

Die Schallabsorption von Kulissendecken

Wolfgang Probst, ACCON GmbH, Gewerbering 5, D-86926 Greifenberg
Dezember 2007

Zusammenfassung

Schallabsorbierende Deckensysteme werden zur Herstellung eines akustisch angenehmen Raumklimas wie auch als Lärminderungsmaßnahme – z.B. in Arbeitsräumen - und in anderen lärmbelasteten Aufenthaltsräumen eingesetzt. Während in Büro-, Verwaltungs- und Verkaufsbereichen vorwiegend ebene geschlossene Absorptionsdecken zum Einsatz kommen, werden in den Maschinen- und Produktionshallen häufig schallabsorbierende Kulissensysteme wegen der leichten Zugänglichkeit, der flexiblen Anordnung und auch wegen des unproblematischen Verhaltens hinsichtlich Dampfdiffusion eingesetzt. Bei der planerischen Auslegung wird meist aus der äquivalenten Absorptionsfläche eines Bafflelements auf die Absorptionsfläche der gesamten Decke hochgerechnet – ein Verfahren, das bei den üblichen Anordnungsichten die Wirksamkeit der Gesamtkonstruktion bei weitem überschätzt.

Im folgenden werden die Beziehungen zwischen den technischen Parametern einer reihenförmigen Anordnung von schallabsorbierenden Kulissen und dem daraus resultierenden Absorptionsgrad der Gesamtkonstruktion dargestellt. Diese Beziehungen erlauben es, aus einer einfachen Absorptionsgradbestimmung an dem Plattenmaterial die Absorptionsgrade für unterschiedliche Kulissenhöhen und –reihenabstände rechnerisch zu bestimmen. Damit ist es auch möglich, den höheren Preis bei dichter Abhängung mit der erzielbaren Erhöhung der effektiv wirksamen Absorptionsfläche in Beziehung zu setzen und gegenüber dem Preis anderer möglicher Maßnahmen abzuwägen. Insgesamt ist es mit den Ergebnissen dieser Untersuchung möglich, abgehängte Kulissensysteme bei der planerischen Gestaltung von lärmbelasteten Räumen in derselben Weise wie abgehängte ebene Decken in alle schalltechnischen Berechnungen einzubeziehen. Alle Angaben beziehen sich auf Kulissensysteme, bei denen die Kulissenausdehnung in Richtung des Schalldurchgangs in der Größenordnung des Kulissenabstands liegt – Kulissenschalldämpfer unterliegen anderen und nicht ausschließlich strahlengeometrisch erklärbaren Prinzipien.

Sound absorption of baffle systems

Summary

Baffle systems are applied to ensure an acceptable acoustical climate and to reduce the noise levels in rooms with noisy machinery and work places. While in offices, salesrooms and administrations in most cases closed suspended ceilings are used, baffle systems are very famous in machine halls, at production lines and in other technically complex environments. The absorption coefficient of such baffle systems is not a fixed number – or a spectrum – as it is the case for a flat absorbing plate, but depends on the spacing of the baffle elements. This spacing influences the absorption as well as the costs of such a system, therefore it is important to know the dependence of the absorption coefficient from the detailed and cost relevant construction.

These relations have been developed and are presented in the following. The resulting tables and diagrams can be used to calculate the absorption coefficient of a baffle construction from the absorption coefficient of the plate material. They can also be used to determine from the absorption coefficient of a given baffle system, that may have been measured in a laboratory according to DIN EN ISO 354, the absorption coefficients of the system in a different arrangement.

The derivation is based on the assumption that the transmission of a baffle structure between the elements is geometrically determined – this assumption has proven to be a good approximation in many cases where this dimensioning principles have been applied.

Einleitung

Kulissendecken werden häufig in Produktionsbereichen eingesetzt, in denen die Abhängung von ebenen geschlossenen Absorberflächen aufgrund hoher Luftfeuchtigkeit und hoher hygienischer Anforderungen problematisch ist.



Bild 1 Schallabsorbierende Kulissendecke in einem Getränkeabfüllbetrieb

Uneinheitlich ist die Beurteilung der Wirksamkeit, wenn keine normgerecht ermittelten Absorptionsgrade für exakt die vorgesehene technische Ausgestaltung vorliegen. In manchen gutachtlichen Stellungnahmen wird von einer aus den Produktunterlagen entnommenen äquivalenten Absorptionsfläche pro Element ausgegangen und dann aufgrund der Abhängedichte durch lineare Hochrechnung auf die Gesamtabsorption geschlossen – ein völlig ungeeignetes Verfahren, wie sich aus Messungen und den Ergebnissen der im folgenden beschriebenen Untersuchungen ergibt. Oft werden auch die Absorptionsgrade für ein Deckensystem mit bestimmter Kulissenanordnung mit einer Messung nach DIN EN ISO 354 /1/ ermittelt und in den Produktunterlagen mitgeteilt, ohne eine Möglichkeit für den potentiellen Anwender, daraus die Absorption bei anderen Anordnungen ableiten zu können.

