Werte binauraler Parameter in Europäischen Konzertsälen

Klaus-Hendrik Lorenz-Kierakiewitz[1]

[1] *Peutz Consult GmbH, 40599 Düsseldorf, E-Mail: khl@peutz.de*

Zusammenfassung

In diesem Beitrag werden Werte binauraler Parameter raumakustischer Messungen in diversen Europäischen Konzertsälen betrachtet. Zur Vervollständigung der Untersuchungen zum Thema „Sprachverständlichkeit und Hörsamkeit in europäischen Konzertsälen", in deren Rahmen akustische Messungen in zahlreichen europäischen Konzertsälen, darunter Wiener Musikvereinssaal, Gewandhaus Leipzig, Stadtcasino Basel, Tonhalle Zürich, Concertgebouw Amsterdam und Royal Albert Hall vorgenommen werden konnten [4,5], soll nun der Fokus auf die Auswertung der dort durchgeführten binauralen Raumimpulsantwortmessungen gelegt werden.

In den Sälen der Studie wurden dazu mittels eines Maximalfolgenmesssystems binaurale Raumimpulsantworten an äquivalenten Quellorten auf den Podien und je einem Kunstkopfmikrophonort im mittleren Drittel des Parketts gemessen. Mit einem Auswertungsprogramm wurden zusätzlich zu den monauralen akustischen Parametern die binauralen akustischen Parameter IACC, IACCE3 und BQI berechnet und sollen hier präsentiert und verglichen werden.

Im Verbindung mit der zuvor durchgeführten subjektiven Qualitätsbefragung von mehr als 100 Testpersonen mit Musikstimuli wird untersucht, inwieweit die so gewonnenen binauralen Parameterwerte im Vergleich mit den monauralen mit den subjektiven Qualitätsurteilen der verschiedenen identifizierten Hörergruppen korrelieren.

Ziel und Ergebnis der bisherigen Untersuchung

Motivation und Zielsetzung der vorliegenden Untersuchung war die Fragestellung, ob in der Beurteilung der Akustik von Konzertsälen ein Ideal oder Optimum existiert, oder es unter Musikhörern verschiedene Geschmacksgruppen gibt [6,7]. Im Rahmen dieser Untersuchung waren in den Jahren 2000-2012 vergleichende Messungen der raumakustischen Eigenschaften in über 30 Europäischen Konzertsälen durchgeführt worden, darunter in 14 mit Publikumssimulation, siehe Tabelle 1. Die Auswahl der bisher untersuchten Säle beansprucht dabei keine Vollständigkeit, vielmehr wurde versucht, so viele historische bzw. berühmte Säle wie möglich aus Zentraleuropa zu erfassen. Die dabei gewonnenen Daten, und monauralen Raumimpulsantworten waren analysiert worden, um die Werte der raumakustischen Parameter in Abhängigkeit von den Messpfaden zu bestimmen. Darüber hinaus waren diese Messwerte ausgezeichneter Messpfade aus den Parkettbereichen ausgewählter Säle korreliert worden mit subjektiven Präferenzurteilen von mehr als 100 Probanden durch Paarvergleichstests reflexionsfrei aufgenommener Musikstimuli, gefaltet mit den zugehörigen binauralen Raumimpulsantworten. Für die Aspekte Konzertakustik und Aufnahmeakustik konnte bei diesen Korrelationen subjektiver Urteile mit den jeweiligen Messpfaden zugehörigen monauralen Parametern gezeigt werden [7], dass kein einheitliches Klangideal unter den Probanden existierte, sondern vielmehr vier disjunkte Gruppen bezüglich Ihrer Präferenz ähnlich urteilender Probanden. Die relative Größe dieser Geschmacksgruppen wird beeinflusst durch den jeweiligen Musikstimulus.

