

## Der Einfluss der Quellenrichtcharakteristik auf raumakustische Parameter

Ingo Witew<sup>1</sup>, Ricardo San Martin Murugarren<sup>2</sup>, Gottfried Behler<sup>1</sup>, Michael Vorländer<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Technische Akustik, 52066 Aachen, Deutschland, Email: Ingo.Witew@akustik.rwth-aachen.de

<sup>2</sup> Universidad Publica de Navarra, 31006 Pamplona, Spanien, Email: Ricardo.Sanmartin@unavarra.es

### Einleitung

Um die Akustik in Räumen quantitativ zu beschreiben werden raumakustische Messungen in der Regel entsprechend den Anforderungen der ISO-3382 Norm durchgeführt. Neben Spezifikationen zu den Messbedingungen, Messverfahren und einer Anleitung zur fachgerechten Auswertung der Daten enthält die Norm im Anhang auch eine Definition zahlreicher raumakustischer Einzahlkennwerte. Während Messgrößen wie das Klarheitsmaß ( $C_{80}$ ), die Deutlichkeit ( $D_{50}$ ), Early Decay Time (EDT) oder die Nachhallzeit ( $T_{30}$ ) aus einer einkanaligen Impulsantwort gewonnen werden können, bedarf es für die Messung des Seitenschallgrades (LF) oder des interauralen Kreuzkorrelationskoeffizienten (IACC) einer zweikanaligen Impulsantwort, die mit speziellen Mikrofonen (Achtcharakteristik, Kunstkopf) aufgezeichnet wurde.

Weiterhin enthält die Norm Anforderungen, die Messlautsprecher erfüllen müssen, um im Sinne der Norm als kugelförmig abstrahlende Quelle zu gelten. Diese Anforderungen sind sinngemäß aus der 140'er Normenreihe (ISO) für Bauakustische Messungen abgeleitet. In beiden Normen sind die, über „gleitende“ 30°-Bogenbereiche gemittelten, größten zulässigen Abweichungen von kugelförmiger Abstrahlung angegeben. Obwohl die Größtabweichungen der 3382-Norm kleiner sind als die in der 140-Normenreihe, muss festgestellt werden, dass das beschriebene Messverfahren Möglichkeiten zulässt, besonders kritische, bzw. unkritische Bogenbereiche für die Bestimmung der Abweichungen zu wählen. In der Praxis zeigt sich, dass alle gängigen Lautsprecher mit Dodekaeder-Gehäuse den Anforderungen der Norm genügen.

In Abhängigkeit der Größe des verwendeten Gehäuses lässt sich eine gleichmäßig kugelförmige Abstrahlcharakteristik der Messlautsprecher jedoch nicht sicherstellen. Obwohl es bekannt ist, dass die Richtcharakteristik der Schallquelle einen Einfluss auf das Ergebnis der raumakustischen Einzahlkenngrößen hat, sind einige Punkte weiter ungeklärt. So stellt sich z. B. die Frage in welchen Frequenzbereichen der Fehler als vernachlässigbar angesehen werden kann und in wie weit die unterschiedlichen Parameter von den Abweichungen betroffen sind.

Zur Klärung wurden Messungen mit verschiedenen Messlautsprechern in einem großen Hörsaal der RWTH Aachen durchgeführt.

### Messungen

Die Aula der RWTH Aachen ist ein rechteckiger Hörsaal mit den Dimensionen 22 m x 28 m x 10 m (BxLxH) und einem

Volumen von etwa 5500 m<sup>3</sup>. In dem Raum finden ca. 650 Zuhörer, die sich auf das Parkett (ca. 500 Plätze) und den umlaufenden Balkon (ca. 150 Plätze) verteilen, Platz. Die Nutzung des Raumes umfasst neben Vorlesungen auch Kinoveranstaltungen und Konzerte der Aachener Studentenorchester.



**Abbildung 1:** Aula der RWTH Aachen – Auf dem Drehteller ist der ITA-Messlautsprecher in seiner Auralisations-Konfiguration (A) positioniert.



