

Raumakustik – zur Normbarkeit von Räumen

Eine Übersicht zur Hörsamkeit von Räumen

Christian Nocke

Während der Raumakustik von Aufführungsstätten für Musik nach wie vor viel Beachtung schon im Rahmen der Planung geschenkt wird, kommt es bei Räumen des täglichen Lebens nach wie vor zu ungeplanten und letztlich wenig zielführenden Situationen. Büroräume, Räume in Bildungsstätten, aber auch öffentliche Räume oder Sportstätten erfordern ebenfalls raumakustische Maßnahmen. Auch die Raumakustik in solchen Räumen ist planbar. Vorgaben wie Anforderungen und Empfehlungen aus Normen, Richtlinien und weiteren Regelwerken bieten hierzu die Grundlage der Planung. Zunächst werden die rechtlichen und normativen Grundlagen in diesem Beitrag vorgestellt. Hierbei sind neben baurechtlichen Vorgaben auch Anforderungen des Arbeitsschutzes zu beachten. Zur Überprüfung ausgeführter Räume nach entsprechenden Vorgaben stehen ebenfalls normierte Messverfahren zur Verfügung, die nachfolgend kurz beschrieben werden. Abschließend wird auf Berechnungen in der Raumakustik zur Planung eingegangen. Die zur Planung benötigten Absorptionswerte sind auf Grundlage von normierten Labor-Messverfahren zu ermitteln. Der Beitrag stellt den Versuch einer Übersicht dar.

Einleitung

Hin und wieder stellt sich die Frage, ob Raumakustik einer Normung zugänglich ist. Es ist gar zu lesen, dass neue Normen der Raumakustik angeblich kaum noch zu verstehen seien oder auch bei Missachtung von einschlägigen Normen, Richtlinien und Regeln trotzdem große Zufriedenheit der Menschen in den betreffenden Räumen herrsche. Dazu ist zunächst zu klären, was Normung eigentlich bedeutet.

Normung stellt im Idealfall (nach DIN 820-3 [1]) eine durch die interessierten Kreise im Konsens durchgeführte Vereinheitlichung von materiellen und immateriellen Gegenständen zum Nutzen der Allgemeinheit dar. Ein sehr allgemeiner und sicherlich auch idealisierender Ansatz, der nicht unbedingt bei allen Normungsvorhaben auch im Bereich der Akustik und des Schallschutzes direkt und unmittelbar erkennbar ist. An Normung kann sich aber generell jeder beteiligen.

Eine Herausforderung der Raumakustik liegt darin, dass es hier immer um die subjektive Wahrnehmung

Room acoustics – about the standardizability of rooms

While the room acoustics of performance venues for music continues to receive a lot of attention during the planning phase, unplanned and ultimately ineffective situations still occur in the rooms of daily life. Office rooms, rooms in educational institutions, but also public spaces or sports facilities, i. e. rooms in the daily lives of many people, require room acoustic measures. Room acoustics in such rooms can also be planned. Specifications such as requirements and recommendations from standards, guidelines and other regulations provide the basis for planning and are presented in this article. Standardised measuring procedures are also available for checking rooms that have been built in accordance with the relevant specifications. The absorption values required for planning are to be determined on the basis of standardized laboratory measurement procedures. These different normative specifications will be presented and related within the framework of this article. The contribution represents an attempt of an overview.

von einzelnen Menschen geht. Dies durch Normung zu objektivieren und festzuschreiben, kann in manchen Bereichen gelingen, in anderen Feldern von vornherein zum Scheitern verurteilt sein. Schon seit Gustav Theodor Fechners Werk „Elemente der Psychophysik“ aus dem Jahre 1860 sind die Zusammenhänge zwischen Psychologie und Physik beschrieben. Subjektive Wahrnehmung und objektive Parameter können vielfach zur Deckung gebracht werden. Seit 1968 besteht durch DIN 18041 zur Hörsamkeit in Räumen ein breiter Konsens bezüglich der Ansprüche an Räume des alltäglichen Lebens. Allerdings sind Räume für Musik wie Konzertsäle und Opernhäuser, sakrale Räume wie Kirchen und Moscheen und viele andere Räume mit speziellen Anforderungen wie Fernseh- und Tonstudios, Audiometrieräume etc. hier ausgenommen, da Konsens besteht, dass diese Räume einer Normung nicht oder nur schwer zugänglich sind. Anders sieht dies bei Schulräumen, Besprechungsräumen, Konferenzräumen, aber auch Kantinen, Restaurants, Foyers, Sport- und Schwimmhallen

und weiteren Räumen des Alltags aus. Hier lassen sich gemeinsam und im Konsens objektivierbare Kenngrößen finden, die bei den meisten Menschen auch subjektiv zu einer großen Zufriedenheit in den entsprechenden Räumen führen. Psychoakustische Experimente und allgemeine Erfahrung bestätigen diesen Konsens.

(Bau-)Rechtliches – Anerkannte Regeln der Technik in der Raumakustik

Spätestens seit Einführung der ASR A3.7 „Lärm“ [2] im Mai 2018 hat die Raumakustik eine rechtliche Verankerung im Bereich des Arbeitsschutzes erfahren. Die ASR A3.7 konkretisiert die Anforderungen der Arbeitsstättenverordnung [3], die wiederum direkt aus dem Arbeitsschutzgesetz [4] abgeleitet ist. Auch wenn die nun wieder eingeführten Anforderungen an den Beurteilungspegel von 55 dB oder 70 dB gerade in Mehrpersonenbüros oder Callcentern kritisch zu hinterfragen sind, enthält die ASR A3.7 klare Vorgaben zur raumakustischen Gestaltung von Arbeitsstätten wie Büros und Räumen in Bildungsstätten.

Ansonsten sind raumakustische Anforderungen in Gebäuden in Deutschland nicht allgemein baurechtlich vorgegeben, wobei hier Entwicklungen im Baurecht zu beobachten sind, die dies aktuell ändern. Das nachfolgende Beispiel zeigt das Vorgehen:

In Niedersachsen wurde bei der letzten Änderung der Verwaltungsvorschrift der Technischen Baubestimmungen, kurz VVTB, Nds. Ministerialblatt 3/2019 [5], dort Anlage A 4.2/2, mit DIN 18040-1 [6] der folgende Hinweis nicht mehr angeführt:

„Technische Regeln, auf die in dieser Norm verwiesen wird, sind von der Einführung nicht erfasst.“

Dieser Hinweis war im Nds. Ministerialblatt 12/2016 [7], dort Anlage A 7.2/2, enthalten und

ist nun entfallen. In der baurechtlich eingeführten DIN 18040-1:2010-10 [6] wird unter Ziffer 4.4.3 auf die DIN 18041 (undatiert) zur raumakustischen Planung hingewiesen. Durch den Wegfall dieses Ausschluss-Hinweises ist die DIN 18041 zumindest in Niedersachsen nach Ansicht einer zunehmenden Zahl von Baubehörden seit dem 28.1.2019 baurechtlich verbindlich eingeführt.

