Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 117 (1999)
Heft: 25

Artikel: Aktuelle Aspekte der Kirchenakustik
Autor: Eggenschwiler, Kurt / Baschnagel, Karl
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-79755

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 31.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Kurt Eggenschwiler, Karl Baschnagel, Dübendorf

Aktuelle Aspekte der Kirchenakustik

Die Akustik von Kirchen gibt häufig zu Diskussionen Anlass. Oft beklagen sich Kirchenbesucher über eine mangelhafte Sprachverständlichkeit, seltener auch über eine schlechte Musikhörsamkeit oder ungenügende Verhältnisse zum Musizieren. Werden Massnahmen zur Verbesserung der Akustik erwogen, befürchten Musiker oder Organisten eine Verschlechterung der Verhältnisse für Musik, und Architekten und Denkmalschutz sehen in ihrem Bereich Gefahren.

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 akustische Verhältnisse mit einer zum architektonischen Ausdruck passenden sakralen Stimmung.

Eine neuere, von der Schweizerischen Gesellschaft für Akustik unterstützte Studie befasste sich mit den akustischen Verhältnissen in Schweizer Kirchen[1]. Eine statistische Auswertung von 150 Kirchen zeigte interessante Zusammenhänge von Nachhallzeit, Baustilepoche und Konfession (Bild 1). So konnte gezeigt werden, dass die Nachhallzeit in katholischen Kirchen im Mittel länger ist als in evangelisch-reformierten, wo dem gesprochenen Wort im Sinne der Reformation mehr Gewicht beigemessen wird.

Weiter wird der bekannte Unterschied zwischen unbesetzter und besetzter Kirche deutlich sichtbar. Bekanntlich absorbieren die Kirchenbesucher recht viel Schallenergie, womit der Nachhall bei besetzten Kirchen kürzer wird als bei unbesetzten. Auf eines der Hauptprobleme der Kirchenakustik wird damit hingewiesen: In den heute bei normalen Gottesdiensten häufig schwach besetzten Kirchen ist die Nachhallzeit oft zu lang und damit die Sprachverständlichkeit schlecht. Im besetzten Zustand, der die ursprüngliche Nutzung widerspiegelt, sind die Verhältnisse im Mittel viel besser.

Beim Vergleich der Nachhallzeiten über die Baustilepochen zeigt sich schliesslich bei beiden Konfessionen die historische Entwicklung der Liturgie mit den jeweiligen akustischen Anforderungen. In der Studie wurden auch Messwerte für die Sprachverständlichkeit von 28 Kirchen statistisch ausgewertet (Bild 2). Auffallend ist der geringe Unterschied der Messergebnisse ohne und mit Beschallungsanlage - kein besonders gutes Zeugnis für die Beschallungsfirmen. Die Ergebnisse decken sich mit den Erfahrungen der Empa, die oft beigezogen wird, wenn in Kirchen akustische Mängel beklagt werden. Die häufigsten Probleme sind:

- Schlechte Sprachverständlichkeit in der schwach besetzen Kirche
- Zu langer Nachhall für die allgemeine Nutzung der Gemeinde, manchmal sogar für Musik und Orgel
- Beschallungsanlagen, die ungenügende Leistungen bringen
- Schlecht funktionierende Schwerhörigenanlagen (Induktives Prinzip).

Im Folgenden werden einige dieser Problemkreise angeschnitten und es werden Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt.

Konfession		Romanisch und Gotisch vor 1530	Barock 1530–1815	Neoklassisch 1815–1915	Modern nach 1915	Alle
Kath.	U	3,7	3,0	4,1	3,3	3,5
	B	2,4	2,3	2,2	1,8	2,1
Ev.-Ref.	U	3,1	2,2	2,5	2,6	2,6
	B	1,9	1,2	1,4	1,4	1,5
Σ	U	3,2	2,4	3,3	2,9	3,0
	B	2,0	1,5	1,9	1,6	1,7

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

Optimale Nachhallzeiten für einen Raum von 5000 m³:

Sprache	1,2 Sekunden
Sinfonische Musik	1,7 Sekunden
Sakrale Musik, Orgel	2-3 Sekunden

1
Nachhallzeiten in Kirchen (Mittelwerte über ganzen Frequenzbereich)

	Mittelwert	Standabweichung
Ohne Beschallungsanlage	0,41	0,06
Mit Beschallungsanlage	0,44	0,06

Bemerkung: Die Messungen fanden in den unbesetzten Kirchen statt; die Werte gelten somit auch in etwa für schwach besetzte. Die Grenze für eine genügende Sprachverständlichkeit liegt bei 0,45.