Stadt	Saal	Datum	Plätze	V /m³	Spez. V / m³
Nijmegen	De Vereeniging []	Jun.00	1.200	12.000	10
Haarlem	Concertgebouw* []	Jun.00	1.200	8.000	07
Berlin	Jesus-Chr.-Kirche []	Jun.00	≈300	7.900	(26)
Berlin	Konzerthaus* []	Jul.00	1.575	15.000	10
Leipzig	Gewandhaus	Jul.00	1.900	21.000	11
Düsseldorf	Tonhalle*	Jul.00	2.100	15.000	07
London	Royal Albert Hall*	Aug.00	6.080	86.650	17
Köln	Aula Universität[S]	Mrz.01	990	7.700	08
Köln	WDR Sendesaal []	Mrz.01	700	6.800	09
Hamburg	Musikhalle []	Mrz.01	1.993	11.700	06
Amsterdam	Concertgebouw [],[S]	Aug.01	2.037	18.780	09
Wien	Musikvereinssaal [],[S]	Aug.01	1.598	15.000	09
Basel	Stadtcasino [],[S]	Aug.01	1.448	10.500	07
Duisburg	Mercatorhalle*,[S]	Aug.01	1.800	12.500	07
Praha	Dvořák Hall [],[S]	Aug.02	1.104	10.000	09
Zürich	Tonhalle [],[S]	Aug.02	1.546	11.400	07
München	Herkulessaal [],[S]	Aug.02	1.321	13.950	11
Hilversum	Studio MCO5 []	Nov.02	≈200	16.000	(80)
Bochum	University Audimax[S]	Feb.03	1.995	45.000	23
Kissingen	Regentensaal [],[S]	Jul.03	1.125	10.000	9
Wiesbaden	Kurhaus [],[S]	Jul.03	1.310	12.000	09
London	Royal Albert Hall [+]	Aug.03	6.080	86.650	17
Rotterdam	De Doelen*,[S]	Nov.03	2.242	24.070	11
London	R. Festival Hall*,[S]	Nov.03	2.901	21.950	08
Amsterdam	Muziekgebouw	Mai 05	730	7.000	10
Düsseldorf	Tonhalle [+],[S]	Apr.06	1.850	16.500	09
München	Philh. am Gasteig[S]	Nov.07	2.380	29.000	12
Dresden	Kulturpalast*	Mai 10	2.435	24.000	10
Frankf.a.M.	HR-Funkhaussaal []	Jul.10	850	9.700	11
Wuppertal	Stadthalle []	Feb.12	1.546	16.500	11
*: *Situation before renovation*		**Min.**	**200**	**6.800**	**06**
[+]: *Situation after renovation*		**Mittel**	**1.900**	**20.000**	**10 (13)**
[]: *Shoe-box type shaped hall*		**Max.**	**6.080**	**86.650**	**80**

Tabelle 1: Bislang untersuchte Säle; [S]: m. Publikumssimulation

Abbildung 1: Typische Messsituation Concertgebouw Amsterdam

Durchgeführte raumakustische Messungen

Alle vergleichenden raumakustischen Messungen wurden dabei an vergleichbaren relativen Messpfaden mit beinahe identischem Equipment und Einstellungen durchgeführt worden, mit unbesetzter Bühne und i.d.R. unbesetztem, aber Bestuhlten Zuhörerräumen. In 14 Sälen wurde eine ca. 90-prozentige Besetzung des Publikums durch über die Sitze gebreitete Streifen spezieller Polyesterstoffe, deren Absorptionseigenschaften vergleichbar sind wie bei durchschnittlichem Publikum [4]. In alle Räumen wurden mit Hilfe eines PC-basierten Maximalfolgenmesssystems Raumimpulsantwortmessungen durchgeführt (MLS Grad 17B, Fs=44.1 kHz, Auflösung 16 Bit) mit omni-direktionalem Messmikrofon (Druckempfänger) an bis zu 24 Messpfaden sowie über Kunstkopf mit zwei vor unspezifischen Pinnae angebrachten Druckempfänger-Messmikrofonkapseln. Quelle dafür war ein Dodekaeder-Lautsprecher rechts (vorne) auf der Bühne.

