

Die Abhängigkeit der raumakustischen Parameter vom Messlautsprecher

Gottfried K. Behler

Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen

Einleitung

Für die Untersuchung der raumakustischen Qualität in Räumen aller Art werden die in ISO 3382 festgehaltenen Parameter verwendet. Diese wiederum basieren auf der Messung der Impulsantwort im untersuchten Raum. Je nach herangezogenem Parameter muss diese entweder in einfacher energetischer Form einkanalig, in seltenen Fällen energetisch gemittelt zweikanalig (Seitenschall) oder in speziellen Fällen auch als detaillierte Druckimpulsantwort (IACC) vorliegen.

Für die Anregung des Raumes soll eine Quelle mit ungerichteter Schallabstrahlung (Kugellautsprecher) verwendet werden. Dies wird im Allgemeinen durch die Verwendung eines Dodekaeders als Lautsprechergehäuse angestrebt. Für hohe Frequenzen kann die Homogenität der Richtcharakteristik allerdings je nach Größe des verwendeten Gehäuses nicht mehr gewährleistet werden. Es ist zu vermuten, dass hierdurch Fehler bei den ermittelten Parametern entstehen. Über die Größe der Fehler und die Empfindlichkeit bei den einzelnen Parametern besteht allerdings noch Unklarheit.

Fehlerempfindlichkeit der Parameter

Die beschriebenen Parameter können in Kategorien aufgeteilt werden, die eine Abschätzung des möglichen Einflusses erlauben. In der folgenden Tabelle wurden die Parameter nach räumlicher, zeitlicher und energetischer Integration gruppiert:

Verarbeitung der Impulsantwort	Vollständige Integration über der Zeit	Bereichsweise Integration über der Zeit	Keine zeitliche Integration
Einkanalig ungerichtet	Nachhallzeit EDT, T20, T30	D50, C80	
Zweikanalig richtungsabhängig		LF, LFC	
Binaural			IACC

Nach rechts unten nimmt der Grad der räumlichen und zeitlichen Integration ab, so dass zu vermuten ist, dass die größte Empfindlichkeit hinsichtlich der Richtcharakteristik beim Parameter IACC besteht. Aber schon innerhalb der Gruppe der Nachhallzeiten muss vermutet werden, dass die EDT wesentlich eher als die T20 oder die T30 auf eine zeitliche Schwankung der Impulsantwort reagiert, da letztere aufgrund der zunehmenden räumlichen Durchmischung des Schallfeldes eher vom Raum als von der Schallquelle abhängen. Bei den zeitabhängig integrierten Parametern ist wiederum die Empfindlichkeit der einkanaligen Maße D50 und C80 als geringer einzuschätzen als die mit Richtmikrofonen zweikanalig ermittelten Seitenschallgrade LF und LFC.

Messtechnische Untersuchung

Zur Klärung sollten messtechnische Untersuchungen durchgeführt werden. Hierbei standen zunächst Quellen im Sinne der ISO mit kugelförmiger Richtcharakteristik im Vordergrund. Zur Verfügung standen dabei ein handelsüblicher Dodekaederlautsprecher für die Bauakustik sowie der im ITA vor zwei

Jahren entwickelte 3-Wege-Lautsprecher mit getrennten Systemen für den Tief-, Mittel- und Hochtonbereich. Durch die Aufteilung in unterschiedliche Bereiche konnten die auch hier eingesetzten Dodekaeder wesentlich kleiner ausgeführt werden (Mitteltondodekaeder \varnothing 25 cm, Hochtondodekaeder \varnothing 10 cm). Weitere Details zur Konstruktion des Systems können [1] entnommen werden.

Durchführung der Messungen

Es wurde eine umfangreiche Messreihe im Studio der PTB in Braunschweig durchgeführt (siehe Bild). Dieser Raum wird in dem zur Zeit von der PTB durchgeführten Ringversuch zur raumakustischen Simulation [2] verwendet und ist einer großen Anzahl von Personen daher vertraut. Die Positionen für Sender und Empfänger entsprach dabei denen im Ringversuch, lediglich eine zusätzliche Senderposition wurde verwendet, da mit insgesamt drei Quellen gleichzeitig gearbeitet wurde. Der hier zusätzlich eingesetzte künstliche Sprecher (im Bild vor dem Fenster) ist für die Bestimmung von STI oder anderen Sprachverständlichkeitsparametern aufgrund seiner Richtcharakteristik besser geeignet, als ein Kugellautsprecher.