**Abbildung 2:** Messlautsprecher im Test: ITA, Norsonic (neueres Modell), Norsonic (älteres Modell), B&K

Für diese Untersuchung wurden 6 Mikrofonpositionen gewählt, von denen sich 5 auf dem Parkett und eine auf dem hinteren Balkon befanden. Wie in Abbildung 1 zu erkennen wurden nacheinander die 5 Messlautsprecher auf einem Drehteller auf der Position platziert, die üblicherweise von Vortragenden eingenommen wird. Für jeden der in Abbildung 2 dargestellten 4 Lautsprecher und für jede der 6 Mikrofonpositionen wurden 36 Messungen durchgeführt, nach denen sich der Drehteller jeweils um 10° gedreht hat. Der ITA-Messlautsprecher wurde in 3 Durchgängen

gemessen um einen Vergleich zwischen der Auralisations-Konfiguration (A) (Alle 3 Wege simultan [1]) und der Mess-Konfiguration (S) (Tiefen- und Mitten-Lautsprecher, bzw. Tiefen- und Hochtönen-Lautsprecher simultan [1]) zu ermöglichen. Die Auswertung der so gewonnenen Impulsantworten erfolgt mit identischen Algorithmen um etwaige Einflüsse durch das Berechnungsverfahren zu vermeiden.

### Ergebnisse

Die Analyse der Daten erfolgt in zwei Stufen. Zunächst soll ein Vergleich zwischen den verschiedenen Lautsprechern vorgenommen werden. Zu diesem Zweck wurde aus den Einzählkennwerten, die aus den 36 Einzelmessungen gewonnen wurden, der arithmetische Mittelwert gebildet. Der so berechnete Parameter stellt das Ergebnis dar, wie es mit den unterschiedlichen Lautsprechern gemessen wurde. Um nun festzustellen wie stark sich die Ergebnisse der einzelnen Lautsprecher voneinander unterscheiden wird der Absolute Fehler berechnet. Referenzwert ist hier der Mittelwert der Ergebnisse, die mit den einzelnen Lautsprechern gewonnen wurden.

In der zweiten Stufe soll untersucht werden in wie weit das Messergebnis durch die Richtcharakteristik der Lautsprecher beeinflusst wird. Zu diesem Zweck werden die Ergebnisse der 36 Einzelmessungen miteinander verglichen indem die Standardabweichung  $\sigma$  der Einzelmessungen vom arithmetischen Mittelwert bestimmt wird. Die Standardabweichung  $\sigma$  gibt – in der Annahme, dass die Abweichung normal verteilt ist – an welche Differenz von 68% der Einzelmessungen nicht überschritten wird. Diese Analyse wurde für  $C_{80}$ ,  $D_{50}$ , LF, EDT und  $T_{30}$  durchgeführt.

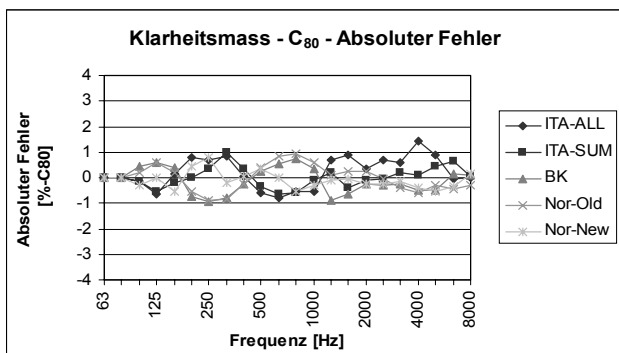


Abbildung 3: Vergleich der verschiedenen Lautsprecher für eine ausgewählte Mikrofonposition

Parameter	P1	P2	P3	P4	P5	P6
$\sigma C_{80}$ [dB]	0,56	0,56	0,51	0,67	1,02	0,44
$\sigma D_{50}$ [%]	3,39	3,79	3,95	2,43	5,75	2,68
$\sigma EDT$ [s]	0,07	0,07	0,08	0,09	0,10	0,07
$\sigma T_{30}$ [s]	0,04	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04
$\sigma LF$ [%]	4,16	2,09	3,48	3,22	2,51	2,78

