

# Empirische Fallstudie zum Einfluss der Raumakustik auf die musikalische Interpretation

Zora Schärer, Stefan Weinzierl

TU Berlin, Fachgebiet Audiokommunikation, E-Mail: zora.schaerer@campus.tu-berlin.de

## Einleitung

Bei musikalischen Aufführungen hat der umgebende Raum großen Einfluss auf das Klanggeschehen und bestimmt maßgeblich nicht nur das Hörerlebnis im Publikum sondern auch das des Interpreten. Für die naheliegende Annahme einer Anpassung der Spielweise an die Konzertsaalakustik, wie sie von Musikern und Theoretikern vielfach beschrieben wurde, gibt es bislang jedoch kaum empirische Belege [1] [2] [3].

Um die Fragestellung unter realen Konzertbedingungen zu untersuchen, wurde eine Fallstudie in Zusammenarbeit mit dem Cellisten Jean-Guihen Queyras durchgeführt. Sieben seiner Aufführungen der Suiten für Violoncello solo von J. S. Bach wurden in akustisch sehr unterschiedlichen Konzertsälen aufgenommen: Église du Collège St. Michel (Fribourg), Cloître du Couvent des Cordeliers (Forcalquier), Théâtre Jean Vilar (Vitry-Sur-Seine), Gulbenkian Grande Auditorio (Lissabon), Auditorio Nacional Sala de Cámara (Madrid), Cultuurcentrum (Hasselt), Wigmore Hall (London). Auf der Basis akustischer Messungen in den Sälen sowie einer softwarebasierten Extraktion von Interpretationsparametern aus den Aufnahmen konnte der Einfluss der Raumakustik auf die musikalische Interpretation im Detail untersucht werden

## Akustische Messungen und Modellierung

Bei den akustischen Messungen in den Konzerträumen nach [4] wurde die omnidirektionale Quelle (Norsonic Nor276 mit Nor280 Verstärker) in 1 m Bodenhöhe an der dokumentierten Position des Cellostachels auf der Bühne platziert. Es wurden Impulsantworten in 1 m Entfernung des Lautsprechers und – abhängig von der Saalgröße – an weiteren Empfängerpositionen auf der Bühne sowie im Auditorium gemessen und typische akustische Kriterien berechnet:  $EDT$ ,  $RT$ ,  $C_{80}$ ,  $G$ ,  $BR$ ,  $ST_{early}$ ,  $ST_{late}$  [4],  $G_e$ ,  $G_l$  [5]. Die akustische Heterogenität der Säle an der Musikerposition (1 m Bodenhöhe, 1 m hinter der Quelle, zum Auditorium gerichtet) wird aus Tabelle 1 ersichtlich. Lediglich  $G$  und  $G_e$  wiesen nur geringfügige Schwankungen auf, was der Dominanz des Direktschalls bei dieser kurzen Distanz zwischen Quelle und Empfänger geschuldet ist.

Da raumakustische Messungen nur im unbesetzten Zustand der Räume vorgenommen werden konnten, wurden Computermodelle der sieben Konzertstätten erstellt. Die Absorption dieser Modelle wurde zunächst entsprechend der während der Messungen protokollierten Materialeigenschaften eingestellt und anschließend so optimiert, dass die simulierte Nachhallzeit an der Musikerposition in allen Frequenzbändern um weniger als den *just noticeable difference* (JND) nach [4] von den real

gemessenen Werten abwich. Nach dieser Anpassung wurde eine Publikumsbesetzung in die Modelle eingefügt und eine zweite Simulation durchgeführt. Dabei wurden die besetzten Säle von einer Quelle angeregt, deren Richtcharakteristik der Richtwirkung eines Violoncello entsprach [6], und die sich 0,6 m über dem Boden und in 0,4 m Abstand von einem Empfänger mit 1,2 m Bodenhöhe (typische Ohrhöhe einer sitzenden Person) befand. Für die weiteren Untersuchungen wurden die Messwerte der akustischen Parameter schließlich um die Differenz korrigiert, die im Modell durch das Einfügen des Publikums und der Quelle mit korrekter Richtcharakteristik hervorgerufen wurde.

**Tabelle 1:** Mittelwert, Standardabweichung, Maximum und Minimum der akustischen Parameter im mittleren Frequenzbereich, gemessen auf den Bühnen der sieben Konzertsäle mit 1 m Abstand zw. Quelle und Empfänger (beide 1 m Bodenhöhe).

