

Reimplementierung einer plattformunabhängigen Software für das 3D-Audio-Rendering

Eugen Winter

Betreut durch Prof. Dr. Wolfgang Fohl
HAW Hamburg

eugen.winter@haw-hamburg.de

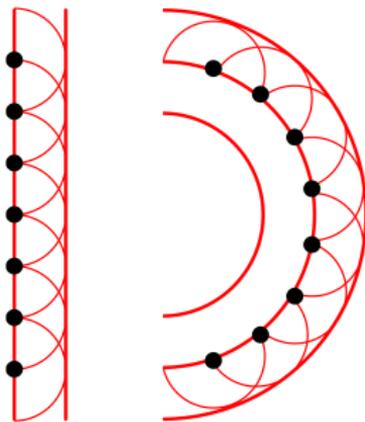
2. Mai 2017

- 1 Physikalische Grundlagen
- 2 Wellenfeldsynthese (WFS)
- 3 Vector-Base Amplitude Panning (VBAP)
- 4 CoRGI
- 5 Ausblick und Konferenzen
- 6 Quellen

Huygenssches Prinzip

Huygenssches Prinzip

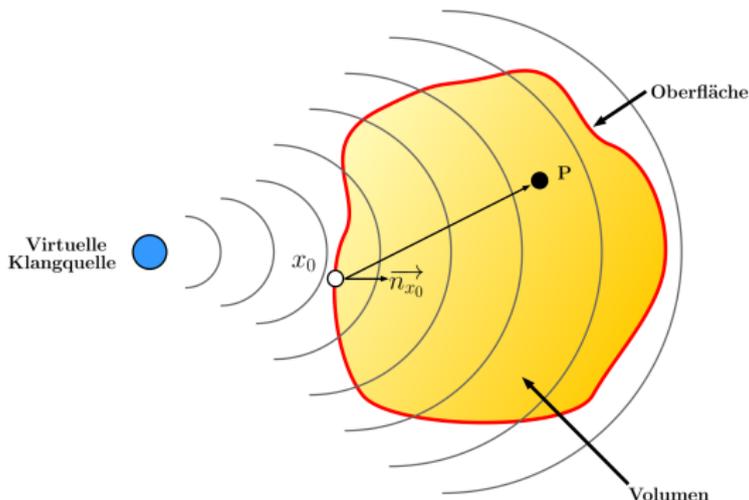
Jeder Punkt einer Wellenfront ist der Entstehungspunkt einer neuen Welle. Diese neue Welle wird als Elementarwelle bezeichnet. Durch die Überlagerungen all dieser Elementarwellen bildet sich erneut die anfängliche Wellenfront.



Kirchhoff-Helmholtz-Integral

Kirchhoff-Helmholtz-Integral

Das Kirchhoff-Helmholtz-Integral besagt, dass innerhalb eines Volumens, welches frei von Quellen ist, für jeden Punkt der Schalldruck ermittelt werden kann, wenn der Schalldruck und die Schallschnelle aller Oberflächenpunkte des Volumens bekannt sind [Start1997, Kapitel 2.3].



Vereinfachungen des Kirchhoff-Helmholtz-Integrals:

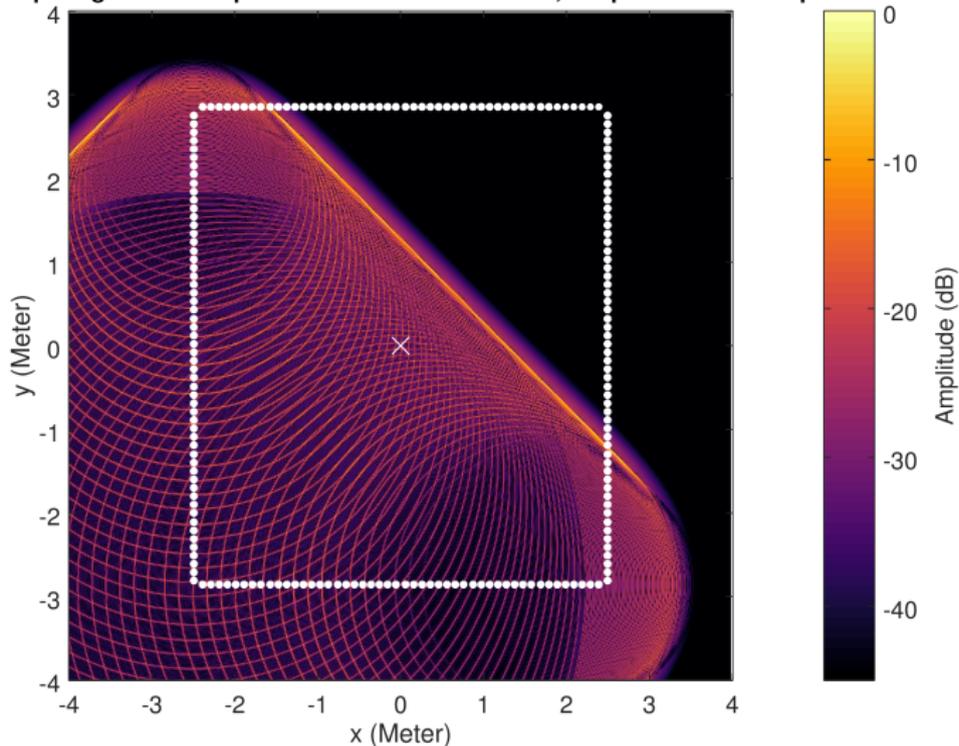
- ① Aus dem Volumen wird eine zweidimensionale Ebene \rightarrow 2D
- ② Aus der Oberfläche des Volumens wird eine diskrete Anzahl von Lautsprechern
- ③ Lautsprecher besitzen ein dreidimensionales Abstrahlverhalten \rightarrow 2.5D

