

Entwicklung eines akustischen Hohlspiegels mit integriertem Mikrofon-Array

Matthias Riegel

FKFS, 70569 Stuttgart, E-Mail: matthias.riegel@fkfs.de

1. Einleitung

Zur Messung des von Fahrzeugen abgestrahlten Schalls in Windkanälen mit offenen Messstrecken eignen sich neben anderen Messmethoden insbesondere Hohlspiegelmikrofone. Dabei wird das Mikrofon innerhalb des Hohlspiegels so positioniert, dass es im Schnittpunkt der reflektierten einfallenden Schallstrahlen liegt. Sollen mehrere Punkte in der Objektebene vermessen werden (z.B. eine Schallquellenortung durchgeführt werden), so muss der Hohlspiegel mit einer Traversiereinrichtung vor der Messfläche verschoben werden. Dies ist in der Regel recht zeitaufwändig. Zur Reduzierung des Zeitaufwandes kann in der Bildebene statt des einzelnen Mikrofons auch ein Mikrofon-Array eingesetzt werden. Eine Traversierung des Spiegels ist dann nicht mehr nötig.

2. Funktionsprinzip akustischer Hohlspiegel

Der einfallende Schall wird an der Oberfläche des Hohlspiegels reflektiert und im Fokuspunkt des Spiegels gebündelt. Dadurch erfährt der Schall eine frequenzabhängige Verstärkung. Befindet sich eine weitere Quelle vertikal zur Spiegelachse, so wird der Schall in der Fokusebene auf eine Mikrofonposition abgebildet, die sich ebenfalls vertikal und zudem spiegelverkehrt zur Spiegelachse befindet (vgl. **Abbildung 1**).

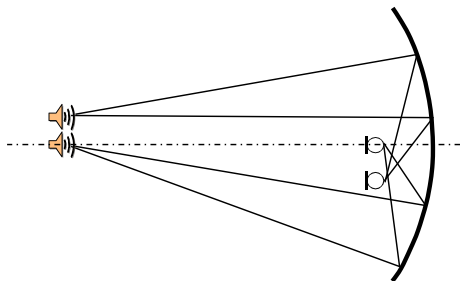


Abbildung 1 Funktionsprinzip eines akustischen Hohlspiegels mit integriertem Mikrofon-Array [nach 1].

Bei akustischen Hohlspiegeln wird zwischen ellipsoiden und paraboloiden Spiegeln unterschieden. Aufgrund der besseren Verfügbarkeit von Parabolspiegeln werden diese häufig in kommerziellen Systemen eingesetzt, obwohl sie ungünstigere physikalische Eigenschaften aufweisen, als Ellipsoid-Spiegel. Für parallel einfallende Strahlen ergibt sich für einen Spiegel mit parabolischer Form genau ein Schnittpunkt: der Brennpunkt B des Spiegels. Da sich die Schallquelle Q jedoch in endlicher Entfernung vom Spiegel befindet, treffen sich die Strahlen abhängig vom vertikalen Abstand x des Reflexionsortes zur Spiegelachse in unterschiedlicher Entfernung b (vgl. **Abbildung 2**) gemäß Gl. (1):

$$b = mx^2 + x \tan(\pi - 2 \arctan 2mx - \arctan \frac{a - mx^2}{x}) \quad (1)$$

m...Koeffizient der Parabel

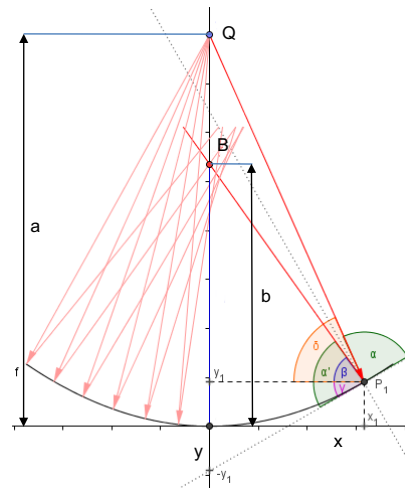


Abbildung 2 Fokuspunktbestimmung am Parabolspiegel für eine Quelle mit dem Abstand a [nach 1].