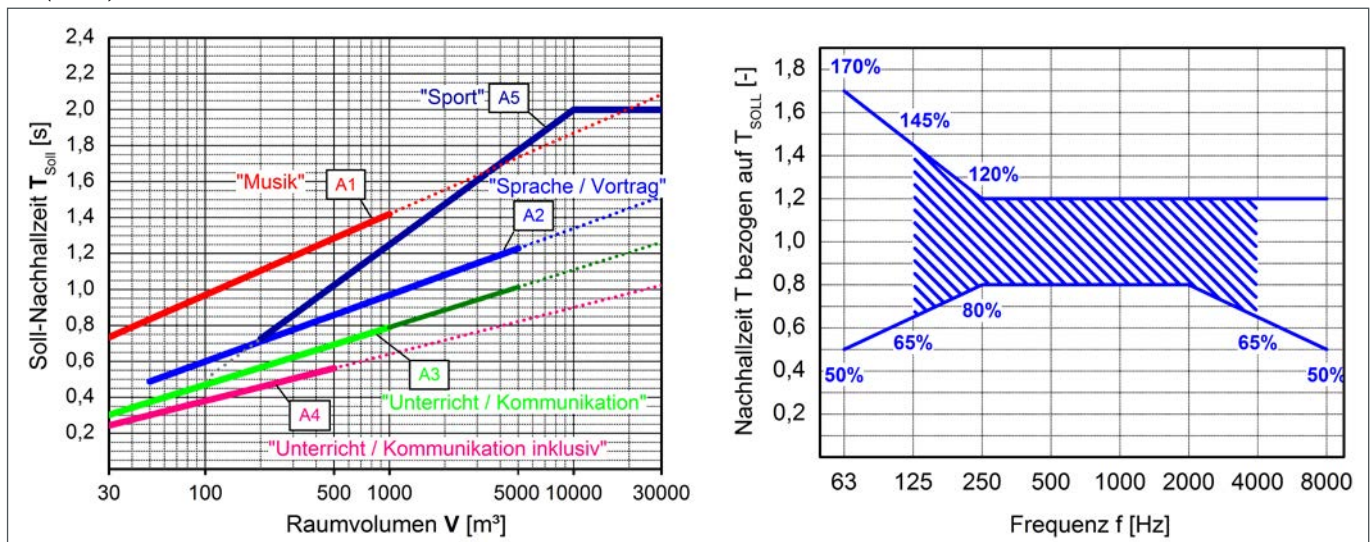
Jeder Planer ist zudem gehalten, die anerkannten Regeln der Technik bei seiner Tätigkeit zu berücksichtigen. Aus der Rechtsprechung, beispielsweise im Bereich des baulichen Schallschutzes, ist bekannt, dass ein Abweichen von den anerkannten Regeln der Technik gegenüber dem Auftraggeber bzw. Bauherrn zu begründen ist.

Im Bereich der Raumakustik ist die DIN 18041:2016-03 „Hörsamkeit in Räumen – Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung“ [8] als anerkannte Regel der Technik einzustufen. Dies wird auch im „Leitfaden Barrierefreies Bauen“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit [9] durch eine explizite Nennung von DIN 18041 bestätigt. Damit bestehen für eine Vielzahl von Räumen eindeutige rechtliche Vorgaben zur raumakustischen Gestaltung, die nachfolgend beschrieben werden.

DIN 18041 – Die zentrale Norm zur Raumakustik

Die DIN 18041 wurde erstmalig im Jahr 1968 mit dem Titel „Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen“ [10] veröffentlicht. Diesen Titel trug auch die Ausgabe des Jahres 2004 [11]. Mit der Neufassung der DIN 18041 [8] im März 2016 mit neuen Titel „Hörsamkeit in Räumen – Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung“ wur-

Abb. 1: Werte der Soll-Nachhallzeit T_{Soll} für Räume der Gruppe A (links) und zugehöriger Toleranzbereich für die Nutzungsarten A1 bis A4 (rechts) nach DIN 18041:2016-03



den einige Änderungen und Ergänzungen umgesetzt, um beispielsweise das Thema Inklusion in Schulen besser abzubilden. Bestehende Unklarheiten und Interpretationsmöglichkeiten wurden nach intensiven Diskussionen – u. a. im Fachausschuss Bau- und Raumakustik der DEGA – beseitigt. Einige der wichtigsten Neuerungen und Klarstellungen sind:

- Neue Nutzungsarten und Erweiterung um Anforderungen zur Inklusion für Räume der Gruppe A
- Eindeutiger, klar definierter Toleranzbereich für Räume der Gruppe A
- Hinweise für Nachweisverfahren im normativen Anhang A
- Neuregelung für Räume der Gruppe B, u. a. Entfall des bewerteten Schallabsorptionsgrades α_w

Weitere Hinweise und Anmerkungen aus der Überarbeitung in den Jahren 2013 bis 2016 sind im Kommentar zur DIN 18041 [12] zu finden.

Räume der Gruppe A

In Abbildung 1 sind die geforderten Nachhallzeiten für die Nutzungsarten A1 bis A5 in Abhängigkeit vom Raumvolumen grafisch dargestellt. Die Bereiche der typischen Volumina sind als durchgezogene Linien dargestellt; punktiert sind im Sinne der Norm untypische Volumina. Die genauen Formeln und Volumenbereiche finden sich im Normtext. Anforderungen für Räume mit mehr als 5.000 m³ gibt die DIN 18041 lediglich für Sport- und Schwimmhallen vor. Die Frequenzabhängigkeit der Nachhallzeit wird ebenfalls in der DIN 18041 thematisiert. Für die Nutzungsarten A1 bis A4 wird ein Toleranzbereich im Frequenzbereich zwischen 125 Hz und 4.000 Hz definiert. Bezugsgröße ist die Nachhallzeit T_{Soll} der jeweiligen Nutzungsart (siehe Abbildung 1). In der DIN 18041 sind die Toleranzbereiche über den verbindlichen Frequenzbereich der Norm hinausgehend auch für die Bereiche unterhalb von 100 Hz und oberhalb von 5.000 Hz als optionale Orientierungswerte angegeben. Diese Orientierungswerte sind in der Praxis der Räume des Alltags ohne Bedeutung. Die Anforderungen an die Nachhallzeit beziehen sich auf den besetzten Zustand des jeweiligen Raumes. Bei Planungen wie auch bei Nachweismessungen muss die Umrechnung zwischen dem unbesetzten und dem besetzten Zustand nach den Vorgaben des neuen normativen Anhangs A der DIN 18041 erfolgen. Die folgende Anmerkung der Ausgabe 2004 ist im Rahmen der Überarbeitung entfallen:

„Anmerkung: Im unbesetzten Zustand sollte die Nachhallzeit des Raumes im Allgemeinen nicht mehr als 0,2 s über dem Sollwert liegen.“

Dieser Satz führte zu Interpretationen für den Zielbereich der Nachhallzeit, wie das folgende Beispiel verdeutlicht:

Ein Klassenraum mit einem Volumen von 245 m³ (entsprechend 72 m² Grundfläche und 3,4 m Raumhöhe) sollte nach der Nutzungsart A3 (Nutzungsart Unterricht in der Ausgabe 2004 von DIN 18041) eine Soll-Nachhallzeit $T_{\text{Soll,A3}} = 0,60$ s aufweisen. Der entsprechende Toleranzbereich der nach der DIN 18041 Ausgabe 2016 eingehalten werden muss, ist in Abbildung 2 dargestellt. Ebenfalls ist die Obergrenze von $T_{\text{Soll,max}} = 0,8$ s, die nach der Anmerkung in der Ausgabe 2004 von DIN 18041 für einen leeren Raum möglich wäre. Spitzfindige Planungen nahmen sogar als maximalen Wert die Obergrenze, hier 0,72 s, und addierten darauf 0,2 s für den leeren Raum, so dass der ebenfalls dargestellte Wert von 0,92 s möglich war, je nach Interpretation des Planers.

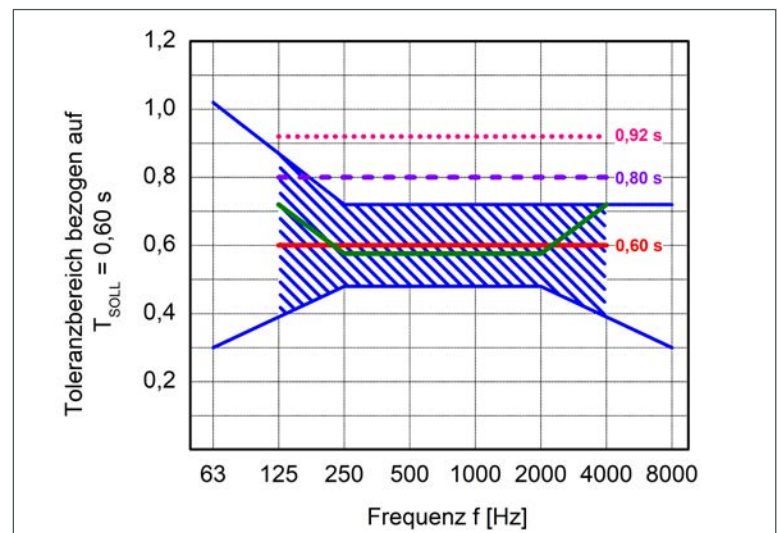
Der ebenfalls schon 2004 vorhandene Hinweis, dass eine Absenkung der Soll-Nachhallzeit um bis zu 20 % für Personen mit eingeschränktem Hörvermögen im Bereich von 250 Hz bis 2.000 Hz erfolgen sollte, entspricht der nun eingeführten Nutzungsart A4. Die entsprechende Obergrenze ist in Abbildung 2 als grüne Linie dargestellt.

