

# Ambisonics Mikrofonarrays und Technologie

Seminararbeit für Seminar Ton an der Hochschule der Medien Stuttgart

vorgelegt von:  
Kseniia Anhorn  
im Wintersemester 2023/24  
am 15.01.2024

bei Prof. Oliver Curdt

# Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Was ist Ambisonics?	1
2.1 Motivation	1
2.2. Geschichte der 3D-Audio Entwicklung	1
3. Funktionsweise und Verfahren FOA	3
3.1 Mikrofonarrays (FOA, HOA)	5
3.2 Problematik und Herausforderungen	6
4. Arbeitsumgebung und Plug ins	6
5. Zusammenfassung	7
Quellenverzeichnis	7

# 1. Einleitung

Heute existieren mehrere 3D-Audiotechnologien und Verfahren. Jede Technologie hat Vorteile und Nachteile. Ambisonics ist ein relativ altes Schallfeldübertragungsverfahren, was erst im Jahr 1970 vorgestellt worden ist. Die Patente sind heute abgelaufen, deshalb meiste DAWs integrieren dieses Verfahren in ihr System als ein Standardtool. Das bietet neue Möglichkeiten an und erlaubt freie Forschungen und Erstellung von open source Plug ins auf dem Basis von Ambisonics.

## 2. Was ist Ambisonics?

Ambisonic ist ein Verfahren zur Aufnahme und Wiedergabe eines Klangfeldes. Diese Audiotechnologie wurde in den 1960er und 1970er Jahren in Großbritannien entwickelt und im Wesentlichen von Michael A. Gerzon und Peter Fellgett vorangetrieben. Motivation und Grund der Entwicklung war: eine Möglichkeit Stereowelt näher zum 3D-Audiobild zu bringen. Als unterschied zu anderen Verfahren wird es unabhängig vom einem fixierten Lautsprecheranzahl angewendet. [Kapitel Was ist Ambisonics: Quelle 1, Wikipedia]

### 2.1 Motivation

First-order Ambisonics (FOA) wird heutzutage öfters in internet 3D-Audiotechnolgien eingesetzt und unterstützt from Google/YouTube, Facebook 360°, 360° Audio- und Videoaufnahmen und Rendering sowohl live als auch ion VR-Videospielen. Mikrofone des FOA werden mit 4 Kanäle aufgenommen und encodiert (e.g., Zoom H3-VR, Oktava A-Format Microphone, Røde NT-SF1, Sennheiser AMBEO VR Mic.), das erlaubt problemlose Rotation Mithilfe von Rechnerberechnungen, on head-Trackers, AR/VR sets, and Handgeräte.

### 2.2. Geschichte der 3D-Audio Entwicklung

**Stereo.** Der französische Erfinder Clément Ader übertrug auf der internationalen Elektrizitätsausstellung 1881 in Paris Opern und Theaterstücke in zwei Kanälen (links und rechts) per Telefon in Stereo. Er nannte diese Technik Theatrophon. In den 1930er- Jahren haben dann die Bell Laboratories mit einem Stereo-System experimentiert, das drei Kanäle kannte. Offiziell gilt es als Anfang des immersive Audio.

**Binaurales Experiment.** Der Brite Alan Blumlein experimentierte – ebenso in den 1930er-Jahren – mit „binauraler“ Aufnahmetechnik. So erfand Alan Blumlein auch die Stereosysteme AB, MS sowie XY und meldete diese zum Patent an. Das war Basis für Surround. Dies war auch die Grundlage für Ambisonics.

**Mehrkanalverfahren.** Erst 1940er - 1950ern den Endkundenmarkt erreichte, versuchte Walt Disney bereits in den 1940ern ein Mehrkanaltonverfahren wegen des Filmes „Fantasia“ zu etablieren. Für seinen Film wollte er auch akustisch etwas ganz Besonderes bieten. Geplant waren drei Frontkanäle und ein rückwärtiger Kanal (heute „Surround-Channel“). Ton sollte dementsprechend von einem anderen synchronisierten Projektor kommen. Kunden wollten wegen eines Films den Kinosaal nicht umbauen, deshalb wurde Fantasia klassisch auf mono gemischt.

