Reinhard O. Neubauer

Anwendung der ISO 11654 in der Praxis

In dem Entwurf zur ISO 11654 [1] wird ein neues Verfahren zur Kennzeichnung von Schallabsorptionsmaterialien vorgestellt. Dieser Entwurf spezifiziert eine Methode, mit der für die frequenzabhängigen Absorptionsgrade ein Einzahlwert angegeben werden kann. Der Standard bietet zusätzlich die Möglichkeit einer Indikatorvergabe zur Kennzeichnung einer ausgeprägten Schallabsorption bei verschiedenen Frequenzbändern. Als informative Größe wird in dem Standard ISO 11654 ergänzend vorgeschlagen, den Einzahlwert in eine Klasse einzuteilen. Obwohl die Klasseneinteilung von den Verfassern der ISO 11654 speziell für Breitbandanwendungen vorgesehen war, stellt diese für nicht breitbandig wirkende Schallabsorber eine für die Praxis hilfreiche Orientierung und Einteilung der Schallabsorber dar.
Das Verfahren nach ISO 11654 bietet eine Möglichkeit zur schnellen und zielgerichteten Bestimmung notwendiger schallabsorbierender Materialien in der Praxis.

Practical application of ISO 11654. *The International Standard ISO 11654 [1] specifies a novel method by which the frequency dependent values of the sound coefficient can be converted into a single number. In addition a shape indicator is provided to give some guidance in identifying high sound absorption in a more restricted frequency range. A classification method, which is informative, based on these single numbers is given in ISO 11654. Although, the classification system according to ISO 11654 is primarily intended to be used for broad band applications a use of that standard provides a helpful orientation and classification to sound absorbers.*
The method of ISO 11654 serves a useful purpose in practice and supplies a quick and aiming determination of necessary needed sound absorbing materials.

1 Einleitung

Eine zielgerichtete Bestimmung der notwendigen schallabsorbierenden Materialien hat in der Praxis zunehmende Bedeutung erlangt. Durch steigende Kosten bei Planungsarbeiten eines Bauwerks kann die Suche nach dem geeignetsten Material oft zu Budgetüberschreitung bzw. zu unnötigen Kosten führen. Verschiedene Methoden, die vor allem auf die Mittelung der frequenzabhängigen Absorptionsgrade zurückgreifen, erwiesen sich dabei als nicht ausreichend. Die Klassifizierung schallabsorbierender Materialien wie z. B. in [2] bis [5] angegeben, hat sich in der Praxis bereits bewährt. Die einheitliche Bewertung schallabsorbierender Materialien, wie im Zuge der Normung von ISO 11654 vorgestellt, ist eine für die Praxis äußerst hilfreiche und effiziente Methode.
Es soll an dieser Stelle die praxisbezogene Anwendung der nach ISO 11654 bewerteten und klassifizierten schallabsorbierenden Materialien aufgezeigt werden.

Dipl.-Ing. (FH) M.Sc. Reinhard O. Neubauer, Ingenieurbüro, Theresienstraße 28, 85049 Ingolstadt.
1988 Diplom Studiengang Bauphysik an der Fachhochschule für Technik, Stuttgart. 1991 M.Sc. Noise and Vibration an der Universität Southampton (U.K). Nach Tätigkeit in einem Ingenieurbüro seit Juli 1994 selbständig als Beratender Ingenieur für Bauphysik.

2 Das Verfahren zur Beurteilung schallabsorbierender Materialien

Das Verfahren nach ISO 11654 zur Ermittlung des Einzahlwertes α_w (bewerteter Schallabsorptionsgrad) basiert darauf, eine vorgegebene Bezugskurve in Schritten von 0,05 so lange in Richtung der praktischen Schallabsorptionsgrade zu verschieben, bis die Summe der ungünstigen Abweichungen kleiner oder gleich 0,1 ist. Der Wert der so verschobenen Bezugskurve bei der Frequenz von 500 Hz ist der bewertete Schallabsorptionsgrad α_w.

Die praktischen Schallabsorptionsgrade erhält man durch Runden der nach ISO 354 (*) [6] gewonnenen Schallabsorptionsgrade auf 0,05.

