

Psychoakustik der Wellenfeldsynthese: Vor- und Nachteile von binauraler Simulation

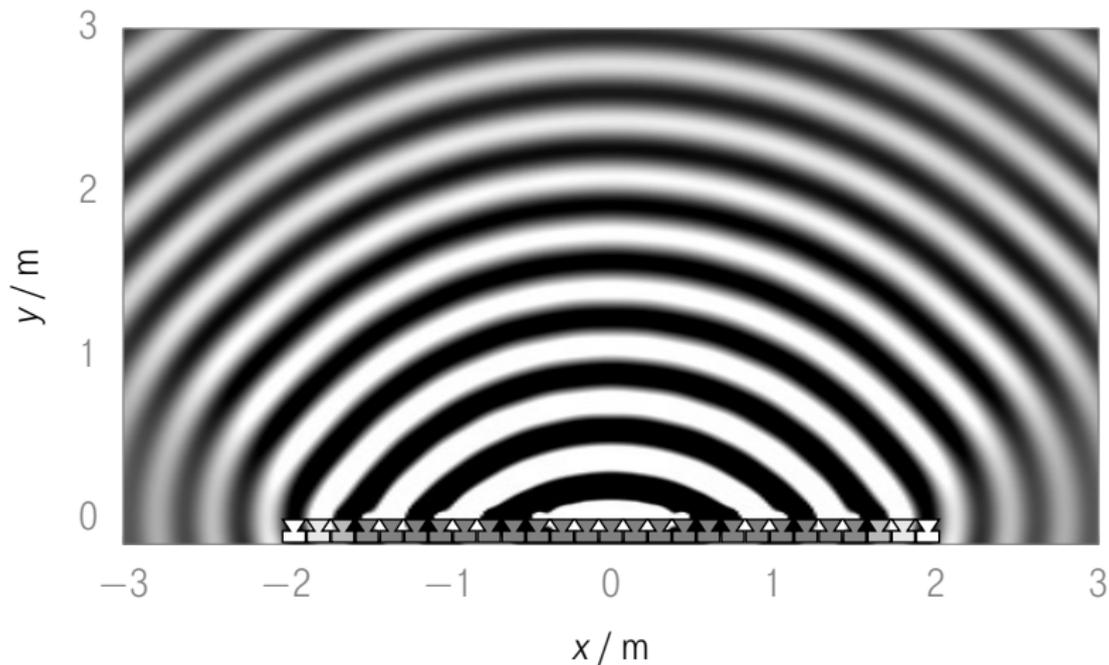
Hagen Wierstorf, Alexander Raake, Sascha Spors

Quality and Usability Lab
Deutsche Telekom Laboratories
Technische Universität Berlin

20. März 2011

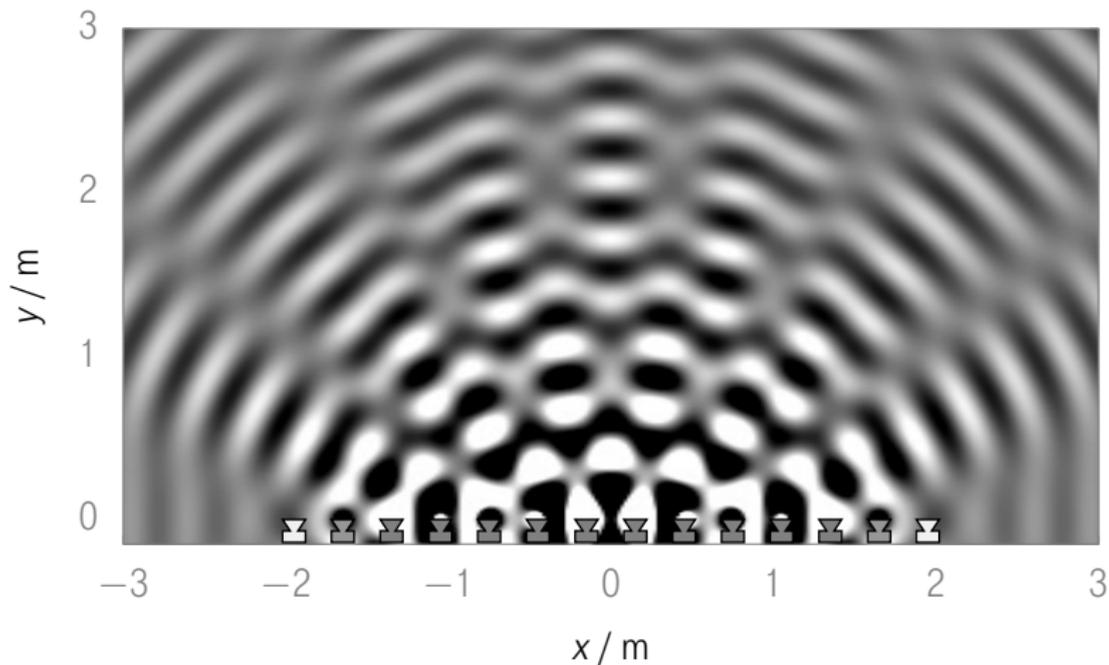
Wellenfeldsynthese

$$dx_0 = 0.15 \text{ m} \quad f = 1000 \text{ Hz} \quad \mathbf{x}_s = (0, -1) \text{ m}$$