**Quadrofonie.** In den 1960er-Jahren gab es den Versuch, Quadrophonie in den heimischen Wohnzimmern zu etablieren. Zwei rückwärtige Lautsprecher sollten die beiden Stereokanäle ergänzen. Leider haben sich die Hersteller dieser Zeit nicht auf ein Verfahren geeinigt und haben verschiedene Systeme (diskret mit Einzelkanälen, matriziert) auf den Markt gebracht, die nicht kompatibel waren.

### **Audiotechnologietype.**

Kanalbasiert (auf Bestimmte Kanäle bzw. Lautsprecher setups verteilt, nicht alles kann berechnet und auf andere Set ups übertragen werden),

Objektbasiert (z.b. Dolby Atmos: Audiotracks wie Objekte + Metadata. Bei Atmos wird mit VBAP angewendet),

Szenenbasiert (HOA Ambisonics, ist unabhängig von den Lautsprecher set ups, weil es als berechnetes und reproduziertes 3D-Klangfeld übertragen wird. Problem dabei: Sweetspot bei meisten Standart setups ist sehr klein, beide Ohren passen in Sweetspot nicht rein, nur Messmikrofon. Beim Einsatz in Reduzierten set ups, kann es zu klanglichen Artefakten führen wie unfokussiertes Schallfeld, Kammfilter usw. Muss genau so wie Objektbasierte Technologie encodiert und decodiert werden. Damit es keine Lücken entstehen, benutzt man auch „virtuelle“ Lautsprecher.

**2D-Lautsprechersetup.** Ende der 1970er/Anfang der 1980er etablierte Dolby dann ein Surround-System: Dolby Stereo. Die wichtigste Idee dabei war, dass vorne (Front) drei Kanäle untergebracht sind: Links (Left), Mitte (Center) und Rechts (Right). Da die Kinobesucher selten im Sweetspot

sitzen, soll mit einem Center-Kanal die Richtungswahrnehmung „stabilisiert“ werden. So werden üblicherweise Dialoge in den Center gemischt, dass diese von jeder Sitzposition aus im Kino „aus der Mitte“ gehört werden können. Daraus haben sich die 5.1, 6.1 und 7.1 Formate entwickelt.

**3D-Lautsprechersetup und 3D-Audio.** Da die üblichen Surround-Formate nur eine Horizontale ebene abdecken, liegt es nahe, zu „echtem“ 3D Audio aufzurüsten und mindestens einen Kanal/Lautsprecher über den Köpfen des Publikums zu platzieren. Anfänglich wurde ein solcher Kanal auch als Voice Of God Channel bezeichnet. Neu ist diese Idee genauso wenig wie 3D Kinos, 360° Projektionen oder gar Full Dome Projektionen.

Die Galaxy Studios entwickelten bereits 2005 ihr eigenes Immersive Audio: Auro 3D (kanalbasiert). Die Grundidee sollte möglichst simpel sein, so dass „einfach“ dem 5.1-Layout ein zusätzliches Layer (Height) und bei Bedarf noch ein Layer (Top) aufgesetzt wird. So lässt sich mit vier Kanälen im Height-Layer (einen Height-Center gibt es nicht) ein 9.1 System realisieren. Mit dem Top-Layer ist Auro 3D bis 13.1 konfigurierbar.

In 2012 hat Dolby sein objektorientiertes Immersive Audio System Dolby Atmos vorgestellt, DTS:X kam rund drei Jahre später. Während Dolby Atmos auch im Kino als Immersive Sound Format eine große Rolle spielt, spielt DTS:X im Kino dagegen eine untergeordnete Rolle.

