

Über die akustische Dimensionierung der Räume Gruppe B in der DIN 18041/2016 und der ÖNORM B8115-3/2023

Thomas Ziegler

Ziegler Schallschutz GmbH, 5110 Oberndorf bei Salzburg

E-Mail: ziegler@ziegler-schallschutz.at

1. Einleitung

Die DIN 18041 und die ÖNORM B8115-3 haben sich im deutschen Sprachraum seit Jahrzehnten als Standards für die raumakustische Dimensionierung von Arbeitsräumen etabliert. Beide Normen unterscheiden zwischen Räumen der Gruppe A, wie Klassenzimmer und Vortragsräumen, in denen gute Sprachverständlichkeit über größere Entfernungen, und Räumen der Gruppe B, wie Werkstätten, und Call-Centern, in denen gute Sprachverständlichkeit lediglich über kurze Entfernungen gewährleistet sein muss.

Seit der Revision der Normen DIN 18041/2016 [1][2] und der ÖNORM 8115-3/2023 [3], auf den folgenden Seiten einfach als „DIN“ bzw. „ÖNORM“ bezeichnet, ist Gruppe B in Klassen mit unterschiedlich hohen Anforderungen an die akustische Qualität unterteilt. In der DIN sind dies etwa weniger lärmintensive Räume wie Kantinen in Gruppe B3 oder lärmintensive Werkstätten in Gruppe B5.

Als primäres für raumakustische Maßnahmen in Gruppe B Räumen, auf die sich dieser Beitrag ausschließlich bezieht, deklarieren beide Normen neben einer Verbesserung der Sprachverständlichkeit über kurze Entfernung vor allem die Senkung des Grundlärmpegels, d.h. eine Verringerung des mittleren Schalldruckpegels.

Die ÖNORM definiert als Sollwert die Nachhallzeit (T) als $T = c_1 \cdot h / h_{\text{ref}}$, wobei h die Raumhöhe, Konstante c_1 die Qualitätsklasse A-D und h_{ref} eine Referenz-Raumhöhe von 3.5m darstellt. Die DIN definiert als Sollwert das Verhältnis von äquivalenter Schallabsorptionsfläche (A) und Raumvolumen (V): $A/V = (c_2 + c_3 \cdot \log(h))^{-1}$ wobei die Konstanten c_2 und c_3 die Qualitätsklasse B1-B5 definieren. Mittels Verwendung der Sabine'schen Nachhallzeitformel kann A/V einfach als T ausgedrückt werden: $T = 0.16 \cdot (c_2 + c_3 \cdot \log(h))$. Die Formeln zur Dimensionierung der Sollwerte beider Normen sind also ähnlicher Natur, lediglich von der Raumhöhe abhängig. Im Unterschied zur ÖNORM, beschränkt die DIN das maximale Raumvolumen allerdings auf 5000m³.

In den Vorgänger-Versionen beider Normen wurde der mittlere Schallabsorptionsgrad (α_m) für Räume mit dem Ziel der Lärminderung verwendet: $\alpha_m = A/S$ mit S für die Raumboberfläche. In der DIN 18041, 2004 [4] wird empfohlen die vorhandene äquivalente Schallabsorptionsfläche mindestens zu verdoppeln, wenn eine Minderung des Schalldruckpegels ΔL durch zusätzlich einzubringende Schallabsorber gegenüber dem unbehandelten Raum um mindestens 3 dB erreicht wird. ΔL kann laut [4] in erster Näherung im Diffusfeld geschätzt werden:

$$\Delta L = 10 \cdot \log\left(\frac{A_1}{A_0}\right) = 10 \cdot \log\left(\frac{T_0}{T_1}\right) = 10 \cdot \log\left(\frac{\alpha_{m,1}}{\alpha_{m,0}}\right) \quad (1)$$

wobei A_1 die gesamte äquivalente Schallabsorptionsfläche nach Einbau der Schallabsorber und A_0 die äquivalente Schallabsorptionsfläche im Original-Raum darstellt. Analog dazu T_0 und T_1 für die Nachhallzeit sowie $\alpha_{m,0}$ und $\alpha_{m,1}$ für den mittleren Absorptionsgrad. Nach [4] sollte $\alpha_{m,1}$ 0.35 nicht überschreiten um die technische Ausführbarkeit und

wirtschaftliche Sinnhaftigkeit zu gewährleisten. In der ÖNORM B8115, 2005 [5] wird im 250Hz Oktavband $\alpha_{m,1} \geq 0.25$, und den 500Hz-4000Hz Oktavbändern $\alpha_{m,1} \geq 0.3$ empfohlen.

