

# Psychoakustik der Wellenfeldsynthese: Vor- und Nachteile von binauraler Simulation

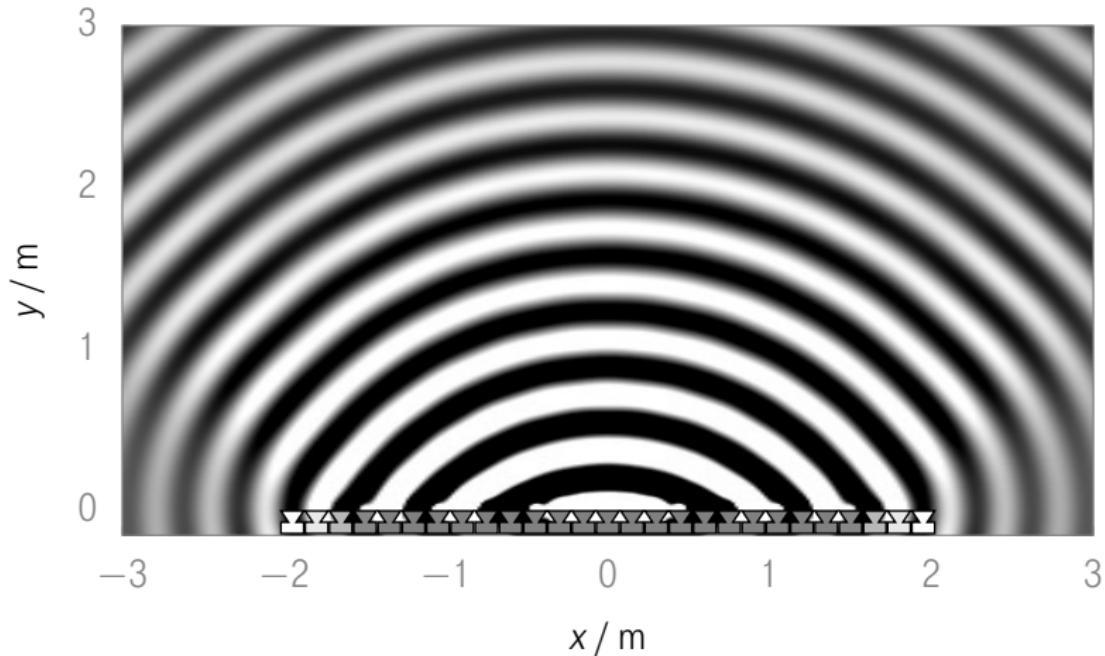
Hagen Wierstorf, Alexander Raake, Sascha Spors

Quality and Usability Lab  
Deutsche Telekom Laboratories  
Technische Universität Berlin