Zuordnung:

0,30-0,45	schlecht
0,45-0,60	befriedigend
0,60-0,75	gut

2
Mittelwert des Sprachverständlichkeitsindex RASTI (Messungen in 28 Kirchen, ohne Publikum)

Schallabsorbierende Sitzkissen auf Kirchenbänken

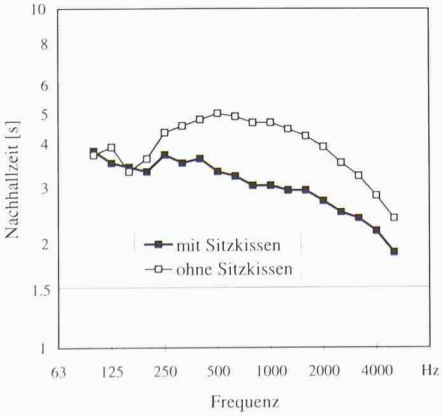
Das Problem des langen Nachhalls stellt sich besonders in der schwach besetzten Kirche. Die Verhältnisse entsprechen dann beinahe jenen der unbesetzten (Bild 1). Für den voll besetzten Zustand werden nur selten Klagen wegen schlechter Sprachverständlichkeit geäussert. Bekanntlich sind heute Kirchen oft eher schwach besetzt, sei es, weil die Kirchenbesucher ausbleiben, die Kirche zu gross geplant wurde oder die Kirche für Anlässe benutzt werden muss, für die andere, kleinere Räume eigentlich geeigneter wären.

Wie soll die fehlende Schallabsorption eingebracht werden? Wenn Wände oder Decke teilweise mit absorbierenden Materialien verkleidet werden, ist nicht nur der Konflikt mit Denkmalschutz und Archi-

3
Pfarrkirche St. Martin Zufikon AG, nach der Innenrenovation. Architekt: Paul Arnold, Sempach (Bild: T. Bütler, Luzern)

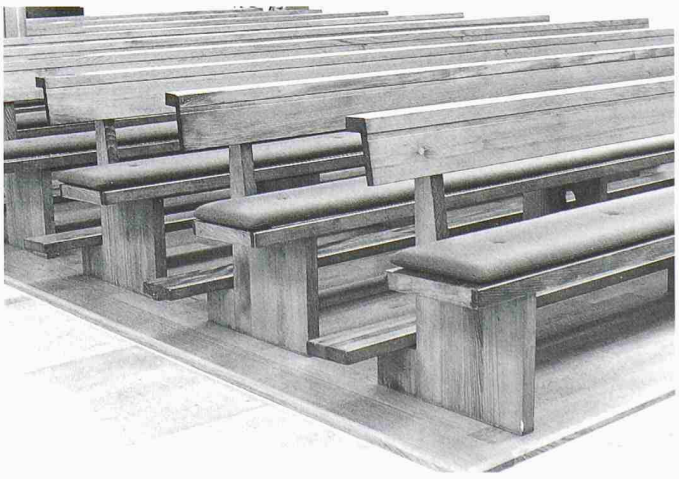
tekten unausweichlich. Auch die raumakustischen Verhältnisse leiden in der Regel stark unter solchen Massnahmen: Die Flächen werden auch im besetzten Zustand voll wirksam, so dass das Ergebnis ein für Musik und sakrale Stimmung viel zu kurzer Nachhall ist.