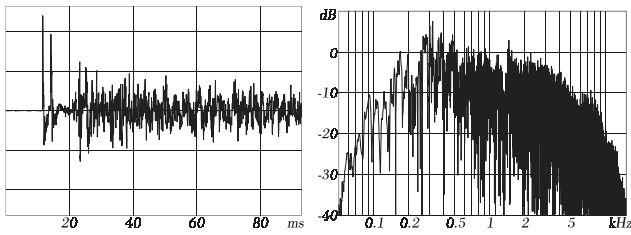


Als Empfänger wurden der Kunstkopf der PTB (links vorn im Bild der im ITA der RWTH Aachen entwickelte Kopf), eine Intensitätsmesssonde (am rechten Bildrand) mit 12 mm Distanzstück der Firma Norsonic sowie ein Studiomikrofon mit Kugel- und Gradienten-Charakteristik Typ USM 69 der Firma Neumann (im Bild mittig hinten) eingesetzt. Das Intensitätsmikrofonpaar sollte neben der Ermittlung der monauralen Impulsantworten auch für die Berechnung der Seitenschallgrade LF und LFC Verwendung finden, da die Gradienten-Richtcharakteristik einer Intensitätssonde eher den Anforderungen für die Messtechnik genügt als die über zwei Nieren aufgebaute Richtcharakteristik des Studiomikrofons.

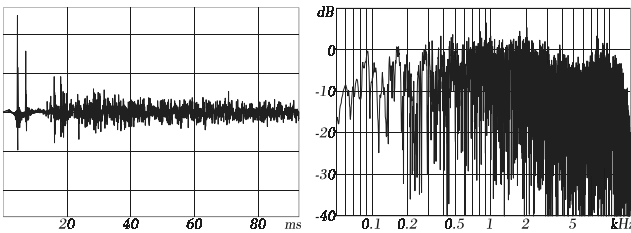
Auswertung der Messungen

Durch die Permutation von drei Senderpositionen und drei Empfängerpositionen ergeben sich 9 Messpaarungen. In jeder Paarung wurde der Bauakustik-Dodekaeder in 6 Stellungen, jeweils um 20° weitergedreht gemessen, danach wurden die Ergebnisse der 6 Einzelmessungen gemittelt und die auf den Absolutwert normierte Streuung derselben aufgetragen. Hierdurch ergeben sich Kurvenscharen in % Abweichung. Für den ITA-Messlautsprecher wurden identische Messungen jedoch aus Zeitgründen nur an einer Position durchgeführt.

Die Auswertung erfolgte für beide Messsysteme mit identischen Algorithmen, so dass Abweichungen durch den Algorithmus ausgeschlossen werden können. Die Impulsantwort und das dazugehörige Spektrum für den Bauakustik-Dodekaeder sind in folgender Abbildung zu sehen.

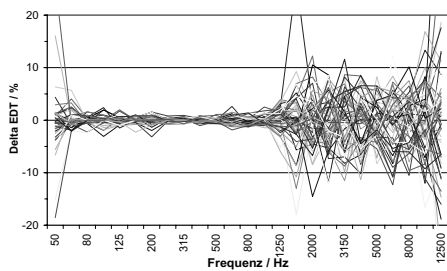


Für den ITA-Messlautsprecher folgen Impulsantwort und Spektrum für die gleiche Paarung in der folgenden Abbildung. Hierbei wurde der ausgedehnte Frequenzgang und die linearphasige Impulsantwort durch komplexe Überlagerung der entfalteten Einzelimpulsantworten erzielt.

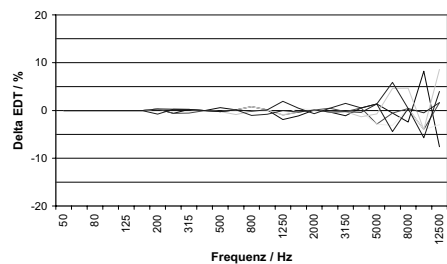


Diese Impulsantwort bietet gegenüber der darüber dargestellten stark mittenbetonten Impulsantwort des Bauakustik-Lautsprechers die direkte Möglichkeit zur Auralisierung. Hierbei wird ein nachhallfrei aufgezeichnetes Musik- oder Sprachsignal mit der Impulsantwort gefaltet und kann dann über Lautsprecher oder im Falle einer binaural ermittelten Impulsantwort über Kopfhörer abgehört werden.