Auswertung monauraler Parameter

Die Auswertung der gewonnenen Raumimpulsantworten geschah mit eigens geschriebenen Programmskripts, für die ungerichteten Impulsantworten die Parameter (T_{30}, EDT, T_{Center}, C_{80}, D_{50}) in Oktavbändern der Mittelfrequenzen 63 bis 8.000 Hz, sowie STI und AL_{cons} ([2], Gl. (1)).

$$AL_{cons} = 3 + 100 \cdot 10^{\left\{\left[0{,}1\cdot(L_{Rev}-L_{Dir})+\lg(T_{1,3kHz}\cdot 0{,}009)\right]\cdot\left[\frac{L_{Send}-L_{Noise}+10}{35}\right]\right\}} \quad [\%] \qquad (1)$$

Binaurale Auswertung monauraler Parameter

Als Erweiterung der bisher durchgeführten Analysen wurden zunächst die beiden Kanäle der binauralen Kunstkopf-Impulsantworten von ausgewählten Messpfaden getrennt analysiert und die resultierenden Parameterwerte mit denen der ungerichteten Impulsantworten verglichen, siehe Tab. 2.

Saal	Pfad	D/m	Mic.	AL_{cons}	C_{80}/dB	D_{50}	T_{center}/ms	EDT/s
Stadtcasino Basel	Q1-M7	17	Omni	11,4	-0,8	26	140	2,0
			KKL	11,9	-1,2	23	147	1,9
			KKR	9,6	-0,6	32	138	2,1
Concertgebouw Amsterdam	Q1-M7	11	Omni	12,8	-2,6	22	183	2,6
			KKL	13,9	-3,9	19	197	2,6
			KKR	10,0	-1,5	30	171	2,7
Jesus-Christus-Kirche Dahlem	Q1-M7	8	Omni	12,7	-2,7	24	196	2,9
			KKL	20,6	-6,1	9	241	2,9
			KKR	15,0	-3,2	21	206	2,8
Musikvereins-saal Wien	Q1-M7	14	Omni	15,6	-3,7	19	216	3,0
			KKL	14,9	-2,2	24	204	3,0
			KKR	13,5	-2,1	26	193	2,9
Rudolfinum Prag	Q1-M7	9	Omni	14,3	-3,5	27	206	3,0
			KKL	18,0	-4,7	20	222	2,9
			KKR	14,6	-2,3	34	197	3,1
MCO5 Hilversum	Q1-M7	13	Omni	17,5	-4,1	19	183	2,5
			KKL	19,1	-4,6	14	200	2,5
			KKR	17,0	-2,9	23	186	2,5
Tonhalle Zürich	Q1-M7	12	Omni	19,6	-4,0	15	229	3,1
			KKL	20,0	-4,3	11	240	3,2
			KKR	18,4	-4,1	16	229	3,1
KvB-Saal WDR	Q1-M7	9	Omni	10,7	-0,5	34	132	1,9
			KKL	12,9	-1,9	28	148	1,9
			KKR	11,3	-1,8	30	142	1,9

Tabelle 2: Vergleich Parameterwerte Omni-Mic / Kunstkopf R/L

Ergebnis: Die Parameterwerte variieren mit der Kunstkopfseite nicht in nicht vernachlässigbarem Maße, die Werte des der Schallquelle abgewandeteren Seite des Kunstkopfs sind näher an den Werten des ungerichteten Mikrophons, welche hinreichend durch das arithmetische Mittel der beiden Kunstkopfseiten angenähert werden.

