

Berücksichtigung von Möbeln in der 3D-Akustik-Simulation von Büros

Christian Nocke^{1,2}

¹ Akustikbuero Oldenburg, E-Mail: info@akustikbuero-oldenburg.de

² Schall & Raum Consulting GmbH, Gilching, E-Mail: info@schall-raum.de

Einleitung

In DIN EN ISO 354 „Messung der Schallabsorption in Hallräumen“ [1] wird ein Verfahren zur Messung der Schallabsorption von nicht-flächigen Einzelobjekten wie Möbeln, Leuchten, Stellwänden und anderen Objekten mit dem Ergebnis einer äquivalenten Schallabsorptionsfläche A_{Obj} beschrieben. Zur Verwendung in akustischen 3D-Simulationsprogrammen wird jedoch der Schallabsorptionsgrad von Flächen benötigt, da sämtliche Objekte in der Regel durch ebene Flächen zusammengesetzt bzw. modelliert werden. Ein einheitliches Verfahren zur Umrechnung der äquivalenten Schallabsorptionsfläche A_{Obj} zu Schallabsorptionsgraden für die Modelle von Einzelobjekten existiert bislang nicht. Die neue Kenngröße für wird als α_{obj} bezeichnet, siehe auch [2]. Die Definition benötigt neben der Kenntnis der Schallabsorptionsfläche des jeweiligen Objekts auch die Definition einer vereinfachten Geometrie für das Objekt, die als Akustik-Repräsentation bezeichnet wird. Hersteller und Händler von Büro-Ausstattungen haben inzwischen begonnen, akustisch wirksame Produkte mit Hilfe der neuen Kenngröße zu beschreiben, um so eine effiziente Übernahme aus entsprechenden Computerprogrammen zur Raumplanung (wie pcon-planner [3]) in 3D-Raumakustik-simulationsprogramme effizient zu ermöglichen. In diesem Beitrag wird das Verfahren demonstriert und anhand von beispielhaften Büroplanung demonstriert.

Einleitung

Eine Möglichkeit die notwendige Schallabsorption in Räume, heutzutage insbesondere in Büros, zu bringen, kann darin bestehen, dass auch die Einrichtungsgegenstände wie Möbel, Raumteiler, Stellwände, Sitzmöbel oder Leuchten eine schallabsorbierende Wirkung erhalten. In diesem Beitrag wird ein Vorgehen vorgestellt, wie die Schallabsorption entsprechender nicht-flächiger Schallabsorber beschrieben werden kann, um sie in der raumakustischen 3D-Simulation zu verwenden.

Aus der im Hallraum gemessenen Schallabsorptionsfläche A_{obj} eines Einzelobjekts wird ein Schallabsorptionsgrad für die in der Simulation verwendeten Elemente abgeleitet. Mit diesem auf die Oberfläche eines Objekts bezogenen Schallabsorptionsgrad können Einzelobjekte auch in der raumakustischen Simulation in entsprechenden Softwareprogrammen berücksichtigt werden. Weiterhin ist anhand dieser Kenngröße der Vergleich verschiedener Einzelobjekte möglich, was bislang durch die Absorptionsfläche A_{obj} nur indirekt möglich war.

Hallraum-Messungen nach DIN EN ISO 354 an Objekten

Zur Bestimmung der Schallabsorption wird in einem Hallraum die Nachhallzeit des leeren Raums und des Raums mit eingebrachtem Prüfobjekt gemessen. Das Verfahren ist durch DIN EN ISO 354 [1] normativ beschrieben. In der Norm werden Anforderungen an das Raumvolumen V , die „Diffusität“ des Schallfeldes, das Prüfobjekt, die zu verwendenden Messgeräte und viele weitere Details gestellt.

Bei den Prüfobjekten wird zwischen flächenhaften Schallabsorbern und einzelnen Schallabsorbern unterschieden. Bei flächenhaften Absorbern ist eine überdeckte Fläche von 10 m² bis 12 m² erforderlich. Verschiedene Aufbauarten sind im normativen Anhang B der DIN EN ISO 354 [1] detailliert dargestellt.

