

Die Anwendung eines stereofonen Mehrkanalverfahrens für 3D-Audio und VR *Development and application of a stereophonic multichannel recording technique for 3D Audio and VR*

Helmut Wittek¹, Günther Theile,²

¹ *SCHOEPS Mikrofone GmbH, Karlsruhe, Email: wittek@schoeps.de*

² *VDT, Email: theile@tonmeister.de*

Abstract - D

Eine neu entwickelte Mikrofonanordnung wird präsentiert, mit der eine optimale Aufnahme von Atmo in 3D-Audio erreicht werden kann. Die sogenannte "ORTF-3D"-Anordnung ist ein 8-kanaliges Setup, das diskret auf 8 Lautsprecherkanäle geroutet wird, die z.B. Teil einer Auro3D- oder Dolby Atmos-Anordnung sind.

Es ist außerdem optimal geeignet für Formate wie Virtual Reality/Binauraltechnik oder WFS, da es eine komplexe 3D-Atmo erzeugt, die kanalbasiert wiedergegeben und binauralisiert werden kann.

Das ORTF-3D Setup wurde auf Basis stereofoner Grundlagen entwickelt – es erzeugt eine ausgewogene Rundumabbildung der Schallquellen genauso wie eine hohe Qualität der räumlichen Abbildung aufgrund seiner dekorrelierten Signale im Diffusfeld. Die Erprobung von Toningenieurern ergab, dass es einen hochimmersiven Klang in einer großen Hörzone erzeugt und dennoch kompakt und praktisch zu benutzen ist.

Abstract - E

A newly developed microphone arrangement is presented which aims at an optimal pickup of ambient sound for 3D-Audio. The ORTF-3D is a discrete 8ch setup which can be routed to the channels of a 3D-Stereo format like DolbyAtmos or Auro3D. It is also ideally suited for immersive sound formats like WFS or VR/Binaural, as it creates a complex 3D ambience which can be mixed or binauralized.

The ORTF-3D setup was developed based on basic stereophonic rules and creates an optimal directional image in all directions as well as a high spatial sound quality due to highly uncorrelated signals in the diffuse sound. Validations from sound engineers show that it creates a highly immersive sound in a large listening area and still is compact and practical to use.

Toningenieure, die für 3D aufnehmen, sehen sich bei der Wahl der passenden Aufnahmetechnik einer schwierigen Aufgabenstellung gegenüber. Bei 3D steigt - im Vergleich zu Wiedergabeverfahren, die nur in der Horizontalebene arbeiten - die nötige Anzahl der Kanäle und damit die Komplexität deutlich.

Es ist verlockend, aber keine gute Idee, allzu einfache Lösungen anzuwenden, denn der Kunde fordert einen Mehrwert von 3D-Audio gegenüber konventionellem 5.1 Surround. Bei einer guten 3D-Aufnahme, die mithilfe der passenden Aufnahmetechnik gemacht wurde, ist dieser Mehrwert in beeindruckender Weise hörbar.

1. Eine Aufnahmetechnik für alle 3D-Formate?

Natürlich unterscheiden sich generell die Aufnahmetechniken für die verschiedenen 3D-Audio Wiedergabeverfahren. Bei Schallfeldsyntheseverfahren können vielkanalige Mikrofon-Arrays eine Lösung sein, bei 3D-Stereo sind stereofone Techniken üblich und für binaurale Wiedergabe kann im einfachsten Fall ein Kunstkopf verwendet werden. Jedoch eint alle Verfahren eine Notwendigkeit: Für eine Aufnahme komplexer, ausgedehnter Schallquellen wie z.B. Atmo müssen stereofone Techniken verwendet werden, da nur die Stereofonie so eine hohe Kanaleffizienz bei gleichzeitig hoher klanglicher Qualität bietet. Es ist z.B. schlicht unmöglich, einen großen Chor oder eine komplexe Straßenatmo in hoher Qualität mit Einzelmikrofonie abzubilden.

Genauso scheitern die vielkanaligen Arrays für Higher Order Ambisonics (HOA) oder Wellendfeldsynthese in der Praxis, denn ihre Kanaleffizienz und klangliche Qualität ist zu gering.

