

Reflexionsarme Messräume – Dimensionierung nach Anforderung

Gerhard Babuke, Peter Brandstätt, Walter Schneider, Xiaoru Zhou

Fraunhofer Institut Bauphysik, Akustik, 70569 Stuttgart, Deutschland, Email: Gerhard.Babuke@ibp.fraunhofer.de, Peter.Brandstaett@ibp.fraunhofer.de, Walter.Schneider@ibp.fraunhofer.de, Xiaoru.Zhou@ibp.fraunhofer.de

Einleitung

Die Qualität eines Freifeld- oder Halbfreifeldraumes hängt nicht nur von der Absorption der Raumauskleidung ab. Viele andere Parameter, z. B. die Raumgeometrien, die Position von Quelle und Empfänger, sowie der Verlauf der Messbahn, spielen je nach konkreter Situation eine wichtige Rolle. Der praktische Eignungsnachweis eines Freifeldraumes ist durch eine Prüfung der Schalldruck-Pegelabnahme nach der Norm ISO 3745 [1] bzw. in der Genauigkeitsklasse 2 nach ISO 3744 [2] möglich. Die Eignung des Freifeldraumes stellt sich aber erst heraus, wenn er bereits fertig gebaut ist. Für die Planung neuer oder zu erneuernder Freifeldräume ist es daher wichtig, vorab die relevanten Parameter zu optimieren. Um ihren Einfluss auf das Freifeld, das heißt die Raumrückwirkung auf das Direktfeld der Quelle vorher sagen zu können, wurde ein Rechenprogramm [3] entwickelt.

Anforderungen und Zusammenhänge

Normen

Für die Vielfalt der zu untersuchenden und zu prüfenden unterschiedlichsten Geräuschquellen gibt es produktspezifische Messnormen. Diese basieren auf den zuvor genannten Grundsatznormen. Sie sind Voraussetzung, um in einer normgerechten Umgebung eines akustischen Freifeldes damit übereinstimmend angewendet zu werden.

Nutzer

Unter Beachtung der Normen gehören jedoch die Vorgaben der Benutzer des Raumes. Dazu zählen die Abmessungen vom Raum und dem Messobjekt, die Art der Geräuschabstrahlung der Quelle und dem Messverfahren bezüglich Freifeldbereich als Messquader oder Freifeldradius, der Frequenzbandbreite mit der unteren Grenzfrequenz sowie der angestrebten Genauigkeitsklasse. Weitere Angaben können die Integration von Einbauten im Raum, der Lüftung und Beleuchtung sein sowie Anforderungen zum Absorbermaterial hinsichtlich Brandschutz und Gesundheitsschutz, Abriebfestigkeit sowie mechanischer Schutz der Oberfläche vorgeben. Forderungen nach Einhaltung eines Ruhegeräuschpegels mit und ohne Lüftung sowie Fragen zur Körperschallentkopplung und Schalldämmung können vorkommen.

Auslegung und Optimierung

Für die Vorherberechnung wurde zur Simulation ein Rechenprogramm [3] mit Berücksichtigung von Spiegelschallquellen verwendet. Dabei wird von einer Kugelschallquelle mit einer im Raum frei wählbaren Position ausgegangen. Von dieser führt der in alle Raumrichtungen frei wählbare Pfad für die Berechnung der Schallpegelabnahme auf diesem. Weitere Eingangsgrößen sind die Auskleidungsdicke des Absorbers, sein