Räume der Gruppe B

Für Räume der Gruppe B, bei denen die Hörsamkeit nur über geringe Entfernungen zu gewährleisten ist, werden keine Anforderungen an die Nachhallzeit definiert. Es werden Empfehlungen zur Raumbedämpfung durch das Verhältnis der gesamten äquivalenten Absorptionsfläche im Raum A und dem Raumvolumen V, im Folgenden A/V-Verhältnis, vorgegeben.

Bei den Räumen der Gruppe B werden analog dem Vorgehen bei der Raumgruppe A ebenfalls fünf Nutzungsarten B1 bis B5 definiert. Diese gegenüber den

Abb. 2: Toleranzbereich für eine Soll-Nachhallzeit $T_{\text{Soll}} = 0,6$ s (blau schraffiert) nach DIN 18041:2016-03 und mögliche Obergrenzen der Nachhallzeit nach DIN 18041:2004-05 von 0,80 s und 0,92 s, sowie Obergrenze nach Hinweis Inklusion aus DIN 18041:2004-05 (in grün).



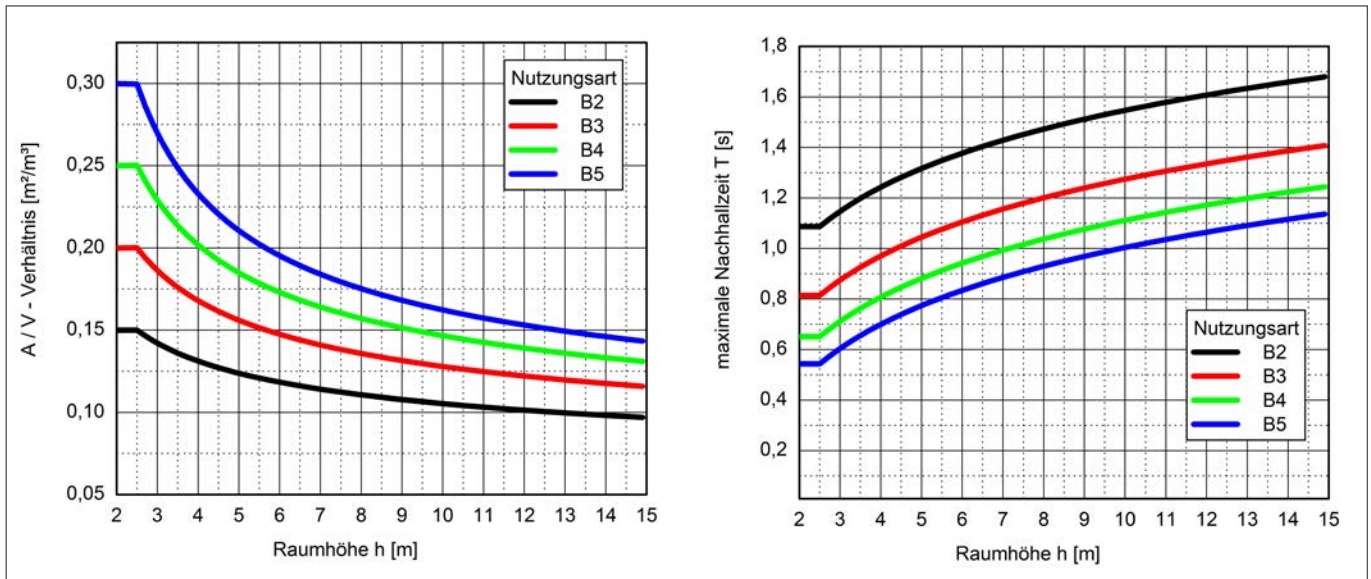


Abb. 3: Mindestens erforderliche Werte für das A/V-Verhältnis für Raumgruppe B nach DIN 18041:2016-05 für die Nutzungsarten B2 bis B5 (links) sowie die entsprechende maximale Nachhallzeit (rechts) bei Annahme eines diffusen Schallfeldes.

vorherigen Ausgaben der DIN 18041 neu eingeführte Unterscheidung orientiert sich an der Aufenthaltsdauer sowie dem notwendigen Grad der Lärminderung in dem jeweiligen Raumtyp. Die Einteilung reicht von Räumen ohne Aufenthaltsqualität (Nutzungsart B1) bis hin zu Räumen mit einem besonderen Bedarf an Lärminderung und akustischem Raumkomfort (B5). Für die fünf Nutzungsarten B1 bis B5 werden Orientierungswerte für das mindestens erforderliche A/V-Verhältnis vorgegeben (siehe Abbildung 3). Diese Orientierungswerte sind in den einzelnen Oktaven von 250 Hz und 2.000 Hz einzuhalten. Im Sinne der DIN 18041 ist auch bei Räumen der Gruppe B eine frequenzabhängige Betrachtung zwingend notwendig. Anders als bei den Räumen der Gruppe A wird lediglich der für Sprache wichtige Frequenzbereich zwischen 250 Hz und 2.000 Hz verwendet.

Auch während der im Jahr 2016 abgeschlossenen Überarbeitung der DIN 18041 wurde wie schon bei der Überarbeitung zum Jahr 2004 vereinzelt die Meinung geäußert, siehe [13], den normativ festgelegten Frequenzbereich um jeweils eine Oktave am unteren und oberen Rand zu erweitern. Es existieren nach wie vor keine wissenschaftlich gesicherten Erkenntnisse, dass hierdurch eine wesentliche Verbesserung der Hörsamkeit von den in der Norm behandelten Räumen für Sprachdarbietungen erreicht wird. Im Juni 2014 hat eine große Mehrheit der beteiligten Fachleute hierzu Stellung bezogen, siehe dazu die „Gemeinsame Stellungnahme des DIN-Arbeitskreises zur Überarbeitung der DIN 18041 und des Fachausschusses Bau- und Raumakustik der Deutschen Gesellschaft für Akustik zur Thematik tiefer Frequenzen in der Akustik kleiner bis mittelgroßer Räume“ [14].

Weitere Regelwerke

Nachfolgend werden einige weitere Regelwerke mit raumakustischen Vorgaben kurz beschrieben, ohne dass diese Aufzählung einen Anspruch auf Vollständigkeit hat.

VDI 2569 – Büroräume

Nachfolgend wird die aktuelle Neufassung der Richtlinie VDI 2569 „Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro“ [15] vom Oktober 2019 kurz vorgestellt. Sowohl für den Schallschutz als auch die akustische Gestaltung im Büro wurde die Richtlinie VDI 2569 grundlegend neu gefasst. Beim Schallschutz werden die maßgeblichen Kenngrößen, wie schon zuvor im Bereich des Wohnungsbaus mit der Richtlinie VDI 4100 „Schallschutz im Hochbau“ [16], auf nachhallbezogene Kennwerte umgestellt. Die mit der Neufassung der VDI 2569 [17] angestrebte Neuausrichtung der Richtlinie geht davon aus, dass neben dem eigentlichen Lärm auch das ungewollte Verstehen von Sprache in Büros als größter Störfaktor von den Mitarbeitern beschrieben wird. Ein wichtiger Unterschied des Ansatzes der VDI 2569 im Vergleich zur DIN 18041, die generell auf das Erreichen einer möglichst guten Hörsamkeit in den verschiedenen Räumen abzielt, besteht darin, dass in der VDI 2569 Maßnahmen zur Minderung der Sprachverständlichkeit sowie zur Senkung von Störgeräuschen angeführt werden. Mit der Neufassung der VDI 2569 werden die Grundlagen der Lärmwirkungen in Büros dargestellt. Die klassischen Ansätze der Lärminderung führen in Büros häufig nicht zur Lösung bestehender Probleme, die meist nicht durch zu hohe Lautstärken geprägt sind. Weniger direkte oder aurale Wirkungen sind der Grund

der Störungen im Büro, sondern vielmehr führen die Geräusche mit niedrigen Pegeln zu extraauralen Belästigungsreaktionen mit verschiedensten Ausprägungen. In [18] wird aber im Zusammenhang mit extraauralen Wirkung von Geräuschen darauf hingewiesen, dass lediglich 30 % bis 40 % der Belästigungen durch technisch-akustische Zusammenhänge aufgeklärt werden können.