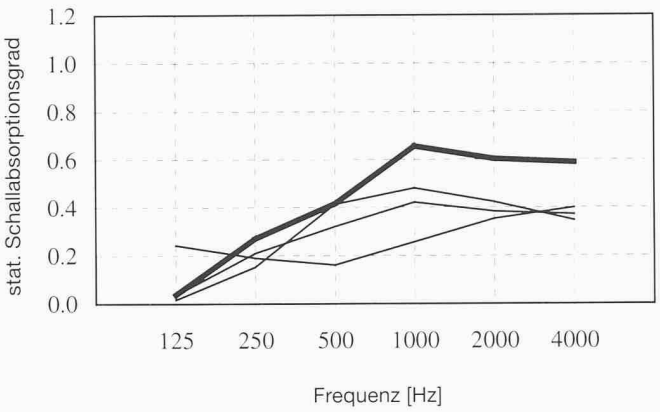
Mit schallabsorbierenden Sitzkissen auf den Kirchenbänken (eventuell inkl. Sitzlehnen) werden in solchen Fällen die beschriebenen akustischen Nachteile weitgehend vermieden. Im schwach besetzten Zustand bringen die Sitzkissen einen gewissen Ersatz für die fehlende Schallabsorption der abwesenden Kirchenbesucher. Im voll besetzten Zustand werden sie durch die Personen praktisch völlig abgedeckt. Es ist dann nur noch die Absorption der Kirchenbesucher wirksam. Ein Beispiel einer wirksamen Reduktion der Nachhallzeit durch Sitzkissen zeigt die katholische Kirche St. Martin in Zufikon (Bild 3 und 4). Die in Zufikon bei der Innenrenovation verwendeten Sitzkissen haben eine besonders gute schallschluckende Wirkung (Bild 5). Dazu wurden verschiedene Kombinationen von Schaumstoffen und Stoffbespannungen im Impedanzrohr und im Hallraum der Empa geprüft. Durch eine geschickte Wahl von Schaumstoff, Vlies und Stoffüberzug konnte ein maximaler Absorptionsgrad erreicht werden (Bild 6).



4 (links)
Nachhallzeit in der Pfarrkirche St. Martin, Zufikon (Raumvolumen ca. 4500 m^3). Ohne Sitzkissen liegt die Nachhallzeit in der unbesetzten Kirche im Mitteltonbereich bei rund 4,8 Sekunden, mit Sitzkissen bei 3,3 Sekunden

5 (rechts)
Schallabsorbierende Sitzkissen in der katholischen Kirche Zufikon





6
Schallabsorptionsgrad verschiedener Sitzkissen berechnet aus Nachhallzeitmessungen in Kirchen.
Für die Berechnung wurde die Publikumsfläche, also Bänke inkl. Zwischenräume, verwendet. Die fette Linie zeigt die Messresultate der Sitzkissen von Zufikon

Beschallungsanlagen

Schallabsorbierende Sitzkissen sind eine Massnahme, die auch dem guten Funktionieren einer Beschallungsanlage entgegenkommt. Einerseits wird die Sprachverständlichkeit schon wegen des kürzeren Nachhalls besser. Anderseits wird der von den Lautsprechern auf die unbesetzten Bänke abgestrahlte Schall absorbiert, womit das Diffusschallfeld durch die Lautsprecher nicht zusätzlich angeregt wird. Aber auch in Kirchen mit schallabsorbierenden Kissen hat die Beschallungsanlage wegen des meistens immer noch recht langen Nachhalls eine schwierige Aufgabe zu bewältigen. Um eine genügende Sprachverständlichkeit zu erreichen, muss beim Hörerplatz ein genügend grosser Anteil des direkten Schalls von den Lautsprechern im Verhältnis zum störenden Diffusschall (Raumreflexionen, Nachhall) erreicht werden. Dieses Verhältnis nimmt mit zunehmendem Abstand von der Quelle ab. Gute Sprachverständlichkeit auch auf den hinteren Plätzen erfordert daher gut bündelnde Lautsprecher. Je länger der Nachhall wird, um so kleiner wird im übrigen der Bereich mit grossem Direktschallanteil.

