

Die raumakustische Simulation im Zuge der Renovierung des Mariendomes in Linz

Jakub Benklewski¹, Vojtech Chmelík², Wolfgang Schaffer³, Herbert Müllner¹

¹ Versuchsanstalt TGM Fachbereich Akustik und Bauphysik, 1200 Wien,

² STU SvF Bratislava, 810 05 Bratislava, ³ Dombaumeister Architekt, 4020 Linz

Einleitung

Gebethäuser werden nicht mehr nur für Messen, sondern immer öfter für kulturelle Events und Konzerte genutzt. Gleichzeitig versuchen Architekten das Kircheninterieur immer öfter zu alten Traditionen zurückzuführen, was oft zu einer Veränderung, wie die Position des Altars oder Gemeindebänken führt. Die folgende raumakustische Fallstudie wurde im Rahmen der Renovierung des Mariä-Empfängnis-Doms in Linz, auch Mariendom genannt, getätigt. Eine Einschätzung der möglichen Verbesserungen vor dem Sanierungsbeginn wurde in Auftrag gegeben. Ein Vergleich der Raumakustik vor und nach der Sanierung, mit und ohne elektronische Beschallungsanlage, sowie Varianten mit reflektierenden Deckensegeln wurden in der Raumakustik Simulationssoftware ODEON 12.12 Combined berechnet. Zum Zwecke der realistischen Demonstration von unterschiedlichen Ausbaustufen wurden mehrere Chor-Gesänge, von neun Chormitgliedern mit neun Mikrofonen im Reflexionsarmen-Raum, aufgenommen und in verschiedenen Ausbaustufen durch die Simulation hörbargemacht.

Nutzungsplan

Der Diözese und den beteiligten Architekten war es ein Anliegen, im Zuge einer Neugestaltung des Innenraums die Pläne des Dombaumeisters Vinzenz Stanz von 1859 umzusetzen. Die bisherige Anordnung war ein Provisorium, welches Jahrzehnte lang nicht umgestaltet wurde. Durch die neue Anordnung wurde für bessere Sichtverhältnisse auf den Altar gesorgt. Gleichzeitig sollen die Gemeinde räumlich enger zusammen- und die Gemeinschaft in den Vordergrund rücken. Dabei ergaben sich neue Hörpositionen für die Gemeinde. Auch besteht der Wunsch die Kirche für unterschiedliche musikalische Veranstaltungen zu nutzen[1]. Es sollen daher alternative Möglichkeiten zur Verbesserung der Raumakustik erarbeitet werden. Dazu wurde auf Grundlage von Plänen und Begehungen der Innenraum des Linzer Mariendoms in einem rechnerunterstützten 3D-Modell dargestellt (siehe Abbildung 1).

3D Modell

Dieses Innenraummodell wurde zur Berechnung der Raumakustik in das Programm Odeon 12.12 Combined importiert und dort die akustischen Eigenschaften, wie Absorptionsgrad, Streuung oder Durchlässigkeit, der unterschiedlichen Oberflächen im Kirchenraum eingetragen. Als Grundlage für die weiteren Berechnungen wurde der Innenraum des Mariendom im Urzustand vor Beginn der Sanierungsarbeiten mit der Computer-Software modelliert und dieses Modell anhand der normgemäß vor Ort ermittelten Messergebnisse justiert. Eine Sprecherposition am Altar

sowie eine Chor-Position wurden für die Angleichung der Simulation gemessen.