Realisierbare Arten von virtuellen Klangquellen:

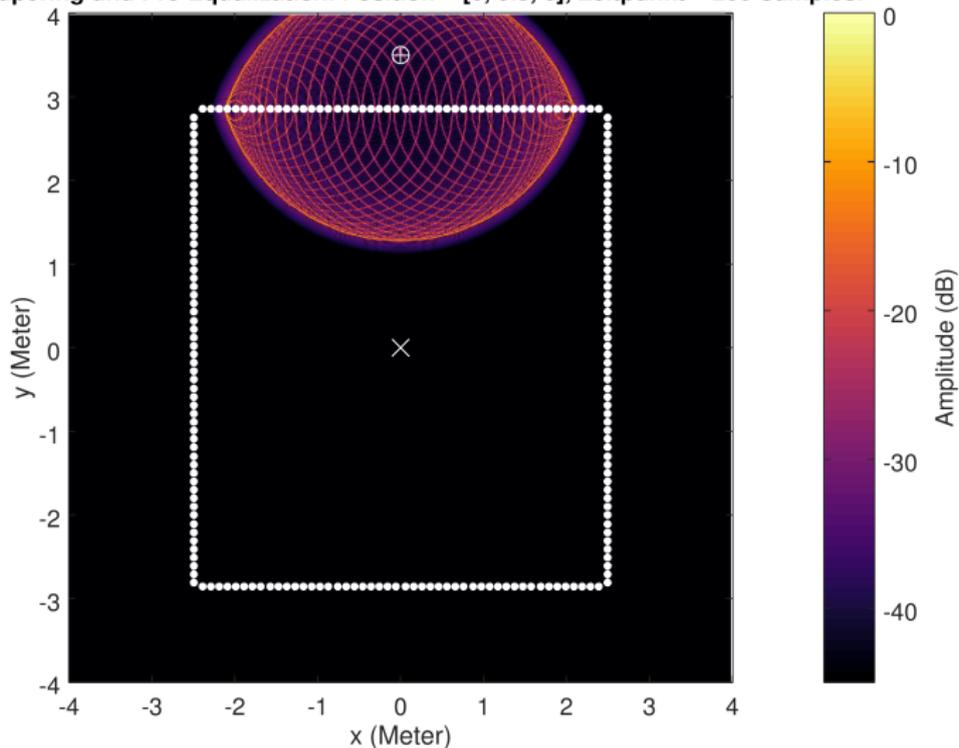
- Linearquelle
- Punktquelle
- Fokussierte Punktquelle

Linearquelle

2.5D WFS einer Linearquelle im WFS-Labor der HAW.
Mit Tapering und Pre-Equalization. Winkel = 45 Grad, Zeitpunkt = 600 Samples.

