

# Automatische Anpassung des stereophonen Sweetspots bei Kopfdrehung

Sebastian Merchel<sup>1</sup>, Stephan Groth<sup>2</sup>

Lehrstuhl für Kommunikationsakustik, TU Dresden

<sup>1</sup> [sebastian.merchel@tu-dresden.de](mailto:sebastian.merchel@tu-dresden.de) <sup>2</sup> [stephan.groth@gmx.net](mailto:stephan.groth@gmx.net)

## Einleitung

Die räumliche Wiedergabe in einem stereophonen Mehrkanalsystem (z.B. Stereo oder 5.1 Surround) funktioniert nur in einem kleinen Bereich, dem so genannte Sweetspot. Sobald sich der Hörer bewegt, verschieben sich die Phantomschallquellen in Abhängigkeit von dessen Ort und Ausrichtung. Dieser Beitrag evaluiert Lokalisationsfehler, die bei Kopfdrehung auftreten. Die Phantomschallquellen verschieben sich in Richtung der Medianebene des Hörers. Eine Kompensationsfunktion wird diskutiert.

Ein echtzeitfähiges Testprogramm zur Nachführung des Sweetspots wurde implementiert (Abb. 1). Der Hörer wird dabei mit Hilfe einer Webcam lokalisiert. Eine Demonstrationsversion kann auf [www.ias.et.tu-dresden.de/akustik/sweetspotter](http://www.ias.et.tu-dresden.de/akustik/sweetspotter) heruntergeladen werden.

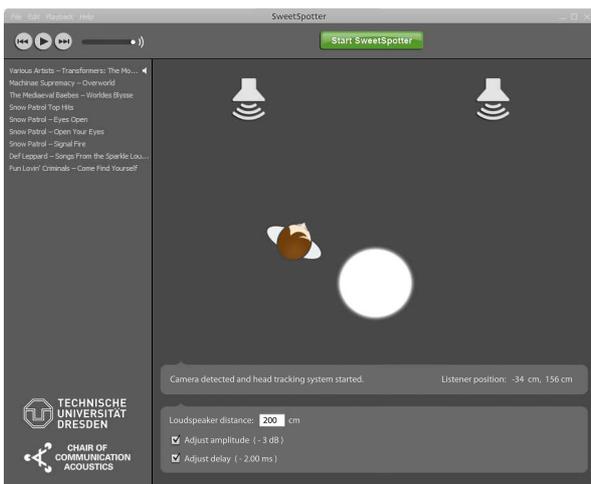


Abbildung 1: Benutzeroberfläche SweetSpotter.

## Automatische Anpassung des Sweetspots

Es existieren verschiedene statische Ansätze zur Vergrößerung des Sweetspots. Für eine Diskussion der Vor- und Nachteile dieser wird auf [1] verwiesen. Dieses Paper untersucht ein dynamisches System, in dem die Lautsprechersignale in Echtzeit an die Hörerposition angepasst werden. Der Sweetspot wird dem Hörer nachgeführt. In [2] wird die Lokalisation in einem solchen System mit Hilfe eines Binauralmodells nach [3] ohne Kopfdrehung evaluiert. Dasselbe Modell wird im Folgenden verwendet um die Richtungswahrnehmung bei Kopfdrehung zu analysieren. Als Teststimulus dient bandbegrenzt weißes Rauschen von 300 Hz bis 1300 Hz. Der Ursprung des verwendeten Koordinatensystems liegt im linken Lautsprecher.

## Lokalisation bei Kopfdrehung

In Abbildung 2 wird der Lokalisationswinkel  $\varphi$  einer mittleren Phantomschallquelle über der Blickrichtung  $\kappa$  des Hörers dargestellt. Die Phantomschallquelle verschiebt sich dabei in Richtung der Kopfdrehung  $\kappa$ . Die Stärke der Verschiebung ist abhängig vom Grad der Kopfdrehung. Die modellierten Ergebnisse stimmen mit Experimenten von Pullki [5] überein. Er schlägt für VBAP eine quellpositionsabhängige Kompensationsfunktion vor.

