

# Voruntersuchungen zur Durchführung eines Schalleistungs-Ringversuchs

Volker Wittstock, Christian Bethke

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 38116 Braunschweig, volker.wittstock@ptb.de

## Einführung

Der Schalleistungspegel ist die wichtigste Kenngröße der Luftschallemission. Er wird in verschiedenen europäischen und nationalen Regelungen zum Arbeits-, Umwelt- und Verbraucherschutz verwendet. Die Messung des Schalleistungspegels erfolgt nach internationalen Normen, wobei die Unsicherheit der Messung derzeit durch die Vergleichs-Standardabweichung aus Ringversuchen geschätzt wird. Langfristig ist vorgesehen, eine individuelle Unsicherheitsermittlung durch Rückführung auf Primärnormale zu ermöglichen.

Zur Absicherung der Unsicherheits-Werte und zur Untersuchung der Vor- und Nachteile einer Rückführung auf Primärnormale wird von der PTB ein Ringversuch zur Schalleistung geplant. Im Beitrag werden die wesentlichen Aspekte des Ringversuchs, wie die Auswahl der Quellen, der Messverfahren, der Frequenzauflösung und der Bewertung vorgestellt sowie Ergebnisse erster Testmessungen diskutiert.

## Begrifflichkeiten

Der Begriff Ringversuch wird für sehr unterschiedliche Experimente verwendet. Die in der Akustik häufigste Bedeutung ist die eines Experiments zur Bestimmung der Genauigkeit (accuracy experiment – [1]). Eine Übersicht über derartige Ringversuche zur Schalleistung findet sich in [2].

Zur Absicherung der CMCs (Calibration and Measurement Capabilities) von nationalen Metrologieinstituten werden zudem Schlüsselvergleiche (key / supplementary comparisons) durchgeführt, die umgangssprachlich auch häufig als Ringversuche bezeichnet werden. Eine Übersicht über alle Schlüsselvergleiche findet sich in der KCDB (key comparison data base - <http://kcdb.bipm.org/>). Für die Messgröße Schalleistungspegel ist ein solcher Schlüsselvergleich innerhalb von EURAMET in Vorbereitung.

Ergänzend dazu gibt es noch Eignungsprüfungen (proficiency tests), bei denen die Ergebnisse einzelner Teilnehmender durch Vergleiche zwischen Laboratorien nach zuvor aufgestellten Kriterien bewertet werden [3]. Auch dies wird umgangssprachlich häufig als Ringversuch bezeichnet. Der Fokus dieses Beitrags liegt auf solchen Eignungsprüfungen.

## Mögliche Teilnehmer und Messverfahren

In der Bundesrepublik gibt es derzeit 68 Stellen, die für die Messung des Schalleistungspegels von der Deutschen Akkreditierungsstelle akkreditiert wurden oder die für Messungen nach der outdoor-Richtlinie oder der Maschinenrichtlinie laut Nando-Datenbank (<http://ec.europa.eu/growth/tools-databases/nando/>) notifiziert sind (Tabelle 1). Ein Teil dieser Stellen ist an der Teilnahme an Eignungsprüfungen interessiert.

Die Akkreditierung bzw. Benennung liegt für sehr unterschiedliche Messverfahren vor, die sich in Bezug auf die Umgebungsbedingungen, Hüllflächenform, Messpunktanordnung usw. erheblich unterscheiden (Tabelle 2). Hier ist auch zu bemerken, dass für eine Vielzahl dieser Messverfahren keine Ringversuchsergebnisse vorliegen, die eine Abschätzung der Unsicherheit aufgrund der Vergleichs-Standardabweichung ermöglichen [2]. Idealerweise wird diese Wissenslücke durch die geplanten Eignungsprüfungen geschlossen.

**Tabelle 1:** Für Schalleistungspegel benannte bzw. akkreditierte Stellen

Stelle	DAKS-Akkreditierung für DIN EN ISO ...										Notifizierung	
	9614-1	9614-2	9614-3	3741	3743-1	3743-2	3744	3745	3746	3747	outdoor	Masch.
1					x		x		x			
2	x	x					x		x			
3	x	x					x		x			
4	x	x		x	x	x	x	x	x	x		
5							x		x			
6	x	x					x		x			
7				x			x		x	x		
8							x					
9							x		x			
10							x					
11	x	x		x	x	x	x	x	x	x		
12							x		x			
13							x		x			
14							x		x			
15												x
16												x
17											x	x
...												
68							x					
Anzahl	14	16	3	9	9	5	42	13	28	11	8	26