Um Kulissendecken nahtlos in die Systematik der schalltechnischen und insbesondere raumakustischen Berechnungen einbeziehen zu können, muss der frequenzabhängige Absorptionsgrad der Gesamtkonstruktion unter Einbeziehung der geometrischen Parameter aus den auf das Bauteil bezogenen Absorptionseigenschaften hergeleitet werden. Geometrische Parameter sind Kulissenhöhe, Reihenmittenabstand und die Anordnung unter der Rohdecke. Die akustischen Bauteileigenschaften können beschrieben werden durch die äquivalente Absorptionsfläche pro Element oder den auf die Kulissenoberfläche bezogenen Absorptionsgrad. Beide letztgenannten Größen können ineinander umgerechnet werden und sollten sich auf allseitig diffusen Schalleinfall beziehen.

Die im folgenden beschriebene Untersuchung stellt eine Erweiterung einer früheren Arbeit /2/ dar, die inzwischen im Rahmen zahlloser praktischer Anwendungsfälle erprobt worden ist.

Die Schallabsorption von Kulissendecken

Im folgenden wird der Absorptionsgrad einer von der Rohdecke abgehängten reihenförmigen Anordnung von Kulissen hergeleitet.

Ausgangspunkt ist der Absorptionsgrad des verwendeten Plattenmaterials. Es wird – wie der spätere Vergleich Messung – Rechnung zeigt in guter Näherung – davon ausgegangen, dass der Schalldurchgang durch eine Anordnung von Kulissen im wesentlich geometrisch bestimmt ist.

Aus der Kulissenhöhe h und dem Reihenmittenabstand a ergibt sich der auf die Höhe bezogene Reihenmittenabstand

$$a' = \frac{a}{h} \quad (1)$$

als der geometrisch bestimmende Parameter der Anordnung. Die auf die Kulissenhöhe bezogene Koordinate ist

$$x' = \frac{x}{h} \quad (2)$$

Die Dicke der Kulissen sei relativ zu ihrem Abstand vernachlässigbar.

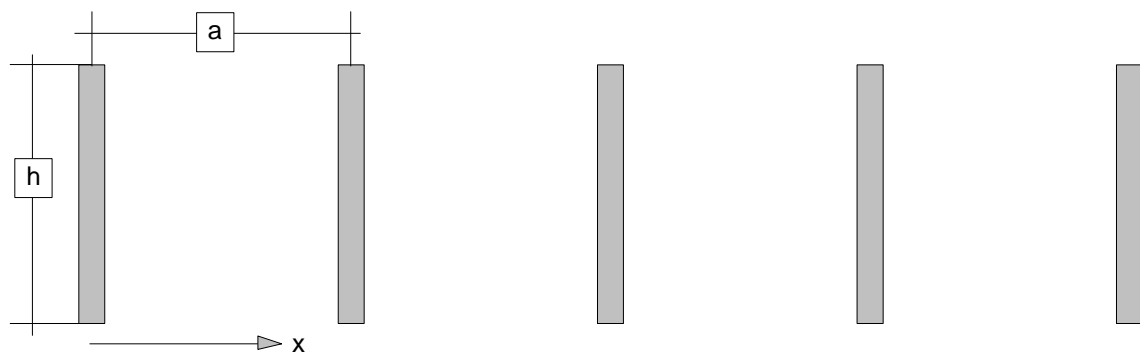


Bild 2 Schnitt einer reihenförmigen Kulissenanordnung

An der Unterseite der Anordnung liegt ein im wesentlichen diffuses Schallfeld an, d.h. es wird vom Schalleinfall aus allen Richtungen des Halbraums mit gleicher Wahrscheinlichkeit ausgegangen.

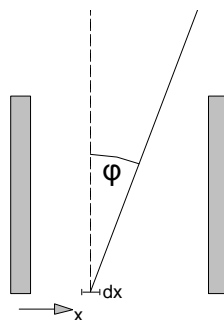


Bild 3 Schräger Schalleinfall durch ein Fenster der Breite dx

Ist die E die Energiedichte des raumseitigen Schallfelds, so wird aus einem Fenster der Breite dx entsprechend Bild 3 pro Längeneinheit (letztere senkrecht zur Zeichenebene) in einen

Winkelbereich $d\varphi$ die Schallleistung

$$dP' = c \cdot E \cdot \frac{d\varphi}{2\pi} \cdot dx \cdot \cos(\varphi) \quad (3)$$

Eingestrahlt $/3/$. Die insgesamt aus allen Richtungen über das Fenster dx pro Längeneinheit in die Kulissenkonstruktion eingestrahelte Schallleistung ist

$$P' = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} c \cdot E \cdot \frac{d\varphi}{2\pi} \cdot \cos(\varphi) dx = \frac{c \cdot E \cdot dx}{\pi} \quad (4)$$

Damit kann auch die langenbezogene Schallleistung bestimmt werden, die aus dem Raumschallfeld über das Fenster dx an der Koordinate x (siehe Bild 3) eingestrahlt wird und die Kulissenanordnung ohne Reflexion und somit auch ohne Absorption durchdringt.

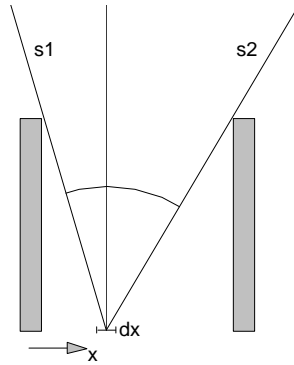


Bild 4 Durchstrahlung des Kulissenfelds durch den über das Fenster dx eingestrahlt Schall

Sie ergibt sich aus

$$dP'_0 = \int_{\arctg(-x')}^{\arctg(a'-x')} c \cdot E \cdot \frac{dx'}{2\pi} \cdot h \cdot \cos(\varphi) d\varphi \quad (5)$$

Bei dieser Integration ist zu beachten, dass die Koordinate x' auf die Kulissenhohe normiert ist.