Die Untersuchungen der Parameterauswertung sind nun in den folgenden Abbildungen dargestellt. Das erste Bild zeigt die relative Abweichung der für unterschiedliche Drehwinkel mit dem Bauakustik-Lautsprecher ermittelte Nachhallzeit EDT:

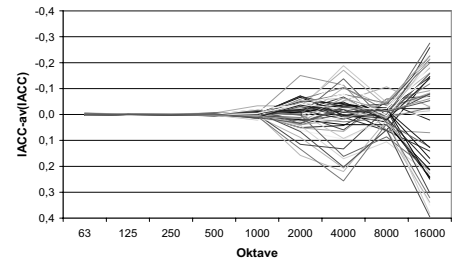


Deutlich erkennbar ist eine starke Zunahme der Schwankungsbreite unterhalb 80 Hz und oberhalb 1 kHz. Diese Tendenz zeigt sich in allen anderen Messungen. Im Vergleich dazu ist im nächsten Bild die relative Streuung der EDT mit dem ITA-Lautsprecher dargestellt. Die deutlich geringeren Abweichungen vom Mittelwert sind eine direkte Folge der homogeneren, kugelförmigen Abstrahlcharakteristik. Bei tiefen Frequenzen ist hier keine Aussage möglich, da für alle 7 Drehstellungen nur der Dodekaeder bewegt wurde, die Position des Tieftöners blieb unverändert. Das Ergebnis stammt von nur einer Sender-Empfänger-Paarung.

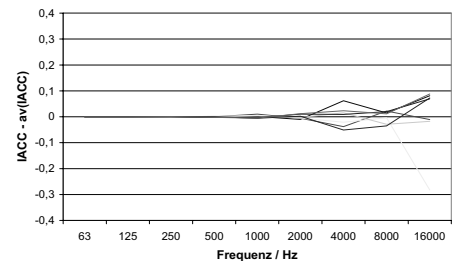


Betrachtet man den IACC, stellt man wieder eine Zunahme der Schwankungsbreite oberhalb von 1 kHz für den Bauakustik-Lautsprecher fest:

Auch hier wirkt sich die homogene Abstrahlung des ITA-Lautsprechers unmittelbar auf die Schwankungen der Parameter aus:

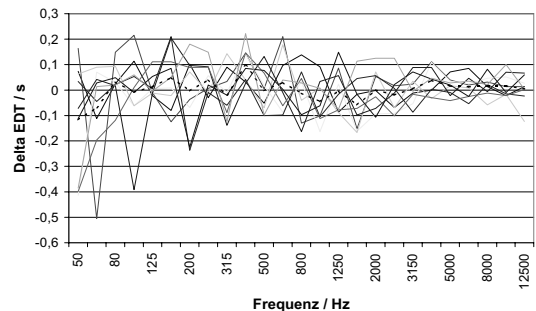


Neben den hier diskutierten Parametern wurden alle in der Tabelle gelisteten Parameter ausgewertet. Hierbei konnte generell festgestellt werden, dass eine nicht kugelförmige Richtcharakteristik zu Schwankungen bei den Parametern führt, die oberhalb der Wahrnehmungsschwellen liegen.



Absolute Abweichungen zwischen den Messsystemen

Vergleicht man die mit beiden Lautsprechern erzielten Messergebnisse für eine Senderposition untereinander, ergeben sich neue Fragen. Als Erwartungswert sollte die Übereinstimmung beim tiefen Frequenzen groß und bei hohen Frequenzen zunehmend geringer sein. Dies trifft jedoch nicht zu, wie z.B. für die Ergebnisse der EDT im nächsten Bild zu erkennen ist:



Leider können im Augenblick keine stichhaltigen Begründungen für diese Ergebnisse angeboten werden. Die naheliegende Vermutung, dass die Zeitstruktur und der Frequenzgang der Quelle diesen Einfluss ausüben muss untersucht werden. Ob sich dies bei terzgefilterter Auswertung bemerkbar machen kann, ist allerdings fragwürdig.

Zusammenfassung

Die vorgestellten ersten Untersuchungen der Abhängigkeit von raumakustischen Parametern vom Messlautsprecher zeigen, dass eine beträchtliche Abhängigkeit der Parameter von der Richtcharakteristik der Quelle besteht. Dies trifft sogar für die einkanalen Parameter wie z.B. EDT, D50 etc. zu. Abweichungen zwischen den verwendeten Messsystemen werfen allerdings neue Fragen auf, die in kommenden Untersuchungen geklärt werden sollen.

¹ Behler, G. K. Ein neuer Messlautsprecher für die Raumakustik, Fortschritte der Akustik – DAGA 2000

² Bork, I. Raumsimulation zwischen Theorie und Praxis, Fortschritte der Akustik – DAGA 2001