

## Podienakustik und Sprachverständlichkeit in Konzertsälen

K.-H. Lorenz-Kierakiewitz<sup>1</sup>, M. Vercammen<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Peutz GmbH, Kolberger Strasse 19, D-40599 Düsseldorf, Deutschland, Email: [khl@peutz.de](mailto:khl@peutz.de)

<sup>2</sup> Peutz bv, Lindenlaan 41, NL-6584 AC Molenhoek, Niederlande, Email: [m.vercammen@mook.peutz.nl](mailto:m.vercammen@mook.peutz.nl)

### Einleitung

Die akustischen Bedingungen auf den Podien von Konzertsälen entscheiden darüber, ob Solisten wie Ensemblemusiker geeignete Arbeitsbedingungen vorfinden, um Ihrer Kunst nachzugehen und dem Publikum Hörgenüsse zu bereiten. Dazu müssen Musiker ihr eigenes Instrument trotz der Maskierung durch alle anderen gut hören können, aber im Idealfall auch alle anderen Instrumentengruppen, um Klangfarbe, Intonation, Timing, Artikulation und Phrasierung synchronisieren zu können. Für Solisten ist darüber hinaus ein gewisses Feedback des Saales wichtig. Man kann sagen: Eine gute Konzertsaalakustik beginnt mit einer guten Podienakustik.

### Zielsetzung

Ziel dieser Untersuchung ist die Suche nach einer Messgröße, die mit der Beurteilung der Podiumsakustik durch die Musiker korreliert.

### Methode

Welche akustischen Podiumseigenschaften bevorzugt werden, kann beantwortet werden durch Korrelation von subjektiven Qualitätsurteilen zu gemessenen akustischen Parametern.

Auf der DAGA '05 wurden Messungen von den Podien von über 20 europäischen Konzertsälen vorgestellt, bei welchen Impulsantworten (gemessen mit ‚omnidirektionalem‘ Dodekaedermesslautsprecher und weißem Spektrum im unbesetzten Saal, da auch dann Podien funktionieren müssen) auf äquivalenten standardisierten Podiums-Messpfaden (S1-M1 und S1-M3) erfasst werden konnten (siehe Abbildung 1):

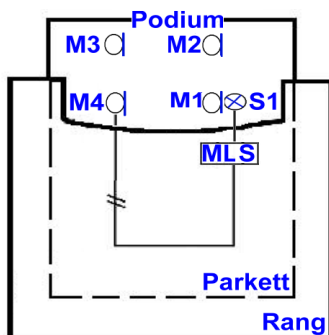


Abbildung 1: Standardmesspositionen auf den Podien

Um die subjektiven Urteile der Ausübenden über die akustische Eignung der Podien ihrer Säle zu erfassen, wurde eine Befragung der Orchester vorgenommen, die regelmäßig in den gemessenen Sälen spielen, wobei sich die Orchester auf Antworten einigen mussten, s. Tabelle 1:

Frage	Fragebogen zur Podienakustik der Tonhalle Zürich, Tonhalle-Orchester besetzt / unbesetzt	Erstklassig	Sehr gut	Gut	Schlecht	Sehr schlecht	Katastrophal
1	Wie gut finden Sie die allgemeine Akustik Ihres Saales?	X				X	
2	Wie gut finden Sie die Akustik auf dem Podium Ihres Saales?	X				X	
3	Wie gut hören Sie sich/Ihr Instrument selbst? S1-M1		X			X	
4	Wie gut hören Sie Ihre eigene Instrumentengruppe? S1-M1			X		X	
5	Wie gut hören Sie die Instrumente/Stimmgruppen von der anderen Bühnenseite? S1-M4			X		X	
6	Wie gut hören Sie die Instrumente vom vorderen Bühnenrand, wenn Sie selbst hinten sitzen (bzw. umgekehrt)? S1-M2		X		X		
7	Wie gut hören Sie den Klang aus dem Saal zurück? S1-M1	X			X		
8	Wie gut unterstützt der Saal Ihr Spiel? S1-M1	X			X		

Tabelle 1: Beispiel eines ausgefüllten Fragebogens

Die aus jeweils analog gewählten Messpfaden resultierenden akustischen Parameter wurden sodann mit den Urteilen der dort regelmäßig spielenden Orchester korreliert.