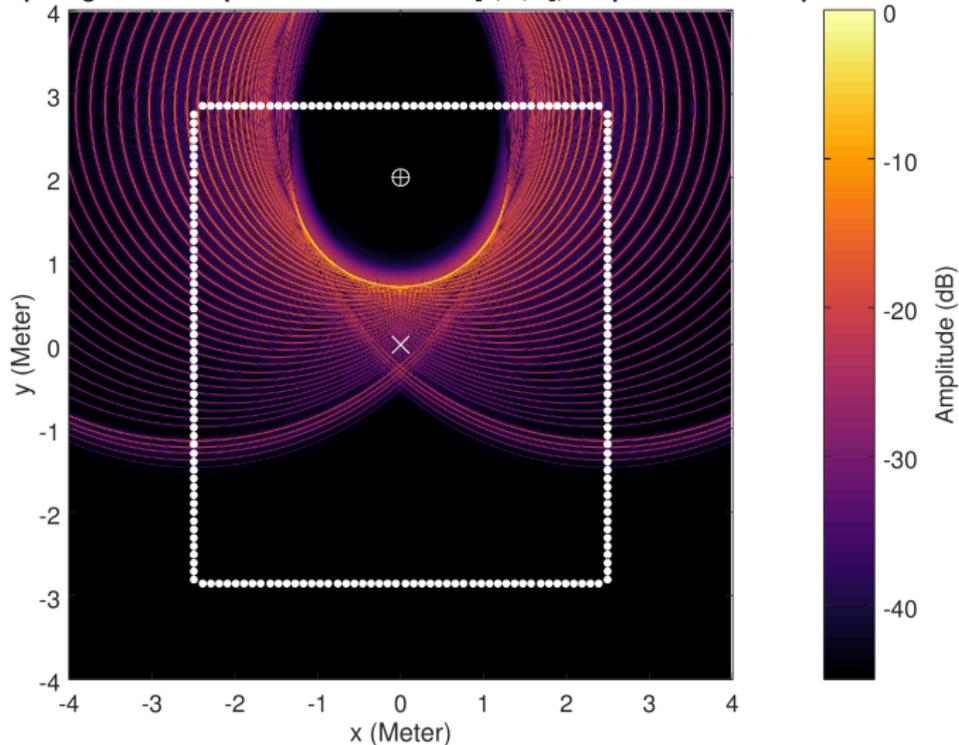


2.5D WFS einer Punktquelle im WFS-Labor der HAW.
Mit Tapering und Pre-Equalization. Position = [0, 3.5, 0], Zeitpunkt = 200 Samples.



Fokussierte Punktquelle

2.5D WFS einer nach 270 Grad fokussierten Punktquelle im WFS-Labor der HAW.
Mit Tapering und Pre-Equalization. Position = [0, 2, 0], Zeitpunkt = 500 Samples.



Auftretende Probleme bei der Realisierung der Wellenfeldsynthese:

- Amplituden-Fehler
- Truncation-Effekt
- Spatial-Aliasing

Amplituden-Fehler:

Bei der 2.5D-Wellenfeldsynthese ist die Amplitude nur an einem einzigen Referenzpunkt x_{ref} im Zuhörerraum korrekt.

Lösung:

Der Zuhörer und seine Bewegungen werden mit einem Tracking-System verfolgt und die korrekte Amplitude für dessen Position berechnet [Christoffel2014].

Truncation-Effekt:

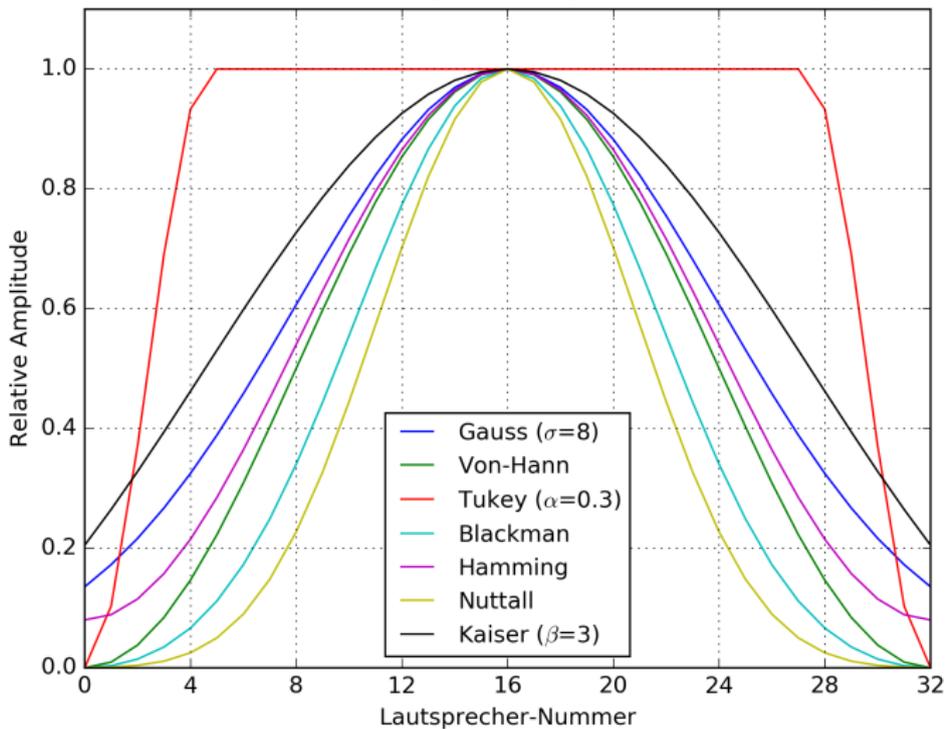
An den Enden eines Lautsprecher-Arrays entstehen Schattenwellen, die sich störend auf die Amplitude auswirken.

