## Klaus - Hendrik LORENZ, Rob METKEMEIJER [PEUTZ GmbH/bv]

### Objektive und subjektive Erforschung der Aufnahmeakustik europäischer Konzertsäle

# Objective and Subjective Evaluation of the Recording Acoustics of European Concert Halls

## Beitrag zur 23. Tonmeistertagung Leipzig 2004

## Inhalt:

Einleitung	1
Zielsetzung	2
Messorte	2
Messverfahren und Durchführung der Messungen	5
Auswertung und objektive Parameter	6
Untersuchung von Musikaufnahmen nicht mehr existierender Säle	9
Subjektive Qualitätsbeurteilung durch Hörtests	10
Danksagung	11
Literaturangaben	11

## **Einleitung**

Immer wieder hat es sich in der Geschichte der Aufnahmetechnik herausgestellt, dass bestimmte für Aufnahmen verwendete Räumlichkeiten ganz spezielle akustische Eigenschaften besitzen und somit ein Instrument darstellen, dessen Klang auch von Hörern in Konzerten geschätzt und von Tonmeistern in Schallaufnahmen konserviert wird.<sup>18,31</sup>

Hierunter sind besonders die Jesus-Christus-Kirche in Berlin-Dahlem zu erwähnen, die, seit Furtwängler in ihr einen Ersatz für die im zweiten Weltkrieg zerstörte Alte Berliner Philharmonie fand, beinahe wöchentlich für Aufnahmen verwendet wird, die Dvořák Hall des Rudolfinums in Prag, die gewissermaßen das Heimatstudio der Supraphon darstellt, der Große Sendesaal des WDR in Köln, in dem Musik verschiedenster Stile und Kulturen aufgeführt und aufgenommen wird, und natürlich der Große Saal des Musikvereins in Wien, der ja auch in dem Ruf steht, einer der besten Konzertsäle zu sein<sup>34, 35</sup> (und deshalb wie jeder wegen seiner Akustik berühmte Konzertsaal bereits viel für Aufnahmen eingesetzt wird, da viele Ausführenden eine natürliche Akustik für ihre Interpretationen bevorzugen).

Nicht erst mit der Entwicklung des Raumtypus "Konzertsaal" in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts ist es berechtigt, von dem Raum als Instrument zu sprechen, da die Klangwirkung der Räume, in denen Musik aufgeführt wurde, für die Mehrzahl der Komponisten bei der Komposition und Aufführung ihrer Werke berücksichtigt bzw. gewünscht wurde.

Warum bestimmte Räume für die Aufführung von Musik im allgemeinen und für Aufnahmen im besonderen bevorzugt werden, welche *akustischen* Eigenschaften dafür verantwortlich sind, kann nur durch die Korrelation von subjektiven Präferenzurteilen zu gemessenen akustischen Parametern beantwortet werden.<sup>6, 7, 11-12</sup>

Im Rahmen einer laufenden Dissertation am Institut für Phonetik der Universität zu Köln zum Themenbereich "*Sprachverständlichkeit und Hörsamkeit in europäischen Konzertsälen*" ergab sich die Möglichkeit, in den Jahren 2000 bis 2004 akustische Messungen diverser Aufnahmeräume und (zum Teil berühmter) europäischer Konzertsäle vorzunehmen.<sup>3, 20, 21</sup>

Dabei gelang es, Impulsantworten (mit nahezu identischer Ausrüstung und Einstellungen) nicht allein an typischen Hörerplätzen zu messen, sondern darüber hinaus auch an möglichen Hauptmikrophonpositionen all dieser Räume und Säle, welche für den potentiell möglichen Klang dieser Räume in Aufnahmen als maßgeblich angesehen werden können.

## **Zielsetzung**

In dieser Studie soll untersucht werden, ob es Tendenzen für eine ideale oder optimale Aufnahmeakustik in Konzertsälen gibt - abgesehen von der Tatsache, dass im Prinzip jedes Musikstück in dem Raum am besten klingt, den sich der Komponist für eine Aufführung vorstellte - oder mehrere disjunkte Geschmacksrichtungen (z. B. Dirigenten – Tonmeister – Musikkonsumenten). Man denke hierbei vor allem an die geschmacksbildenden Aufnahmen Herbert von Karajans mit den Berliner Philharmonikern der 1960er Jahre, die in der Mehrzahl in jener bereits erwähnten Jesus-Christus-Kirche stattfanden, oder an die akustisch so anders klingenden Aufnahmen unter der Leitung Arturo Toscaninis aus dem NBC-Studio 8h.

Was solche Klangeigenschaften ausmacht, welche akustischen Parameterwerte oder Wertebereiche bevorzugt werden, soll ein subjektiver Vergleichshörtest<sup>19, 30</sup> versuchen zu klären, zu dem hier eingeladen wird.

