

## Anforderungen an Beschallungsanlagen für Hörsäle

Kurt Eggenschwiler, Karl Baschnagel

Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt EMPA, Abteilung Akustik, CH-8600 Dübendorf

Email: [kurt.eggenschwiler@empa.ch](mailto:kurt.eggenschwiler@empa.ch)

### Einleitung

Bei grösseren Unterrichtsräumen ist der Einsatz von Beschallungsanlagen erforderlich. In der Regel werden dabei hochwertige Komponenten eingesetzt. Leider sind die erzielten Resultate trotzdem häufig unbefriedigend. Dem Pflichtenheft und dem Beschallungskonzept mit seinem Zusammenspiel von Nutzung, Raum- und Elektroakustik wird oft viel zu wenig Bedeutung zugemessen.

### Häufige Mängel

Im Sinne einer groben Schätzung können mehr als die Hälfte der in der Schweiz in Hörsälen und anderen Unterrichtsräumen installierten Beschallungsanlagen als ungenügend bezeichnet werden. Die Frage, wieso sich die Nutzer der Räume nicht stärker wehren, wäre eine spezielle Studie wert. Häufige Mängel sind:

- Kein Pflichtenheft
- Konzeptionelle Mängel
- Nicht geeignete Lautsprecher (Richtcharakteristik!)
- Falsche Position und/oder Ausrichtung der Lautsprecher
- Falscher Frequenzgang
- Optimierte auf Musik statt Sprache
- Fehlende Zeitkohärenz bei mehreren Lautsprechern
- Ungenügende Übersteuerfestigkeit von Mikrofoneingängen
- Zu kompliziertes elektronisches Layout
- Anlage zu kompliziert für Laien
- Raumakustische Probleme
- Anlage für Schwerhörige nicht vorhanden, funktioniert schlecht oder überhaupt nicht

### Grundlegende Anforderungen

Primäres Ziel einer Beschallungsanlage ist selbstverständlich eine möglichst gute Sprachverständlichkeit auf allen Hörerplätzen für jede Besetzung. Zu berücksichtigen ist die Kommunikation in Fremdsprachen, z. B. während Kongressen und die besonderen Anforderungen für Personen mit eingeschränktem Hörvermögen. Weitere Ziele sind die richtige Ortung und ein natürlicher Klang.

### Raumakustik und zulässige Störgeräusche

Der aktuelle Entwurf der DIN 18041 [1] enthält nach dem Stand des Wissens [2] die Anforderungen für die raumakustische Gestaltung und die von der Nutzungsart abhängigen zulässigen Störgeräuschpegel. Das Einhalten der DIN 18041 wird für das zielgerichtete Planen einer Beschallungsanlage vorausgesetzt.

### Nachhallzeit

Leider wurden die in der "alten" DIN 18041:1968 enthaltenen Zielwerte viel zu häufig nicht eingehalten. Die neuen Zielwerte im Entwurf sind strenger. Sie sind in Hörsälen auch dann unbedingt einzuhalten, wenn eine Beschallungsanlage eingesetzt wird. Häufig werden Hörsäle auch für Veranstaltungen mit schwacher Besetzung genutzt. Beispiel: Verwendung des Plenarsaals mit 300 Plätzen während eines Kongresses für Sessions mit 30 – 50 Personen. Auch bei dieser schwachen Besetzung sollte die Nachhallzeit nicht wesentlich höher sein als bei Vollbesetzung.

### Geometrische Gestaltung

Wie die "alte" DIN 18041 enthält der neue Entwurf ausführliche Hinweise zur geometrischen Gestaltung. Wesentliche Elemente sind eine genügende Sitzreihenüberhöhung, die richtige Lenkung des Schalls durch Reflexion an Wand- und Deckenfläche, die richtige Anordnung von Absorptionsflächen und das Vermeiden von schädlichen Reflexionen, besonders von der Rückwand.

### Störgeräuschpegel

Aktuelle Lärmerzeuger mit zu hohem Störgeräuschpegel sind Beamer. Manchmal sind es die Komponenten der Beschallungsanlage selber, welche zu hohe Störgeräusche erzeugen (Lüftergeräusche, Brummen, Knacken).

### Anforderungen an Beschallungsanlagen

#### Richtlinien

In der Schweiz wurde durch die Schweizerische Gesellschaft für Akustik SGA eine Empfehlung für Architekten und Bauherrschaften zu Beschallungsanlagen herausgegeben [3]. Sie wird ergänzt durch Richtlinien für hörbehindertengerechtes Bauen [4]. Im Entwurf der DIN 18041 [1] sind neu auch Anforderungen an Beschallungsanlagen enthalten. Falls die Anlage Bestandteil einer Evakuationsanlage ist, gelten die Anforderungen von EN 60849:1998 [5].

#### Sprachverständlichkeit

Die Mindestanforderungen für Hörsäle werden für verschiedene Messgrößen wie folgt festgelegt [1,3]. Für die Überprüfung ist in [5] ein Verfahren festgelegt (siehe dazu auch [3]).