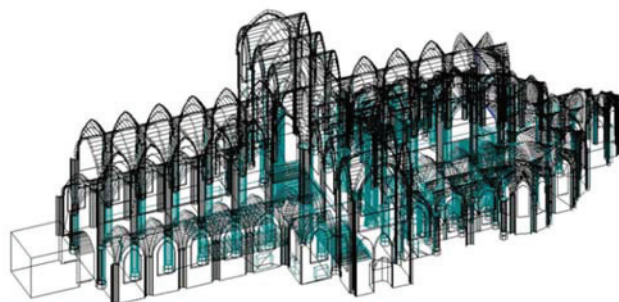


Abbildung 1: 3-D Modell des Linzer Mariendom in Odeon 12.12 Combined

Messung vor dem Sanierungsbeginn

Die raumakustischen Messungen wurden vor Sanierungsbeginn getätigt. Um das Rechenmodell zu kalibrieren, wurden am 21. Juni 2016 Messungen der Nachhallzeit T gemäß ÖNORM EN ISO 3382-2 und des Klarheitsmaßes C_{80} gemäß ÖNORM EN ISO 3382-1 vor Ort durchgeführt sowie Sprachverständlichkeit STI nach ÖNORM EN 60268-16 [2].

Nachhallzeit, Deutlichkeits- und Klarheitsmaß wurden mit Unterstützung der Software DIRAC ROOM ACOUSTICS TYPE 7841 getätigt. Für die Nachhallzeitmessungen wurden ein Dodekaeder Lausprecher eingesetzt. Die Sprachverständlichkeitsmessungen erfolgten mit Hilfe einer B&K TYPE 4720 - ECHO SPEECH SOUND SOURCE.

Auf Basis dieser Messergebnisse wurde das Rechenmodell justiert (vgl. dazu nachfolgende Tabelle 1).

| Frequenz [Hz] | Nachhallzeit T[s] | |
|---------------|-------------------|--------------|
| | gemessen | Rechenmodell |
| 63 | 6,12 | 6,72 |
| 125 | 6,36 | 6,63 |
| 250 | 7,01 | 7,63 |
| 500 | 7,19 | 7,12 |
| 1000 | 6,63 | 6,57 |
| 2000 | 5,27 | 4,55 |
| 4000 | 3,66 | 2,56 |

Tabelle 1: Vergleich der gemessenen und simulierten Nachhallzeiten

Mariendom Neugestaltung

Vom Auftraggeber wurden Pläne der vorgesehenen Neugestaltung des Innenraums übermittelt. Demnach sollen Altar, Kathedra, Priestersitz, Gemeindebänke, Chor-Orgel und der Bereich der Dommusik neu positioniert werden. Das

Computermodell des Altbestandes wurde den Plänen entsprechend abgeändert und neu simuliert. Diese Ergebnisse wurden als Vergleich zu den jeweiligen Verbesserungsmaßnahmen herangezogen.

Zwei Gruppen von Simulationen sollten zur Verbesserung der Raumakustik genauer betrachtet werden:

- Mariendom Neugestaltung mit Deckensegel
- Mariendom Neugestaltung mit Lautsprecheranlage

Diese zwei unterschiedlichen Optimierungsansätze wurden mehrfach überarbeitet und nachgebessert bis die erfolversprechendsten Simulationsergebnisse erzielt werden konnten. Neben Gitteranalysen wurden Simulationsergebnisse an unterschiedlichen Sitzpositionen verglichen die mit Hilfe von „Multisource-Auralisation“ der Raumakustik Software erzeugt wurden [3] [4]. Hierfür wurden die Chorgesänge in den unterschiedlichen Simulationen miteinander verglichen.

Mariendom mit Deckensegeln

Um die nach den Rechenergebnissen zu erwartende Raumakustik ohne elektronische Unterstützung zu verbessern, wurden reflektierende Deckensegel, welche in ca. 6 m Höhe über den Gemeindebänken hängen, in das Modell eingefügt. Diese reflektierenden Deckensegel sind im Langschiff und Vierungsbereich in einem Winkel von 10° bis 40° horizontal geneigt. Die Deckensegel im Querschiff sind 10° bis 30° Grad horizontal aber auch vertikal geneigt, wie in der Abbildung 2 schematisch dargestellt. Die Wirksamkeit der Reflektoren ergab sich, da durch ihre Positionierung frühe Reflektionen (50 bis 80 ms) erzeugt werden. Die Verbesserungen sind jedoch auf die Gemeindebänke limitiert.