**Tabelle 2:** Übersicht über Schalleistungs-Messverfahren

DIN EN ISO	Umgebung	$f_u$ Hz	$f_o$ kHz	Aufl	Messflächenform	$\sigma_{R0}$ dB*
3741	Hallraum	100	10	Terz	-	0,5
3743-1	Schallhart	125	8	Okt	-	1,5
3743-2	Sonderhallraum	125	8	Okt	-	2,0
3744	Appr. Halbfreifeld	100	10	Terz	Quader, Halb- / Viertel- / Achteckugel, Voll- / Halb- / Viertelzylinder, Kombination	1,5
3745	Halbfreifeld	100	10	Terz	Halbkugel	0,5
3746	Appr. Halbfreifeld	125	8	Okt	wie 3744	3,0
3747	Appr. Hallfeld	125	8	Okt	-	1,5
9614-1	Beliebig	50	6,3	Terz	Beliebig	0,5
9614-2	Beliebig	50	6,3	Terz	Beliebig	1,5
9614-3	Beliebig	50	6,3	Terz	Beliebig	1,0

\*für den A-Wert **nicht durch Ringversuche abgesichert**

## Auswahl der Schallquellen

Die von den Stellen zu messenden Schallquellen umfassen im Freien verwendete Geräte (z.B. Bulldozer, Bagger, Kompressoren, Rasenmäher, Kettensägen), Haushaltsgeräte (z.B. Kühlschränke, Wasch- und Spülmaschinen), Werkzeugmaschinen (z.B. Drehmaschinen, Oberfräsen), Computer(komponenten) und vieles mehr. Diese Quellen sind gekennzeichnet durch sehr spezielle Betriebs- und Aufstellungsbedingungen, so dass für viele Quellen nur wenige Stellen Messungen ausführen können. Die A-bewerteten Schalleistungspegel reichen von sehr niedrig bis sehr hoch (30 ... 120 dB) und es treten sehr verschiedene Richtcha-

rakteristiken und spektrale Verteilungen auf. Diesen Parameterbereich vollständig durch eine Eignungsprüfung abzudecken ist unmöglich. Zudem ist es völlig unrealistisch, dass den beispielhaft genannten Schallquellen ein Schallleistungspegel zugewiesen wird, da unklar ist, wie dieser bestimmt werden könnte.

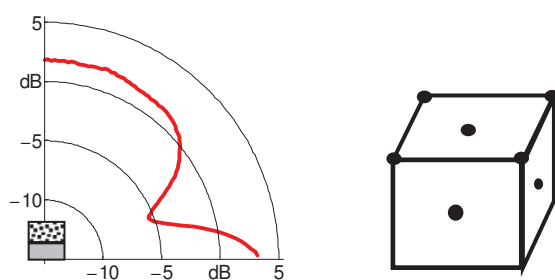
An dieser Stelle ist es hilfreich, das Unsicherheitskonzept der genormten Schallleistungs-Messverfahren zu berücksichtigen. Die Unsicherheit des Schallleistungspegels ergibt sich danach aus der Überlagerung der Standardabweichung aufgrund der Betriebs- und Aufstellungsbedingungen  $\sigma_{\text{omc}}$  sowie der Vergleichsstandardabweichung des Messverfahrens  $\sigma_{R0}$

$$u(L_w) \approx \sqrt{\sigma_{R0}^2 + \sigma_{\text{omc}}^2} \quad (1)$$

Im Sinne einer metrologischen Rückführung der Messgröße Schallleistung ist demnach bei Eignungsprüfungen die Verwendung einer Schallquelle sinnvoll, bei der die Betriebs- und Aufstellungsbedingungen keine nennenswerte Rolle spielen. Dies ist bei aerodynamischen Referenzschallquellen der Fall. Solche Schallquellen haben zudem den Vorteil, dass sie regelmäßig an der PTB nach [4] kalibriert werden, so dass ihnen ein Schallleistungspegel mit Unsicherheit unmittelbar zugewiesen werden kann. Diese Werte sind durch einen Ringversuch abgesichert und in [4] angegeben.

### Durchführung der Eignungsprüfung

Ein Nachteil bei der Verwendung aerodynamischer Referenzschallquellen ist die rotationssymmetrische Richtcharakteristik (Bild 1 links) aufgrund der Bodenreflexion. Bei typischen Messpunktanordnungen in festen Höhen (z.B. 9-Punkte-Quader, Bild 1 rechts) führt dies zu erheblichen Abweichungen in einzelnen Terzen. Es steht dann die Frage, ob es zu signifikanten Abweichungen zwischen Messergebnissen kommt, wenn diese nach unterschiedlichen Messverfahren, d.h. Hüllflächendiskretisierungen ermittelt wurden.