20. März 2011

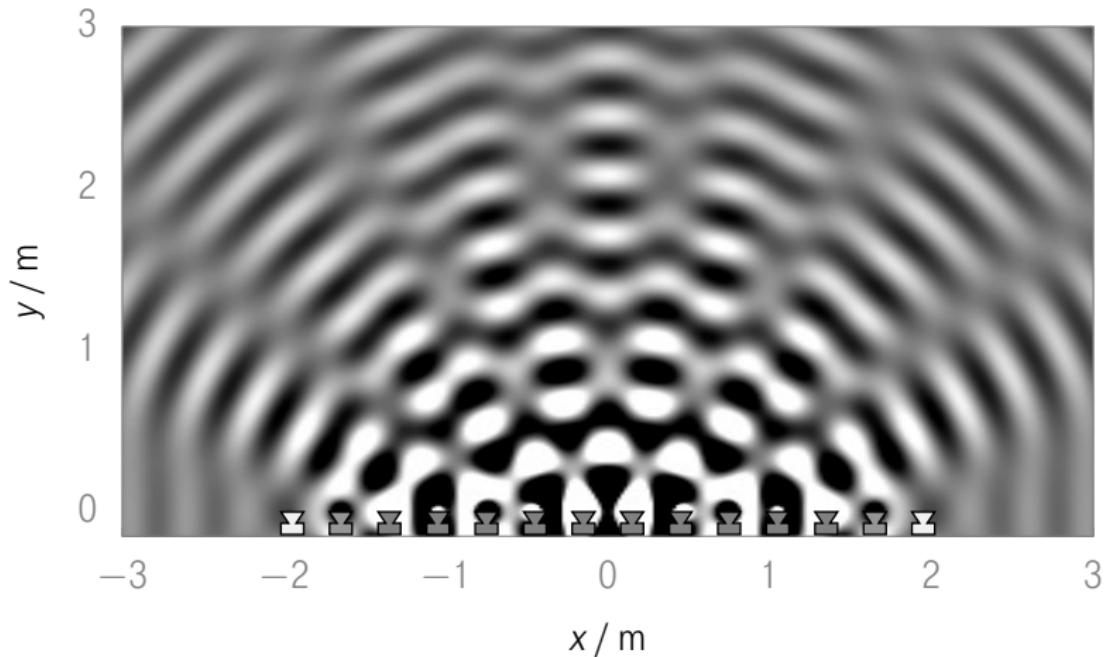
# Wellenfeldsynthese

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



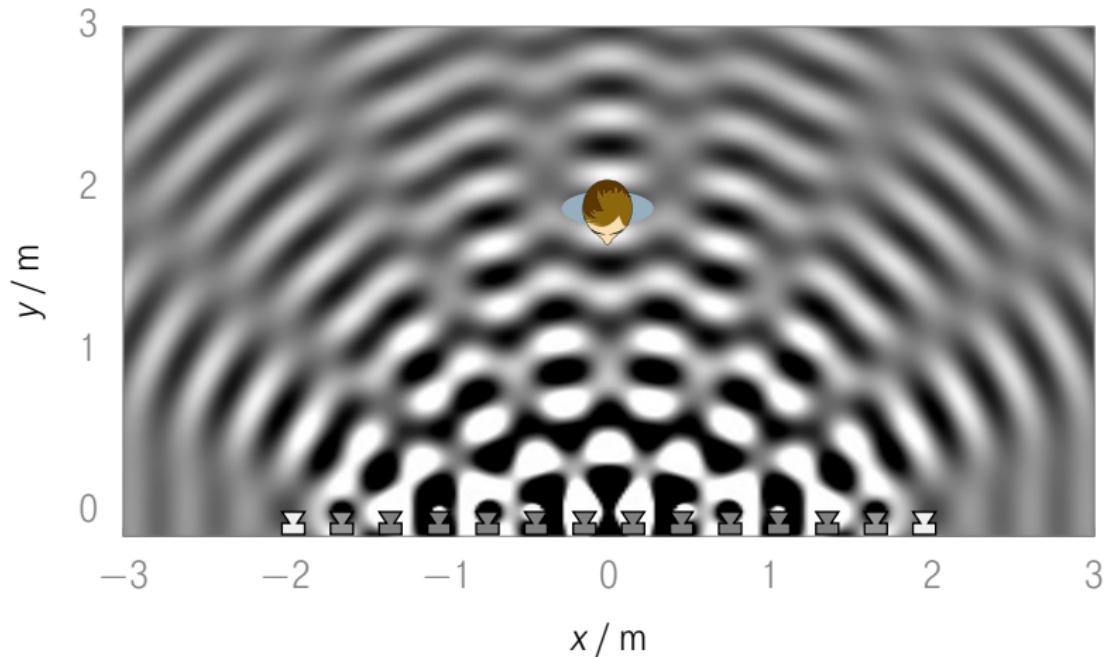
# Wellenfeldsynthese

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



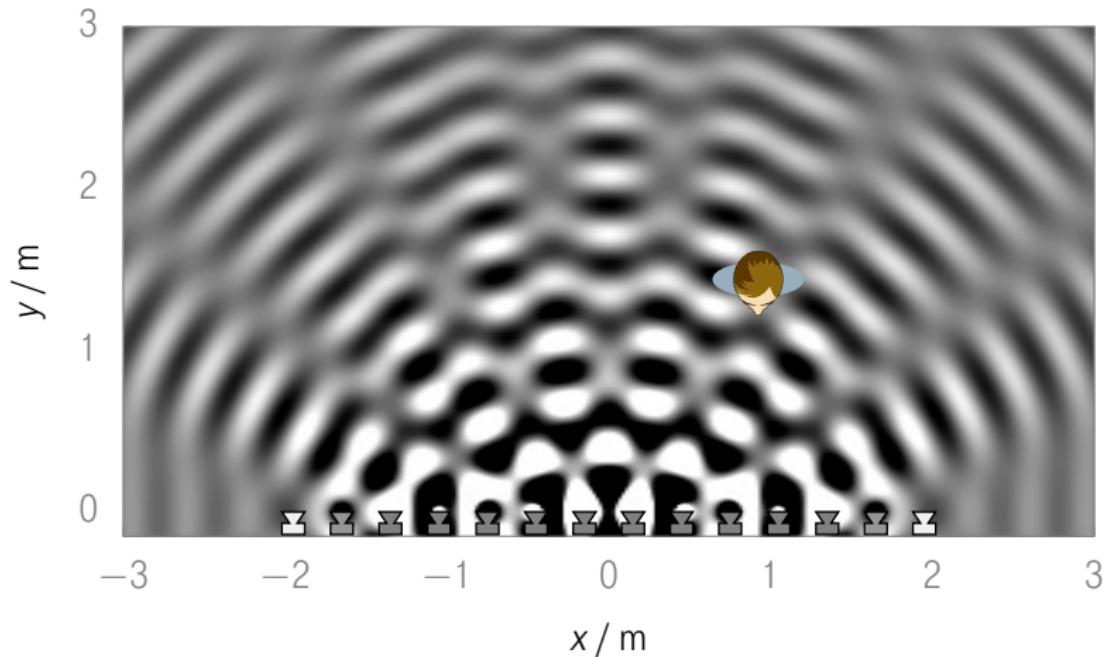
# Psychoakustik: Lokalisierung und Klangfarbe