Tabelle 1: Standardabweichung  $\sigma$  des absoluten Fehlers für die einzelnen Einzählkennwerte an den Positionen P1 – P6

In Abbildung 3 ist das Ergebnis des ersten Analyseschritts für einen repräsentativen Messort dargestellt. Die Verläufe der anderen Messpositionen unterscheiden sich nur im Detail von dem hier gezeigten Verlauf. Tabelle 1 zeigt das Ergebnis

dieser Abbildung für alle betrachteten Parameter in komprimierter Form. Auch hier gilt, dass die Standardabweichung  $\sigma$  den absoluten Fehler angibt, der von 68% der Messungen nicht überschritten wird.

Um nun den Einfluss der Richtcharakteristik zu untersuchen wurden die Ergebnisse des zweiten Analyseschritts in Tabelle 2 dargestellt. Da sich die Messergebnisse für Frequenzen unterhalb und oberhalb von 1 kHz systematisch voneinander unterscheiden wurde die Standardabweichung  $\sigma$  für diese Bereiche getrennt berechnet. In der ITA-A-Spalte werden die Ergebnisse für den am Institut für Technische Akustik entwickelten Lautsprecher in der Auralisations-Konfiguration angegeben. ITA-S steht für das summierte Messergebnis des ITA-Lautsprechers in den Mess-Konfigurationen. Die Ergebnisse für die anderen Lautsprecher sind anonymisiert angegeben.

Parameter	ITA-A	ITA-S	LS-I	LS-II	LS-III	Frequenz
$\sigma C_{80}$ [dB]	0,08	0,10	0,19	0,17	0,19	<1kHz
	0,38	0,27	0,99	0,87	0,93	>1kHz
$\sigma D_{50}$ [%]	0,46	0,61	1,01	1,01	1,09	<1kHz
	2,58	1,82	6,62	6,01	6,24	>1kHz
$\sigma EDT$ [s]	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	<1kHz
	0,03	0,03	0,06	0,06	0,06	>1kHz
$\sigma T_{30}$ [s]	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	<1kHz
	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	>1kHz
$\sigma LF$ [%]	0,52	0,50	1,11	1,02	1,13	<1kHz
	2,45	1,94	5,47	4,97	5,24	>1kHz

Tabelle 2: Standardabweichungen  $\sigma$  für die einzelnen Einzählkennwerte und Lautsprecher

### Schlussfolgerungen

Aus den Ergebnissen geht hervor, dass zwischen mehreren Einflüssen unterschieden werden muss. Zum einen hat die Richtcharakteristik der Quelle – besonders bei hohen Frequenzen – einen signifikanten Einfluss auf das Messergebnis. Alle betrachteten Quellen weisen unterhalb von 1 kHz jedoch nur eine geringe Richtwirkung auf. Da sich die Frequenzmittelung für die Angabe eines Einzählkennwertes sich auf Oktaven von 125 – 1 kHz beschränkt, sind alle untersuchten Lautsprecher für raumakustische Messungen geeignet. Oberhalb von 1 kHz ist allerdings damit zu rechnen, dass das Messergebnis zum Teil stark verfälscht wird. Zum Zweck der Auralisation, die immer mehr an Bedeutung gewinnt, sollte daher eine geeignete Quelle benutzt werden, die über weite Frequenzbereiche eine kugelförmige Abstrahlung aufweist.

Zum anderen muss man aber auch feststellen, dass das Messergebnis offenbar auch von weiteren Größen beeinflusst wird, in denen sich die Lautsprecher unterscheiden. Die Abweichungen zwischen den verschiedenen Lautsprechern liegen zum Teil sehr nah an der Schwelle zur Wahrnehmbarkeit. Die Ursachen dafür sollten deshalb in zukünftigen Studien untersucht werden.

### Literatur

[1] G. Behler, „Ein neuer Messlautsprecher für die Raumakustik“, *Fortschritte der Akustik – DAGA 2000*, Oldenburg, pp. 580-581 (2000).