### Messorte

In Abbildung 1 und Tabelle 1 sind die verschiedenen Messorte vorgestellt.<sup>2, 4, 8, 17, 20, 22, 27, 32</sup> Die Auswahl dieser Räume beansprucht keinesfalls Vollständigkeit; sie ist insofern getroffen, als versucht wurde, viele unterschiedliche historische bzw. etablierte Konzertsäle im mitteleuropäischen Raum messtechnisch zu erfassen. So ist leider die Messung weiterer gewiss auch hochinteressanter Säle bislang rein terminlich und organisatorisch nicht gelungen (etwa Philharmonie Berlin, Liederhalle Stuttgart, Usher Hall Edinburgh, "Glocke" Bremen). Die Einbeziehung der Dvořák Hall in Prag, des Gewandhaus in Leipzig und der Jesus-Christus-Kirche in Berlin geschah bewusst auf Anregung durch den Klang bekannter Aufnahmen hin;

der Klang anderer Säle war durch eigene Tonaufnahmen (Tonhalle Düsseldorf, Aula Universität zu Köln, St. Aposteln Köln, Ev. Stadtkirche Wermelskirchen, Goederenbeurszaal in der Beurs van Berlage, Amsterdam, Studio MCO5, Hilversum) bzw. Konzertbesuche (Großer Funkhaussaal des WDR Köln) bekannt.

In den Aufnahmeräumen und Konzertsälen wurden Impulsantworten an möglichen Hauptmikrophonpositionen gemessen, die sich der bekannten Faustregel gemäß ca. 1m hinter und 1m über der gedachten Dirigentenkopfposition befanden.

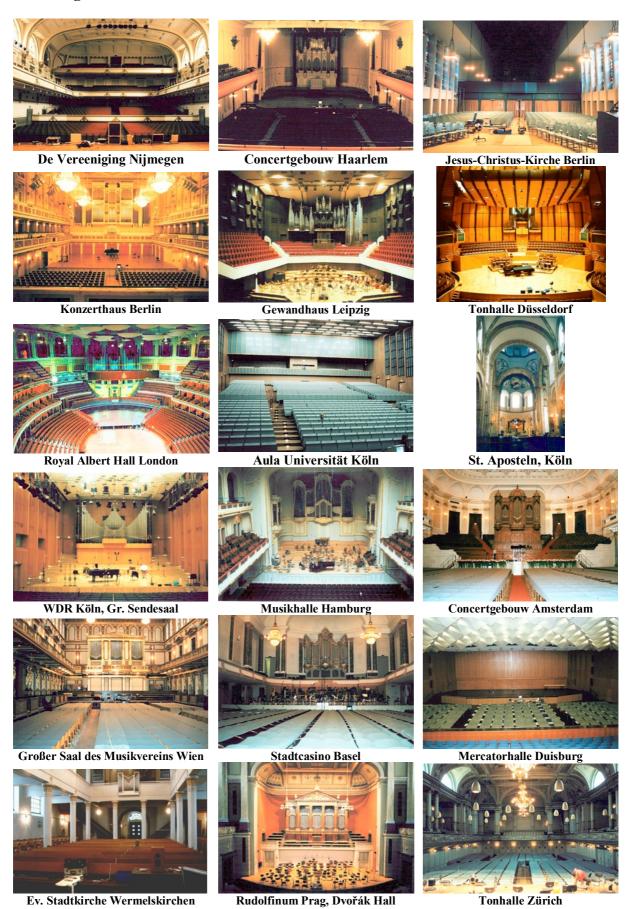
Die 26 gemessenen Räume wurden im unbesetzten Zustand gemessen. Darüber hinaus wurde bei elf Räumen eine Teilbesetzung mit Publikum mittels eines längs über die Sitze ausgelegten speziellen Polyesterstoffes simuliert, welcher eine mit einem durchschnittlichem Publikum vergleichbare Absorption besitzt, und auch in diesem Zustand gemessen. <sup>16,3</sup>

