

Akustik und Sprachverständlichkeit der Flüsterspiegel im Oldenburger Hörgarten

Jan Schröder, Prof. Dr. Dr. Birger Kollmeier

Medizinische Physik, Universität 26111 Oldenburg, Email: jan.schroeder@uni-oldenburg.de, birger.kollmeier@uni-oldenburg.de

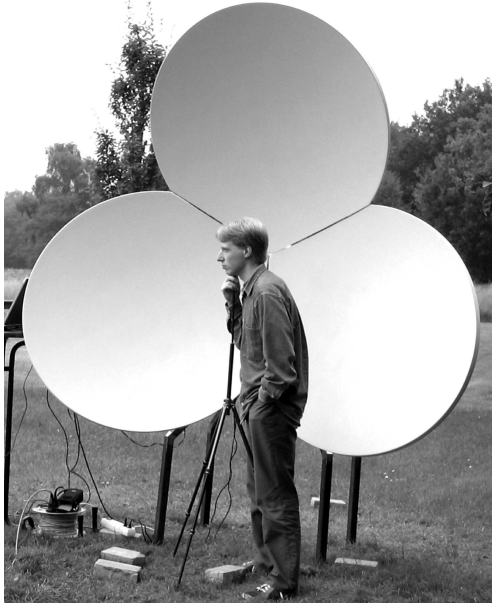


Abbildung 1: Messungen an den Flüsterspiegeln im Hörgarten. Eine Versuchsperson hält ihr Ohr in den Focus einer Parabolreflektor-Dreiergruppe.

Einführung

Die speziellen Reflexionseigenschaften von parabolisch-konkav gekrümmten Flächen können gezielt für eine Sprachübertragung genutzt werden. Im Folgenden wird eine Theorie zur quantitativen Berechnung des Verstärkungspegels einer „Flüsterspiegel“-Anlage aus gegenübergestellten Parabolreflektoren vorgestellt. Es ergeben sich dabei Abhängigkeiten von der Öffnungsfläche der Reflektoren, der Entfernung zwischen ihnen und der betrachteten Schallwellenlänge. Desweiteren werden Ergebnisse akustischer und psychoakustischer Messungen an einer Anlage präsentiert, die im Oldenburger „Hörgarten“¹ aufgebaut werden soll.

Die Akustik von Parabolreflektoren

Stehen sich zwei Parabolreflektoren gegenüber, kann Schallenergie zwischen ihnen transportiert werden: Der Schall einer Kugelschallquelle im Focus des einen Reflektors wird von diesem zu einem großen Teil aufgefangen und in Form einer annähernd ebenen Welle in Richtung des anderen Reflektors reflektiert. Dieser nimmt die „ebene“ Welle auf umgekehrte Weise auf und konzentriert sie in seinem Focus.

¹Der Hörgarten ist ein öffentlich zugänglicher Garten mit Experimenten zum Thema Schall und Hören und ist am Haus des Hörens im Kùpkersweg in Oldenburg gelegen (ab 31.5.06).

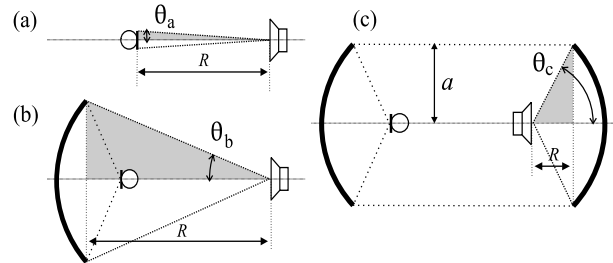


Abbildung 2: Schema der geometrisch berechneten Verstärkung im beugungsfreien Fall. Die Verstärkung ist abhängig vom eingefangenen Raumwinkel.

Maximalverstärkung für den beugungsfreien Fall

Die akustische Verstärkung, die durch Parabolreflektoren erreicht werden kann, ergibt sich durch die Vergrößerung des aufgefangenen Raumwinkels θ . Im Fall ohne Reflektoren nimmt der Schallempfänger (z.B. ein Mikrofon) nur einen kleinen Teil der im ungünstigsten Fall kugelförmig abgestrahlten Schallenergie eines Schallsenders auf (Abb. 2, a). Der aufgenommene Raumwinkel erhöht sich durch Hinzufügen von Reflektoren am Empfänger (b) und am Sender (c). Verläuft die Übertragung zwischen den beiden Reflektoren im Idealfall als ebene Welle, also verlustfrei, so ist die Übertragung unabhängig von der Entfernung zwischen den beiden Reflektoren.