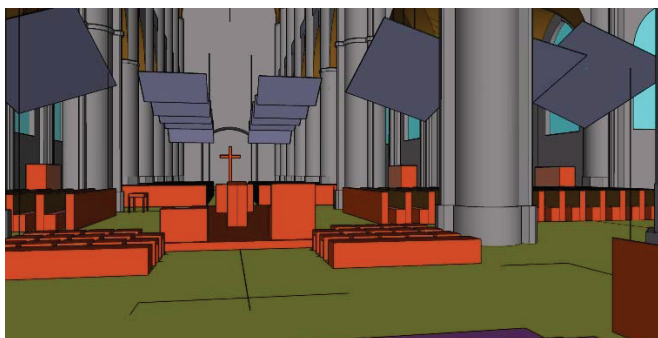


Abbildung 2: 3-D Modell des Linzer Mariendom mit Deckensegel (Sicht der Chormusik)

Mariendom mit Lautsprecheranlage

Alternativ zu Deckensegelansatz wurden mehrere unterschiedliche Lautsprecheranlagen mit unterschiedlicher Lautsprecheranzahl und -positionierung in das Computermodell eingesetzt. Neben der richtigen Ausrichtung der Lautsprecher sind Richtcharakteristik, Pegel, Frequenzverlauf und Laufzeitkorrektur des Lautsprechersignals maßgeblich für die Raumklangoptimierung.

Die Simulation von Lautsprecheranlagen im Modell des Mariendom zeigte, dass viele gerichtete Lautsprecher an mehreren Säulen eine ungünstigere akustische

Empfangssituation im Bereich der Gemeindebänke bewirken als wenige größere Lautsprecher in größerer Entfernung zu diesen Bänken. Zusätzlich sind bei der Anbringung von Lautsprechern auch optisch-ästhetische Gesichtspunkte zu berücksichtigen.

Es wurden mehrere Lautsprechertypen versuchsweise in das Rechenmodell eingesetzt. Nach mehrmaliger Umpositionierung in der Simulation hat sich gezeigt, dass die besten Resultate mit vier Lautsprechern erzielt werden, davon sind je zwei Lautsprecher ins Langschiff und je einer ins Seitenschiff jeweils auf die Gemeindebänke gerichtet.

Die aus optischer und akustischer Sicht am besten geeignet Simulationsergebnisse ergeben sich bei der Verwendung von Lautsprecher-Arrays zur Bühnenbeschallung, deren Positionierung in der Tabelle 3 beschrieben ist. Dieses Modell kann mit beliebig vielen Modulen betrieben werden und kann mit unterschiedlichen Neigungswinkeln zueinander optimiert werden. Die alternativ betrachteten Lautsprecher bieten konstruktionsbedingt kaum Eingriffsmöglichkeiten auf die Abstrahlcharakteristik.

| | Langschiff Beschallung: | Seitenschiff Beschallung |
|---------------------------------|--|---|
| Array | 6 Stück (obere 5 Lautsprecher 2°, unterer Lausprecher 5° Neigung). | 3 Stück (obere 2 Lautsprecher 2 Grad, unterer Lausprecher 5° Neigung) |
| Lautsprecherposition | Lautsprecherunterkante in 15,4 m Höhe über Boden | Lautsprecherunterkante in 11,5 m Höhe über Boden |
| Horizontaler Neigungswinkel | +/- 27° | +/- 55° |
| Vertikaler Neigungswinkel | -28° | -25° |
| Laufzeitverzögerung des Signals | 23 ms | 16 ms |
| Lautstärke | -30 dB | -30 dB |

Tabelle3: Ausrichtung der Lautsprecheranlage in Raumsimulationsprogramm Odeon 12.12.Combined

Zusammenfassung

Beide Ansätze der Optimierung haben positive Auswirkungen auf die relevanten raumakustischen Parameter. Die Berechnungen im Computermodell zeigen, dass die Raumakustik nach der geplanten Umgestaltung des Innenraums im Linzer Mariendom hinsichtlich der Sprachverständlichkeit und der Qualität von Musikdarbietungen ohne die Ausführung von raumakustischen Maßnahmen ungünstig zu erwarten ist. (siehe Abbildung 3 und 4)