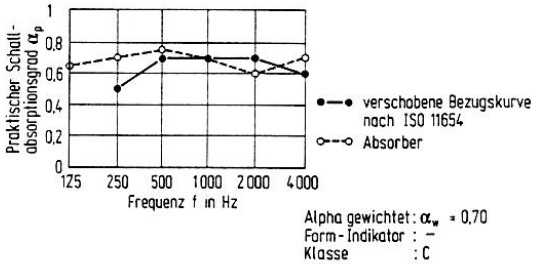
Abhängig von der Höhe des bewerteten Schallabsorptionsgrades α_w werden nachstehende Klassen als Wertemengen vorgeschlagen. Dabei umfassen die genannten Klassen die angegebenen Bereiche in Schritten zu 0,05:

Klasse A: $\alpha_w = \{1,0; 0,95; 0,9\}$
Klasse B: $\alpha_w = \{0,85; 0,8\}$
Klasse C: $\alpha_w = \{0,75; 0,7; 0,65; 0,6\}$
Klasse D: $\alpha_w = \{0,55; 0,5; 0,45; 0,4; 0,35; 0,3\}$
Nicht klassifiziert (n. k.) für $\alpha_w < 0,3$

Zusätzlich werden zur Kennzeichnung einer ausgeprägten Bezugskurvenüberschreitung einzelner praktischer Schallabsorptionsgrade um 0,25 oder größer ein oder mehrere Formindikatoren vergeben. Die in ISO 11654 angegebenen Frequenzbereiche und deren Formindikatoren sind:

L für den Frequenzbereich 250 Hz,
M für den Frequenzbereich 500 Hz–1000 Hz,
H für den Frequenzbereich 2000 Hz–4000 Hz.

(*) ISO 354: 1985. Deutsche Fassung EN 20354: 1993. Ersatz für DIN 52212/01.61



Material: Berechneter Absorber	Oktavmittenfrequenz f in Hz					
	125	250	500	1000	2000	4000
1 verschobene Bezugswerte der ISO 11654	–	0,50	0,70	0,70	0,70	0,60
2 Absorber	0,65	0,70	0,75	0,70	0,60	0,70
3 Differenz Werte (Abs. - Bez.)	–	0,20	0,05	0,00	-0,10	0,10

Bild 1. Beispiel zur Bewertung eines Materials nach ISO 11654
Material: Mehrschichtenplatte (100 mm) nach DIN 1101 und 1102 (Mineralfaserwärmedämmplatte mit beidseitig magnesitgebundenen Holzwolle-Deckschichten), ohne Mineralfaser-Hinterlegung und ohne Abstand montiert. Bewerteter Schallabsorptionsgrad: α_w = 0,75 (L), Klasse C

Zur Verdeutlichung ist in Bild 1 beispielhaft die Bewertung nach ISO 11654 eines schallabsorbierenden Materials dargestellt. Der Wert der verschobenen Bezugskurve bei der Frequenz f = 500 Hz ist der bewertete Schallabsorptionsgrad α_w.

Für den Einsatz eines bestimmten Materials bei einer raumakustischen Planung sind in der Praxis vor allem Meßergebnisse aus Prüfinstituten, die den Schallabsorptionsgrad nach ISO 354 bestimmt haben, geeignet. Die in Terzbandbreite vorliegenden Schallabsorptionsgrade sind nach ISO 11654 für jede Oktavmittenfrequenz arithmetisch zu mitteln und in Schritten von 0,05 zu runden.

In den Herstellerprospekten werden üblicherweise die gemessenen (ungerundeten!) Schallabsorptionsgrade in den Oktavmittenfrequenzen von 125 bis 4000 Hz angegeben. Für die vorliegende Untersuchung wurden 300 in der Praxis verwendete schallabsorbierende Materialien ausgewählt. Die Verteilung, d. h. die Anzahl der Materialien je bewerteten Schallabsorptionsgrad und Klasse ist in Bild 2 wiedergegeben.

Tabelle 1. Verteilung der verwendeten 300 schallabsorbierenden Materialien nach bewertetem Schallabsorptionsgrad und Klasse. Die verwendeten Materialien sind ohne Präferenz ausgewählt worden, d. h. es wurden aus verschiedenen zur Verfügung stehenden Herstellerprospekten die dort angegebenen Schallabsorptionsgrade gesammelt und ausgewertet. Dabei wurden sowohl poröse, Loch-, Schlitz- und Plattenabsorber, Absorptionsschäume, -putze und textile Bodenbeläge erfaßt. Die in den Herstellungsprospekten angegebenen Schallabsorptionsgrade wurden nach DIN 52212/01.61 ermittelt.