Für eine Kombination zweier Parabolreflektoren (c) ergibt sich die Verstärkung F_{max} gegenüber einer Hörsituation ohne Reflektoren (a) durch das Verhältnis der aufgefangenen Energieanteile zueinander, für die geometrisch berechnet werden kann:

$$F_{max} = \frac{1 - \cos \theta_c}{1 - \cos \theta_a} \quad (1)$$

Beugungseffekte bei der Schallübertragung Aufgrund der begrenzten Öffnungsfläche eines Parabolreflektors ist die Wellenausbreitung nur näherungsweise eben. Das Schallfeld ist vergleichbar mit dem einer Kolbenmembran bzw. dem Schallaustritt aus einer kreisförmigen Öffnung mit der Richtfunktion

$$D(\theta, k, a) = \frac{2J_1(ka \sin \theta)}{ka \sin \theta} \quad (2)$$

Dabei bezeichnet J_1 die Besselfunktion 1. Ordnung, k die Wellenzahl, a den Radius der Öffnungsfläche und θ_0 den Raumwinkel zwischen dem Mittelpunkt des einen Reflektors und dem Radius des zweiten Reflektors. Die Richtfunktion gilt nach dem babinetschen Prinzip sowohl für die Abstrahl- als auch für die Empfangscharakteristik.

Der beugungsbedingte Verlust bei der Übertragung zwischen zwei Parabolreflektoren kann durch Vergleich der

aufgefangenen Schalleistung mit der insgesamt abgestrahlten Schalleistung ermittelt werden. Das Verhältnis F zwischen dem Teil der Abstrahlung, die den Empfangsreflektor erreicht, und der Gesamtabstrahlung ist dann abhängig vom Raumwinkel θ_0 und vom Produkt der Kreiswellenzahl k mit dem Reflektorradius a :

$$F(\theta_0, k, a) = \frac{\int_0^{\theta_0} D(\theta, k, a) d\theta}{\int_0^{\pi} D(\theta, k, a) d\theta} \quad (3)$$

Der Raumwinkel ergibt sich dabei für einen Abstand R zwischen den Reflektoren durch $\theta_0 = \arctan \frac{a}{R}$.

Analoge Überlegungen gelten für den Fall der Empfangscharakteristik und das „Sichtfeld“ des Empfangsreflektors; deshalb ergibt sich dann der tatsächliche Abschwächungsfaktor für die Schallenergie F_{Beugung} aus dem Quadrat von F : $F_{\text{Beugung}} = F^2$.

Die gesamte Verstärkungsleistung ergibt sich in dB ausgedrückt aus der Summe von Maximalverstärkung und Beugungsabschwächung: $F_{\text{ges}} = F_{\text{max}} \text{ dB} + F_{\text{Beugung}} \text{ dB}$.

Akustische und psychoakustische Messungen

Es wurden akustische und psychoakustische Messungen an einer Flüsterspiegel-Anlage durchgeführt. Die beiden Flüsterspiegel waren dabei jeweils aus drei miteinander kombinierten Offset-Reflektoren (wie sie z.B. für Fernsehempfang üblich sind) mit einem Öffnungsdurchmesser von 1,20 m aufgebaut (siehe auch Photo in Abb. 1).

Für unterschiedliche Entfernungen zwischen den Reflektoren wurden mit einem Lautsprecher im Focus des einen Flüsterspiegels und einem Mikrophon im Focus des anderen Flüsterspiegels Übertragungsfunktionen ermittelt. Ebenfalls wurden Übertragungsfunktionen für die gleichen Strecken ohne Flüsterspiegel gemessen. Der Verstärkungspegel ist in Abb. 3 dargestellt. Deutlich erkennbar ist dabei die Hochpasscharakteristik der Übertragung mit einer Grenzfrequenz von etwa 1,5 kHz und der Verstärkungsvorteil auch noch bei großen Entfernungen.