Sie kann durch den Einsatz von Deckensegeln so verbessert werden, dass die maßgebenden akustischen Parameter für Sprache und Musik in einem weiten Bereich der Gemeindebänke, den in einschlägigen Regelwerken empfohlenen Werten entsprechen. [2]

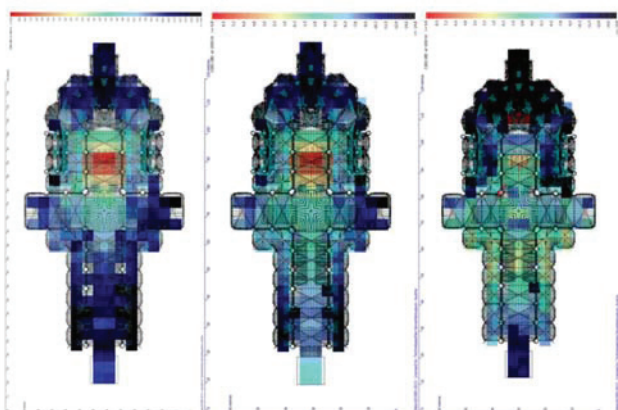


Abbildung 3: Vergleich des Klarheitsmaßes C_{80} bei 1000Hz. (Simulation von rechts nach links: Mariendom mit: Neugestaltung, Deckensegel und Lautsprecheranlage)

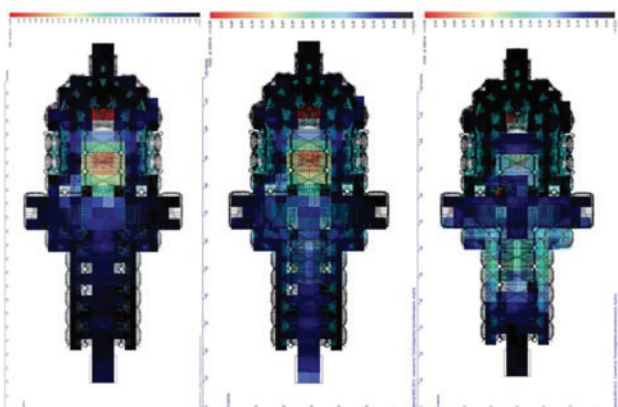


Abbildung 4: Vergleich des Deutlichkeitsmaß D_{50} bei 1000Hz. (Simulation von rechts nach links: Mariendom mit: Neugestaltung, Deckensegel und Lautsprecheranlage)

Wenn gewünscht, kann dies ebenso durch eine geeignet dimensionierte Lautsprecheranlage wie in der Fallstudie beschrieben erreicht werden. Die Verbesserung ist sogar über die Positionen der Gemeindebänke hinaus merkbar. Da bei alternativen musikalischen Darbietungen ein höherer Besetzungsgrad bzw. Hörschaft ergeben kann, ist die Beschallungsanlage eine gute Option zur Verbesserung der Raumakustik. Jedoch haben die Rechenergebnisse mit Lautsprecheranlage die Selbstwahrnehmung der Chor-Musiker eingeschränkt. Als Abhilfe kann überlegt werden, gegebenenfalls nachträglich Bühnenmonitore anzubringen.

Literatur

- [1] Acoustical evaluation of five public spaces in Dubrovnik, DAGA 2014 Oldenburg
- [2] ÖNORM EN ISO 3382-1 Ausgabe: 2009-09-01
- [3] M. Vigeant, L. Wang, J.H. Rindel: Investigations of multi-channel auralization technique for solo instruments and orchestra. Proceedings of 19th ICA, Madrid, Spain (2007)
- [4] J.H. Rindel, C.L. Christensen: Auralisation of concert halls using multisource representation of a symphony orchestra. (2007)