

Optimierung der Raumakustik in einem Theaterzelt

Johannes Eichinger¹, Heinz Hooch¹ und Andreas Dantele¹

¹ hooch.farny.ingenieure, 84028 Landshut, E-Mail: johannes.eichinger@hooch-farny.de

Kurzfassung

In der vorliegenden Untersuchung wurde die akustische Gesamtsituation in einem Theaterzelt messtechnisch erfasst und im Hinblick auf unterschiedliche Nutzungen (Sprechtheater, Musiktheater) bewertet. In weiterer Folge wurden Verbesserungsvorschläge zur Optimierung der Raumakustik erarbeitet. Ein exakt nachgebildetes 3D-Modell des Theaterzeltes wurde mit den Messergebnissen der Nachhallzeit abgeglichen, um die Bestandssituation realitätsnah wiederzugeben. Anhand von Strahlenverfolgungsberechnungen konnten Schwachstellen bezüglich der Sprachverständlichkeit aufgezeigt werden. Basierend auf Modellrechnungen wurden Maßnahmen zur Reduzierung der Nachhallzeit erarbeitet und darüber hinaus ein Konzept entwickelt, um mit Hilfe von zusätzlich eingebrachten Reflektoren eine Verbesserung der Sprachverständlichkeit im Zuschauerbereich zu erreichen. Nach Durchführung der empfohlenen Maßnahmen wurden die Auswirkungen bezüglich Nachhallzeit und Sprachverständlichkeit nochmals messtechnisch erfasst und mit den Prognoseergebnissen verglichen.

Einleitung

In Landshut wurde im Jahr 2014 ein Theaterzelt als Interims-Spielstätte für das Landestheater Niederbayern errichtet. Dies wurde notwendig, da der bisher bespielte Theaterbau aus dem 19. Jahrhundert saniert werden muss und kurzfristig kein adäquater Ersatz gefunden werden konnte. Das Theaterzelt bietet 450 Zuschauerplätze und wird in erster Linie für die Sparten Musiktheater und Schauspiel ohne elektroakustische Verstärkung genutzt.

Nach der Eröffnung der Spielstätte im Juni 2014 wurde zwar die gute Akustik für Musiktheater-Aufführungen gelobt. Für das Sprechtheater hingegen wurde eine ungenügende Sprachverständlichkeit im Parkett bemängelt und die Akustik insgesamt als "zu hallig" kritisiert. Darüber hinaus machten sich Geräuscheinwirkungen von außen sehr störend bemerkbar, welche von der Zelthülle nicht ausreichend abgeschwächt werden. Als Ziel der vorliegenden Untersuchung sollte primär eine Verbesserung der Sprachverständlichkeit und somit der raumakustischen Gesamtsituation für das Sprechtheater erreicht werden.

Beurteilung der Bestandssituation

Das Theaterzelt weist eine elliptische Grundfläche von ca. 1.200 m² und ein Raumvolumen von ca. 11.000 m³ auf. Als Böden kommen in erster Linie Holzwerkstoffplatten zum Einsatz, welche im Zuschauerbereich mit Teppichen belegt sind. Die Gebäudehülle besteht bis zu einer Höhe von 5 m aus Metallpaneelen, darüber befindet sich die fest gespannte, zweilagige Zeltplane. Während das Parkett mit einfachen

Polsterstühlen ausgestattet ist, befinden sich auf der sanft ansteigenden Tribüne Theatersessel mit einer schweren Polsterung. Die Bühne wird nach hinten und zur Seitenbühne hin mit Vorhängen begrenzt.

Um die Raumakustik zu beurteilen, wird als Parameter zunächst die Nachhallzeit RT_{60} herangezogen. In der DIN 18041 [1] wird für Räume mit einem Volumen von 11.000 m³ eine mittlere Nachhallzeit von 1,4 sek für Sprache und 1,8 sek für Musikdarbietungen empfohlen. Im vorliegenden Fall, welcher die Mehrzwecknutzung von Musik und Sprache umfasst, wurde nach den Vorgaben des Auftraggebers eine Nachhallzeit von 1,8 sek als Zielwert bestimmt. Für die Bewertung der Sprachverständlichkeit wird auf das Deutlichkeitsmaß C_{50} zurückgegriffen, welches die bis 50 ms nach dem Direktschall an einem Hörerplatz einfallende Energie ("frühe Reflexionen") im Verhältnis zu der danach eintreffenden Energie ("Nachhall") beschreibt. Anzustreben sind Werte von $C_{50} > 0$ dB, welche eine sehr gute Sprachverständlichkeit gewährleisten [2].