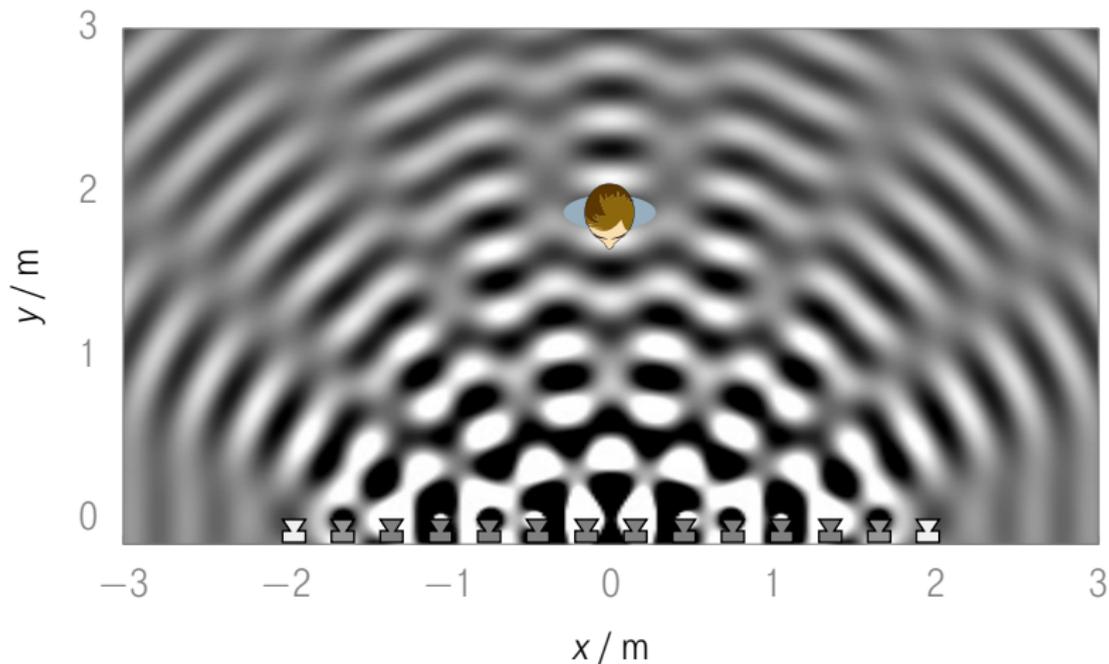
Wellenfeldsynthese

$$dx_0 = 0.30 \text{ m} \quad f = 1000 \text{ Hz} \quad \mathbf{x}_s = (0, -1) \text{ m}$$



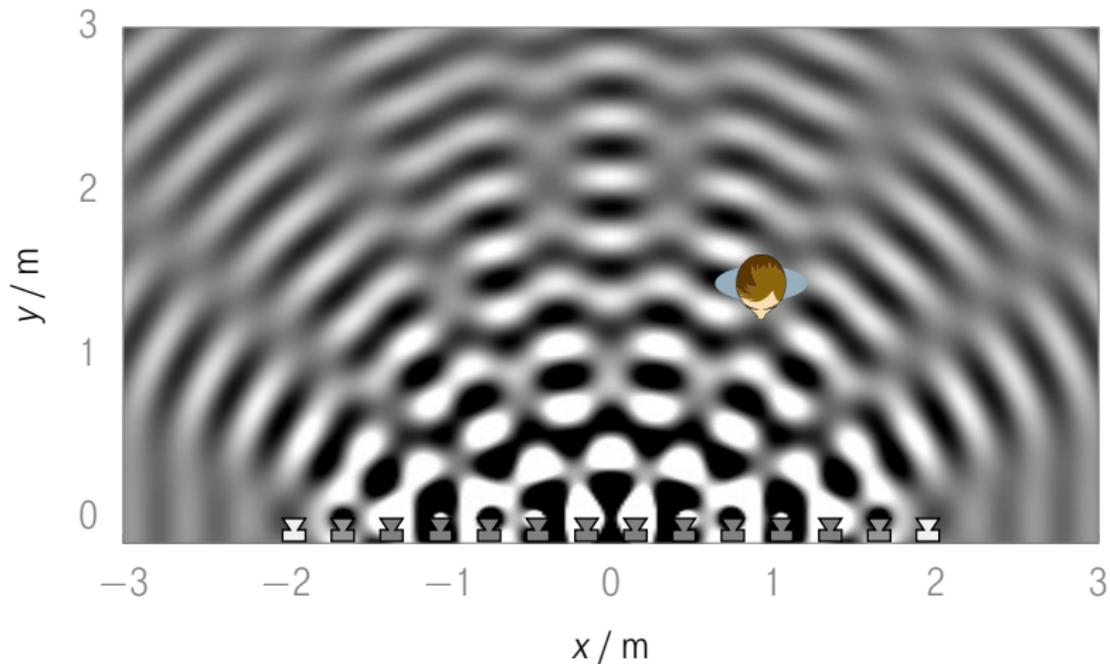
Psychoakustik: Lokalisierung und Klangfarbe

$$dx_0 = 0.30 \text{ m} \quad f = 1000 \text{ Hz} \quad \mathbf{x}_s = (0, -1) \text{ m}$$