Common Intelligibility Scale CIS	≥ 0.70
= Speech Transmission Index STI	≥ 0.50
= Deutlichkeitsmass	≥ 0 dB
= Articulation Loss of Consonants ALcons	< 12 %

#### Lautstärke

Um die aufgeführten Mindestwerte der Sprachverständlichkeit zu erreichen ist selbstverständlich eine genügende Lautstärke erforderlich. Eine zusätzliche Anforderung an die Lautstärke ist deshalb eigentlich nicht notwendig. In Situationen ohne Störgeräusch sollte ein Mindestpegel der Sprache von 65 – 75 dB(A) auf allen Plätzen erreicht werden. Die Pegel im Publikumsbereich sollten sich um nicht mehr als 6 dB(A) unterscheiden.

#### Ortung und Klangfarbe

Die richtige Ortung der Originalquelle und ein natürlicher Klang sind nicht Bedingung für eine gute Sprachverständlichkeit. Die beiden Faktoren erhöhen aber die Aufmerksamkeit und damit indirekt die Sprachverständlichkeit. Für die richtige Ortung ist eine zeitverzögerte Ansteuerung von abgesetzten Lautsprechern notwendig, was grösseren Aufwand bei der Elektronik und den Verstärkern verursacht. Der Aufwand lohnt sich aber auf jeden Fall.

Häufig ist eine unnötige und störende Betonung der tiefen Frequenzen festzustellen. Offensichtlich werden Beschallungsanlagen häufig für Musik statt für Sprache ausgelegt. Grundsätzlich sind für Sprachübertragung die tiefen Frequenzen abzusenken. Dies ist

besonders bei Anlagen zu beachten bei denen es öfters zum nahen Besprechen von Druckgradienten-Mikrofonen (z.B. Nieren) mit damit verbundener Anhebung der tiefen Frequenzen kommen kann.

### Mikrofone

Durch die Auswahl der richtigen Mikrofone kann die Sprachverständlichkeit wesentlich verbessert werden. Ideal wären drahtlose Nackenbügel-Mikrofone: Besprechungsabstand und damit Verstärkung nahezu unabhängig von Bewegungen.

### Anlagen für Hörbehinderte

Im Allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass Beschallungsanlagen mit Lautsprechern für Hörbehinderte nicht genügen. Sie benötigen einen deutlich stärkeren Direktschallanteil als Normalhörende. Systeme der Signalübertragung sind: Induktive Übertragung, Funkübertragung (FM), Infrarot-Übertragung (IR).

Die induktive Übertragung ist in der Regel vorzuziehen, weil die Hörbehinderten den Empfänger selber mitbringen: Die meisten Hörgeräte können mit einem Schalter (T) auf induktiven Empfang umgeschaltet werden. Empfehlungen für die richtige Auslegung finden sich in [3] und [4]. Die Anlage muss die Anforderungen von EN 60118-4 [6] erfüllen. Bei gegenüber oder übereinander liegenden Hörsälen ist die gegenseitige Beeinflussung zu beachten. Die Planung solcher spezieller Schleifen- und Verstärkertechnik (Low Spillover Systems) ist in diesem Fall Sache von Spezialisten.

### Weitere Anforderungen

Die Anlage muss auch in nicht-akustischen Belangen Anforderungen erfüllen. Sie muss einfach zu bedienen, betriebssicher und unempfindlich gegen äussere elektromagnetische Einflüsse sein. Für die Benutzer sind die nicht notwendigen Bedienungselemente unerreichbar abzudecken. Die Anlage soll gut in die architektonische Umgebung integriert sein.

### Planung

Einer der Gründe für das häufig unbefriedigende Funktionieren von Beschallungsanlagen ist das Vernachlässigen einer oder mehrerer der folgenden, an sich selbstverständlichen Schritte: Pflichtenheft - Abklärung Raumakustik - Anlagekonzept - Ausschreibung - Vergleich Offerten - Realisierung - Abnahme (mit Messungen). [3]

### Erfahrungen bei der Planung und Realisierung von Beschallungsanlagen für Hörsäle

Die beschriebenen Grundsätze wurden bei der Planung von Beschallungsanlagen in Hörsälen von den Autoren mit Erfolg angewendet. Für jeden Hörsaal wurde das Beschallungskonzept mit Hilfe von Computersimulation entwickelt und es wurden konsequent qualitativ gute Komponenten verwendet. Knacknüsse waren immer wieder:

- Zunehmend breite Hörsäle und/oder geringe Deckenhöhen. Niedrige Decken führen zu kostspieligen Konzepten (z.B. Deckenarray mit guten Komponenten inkl. Zeitverzögerung.)
- Besonders bei bestehenden Hörsälen konnte die Raumakustik in der Regel leider nicht an die weiter oben beschriebenen Anforderungen angepasst werden. Die Nachhallzeit ist in diesen Fällen zu lang, manchmal stören Echos und Flatterechos.
- In Ausnahmefällen mussten wegen der schlechten Raumakustik teure elektronische Feedbackunterdrücker eingesetzt werden.

- Verbotene Bereiche für Lautsprecher wegen aufwändigen Projektionsanlagen (Beamer, Dia) und aus ästhetischen Gründen.
- Nicht mehr auf dem Markt erhältliche Lautsprecher.