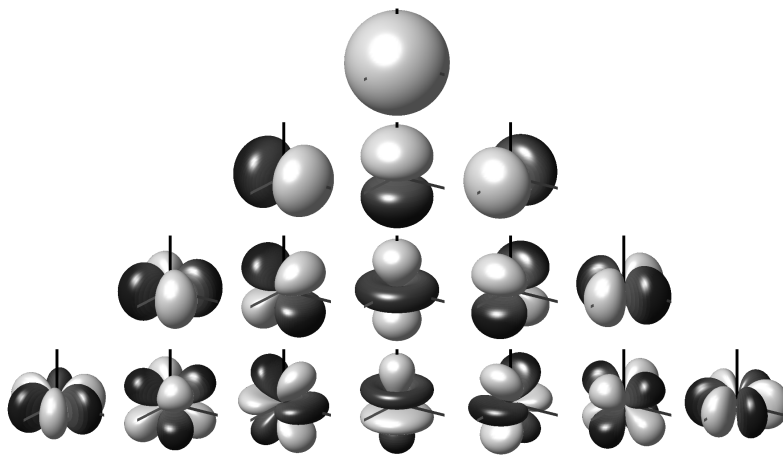
Da nicht überall ein Multilautsprecher-Setup zur Verfügung steht, werden Virtualisierungen genutzt, um die Immersive Sound Umgebung auf einem Kopfhörer zu simulieren. Dolby hatte eine solche Lösung bereits im Sortiment, DTS bietet mit DTS Headphone:X eine aktuelle Lösung an, um 3D Sound auf Kopfhörer zu erleben. Nuendo hat eine solche Virtualisierung für die Ambisonics Produktion ebenfalls direkt an Bord, mit Dear VR und Spatial Audio Designer (der über ein eigenes Panning-Tool für Immersive Audio verfügt, welches unabhängig von der Virtualisierung genutzt werden kann).

[Kapitel Geschichte: Quelle 3, 4]

### **3. Funktionsweise und Verfahren FOA**

Ambisonics, wie früher erwähnt, wurde in den 1970ern an der Universität Oxford entwickelt. Die wird auch nativ von mehreren DAWs unterstützt (Pro Tools, Nuendo, Cubase, REAPER bis 7 Ordnung). Weil die Patente schon abgelaufen sind, wird jetzt von mehreren Hersteller weiter geforscht und erweiterte Ambisonics Versionen entwickelt. Als Austauschformat von Immersive Audiomischungen haben sich Ambisonics-Files bereits etabliert. Die grundsätzliche Idee dabei ist,

dass man ein Mono-Signal als Grundlage nutzt sowie weitere Kanäle zur Bestimmung der Richtung. Die Idee ist vergleichbar mit dem MS-Mikrofon. Grundsätzlich lässt sich also eine Ambisonics Aufnahme in jede Kanal- und Lautsprecherkonfiguration konvertieren. Im Gegensatz zu allen anderen hier erwähnten Formaten gibt es kein fest definiertes Vorne, so kann eine Ambisonics Aufnahme beliebig gedreht werden. Ordnung (Richtungen) werden auf zusätzlichen Kanäle verteilt, mit steigender Ordnung steigt Anzahl der Kanäle  $N = (Ordnung + 1)^2$ . Die 0 Ordnung ist dabei ein Kugel.



Erste Ordnung entsteht aus 4 Kanäle = 4 Richtungen (FLU, BLD, BRU, FRD). Jede Richtung wird in der Abhängigkeit von der Aufnahmeformat (A, B u.a.) berechnet. A simple Ambisonic panner (or encoder) takes a source signal  $S$  and two parameters, the horizontal angle  $\theta$  and the elevation angle  $\phi$ . It positions the source at the desired angle by distributing the signal over the Ambisonic components with

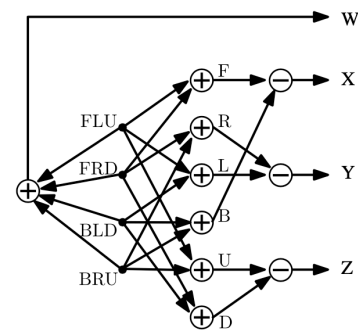
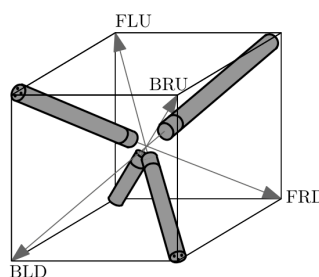
different gains:

$$W = S \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$X = S \cdot \cos \theta \cos \phi$$

$$Y = S \cdot \sin \theta \cos \phi$$

$$Z = S \cdot \sin \phi$$



So sieht die erste Ordnung aus uns man kann die Ordnung (Richtungen) erhöhen. Mit dieser Technologie kann man ein Monosignal 1 bis 7 Ordnung mithilfe von Decoder/Encoder verteilen (führt zu ungenügender Qualität), oder Ein Mikrofonarray der gewollten Ordnung bauen.

[Kapitel Funktionsweise: Quelle 2]

### 3.1 Mikrofonarrays (FOA, HOA)

Erste Ordnung Mikrofonarray ist heute relativ berühmt und wird von verschiedenen Firmen produziert wegen relativ wenig aufwendiger Aufbau. Bei der erste Ordnung Mikrofonen gibt es zwei Formate.

