

Der Einfluß der Mikrofonrichtcharakteristik auf den Lateral Fraction - Parameter

Ingo Witew, Gottfried K. Behler

Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen; Email: Ingo.Witew@akustik.rwth-aachen.de

Einleitung

Das Konzept des Seitenschallgrads ist keine neue Erscheinung: Bereits Ende der sechziger Jahre wurden in Deutschland von W. Reichardt^[1,2] grundlegende Untersuchungen zu diesem Thema durchgeführt. Ebenfalls in dieser Zeit wurde die Vermutung geäußert, daß sich seitlich einfallender Schall positiv auf die Güte der Akustik in Konzertsälen auswirken würde. Es sollte allerdings erst bis 1981 dauern, bis M. Barron^[3] die Lateral Fraction als objektive Meßgröße für die „Spatial Impression“ vorstellt. Etwa 15 Jahre später, 1995, äußert J.S. Bradley^[4] Zweifel an der Vollständigkeit der bisherigen Betrachtung. Er stellt fest, daß seine Forschungsergebnisse eine voneinander unabhängige Wahrnehmung von Quellbreite (ASW) und Umhülltsein (LEV) unter dem Überbegriff der „Spatial Impression“ nahe legen. Die von Barron vorgestellte Meßgröße LF gebe die ASW-Wahrnehmung wieder, wohingegen die von Bradley vorgeschlagene LG_{80}^{∞} als objektive Meßgröße für LEV zu verwenden sei. Der Grund, warum in der heutigen Meßpraxis vorwiegend LF benutzt wird, liegt sicher daran, daß Barrons Ergebnis sinngemäß durch eq.1 in der ISO 3382 Norm übernommen wurde:

$$LF = \frac{\int_{0,005s}^{0,080s} p_{\infty}^2(t) dt}{\int_0^{0,080s} p_o^2(t) dt} \quad \text{eq. 1}$$

Bei genauerer Betrachtung ergeben sich jedoch kleinere Diskrepanzen zwischen Barrons Theorie und der Norm-Definition: Obwohl er eine azimutale $\cos(\alpha)$ -Abhängigkeit für einfallenden Schall auf die LF-Wahrnehmung feststellt, wird in der Norm eine $\cos^2(\alpha)$ -Abhängigkeit berücksichtigt, da bei einer energetischen Betrachtung ohnehin das Quadrat der Schalldrücke zu benutzen sei. Beranek^[5] beklagt seinerseits, daß die Ergebnisse im Seitenschallgrad nur einen sehr kleinen Wertebereich abdecken und deshalb für qualitative Vergleiche ungeeignet seien. Dieses Phänomen, zusammen mit einer großen Meßungenauigkeit, könnte die Aussagekraft des gemessenen Seitenschallgrads einschränken. Der durch die Richtcharakteristik eines Mikrophons hervorgerufene Meßfehler wird in diesem Beitrag anhand von algebraisch definierten und gemessenen Richtcharakteristika untersucht.

Simulation

Aus eq.1 lassen sich die Einflußgrößen auf den Seitenschallgrad einfach ablesen. Um die Berechnung der Lateral Fraction für verschiedene Situationen zu erleichtern, wurden hier nicht die ersten 80 ms der mit Mikrophonen gemessenen Impulsantworten benutzt, sondern Impulsantworten, aus denen der Schalldruck und der Einfallswinkel im 3D-Raum hervor geht und eine Beschreibung der Richtcharakteristik der Mikrophone.

Schallfelder

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden zwei Schallfelder benutzt, deren Seitenschallgrad bewertet werden soll. Das erste Feld ist das Ergebnis einer Ray-Tracing Studie für einen Quaderraum mit den Abmessungen 15m*15m*21m. Das zweite Schallfeld wurde aus

der Messung einer Impulsantwort in einem Konzertsaal bestimmt, indem die für die Simulation benötigten Einfallrichtungen der Schallrückwürfe aus der Raumgeometrie und der Signallaufzeit bestimmt wurden.

Richtcharakteristika

Für die Empfindlichkeit der Mikrophone wurden drei Simulationsschienen verfolgt: Ausgehend von der idealen Acht und der idealen Kugel wurde letztere sukzessive in eine ideale Niere überführt. Die ideale Acht mit der Potenz 1 wurde gemäß eq. 2 schrittweise in eine Richtcharakteristik mit der Potenz 3 überführt.

$$G(\varphi, \theta) = |\sin(\varphi)\sin(\theta)|^3 \quad \text{eq. 2}$$

Als dritte Simulationsvariation wurde eine Rechts/Links-Unwucht der Acht untersucht, indem das Verhältnis der rechten zur linken Halbebene der Mikrofonempfindlichkeit schrittweise von -5 dB zu +5 dB geändert wurde. Da die ISO 3382 Norm vorsieht, daß die Messergebnisse des omnidirektionalen Mikrophons freifeldkalibriert und die Ergebnisse des Figure-of-eight-Mikrophons auf die Richtung der maximalen Empfindlichkeit kalibriert werden, würde die Simulation für den L/R-Quotienten -5 dB und +5 dB zu identischen Ergebnissen führen. Deshalb wurde in diesem Fall die Normierung der Acht einmal auf das linke Empfindlichkeitsmaximum festgelegt.

