

Der auditive Raumeindruck in zwei Konzertsälen stark unterschiedlicher Größe

Juha Merimaa^{1,2}, Wolfgang Hess^{1,3} und Jens Blauert¹

¹ Institut für Kommunikationsakustik, Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum, Deutschland

² Helsinki University of Technology, Lab. of Acoustics and Audio Signal Processing, P.O.Box 3000, 02015 TKK, Finland

³ Harman/Becker Automotive Systems, Becker-Göring-Str. 16, 76307 Karlsbad, Deutschland

Einleitung

Der auditive Raumeindruck ist eine wichtige Beschreibungsgröße der Akustik einer Aufführungsstätte. Von [1] wurde gezeigt, daß es sich dabei um eine mehrdimensionale perzeptive Eigenschaft handelt. Gängig ist eine Unterteilung in akustische Eigenschaften, die der Schallquelle zugeordnet werden, d.h. die horizontale Ausdehnung des Hörereignisses (*auditory source width*, ASW) und in die des Raumes, d.h. die Einhüllung durch Hörereignisse (*listener envelopment*, LEV), siehe [2, 3]. Etabliert für die Bewertung von ASW und LEV haben sich *interaural cross-correlation* (IACC) und *lateral energy fraction* (LF). Diese werden aus den Raumimpulsantworten berechnet, welche mit einem Kunstkopf oder einem omnidirektionalen Mikrofon und einem Mikrofon mit der Richtcharakteristik einer Acht (*figure-of-eight*) erfasst werden, wie in [4] vorgeschlagen.

Nicht vollständig geklärt ist, wie die Größe eines Konzertsales den auditiven Raumeindruck beeinflusst. Zwar werden ASW und LEV als absolute Bewertungsgrößen dafür angesehen, dennoch ist bekannt, daß das Anregungssignal einen wesentlichen Einfluss auf die räumliche Wahrnehmung hat. In dieser Untersuchung wurden durch Hörversuche drei verschiedene Stimuli in zwei Konzertsälen stark unterschiedlicher Größe miteinander verglichen. Die hier präsentierten Ergebnisse stellen einen Auszug aus früher veröffentlichten Daten dar, siehe [5].

Methode und Anregungssignale

Die Stimuli wurden von den Versuchspersonen durch die Justierung von in vertikaler Richtung zu bewegendem Schiebern (*slider*) in einer graphischen Benutzeroberfläche beurteilt. Im jeweils ersten Durchgang wurde ASW beurteilt, im darauffolgenden LEV, beide mit ähnlichen Oberflächen. Beim Start eines jeden Durchgangs wurde die Verteilung der Stimuli auf die *slider* verändert, und diese auf die Ausgangsposition zurückgesetzt. Die Versuchspersonen konnten die Stimuli durch Drücken auf Bedientaster (*buttons*), die unter den *slidern* angeordnet waren, in beliebiger Reihenfolge anhören, sooft sie wollten. Die an den *slidern* angezeigten Skalenwerte hatten einen Bereich von 0 bis 6, wobei 0 eine Punktquelle oder keine Einhüllung bezeichnete.

Stimuli waren drei im reflexionsarmen Raum aufgenommene Signale, die mit den binauralen Raumimpulsantworten (BRIRs) der Säle gefaltet wurden: (i) Ein einzelner Cello-Ton von einer Sekunde Dauer, (ii) rosa Rau-

Großer Konzertsaal

Audimax, Ruhr-Universität Bochum

Fächerförmige Mehrzweckhalle mit 1872 Plätzen. Der Lautsprecher wurde auf der Bühne plaziert, davon in etwa 9 m Entfernung saß die Meßpuppe in der Mitte des Auditoriums.

	Frequenz / Hz					
	125	250	500	1k	2k	4k
T_{30}	2.4	2.5	2.7	2.6	2.1	1.7
$IACC_E$	0.99	0.98	0.98	0.99	0.97	0.96
$IACC_L$	1.00	0.96	0.72	0.56	0.28	0.29

Kleiner Konzertsaal

Folkwang-Hochschule für Musik, Duisburg

T-förmiger Konzertsaal für Kammermusik mit Sitzreihen vor und auf beiden Seiten der Bühne. Etwa 150 nicht festinstallierte Sitze. Der Lautsprecher wurde auf der Bühne plaziert, davon in etwa 8 m Entfernung saß die Meßpuppe in der Mitte vor der Bühne.