Dieser Beitrag basiert auf Diskussionen bzgl. der verwendeten Dimensionierungsformeln im Rahmen der Revision der ÖNORM B8115-3, 2023. Die verwendeten mathematischen Modelle sind die in Normen übliche raumakustische Praxis und weniger der wissenschaftliche State-of-the-Art. Im Wesentlichen werden die Eigenschaften der höhenabhängigen Formeln in [1][3] analysiert und ein der DIN 18041 2004-ähnlicher Ansatz vorgestellt.

2. Diffusfeld Theorie revisited: Höhenabhängige Formeln oder α_m für Lärminderung?

Wir nehmen an, ein Akustiker hat die Aufgabe zwei beliebige, in Geometrie, Größe, und A_0 unterschiedliche Gruppe-B Räume derselben Qualitätsklasse zu planen. Das zentrale Ziel der ÖNORM und DIN für Gruppe B ist eine *mittlere Schallpegelreduktion*. Folgende Konsequenz ist daher naheliegend:

- Der Akustiker erwartet sich für die beiden Räume derselben Qualitätsklasse bei normgerechter Dimensionierung eine identische oder zumindest ähnliche Schallpegelreduktion.

Aus dieser Erwartungshaltung lässt sich folgendes Ziel ableiten:

- Gruppe B Räume derselben Qualitätsklasse sollten bei normgerechter Dimensionierung eine möglichst identische mittlere Schallpegelreduktion, unabhängig von Raumgröße, Form oder A_0 aufweisen.

In diesem Beitrag wird von obigem Ziel ausgegangen, die zugrundeliegende, naheliegende Erwartungshaltung sollte jedoch diskutiert werden. Um zu verstehen wie sich verschiedene Dimensionierungsformeln in Bezug auf obiges Ziel verhalten werden zwei Fälle unterschieden:

- Fall 1: Beide Original-Räume haben im Mittel akustisch identische Materialien/Oberflächen, dh. $\alpha_{m,0}$ identisch: In diesem Fall werden die beiden Räume laut (1) dieselbe Pegelminderung erfahren (dh. das Ziel erfüllen), wenn ein $\alpha_{m,1}$ vorgeschrieben wird, wie es in der ÖNORM 2005 der Fall ist. Für die ÖNORM und DIN ergeben sich durch die unterschiedlichen Geometrien unterschiedliche Pegelminderungen.
- Fall 2: Beide Original-Räume haben dieselbe Nachhallzeit T_0 und dieselbe Raumhöhe, bzw. durch die Sollwert Funktion ergibt sich zufällig ein identisches T_1/T_0 Verhältnis: In diesem Fall werden die beiden Räume dieselbe Pegelminderung erfahren, wenn nach den Formeln der ÖNORM oder DIN dimensioniert wird. Die ÖNORM 2005 mit $\alpha_{m,1} = 0.3$ wird unterschiedliche Pegelminderungen bewirken.

Ob α_m oder Nachhallzeit Zielwerte in Normen also homogene Schallpegelminderungen bewirken, hängt also von der Ausgangssituation der unbehandelten Räume ab.

Tabelle 1 zeigt die analysierten Beispielräume. Systematisch wird jeweils ein Parameter verändert um die Tendenzen der Sollwert-Formeln bzgl. ΔL zu zeigen. In Raum 1-3 und Halle 1-3 wird die Grundfläche jeweils um einen Faktor 4 erhöht, die Höhe bleibt

mit $h=3.5$ bzw. $h=7m$ konstant. In den Räumen Würfel, Schachtel, Flachraum und Flur bleibt das Raumvolumen konstant und die Raumproportionen werden verändert. Von minimal exzentrisch im Falle des Würfels zu stark exzentrisch im Falle des Flachraumes und des Flures. Für die ÖNORM werden beispielhaft die Sollwerte der Klasse B mit $c_1=0.55$ verwendet. Für die DIN werden die Sollwerte der Klasse B4 mit $c_2=2.69$ und $c_3=4.13$ verwendet.