 Tabelle 1:
 Messtechnisch erfasste Aufnahmeräume und Konzertsäle

Stadt	Saal	Messdatum	Besetzung*	Mikrophon	Abstand r/m	# Plätze	$V/m^3$	V Spez m <sup>3</sup> /#
Nijmegen	De Vereeniging	06-06-00	U	4007	6.4	1200	12000	10,0
Haarlem	Concertgebouw	29-06-00	U	4007	9.5	1200	8000	6,7
Berlin	Jesus-Christus-Kirche	26-07-00	U	M296	9.0	ca. 300	10000	30,0
Berlin	Konzerthaus	27-07-00	U	M296	7.4	1575	15000	9,5
Leipzig	Gewandhaus	28-07-00	U	M296	4.4	1900	21000	11,1
Düsseldorf	Tonhalle	29-07-00	U	M296	3.9	2200	17000	7,7
London	Royal Albert Hall	06-08-00	U	M296	11.0	6080	86650	14,3
Köln	Aula Universität	16-03-01	U	M93	4.8	1100	ca.8000	7,3
Köln	St. Aposteln	16-03-01	U	K4	6.2	ca. 600	>30000	>40,0
Köln	WDR, Gr. Sendesaal	18-03-01	U	K4	≈ 5.0	700	6800	9,7
Hamburg	Musikhalle	27-03-01	U	M93	5.3	1993	11700	5,9
Amsterdam	Concertgebouw	03-08-01	TB, U	4007	4.6	2037	18780	9,2
Wien	Musikvereinssaal	20-08-01	B, U	M93	5.2	1598	15000	9,4
Basel	Stadtcasino	23-08-01	TB, U	M93	3.1	1448	10500	7,3
Duisburg	Mercatorhalle	24-08-01	TB, U	M93	4.8	1800	12500	6,9
Wermelskirchen	Ev. Stadtkirche	27-10-01	U	K4	5.1	700	ca.4000	5,7
Prag	Dvořák Hall	04-08-02	TB, U	M93	4.5	1104	10000	9,1
Zürich	Tonhalle	06-08-02	TB, U	M93	4.5	1546	11400	7,4
München	Herkulessaal	07-08-02	U	4007	3.6	1321	13950	10,6
Hilversum	Studio MCO5	19-11-02	U	M93	5.0	ca. 200	16000	80,0
Bochum	Audimax Universität	10-02-03	U	4007	4.8	1995	45000	22,6
Bad Kissingen	Regentensaal	22-07-03	TB, U	K4	4.5	936	ca.8000	8,5
Wiesbaden	Kurhaus	23-07-03	TB, U	K4	4.2	1310	12000	9,2
Rotterdam	De Doelen	17-11-03	TB, U	K4	4.6	2242	24070	10,7
London	Royal Festival Hall	25-11-03	TB, U	M93	5.4	2901	21950	7,6
Amsterdam	Beurs van Berlage	18-12-03	B, U	M93	3.8	ca. 1200	30000	25,0

Besetzungszustand: B = mit Publikumssimulation (mehr als ca. 90% der Plätze), TB = mit Publikumssimulation (ca. 65-85 % der Plätze), U = unbesetzt

## Abbildung 1: Innenansichten der Aufnahmeräume und Konzertsäle



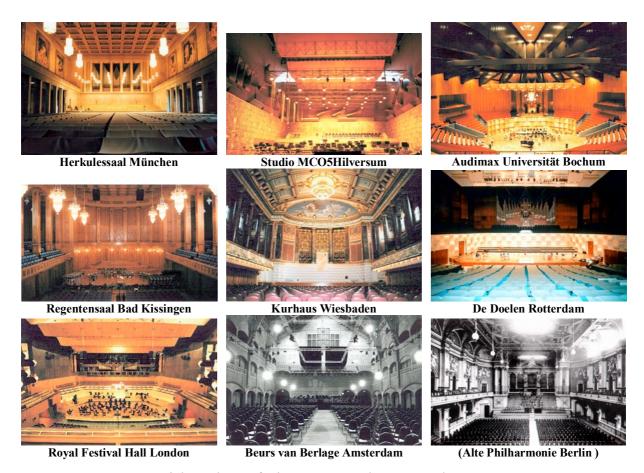


Abbildung 1: Innenansichten der Aufnahmeräume und Konzertsäle

### Messverfahren und Durchführung der Messungen

In den genannten Sälen wurden mit einem PC-gestützten Maximalfolgenmesssystem<sup>25, 26</sup> mit nahezu identischen Komponenten, Verstärkungen und Einstellungen (Maximalfolge der Ordnung 17B und 18B, Fs=44.1 kHz, Auflösung 16 Bit) Impulsantworten gemessen, wobei die Mikrofone sich näherungsweise nahe des Hallradius an möglichen Hauptmikrophonpositionen in ca. 3,85 m Höhe über Parkettniveau ca. 1 m vor dem Podium (saalwärts) befanden. Die Impulsantwortmessungen wurden in AB-Laufzeitstereophonie9 durchgeführt, da für diese Art Messung der raumakustischen Parameter omnidirektionale Mikrophone verwendet werden müssen, um alle Raumteile gleichermaßen zu erfassen.