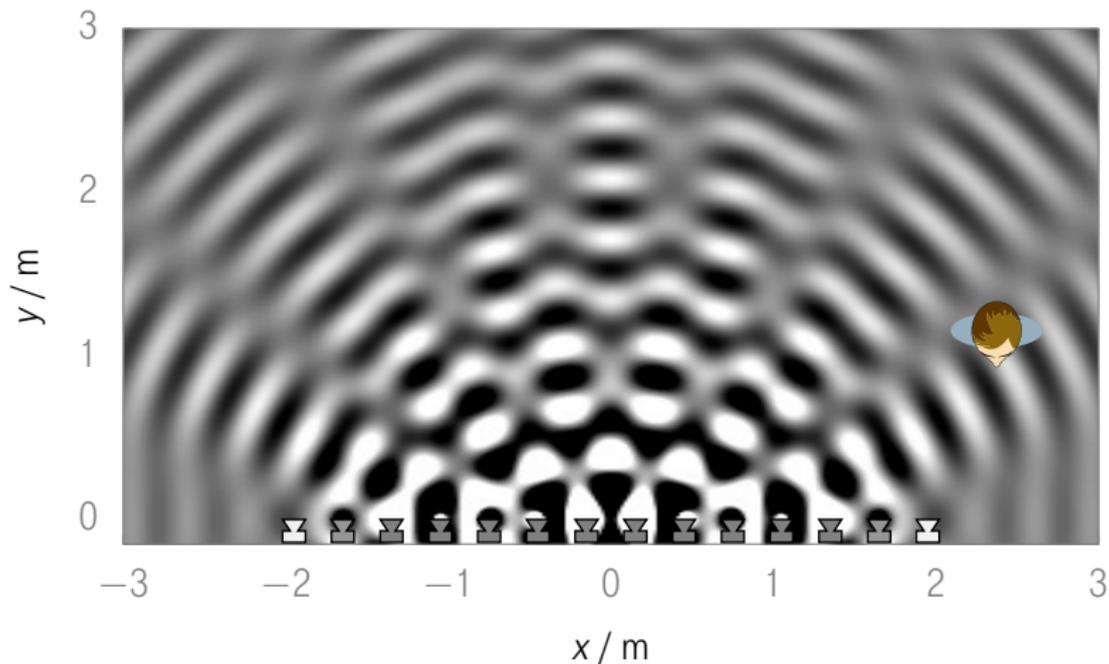
Psychoakustik: Lokalisierung und Klangfarbe

$$dx_0 = 0.30 \text{ m} \quad f = 1000 \text{ Hz} \quad \mathbf{x}_s = (0, -1) \text{ m}$$



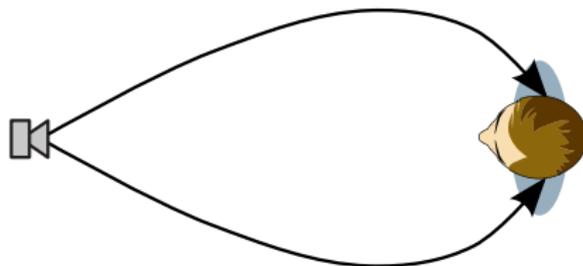
Psychoakustik: Lokalisierung und Klangfarbe

$$dx_0 = 0.30 \text{ m} \quad f = 1000 \text{ Hz} \quad \mathbf{x}_s = (0, -1) \text{ m}$$



Wellenfeldsynthese und Psychoakustik

Binaurale Synthese



- Verbindung von WFS mit Psychoakustik (Völk, 2008)
- dynamische Synthese mittels Headtracker
- kein Unterschied mit individuellen HRTFs (Langendijk, 2000)
- hier: Kunstkopf HRTFs, mögliche Individualisierung (Lindau 2010)

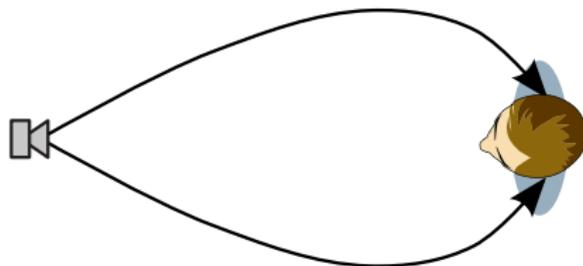
Völk et al. (2008), *Simulation of wave field synthesis*, Acoustics

Langendijk und Bronkhorst (2000), *Fidelity of three-dimensional-sound reproduction using a virtual auditory display*, JASA

Lindau et al. (2010), *Individualization of dynamic binaural synthesis by real time manipulation of the ITD*, AES

Wellenfeldsynthese und Psychoakustik

Binaurale Synthese



- Verbindung von WFS mit Psychoakustik (Völk, 2008)
- dynamische Synthese mittels Headtracker
- kein Unterschied mit individuellen HRTFs (Langendijk, 2000)
- hier: Kunstkopf HRTFs, mögliche Individualisierung (Lindau 2010)