Die Ausführung des Integrals ergibt

$$dP'_0 = \frac{c \cdot E \cdot h \cdot dx'}{2\pi} \cdot \left(\frac{a' - x'}{\sqrt{1 + (a' - x')^2}} + \frac{x'}{1 + x'^2} \right) \quad (6)$$

Hieraus ergibt sich durch eine weitere Integration über das gesamte untere Eintrittsfenster die langenbezogene Leistung des Schalls, der unterseitig eintritt und oben ohne Absorption wieder austritt.

$$P'_{0,aus} = \frac{c \cdot E \cdot h}{2\pi} \cdot \left(\int_0^{a'} \frac{a' - x'}{\sqrt{1 + (a' - x')^2}} dx' + \int_0^{a'} \frac{x'}{\sqrt{1 + x'^2}} dx' \right) \quad (7)$$

Nach geeigneter Substitution und Ausführung ergibt sich hieraus

$$P'_{0,aus} = \frac{c \cdot E \cdot h}{\pi} \cdot \left(\sqrt{1 + a'^2} - 1 \right) \quad (8)$$

Die über das untere Fenster der Breite a insgesamt einfallende langenbezogene Schallleistung ist entsprechend Gleichung (4)

$$P'_{in} = \frac{c \cdot E \cdot a}{\pi} \quad (9)$$

Werden die auf die Kulissen auftreffenden Schallstrahlen vollständig absorbiert, so ergibt sich aus einfallender und transmittierter längenbezogener Schalleistung nach (9) und (8) der Absorptionsgrad der Kulissenkonstruktion bei einfachem Durchgang zu

$$\alpha_K = \frac{P'_{in} - P'_{out}}{P'_{in}} = 1 - \frac{P'_{out}}{P'_{in}} \quad (10)$$

Dies ergibt den bei optimaler Schallschluckung der Baffel erreichbaren Absorptionsgrad zu

$$\alpha_K = 1 - \frac{\sqrt{1 + a'^2} - 1}{a'} \quad (11)$$

Um die frequenzabhängige Wirkung der Baffelkonstruktion auf das Schallfeld zu untersuchen, muss auch das „Schicksal“ der Schallstrahlen einbezogen werden, die auf die Baffeln auftreffen und die Konstruktion somit nicht frei durchlaufen. Grundsätzlich kann ein nicht absorbiertes Schallstrahl bzw. der nicht absorbierte Anteil der Schallenergie reflektiert werden, wie dies links in Bild 5 dargestellt ist, oder entsprechend der rechten Darstellung durchgelassen werden. In strahlengeometrischer Hinsicht sind die beiden Darstellungen identisch – durch Auffaltung kann die linke in die rechte Darstellung übergeführt werden.

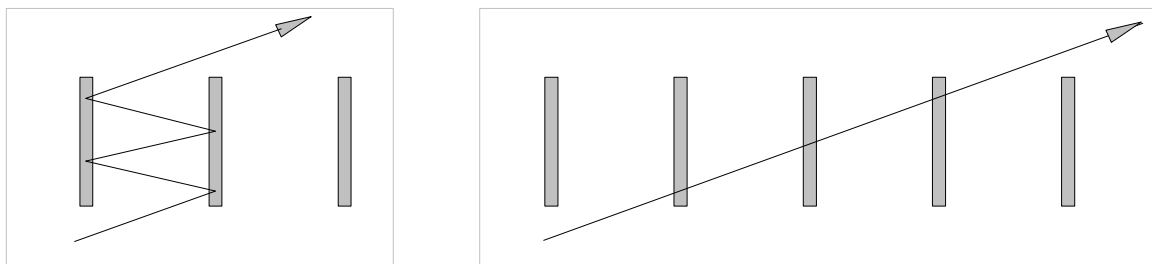


Bild 5 Schräg einfallender Schallstrahl mit reflektierenden (links) und transmittierenden (rechts) Kulissen

Damit ist es unwesentlich für die Gültigkeit der folgenden Herleitung, ob der nicht absorbierte Teil der auftreffenden Schallenergie reflektiert oder transmittiert wird. Wesentlich ist nur der hier als α_B bezeichnete Absorptionsgrad des Plattenmaterials, der angibt, welcher Anteil der auf das Material auftreffenden Schallenergie der Umgebung durch Absorption entzogen wird.

Bild 6 zeigt die geometrischen Verhältnisse, die der folgenden Beschreibung zugrunde liegen.