Der mittlere Teil von Tabelle 1 zeigt den von einem konstanten $\alpha_{m,0} = 0.1$ ausgehenden Fall 1, also den für α_m günstigen Fall. Mit Sollwert $\alpha_m = 0.3$ ergibt sich nach (1) für alle Räume erwartungsgemäß eine konstante Pegelminderung, in diesem Fall 4.77dB. Wenn man Räume unterschiedlicher Grundfläche und derselben Höhe (Raum1-3, Halle1-3) vergleicht ergibt sich für die DIN und ÖNORM ein konstantes A/V Verhältnis bzw. Nachhallzeit T und somit ein $\alpha_{m,1}$ und ΔL , das mit der Grundfläche streng monoton steigt. Für Würfel, Schachtel und Flur ergeben sich ebenfalls unterschiedliche Pegelminderungen.

Der untere Teil von Tabelle 1 zeigt den für die ÖNORM und die DIN günstigen Fall 2, ausgehend von Nachhallzeiten T_0 , die für die ÖNORM pro Raumgruppe eine konstante Pegelminderung ergeben. Mit Sollwert $\alpha_m = 0.3$ ergeben sich entsprechend (1) unterschiedliche Pegelminderungen. Für Räume unterschiedlicher Grundfläche und derselben Höhe (Raum1-3, Halle1-3) ergeben sich für die DIN identische Pegelminderungen. Durch die im Vergleich zur ÖNORM unterschiedliche Formel mit $\log(h)$ ergeben sich für die DIN unterschiedliche Pegelminderungen bei Variation der Exzentrizität. Obwohl also Szenarien existieren, die identische Pegelminderungen für ÖNORM oder DIN bewirken, sind diese im Gegensatz zum α_m in Fall 1 mit der Begründung der im Mittel akustisch identischen Materialien, nicht einfach nachvollziehbar. Für Fall 1 und Fall 2 gilt im Wesentlichen, dass das Ziel identischer Pegelreduktionen für ÖNORM, DIN und α_m nur in konstruierten Spezialfällen erreicht wird.

Abseits vom Ziel der homogenen Pegelminderung tendieren die Formeln der DIN und ÖNORM entweder zu einer Unter-

Tabelle 1: Raumbeschreibung, Sollwerte und Pegelminderungen lt. Diffusfeld-Methode

