

Vom Klopfgeist zu einer hervorragenden Akustik (1) – Die neue Tonhalle Düsseldorf: Die akustische Quadratur des Kreises

Dipl.-Ing. Martijn Vercammen¹, Dipl.-Phys. Klaus-Hendrik Lorenz-Kierakiewitz²,
Dipl.-Ing. Stéphane Mercier³

¹ Peutz bv, NL-6584 AC Mook, Niederlande, Email: m.vercammen@mook.peutz.nl

² Peutz Consult GmbH, 40599 Düsseldorf, Deutschland, Email: khl@peutz.de

³ Peutz S.A.R.L., F-75010 Paris, France, Email: s.mercier@peutz.fr

Einleitung: Analyse des Problems

Im Rahmen der umfassenden Sanierung der Tonhalle Düsseldorf im Jahre 2005 ergab sich eine ideale Gelegenheit, die lange bekannten Probleme der Akustik des großen Saales zu lösen. Das auffälligste akustische Problem des kuppelförmigen Saales war der berüchtigte Klopfgeist - ein starkes Kollektivecho in dem sich die ersten Reflexionen von allen Flächenteilen der beinahe halbkugelförmigen Kuppel zeitgleich aufaddierten. Für jeden Senderort auf dem Podium bestand im Parkett der alten Tonhalle ein derartiger Spiegelpunkt, in welchem das Echo ca. 70-90 ms später und bis zu 20 dB stärker als der Direktschall eintraf. Statt eines wünschenswerten Horizontalfeldes war das Schallfeld sehr ungleichmäßig.

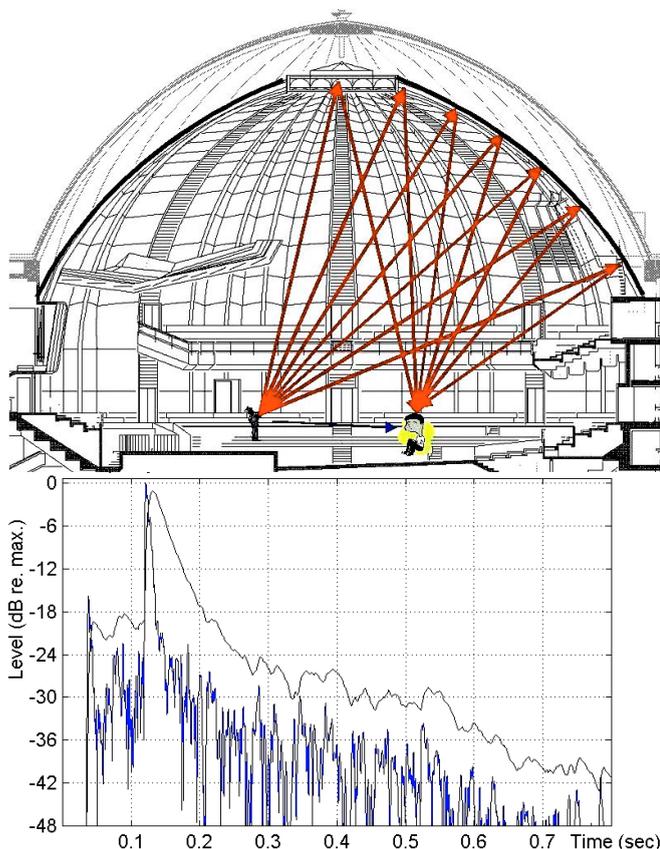


Abbildung 1: Echobildung und Impulsantwort des Messpfades E4 (500 Hz) im alten Zustand der Tonhalle, wo das Echo (Der „Klopfgeist“) sehr deutlich zusehen ist.

