

# Raumakustische Phänomene in Kirchen – Wechselwirkungen zwischen Orgel und Raum

Eva Veres

Lehrstuhl für Bauphysik der Universität Stuttgart und Fraunhofer-Institut für Bauphysik,  
D-70569 Stuttgart, Germany, Email: veres@po.uni-stuttgart.de

## Einleitung

Im Zusammenhang mit der Aufstellung und Intonation von Orgeln in Kirchen wird von Orgelbauern, Musikern und Zuhörern eine Reihe von raumakustischen Phänomenen beobachtet, die noch nicht ausreichend bekannt und erklärbar sind. Ein Beispiel für derartige Erscheinungen ist, dass einzelne Pfeifen eines Registers nach der endgültigen Anordnung an ihrem Bestimmungsort lauter oder leiser erklingen, als es aufgrund der Vorintonation in der Werksatt zu erwarten wäre. Da diese Phänomene infolge der Geometrie und der akustischen Eigenschaften der Raumbegrenzungsflächen in jedem Raum unterschiedlich in Erscheinung treten, wurden in einigen Stuttgarter Kirchen aus verschiedenen Stilepochen und im Dom zu Speyer messtechnische Untersuchungen durchgeführt. Hierzu wurden jeweils über 50 Raumimpulsantworten unter Variation der Lautsprecher- und Mikrofonpositionen mithilfe der Maximalfolgenteknik ermittelt und daraus mehrere raumakustische Kenngrößen sowie Übertragungsfunktionen (Raumantworten) bestimmt.

## Beurteilung der raumakustischen Qualität von Kirchen

Wie bei Konzertsälen kann es auch bei Kirchenräumen eine Gesamtqualität in der Form einer gewichteten Summe von Teilqualitäten kaum geben. Deshalb werden hier nur einzelne Kriterien anhand von fünf Beispielen behandelt und ihre Eignung zur Charakterisierung der speziellen raumakustischen Verhältnisse in Kirchenräumen – insbesondere im Zusammenhang mit der sich dort befindlichen Orgel – erwogen. Die ausgesuchten Kirchen und einige ihrer charakteristischen Merkmale sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Als eine der wichtigsten objektiven Messgrößen gilt in der Praxis nach wie vor die **Nachhallzeit**  $T_{60}$  (reverberation time).

Die Frequenzgänge der Nachhallzeiten sind Bild 1 zu entnehmen. Ergänzend sind dort die Ergebnisse im Hallraum des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik ( $V = 400 \text{ m}^3$ ) zum Vergleich eingezeichnet.

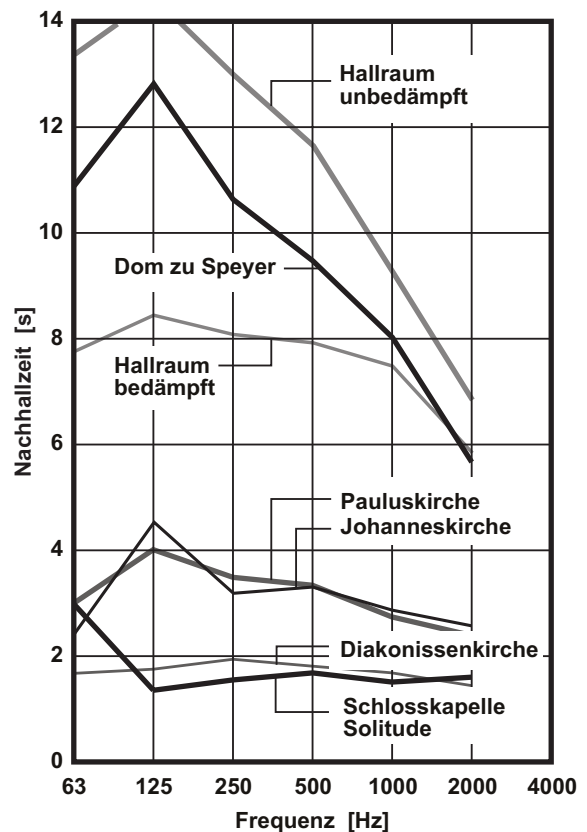


Bild 1: Frequenzverlauf der gemittelten Nachhallzeiten in den ausgewählten Kirchen und im Hallraum