**A-Format.** Alle vier Signale von jeder FOA-Mikrofonkapsel werden in ein 4-Spurigen Track aufgenommen und man kann es später in B-Format mit Hilfe von plug ins konvertieren. Z.B. mit Hilfe von AMBEO plug in. Signal kann auch rotiert werden:

**B-Format.** Enthält einteile der Codierung. Es gibt zwei verschiedenen B-Formate, die sich unterscheiden. Beide Formate sind inkompatibel, deshalb muss man das richtige Format für das

$$W' = W$$

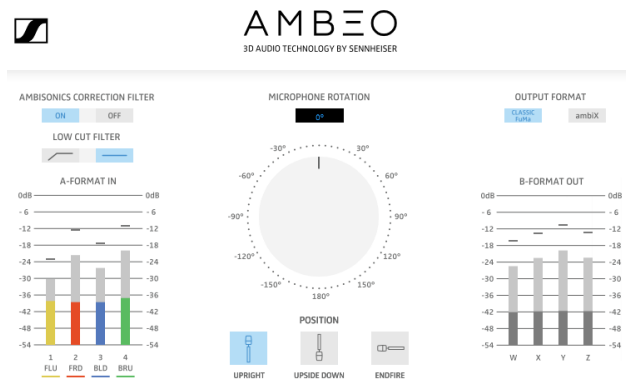
$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} = \mathbf{R} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}$$

$$W' = W,$$

$$X' = X \cos \theta - Y \sin \theta,$$

$$Y' = X \sin \theta + Y \cos \theta,$$

$$Z' = Z.$$



Abspielmedium auswählen.

Fuma. Ist ein älteres Format, Kanäle werden auch mit Buchstaben gekennzeichnet. Unterschied zu ACN ist auch die Reihenfolge der Wiedergabe des Kanals (WXYZ).

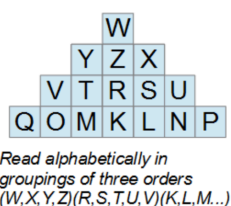
ACN (AmbiX). Moderneres Format mit Ziffern Kodiert. Die Reihenfolge der Wiedergabe des Kanals (WYZX).

Weiteres Encodieren: C-Format (UHJ), D-Format (Lautsprecher). Mithilfe von UHJ-Encoder kann man

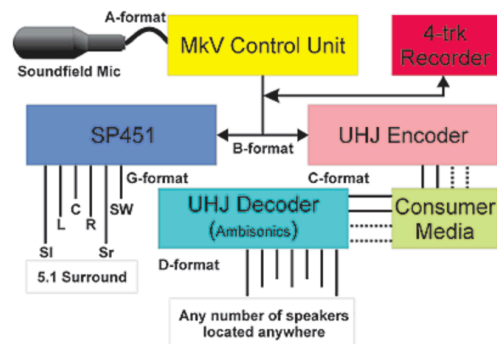
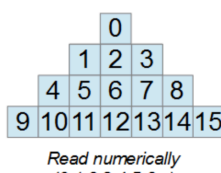
#### Ambisonic Order

Mono  
1<sup>st</sup>-order full sphere  
2<sup>nd</sup>-order full sphere  
3<sup>rd</sup>-order full sphere

#### FuMa



#### ACN



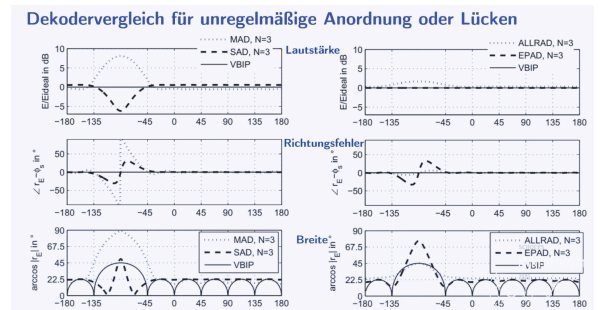
Signale auch Monokompatibel umbrechen lassen.

