Reaktion mit dem Nutzer stehen können. Somit kann eine 360-Grad-Fotographie oder ein 360-Grad-Video zu einer interaktiven virtuellen Welt werden. Ärzte können z.B. Computertomographien virtuell von allen Seiten in einem 3D-Modell betrachten oder es können riskante Operationen zuvor virtuell geübt werden (Lanier, 2018, S. 290). Produktionsanlagen können in der Industrie mit größerer Einfachheit visualisiert und gleichzeitig modifiziert werden (Brill, 2009, S. 2). Lanier (2018, S. 293-294) beschreibt auch die Einführung des Antidepressivums „Prozac“ in den 1980ern: Mit Hilfe von einer VR Anwendung sollten Psychiater lernen wie das Medikament in einem depressiven Menschen wirkte. Dazu konnte man sich in der virtuellen Welt zu einer kleinen Person schrumpfen lassen und in das Gehirn des Patienten reisen und das Prozac-Molekül mit einem Rezeptor interagieren lassen, um zu sehen wie die chemische Reaktion abläuft.

Zu den interaktiven Anwendungen zählen auch solche des in Punkt 2 schon genannten Flugsimulationen des Militärs oder Trainingsimulationen für Sport und Beruf wie STRIVR (Bailenson, 2018; siehe auch www.strivr.com). Auch für die Bildung in Schulen ist VR interessant, denn bestimmte Versuche sind meist kostspielig und können mit Hilfe einer virtuellen Darbietung, in denen die Schüler selbst interagieren können, ersetzt werden. VR kann auch zum Überbrücken von Distanzen für gemeinsame Aktivitäten und Zusammenarbeit genutzt werden. Studieren, trainieren oder kooperieren kann somit auf weite Entfernungen ermöglicht werden (Mazuryk & Gervautz, 1996, S. 12).

Im Bereich der Spieleindustrie gibt es auch verschiedene Grade der Interaktivität. So gibt es Spiele, in denen nur Handbewegungen genutzt werden können, aber auch solche, in denen der ganze Körper genutzt werden kann. Jedoch wird in den meisten Spielen eine Charakterbewegung mit Hilfe eines Controllers ausgeführt (Beermann, 2017, S. 41).

Je nach Anwendung muss der Klang der Wahrnehmung des Nutzers entsprechen, bzw. muss die Komplexität der Szene auch über eine funktionierende Klanglokalisation verfügen. In Spielen zum Beispiel muss der Klang mit einer Datenbank von allen möglichen Positionen versehen sein, in der der Spieler sich bewegen kann. Bei Arztsimulationen dahingegen sind wenige bis gar keine Klangquellen notwendig (Beermann, 2017, S. 41).

4.2 Musikbezogene Anwendungen

Im Folgenden wird eine Übersicht über den aktuellen Stand von VR Applikationen gegeben, die eine starke Verbindung zur Musik besitzen und im musikwissenschaftlichem Kontext analysiert werden können. Dazu zählen die Vorteile, Effekte und Resultate aus den Bereichen der Musiktherapie, der musikalischen Erziehung, der Musikindustrie und der Videospielindustrie.

4.2.1: Musikalische VR Anwendungen im Bereich der Medizinforschung

Eine Studie von Slater et al. (2010) argumentiert, dass die Technologie soweit fortgeschritten sei, um den menschlichen Körper und dessen emotionale Ausdrucksweisen in der VR potentiell korrekt darstellen zu können. Somit könne eine immersive virtuelle Realität der Forschung des menschlichen Körpers und seiner Erfahrungen dienen, da die Möglichkeit gegeben ist, experimentelle Testversuche in einem zuvor noch nie möglichen Rahmen durchzuführen. Verschiedene andere Studien ergreifen ähnliche Maßnahmen und befürworten die Nutzung von Musik in der VR für Therapien im medizinischem Bereich. Musikalisch geführte virtuelle Umgebungen haben in solchen Studien zu einem erfolgreichen Ergebnis hinsichtlich der bestimmten Therapieweise geführt. So wurden folgende positive Resultate in Studien gefunden:

- Besserer Umgang mit Kindern während der Therapie von Autismus (Zhu et al., 2011).
- Positiver Einfluss auf Verspieltheit von Kindern mit infantiler Zerebralparese (Reed, 2004).
- Positive Einflüsse auf die Motivation von Kindern mit Hilfe von VR (Harris & Reid, 2005).
- Positive Beeinflussung von Gedächtnisbeeinträchtigung bei älteren Personen (Optale et al., 2010).

- Kommunikationsverbesserung, Verbesserung der Vorstellungskraft und sozialer Interaktion bei autistischen Kindern mit Hilfe von Musiktherapie (Lima & Castro, 2012).
- Erfolgreiches Eingreifen bei Verhaltens- und psychologischen Symptomen von Demenz (Raglio et al., 2012).
- Rehabilitation kognitiver und gedächtnisfördernder Prozesse bei Personen mit neurologischer Gedächtnisschwäche (Optale et al., 2001).
- Rehabilitation von infantiler Kinderlähmung (Correa et al., 2009).
- Rehabilitation von kognitiven und motorsensorischen Prozessen bei Lernschwächen (Correa et al., 2007).

Im Rahmen der musikbezogenen VR Anwendungen im medizinischen Bereich kann man zudem verschiedene akademische Studien finden, die Fortschritte im Bereich der Angsttherapien mit Hilfe ebensolcher Anwendungen verzeichnen konnten. So haben z.B. Molet et al. (2013) ein Trainingssystem für Tanz auf Basis von Motion-Capture Technologie in VR entworfen, das den Tanzschülern helfen soll ihre Ängste und Aversionen zu überwinden. Zudem haben McCann et al. (2014) die Ergebnisse der sogenannten Virtual Reality Exposure Therapy (VRET) aus mehreren Studien untersucht und sind zu dem Schluss gekommen, dass VRET eine mögliche Hilfestellung bei Angstzuständen leisten kann. In einer Studie von Bissonette et al. (2016) ging hervor, dass VRET auf einem Zeitraum von drei Wochen schon dabei helfen kann bei Musikern die Publikumsangst zu mindern. Mit Hilfe von virtuellen Umgebungen, in denen Zuhörer repräsentiert wurden, konnten Messergebnisse erzielt werden, die eine Abnahme von Aufführungsangst und eine Verbesserung der Aufführungsqualität nachweisen.

4.2.2: Musikalische VR Anwendungen im Bereich der Ausbildung und dem Bildungswesen

Wie schon weiter oben erwähnt hat die VR Technologie die Möglichkeit den Bildungs- und Lernstandard deutlich zu verändern und vielleicht sogar eine „Bildungsrenaissance“ hervorzurufen (Psotka, 2013; Bailenson, 2017). Im Bereich der Bildung können Musikanwendungen für VR ebenso den Standard verändern. In einer Studie von Miskovic et al. (2008) wurde herausgefunden, dass die Darbietung von Musik bei der Übung von laparoskopischen VR-Trainingssimulationen für Chirurgen einen beruhigenden Effekt auslösen konnte. Mit Fokus auf die musikalische Erziehung können mehrere Studien die Nützlichkeit von musikbezogenen VR-Anwendungen nachweisen. Serafin et al. (2016) z.B. beschreiben die Nutzung von musikalischen Instrumenten in der VR (engl. virtual reality musical instruments; VRMI) und deren Nutzen für das Erlernen von neuen Instrumenten in der Realität. Andere Studien in diesem Bereich befassen sich mit folgenden Themen:

- Erstellung einer immersiven VR-Umgebung, in der ein Orchester mit Hilfe eines Controllers dirigiert werden kann, sodass Anfänger einen einfacheren Einstieg ins Dirigieren haben (Schertenleib et al., 2004)
- Hilfestellung beim Erlernen des Notenlesens und Verbesserung der Motivation von Klavierschülern in einer virtuell-musikalischen Klassenraumumgebung (Chow et al., 2013)
- Erfolgreiche Führung von Tanzschülern innerhalb eines VR Trainingssystems zur Verbesserung von Tanzfertigkeiten mit Hilfe eines virtuellen Tanzlehrers (Chan et al., 2011)
- Immersive Orchestererfahrungen in VR zur Schulung des musikalischen Gehörs. Hierbei wird der akustische Klang eines Instruments so auralisiert, dass es akustisch

hervorgehoben wird, sobald der visuelle Fokus des Nutzers auf ihm liegt (Janer et al., 2016).

4.2.3: Musikwiedergabe, Visualizer und Musikvideos

Naveed et al. (2017) argumentieren, dass die Musikindustrie durch ein Wiederaufleben von Live Konzerten und der erhöhten Popularität von Streaming-Diensten eine positivere Zukunftsfähigkeit, bzw. Nachhaltigkeit gewinnen konnte. Dabei halfen digitale Entwicklungen und Innovationen wie z.B. künstliche Intelligenz, Big Data, Social Media und auch Virtual Reality. Wie schon in Punkt 4.1.1 erwähnt, werden Live-Konzerte für die VR übertragen und sorgen somit für „Infinite Seat“ Verkäufe. Bestimmte Programme und Anwendungen, die solche Live-Konzerte und generell das Abspielen und Streamen von Musik in der VR ermöglichen, werden zur Verdeutlichung der Wichtigkeit des Mediums im Folgenden aufgelistet. Dazu zählen eine Reihe von Musikwiedergabeanwendungen und Visualisierungsprogrammen (engl. visualizers) und Vorreiter der ersten VR Musikvideos von bestimmten Künstlern. Eine Übersicht über alle Anwendungen zur Musikwiedergabe und Visualisierung findet sich in Tabelle 2 (siehe Anhang B).

Harmonix Music Visualizer: Ein Visualizer für die PlayStation VR, der den Benutzer in eine von vier auswählbaren Welten transportiert, in der die Musik aus der PlayStation Bibliothek auf die Umgebung reagiert. Zudem lässt sich in einer der Welten ein Werkzeugkasten von verschiedenen Pinseln und Formen aufrufen, mit dem man mittels Controller in die virtuelle Umgebung zeichnen kann. Das Gezeichnete reagiert dabei auf den Rhythmus der gehörten Musik (Clements, 2016).

Jaunt VR: Gegründet in 2013 und mittlerweile von Verizon Media aufgekauft, war Jaunt einer der Vorreiter von Virtual Reality 360° Content. Mit dem Ziel das Netflix für die VR zu werden, entwickelte das Startup Unternehmen eine 360° Kamera und veröffentlichte verschiedene Videoproduktionen. Darunter zählen auch Musikvideos und Live Auftritte von Paul McCartney und anderen Künstlern. Ende 2018 entschied die Firma sich nur noch auf Augmented Reality zu konzentrieren und wurde schließlich von Verizon aufgekauft. Die Jaunt VR App ist jedoch bis heute immer noch auf allen VR Geräten erhältlich. (Bonifacic, 2019; Bezmalinovic, 2019)

GrooVR: Ein Musikvisualisierungsprogramm entwickelt von Presence Labs, ähnlich wie der Music Visualizer von Harmonix, aber für Oculus Geräte. Die Umgebung reagiert passend auf die Musik und es gibt eine reiche Anzahl an verschiedenen Szenen, wie z.B. eine Bootsfahrt oder eine Meditationsumgebung. Eigene Songs lassen sich via Spotify und SoundCloud importieren und die virtuelle Umgebung wird in Echtzeit mit den passenden Effekten versehen. In letzter Zeit gab es jedoch mehrere empörte Nutzer, die sagen, dass die App nicht mehr komplett funktionsfähig sei. Auch wurden seit Mitte 2017 keine Social Media Beiträge der Firma mehr veröffentlicht. Wie es mit der App weitergeht wird sich demnach in Zukunft zeigen (Mixed, 2015; TechAU, 2015).

VRTIFY: Eine App für Oculus, Gear VR und Google Cardboard die ähnlich wie Jaunt VR (Musik)Videos, Musik Streaming und Live Konzerte abrufen lässt. Plattformen wie YouTube und Spotify werden unterstützt und das Abrufen eigener Playlists wird auch zugelassen. Zur Musikkwiedergabe werden visualisierte und gefilmte Umgebungen wie ein sonniger Strand oder ein ausbrechender Vulkan angeboten (Oculus.com, 2019).

TheWaveXR (früher TheWaveVR): Eine interaktive Live Musik Erfahrung, in der man seinen eigenen Avatar erstellen kann, mit Objekten interagieren kann, Freunde oder neue Leute treffen und eine Party erleben kann, ohne das eigene Haus zu



Abb. 12: VR-Konzert von Imogen Heap in TheWaveXR (Screenshot von TheWaveXR).

verlassen. Jede Woche gibt es einen festen Zeitplan mit Shows von DJs und Liveacts, an denen man allein oder mit Freunden teilnehmen kann. Künstler und DJs können ihre eigene VR Umgebung je nach Belieben gestalten, interaktive Addons zur Verfügung stellen und ihre

Musik zur Schau stellen. Der Umgebungsgestaltung sind keine Grenzen gesetzt; ein Nachtclub, das Weltall oder sonstige psychedelische Umgebungen können erstellt werden. Bekannte Künstler wie Imogen Heap oder Lindsey Sterling haben spezielle VR Konzerte in Zusammenarbeit mit TheWaveXR

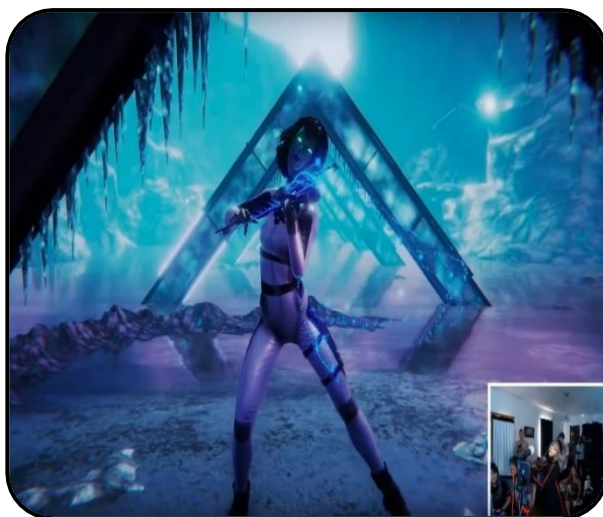


Abb. 13: VR-Konzert von Lindsey Sterling in TheWaveXR (Brown, 2019)

erstellt, bei denen die Nutzer sich entweder ein aufgezeichnetes Event ansehen können (z.B. Imogen Heap, siehe Abb. 12) (Deahl, 2016) oder ein Konzert live miterleben können (Lindsey Sterling, siehe Abb. 13). Im letzteren Fall konnten die Nutzer sogar teilweise mit Sterling interagieren

(Dredge, 2019). Die App kann seit April 2017 aus dem Steam Store als Beta Version heruntergeladen werden.

The Virtual Orchestra: Das Philharmonia Orchestra aus London hat 2017 in Zusammenarbeit mit PlayStation VR eine Anwendung herausgebracht, in der man das Orchester in einer 360° Umgebung erleben kann. Dafür wurde die fünfte Sinfonie von Sibelius aufgezeichnet. Bevor das Konzert losgeht kann man einen Blick auf und in das Southbank Centre in London werfen; dazu gehört ein Blick auf den Fluss Thames, der Umkleideraum des Dirigenten Esa-Pekka Salonen und der Backstage Bereich des Orchesters. Während des Konzerts sitzt man nicht direkt im Publikum, sondern auf einer Sonderposition direkt vor dem Podium des Dirigenten, vor der ersten Reihe der Streicher (Davis, 2017).

4.2.4: Musikspiele/Rhythmusspiele

In diesem Abschnitt wird eine Übersicht aktueller Musik- und Rhythmusspiele für Virtual Reality Geräte gegeben. Da in dieser Sparte schon eine sehr große Auswahl an Anwendungen existiert, wird eine Übersicht der beliebtesten und bestbewerteten Spiele gegeben. In Tabelle 3 gibt es eine detaillierte Übersicht über die genannten Spiele (siehe Anhang C).

Beat Saber: Ein Rhythmusspiel, bei dem man in der VR ein Lichtschwert in jeweils einer Hand hält und im Rhythmus eines bestimmten Lieds heranfliegende Blöcke zerschlagen muss. Schlagrichtung, Farbe der Blöcke und ausweichbare Hindernisse sorgen für eine bewegungsreiche Interaktion. Nach jeder Runde wird ein Highscore aufgestellt, der je nach im Rhythmus getroffenen Blöcken höher wird und den man in einer neuen Runde versuchen kann zu schlagen. Dieser Highscore wird dann in einer globalen Tabelle veröffentlicht, die Ansporn gibt Platz 1 zu erreichen (siehe <https://scoresaber.com/global>)

Der Soundtrack zum Spiel richtet sich vor allem auf elektronische Tanzmusik, die vom Komponisten Jaroslav Beck

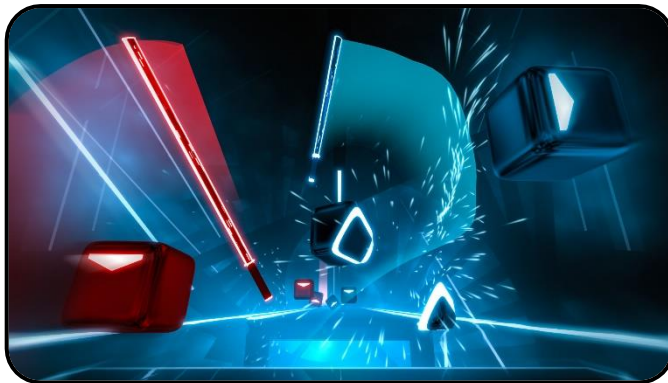


Abb. 14: Rhythmische Laserschwert-Action in Beat Saber (Steam, 2017).

eigens für das Spiel komponiert wurde. Die 19 Songs aus dem Soundtrack können jedoch mit Computer verbundenen VR Systemen um eigene Songs erweitert werden, während Nutzer der

Oculus Quest und PlayStation VR auf Add-on Inhalte mit neuen Songs warten müssen (Stapleton, 2019).

Rockband VR: Das Spiel Rockband ist schon aus früheren Veröffentlichungen für Heimkonsolen wie die PlayStation und



Abb. 15: Rock Band VR (Hamilton, 2017).