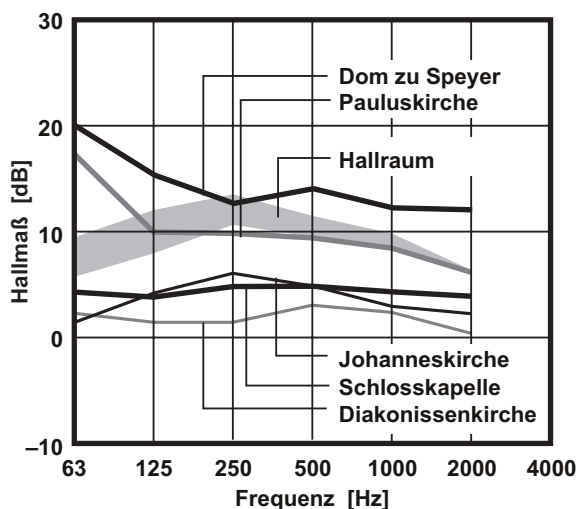
|   | Dom zu Speyer                  | Johanneskirche Stuttgart    | Pauluskirche Stuttgart      | Diakonissenkirche Stuttgart | Schlosskapelle Solitude    |
|---|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Bauzeit ursprünglich<br>Renovierung                                       | 1081 bis 1106<br>2000 bis 2004 | 1865 bis 1876<br>60er Jahre | 1901– 1903<br>1953 bzw.1984 | 1873<br>1951 bzw.1974       | 1764 bis 1769<br>1964      |
| Baustil   | Frühromanik<br>Hochromanik     | Neugotik                    | Neuromanik<br>Modern        | Nachkriegszeit              | Spätbarock<br>Klassizismus |
| Bauform des Langhauses<br>Bauform des Querhauses                          | 3schiffig<br>1schiffig         | 3schiffig<br>3schiffig      | 1schiffig<br>1schiffig      | 1schiffig<br>–              | 1schiffig<br>–             |
| Gesamtlänge<br>Gesamtbreite   | 134 m<br>40 m                  | 52,0 m<br>16,1 m            | 28,0 m<br>18,5 m            | 24,0 m                      | 21,0 m<br>10,5 m           |
| Höhe des Mittelschiffes<br>Höhe der Seitenschiffe<br>Höhe der Querschiffe | 35 m<br>15 m<br>30 m           | 19,3 m<br>12,7 m<br>16,0 m  | 12,0 m<br>–<br>12,0 m       | 10,25 m<br>–<br>–           | 6,0 m<br>–<br>–            |
| Volumen   | 200.000 m <sup>3</sup>         | 9.800 m <sup>3</sup>        | 4.800 m <sup>3</sup>        | 2.720 m <sup>3</sup>        | 1.320 m <sup>3</sup>       |

Tabelle 1: Zusammenstellung von baulichen Merkmalen und einigen Abmessungen (Innenmaße) von fünf ausgewählten Kirchen geordnet nach dem Raumvolumen

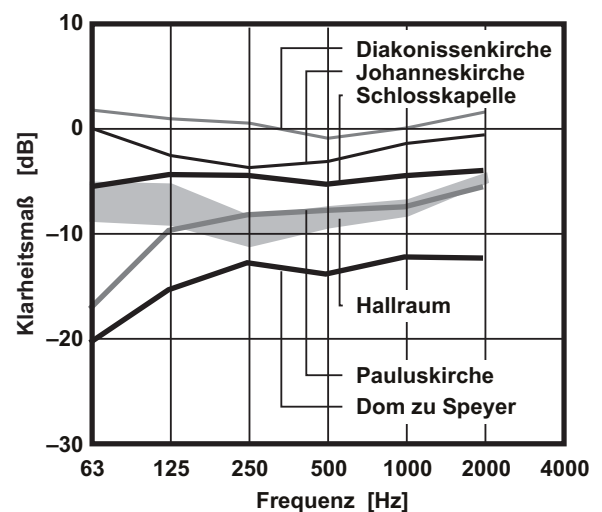
|                                     | mittlere Nachhallzeit [s] | Grenzzeit [ms] | Hallradius [m] | Diffusitäts-grenzfrequenz [Hz] | untere Grenzfrequenz [Hz] | Bass-verhältnis [-] |
|-------------------------------------|---------------------------|----------------|----------------|--------------------------------|---------------------------|---------------------|
| Dom zu Speyer                       | 8,7                       | 894,4          | 8,6            | 17,5                           | 26                        | 1,3                 |
| Johanneskirche                      | 3,1                       | 198,0          | 3,2            | 47,9                           | 71                        | 1,3                 |
| Pauluskirche                        | 3,0                       | 144,2          | 2,4            | 59,2                           | 97                        | 1,2                 |
| Diakonissenkirche                   | 1,7                       | 104,3          | 2,3            | 73,5                           | 101                       | 1,1                 |
| Schlosskapelle Solitude             | 1,6                       | 72,7           | 1,6            | 93,5                           | 139                       | 0,9                 |
| Hallraum (400 m <sup>3</sup> ) leer | 10,4                      |                | 0,35           |                                | 646                       | 1,3                 |
| Hallraum bedämpft                   | 7,7                       | 40,0           | 0,41           | 139,2                          | 555                       | 1,1                 |