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



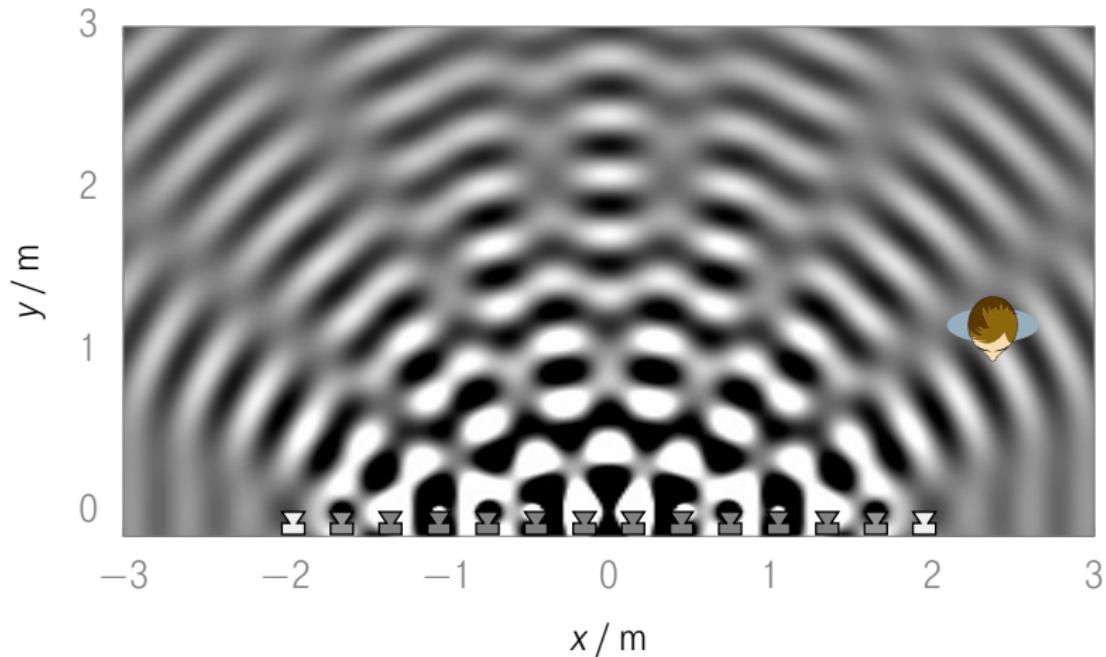
# Psychoakustik: Lokalisierung und Klangfarbe

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



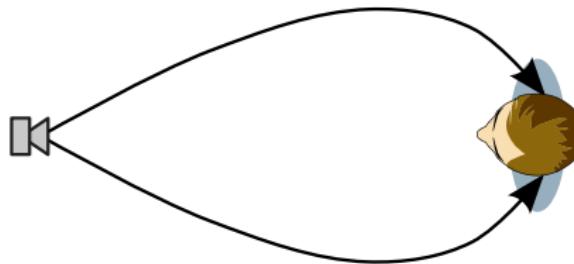
# Psychoakustik: Lokalisierung und Klangfarbe

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



# 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)

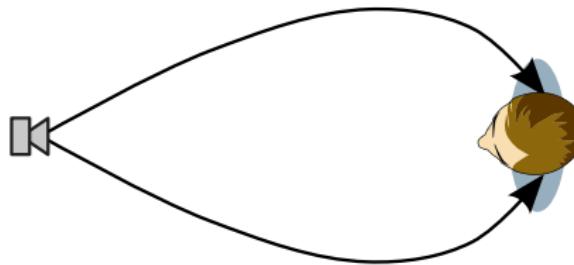
Völk et al. (2008), *Simulation of wave field synthesis*, Acoustics

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)

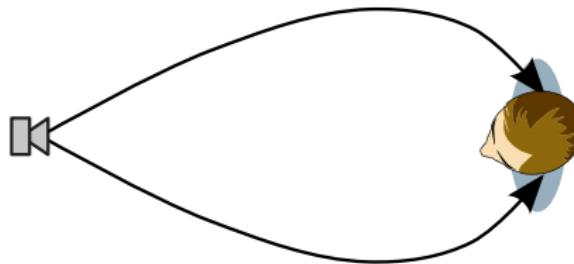
Völk et al. (2008), *Simulation of wave field synthesis*, Acoustics

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)

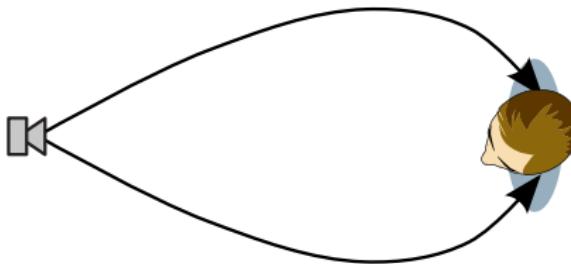
Völk et al. (2008), *Simulation of wave field synthesis*, Acoustics