Lösung:

Die Enden des Lautsprecher-Arrays werden mit einer Fensterfunktion gedämpft (fehlt in WONDER).

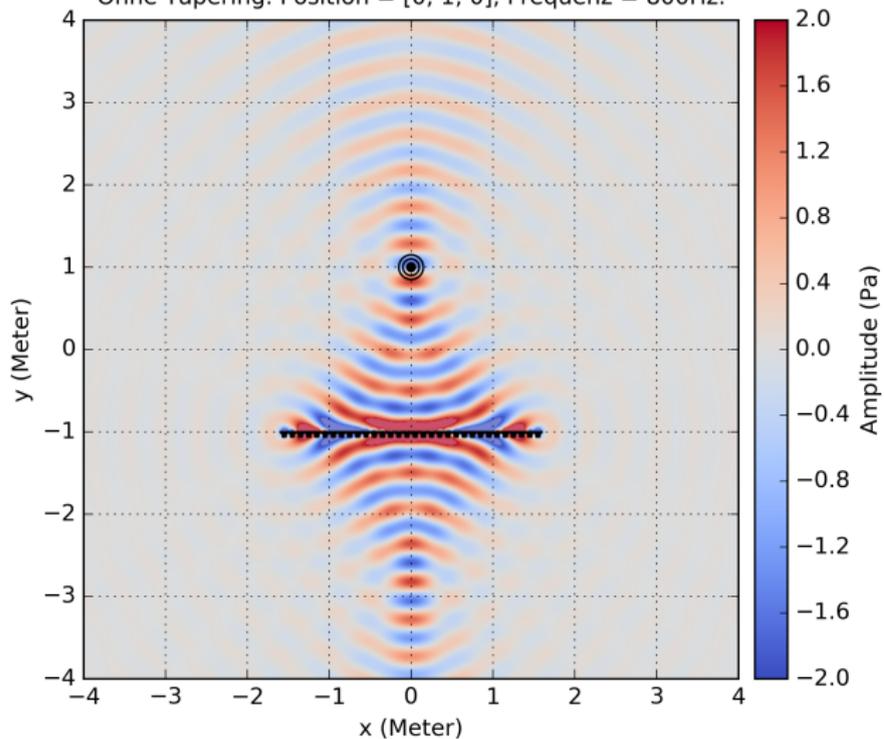
Truncation-Effekt

Fenster-Funktionen für das Tapering eines Arrays bestehend aus 32 Lautsprechern.