Xbox360 bekannt. Dabei galt es mit Hilfe bestimmter Knöpfe auf Plastikaccessoires in Form einer Gitarre oder eines Schlagzeugs die angezeigten Noten auf dem Bildschirm im Rhythmus eines Lieds zu

treffen. Für Rockband VR hat Entwickler Harmonix das Konzept übernommen und den Nutzer an die Position eines auswählbaren Bandmitglieds auf der Bühne platziert, der direkt vor einem großem Publikum das gewählte Lied so perfekt wie möglich versucht zu spielen. Jedoch kann man in der VR nur noch Gitarre spielen; andere Instrumente sind nicht mehr verfügbar. Wenn man also eine virtuelle Gitarre in der Hand hält, muss man versuchen bestimmte „Akkordgriffe“ zu greifen, die aus einer Kombination der fünf Knöpfe auf der

Plastikgitarre zu drücken sind. In der virtuellen Welt leuchten diese Knöpfe auf, sobald sie gedrückt werden müssen und dazu gibt es eine „Akkordübersicht“, die in Form einer Tabelle über den simulierten Fans schwebt. Die Akkordgriffe wurden mit Bedacht programmiert: somit fühlt sich eine Kombination von zwei Knöpfen mit einem unberührten Knopf dazwischen ähnlich an wie ein offener Power-Chord und drei Knöpfe in einer Reihe wie ein A-Dur oder ein D-Dur. Der Soundtrack besteht aus 60 Liedern der Pop- und Rockgeschichte, zu denen Songs von Bands wie z.B. Aerosmith, The Who, Coldplay oder The Black Keys ausgewählt wurden (Hamilton, 2017).

Dance Collider: In Dance Collider wird ein virtueller Gegner gewählt, den man in einem Tanzwettbewerb besiegen muss. Um das zu bewerkstelligen, müssen auf einen zufliegende Bälle mit den Händen im Rhythmus getroffen werden. Die Farbe der Bälle zeigt an ob dabei die linke oder rechte Hand benutzt werden soll, beide Hände gleichzeitig, oder das Halten einer bestimmten Hand notwendig ist. Der Soundtrack besteht ähnlich wie bei Beat Saber aus Songs des EDM Genres. Jedoch können auch eigen ausgesuchte Lieder über den sogenannten Songeditor für das Spiel verwendet werden (Leatham, 2018).

BOXVR: BOXVR gilt als Fitnessspiel mit Rhythmus-elementen. Das Spiel fragt zuerst nach Körpergröße und Gewicht, um nach jeder Runde den Kalorienverbrauch des Nutzers berechnen zu können. Auch in diesem Spiel werden heranfliegende Objekte in der Form von Ballons im Rhythmus mit den VR-Controllern geschlagen. Da sich das Spiel an den Boxsport orientiert, werden vom Nutzer bestimmte Bewegungen der Sportart gefordert – dazu gehören Schläge wie Jabs, Straights, Hooks und Uppercuts. Je besser man die Ballons mit diesen Schlägen im richtigen Rhythmus trifft, desto höher ist der Highscore. Dieser lässt sich auch hochladen und mit anderen Spielern

online in Bestenlisten vergleichen. Die Musik in BOXVR leiht sich viele Titel aus der elektronischen Tanzmusik, kann aber auch hier mit Liedern der eigenen Songbibliothek erweitert werden, denen dann ein automatisch generiertes Workout zugeordnet wird (Schmiedchen, 2019).

Dance Central: Anders als bei Dance Collider muss man in Dance Central versuchen bestimmte „Moves“ im Rhythmus eines Lieds richtig auszuführen. Diese Bewegungen werden einem im Spiel beigebracht und auf einer virtuellen Säule neben dem Geschehen angezeigt. In der virtuellen Welt kann ein Avatar nach Belieben angepasst werden, eine Location zum Tanzen ausgesucht und über das virtuelle Smartphone beliebige Songs abgespielt werden. Ungefähr 30 Songs von Interpreten wie Technotronic, Flo Rida, Justin Bieber und anderen aus der EDM Szene sind im Spiel abrufbar (Oertel, 2019).

4.2.5: Musikpraxis und Recording Software

Unter den VR-Anwendungen gibt es auch eine Auswahl an Programmen, mit denen man auf kreative Weise Musik arrangieren, aufnehmen und abspielen kann. Auch hierfür wird in Tabelle 4 eine Übersicht von ausgewählten Anwendungen gegeben (siehe Anhang D).

Die virtuelle Realität hat das Potential die Weise der Musikkreation und -aufnahme von Grund auf zu verändern. Wenn es die Möglichkeit gäbe seine persönliche Digital Audio Workstation (DAW) in einer virtuellen Welt auszuführen, ohne den Gebrauch von Keyboards, Mäusen, etc., könnte diese Art von kreativer Musikerstellung einen immersiveren Effekt haben als je zuvor. Unter den in den vorherigen Punkten genannten Apps findet man meist nur eine virtuelle Entwicklung von Spielen und Visualisierungen. Die folgenden

Anwendungen zeigen jedoch, wozu VR im Bezug auf Musikkreation in Zukunft möglich wäre.

Exa – The Infinite Instrument: In Exa kann der VR Nutzer seine eigene Musik komponieren und aufnehmen. Dem Nutzer stehen musikalische Formen, sogenannte „Ringers“ zur Verfügung, die einen Klang von sich geben, sobald man mit ihnen interagiert. Interagieren kann man mit den sogenannten „Playing Tools“, worunter sich ein Schlägel, ein Violinbogen oder ein Annäherungswerkzeug befinden. Je nach Schnelligkeit oder Winkel der Interaktion von Werkzeug mit den Ringers kommt ein unmittelbarer, verzögerungsfreier Klang zustande. Den Klang der durch Ringer erzeugt wird, kann mit Hilfe einer Samplebibliothek geändert werden – Schlagzeug, Klavier, Gitarre, Synthesizer und andere Instrumente können somit erstellt werden. Die Klangbibliothek enthält über 1000 verschiedene Klänge und kann mit eigen importierten Klängen erweitert werden. Ebenso können die Klänge in Tonlage verändert werden und den Instrumenten bestimmte Töne, Intervalle und Skalen zugeordnet werden. Die Aufnahmefunktion lässt den Musiker angepasste Loops der Instrumente erstellen und lässt ihn weitere Loops hinaufschichten. Mit einem Aufnahme-Interface mit Abspiel- und Aufnahmefunktionen, Metronom und abänderbarer Lautstärke einzelner Tracks, kann somit eine mehrspurige Aufnahme erstellt werden. Diese können wiederum in WAV-Dateien, MIDI Dateien und anderen Formaten gespeichert werden.

Die Anwendung befindet sich seit der Veröffentlichung noch in der „Early-Access“ Phase, d.h. es werden ständig Updates mit neuen Funktionen herausgebracht, die den Wünschen der Nutzercommunity nachgehen (Steam, 2017).

Track Lab VR: Track Lab VR lässt Nutzer des PlayStation VR Headsets zum einen eine Anzahl an Rhythmusrätsel lösen und

zum anderen eigene Kompositionen erstellen und aufnehmen. Der Rätselmodus kann auch als Einführung in den Kurationsmodus gesehen werden, denn mit jedem Levelaufstieg lernt man neue Instrumente in Form von unterschiedlichen Blöcken kennen, die auf einem Raster auf eine passende Weise abgelegt werden müssen. Im Kurationsmodus kann aus einer Toolbox von verschiedenen Sampleblöcken aus unterschiedlichen Musikrichtungen ein Musikstück erstellt werden. Dabei kann man Samples übereinanderschichten, Effekte einbinden und das Tempo verändern. Leider sind die erstellten Kurationen nicht speicherbar oder konvertierbar. Track Lab VR ist von daher am besten für Einsteiger und Hobbymusiker geeignet (Hills-Duty, 2018).

Tribe XR DJ School: In dieser VR-Anwendung dreht sich alles um die Kunst des „DJing.“ Dem Nutzer steht ein hochmodernes DJ Mischpult mit Vierkanalmixer zur Verfügung, eine große Auswahl an Tracks und die Möglichkeit eigene Tracks und Beats zu gestalten. Beatmatching (Klangsynchrisation), Phasing, EQing und andere Techniken können mit Hilfe von integrierten YouTube Videos von DJ Ellaskins, einer der beliebtesten DJ Mentoren, erlernt werden. Die DJing Session kann zudem mit Hilfe der kostenlosen Screen-Capturing Anwendung OBS aufgezeichnet werden. Tribe XR DJ School hat zudem eine soziale Funktion: Freunde, die auch ein VR Headset besitzen, können zu der Session eingeladen werden und können dem Geschehen beiwohnen. Dabei kann man über Mikrophon miteinander kommunizieren und miteinander Musik machen. Zusätzlich zu den aufgezeichneten Tutorials lassen sich über die Anwendung auch Lehrstunden für das DJing buchen – für 80\$ die Stunde kann ein Experte der Pyramind Music School dem anstrebenden DJ eine Privatstunde geben (Carlton, 2019).

Lyra VR: In Lyra VR lassen sich, ähnlich wie in Exa, Songs aus einer vorhandenen Sample Bibliothek erstellen, die auch um eigene Samples erweitert werden kann. Anstelle von den in Exa genutzten Ringers benutzt man in Lyra jedoch hauptsächlich ein schlagzeugähnliches Interface, mit dem man die Beats erzeugen kann, und ein Keyboard-Interface für alle generierten Klänge anderer Instrumente. Beim Spielen der Instrumente werden sogenannte „Nodes“ erstellt, das sind Knotenpunkte, die die gespielten Töne repräsentieren. Diese Nodes lassen sich beliebig im virtuellen Raum verteilen, verknüpfen, mit Tonhöhe, Akkorden und Effekten versehen und individuell bei Anschlag mit dem VR-Controller anspielen. Sobald man zwei oder mehrere Nodes miteinander verknüpft hat, lassen sich die in den Nodes gespeicherten Klänge im Loop abspielen (visualisiert durch einen auf dem Netz der Knoten entlanglaufenden Zeitimpuls). Kombiniert man somit verschiedene Samples der Schlagzeugbibliothek und der anderen Instrumente in einem Knotennetzwerk, kann man einen Song erstellen, den man in Echtzeit nach Belieben anpassen und abspeichern kann. Ein Export der erstellten Kreation ist im WAV-Format möglich. Wie auch Exa befindet sich Lyra VR im Steam Store noch in der „Early-Access“ Phase, das heißt an der finalen Version wird noch gearbeitet und Updates könnten Verbesserungen und Erweiterungen der Anwendung mit sich bringen (Crute, 2019).

The Music Room: The Music Room ist wahrscheinlich eins der am weitesten fortgeschrittenen Anwendungen in dieser Liste. Die Anwendung spiegelt ein virtuelles Studio wider, in dem eine Anzahl an Instrumenten als MIDI Controller im Zusammenhang mit einem beliebigen DAW auf dem Heimcomputer verwendet werden können. The Music Room kann deshalb auch als virtueller MIDI Controller bezeichnet werden. Innerhalb der Simulation steht dem Nutzer ein achtspuriges DAW der

Firma Bitwig zur Verfügung, das hauptsächlich zum Abspielen, Loopen, Aufnehmen und als MIDI Plugin Interface verwendet



Abb. 16: Virtuelles Schlagzeug in „The Music Room“ (Nafarrete, 2016).

werden kann, das aber vom Nutzer mit anderen DAWs ausgetauscht werden kann. Die drei Hauptinstrumente der Anwendung belaufen sich auf ein Schlagzeug, eine „Laserharfe“ und eine Akkordharfe. Nachdem man

sich ein von drei möglichen Räumen ausgesucht hat, bekommt man je nach Instrument entweder Sticks oder Plektren in die virtuelle Hand. Die Laserharfe ist ein Instrument, das Laser aus dem Boden strahlt, welche mit bestimmten Tönen versehen sind. Die Laserharfe kann mit beliebigen Samples belegt werden und die Klänge können mit Hilfe der Controller wie z.B. auf einer Gitarrensaite nach oben oder unten gezogen werden. Die Akkordharfe dagegen kann rhythmisch angeschlagen werden, wobei mit den Knöpfen des Controllers zwischen bestimmten Dreiklängen oder Vierklängen gewechselt werden kann. Der Controller kommt auch beim Schlagzeugspielen zur Geltung – bei gehaltenen Tasten können Rahmenschläge, geschlossene Hi-Hat oder Effekte erzeugt werden. Darüber hinaus wird durch positionelles Tracking je nach genauen Aufschlagspunkt ein anderer Ton auf Snare, Tom oder Becken



Abb. 17: Chord Harp in „The Music Room“ (Crute, 2019).

erzeugt (z.B. erzeugt die Glocke der Becken einen höheren Klang als ein normaler Schlag auf das Becken). Auch ist die

Geschwindigkeit, bzw. Stärke des Schlags maßgebend für den erzeugten Klang. Bekannte Marken der Schlagzeugindustrie können ausgewählt werden, wie z.B. Pearl oder Ludwig, und Zildjian oder Sabian für die Becken. Jedes Schlagzeugset hat eine unterschiedliche Anordnung und kann mit einem verfügbaren VST-Plugin im DAW verbunden werden. Die direkte Verbindung zum DAW lässt den Nutzer somit einen vollständigen Song in der VR erstellen. Der hohe Preis (siehe Tabelle 4) und die Exklusivität für die HTC Vive mögen den Normalverbraucher abschrecken, kann aber für einen professionellen Musiker eine neue Herausforderung darstellen. Darüber hinaus soll The Music Room auch für andere VR-Geräte erscheinen, sobald diese wie die Vive über Touch-Controller verfügen (Forrest, 2016; Crute, 2019).

4.2.6: Ambisonics Plugins für lineare VR-Anwendungen

Für lineare VR Anwendungen wird die Audio-Produktion von einem Toningenieur erstellt, der mit Ambisonics aufgenommenen Sounddateien und DAW eine korrekte Abmischung für die binaurale Wiedergabe oder die Wiedergabe über Lautsprecher erzeugt. Essentiell für das Abmischen in VR ist, eine korrekte Positionierung der Schallquellen im virtuellen Raum einzurichten, sodass das Gesehene mit dem Gehörten übereinstimmt (Susai et al., 2016, S. 4).

Im Folgenden werden verschiedene Plugins für die Kreation von Ambisonics-Tonmischungen innerhalb eines DAWs aufgelistet, die aus einer Vielzahl verschiedener Produkte mit unterschiedlichen Preisbereichen und Funktionen ausgesucht wurden.

Facebook 360 Spatial Workstation & Audio Ease 360pan:

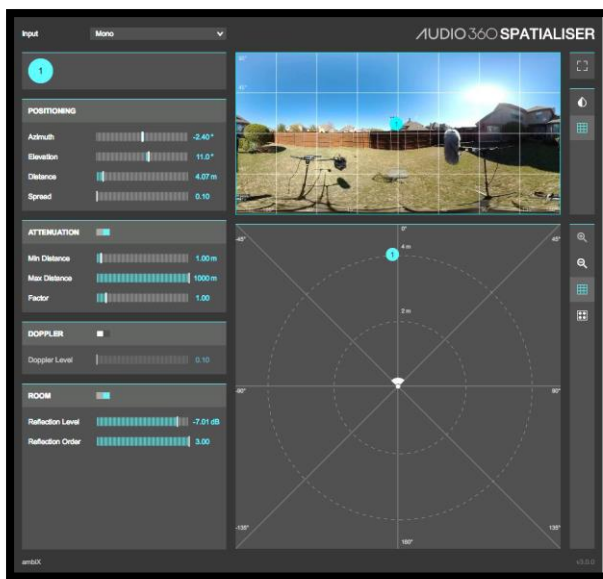


Abb. 18: Facebook 360 Spatialiser
(Facebook 360, 2018, S. 6).

Professionelle DAWs wie Pro Tools, Cubase oder Reaper unterstützen das Hinzufügen von externen Plugins wie die Facebook 360 Spatial Workstation oder die Audio Ease 360pan Suite. Hiermit können aufgenommene Mono-, Stereo- oder 4.0-Spuren genutzt werden, um sphärische Videos im Ambisonics Format zu

erstellen (bei Facebook 360 auch 5.0, 6.0 und 7.0). (Facebook 360. 2018, S. 8; Audio Ease B.V., o.D.b, S.1). Dabei wird ein Plugin für das 3D-Panning benutzt, um bestimmte Objekte im Raum zu positionieren. Aufnahmen, die schon im Ambisonics B-Format erstellt wurden, können auch eingebunden und mit eventuellen Korrekturen versehen werden. Ein Plugin für das Monitoring erlaubt zudem eine binaurale Synthese der Ambisonics-Master-Spur. Damit kann eine in Echtzeit manipulierbare binaurale Kopfhörerausgabe erstellt werden, die mit einer verstellbaren Blickrichtung in einem 360° Videoausschnitt angepasst werden kann.

Die Facebook 360 Spatial Workstation und die Audio Ease 360pan Suite unterscheiden sich in bestimmten Punkten:

- Die Spatial Workstation ist kostenlos, während die 360pan Suite für ca. 300€ käuflich zu erwerben ist (Audio Ease B.V., o.D.a).
- Die 360pan Suite kommt mit integriertem Faltungshall und bereits aufgenommenen Impulsantworten eines

Klangfeldmikrofons im Ambisonics B-Format (Audio Ease B.V., o.D.b, S. 15).

- Die Spatial Workstation bietet ein Raum-Modelling Werkzeug an, mit dem man die Reflektionswege von bis zu drei Reflektionen modellieren kann (Facebook 360, 2018, S. 7), besitzt jedoch keinen eigenen Faltungshall.
- In der 360pan Suite können alle Schallquellen im Haupt-Videofenster zum gleichen Zeitpunkt angezeigt und eine Automation von Lautstärke, Position, Hallanteilen, sowie Hallausdehnung einer bestimmten Schallquelle erstellt werden kann (Audio Ease B.V., o.D.b, S. 1-2).
- Die Spatial Workstation unterstützt eine Verbindung mit der Oculus Rift und HTC Vive für Windows und Oculus Rift DK 1 und DK2 für MacOS, während die 360pan Suite über einen erwerbbaaren Tracker verfügt (ca. 36 €), der an die genutzten Kopfhörer angebracht werden kann, um die Kopfbewegungen in Echtzeit zu simulieren (Facebook 360, 2018, S. 2-3; Audio Ease B.V., o.D.b, S. 7).