Ergebnisse der Simulation

Quaderraum

Die Resultate für die Berechnung des Seitenschallgrads für die Kugel-Niere-Variationen und die Änderungen der Potenz der Acht sind in Abb. 1 zu sehen.

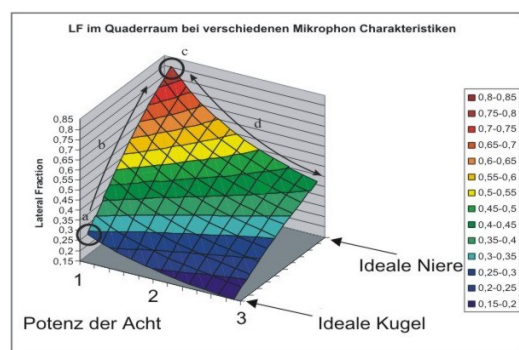


Abbildung 1: Lateral Energy Fraction im Quaderraum für verschiedene Mikrofon Charakteristika

Für ideale Richtcharakteristika (a) ergibt die Simulation den tatsächlichen Wert für den Seitenschallgrad des Schallfelds für den Quaderraum von etwa 0,3. Ändert sich die Richtcharakteristik des omnidirektionalen Mikrophons zur Niere (b), steigt das Ergebnis für den Seitenschallgrad, da der Nenner in eq. 1 kleiner wird. Ändert man nun, bei idealer Niere (c), die Potenz der Richtcharakteristik der Acht (d), ändert sich das Ergebnis der Lateral Fraction gemäß einer Exponentialfunktion.

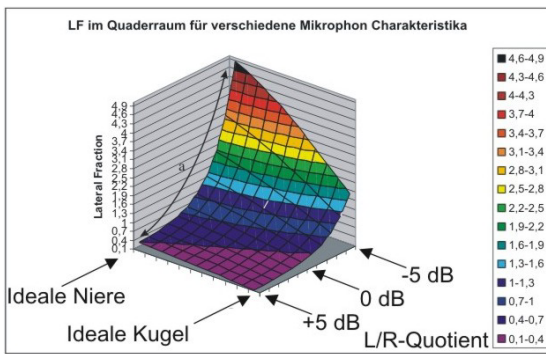


Abbildung 2: Lateral Energy Fraction für verschiedene Mikrophon Charakteristika

Für den Kugel/Niere-Verlauf zeigt Abb. 2 das gewohnte Bild (vgl.: Abb. 1). In dieser Darstellung ist daher der Einfluß der L/R-Unwucht der Figure-of-eight auf den Seitenschallgrad interessanter. Es ist ersichtlich, daß der Einfluß einer unterschiedlichen Gewichtung der rechten und linken Halbebene bei der Achtcharakteristik einen großen Einfluß auf die Berechnung des Seitenschallgrads hat. Aus diesem Diagramm läßt sich die Vermutung ableiten, daß bereits kleine Abweichungen einen merklichen Einfluß auf das berechnete Ergebnis des Seitenschallgrads haben.

Konzertsaal

Vergleicht man die Ergebnisse der Seitenschallgradberechnungen für den Quaderraum mit denen für den Konzertsaal, so ergibt sich, daß die Verläufe der Kurven sehr große Ähnlichkeiten aufweisen. Zudem stellt sich heraus, daß der tatsächliche Wert der LF für den Konzertsaal mit knapp 0,3 nahezu identisch mit dem des Quaderraums ist. Die weitere Betrachtung ergibt jedoch, daß neben allen Ähnlichkeiten auch Unterschiede festzustellen sind. So zeigt sich, daß die Änderung im Ergebnis des Seitenschallgrads bei identischen Variationen der Richtcharakteristika der Mikrophone beim Konzertsaal deutlich geringer ausfällt als beim Quaderraum. Wurde beim Quaderraum bei idealer Acht die Kugel in die Niere überführt, so ändert sich das Ergebnis für den Seitenschallgrad von etwa 0,3 auf ca. 0,85. Beim Konzertsaal änderte sich das Ergebnis der Berechnungen für die gleichen Variationen auf lediglich 0,5. Das Gleiche läßt sich bei Betrachtung der unterschiedlichen Empfindlichkeiten der Halbebenen beim Achtcharakteristikmikrophon feststellen: Ein L/R-Quotient von -5 dB führt im Quaderraum zu einem LF-Ergebnis von 4,9, wohingegen die vergleichbare Konstellation im Konzertsaal lediglich mit einem Seitenschallgrad von 2,9 zu Buche schlägt. Es läßt sich also hier festhalten, daß der Einfluß der Mikrophonrichtcharakteristik schallfeldabhängig ist.