Schallabsorptionsgrad $\alpha(0)$ an der entsprechenden Begrenzungsfläche, die Ordnung n der Spiegelquelle, die Signalart Sinus oder Rauschen, die untere Grenzfrequenz f_u sowie die zu berechnenden Messpunkte auf dem Pfad ab 0.5 m mit der Schrittweite 10 cm. Ist ein Messquader vorgegeben, so sind dessen Abmessungen einzugeben, andernfalls erfolgt die Berechnung bis zum $\lambda/4$ Wandabstand. Durch entsprechende Wahl der Raumkoordinaten x, y und z ist für jede Richtung des Pfades die zu erwartende Freifeldcharakteristik bestimmbar. Die Berechnung erfolgt über alle gewählten Terzmittenfrequenzen entlang des Pfades. Als Ergebnis wird sowohl in tabellarischer als auch in grafischer Form die Abweichung von der idealen Freifeldausbreitung in Relation zur Toleranz nach Tabelle 1 in [1] angegeben. Treten Überschreitungen auf, so ist eine Optimierung bei den Rechengrößen möglich die variabel sind. Dazu gehören die Abmessungen vom Raum und vom Messquader sowie die Absorptionsgrade der unterschiedlich geschichteten Akustikmodule in Abhängigkeit von der Stärke des Gesamtaufbaus und den daraus resultierenden Strömungswiderständen.

Einfluss der Raum-Geometrie

Beispielhaft zeigen folgende 2 Tabellen die Ergebnisse auf einer diagonalen Bahn von der Bodenmitte zu einer oberen Ecke eines Messquaders von 2.3 m x 2.3 m x 1.3 m für jeweils einen Halbfreifeldraum von 70 m³. In der Tabelle 1, in der der Raum 1 mit den Abmessungen von 6,3 x 4,5 x 3,25 m³ berechnet wurde stehen die Ergebnisse von Raum 2 in der Tabelle 2 mit den Abmessungen von 5,75 x 4,5 x 3,6 m³ gegenüber. Die dunkel hinterlegten Zellen in den Tabellen zeigen die Überschreitungen der Toleranz nach [1] der GK 1 an. Eine Veränderung der Seitenverhältnisse im Raum 2 unter Beibehaltung aller übrigen Parameter führt zu einem gegenüber Raum 1 erweiterten Freifeldbereich bis zu 3 m ohne Überschreitungen.

Tabelle 1: Berechnete Freifeldcharakteristik für einen 70 m³ großen Raum 1 mit den Seitenverhältnissen L : B : H = 1,9 : 1,4 : 1