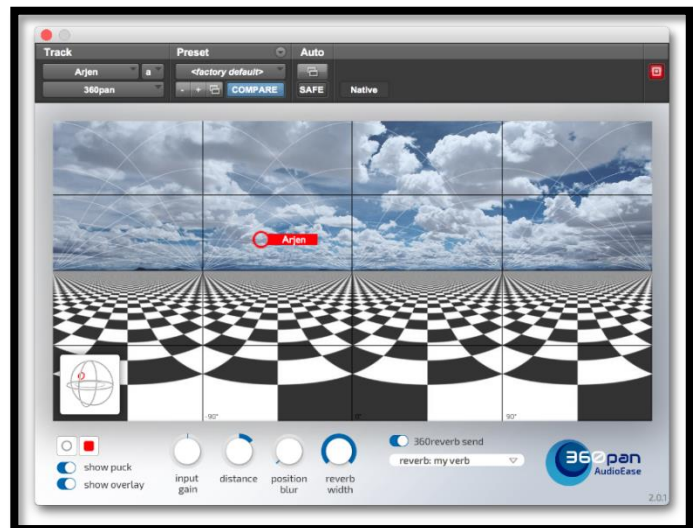


Abb. 19: Audio Ease 360pan
(AUDIO EASE B.V., o.D.a).

Zudem ist es in beiden Anwendungen möglich durch einen „Position Blur“ (360pan Suite), bzw. einem „Spread“-Regler (Spatial Workstation) Punktschallquellen zu diffusen und dadurch als dichter empfundenen Schallquellen zu verändern (Audio Ease B.V., o.D.b, S. 5; Facebook 360, 2018, S. 7). Dadurch können z.B. Monospuren gefühlt mittig im Kopf

verankert werden, die sich nicht von Kopfbewegungen beeinflussen lassen. Beide Plugins unterstützen Ambisonics Abmischungen bis zur 3. Ordnung (16 Kanäle) (Audio Ease B.V., o.D.a; Facebook 360, 2018, S. 1).

DearVR: Das DAW-Plugin DearVR von der Firma Dear Reality ist



Abb. 20: DearVR Plugin (Dear Reality, o.D.).

ein weiteres Werkzeug um Ambisonics für die VR abzumischen. Das Plugin besteht aus einer Kombination von 3D-Panner, einem inkorporierten Faltungshall und einem Raummodell für Reflektionen (Dear Reality, 2019). In diesem Plugin gibt es keinen abbildbaren Videobildschirm wie bei der Facebook 360 Spatial Workstation und Audio Ease 360pan, sondern einen 3D-Panner, der über ein kartesisches und ein polares Koordinatensystem verfügt. Ersteres wird dafür genutzt den Ort des Schallereignisses beliebig zu verschieben und letzteres, um die Winkel und Abstände zu verändern. Die Achsen lassen sich aufgrund des 2D Sichtfelds dabei nach Belieben in Relation setzen (X zu Y, X zu Z, Y zu Z). Die Verdeckung einer Schallquelle durch ein bestimmtes Objekt kann simuliert werden, indem man den „Occlusion“-Regler verstellen kann und somit Punktschallquellen mit einem gewissen Grad an Diffusität bestücken kann (Dear Reality, 2019, S. 8). Zudem sind ein Ambisonics-Faltungshall und ein veränderbares Raummodell im DearVR Plugin einsetzbar.

Ambisonics der 1. bis zur 3. Ordnung sind möglich, wobei mehrkanalige Signale auf separaten Mono-Spuren einzeln als Punktschallquelle bearbeitet werden müssen (Dear Reality, 2019, S. 13). Der Preis des Plugins beläuft sich auf 349 \$ (ca. 313 €; Dear Reality, o.D.).

Blue Ripple Sound: Blue Ripple Sound stellt verschiedene Plugins für HOA her, worunter der „O3A Core“ als kostenloses Plugin für Ambisonics bis zur 3. Ordnung hergestellt wurde. Darin ist ein 3D-Panner, Visualisierer (jedoch ohne direktem Videobezug), Decoder und Konvertierer enthalten, sowie

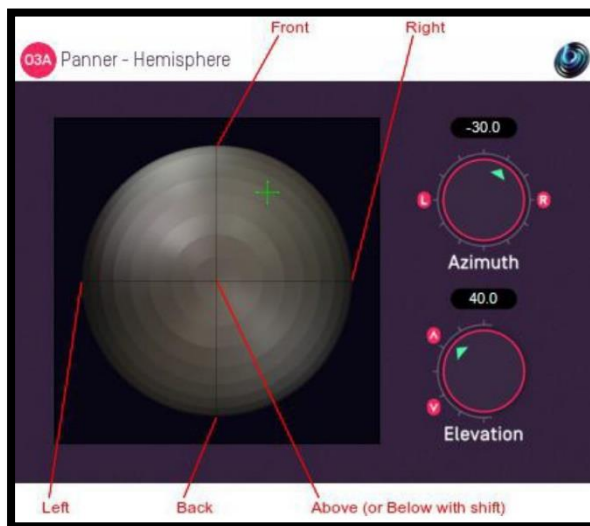


Abb. 21: Hemisphärischer Panner von Blue Ripple Sound (Blue Ripple Sound, 2018, S. 22).

virtuelle Mikrofone und Plugins zur Rotation des Schallfelds. Zusätzlich zum klassischen 3D-Panner mit Azimut und Elevation und einem Panner mit rektangulärer Projektion, wird ein hemisphärischer Panner zur Verfügung gestellt, bei dem auch

Azimut- und Elevationswinkel verändert

werden können (Blue Ripple Sound, 2018, S.47-57). Das „O3A View“ Plugin ist für 349 £ (ca. 406 €; Blue Ripple Sound, o.D.) zu kaufen und bietet eine eigenständige Videoanwendung für HMDs und normale Monitore, die alle filmbaren Formate unterstützt (Blue Ripple Sound, 2018, S. 1). Eine beliebige DAW kann mit der Videoanwendung über eine Netzwerkschnittstelle angeschlossen werden und mit anderen Plugins der Firma kombiniert werden. So können mit Hilfe der Controller der HTC Vive direkt in der VR oder ansonsten am Bildschirm mit der Computermaus z.B. Panning-Automatationen erstellt werden (Blue Ripple Sound, 2018, S.1, 16).

Das „O3A Decoder“ Plugin kann weiterhin für Abmischungen in Ambisonics Format genutzt werden (bis zur dritten Ordnung), aber auch binaural für Kopfhörer. Die Auswahlmöglichkeiten der verschiedenen Decoder belaufen sich dabei auf sechs verschiedene HRTF-Decoder von Blue Ripple Sound, einen MS-Decoder und ein von YouTube angewendeter Decoder im FOA Format (Blue Ripple Sound, 2018, S. 31). Das Plugin ist für 199 £ (ca. 231 €; Blue Ripple Sound, o.D.) erhältlich. Weitere Plugins sind u.a. der „O3A Reverb“ und die „O3A Manipulators“ mit denen weitere Modifikationen und Erweiterungen des Klangs möglich sind (für eine Übersicht siehe: Blue Ripple Sound, o.D.).

4.3 Entwicklungsumgebungen für Virtual Reality

4.3.1: Definition

Virtual Reality Anwendungen werden häufig in Entwicklungsumgebungen erstellt, die generell für die Spieleentwicklung gebraucht werden, da Videospielentwickler die benötigten Fertigkeiten zum Erstellen der Anwendungen bereits besitzen (LaValle, 2017, S. 338). Derartige Spiel-Engines (engl. game engine) versorgen Programmierer, Künstler und Designer mit einer Auswahl an Werkzeugen und Komponenten, die sie für die Spielentwicklung gebrauchen können (Dillon, 2014, S. 87). Dabei werden Aufgaben für das Rendering zur 3D Darstellung von Objekten gelöst, Animationen und graphische Benutzeroberflächen erstellt und Kollisionsphysik, Eingabeparameter, sowie künstliche Intelligenz programmiert (Paul et al., 2012, S. 245). Gleichzeitig wird die Entwicklung von VR-Anwendungen häufig durch eine große Anzahl an Plugins von Drittanbietern, die in der Game Engine oder im Programmcode angewandt werden können, „Middleware“ (siehe Punkt 4.3.4) und SDKs (engl.

software-development-kit) von VR-Firmen wie Oculus unterstützt (Garner, 2018, S. 270).

4.3.2: SDKs und VR-Anwendungsentwicklung

Die Software Entwicklung für VR-Geräte wird von den Herstellern der Oculus Rift und HTC Vive unterstützt, indem Anhängern der Community ein SDK frei zur Verfügung gestellt wird. Dieses können die Entwickler zur Entwicklung in die Game Engine einbinden. Software Entwicklung für die PS VR bleibt dahingegen firmenintern und ist strikt auf Entertainment gerichtet (Anthes et al., 2016, S. 9).

Virtual Reality Anwendungen werden seit ca. 2016 vor allem auf den Open-Source Plattformen „Unity“ und „Unreal“ erstellt, wobei andere Plattformen, wie z.B. „CryEngine“ oder „Amazon Lumberyard“, begonnen haben eine VR-Unterstützung aufzubauen (für eine aktuelle Übersicht siehe: G2.com, 2019). Da Unity und Unreal die meistgebrauchten Entwicklungsumgebungen sind, wird der Fokus auf diese beiden gelegt. Die Verwendung von Plugins, Middleware und SDKs zur Klanggestaltung hat vor allem das Ziel eine größere Presence im Nutzer hervorzurufen, indem für größtmöglichen Realismus durch Präzision, Tonqualität und Detail der Geräuschkulisse gesorgt wird (Garner, 2018, S. 270). Deshalb sollte bei der räumlichen Klanggestaltung für VR-Anwendungen darauf geachtet werden, dass der Klang mit seiner Herkunft im Raum übereinstimmt und seine Qualität nicht abnimmt. Hintergrundeffekte oder Musik zählen dabei meist zu nicht-diegetischen Elementen, die bei der Mischung des Raumklangs ohne jegliche Räumlichkeit gehalten werden sollten (Susäl et al., 2016, S. 5). Diegetische Klingeffekte oder Dialoge sollten sich jedoch auf die jeweilige Räumlichkeit beziehen und sich von den Kopfbewegungen des Nutzers beeinflussen lassen. Z.B. Sprecherstimmen können somit als künstlerisches Element im Raum verteilt werden (Susäl et al., 2016, S. 7).

4.3.3: Audioeinbindung in Unity und Unreal

Was die Audioeinbindung in die Spiele-Engines betrifft, kann man in Unity eine Audioquelle an ein beliebiges „GameObject“ anheften, welches wiederum vom „SpielerObjekt“ wahrgenommen und an die Lautsprecher weitergesendet wird (Murray, 2017, S. 191). Ähnlich ist es auch in der Unreal Engine. Hier erstellt man sog. „Sound-Cues“ von importierten Audiodateien, die man dann modifizieren kann und an bestimmte Spielobjekte oder Events anhängen kann (Busby et al., 2010 S. 24). Unity und Unreal unterstützen alle Kanaltypen von 1.0 bis 7.1, jedoch unterstützt Unreal nur das Wave Format, wohingegen Unity fast alle gängigen Audioformate als Datei akzeptiert (Unity Technologies, 2019a; Epic Games, 2019a). Die eingebundenen Audioquellen können dann mit Hilfe von Parametern der räumlichen Positionierung, Panning und Schalldämpfung modifiziert werden, sodass ein Effekt der Räumlichkeit erzeugt wird (Unity Technologies, 2019b; Epic Games, 2019b). Der Gebrauch von speziellen „Spatializern“, in denen Einstellungen zu Reflektionen und HRTFs angewandt werden können, wird in Punkt 4.3.5 besprochen.

Wie oben schon erwähnt werden VR-SDKs von Firmen wie Oculus und HTC der Community zur Verfügung gestellt. Darin befinden sich auch Audio-SDKs, bestehend aus Werkzeugen, Plugins, Datenbanken und Quelltexten, sodass Programmierer ihrer Programme so individuell wie möglich gestalten und auf Grundlage der gegebenen Werkzeugen aufbauen können (Garner, 2018, S. 270). Audioprogrammierungssoftware wie „PureData“ oder „Max“, in denen visuelle Programmiersprachen (engl. visual programming language; VPL) gebraucht werden, lassen sich ebenfalls als Plugins in Unity oder Unreal integrieren (Garner, 2018, S. 272). Mit dieser Software lässt sich Musik direkt von digitalen Informationen synthetisieren, wodurch sie direkt in die virtuelle Welt integriert werden kann.

4.3.4: Middleware

Der Klang für interaktive VR-Anwendungen wird wie schon erwähnt häufig in Game Engines wie Unity oder Unreal erstellt, jedoch gibt es auch sog. „Middleware“ für Audiodesign (Horowitz & Looney, 2014, S. 123-138). Dies ist im Grunde eine zweite Engine die sowohl eigenständig als auch als Erweiterung mit der Game Engine zusammenarbeitet, also quasi als ein spezielles Werkzeug für Sounddesigner dient. Der Sounddesigner hat in seiner Audio-Middleware mehr Kontrolle über die Modalitäten der Klangprogrammierung, d.h. er hat Zugriff auf inkorporierte Plugins (die auch in den Game Engines oder DAWs funktionieren), ein unabhängiges Interface für separates Sounddesign und kann den Klang direkt in andere Umgebungen importieren. Das fertige Sounddesign wird dann an den Programmierer, der mit der Game Engine arbeitet, weitergegeben (Horowitz & Looney, 2014, S. 124). Die meisten Middleware Programme kommen auch mit einer eigenen graphischen Benutzeroberfläche (engl. graphical user interface, GUI), die der eines DAWs ähnelt (Horowitz & Looney, 2014, S. 125). Hierbei liegt auch der Hauptunterschied zu Audio-SDKs: Die meisten Audio-SDKs basieren auf Quellcode, bieten also damit die Möglichkeit bestimmte Veränderungen im Hauptprogramm auszuführen. Sie lassen sich zudem direkt in Entwicklungsumgebungen einbinden. Audio-Middleware dahingegen bietet ein eigenes GUI, bei dem keine manipulierbaren Programmcodierungen möglich sind, dafür jedoch auch keine Kenntnisse von Programmiersprachen benötigt werden. Darum werden SDKs generell eher von Programmieren genutzt und Middleware eher von Designern (Garner, 2018, S. 272).

In Abbildung 22 wird das Ergebnis der Game Audio Industry Umfrage im Rahmen der jährlichen „Game Music, Sound Design

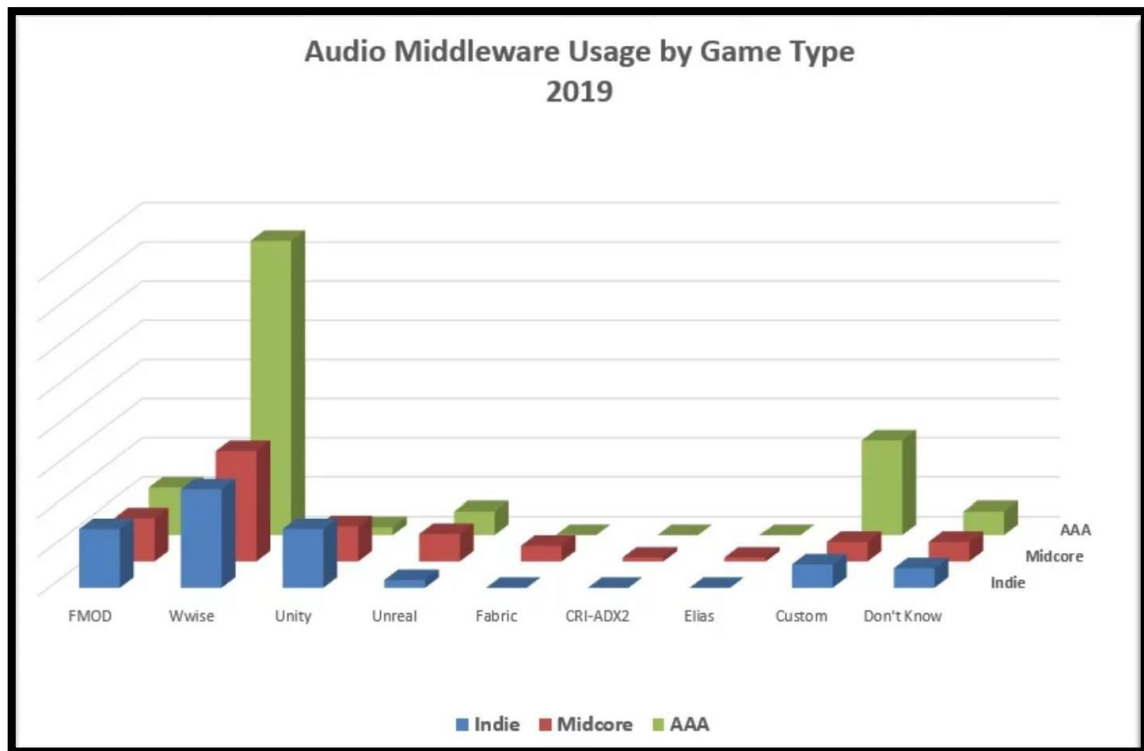


Abb. 22: Gebrauch von Audio Middleware in der Spieleindustrie (Schmidt, 2019).

and Virtual Reality Audio Conference“ (GameSoundCon) gezeigt, die eine Übersicht über Audio Middleware und ihre Gebraucher darstellt. Die drei Benutzergruppen werden als „AAA“ für teure und aufwendige Spielproduktionen, „Midcore“ für professionell entwickelte, jedoch günstigere Spielproduktionen und „Indie“ für günstige, wenig aufwendigere Spielproduktionen definiert (Schmidt, 2019). Das Ergebnis weist auf eine generelle Benutzung von Audio Middleware aller drei Benutzergruppen hin, wobei AAA Entwickler öfter davon Gebrauch machen als die Midcore oder Indie Entwickler. Bei AAA Entwicklungen werden auch mehrfach eigene bzw. angepasste (engl. custom) Sound Engines verwendet. Das Programm Wwise von der Firma Audiokinetic ist einer der meistgenutzten Softwares und bietet eine umfangreiche Auswahl an Optionen zum Erstellen und Einbinden von Klang in VR-Umgebungen. Es unterstützt alle gängigen Kanalformate, alle Konsolen-, Handy-, Computer-, sowie VR-Plattformen und beinhaltet eine Anzahl eingebauter Plugins,

wie Wwise Convolution (Faltungshall), Wwise Reflect (Renderer für frühe Reflektionen) und andere (Audiokinetic, 2019).