Messung

Im nächsten Schritt der Untersuchung soll der Einfluß von tatsächlich gemessenen Richtcharakteristika und deren Frequenzgang auf die Lateral Fraction betrachtet werden. Zu diesem Zweck wurde die obere Hemisphäre eines Mikrophons mit zwei umschaltbaren Membranen in zwei Meßreihen so ausgemessen, daß jede Doppelmembran jeweils einmal als Mikrophon mit Achtcharakteristik und einmal als Mikrophon ohne Richtcharakteristik benutzt wurde. Für tiefere Frequenzen ($f < 1$ kHz) ergibt der augenscheinliche Eindruck, daß die Kugel und die Acht gut abgebildet werden. Die genauere Betrachtung ergibt jedoch, daß die beiden Hälften der Acht um etwa 10% ($\approx 0,5$ dB) ungleich gewichtet sind. Es stellt sich weiterhin heraus, daß die Kugel ein Empfindlichkeitsmaximum hat, das für die unterschiedlichen Membraneinstellungen einmal dem Di-

rekschall zugewandt und beim anderen Mal dem Direktschall abgewandt ist. Die Abweichung zwischen maximaler und minimaler Empfindlichkeit ergibt sich hier zu etwa 10%. Bei 2 kHz ergibt der Augenschein erste Zweifel an der Genauigkeit der Kugel. Ab 4 kHz verändert sich die Empfindlichkeit der Kugel grundlegend. Die Halbwertsbreite der Acht nimmt zu hohen Frequenzen hin ab.

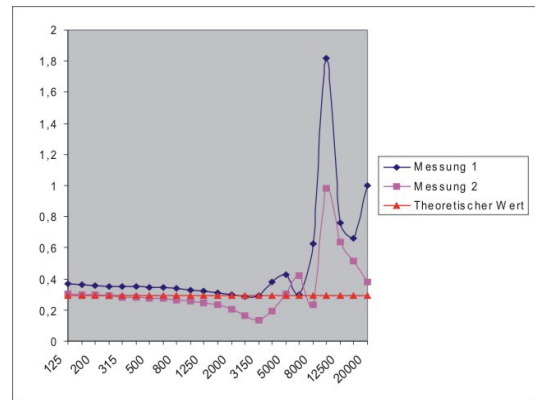


Abbildung 3: Lateral Energy Fraction für gemessene Richtcharakteristika im Quaderraum

Aus Abb. 3 läßt sich neben der mikrophonbedingten Frequenzabhängigkeit des Seitenschallgrads auch der Fehler ablesen, der in dieser Messung gemacht wurde. Für den Frequenzbereich bis zur 4 kHz-Oktave ergibt sich ein absoluter Fehler von $+0,07/-0,12$.

Schlußfolgerungen

Vor der Deduktion von allgemeinen Regeln muß an dieser Stelle geklärt werden, ob die hier betrachteten Schallfelder und das untersuchte Mikrophon repräsentativ sind. Diese Fragen lassen sich positiv beantworten, da die betrachteten Schallfelder, wie reale Schallfelder, durch diskrete Reflexionen bestimmt sind, und der Seitenschallgrad in beiden Fällen in der Größenordnung liegt, die in der Realität, z.B. in Konzertsälen, vorgefunden werden kann. Da das benutzte Mikrophon im professionellen Audiobereich weite Verbreitung gefunden hat, und die gehobene Preiskategorie eine geringe Fehlertoleranz nahelegt, kann die Frage für das Mikrophon ebenfalls positiv beantwortet werden. Die sich daraus ergebende zentrale Frage dieses Beitrags ist daher, ob der festgestellte Fehler akzeptabel ist, indem er kleiner als die Wahrnehmungsschwelle (Ind) für LF ist. Diese Frage läßt sich nicht leicht beantworten, da die Ind für Spatial Impression Lautstärke und absolutwertabhängig ist. T.J. Cox^[6] kommt in seinen Untersuchungen zu dem Schluß, daß die LF-„least noticeable difference“ bei 0,5 liegt. Diese Grenze liegt unterhalb des gemessenen Fehlers, deshalb läßt sich schließen, daß die Richtcharakteristik gängiger Mikrophone einen Einfluß auf den Seitenschallgrad hat, und daß dieser vermutlich signifikant ist.

- ¹ W. Reichardt, W. Schmidt, The audible steps of spatial impression in music performances, *ACUSTICA* **17**, 175-179 (1966)
- ² W. Reichardt, W. Schmidt, The detectability of changes in sound fields parameters for music, *ACUSTICA* **18**, 275-282 (1967)
- ³ M. Barron, A.H. Marshall, Spatial impression due to early lateral reflection in concert halls: The derivation of a physical measure, *J. of Sound and Vibration* **77**, 211-232 (1981)
- ⁴ J.S. Bradley, G.A. Soulodre, Objective measures of listener envelopment, *J. of the Acoustical Society in A.* **98** (5), 2590-2597 (1995)
- ⁵ L.L. Beranek, *Concert and Opera Halls: How they sound*, (Acoustical Society of America, 1996), p. 469 ff.
- ⁶ T.J. Cox, W.J. Davies, The Sensitivity of Listeners to Early Sound Field Changes in Auditoria, *ACOUSTICA* **79**, 27-41 (1993)