0,25		Absorberdicke [m] 0,25		Messpunkte		Raum		Raum		Quelle		Messbahn		Messquader														
Frequenzbereich:	Band:	Projekt:	Projekt:	von:	von:	Raum:	Raum:	Raum:	Raum:	Quelle:	Quelle:	von:	von:	von:	von:													
von: 100 [Hz]	bis: 1000 [Hz]	Messraum 1	Messraum 1	0,50 [m]	0,50 [m]	L: 6,30 [m]	B: 4,50 [m]	H: 3,25 [m]	H: 3,25 [m]	0,00 [m]	0,00 [m]	2,3 [m]	2,3 [m]	1,3 [m]	1,3 [m]													
Toleranz: 1		Bahn: Halbfreifeldraum	Bahn: Halbfreifeldraum	0,50 [m]	0,50 [m]	V: 70 [m³]		V: 70 [m³]		V: 70 [m³]		V: 70 [m³]		V: 70 [m³]														
		Note: GIB BKA 2,0	Note: GIB BKA 2,0	Spiegel-Ordnung: 2																								
Abw.	Frequenz	Entfernung Schallquelle - Mikrofon in [m]																										
[%]	[Hz]	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00	2,10	2,20	2,30	2,40	2,50	2,60	2,70	2,80	2,90	3,00	
2,5	100	1,9	1,8	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6
2,5	150	2,6	2,6	2,5	2,5	2,4	2,4	2,3	2,3	2,2	2,2	2,1	2,1	2,0	2,0	1,9	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	1,4	1,4	1,3
2,5	200	4,1	4,1	4,0	4,0	3,9	3,9	3,8	3,8	3,7	3,7	3,6	3,6	3,5	3,5	3,4	3,4	3,3	3,3	3,2	3,2	3,1	3,1	3,0	3,0	2,9	2,9	2,8
2,5	250	6,9	6,8	6,7	6,7	6,6	6,6	6,5	6,5	6,4	6,4	6,3	6,3	6,2	6,2	6,1	6,1	6,0	6,0	5,9	5,9	5,8	5,8	5,7	5,7	5,6	5,6	5,5
2,5	315	10,3	10,1	10,0	10,0	9,9	9,9	9,8	9,8	9,7	9,7	9,6	9,6	9,5	9,5	9,4	9,4	9,3	9,3	9,2	9,2	9,1	9,1	9,0	9,0	8,9	8,9	8,8
2,5	400	15,4	15,2	15,1	15,1	15,0	15,0	14,9	14,9	14,8	14,8	14,7	14,7	14,6	14,6	14,5	14,5	14,4	14,4	14,3	14,3	14,2	14,2	14,1	14,1	14,0	14,0	13,9
2,5	500	22,2	22,0	21,9	21,9	21,8	21,8	21,7	21,7	21,6	21,6	21,5	21,5	21,4	21,4	21,3	21,3	21,2	21,2	21,1	21,1	21,0	21,0	20,9	20,9	20,8	20,8	20,7
2,0	630	30,0	29,8	29,7	29,7	29,6	29,6	29,5	29,5	29,4	29,4	29,3	29,3	29,2	29,2	29,1	29,1	29,0	29,0	28,9	28,9	28,8	28,8	28,7	28,7	28,6	28,6	28,5
2,0	1000	63,0	62,8	62,7	62,7	62,6	62,6	62,5	62,5	62,4	62,4	62,3	62,3	62,2	62,2	62,1	62,1	62,0	62,0	61,9	61,9	61,8	61,8	61,7	61,7	61,6	61,6	61,5
2,0	1000	0,3	0,7	0,5	0,4	0,4	0,4	0,1	-0,1	-0,6	1,0	-0,2	1,0	1,9	-0,4	1,8	1,4	-1,0	0,8	-0,2	-0,8	-0,9	-1,9	0,7	0,4	-2,6	1,3	
	Index	001	002	003	004	005	006	007	008	009	010	011	012	013	014	015	016	017	018	019	020	021	022	023	024	025	026	

Tabelle 2: Berechnete Freifeldcharakteristik für einen 70 m³ großen Raum 2 mit den Seitenverhältnissen L : B : H = 1,6 : 1,25 : 1

0,25		Absorberkoeff. [m]		0,25		Messpunkte		Raum		Raum		Quelle		Mess-	
Frequenzbereich:		Projekt:		Messpunkte:		Raum:		Raum:		Raum:		Quelle:		Mess-	
von [Hz]		Projekt:		Raum:		Raum:		Raum:		Raum:		Quelle:		Mess-	
100		Messraum 2		von		L		B		H		x		z	
1000		Bahn 1		bis		1,6		1,25		1		0,00		1,15	
Typ:		Hüllfeldraum		Raum:		4,50		4,00		0,00		2,3		y	
		GWS 1		Raum:		3,50		3,00		0,00		1,3		z	
		GWS BKA 250		Spiegel-Ordn.		-2		0,00		0,00		L		2,08	
														38,62	