4.3.5: Audio-Spatializer mit HRTF Einbindung und SOFA-Format

Für Unity und Unreal lassen sich Spatializer-Plugins in die Engine einbinden, die neben dem gewöhnlichen Audio-SDK der Engine auch die Möglichkeit bieten den Klang räumlich zu manipulieren und mit HRTFs zu verbinden (Gould, 2018). Die HRTFs sind dabei meist aus verschiedenen Datenbanken entnommen, die im sog. SOFA-Format (engl. spatially oriented format for acoustics) gespeichert sind.

Das SOFA Format wurde 2013 entwickelt und gilt seit 2015 als Standardformat für die Speicherung von geometrischen akustischen Daten von HRTFs und BRIRs (binauralen Impulsantworten) (Majdak et al., 2013; Jenny, 2018, S. 49). D.h. alle akustischen Informationen werden bei Messungen von HRTFs und BRIRs in einer Datei mit der Endung „.sofa“ gespeichert. Zudem ist das Format

*„mit dessen klarer und einfacher Struktur leicht erweiterbar, maschinenunabhängig lesbar auf jeder Plattform, für effizienten Netzwerktransport datenkomprimiert (gezippt) und enthält zurzeit alle öffentlich verfügbaren HRTF-Datenbanken“
(Jenny, 2018, S. 49).*

Die Datenbanken, auf denen die Dateien gespeichert sind, lassen sich über www.sofaconventions.org aufrufen und herunterladen.

In der Unreal Engine sind Plugins von Oculus, Steam und Google schon automatisch integriert und lassen sich über Edit > Plugins > Audio aktivieren. In Unity ist bereits ein Audio Spatializer im Audio-SDK der Firma enthalten. Man kann sich andere Plugins auf den Internetseiten der Hersteller herunterladen und über Assets > Import Package > Custom Package importieren. Daraufhin kann man die Plugins über Edit > Project Settings > Audio > Spatializer Plugin

auswählen. Dazu gehören z.B. Plugins von Oculus, Steam, Google und anderen Firmen (für eine Übersicht siehe Jenny, 2018, S. 47). Die HRTF Einbindung in diese Spatializer ist jedoch meist auf ein HRTF-Paar fixiert und ist nicht veränderbar. Jenny et al. (2018) haben daraufhin ein Plugin für die Unity Engine veröffentlicht, mit dem sich verschiedene HRTFs im SOFA-Format einbinden und in einer VR-Umgebung in Echtzeit verändern lassen. Im Oktober 2018 wurde dem Steam Audio SDK zudem die Möglichkeit gegeben individuelle HRTFs im SOFA-Format einzubinden. Dazu schrieben sie in einem Blog-Post:

„In the spatial audio community, there is a lot of interesting, ongoing research and experimentation that aims to understand the trade-offs involved in using customized (or personalized) HRTFs. With the latest release of Steam Audio 2.0-beta.16, we want to provide developers with an efficient tool that enables them to conduct experiments and research studies. Our hope is that new knowledge in this domain can be created faster, and can be shared with the VR and gaming communities more easily“
(Steam Audio, 2018).

Ein Bestreben für die Forschung mit individuellen HRTFs ist daraus deutlich erkennbar. Nach einem Hörversuch von Jenny (2018) und der Implementation des Entwickelten SOFA-Spatializers konnte festgestellt werden, dass bestimmte Klänge mit der Einbindung von individuellen HRTFs im Vergleich zu generischen, nicht-individuellen HRTFs als „einfacher lokalisierbar, externalisierter sowie in der Klangfarbe natürlicher und realitätsnäher bewertet“ wurden (Jenny, 2018, S. 120). Das Gefühl der Presence wird demnach deutlich gesteigert. Ob andere Hersteller derartige Implementationsmöglichkeiten zur Verfügung stellen werden ist noch ungewiss aber nicht unwahrscheinlich.

Abb. 24, entnommen aus Garner (2018, S. 271), zeigt eine Übersicht zum Audioimplementierungsprozess in VR-Anwendungen.

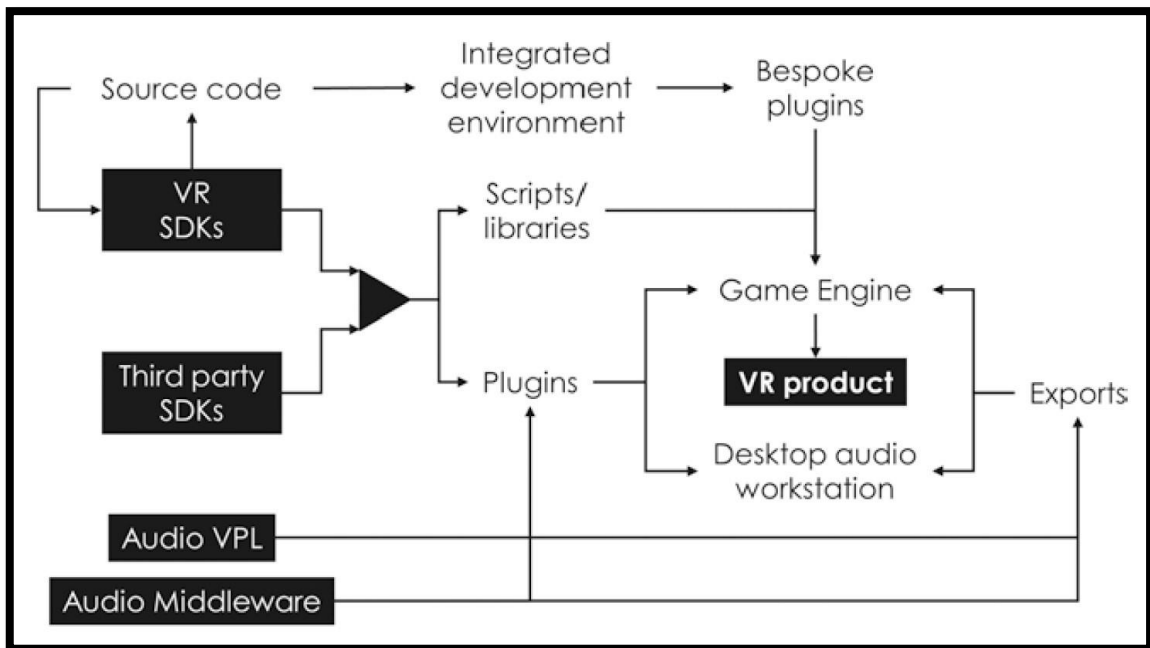


Abb. 13: Audioimplementierungsprozess für eine VR-Anwendung (Garner, 2018, S. 271).

4.3.6: Einbindung von Steam Audio Plugin in Unity und Unreal

Im Folgenden wird eine Übersicht zur Implementierung des Steam Audio Plugins in Unity und Unreal Engine gegeben. Ein wichtiger Unterschied bei der Einbindung des Plugins in die Programme ist, dass sich in Unity individuell gemessene HRTFs und Audiodateien im Ambisonics-Format einbinden lassen, wohingegen Unreal diese Funktion nicht unterstützt. Darüber hinaus bietet das Plugin eine Modellierung von Okklusionseffekten und Umwelteffekten (z.B. Flatterechos oder Rückwandechos), eine automatische Analyse der räumlichen Bedingungen in der Szene und automatisierte Effekte sowie einen eingebauten Faltungshall und Unterstützung von Head-Tracking Informationen (Valve Corporation, 2017a). Steam Audio kann ab Unity 5.3 und Unreal Engine 4.20 ausgeführt werden und wird ab Windows 7, MacOS 10.7, Android 4.1 und von Linux unterstützt (Valve

Corporation, 2017a; Valve Corporation, 2017b). Die folgende Anleitung dient als Gebrauchsanweisung für Einsteiger, enthält demnach nicht alle mit Steam Audio ausführbaren Möglichkeiten. Für eine genaue Anleitung siehe die Dokumentation für Unity und Unreal Engine auf <http://valvesoftware.github.io/steam-audio/>.

4.3.6.1: Einbindung in Unity

Für den Gebrauch von Steam Audio in Unity muss das Plugin zunächst heruntergeladen und in ein neues oder existierendes Unity Projekt eingebunden werden. Der Download steht auf der GitHub-Webseite von Valve für Unity zur Verfügung.

Wie in Punkt 4.3.5 schon beschrieben lässt sich in der Menüleiste von Unity über Assets > Import Package > Custom Package das Plugin mit dem Namen „SteamAudio.unpackage“ auswählen und importieren. Daraufhin sollte über Edit > Project Settings > Audio unter „Spatializer Plugin“ die Option „Steam Audio Spatializer“ und unter „Ambisonic Decoder Plugin“ die Option „Steam Audio Ambisonics“

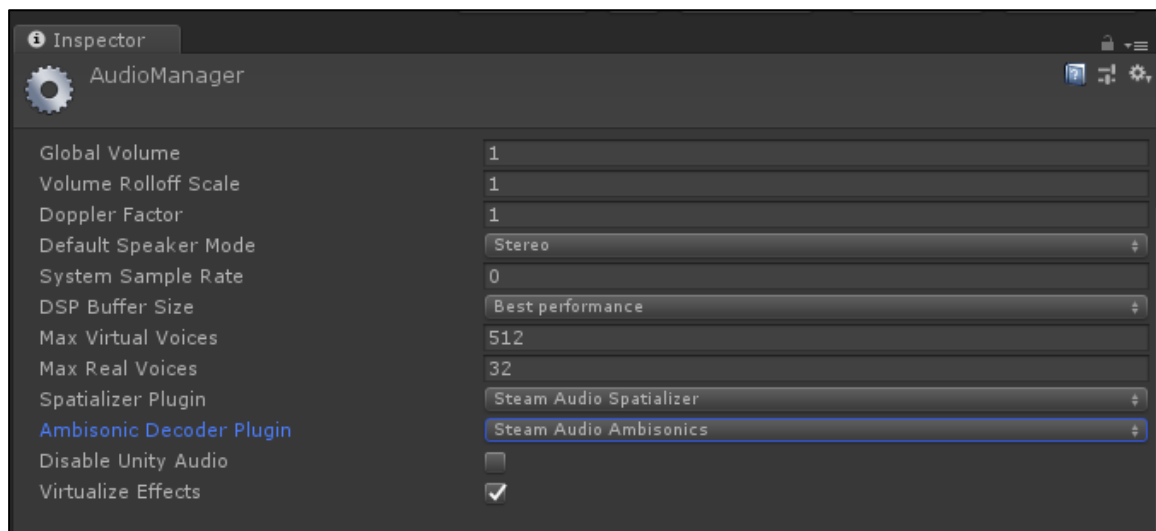


Abb. 24: Einstellung des Audio Managers für Steam Audio (Valve Corporation, 2017a).

ausgewählt werden (siehe Abb. 24).

In der Menüleiste unter Window > Steam Audio lässt sich dann ein Fenster des Plugins öffnen, das in das UI von Unity „angedockt“ werden kann. Hierbei wird auch automatisch ein

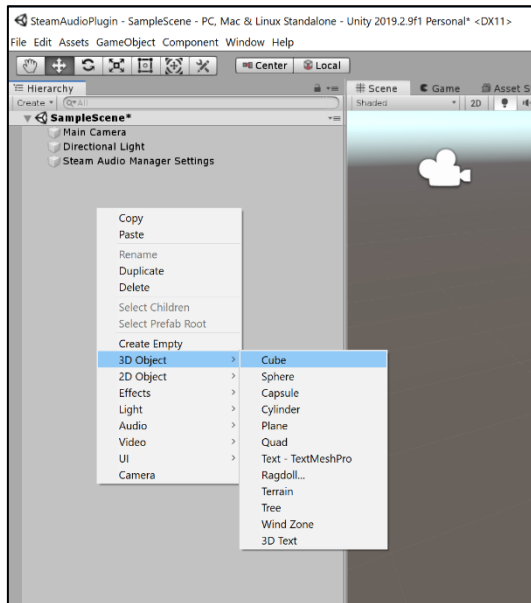


Abb. 25 Erstellung eines GameObject in Unity (Screenshot).

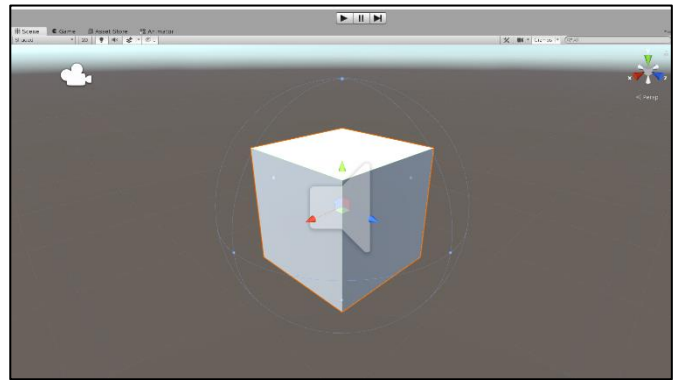


Abb. 26: Anhängen einer Audiodatei an GameObject in Unity (Screenshot).

Objekt mit dem Namen „Steam Audio Manager Settings“ zu der Szene hinzugefügt, welches essentiell für die Operabilität des Plugins ist (Valve Corporation, 2017a). Bei der Erstellung eines „GameObject“ in Unity (z.B. Rechtsklick in der Hierarchy > 3D Object > Cube) kann diesem eine Audiodatei (über Assets > Import New Asset) per Drag & Drop angehängt werden (siehe Abb. 25 & 26).

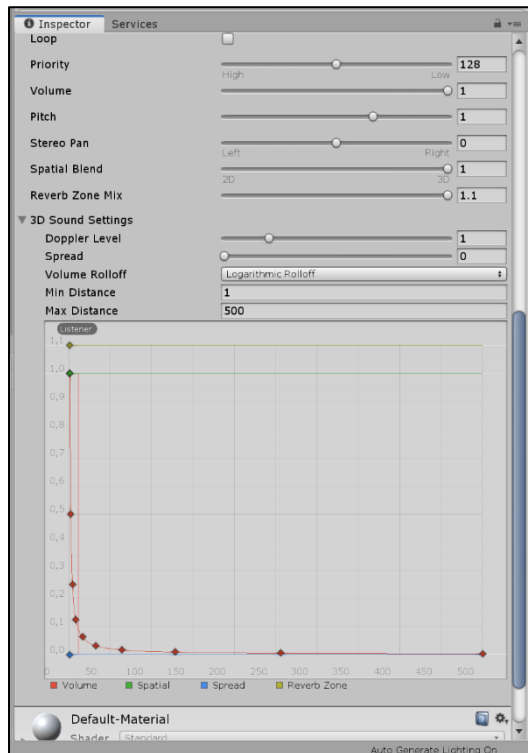


Abb. 27: Auswählen von Spatial Blend und Ansicht des Graphen im Steam Audio Plugin in Unity (Screenshot).

Daraufhin kann bei ausgewähltem GameObject mit Audiodatei im Inspector-Fenster unter „Audio Source“ die Option „Spatialize“ mit einem Häkchen aktiviert werden. Mit dem darunter liegenden „Spatial Blend“ Parameter lässt sich ein Räumlichkeitseffekt hinzufügen und auf dem unteren Grafen ablesen (siehe Abb. 27). D.h. wenn der Regler ganz nach rechts geschoben wird (1), ist der Räumlichkeitseffekt aktiv, und je weiter er nach links verschoben wird, desto

schwieriger wird es die Schallquelle zu lokalisieren, bzw. sind Reflektionen, Abstandsämpfung, Luftabsorption und Okklusion des Klangs minder stark wahrnehmbar (Valve Corporation, 2017a). Über Add Component > Steam Audio Source lassen sich unter „Direct Sound“ die Nutzung von HRTFs aktivieren und deaktivieren („Direct Binaural“-Option), zwischen naher und bilinearer HRTF Interpolation wechseln und physik-basierte Dämpfung, frequenzbasierte Luftabsorption, Okklusion sowie indirekter Klang ein- und ausschalten. Diese Einstellungen lassen sich auch im Play-Modus von Unity, d.h. in Echtzeit, verändern. Zudem lässt sich unter „Directivity“ mit Hilfe der Regler „Dipole Weight“ und „Dipole Power“ die Richtungscharakteristik des Klangs einstellen.

Ein Austausch der von Steam Audio eingebauten HRTF ist möglich, indem eine präferierte SOFA Datei dem Projekt über Assets hinzugefügt wird und in den Steam Audio Manager Settings eingebunden wird. Dazu wird der Menüpunkt in der Hierarchy ausgewählt und dann rechts im Inspektor der Größenwert unter HRTF Settings > SOFA Files auf 1 oder höher festgelegt. In dem darunter entstandenen Eingabefeld lässt sich daraufhin der Dateiname der SOFA-Datei eingeben, d.h. eine im Asset-Ordner vorhandene SOFA-Datei sollte nach Namenseingabe automatisch von dem Plugin erkannt werden und im darunterliegenden Feld „Current SOFA-File“ ausgewählt werden (siehe Abb. 28).

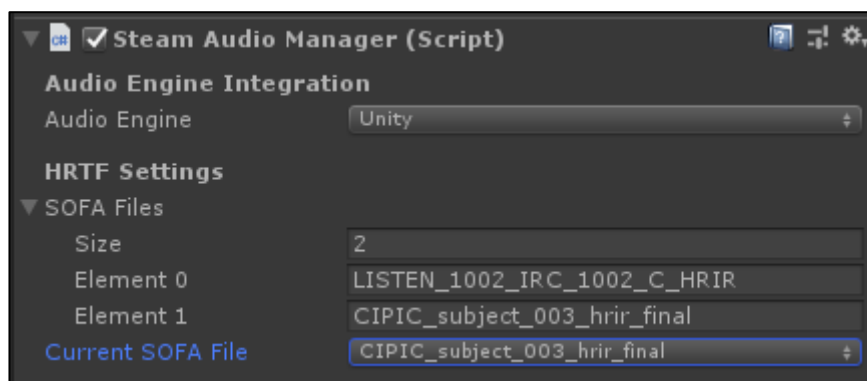


Abb. 28: Einbindung einer SOFA-Datei im Steam Audio Plugin für Unity (Valve Corporation, 2017a).

