

Vergleich ausgewählter objektiver raumakustischer Parameter hinsichtlich ihrer Korrelation mit dem subjektiven Kriterium „Scheinbare Breite der Quelle“ bei Musikdarbietungen

A. Then, M. Blau, TU Dresden, Institut f. Akustik u. Sprachkommunikation

1 Einführung

Hauptaufgabe aller wissenschaftlichen Untersuchungen auf dem Gebiet der Raumakustik ist es, die Hörsamkeit in verschiedenen Räumlichkeiten, entsprechend der Art der Nutzung, für Hörer und Darbietende optimal zu gestalten. Dazu ist es notwendig, über objektive Parameter, d.h. meßtechnisch erfassbare Größen, zu verfügen, die geeignet sind, durch hohe Korrelation mit subjektiv bedeutsamen Kriterien die Hörsamkeit gut zu beschreiben. Zur Zeit existieren bereits eine Vielzahl solcher objektiver Parameter, die sich in der Praxis gut bewährt haben. Bei einigen subjektiven Kriterien besteht dagegen noch Forschungsbedarf, etwa beim subjektiven Raumeindruck, dem erst kürzlich eine ganze Ausgabe der Fachzeitschrift „Applied Acoustics“ (Nr.62, 2001) gewidmet war.

Während in frühen Arbeiten Raumeindruck hauptsächlich mit Halligkeit in Verbindung gebracht wurde [1], herrscht heute weitgehend Übereinstimmung darüber, daß Raumeindruck mehrere Komponenten aufweist, von denen die scheinbare Aufweitung der Schallquelle (engl.: apparent source width, ASW) eine wichtige ist [2]. Von den objektiven Parametern, die mit diesem Eindruck korrelieren, haben sich neben dem Lautstärkemaß bei tiefen Frequenzen insbesondere der frühe Anteil des Seitenschallgrades und der des interauralen Kreuzkorrelationskoeffizienten etabliert [3]. Weitgehend unbekannt ist dagegen das vor nunmehr 15 Jahren an der TU Dresden von TRAUTMANN entwickelte Räumlichkeitsmaß [4], dessen früher Anteil ebenfalls zur Vorhersage von ASW geeignet scheint.

Um zu klären, inwieweit die im Vergleich zu den etablierten Parametern etwas aufwendigere Konstruktion des TRAUTMANNschen Maßes sich bei der Vorhersage subjektiver Urteile niederschlägt, wurden Hörversuche in einem synthetischen Schallfeld durchgeführt [5], deren Ergebnisse hier vorgestellt werden sollen.

2 Objektive Parameter

In vielen Arbeiten wurde festgestellt, daß eine scheinbare Aufweitung der Schallquelle hauptsächlich durch frühe seitliche, vorwiegend tieffrequente Reflexionen verursacht wird.

Eine logische Konsequenz dieses Sachverhaltes ist die Benutzung des Seitenschallgrades LF_{E_4} (E_4 bedeutet „early“ und Mittelung über die vier Oktavbänder von 125 Hz bis 1 kHz), bei dem die mit einem Mikrofon mit seitlich ausgerichteter Doppelkugel-Richtcharakteristik aufgenommenen Energieanteile der Schalldruckimpulsantwort zu denen ins Verhältnis gesetzt werden, die mit einem Mikrofon mit Kugel-Richtcharakteristik an derselben Stelle aufgenommen wurden.

Beim $IACC_{E_3}$ (E_3 bedeutet „early“ und Mittelung über die drei Oktavbänder von 500 Hz bis 2 kHz) wird dagegen der bezüglich der maßgeblichen Verarbeitungszeit im Gehör dekorrelierende Effekt von Reflexionen benutzt. Ausgewertet wird dabei die Korrelation von linkem und rechten Anteil der mit einem Kunstkopf aufgenommenen binauralen Impulsantwort.

Auch das Räumlichkeitsmaß nach TRAUTMANN basiert auf der mit einem Kunstkopf aufgenommenen binauralen Raumimpuls-

antwort, ähnelt in seiner Struktur jedoch eher dem Seitenschallgrad,

$$RL_E = 10 \lg \frac{\sum_{i=1}^n |t_i - t_m| q_i E_i / t_0}{E_D + \sum_{i=1}^n (1 - |t_i - t_m| q_i / t_0) E_i} \text{ dB.} \quad (1)$$