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

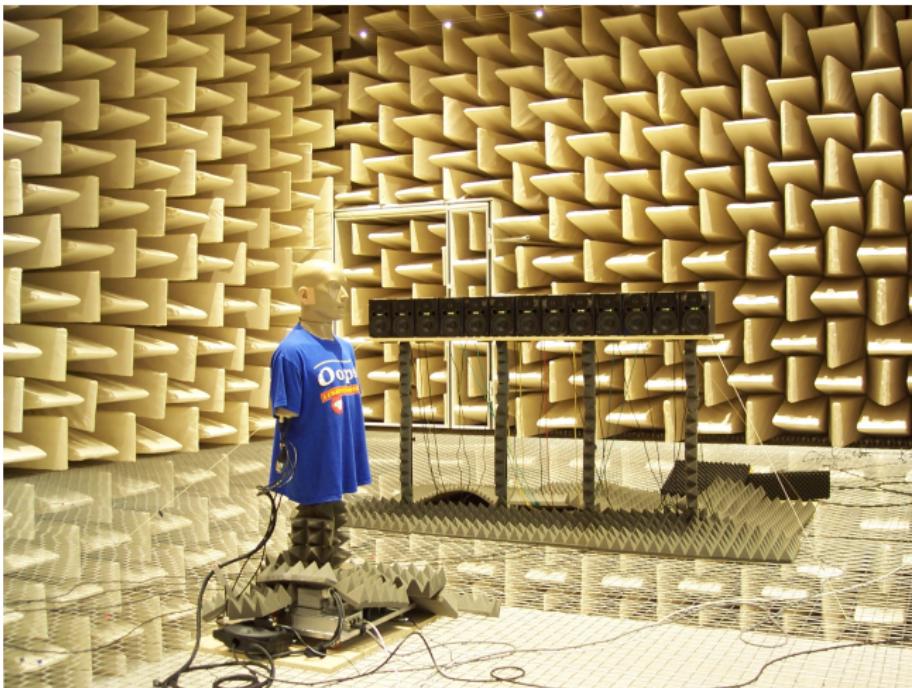
**Frage:** kann ein beliebiges Lautsprecherarray mit Hilfe der HRTF eines einzigen Lautsprechers simuliert werden?

- 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

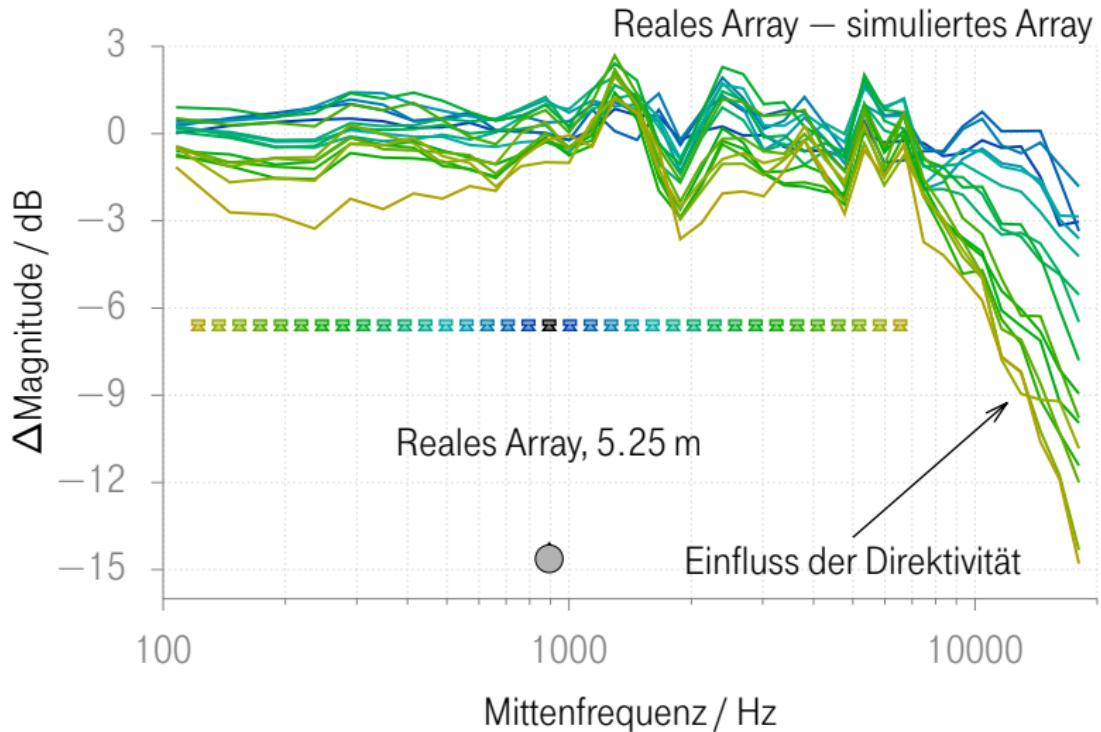
# Binaurale Synthese von Lautsprecherarrays

