

Studie zur Raumakustik von Schweizer Kirchen

Desarnaulds, Victor[†], Bossoney, Simon^{††}, Eggenschwiler, Kurt^{†††}.

[†]Bureau d'ing. G. Monay, Lausanne, Schweiz.

^{††}École Polytechnique Fédérale de Lausanne - EPFL, DP, Lausanne, Schweiz.

^{†††}Eidgenössische Materialprüf- und Forschungsanstalt EMPA, Abt. Akustik, Dübendorf, Schweiz.

1. Einleitung

Die Frage der Raumakustik von Kirchen steht im Spannungsfeld vieler stark gegensätzlicher architektonischer und betrieblicher Bedingungen. Architektonisch finden sich von kleinen Kapellen bis zur Kathedrale eine Fülle von Raumformen unterschiedlicher Volumina. In den Kirchenräumen finden bei sehr stark unterschiedlichen Besetzungsgraden ganz verschiedene Anlässe statt. Kirchenbesucher erwarten für alle Nutzungen optimale akustischen Verhältnisse, mit einer zum architektonischen Ausdruck passenden sakralen Stimmung.

Veröffentlichungen zum Thema Akustik in Kirchen beschäftigen sich meistens mit einzelnen, besonderen Bauten, oft Monumentalbauten (z. B. [1, 2, 3]). In einigen Papieren und Büchern werden Vorschläge für optimale Nachhallzeiten und die Gestaltung von Kirchenräumen gemacht (z. B. [4, 5]), oder es werden Studien über die Hörsamkeit in Kirchen vorgestellt [6]. In diesen Zusammenhängen werden jeweils Daten einiger Kirchen mitgeteilt. Systematische Untersuchungen mit statistischen Auswertungen konnten aber selten gefunden werden [7].

2. Datengrundlagen

In der vorliegenden Studie wurden bis zum heutigen Zeitpunkt 150 Kirchen der Schweiz in einer Datenbank erfasst. Die Schweiz ist ein ergiebiges Untersuchungsgebiet für eine solche Studie, weil sowohl von reformierten als auch von katholischen Kirchen auf kleinem Raum Bauten aller Epochen gut vertreten sind. Es wurden die in Tabelle 1 dargestellten Parameter erfasst. Der grösste Teil der Daten wurde speziell für die Studie ermittelt; ein Teil wurde akustischen Gutachten des Ingenieurbüros Monay und der EMPA entnommen. Die Verteilung auf Baustilepochen und Konfessionen findet sich in Tabelle 2.

3. Nachhallzeit, Volumen, Volumen/Person,

Die Mittelwerte der Nachhallzeiten (gemittelt über den ganzen Frequenzbereich) sind nach Bauepochen und Konfessionen aufgeschlüsselt in Tabelle 3 dargestellt. Die Tabelle 4 enthält in gleicher Darstellung die mittleren Raumvolumina und die mittleren spezifischen Volumina (Volumen/Person).

Ein erster Blick auf die Tabelle 3 bestätigt die oft gehörte Behauptung, dass *die Nachhallzeit in katholischen Kirchen länger ist als in reformierten*, wo dem gesprochenen Wort im Sinne der Reformation mehr Gewicht beigemessen werde.

Weiter wird der bekannte *Unterschied zwischen unbesetzter und besetzter Kirche deutlich sichtbar*. Damit wird auch auf eines der Hauptprobleme der Kirchenakustik hingewiesen: In den heute bei normalen Gottesdiensten häufig schwach besetzten Kirchen ist die Nachhall-

Tabelle 1 Erfasste Parameter

- Nachhallzeiten · unbesetzt: gemessen · besetzt: berechnet	- Volumen - Grundfläche ¹ - Anzahl Plätze - Anordnung der Plätze ¹ - Lage (städtisch /ländlich) ¹ - Bauepoche
- Sprachverständlichkeitsindex RASTI ¹	
- Hintergrundgeräusch ¹	
- Konfession (aktuell)	- Vorhandensein und Dimensionen von Kanzel und Kanzeldeckel ¹
- Beschallungsanlage ¹	

¹Nur für einen Teil der Kirchen.