Aus diesen Daten sowie dem gemessenen durchschnittlichen Pegel des Störgeräuschs in den selben 18 Frequenzbändern lässt sich über den Sprachverständlichkeitsindex (SII , siehe ANSI S3.5-1997), Transformation in Satzverständlichkeitswerte (siehe [2] in Tabelle III, S.96 und Abb. 7, S.99) und iterative Ermittlung der Sprachverständlichkeitsschwelle² eine Prognose für die erwartete Sprachverständlichkeit mit und ohne Flüsterspiegel berechnen.

Für eine Entfernung von 50 m wurden zusätzlich Sprachverständlichkeitsmessungen mit dem Oldenburger Satztest ($OLSA$, siehe [3]) durchgeführt. Ergebnisse die-

²Sprachverständlichkeitsschwelle: Der RMS-Pegel in dB [SPL] des Sprachsignals, bei der eine Satzverständlichkeit von 50% erreicht werden kann. Zu beachten ist, dass damit hier eine absolute Schwelle in dB [SPL] und kein relatives Signal-Rausch-Verhältnis gemeint ist.

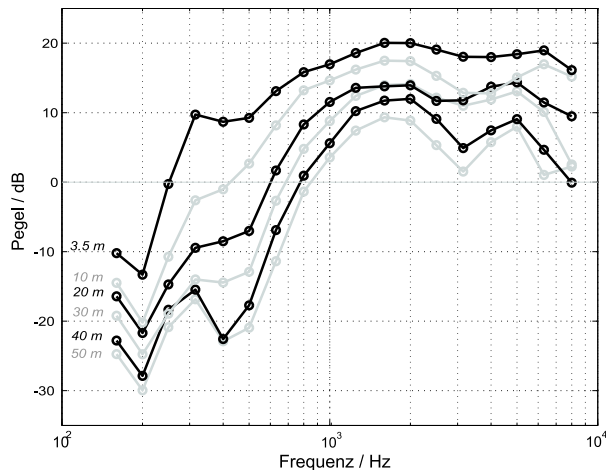


Abbildung 3: Verstärkungspegel der Flüsterspiegel im Freifeld für verschiedene Abstände (Focus - Focus) für 18 Frequenzbänder. Die Frequenzachse bezieht sich auf die Mittenfrequenzen der Frequenzbänder. Bezugswert für den angegebenen Pegel ist der mittlere Pegel des zugewandten Lautsprechers in 1 m Entfernung.

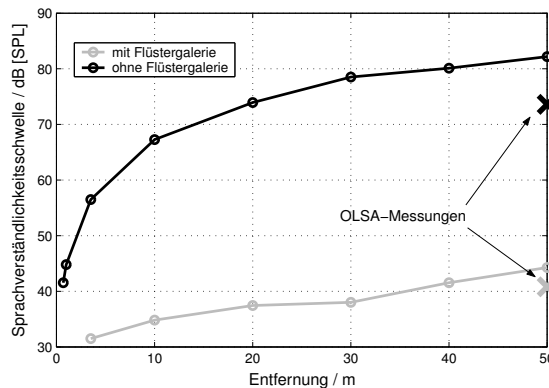


Abbildung 4: Sprachverständlichkeitsschwelle mit und ohne Flüsterspiegel in dB [SPL], durch Ermittlung des SII aus den akustischen Daten der Kommunikationssituationen mit und ohne Flüsterspiegel berechnet. Die beiden Kreuze geben zum Vergleich die Messergebnisse der OLSA-Messungen an. Die Pegelangaben beziehen sich auf eine Entfernung von 1 m zur Schallquelle.

ser Messung sind zusammen mit den SII-Prognosen in Abb. 4 dargestellt.

Literatur

- ANSI: Methods for the Calculation of the Speech Intelligibility Index / Standards Secretariat, Acoustical Society of America. 1997 (S3.5-1997). – American National Standard
- FLETCHER, H. ; GALT, R. H.: The Perception of Speech and Its Relation to Telephony. In: *J. Acoust. Soc. Am.* 22 (1950), Nr. 2, S. 89–151
- WAGENER, Kühnel V. ; KOLLMEIER, B.: Entwicklung und Evaluation eines Satztests für die deutsche Sprache (I-III). In: *Zeitschrift für Audiologie* 38 (1999), Nr. 1-3