Lautsprecherarray vs. Punktquelle



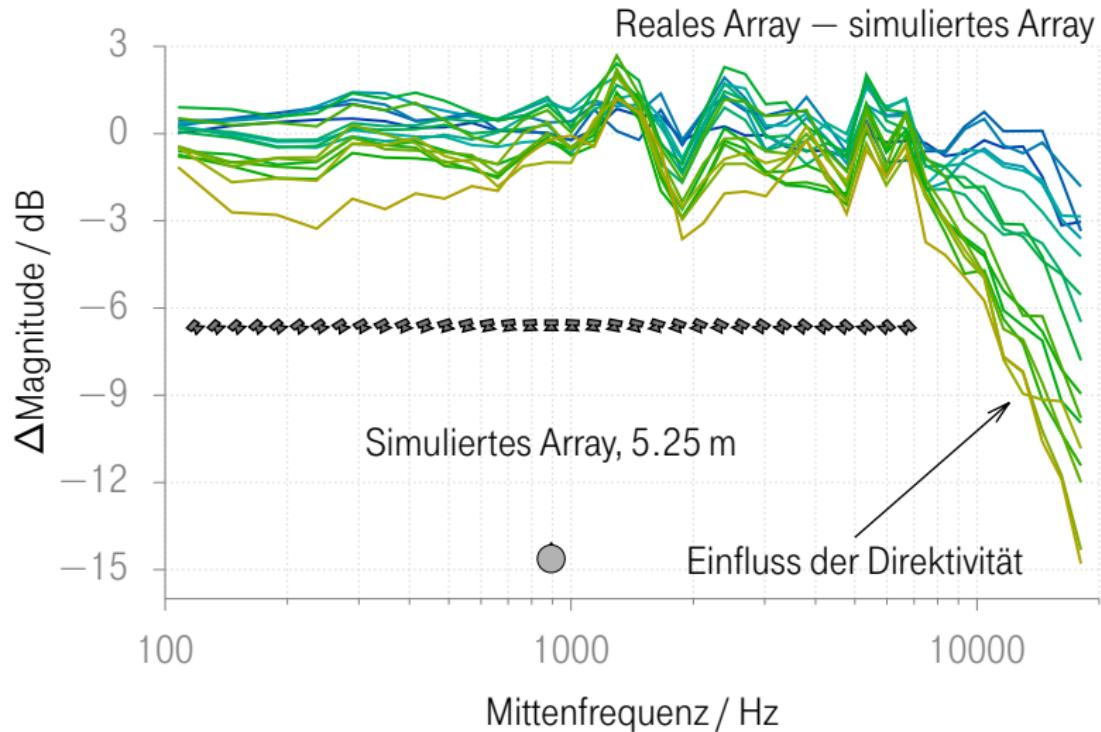
# Binaurale Synthese von Lautsprecherarrays

## Lautsprecherarray vs. Punktquelle



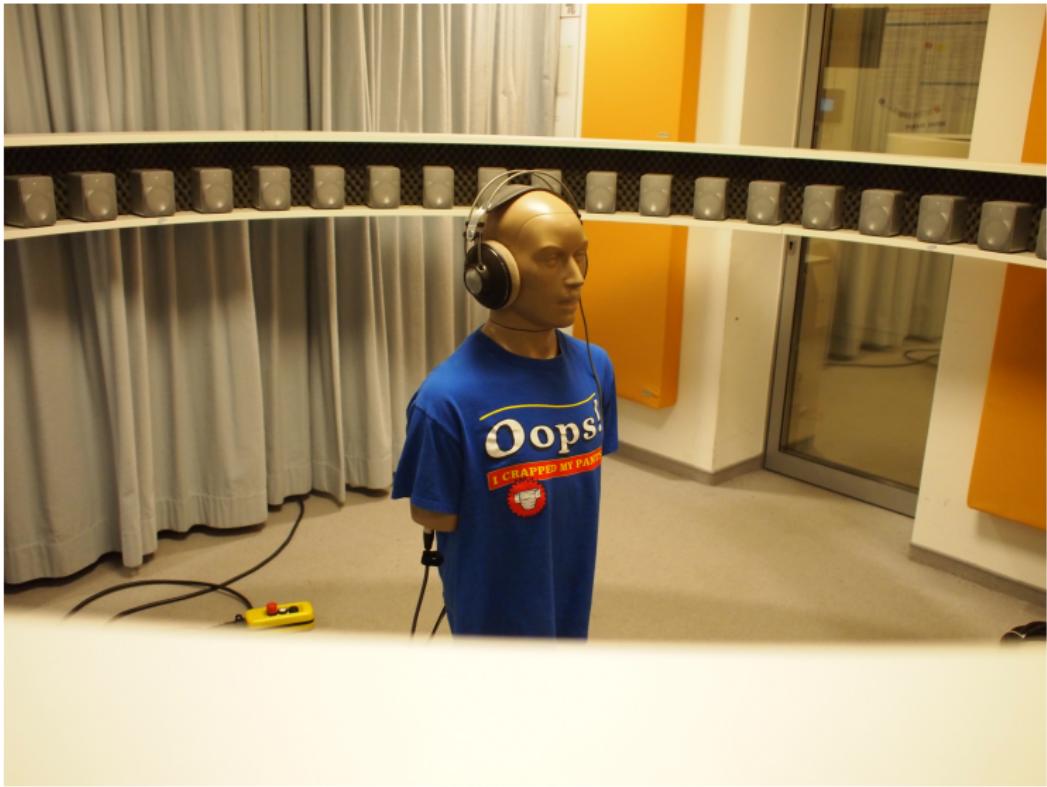
# Binaurale Synthese von Lautsprecherarrays