Für die einzelnen Schallabsorber im Sinne der DIN EN ISO 354 [1] fehlt eine entsprechend detaillierte Darstellung der Aufbauarten. Es wird angeführt: „Einzelobjekte (z. B. Stühle, freistehende Stellwände oder Personen) müssen für die Messung in gleicher Weise angeordnet werden, wie es in der Praxis üblich ist“. Es wird darauf hingewiesen, dass die Prüfobjekte bei einzelnen Schallabsorbern mindestens aus drei gleichartigen Objekten bestehen müssen. Sofern das Prüfobjekt lediglich aus einem Objekt besteht, ist dieses an mindestens drei Standorten im Hallraum zu vermessen.

Die äquivalente Absorptionsfläche A_T des Prüfobjekts ergibt sich nach den Vorgaben aus DIN EN ISO 354 [1] aus der Differenz von zwischen der äquivalenten Absorptionsfläche im Hallraum mit Prüfobjekt A_2 und dem jener des leeren Hallraums A_1 :

$$A_T = A_2 - A_1 \quad [\text{m}^2] \quad (1)$$

Für flächenhafte Schallabsorber kann anschließend mit der vom Prüfobjekt überdeckten Fläche S der Schallabsorptionsgrad α_S berechnet werden:

$$\alpha_S = \frac{A_T}{S} \quad [--] \quad (2)$$

Der Index S wird verwendet, um auf das beschriebene Verfahren im Hallraum hinzuweisen.

Für einzelne Schallabsorber ist die äquivalente Schallabsorptionsfläche je Objekt A_{obj} anzugeben. Hierzu ist die äquivalente Absorptionsfläche A_T durch die Anzahl der Objekte n , in der Regel $n = 3$, zu teilen, entsprechend gilt:

$$A_{obj} = \frac{A_T}{n} \quad [\text{m}^2] \quad (3)$$

Die Ergebnisse von Messungen nach der DIN EN ISO 354 [1] werden als Absorptionsgrad α_S für flächige Absorber oder als Absorptionsfläche eines Objekts A_{obj} angegeben.

Unklarheiten in DIN EN ISO 354 bei Objekten

Es besteht in der aktuellen Fassung der DIN EN ISO 354 [1] die Unklarheit, wie mit Objekten wie Stellwänden, Tischaufsätzen, Schränken und anderen Einrichtungselementen zu verfahren ist, die durchaus die Definition einer Oberfläche bzw. Bezugsfläche S zulassen. Bei Absorbern mit zwei beschallten Seiten, wie Stellwänden oder auch sogenannten „Akustik-Segeln“, „Wolken“ oder anderen Freiformen, enthält die DIN EN ISO 354 [1] keine konkreten Vorgaben, wie die Bezugsfläche S zu ermitteln ist. Es gibt lediglich die Anmerkung, dass bei beidseitig beschallten Absorbern der Schallabsorptionsgrad das Verhältnis aus äquivalenter Schallabsorptionsfläche des Prüfobjekts und der Fläche der beiden Seiten des Prüfobjekts ist [1, Anmerkung 1 unter Ziffer 3.9].

Absorptionsgrad für Einzelobjekte

In der Regel ist eine direkte Eingabe der Schallabsorptionsfläche A_{obj} von Einzelobjekten in den einschlägigen Programmen zur 3D-Raumakustiksimulation nicht vorgesehen. Sämtliche Raumbegrenzungsflächen, aber auch die Einrichtungsgegenstände, werden in der dreidimensionalen Computersimulation durch Elemente aus ebenen Flächen oder auch Quadern angenähert, siehe Raumbeispiel in Abbildung 1.

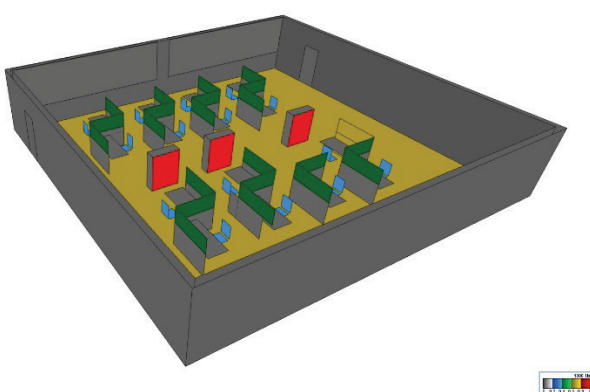


Abbildung 1: Beispiel für dreidimensionales Raummodell zur Raumakustiksimulation. Farben zeigen den Absorptionsgrad der Flächen, hier für 1000 Hz Oktave, an.