**Tabelle 2:** Zusammenstellung einiger aus dem Volumen und der mittleren Nachhallzeit abgeleiteten akustischen Raumkenngrößen der ausgewählten Kirchen gemäß Tabelle 1 und des Hallraums des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, Stuttgart.

Aus dem Volumen, der mittleren Nachhallzeit und dem Frequenzgang der Nachhallzeit lassen sich weitere bekannte Kenngrößen [1] der Räume herleiten. Einige sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Obwohl die Nachhallzeiten der gewählten Beispiele paarweise in ähnlichen Bereichen liegen, ergeben sich durch die Berücksichtigung der Volumina unterschiedliche Kennwerte. Eine weitere Differenzierung der Urteile wird erst durch eine Reihe von raumakustischen Kenngrößen ermöglicht, die sich aus der Raumimpulsantwort errechnen lassen. Als Beispiel sind das Hallmaß  $H$  und das Klarheitsmaß  $C_{80}$  der genannten Räume in Bild 2 bzw. 3 dargestellt. Nach Beranek [2] gilt ein Raum als zu trocken, wenn das Hallmaß  $H < 3$  dB und zu hallig, wenn  $H > 8$  dB beträgt. Im allgemeinen wird die Durchsichtigkeit für gut gehalten, wenn  $C_{80} > 1,6$  dB und für schlecht, wenn  $C_{80} < -1,6$  dB beträgt. Dazwischen liegt ein als „brauchbar“ beurteilter Bereich, der von der Art des betroffenen Musikstückes abhängt. Eine Zuordnung von Klarheitsmaßen zu Orgelkompositionen ist zwar bisher nicht bekannt, laut Befragungen werden aber für Orgelmusik der Speyrer Dom, die Schlosskapelle Solitude und die Johanneskirche als besonders geeignet, die Pauluskirche als weniger geeignet und die Diakonissenkirche als schlecht beurteilt.



**Bild 2:** Frequenzverlauf der gemittelten Hallmaße in den Kirchen gemäß Tabelle 1.



**Bild 3:** Frequenzverlauf der gemittelten Klarheitsmaße in den Kirchen gemäß Tabelle 1.

Bei einer schmalbandigen Analyse der Raumantworten einzelner Kirchen können in der Umgebung von musikalischen Frequenzen weitere Kriterien für die Beurteilung gefunden werden. Die Erforschung der Zusammenhänge ist Gegenstand von weiteren Untersuchungen.

## Zusammenfassung

Obwohl die Nachhallzeit als ein allgemein anerkanntes Kriterium zur pauschalen Beurteilung der raumakustischen Eigenschaften eines Raumes gilt, kann sie die Eignung eines Kirchenraumes für Orgelmusik nicht eindeutig beschreiben. Hierzu können andere aus der Raumimpulsantwort hergeleitete Kenngrößen herangezogen werden, die teilweise völlig andere Urteile erlauben. Ihre Zuordnung zu den Präferenzen von Orgelbauern, Musikern und Zuhörern ist jedoch noch statistisch zu untersuchen.

## Literatur

- [1] Cremer, L.: Welcher Aufwand an Informationen ist erforderlich, um einen Raum akustisch zu charakterisieren? 3. Int. Congress on Acoustics, Stuttgart (1961).
- [2] Beranek, L.L.: Music, Acoustics and Architecture. J. Wiley & Sons, New York (1962).