Binaurale Parameter

Bereits 1967 definierte Damaske, später Damaske und Ando [1], den Interauralen Korrelationskoeffizienten IACC basierend auf der Kreuzkorrelationsfunktion der beiden binauralen Signale z. B. eines Kunstkopfes als Maß für die (Un)Ähnlichkeit dieser beiden Signale. Auf Impulsantworten angewendet ergibt sich Gleichung (2), s. auch ISO 3382-1:

$$IACF(\tau) = \frac{\int_{t_1}^{t_2} p_L(t)\cdot p_R(t+\tau)dt}{\sqrt{\int_{t_1}^{t_2} p_L^2(t)dt \cdot \int_{t_1}^{t_2} p_R^2(t)dt}} \qquad (2)$$

Der IACC für binaurale Impulsantworten ist definiert als IACC = max |IACF(τ)| zwischen –1 ms ≤ τ ≤ + 1ms und zwischen dem Direktschall und dem Ende der Impulsantwort (t = ∞ bzw. EDT). Davon abgeleitet wurden mehrere weitere binaurale Parameter: $IACC_E$, welcher nur den frühen Teil der Impulsantworten bis 80 ms nach dem Direktschall berücksichtigt, $IACC_L$, welcher nur den späten Teil nach 80 ms betrachtet, sowie Mittelungen über die drei Oktavbänder der Mittenfrequenzen 500, 1.000 und 2.000 Hz, gekennzeichnet mit dem Index 3. L. Beranek definierte [x] den sogenannten Binaural Quality Index BQI als: BQI=1-$IACC_{E3}$ und gab dafür in [3] für einige Säle Werte an.

Auswertung der binauralen Parameter

Für die weiteren Analysen wurden aus allen gemessenen binauralen Impulsantworten diese Parameter über die IACF beider Ohrsignale berechnet. Hierzu wurde ein eigens verwendetes Computerprogrammskript verwendet.

Validierung der resultierenden Parameterwerte

Die resultierenden Parameterwerte wurden drei verschiedenen Vergleichen zur Validierung unterzogen:

- Vergleich mit den Werten des Plugins Aurora 4.2;
- Vergleich des IACC mit den Werten des Programms Monkey Forest (Vs. 2003); und
- Vergleich der resultierenden BQI-Werte mit den Literaturangaben in [3].

Die Überprüfung der berechneten Parameterwerte an einer Stichprobe von 15 Messpfaden zeigte als Ergebnis für alle überprüften Impulsantworten beinahe durchweg Abweichungen zwischen den drei Berechnungsmethoden im maximal einstelligen Prozentbereich, siehe auch folgende Tabellen 3+4. Die Literaturwerte sind in Tabelle 5 aufgeführt, auch hier zeigt sich eine gute Übereinstimmung der Raummittelwerte des BQI mit den genannten Werten.

Evaluation	Parameter	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
RIACC029	$IACC_E$	0,99	0,70	0,17	0,32	0,39	0,32
	$IACC_L$	0,91	0,75	0,07	0,07	0,05	0,05
	IACC	0,96	0,73	0,10	0,14	0,18	0,17
Aurora 4.2	$IACC_E$	0,99	0,70	0,30	0,33	0,38	0,38
	$IACC_L$	0,91	0,73	0,09	0,07	0,06	0,05
	IACC	0,96	0,72	0,16	0,14	0,19	0,22
MF2003	IACC						0,20

Tabelle 3: Überprüfung der binauralen Parameterwerte (1)

Tabelle 3 zeigt ein Beispiel (Musikvereinssal Q1-M7) im Detail, und zwar dasjenige mit den größten gefundenen Abweichungen der Auswertungsprogramme untereinander.

Stadt / Saal	Pfad	MF2003	RIACC029		Aurora 4.2	
		IACC	IACC	$IACC_{E3}$	IACC	$IACC_{E3}$
Concertgebouw Amsterdam	Q1M7	0,32	0,32	0,60	0,32	0,59
Stadtcasino Basel	Q1M7	0,22	0,25	0,38	0,24	0,38
JCC Dahlem	Q1M7	0,20	0,22	0,44	0,20	0,42
Kulturpalast Dresden	Q1M6	0,32	0,32	0,43	0,32	0,41
HR Funkhaussaal Frankfurt a.M.	Q1M6	0,37	0,37	0,48	0,37	0,47
MCO5 Hilversum	Q1M7	0,27	0,22	0,30	0,28	0,31
KvB-Saal WDR Köln	Q1M7	0,28	0,17	0,39	0,19	0,39
Gewandhaus Leipzig	Q1M7	0,45	0,45	0,64	0,45	0,62
Rudolfinum Prag	Q1M7	0,18	0,20	0,51	0,18	0,52
Musikverein Wien	Q1M7	0,20	0,21	0,34	0,14	0,29
Tonhalle Zürich	Q1M7	0,23	0,23	0,39	0,23	0,39