Die Festlegung der raumakustischen Empfehlungen erfolgt getrennt für Einzel- und Mehrpersonenbüros. Für beide der betrachteten Büroarten werden Kriterien für eine Klassifizierung jeweils in drei Klassen (kurz: A, B und C) definiert. Die Klassifizierung bezieht sich auf die Intensität der Kommunikation in den jeweiligen Büroräumen; ein Callcenter oder ein Raum für Vieltelefonierer benötigt andere Maßnahmen als ein Büro für Verwaltung oder Konstruktion. Bei den Mehrpersonenbüros wird zudem zwischen kleinen und großen Mehrpersonenbüros unterschieden. Als Kriterium zur Abgrenzung zwischen kleinen und großen Mehrpersonenbüros dient der maximale Abstand zwischen allen vorhandenen Arbeitsplätzen. In kleinen Mehrpersonenbüros im Sinne von VDI 2569 ist der Abstand zwischen den am weitesten entfernten Arbeitsplätzen kleiner als 8 m. Entsprechend sind große Mehrpersonenbüros Räume mit mehr als 8 m zwischen den am weitesten entfernten Arbeitsplätzen.

Während im Einzelbüro und im kleinen Einzelbüro als raumakustische Kenngrößen die maximale Nachhallzeit T_{\max} und der Störschalldruckpegel der bauseitigen Geräusche $L_{NA;Bau}$, siehe DIN 18041 [8] verwendet werden, kommen im großen Mehrpersonenbüro noch weitere Kenngrößen hinzu, um eine Klassifizierung durchzuführen. Es werden die räumliche Abklingrate $D_{2,S}$ sowie der Sprachpegel in 4 m Abstand $L_{p,A,S,4m}$ nach DIN EN ISO 3382-3 [19] (siehe nachfolgend) als weitere raumakustische Kenngrößen zur Klassifizierung verwendet. Die im großen Mehrpersonenbüro wichtigen Aspekte der Schallausbreitung und -abschirmung werden durch diese beiden Parameter aufgegriffen. Große Mehrpersonenbüros werden somit in der VDI 2569 anhand von vier Kenngrößen klassifiziert.

Abbildung 4 zeigt die Empfehlungen zur Nachhallzeit in den verschiedenen Bürotypen für die Klassifizierung.

Arbeitsschutz – Arbeitsstättenregel und Technische Regeln

Die Arbeitsstättenregel ASR A3.7 „Lärm“ [2] gilt für das Einrichten und Betreiben von Arbeitsstätten und Arbeitsplätzen in Arbeitsräumen, mithin besteht kein Bestandsschutz für vorhandene Arbeitsräume. Neben Vorgaben für den Beurteilungspegel, abge-

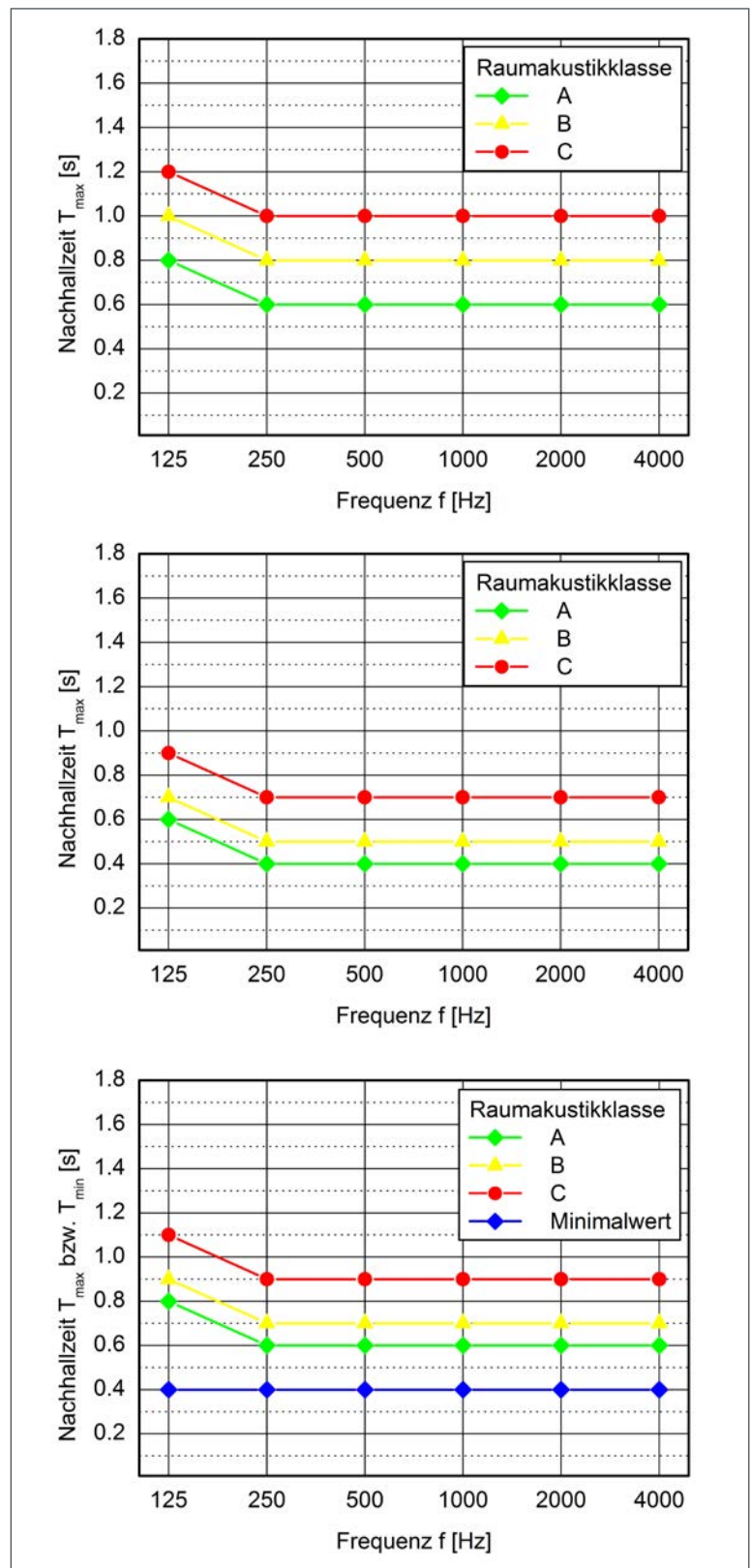


Abb. 4: Empfehlung für die Nachhallzeit T_{\max} nach VDI 2569: 10-2019 in Einzelbüros (oben), kleinen Mehrpersonenbüros (mittig) und großen Mehrpersonenbüros (unten), jeweils für die Raumakustikklassen A, B und C.

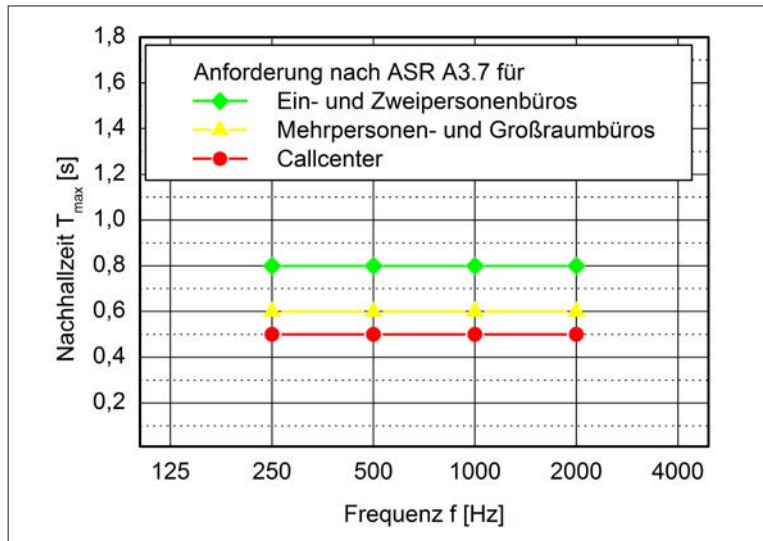


Abb. 5: Anforderungen für die maximale Nachhallzeit in Büros nach ASR A3.7

stuft nach drei Tätigkeitskategorien, ähnlich denen aus VDI 2058 Blatt 3 [20], werden auch raumakustische Anforderungen definiert.