3. Eigenschaften eines Parabolspiegels

Durch den in Gl. (1) definierten Strahlengang ergibt sich eine parabelförmige Verzerrung des Fokuspunktes, welche mit einer Strahlengang-Simulation (siehe **Abbildung 3**) gezeigt werden kann. Der Abstand von Quelle zu Spiegel beträgt hier 5 m. Eingezeichnet ist beispielhaft der Querschnitt eines $\frac{1}{2}$ -Zoll Mikrofons (blau gestrichelte Linie). Die Lage ist so ausgewählt, dass die maximale Anzahl reflektierter Strahlen auf die Mikrofonmembran auftrifft. Damit ergibt sich die Lage des „Fokus“ zu ca. 630 mm, was mit Messungen gut übereinstimmt.

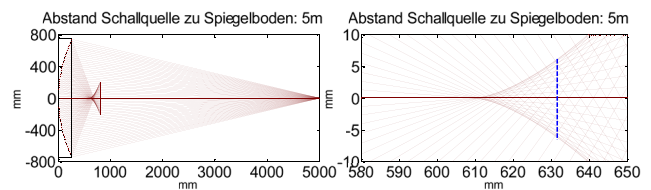


Abbildung 3 „Fokus“ eines Parabolspiegels bei einer Entfernung der Schallquelle von 5 m.

Ein Hohlspiegel besitzt die Eigenschaft, einen Punkt in der Objektebene in der Mikrofonebene (Bildebene) durch den Abbildungsmaßstab gemäß Gl. (2) abzubilden:

$$B = \frac{k_{mic}}{k_{obj}} = \frac{e_{mic} - e}{e} \quad (2)$$

Dabei ist zu beachten, dass die Formeln auf Näherungen für achsnahen Strahlen beruhen und der Abstand zwischen optischer Achse und dem Objektpunkt k_{obj} , k_{quel} , sowie dem Bildpunkt k_{mic} , in eingetragener Pfeilrichtung (siehe **Abbildung 4**) als positiv anzusehen sind.

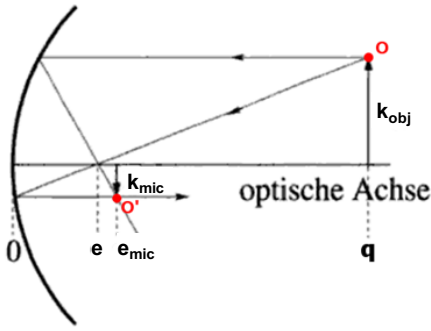


Abbildung 4 Reflexion eines Objektpunktes O an einem Hohlspiegel [nach 2].

Mit dem Abbildungsmaßstab B lässt sich die Größe des Mikrofon-Arrays L_{mic} bei vorgegebener Objektgröße L_{obj} anhand Gl. (3) bestimmen:

$$L_{mic} = B \cdot L_{obj} \quad (3)$$

Dabei muss beachtet werden, dass der Abbildungsmaßstab mit abnehmendem Abstand von Quelle zu Spiegel größer wird.

Eine weitere wichtige Größe für die Auslegung des Mikrofon-Arrays ist die Halbwertsbreite. In **Abbildung 5** ist das 1. Maximum des Beugungsmusters eines Hohlspiegels dargestellt. Die Halbwertsbreite definiert sich über den Abstand vom Zentrum des Beugungsmusters bis zu dem Punkt, an dem die Schallintensität um 50% bzw. der Pegel um 3 dB abgesunken ist.

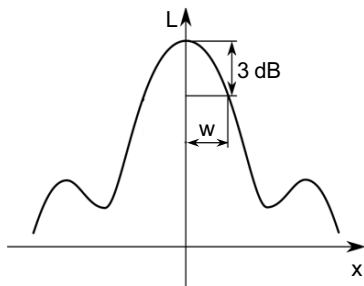


Abbildung 5 Definition der Halbwertsbreite am Beugungsbild eines Hohlspiegels (nach [3]).