Raum	Grundfläche variabel			Grundfläche variabel			Exzentrizität variabel			
	Raum1	Raum 2	Raum3	Halle1	Halle2	Halle 3	Würfel	Schachtel	Flach	Flur
Länge [m]	10	20	40	18	36	72	8	14	18	42
Breite [m]	7	14	28	10	20	40	8	8,5	11,38	4,515
Höhe [m]	3,5	3,5	3,5	7	7	7	8	4,3	2,5	2,7
Grundfläche [m ²]	70	280	1120	180	720	2880	64	119	205	190
Volumen V [m ³]	245	980	3920	1260	5040	20160	512	512	512	512
Oberfläche [m ²]	259	798	2716	752	2224	7328	384	432	557	630
Fall 1: $\alpha_{m,0}$	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
ÖNORM Klasse B, A_1 [m ²]	72,6	290,4	1161,7	186,7	746,8	2987,3	66,4	123,4	151,8	151,7
$\alpha_{m,1}$	0,28	0,36	0,43	0,25	0,34	0,41	0,17	0,29	0,27	0,24
ΔL [dB]	4,48	5,61	6,31	3,95	5,26	6,10	2,38	4,56	4,36	3,81
DIN Klasse B4, A_1 [m ²]	52,3	209,3	837,3	206,8	827,1	3308,4	80,4	100,3	128,1	123,3
$\alpha_{m,1}$	0,20	0,26	0,31	0,27	0,37	0,45	0,21	0,23	0,23	0,20
ΔL [dB]	3,05	4,19	4,89	4,39	5,70	6,55	3,21	3,66	3,62	2,91
ÖNORM 2005, A_1 [m ²]	77,7	239,4	814,8	225,6	667,2	2198,4	115,2	129,5	167,0	189,1
$\alpha_{m,1}$	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
ΔL [dB]	4,77	4,77	4,77	4,77	4,77	4,77	4,77	4,77	4,77	4,77
A_1^* Klasse 4.77dB [m ²]	77,7	239,3	814,6	225,5	667,0	2197,8	115,2	129,4	166,9	189,1
$\alpha_{m,1}$	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
ΔL [dB]	4,77	4,77	4,77	4,77	4,77	4,77	4,77	4,77	4,77	4,77
A_1^* Formfaktor Kl 4.77dB [m ²]	86,2	240,5	775,9	255,6	678,1	2106,2	172,8	140,3	164,1	177,5
$\alpha_{m,1}$	0,33	0,30	0,29	0,34	0,30	0,29	0,45	0,33	0,29	0,28
ΔL [dB]	5,22	4,79	4,56	5,31	4,84	4,59	6,53	5,12	4,70	4,49
Fall 2: T_0 optimiert für ÖNORM	1,70	1,70	1,70	3,20	3,20	3,20	3,00	1,61	1,31	1,31
$\alpha_{m,0}$	0,09	0,12	0,14	0,08	0,11	0,14	0,07	0,12	0,11	0,10
ÖNORM Klasse B, A_1 [m ²]	72,6	290,4	1161,7	186,7	746,8	2987,3	66,4	123,4	151,8	151,7
$\alpha_{m,1}$	0,28	0,36	0,43	0,25	0,34	0,41	0,17	0,29	0,27	0,24
ΔL [dB]	4,98	4,98	4,98	4,72	4,72	4,72	3,86	3,86	3,86	3,86
DIN Klasse B4, A_1 [m ²]	52,3	209,3	837,3	206,8	827,1	3308,4	80,4	100,3	128,1	123,3
$\alpha_{m,1}$	0,20	0,26	0,31	0,27	0,37	0,45	0,21	0,23	0,23	0,20
ΔL [dB]	3,56	3,56	3,56	5,16	5,16	5,16	4,69	2,96	3,13	2,96
ÖNORM 2005, A_1 [m ²]	77,7	239,4	814,8	225,6	667,2	2198,4	115,2	129,5	167,0	189,1
$\alpha_{m,1}$	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
ΔL [dB]	5,28	4,14	3,44	5,54	4,23	3,39	6,25	4,06	4,28	4,82
A_1^* Klasse 4.77dB [m ²]	69,2	276,6	950,6	188,9	755,8	2564,8	81,9	151,0	187,1	187,1
$\alpha_{m,1}$	0,27	0,35	0,35	0,25	0,34	0,35	0,21	0,35	0,34	0,30
ΔL [dB]	4,77	4,77	4,11	4,77	4,77	4,06	4,77	4,73	4,77	4,77
A_1^* Formfaktor Kl 4.77dB [m ²]	76,8	278,0	905,4	214,1	768,4	2457,9	122,8	163,8	184,0	175,6
$\alpha_{m,1}$	0,30	0,35	0,33	0,28	0,35	0,34	0,32	0,38	0,33	0,28
ΔL [dB]	5,22	4,79	3,90	5,31	4,84	3,87	6,53	5,09	4,70	4,49

dimensionierung kleiner oder einer Überdimensionierung großer Räume, was bei großen Räumen zu Schallabsorptionsflächen führen kann die wirtschaftlich schwer argumentierbar sind und in der Praxis nicht umgesetzt werden können, weil der benötigte Platz für Schallabsorber nicht ausreicht. Nach Sabine ergibt sich für ÖNORM Klasse B, Raum 3 und Halle 3 ein $\alpha_{m,1} > 0.4$, berechnet nach Eyring würden sich etwas geringere Werte ergeben. Die DIN weist ähnliche Tendenzen auf, Klasse B4 ergibt jedoch generell geringere $\alpha_{m,1}$ als ÖNORM Klasse B. Die Volumenbeschränkung mit 5000m³ (Halle 3, Tabelle 1 überschreitet diese Grenze) stellt einerseits

eine Einschränkung für die Anwendbarkeit der Norm dar, andererseits verhindert sie zu große $\alpha_{m,1}$ bei großen und hohen Räumen. Raum 1 ist im Falle der DIN mit $\alpha_{m,1} = 0,2$, $T_1 0.76s$ tendenziell unterdimensioniert. Für Höhere/niedrigere Qualitätsklassen oder niedrigere/höhere Absorptionsflächen A_0 würden sich die oben erwähnten Unterschiede mehr- oder weniger ausgeprägt darstellen.

Grundsätzlich vernachlässigt die Raumhöhe, wenn wie in der DIN und ÖNORM als alleiniger Parameter zur Beschreibung eines Raumes verwendet, zwei von drei Dimensionen. Durch diesen Informationsmangel ist es schwierig ausgewogene

Sollwerte für ein breites Spektrum an Raumproportionen zu finden. Im nachfolgenden Kapitel wird ein alternatives Modell vorgestellt, das in der Lage ist unterschiedliche Raumformen genauer abzubilden und laut Diffusfeldtheorie nicht nur in Einzel- sondern für jeden Fall die benötigte Absorptionsfläche so berechnet, dass sich identische Schallpegelreduktionen unabhängig von der Raumgeometrie ergeben.

