

Dimensionierungsbeispiel für eine Beschallungsanlage

1. Aufgabenstellung

Für eine Stadthalle soll eine Beschallungsanlage dimensioniert werden.
Die Veranstaltungen finden auf der Bühne statt.

Benötigte Angaben zum Raum :

- Länge des Raumes: 21 m von der Bühne bis zur Rückwand
- Höhe des Raumes: 8 m in der Mitte, 6 m an den Seiten
- Volumen des Raumes: 2.575 cbm (Saal mit Empore)
- Nachhallzeit des Raumes RT60: 1,8 s bei 2 kHz (ohne Besetzung, aber mit gepolsterter Bestuhlung)

2. Dimensionierung der Beschallungsanlage für den Saal

Legen Sie folgende Größen für die zu dimensionierende Beschallungsanlage fest:

Minimal erreichbarer Schalldruckpegel: 100 dB (A)

Übertragungsbereich: linear von 100 Hz - 10 kHz \pm 3 dB

Gleichmäßigkeit der Pegelverteilung im Zuhörerbereich in Ohrhöhe: \pm 3 dB

Angestrebter Konsonanten-Artikulationsverlust: < 10 %

2.1 Dimensionieren Sie die Lautsprecherkenngrößen für die Beschallung des Saals

Schritt 1

- Berechnen Sie den erforderlichen Bündelungsgrad Q min SS eines einzelnen Lautsprechers, um im geforderten Abstand D2 die geforderte Sprachverständlichkeit zu erreichen!
- Die Entfernung D2 ist die Entfernung zwischen Lautsprecher und dem am weitest entfernten Zuschauer.
- D2 22 m
- Die geforderte Sprachverständlichkeit ist 10 % Alcons
- Für die Berechnung sind die Nachhallzeit und die Lautsprecherdaten im 2.000 Hz Oktavband anzusetzen.
-

$$Q_{\min} = \frac{200 \cdot D_2^2 \cdot RT_{60}^2}{V \cdot \% ALCons}$$

- Für den vorliegenden Raum ist ein Lautsprecher mit einem Bündelungsgrad von mindestens Q = 12 notwendig, um die geforderte Sprachverständlichkeit zu erreichen.

- Dimensionierungsbeispiel -

Schritt 2

- Überprüfen Sie, ob der ausgewählte Lautsprecher die geforderte Direktschallabdeckung für den Saal erreicht!
- Haben Sie einen Lautsprecher gefunden der bei geforderten Bündlungsgrad die Abdeckung mit Direktschall gewährleistet, so ist die prinzipielle Dimensionierung hier beendet.
- Überprüfen Sie noch, ob die unter Punkt 2 geforderten Werte auch in den anderen für die Sprachübertragung wichtigen Oktavbändern von 500 Hz bis 4 kHz erreicht werden.

Finden Sie keinen Lautsprecher, der die Anforderungen erfüllt, gibt es prinzipiell 2 Wege zur Lösungsfindung:

- Zentrale Beschallung
- Dezentrale Beschallung

2.1.1 Zentrale Beschallung

Sie beschallen den Raum weiterhin von einem Punkt aus und benutzen dazu mehrere Lautsprecher, die für unterschiedliche Entfernungen zwischen Lautsprecher und Zuhörer Zuständig sind.

- Es gibt unterschiedliche Entfernungen D_2 für die jeweiligen Lautsprecher!
- Die Anzahl der Lautsprecher N wird größer!
- Es müssen unterschiedlich Typen von Lautsprechern verwendet werden!

Schritt 1

Bei der zentralen Beschallung wird eine Lautsprecherampel mit 2 Lautsprechersystemen aufgebaut. Das Lautsprechersystem LS1 ist für die Direktschallversorgung der vorderen Saalhälfte und das Lautsprechersystem LS2 für die Direktschallversorgung der hinteren Saalhälfte zuständig. Die daraus resultierenden Entfernungen D_2 sind:

- für LS1 ist D_2 vorne ca. 13 m
- für LS2 ist D_2 hinten ca. 22 m

Für die folgende Berechnung wird vorausgesetzt, dass beide Lautsprecher die gleiche akustische Leistung in den Saal abstrahlen. Daraus ergibt sich $N = 2$.