Tabelle 4: Überprüfung der binauralen Parameterwerte (2)

Resultierende binaurale Parameterwerte

Die aus der Auswertung mit dem eigens geschriebenen Programmskripts resultierenden BQI-(Raummittel-)Werte sind Tabelle 5 zu entnehmen, und zwar für besetzten und unbesetzten Zustand, sowie den Literaturwerten nach [3].

Stadt	Saal	Pfade	BQI unbes.	BQI besetzt	BQI Lit. [3]
Amsterdam	Concertgebouw	**MW9**	**0,57**	**0,60**	**0,54**
	Muziekgebouw	*Q1M06*	*0,73*		
B.Kissingen	Regentensaal	**MW7**	**0,69**	**0,69**	
Basel	Stastcasino	**MW3**	**0,61**	**0,61**	**0,62**
Berlin	Konzerthaus '00	**MW4**	**0,75**		**0,64**
	JCC Dahlem	**MW5**	**0,59**		
Dresden	Kulturpalast	*Q1M06*	*0,57*		
Duisburg	Mercatorh. '00	**MW2/7**	**0,56**	**0,65**	
Frankfurt	HR-Sendesaal	*Q1M06*	*0,52*		
Haarlem	Concertgeb. '00	**MW**	**0,64**		
Hamburg	Musikhalle	**MW2**	**0,64**		
Hilversum	MCO5	**MW6**	**0,61**		
Köln	Aula Universität	*Q3M06*	*0,60*	*0,58*	
	WDR KvB-Saal	*Q1M07*	*0,61*		
Leipzig	Gewandhaus'11	*Q1M06*	*0,44*		
	Gewandhaus '00	**MW3**	**0,33**		
London	RAH '00	**MW4**	**0,39**		
	R. Festival H	**MW**	**0,54**	**0,54**	
München	Gasteig	**MW30**	**-**	**0,48**	
	Herkulessaal	**MW8**	**0,60**	**0,61**	**0,63**
Nijmegen	Vereeniging	**MW12**	**0,59**		
Prag	Rudolfinum	**MW**	**0,49**	**0,50**	
Rotterdam	De Doelen '03	*Q1M07*	*0,43*		
Wien	Musikverein	**MW8**	**0,62**	**0,60**	**0,64**
Wiesbaden	Kurhaus	**MW**	**0,67**	**0,66**	
Wuppertal	Stadthalle '12	*Q1M06*	*0,53*		
Zürich	Tonhalle	**MW16**	**0,67**	**0,65**	**0,64**

Tabelle 5: Gemessene BQI-Werte (**Raummittelwerte**/*Einzelpfade*)

Räumliche Verteilung des BQI

Für diejenigen Säle, in denen mehr als eine Kunstkopf-Position gemessen wurde, war es mit den Ergebnissen der Auswertung möglich, die räumliche Verteilung der Parameter für die gemessenen Saalzustände zu analysieren und darzustellen, siehe Beispiel in Abbildung 2.