3. Ein alternatives Modell

In Kapitel 2 wurden die Bedingungen analysiert, sodass höhenabhängige Formeln und der mittlere Schallabsorptionsgrad dieselbe Schallpegelreduktion bewirken. Wir haben festgestellt, dass mit diesen Formeln das Ziel der raumgeometrie-unabhängigen, identischen Schallpegelreduktion nur in speziellen Fällen erreicht wird. Für nachfolgenden Ansatz kann unter Verwendung einer Konstanten k und (1) im Diffusfeld gezeigt werden, daß die Schallpegelreduktion ΔL für beliebige Räume identisch, unabhängig von Raumeigenschaften ist:

$$A_1 = k \cdot A_0 \Rightarrow \Delta L = 10 \cdot \log\left(\frac{A_1}{A_0}\right) = 10 \cdot \log\left(\frac{k \cdot A_0}{A_0}\right) = 10 \cdot \log(k) \quad (2)$$

A_0 kann gekürzt werden, deshalb ergibt sich für obige Formel ein konstantes ΔL . $A_1 = k \cdot A_0$ stellt also die laut Diffusfeldtheorie notwendige Absorptionsfläche dar, um ΔL unabhängig von der Raumgeometrie zu erreichen. Für $k=2$ gleicht der Ausdruck der Formel der DIN 18041-2004. Die DIN 18041-2004 erreicht das Ziel einer raumunabhängigen Pegelreduktion also als einzige der hier betrachteten Normen.

Ähnlich wie in der ÖNORM oder DIN könnten mit einem derartigen Ansatz Qualitätsklassen definiert werden, zB. Qualitätsklasse $\Delta L = 4$ dB. Der Term $10^{\Delta L/10}$ reduziert sich dann zu obiger Konstante k :

$$\Delta L = 10 \cdot \log\left(\frac{A_1}{A_0}\right) \Rightarrow A_1 = A_0 \cdot 10^{\Delta L/10} \\ \Delta L = 4 \text{ dB} \Rightarrow A_1 = k \cdot A_0, k = 10^{4/10} \quad (3)$$

Da, wie in der DIN 18041-2004, bei diesem Ansatz die Soll-Absorptionsfläche von A_0 abhängt, können bei hohen Sollwerten für ΔL oder bei hohen Ausgangswerten für A_0 unrealistisch hohe Absorptionsflächen A_1 entstehen. Deshalb ist es notwendig das maximale A_1 zu beschränken:

$$A_1^* = \text{MIN}(\alpha_{\max} \cdot S, A_0 \cdot 10^{\Delta L/10}) \quad (4)$$

Der Term $\alpha_{\max} \cdot S$ multipliziert die Raumboberfläche mit einem maximalen Schallabsorptionsgrad, der für die folgenden Betrachtungen wie in der DIN 18041-2004 [4], auf 0.35 gesetzt wird. Somit wird A_1^* mit 0.35·S beschränkt, unterhalb dieses Grenzwertes wird A_1^* so berechnet, dass ΔL erreicht wird.

Spätestens seit Veröffentlichung der VDI 3760 [6] ist allgemein bekannt, dass Gleichung (1) in der Realität nur unzureichende Aussagen bzgl. der Schallpegelreduktion in Räumen erlaubt. Schallausbreitungskurven konvergieren nicht, wie angenommen, im Diffusfeld gegen einen Sollwert sondern haben auch mit größerer Entfernung von der Quelle eine negative Steigung. Tendenziell wird ΔL in nicht exzentrischen Räumen (S/V klein, z.B. Würfel) überschätzt und in exzentrischen Räumen (S/V groß, $h/l \ll 0.3$) unterschätzt. Um diese Ungenauigkeiten auszugleichen wird A_1^* mit einem Formfaktor, einer linearen Funktion mit Steigung h/l (Raumhöhe/Länge), multipliziert:

$$A_1^* \text{ mit Formfaktor} = A_1^* \cdot (c_4 + c_5 \cdot \frac{h}{l}) \quad (5)$$

Für verschachtelte, L- oder U förmige Räume kann die Raumlänge l als der Mittelwert der Längsseiten berechnet werden. A_1^* mit Formfaktor beinhaltet deutlich mehr Information über den Raum als die sonst üblichen Funktionen, und ermöglicht deshalb grundsätzlich eine genauere Kalibrierung entsprechend Raumgröße und Proportion. Analysen bzgl. Parametersettings dieses Modells sind Gegenstand zukünftiger Untersuchungen. Natürlich könnte man den Formfaktor ebenso mit einem mittleren Schallabsorptionsgrad oder einer Nachhallzeit multiplizieren, um die Raumproportion in die Dimensionierungsformel einzubauen.

