Vergleich von Maßstabsmodell- und Computersimulationsmethode mit einem realen Konzertsaal bezüglich der akustischen Parameter C_{80} und D_{50}

M. Heine[1], K.-H. Lorenz-Kierakiewitz[2], M.Vercammen[3]
[1,2] *Peutz Consult GmbH, Düsseldorf, Germany*
3 *Peutz bv, Mook, NL*

Einleitung

Bei größeren Neu- oder Umbauten von Konzertsälen sollten Untersuchungen der Akustik an Maßstabsmodellen heute ganz selbstverständlich zu jeder Planung gehören. Seitdem die Rechenleistung von Computern dafür ausreicht, werden stattdessen zunehmend Computersimulationen eingesetzt, obwohl hierbei konkave Geometrien durch polygonal modellierte ersetzt werden müssen. Eine korrekte Simulation der für den Höreindruck wichtigen, nicht mehr mit der geometrischen Akustik erfassbaren tieffrequenten Schallfelder ist somit zumindest fraglich.
Modellmess- und Computersimulationsmethode wurden nun mit den Messungen eines realen Konzertsaals verglichen [1].

Abbildung 1: Reale Ansicht der neuen Tonhalle

Anlass war die gelungene Sanierung der Tonhalle Düsseldorf (s. Abb. 1), bei welcher das zuvor vorhandene Kuppelecho durch das innovative Konzept einer neuen Kuppel aus Schallumlenkkörpern eliminiert werden konnte und welche eine grundlegend verbesserte Akustik bekam [2].

Maßstabsmodell

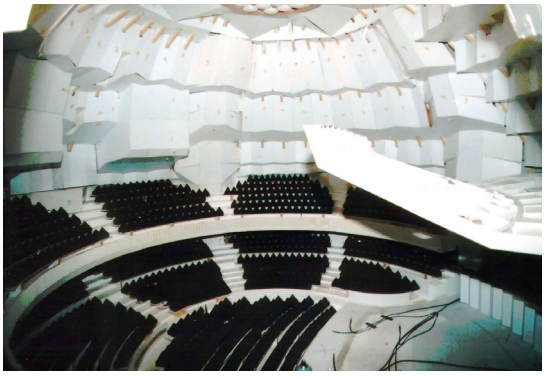

Abbildung 2: Maßstabsmodell der neuen Tonhalle

Zum Entwurf und Test möglicher echounterdrückender Reflektoren wurde ein raumakustisches Modell im Maßstab 1:12 eingesetzt (Abb. 2). Die Messungen der geometrischen Modifikationen im Modell sagten die Eliminierung des Klopfechos in der Realität qualitativ präzise voraus [2].

Computersimulation

Für einen Vergleich von Modell, Realität und Simulation musste zunächst eine dem Maßstabsmodell im Detail entsprechende Computersimulation der neuen Tonhalle erstellt werden (s. Abb. 3). Dieses geschah mit dem Programm CATT-Acoustic, welches Spiegelschallquellen-Algorithmus, Ray-Tracing und eine verbesserte Methode verwendet: “Randomized Tail-Corrected Cone Tracing“ [3].

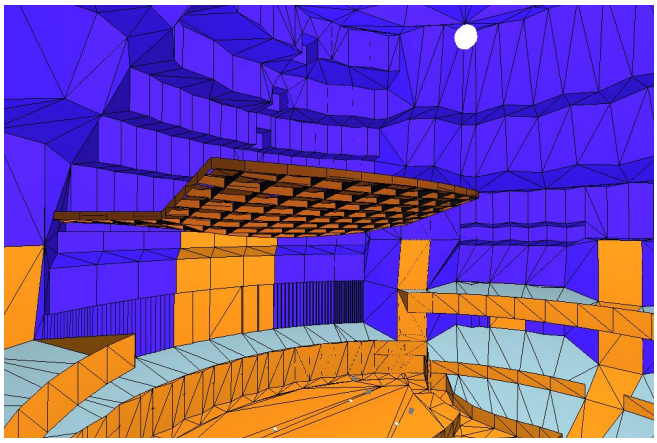

Abbildung 3: Simulationsmodell der neuen Tonhalle

In dieser Simulation (ca. 4500 Flächen) wurden die Impulsantworten aller 29 Messpfade berechnet, die zuvor in Maßstabsmodell und der realen neuen Tonhalle gemessen worden waren. Sowohl im Maßstabsmodell als auch in Computersimulation wurden nur Details bis zu realen Dimensionen von ca. 30 cm modelliert, so dass sich Simulation und Modell hier von der Realität etwas unterscheiden: in beiden fehlen das in der Realität vorhandene akustisch transparente Metallgewebe, die Stege, diffusierenden Laufgitter und Gewebehalterungen dahinter, sowie all deren diffusierende Effekte oberhalb 1 kHz.