Tabelle 2 Anzahl untersuchter Kirchen

Konfession	Romanisch und Gotisch <1530	Barock 1530-1815	Neoklassizismus 1815-1915	Modern >1915	Alle
Kath.	7	7	18	27	59
Ref.	25	21	15	30	91
Σ	32	28	33	57	150

Tabelle 3 Mittlere Nachhallzeiten über den ganzen Frequenzbereich.

Konfession		Romanisch und Gotisch >1530	Barock 1530-1815	Neoklassisch 1815-1915	Modern >1915	Alle
		Kath.	U B	3.7 2.4	3.0 2.3	4.1 2.2
Ref.	U B	3.1 1.9	2.2 1.2	2.5 1.4	2.6 1.4	2.6 1.5
Σ	U B	3.2 2.0	2.4 1.5	3.3 1.9	2.9 1.6	3.0 1.7

U = unbesetzt, gemessen. B = besetzt, berechnet.

zeit oft zu lang, und damit die Sprachverständlichkeit schlecht. Im besetzten Zustand, der die ursprüngliche Nutzung widerspiegelt, sind die Verhältnisse viel besser. Hier ist die mittlere Nachhallzeit über alle Bauepochen bei katholischen und reformierten Kirchen mit 2.1 und 1.5 Sekunden nicht extrem hoch.

Ein Vergleich der Nachhallzeiten über die Baustilepochen zeigt bei beiden Konfessionen die historische Entwicklung der Liturgie und der jeweiligen akustischen Anforderungen.

Romanische und Gotische Kirchen haben die längsten Nachhallzeiten. Die Raumakustik unterstützt viel mehr die sakrale Stimmung als eine gute Sprachverständlichkeit. Für die Liturgie des Klerus im Chor (ev. hinter dem Lettner) und den Gregorianischen Gesang sind die Verhältnisse angepasst. Der Unterschied zwischen ka-

tholischer und reformierter Konfession ist hier im unbesetzten Zustand nicht so gross wie später. Der Grund liegt wohl darin, dass diese Bauten aus der Zeit vor der Reformation stammen, und damit eigentlich noch zu den katholischen Kirchen gezählt werden können. Der Unterschied zwischen den Konfessionen für den besetzten Zustand ergibt sich vermutlich aus der durch die Reformation bedingten Verdichtung der Sitzplätze in den reformierten Kirchen. Sie manifestiert sich im viel kleineren spezifischen Volumen von 12 m³ im Vergleich zu den 19 m³ pro Person bei den katholischen Kirchen (Tabelle 4).

Nach der Reformation (*Barock*), werden in den reformierten Kirchgemeinden nicht mehr nur bestehende Kirchen umgebaut, sondern es werden spezifisch reformierte Neubauten erstellt. Sie haben bei einer dichteren Besetzung mit Kirchenbesuchern viel kürzere Nachhallzeiten. Die zentrale Bedeutung des Wortes nach der Reformation, liturgisch offenbar beim Verlesen des Evangeliums und bei der Predigt, wird mit einer recht kurzen mittleren Nachhallzeit von 1.2 Sekunden im besetzten Zustand klar unterstützt. Die Gegenreformation zieht bei den Katholiken weniger ausgeprägte Änderungen nach sich, so dass ein grosser Unterschied (vor allem in unbesetzten Kirchen) zwischen den Nachhallzeiten der katholischen und reformierten Kirchen dieser Zeit bleibt.

Die Entwicklung der Musik und der Predigt in der Zeit der *neoklassischen* Baustilepoche führt zu einer leichten Verlängerung der Nachhallzeit in den reformierten Kirchen. Sie ist auch verbunden mit einer anderen Anordnung der Bänke. In den katholischen Kirchen führt der Rückblick auf das Mittelalter zu einer Verlängerung der Nachhallzeit. Mit 12 m³ pro Person liegt das spezifische Volumen im Mittel aber in einem Bereich, wo eine genügende Sprachverständlichkeit in der voll besetzten Kirche bei rund 2.2 s Nachhallzeit noch möglich ist. Die Unterschiede katholisch/reformiert im besetzten Zustand sind kleiner als zuvor.

Nach 1915 ist es vor allem das 2. Vatikanische Konzil, welches eine grosse Änderung im katholischen Kirchenbau auslöst. In den katholischen Kirchen wird das spezifische Volumen kleiner, und damit die Nachhallzeit wesentlich kürzer als zuvor. Bei den reformierten Kirchen sind die Verhältnisse praktisch gleich geblieben. Die katholischen und reformierten Bauten haben sich eher angenähert. Auffallend ist die starke Streuung von eher trockenen und sehr halligen Bauten.