Wird das Beugungsmuster so klein, dass das Hauptmaximum zwischen zwei Mikrofonen liegt, so ist die exakte Abbildung der Quelle nicht mehr gewährleistet. Daraus ergibt sich die Anforderung für den maximalen Mikrofonabstand Δl_{mik} :

$$\Delta l_{mik} \leq 2 \cdot w \quad (4)$$

4. Auslegung des Mikrofon-Arrays

Um die optimale Messposition des Mikrofon-Arrays für unterschiedliche Abstände von Quelle zu Spiegel zu gewährleisten, muss das Mikrofon-Array verschiebbar gestaltet werden (nach Gl. 1). Die Abmessung des Arrays ergibt sich aus Gl. 3. Soll eine bestimmte Objektfläche messtechnisch erfasst werden, so ergibt sich die erforderliche Arraygröße über das Abbildungsverhältnis bei vorgegebenem Messabstand. **Abbildung 6** zeigt den Verlauf des Abbildungsverhältnisses eines Parabol-Hohlspiegels als

Funktion des Abstands von Quelle zu Spiegel. Beträgt der Abstand z.B. 5.5 m, so ergibt sich für diesen Hohlspiegel ein Abbildungsverhältnis von 0.13 und damit die Arraybreite und -höhe.

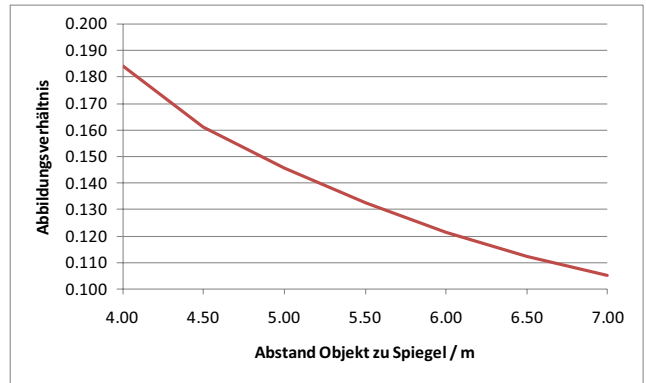


Abbildung 6 Abbildungsverhältnis eines Parabol-Hohlspiegels bei unterschiedlichen Abständen von Quelle zu Spiegel

Abbildung 7 zeigt die messtechnisch ermittelte Halbwertsbreite eines Spiegels bei einem Abstand von 5.5 m. Wird eine obere Grenzfrequenz von 10 kHz gefordert, so muss der maximale Abstand der Messmikrone nach Gl. (4)

$$\Delta l_{mik} \leq 2 \cdot w = 2 \cdot 10 \text{ mm} = 20 \text{ mm}$$

betragen.

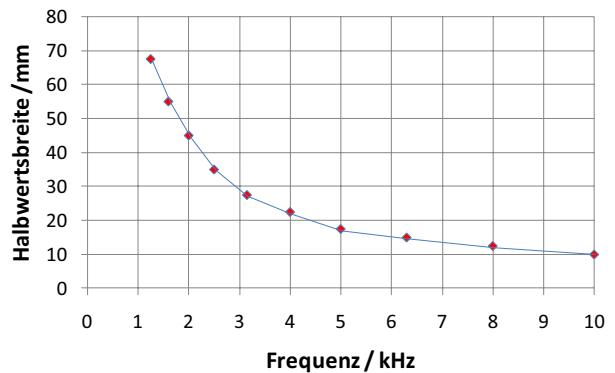


Abbildung 7 Halbwertsbreite eines Parabol-Hohlspiegels bei einem Abstand von Quelle zu Spiegel von 5.5 m

Zusammenfassung

Für die 2-dimensionale Schallquellenortung wurde ein Mikrofon-Array konzipiert, welches in einen akustischen Parabol-Hohlspiegel integriert werden soll. Hierfür wurden die wichtigsten physikalischen Grundlagen erörtert.

- [1] Helfer, M.: Sound Source Localisation with Acoustic Mirrors. 23th-26th March 2009, DAGA Rotterdam, DEGA e.V., Berlin
- [2] Pfeifer, Harry, Schmiedel, Herbert und Stannarius, Ralf: Kompaktkurs Physik. Wiesbaden: Teubner, 2004.
- [3] Grosche, F.-R.; Stiewitt, H.; Binder, B.: Sound source location and discrimination from background noise in wind-tunnel tests. Ottawa: ICIASF, 1975.