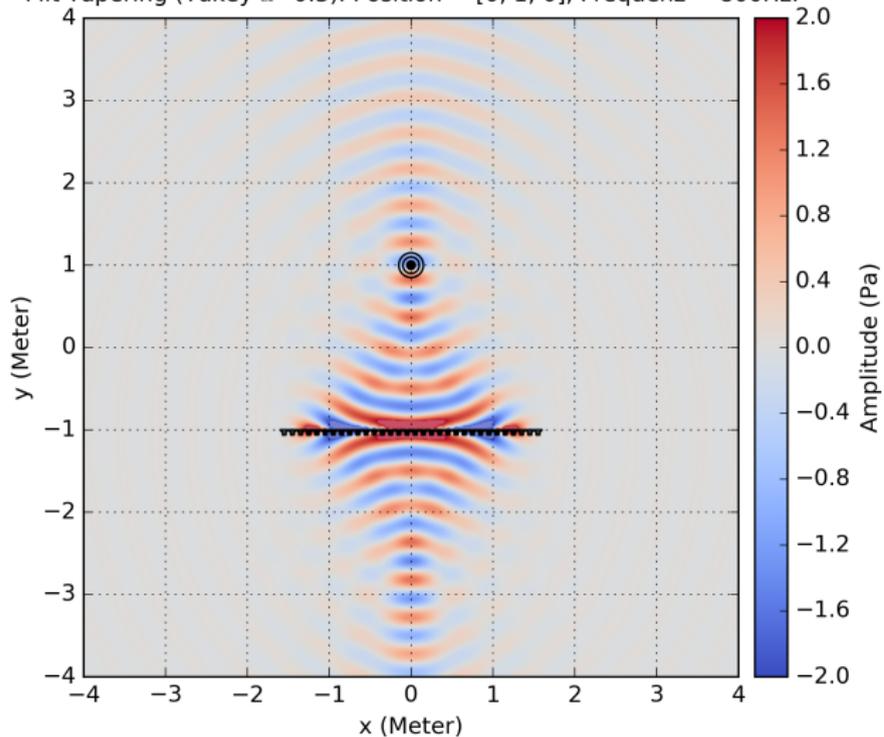
Truncation-Effekt

2.5D WFS einer nach 90 Grad fokussierten Punktquelle mit einem 32 Lautsprecher Array.
Ohne Tapering. Position = [0, 1, 0], Frequenz = 800Hz.



Truncation-Effekt

2.5D WFS einer nach 90 Grad fokussierten Punktquelle mit einem 32 Lautsprecher Array.
Mit Tapering (Tukey $\alpha=0.3$). Position = [0, 1, 0], Frequenz = 800Hz.



Spatial-Aliasing:

Da Lautsprecher nicht beliebig dicht aufgestellt werden können, gibt es Fehler bei der Wiedergabe oberhalb der Aliasing-Frequenz: $f_{alias} = \frac{c}{2\Delta_{LS}}$.

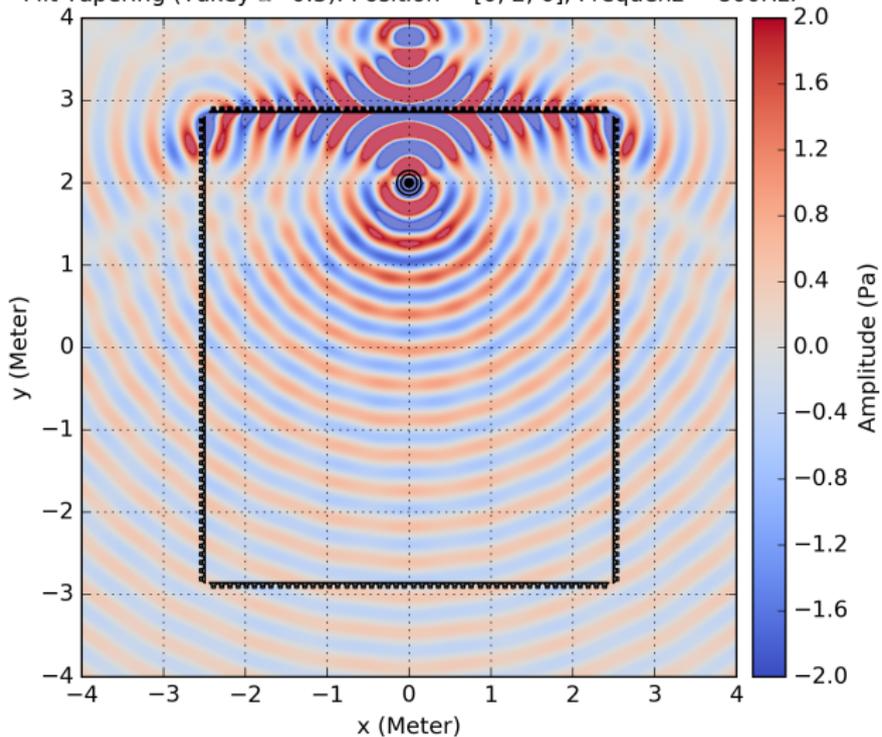
Bei einem Abstand der Lautsprecher von $\Delta_{LS} = 0.1m$ und einer Schallgeschwindigkeit $c = 343m/s$ liegt die Aliasing-Frequenz bei 1715Hz.

Lösung:

Die Wiedergabefehler befinden sich im oberen Frequenzspektrum und werden deshalb vom menschlichen Gehör nicht ganz so stark wahrgenommen [Verheijen1997]. Die Audiosignale können zusätzlich gefiltert oder an andere Lautsprecher und Audio-Rendering-Verfahren gesendet werden (fehlt in WONDER).