[Kapitel Mikrofonarrays: Quelle 2, 5, 6, 7, 9]

## 3.2 Problematik und Herausforderungen

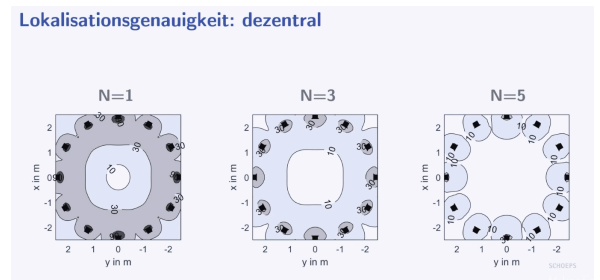
### Mikrofonarrays:

- Verstärkter Rauschanteil + Abfall von tiefen Frequenzen bei HOA
- Sensible zu Phasenänderungen
- Draußenaufnahmen problematisch (Wind + Temperaturen)



### Lautsprecherübertragung:

- Sweetspotgröße (Mikrofonzentrum)
- Gesetz der ersten Wellenfront
- Lautsprecher set ups. Lücken (Führt je nach Set up zu Pegelabfall und falsche Lokalisation)



[Kapitel Problematik und Herausforderungen: Quelle 8]

## 4. Arbeitsumgebung und Plug ins

Jede DAW hat heute Ambisonics integriert und in „Reaper“ kann man bis zur 7 Ordnung steigen.

Damit man Ambisonics kostenlos testen kann, gibt es zwei große plug in-sets:

### Encoder/Decoder, u.a.

- IEM
- SPARTA

### Converter

- Soundfield by Rode (A/B)



- Ambeo by Sennheiser (A/B)

Converter werden zwar an bestimmte Mikrofone der jeweiligen Hersteller angepasst, aber man kann auch Ambisonics set up mit Hilfe von anderen Mikrofonen realisieren. Daher ist das praktisch einen kostenlosen Tool zu haben.

## 5. Zusammenfassung

Ambisonics bietet viele Möglichkeiten und erlaubt kostenlose Weiterentwicklung und Einsatz der Technologie. Es gibt wichtige Nachteile sowohl des Aufnahmeverfahrens (FOA, HOA) als auch der Wiedergabesystems, die man beachten soll.

## Quellenverzeichnis

1. Wiki: <https://en.wikipedia.org/wiki/Ambisonics>, Zugriff am 06.12.23
2. Buch Ambisonics: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-17207-7> Zugriff am 06.12.23
3. Artikel (Immersive Audio Geschichte und Ambisonicsgeschichte): [https://www.amazona.de/workshop-immersive-audio-3d-audio-geschichte-formate-einsatz/#:~:text=Der%20Grundstein%20f%C3%BCr%20Surround%20und%20Immersive%20Audio%20ist%20also%20gelegt.&text=W%C3%A4hrend%20Stereo%20\(in%20der%20Zweikanal,1940ern%20ein%20Mehrkanaltonverfahren%20zu%20etablieren.](https://www.amazona.de/workshop-immersive-audio-3d-audio-geschichte-formate-einsatz/#:~:text=Der%20Grundstein%20f%C3%BCr%20Surround%20und%20Immersive%20Audio%20ist%20also%20gelegt.&text=W%C3%A4hrend%20Stereo%20(in%20der%20Zweikanal,1940ern%20ein%20Mehrkanaltonverfahren%20zu%20etablieren.) Zugriff am 08.12.23
4. Artikel Teatrophone: [https://www.juergen-braeunlein.de/pdf/arbeitsproben/Unternehmen/xx\\_VAF-Report\\_1-2015\\_HIS-Theatrophone.pdf](https://www.juergen-braeunlein.de/pdf/arbeitsproben/Unternehmen/xx_VAF-Report_1-2015_HIS-Theatrophone.pdf) Zugriff am 06.12.23
5. Artikel Forma, UHJt: <https://www.soundandrecording.de/tutorials/technische-hintergruende-des-3d-sounds/> Zugriff am 08.12.23
6. Artikel Formats & Decoding: <https://www.soundonsound.com/techniques/surround-sound-explained-part-3> Zugriff am 06.12.23
7. Decoding-Types: <https://spaudiopy.readthedocs.io/en/latest/spaudiopy.decoder.html#spaudiopy.decoder.allrad> Zugriff am 06.12.23
8. Youtube Problematik Ambisonics: [Link](#) Zugriff am 08.12.23
9. Youtube Einführung + A/B Formats Ambisonics: [Link](#) Zugriff am 08.12.23