## Lautsprecherarray vs. Punktquelle



# Binaurale Resynthese eines Lautsprechers

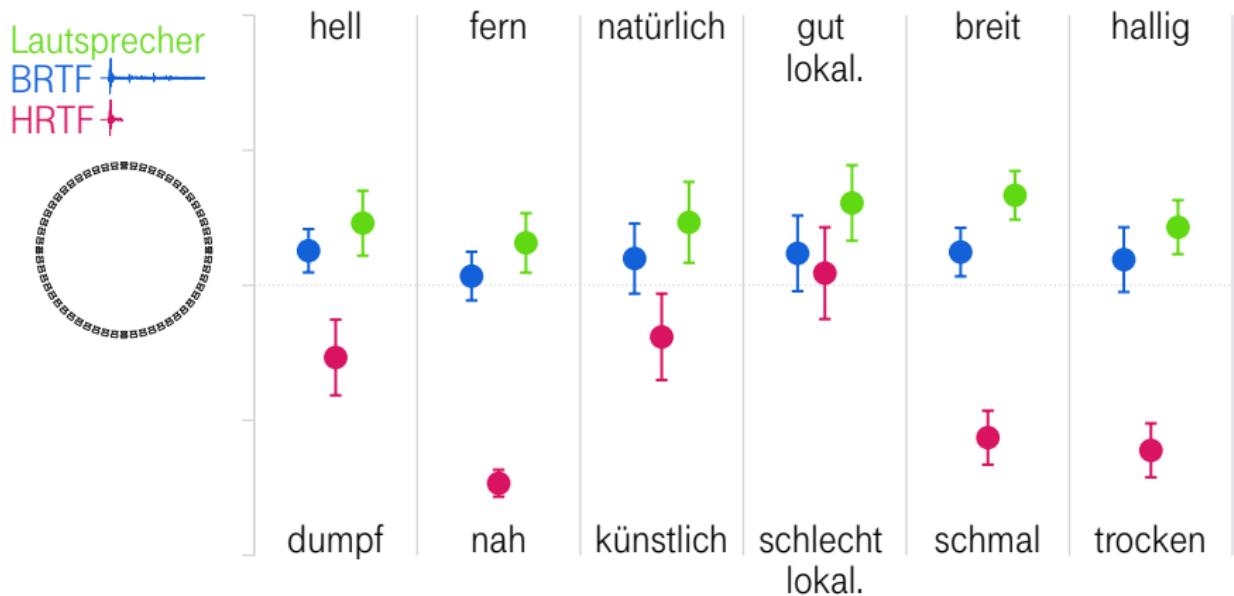
Wahrnehmbare Unterschiede



# Binaurale Resynthese eines Lautsprechers

## Wahrnehmbare Unterschiede

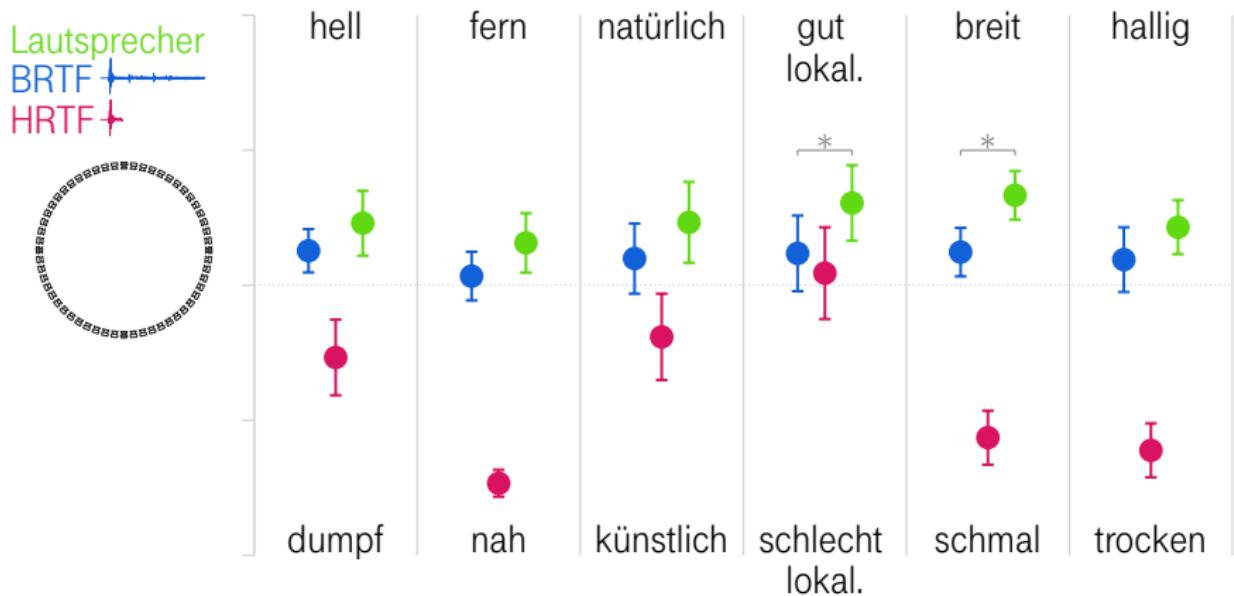
- 12 VPs, Bewertung von Attributpaaren für Sprache und Musik, 4 Lautsprecher