Auf ähnliche Weise lässt sich auch eine Ambisonics-Audiodatei in das Plugin einbinden. Hierzu sollte zunächst bei ausgewähltem GameObject mit Audiodatei im Inspector

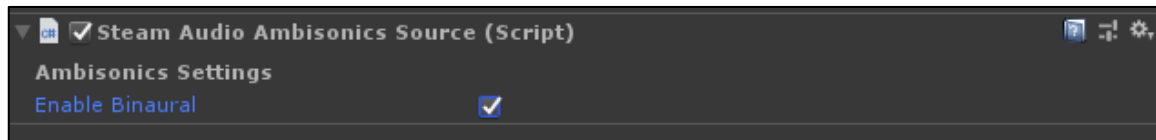


Abb. 29: Ambisonics Komponente im Steam Audio Plugin für Unity (Valve Corporation, 2017a).

unter Add Component die „Steam Audio Ambisonics Source“ Komponente ausgewählt und unter „Enable Binaural“ ein Häkchen gesetzt werden (siehe Abb. 29). Steam Audio benutzt automatisch voreingestellte bzw. selbstaufgesuchte HRTFs für den Räumlichkeitseffekt von Ambisonics-Audiodateien, die sich über den zuvor beschriebenen Vorgang spezifizieren lassen (Valve Corporation, 2017a).

Beim Aufbau einer Szene müssen genutztes Terrain (Objekte mit „Terrain Collider“) oder genutzte Objekte (Objekte mit „Mesh Renderer“) mit der „Steam Audio Geometry“ Komponente versehen werden, damit das Plugin eine Modellierung von Okklusion oder Umwelteffekten erstellen kann. Darüber hinaus kann einem beliebigen GameObject die „Steam Audio Material“ Komponente hinzugefügt werden. Über diese lässt sich eine bestimmte Materialeinstellung für das GameObject

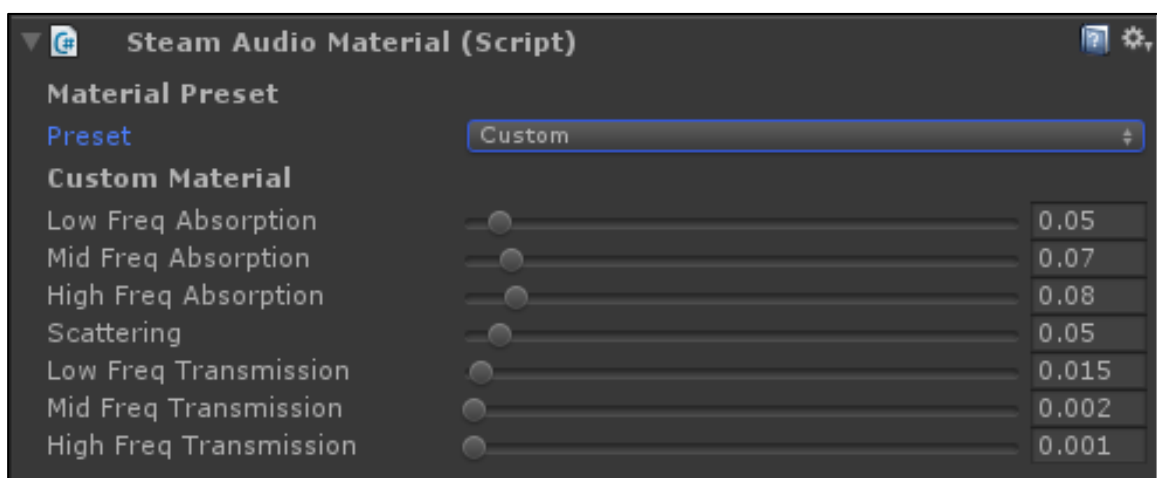


Abb. 30: Einstellung der Materialbeschaffenheit eines GameObject mit Hilfe des Steam Audio Plugins in Unity (Valve Corporation, 2017a).

festlegen (z.B. Zement, Glas oder Holz) welches die Art der akustischen Effektmodellierung verändert. Bei der Auswahl von „Custom“ kann man einem Material auch seine eigenen Einstellungen vornehmen, worunter der Absorptionsgrad von tiefen, mittleren und hohen Frequenzen, Streuung und Frequenzübertragung mit Reglern oder Zahlenwerten einstellbar sind (siehe Abb. 30) (Valve Corporation, 2017a).

4.3.6.2: Einbindung in Unreal Engine

Für die Einbindung des Steam Audio Plugins in die Unreal Engine muss das Plugin nicht zuvor heruntergeladen werden, sondern ist in der Menüleiste unter Edit > Plugins > Audio > Steam Audio direkt mit einem Häkchen aktivierbar. Unreal lässt den Nutzer entscheiden für welche Plattform ein Spatializer-, Nachhall- und Okklusionsplugin ausgewählt wird. Die Einstellung dazu findet man in der Menüleiste unter Edit > Project Settings > Platforms und kann dann auf die beliebigen Plattformseinstellungen navigieren. D.h. Entwickler, die z.B. eine Anwendung für Microsoft Windows erstellen, finden unter Windows > Audio ein auswählbares Fenster für ein Spatializer-, Nachhall- und

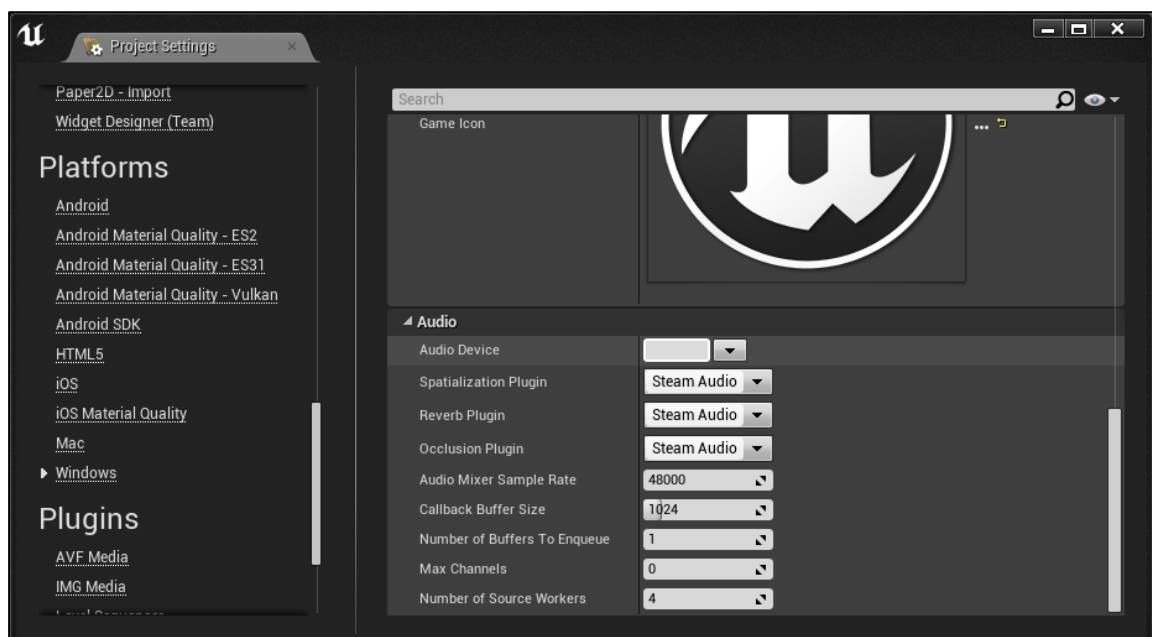


Abb. 31: Auswählen des Steam Audio Plugins für eine spezifische Plattform in Unreal Engine (Valve Corporation, 2017b).

Okklusionsplugin. In diesem Fall sollte in dem auswählbaren Fenster „Steam Audio“ ausgewählt werden (siehe Abb. 31).

In Unreal werden die graphischen Elemente „Actor“ genannt (das Äquivalent für das GameObject in Unity). Ein Actor lässt sich über das linke Fenster unter der Schaltfläche „Place“ > Basic > Empty Actor per Drag & Drop in eine Szene hineinziehen (siehe Abb. 32). Eine beliebige Audiodatei lässt sich über den Content Browser > Add New in das Projekt

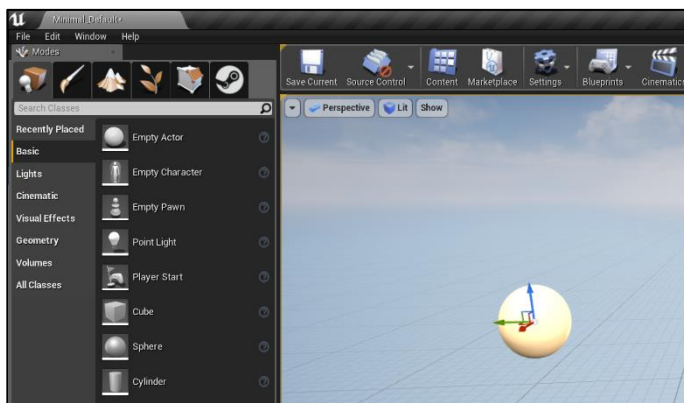


Abb. 32: Einfügen eines „Empty Actor“ in eine Szene in Unreal (Screenshot).

hinzufügen. Daraufhin lässt sich die Audiodatei an den Actor anbinden, indem diese dem ausgewählten Actor im World Outliner unter „Add Component“ hinzugefügt wird. Im „Details“-

Fenster lässt sich nun die Audiodatei auswählen und unter

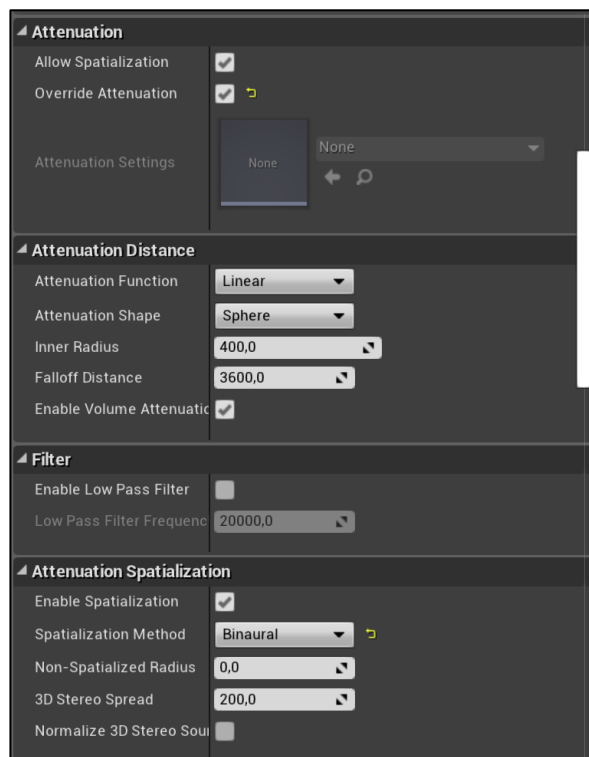


Abb. 33: Auswahl von „Override Attenuation“ und „Binaural Spatialization“ von Steam Audio in Unreal (Screenshot).

„Attenuation Spatialization“ sollte die Option „Override Attenuation“ aktiviert sowie unter „Spatialization Method“ im Auswahlfenster die Option „Binaural“ gewählt werden (siehe Abb. 34). Hiermit wird Steam Audio konfiguriert um HRTFs für diese Audiodatei zu verwenden (Valve Corporation, 2017b).

Unter „Attenuation Plugin Settings“ im selbigen Fenster lässt sich darauf

unter „Spatialization Plugin Settings“, „Occlusion Plugin Settings“ oder „Reverb Plugin Settings“ jeweils ein neues

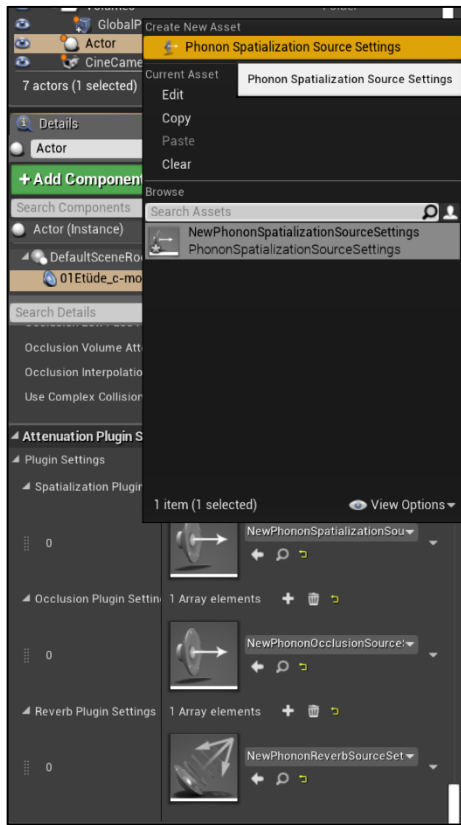


Abb. 34: Attenuation Plugin Settings zur Einstellung von Räumlichkeitseffekt, Okklusion und Nachhall in Unreal (Screenshot).

Element für eine Standardeinstellung abspeichern, die es ermöglicht bestimmte Einstellungen für diese Rubriken vorzunehmen. Bei der Speicherung der Einstellung sollte unter „Create New Asset“ die „Phonon Source Settings“ für die jeweilige Rubrik ausgewählt werden (siehe Abb. 34).

In den Räumlichkeitseinstellungen ist es möglich die Methode von „Panning“ auf „HRTF“ umzuschalten sowie die Interpolation von „Nearest“ auf „Bilinear“ zu wechseln. In Unreal ist es jedoch nicht möglich ein individuelles HRTF in Form einer SOFA-Datei einzubinden. Von daher wird auf das von Steam Audio

generierte HRTF zurückgegriffen. Mit Hilfe des Okklusionsplugins kann auch in Unreal die Okklusion, Luftabsorption, physik-basierte Dämpfung, und Richtcharakteristik eines Klangs eingestellt werden. Dazu wählt man den Actor mit anhängender Audiodatei im World Outliner aus, klickt auf die Audiodatei im Details-Fenster und aktiviert unter „Attenuation Occlusion“ die Option „Enable Occlusion“. In den zuvor eingestellten Attenuation Plugin Settings lässt sich auch hier der Modus, die Methode, der Quellradius und die Luftabsorption der Okklusion einstellen. Der gleiche Vorgang findet auch beim Reverb Plugin statt, wobei im Details-Fenster der Audiodatei unter „Attenuation Reverb Send“ die Optionen „Enable Reverb Send“,

„Reverb Send Method > Manual“ aktiviert werden müssen und „Manual Reverb Send Level“ auf 1.0 gesetzt werden muss.

In den „Global Reverb Settings“ unter Edit > Project Settings > Plugins > Steam Audio lässt sich zudem eine allgemeine Auswahl an Nachhalleinstellungen vornehmen, bei dem sich der Simulationstyp des Nachhalls zwischen „Real-time“ und „Baked“ auswählen lässt (Valve Corporation, 2017b).

Um in einer Szene gewisse Objekte bzw. Actors mit Okklusion oder Nachhall zu versehen, muss dieser zunächst eine „Phonon Geometry“ Komponente hinzugefügt werden. Diese findet sich im World Outliner nach anklicken des Actors unter „Add Component“ in der Audiorubrik des Dropdown-Menüs. Danach kann dem Actor wie in Unity eine Materialvoreinstellung beigelegt werden. Auch diese wird im World Editor bei markiertem Actor unter „Add Component“ hinzugefügt. Diese können wiederum durch eigene Einstellungen wie Frequenzabsorption, -übertragung und Streuung beeinflusst werden (Valve Corporation, 2017b).

4.3.6.3: Fazit zur Steam Audio Plugin Einbindung

Bei der Einbindung des Steam Audio Plugins für Unity und Unreal konnten verschiedene, signifikante Unterschiede verzeichnet werden. Zum einen schien die Bedienung der Unity Software schneller, umgebungstechnisch intuitiver und einfacher zu bedienen, wohingegen die Bedienung von Unreal eher komplizierter sowie umständlicher und demnach langwieriger erscheint. Die Benutzeroberflächen beider Softwares sind sehr ähnlich aufgebaut, die Einbindung des Plugins fiel jedoch völlig unterschiedlich aus. In Unreal war es einfacher das Plugin zu aktivieren, da es schon automatisch in den Einstellungen zu finden ist, wohingegen man das Plugin für Unity erst herunterladen und importieren muss. Jedoch war die Anleitung zur Einstellung des Plugins in Unity deutlich nachvollziehbarer und unkomplizierter als

bei Unreal. Zum anderen bot das Plugin in Unity die Möglichkeit HRTFs im SOFA-Format auszutauschen sowie Audiodateien im Ambisonics-Format zu verwenden. In Unreal dahingegen konnte nur das voreingestellte HRTF von Steam Audio verwendet werden und zur Einbindung von Audiodateien im Ambisonics-Format gab es keine Option.

Aus diesen Gründen lässt sich schließen, dass sich die Einbindung von Steam Audio in die Unity Engine für die Verwendung musikwissenschaftlicher Zwecke wegen ihres intuitiven Gebrauchs, ihrer Einfachheit und der Austauschbarkeit verschiedener HRTF-Sets sowie Audiodateien im Ambisonics-Format besser eignet als die Unreal Engine.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Diese Arbeit sollte eine Übersicht über das Phänomen Virtual Reality verschaffen und dabei den musikwissenschaftlichen Kontext der Technologie miteinbeziehen. Die im zweiten Kapitel gegebenen geschichtlichen und technologischen Hintergründe, Definitionen, aktuellen Einflüsse und Übersichten zeigen, dass VR ein neues Medium ist, dem nach ersten Anlaufschwierigkeiten in den 1980er bis 1990er Jahren ein Comeback im Jahre 2012 gelungen ist und das sich seitdem als eins der immersivsten und am stärksten Presence-hervorrufenden Medien etabliert hat, die bisher von der Menschheit geschaffen wurden. Musikwissenschaftliche Theorien und Konzepte haben dies im dritten Kapitel unterstützt und zur Kenntnis der theoretischen Basis der Auralisation und virtueller Klangerzeugung verholfen. Die daraus entstandene Forschung nach dem Einfluss von virtuellem Raumklang auf das Gefühl von Presence zum Ende des Kapitels trägt dazu bei, die Wichtigkeit des neuen Mediums für die Musikwissenschaft und der Presence-Forschung darzulegen. Das vierte Kapitel gibt infolgedessen eine Definition der linearen und interaktiven VR-Anwendungen und gewährt eine Übersicht über aktuelle und musikbezogene VR-Anwendungen in der Medizin- und Bildungsforschung und im Entertainmentbereich. Zudem formt eine Auswahl an Ambisonics-Plugins sowie eine Auseinandersetzung mit den Entwicklungsumgebungen Unity und Unreal in Bezug auf ihre Funktion, Audioverarbeitung, Plugins und als Partner fungierende Middleware ein Konstrukt aktueller Softwareprodukte. Die Einführung des SOFA-Formats zur einfachen Übertragung von HRTF/BRIR Daten und dessen Nutzung in Spatializer-Plugins deuten auf eine im Detail ausgearbeitete und individuell angepasste virtuelle Klanggestaltung hin, die in Zukunft vielleicht sogar von

allen großen VR-Herstellern und Entwicklern genutzt werden könnte. Mit der Schritt-für-Schritt-Anleitung zur Einbindung des Steam Audio Plugins in die Entwicklungsumgebungen Unity und Unreal kann der musikwissenschaftlichen Forschung geholfen werden, die Programme auch für musikwissenschaftliche Experimente zu nutzen. Darüber hinaus können Nutzer von Unity austauschbare HRTFs und Audiodateien im Ambisonics-Format verwenden.