3D-Audio

Die neuen Wiedergabeverfahren, die mit dem Begriff „3D-Audio“ zusammengefasst werden, realisieren eine Tonwiedergabe aus allen Raumrichtungen. Dies gilt für die stereofonen Verfahren Dolby Atmos und Auro3D genauso wie für binaurale Verfahren („VR“=Virtual Reality) und die Schallfeldsynthese, also Ambisonics und Wellendfeldsynthese.

3D-Audio kann gegenüber 5.1 die räumliche Wahrnehmung deutlich verbessern, denn nicht nur können nun elevierte Quellen wiedergegeben werden, sondern auch bei den Attributen Umhüllung, Natürlichkeit und Klangfarbe können merkbare Verbesserungen erzielt werden. Auch die Hörzone kann größer werden, man kann sich freier im Wiedergaberaum bewegen, ohne dass das Klangbild in einen Lautsprecher kollabiert.

Reduziert man die Anzahl der Kanäle, wie z.B. bei Ambisonics 1.Ordnung, sinkt wiederum die räumliche Qualität deutlich.

Und für binaurale Wiedergabe ist die Kunstkopftechnik zwar die einfachste, aber nicht die beste Lösung. Denn binaural soll heutzutage "VR" heißen, also kompatibel mit einer VR-Brille, die je nach Kopfrichtung unterschiedliche binaurale Signale benötigt. Außerdem ist es nur mit einer individuellen Außenohr-Übertragungsfunktion (HRTF) möglich, Klangverfärbungen und Vorne-Hinten-Vertauschungen zu vermeiden. Das heißt in anderen Worten, dass jeder nur mit seinen eigenen Ohren gut hört. Es gibt mehr und mehr Techniken, wie auf der Wiedergabeseite, also z.B. direkt im Player eine Individualisierung der HRTF vorgenommen werden kann.

Dies ist nur mit einer dynamischen Binauralisierung von virtuellen Lautsprechern möglich, eine Technik, die im Games-Bereich bereits gang und gäbe ist.

2. Reicht Ambisonics erster Ordnung für 3D?

Oft herrscht das Vorurteil vor, dass "Ambisonics" das Mittel der Wahl für 3D und VR sei. Dabei lohnt es sich für den professionellen Toningenieur, genauer hinzusehen.

Ambisonics ist eine seit langem bestehende Technologie der Schallfeldbeschreibung/-reproduktion an einem Ort. Sie funktioniert aber - genauso wie Wellenfeldsynthese - nur ab einer gewissen räumlichen Auflösung oder "Ordnung". Deshalb unterscheidet man heute generell zwischen Ambisonics erster Ordnung und Ambisonics höherer Ordnung (HOA).

Mit Ambisonics erster Ordnung kann keine fehlerfreie Reproduktion erreicht werden, denn die Mathematik dahinter stimmt nur für eine Tennisballgroße Hörzone. Deshalb gelten eher die Gesetze der Stereophonie - das heißt, ein Ambisonics-Mikrofon erster Ordnung ist nichts anderes als ein koinzidentes Mikrofon mit den bekannten Vorteilen (einfach, wenige Kanäle, flexibel) und Nachteilen (sehr breite, unpräzise Phantomschallquellen, mangelhafte räumliche Qualität).

Es besteht das ungelöste Problem, dass kein Ambisonics-Studiomikrofon mit hoher räumlicher Auflösung existiert. Die bestehenden Ambisonics-Studiomikrofone sind allesamt "erster Ordnung" und haben damit eine für 5.1 Surround knapp ausreichende, aber für 3D-Audio zu geringe Auflösung. Dies macht sich dann in geringer Signaltrennung sowie mäßiger räumlicher Qualität bemerkbar.

Das erste Ambisonics-Mikrofon erster Ordnung war das Soundfield-Mikrofon, genauso gebaut sind z.B. das Tetramic oder das neue Sennheiser VR-Mikrofon. Genauso, nur ohne Höhenkanal, funktioniert das Schoeps Doppel-MS System.

Als Speicherformat für beliebige räumliche Signale ist Ambisonics sehr gut geeignet, aber wiederum nur, wenn die Ordnung groß genug ist. Ein Speicherformat mit nur vier Kanälen (bei Ambisonics heißen diese 4 Kanäle erster Ordnung W, X, Y, Z) erzeugt aus jeder 3D-Aufnahme einen Brei, denn die vormals gute Signaltrennung im 3D-Setup wird durch die Mischung auf 4 Kanäle zerstört.