Abw.	Frequenz	Entfernung Schallquelle - Mikrofon [m]																													
[dB]	[Hz]	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00	2,10	2,20	2,30	2,40	2,50	2,60	2,70	2,80	2,90	3,00				
0,2	100	0,4	0,6	0,6	0,6	0,5	0,3	0,1	-0,1	-0,4	-0,7	-0,9	-1,0	-1,1	-1,0	-0,8	-0,5	-0,2	0,0	0,2	0,3	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
0,5	125	0,6	0,8	0,7	0,5	0,1	1,0	1,5	1,5	1,2	1,0	0,7	0,4	0,0	-0,4	-0,8	-1,1	-1,3	-1,5	-1,5	-1,2	-0,8	-0,3	0,1	0,5	0,9	1,0	1,0			
0,5	160	0,3	0,2	0,1	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1,0	1,1	1,0	0,8	0,5	0,1	-0,4	-0,9	-1,3	-1,5	-1,5	-1,2	-0,8	-0,3	0,2	0,7	1,2	1,5	1,5			
0,5	200	0,4	0,3	0,3	0,3	0,5	0,7	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2	1,1	0,9	0,7	0,5	0,3	0,1	-0,1	-0,4	-0,7	-0,9	-1,1	-1,2	-1,1	-0,9	-0,7	-0,5			
0,5	250	0,6	0,6	1,1	1,3	1,1	0,8	-0,2	-1,0	-1,4	-1,1	-0,4	0,4	1,0	1,3	1,2	0,7	0,0	-0,8	-1,4	-1,4	-0,9	-0,3	0,4	0,9	1,2	1,2				
0,5	315	-0,3	-0,4	-0,7	-1,0	0,0	-0,7	-0,2	0,3	0,4	0,2	-0,4	-1,1	-1,4	-0,9	0,1	1,1	1,7	1,9	1,5	0,7	-0,5	-1,6	-1,9	-1,1	-0,1	-0,1				
0,5	400	-0,2	-0,4	-0,5	-0,2	-0,1	-0,2	-0,5	0,7	-0,5	-0,1	0,2	0,3	0,2	0,0	-0,3	-0,4	-0,3	0,1	0,5	1,0	1,3	1,3	0,9	0,0	0,0	-1,3				
0,5	500	-0,3	-0,5	0,1	0,6	0,3	-0,3	0,0	1,0	1,5	1,0	0,3	0,4	1,0	1,2	0,9	0,5	0,3	-0,2	-0,5	0,5	0,1	0,6	0,3	-0,5	-1,5	-1,5				
0,5	630	-0,1	-0,2	-0,4	-0,1	0,0	-0,5	-0,9	-0,7	-0,4	-0,8	-1,6	-1,5	-0,6	-0,1	-0,7	-1,9	-0,9	1,2	1,6	0,0	1,8	0,0	1,8	1,9	0,7	-0,3				
0,5	800	-0,1	0,0	0,1	0,5	-0,3	0,1	-0,6	0,0	0,5	0,2	0,0	0,7	0,1	-0,1	0,3	0,1	0,0	-0,1	0,2	-0,4	0,3	0,2	-0,7	0,6	-0,2	0,0				
0,5	1000	0,2	0,2	-0,2	0,1	-0,4	0,0	-0,2	0,0	-0,1	0,4	0,2	-0,2	0,9	-0,4	0,2	0,8	-0,3	-0,8	0,7	0,6	-1,8	-0,1	1,8	-1,8	-1,8	1,1				

Nachweis der Raumgüte

Nach der ISO 3745 [1] Anhang A wird die Eignung des Freifeldraumes nach dem Draw-Away-Messverfahren geprüft. Auf mindestens 5 Messpfaden werden ab 0,5 m von der Quelle – diese befindet sich in der Raummitte – beginnend mit einer Schrittweite von 10 cm die entsprechenden Schalldruckpegel aufgezeichnet und ausgewertet. Als Prüfsignal wird dabei je nach Vorgabe des Nutzers ein Sinussignal oder Terzrauschen angewendet. Befinden sich die daraus ermittelten Abweichungen vom Entfernungsgesetz im erlaubten Toleranzbereich, so wird bis dahin der Raum als geeignet eingestuft.



Abbildung 2: Ansicht des fertigen Halbfreifeldraumes mit der Quelle in Raummitte bei der Raumabnahme auf dem Boden (ohne schallharte Zusatzwand).