Der zum Erreichen der geforderten Sprachverständlichkeit benötigte Bündelungsgrad berechnet sich wie folgt:

$$Q_{\min} = \frac{200 \cdot D_2^2 \cdot RT_{60}^2 \cdot N}{V \cdot \% ALCons}$$

Für den vorliegenden Raum ist ein Lautsprecher LS1 für die vordere Saalhälfte mit einem Bündlungsgrad von mindestens $Q = 8,5$ und ein Lautsprecher LS2 für die hintere Saalhälfte mit einem Bündlungsgrad von mindestens $Q = 24,5$ notwendig, um die geforderte Sprachverständlichkeit zu erreichen.

- Dimensionierungsbeispiel -

Auswahl der Lautsprecher

Für LS1 wurde ein Lautsprecher mit folgenden Daten ausgewählt:

Nennbelastbarkeit 70 W, Empfindlichkeit (E): 108 dB / 1 W / 1 m,
Übertragungsbereich von 500 Hz bis 20 kHz, +/- 3 dB,

	Abstrahlwinkel (- 6 dB)		
Frequenz	horizontal	vertikal	Bündelungsgrad (Q)
500 Hz	100 °	120 °	5,3
1000 Hz	90 °	70 °	10,8
2000 Hz	110 °	50 °	8,8
4000 Hz	120 °	50 °	7,7

Für LS2 wurde ein Lautsprecher mit folgenden Daten ausgewählt:

Nennbelastbarkeit 70 W, Empfindlichkeit (E): 113 dB / 1 W / 1 m
Übertragungsbereich von 500 Hz bis 20 kHz, +/- 3 dB

	Abstrahlwinkel (- 6 dB)		
Frequenz	horizontal	vertikal	Bündelungsgrad (Q)
500 Hz	60 °	50 °	19,9
1000 Hz	50 °	40 °	29,7
2000 Hz	60 °	40 °	25,1
4000 Hz	60 °	45 °	23,9

Berechnung der abgestrahlten akustischen Leistung und des Faktors N

Um den N-Faktor für die jeweiligen Lautsprecher zu berechnen, sind folgende Schritte notwendig:

- Berechnung der zugeführten elektrischen Leistung für jeden Lautsprecher, um in den jeweiligen Entfernungen den geforderten Direktschallpegel LD; von 100 dB zu erzeugen.

D2 für LS1 = 13 m
D2 für LS2 = 22 m

Daraus folgt aus

$$P_{el} = 10^{\frac{L_{D_2} \cdot E + 20 \cdot \log D_2}{10}}$$

(E = Empfindlichkeit des Lautsprechers in dB / 1 W / 1 m)

Dem Lautsprecher LS1 werden ca. 27 Watt zugeführt und dem Lautsprecher LS2 werden ca. 24 Watt zugeführt.

- Dimensionierungsbeispiel -

- Berechnung der von jedem Lautsprecher abgestrahlten akustischen Leistung mit der Gleichung:

$$P_{AK} = P_{el} \cdot 10^{\frac{E - 10 \cdot \log Q - 109}{10}}$$

Daraus folgt, dass der Lautsprecher LS1 ca. 2,4 Watt und der Lautsprecher LS2 ebenfalls ca. 2,4 Watt an akustischer Leistung in den Saal abstrahlt.

Voraussetzung ist die passende Abstimmung der Bündlungsgrade der Lautsprechersysteme mit den dazugehörigen Entfernungen D2 und eine exakte Einstellung der Direktschallpegel.

- Aus den abgestrahlten akustischen Schalleistungen der das N für den jeweiligen Lautsprecher lässt sich Lautsprecher ermitteln.

$$N = \frac{P_{AK \text{ Gesamt}}}{P_{AK \text{ des Direktschall erzeugenden Lautsprechers}}}$$

Daraus folgt, dass für LS1 und LS2, N = 2 ist.