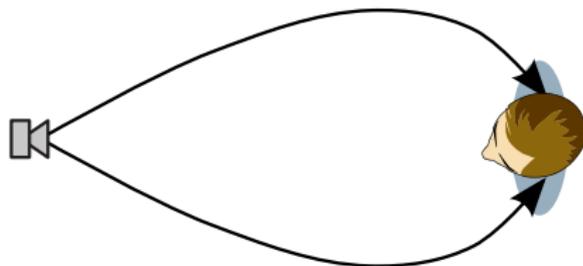
Völk et al. (2008), *Simulation of wave field synthesis*, Acoustics

Langendijk und Bronkhorst (2000), *Fidelity of three-dimensional-sound reproduction using a virtual auditory display*, JASA

Lindau et al. (2010), *Individualization of dynamic binaural synthesis by real time manipulation of the ITD*, AES

Wellenfeldsynthese und Psychoakustik

Binaurale Synthese



- Verbindung von WFS mit Psychoakustik (Völk, 2008)
- dynamische Synthese mittels Headtracker
- kein Unterschied mit individuellen HRTFs (Langendijk, 2000)
- hier: Kunstkopf HRTFs, mögliche Individualisierung (Lindau 2010)

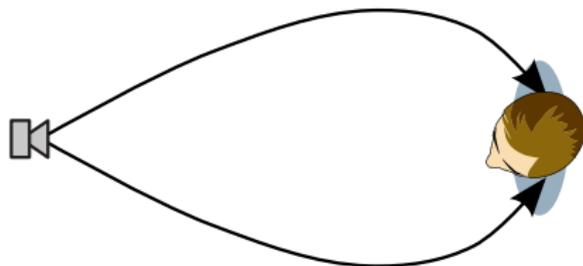
Völk et al. (2008), *Simulation of wave field synthesis*, Acoustics

Langendijk und Bronkhorst (2000), *Fidelity of three-dimensional-sound reproduction using a virtual auditory display*, JASA

Lindau et al. (2010), *Individualization of dynamic binaural synthesis by real time manipulation of the ITD*, AES

Wellenfeldsynthese und Psychoakustik

Binaurale Synthese



- Verbindung von WFS mit Psychoakustik (Völk, 2008)
- dynamische Synthese mittels Headtracker
- kein Unterschied mit individuellen HRTFs (Langendijk, 2000)
- hier: Kunstkopf HRTFs, mögliche Individualisierung (Lindau 2010)

Völk et al. (2008), *Simulation of wave field synthesis*, Acoustics

Langendijk und Bronkhorst (2000), *Fidelity of three-dimensional-sound reproduction using a virtual auditory display*, JASA

Lindau et al. (2010), *Individualization of dynamic binaural synthesis by real time manipulation of the ITD*, AES

Binaurale Synthese von Lautsprecherarrays

Lautsprecherarray vs. Punktquelle

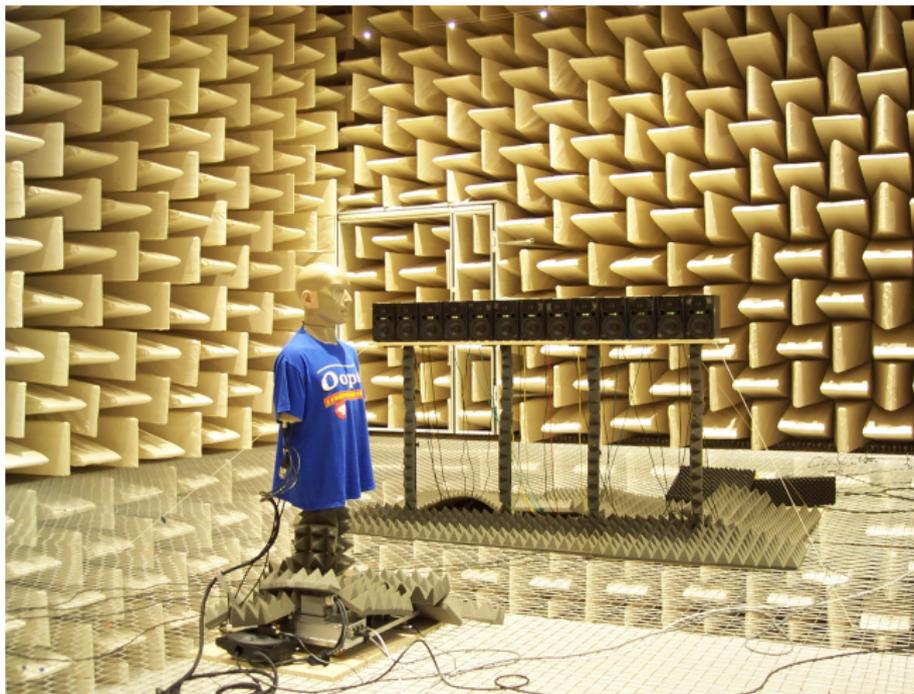
Frage: kann ein beliebiges Lautsprecherarray mit Hilfe der HRTF eines einzigen Lautsprechers simuliert werden?