### Hypothese

Als mit einer als gut beurteilten Qualität sehr gut korreliert stellte sich der Parameter der Articulation Loss of Consonants ( $AL_{cons}$ ) heraus. Diese Tendenz legt nahe, dass eine von Musikern übereinstimmend als gut beurteilte Podienakustik mit einer guten Sprachverständlichkeit in einem engem Zusammenhang stehen könnte, repräsentiert durch niedrige Werte des Indikators  $AL_{cons}$ .

Diese Hypothese wurde nun anhand der Auswertung der übrigen Messpfade der erfassten Säle (S1-M2) und (S1-M4) und Korrelation der Mittelungen von Einzelbefragungen mit Platz-für-Platz Messungen auf den Podien zweier der Konzertsäle (De Dolen 08 und De Singel) geprüft.

### Auswertung

Aus allen gemessenen Podienimpulsantworten wurden mittels eines speziell geschriebenen Programmskriptes die folgenden, über die Oktavbänder 500 bis 2000 Hz gemittelten akustischen Parameter berechnet:  $T_{30}$  (Nachhallzeit), EDT (Early Decay Time),  $T_{center}$  (Schwerpunktzeit),  $C_{80}$  (Klarheitsmaß),  $D_{50}$  (Deutlichkeit), ST1, ST2 (Support), EEB (Early Energy Balance), sowie STI und  $AL_{cons}$ , berechnet nach Peutz 88[4]:

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

## Ergebnisse

Für die untersuchten Messpfade sind die Ergebnisse nach Musikerurteilen und  $AL_{\text{cons}}$ -Werten sortiert dargestellt:

Stadt	Saal	EDT /s	$C_{80}$ /dB	Dir/rev /dB	ST1 /dB	ST2 /dB	$AL_{\text{cons}}$ /%
Köln	WDR Saal	0,7	13,2	10,6	-15,0	-12,7	2,4
Amsterdam	Concertgebouw	0,1	15,2	13,2	-18,6	-15,8	3,1
Hamburg	Musikhalle	0,1	14,3	11,6	-15,7	-13,3	3,2
Rotterdam	De Doelen 08	0,1	16,3	14,5	-17,1	-15,3	3,5
Basel	Stadtcasino	0,1	13,8	10,4	-15,7	-13,4	3,3
Zürich	Tonhalle (bes.)	0,2	12,2	9,7	-14,1	-11,9	3,8
Antwerpen	De Singel	0,1	15,0	12,9	-15,3	-13,5	4,1
Zürich	Tonhalle (unb.)	0,5	11,1	9,3	13,9	-11,7	4,1
München	Herkulesaal	0,5	10,9	8,9	-11,2	-9,5	4,8
<b>Mittelwert</b>	<b>Gut</b>	<b>0,3</b>	<b>14,5</b>	<b>11,4</b>	<b>-15,5</b>	<b>-13,5</b>	<b>3,3</b>
<i>Mittelwert</i>	<i>Nicht optimal</i>	<i>0,9</i>	<i>10,4</i>	<i>8,1</i>	<i>-11,8</i>	<i>-9,8</i>	<i>4,5</i>