Um auch die akustische Wirkung von Einzelobjekten im Sinne der DIN EN ISO 354, wie schallabsorbierenden Stellwänden, Schränken oder „Akustiksegeln“, in der 3D-Simulation berücksichtigen zu können, ist es notwendig, den Flächen dieser Objekte im Computermodell einen Wert des Schallabsorptionsgrads zuzuordnen. Hierbei kann entweder ein über alle Flächen des Objekts gemittelter Schallabsorptionsgrad α_{obj} oder aber der Schallabsorptionsgrad für die einzelnen Flächenanteile bzw. Komponenten des Objekts α_{KA} angegeben werden. Für beide Vorgehensweisen ist es notwendig eine gegenüber der realen Geometrie vereinfachte Geometrie für das akustische Modell, im Folgenden Akustik-Repräsentation genannt, zu definieren.

Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass die Betrachtung der Absorption in Oktavbandbreite erfolgt. Wie in ISO 11654 [2][3] beschrieben, werden Oktavbandwerte durch den arithmetischen Mittelwert aus jeweils den drei Terzwerten in der Oktave ermittelt. Im Rahmen des vorgeschlagenen Verfahrens wird dieses Vorgehen auch für die Absorptionsflächen angewendet.

Geometrie in raumakustischen Simulationsprogrammen

Alle akustisch relevanten Möbel und weiteren Einrichtungselemente sind als Quader oder Kombination aus mehreren Quadern anzulegen. Alternativ kann jede Seite eines Quaders auch als Einzelfläche angeordnet werden. Die Abmessungen der Quader sollten sich an den tatsächlichen Abmessungen der repräsentierten Objekte (Möbel, Einrichtungsgegenstände) orientieren. Die geometrische Ausdehnung sollte jedoch auch bei flachen bzw. dünnen Elementen, wie z.B. Tischen, Tischaufsätzen oder Stellwänden, immer mind. 10 mm betragen.

Oftmals werden Teile eines Möbels mit akustisch wirksamen bzw. schallabsorbierenden Materialien ausgestattet, während andere Flächen eher schallhart sind. Beispiele dafür sind Stellwände, die mit unterschiedlichen Paneltypen bestückt werden können oder Schränke mit nur teilweise akustisch wirksamen Fronten und/oder Rückwänden. Es ist daher in der Regel sinnvoll, das Flächenmodell der Akustik-Repräsentation so aufzubauen, dass akustisch wirksame Bereiche von schallharten Bereichen getrennt sind und jeweils eigenständige Flächen angelegt werden. Diesen Flächen können dann verschiedene Materialien mit unterschiedlichen Werten des Schallabsorptionsgrads zugewiesen werden. Alternativ kann ein Quader modelliert werden und die akustisch wirksame Fläche als zusätzlicher Quader an der entsprechenden Stelle vorgesetzt werden.

Schallabsorptionsgrad α_{obj}

Das nachfolgend beschriebene Vorgehen wird angewendet, wenn das Einzelobjekt aus Materialien mit ähnlichen Absorptionseigenschaften besteht (z.B. „schallharter“ Schrank aus Holz und Metall) oder wenn deutliche Unterschiede in den Absorptionseigenschaften messtechnisch nicht erfasst werden können. Beispielsweise sind bei einem Stuhl mit gepolsterter Sitzfläche und Lehne sowie Sitzunterseite und Lehnenrückseite aus Kunststoff die unterschiedlichen Schallabsorptionsgrade von Polster und Kunststoff in der Regel nicht separat ermittelbar.

Eine Messung im Hallraum liefert die Schallabsorptionsfläche A_{obj} bezogen auf das Objekt. Der mittlere Schallabsorptionsgrad α_{Obj} aller dem Schallfeld ausgesetzten Flächen der Akustik-Geometrie berechnet sich wie folgt:

$$\alpha_{obj} = \frac{A_{obj}}{S_E} \quad [--] \quad (4)$$

mit S_E der Gesamt-dem Schallfeld ausgesetzten Oberfläche des Objekts in der Akustik-Repräsentation.