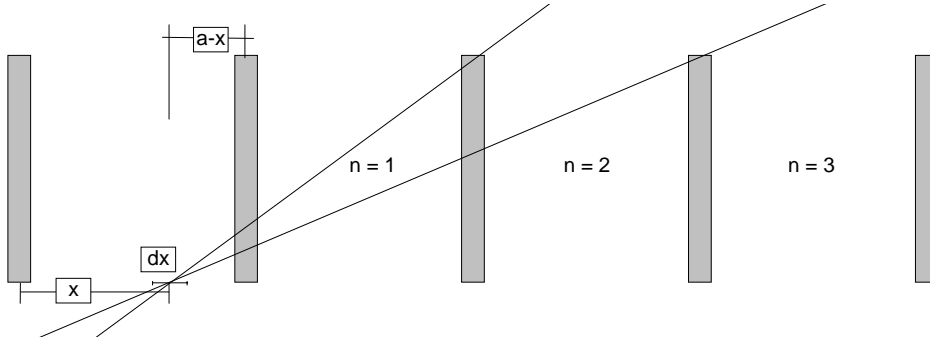


Bild 6 Winkelbereich der Schallstrahlen, die das Fenster dx und zwei Absorptionsvorgänge durchlaufen

Die längenbezogene Schalleistung, die aus dem raumseitigen Schallfeld durch das Fenster dx eingestrahlt wird und n Felder weiter wieder austritt, ergibt sich aus der Integration über den Winkelbereich, der durch die beiden durch das untere Eintrittsfenster und die Ränder des oberen Austrittsfeldes gebildeten Grenzstrahlen gebildet wird.

$$dP'_{n,1} = (1 - \alpha_B)^n \cdot \frac{c \cdot E \cdot h \cdot dx'}{2\pi} \cdot \int_{\arctg(n \cdot a' - x')}^{\arctg((n+1) \cdot a' - x')} \cos(\varphi) d\varphi \quad (12)$$

Da das Problem symmetrisch ist und somit auf beiden Seiten ein je n Streifen entferntes Austrittsfeld besteht, ergibt sich

$$dP'_n = (1 - \alpha_B)^n \cdot \frac{c \cdot E \cdot h \cdot dx'}{\pi} \cdot \int_{\arctg(n \cdot a' - x')}^{\arctg((n+1) \cdot a' - x')} \cos(\varphi) d\varphi$$

Nach Integration über den Winkel φ und geeigneter Umformung ergibt sich hieraus

$$dP'_n = \frac{c \cdot E \cdot h}{\pi} \cdot (1 - \alpha_B)^n \cdot \left(\int_0^{a'} \frac{(n+1) \cdot a' - x'}{\sqrt{1 + ((n+1) \cdot a' - x')^2}} dx' - \int_0^{a'} \frac{n \cdot a' - x'}{\sqrt{1 + (n \cdot a' - x')^2}} dx' \right) \quad (13)$$

Die weitere Integration über x' im unteren Eintrittsfenster gelingt ebenfalls durch geeignete Substitution und führt schließlich auf die nach n Absorptionsvorgängen austretende längenbezogene Schalleistung

$$P'_n = \frac{c \cdot E \cdot h}{\pi} \cdot (1 - \alpha_B)^n \cdot \left(\sqrt{1 + ((n-1) \cdot a')^2} + \sqrt{1 + ((n+1) \cdot a')^2} - 2 \cdot \sqrt{1 + (n \cdot a')^2} \right) \quad (14)$$

Nach Summation dieser austretenden Schalleistung über alle Austrittsfelder, Addition des ohne Absorption transmittierten Schalls gemäß Gleichung (8), Bezug auf die durch ein Feld unten eintretende Schalleistung entsprechend Gleichung (9) und Anwendung der Gleichung (10) ergibt sich der Absorptionsgrad der Kulissendeckenkonstruktion bei einfachem Schalldurchgang zu

$$\alpha_K = 1 - \frac{\sqrt{1 + a'^2} - 1}{a'} - \frac{1}{a'} \sum_{n=1}^{\infty} (1 - \alpha_B)^n \cdot \left(\sqrt{1 + ((n-1) \cdot a')^2} + \sqrt{1 + ((n+1) \cdot a')^2} - 2 \cdot \sqrt{1 + (n \cdot a')^2} \right) \quad (15)$$

Gleichung (15) kann auf einfache Weise programmiert und für beliebige Parameterkombinationen ausgewertet werden.

Ausgangspunkt für die Bestimmung des Absorptionsgrads von Kulissendecken in beliebiger Anordnung nach Gleichung (15) ist somit der auf das Plattenmaterial bezogene Bauteilabsorptionsgrad α_B . Er beschreibt, welcher Anteil des auf das Plattenmaterial auftreffenden Schalls absorbiert wird.

Wenn ein bestimmtes Plattenmaterial zur Konstruktion einer Kulissendecke verwendet werden soll, ist es zweckmäßig, zuerst den nur auf dieses Material bezogenen Absorptionsgrad durch Messung im Hallraum nach DIN EN 354 zu bestimmen. Hierzu darf dieses Plattenmaterial nicht als ebene Absorptionsfläche auf den Hallraumboden aufgelegt oder mit bestimmtem Abstand vor diesem angeordnet werden, wie es zur Messung von Akustikdecken zweckmäßig ist. Vielmehr werden einige Platten vertikal in großem Abstand und mit unterschiedlicher Ausrichtung so angeordnet, dass an jeder Platte auf beiden Seiten ein diffuses Schallfeld anliegt. Die Kanten der Platten müssen – z. B. mit Holzleisten - reflektierend abgedeckt sein.

Aus den vor und nach Einbringen des Materials gemessenen Nachhallzeiten wird normgemäß die äquivalente Absorptionsfläche A der eingebrachten Platten für alle Terz-Frequenzbänder ermittelt.