Die Basisbreite b variiert in Abhängigkeit vom maximalen Schalleinfallswinkel<sup>9</sup> (hier zwischen 27 bis 38 cm); **b** berechnet sich für eine Wiedergabe über präzise Lautsprecher ( $\Delta t = 0.8 \text{ ms}$ )<sup>9</sup>

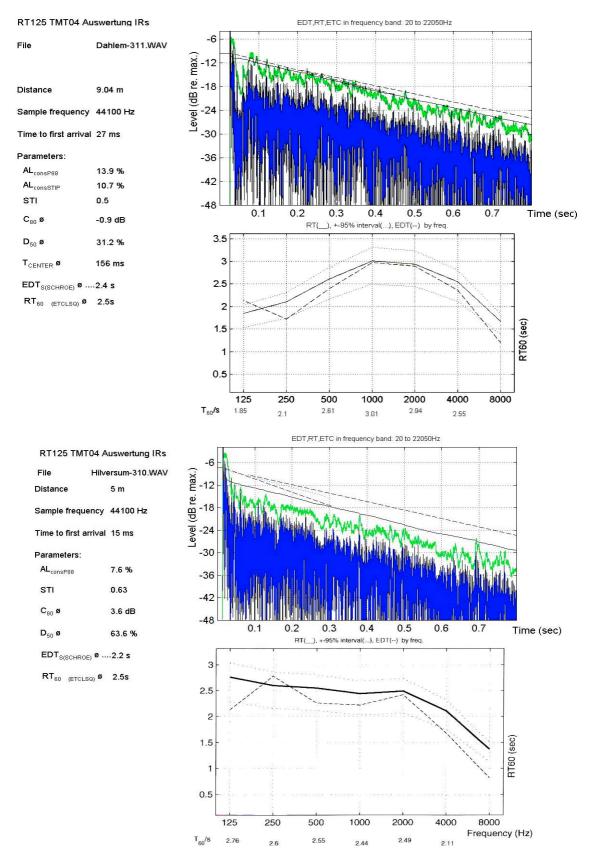
aus: 
$$\Delta t = \frac{\Delta l}{c} = b \cdot \frac{\sin \alpha}{c} \iff b = \frac{\Delta t \cdot c}{\sin \alpha}$$

Die Messabstände **r** der Messmikrophone zu der mittig auf der Bühne platzierten omnidirektionalen Schallquelle sowie die jeweils verwendeten Messmikrophone sind in Tabelle 1 aufgeführt. Als Schallquelle diente ein weitgehend omnidirektionaler Messlautsprecher der Dodekaeder-Bauform, wie er für bau- und raumakustische Messungen

üblich ist.<sup>20</sup> Lautsprecher dieser Bauform sind den alternativ verwendeten Punktschallquellen hinsichtlich ihres breitbandigen Übertragungsbereichs überlegen, welcher für die geplanten Hörtests benötigt wird. Es ist jedoch anzumerken, dass das Problem einer hinreichend omnidirektionalen Messschallquelle mir breitbandigem und hohem Übertragungsmaß generell noch einer Optimierung bedarf.

## Auswertung und objektive Parameter

Mittels eines eigens dafür geschriebenen Auswertungsprogrammskriptes wurden die akustischen Parameter T<sub>30</sub> (Nachhallzeit)<sup>4,8</sup> EDT (Early Decay Time)<sup>4,8</sup>, T<sub>Center</sub><sup>4,8</sup>, C<sub>80</sub> (Clarity)<sup>4,8</sup>, D<sub>50</sub> (Deutlichkeit)<sup>4,8</sup>, STI<sup>33</sup> sowie AL<sub>cons</sub>P<sub>88</sub><sup>33, 34</sup>des jeweils linken Mikrophons dieser Hauptmikrophon-Impulsantworten für die Oktavbänder 63 bis 8000 Hz berechnet. Die über die Oktavbänder 125 bis 4000 Hz gemittelten Ergebnisse sind in Tabelle 2 aufgeführt. Anders, als es für reine Sprachverständlichkeitsmessungen erforderlich ist (mit einem Sprecher vergleichbarer Quelldirektionalität und gemitteltem Sprachspektrum), wurden STI und AL<sub>cons</sub>P<sub>88</sub> ebenfalls aus der mit omnidirektionaler Quelle gemessenen Impulsantwort mit weißem Quellspektrum berechnet. Die Nachhallzeit T<sub>30</sub> wurde über eine Least-Square-Extrapolation der Abnahme der nichtgeglätteten ETC (Energy-Time-Curve) bestimmt, beginnend an dem Zeitpunkt, wo die rückwärtsintegrierte Impulsantwort um 5dB unter ihren Maximalwert abgefallen ist. Aus den ersten 10 dB Pegelabfall der rückwärtsintegrierten Impulsantwort<sup>29</sup> wurde die EDT ebenfalls über eine Least-Square-Extrapolation bestimmt. In Abbildung 2 und 3 werden beispielhaft für die ausgeführten Analysen die resultierenden Graphiken (ETC, berechnete Parameter und EDT/T30 in Abhängigkeit von der Frequenz) für eine Impulsantwort gezeigt, in diesem Fall der Jesus-Christus-Kirche Berlin und des Studios MCO5 Hilversum. In Tabelle 2 ist für die Tonhalle Zürich beispielhaft die Auswertung der Impulsantwort des rechten Mikrophons angegeben, um einschätzen zu können, inwieweit eine kleine Variation der Mikrophonposition von 30 cm sich auf die Parameterwerte auswirken kann. Dagegen ändern sich Höreindruck und die Beurteilung, ob eine gute oder weniger optimale Akustik vorliegt, in der Regel kaum durch eine derartige Variation des Hörortes um ca. einen Sitzplatz.