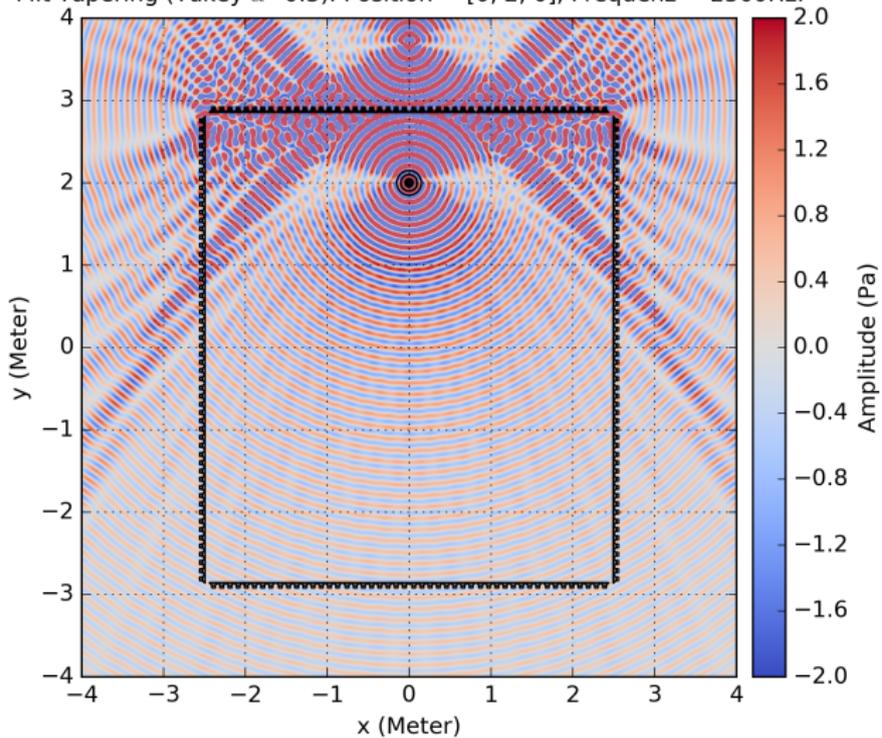
Spatial-Aliasing

2.5D WFS einer nach 270 Grad fokussierten Punktquelle im WFS-Labor der HAW.
Mit Tapering (Tukey $\alpha=0.3$). Position = [0, 2, 0], Frequenz = 800Hz.



Spatial-Aliasing

2.5D WFS einer nach 270 Grad fokussierten Punktquelle im WFS-Labor der HAW.
Mit Tapering (Tukey $\alpha=0.3$). Position = [0, 2, 0], Frequenz = 2500Hz.



Gründe für eine Reimplementierung

Vorteile der bisherigen Software WONDER:

- Ansteuerung über Open-Sound-Control (OSC) Nachrichten
- Headless (ohne GUI lauffähig)
- Verteiltes System (Minimierung der Rechenlast)

Nachteile der bisherigen Software WONDER:

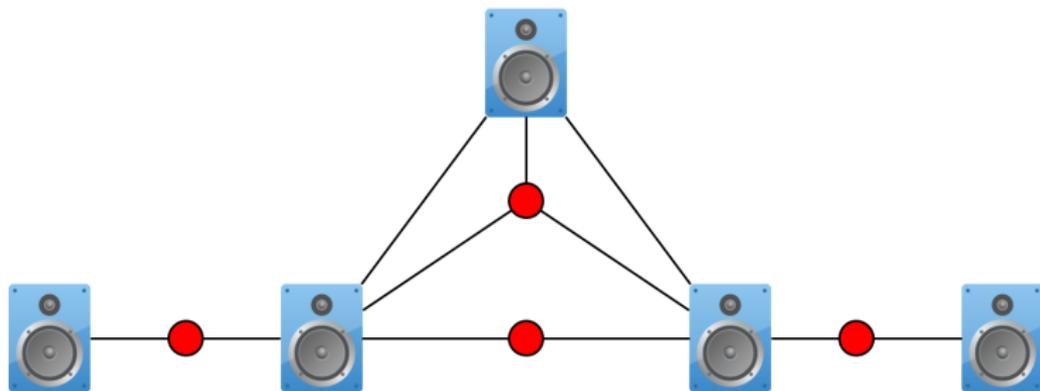
- Plattformabhängig (Linux)
- Monolithischer Aufbau
- Neben WFS keine weiteren Renderingverfahren
- Kein Multicasting bei OSC Nachrichten

Vector-Base Amplitude Panning (VBAP)