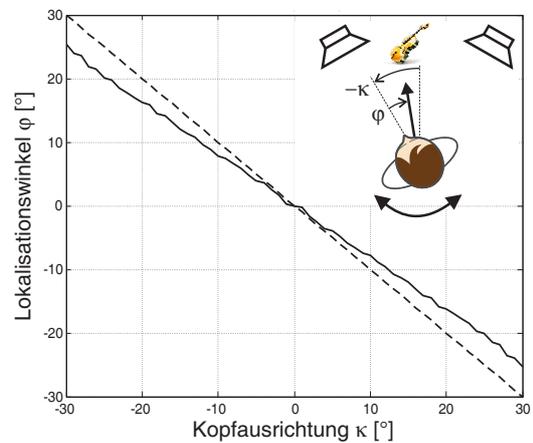
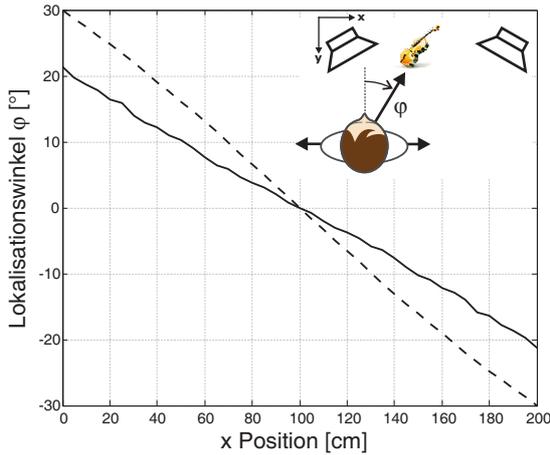
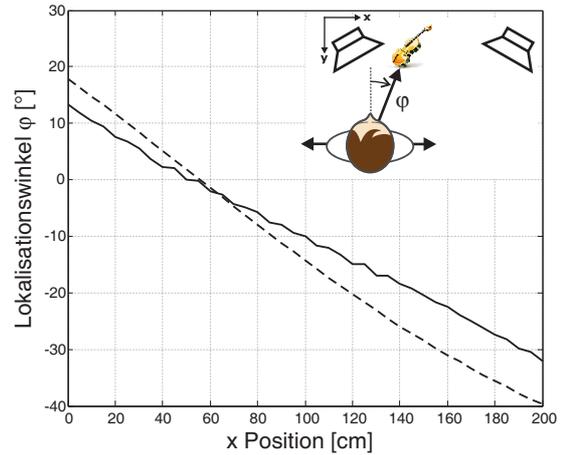


Abbildung 2: Lokalisation einer Center-Phantomschallquelle in Abhängigkeit der Kopfdrehung des Hörers (Hörer im klassischen Sweetspot, Lautsprecherabstand = 2 m). Der aus der interauralen Zeitdifferenz modellierte Lokalisationswinkel  $\varphi$  (durchgezogene Linie) und der Sollwinkel zur Mitte zwischen den Lautsprechern  $\varphi_{\text{Mitte}}$  (gestrichelte Linie) wird dabei in Bezug auf die Blickrichtung des Hörers (kopfbezogenes Koordinatensystem) abgetragen.

Abbildung 3 a) zeigt die Lokalisation einer mittleren Phantomschallquelle, wenn der Hörer sich seitlich (in x-Richtung) bewegt. Die Lautsprechersignale werden dabei für alle Hörerpositionen in Bezug auf die Kopfmittle zeitlich und in ihrer Intensität angepasst, als befände sich der Hörer im SweetSpot. Die Kopfausrichtung bleibt stets gerade nach vorn ( $\kappa = 0^\circ$ ). Durch die Signalanpassung entspricht dies einer Kopfdrehung im klassischen Sweetspot. Allerdings verändert sich der Stereo-Basiswinkel in Abhängigkeit der Hörerposition (z.B.  $50^\circ$  für  $x = 0$  m und  $y = 1,73$  m). Die Phantomquellenverschiebung ist stärker als bei Kopfdrehung in der mittleren Hörposition. Dies gilt ebenfalls für die in Abbildung 3 b) dargestellte nach links ausgelenkte Phantomschallquelle. Je weiter die Blickrichtung des Hörers sich von der Phantomschallquellensollposition entfernt, desto stärker verschiebt sich die wahrgenommene Position dieser.



(a)



(b)

**Abbildung 3:** Lokalisation einer Phantomschallquelle in Abhängigkeit der x-Position des Hörers ( $y = 1,73$  m,  $\kappa = 0^\circ$ , Lautsprecherabstand = 2 m). Der aus der interauralen Zeitdifferenz modellierte Lokalisationswinkel (durchgezogene Linie) und der Sollwinkel zur Phantomschallquelle (gestrichelte Linie) wird in Bezug auf die Blickrichtung des Hörers (stets gerade nach vorn) abgetragen. Die Lautsprecher-signale sind für jede Hörerposition angepasst. Es wird in (a) eine mittige Phantomschallquelle, und in (b) eine durch 6 dB Pegelunterschied nach links ausgelenkte Phantomschallquelle (Sollauslenkungswinkel nach [4]) simuliert.