Es wurde auch versucht, den von [8] postulierten *Zusammenhang zwischen dem Frequenzgang und der Baustilepoche* zu finden. Bei der gewählten Unterteilung der Baustilepochen war indessen ein signifikanter Zusammenhang nicht nachzuweisen.

4. Sprachverständlichkeit

Für 28 Kirchen liegen Messungen der Sprachverständlichkeit (Methode RASTI) vor (Tabelle 5). Es wurde vorläufig darauf verzichtet, die Messresultate irgendwie bezüglich Messpositionen zu normieren. Auffallend ist der geringe Unterschied der Messergebnisse ohne und mit Beschallungsanlage – kein besonders gutes Zeugnis für die Beschallungsfirmen.

In 40 Kirchen wurde auch das Grundgeräusch gemessen (Tabelle 6). Die Pegel liegen relativ tief, so dass der Einfluss auf die Sprachverständlichkeit erwartungsgemäss praktisch auszuschliessen ist. Die zum Teil sehr schlechte Sprachverständlichkeit muss auf die langen Nachhallzeiten zurückgeführt werden.

5. Weitere Aspekte [9]

In der Studie wurden weitere Aspekte wie die Anordnung der Bänke und die Art der Kanzel untersucht. Sie können an dieser Stelle nur angeschnitten werden. In modernen Kirchen trifft man immer seltener auf eigentliche Kanzeln, und wenn sie vorhanden sind, sind sie tiefer angeordnet als früher. Der Kanzeldeckel ist oft zu klein und schlecht ausgerichtet, um den Schall auf die Kirchenbesucher zu reflektieren. Nützlich sind die Kanzeldeckel besonders in Kirchen mit sehr hohen Decken ($h > 9m$), weil sie dort schädliche Deckenreflexionen vermindern.

Tabelle 4 Volumen und spezifisches Volumen (Volumen pro Person) [m³]

Konfession	Romanisch und Gotisch <1530	Barock 1530-1815	Neoklassisch 1815-1915	Modern >1915	Alle
Katholisch	5600 19	6700 24	6300 12	4300 10	5300 13
Reformiert	7400 12	2600 8	3500 8	2800 8	4200 9
Σ	7000 13	3600 12	5000 10	3500 9	4600 11

Tabelle 5 Sprachverständlichkeitsindex RASTI

	Mittelwert	Standabw.
Ohne Beschallungsanlage	0.41	0.06
Mit Beschallungsanlage	0.44	0.06

Tabelle 6 Grundgeräuschpegel in dB(A), (dB(lin.))

	Mittelwert	Standabw.
Städtisch	35 (56)	7 (5)
ländlich	23 (46)	4 (5)

Literatur

- [1] Keibs L., Kuhl W. Zur Akustik der Thomaskirche in Leipzig. *Acustica* Vol. 9 (1959), 365-370.
- [2] Lewers T.H., Anderson J.S. Some Acoustical Properties of St. Paul's Cathedral, London. *J. Sound and Vibration* (1984) 92 (2), 285-297.
- [3] Shankland R. S., Shankland H.K., Acoustics of St. Peter's and Patriarchal Basilicas in Rome. *J. Ac. Soc. Am.* Vol. 50 (1971), 389-396
- [4] Lubmann D., Wetherill E.A. (Editors). *Acoustic of worship spaces*. Acoustical Society of America. 1983
- [5] Zeller W. Zur raumakustischen Gestaltung von Kirchen. *Lärmbekämpfung* 4 (1960) S.80-84
- [6] Werner R., Einflüsse raumakustischer Faktoren auf das Musikhören in Kirchen. *Merseburger* Berlin 1970
- [7] Faern R. W., Reverberation in Spanish, English an French Churches. *J. Sound and Vibration* (1975)43 662-567.
- [8] Venzke G., Die Raumakustik der Kirchen verschiedener Baustilepochen. *Acustica* Vol. 9(1959) p. 151-154.
- [9] Desarnaulds V., *Acoustique et liturgie*, Séminaire de Culture Théologique, Lausanne 1998