Schallabsorptionsgrad $\alpha_{K\alpha}$ verschiedener Komponenten eines Objekts

Voraussetzung für die Bestimmung des Schallabsorptionsgrades einer einzelnen (schallabsorbierenden) Komponente K_α des Einzelobjektes ist die Austauschbarkeit dieser Komponente. Die Ermittlung des Schallabsorptionsgrads der Komponente K_α erfolgt anhand eines Vergleichs der Schallabsorptionsfläche des Objekts $A_{Obj,K0}$ ohne die schallabsorbierenden Komponente und der Schallabsorptionsfläche $A_{Obj,K\alpha}$ mit der schallabsorbierenden Komponente. Der Schallabsorptionsgrad, der der Komponente K_α zugewiesen wird, lässt sich dann wie folgt bestimmen:

$$\alpha_{Obj,K\alpha} = \frac{A_{Obj,K\alpha} - A_{Obj,K0}}{S_{E,K}} + \alpha_{Obj,K0} \quad [--] \quad (5)$$

mit der Fläche $S_{E,K}$ der getauschten Komponente des Einzelobjektes. Hierbei wird davon ausgegangen, dass die Flächengröße der ausgetauschten Komponente (nicht-absorbierend bzw. absorbierend) gleichbleibt.

Der Schallabsorptionsgrad $\alpha_{Obj,K0}$ wird aus der äquivalenten Schallabsorptionsfläche A_{Obj} des Objekts ohne die schallabsorbierende Komponente ermittelt.

Beispiel Schrank mit Akustikfront

Eine prinzipielle Darstellung eines Schrankes mit Akustik-Front ist in Abbildung 5 dargestellt. Die Abmessungen des Schrankes sind: Breite: 0,8 m, Tiefe: 0,46 m, Höhe: 1,09 m. Hieraus ergibt sich eine Gesamtoberfläche von $S_E = 3,11 \text{ m}^2$, die Größe der Akustik-Front beträgt entsprechend $S_{E,K\alpha} = 0,87 \text{ m}^2$. In Abbildung 6 sind die links die im Hallraum gemessenen Schallabsorptionsflächen des Schrankes ohne und mit Akustikfront dargestellt. In der rechten Grafik ist der zugehörige Absorptionsgrad für die Komponenten des Objekts dargestellt. Die absorbierende Front zeigt einen deutlich höhere Absorptionsgrad ($\alpha_{Obj,K\alpha}$) als der Rest des Schrankkorpus ($\alpha_{Obj,K0}$).

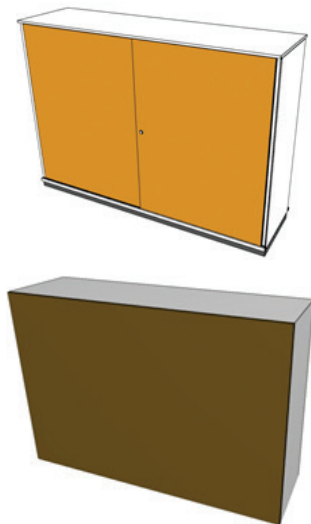


Abbildung 2: Schrank mit Akustik-Front (links) und dessen Akustik-Repräsentation (rechts), bestehend aus einem Quader für den Korpus und einem 1 cm dünnen Quader für die Akustik-Front an der Schrankvorderseite.

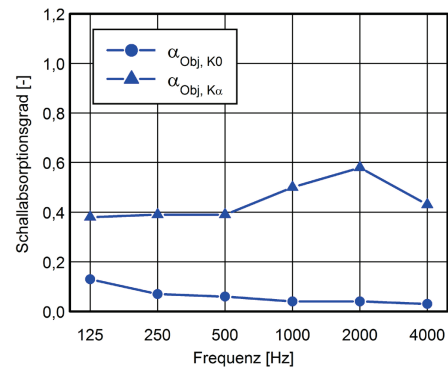


Abbildung 3: Schallabsorptionsgrad α_{Obj} für den Schrank aus Abbildung 2

Normative Umsetzung

In ISO/DIS 20189 [7] ist wird der neue Kennwert α_{Obj} erstmalig auch normativ beschrieben. Im normativen Anhang B zu ISO/DIS 20189 [7] wird anhand verschiedener Beispiele die Anwendung von α_{Obj} demonstriert.