Vergleich der Ergebnisse der Verfahren

Nachdem die Untersuchungen an Maßstabsmodell, saniertem Konzertsaal und Simulation abgeschlossen waren, wurden die Ergebnisse der beiden vorhersagenden Methoden miteinander und mit der Realität verglichen. Bei dem Vergleich der Untersuchungsmethoden wurden die Werte des Klarheitsmaßes C_{80} und des Deutlichkeitsgrades D_{50} verglichen - nicht jedoch die der Nachhallzeit T_{30}, da deren Messwerte des realen Saales zur Kalibrierung der

Absorptionseigenschaften der Simulation benutzt wurden. Für jeden einzelnen Messpfad wurde die Übereinsstimmung der ermittelten Parameterwerte der Untersuchungsmethoden mit der Realität in ein 4-stufiges Qualitätsraster eingeordnet und in Diagrammen mit Balken grafisch dargestellt. Die gewählten Qualitätsraster resultieren aus den JNDs (Just Noticeable Differences) und Richtwerten der Peutz-Gruppe.

Ergebnisse Klarheitsmaß C_{80}

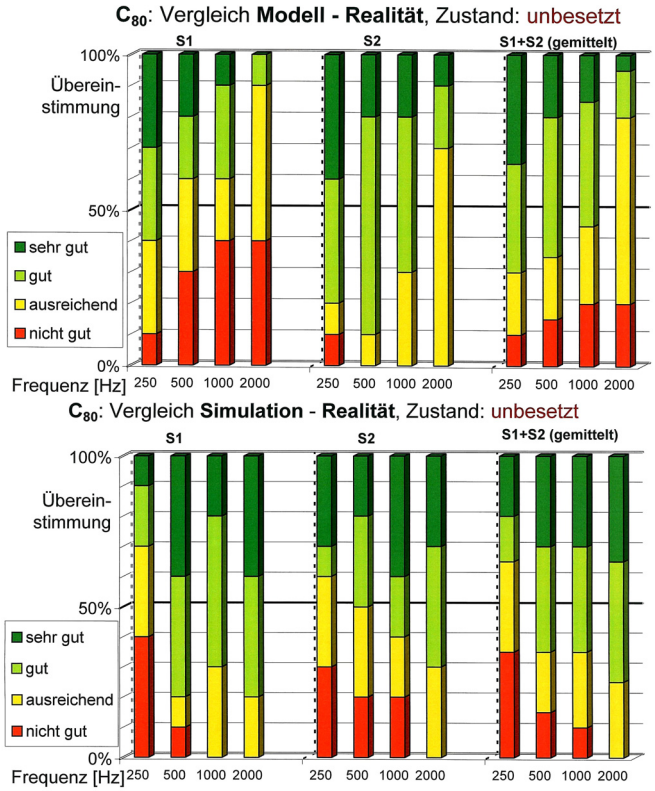

Abbildung 4: Vergleich des Parameters C_{80} (unbesetzt)

Das Maßstabsmodell liefert in den Oktavbändern 250 Hz, 500 Hz eine gute Übereinstimmung mit der Realität. Im Oktavband 250 Hz stimmen die Werte besonders gut überein, die Oktavbänder 1 und 2 kHz weniger gut.

In den Oktavbändern 1 kHz und 2 kHz stimmt die Simulation mit den in der Realität gemessenen Werten überein. Bei 250 Hz liegt eine deutliche Schwäche der Computersimulation vor: die Werte sind häufig nur ausreichend übereinstimmend mit der Realität.

