

Evaluierung von Räumen anhand binauraler Aktivitätsmuster

Wolfgang Hess, Jonas Braasch, Jens Blauert

Institut für Kommunikationsakustik (IKA), Ruhr-Universität Bochum; Email: hess@ika.rub.de

1. Einleitung

Häufig stellt sich die Frage, wie die akustische Qualität eines Raumes beurteilt werden kann, ohne allein nach subjektiven Beurteilungen vorzugehen. Mehrere Parameter, standardisiert beispielsweise in [ISO3382, 1997], haben sich als brauchbar erwiesen, um in eingeschränktem Maße eine objektive Beurteilung zu ermöglichen. In diesem Beitrag soll eine alternative Möglichkeit aufgezeigt werden, die, basierend auf einem binauralen Modell des menschlichen auditorischen Systems, eine quasiobjektive Qualitätsbeurteilung sowohl hinsichtlich des Klangfeldes als auch der Räumlichkeit mittels binauraler Aktivitätsmuster (BAP) ermöglicht.

2. Messaufbau und -prozedur

Zur Bewertung wurden kopfbezogenen Impulsantworten (HRIRs)



Abbildung 1: Binaurale Messung im Auto.

in verschiedenen Räumen ermittelt. Die HRIRs wurden mit einem PN-Stimulus erzeugt, der im Falle einer Messung in Räumen über einen omnidirektionalen Lautsprecher wiedergegeben wurde. Bei Messungen im Auto wurde das eingebaute Audiosystem benutzt. Die binaurale Aufnahme wurde mit einem Kunstkopf vorgenommen, der am IKA insbesondere dahingehend modifiziert wurde, daß die Pinnae eines Menschen mit durchschnittlichen Außenohren nachgebildet wurden.

3. Bewertung mit etablierten Parametern

3.1. Monaurale Parameter

Zur Beurteilung der Qualität der gemessenen Räume wurden nun mehrere ausgewählte, in [ISO3382, 1997] standardisierte Parameter berechnet: (i) Die Klarheit (*clarity*) C_{80} über die ersten 80ms ab dem Eintreffen des Direktschalls, (ii) die Deutlichkeit (*definition*) D_{50} über die ersten 50ms, (iii) die Schwerpunktszeit (*center time*) T_s und (iv) die Nachhallzeit T_{60} aus der Abklingkurve der Einhüllenden. Diese Parameter wurden aus der linken HRIR berechnet.

3.2. Binaurale Parameter

Zur Ermittlung der Räumlichkeit des Klangfeldes wurde die interaurale Kreuzkorrelation IACC, siehe [ISO3382, 1997], beziehungsweise die interaurale Inkohärenz [Blauert, 1997] aus den binauralen Impulsantworten berechnet. Sie wurde unterteilt in einen frühen Anteil, der die IACC der HRIRs vom Eintreffen des ersten Direktschalls bis 80ms berechnet und einen späten Anteil, der die IACC ab 80ms bis zum Ende der HRIRs berechnet.

3.2. Auswertung

Bei der Tonhalle Zürich handelt es sich um einen etablierten, angenehm klingenden Konzertsaal, während es sich beim Seminarraum um einen relativ kleinen Raum (ca. 4x10m) mit einer Fensterfront an der Längsseite und PCV-Fußboden handelt.

Als Ergebnisse wurden die in Tabelle 1 aufgeführten Werte berechnet. In absteigender Reihenfolge sind in der jeweils linken Spalte vier Oktavbänder von 250Hz bis 2kHz dargestellt, rechts fett gedruckt jeweils der Mittelwert über die vier Frequenzbänder:

Parameter	Tonhalle		Seminarraum		Optimal
T_{60} [sec]	2.0 2.0 1.9 1.8	1.9	0.8 0.8 0.8 0.8	0.8	1.1-3.3
C_{80} [dB]	-3.6 -2.1 -0.7 1.3	-1.3	6.5 3.8 5.1 6.9	5.6	-3.2-0.2
D_{50}	0.24 0.27 0.41 0.51	0.36	0.73 0.58 0.62 0.7	0.66	0.4-0.6
T_s [msec]	177 151 155 87	142	50 61 56 41	52	80-230
$IACC_{EARLY}$	0.96 0.76 0.81 0.78	0.83	0.88 0.58 0.4 0.54	0.6	0.4-0.7
$IACC_{LATE}$	0.87 0.43 0.35 0.16	0.45	0.75 0.18 0.13 0.08	0.29	0.12-0.4

Tabelle 2: Auswertung der monauralen und binauralen Parameter.