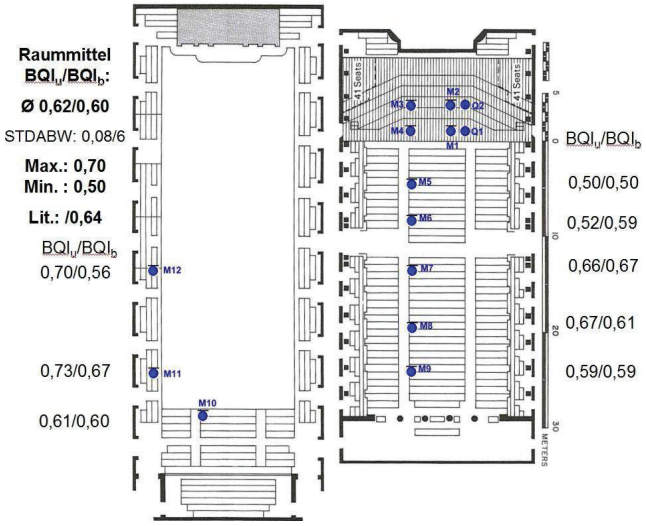

Abbildung 2: Räumliche Verteilung des BQI im Musikverein Wien

Ergebnis: die BQI-Werte variieren mit dem Besetzungszustand und innerhalb eines Saals. Die Werte sind i.d.R. im 3. Saalviertel am höchsten, nahe Podium am geringsten, und im besetzten Zustand i.d.R. etwas höher als im unbesetzten. Den höchsten gemessener Einzelwert zeigte die Tonhalle Zürich (Pfad Q1-M9: BQI=0,83), die höchsten Raummittelwerte generell schmale und diffusierende Quadersäle wie Bad Kissingen, Zürich und Wiesbaden.

Subjektive Qualitätsurteile über Paartests

Parallel wurden subjektive Qualitätshörtests für Aufnahme- und Zuhörerakustik über Paarvergleichs-Präferenztests mit vielen Probanden (N > 100) durchgeführt [5-7]. Dazu wurden für eine Auswahl von 5 Sälen („A, B, C, D, E") eine binaurale Impulsantwort des unbesetzten Zustandes gefaltet mit reflexionsarm aufgenommenen Musikstimuli (< 15 s). Diese erlaubte es, den Probanden eine zuvor bestimmte zufällige Reihenfolge von 15 (inkl. drei identischer) Paare zu präsentieren, für welche die Testpersonen entscheiden mussten, ob sie den ersten oder den zweiten Stimulus eines jeden Paares präferierten. Diese Tests wurden den Probanden über CD-R mit Papierfragebögen zur Verfügung gestellt. In Test 5 wurde ein Ausschnitt der Ouvertüre „Ruslan and Ludmilla" von M. Glinka verwendet (aufgenommen 1987 mit dem Osaka Philharmonic Orchestra auf einer reflexionsarm ausgestatteten Bühne), in Test 6 wurde ein Ausschnitt aus „Les Toreadors" aus G. Bizets „Carmen"-Suite verwendet [6], aufgenommen 2005 im reflexionsarmen Raum mit dem Studentenorchester der RWTH Aachen. Für beide Tests wurden durch Umsortierung der Fragen und Probanden jeweils 4 Gruppen Ähnlich Urteilender Probanden identifiziert, siehe Abbildung 3. Aus den Antwortmustern der konsistent Urteilenden drei der je vier Geschmacksgruppen wurden Präferenzreihenfolgen für die auralisierten Säle bzw. Stimuli pro Gruppe ausgewertet.

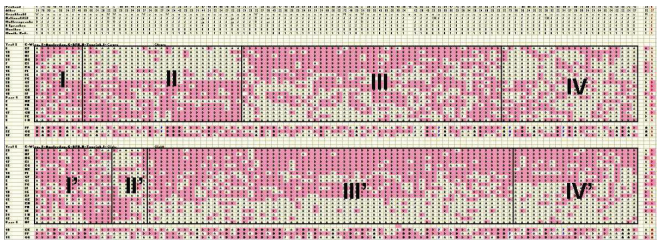

Abbildung 3: Sortierte Urteile der Tests 5 (oben) und 6 (unten)

Korrelation der Urteile mit binauralen Werten

Zusätzlich zu einer Korreation der mit omnidirektionalem Mikrophon gemessenen Parameterwerte wurden nun die zuvor bestimmten binauralen Parameterwerte einbezogen, siehe Tabelle 6 (Test 5) und Tabelle 7 (Test 6).