**Bild 1:** Richtcharakteristik (Schalldruckpegel-Abweichung vom Mittelwert) für eine aerodynamische Referenzschallquelle in der 1-kHz-Terz und typische Messpunktanordnung (Quelle im Inneren nicht dargestellt)

Angesichts des Einflusses der Messpunktanordnung sind verschiedene Möglichkeiten zur Durchführung der Eignungsprüfungen vorstellbar. Die erste besteht darin, dass die Anwendung einer speziellen Messnorm vorgeschrieben wird, nach der häufig Messungen durchgeführt werden. Laut Tabelle 1 wäre dies z.B. DIN EN ISO 3744 [5]. Dann ist allerdings zu fragen, welcher Schallleistungspegel der Quelle zugewiesen werden kann, da aufgrund verschiedener

Hüllflächendiskretisierungen (Spiralpfad bei der Kalibrierung in der PTB oder 9-Punkte-Quader oder weitere Anordnungen) verschiedene Schallleistungspegel gemessen werden. Theoretisch könnte für jede denkbare Anordnung an der PTB ein Referenzwert gemessen werden, doch angesichts der Vielzahl möglicher Messpunktanordnungen ist hierfür der Aufwand viel zu groß. Zudem ist nicht klar, welche Unsicherheit einem solchen zugewiesenen Wert beigemessen werden kann. Ein weiterer Nachteil dieser Vorgehensweise besteht darin, dass die gewonnenen Daten lediglich die Unsicherheiten für die DIN EN ISO 3744 beschreiben. Die in Tabelle 2 bislang nur vermuteten Vergleichsstandardabweichungen können also nicht durch Ringversuchsergebnisse untermauert werden. Zudem können etwaige systematische Unterschiede zwischen Messverfahren nicht detektiert werden.

Bei der zweiten prinzipiellen Möglichkeit zur Durchführung von Eignungsprüfungen wird die Auswahl des Messverfahrens den Teilnehmenden der Eignungsprüfung überlassen. Die Vorteile für die Teilnehmenden sind, dass sämtliche Verfahren nach Tabelle 1 verwendet werden können und keine speziellen Messpunktanordnungen realisiert werden müssen. Als Bezugswert wird das PTB-Kalibrierergebnis des Schallleistungspegels verwendet, das durch Ringversuche in seinem Wert und seiner Unsicherheit abgesichert ist. Diese Vorgehensweise führt bei relativ niedrigem Aufwand für PTB und Teilnehmende zu Messergebnissen, die die bislang nur lückenhaften Kenntnisse zur Unsicherheit der Schallleistung deutlich verbessern.

### Testmessungen

Voraussetzung für Eignungsprüfungen mit freier Wahl des Schallleistungs-Messverfahrens ist, dass die auftretenden Abweichungen kleiner sind als die bislang bekannten Unsicherheiten. Zur Überprüfung wird das Kriterium [6] herangezogen

$$(E_n)_i = \frac{L_{w,i} - L_{w,pt}}{\sqrt{U^2(L_{w,i}) + U^2(L_{w,pt})}} \quad (2)$$

mit dem zugewiesenen Schallleistungspegel  $L_{w,pt}$ , dem Ergebnis des  $i$ -ten Teilnehmenden  $L_{w,i}$ , sowie den diesen Werten beigemessenen erweiterten Unsicherheiten  $U(L_{w,i})$  und  $U(L_{w,pt})$ . Wenn der  $E_n$ -Wert zwischen -1 und 1 liegt, so gilt die Eignungsprüfung als bestanden.

An der PTB wurden Testmessungen mit Referenzschallquellen durchgeführt, bei denen verschiedene Messverfahren (Schalldruck und -intensität, Hallraum- und Hüllflächenverfahren) und Messpunktanordnungen zum Einsatz kamen. Als zugewiesener Wert kam der mit der Spiralermittelte Schallleistungs-Kalibrierwert zur Anwendung. Es ergaben sich für die bislang überprüften Anordnungen  $E_n$ -Werte zwischen -1 und 1 für die Terzen (Bild 2) bei Aufstellung der Referenzschallquelle auf einer reflektierenden Ebene (Halbraum). Als Unsicherheit wurden für die Schallleistungspegel die in den Normen angegebenen Vergleichsstandardabweichungen mit einem Erweiterungsfaktor von  $k = 2$  angesetzt. Wird dagegen die Referenzschallquelle vor einer zusätzlichen reflektierenden Wand betrieben (Viertelraum), wie es etwa für Haushaltsgeräte häufig

vorgeschrieben ist, so ergeben sich deutliche Diskrepanzen, also  $E_n$ -Werte unter -1 bzw. über 1. Werden dagegen die A-bewerteten Schallleistungspegel betrachtet, so liegen alle  $E_n$ -Werte zwischen -1 und 1 (Bild 3).