Es ist ersichtlich, daß die monauralen Parameter der Tonhalle zum überwiegenden Teil innerhalb der aus der Literatur bekannten Grenzen, wie sie von [Abdou et al., 1996] dokumentiert wurden, liegen. Erstaunlicherweise ist zu erkennen, daß sowohl der frühe als auch der späte Teil der IACC der Tonhalle außerhalb der bekannten Grenzen liegt, obwohl sie bei einer Faltung eines „trockenen“ Musiksignals mit den gemessenen HRIRs bei Kopfhörerwiedergabe als sehr räumlich wahrgenommen wird. Der Seminarraum, der bei Kopfhörerwiedergabe als „hallig“, mittenbetont und wenig räumlich wahrgenommen wird, liegt innerhalb der Grenzen der IACC-Werte, während die monauralen Parameter eindeutig außerhalb sind. Zur IACC stellten [de Vries et al., 2000] fest, daß sich die IACC bei verschiedenen Messpositionen signifikant ändert.

4. Das binaurale Modell

Basierend auf dem Vorschlag von [Jeffress, 1948] für ein Koinzidenz-Modell wurde eine Erweiterung um Inhibition und monaurale Prozessoren von [Lindemann, 1986] implementiert. Mit den Erweiterungen von [Gaik, 1993] um die Einbeziehung von HRIRs und Gewichtungsfaktoren läßt sich nun eine Zuordnung von Schallereignissen zu einer bestimmten links/rechts Richtung vornehmen.

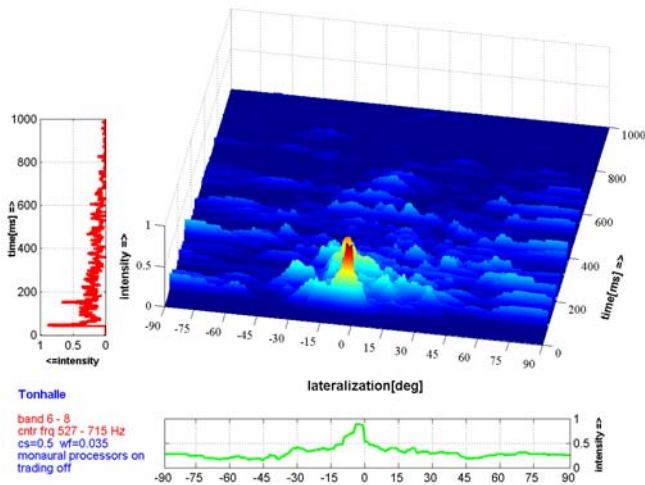


Abbildung 2: Binaurales Aktivitätsmuster Tonhalle, um 600Hz.

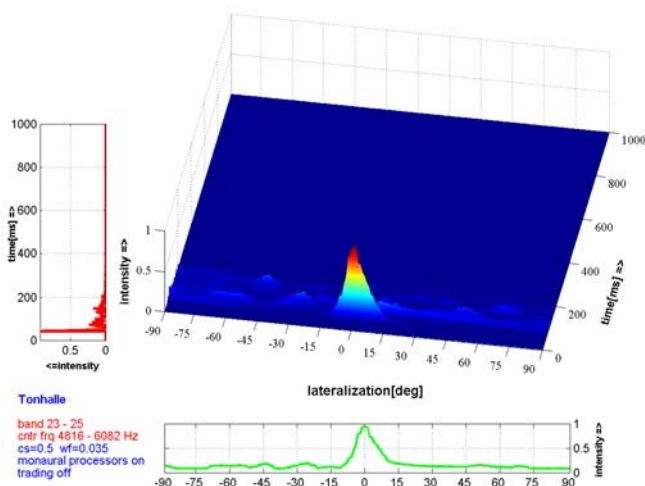


Abbildung 3: Binaurales Aktivitätsmuster Tonhalle, um 5kHz.

Abb. 2 zeigt das BAP der Tonhalle gemittelt über drei Frequenzbänder um 600Hz. Es ist ein sehr deutlicher Direktschall zu erkennen und ein homogenes Ausklingen über etwa 900ms. In den höheren Frequenzen, Abb. 3 zeigt dazu den Bereich um 5kHz, ebenfalls gemittelt über drei Bänder, sind sehr schwache frühe seitliche Reflexionen zu erkennen. Das jeweilige untere Diagramm zeigt die Maximalwerte über die Lateralisation, das jeweilige linke das Ausklingverhalten über die Zeit.