- Unterschied von bis zu 4 dB, ob ich die HRTF eines Lautsprecher einzeln oder in Anwesenheit anderer messe (Völk, 2010)
- Einfluss der Direktivität und Unterschiedlichkeit einzelner Lautsprecher?
- Simulation kann Vorteile haben. WFS-Theorie geht davon aus, dass es sich um Punktquellen handelt, die sich nicht gegenseitig beeinflussen

Völk et al. (2010), *Überlegungen zu Möglichkeiten und Grenzen virtueller Wellenfeldsynthese*, DAGA

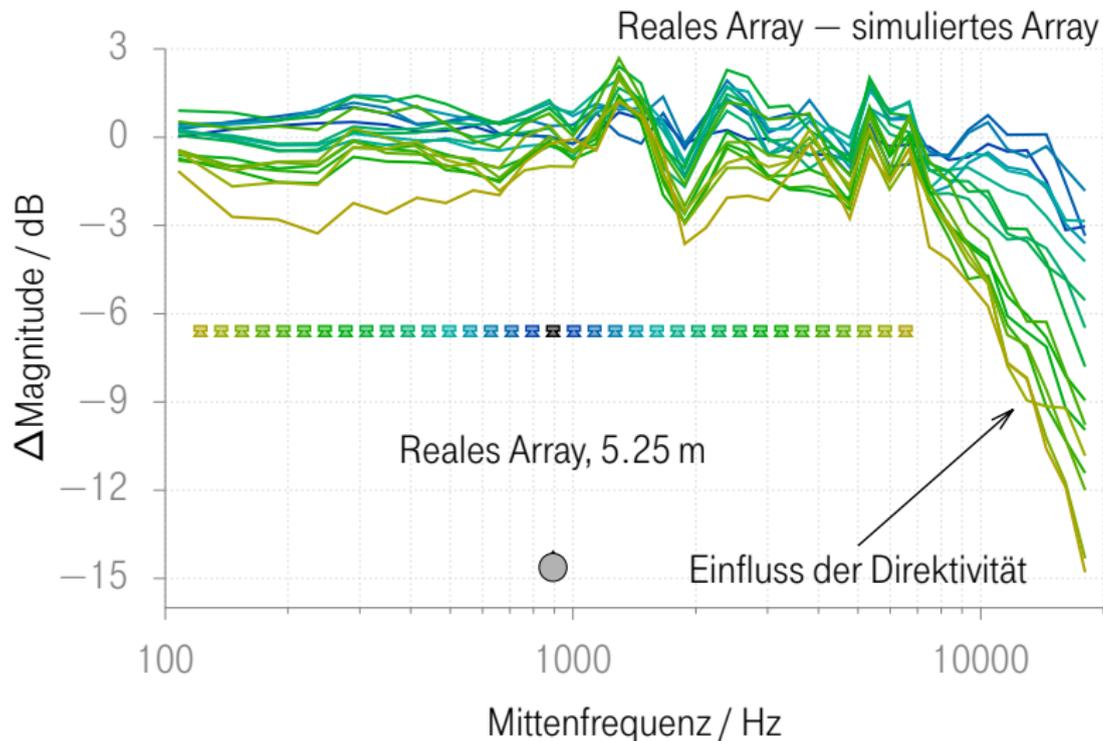
Binaurale Synthese von Lautsprecherarrays

Lautsprecherarray vs. Punktquelle



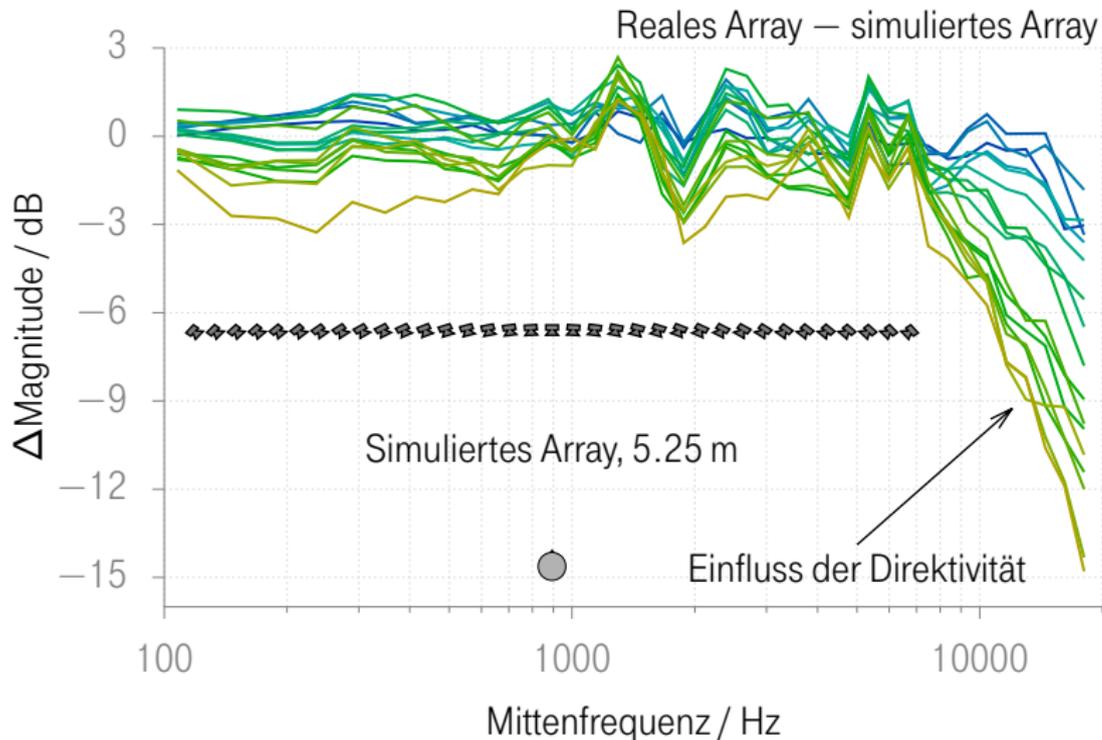
Binaurale Synthese von Lautsprecherarrays