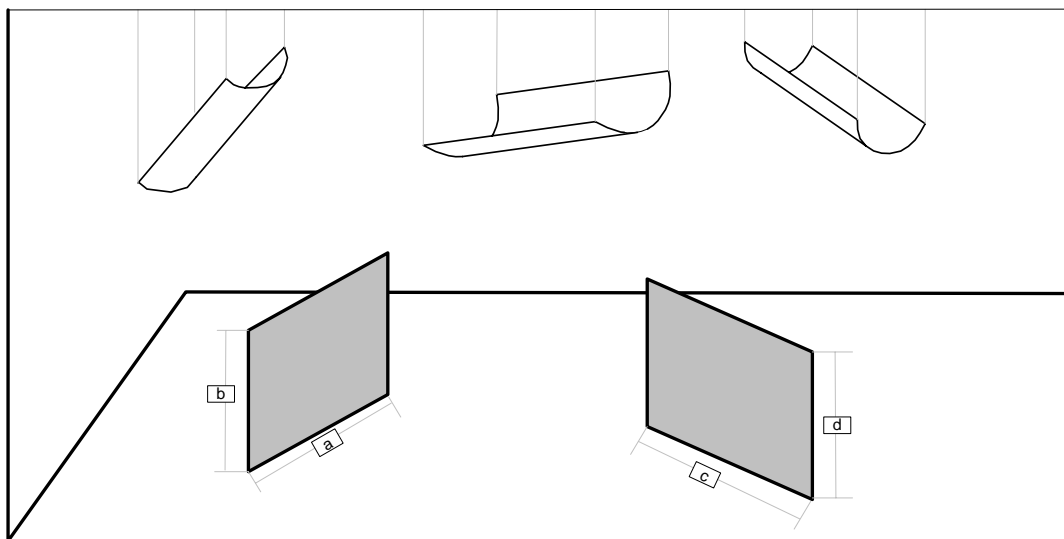


Bild 7 Messung des auf das Plattenmaterial bezogenen Absorptionsgrads α_B

Zur Bestimmung des genannten Bauteilabsorptionsgrads wird diese äquivalente Absorptionsfläche A durch die Summe aller Oberflächen geteilt. Im dargestellten Beispiel ist

$$\alpha_B = \frac{A}{2 \cdot a \cdot b + 2 \cdot c \cdot d} \quad (16)$$

Mit Gleichung (15) ergibt sich dann für jedes Frequenzband der zu erwartende Absorptionsgrad der Absorptionsgrad α_K der Baffelkonstruktion für einfachen Schalldurchgang. Dieser Absorptionsgrad könnte theoretisch auch direkt gemessen werden, wenn die in einen Rahmen eingebaute Konstruktion entsprechend der Anordnung Bild 8 so angeordnet würde, dass auf beiden Seiten ein diffuses Schallfeld anläge. Auch hier müsste zur Bestimmung des

Absorptionsgrad α_K die festgestellte äquivalente Absorptionsfläche durch die zweifache vom Rahmen aufgespannte Fläche geteilt werden, um den beidseitigen Schalleinfall zu berücksichtigen.

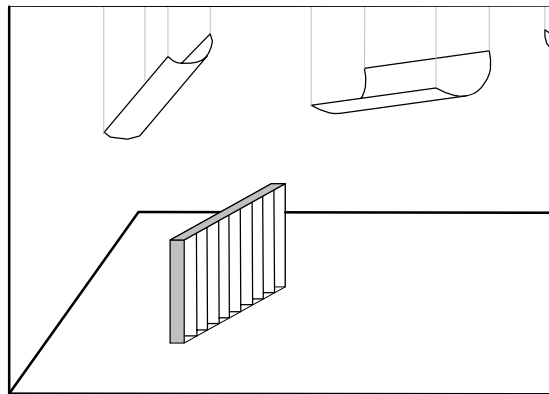


Bild 8 Messung des auf die Kulissenkonstruktion bezogenen Absorptionsgrads α_K

Wird die Kulissenkonstruktion unter einer reflektierenden Rohdecke abgehängt, durchlaufen die reflektierten Schallstrahlen die Konstruktion ein weiteres Mal, bevor sie wieder in den Raum gelangen. Damit ist bei der Bestimmung des Absorptionsgrads einer Kulissendecke unter der reflektierenden Rohdecke dieser weitere Absorptionsvorgang mit einzubeziehen.

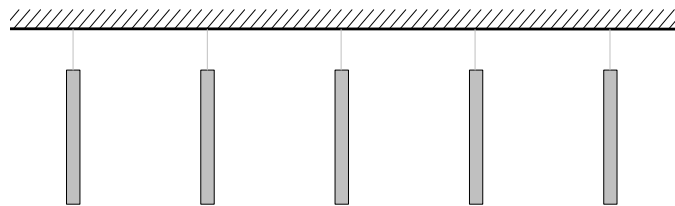


Bild 9 Kulissensystem vor reflektierender Raumdecke

Der Absorptionsgrad der Kulissendecke vor reflektierender Oberfläche ergibt sich aus

$$\alpha_{K,W} = \alpha_K \cdot (2 - \alpha_K) \quad (17)$$

Schließlich sei noch der ebenfalls häufig vorkommende Fall genannt, dass sich hinter der offenen Kulissendecke eine Oberfläche mit gegebenem Absorptionsgrad α_H befindet. In der Praxis ist z.B. die Verkleidung der Rohdecke mit absorbierendem Spritzputz oder mit zementgebundenen Holzwolleplatten ein typisches Beispiel für eine mögliche Verbesserung durch zusätzlich abgehängte Kulissen.