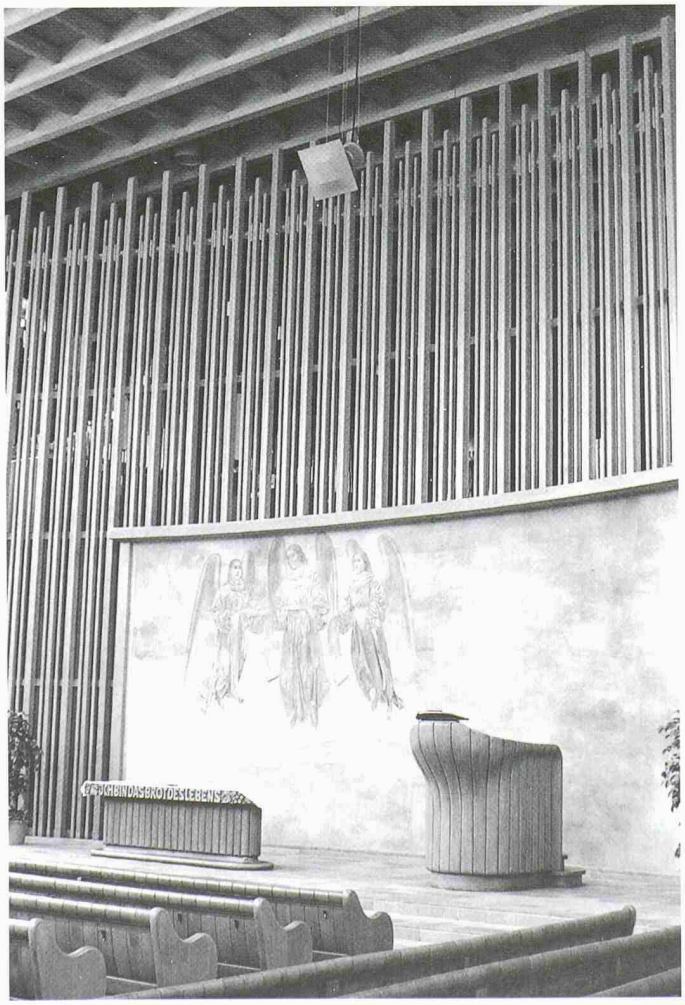
Eine Optimierung von genügend starkem Direktschall auf möglichst vielen Plätzen ist eine schwierige Aufgabe, die weder mit Allgemeinwissen über Hifi-Anlagen noch Spezialwissen über Musikbeschallung gelöst werden kann. Leider beschränkt man sich bei Sprachbeschallungsanlagen in der Regel auf zwei Schritte: Ausschreibung und Realisierung. Aus langer Erfahrung der Empa muss aber dringend empfohlen werden, sich auch der Planung von solchen Aufgaben mit professioneller Sorgfalt anzunehmen, am besten in folgenden Schritten:

- Pflichtenheft zusammen mit allen Beteiligten erstellen (inkl. Schwerhörigenverein)
- Akustische Beurteilung des Kirchenraumes, eventuell Durchführen von raumakustischen Massnahmen
- Konzept für Beschallung und Schwerhörigenanlage auf Grund der raumakustischen Daten
- Eventuell Probebeschallung mit einem Vergleich verschiedener Konzepte und Produkte mit messtechnischer Begleitung
- Ausschreibung
- Vergleich der Offerten (inkl. technische Überprüfung)
- Realisierung
- Abnahme der Anlage inkl. Überprüfung der Schwerhörigenanlage, möglichst mit Messungen.

Eine Beschallungsanlage in einer Kirche kann eigentlich nur geplant werden, wenn die raumakustischen Eckdaten bekannt sind. Mit diesen Daten wird eine Simulation auf dem Computer durchgeführt, wo der Einsatz verschiedener Lautsprechertypen und -positionen durchgerechnet wird.

Aufgrund der Nachhallzeit und Raumgeometrie wird zuerst untersucht, ob die Installation einer Zentralbeschallung möglich ist. Mit der Anordnung der Lautsprecher an einem Ort (evtl. mit abgesetzten, zeitverzögerten Hilfslautsprechern) werden im Vergleich zu anderen Varianten der Beschallung die besten Resultate in Bezug auf Sprachverständlichkeit, gleichmässiger Lautstärkeverteilung, Klangtreue und Vorneortung erreicht!