Ambisonics wird als einfaches und flexibles Speicher- und Aufnahmeformat für interaktive 360°-Videos eingesetzt, z.B. in YouTube. Beim Drehen der Perspektive müssen nur die Werte der Ambisonics-Variablen geändert werden. In Verbindung mit den oben besprochenen, kleinen Ambisonics Mikrofonen erster Ordnung können sehr leicht 360°-Videos mit kleinen, portablen Kameras erzeugt werden.

In einer VR-Umgebung sieht das anders aus: Hier wird die Atmo ("akustisches Hintergrundsignal einer Szene") erzeugt, indem ein virtuelles Lautsprecher-Setup binauralisiert wird, z.B. ein Kubus aus 8 Lautsprechern. Die Signale für das Lautsprecher-Setup sind statisch: bei einer Drehung des Kopfes im Raum bleibt der Raum stehen - das heißt, beim Headtracking werden die entsprechenden HRTFs dynamisch getauscht, genauso wie bei jedem anderen Audioobjekt in der VR-Szene.

Somit entfallen die meisten Vorteile von Ambisonics in VR. Im Gegenteil, dessen Nachteile (schwache Räumlichkeit, hoher Crosstalk zwischen Lautsprechersignalen) fallen noch mehr ins Gewicht.

Falls die praktischen Gegebenheiten ein etwas größeres Mikrofon-Setup erlauben, wäre das ORTF-3D [1] stattdessen eine optimale Wahl als Atmomikrofon.

3. Strenge Qualitätskriterien für Stereophone Arrays

Das stereophone Array ist also für alle 3D-Formate das Mittel der Wahl. Die Forderungen an das stereophone Array sind dieselben wie schon bei Zweikanal- und Fünfkanaal-Stereophonie [2][3]:

- Signaltrennung zwischen allen Kanälen, um Kammfilter zu vermeiden. Kein Signal ist mit signifikantem Pegel auf mehr als zwei Kanälen.
- Pegel- und/oder Laufzeitdifferenzen zwischen benachbarten Kanälen, um die gewünschten Abbildungseigenschaften zu erreichen
- Dekorrelation im Diffusfeld für optimale Umhüllung und Klangqualität



Abbildung 1: Zweikanalige ORTF-Anordnung, hier in elastischer Aufhängung im Windkorb; zwei Nieren, 17 cm, 110°

2ch

Diese Forderungen sind bei Zweikanal-Stereo noch leicht zu erfüllen. Mit Leichtigkeit können zwei unabhängige Kanäle mit der gewünschten Abbildungskurve durch eine geeignete Anordnung zweier Mikrofone erzielt werden. Dafür wurden Hilfsmittel wie der Image Assistant (als iOS-App oder www.ima.schoeps.de) entwickelt, die nicht nur die Phantomschallquellen-Abbildung, sondern auch die so wichtige Kanal-Dekorrelation überwachen. Ein klassisches, gutes Beispiel ist die ORTF-Technik, die mit 100° Aufnahmewinkel und guter Kanaldecorrelation ein immer gutes Stereosignal liefert.



Abbildung 2: Schoeps "ORTF Surround" Verfahren für 5.1 Surround

5ch

Bei fünf Kanälen ist die Erfüllung der obigen Forderungen schon deutlich schwieriger, und es gibt auch zahlreiche Beispiele mangelhafter Arraygeometrien, z.B. ein Mikrofon, das aussieht wie ein Rugby-Ball großes Ei mit fünf Kugelmikrofonen, das gerade bei tieferen Frequenzen eigentlich nur ein Monosignal liefert. Fünf unabhängige Kanäle lassen sich koinzident gar nicht mehr mit Mikrofonen erster Ordnung erreichen. Eine koinzidente Anordnung wie ein Ambisonics-Mikrofon erster Ordnung ist also bereits bei 5.1 ein Kompromiss, allerdings einer, mit dem man gut arbeiten kann, denn auf der anderen Seite bietet die Koinzidenz unschlagbare Vorteile in Kompaktheit und Flexibilität bei der Postproduktion.

Eine optimale Lösung für Atmoaufnahme in Mehrkanalstereofonie ist das "ORTF Surround"-Verfahren, bei dem vier Supernieren in einem Rechteck mit 10*20cm Seitenlängen angeordnet sind. Hier helfen die Mikrofonabstände bei der Dekorrelation und verleihen dem Klangbild dadurch eine räumliche Offenheit. Die Mikrofonensignale werden diskret auf die Kanäle L, R, LS, RS geroutet. Die pegelmäßige Signaltrennung liegt bei 10dB, damit ist das Klangbild auch bei Off-Axis Sitzpositionen im Wiedergaberaum stabil.