Alpha-gewichtet α_w	Klasse nach ISO 11654	Anzahl der Materialien je α_w	Anzahl der Materialien je Klasse
1,00	A	5	20
0,95		10	
0,90		5	
0,85	B	9	29
0,80		20	
0,75	C	16	90
0,70		29	
0,65		22	
0,60		23	
0,55	D	15	115
0,50		28	
0,45		34	
0,40		13	
0,35		13	
0,30		12	
0 ≤ 0,25	n. k.	46	46

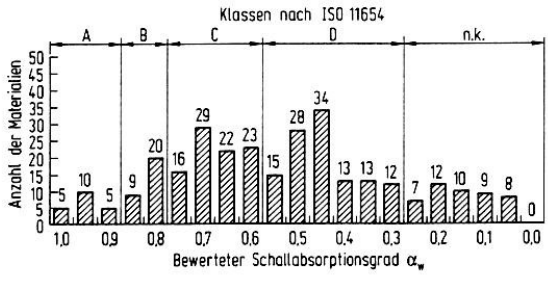


Bild 2. Verteilung der verwendeten 300 schallabsorbierenden Materialien nach bewertetem Schallabsorptionsgrad und Klasse, wie in Tabelle 1 dargestellt.

Die praktischen Schallabsorptionsgrade basieren ausschließlich auf Herstellerangaben, dokumentiert im Prospekt.

3 Beispielberechnung

Für die Berechnung der notwendigen äquivalenten Schallabsorptionsfläche und des spezifischen Absorptionsgrades wird ein praktisches Beispiel (Theaterübungsraum) verwendet und gemäß DIN 18041 – Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen – berechnet.

In dem Raum wurde die Hörsamkeit während des Theaterspiels beklagt. Die Wände waren aus verputztem Mauerwerk, die Decke war aus Stahlbeton hergestellt. Der Fußboden war mit Parkett belegt. An den Fenstern befanden sich dünne Vorhänge. Der Theaterübungsraum ist für maximal 100 Personen ausgelegt.

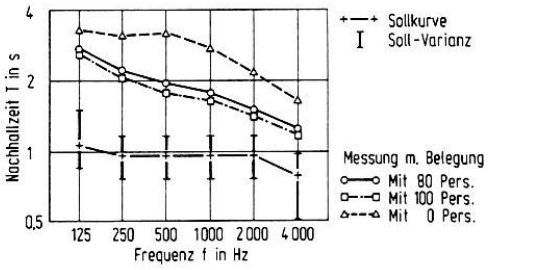
Das Raumvolumen beträgt V = 1100 m³. Damit berechnet sich ein Verhältnis von Volumen zu Personen von V/n = 11 m³/Pers.

Zur Bestimmung der Gesamtabsorption erfolgte eine Nachhallzeitmessung in dem unbesetzten Raum. Nachstehend sind tabellarisch die in dem leeren Theaterübungsraum gemessenen Nachhallzeiten wiedergegeben.

Bild 3 zeigt die gemessene Nachhallzeit im Oktavspektrum und die rechnerisch berücksichtigte Personenab-

Tabelle 2. Meßtechnisch bestimmte und für den Raum angestrebte Nachhallzeiten. Die mittleren Nachhallzeiten betragen: $T_{m,Soll}$ = 0,96 s, $T_{m,Messung}$ = 2,97 s

	Nachhallzeiten (s) im Oktavspektrum (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
T_{Soll} - (für Sprache)	1,05	0,96	0,96	0,96	0,96	0,77
$T_{Messung}$	3,31	3,12	3,19	2,74	2,15	1,63



Messung m. Belegung	Oktavmittenfrequenz f in Hz					
	125	250	500	1000	2000	4000
1 Sollwerte	1,05	0,96	0,96	0,96	0,95	0,77
2 Mit 80 Pers.	2,71	2,20	1,94	1,77	1,50	1,23
3 Mit 100 Pers.	2,59	2,05	1,77	1,62	1,40	1,16
4 Mit 0 Pers.	3,31	3,12	3,19	2,74	2,15	1,63

Bild 3. Gemessene und berechnete Nachhallzeiten im Oktavspektrum.

Die mittleren Soll-Nachhallzeiten und deren Schwankungsbereiche wurden aus [6] entnommen.

sorption für unterschiedliche Personenbelegungen in dem Raum.

Die zur Regulierung der Nachhallzeit notwendige Schallabsorptionsfläche berechnet sich gem. DIN 18041 nach folgender Zahlenwertgleichung:

$$\Delta A = 0{,}163\,V\left(\frac{1}{T_{soll}} - \frac{1}{T_{Mess}}\right)$$

Damit ergibt sich die in den Raum einzubringende zusätzliche Schallabsorptionsfläche zu rund $\Delta A = 127$ m².