## Kompensation

Ein absoluter Ausgleich der wahrgenommenen Quellverschiebung durch Kopfdrehung kann nur bei bekannter Position einer Phantomschallquelle erfolgen. Dies ist für stereophone Aufnahmen im Normalfall nicht gegeben. Als Kompromiss wird eine Kompensation in Bezug auf die Mitte zwischen den Lautsprechern vorgeschlagen. Die zu kompensierende Verschiebung  $\varphi_{\text{Kompensation}}$  ist abhängig von der Differenz  $\varphi_{\text{Mitte}}$  zwischen dem Winkel  $\sigma$  zur Mitte zwischen den Lautsprechern und dem Winkel der Kopfdrehung  $\kappa$  (siehe Abb. 4):

$$\varphi_{\text{Mitte}} = \tan^{-1} \left( \frac{0,5 \cdot \text{Lautsprecherabstand} - x}{y} \right) - \kappa$$

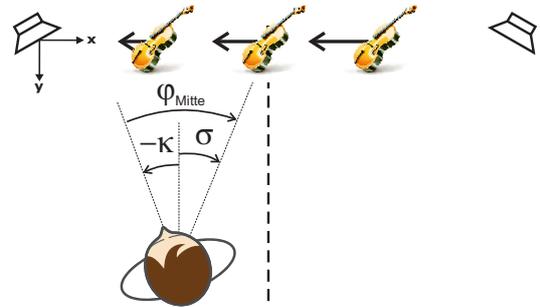
Aus Abbildung 2 kann durch lineare Regression der zu kompensierende Winkel abgeleitet werden.

$$\varphi_{\text{Kompensation}} = \frac{5^\circ}{30^\circ} \cdot \varphi_{\text{Mitte}}$$

Diese Funktion unterschätzt für unsymmetrische Hörerpositionen die Quellverschiebung (siehe Abb. 3). Es wurde angenommen, dass sich die Phantomschallquellen auf einer Gerade zwischen den Lautsprechern befinden sollen. Dies muss aber nicht zwingend der Fall sein. Zusätzlich werden nichtmittige Phantomschallquellen unter bzw. überkompensiert. Dadurch verengt sich die Stereobühne etwas. Der Kompensationswinkel kann anschließend mittels Intensitätsstereophonie (z.B. tan-law) ausgeglichen werden.

## Zusammenfassung

Die Verschiebung von Phantomschallquellen bei Kopfdrehung wurde untersucht. Eine Kompensationsfunktion für stereophone Signale wurde vorgeschlagen. Offene Fragen sind z.B. die Abhängigkeit vom positionsabhängigen Basiswinkel, unterschiedlichen Signalen oder der wahrgenommenen Entfernung zur Phantomschallquelle.



**Abbildung 4:** Verschiebung von drei Phantomschallquellen in Richtung der Blickrichtung des Hörers. Die Lautsprecher-signale sind in Bezug auf die Kopfmitte angepasst. Je größer die Entfernung der Phantomschallquelle zur Medianebene des Hörers ist, desto größer ist die Verschiebung.

## Literatur

- [1] Merchel, S., Groth, S., *Analysis and Implementation of a Stereophonic Play Back System for Adjusting the "Sweet Spot" to the Listener's Position*, Proceedings of 126th AES Convention, Munich, Germany, 2009.
- [2] Merchel, S., Groth, S., *Evaluation of a New Stereophonic Reproduction Method with Moving "Sweet Spot" Using a Binaural Model*, Proceedings of ISAAR, Helsingør, Denmark, 2009.
- [3] Braasch, J., *Auditive Lokalisation und Detektion in Mehrschallquellen-Situationen*, Dissertation, Düsseldorf: VDI Verlag, 2002.
- [4] Sengspiel, E., *Vergleich von Pegeldifferenz-Lokalisationskurven bei Interchanneldifferenzen*, UdK Berlin, Germany, 1995.
- [5] Pulkki, V., *Compensating Displacement of Amplitude-Panned Virtual Sources*, Proceedings of AES 22nd Conference, Espoo, Finland, 2002.