Für die Bewertung der Bestandssituation wurden Messungen der Nachhallzeit nach DIN EN ISO 3382-1 [3] an insgesamt 16 Positionen im Zuschauerbereich (im unbesetzten Zustand) durchgeführt. Die Anregung erfolgte mittels Signalrevolver von 2 Sendepositionen auf der der Bühne. Die Messungen ergaben eine mittlere Nachhallzeit $T_{30} = 2,2$ sek. Im Frequenzgang zeigte sich die Nachhallzeit sehr unausgewogen mit Werten über 2 sek zwischen 500 Hz und 2 kHz bei einem starken Abfall zu höheren und niedrigeren Frequenzen hin (vgl. Abb. 3). Für eine Verbesserung der Bestandssituation ist zunächst eine Reduktion der Nachhallzeit im mittleren Frequenzbereich erforderlich. Zusätzlich wäre eine Anhebung im tieffrequenten Bereich wünschenswert, was unter den gegebenen Rahmenbedingungen jedoch praktisch nicht zu realisieren ist.

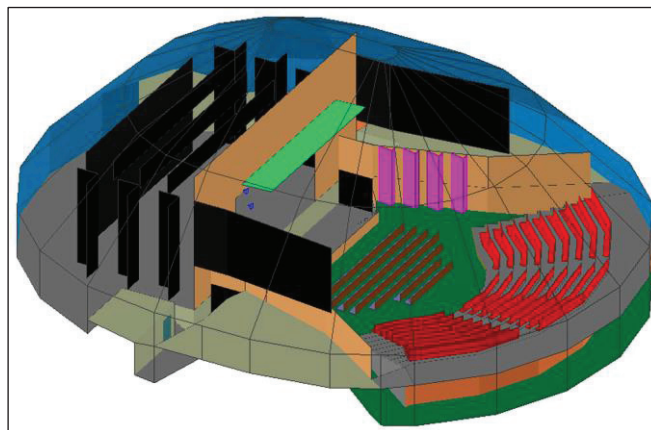


Abbildung 1: 3D-Modell, Empfehlungsvariante mit zusätzlichen Vorhängen im Zuschauerraum (schwarz) und Reflektoren zur Schalllenkung (rosa und hellgrün)

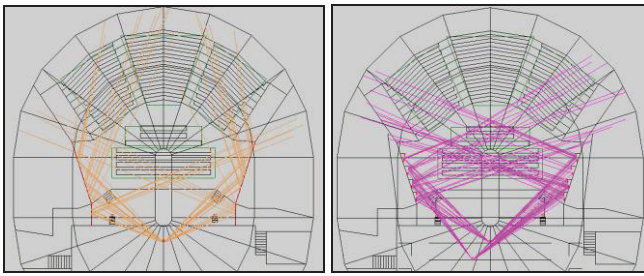


Abbildung 2: Schallstrahlenberechnung der frühen Reflexionen, ohne (links) und mit (rechts) Dreiecksreflektoren

3D-Modell

Der gesamte Innenraum des Theaterzeltes wurde mit seinen akustisch unterschiedlich wirksamen Begrenzungsflächen, Einbauten, Einrichtungsgegenständen als digitales 3D-Modell nachgebildet, welches in der Ausgangsvariante eine Prognose der Nachhallzeit liefert, die möglichst gut mit der messtechnisch festgestellten Situation korreliert. Für alle Begrenzungsflächen und Einrichtungsgegenstände wurden frequenzabhängige Absorptionseigenschaften anhand der verwendeten Materialien bestimmt. Besonderes Augenmerk galt der Zeltplane, welche mit einer Fläche von ca. 1.900 m² in etwa ein Drittel der gesamten akustisch relevanten Oberfläche bildet und das bestimmende Element für alle Deckenreflexionen darstellt. Da keine Informationen zu den Absorptionseigenschaften der Zeltplane zur Verfügung standen, wurden diese anhand der gemessenen Nachhallzeit iterativ abgeglichen. Im Ergebnis zeigt die Zeltplane ab 250 Hz zu tiefen Frequenzen hin zunehmend hohe Absorptionswerte bis hin zur Totalabsorption unter 125 Hz. In der Realität entspricht dies einer hohen Transmission, welche sich auch durch die beobachtete geringe Schalldämmung gegenüber Geräuscheinwirkungen von außen bemerkbar macht.