Um ein geeignetes Material auswählen zu können, muß zumindest der mittlere Schallabsorptionsgrad bekannt sein. Mit Hilfe der oben angegebenen zusätzlichen Schallabsorptionsfläche berechnet sich der gesuchte mittlere Schallabsorptionsgrad als spezifische Größe zu

$$\alpha_S = \left(\frac{\Delta A}{S_{Material}}\right)$$

In dem Raum sollte wunschgemäß nur die Decke mit einer Fläche von S = 180 m² mit schallabsorbierenden Materialien bekleidet werden.

Der spezifische Schallabsorptionsgrad ergibt sich dann zu $\alpha_s = 0{,}71$.

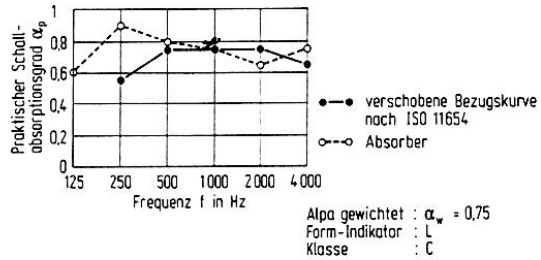
Die gesamte Decke ist also mit einem nach VDI 3755 [3] bezeichneten „schallabsorbierenden" Material, gültig für den mittleren Frequenzbereich, zu bekleiden. Welche Art von Absorber bzw. welches Material zu verwenden ist, kann nur durch Vergleich der mittleren Absorptionsgrade bestimmt werden. Eine Aufgabe, die manchmal sehr viel Zeit in Anspruch nimmt und eine Vielzahl verschiedener Materialprospekte bzw. Prüfzeugnisse der entsprechenden Absorber erfordert. Dementsprechend zeitintensiv wäre eine frequenzabhängige Betrachtung.

Effektiver läßt sich ein bestimmter Absorber mit Hilfe der nach ISO 11654 bezeichneten Absorberklassen finden. Für den spezifischen Schallabsorptionsgrad wird dazu näherungsweise bei Rundung in Schritten zu 0,05 der bewertete Schallabsorptionsgrad verwendet.

Für schallabsorbierende Materialien mit $0{,}6 \leq \alpha_w \leq 0{,}75$ wird nach ISO 11654 die Klasse C vergeben, so daß alle Materialien mit der Kennzeichnung: $\alpha_w = 0{,}70$, Klasse: C, geeignet erscheinen.

Bild 4 zeigt den frequenzabhängigen Schallabsorptionsgrad des gesuchten Schallabsorbers und dessen Bewertung nach ISO 11654.

Im vorliegenden Fall finden sich 29 Absorbertypen (unter den 300 Materialien, die zu dieser Untersuchung herangezogen wurden). Bei Betrachtung der gemessenen Nachhallzeiten erkennt man, daß bei den tiefen und mittleren Oktavmittenfrequenzen (125–1000 Hz) die längsten Nachhallzeiten auftreten. Deshalb erscheint es sinnvoll, für die Auswahl des Absorbermaterials zusätzlich noch die Formindikatoren zu berücksichtigen.



Material: Mehrschichtenplatte (100 mm) nach DIN 1101 und 1102, ohne MF-Hinterlegung	Oktavmittenfrequenz f in Hz					
	125	250	500	1000	2000	4000
1 verschobene Bezugswerte der ISO 11654	–	0,55	0,75	0,75	0,75	0,65
2 Absorber	0,60	0,90	0,80	0,75	0,65	0,75
3 Differenz Werte (Abs. - Bez.)	–	0,35	0,05	0,00	-0,10	0,10

Bild 4. Berechneter Schallabsorber – „Soll-Absorber"

In diesem Beispiel wären das L und M, also $\alpha_w = 0{,}70$ (LM). Damit beschränkt sich die Auswahl der geeigneten Materialien (unter den 300 untersuchten Materialien) auf 1 Exemplar, d. h. es würde sich nachstehendes Material zur Nachhallzeitregulierung in dem Raum eignen:

- Gipskarton-Platten Schlitzkassette RSK S21, Deckenabstand 20 cm

In Bild 5, in dem die berechneten und gemessenen Nachhallzeiten grafisch aufgetragen sind, ist dieses Material unter Berücksichtigung einer rechnerischen Personenabsorption dem o. a. „Soll-Absorber" im Oktavspektrum gegenübergestellt.