Ergebnisse Deutlichkeitsgrad D_{50}

Das Maßstabsmodell liefert für den Parameter D_{50} in den Oktavbändern 250 Hz und 500 Hz sehr gute Ergebnisse.
Im Oktavband 250 Hz liefert die Computersimulation hingegen selten einen Wert, der mit der Realität sehr gut oder gut vergleichbar ist. Bei 250 Hz liegt auch hier eine deutliche Schwäche der Computersimulation vor: die Werte sind häufig nur ausreichend übereinstimmend mit der Realität.
Die Tendenz, die auch beim Klarheitsmaß erkennbar war, ist auch hier wieder zu finden: in den hohen Oktavbänder liefert die Simulation Ergebnisse, welche mit den Werten des realen Saals übereinstimmten – nur dass Simulation und Modell dem realen Saal bei hohen Frequenzen nicht entsprechen und weniger diffus sind.

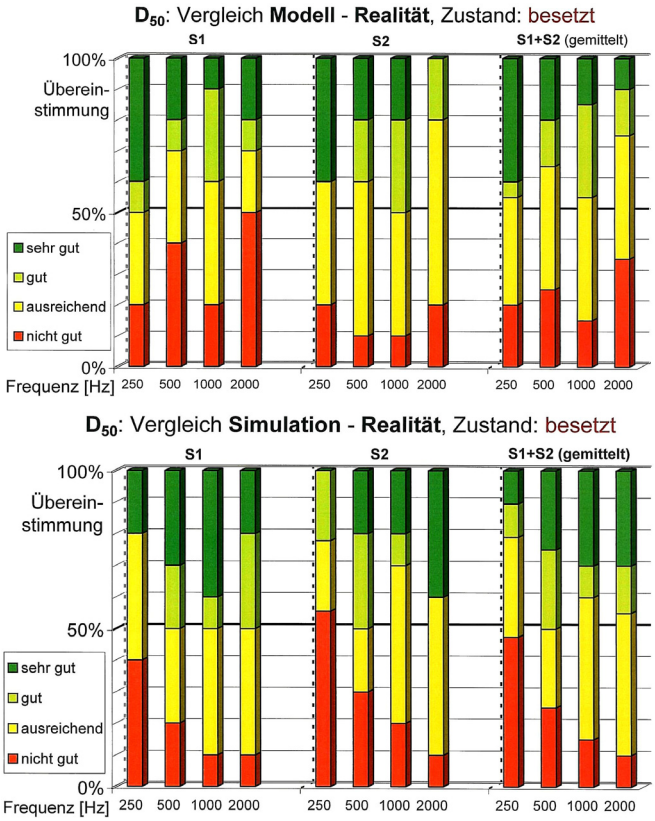

Abbildung 5: Vergleich des Parameters D_{50} (besetzt)

Zusammenfassung

Beim Vergleich der Methoden zeigt sich eine gegenläufige Tendenz: in den unteren Frequenzbändern liefert das Maßstabsmodell eine gute Übereinstimmung mit den in der Realität gemessenen Werten, die Computersimulation eine weniger gute Übereinstimmung.
Auch in den höheren Frequenzbändern liefert das Modell ehrlichere Werte, da die in Realität (nicht jedoch Modell und Simulation) vorhandenen diffusierenden kleinen Objekte dazu führen sollten, dass Vorhersagemethode und Realität unterschiedliche Werte liefern. Dies ist beim Modell tatsächlich der Fall. Demgegenüber überschätzt die Simulation die Diffusität in hohen Frequenzen.
Maßstabsmodelle bilden das Schallfeld in tieferen Frequenzbändern adäquater nach als die untersuchte Simulation. Bei größeren Neu- oder Umbauten von Konzertsälen sollten daher Untersuchungen der Akustik an Maßstabsmodellen weiterhin selbstverständlich zu jeder Planung gehören.

Literatur

[1] Heine, M.: Beurteilung unterschiedlicher Modelle der Tonhalle Düsseldorf durch die Auswertung und den Vergleich raumakustischer Daten mit der Realität. Diplomarbeit FH Düsseldorf 2007

[2] Lorenz-Kierakiewitz, K.-H., Vercammen, M.: Vom Klopfgeist zu einer hervorragenden Akustik. Die neue Tonhalle Düsseldorf: Die akustische Quadratur des Kreises (1+2), Fortschritte der Akustik DAGA 2006

[3] Dahlenbäck, B.-I.: CATT-Acoustic