Tabelle 2: Messpfad S1-M1, Kontakt; **grün**: gut, **rot**: nicht optimal

Stadt	Saal	$T_{30}$ /s	EDT /s	$D_{50}$ /%	$T_{\text{center}}$ /ms	STI	$AL_{\text{cons}}$ /%
Zürich	Tonhalle (bes.)	2,4	1,5	85	36	0,77	4,0
Zürich	Tonhalle (unb.)	3,1	2,5	74	71	0,67	4,4
Basel	Stadtcasino	2,2	2,0	76	56	0,69	5,5
Düsseldorf	Tonhalle (neu)	2,4	1,9	81	45	0,68	5,7
Antwerpen	De Singel B	1,9	1,7	74	58	0,69	5,7
München	Herkulesaal	2,2	2,0	62	78	0,65	5,8
Hamburg	Musikhalle	1,9	1,8	53	90	0,65	6,3
Köln	WDR Saal	2,3	1,7	40	110	0,58	7,8
Rotterdam	De Doelen 08	2,3	2,3	54	102	0,59	8,1
Amsterdam	Concertgebouw	2,5	2,5	50	122	0,56	8,8
Hilversum	Studio MCO 5	2,5	2,6	30	175	0,53	11,2
<b>Mittelwert</b>	<b>Gut</b>	<b>2,2</b>	<b>1,9</b>	<b>67</b>	<b>69</b>	<b>0,7</b>	<b>5,9</b>
<i>Mittelwert</i>	<i>Nicht optimal</i>	<i>2,7</i>	<i>2,4</i>	<i>58</i>	<i>103</i>	<i>0,6</i>	<i>7,8</i>

Tabelle 3: Messpfad S1-M2; **grün**: gut, **rot**: nicht optimal

Stadt	Saal	$T_{30}$ /s	EDT /s	$C_{80}$ /dB	$T_{\text{center}}$ /ms	STI	$AL_{\text{cons}}$ /%
Antwerpen	De Singel B	1,8	1,9	1,0	117	0,55	7,5
Rotterdam	De Doelen 08	2,3	2,4	2,4	103	0,58	8,2
Zürich	Tonhalle (bes.)	2,4	2,1	1,0	118	0,57	8,3
Hamburg	Musikhalle	1,9	1,9	0,4	120	0,59	8,4
Basel	Stadtcasino	2,3	2,1	-0,1	134	0,53	9,6
Amsterdam	Concertgebouw	2,7	2,4	-1,4	150	0,53	9,7
Zürich	Tonhalle (unb.)	3,2	2,9	0,4	150	0,57	9,8
München	Herkulesaal	2,2	2,1	0,0	135	0,54	11,8
<b>Mittelwert</b>	<b>Gut</b>	<b>2,1</b>	<b>2,1</b>	<b>1,3</b>	<b>112</b>	<b>0,60</b>	<b>7,9</b>
<i>Mittelwert</i>	<i>Nicht optimal</i>	<i>2,7</i>	<i>2,5</i>	<i>0,5</i>	<i>136</i>	<i>0,60</i>	<i>10,5</i>

Tabelle 4: Messpfad S1-M3; **grün**: gut, **rot**: nicht optimal

Stadt	Saal	$T_{30}$ /s	EDT /s	$T_{\text{center}}$ /ms	ST2 /dB	STI	$AL_{\text{cons}}$ /%
Zürich	Tonhalle (bes.)	2,4	2,0	86	-1,6	0,64	5,7
Basel	Stadtcasino	2,2	2,1	106	0,4	0,56	6,7
Düsseldorf	Tonhalle (neu)	2,6	1,9	84	-1,1	0,61	6,9
Zürich	Tonhalle (unb.)	3,1	2,6	112	-1,2	0,62	7,0
Köln	WDR Saal	2,2	2,2	114	1,5	0,58	7,2
Hamburg	Musikhalle	1,9	1,9	118	2,9	0,57	7,4
Amsterdam	Concertgebouw	2,6	2,3	120	0,2	0,59	7,8
Rotterdam	De Doelen 08	2,4	2,4	130	1,1	0,54	8,2
Antwerpen	De Singel	1,9	1,8	121	6,4	0,52	8,4
Hilversum	Studio MCO5	2,5	2,4	122	2,0	0,57	9,7
<b>Mittelwert</b>	<b>Gut</b>	<b>2,1</b>	<b>2,0</b>	<b>107</b>	<b>2,0</b>	<b>0,60</b>	<b>7,5</b>
<i>Mittelwert</i>	<i>Nicht optimal</i>	<i>2,7</i>	<i>2,4</i>	<i>121</i>	<i>0,7</i>	<i>0,60</i>	<i>8,5</i>

Tabelle 5: Messpfad S1-M4; **grün**: gut, **rot**: nicht optimal

„Sich-selbst-Hören“ (Pfad S1-M1, Verständlichkeit): Bei den hier als gut bewerteten Podien ist im Pfad S1-M1 ist der Wert für den Parameter  $AL_{\text{cons}} < 4\%$ , bei den nicht als optimal bewerteten Podien der  $AL_{\text{cons}} > 4\%$ .