- Überprüfen Sie die zu erwartende Sprachverständlichkeit für die vordere und die hintere Saalhälfte mit folgender Gleichung:

$$\% AL_{cons} = \frac{200 \cdot D_2^2 \cdot RT_{60}^2 \cdot N}{V \cdot Q}$$

Daraus ergibt sich eine zu erwartende Sprachverständlichkeit für den vorderen Saalbereich (D2 = 13 m, Q = 8,8) von ca. 9,6% ALCons und für den hinteren Saalbereich (D2 = 22 m, Q = 25) von ca. 9,7% ALCons

- Überprüfen Sie, ob der ausgewählte Lautsprecher die geforderte Direktschallabdeckung für den Saal erfüllt!
- Haben Sie Lautsprecher gefunden, die bei gefordertem Bündlungsgrad die Abdeckung mit Direktschall gewährleisten, so ist die prinzipielle Dimensionierung hier beendet. Überprüfen Sie noch, ob die unter Punkt 2 geforderten Werte auch in den anderen für die Sprachübertragung wichtigen Oktavbänder von 500 Hz bis 4 kHz erreicht werden.

- Dimensionierungsbeispiel -

2.1.2 Dezentrale Beschallung

Sie teilen die Entfernung zwischen Lautsprecher und Zuhörer in gleiche Teile auf und beschallen den Raum mit mehreren Lautsprechern.

- Die Entfernung D2 wird kleiner, bleibt aber für alle Lautsprecher gleich!
- Die Anzahl der Lautsprecher N wird größer
- Es sollen Lautsprecher vom selben Typ verwendet werden!

Schritt 1

Da die Beschallung des Saals von zwei in der Saallänge gestaffelten Lautsprechermontagepunkten durchgeführt wird verringert sich D2 auf ca. 13 m.

Die Anzahl der Lautsprecher erhöht sich auf minimal 2.

Werden Lautsprecher des selben Typs gewählt ist N = 2.

Der zum Erreichen der geforderten Sprachverständlichkeit benötigte Bündelungsgrad berechnet sich wie folgt:

$$Q_{\min} = \frac{200 \cdot D_2^2 \cdot RT_{60}^2 \cdot N}{V \cdot \% AL_{cons}}$$

Für den vorliegenden Raum sind zwei Lautsprecher mit einem Bündelungsgrad von mindestens Q = 8,5 notwendig, um die geforderte Sprachverständlichkeit zu erreichen.

Schritt 2

- Überprüfen Sie, ob die ausgewählten Lautsprecher die geforderte Direktschallabdeckung für den Saal erreichen!
- Haben Sie Lautsprecher gefunden, die bei gefordertem Bündelungsgrad die Abdeckung mit Direktschall gewährleisten, so ist die prinzipielle Dimensionierung hier beendet. Überprüfen Sie noch, ob die unter Punkt 2 geforderten Werte auch in den anderen für die Sprachübertragung wichtigen Oktavbändern von 500 Hz bis 4 kHz erreicht werden.
- Erreichen Sie mit 2 Lautsprechern nicht die erforderliche Direktschall-Abdeckung über die Breite des Saals, erhöhen sie die Lautsprecheranzahl auf 4 (N = 4 bei der Wahl gleicher Lautsprecher) und richten Sie sie entsprechend aus.
- Wenn Sie unterschiedliche Lautsprecher wählen oder gleiche Lautsprecher mit unterschiedlicher elektrischer Leistung ansteuern, ist der Faktor N wie unter Punkt 2.1.1 gezeigt, zu berechnen.
- Überprüfen Sie mit der o.a. Gleichung, welcher Bündelungsgrad der einzelne Lautsprecher besitzen muss, um die geforderte Sprachverständlichkeit zu erreichen (bei N = 4 folgt Q_{min} = 17).

Führt die Dimensionierung nach mehrfachem Verkleinern des Abstandes D2 nicht zu einem realisierbaren Ergebnis, so muss überprüft werden, ob die raumakustischen Daten wie RT60 nicht verändert werden müssen, um eine gute Sprachverständlichkeit zu erhalten.