Lautsprecherarray vs. Punktquelle



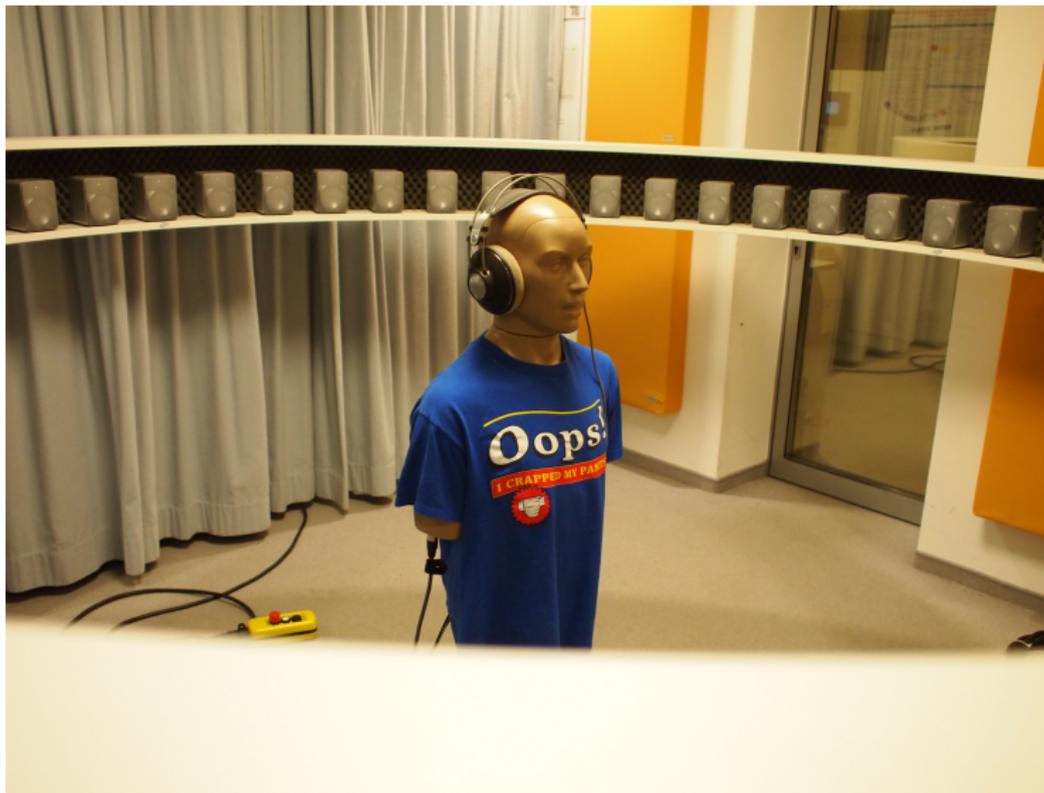
Binaurale Synthese von Lautsprecherarrays