# Binaurale Resynthese eines Lautsprechers

## Wahrnehmbare Unterschiede

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



# 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?

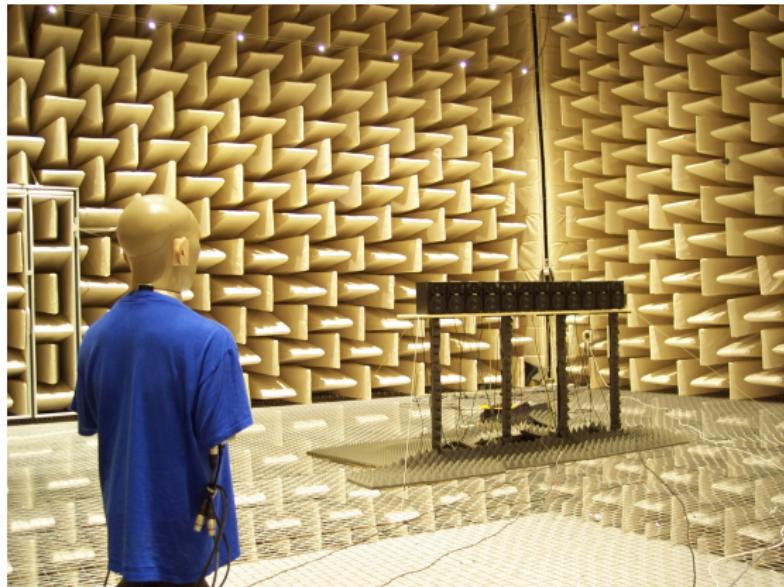
⇒ Binaurale Synthese ist nötig um verschiedene Positionen systematisch zu untersuchen. Darf aber nicht "blind" angewendet werden.