	Frequenz / Hz					
	125	250	500	1k	2k	4k
T_{30}	1.8	1.7	1.5	1.6	1.4	1.3
$IACC_E$	0.96	0.86	0.56	0.40	0.34	0.45
$IACC_L$	0.92	0.71	0.16	0.11	0.07	0.10

Tabelle 1: Beschreibung der akustischen Kenngrößen der Konzertsäle und der Meßpositionen. T_{30} und IACC wurden aus Oktavbändern berechnet, wie in [4] spezifiziert. Die Schätzung der Nachhallzeiten wurde über die binauralen Impulsantworten berechnet. In die $IACC_E$ -Berechnung gingen die ersten 80 ms nach Eintreffen des Direktschalls ein, in $IACC_L$ der Bereich 80 ms bis 1 s.

schen mit jeweils 10 ms Ein- und Ausblendung über eine \cos^2 -Funktion, ebenfalls von 1 s Dauer, und (iii) ein einzelner Schlag auf einer Schnarrtrommel (*snare*). Die Meßpositionen in den beiden Konzertsälen, die berechneten Nachhallzeiten (T_{30}) und die IACC sind in Tabelle 1 dargestellt. Als Quelle diente ein Lautsprecher L-Acoustics MTD108a. Der Kunstkopf hat natürliche, abgegossene Außenohren, und ist diffusfeld-entzerrt, basierend auf einem Neumann KU-80, siehe [6]. Dieser Kopf wurde für eine realitätsnahe Messung auf einer Schaufensterpuppe befestigt und auf die Bühne ausgerichtet. Die Freifeld-Übertragungsfunktion des Lautsprechers wurde in einem Frequenzbereich von 70 Hz bis 20 kHz entzerrt.

Fünfzehn Versuchspersonen (VP) im Alter zwischen 16 und 27 Jahren, davon sieben männlich und acht weiblich,

nahmen an jeweils fünf Durchgängen der Hörversuche teil. Die Versuche wurden vergütet. Das Hörvermögen der Versuchspersonen lag in den überprüften Oktavbändern von 125 Hz bis 8 kHz innerhalb 20 dB(A). Zum Erlernen der Unterscheidung zwischen ASW und LEV wurden die VP vor dem ersten Versuch und zwischen den nachfolgenden Versuchen trainiert. Es zeigte sich jedoch, daß das Training keinen signifikanten Einfluß auf die Ergebnisse hatte [5]. Darum wurden alle Versuchsdurchgänge in die Auswertung mit einbezogen.

Die Experimente wurden in einer Hörkabine durchgeführt. Alle Stimuli wurden über Stax Lamda Pro Kopfhörer wiedergegeben, die durch einen Stax SRM Monitor diffusfeld-entzerrt wurden. Die subjektive Lautheit der Stimuli wurde in einem vorausgehenden Experiment so festgelegt, daß sie mit diotisch präsentierem weißen Rauschen mit einem SPL von 72 dB übereinstimmte.

Ergebnisse

Die Auswertung ergab, daß einige Versuchspersonen keine eindeutigen Anhaltspunkte für die Bewertung von ASW und LEV gefunden hatten. Beispielsweise wurden in den erweiterten Daten [5] teilweise die „trockenen“ Stimuli als am meisten einhüllend bewertet. Aus diesem Grund wurden die Ergebnisse von drei VP in der Auswertung von ASW, und die Ergebnisse von zwei VP in der Auswertung von LEV nicht berücksichtigt. Dieser Ausschluß führte in der Analyse einzig und allein zu einer Reduzierung der Fehlervarianz. Die Resultate wurden in einer Intervallskala betrachtet. Um die individuellen Skalen auf eine gemeinsame abzubilden, wurden die Mittelwerte und Standardabweichungen auf diejenigen Mittelwerte und Standardabweichungen skaliert, die über alle Versuche berechnet wurden, wie von der ITU [7] empfohlen.