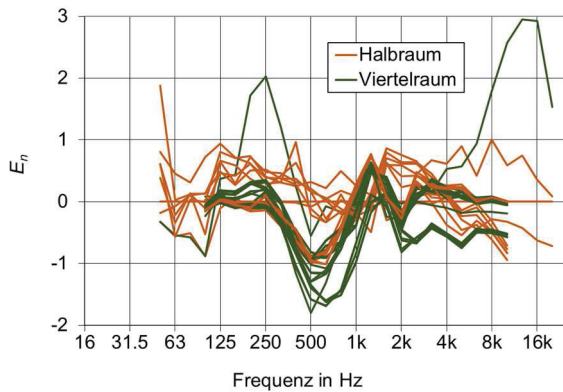


Bild 2:  $E_n$ -Werte nach Gl. (2) für die Terz-Schallleistungspegel einer aerodynamischen Referenzschallquelle

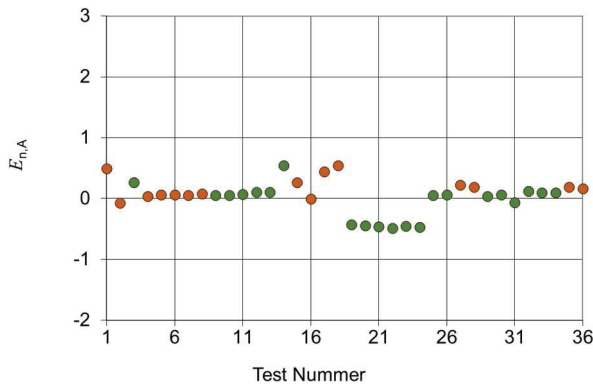


Bild 3:  $E_n$ -Werte nach Gl. (2) für die A-bewerteten Schallleistungspegel einer aerodynamischen Referenzschallquelle, Halbraum- (braun) und Viertelraumanordnungen (grün)

## Zusammenfassung und Ausblick

Die Vorüberlegungen zur Durchführung eines Ringversuchs im Sinne von Eignungsprüfungen haben ergeben, dass die Verwendung einer aerodynamischen Referenzschallquelle sinnvoll ist. Als Teilnehmende kommen neben notifizierten und akkreditierten Stellen auch Fachbehörden in Frage. Beim derzeitigen Kenntnisstand scheint es möglich zu sein, die Auswahl der Messverfahren den teilnehmenden Stellen zu überlassen. Als zugewiesener Wert wird der an der PTB ermittelte Kalibrierwert der Quelle verwendet.

Abschließend ist noch zu klären, ob ein Betrieb der Quelle vor einer reflektierenden Wand akzeptabel ist. In diesem Fall würden sich in einzelnen Terzen signifikante Diskrepanzen ergeben. Da für die Deklaration der Produkteigenschaften jedoch lediglich der A-bewertete Schallleistungspegel herangezogen wird, scheint eine Bewertung der Teilnehmenden anhand des A-Werts vertretbar. Die Terz-Schallleistungspegel würden in diesem Fall informativ erfasst und für weitere Auswertungen verwendet.

## Literatur

- [1] DIN EN ISO 5725-2 Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Messverfahren und Messergebnissen - Teil 2: Grundlegende Methode für Ermittlung der Wiederhol- und Vergleichpräzision eines vereinheitlichten Messverfahrens, 2002
- [2] Wittstock, V.: Uncertainty determination of sound emission measures by round robins. Tagungsband der InterNoise 2010 auf CDROM, Lissabon, Juni, 2010
- [3] DIN EN ISO/IEC 17043 Konformitätsbewertung – Allgemeine Anforderungen an Eignungsprüfungen, 2010
- [4] DIN EN ISO 6926 Akustik - Anforderungen an die Eigenschaften und die Kalibrierung von Vergleichsschallquellen für die Bestimmung von Schallleistungspegeln, 2016
- [5] DIN EN ISO 3744 Akustik - Bestimmung der Schallleistungs- und Schallenergiepegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen - Hüllflächenverfahren der Genauigkeitsklasse 2 für ein im Wesentlichen freies Schallfeld über einer reflektierenden Ebene, 2010
- [6] DIN ISO 13528 Statistische Verfahren für Eignungsprüfungen durch Ringversuche, 2005