Virtual Reality hat sich neben dem Forschungs- und Entwicklungsbereich auch für das Entertainment großflächig durchgesetzt. Die Zukunft wird höchstwahrscheinlich weitere Anwendungsbereiche hervorbringen, die auch das Feld der Musikwissenschaft durchdringen könnten. Die Erstellung von virtueller Raumakustik und Sounddesign innerhalb einer virtuellen Welt, die Nutzung von Kopfhörern mit Knochenübertragung (engl. bone-conduction) für die VR oder eine digitale Club- und Festivalkultur sind nur ein Teil des Imaginationsreichtums kommender Jahre. Zudem wird die Erstellung von virtuellen Welten und die Einbindung von 3D-Raumklang auch vermehrt für Laien zugänglich gemacht, sodass keine komplizierten Programmierkenntnisse nötig sein werden. In Entwicklungsumgebungen wie Unity oder Unreal ist es schon sehr einfach eine simple VR-Szene nur mit Drag & Drop Operationen zu erstellen und simplen 3D Raumklang zu erzeugen. Dazu könnten Web-basierte VR-Gestaltungsplattformen geschaffen werden, die vielleicht nicht denselben Umfang wie Game Engines bieten, aber dafür eine simple VR-Gestaltung zulassen und von überall auf der Welt über das Internet abgerufen werden können. Große soziale Netzwerke wie Facebook oder YouTube könnten diese selbst anbieten und unterstützen, sodass jeder mit ein paar Clicks eine virtuelle Welt oder ein virtuelles Musikvideo erstellen kann.

Wie viele andere Technologien ist Virtual Reality zu einem Medium geworden, das auch andere Medien inkorporiert. Hierzu gehört auch das Medium der Musik. Die Kombination VR und Musik befindet sich noch in ihrer Anfangszeit, wird sich jedoch entwickeln und neue Formen der Kunst und der wissenschaftlichen Erkenntnisse mit sich bringen.

Literaturverzeichnis

- Alais, D., Burr, D.** (2004). The Ventriloquist Effect Results from Near-optimal Bimodal Integration. *Current Biology* 14, S. 257-262.
- Anthes, C.; García-Hernandez, R. J.; Wiedemann, M.; Kranzlmüller, D.** (2016). State of the Art Virtual Reality Technology. *IEEE Aerospace Conference*. DOI: 10.1109/AERO.2016.7500674
- Audio Ease B.V.** (o.D.a). 360pan Suite. Aufgerufen am 22. Oktober 2019 von: <https://www.audioease.com/360/>
- Audio Ease B.V.** (o.D.b). *The 360pan Suite. AAX – Pro Tools Ultimate Manual for Mac and Windows*. Aufgerufen am 22. Oktober 2019 von:
<https://www.audioease.com/360/files/360pan-suite-3-Pro-Tools-Manual-1.1.pdf>
- Audiokinetic.** (2019). *Wwise. The Engine Powering Interactive Audio*. Aufgerufen am 24. Oktober 2019 von:
<https://www.audiokinetic.com/products/wwise/>
- Bailenson, J.** (2018). *Experience on Demand*. New York: W.W. Norton & Company, Inc.
- Beermann, N.** (2017). *Ein Vergleich von Virtual Reality Ton auf Basis von Kopfhörern und Lautsprechern*. Bachelorarbeit Hochschule der Medien Stuttgart.
<https://curdt.home.hdm-stuttgart.de/PDF/Beermann.pdf>
- Bergström, I., Azevedo, S., Papiotis, P., Saldanha, N., Slater, M.** (2017). The Plausibility of a String Quartet Performance in Virtual Reality. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 23(4), S. 1352-1359.
- Bezmalinovic, T.** (2019). US-Konzern Verizon Kauft Technologie des XR-Startups Jaunt. *Mixed.de*. Aufgerufen am 10. Oktober 2019 von: <https://mixed.de/us-konzern-verizon-kauft-technologie-des-xr-startups-jaunt/>

Bissonette, J., Dubé, F., Provencher, M. D., Sala, M. T. Moreno (2016). Evolution of Music Performance Anxiety and Quality of Performance during Virtual Reality Exposure Training. *Virtual Reality*, 20(1), S. 71-81.
<https://doi.org/10.1007/s10055-016-0283-y>

Blauert, J. (1997). *Spatial Hearing: The Psychophysics of Human Sound Localization*. MIT-Press Cambridge MA.

Blauert, J. (2003). *Hearing of music in three spatial dimensions*. Festschrift Jobst P. Fricke Köln, S.103-111.

Blue Ripple Sound. (o.D.). Pro Audio Products. *Blueripplesound.com*. Aufgerufen am 22. Oktober 2019 von: <http://www.blueripplesound.com/product-listings/pro-audio>

Blue Ripple Sound. (2018). O3A View Plugins User Guide v. 2.1.6. *Blueripplesound.com*. Aufgerufen am 22. Oktober 2019 von:
http://www.blueripplesound.com/sites/default/files/O3AView_UserGuide_v2.1.6.pdf

Bonifacic, I. (2019). Verizon Buys Jaunt's AR and VR Technology. *Engadget.com*. Aufgerufen am 10. Oktober 2019 von:
https://www.engadget.com/2019/09/30/verizon-buys-jaunts-ar-vr-technology/?guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlLmNvbS8&g_uce_referrer_sig=AQAAAEg84N0QjGWdxgDcvVFLLdYg09Q1K_miIN9qkyhuNXoibcSS3eGZB4ANm6MRZgSt0wCX7kpS-BKBeilF720iLhSW0d7s_hsfum62FM2Cp9uf38UFY8YlCUMV2WlHpfbf2nWr uEmpnn3095z4m_a3eOaiJyveWlp0Ootpr3bLJ6odG&guccounter=2

Borrego, A., Latorre, J., Alcañiz, M., & Llorens, R. (2018). Comparison of Oculus Rift and HTC Vive: Feasibility for Virtual Reality-Based Exploration, Navigation, Exergaming, and Rehabilitation. *Games For Health Journal*, 7(3), 151-156.
doi: 10.1089/g4h.2017.0114

Brill, M. (2009). *Virtuelle Realität. Informatik im Fokus*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

- Brinkmann, F., Lindau, M., Weinzierl, S.** (2017). On the Authenticity of Individual Dynamic Binaural Synthesis. *Journal of the Acoustical Society of America* 142(4), S. 1784-1785.
- Busby, J., Parrish, Z., Wilson, J.** (2010). *Mastering Unreal Technology Vol. 1. Introduction to Level Design With Unreal 3*. Indianapolis: Sams.
- Carlton, B.** (2019). Tribe XR Launches their First Live DJ Classes in VR. *VRScout.com*. Aufgerufen am 14. Oktober 2019 von:
<https://vrscout.com/news/tribe-xr-first-live-dj-classes-vr/>
- Chan, J. C. P., Leung, H., Tang, J. K. T., Komura, T.** (2011). A Virtual Reality Dance Training System Using Motion Capture Technology. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 4(2), S. 187-195. Doi: 10.1109/TLT.2010.27
- Chen, W., Plancoulaine, A., Férey, N., Touraine, D., Nelson, J., Bourdot, P.** (2013). 6DoF Navigation in Virtual Worlds: Comparison of Joystick-based and Head-Controlled Paradigms. *VRST '13 Proceedings of the 19th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*. Pages 111-114. Abgerufen 12. September 2019 von:
<https://dl-acm-org.uaccess.univie.ac.at/citation.cfm?id=2503754>
- Chow, J., Feng, H., Amor, R., Wünsche, B.** (2013). Music Education Using Augmented Reality with a Head Mounted Display. *Proceedings of the Fourteenth Australasian User Interface Conference*, S. 73-79. Melbourne, Australien.
<https://www.semanticscholar.org/paper/Music-Education-using-Augmented-Reality-with-a-Head-Chow-Feng/3a0633f83d30b68362486c2e4c870ddf44035a84>
- Christoph, M.** (2013). *Untersuchung verschiedener Verfahren zur messtechnischen Bestimmung und Nachbildung der Akustik insbesondere von Fahrzeugaudiosystemen*. Dissertation.
<https://d-nb.info/1043957618/34>

Chueng, P., Marsden, P. (2002). Designing auditory spaces to support sense of place: The role of expectation. *Position paper for The Role of Place in On-line Communities Workshop, CSCW2002, New Orleans.*

Clements, R. (2016). *The PS VR Sessions: Harmonix Music VR.* Abgerufen am 9. Oktober 2019 von:
<https://blog.us.playstation.com/2016/10/05/the-ps-vr-sessions-harmonix-music-vr/>

Coates, G. (1992). Program from *Invisible Site—a virtual sho*, a multimedia performance work presented by George Coates Performance Works, San Francisco, CA.

Correa, A. G. D., Assis, G. A. de, Nascimento, M. d., Ficheman, I., Lopes, R. d. D. (2007). GenVirtual: An Augmented Reality Musical Game for Cognitive and Motor Rehabilitation. *Virtual Rehabilitation*, Venedig, Italien. S. 1-6. DOI: 10.1109/ICVR.2007.4362120

Correa, A. G. D., Ficheman, I. K., Nascimento, M. D., Lopes, R. d. D. (2009). Computer Assisted Music Therapy: A Case Study of an Augmented Reality Musical System for Children with Cerebral Palsy Rehabilitation. *2009 Ninth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*, Riga. S. 218-220. Doi: 10.1109/ICALT.2009.111

Crute, A. (2019). Virtual Reality: How will it change the way you make music? *MusicTech.net*. Abgerufen am 14. Oktober 2019 von:
<https://www.musictech.net/features/trends/vr-music-making/>

Davis, L. (2017). We Tried out the Philharmonia Orchestra's New Virtual Reality Experience. *Classicfm.com*. Abgerufen am 11. Oktober 2019 von:
<https://www.classicfm.com/artists/philharmonia-orchestra/virtual-reality-experience/>

Deahl, D. (2018). Inside Imogen Heap's Cutting-Edge VR Concert. *The Verge*. Abgerufen am 11. Oktober 2019 von:

<https://www.theverge.com/2018/8/23/17769166/imogen-heap-concert-oculus-vr-headset-thewavevr>

Dear Reality. (o.D.). *DearVR. 3D Audio Virtual Reality. Dearvr.com.* Aufgerufen am 22. Oktober 2019 von: <http://dearvr.com/>

Dear Reality. (2019). *DearVR Pro User Manual v.1.2.2.* Aufgerufen am 22. Oktober 2019 von: https://cdn.shopify.com/s/files/1/0120/4748/2938/files/dearVR_PRO_Manual_v1.2.2_rev3.pdf?2906

De Paolis, L. T. (2015). *Virtual and Augmented Reality Applications.* Power Point Präsentation. Abgerufen 30. September 2019 von: <http://avrlab.it/wpcontent/uploads/2015/03/lez-1-introduction.pdf>

Deutsche Gesellschaft für Akustik (DEGA) (2006). *DEGA-Empfehlung 101. Akustische Wellen und Felder.* Berlin: DEGA e.V. Abgerufen 18. August 2019 von: <https://www.dega-akustik.de/publikationen/online-publikationen/dega-empfehlung-101/>

Dillon, R. (2014). *Rise of the Game Engines. Ready.* S. 87-104. Springer, Singapur. https://doi-org.uaccess.univie.ac.at/10.1007/978-981-287-341-5_5

Dredge, S. (2019). *Lindsey Sterling to Perform a Virtual Concert Using Startup Wave. MusicAlly.com.* Aufgerufen am 11. Oktober 2019 von: <https://musically.com/2019/08/22/lindsey-stirling-to-perform-a-virtual-concert-using-startup-wave/>

Durlach. N. I., Rigopulos, A., Pang, X. D., Woods, W. S., Kulkarni, A., Colburn, H. S., Wenzel, E. M. (1992). On the externalization of auditory images. *Presence* 1(2). S. 251-257.

Epic Games, Inc. (2019a). Unreal Engine 4 Documentation. Audio Files. *Docs.Unrealengine.com*. Aufgerufen am 23. Oktober 2019 von:
<https://docs.unrealengine.com/en-US/Engine/Audio/WAV/index.html>

Epic Games, Inc. (2019b). Unreal Engine 4 Documentation. Ambient Sound Actor User Guide. *Docs.Unrealengine.com*. Aufgerufen am 23. Oktober 2019 von:
<https://docs.unrealengine.com/en-US/Engine/Audio/SoundActors/index.html>

Facebook 360. (2018). Facebook 360 Spatial Workstation User Guide. Release 3.3.1. *Two Big Ears Ltd.* Verfügbar unter:
<https://facebook360.fb.com/spatial-workstation/>

Fastl, H. & Zwicker, E. (2007). *Psychoacoustics. Facts and Models*. Berlin: Springer-Verlag.

Forrest, D. (2016). *Making Music in VR: 'The Music Room,' Hands On* - Tomshardware.com. Abgerufen am 14. Oktober 2019 von:
<https://www.tomshardware.com/news/music-room-chroma-coda-vr,32783.html>

Frank, C., Dietze, B. (2008). *Parametrierung von Raumimpulsantworten*. Graz: Institut für elektronische Musik und Akustik. Abgerufen am 10. September 2019 von:
https://iaem.at/kurse/sommer-08/aac2/Dokumentation_v2.pdf/@download/file/Dokumentation_v2.pdf

Freeman, J., Lessiter, J. (2001). Here there & everywhere: The effects of multi-channel audio on presence. *Proceedings of The Seventh International Conference on Audio Display*, Helsinki, Finland, 231-234.

G2.com. (2019). *Best VR Game Engine Software* - G2.com. Aufgerufen am 21. Oktober 2019 von:
<https://www.g2.com/categories/vr-game-engine>

Garas, J. (2000). *Adaptive 3D Sound Systems*. New York: Springer.

- Garner, T.** (2018). *Echoes of Other Worlds: Sound in Virtual Reality*. Cham: Palgrave Macmillan.
- Gerzon, M.** (1973). Periphony: With-Height Sound Reproduction. *Journal of the Audio Engineering Society* 21(1), S. 2-10.
- Gil-Carvajal, J. C., Cubick, J., Santurette, S., Dau, T.** (2016). Spatial hearing with incongruent visual or auditory room cues. *Scientific Reports* 6, 37342.
<https://www.nature.com/articles/srep37342>
- Gilkey, R. H., Weisenberger, J. M.** (1995). The Sense of Presence for the Suddenly Deafened Adult: Implications for Virtual Environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 4(4), S. 357-363.
- Google VR.** (2019). *Google Cardboard*. Abgerufen am 26. Juni 2019 von: <https://arvr.google.com/cardboard/>
- Gould, R.** (2018). Let's Test: 3D Audio Spatialization Plugins. *DesigningSound.org*. Aufgerufen am 25. Oktober 2019 von:
<http://designingsound.org/2018/03/29/lets-test-3d-audio-spatialization-plugins/>
- G.R.A.S. Sound & Vibration.** „GRAS 45BB KEMAR Head & Torso, Non-configured.“ Aufgerufen am 10. September 2019 von:
<http://www.gras.dk/products/head-torso-simulators-kemar/product/733-45bb>.
- Grasser, T., Rothbucher, M., Diepold, K.** (2014). *Auswahlverfahren für HRTFs zur 3D Sound Synthese*. München: Technische Universität. Technical Report. Abgerufen am 10. September 2019 von:
<https://mediatum.ub.tum.de/doc/1206688/850421.pdf>
- Hamilton, K.** (2017). *Few People Will Ever Know How Great Rock Band VR is* – Kotaku.com. Aufgerufen am 13. Oktober 2019 von:
<https://kotaku.com/few-people-will-ever-know-how-great-rock-band-vr-is-1794222114>

- Harris, K., Reid, D.** (2005). The Influence of Virtual Reality Play on Children's Motivation. *Canadian Journal of Occupational Therapy*, 72(1), S. 21-29.
<https://doi.org/10.1177/000841740507200107>
- Hayden, S.** (2019). Pimax Launches Pre-orders for "8K" & "5K" VR Headsets, Pricing & Specs Here. *RoadtoVR.com*. Abgerufen von:
<https://www.roadtovr.com/pimax-launches-pre-orders-today-8k-5k-vr-headsets-pricing-specs/>
- Hendrickx, E., Paquier, M., Koehl, V., Palacino, J.** (2015). Ventriloquism Effect with Sound Stimuli Varying in Both Azimuth and Elevation. *Journal of the Acoustical Society of America* (138(6), S. 3686-3697.
- Hendrix, C., Barfield, W.** (1996). The Sense of Presence within Auditory Virtual Environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 5(3), S. 290-301.
- Hills-Duty, R.** (2018). Review: Track Lab - VRFocus.com. Aufgerufen am 14. Oktober 2019 von:
<https://www.vrfocus.com/2018/08/review-track-lab/>
- Horowitz, S., Looney, S. R.** (2014). *The Essential Guide to Game Audio. The Theory and Practice of Sound for Games*. New York: Focal Press.
- Janer, J., Gomez, E., Martorell, A., Miron, M., Wit, B. de.** (2016). Immersive Orchestras: Audio Processing for Orchestral Music VR Content. 2016 8th International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-GAMES), Barcelona, S. 1-2. Doi: 10.1109/VS-GAMES.2016.7590352
- Jeffress, L. A., Taylor, R. W.** (1961). Lateralization vs Localization. *Journal of the Acoustical Society of America* 33, S. 482-483.
- Jenny, C.** (2018). *Individuelle Hörwahrnehmung in virtueller Realität - Der Einfluss individualisierter binauraler*

Darbietung auf die empfundene Realitätsnähe in audiovisuellen virtuellen Umgebungen. Wien. Dissertation.