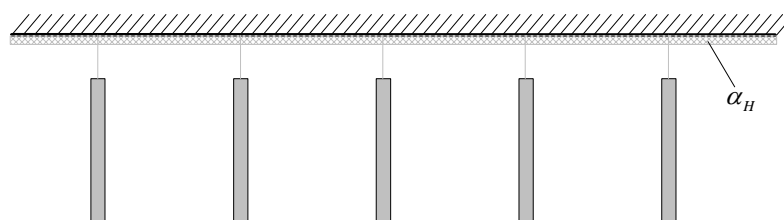


Bild 10 Kulissensystem vor Raumdecke mit Absorptionsgrad α_H

Der Absorptionsgrad der Kombination aus offener Kulissendecke und Rückwand mit Absorptionsgrad α_H beträgt

$$\alpha_{Komb} = \alpha_{K,W} + \alpha_H \cdot (1 - \alpha_{K,W}) \quad (18)$$

Die Bestimmung der Absorption von Kulissendecken aus Bauteil- und Konstruktionsparametern

Die o. g. Beziehungen (15) und (17) wurden unter Variation des Absorptionsgrads α_B des Plattenmaterials und des auf die Kulissenhöhe bezogenen Reihenmittenabstands ausgewertet. Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse α_K für eine Kulissenanordnung bei einfachem Schalldurchgang, Tabelle 2 die in der Regel mehr interessierenden Absorptionsgrade $\alpha_{K,W}$ bei Anordnung unter reflektierender Rohdecke.

Tabelle 1

Absorptionsgrad α_K einer Baffelkonstruktion aus Platten mit Bauteil-Absorptionsgrad α_B und auf die Baffelhöhe bezogenem Reihenmittenabstand a' bei beidseitig anliegendem diffusen Schallfeld

alfa_B	Bezogener Reihenmittenabstand a'								
	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2
0.1	0.19	0.14	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05
0.2	0.32	0.24	0.20	0.16	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09
0.3	0.43	0.33	0.27	0.23	0.20	0.18	0.16	0.14	0.13
0.4	0.51	0.41	0.34	0.29	0.26	0.23	0.21	0.19	0.17
0.5	0.58	0.48	0.40	0.35	0.31	0.28	0.25	0.23	0.21
0.6	0.64	0.54	0.46	0.40	0.36	0.32	0.29	0.27	0.25
0.7	0.69	0.59	0.51	0.45	0.40	0.36	0.33	0.30	0.28
0.8	0.74	0.64	0.56	0.50	0.45	0.41	0.37	0.34	0.32
0.9	0.77	0.68	0.61	0.54	0.49	0.45	0.41	0.38	0.35
1	0.81	0.72	0.65	0.59	0.53	0.49	0.45	0.41	0.38

Tabelle 2

Absorptionsgrad $\alpha_{K,W}$ einer Baffelkonstruktion aus Platten mit Bauteil-Absorptionsgrad α_B und auf die Baffelhöhe bezogenem Reihenmittenabstand a' bei Anordnung unter reflektierender Decke bei raumseitig anliegendem diffusen Schallfeld

alfa_B	Bezogener Reihenmittenabstand a'								
	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2
0.1	0.35	0.26	0.21	0.17	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09
0.2	0.54	0.43	0.35	0.30	0.26	0.23	0.21	0.19	0.17
0.3	0.67	0.56	0.47	0.41	0.36	0.32	0.29	0.27	0.25
0.4	0.76	0.65	0.57	0.50	0.45	0.40	0.37	0.34	0.31
0.5	0.82	0.73	0.65	0.58	0.52	0.48	0.44	0.40	0.37
0.6	0.87	0.79	0.71	0.64	0.59	0.54	0.50	0.46	0.43
0.7	0.90	0.83	0.76	0.70	0.65	0.60	0.55	0.52	0.48
0.8	0.93	0.87	0.81	0.75	0.70	0.65	0.60	0.57	0.53
0.9	0.95	0.90	0.85	0.79	0.74	0.69	0.65	0.61	0.58
1	0.96	0.92	0.88	0.83	0.78	0.74	0.69	0.65	0.62

Tabelle 1 ist immer dann anzuwenden, wenn die Wirkung einer Kulissenanordnung auf Schall bei einfachem Durchgang beurteilt werden soll.

Ein Beispiel zur Anwendung von Tabelle 1 zeigt Bild 11 – ein Teilraum mit Lärmquellen wird durch eine Kulissenanordnung abgetrennt.

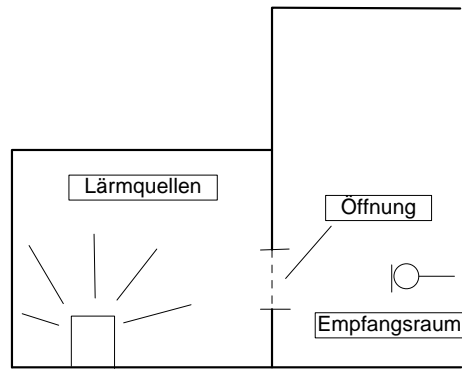


Bild 11 Abtrennung eines Teilraums mit Öffnung

Der Pegel vor Einbau der Kulissen ist L_v , nach Einbau der Kulissen L_n , und die Pegelminderung ist

$$\Delta L = L_v - L_n$$

Unter Berücksichtigung des Absorptionsgrads α_K nach Tabelle 1 ergibt sich diese Pegelminderung aus

$$\Delta L = -10 \cdot \lg(1 - \alpha_K) \quad (19)$$

Damit ergeben sich bei Einbau einer Kulissenanordnung in eine Öffnung entsprechend Bild 11 die in Tabelle 3 genannten Pegelminderungen im Nachbarraum.