Es wird zwischen Büroräumen, Räumen in Bildungsstätten und sonstigen Räumen mit Sprachkommunikation unterschieden. Bei den Büroräumen, wie auch den Räumen in Bildungsstätten, werden Anforderungen an den Hintergrundgeräuschpegel und die Nachhallzeit gestellt. Alle sonstigen Arbeitsräume, in denen Sprachkommunikation stattfindet und sie nicht als Büros oder Bildungsstätten einzuordnen sind, „sollen durch raumakustische Maßnahmen so gestaltet werden, dass ein mittlerer Schallabsorptionsgrad $\bar{\alpha} = 0,3$ beim eingerichteten Raum erreicht wird.“ (sic!) Somit wird in ASR A3.7 [2] eine Kenngröße der Schallabsorption im Raum zur Regulierung der Raumakustik verwendet; ein Vorgehen, das auch zur Raumakustik industriell genutzter Räume, wie Werkhallen etc., nach den Technischen Regeln zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (TRLV) [21] angewendet wird. Hierbei ist darauf hinzuweisen, dass in der TRLV Lärm 3 [22] der arithmetische Mittelwert über die vier Oktaven von 500 Hz bis 4.000 Hz verwendet wird.

Weiterhin wird lediglich von sechs Raumbegrenzungsflächen eines Raums ausgegangen. Bei der Betrachtung der Raumakustik im Sinne der TRLV Lärm 3 [22] sind daher wie bei der ASR A3.7 [2] für die sonstigen Räume mit Sprachkommunikation zwei Mittelwertbildungen (über Frequenz und Fläche) für den Absorptionsgrad anzuwenden, wobei unterschiedliche Frequenzbereiche verwendet werden.

Für Büroräume werden nach ASR A3.7 Werte für die Nachhallzeit im unbesetzten Raumzustand angegeben, die in den Oktaven von 250 Hz bis 2.000 Hz nicht überschritten werden sollen. Es wird zwischen Callcentern, Mehr- und Großraumbüros sowie Ein-

zelbüros unterschieden. Die Werte für die maximale Nachhallzeit nach ASR A3.7 [2] sind in der Abbildung 5 dargestellt.

Im Vergleich zu den Empfehlungen der VDI 2569 [17] fällt auf, dass eine Differenzierung nach verschiedenen Nutzungen nicht erfolgt und ein kleinerer Frequenzbereich von lediglich 4 Oktaven verwendet wird. Andererseits gehen die Anforderungen für Callcenter über die Empfehlungen der VDI 2569, dort Raumakustikklasse A, hinaus. Eine untere Begrenzung der Nachhallzeit wie in der DIN 18041 [8] ist nicht vorgegeben.

Eine Vorgabe zu den Parametern für Großraumbüros nach DIN EN ISO 3382-3 [19] ist in der ASR A3.7 nicht enthalten. Die Beschränkung der ASR allein auf die Kenngröße Nachhallzeit ist umso erstaunlicher, obwohl seit geraumer Zeit bekannt ist, dass die Nachhallzeit gerade für Mehrpersonenbüros nicht die allein maßgebliche Kenngröße ist. Die Nichtbeachtung der Erkenntnisse der Lärmwirkungsforschung in der ASR ist bemerkenswert, da dennoch darauf hingewiesen wird: „In der Regel besteht in Büroräumen der Bedarf einer guten Sprachverständlichkeit über geringe Entfernungen, bei der andere, nicht beteiligte Personen nicht gestört werden.“

Hinsichtlich des Lärminderungsgebots des Arbeitsschutzgesetzes [4] wird in der ASR A3.7 beschrieben: „Das Einspielen von Hintergrundrauschen als Maskierer für die Hintergrundsprache soll vermieden werden.“

Damit dürfte das Potential der Schallmaskierung gegen null konvergieren.

Unter Ziffer 5.1. (4) der ASR A3.7 wird beschrieben: „Für Tätigkeiten, bei denen überwiegend sprachabhängige kognitive Aufgabenstellungen zu lösen sind, sollen Arbeitsplätze ohne Belastung durch Hintergrundsprache zur Verfügung gestellt werden.“

Diese Belastung durch Hintergrundsprache wird allerdings nicht durch die entsprechenden raumakustischen Kenngrößen thematisiert, wie sie mit DIN EN ISO 3382, Teil 3 [19] seit 2012 zur Verfügung stehen. Hier wird in der ASR A3.7 [2] für die Mehrpersonenbüros eine Chance vertan, über den Bereich der reinen Nachhallakustik hinaus Regelungen zu treffen. Der Stand der Technik für Mehrpersonen- und Großraumbüros wird nicht durch die ASR A3.7 beschrieben, sondern kann mit Hilfe der aktuellen VDI 2569 [17] ermittelt werden.

Regelwerke für weitere Räume

DIN 15606 „Tagungsstätten“ [23] nimmt direkten Bezug auf DIN 18041 und weist darauf hin, dass diese Vorgaben für unterschiedliche Raumgrößen und Nutzungen zu beachten sind. Angemerkt wird, dass auch in Kombination mit einer Beschallungsanlage die Raumakustik so gestaltet sein muss, dass ein

Sprachübertragungsindex von $STI > 0,55$ nach [24] erreicht wird.

Für Bild- und Tonbearbeitung in Film-, Video- und Rundfunkbetrieben werden mit DIN 15996 [25] die Richtwerte zur Nachhallzeit in Abhängigkeit vom Volumen des Raums frequenzabhängig beschrieben. Der arithmetische Mittelwert T_m wird für die Terzbänder von 200 Hz bis 2.500 Hz definiert, der Toleranzbereich beträgt bei mittleren Frequenzen lediglich $\pm 10\%$.

Für Bibliotheken wird in der DIN 67700 „Bau von Bibliotheken und Archiven – Anforderungen und Empfehlungen für die Planung“ [26] differenziert auf die Vorgaben der DIN 18041 [8] eingegangen. Für verschiedene Funktionsbereiche in Bibliotheken wird detailliert auf die Nutzungsarten der DIN 18041 [8] verwiesen (siehe Tabelle 1).

Normen zu Messungen in der Raumakustik

Bis zum Jahr 2008 war zur Messung der Nachhallzeit letztlich nur eine Messvorschrift (DIN 52216:1965-08) vorhanden, die dann durch die Normenreihe DIN EN ISO 3382 fortgeschrieben und erweitert wurde. Inzwischen existieren drei Teile. Teil 2 [27], eingeführt im September 2008, bezieht sich auf die

Tab. 1: Verknüpfung von Funktionsbereichen in Bibliotheken und Archiven nach DIN 67700 [26] und Nutzungsarten nach DIN 18041 [8].

Funktionsbereich nach DIN 67700		Nutzungsart nach DIN 18041
Nutzerplätze	Arbeitsplatz für konzentrierte Einzelarbeit	B4
	Gruppenarbeitszone	B3
	Sitzstufen	B3
	Einzelarbeitsraum	B5
	Gruppenarbeitsraum	B4
	Schulungsraum	A4
Servicebereich	Mitarbeiterarbeitsplatz	B4
	Scannen / Kopieren in Selbstbedienung	B3 / B5
Medienlogistik	Sortierarbeitsplatz	B4 / B5
Werkstätten	Trockenreinigung an Sicherheitswerkbank, Digitalisierung an Aufsichtsscanner bis DIN A1, Mikroverfilmung an Aufsichtskamera bis DIN A1	B4 / B5

Messung der Nachhallzeit in gewöhnlichen Räumen, Teil 1 [28], erschienen im Oktober 2009, behandelt die Messung in Aufführungsräumen und der im Mai

XL2 Room Acoustics Reporter

.INTI
AUDIO



www.nti-audio.com/rar

NTi Audio GmbH, Essen, Deutschland
T: 0201 6470 1900 E: de@nti-audio.com

- Raumakustische Planung nach DIN 18041
- Absorberdaten verschiedener Hersteller verfügbar
- Komfortable Umsetzung der Sabine'schen Nachhallformel

Tab. 2: Übersicht der raumakustischen Parameter aus DIN EN ISO 3382, Teile 1 bis 3