In vielen Kirchen wurde in der Vergangenheit eine Zentralbeschallung mit Gewinn installiert, so z.B. in der katholischen Stadtkirche Aarau, in der evangelisch-reformierten Kirche Amriswil und in



7
Zentralbeschallung in der evangelisch-reformierten Kirche auf der Egg, Wollishofen

der evangelisch-reformierten Kirche auf der Egg in Zürich-Wollishofen (Bild 7).

Es gibt ästhetische Bedingungen, die in gewissen Fällen gegen eine Zentralbeschallung sprechen. Aber gerade in Kirchen sind es oft auch akustische und geometrische Gründe, was trotz der allgemein grossen Vorteile der Zentralbeschallung nicht verschwiegen werden darf.

Es sind uns in letzter Zeit Beispiele von Zentralbeschallungen in Kirchen begegnet, die wegen der raumakustischen Randbedingungen schlecht funktionieren oder auch unsachgemäss installiert wurden. In den meisten Fällen wurden die Anlagen unsorgfältig geplant.

Wenn die Nachhallzeit zu lang und die Geometrie ungünstig ist, muss eine andere Beschallungsart gewählt werden. In sehr halligen Kirchen wird meistens eine sogenannte Folgebeschallung mit den bekannten Tonsäulen installiert. Es ist schade, dass bei diesen Anlagen bei der Planung am wenigsten Sorgfalt verwendet wird. Besonders auffallend ist, dass Lautsprecher eingesetzt werden, deren akustische Qualität gering ist, die dafür aber relativ schlank aussehen und nicht viel kosten. Viel weniger gespart wird dann in der Verstärkerzentrale, wo sich oft für Tausende von Franken Geräte stapeln, die vielfach unnötig sind und deren Bedienung für Laien und eigentlich auch für Experten viel zu kompliziert ist.

Wir plädieren bei allen Arten von Kirchenbeschallungen für qualitativ hochstehende Lautsprecher, die bei starker Richtwirkung über eine natürliche Klangqualität verfügen. Aus physikalischen Gründen müssen solche Lautsprecher etwas grösser sein als gewisse Tonsäulen, die sich auf dem Markt befinden. Im Hinblick auf eine gute Sprachverständlichkeit und Klangtreue lohnt sich aber diese Investition (Bild 8).

8
Lautsprecherzeilen in der katholischen Kirche Zufikon: Starke Richtwirkung bei guter Klangqualität

Induktive Höranlagen für Schwerhörige

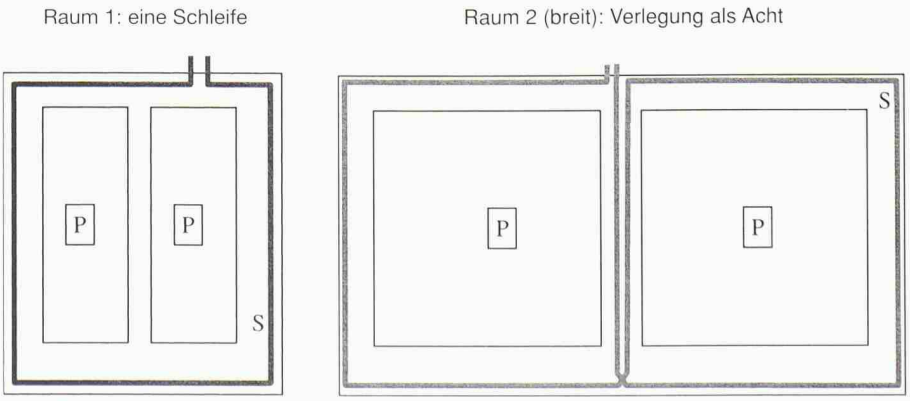
Das trübste Kapitel bei den Tonübertragungsanlagen ist für die allermeisten Kirchenbesucher unsichtbar und unhörbar. Und die betroffenen Träger von Hörgeräten meinen, eine bessere Qualität sei nicht möglich. Sie wehren sich häufig nicht mehr, weil sie resigniert haben.