8ch oder mehr

Bei 8 oder 9 Kanälen wird die Anordnung der Mikrofone sehr schwierig, will man die obigen Forderungen einhalten. Die einfachste Methode, Signaltrennung zu erhalten, ist das weit

voneinander entfernte Aufstellen der 8-9 Mikrofone. So eine große 9-Kanal Decca-Tree Anordnung ist für bestimmte Anwendungen sehr gut geeignet, aber sie hat gravierende Nachteile, die sie in ihrer Anwendbarkeit einschränken. Zum einen die schiere Größe der Anordnung in Breite und Höhe (> 2m!). Zum anderen ist die pegelmäßige Signaltrennung quasi 0, also ist jedes Signal quasi auf allen Lautsprechern vorhanden. Dies führt dazu, dass dieses Array zwar eine schöne, diffuse Räumlichkeit gut darstellen kann, aber keine stabile Richtungswiedergabe außerhalb des Sweet Spots erreicht. Dies kann durch Hinzunahme von Stützmikrofonen kompensiert werden.

4. ORTF-3D Verfahren

Eine optimale Atmoanordnung für 8 Kanäle bietet das neue "ORTF-3D"-Verfahren [1] (Entwicklung: Helmut Wittek, Günther Theile). Es ist quasi eine Doppelung des "ORTF Surround"-Verfahrens auf zwei Ebenen. Das heißt, es werden je vier Supernieren für die untere und die obere Ebene in einem Rechteck mit 10*20 cm Kantenlänge angeordnet. Die beiden "ORTF-Surround"-Anordnungen sind direkt übereinander ohne Abstand angeordnet.

Zusätzlich sind die Mikrofone jeweils nach oben bzw. unten geneigt, um für Signaltrennung in der vertikalen Ebene zu sorgen. Es entsteht also eine 8-kanalige Anordnung, deren Abbildung innerhalb der horizontalen Ebenen in etwa dem "ORTF Surround"-Verfahren entspricht. Die Mikrofonensignale werden diskret auf die Kanäle L, R, LS, RS (untere Ebene) und Lh, Rh, LSh, RSh (obere Ebene) geroutet. Bei Anwendung für VR werden meist virtuelle Lautsprecherpositionen in der Geometrie eines gleichmäßigen Würfels binauralisiert.