Prinzipiell wird eine bewertete Summation von Teilenergien 2 ms langer Zeitfenster der Impulsantwort, E_i , vorgenommen. Die Bewertung ergibt sich aus den Korrelationsverzögerungen τ_i , bei denen das jeweilige (pegeldifferenzbewertete) Maximum der Kreuzkorrelation von linkem und rechtem Zeitfenster auftrat, und dem Faktor q_i , der die Verzögerungszeit des jeweiligen Zeitfensters gegenüber dem Direktschall berücksichtigt. τ_0 ist die maximale Korrelationsverzögerung (1 ms), τ_m das Mittel der τ_i , E_D die Energie des Direktschalls. Ähnlich wie beim Seitenschallgrad werden also die Energieanteile seitlicher Reflexionen zu denen nichtseitlicher Reflexionen ins Verhältnis gesetzt. Im Unterschied zum Seitenschallgrad erfolgt jedoch über die Korrelationsverzögerungen eine sinusförmige (statt einer \sin^2 -förmigen) Bewertung der Einfallrichtung, es werden breitbandige statt tiefpaßbegrenzte Teilenergien summiert und die Verzögerungszeit der einzelnen Reflexionen gegenüber dem Direktschall wird bewertet. All diese Zusätze haben in Hörexperimenten mit einfachen Schallfeldern zu befriedigenderen Ergebnissen geführt [4].

3 Hörversuche

Die Hörversuche wurden in einem schallreflexionsarmen Raum durchgeführt. Virtuelle Schallfelder wurden mit kreisförmig um die Versuchsperson im Radius von 3 m angeordneten Lautsprechern erzeugt. Als Testmotiv wurden die Takte 560/561 aus dem 1. Satz von Bruckners Symphonie No. 4 in Es-Dur der CD „Anechoic Orchestral Recordings“ (DENON) verwendet, die jeweils 4mal wiederholt wurden. Die Versuchspersonen waren geschulte Hörer (Toningenieure, Musiker, Akustiker), die Versuche wurden in abgedunkelter Umgebung durchgeführt.

In einem ersten Teilversuch wurden mit sehr einfachen Schallfeldern (Direktschall + 2 zur Medianebene symmetrische Reflexionen) versucht, aus der Vielzahl potentieller Einflußfaktoren die wichtigsten zu erkennen. Die Versuchspersonen gaben dabei die wahrgenommenen ASW mit einer Leuchtdiodenanzeige direkt an. Im Ergebnis haben sich insbesondere der Einfallswinkel und die Verzögerungszeit der seitlichen Reflexionen als wichtige Einflußfaktoren herausgestellt. Die Korrelation mit den objektiven Parametern war für LF_{E_4} und $IACC_{E_3}$ unbefriedigend, für RL_E dagegen gut (siehe Abb. 1 - 3).

Im zweiten Teilversuch sollten diese Ergebnisse auf komplexere Schallfelder mit 4-8 Reflexionen angewendet werden. Bei Voruntersuchungen stellte sich jedoch heraus, daß es für die Versuchspersonen sehr schwierig ist, in solchen Situationen ASW absolut zu skalieren. Zudem gibt es offenbar interindividuell stark unterschiedliche Auffassungen von ASW.

Dagegen scheint die intraindividuelle Auffassung von ASW konstant zu bleiben, so daß sich die Verwendung einer indirekten Skalierung über Paarvergleiche anbot. Dabei wurde auf die

sogenannte Verhältnis-Schätzmethode (siehe z.B. [6]) zurückgegriffen, die eine Erweiterung des Paarvergleichs dahingehend beinhaltet, daß die Versuchsperson, nachdem sie sich für eines der beiden dargebotenen Schallfelder als das mit der größeren Quellbreite entschieden hat, den Grad des Unterschiedes U auf einer fünfstufigen Skala angibt. Im Ergebnis entsteht eine relative Skala der subjektiv wahrgenommenen ASW für die einzelnen Testschallfelder.

Stellt man diese subjektive ASW-Skala den jeweiligen objektiven Parametern gegenüber (Abb. 4 - 6), so kann die beste Korrelation für RL_E festgestellt werden. LF_{E4} liefert eine brauchbare Korrelation, $IACC_{E3}$ dagegen die schlechteste, hauptsächlich bedingt durch einen Ausreißer. $IACC_{E3}$ scheint daher für Untersuchungen in Anordnungen mit diskreten Reflexionen (synthetische Schallfelder, Raumakustik-Simulationsprogramme ohne diffuse Reflexionen) nicht geeignet zu sein.

4 Zusammenfassung und Ausblick

In Hörversuchen in einem synthetischen Schallfeld wurde die Korrelation verschiedener objektiver Parameter mit dem subjektiven Eindruck der „scheinbaren Quellbreite“ untersucht. Bei einfachen Schallfeldern konnte eine gute Korrelation nur mit dem TRAUTMANNschen Maß RL_E gefunden werden. Bei komplexeren Schallfeldern scheint zusätzlich der Seitenschallgrad LF_{E4} brauchbare Vorhersagen von ASW zu liefern.

Daraus kann man den Schluß ziehen, daß generell die Benutzung von RL_E und LF_{E4} zu empfehlen ist, ersteres insbesondere dann, wenn einzelne Reflexionen dominant sind.