Parameter	MW	Std.-Abw.	Min.	Max.
$EDT$ [s]	0,63	0,75	0,04	1,79
$RT$ [s]	1,55	1,01	0,50	3,65
$C_{80}$ [dB]	14,07	5,50	8,30	21,75
$G$ [dB]	20,99	1,23	19,15	22,70
$BR$ [dB]	1,06	0,32	0,76	1,76
$ST_{early}$ [dB]	-12,85	5,13	-19,25	-3,87
$ST_{late}$ [dB]	-17,41	5,48	-24,48	-9,85
$G_e$ [dB]	20,74	1,21	19,02	22,54
$G_l$ [dB]	6,67	5,73	-0,19	13,15

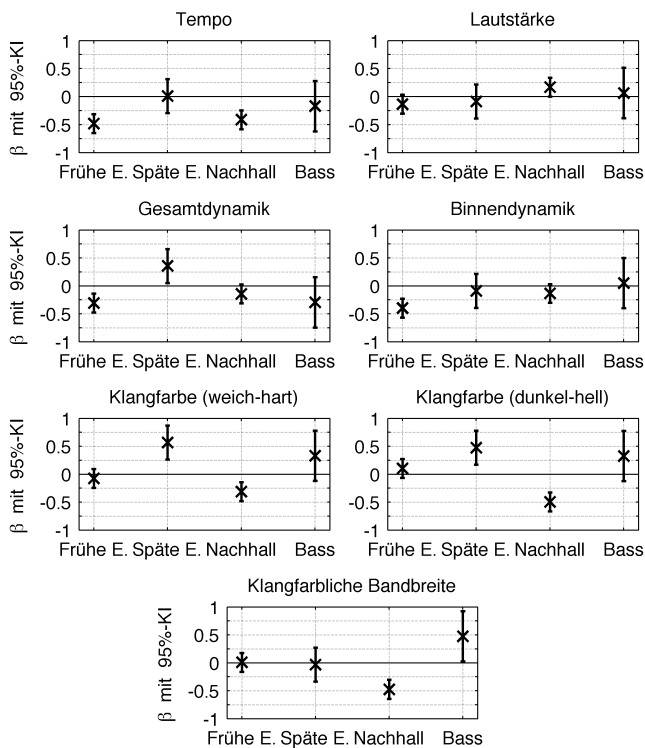
## Aufnahmen und Aufführungsanalyse

Bei den Aufnahmen der Aufführungen wurde ein Grenzflächenmikrofon (Schoeps BLM 03 C) stets in 11,5 cm Entfernung vor dem Cellostachel platziert. Dieser befand sich somit im Zentrum der halbkugelförmigen Richtcharakteristik des Mikrofons, sodass der Abstand zum Empfänger auch bei Neigungen des Instruments konstant blieb und die Aufnahmen keine bewegungsbedingten Lautstärkeschwankungen enthielten. Die analytisch abgeschätzte Pegeldifferenz zwischen Diffus- und Direktschall am Ort des Mikrofons lag je nach Hallradius des Saals zwischen 27 dB und 37 dB, die Aufnahmen waren also kaum vom Raumklang beeinflusst.

Mittels einer softwarebasierten Analyse wurden aus den Aufnahmen aller 36 Sätze der Cellosuiten das Tempo, sieben Lautheitsmaße und acht Klangfarbenmaße extrahiert [7]. Mit Hilfe dieser Features wurden auf Grundlage von in einem Hörversuch bestimmten Regressionsmodellen [8] für alle Sätze jeweils sieben perzeptive Qualitäten der Interpretation ermittelt, um die Spielweise des Musikers in den Konzertsälen zu charakterisieren: Tempo, Lautstärke, Gesamtdynamik, Binnendynamik, Klangfarbe (weich-hart), Klangfarbe (dunkel-hell) und klangfarbliche Bandbreite.

## Statistische Analyse und Ergebnisse

Der Einfluss der neun akustischen Kriterien (unabhängige Variablen) auf die sieben Interpretationseigenschaften (abhängige Variablen) der in sieben Sälen gespielten 36 Sätze wurde mit Hilfe eines hierarchischen linearen Modells untersucht, durch das die verschachtelte Struktur der Daten korrekt berücksichtigt wurde [9]. Um die Anzahl der Prädiktoren in diesem Modell zu verringern, wurden  $EDT$ ,  $C_{80}$ , und  $G_e$  wegen hoher Korrelation mit den anderen Maßen ausgeklammert und mit den verbleibenden Parametern eine Hauptkomponentenanalyse durchgeführt. Diese führte auf vier Komponenten, welche die raumakustische Varianz in den untersuchten Konzerträumen charakterisieren. Sie lassen sich interpretieren als Nachhallzeit (hohe Ladung von  $RT$ ), Bassanteil (hohe Ladung von  $BR$ ), frühe Energie im Sinne von akustischer Verstärkung des direkten Schallanteils (hohe Ladung von  $G$ ), und späte Energie im Sinne von raumakustischer Unterstützung (hohe Ladungen von  $ST_{early}$ ,  $ST_{late}$  und  $G_1$ ).