Innovativer Ansatz zur Elimination des Echos

Unter anderem wegen Denkmalschutz-Auflagen war gewünscht, die Kuppelvision des Architekturbüros HPP

beizubehalten, die ja gerade für das akustische Problem verantwortlich war. Der innovative Ansatz zur Lösung des Echoproblems bestand somit aus einer visuell geschlossenen, akustisch jedoch transparenten Innenkuppel, hinter der Diffusoren angebracht werden sollten. Zahlreiche Untersuchungen wurden ausgeführt [1], aus denen folgte, daß Diffusion allein nicht ausreicht, um das Kollektivecho zu eliminieren. Hierzu ist es notwendig, den Schall gerichtet aus der Spiegelrichtung heraus zu reflektieren, um zu verhindern, dass der Schall wie in Brennpunkt eines Hohlspiegels im Parkett gesammelt wird, indem sie den Schall aus der Spiegelrichtung heraus in die Kuppel werfen.

Optimierung der Geometrie im Maßstabsmodell

Um zu erreichen, dass der Schall keine Brennpunkte mehr formen, sondern sich oberhalb des Publikums ein 2-dimensionales Horizontalfeld bildet wurden umfangreiche Untersuchungen (insgesamt 182 Varianten von 3 Basisgeometrien!) an einem akustischen Maßstabsmodell der Tonhalle im Maßstab 1:12 durchgeführt, um die richtige (das Echo am stärksten vermindende) Form der Umlenkkörper zu bestimmen.[1] Die Modellmesstechnik wurde bereits bei diversen Projekten von uns mit Erfolg angewendet.[2]

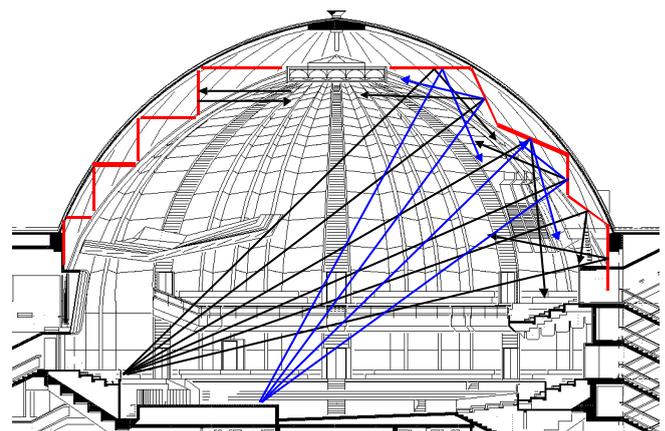


Abbildung 2: Seitenriss des gewünschten Strahlenverlaufes

Es stellte sich in diesem Fall sehr rasch heraus, dass alleinige Diffusionsmaßnahmen nicht in der Lage sind, die durch die Brennpunktswirkung aufaddierte Schallenergie genügend zu zerstreuen, da hierbei ein gewisser Prozentsatz der Schallenergie immer noch in Spiegelrichtung reflektiert wird und sich im Brennpunkt superponiert. Es musste also eine Geometrie aus Umlenkkörpern entwickelt werden, welche nicht diffus, sondern gezielt den Schall aus dem Brennpunkt fort reflektieren. Die Konstruktion von diffusierenden (d.h.

den Schall in alle Richtungen streuenden Geometrien ist nicht schwierig. Durch eine gewinkelte dreidimensionale Verbindung solcher Strukturen kann jedoch wieder eine Geometrie entstehen, die viel der einfallenden Schallenergie wieder in Spiegelrichtung zurückwirft (Reflexion 2. Ordnung). Durch die Verwendung prismatischer Reflektoren, die relativ zur Kuppeltangente einen Winkel von ca. 30° bilden, kann eine sehr gute, gerichtete Reflexion der Energie aus der Spiegelrichtung heraus erreicht werden. Die Elemente müssen hierbei, Abmessungen von mindestens dem Zweifachen der Wellenlänge besitzen, um wirksam den Schall umlenken zu können. Für Frequenzen ab 200 Hz bedeutet dies Abmessungen in der Größenordnung von ca. minimal 3,5 m.