Jenny, C., Majdak, P., Reuter, C. (2018). SOFA Native Spatializer Plugin for Unity - Exchangeable HRTFs in Virtual Reality. *Proceedings of the 144th Convention of the Audio Engineering Society*, Mailand, e-Brief 406.

International Society for Presence Research (2000). *The Concept of Presence: Explication Statement*. Abgerufen 24. Juni 2019 von: <https://ispr.info/>

Kaneko, S., Suenaga, T., Fujiwara, M., Kumehara, K., Shirakihara, F., & Sekine, S. (2016). Ear Shape Modeling for 3D Audio and Acoustic Virtual Reality: The Shape-Based Average HRTF. Abgerufen am 12. September von: <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=18091>

Kant, I. (1796). Nachwort in „Über das Organ der Seele“ von S. T. Sömmerring in *Gesammelte Schriften* Berlin. Vol. 12, S. 30-35.

Kapralos, B., Jenkin, M., Milios, E. (2008). *Virtual Audio Systems*. In: *Presence Teleoperators & Virtual Environments*. Abgerufen 19. August 2019 von: https://www.researchgate.net/publication/257764036_Virtual_Audio_Systems

Katz, B. F. G., Parseihian, G. (2012). Perceptually Based Head-Related Transfer Function Database Optimization. *Journal of the Acoustical Society of America* 131(2), S. 99-105.

Kleiner M. (2010). Auditory-Induced Presence in Mixed Reality Environments and Related Technology. *The Engineering of Mixed Reality Systems. Human-Computer Interaction Series*. S. 143-163. Abgerufen am 18. September 2019 von: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-84882-733-2_8#citeas

Knudsen, E. I. (1994). Supervised learning in the brain. *Journal of Neuroscience* 14(7), S. 3985-3997.

- Lanier, J.** (2018). *Anbruch einer neuen Zeit. Wie Virtual Reality unser Leben und unsere Gesellschaft verändern*. Regensburg: Hoffmann & Campe.
- Larsson, P., Västfjäll, D., Kleiner, M.** (2008). Auditory Information Consistency and Room Acoustic Cues Increase Presence in Virtual Environments. *Acoustical Science and Technology* 29(2), S. 191-194.
- Larsson, P., Våljamäe A., Västfjäll D., Tajadura-Jiménez A., Kleiner, M.** (2010). Auditory-induced Presence in Mixed Reality Environments and Related Technology. *The Engineering of Mixed Reality Systems*. S. 143-164. DOI: 10.1007/978-1-84882-733-2_8
- LaValle, S. M.** (2017). *Virtual Reality*. Cambridge. Cambridge University Press.
- Leatham, J.** (2018). *Dance Collider VR Game Review - Satisfying Arm Cascades and EDM Galore* - VRFitnessInsider.com. Abgerufen am 13. Oktober 2019 von: <https://www.vrfitnessinsider.com/review/dance-collider-vr-game-review-satisfying-arm-cascades-and-edm-galore/>
- Leger, H.** (2019). Nintendo Labo VR Kit review. *Techradar.com*. Abgerufen von: <https://www.techradar.com/reviews/nintendo-labo-vr-kit-review>
- Lentz, T., Assenmacher, I., Vorländer, M., Kuhlen, T.** (2006). Precise Near-to-Head Acoustics with Binaural Synthesis. *Journal of Virtual Reality and Broadcasting* 3(2). Abgerufen am 11. September 2019 von: <https://pdfs.semanticscholar.org/3e46/3077ad628d2641b7c64046caf6920d51a7a2.pdf>
- Lentz, T.** (2008). *Binaural Technology for Virtual Reality*. Dissertation. Aachen: Technische Hochschule, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik.
- Lima, D., Castro, T.** (2012). Music Spectrum: A Music Immersion Virtual Environment for Children with Autism.

Procedia Computer Science, 14, S. 111-118.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2012.10.013>.

Lindau, A., Weinzierl, S. (2012). Assessing the Plausibility of Virtual Acoustic Environments. *Acta Acustica united with Acustica*. 98(5), S. 804-810.

Lindau, A., Erbes, V., Lepa, S., Maempel, H.-J., Brinkmann, F., Weinzierl, S. (2014). A Spatial Audio Quality Inventory for Virtual Acoustic Environments (SAQI). *Acta Acustica united with Acustica* 100(5), S. 984-994.

Lombard, M. & Ditton, T. (1997). At the Heart of it All: The Concept of Presence. *Journal of Computer-Mediated Communication*, Volume 3, Issue 2, 1 September 1997. Abgerufen 24. Juni 2019 von:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1083-6101.1997.tb00072.x>

Majdak, P., Iwaya, Y., Caprentier, T., Nicol, R.; Parmentier, M., Roginszka, A., Suzuki, Y., Watanabe, K., Wierstorf, H., Ziegelwanger, H., Noisternig, M. (2013). Spatially Oriented Format for Acoustics: A Data Exchange Format Representing Head-Related Transfer Functions. *Proceedings of the 134th Convention of the Audio Engineering Society*, Rom, Convention Paper 8880.

Mazuryk, T., Gervautz, M. (1996). *Virtual Reality History, Applications, Technology and Future*. Technischer Report. Abgerufen 30. September 2019 von:

<https://www.cg.tuwien.ac.at/research/publications/1996/mazuryk-1996-VRH/>

McCann, R. A., Armstrong, C. M., Skopp, N. A., Edwards-Stewart, A., Smolenski, D. J., June, J. D., Metzger-Abamukong, M., Reger, G. M. (2014). Virtual Reality Exposure Therapy for the Treatment of Anxiety Disorders: An Evaluation of Research Quality. *Journal of Anxiety Disorders*, 28(6), S. 625-631. <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2014.05.010>

- Mealy, P.** (2018). *Virtual & Augmented Reality for Dummies*. Newark: John Wiley & Sons, Incorporated.
- Mendonça, C., Santos, J., Campos, G., Dias, P., Vieira, J., & Ferreira, J.** 2010. On the Improvement of Auditory Accuracy with Non-Indivisualized HRTF-Based Sounds. Abgerufen am 12. September 2019 von:
<http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=15688>
- Menzies, D., Al-Akaidi, M.** (2007). Nearfield Binaural Synthesis and Ambisonics. *The Journal of the Acoustical Society of America* 12, S. 1559-1563. DOI: 10.1121/1.2434761
- Merriam-Webster, Incorporated.** (2019). *Definition of VIRTUAL REALITY*. Abgerufen 5. August, 2019, von <https://www.merriam-webster.com/dictionary/virtual%20reality>
- Middlebrooks, J. C. & Green, D. M.** (1991). *Sound Localization by Human Listeners*. *Annual Review of Psychology*. 42:135-59. Abgerufen 16. August 2019, von:
https://www.researchgate.net/publication/21138402_Sound_Localization_by_Human_Listeners
- Mihocic, M.** (2014). *ExpSuite: Open Source-Framework zur Durchführung Psychoakustischer Experimente und akustischer Messungen*. Masterarbeit Technikum Wien.
- Milgram, P. & Kishino, F.** (1994). A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Transactions on Information and Systems*. Abgerufen 5. August 2019, von:
https://www.researchgate.net/publication/231514051_A_Taxonomy_of_Mixed_Reality_Visual_Displays
- Mills, A. W.** (1958). *On the minimum audible angle*. *Journal of the Acoustical Society of America* 30(4), S. 237-246.
- Miskovic, D., Rosenthal, R., Zingg, U., Oertli, D., Metzger, U., Jancke, L.** (2008). Randomized Controlled Trial Investigating the Effect of Music on the Virtual Reality Laparoscopic Learning Performance of Novice Surgeons. *Surgical Endoscopy*, 22(11), S. 2416-2420.
<https://doi.org/10.1007/s00464-008-0040-8>

Mixed. (2015). Virtual-Reality-Disco für Gear VR. *Mixed.de*.
 Abgerufen am 10. Oktober 2019 von:
<https://mixed.de/groovr-virtual-reality-disco-fuer-gear-vr/>

Molet, M., Billiet, G., Bardo, M. T. (2013). Conditioned Place Preference and Aversion for Music in a Virtual Reality Environment. *Behavioural Processes*, 92, S. 31-35.
<https://doi.org/10.1016/j.beproc.2012.10.001>.

Møller H., Sørensen, M.F., Hammershøi D., Jensen, C.B. (1995). *Head-Related Transfer Functions of Human Subjects*. Journal of the Audio Engineering Society, 43(5), 300-321.
 Abgerufen 20. August 2019, von:
https://vbn.aau.dk/ws/portalfiles/portal/227875164/1995_M_1ler_et_al_AES_Journal_c.pdf

Munster, G., Jakel, T., Clinton, D., Murphy, E. (2015). Next Mega Tech Theme is Virtual Reality. *PiperJaffray Investment Research*. Abgerufen 30. September 2019 von:
<https://cdn.instantmagazine.com/upload/4666/piperjaffray.f032beb9cb15.pdf>

Murray, C. D., Arnold, P., Thornton, B. (2000). Presence Accompanying Induced Hearing Loss: Implications for Immersive Virtual Environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 9(2), 137-148.

Murray, J. W. (2017). *Building VR with Unity and SteamVR*. Boca Raton: CRC Press.

Naveed K., Watanabe C., Neittaanmäki, P. (2017). Co-evolution Between Streaming and Live Music Leads a Way to the Sustainable Growth of Music Industry - Lessons from the US Experiences. *Technology in Society*, 50, S. 1-19.
<https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2017.03.005>

Nintendo (2019). *Erschafft ganz neue Arten zu spielen - mit Nintendo Labo!* Abgerufen 5. August 2019, von:
<https://www.nintendo.at/Nintendo-Labo/Nintendo-Labo-1328637.html>

- Nordahl, R.** (2005). Self-Induced Footsteps Sounds in Virtual Reality: Latency, Recognition, Quality and Presence. *Proceedings of Presence 2005: The 8th Annual International Workshop on Presence*. S. 353-355.
- Nordahl, R.** (2006). Increasing the Motion of Users in Photo-realistic Virtual Environments by Utilising Auditory Rendering of the Environment and Ego-Motion. *Proceedings of Presence 2006: The 9th Annual International Workshop on Presence*. S. 57-62.
- Nordahl, R. & Nilsson, N.** (2014). *The Sound of Being There: Presence and Interactive Audio in Immersive Virtual Reality*. Abgerufen 5. August 2019, von:
https://www.researchgate.net/publication/262223173_The_Sound_of_Being_There_Presence_and_Interactive_Audio_in_Immersive_Virtual_Reality
- Oculus.com.** (2019). *VRTIFY*. Abgerufen am 11. Oktober 2019 von:
<https://www.oculus.com/experiences/gear-vr/1378196722247293/>
- Oertel, M.** (2019). *Test: Dance Central (VR) - 4Players.de*. Aufgerufen am 13. Oktober 2019 von:
https://www.4players.de/4players.php/dispatcher/Allgemein/Test/40723/83790/0/Dance_Central_VR.html
- Optale, G., Capodieci, S., Pinelli, P., Zara, D., Gamberini, L., Riva, G.** (2001). Music-enhanced Immersive Virtual Reality in the Rehabilitation of Memoryrelated Cognitive Processes and Functional Abilities: A Case Report. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 10(4), S. 450-462. DOI: 10.1162/1054746011470217
- Optale, G., Urgesi, C., Busato, V., Marin, S., Piron, L., Priftis, K., Gamberini, L., Capodieci, S., Bordin, A.** (2010). Controlling Memory Impairment in Elderly Adults Using Virtual Reality Memory Training: A Randomized Controlled Pilot Study. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 24(4), S. 348-357. <https://doi.org/10.1177/1545968309353328>

Ozawa, K., Chujo, Y., Suzuki, Y., Sone, T. (2003). Psychological factors involved in auditory presence. *Acoustical Science and Technology*, 24(1), 42-44.

Ozawa, K., Miyasaka, M. (2004). Effects of reproduced sound pressure levels on auditory presence. *Acoustical Science and Technology* 25(3), S. 207-209.
https://www.researchgate.net/publication/245525225_Effects_of_reproduced_sound_pressure_levels_on_auditory_presence

Paul, P. S., Goon, S., Bhattacharya, A. (2012). History and Comparative Study of Modern Game Engines. *International Journal of Advanced Computer and Mathematical Sciences* 3(2), S. 245-249.
https://www.researchgate.net/publication/259496289_History_and_comparative_study_of_modern_game_engines

Perrott, D. R., Saberi, K. (1990). Minimum audible angle thresholds for sources Varying in both elevation and azimuth. *Journal of the Acoustical Society of America* 87(4), S. 1728-1731.

Poirier-Quinot, D., Katz, B. F. G. (2018). Impact of HRTF Individualization on Player Performance in a VR Shooter Game I. *Proceedings of the AES Conference on Spatial Reproduction*, Japan.

Pörschmann, C. (2001). Einfluss der Eigenwahrnehmung der Stimme auf die Präsenz in auditiven virtuellen Umgebungen. *German Annual Conference on Acoustics (DAGA)*.
https://www.researchgate.net/publication/280643037_Einfluss_der_Eigenwahrnehmung_der_Stimme_auf_die_Prasenz_in_auditiven_virtuellen_Umgebungen

Psotka, J. (2013). Educational Games and Virtual Reality as Disruptive Technologies. *Educational Technology & Society* 16(2), S. 69-80.
https://www.researchgate.net/publication/288997480_Educational_Games_and_Virtual_Reality_as_Disruptive_Technologies

- Raglio, A., Belleli, G., Mazzola, P., Bellandi, D., Giovagnoli, A. R., Farina, E., Stramba-Badiale, M., Gentile, S., Gianelli, M. V., Ubezio, M. C., Zanetti, M., Trabucchi, M. (2012).** Music, Music Therapy and Dementia: A Review of Literature and the Recommendations of the Italian Psychogeriatric Association. *Maturitas*, 72(4), S. 305-310. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2012.05.016>.
- Rayleigh, Lord. (1907).** *On our perception of sound direction*. O.M. Pres. R.S. (1907) XII. The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 13:74, 214-232. Abgerufen 15. August 2019 von: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14786440709463595>
- Reed, D. (2004).** The Influence of Virtual Reality on Playfulness in Children with Cerebral Palsy: a Pilot Study. *Occupational Therapy International* 11(3). S. 131-144. Doi: 10.1002/oti.202
- Reeves, B. R. (1991).** "Being there:" Television as symbolic versus natural experience. Unveröffentlichtes Manuskript. Stanford University, Institute for Communication Research, Stanford, CA.
- Recanzone, G. H. (2009).** Interactions of Auditory and Visual Stimuli in Space and Time. *Hearing Research* 258, S. 89-99.
- Rovira, A., Swapp, D., Spanlang, B., Slater, M. (2009).** The Use of Virtual Reality in the Study of People's Responses to Violent Incidents. *Frontiers in Behavioral Neuroscience* 3, S. 59.
- Rubin, P. (2018).** *Future presence*. New York: Harper Collins Publishers.
- Rumsey, F. (2001).** *Spatial Audio*. 2. Edition. Oxford: Focal Press.
- Sadler, R., & Dooly, M. (2014).** *Language learning in virtual worlds: Research and practice*. In: Thomas, M., Reinders, H.

- & Warschauer, M. (Eds.) *Contemporary computer-assisted language learning*. 159-182.
- Schertenleib, S., Gutierrez, M., Vexo, F., Thalmann, D.** (2004). Conducting a Virtual Orchestra. *IEEE MultiMedia*, 11(3), S. 40-49. Doi: 10.1109/MMUL.2004.5
- Schmiedchen, O.** (2019). BOXVR im Test: Fitnesstraining in VR mit hohem Spaßfaktor. *Gamez.de*. Aufgerufen am 13. Oktober 2019 von: <https://www.gamez.de/reviews/boxvr-review/>
- Schmidt, B.** (2019). Game Audio Industry Survey 2019. *Gamesoundcon.com*. Aufgerufen am 23. Oktober 2019 von: <https://www.gamesoundcon.com/single-post/2019/09/10/Game-Audio-Industry-Survey-2019>
- Serafin, S., Erkut, C., Kojs, J., Nilsson, N. C., Nordahl, R.** (2016). Virtual Reality Musical Instruments: State of the Art, Design Principles, and Future Directions. *Computer Music Journal*, 40(3), S. 22-40.
https://doi.org/10.1162/COMJ_a_00372
- Shivappa, S., Morrell, M., Sen, D., Peters, N. & Salehin, S. M. A.** (Hrsg.). (2016). Efficient, Compelling, and Immersive VR Audio Experience Using Scene Based Audio/Higher Order Ambisonics. *2016 AES International Conference on Audio for Virtual and Augmented Reality*. Verfügbar unter <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=18493>
- Slater, M.** (2009). Place Illusion and Plausibility Can Lead to Realistic Behaviour in Immersive Virtual Environments. *Philos Trans R Soc Lond B* 364, S. 3549-3557.
- Slater, M., Spanlang, B., Sanchez-Vives, M.V., Blanke, O.** (2010). First Person Experience of Body Transfer in Virtual Reality. *PLoS ONE* 5(5): e10564.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010564>
- Slater, M.** (2018). Immersion and the Illusion of Presence in Virtual Reality. *British Journal of Psychology* 109, S. 431-433.
- Stapleton, D.** (2019). Beat Saber Review. *IGN.com*. Aufgerufen am 13. Oktober 2019 von:

<https://www.ign.com/articles/2019/05/28/beat-saber-review>

Steam. (2017). Exa: The Infinite Instrument on Steam. *Steam Store Website*. Aufgerufen am 14. Oktober 2019 von: https://store.steampowered.com/app/606920/EXA_The_Infinite_Instrument/

Steam Audio. (2018). Beta 16 Custom HRTF Support. *Steamcommunity.com*. Aufgerufen am 25. Oktober 2019 von: <https://steamcommunity.com/app/596420/allnews/>

Steuer, J. (1992). Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence. *Journal of Communication*, 42(4), 73-93. doi: 10.1111/j.1460-2466.1992.tb00812.x

Susal, J., Krauss, K., Tsingos, N. & Altman, M. (Hrsg.). (2016). Immersive Audio for VR. *AES International Conference on Audio for Virtual and Augmented Reality*. <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=18512>

The 360 Guy. (2019). The Ultimate VR Headset Comparison Table: Every VR Headset Compared. *360° Camera Reviews and Guides*. Abgerufen von: <http://www.threesixtycameras.com/vr-headset-comparison-table/>

TechAU. (2015). *Listen to Your Spotify and SoundCloud Playlists in VR with GROOVR*. Abgerufen am 10. Oktober 2019 von: <https://techau.com.au/listen-to-your-spotify-and-soundcloud-playlists-in-vr-with-groovr/>

Toole, F. W. (1970). In-head localization of acoustic images. *Journal of the Acoustical Society of America* 48, S. 943-949.