Die Abbildungen 4 und 5 zeigen die gleichen Bänder, wie sie für die Tonhalle dargestellt sind, für den Seminarraum. Zu erkennen sind vor allem die starken frühen seitlichen Reflexionen in beiden Frequenzbereichen. Vor allem sie sind für die wahrgenommene „Halligkeit“ verantwortlich zu machen. Man beachte die Zeitachse, die bei der Tonhalle von 0 bis 1000ms reicht, bei dem Seminarraum hingegen nur von 0 bis 415ms. Schall im kleinen Raum bei 600Hz ist wesentlich früher abgeklungen, bei hohen Frequenzen dagegen ist ein längeres Ausklingen vorhanden.

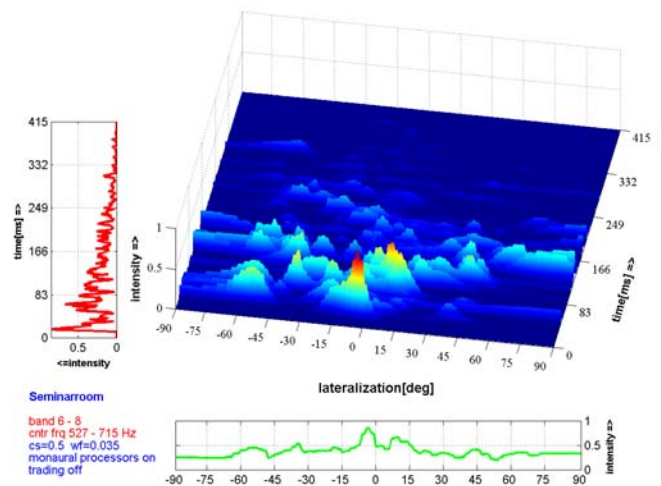


Abbildung 4: Binaurales Aktivitätsmuster Seminarraum, um 600Hz.

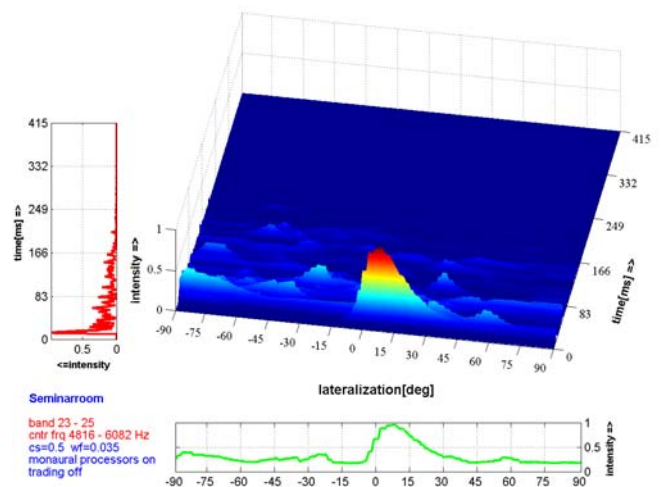


Abbildung 5: Binaurales Aktivitätsmuster Seminarraum, um 5kHz.

5. Zusammenfassung

Es läßt sich feststellen, daß sich eine eindeutige Aussage, ob ein Raum gut oder schlecht klingt, anhand von berechneten Parametern nur sehr eingeschränkt vornehmen läßt. BAP ermöglichen eine übersichtliche Darstellung von Schallereignissen und einen guten Gesamteindruck des Klangfeldes auf einen Blick.

6. Referenzen

- [Abdou et al., 1996] Abdou, A., Guy, R.W. (1996): *Spatial information of sound fields for room-acoustics evaluation and diagnosis*, J. Acoust. Soc. Am., 100, 3215-3226
- [Blauert, 1997] Blauert, J. (1997): *Spatial Hearing – the psychophysics of human sound localization*. MIT Press, Cambridge, MA
- [de Vries et al., 2000] de Vries, D., Hulsebos, E., Baan, J. (2000): *Spatial fluctuations of spaciousness measures in auditoria*, Proc. of the AES 108th Convention, Paris, 2000.
- [Gaik, 1993] Gaik, W. (1993): *Combined evaluation of interaural time and intensity differences: Psychoacoustic results and computer modeling*, J. Acoust. Soc. Am., 94, 98-110
- [ISO3382, 1997] ISO 3382 (1997): *Acoustics – Measurements of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters*
- [Jeffress, 1948] Jeffress, L.A. (1948): *A place theory of sound localization*, J. Comparative and Physiological Psychology, 41, 35-39
- [Lindemann, 1986] Lindemann, W. (1986): *Extension of a binaural cross-correlation model by means of contralateral inhibition. I. Simulation of lateralization of stationary signals*, J. Acoust. Soc. Am., 80, 1608-1622.