DIN EN ISO 3382	raumakustische Parameter
Teil 1 Aufführungsräume	T_{20} Nachhallzeit T_{30} Nachhallzeit G Stärkemaß EDT Frühe Abklingzeit C_{80} Klarheitsmaß D_{50} Deutlichkeit T_S Schwerpunktzeit J_{LF} Früher seitlicher Energieanteil L_J Später seitlicher Energieanteil
Teil 2 gewöhnliche Räume	T_{20} Nachhallzeit T_{30} Nachhallzeit
Teil 3 Großraumbüros	STI (Messung nach vollständigem Verfahren DIN EN 60268-16 [24]) r_D Ablenkungsabstand r_P Vertraulichkeitsabstand $D_{2,S}$ Räumliche Abklingrate $L_{p,A,S,4m}$ Sprachpegel in 4 m-Entfernung $L_{p,A,B}$ Fremdgeräusch

2012 veröffentlichte Teil 3 [19] behandelt die Messung raumakustischer Parameter in Großraumbüros. Im Zusammenhang mit der Raumakustik gewöhnlicher Räume ist primär der Teil 2 von Interesse, der die Messung der Nachhallzeit beschreibt. Als Raumtypen werden Wohnräume, Treppenhäuser, Werkstätten, Industrieanlagen, Klassenräume, Büros, Restaurants, Messehallen, Sporthallen sowie Bahnhöfe und Flughafenabfertigungsgebäude explizit benannt. Sowohl im Teil 1 als auch im Teil 2 der DIN EN ISO 3382 [28][27] werden zwei mögliche Verfahren zur Messung der Nachhallzeit angeführt: das Verfahren des abgeschalteten Rauschens sowie das Verfahren der integrierten Impulsantwort. Die Unterschiede sowie jeweiligen Vor- und Nachteile dieser beiden Verfahren können an dieser Stelle nicht vertieft werden. In DIN EN ISO 3382-3 [19] wurden Kenngrößen und Verfahren zur objektiven Messung und Beschreibung der Akustik im Großraumbüro eingeführt. Diese sind:

- räumliche Abklingrate des A-bewerteten Schalldruckpegels der Sprache, kurz $D_{2,S}$
 - Ablenkungsabstand, kurz r_D , und Vertraulichkeitsabstand, kurz r_P
 - bewerteter Schalldruckpegel der Sprache in einem Abstand von 4 m, kurz $L_{p,A,S,4m}$
- Die räumliche Abklingrate $D_{2,S}$ wie auch der Sprachpegel in 4 m Abstand $L_{p,A,S,4m}$ beziehen sich auf ein normiertes Spektrum von Sprache und werden zur Klassifizierung von großen Mehrpersonbüros

nach VDI 2569 [17] verwendet.

Alle Kenngrößen der Teile 1 bis 3 sind als Übersicht in Tabelle 2 aufgeführt.

Normen zur Berechnung in der Raumakustik

Die klassische Betrachtung zur Berechnung der Nachhallzeit geht auf W. C. Sabine zurück, der um 1900 anhand von umfangreichen Messungen die nach ihm benannte Formel empirisch abgeleitet hat. Diese Formel ist durch DIN EN 12354, Teil 6 [29], dort Formel 5, auch normativ gefasst. Wie in diesem Regelwerk angeführt, wird für die Berechnung der äquivalenten Schallabsorptionsfläche A und der Nachhallzeit T in Räumen ein diffuses Schallfeld angenommen. Nach den Ausführungen in [29] bedeutet dies, dass die Abmessungen des Raumes in gleicher Größenordnung sind und die Absorption über den Raum verteilt ist; das Vorhandensein schallstreuender Objekte führt zu weniger starken Einschränkungen. Die Wirkung der Absorption durch Oberflächen, Objekte, durch Objektanordnungen, Personen und durch die Luft wird berücksichtigt. Die akustischen Absorptionsdaten zu den betreffenden Materialien, Objekten und Objektanordnungen sollten vorrangig durch genormte Prüfstandsmessungen nach DIN EN ISO 354 [30] ermittelt werden.

Als Einschränkungen für das klassische Rechenmodell werden in [29] die folgenden Voraussetzungen genannt, die auch im normativen Anhang A von DIN 18041 [8] zum Nachweis der raumakustischen Anforderungen aufgegriffen wurden:

- regelmäßig ausgebildete Volumina: keine Dimension sollte mehr als das 5-fache jeder anderen Dimension betragen;
- gleichmäßig verteilter Absorption: der Absorptionsgrad sollte zwischen Paaren gegenüberliegender Oberflächen um nicht mehr als einen Faktor 3 abweichen, außer wenn einige schallstreuende Objekte vorhanden sind;
- nicht zu viele Objekte: der Objektanteil sollte kleiner als 0,2 sein.

Im Anhang D von DIN EN 12354, Teil 6 [29] werden zwei erweiterte Modelle zur Bestimmung der Nachhallzeit vorgestellt und darauf hingewiesen, dass für einen Raum mit einer ungleichmäßigen Absorptionsverteilung oder unregelmäßigen Form die Vorhersage zur Nachhallzeit entsprechend dem Rechenmodell nach Sabine möglicherweise entweder falsch oder irrelevant ist.

Neben diesen klassischen analytischen Methoden zur Berechnung der Nachhallzeit existieren seit geraumer Zeit verschiedene computergestützte Verfahren zur Modellierung der Schallausbreitung in Räumen. Diese raumakustischen Simulationsverfahren

basieren auf verschiedenen numerischen Ansätzen, die in diesem Rahmen nicht vertiefend dargestellt werden können, siehe dazu die entsprechende Fachliteratur [31], [32] oder [33]. Weit verbreitet und mehrfach kommerziell umgesetzt ist die Methode der Strahlenverfolgung (engl.: „Ray Tracing“).

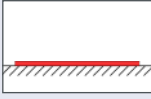
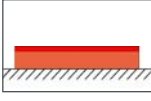
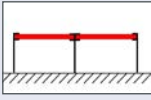
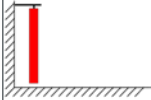

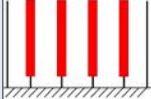
Aktuell existiert keine normative Vorgabe zu diesen numerischen Methoden zur Berechnung von Schallfeldern in Räumen. Ein solches Regelwerk wäre nach den immensen Entwicklungen bei den raumakustischen Simulationsprogrammen sicherlich wünschenswert, um so eine Qualitätssicherung und Verlässlichkeit in diesem Bereich zu erreichen, ähnlich dem Vorgehen, wie es im Bereich des Immissions-schutzes durch DIN 45687 „Software-Erzeugnisse zur Berechnung der Geräuschimmission im Freien – Qualitätsanforderungen und Prüfbestimmungen“ [34] durchgeführt wurde. Ein neues Regelwerk für Qualitätsanforderungen für Erzeugnisse zur Berechnung von Schallfeldern in Räumen wäre hierzu sicherlich hilfreich.

Absorptionswerte von Materialien und Aufbauten

Das klassische Hallraum-Verfahren zur Bestimmung der Absorption von Materialien ist durch DIN EN ISO 354 [30] normativ beschrieben. 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 von Flächenabsorbern sind im normativen Anhang B der DIN EN ISO 354 detailliert dargestellt (siehe Tabelle 3).

Für die einzelnen Schallabsorber im Sinne der DIN EN ISO 354 fehlte eine entsprechend detaillierte Darstellung der Aufbauarten. Es wird lediglich 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 besteht in der aktuell gültigen Fassung der DIN EN ISO 354 aus dem Jahr 2003 die Unklarheit, wie mit Objekten wie Stellwänden, Tischaufsätzen, Schränken und anderen Einrichtungselementen zu verfahren ist. Diese Unklarheit bezüglich der Messung und der Beschreibung von Einrichtungsgegenständen wurde mit der Einführung von ISO 20189 im November 2018 [35] beseitigt. Das Verfahren beruht auf einer Messung der Schallabsorptionsfläche A_{obj} von Einzelobjekten nach DIN EN ISO 354 [30]. Der auf das Objekt bezogene Schallabsorptionsgrad α_{obj} aller dem Schallfeld ausgesetzten Flächen des Objekts beruht auf einer geometrischen Akustik-Repräsentation, die nach ISO 20189 [35] zu definieren ist. Die geometrische

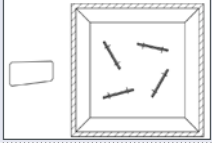
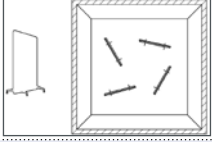
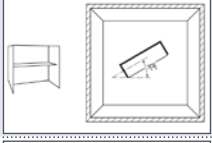
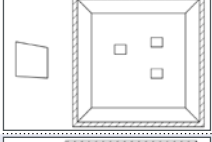
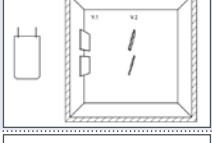
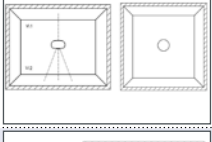
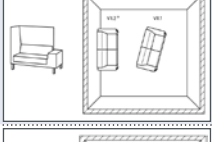
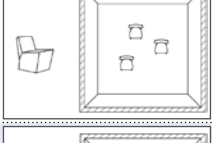
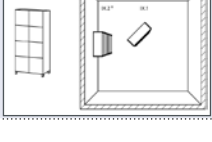
Tab. 3: Aufbauten im Hallraum nach normativem Anhang DIN EN ISO 354 [30] aus [41].