In Tabelle 1 sind die Werte für A_1^* und A_1^* mit Formfaktor enthalten. Für den Fall 1 bewirkt A_1^* erwartungsgemäß identische Pegelreduktionen für alle Räume. ΔL wurde auf einen Sollwert von 4.77dB gesetzt, deshalb sind die Pegelreduktionen mit $\alpha_m = 0.3$ identisch. Der Formfaktor passt A_1^* entsprechend den Raumproportionen an und bewirkt laut Diffusfeldtheorie leicht unterschiedliche Pegelreduktionen für A_1^* mit Formfaktor. Für Fall 2 wird A_1^* in Raum 3, Halle 3, und Schachtel auf 0.35·S beschränkt, deshalb ergeben sich in diesen Räumen geringere Pegelreduktionen als der Sollwert von 4.77dB. Ansonsten wird laut Diffusfeldtheorie der Sollwert von 4.77dB auch für Fall 2 erreicht.

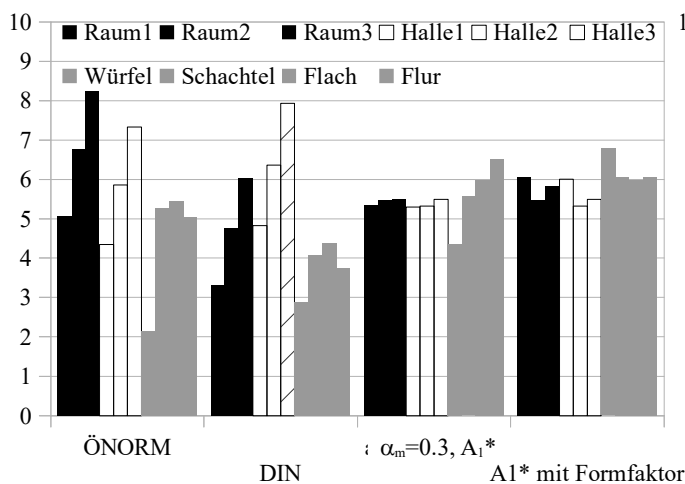
4. Simulationen

Für Simulationen wird CATT Acoustic [7] verwendet. Um allgemeine Aussagen zu erhalten wird die Grundfläche und Proportion von einfachen, leeren, quaderförmigen Räumen entsprechend Tabelle 1 variiert. Der Streugrad der Raumboberflächen beträgt 75%. [8] zeigt, dass derartig hohe Streugrade realistische Ergebnisse bewirken, wenn man leere Räume simuliert. Der Absorptionsgrad von Raumbegrenzungsflächen ohne Schallabsorber wird entsprechend $\alpha_{m,0}$ in Tabelle 1 gesetzt. Für die normgerechten Simulationen mit Schallabsorbem wird der Absorptionsgrad der Decke, einer Längswand und der angrenzenden Stirnwand so erhöht, dass sich ein A_1 laut Tabelle 1 ergibt. Der Boden, und die beiden anderen Wände haben Absorptionsgrad 0.1.