**Abbildung 1:** Standardisierte Regressionskoeffizienten mit 95%-KI der vier raumakustischen Prädiktoren für die untersuchten Interpretationseigenschaften.

Die standardisierten Regressionskoeffizienten mit 95%-Konfidenzintervallen in Abbildung 1 zeigen Ausmaß und Signifikanz des Einflusses der vier Prädiktoren auf die untersuchten Interpretationseigenschaften. Die Ergebnisse sollen hier anhand einiger Beispiele besprochen werden. Eine lange Nachhallzeit führte demnach zu einem langsamen Tempo, was den von Musikern meistgenannten Zusammenhang zwischen Raumakustik und Spielweise bestätigt. Die Lautstärke wurde bei kurzer Nachhallzeit leicht aber signifikant verringert. Dies stimmt mit der Aussage des Musikers überein, er begegne geringer akustischer Lebendigkeit mit leisem Spielen und vermeide eine Klangforcierung. Dass die Lautstärke auch bei starker früher Energie tendenziell reduziert wurde, erscheint als

plausible Reaktion auf eine akustische Verstärkung. Diese Lautstärkeminderung betraf jedoch vermutlich vor allem laute Stellen in den Musikstücken, da bei viel früher Energie sowohl Gesamt- als auch Binnendynamik verkleinert wurden. Die deutliche Erhöhung der Gesamtdynamik bei viel später Energie spricht dafür, dass nur im Falle von genügend Unterstützung aus dem Saal auch die unteren Dynamikbereiche ausgenutzt wurden. Hinsichtlich der Klangfarbe zeigen die Ergebnisse, dass bei längerer Nachhallzeit weicher und dunkler gespielt sowie die klangfarbliche Bandbreite verringert wurde. Beides lässt eine zurückhaltende Klangerzeugung unter diesen akustischen Bedingungen vermuten. Hatte die Nachhallzeit einen hohen Bassanteil, führte eine tendenziell härtere und hellere Spielweise offenbar insgesamt zu einer erhöhten klangfarblichen Bandbreite.

## Schlussfolgerungen

Der Einfluss der akustischen Umgebung auf die Spielweise eines professionellen Cellisten unter Konzertbedingungen konnte klar gezeigt werden. Dabei spielten alle untersuchten Dimensionen der Raumakustik gleichermaßen eine Rolle, und ihr Einfluss auf die einzelnen Attribute der Interpretation konnte differenziert betrachtet werden. Auf Basis dieser Ergebnisse werden experimentelle Laboruntersuchungen mit systematischer Variation der Bedingungsvariablen folgen, um die in der vorliegenden Fallstudie nachgewiesenen Zusammenhänge bei verschiedenen Musikern, Instrumenten und variierendem musikalischen Repertoire zu untersuchen.

## Danksagung

Die Autoren danken Jean-Guihen Queyras für die Zusammenarbeit sowie den Konzertveranstaltern für die Zustimmung zu Aufnahmen und Messungen.

## Literatur

- [1] Winkel, F. (1962) Optimum acoustic criteria of concert halls for the performance of classical music. *J. Acoust. Soc. Amer.*, 34(1), 81-86
- [2] Bolzinger, S., Warusfel, O., Kahle, E. (1994) A study of the influence of room acoustics on piano performance. *Journal de Physique IV, Colloque C5, supplement au Journal de Physique III*, 4, 617-620
- [3] Ueno, K., Kato, K., Kawai, K. (2010) Effect of room acoustics on musicians' performance. Part I: Experimental investigation with a conceptual model. *Acta Acustica/Acustica*, 96, 505-515
- [4] DIN EN ISO 3382-1:2009 *Akustik – Messung von Parametern der Raumakustik Teil 1: Aufführungsräume*. Berlin: Beuth
- [5] Dammerud, J. (2009) *Stage Acoustics for Symphony Orchestras in Concert Halls*. Doctoral Thesis, University of Bath
- [6] Schneider, R. (2011) *Simulation einer musikalischen Aufführung durch die Auralisation von Musikinstrumenten mit korrekter Richtcharakteristik*. Masterarbeit, Technische Universität Berlin.
- [7] Lerch A. (2008) *Software-Based Extraction of Objective Parameters from Music Performances*. München: Grin Verlag
- [8] Weinzierl, S., Maempel, H.-J. (2011) Zur Erklärbarkeit der Qualitäten musikalischer Interpretationen durch akustische Signalmaße. In: v. Loesch, H., Weinzierl, S. (Hrsg.) *Gemessene Interpretation. Computergestützte Aufführungsanalyse im Kreuzverhör der Disziplinen*, Mainz et al.: Schott, 213-236
- [9] Hox, J. (2010) *Multilevel Analysis*. 2. Auflage, New York/Hove: Routledge