Lautsprecherarray vs. Punktquelle



Binaurale Resynthese eines Lautsprechers

Wahrnehmbare Unterschiede

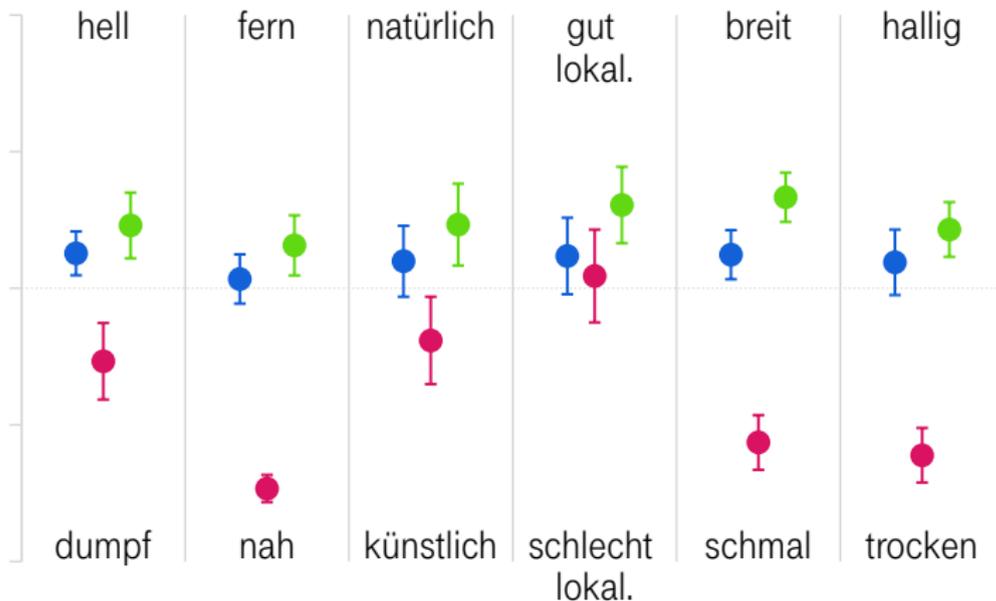
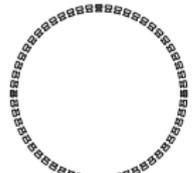


Binaurale Resynthese eines Lautsprechers

Wahrnehmbare Unterschiede

- 12 VPs, Bewertung von Attributpaaren für Sprache und Musik, 4 Lautsprecher

Lautsprecher
BRTF
HRTF

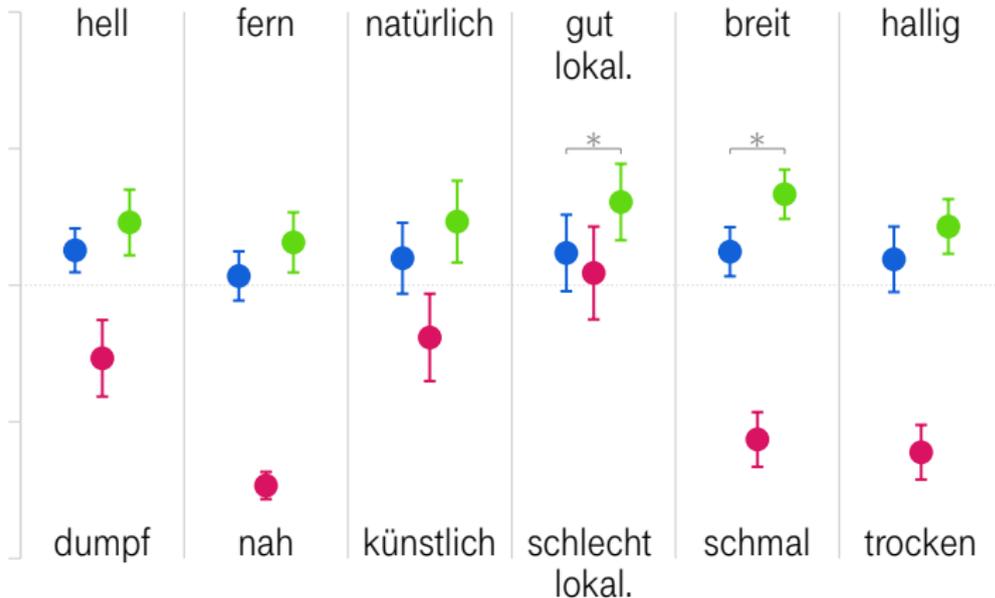
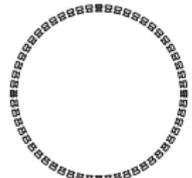


Binaurale Resynthese eines Lautsprechers

Wahrnehmbare Unterschiede

- 12 VPs, Bewertung von Attributpaaren für Sprache und Musik, 4 Lautsprecher

Lautsprecher
BRTF
HRTF



Klangfarbe

- physikalisch korrekte Wiedergabe mit WFS erfordert > 500 Lautsprecher
- Abweichungen sind in der Regel gering, aber nicht zu vermeiden (vgl. Kulkarni, 2000)
- Hauptinteresse: relative Klangfarbe

⇒ Binaurale Synthese ist möglich und nötig um die Klangfarbe in WFS zu untersuchen

Kulkarni und Colburn (2000), *Variability in the characterization of the headphone transfer-function*, JASA

Lokalisierung

- Simulation ermöglicht Vergleich von unterschiedlichen Positionen und Lautsprechergeometrien
- Gute Übereinstimmung der Richtungswahrnehmung (Völk, 2008)
- Entfernungswahrnehmung schwieriger (Externalisierung)
- Wahrnehmung von ausgedehnten Quellen?
- Multimodaler Einfluss?