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

# Lokalisierung

## Muldimodaler 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

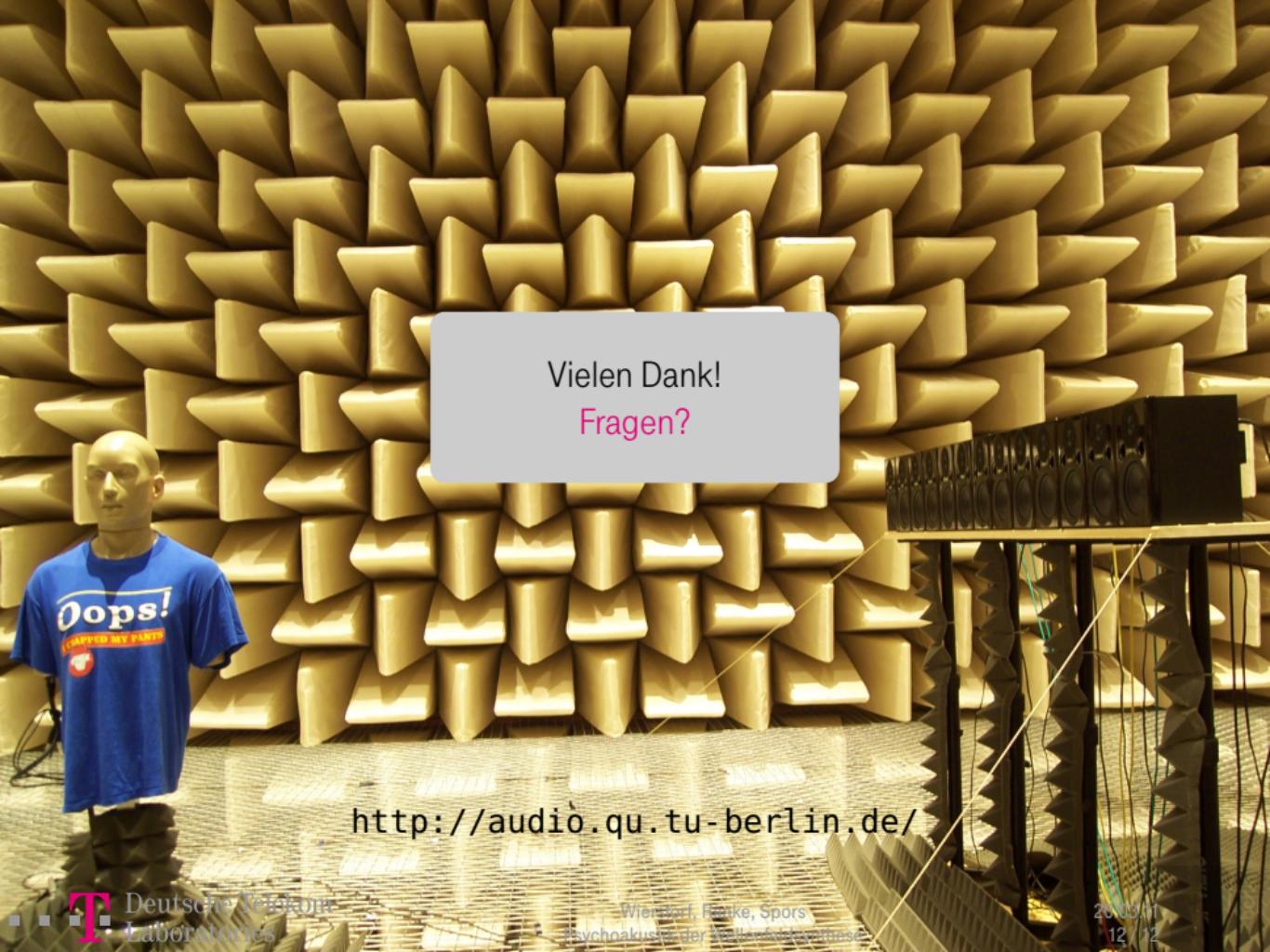
- Abweichung von echter Darbietung
- Einfluss der Abweichung noch nicht hinreichend untersucht

# 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

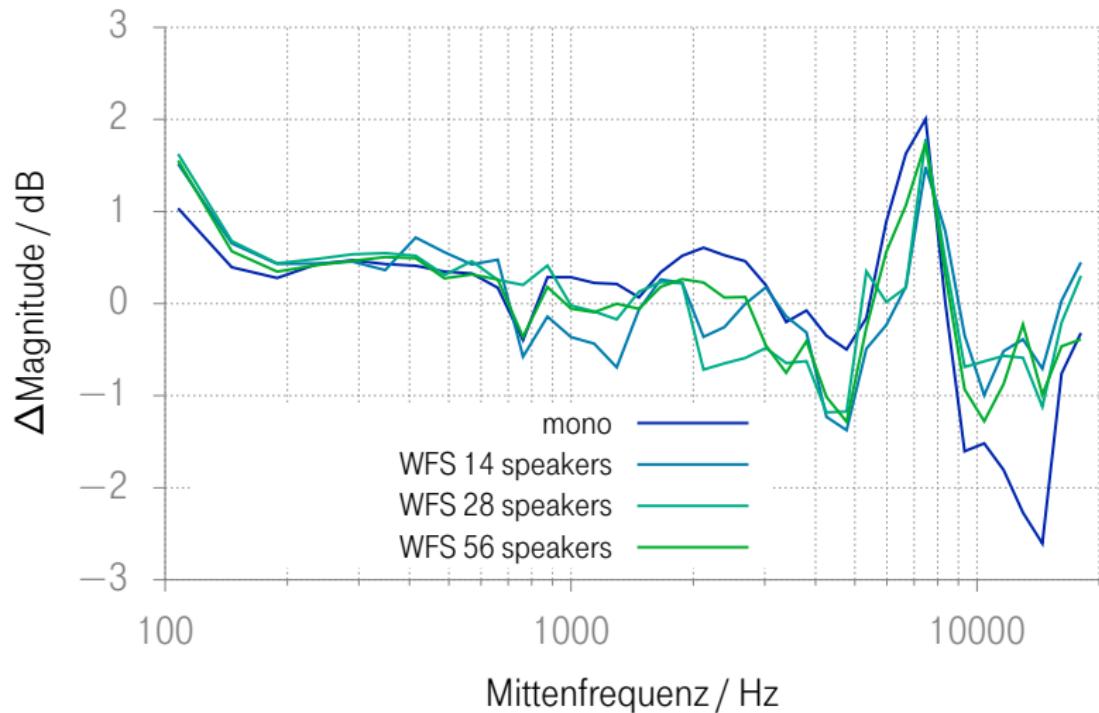


Vielen Dank!  
Fragen?

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

# Klangfarbe

Simulation unterschiedlicher Lautsprecheranzahlen



# Klangfarbe

## Leichte Kopfbewegungen

Schrittweite der Bewegungen: 1 mm