Zusammenfassung

Mit einem Simulationsverfahren lassen sich die Parameter untersuchen, welche die akustischen Eigenschaften der Freifeldräume beeinflussen können. Manche Probleme, die in der Praxis auftreten, können so vorab diskutiert und beeinflusst werden. Die Forderungen der Nutzer können so abgestimmt und frühzeitig auf Realisierbarkeit vorher bei der Berechnung berücksichtigt werden. Befindet sich die Quelle bei der Messung in einem Halbfreifeldraum mit schallreflektierendem Boden in einem Abstand von diesem, überlagern sich die starken Reflexionen vom Boden mit dem Direktschall. Die Qualität der Raumauskleidung und die damit erreichbare Freifeldgüte werden deswegen in den meisten Halbfreifeld-Räumen in der Praxis fast unvermeidlich geschmälert. Die Schallquellen sind auch meistens keine Punktquellen. Außerdem gibt es oft zusätzliche reflektierende Einbauten im Raum. Es besteht eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den Werten der Auslegung mit denen der Abnahmemessung. Voraussetzung ist jedoch eine Übereinstimmung der Absorberkennwerte bei der Rechnung mit denen, die bei der Auskleidung im Raum verwendet werden.

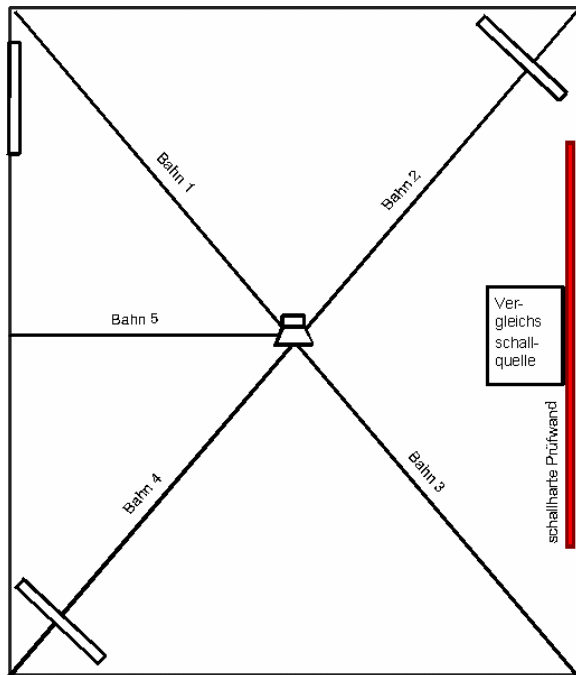


Abbildung 1: Grundriss des Halbfreifeldraumes mit den Messpfaden. Rechts ist eine mobile Prüfwannd für zusätzliche Messungen nach [2] dargestellt.

Nach der ISO 3744 [2] Anhang A werden zur Beurteilung der Eignung des Halbfreifeldraumes nach dem Absoluten Vergleichsverfahren die Werte für die Umgebungskorrektur mittels Vergleichsschallquelle bestimmt. Diese wird an den gleichen Positionen im Raum auf einer Hüllfläche gemessen, die dem des späteren Prüfling entsprechen. Der nach [1] als Halbfreifeldraum schallabsorbierend ausgekleidete Raum wird durch den Vorsatz einer schallharten Wand (gemäß einer produktspezifischen Messnorm) zu einem Raum nach [2] verändert. Die Prüfung ergab auch für diesen Raum entsprechend der multifunktionalen Nutzeranforderungen dessen Eignung. Von 100 Hz bis 10 kHz wird die Anforderung an die Raumkorrekturwerte $K_2 \leq 2$ dB erfüllt.

Literatur

- [1] ISO 3745: 2003-12: Bestimmung der Schalleistungspegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen; Verfahren der Genauigkeitsklasse 1 für reflexionsarme Räume und Halbräume
- [2] DIN EN ISO 3744: 1995-11: Bestimmung der Schalleistungspegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen; Hüllflächenverfahren der Genauigkeitsklasse 2 für ein im wesentlichen freies Schallfeld über einer reflektierenden Ebene
- [3] Xiaoru Zhou, Xueqin Zha und Gerhard Babuke: Computerised planning aid for the design of anechoic chambers, DAGA 2004