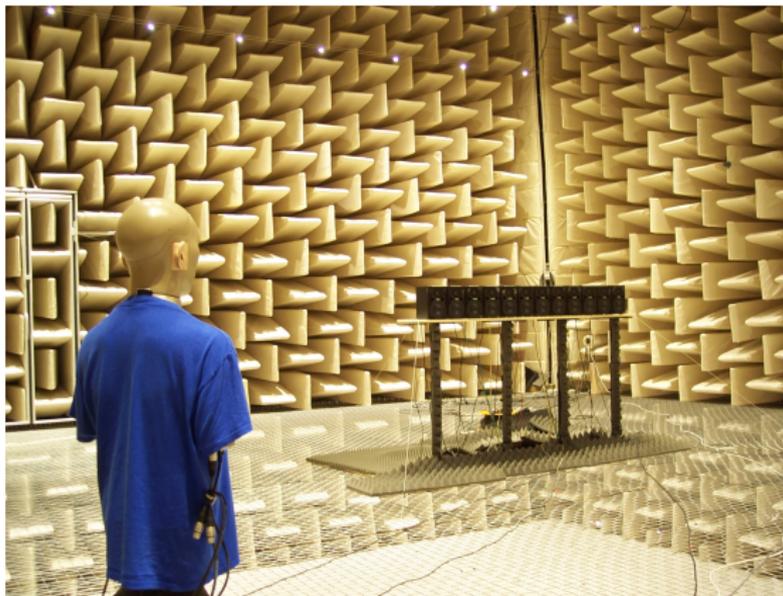
⇒ Binaurale Synthese ist nötig um verschiedene Positionen systematisch zu untersuchen. Darf aber nicht “blind” angewendet werden.

Völk et al. (2008), *Simulation of wave field synthesis*, Acoustics

Lokalisierung

Multimodaler Einfluss

- Unterschiedliche Lokalisierung einer fokussierten Quelle
- Kann Einfluss der visuellen Wahrnehmung oder der akustischen unzulänglichen Simulation sein (RAR hat auch Reflexionen)



Zusammenfassung

Binaurale Simulation von WFS ermöglicht die Untersuchung der **Klangfarbe** und der **Lokalisierung**

- unabhängig von der Richtcharakteristik der Lautsprecher
- in Abhängigkeit der Lautsprecheranzahl und -geometrie
- in Abhängigkeit der Position

Nachteile der Binauralen Simulation

- Abweichung von echter Darbietung
- Einfluss der Abweichung noch nicht hinreichend untersucht

Zusammenfassung

Reproducible Research

- Kritisch gegenüber Implementierungsfehlern
- Sound Field Synthesis Toolbox (AES, April)

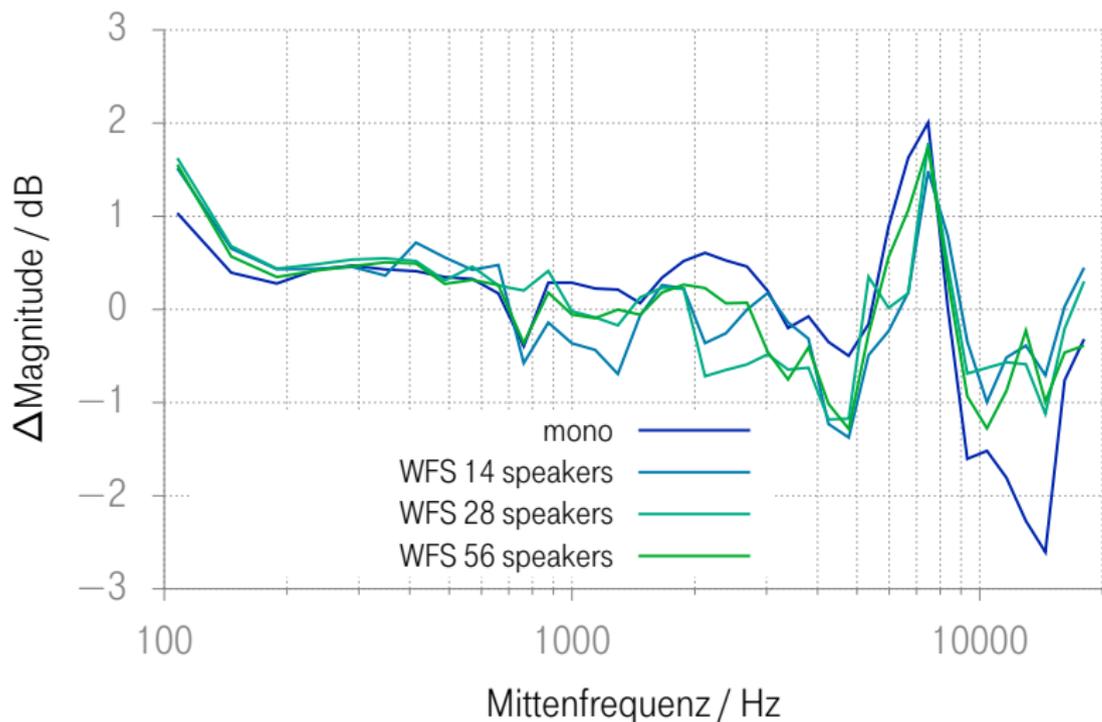
Donoho et al. (2009), *Reproducible Research in Computational Harmonic Analysis*, Computing in Science & Engineering

Vielen Dank!
Fragen?

<http://audio.qu.tu-berlin.de/>

Klangfarbe

Simulation unterschiedlicher Lautsprecheranzahlen



Klangfarbe

Leichte Kopfbewegungen

Schrittweite der Bewegungen: 1 mm