Tabelle 3 Pegelminderung in dB bei einfachem Schalldurchgang (quellenseitig diffuses Schallfeld)

alfa_B	Bezogener Reihenmittenabstand a'								
	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2
0.1	0.94	0.65	0.50	0.41	0.34	0.29	0.26	0.23	0.21
0.2	1.70	1.22	0.95	0.78	0.66	0.57	0.51	0.45	0.41
0.3	2.42	1.76	1.39	1.14	0.97	0.85	0.75	0.67	0.61
0.4	3.11	2.29	1.82	1.51	1.29	1.12	1.00	0.90	0.81
0.5	3.78	2.82	2.25	1.87	1.60	1.40	1.24	1.12	1.02
0.6	4.45	3.34	2.69	2.24	1.92	1.68	1.50	1.35	1.22
0.7	5.11	3.88	3.13	2.62	2.25	1.97	1.75	1.58	1.43
0.8	5.77	4.43	3.59	3.01	2.59	2.27	2.01	1.81	1.65
0.9	6.45	4.99	4.06	3.41	2.93	2.57	2.28	2.05	1.86
1	7.15	5.58	4.55	3.83	3.29	2.89	2.56	2.30	2.09

Werden vom Hersteller des Kulissensystems veröffentlichte Absorptionsdaten verwendet, so ist zu berücksichtigen, dass diese meist an einer im Hallraum nach DIN EN ISO 354 vor harter Rückwand im Rahmen gemessen worden sind und somit den Werten in Tabelle 2 entsprechen. Die Pegelminderung bei Anwendung entsprechend Bild 11 ergibt sich dann aus

$$\Delta L = -5 \cdot \lg(1 - \alpha_{K,W}) \quad (20)$$

Ein typisches und oft auftretendes Problem bei der Dimensionierung von Kulissendecken besteht darin, aus den vom Hersteller für eine bestimmte Abhängedichte genannten die für eine andere Anordnung zutreffenden Absorptionsgrade zu berechnen. Hierzu kann das Diagramm Bild 12, welches eine Umsetzung von Tabelle 2 darstellt, verwendet werden.

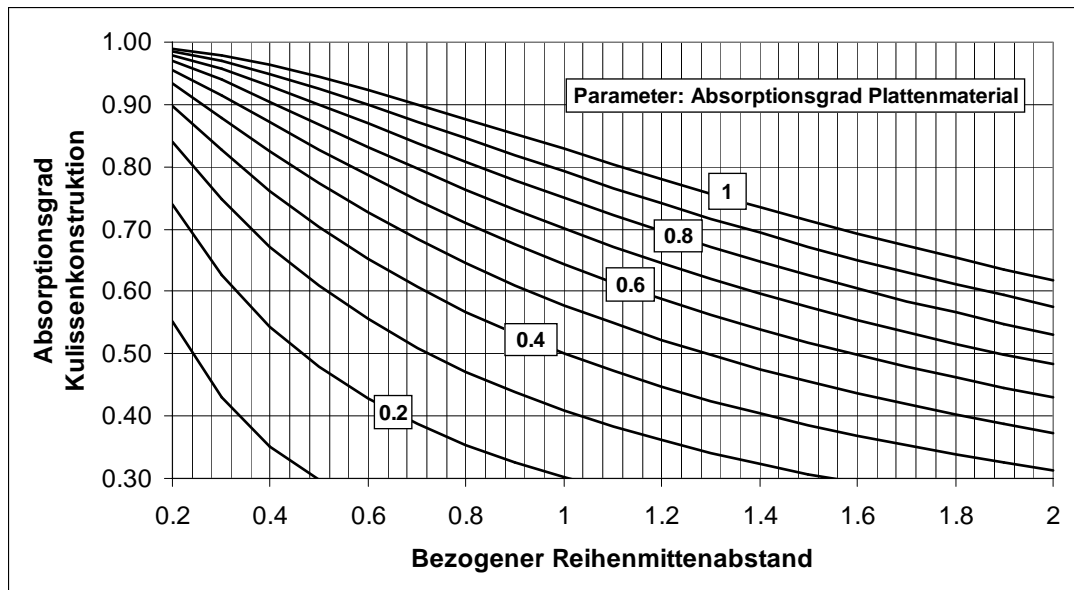


Bild 12 Absorptionsgrad einer unter der Rohdecke hängenden Kulissenkonstruktion in Abhängigkeit von dem auf die Kulissenhöhe bezogenen Reihenmittenabstand nach Tabelle 2

Mit Diagramm Bild 12 kann der Absorptionsgrad einer Konstruktion in jedem Frequenzband von einem Kulissenabstand auf den anderen umgerechnet werden.

Beispiel:

Eine Deckensystem mit Kulissenhöhe 50 cm weist im Frequenzband bei 1000 Hz bei einem Reihenmittenabstand von ebenfalls 50 cm (also bezogener Reihenmittenabstand 1) nach Prüfzeugnis des Herstellers einen Absorptionsgrad von 0,8 auf. Gesucht ist der Absorptionsgrad bei doppeltem Reihenabstand ($a' = 2$).