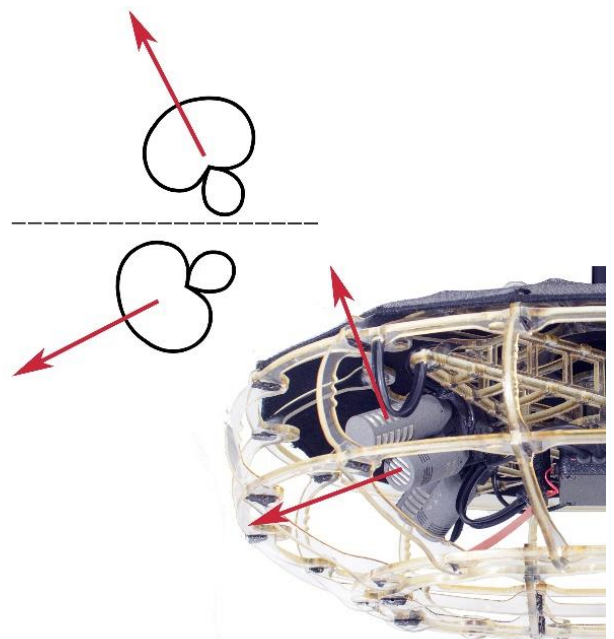


Abbildung 3: X/Y-Paar für ein vertikales Kanalpaar

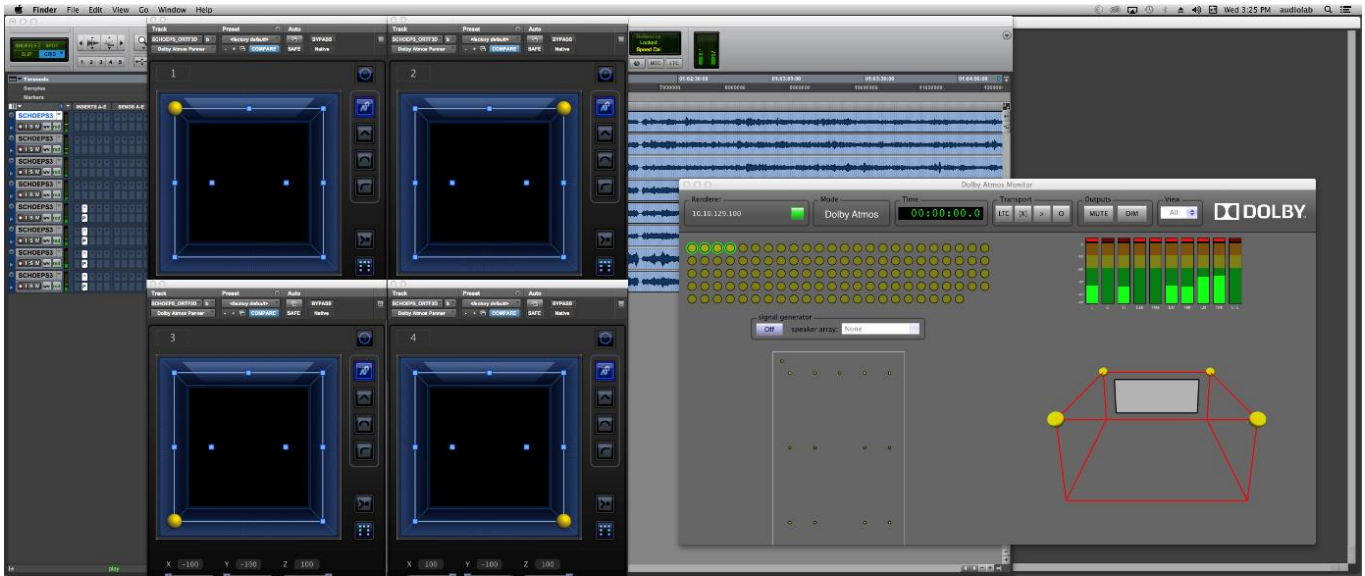


Abbildung 4: Routing des ORTF-3D in Dolby Atmos: Screenshot aus ProTools mit den vier Atmos-Pannern sowie der Monitoring Applikation

Die Abbildung in den vertikalen Lautsprecherpaaren wird durch die aus der Neigung der Mikrofone entstehenden 90° X/Y-Paare aus zwei Supernieren erzeugt. Durch die hohe Richtwirkung der Supernieren ist hier eine zweikanalige koinzidente Anordnung möglich, und sowohl Abbildung als auch Diffusfeld-Dekorrelation sind gut.

Insgesamt entsteht ein 8-Kanal-Array mit hoher Signaltrennung, optimaler Diffusfeld-Dekorrelation und guter 3D-Abbildung bei hoher Stabilität im Wiedergaberaum. Obwohl alle Forderungen optimal erfüllt sind, ist das Array nicht größer geworden als das kompakte ORTF Surround-Verfahren - ein entscheidender Vorteil für die Praxis! Zahlreiche Testaufnahmen haben bereits gezeigt, dass das ORTF-3D Setup sehr schöne, räumlich offene und stabile 3D-Aufnahmen erzeugt.

5. Praxistaugliche Umsetzung

Für das ORTF-3D Outdoor Set von Schoeps werden 8 kompakte CCM-Studiomikrofone Superniere in einer geeigneten Halterung verwendet. Alle Mikrofone sowie der Windkorb selber sind elastisch aufgehängt, um Erschütterungen an der Aufhängung zu entkoppeln. Damit die Anordnung kompakt bleibt, werden die X/Y-Paare aus jeweils einer normalen CCM 41 mit frontaler Besprechungsrichtung und einer CCM 41V mit seitlicher Besprechung aufgebaut. Dies ermöglicht die platzsparende parallele Anordnung der Mikrofongehäuse.

Windkorb und Aufhängung sind von Schoeps gemeinsam mit der Firma CINELA entwickelt worden. Ähnlich wie beim "ORTF Surround"-Windkorb sind auch beim "ORTF-3D"-Windkorb elastische Aufhängung, Fell, optionaler Regenschutz, Multicores mit Breakout-Kabeln und integrierte Heizung Standard. Der Windkorb ist für hängende Montage ausgerichtet, sodass er mithilfe der Heizung für eine dauerhafte Outdoor-Installation z.B. am Stadionsdach vorgesehen ist.