Verbesserungsmaßnahmen

Auf Basis des abgeglichenen 3D-Modells wurde mithilfe iterativer Optimierungsberechnungen eine Empfehlungsvariante entwickelt, welche die folgenden Maßnahmen zur Verbesserung der Raumakustik umfasst (vgl. Abb. 1):

1. Montage von schweren Vorhängen mit einer Fläche jeweils ca. 55 m² beidseitig über den seitlichen Wänden im Zuschauerbereich
2. Einbau von jeweils vier Reflektoren in Dreiecksform an den seitlichen Wänden des Zuschauerbereichs, vom Boden bis zu einer Höhe von ca. 5 m
3. Einbau eines Reflektors über dem Orchestergraben auf der Traverse oberhalb des Bühnenportals in einer Höhe von ca. 9 m

Die erstgenannte Maßnahme zielt darauf ab, die absorbierende Oberfläche im Raum insgesamt zu vergrößern und somit die Nachhallzeit zu reduzieren. Zu beachten ist dabei, dass die Möglichkeiten zum großflächigen Einbringen von absorbierendem Material durch die begrenzte Tragfähigkeit der Traversen stark beschränkt werden. Die weiteren Maßnahmen dienen der Schalllenkung von frühen Reflexionen in den Parkettbereich um die Sprachverständlichkeit zu verbessern (vgl. Abb. 2).

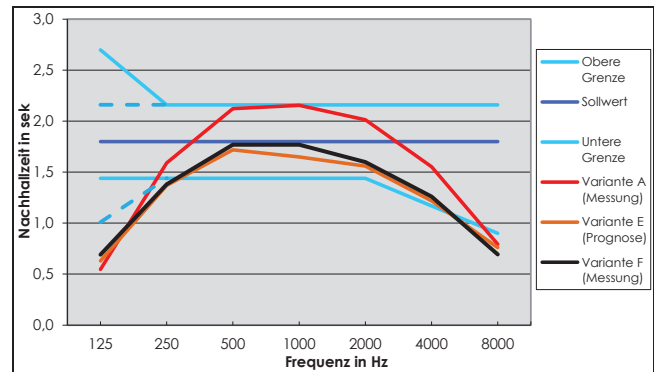


Abbildung 3: Nachhallzeit: Sollwert mit Ober- und Untergrenze nach DIN 18041 (blau), Messung Ausgangssituation (rot), Prognose mit Verbesserungsmaßnahmen (braun), Messung mit realisierten Maßnahmen (schwarz).

Mit Hilfe der empfohlenen Verbesserungsmaßnahmen wird in der Berechnung eine mittlere Nachhallzeit von 1,7 sek prognostiziert, was gegenüber der Ausgangssituation mit 2,2 sek eine deutliche Verbesserung darstellt. Zudem wird in den hinteren Reihen des Parketts das Deutlichkeitsmaß C₅₀ im 1 kHz-Oktavband, welches in der Ausgangssituation zwischen -5 dB und -4 dB beträgt, auf Werte zwischen -3 dB und -1 dB angehoben.

Von den vorgeschlagenen Maßnahmen wurden die Montage der Vorhänge als zusätzliche absorbierende Fläche und der Einbau der seitlichen Dreiecksreflektoren zur Schalllenkung realisiert. Auf den ebenfalls empfohlenen Reflektor über dem Orchestergraben wurde aus praktischen Gründen verzichtet. Zur Beurteilung der resultierenden Raumakustik wurde wiederum eine Messung der Nachhallzeit nach DIN EN ISO 3382-1 an 16 Positionen im Zuschauerbereich (im unbesetzten Zustand) vorgenommen. Im Mittel wurde eine Nachhallzeit T₃₀ = 1,8 sek gemessen (vgl. Abb.3).

Zusammenfassung

Die im Landshuter Theaterzelt in der Ausgangssituation bestehenden Defizite der Raumakustik, welche sich durch eine zu lange Nachhallzeit und eine ungenügende Sprachverständlichkeit im Parkett bemerkbar machten, konnten durch den Einsatz verhältnismäßig einfacher Mittel deutlich gemildert werden. Hierzu wurden auf Basis eines 3D-Modells Verbesserungsvorschläge erarbeitet und deren Umsetzung messtechnisch validiert. Ursächlich für die problematische Raumakustik sind primär die ungünstigen Eigenschaften der Zeltplane, welche im tieffrequenten Bereich sehr hohe Absorptionswerte aufweist und gegenüber Geräuschen von außen keine ausreichende Schalldämmung bewirken kann.

Literatur

- [1] DIN 18041, Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen, 2004
- [2] Fasold, W., Veres, E., Schallschutz und Raumakustik in der Praxis, Berlin 2003
- [3] DIN EN ISO 3382-1, Akustik - Messung von Parametern der Raumakustik - Teil 1: Aufführungsräume, 2009