**Abbildung 2, 3:** ETCs, berechnete Parameter und EDT/T<sub>30</sub> in Abhängigkeit von der Frequenz für die Jesus-Christus-Kirche Berlin und das Studio MCO5 Hilversum

**Tabelle 2:** Ergebnisse der Auswertung der erfassten Aufnahmeräume und Konzertsäle; angegeben sind die Mittelwerte der Parameter aus den 6 Oktavbändern 125 bis 4000 Hz des linken Mikrophons der Hauptmikrophonposition

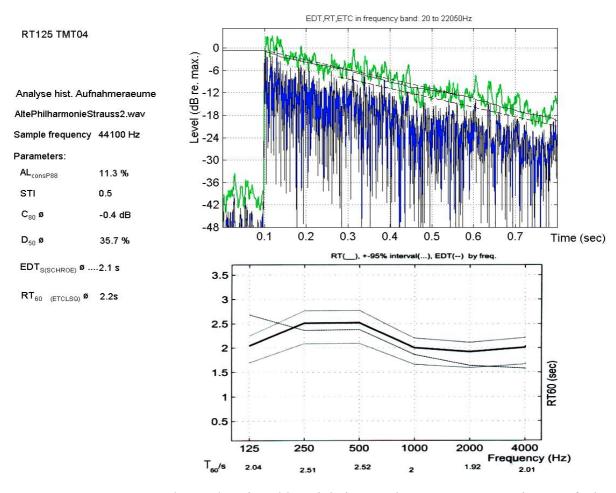
Stadt	Saal	Besetzte Plätze	$V/m^3$	T <sub>30</sub> /s	ED T/s	C <sub>80</sub> /dB	D <sub>50</sub> /%	T <sub>center</sub> /ms	STI	AL <sub>cons</sub> P <sub>88</sub> /%	r /m
Nijmegen	De Vereeniging		12000	2.2	2.1	-1.4	24	144	0.49	11.1	6.4
Haarlem	Concertgebouw		8000	2.4	2.2	-2.5	26	168	0.45	13.6	9.5
Berlin	Jesus-Christus-Kirche		11700	2.5	2.4	-0.9	31	156	0.50	13.9	9.0
Berlin	Konzerthaus		15000	2.7	2.3	1.5	43	121	0.55	8.8	7.4
Leipzig	Gewandhaus		21000	2.2	1.6	6.2	75	54	0.73	4.0	4.4
Düsseldorf	Tonhalle		17000	1.6	1.5	3.6	64	63	0.70	4.3	3.9
London	Royal Albert Hall		86650	2.6	1.7	2.9	45	96	0.58	10.0	11.0
Köln	Aula Universität		Ca.8000	2.1	1.7	2.6	47	92	0.57	9.4	4.8
Köln	St. Aposteln		>30000	7.3	6.5	-3.0	30	309	0.44	24.3	6.2
Köln	WDR, Sendesaal		6800	1.7	1.6	-0.5	40	118	0.52	9.8	≈5.0
Hamburg	Musikhalle		11700	1.9	1.8	5.0	68	70	0.72	4.6	5.3
Amsterdam	Concertgebouw		18780	2.6	2.6	0.4	44	138	0.54	8.6	4.6
	Concertgebouw, TB*	1400	18780	2.2	2.3	4.0	66	81	0.66	5.7	4.6
Wien	Musikvereinssaal		15000	2.9	2.3	1.7	54	118	0.58	9.5	5.2
	Musikvereinssaal, B	1598	15000	2.4	2.0	2.6	59	94	0.60	7.3	5.2
Basel	Stadtcasino		10500	2.3	2.2	4.4	67	75	0.68	5.4	3.1
	Stadtcasino, TB	1400	10500	2.1	2.1	5.1	70	64	0.68	4.7	3.2
Duisburg	Mercatorhalle		12500	2.6	2.6	2.6	56	107	0.58	7.4	4.8
	Mercatorhalle, TB	1500	12500	2.4	2.0	2.6	59	94	0.60	7.3	5.2
Wermelskirchen	Ev. Stadtkirche		Ca.4000	2.3	2.1	1.3	49	117	0.56	9.7	5.1
Prag	Dvořák Hall		10000	2.7	2.5	3.3	63	94	0.64	6.7	4.5
	Dvořák Hall, TB	750	10000	2.5	1.9	7.3	80	53	0.72	5.4	4.5
Zürich	Tonhalle (linker K.)		11400	3.2	3.0	2.1	53	126	0.60	7.9	4.5
	Tonhalle (rechter K.)		11400	3.3	3.0	1.5	49	135	0.58	8.6	4.4
	Tonhalle, TB	1200	11400	2.5	2.1	4.3	64	83	0.69	5.3	4.1
München	Herkulessaal		13950	2.1	1.8	5.1	71	64	0.69	6.2	3.6
Hilversum	Studio MCO5		16000	2.5	2.2	3.6	64	91	0.63	7.6	5.0
Bochum	Audimax Universität		45000	2.3	1.9	6.0	62	69	0.72	5.2	4.8
Bad Kissingen	Regentensaal		Ca.8000	1.7	1.3	3.2	56	70	0.62	6.1	4.5
	Regentensaal, TB	800	Ca.8000	1.5	1.2	3.4	57	66	0.63	5.7	4.5
Wiesbaden	Kurhaus		12000	2.1	2.0	2.2	51	99	0.57	8.0	4.2
	Kurhaus, TB	1000	12000	1.9	1.8	2.5	53	90	0.58	7.5	4.2
Rotterdam	De Doelen		24070	2.2	1.8	5.7	71	59	0.71	5.2	4.6
	De Doelen, TB	1800	24070	2.1	1.7	6.9	76	48	0.75	4.8	4.4
London	Royal Festival Hall		21950	1.5	1.2	7.8	76	39	0.77	3.7	5.4
	R. Festival Hall, TB	1900	21950	1.4	1.0	7.3	69	45	0.72	4.3	5.9
Amsterdam	Beurs van Berlage		30000	3.3	2.6	5.5	72	82	0.72	5.6	3.8
	Beurs van Berlage, B	1000	30000	3.0	2.2	5.8	70	76	0.71	5.9	4.0