Unity Technologies (2019a). Unity User Manual (2019.2) Audio Files. *Docs.Unity3D.com*. Aufgerufen am 23. Oktober 2019 von: <https://docs.unity3d.com/Manual/AudioFiles.html>

Unity Technologies (2019b). Unity User Manual (2019.2) Specifics on the AudioMixer Window. *Docs.Unity3D.com*. Aufgerufen am 23. Oktober 2019 von: <https://docs.unity3d.com/Manual/AudioMixerSpecifics.html>

Väljamäe, A., Larsson, P., Västfjäll, D., Kleiner, M. (2004). Auditory Presence, Individualized Head-Related Transfer

- Functions and Illusory Ego-Motion in Virtual Environments. *Proceedings of the Seventh Annual International Workshop Presence*, Valencia, Spain. S. 141-147.
- Valve Corporation** (2017a). Steam Audio Unity Plugin 2.0-beta.17. *Valvesoftware.github.io*. Aufgerufen am 2. November 2019 von https://valvesoftware.github.io/steam-audio/doc/phonon_unity.html
- Valve Corporation** (2017b). Steam Audio Unreal Engine 4 Plugin. *Valvesoftware.github.io*. Aufgerufen am 2. November 2019 von https://valvesoftware.github.io/steam-audio/doc/phonon_unreal.html
- Villegas, J.** (2015). Locating Virtual Sound Sources at Arbitrary Distances in Real-time Binaural Reproduction. *Virtual Reality*, 19(3-4), S. 201-212. Abgerufen 14. September 2019, von: <https://link-springer-com.uaccess.univie.ac.at/article/10.1007/s10055-015-0278-0>
- Vorländer, M.** (2008). *Auralization. Fundamentals of Acoustics, Modelling, Simulation, Algorithms and Acoustic Virtual Reality*. Berlin: Springer.
- Vorländer, M.** (2009). Auralization of Spaces. *Physics Today* 62(6), S. 35-40. <https://doi.org/10.1063/1.3156831>
- Wade, N. J.** (2002). Charles Wheatstone (1802-1875). *Perception* 31, S. 265-272.
- Wallach, H.** (1940). The role of head movements and vestibular and visual cues in sound localization. *Journal of Experimental Psychology* 27(4), S. 339-368.
- Weinbaum, S. G.** (1935). *Pygmalion's Spectacles*. In: Wonder Stories. Springfield, MA: Continental Publications.
- Welvaert, M., Rosseel, Y.** (2013). *On the Definition of Signal-to-Noise Ratio and Contrast-to-Noise Ratio for fMRI Data*. PLoS ONE 8(11): e77089. Abgerufen 10. September 2019 von: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077089>
- Wenzel, E. M., Wightman, F. L., Kistler, D. J.** (1991): Localization with non-individualized virtual acoustic

display cues. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New Orleans, S.351-359.

Wiederhold, Brenda K. (2019). Virtual Reality Therapy: Emerging Topics and Future Challenges. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, Volume 22. S.5. DOI: 10.1089/cyber.2018.29136.bkw

Zaar, J. (2010). *Vermessung von Außenohrübertragungsfunktionen mit reziproker Messmethode*. Graz: Institut für elektronische Musik und Akustik. Projektarbeit. Aufgerufen am 10. September 2019 von: <https://iem.kug.ac.at/fileadmin/media/iem/projects/2010/zaar.pdf>

Zahorik, P., Brungert, D., Bronkhorst, A. W. (2005). Auditory Distance Perception in Humans: A Summary of Past and Present Research. *Acta Acustica* 91(3), S. 409-420.

Zenner H.P. (2006) Gleichgewicht. In: Schmidt F., Schaible HG. (eds) *Neuro- und Sinnesphysiologie*. Springer-Lehrbuch. Springer, Berlin, Heidelberg.

Zhu, H., Sun, Y., Zeng, J., Sun, H. (2011). Mirror neural training induced by virtual reality in brain-computer interfaces may provide a promising approach for the autism therapy. *Medical Hypotheses*. May;76(5):646-7. doi: 10.1016/j.mehy.2011.01.022.

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1:** Kaur, G. (2019). Virtual Reality. *Medium.com*. Abgerufen 14. August 2019, von: <https://medium.com/@kaurgagan073/virtual-reality-5a0164a2a3c2>
- Abb. 2:** The VR Shop. (2015). *The VR Shop - NASA VIVED - Retro VR* [Video Datei]. Aufgerufen am 14. August 2019 von: <https://www.youtube.com/watch?v=q5wtumKRAz0>
- Abb. 3:** Steuer, J. (1992). Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence. *Journal of Communication*, 42(4), 73-93. doi: 10.1111/j.1460-2466.1992.tb00812.x
- Abb. 4:** Mealy, P. (2018). *Virtual & Augmented Reality for Dummies*. Newark: John Wiley & Sons, Incorporated.
- Abb. 5:** Rumsey, F. (2001). *Spatial Audio*. 2. Edition. Oxford: Focal Press.
- Abb. 6:** Mihocic, M. (2014). *ExpSuite: Open Source-Framework zur Durchführung Psychoakustischer Experimente und akustischer Messungen*. Masterarbeit Technikum Wien.
- Abb. 7:** Blauert, J. (1997). *Spatial Hearing: The Psychophysics of Human Sound Localization*. MIT-Press Cambridge MA.
- Abb. 8:** Huguet, J. A. (2011) *Cone of Confusion*. In: Binaural Hearing Effects of Mapping Microphone Array's Response to a Listener's Head-Related Transfer Functions. Masterarbeit.
- Abb. 9 & Abb. 10:** Mihocic, M. (2014). *ExpSuite: Open Source-Framework zur Durchführung Psychoakustischer Experimente und akustischer Messungen*. Masterarbeit Technikum Wien.
- Abb. 11:** Menzies, D., Al-Akaidi, M. (2007). Nearfield Binaural Synthesis and Ambisonics. *The Journal of the Acoustical Society of America* 12, S. 1559-1563. DOI: 10.1121/1.2434761
- Abb. 12:** TheWaveXR (2019). *Screenshot des Programms The Wave*.

Abb. 13: Brown, J. (2019). Lindsay Stirling Plays New Songs Live in 'The Wave' VR. *Dancemusicnw.com*. Abgerufen 11.

Oktober 2019 von: <http://dancemusicnw.com/lindsey-stirling-wave-vr/>

Abb. 14: Steam. (2017). Beat Saber - Rogue - "Rattlesnake". *Steam Store Website*. Aufgerufen am 14. Oktober 2019 von: https://store.steampowered.com/app/1048875/Beat_Saber__Rogue__Rattlesnake/?l=german&curator_clanid=4777282&utm_source=SteamDB

Abb. 15: Hamilton, K. (2017). Few People Will Ever Know How Great Rock Band VR is. *Kotaku.com*. Aufgerufen am 17. Oktober 2019 von:

<https://kotaku.com/few-people-will-ever-know-how-great-rock-band-vr-is-1794222114>

Abb. 16: Nafarrete, J. (2016). Now You Can Make Music in VR With The Music Room. *Vrscout.com*. Abgerufen am 17. Oktober 2019 von: <https://vrscout.com/news/now-can-make-music-vr-music-room/#>

Abb. 17: Crute, A. (2019). Virtual Reality: How will it change the way you make music? *MusicTech.net*. Aufgerufen am 17. Oktober 2019 von:

<https://www.musictech.net/features/trends/vr-music-making/>

Abb. 18: Facebook 360. (2018). *Facebook 360 Spatial Workstation User Guide. Release 3.3.1*. Two Big Ears Ltd. Verfügbar unter: <https://facebook360.fb.com/spatial-workstation/>

Abb. 19: Audio Ease B.V. (o.D.a). 360pan Suite. *AudioEase.com*. Aufgerufen am 22. Oktober 2019 von: <https://www.audioease.com/360/>

Abb. 20: Dear Reality. (o.D.). DearVR. 3D Audio Virtual Reality. *Dearvr.com*. Aufgerufen am 22. Oktober 2019 von: <http://dearvr.com/>

Abb. 21: Blue Ripple Sound. (2018). O3A View Plugins User Guide v. 2.1.6. *Blueripplesound.com*. Aufgerufen am 22. Oktober 2019 von:

http://www.blueripplesound.com/sites/default/files/O3AView_UserGuide_v2.1.6.pdf

Abb. 22: Schmidt, B. (2019). Game Audio Industry Survey 2019. *Gamesoundcon.com*. Aufgerufen am 23. Oktober 2019 von:

<https://www.gamesoundcon.com/single-post/2019/09/10/Game-Audio-Industry-Survey-2019>

Abb. 23: Garner, T. (2018). *Echoes of Other Worlds: Sound in Virtual Reality*. Cham: Palgrave Macmillan, S. 271.

Abb. 24: Valve Corporation (2017a). Setting Steam Audio as the Spatializer Plugin. *Valvesoftware.github.io*. Aufgerufen am 2. November 2019 von:

https://valvesoftware.github.io/steam-audio/doc/phonon_unity.html

Abb. 25: Unity Technologies (2019). *Screenshot der Software Unity 2.9f1*

Abb. 26: Unity Technologies (2019). *Screenshot der Software Unity 2.9f1*

Abb. 27: Unity Technologies (2019). *Screenshot der Software Unity 2.9f1*

Abb. 28: Valve Corporation (2017a). Setting Steam Audio as the Spatializer Plugin. *Valvesoftware.github.io*. Aufgerufen am 2. November 2019 von:

https://valvesoftware.github.io/steam-audio/doc/phonon_unity.html

Abb. 29: Valve Corporation (2017a). Setting Steam Audio as the Spatializer Plugin. *Valvesoftware.github.io*. Aufgerufen am 2. November 2019 von:

https://valvesoftware.github.io/steam-audio/doc/phonon_unity.html

Abb. 30: Valve Corporation (2017a). Setting Steam Audio as the Spatializer Plugin. *Valvesoftware.github.io*. Aufgerufen am 2. November 2019 von:

https://valvesoftware.github.io/steam-audio/doc/phonon_unity.html

Abb. 31: Valve Corporation (2017b). Steam Audio Unreal Engine 4 Plugin. *Valvesoftware.github.io*. Aufgerufen am 2. November 2019 von https://valvesoftware.github.io/steam-audio/doc/phonon_unreal.html

Abb. 32: Epic Games, Inc. (2019). *Screenshot der Software Unreal Engine 4.23.*

Abb. 33: Epic Games, Inc. (2019). *Screenshot der Software Unreal Engine 4.23.*

Abb. 34: Epic Games, Inc. (2019). *Screenshot der Software Unreal Engine 4.23.*

Anhang

Anhang A: Übersicht aller aktuellen VR-Geräte

Vergleich von VR	PC-basierte Systeme						Smartphone-basierte Systeme			Konsolebasierte Systeme		Standalone Systeme		
HMDs	Oculus Rift / Rift S	HTC Vive / Vive Pro	HTC Cosmos	Lenovo Explorer	Valve Index	Pinax 4K / 5K Plus / 8K	Samsung Gear VR	Google Cardboard	Google Daydream View	Sony PS VR	Nintendo Labo VR-Kit	Lenovo Mirage Solo	Oculus Go	Oculus Quest
HMDs														
Hardware Voraussetzung	Highend PC	Highend PC	Highend PC	Mittelklasse PC	Highend PC	Highend PC	Mittel- bis Highend Smartphone	Mittel- bis Highend Smartphone	Mittel- bis Highend Smartphone	PlayStation 4 / PlayStation 4 Pro	Nintendo Switch	keine (interner Snapdragon 835 Prozessor)	keine (interner Snapdragon 821 Prozessor)	keine (interner Snapdragon 835 Prozessor)
Display Typ	OLED	OLED / AMOLED	LCD	LCD	LCD	LCD	AMOLED	Abhängig vom Smartphone	Abhängig vom Smartphone	OLED	LCD	LCD	LCD	OLED
Display Auflösung pro Auge (Pixel)	1080x1200 / 1280x1440	1080x1200 / 1440 x 1600	2880x1700	1440x1600	1440x1600	1920x2160 / 2560x1440 / 3840 x 2160	2560x1440	Abhängig vom Smartphone	Abhängig vom Smartphone	960x1080	640 x 720	2560 x 1440	2560x1440	1440x1600
Field of View	110° / 115°	110°	110°	110°	130°	110° / 200° / 200°	96°	70°	90°	100°	nicht angegeben	110°	ca. 96-101°	100°
Bildwiederholrate (Hz)	90 / 80	90	90	90	120 + exp. 144 Modus	60 / 90 / 90	60	60	abhängig von Gerät	120	60	75	60 oder 72	72
Head Tracking	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Positional Tracking	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja / Nein / Nein	Nein	Nein	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja
Tracking System	Base Station / Inside-Out	Base Station	Inside-Out	Inside-Out	Base Station	Base Station und Inside-Out	/	/	/	Base Station	/	Inside-Out	/	Inside-Out
Integr. Kopfhörer	Ja	Nein / Ja	Ja	Nein	Ja (Off-Ear)	Nein / Nein / Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
Preis (€) (inkl. aller benötigten Accessoires)	~387,- (offiziell nicht mehr erhältlich) / ~449,-	599,- / 879,-	799,-	199,-	999,-	454,- (offiziell nicht mehr erhältlich) / 799,- / 999,-	114,90	7,-	60,-	195,-	ab 39,99	379,-	219,- bzw. 249,-	399,-
Datum der Veröffentlichung	28.03.2016 / 21.05.2019	05.04.2016 / 05.04.2018	03.10.2019	04.10.2017	28.06.2019	01.01.2017	27.05.2015	25.06.2014	10.11.2016	01.10.2016	12.04.2019	05.05.2018	01.05.2018	21.05.2019

Tabelle 1: Übersicht aller aktuellen VR Geräte
(Hayden, 2019; Leger, 2019; The 360 Guy, 2019; Wiederhold, 2019).
*Preise entnommen von Amazon.de

Anhang B: Vergleich von Musikwiedergabe- und Visualisierungsanwendungen in VR

Vergleich von Musikanwendungen in VR	Musikwiedergabe und Visualisierung					
Name der Anwendung	Harmonix Music Visualizer	Jaunt VR	GrooveVR	VRTIFY	TheWaveXR	The Virtual Orchestra
System	PS VR	Rift, Vive, Index	Oculus, Gear VR	Oculus, Gear VR, Cardboard	Rift, Vive, Index, Windows Mixed Reality, Cosmos	PS VR
Interaktivität	Ja	Nein	Nein	Nein	Ja	Nein
Integration eigener Musikbibliothek	Ja	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein
Soziale Interaktion	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja	Nein
Entwickler	Harmonix	Jaunt	Presence Labs	VRTIFY World	WaveVR, Inc.	Philharmonia Orchestra
Preis (€)	14,99	Gratis	Gratis mit kaufbaren Inhalten	Gratis	Gratis	3,59
Datum der Veröffentlichung	17. November 2016	10. Dezember 2015	24. Dezember 2015	27. Juli 2017	13. April 2017	8. Mai 2017

Tabelle 2: Vergleich von VR Anwendungen für Musikwiedergabe und Visualisierung
(Clements, 2016; Bonifacic, 2019; Bezmalinovic, 2019; Mixed, 2015; TechAU, 2015; Oculus.com, 2019; Deahl, 2016; Dredge, 2019; Davis, 2017)

Anhang C: Vergleich von Rhythmusspielen in VR

Vergleich von Musikanwendungen in VR	Rhythmusspiele				
Name der Anwendung	Beat Saber	Rockband VR	Dance Collider	BOXVR	Dance Central
System	Rift, Vive, Cosmos, Index, PS VR, Quest, Windows Mixed Reality	Rift	Rift, Vive, PS VR, Quest, Index, Cosmos	Rift, Vive, Index, Windows Mixed Reality, Cosmos	Rift, Quest
Interaktivität	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Integration eigener Musikbibliothek	Ja	Nein	Ja	Ja	Nein
Soziale Interaktion	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
Entwickler	Beat Games	Harmonix	emergeWorlds	FitXR	Harmonix
Preis (€)	29,99	39,99	19,99	29,99	29,99
Datum der Veröffentlichung	21. Mai 2019	23. März 2017	27. September 2018	21. Mai 2019	21. Mai 2019

Tabelle 3: Übersicht aller genannten VR-Rhythmusspiele
(Stapleton, 2019; Hamilton, 2017; leatham, 2018; Schmiedchen, 2019; Oertel, 2019)

Anhang D: Vergleich von Anwendungen musikalischer Kreation und Aufnahmesoftware in VR

Vergleich von Musikanwendungen in VR	Musikalische Kreation und Aufnahme				
Name der Anwendung	The Music Room	Exa: The Infinite Instrument	Track Lab VR	Tribe XR	Lyra VR
System	Vive	Rift, Vive, Index, Windows Mixed Reality, Cosmos	PS VR	Rift, Vive, Index, Windows Mixed Reality, Cosmos	Rift, Vive, Index, Windows Mixed Reality, Cosmos
Interaktivität	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Verbindung mit DAW	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
Soziale Interaktion	Nein	Nein	Nein	Ja	Nein
Entwickler	Chroma Coda	Aesthetic Interactive	Little Chicken Game Company	Tribe XR Inc.	LyraVR
Preis (€)	115,97	14,99	19,99	16,79	14,99
Datum der Veröffentlichung	18. August 2017	31. März 2017	22. August 2018	25. März 2019	22. März 2017

Tabelle 4: Übersicht VR Anwendungen für musikalische Kreationen und Aufnahme (Steam, 2017; Hills-Duty, 2018; Carlton, 2019; Crute, 2019; Forrest, 2016)