Ebenfalls in ISO/DIS 20189 [7] werden im normativen Anhang E Klarstellung zur Messung von Objekten beschrieben. In der Abbildung 4 sind die entsprechenden Aufbauten anhand der Skizze aus [7] dargestellt. Diese Klarstellung zur Messung von Objekten im Sinne der DIN EN ISO 354 [1] wird künftig die Beschreibung von akustisch wirksamen Objekten gerade im Büroumfeld erleichtern.

Aufbau	Skizze	weitere Hinweise
Typ I		Schreibtischaufsätze Schreibtischaufsätze Schreibtischaufsätze Schreibtischaufsätze
Typ II		Stellwände auf Boden stehend
Typ III		Möbelanordnungen
Typ IV		Einzelabsorber in Wandmontage
Typ V		Einzelabsorber in Hängemontage
Typ VI		Volumenelemente
Typ VII		Sitzmöbel
Typ VIII		Stühle, Container, Hocker
Typ IX		Regale und Schränke

Abbildung 4: Aufbautypen für Prüfobjekte und Beispiele gemäß normativen Anhang B der ISO/DIS 20189 [7]

Fazit und Ausblick

Bei dem in diesem Beitrag vorgeschlagenen Absorptionsgrad α_{obj} bzw. $\alpha_{\text{Obj,Ka}}$ handelt es sich um eine zu kurzem auch normativ gefasste Größe, die schon vielfach in der Praxis verwendet wird. Immer wenn für nicht-flächige Schallabsorber 3D-Computermodelle zur Simulation verwendet werden, ist eine derartige Festlegung von vereinfachter Geometrie und zugehörigen Werten für den objektbezogenen Schallabsorptionsgrad notwendig.

Hersteller und Händler von Büro-Ausstattungen haben inzwischen begonnen, akustisch wirksame Produkte mit Hilfe von α_{obj} bzw. α_{KA} zu beschreiben, um so eine effiziente Übernahme aus entsprechenden Computerprogrammen zur Raumplanung [4][5] in Raumakustiksimulationsprogramme [6] zu ermöglichen. Die normative Umsetzung dieses Ansatzes ist mit ISO/DIS 20189 [7] vollzogen worden.

Danksagung

Der Autor dankt dem Industrieverband Büro und Arbeitswelten IBA e.V., sowie der Firma Easterngraphics für die fortwährende Unterstützung und exzellente Zusammenarbeit bei dieser Entwicklung.

Literatur

- [1] DIN EN ISO 354: 2003-12. Akustik - Messung der Schallabsorption in Hallräumen. Berlin: Beuth-Verlag (in Überarbeitung)
- [2] DIN EN ISO 11654: 1997-07. Schallabsorber für die Anwendung in Gebäuden - Bewertung der Schallabsorption Berlin: Beuth-Verlag
- [3] E DIN EN ISO 11654: 2017-10. Akustik - Schallabsorber - Bewertung von Schallabsorptionsgraden Berlin: Beuth-Verlag
- [4] EasternGraphics Application Notes, AN-2013-002, Datenanlage für akustische Auswertungen, „akustik plugin“. Erstellt in Kooperation mit Akustikbüro Oldenburg, 2013-11-28.
- [5] Easterngraphics - pcon planner Homepage, URL: <http://pcon-planner.com/>
- [6] C. Nocke, Raumakustik im Alltag – Hören, Planen, Verstehen, IRB Fraunhofer, 2014 (vergriffen; 2. Auflage erscheint in Kürze)
- [7] ISO/DIS 20189: 2017-10. Akustik - Stellwände und einzelne Objekte zur Verwendung in Innenräumen - Auslegung der Schallabsorption und Schalldämmung von Bauteilen aufgrund von Messungen im Prüfstand. Berlin: Beuth-Verlag, Oktober 2017