„Vorne nach hinten hören (u. vice versa)“ (Pfad S1-M2): Bei fast allen hier als gut bewerteten Podien mit einer Ausnahme ist  $AL_{\text{cons}} < 8\%$ , die als nicht optimal bewerteten Podien weisen Werte des Indikators von  $AL_{\text{cons}} > 8\%$  auf.

„Die-anderen-Hören“ (diagonaler Messpfad S1-M3): Insbesondere hier gibt es Kontaktprobleme mit den Instrumenten diagonal von der anderen Bühnenseite: Bei beinahe allen als gut bewerteten Podien ist  $AL_{\text{cons}} < 9\%$ , bei den als nicht optimal bewerteten Podien ist  $AL_{\text{cons}} > 9\%$ .

„Die Instrumente der anderen Bühnenseite hören“ (Messpfad S1-M4):

Hier kann es insbesondere bei breiten Podien Probleme geben, die Instrumente von der anderen Bühnenseite zu hören: Bei den als gut bewerteten Podien ist  $AL_{\text{cons}} < 10\%$ , bei den als nicht optimal bewerteten Podien ist  $AL_{\text{cons}} > 9\%$ .

„Den Saal hören“ (Messpfad S1-M1, Feedback):

Hier korrelieren die Parameter EDT und  $T_{\text{center}}$  am besten mit den Urteilen, was mit der zeitlichen Verdeckung der Saalantwort durch die Abklingkurve der durch das eigene Instrument erzeugten Klänge erklärt werden kann.

## Zusammenfassung

Die Ergebnisse zeigen, dass von Einzelmusikern und von gesamten Orchestern als gut beurteilte Podienakustiken für den Aspekt der Kommunikation untereinander für alle betrachteten Messpfade korrelieren mit guten Werten des Sprachverständlichkeitsindikators  $AL_{\text{cons}}$ , sofern die Impulsantworten nicht echobehaftet sind. Zusammen mit  $T_{30}$  und EDT kann der messbare Indikator für die Sprachverständlichkeit  $AL_{\text{cons}}$  als ein Kriterium für die Eignung von Podienakustiken bezüglich des Kontakts der Musiker untereinander betrachtet werden. Mit omnidirektionaler Quelle gemessen, sollten die Werte dieses Indikators möglichst auf dem gesamten Podium unterhalb von 9 % bleiben, in 1 m Abstand von der Quelle unter 4 %.

*Besonderer Dank gilt Herrn Dipl.-Phys. Stefan Ostrowski für seine tatkräftige Hilfe bei den Messungen der Konzertsäle.*

## Literatur

- [1] The Acoustical Conditions preferred for Ensemble, A. H. Marshall et al., J. Acoust. Soc. Am. 64 (5), Nov. 1978
- [2] Subjective Room Acoustic Experiments With Musicians, A. C. Gade, Technical University of Denmark, Lyngby, 1982
- [3] Modulation Transfer and Ensemble Music Performance, G. M. Naylor, ACUSTICA Vol. 68 (1988)
- [4] Speech information and speech intelligibility, V. M. A. Peutz, AES Convention 1988
- [5] Objektive Erforschung der Podiumsakustik Europäischer Konzertsäle, K.-H. Lorenz, R. Metkemeijer, St. Mercier, in: Fortschritte der Akustik, Daga '05, München, 2005
- [6] Stage acoustics – Literature review, J. J. Dammerud, University of Bath, November 2006