Rangfolge	Saal	BQI_{L3}	C_{80} /dB	STI	EDT /s	T_{30} /s
1.	Concertgeb.	**0,94**	-3,6	0,41	2,6	2,6
2.	Musikverein	**0,92**	-2,2	0,46	3,1	3,1
3.	Tonhalle Z.	**0,91**	-4,3	0,43	3,2	3,2
4.	Tonhalle D.	**0,88**	1,0	0,58	1,8	2,0
5.	Festival Hall	**0,86**	0,2	0,51	1,5	1,5
Gruppe I; 8%	Korr. Koeff.	**-0,99**	0,74	0,74	-0,72	-0,72
Rangfolge	**Saal**	**EDT /s**	**T_{30} /s**	**AL_{cons} /%**	**T_{center} /ms**	**BQI_{A3}**
1.	Tonhalle Z.	3,2	3,2	20,1	240	0,84
2.	Musikverein	3,1	3,1	15,1	205	0,84
3.	Concertgeb.	2,6	2,6	14,0	195	0,76
4.	Tonhalle D.	1,8	2,0	6,9	100	0,68
5.	Festival Hall	1,5	1,5	8,3	109	0,72
Gr. II, 27%	Korr. Koeff.	**-0,97**	**-0,98**	**-0,94**	**-0,94**	-0,88
Rangfolge	**Saal**	**BQI**	**BQI_{A3}**	**AL_{cons} /%**	**EDT /s**	**D_{50} /%**
1.	Tonhalle D.	**0,41**	**0,68**	6,9	1,8	43
2.	Concertgeb.	**0,40**	**0,76**	14,0	2,6	20
3.	Festival Hall	**0,56**	**0,72**	8,3	1,5	28
4.	Tonhalle Z.	**0,61**	**0,84**	20,1	3,2	12
5.	Musikverein	**0,66**	**0,84**	15,1	3,1	23
Gr. III, 44%	Korr. Koeff.	**0,95**	**0,88**	0,66	0,66	-0,66

Tabelle 6: Ergebnisse Korrelationen Test 5 mit binauralen Werten

Rangfolge	Saal	EDT /s	T_{30} /s	BQI_{A3}	T_{center} /ms	AL_{cons} /%	BQI_{L3}
1.	Musikverein	3,2	3,2	**0,84**	240	20,1	0,91
2.	Tonhalle Z.	3,1	3,1	**0,84**	205	15,1	0,92
3.	Concertgeb.	2,6	2,6	**0,76**	195	14,0	0,94
4.	Tonhalle D.	1,8	2,0	**0,68**	100	6,9	0,88
5.	Festival Hall	1,5	1,5	**0,72**	109	8,3	0,86
Gr. II', 7%	Korr. Koeff.	**-0,95**	**-0,96**	**-0,88**	**-0,85**	-0,79	-0,74
Rangfolge	**Saal**	**AL_{cons} /%**	**BQI_{A3}**	**EDT /s**	**T_{30} /s**	**T_{center} /ms**	**BQI_{L3}**
1.	Tonhalle D.	6,9	**0,68**	1,8	2,0	100	0,41
1.	Concertgeb.	14,0	**0,76**	2,6	2,6	195	0,40
1.	Festival Hall	8,3	**0,72**	1,5	1,5	109	0,56
2.	Musikverein	15,1	**0,84**	3,1	3,1	205	0,66
3.	Tonhalle Z.	20,1	**0,84**	3,2	3,2	240	0,61
Gr. III', 62%	Korr. Koeff.	**0,87**	**0,84**	0,80	0,79	0,79	0,70
Rangfolge	**Saal**	**AL_{cons} /%**	**BQI_{A3}**	**D_{50} /%**	**T_{center} /ms**	**EDT /s**	**C_{80} /dB**
1.	Tonhalle D.	15,1	**0,84**	23	205	3,1	-2,2
2.	Concertgeb.	8,3	**0,72**	28	109	1,5	0,2
2.	Festival Hall	20,1	**0,84**	12	240	3,2	-4,3
3.	Musikverein	14,0	**0,76**	20	195	2,6	-3,6
4.	Tonhalle Z.	6,9	**0,68**	43	100	1,8	1,0
Gr. IV', 20%	Korr. Koeff.	**0,93**	**0,93**	**-0,88**	**0,87**	0,81	-0,78