<sup>\*</sup> Besetzungszustand: B = mit Publikumssimulation (mehr als ca. 90% der Plätze), TB = mit Publikumssimulation (ca. 65-85 % der Plätze)

## Untersuchung von Musikaufnahmen nicht mehr existierender Säle

Darüber hinaus wurden versuchsweise auch ausgewählte Orchesterimpulsschallsegmente aus Musikaufnahmen bereits nicht mehr existierender Konzertsäle (wie etwa der alten Berliner Philharmonie, oder der Kingsway Hall London) mit diesem Programmskript untersucht, um so zumindest auf die Nachhallzeit am Hauptmikrophonort jener Aufnahmen Rückschlüsse ziehen zu können. Dabei muss beachtet werden, dass nur geeignete Impulssegmente analysiert werden, d.h. solche, wo eine breitbandige Anregung erfolgt, wo keine Instrumente (z.B. Pauken) hörbar nachklingen, und kein grundtöniger oder tonaler Charakter vorliegt. 13, 14

In Abbildung 4 werden beispielhaft die resultierenden Graphiken (ETC und EDT/T30 in Abhängigkeit von der Frequenz) für ein Impulsschallsegment aus einer Aufnahme aus der Alten Berliner Philharmonie gezeigt.



**Abbildung 4:** ETCs und EDT/T<sub>30</sub> in Abhängigkeit von der Frequenz aus einer Aufnahme aus der alten Berliner Philharmonie

Eine Mittelung der Ergebnisse mehrerer Impulssegmente erlaubt die näherungsweise Bestimmung der Frequenzabhängigkeit der Nachhallzeit, bei verschiedenen Aufnahmen u.U. auch der Variation in Abhängigkeit von der Besetzung des Raumes. Inwieweit die Bestimmung der anderen Parameter aus solchen Impulsschallsegmenten gelingen kann, muss noch näher

untersucht werden, zumal der Direktschallanteil der verschiedenen Instrumente kein Dirac-Impuls ist und durchaus zeitversetzt am Mikrophonort ankommen kann.

## Subjektive Qualitätsbeurteilung durch Hörtests

Die 38 an den Hauptmikrophonorten in den 27 Aufnahmeräumen und Konzertsälen gewonnenen Stereo-Impulsantworten stehen nun in Form von CDs einer subjektiven Qualitätsbeurteilung mit Hilfe von vergleichenden Sprachverständlichkeits- und Präferenzhörtests zur Verfügung. 5, 6, 7, 11, 12, 17, 28, 30

Natürlich können bereits diese Impulsantworten auditiv miteinander verglichen werden; jedoch bietet sich diese Form des Hörvergleichs nur für Testpersonen an, die bereits über eine große Hörerfahrung mit Impulsantworten verfügen.

Aus der Überlegung heraus, dass hier die Präferenzen für den Klang von Musik in Tonaufnahmen untersucht werden soll, sollten die zu vergleichenden Stimuli musikalischer Natur sein. Bislang wurde dies z.B. mit realen Aufnahmen<sup>7, 30</sup> oder künstlichen simulierten Schallfeldern versucht, wobei die realen Aufnahmen kein identisches Anregungssignal liefern und künstliche, kontrollierte Schallfelder oft nicht natürlich klingen.