Lösung:

Aus dem Schnittpunkt der Vertikalen beim Abszissenwert 1 und der Horizontalen mit Ordinatenwert 0,8 ergibt sich ein Bauteilabsorptionsgrad von 0,9. Diese Kurve ergibt beim Abszissenwert von 2 einen Ordinatenwert und damit einen gesuchten Absorptionsgrad der Konstruktion von 0,5 bis 0,6.

Tabelle 2 kann auch bei Kosten-Nutzen Betrachtungen helfen, die für oft kostenrelevante Planungsentscheidungen bei Lärminderungsprogrammen notwendig sind. Viele Fragen über den Einfluß der Anordnungsdichte oder des verwendeten Materials auf die Wirksamkeit lassen sich so klären.

Ein einfaches Beispiel ist die oft gestellte und auch von Fachleuten unterschiedlich beantwortete Frage, ob prinzipiell eine ebene geschlossene Decke oder eine Kulissendecke bei gleichem Material und bei gleicher Materialmenge akustisch günstiger sei.

Wenn man eine ebene Decke aus einer hochabsorbierenden Platte mit $\alpha_B = 1$ in Streifen schneidet und diese Streifen um ihre Längsachse um 90° in die Vertikale dreht, dann hat man eine Kulissendecke mit bezogenem Reihenmittenabstand von 1 erzeugt. Wie Tabelle 2 zeigt, verringert sich der Absorptionsgrad auf rechnerisch 0,83. Dies entspricht auch dem Ergebnis zahlreicher Messungen von Kulissenanordnungen im Hallraum, wenn diese in einen reflektierenden Rahmen über dem Hallraumboden eingebaut werden – bei Reihenmittenabstand gleich Kulissenhöhe wird in den Frequenzbändern mit höchster Absorptionsgrad ein Wert knapp über 0,8 erreicht (Bild 13).

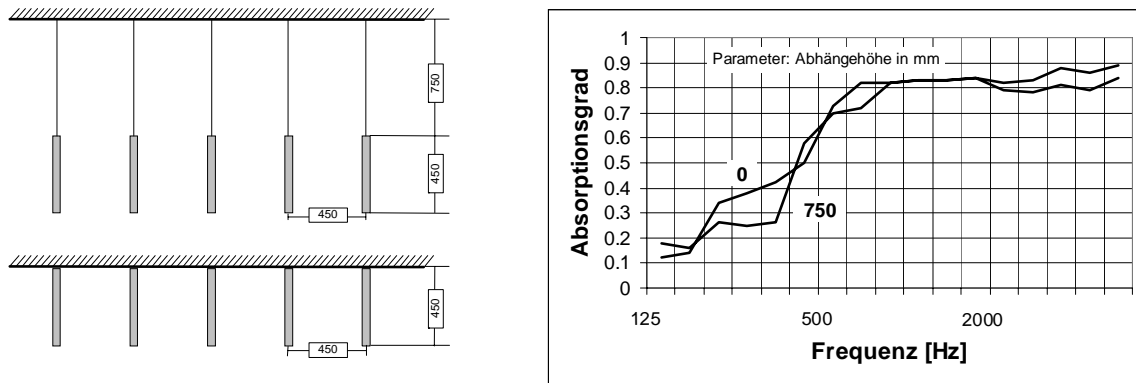


Bild 13 Messergebnisse an Baffelsystemen mit $a' = 1$ bei Abhängung 0 bzw. 750 mm

Die offenen Durchgangsbereiche von Kulissenkonstruktion führen eben dazu, dass auch mit hochabsorbierendem Material keinesfalls Absorptionsgrad von nahezu 1 erreicht werden kann.

Die Tatsache, dass bei den vertikalen Kulissen im Unterschied zur ebenen Decke beide Seiten zur Absorption beitragen, kann sich erst bei niedrigeren Absorptionsgraden des Plattenmaterials auswirken. Wie Tabelle 2 zeigt, ist bei Absorptionsgraden α_B des Plattenmaterials unter 0,7 der Absorptionsgrad der Kulissenkonstruktion mit a' gleich 1 größer.

Tabelle 2 zeigt auch, wie unsinnig es ist, den Absorptionsgrad durch dichtere Reihenanzahl zu erhöhen. Verdoppelt man die Materialmenge durch Halbierung des Reihenabstand im vorgenannten Beispiel, so steigt der Absorptionsgrad von 0,83 auf 0,94 – dies entspricht einer Erhöhung der äquivalenten Absorptionsfläche des Kulissensystems um 13 % bei annähernder Verdopplung der Kosten.

Es gibt viele gute Gründe für die Anwendung von schallabsorbierenden Kulissensystemen, besonders wenn es um Lärminderung in Arbeitsstätten und sonstigen Aufenthaltsräumen geht. Mit den dargestellten Beziehungen können diese Konstruktionen in übliche schalltechnische Berechnungen eingebunden und somit optimiert werden.

Literatur

/1/ DIN EN ISO 354:2003 Akustik – Messung der Schallabsorption in Hallräumen, Beuth Verlag, Berlin

/2/ Probst, W.: Optimaler Einsatz von Schallabsorptionsmaterialien – Bewertung der Wirksamkeit für spezielle Anwendungsfälle, Kennwerte und Marktübersicht, in VDI-Bericht 437, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1982

/3/ Lothar Cremer, Helmut A. Müller: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Raumakustik, Bd.1, S. Hirzel Verlag, 1978