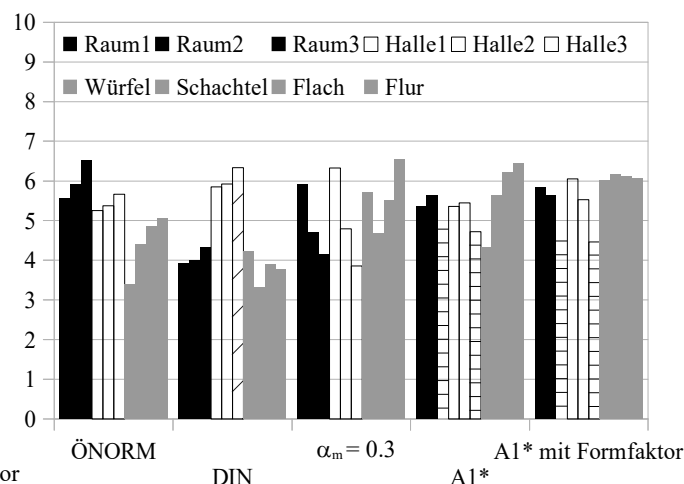
Simulationseinstellungen: 50000 bis 2 Millionen Strahlen, je nach Raumgröße. Die TUCT [7] Simulationsmethode "Map Measures" ergibt einen energieäquivalenten Schalldruckpegel (L_{eq}) pro Quadrant der „Audience Plane“, einer Ebene parallel zur Grundfläche auf einer Höhe von 1.7m. Quadranten sind Würfel mit 0.5m Seitenlänge für kleinere Räume und bis zu 2m Seitenlänge für größere Räume. Eine omnidirektionale Punktchallquelle mit einer Schallleistung von 101dB befindet sich nahe der absorbierenden Stirnwand auf der Höhe der Audience Plane. Frequenzabhängige Aspekte sind im Rahmen dieser Untersuchungen uninteressant. Deshalb wird der L_{eq} bei 1000Hz analysiert (deutlich über der Schröderfrequenz aller Räume). Die Luftabsorption wird berücksichtigt, hat jedoch bei 1000Hz kaum Auswirkungen.

Als Metrik wird $\overline{\Delta L}$ [dB], die Differenz des energetischen Mittelungspegels ohne und mit Schallabsorber, berechnet über alle Quadranten der Audience Plane mit Abstand zur Quelle größer 2m, definiert.

Figur 1 zeigt die Simulationsergebnisse für Fall 1 ausgehend von einem $\alpha_{m,0} = 0.1$, siehe Tabelle 1. Für Raum1-3 und Halle1-3, die Szenarien mit steigender Grundfläche, zeigen die Resultate erwartungsgemäß, dass $\overline{\Delta L}$ für α_m , A_1^* und A_1^* mit Formfaktor annähernd identisch sind (zB. A_1^* , Halle1 5.3 dB, Halle 3 5.5dB, $\overline{\Delta L}$ Differenz 0.2dB). Die DIN und ÖNORM zeigen ausgeprägte Unterschiede (zB. ÖNORM, Halle1 4.3dB, Halle3 7.3dB, $\overline{\Delta L}$ Differenz 3dB).



Figur 1: Fall 1, $\overline{\Delta L}$ [dB]



Figur 2: Fall 2, $\overline{\Delta L}$ [dB]

Für Halle3 wurde die DIN in die Simulationen mit einbezogen um die Tendenz der Formel zu verstehen, jedoch gesondert mit schräger Schraffierung markiert, da ihr Raumvolumen deutlich über dem 5000m³ Limit der DIN ist. Ebenso deutliche Unterschiede zeigen sich bei der DIN und der ÖNORM bei Variation der Exzentrizität von Räumen (zB. ÖNORM, Würfel 2.1dB, Flachraum 5.4dB, $\overline{\Delta L}$ Differenz 3.3dB). Bei Variation der Exzentrizität sind auch $\overline{\Delta L}$ Unterschiede bei α_m und A_1^* ersichtlich, was die Ungenauigkeit des Diffusfeldmodells zeigt. Für den Würfel bewirkt der Formfaktor eine vergleichsweise hohe A_1 , daher bewirkt A_1^* mit Formfaktor ausgeglichene Pegelminderungen. Der $\overline{\Delta L}$ Unterschied für Würfel und Flachraum liegt bei lediglich 0.8dB. Im Vergleich zu A_1^* bewirkt der Ansatz mit Formfaktor geringfügig deutlichere Unterschiede bei Variation der Grundfläche, ist jedoch bei Variation der Exzentrizität deutlich ausgeglichener.

Der für die ÖNORM und DIN günstige Fall 2 wird in Figur 2 dargestellt. Für die DIN und ÖNORM ist $\overline{\Delta L}$ erwartungsgemäß ausgeglichener als in Fall 1¹, α_m bewirkt deutliche Unterschiede. Die A_1^* Formel bewirkt für Raum1-3 und Halle1-3 prinzipiell ausgeglichene Pegelreduktionen. Allerdings wird für Raum3 und Halle 3 der Grenzwert von $0.35 \cdot S$ überschritten (Balken mit horizontaler Schraffierung), deshalb fällt $\overline{\Delta L}$ für diese Räume geringer aus. Bei Variation der Exzentrizität gleicht A_1^* mit Formfaktor wieder die Ungenauigkeiten des Diffusfeldmodells annähernd aus und bewirkt homogene Pegelreduktionen.