Tabelle 7: Ergebnisse Korrelationen Test 6 mit binauralen Werten

Bezüglich der hier erfolgten Hinzunahme der binauralen Parameterwerte ergeben sich nun folgende neuen Aspekte:

Ergebnisse Korrelation mit binauralen Werten

Nur in einem der beiden Tests war eine deutliche Korrelation mit dem BQI (bzw. dem $IACC_{E3}$) nur in einer der Gruppen ähnlich Urteilender festzustellen: In Test 5 steigt die Präferenz der Urteile nur der größten der identifizierten Geschmacks-Gruppen, Gruppe III (44%), mit **ab**nehmendem BQI. In den anderen gefundenen Geschmacksgruppen beider Tests spielen somit BQI und $IACC_{E3}$ anscheinend keine besonders hoch mit der Präferenz korrelierende Rolle. Betrachtet man jedoch zusätzlich die folgenden Parameter: $\mathbf{BQI_{A3} := 1 - IACC_{All,3}}$ und $\mathbf{BQI_{L3} := 1 - IACC_{L3}}$, so ergibt sich ein anderes Bild: In beiden Tests ergibt sich dann eine starke Korrelation der jeweils beiden größten Gruppen ähnlich Urteilender mit **ab**nehmendem BQI_{A3}, sowie einen etwas schwächeren Zusammenhang mit dem BQI_{L3}, siehe Tabellen 6-7. Gruppe I zeigt dahingegen in Test 5 eine sehr starke Korrelation zunehmender Präferenz mit **zu**nehmendem BQI_{L3} (die Korrelation ist hier mit Abstand stärker als mit allen anderen der betrachteten Parameter, gleich, ob omnidirektional gemessen oder binaural), und in Test 6 einen deutlichen Zusammenhang der zunehmenden Präferenz mit **zu**nehmendem BQI_{A3} (sowie zunehmender T_{30} und EDT). Diese (kleinere) Geschmacksgruppe I bevorzugt somit deutlich einen sehr räumlichen, halligen Klang, mit niedrigen Werten der Parameter für Klarheit, Deutlichkeit und Verständlichkeit aufweist, wohingegen hier die (stimulusabhängig) größeren Gruppen II und III entgegengesetzt urteilen und einen direkten und trockeneren „analytischen“ Klang bevorzugen.

Danksagung

Mein Dank für die Unterstützung dieser Untersuchungen gilt der Tschechischen Philharmonie, den Managements aller Säle, der Peutz-Gruppe und insbesondere Herrn Stefan Ostrowski für die tatkräftige Hilfe bei den Saalmessungen.

Literatur

[1] Damaske, P.; Ando, Y.: Interaural crosscorrelation for multichannel loudspeaker reproduction, Acustica 27, 232-238 (1972)

[2] Peutz, V. M. A.: Speech information and speech intelligibility, AES Convention 1988

[3] Beranek, L.: Concert Halls and Opera Houses, New York, 2004

[4] Lorenz-K., K.-H.: Objective and Subjective Evaluation of the Recording Acoustics of European Concert Halls: Results, VDT international convention, 2006

[5] Lorenz-K., K.-H.: Objektive und subjektive Erforschung der Hörsamkeit europäischer Konzertsäle: Ergebnisse, DAGA 2007

[6] Lorenz-K., K.-H.: About the variation of preference judgements with varying music stimuli, VDT international convention, 2008

[7] Lorenz-K., K.-H.; Vercammen, M.: Acoustical Survey of 25 European Concert Halls, NAG/DAGA Int. Conf. on Acoustics. Rotterdam, 2009