Aufbau	Kurzbeschreibung und Beispiele
Typ A 	direkte Montage des Prüfobjekts an einer Raumoberfläche mit Klebemitteln oder mechanischen Befestigungen Beispiele: Teppichböden, aufgeklebte Schaumstoffe
Typ B 	Aufbau für Produkte, die direkt mit einem Kleber auf einen harten Untergrund gebracht werden Beispiele: Akustikputze auf einer Trägerplatte, poröse Materialien mit Tragstruktur
Typ E 	Befestigung des Prüfobjekts mit einem Luftspalt; Prüfobjekte können »auf dem Kopf« stehend auf den Boden des Hallraums aufgebracht werden; es sollte mit Abständen von 200 mm und 400 mm geprüft werden; andere Abstände können verwendet werden Beispiele: Rasterdecken
Typ G 	hängende Montage des Prüfobjekts; es soll mit einem Abstand der Vorderfläche des Prüfobjekts zur Wand des Hallraums von 100 mm geprüft werden; weitere Abstände als Vielfaches von 50 mm können verwendet werden Beispiele: Vorhänge, Rollos, Sonnenblenden
Typ I 	Aufbau für aufgespritzte oder mit Kelle aufgetragene Materialien Beispiele: Akustikputze
Typ J 	Aufbau für rechteckige schallabsorbierende Platten oder Baffles; Platten oder Baffles müssen in zwei oder drei Reihen angeordnet werden Beispiele: Platten, Baffles

Repräsentation kann unmittelbar für die Simulation in entsprechenden 3D-Modellen verwendet werden, s. a. [36][37]. In Tabelle 4 sind die in ISO 20189 verwendeten Prüfaufbauten dargestellt.

Wie zuvor angesprochen, gehen nahezu sämtliche Vorgaben wie in ASR A3.7 [2], DIN 18041 [8] oder auch VDI 2569 [17] von einer frequenzabhängigen Betrachtung der Nachhallzeit aus. Somit werden frequenzabhängige Absorptionswerte benötigt. Die Abschaffung der wenig aussagekräftigen und eher im Marketing begründeten Schallabsorberklassen, siehe Entwurf zur Neufassung von DIN EN ISO 11654 [38] vom Mai 2018, ist nicht erfolgreich verlaufen, da der Entwurf nicht angenommen wurde. Damit gilt weiterhin die veraltete Fassung dieser Norm aus

Tab. 4: Aufbautypen für Prüfobjekte und Beispiele gemäß normativem Anhang B von ISO 20189 [35] aus [41].

Aufbau	Skizze	typische Aufbauten
Typ I		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

dem Jahr 1997 zur Bewertung der Schallabsorption und führt zu Missbrauch und Konfusion, wenn die Bewertung nach Schallabsorberklassen für Stellwände, Tischaufsätze und andere Objekte verwendet wird. Auch vor dem Hintergrund der Genauigkeit des Hallraumverfahrens mit Abweichungen von bis zu $\pm 0,05$ für den Schallabsorptionsgrad α_s in einzelnen Oktavbändern, siehe Entwurf DIN EN ISO 12999-2 [40] vom August 2019, sind die Klassifizierung in Stufen von 0,05 beim bewerteten Schallabsorptionsgrad sowie die Schallabsorberklassen kritisch zu hinterfragen.

Zusammenfassung – Normen-Übersicht

Abschließend ist in Abbildung 6 eine Übersicht der maßgeblichen Regelwerke zur Raumakustik von Räumen des alltäglichen Lebens dargestellt. Grundlage vieler Berechnungen ist die DIN EN 12354-6 [29] zur Bestimmung der Absorption und Nachhallzeit von Räumen. Hier wären weitere normative Vorgaben zu Methoden und Berechnungen im Hinblick auf die schnell fortschreitenden Simulationsmöglichkeiten in der Raumakustik wünschenswert. Anforderungen an Räume werden aus Richtung des Arbeitsschutzes durch die ASR A3.7 [2] seit Mai 2018 gestellt. Weitergehende Vorgaben in Form von Anforderungen und Empfehlungen werden durch die anerkannte Regel der Technik in Form der DIN 18041 [8] beschrieben. Speziell für Büros ist die Richtlinie VDI 2569 [17] zu erwähnen. Neben den Messnormen der DIN EN ISO 3382-Reihe [28] [27][19] für Messungen in verschiedenen Raumarten ist mit DIN EN ISO 354 [30] als die zentrale Messnorm zur Ermittlung der Schallabsorption im Labor zu nennen. Hinweise zur Bewertung von Schallabsorbern sind durch die veraltete DIN EN ISO 11645 [39] wie die im Vergleich dazu brandneue ISO 20189 [35] gegeben.

Literatur

- [1] DIN 820-3:2014-06 Normungsarbeit – Teil 3: Begriffe. Berlin, Beuth-Verlag, Juni 2014.
- [2] Technische Regeln für Arbeitsstätten ASR A3.7 Lärm. Mai 2018.
- [3] Arbeitsstättenverordnung vom 12. August 2004 (BGBl. I S. 2.179), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 1 der Verordnung vom 18. Oktober 2017 (BGBl. I S. 3.584) geändert worden ist.
- [4] Arbeitsschutzgesetz vom 7. August 1996 (BGBl. I S. 1.246), das zuletzt durch Artikel 427 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1.474) geändert worden ist), August 2015.
- [5] Verwaltungsvorschrift der Technischen Baubestimmungen, kurz VVTB, Nds. Ministerialblatt 3/2019.
- [6] DIN 18040-1:2010-10 Barrierefreies Bauen – Planungsgrundlagen – Teil 1: Öffentlich zugängliche Gebäude. Berlin, Beuth-Verlag, Oktober 2010.
- [7] Verwaltungsvorschrift der Technischen Baubestimmungen, kurz VVTB, Nds. Ministerialblatt 12/2016.
- [8] DIN 18041:2016-03 Hörsamkeit in Räumen – Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise zur Planung. Berlin, Beuth-Verlag, März 2016.
- [9] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (Hrsg.): Leitfaden Barrierefreies Bauen. Berlin, Selbstverlag, 12/2016.