Die Mikrofonanordnung, die erst Ende des letzten Jahres als Prototyp vorgestellt wurde, wird von Schoeps bereits in nennenswerter Stückzahl an Kunden aus dem Sport- und VR-Bereich verkauft/vermietet. Tests sind mit großem Erfolg in den vergangenen zwei Jahren u.a. bei mehreren namhaften Sportveranstaltungen erfolgt. Weitere Testaufnahmen sind auf der Schoeps-website zum



Abbildung 5: ORTF-3D Anordnung im geöffneten Windkorb

Download erhältlich. www.schoeps.de/de/products/ortf-3D-outdoor-set

6. Umsetzung in Dolby Atmos und Auro3D

Die 8 Kanäle des ORTF-3D sind:

L, R, LS, RS (untere Ebene) und Lh, Rh, LSh, RSh (obere Ebene)

Sie werden diskret auf 8 Wiedergabe-Kanäle geroutet, ohne jegliche Matrizierung.

Der Center-Kanal bleibt frei! Ein Centerkanal ist bei Atmoaufnahme selten gewünscht, da er auch die Energiebalance zwischen vorne/hinten verzerrt. Außerdem würde ein Center-Mikrofon die Größe des Setups mehr als verdoppeln, da zur nötigen Signaltrennung nun wesentlich größere Abstände erforderlich sind. Falls aus anderen Gründen ein Centersignal erforderlich ist (z.B. Überdeckung des Ausschaltens des Reportermikrofons), ist ein einfacher



Abbildung 7: VR-Brille, hier: Samsung Gear VR

Downmix von L/R bei kleinem Pegel ausreichend.

Bei Auro3D werden einfach die Lautsprecherkanäle L, R, LS, RS, HL, HR, HLS, HRS beschriftet.

Bei Dolby ist die Einbindung in eine Atmos Produktionsumgebung ebenfalls einfach: L/R/LS/Rs werden einfach auf die entsprechenden Kanäle in der Surround-Ebene gelegt (das sogenannte "Atmos-Bed"). Die 4 Höhenkanäle hingegen werden als vier "statische" Objekte in die oberen Ecken des kartesischen Raumes im Atmos Panner-Tool gelegt. Diese werden dann bei der Wiedergabe auf die entsprechenden vorderen bzw. hinteren Lautsprecher gerendert. Der folgende Screenshot aus ProTools mit den vier Atmos-Pannern sowie der Monitoring Applikation erläutert dies:

7. Umsetzung in VR

In einer "Virtual Reality"(VR)-Umgebung werden 3D-Video und binauraler Ton in einer VR-Brille mit Kopfhörern wiedergegeben. Die Position und Drehung des Kopfes werden dabei in Echtzeit verarbeitet. Bei Wiedergabe eines 360°-Videos über VR-Brille mit Kopfhörern wird nur die Drehung des Kopfes verarbeitet.

Für die Produktion des (binauralen) Tons wird nur selten auf echte Kunstkopfstereofonie zurückgegriffen. Der Grund dafür

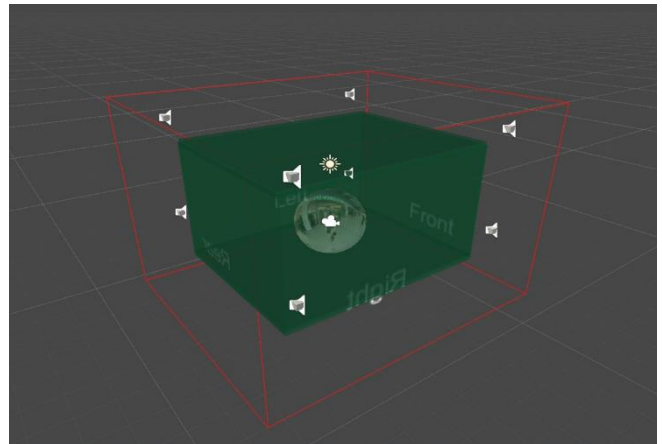


Abbildung 6: Virtual 8.0 loudspeaker setup to reproduce live recorded ambience within a binaural environment

ist, dass bei einer Aufnahme mit Kunstkopf im Nachhinein weder die individuellen Ohreigenschaften noch die Position und Drehung des Kopfes verändert werden können. Mindestens eines von beiden ist wesentlich für eine unverfärbte und Richtungsstabile binaurale Wiedergabe. Stattdessen werden folgende Komponenten separat erfasst und später zusammengesetzt:

- Trockenes „Audio-Objekt“
- Binaurale Filter mit oder ohne Raum („HRTF“, bzw. „BRIR“)

Dieses „Audio-Objekt“ ist üblicherweise eine einzelne Quelle mit einer bestimmten 3D-Richtung und Entfernung, z.B. ein Character in einem Game. Es besteht aus einem trockenen Audiosignal, das im einfachsten Fall direkt mit den jeweiligen binauralen Filtern gefaltet wird.

Die aktuelle Forschung lässt vermuten, dass bald die verwendeten HRTFs noch bei der Wiedergabe individualisiert werden, d.h. jeder Hörer kann sich z.B. im Player einen der eigenen Anatomie ähnlichen Kopf aussuchen, der dann weniger Artefakte wie Verfärbung und Vorne/Hinten-Vertauschung aufzeigt.

Der akustische Hintergrund einer Szene, oder „Atmo“ ist ein besonderer Typ von Schallquelle. Sie kann weder trocken aufgenommen werden, noch kann sie einer einzelnen Punktquelle zugeordnet werden. Im Prinzip könnte eine Atmo aus zahlreichen Einzelquellen im Raum komponiert werden, das wäre aber entweder ineffizient (z.B. Blätterrauschen im Wald) oder unmöglich (Publikumsatmo aus einem Livekonzert).

Deshalb wird üblicherweise aus einer Gruppe von Audioobjekten ein Netz von „virtuellen Lautsprechern“ geformt, das zur Wiedergabe von Einzelquellen sowie stereofonen Aufnahmen benutzt wird. Dieses Netz kann aus einem 3D-Preset gewählt werden, z.B. dem Dolby-Setup 5.1.4 oder dem Auro3D-Setup 9.1, jeweils ohne Center-Speaker. Liegt kein Preset vor, kann man z.B. einen gleichmäßigen Würfel um den Hörer definieren.

Diese Audioobjekte nennt man „diegetic“, das heißt, sie bewegen sich – genauso wie die dazugehörigen visuellen Objekte – bei einer Kopfbewegung nicht mit („diegetic“=„zum Bild passend“). Das bedeutet, dass sich bei

jeder Kopfbewegung die Einfallsrichtung der Quelle und damit der verwendete binaurale Filter ändert. Nicht vom Headtracking abhängige Signale nennt man "non-diegetic" (Nicht-Bildabhängig), dies können z.B. eine Erzählerstimme oder Begleitmusik sein.

Die 8 Signale des ORTF-3D Mikrofons werden auf diesem Netz von 8 virtuellen Lautsprechern wiedergegeben, um eine optimale 3D-Atmo innerhalb der VR-Umgebung aufzuspannen.

Die Nutzung eines Ambisonics-Mikrofons erster Ordnung zu diesem Zweck kann nicht empfohlen werden. Als kleines, koinzidentes Setup lässt sein Output Signaltrennung vermissen und hat dadurch Nachteile bei der Qualität der Raumwiedergabe sowie der Richtungswiedergabe. Es hätte nur dann Vorteile, wenn das Headtracking mithilfe des Ambisonics-typischen Vorteils der verlustfreien virtuellen Drehung des Mikrofons erreicht werden kann, somit können die Atmo-Audioobjekte performance-sparend „Non-diegetic“ sein. Dies ist aber in der Realität meist nicht der Fall, denn es müssen sowieso auch andere „diegetic“ Audioobjekte wiedergegeben werden. Einige binaurale Renderer arbeiten zudem ohnehin nach dem Prinzip, dass intern eine höhere Anzahl von „non-diegetic“ Audioobjekten gerechnet wird, auf die alle Audioobjekte je nach 3D-Richtung gepannt werden.

Literatur

- [1] ORTF-3D Mikrophon, URL: www.schoeps.de/ortf3d
- [2] Theile.G. and Wittek, H.: "Principles in Surround Recordings with Height", 130th AES Convention, London, Mai 2011, Preprint No. 8403
- [3] Theile.G. and Wittek, H.: "3D Audio Natural Recording (English, Natürliche Aufnahmen im 3D-Audio Format)", 27.Tonmeistertagung, Köln, November 2012