Stereo-Panning erweitert auf mehrere Lautsprecher in 2D / 3D

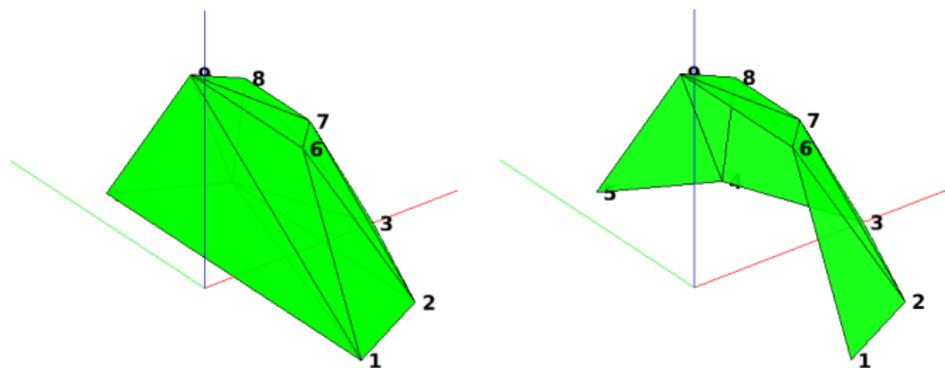
- Distance-Based Amplitude Panning (DBAP)
- Vector-Base Intensity Panning (VBIP)

Prinzip von VBAP in 2D / 3D



VBAP Quellenpositionen in 2D und 3D

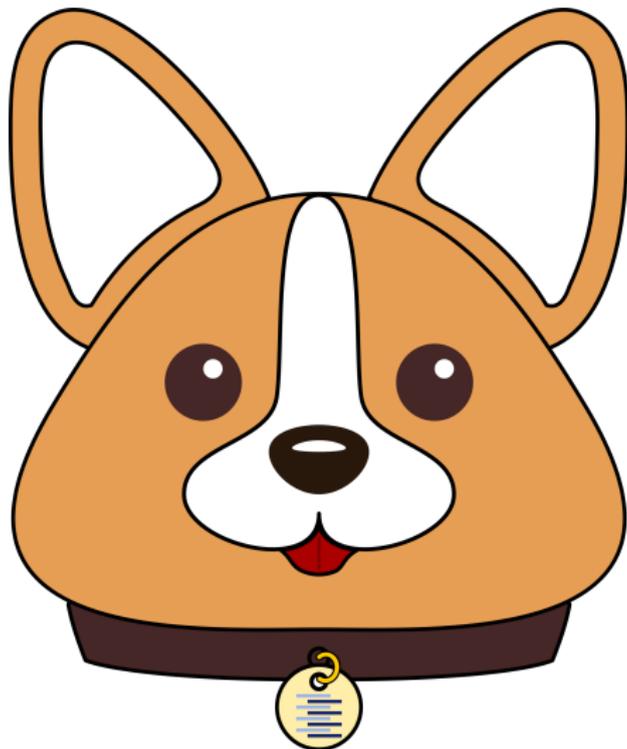
Prinzip von Ray-Intersection bei VBAP in 3D



Konvexe Hülle des 3D VBAP Lautsprecher-Setups¹

¹<http://research.spa.aalto.fi/projects/vbap-lib/vbap.html>

Controlled **R**enderer, **G**raphical-User-Interface and **I**mmersive **I**nteraction



Ziele bei der Entwicklung von CoRGII:

- Plattformunabhängigkeit (Linux, Windows, Mac)
- Multi-Threaded und Realtime-Safe
- Ausgelegt als Verteiltes System
- Ansteuerung über Open-Sound-Control (OSC) Nachrichten
- Headless (ohne GUI lauffähig)

Vorhandene und genutzte Anwendungen:

- Tracking von Gesten und Bewegungen für die Manipulation von Musikstücken [Nogalski2012]
- Interaktion mit Geräten, z.B. Smartphones oder Tablets [Jandt2014]
- VST-Plugins für Digital-Audio-Workstations (DAW), um Musik oder Szenen für eine Wellenfeldsynthese-Anlage zu erstellen [Hansen2014]

Reimplementierungsansatz:

- Middleware für den Nachrichtenaustausch mittels OSC nutzen

VBAP

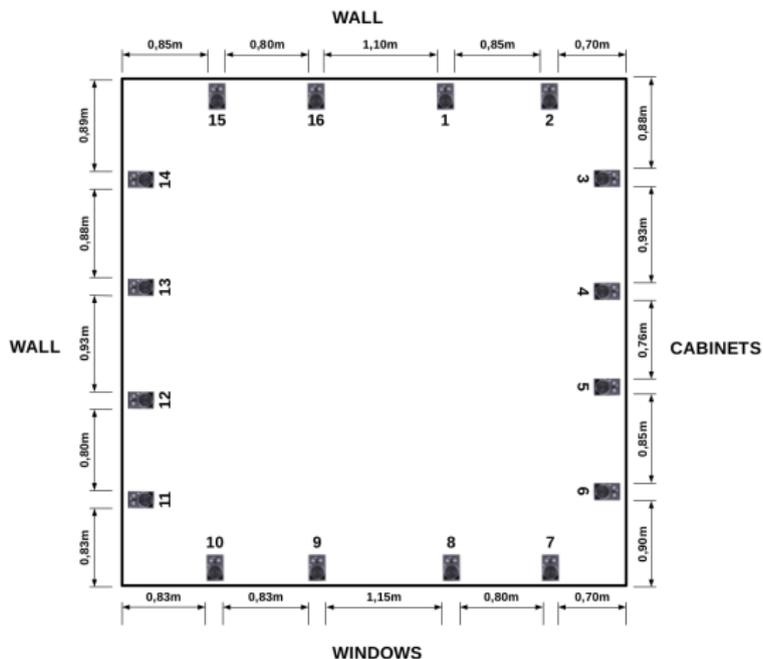
- Ray-Intersection-Modell für 3D Lautsprecher-Setup implementieren
- Erweiterung mit Delay Line und Doppler-Effekt für entfernungsabhängige Änderungen der Lautstärke und Tonhöhe
- *Creative Space for Technical Innovations (CSTI)* und dortiges Lautsprecher-Setup als Umgebung für Tests des VBAP-Renderers nutzen²

²<https://csti.haw-hamburg.de>

Lautsprecher-Setup im CSTI



Speaker	Angle
1	13,45°
2	33,02°
3	58,49°
4	80,30°
5	101,03°
6	121,17°
7	145,59°
8	163,56°
9	-166,99°
10	-147,67°
11	-122,33°
12	-103,66°
13	-81,36°
14	-60,14°
15	-30,54°
16	-11,31°



WFS

- *I²AudioLab* und dortige WFS-Anlage als Umgebung für Tests des WFS-Renderers nutzen³
- Delay Line und Doppler-Effekt für entfernungsabhängige Änderungen der Lautstärke und Tonhöhe
- Artefakte der WFS analysieren:
 - Amplitudenveränderungen in den Raumecken
 - Durchtritt einer Soundquelle durch die Lautsprecher

³<http://i2audiolab.haw-hamburg.de>

Was funktioniert?

- Kompiliert und läuft unter Linux und Windows
- Zugriff auf die Soundhardware mittels JACK
- Senden/Empfangen von OSC Nachrichten zur Ansteuerung

Was fehlt noch?

- Wechsel von JACK auf RtAudio
- Implementierung des VBAP- und WFS-Renderers
- Einsatz von Multi-Threading mit Hilfe von OpenMP
- Ausgiebiges Testen

Ausblick auf mögliche Erweiterungen für CoRGII:

- Grafische Oberfläche
- Ansteuerung in Augmented- und Virtual-Reality
- Neben WFS und VBAP noch weitere Audio-Renderer

Konferenzen:

- Deutsche Jahrestagung für Akustik (DAGA)
- Sound and Music Computing (SMC)



Carola Christoffel (2014)

Modifikation der Software einer Wellenfeldsyntheseanlage zur Wiedergabe fokussierter Quellen in Abhängigkeit der Zuhörerposition

Bachelor-Thesis Hochschule für Angewandte Wissenschaften.



Sebastian Jandt (2014)

Visualisierung und Steuerung von Wellenfeldsynthese-Quellen mit Android-Geräten

Bachelor-Thesis Hochschule für Angewandte Wissenschaften.



Martin Hansen (2014)

Positionierung von Klangquellen einer Wellenfeldsynthese-Anlage mit Hilfe eines Audio-Plugins

Bachelor-Thesis Hochschule für Angewandte Wissenschaften.



Malte Nogalski (2012)

Gestengesteuerte Positionierung von Klangquellen einer Wellenfeldsynthese-Anlage mit Hilfe eines kamerabasierten 3D-Tracking-Systems

Bachelor-Thesis Hochschule für Angewandte Wissenschaften.

-  E. W. Start (1997)
Direct Sound Enhancement by Wave Field Synthesis
PhD-Thesis Technische Universiteit Delft.
-  Edwin Verheijen (1997)
Sound Reproduction by Wave Field Synthesis
PhD-Thesis Technische Universiteit Delft.

Ende