Es muß jedoch betont werden, daß die hier vorgestellten Ergebnisse im synthetischen Schallfeld mit diskreten Reflexionen erzielt wurden. In realen Räumen ist zu vermuten, daß durch das Vorhandensein diffuser Reflexionen $IACC_{E3}$ bessere und RL_E schlechtere Vorhersagen für ASW liefern werden. Diese Vermutung sollte in weiteren Arbeiten überprüft werden.

Literatur

- [1] W. Reichardt und W. Schmidt. Die hörbaren Stufen des Raumeindrucks bei Musik. *Acustica*, 17:175-178, 1966.
- [2] A. H. Marshall und M. Barron. Spatial responsiveness in concert halls and the origins of spacial impression. *Applied Acustics*, 62:91-108, 2001
- [3] T. Okano, L. L. Beranek, und T. Hidaka. Relations among interaural cross-correlation coefficient ($IACC_E$), lateral fraction (LF_E), and apparent source width (ASW) in concert halls. *JASA*, 104:255-265, 1998.
- [4] U. Trautmann. Die meßtechnische Erfassung der Räumlichkeit in Sälen für musikalische Darbietungen. Dissertation, Technische Universität Dresden, 1986.
- [5] A. Then. Vergleich ausgewählter objektiver raumakustischer Parameter hinsichtlich ihrer Korrelation mit dem subjektiven Eindruck „Scheinbare Breite der Quelle“ bei Musikdarbietungen. Diplomarbeit, Technische Universität Dresden, 2000.
- [6] R. Höhne und G. Schroth. Zur Wahrnehmbarkeit von Deutlichkeits- und Durchsichtigkeitsunterschieden in Zuhörersälen. *Acustica*, 81: 309-319, 1995.

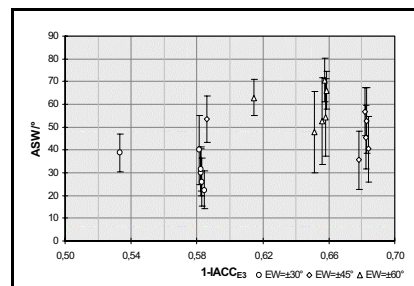


Abb. 1 TV I, ASW in Abhängigkeit von $1-IACC_{E3}$

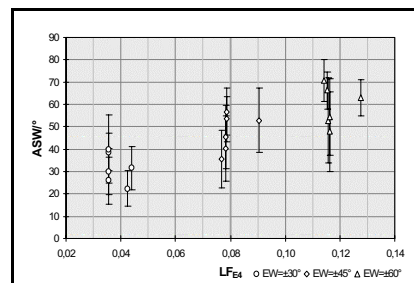


Abb. 2 TV I, ASW in Abhängigkeit von LF_{E4}

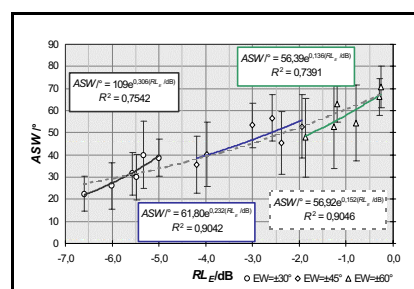


Abb. 3 TV I, ASW in Abhängigkeit von RL_E

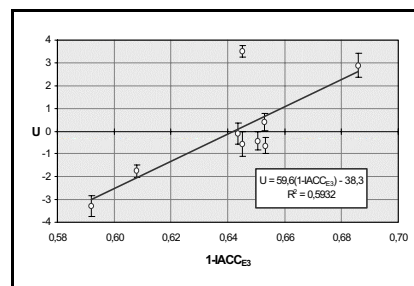


Abb. 4 TV II, U in Abhängigkeit von $1-IACC_{E3}$

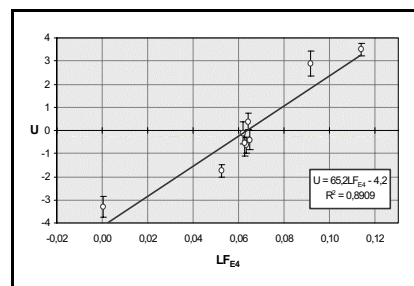


Abb. 5 TV II, U in Abhängigkeit von LF_{E4}

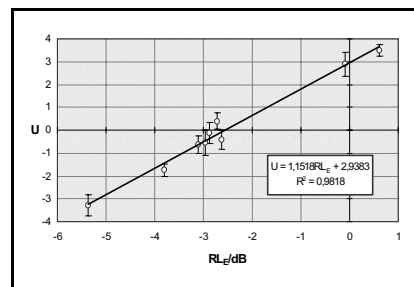


Abb. 6 TV II, U in Abhängigkeit von RL_E