Hier nun soll nachhallarm aufgenommene Musik<sup>15</sup> und Sprache als konstante Quellsignale gefaltet mit den gemessenen Impulsantworten den Testpersonen als Stimuli zur qualitativen Beurteilung präsentiert werden. Die Länge der Stimuli sollte ca. 15 sec. nicht überschreiten, damit der Klang des vorhergehenden Beispiels noch im Kurzzeitgedächtnis präsent ist, während bereits das folgende Beispiel abgehört wird.<sup>11,12</sup> So können auch minimale Klangunterschiede identifiziert werden. Da die Teilnehmer keine Information darüber haben, um welchen Aufnahmeraum es sich jeweils handelt, stellt dies einen Blindtest dar.

Die hallarm aufgenommene Musik stammt aus einer Einspielung des Osaka Philharmonic Orchestra in einem akustisch extrem gedämmten Raum.<sup>15</sup>

Etwaige aus diesen Tests gewonnene Aussagen werden genau genommen nur für das verwendete Musikstück gelten. Andererseits wurde versucht, unter den zur Verfügung stehenden nachhallarm aufgenommenen Aufnahmen dasjenige auszuwählen, welches am wenigsten charakteristisch für einen Stil oder eine Epoche ist (weshalb vokal-, hochromantische, neue und alte Musik als weniger geeignet erachtet werden). Eine solche Auswahl muss zwangsläufig immer ein Kompromiss bleiben. 18,7

Trotz der Tatsache, dass die Impulsantworten mit einer einzigen, mittig platzierten Schallquelle gewonnen wurden, lässt sich bei Lautsprecherwiedergabe ein weithin natürliches Klangbild realisieren, welches die Testpersonen über die Ihnen zu Verfügung stehende Wiedergabeanlage beurteilen sollen.

Natürlich lässt sich gegen ein solches Prozedere einwenden, dass jeder Testhörer über eine andere Abhöreinrichtung verfügt. Andererseits hat auch jeder Proband seine eigenen Ohren, Hörerfahrungen und Vorlieben. Daher wird hier davon ausgegangen, dass jede Testperson in diesem Rahmen eine geeignete Wiedergabeeinrichtung bei den Hörtests verwendet.

Die Testhörer sollen durch individuelles, vergleichendes Hören der Klangbeispiele eine Präferenzliste aufstellen, in welche qualitative Reihenfolge sie diese 37 Klangbeispiele einordnen. Dazu dient ein den Test-CDs beiliegender Fragebogen,<sup>6, 17</sup> der darüber hinaus noch Fragen zu weiteren Angaben enthält (etwa Alter, Beruf, verwendete Abhöranlage etc.). Die Auswertung dieser Präferenzlisten soll statistisch erfolgen und anschliessend mit den analysierten Werten und Wertebereichen der akustischen Parameter der gemessenen Impulsantworten korreliert werden.<sup>5, 12, 19, 30</sup>

Für eine statistische Relevanz der Auswertung wird natürlich eine möglichst hohe Anzahl Testteilnehmer benötigt. Es wäre interessant, im Rahmen der nächsten Tonmeistertagung über die Ergebnisse der Auswertung dieser Hörtests berichten zu können.

### **Danksagung**

Besonderer Dank gilt neben der Unterstützung durch die Verwaltungen aller Konzertsäle und Aufnahmeräume vor allem der Tschechischen Philharmonie, Frau Christine Kierakiewitz und Herrn Stefan Ostrowski für ihre tatkräftige Hilfe bei den Messungen all dieser Konzertsäle.