Die folgende Tabelle zeigt Messergebnisse von zwölf Hörsälen. Die Nachhallzeit im unbesetzten (≈ schwach besetzten) Zustand ist nur in drei Fällen im Toleranzbereich des Entwurfs der DIN 18041 (Symbol: ✓). In zwei Hörsälen ist die Nachhallzeit kürzer als der untere Wert des Toleranzbereichs, was subjektiv nicht negativ empfunden wird (Symbol (✓)). Die erreichte Sprachverständlichkeit ist in beiden Fällen ausgezeichnet. Es zeigt sich, dass auch in halligen Hörsälen mit einer guten Beschallungsanlage genügende STI-Werte erreicht werden können. Die beste Sprachverständlichkeit resultiert jedoch eindeutig in Hörsälen mit guter Sprachakustik gemäss Entwurf DIN 18041. Die Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Computersimulation ist übrigens gut.

	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Anzahl Plätze	Vol./Platz [m <sup>3</sup> ]	T30 [s] 500Hz, 1kHz Unbesetzt	STI gemessen (unbesetzt)		
					Min.	Mittel	Max.
1	2'730	577	4.7	1.6	0.47	<b>0.52</b>	0.55
2	2'690	446	6.0	1.7	0.45	<b>0.52</b>	0.58
3	2'610	414	6.3	1.7	0.54	<b>0.60</b>	0.66
4	2'370	496	4.8	1.8	0.50	<b>0.62</b>	0.67
5	1'950	270	7.2	1.6	0.52	<b>0.58</b>	0.63
6	1'500	596	2.5	0.85 ✓	0.59	<b>0.67</b>	0.71
7	1'440	304	4.7	1.3	0.56	<b>0.58</b>	0.62
8	1'300	152	8.6	1.5	0.43	<b>0.51</b>	0.55
9	1'200	304	3.9	0.63 (✓)	0.65	<b>0.72</b>	0.77
10	1'200	304	3.9	0.54 (✓)	0.71	<b>0.76</b>	0.78
11	405	120	3.4	0.8 ✓	0.63	<b>0.68</b>	0.75
12	350	72	4.9	0.7 ✓	0.71	<b>0.74</b>	0.76

- 1) Zentralbeschallung mit zeitverzögerten Unterstützungslautsprechern, total 3 Breitband- und 5 Hornlautsprecher in 2 Zeitzonen.
- 2) Zentralbeschallung mit zeitverzögerten Unterstützungslautsprechern, total 5 Hornlautsprecher und 1 Tiefmitteltonbox. 2 Zeitzonen.
- 3) Zentralbeschallung, Cluster aus 1 Breitbandsystem + 3 Hornlaut.
- 4) Folgebeschallung mit 3 Ebenen mit je drei Hornlautsprechern. Erste Reihe mit zusätzlichen Tieftonlautsprechern.
- 5) Zentralbeschallung, Cluster aus 1 Breitbandsystem + 2 Hornlaut.
- 6) Zentralbeschallung mit 2 Hornlautsprechern und 1 Tieftonbox.
- 7) Zentralbeschallung mit zeitverzögerten Unterstützungslautsprechern, total 5 Breitband- und 8 Hornlautsprecher. 3 Zeitzonen.
- 8) Folgebeschallung: 1 Hornlautsprecher mit Tiefmitteltonbox und 1 zeitverzögerter Hornlautsprecher. 1 Lautsprecher falsch montiert.
- 9 & 10) Portalbeschallung mit digital angesteuerten Schallzeilen.
- 11) Folgebeschallung mit 2 Breitbandsysteme über Dozentenbereich und 5 Deckenlautsprecher für hinterste Reihen.
- 12) Portalbeschallung mit 2 Schallzeilen.

<sup>1</sup> DIN 18041 Hörsamkeit in kleinen bis mittelgrossen Räumen. Norm-Entwurf 2003-04. Vorgesehen als Ersatz für DIN 18041:1968-10

<sup>2</sup> Tennhardt H.-P., Einfluss des aktuellen Wissensstands auf die Normung im Bereich der Klassenraumakustik. DAGA 2003

<sup>3</sup> Eggenschwiler K., Desarnaulds V., Imhof, Th., Köller W., Norman D., Beschallungsanlagen für Sprache. Empfehlungen für Architekten und Bauherrschaften, Schweizerische Gesellschaft für Akustik SGA, 2001

<sup>4</sup> Eggenschwiler K., Karg S., Norman D., Hörbehindertengerechte Gestaltung. Beschallungsanlagen, Höranlagen und Raumakustik. Schweizerische Fachstelle für behindertengerechtes Bauen. Zürich 2002.

<sup>5</sup> DIN EN 60849:1998. Elektroakustische Notfallwarnsysteme (Schweiz: SN EN 60849:1998)

<sup>6</sup> DIN EN 60118-4:1998. Hörgeräte Teil 4: Magnetische Feldstärke in Sprachfrequenz-Induktionsschleifen für Hörgeräte. (Schweiz: SN EN 60118-4: 1998)