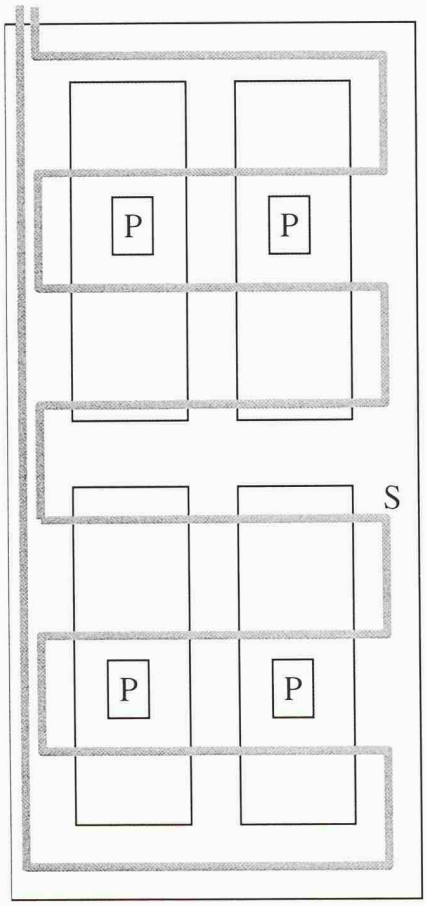
Das Ziel einer Schwerhörigenanlage ist es, den hörbehinderten Menschen anstelle von verhallter Sprache, die viel schlechter zu verstehen ist, ein besser verständliches Signal zur Verfügung zu stellen. Es kann an geeigneter Stelle von der Beschallungsanlage abgenommen werden und, wie in vielen öffentlichen Gebäuden üblich, über eine im Raum verlegte Induktionsschleife als magnetisches Wechselfeld angeboten werden. Wird am Hörgerät oder an der Fernbedienung ein Schalter auf «T» gestellt, verarbeitet das Gerät nicht mehr das vom Hörgerätmikrofon aufgenommene Schallsignal, das alle Raumreflexionen enthält. Die Sprache wird in diesem Modus von der Induktionsschleife direkt über eine ins Hörgerät eingebaute Induktionsspule eingespeist. Damit entfällt der grösste Teil des Nachhalls, Störschall wie Husten und Räuspern der Nachbarn wird stark reduziert, und die Sprachverständlichkeit wird wesentlich besser - gutes Funktionieren der Anlage vorausgesetzt. Die Qualität der meisten Anlagen erfüllt allerdings die Anforderungen der auch von der Schweiz anerkannten Norm IEC 118-4 nicht[2]:

- Gleichmässige Feldstärkeverteilung auf allen Plätzen (± 3 dB re 100 mA/m)
- Guter Klang (± 3 dB 100 Hz–5000 Hz in Bezug auf 1000 Hz).

Es muss zugegeben werden, dass die zitierten Anforderungen hoch sind. Je nachdem, wie ein Raum gebaut ist, wird die Abstrahlung durch armierte Betonböden und Wände, Stahlkonstruktionen (für Hubböden usw.), elektrische Heizrohre usw. stark gedämpft. Oft finden Fremdeinstreuungen wie das Brummen von der Elektrizitätsversorgung oder von einer elektrischen Heizung statt. Bei Neubauten kann in Ab-

9
Schematische Darstellung zum richtigen Verlegen einer Induktionsschleife für eine Schwerhörigenanlage. P=Publikumsbereich, S=Induktionsschleife





10
Falsch verlegte Induktionsschleife für eine Schwerhörigenanlage. P=Publikumsbereich, S=Induktionsschleife

sprache mit dem Elektroplaner versucht werden, gegen solch widrige Bedingungen etwas zu unternehmen.