5. Zusammenfassung, Ausblick

Mittels allgemein bekannter Methoden für diffuse Schallfelder wurden die Bedingungen unter denen ÖNORM [3], DIN [1], und α_m [5] identische Schallpegelminderungen, unabhängig von der Raumgeometrie bewirken, analysiert. [9] bietet eine ausführlichere Version dieses Artikels.

Ein Akustiker, der mit dem Ziel der Lärminderung nach ÖNORM oder DIN Räume der Qualitätsklasse innerhalb Gruppe B plant wird mit Ausnahme von Spezialfällen, die in Kapitel 2 erläutert werden, entgegen seinen Erwartungen unterschiedliche Schallpegelminderungen erzielen. Weiters tendieren die Formeln der DIN und ÖNORM entweder zu einer Unterdimensionierung kleiner, oder einer Überdimensionierung großer Räume, was bei großen Räumen zu Schallabsorptionsflächen führen kann, die wirtschaftlich schwer argumentierbar sind und in der Praxis nicht umgesetzt werden können, weil der benötigte Platz für Schallabsorber nicht ausreicht.

¹ Bei Raum3 und Halle3, die stark bedämpft sind ($\alpha_m = 0.43$), bewirkt im Fall der ÖNORM die Umrechnung der Soll-Nachhallzeiten in Absorptionsflächen mittels Sabine Formel hohe A_1 und Pegelreduktionen.

Ein der DIN 18041, 2004 [4] ähnliches Modell, das die für eine gewünschte Soll-Pegelreduktion notwendige äquivalente Schallabsorptionsfläche A_1^* unabhängig von Raumgröße und Form aus der Diffusfeldtheorie herleitet, wird vorgestellt. Um die Ungenauigkeiten der Diffusfeldtheorie bei unterschiedlichen Raumproportionen (zB. Verhältnis Höhe zu Grundfläche) auszugleichen wird zusätzlich ein Formfaktor eingeführt. Durch Geometrische-Akustik Simulationen wird gezeigt, dass die A_1^* Formel mit Formfaktor wesentlich besser in der Lage ist, ausgeglichene äquivalente Schallabsorptionsflächen und Schallpegelreduktionen für ein breites Spektrum an Raumgrößen, Geometrien und Proportionen zu erzielen als die Formeln der ÖNORM, DIN oder α_m . Der A_1^* Ansatz stellt nur für das in Kapitel 2 erwähnte Ziel der identischen, von der Raumgeometrie unabhängigen Schallpegelminderung, den optimalen Ansatz dar. Dieses Ziel sollte in Normungsgremien diskutiert werden. Weiters impliziert die A_1^* (wie auch die DIN 18041, 2004) Formel, dass A_0 geschätzt werden muss. Dies ermöglicht Uneindeutigkeiten in der raumakustischen Planung, die in Normen durch exakt definierte Regeln zur Schätzung von A_0 vermieden werden müssten. In jedem Fall sind weitere Simulationen mit geometrischer Akustik, die die Ausgewogenheit der Schallpegelreduktion und Soll-Absorptionsflächen für ein breites Spektrum an Raumproportionen und Größen systematisch untersuchen, im Hinblick auf zukünftige Revisionen der ÖNORM und der DIN wünschenswert und notwendig.

Referenzen

- [1] DIN 18041: "Hörsamkeit in Räumen- Anforderungen, Empfehlung und Hinweise für die Planung, 2016
- [2] Christian Nocke: Hörsamkeit in Räumen, Kommentar zur DIN 18041, 2018 Beuth Verlag
- [3] ÖNORM 8115-3: Schallschutz und Raumakustik im Hochbau, Teil 3: Raumakustik, 2023
- [4] DIN 18041: Hörsamkeit in in kleinen bis mittelgroßen Räumen, 2004
- [5] ÖNORM 8115-3: Schallschutz und Raumakustik im Hochbau, Teil 3: Raumakustik, 2005
- [6] VDI 3760: Berechnung und Messung der Schallausbreitung in Arbeitsräumen, 1996
- [7] CATT-Acoustic, URL: www.catt.se
- [8] T. Ziegler, Christian T. Herbst: On Scattering Coefficients and Fitting Density for Room Acoustic Simulation of Industry Halls, DAGA 2019, Rostock
- [9] T. Ziegler, Über die akustische Dimensionierung der Räume Gruppe B in der DIN 18041 und der ÖNORM B8115-3, <https://www.ziegler-schallschutz.at/akustikplanung/forschung-akustik/>