Dabei stellt die 1. Variante die gemessene Nachhallzeit mit zusätzlich hineingerechneter Personenabsorption (Messung + Pers.),

die 2. Variante die Messung mit einem zusätzlichen Schallabsorber (GK-Platte RSK) und zusätzlich hineingerechneter Personenabsorption,

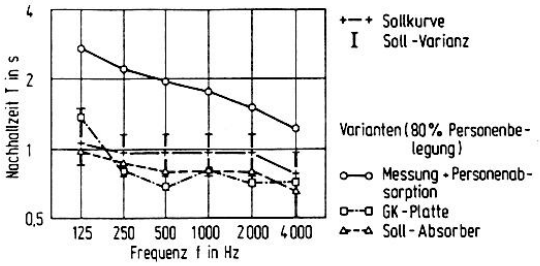
und schließlich die 3. Variante die Messung mit einem zusätzlichen Schallabsorber (Soll-Absorber aus Bild 4) und zusätzlich hineingerechneter Personenabsorption dar.

Diese drei Varianten sind zum Vergleich mit der Soll-Kurve eingetragen, dabei handelt es sich nicht um die „Bezugskurve" nach ISO 11654, sondern um eine aus raumakustischer Sicht „vorgegebene Nachhallzeitkurve", die anzustreben ist. Die Soll-Kurve steht in keiner Beziehung zur Bezugskurve nach ISO 11654.

Die in diesem Diagramm fett gezeichnete Linie stellt die Sollkurve mit den akzeptierbaren, frequenzabhängigen Abweichungen dar.

Dieses Bild 5 hat keinen Bezug zur ISO 11654. Es dient dem Vergleich des theoretisch berechneten „Soll-Absorbers" (siehe Bild 4) mit dem „gefundenen" Schallabsorber (gefunden mit Hilfe der ISO 11654).

Der Vergleich der grafisch dargestellten Berechnungsergebnisse zeigt eine befriedigende Übereinstimmung. Das o. g. Material ist somit gut geeignet zur Nachhallzeitregulierung in dem Theaterraum.



Varianten (80% Personenbelegung)	Oktavmittenfrequenz f in Hz					
	125	250	500	1000	2000	4000
1 Sollwerte	1,05	0,96	0,96	0,96	0,96	0,77
2 Messung + Pers.	2,71	2,20	1,94	1,77	1,50	1,23
3 GK-Platte	1,37	0,80	0,69	0,81	0,71	0,72
4 Soll-Absorber	0,98	0,86	0,79	0,79	0,79	0,66

Bild 5. Berechneter und tatsächlich ausgewählter Schallabsorber im Vergleich

4 Zusammenfassung

Der neue Standard ISO 11654 wurde vorgestellt. An einem praktischen Beispiel konnte gezeigt werden, daß das Schallabsorptionsmaterial, welches aus raumakustischen Gründen notwendig war, näherungsweise mit Hilfe des in ISO 11654 definierten Einzahlwertes und dessen Klasseneinteilung bestimmt werden konnte. Die Ermittlung des notwendigen Schallabsorbers konnte so schnell und zielgerichtet erfolgen. Durch Katalogisierung üblicher Schallabsorber ist demnach eine sehr effektive Auswahl der Schallabsorbertypen möglich.

Ich möchte die Gelegenheit benutzen, um Herrn Professor Dr.-Ing. *W. Fasold* für die Anregung der Aufgabe und seine Hinweise zu danken.

Literatur:

[1] ISO 11654 (Draft 1994): Acoustic-Sound absorbers for use in buildings. Rating of sound absorption.
[2] Svensk Standard SS 025260, Building Acoustics-Noise, Absorber-Rating of Measurement Results. SIS Swedish Standards Institution, 1985.
[3] VDI-Richtlinie 3755 (12.90): Schalldämmung und Schallabsorption abgehängter Unterdecken. VDI-Handbuch Lärmminderung, Verein Deutscher Ingenieure.
[4] TGL 10687/04 (10.81): Schallschutz, Schallabsorption in Räumen, Fachbereichstandard der ehem. DDR.
[5] *Fasold, W., Sonntag, E., Winkler, H.*: Bauphysikalische Entwurfslehre, Bau- und Raumakustik, Köln: Müller, 1987.
[6] ISO 354 (1985): Acoustics-Measurement of sound absorption in a reverberation room, including ISO 354/AD 1: 1990; Annex D: Test specimen mounting for sound absorption tests.
[7] *Hartmann, G.*: Praktische Akustik, Band 2. Raum- und Bauakustik. München, Wien: R. Oldenbourg, 1968.