Aus den gemittelten Resultaten, die in Abbildung 1 dargestellt sind, geht deutlich hervor, daß die auditive Räumlichkeit in beiden Sälen als etwa gleich wahrgenommen wurde. Würde nur die IACC als Bewertungsgröße herangezogen, so würde der kleine Saal als räumlicher wahrgenommen als der große.

ASW und LEV hingen, obwohl generell als stark übereinstimmend bewertet, in einer der Größe der Konzertsäle entsprechenden Art mit den Anregungssignalen zusammen. Die beiden *snare*-Signale wurden als am wenigsten räumlich bewertet. Auffallend ist, daß ASW der *snare* in dem großen Saal als geringer wahrgenommen wurde, während LEV ähnlich den beiden anderen Stimuli bewertet wurde. Beachtliche individuelle Unterschiede können an den Stimuli festgemacht werden. Einige VP bewerteten die Stimuli hauptsächlich nach dem Saal, während andere große Unterschiede von Stimulus zu Stimulus feststellten. Die *snare* wurde jedoch in allen Fällen als am wenigsten räumlich wahrgenommen. Bei Cello und Rauschen hingegen konnte keine eindeutige Einstufung festgestellt werden.

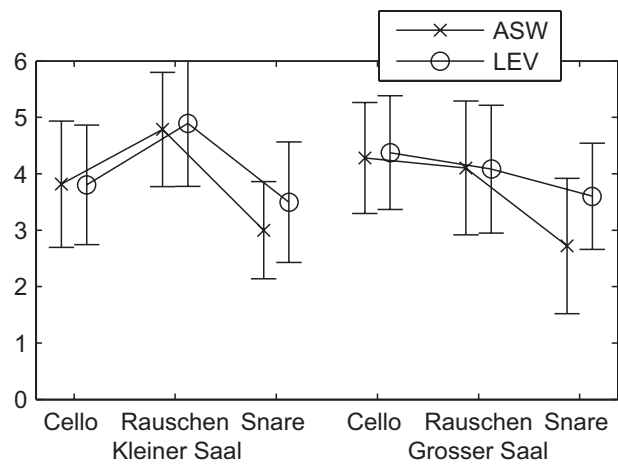


Abbildung 1: Mittelwerte und Standardabweichungen von ASW und LEV gemittelt über Versuchspersonen und Versuchsdurchgänge.

Zusammenfassung

Aus den Versuchsergebnissen geht deutlich hervor, daß sowohl die Größe eines Konzertsaales als auch das Anregungssignal einen Einfluß auf *auditory source width* und *listener envelopment* haben.

Ein Vergleich mit dem etablierten Parameter *interaural cross-correlation* zeigt, daß damit keine zufriedenstellende Bewertung der räumliche Wahrnehmung vorgenommen werden kann.

Diese Ergebnisse verdeutlichen, daß auch kleine Konzertsäle so gebaut werden können, daß sie einen guten räumlichen Eindruck bieten.

Literatur

- [1] J. Blauert and W. Lindemann. Auditory spaciousness: Some further psychoacoustic analyses. *J. Acoust. Soc. Am.* **80** (1986), 533–542.
- [2] M. Morimoto and Z. Maekawa. Auditory spaciousness and envelopment. In *Proc. 13th International Congress on Acoustics vol. 2*, pp. 215–218, Belgrade, Yugoslavia, 1989.
- [3] J. S. Bradley and G. A. Soulodre. The influence of late arriving energy on spatial impression. *J. Acoust. Soc. Am.* **97** (1995), 2263–2271.
- [4] ISO 3382. Acoustics — measurement of reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters. International Organization for Standardization, 1997.
- [5] J. Merimaa and W. Hess. Training of listeners for evaluation of spatial attributes of sound. In *AES 117th Convention, San Francisco, USA, 2004*. Preprint 6237.
- [6] H. Hudde and J. Schroeter. Verbesserungen am Neumann-Kunstkopfsystem. *Rundfunktechnische Mitteilungen*, Heft 1, 1–6.
- [7] ITU-R, Recommendation BS.1284-1. General methods for the subjective assessment of sound quality. International Telecommunication Union Radiocommunications Assembly, 2003.