Leider erfährt die Sprachübertragung zusätzlich zu den ohnehin ungünstigen Voraussetzungen eine unnötige Verschlechterung durch unsorgfältiges Planen der Induktionsschleife oder bei der Wahl der elektronischen Geräte. Aus der Erfahrung der Empa können folgende Ratschläge weitergeben werden:

- Ziel bei der Planung der Schleife ist eine gleichmässige Versorgung eines möglichst grossen Teils der Publikumsfläche
- Wenn ein Teil der Publikumsfläche aus triftigen Gründen nicht versorgt werden kann, sind solche Gebiete den Trägern von Hörgeräten auf geeignete Weise bekanntzumachen (z.B. Wandskizze beim Eingang)
- Die Induktionsschleife ist grundsätzlich möglichst weit weg von der Publikumsfläche auf Bodenniveau einzulegen. Denkbar ist aber auch das Einbringen der Schleife in grösserer Höhe, z.B. im Dachstock entlang der Aussenwand
- In Bild 9 sind zwei prinzipiell mögliche Verlege-Arten dargestellt. Die Acht kommt vor allem bei grösseren Räumen in Frage
- Völlig falsch ist das kammartige Verlegen wie in Bild 10. Hörgeräte direkt über dem Schleifenleiter empfangen kein magnetisches Feld, weil der Feldvektor horizontal zur Empfangsspule steht. Unmittelbar neben dieser Stelle wird die Feldstärke dagegen sehr gross
- Bei grösseren Räumen ist für die Dimensionierung der Induktionschleife eine Computersimulation angebracht
- Bereits in der Planung sollte der Einfluss von Störfeldern abgeklärt werden
- Da auch bei seriöser Planung die Abschätzung der Störfelder schwierig ist, muss bei der Inbetriebnahme der Anlage die Feldstärke auf der ganzen Publikumsfläche kontrolliert werden
- Der weit verbreitete Schleifentrafo hat heute ausgedient. Ein ausgeglichener Klang, vor allem in den hohen, für die Sprachverständlichkeit wichtigen Frequenzen kann nur erreicht werden, wenn das Sprachsignal mit einem Stromverstärker mit AGC (Automatic Gain Control) mit Bandpassfilter und einer allfälligen Kompensationsmöglichkeit der Armierungseisenverluste in die Induktionsschleife eingespeist wird.

Schlussbemerkungen

Die akustischen Verhältnisse in Kirchen sind unbestritten schwierig. Zu oft aber werden in der Planung und Realisierung Fehler gemacht, die vermieden werden könnten. Wenn die Gewichtung der Nutzungen (Sprache, Musik, Sakralraum, Museum) festgelegt sind, können mit modernen Planungswerkzeugen[3] Raumakustik und Beschallung projektiert werden. Die Qualität der realisierten Anlage soll abschliessend messtechnisch und subjektiv geprüft werden.

Adresse der Verfasser:
Kurt Eggenschweiler, dipl. El.-Ing. ETH, *Karl Baschnagel*, Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf

Neue Generation von Schallzeilen

Ein Nachteil ist die Notwendigkeit, Tonsäulen leicht zu neigen, was oft das architektonische Bild stört. Seit kurzem sind aber Schallzeilen auf dem Markt, die senkrecht montiert werden können. Die erforderliche Neigung der Abstrahlung wird durch eine raffinierte elektronische Ansteuerung der einzelnen Lautsprecher der Tonsäule realisiert und kann individuell programmiert werden. Es wird zudem eine ausserordentlich starke Bündelung erzeugt, die mit konventionellen Lautsprechern nicht erreicht werden kann. Solche Lautsprecher sind zwar relativ teuer, doch genügt selbst in halligen Kirchen oft ein einziger zur wirkungsvollen Beschallung.

Anmerkungen

[1] *Desarnaulds Victor, Bossoney Simon, Eggenschwiler Kurt*: Studie zur Raumakustik von Schweizer Kirchen. DAGA 98 in Zürich. In «Fortschritte der Akustik DAGA 98» S. 710–711

[2] IEC 118-4: Methods of measurements of electro-acoustical characteristics of hearing aids. Part 4: Magnetic field strength in audio-frequency induction loops for hearing aid purposes

[3] *Eggenschwiler Kurt, Heutschi Kurt*: Raumakustische Planungs- und Messverfahren. Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 38 1998, S. 708–712