## Literaturangaben

- 1 Beranek, L.L. Rating of Acoustical Quality of Concert Halls, 4<sup>th</sup> ICA, Copenhagen, 1962
- 2 Beranek, L.L. Concert and Opera Halls. How they sound, 1996
- 3 Breuer, F., Simulation des Publikums durch spezielle Polyester-Textilien bei der raumakustischen Lorenz, K.-H. Messung von Konzertsälen in der Praxis, DAGA Fortschritte der Akustik, Aachen, 2003
- 4 Cremer, L. Die wissenschaftlichen Grundlagen der Raumakustik, Bd. I, Hirzel, Stuttgart, 1978
- 5 Eysholdt, U. Subjektive Untersuchungen an digitalen Nachbildungen von Schallfeldern aus Konzertsälen Diss., Univ. Göttingen, 1976
- 6 Farina, A. Acoustic quality of theatres: correlations between experimental measures and subjective evaluations, Applied Acoustics 62, 2001
- 7 Fasold, W. et al. Subjektive Tests über den Einfluß unterschiedlicher Saalformen auf die raumakustischen Kriterien von 3 Zuhörersälen bei Lautsprechereinspiel, DAGA Fortschritte der Akustik, 1992
- 8 Gade, A.C. Acoustical survey of eleven European concert halls, TU Denmark Rep. no.44, Lyngby 1989
- 9 Gernemann, A. Meßtechnische Untersuchung der akustischen Vorgänge beim natürlichen Hören im Vergleich zu den Vorgängen bei der Laufzeit- und "Intensitäts"-Stereophonie, Aachen, 1995
- 10 Heike, G. Das gemeinsame Klangideal von Belcanto und altitalienischen Geigen, in: Festschrift zum 90jährigen Jubiläum der Sprechwissenschaft in Halle. Hallesche Schriften zur Sprechwissenschaft und Phonetik. Bd. 3. 1997
- 11 Heike, G. Listener's judgements and acoustic properties of violins, Proceedings of the Institute of Acoustics, Vol. 19, Edinburgh 1997
- 12 Heike, G. Untersuchungen zu objektiven und subjektiven Klangeigenschaften von Singstimmen und Streichinstrumenten, DFG-Projektabschlussbericht Az. He 434/28-1, 1998
- 13 Hansen, M. et al. Messung der Nachhallzeit mit Musik, DAGA Fortschritte der Akustik, 1992
- 14 Hansen, M. et al. Untersuchung zur Bestimmung der Nachhallzeit mit Musiksignalen,
  DAGA Fortschritte der Akustik, 1993

- 15 Hidaka, T. et al. Recording of Anechoic Orchestral Music and Measurement of Its Physical Characteristics Based on Auto-Correlation Function, Acustica, Vol. 67 (1988)
- 16 Hidaka, T. et al. Relation of acoustical parameters with and without audiences in concert halls ans a simple method for simulating the occupied state JASA 109 (3) March 2001
- 17 Kahle, E. Validation d'un modele objectif de la perception de la qualite acoustique dans un ensemble de salles de concerts et d'operas, Diss. IRCAM, Paris 1995
- 18 Kuhl, W. Über Versuche zur Ermittlung der günstigsten Nachhallzeit großer Musikstudios, Acustica, Vol. 4, 1954
- 19 Lehmann, P. Über die Ermittlung Raumakustischer Kriterien und deren Zusammenhang mit subjektiven Beurteilungen der Hörsamkeit, Diss. TU Berlin, 1976
- 20 Lorenz, K.-H. Development of new Auralization Techniques in Room Acoustics based upon Binaural Impulse Responses", Diploma Thesis, Universität Düsseldorf, 2000
- 21 Lorenz, K.-H. Acoustical measurements in the Dvořák Hall of the Rudolfinum, Praha, Rudolfinum Revue, Frühjahr 2003
- 22 Paulussen, D. Strawinsky-Interpretationen 1946-1985. Ein Verzeichnis (west-)deutscher Rundfunkaufnahmen, 1985
- 23 Peutz, V.M.A. Sprachverständlichkeit und Informationsübertragung, DAGA Fortschritte der Akustik, 1978
- 24 Peutz, V.M.A. Speech information and speech intelligibility, 85th. AES Conv. Los Angeles 1988
- 25 Rife, D.D. et al. Transfer-Function Measurement with Maximum-Length Sequences, J. Audio Eng. Soc. 37, 1989
- 26 Schröder, M.R. New Method of Measuring Reverberation time, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 37, 1965
- 27 Schröder, M.R. Comparative Study of European concert halls: correlation of subjective preference with geometric and acoustic parameters, J. acoust. Soc. Am., Vol. 56, 1974
- 28 Schröder, M.R. Untersuchung zur Bestimmung subjektiv relevanter Beurteilungskriterien von Schallfeldern, insbesondere in Konzertsälen, Jahresber. 3. Phys. Inst. Univ. Göttingen, 1976
- 29 Schröder, M.R. Integrated-impulse method measuring sound decay without using impulses, J. Acoust. Soc. Am. 66(2), 1979
- 30 Siebrasse, K.F. Vergleichende subjektive Untersuchungen zur Akustik von Konzersälen Diss., Univ. Göttingen, 1973
- 31 Tennhardt, H.-P. Eignung objektiver raumakustischer Kriterien zur Charakterisierung von Aufnahmeräumen für Musik, DAGA Fortschritte der Akustik, 1992
- 32 Thienhaus, E. Raumakustik, in: Musik in Geschichte und Gegenwart Bärenreiter, Kassel, 1961
- 33 V.d. Werff, J. What you specify is what you get, AES Convention Amsterdam, March 2003
- 34 Winckel, F. Die besten Konzertsäle der Welt, Baukunst und Werkform 12, 1955
- 35 Winckel, F. Akustik im festlichen Haus, Bauwelt Heft 51