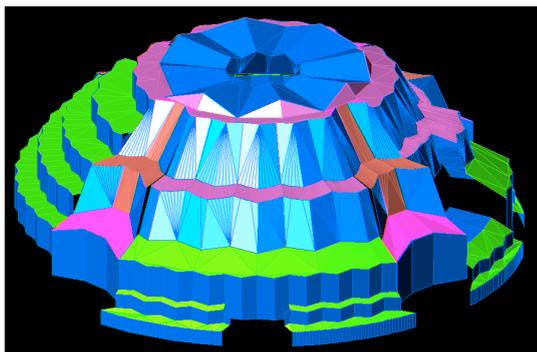


Abbildung 3: 3D-Ansicht der Endgeometrie der neuen Tonhalle

Mit Hilfe des akustischen Maßstabmodells wurden diese Erkenntnisse umgesetzt bei der geometrischen Ausformung der neuen Zwischenkuppel in der Tonhalle, die nun den akustischen Abschluss des Auditoriums bildet, wohingegen eine schalltransparente Innenschale die gewohnte Kuppelansicht gemäß den Auflagen des Denkmalschutzes bildet (siehe Abb. 5). Die Geometrie basiert im Vertikalschnitt aus einer Anordnung von 30° Prismen. Im Horizontalschnitt wurde leichte sägezahnförmige 10° Anwinkelung der Flächen verwendet. Die Decke der Reflektorschale wurde ebenfalls mit einer prismatischen Struktur versehen, um so viel der einfallenden Energie wie möglich in ein Horizontalfeld umzulenken.



Abbildung 4: Ansicht des neuen Orchesterschalldeckels nach der Modernisierung.

Optimierung der Podienakustik

In der Situation vor der Modernisierung reflektierten die schräg angestellten Paneele im Schalldeckel frühe

Schallenergie ins Parkett, um das Kuppellecho zu maskieren. In der neuen Tonhalle sind die Reflektorelemente horizontal angeordnet und sind konvex geformt, wodurch die Reflexionen gut verteilt auf das Podium zurück gerichtet werden. Aufgrund der Messergebnisse aus dem Maßstabsmodell wurde darüber hinaus eine Erhöhung und diffusierende Ausführung der Podienrückwand entworfen, welche den verbesserten Kontakt der Musiker untereinander noch unterstützt.

Zusammenfassung

Es ist außerordentlich schwierig, in einem kuppelförmigen Saal eine sehr gute Akustik zu realisieren, welche den bekannten quaderförmigen Sälen vergleichbar ist. Durch die konsequente Herangehensweise mit den Schallumlenkkörpern, die für die richtigen Reflexionswinkel sorgen, und die Optimierung dieses Ansatzes mit der Maßstabsmodelluntersuchung gelang es, das Echo zu eliminieren und eine sehr gute Akustik sowohl für Publikum als auch für die Musiker. Dabei konnte die außerordentliche Architektur des Saales optisch beibehalten werden. Alle Konzerte mit klassischer Musik seit der Eröffnung am 4.11.05 wurden sehr positiv beurteilt: Hörer, Kritiker, Musiker und Dirigenten sind seither mit dem Klang gleichermaßen hochzufrieden. Das Besondere an der Akustik der Neuen Tonhalle ist die Kombination einer großen Direktheit des Klangs mit einem wohlklingenden, homogenen Nachhall. Das Ergebnis der akustischen Beratung der Modernisierung der Tonhalle Düsseldorf ist eine architektonische und akustische Erneuerung des Saales und eine große Bereicherung für die Landeshauptstadt Düsseldorf – ganz ohne Klopfgest: die akustische Quadratur des Kreises ist gelungen!



Abbildung 5: Ansicht der neuen Tonhalle nach erfolgreicher Modernisierung.

Literatur

[1] K.-H. Lorenz-Kierakiewitz et al.: Vom Klopfgest zu einer hervorragenden Akustik (2) – Die neue Tonhalle Düsseldorf: Die akustische Quadratur des Kreises, Fortschritte der Akustik, DAGA 2006

[2] H. Kremer, K.-H. Lorenz: Die Modernisierung der Royal Albert Hall, Bauphysik 27 (2005), Heft 1, S. 15-20