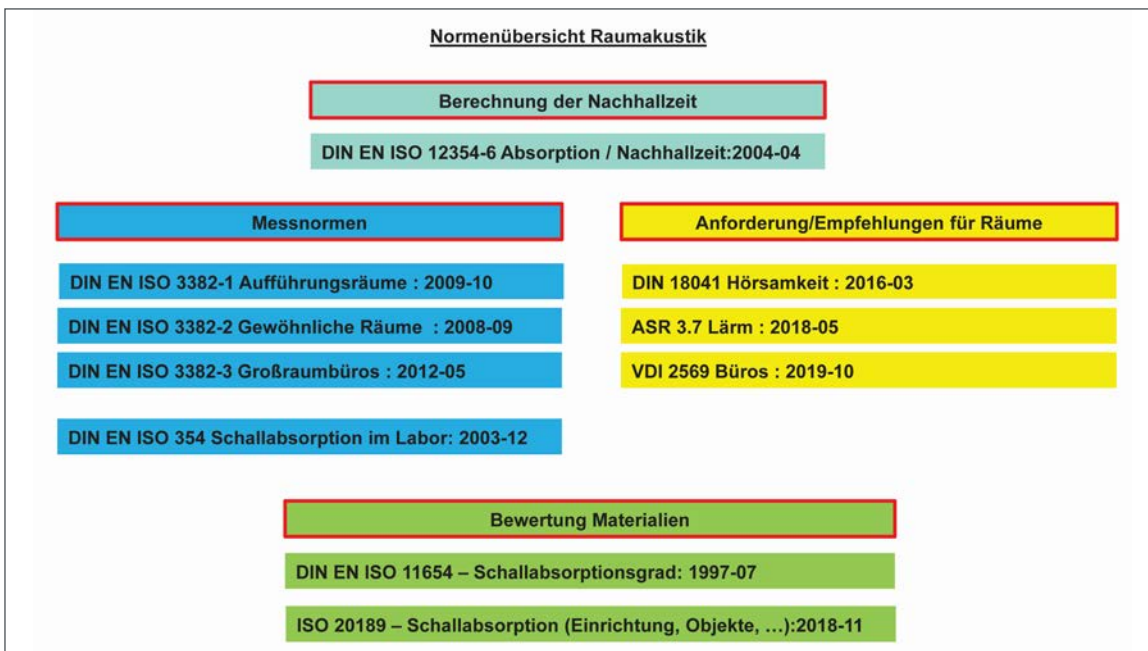


Abb. 6: Übersicht der maßgeblichen Regelwerke zur Raumakustik von Räumen des täglichen Lebens.

- [10] DIN 18041:1968-10 Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen. Berlin, Beuth-Verlag, Oktober 1968 [zurückgezogen].
- [11] DIN 18041:2004-05 Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen. Berlin, Beuth-Verlag, Mai 2004 [zurückgezogen].
- [12] Nocke, C. (Hrsg.); Kirchner, T.; Moll, A.; Neubauer, R. O.; Ruhe, C.: Hörsamkeit in Räumen – Kommentar zu DIN 18041. Berlin, Beuth-Verlag, 2018.
- [13] Fuchs, H.: DIN 18041:2016 – Eine Norm im raumakustischen „Abseits“?. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 14 (2019) Nr. 4, S. 123–132.
- [14] DIN/DEGA: Gemeinsame Stellungnahme des DIN-Arbeitskreises zur Überarbeitung der DIN 18041 und des Fachausschusses Bau- und Raumakustik der Deutschen Gesellschaft für Akustik zur Thematik tiefer Frequenzen in der Akustik kleiner bis mittelgroßer Räume. Juni 2014. Abrufbar unter: https://www.dega-akustik.de/fileadmin/dega-akustik.de/fachausschuesse/bra/dokumente/din_dega_tiefefrequenzen.pdf
- [15] VDI 2569 (Entwurf 2016): Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro. Verein Deutscher Ingenieure; Februar 2016.
- [16] VDI 4100: Schallschutz im Hochbau; Wohnungen Beurteilung und Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz. Berlin; Beuth Verlag, Oktober 2012.
- [17] VDI 2569: Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro. Verein Deutscher Ingenieure, Oktober 2019 (erscheint in Kürze).
- [18] Meis, M.; Klink, K.: Schall- und Lärmwirkung:. Fachschrift Nr. 11, 2. Aufl., Wiesbaden. Industrie-
- verband Büro und Arbeitswelt e. V. (IBA), 2016.
- [19] DIN EN ISO 3382-3:2012-05: Akustik – Messung von Parametern der Raumakustik – Teil 3: Großraumbüros. Berlin, Beuth-Verlag, Mai 2012.
- [20] VDI 2058, Blatt 3: Beurteilung von Lärm am Arbeitsplatz unter Berücksichtigung unterschiedlicher Tätigkeiten. Verein Deutscher Ingenieure, August 2014.
- [21] Technische Regeln zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung – Teil: Allgemeines. Januar 2010.
- [22] Technische Regeln zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung – Teil 3: Lärmschutzmaßnahmen. Januar 2010.
- [23] DIN 15906:2009-06: Tagungsstätten. Berlin, Beuth-Verlag, Juni 2009.
- [24] DIN EN 60268-16:2012-05 Elektroakustische Geräte – Teil 16: Objektive Bewertung der Sprachverständlichkeit durch den Sprachübertragungsindex. IEC 60268-16:2011. Berlin, Beuth-Verlag, Mai 2012.
- [25] DIN 15996:2008-05 Bild- und Tonbearbeitung in Film-, Video- und Rundfunkbetrieben – Grundsätze und Festlegungen für den Arbeitsplatz. Berlin, Beuth-Verlag, Mai 2008.
- [26] DIN 67700:2017-05 Bau von Bibliotheken und Archiven – Anforderungen und Empfehlungen für die Planung. Berlin, Beuth-Verlag, Mai 2017.
- [27] DIN EN ISO 3382-2: 2008-09 Akustik – Messung von Parametern der Raumakustik – Teil 2: Nachhallzeit in gewöhnlichen Räumen. Berlin, Beuth-Verlag, September 2008. (Achtung: DIN EN ISO 3382-2 Berichtigung 1, September 2009).



Dr. Christian Nocke
Akustikbüro
Oldenburg /
Schall & Raum
Consulting GmbH

- [28] DIN EN ISO 3382-1:2009-10 Akustik – Messung von Parametern der Raumakustik – Teil 1: Aufführungsräume. Berlin, Beuth-Verlag, Oktober 2009.
- [29] DIN EN 12354-6:2004-04 Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 6: Schallabsorption in Räumen. Berlin, Beuth-Verlag, April 2004.
- [30] DIN EN ISO 354:2003-12 Akustik – Messung der Schallabsorption in Hallräumen. Berlin, Beuth-Verlag, Dezember 2003 (aktuell in Überarbeitung).
- [31] Kuttruff, H.: Room Acoustics. Boca Raton: CRC Press, 6. Aufl., 2017.
- [32] Vorländer, M.: Auralization: Fundamentals of Acoustics, Modelling, Simulation, Algorithms and Acoustic Virtual Reality (RWTH edition). Berlin/Heidelberg, Springer, 2008.
- [33] Weinzierl, S. (Hrsg.): Handbuch der Audiotechnik. Berlin/Heidelberg, Springer, 2008.
- [34] DIN 45687:2006-05 Akustik – Software-Erzeugnisse zur Berechnung der Geräuschmission im Freien – Qualitätsanforderungen und Prüfbestimmungen. Berlin, Beuth-Verlag, Mai 2006.
- [35] ISO 20189:2018-11 Akustik – Stellwände und einzelne Objekte zur Verwendung in Innenräumen – Auslegung der Schallabsorption und Schalldämmung von Bauteilen aufgrund von Messungen im Prüfstand. November 2018.
- [36] Nocke, C.; Meyer, T.; Freese, N.; Eilers, I.: Schallabsorptionsgrad von Einzelobjekten. In: Fortschritte der Akustik – DAGA 2014, 40. Jahrestagung für Akustik, Oldenburg, S. 443.
- [37] Nocke, C.: Akustikmöbel – Modellierung zur Simulation. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 12(2017), Nr. 6, S. 199–202.
- [38] E DIN EN ISO 11654:2018-05 Akustik – Schallabsorber – Bewertung von Schallabsorptionsgraden (ISO/DIS 11654:2017). Berlin, Beuth-Verlag, Mai 2018. (zurückgezogen)
- [39] DIN EN ISO 11654:1997-07 Schallabsorber für die Anwendung in Gebäuden – Bewertung der Schallabsorption. Berlin, Beuth-Verlag, Juli 1997.
- [40] Entwurf DIN EN ISO 12999-2:2019-08 – Akustik – Bestimmung und Anwendung der Messunsicherheiten in der Bauakustik – Teil 2: Schalldämpfung (ISO/DIS 12999-2:2019). Berlin, Beuth-Verlag, August 2019.
- [41] Nocke, C.: Raumakustik im Alltag – Hören, Planen, Verstehen. (2. Auflage) IRB Fraunhofer, 2019. ■

AMC
MECANOCAUCHO

NEU

JETZT AUCH ALS **NONIUS VARIANTEN**
UND MIT **LASTKLASSE VON 15KG**
(SYLOMER 15)

Akustik+
by getzner
sylomer®

AMC AKUSTIK + SYLOMER®
DIE SCHALLTECHNISCH
OPTIMALEN
UNTERDECKENABHÄNGER