

Verfahren zur Ermittlung der Umgebungskorrektur nach DIN EN ISO 3744

Ilka Arendt, Patrick Kurtz

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 44149 Dortmund

E-Mail: arendt.ilka@baua.bund.de, kurtz.patrick@baua.bund.de

Einleitung

Im Rahmen der europäischen Studie „NOMAD“ zur Überprüfung der Qualität der Geräuschemissionsangaben wurde deutlich, dass diese nur in 20 % der Fälle belastbar sind. Einer der Gründe ist die insbesondere für KMU schwierige Anwendung der existierenden Geräuschemissionsmessverfahren. Eine Überarbeitung der entsprechenden ISO-Normen, vorrangig der am häufigsten verwendeten DIN EN ISO 3744:2011 [1] für die Ermittlung der Schalleistung, ist daher dringend erforderlich. Dafür ist unter anderem der Anwendungsbereich der Verfahren der für Messungen in situ notwendigen Umgebungskorrektur genauer zu spezifizieren.

Die DIN EN ISO 3744:2011 [1] beschreibt verschiedene Verfahren um den Einfluss der Messumgebung (Reflexionsschall) auf die für die Schalleistungsermittlung erforderliche Schalldruckpegelmessung auf der Hüllfläche zu korrigieren. Bei der *Absolutvergleichsmessung* wird die Umgebungskorrektur als Differenz der Schalleistung einer Referenzschallquelle unter in situ- und Freifeldbedingungen ermittelt. Daneben ist die Ermittlung aus der Absorptionsfläche des Raumes möglich, z. B. durch Messung der *Nachhallzeit*, mittels Schalldruckmessungen an der Schallquelle in verschiedenen Abständen (*Zwei-Flächen-Verfahren*), durch Vermessung einer Referenzschallquelle (*Direktverfahren*) oder durch Schätzung des Schallabsorptionsgrades der Wandflächen des Raumes (*Näherungsverfahren*). Für die Anwendung der verschiedenen Verfahren gelten unterschiedliche Voraussetzungen. Während die Absolutvergleichsmessung auch im Freien durchgeführt werden kann, setzt die Ermittlung aus der äquivalenten Absorptionsfläche nach Sabine unter anderem voraus, dass der Raum annähernd würfelförmig ist. Das Zwei-Flächen-Verfahren hingegen erfordert ausreichend große Räume und die Anwendung beschränkt sich auf Räume mit einer Umgebungskorrektur von $K_2 \leq 2$ dB. Für alle anderen Verfahren gilt als maximaler Korrekturwert $K_2 = 4$ dB.

In einem Projekt der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) wurden die Verfahren in unterschiedlichen Umgebungen systematisch angewendet, um Abweichungen zwischen den verschiedenen Methoden zu ermitteln und Probleme und Grenzen der Anwendung aufzuzeigen. Als Referenz für die zu ermittelnden Schalleistungen wurden sowohl die verwendete Modellmaschine als auch die Referenzschallquelle unter der gleichen quaderförmigen Hüllfläche in einem reflexionsarmen Halbraum vermessen. Die Ergebnisse geben Aufschluss über das Verhalten der Schallquellen in unterschiedlichen Messumgebungen und werden gemeinsam mit den ermittelten Korrekturfaktoren diskutiert.

Messungen

Die Messungen wurden mit einer Modellmaschine (MM) durchgeführt, mit der eine größere Maschine simuliert werden sollte (siehe Abbildung 1). Die MM besteht aus Aluminiumprofilen und 2 mm starken Aluminiumblechen und setzt sich aus 2 identischen Quadern zusammen. Es ergibt sich ein Bezugsquader mit den Maßen 2,80 m x 1,12 m x 1,73 m (Länge x Breite x Höhe). Unter der Aluminiumkonstruktion wurden zwei Referenzschallquellen Typ 4204 der Firma Brüel & Kjær aufgestellt. Auf die MM wurde zurückgegriffen, da diese gut transportierbar ist. Die Geräuschemission ist relativ breitbandig, sehr konstant und gut reproduzierbar.



Abbildung 1: Modellmaschine im reflexionsarmen Halbraum

Für die Vergleichsmessungen und für die Ermittlung der Umgebungskorrektur wurde eine dritte Referenzschallquelle Typ 4204 (RSS) eingesetzt.

Die Messungen wurden im reflexionsarmen Halbraum der BAuA sowie in vier industriellen Umgebungen im Hauptgebäude und in der zugehörigen Arbeitswelt Ausstellung (DASA) durchgeführt. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Messumgebungen. Abbildung 2 zeigt beispielhaft die Messumgebung R10. Tabelle 2 enthält eine Übersicht über die durchgeführten Messungen.

Es wurden 9 Messungen an 3 Tagen in den industriellen Umgebungen und 15 Messungen an 5 Tagen im reflexionsarmen Halbraum durchgeführt.

Tabelle 1: Übersicht über die Messumgebungen

Raum	Fläche in m ²	Höhe in m	Beschreibung
R1	140	6,2	Reflexionsarmer Halbraum
R6	2876	10,8 ...17,3	Große Halle, zum Teil mit Geräten und Einbauten
R7	423	10,8	Kleine Halle mit hoher Decke, weitestgehend leer
R9	171	3,2 ...7,0	Flacher, langer Raum mit Nischen, zum Teil mit Geräten und Einbauten
R10	210	2.3 ...3.7	Flacher Raum mit Stufen in Boden und Decke, eine Seite bestehend aus schräger Fensterreihe



Abbildung 2: Messumgebung R10 mit Modellmaschine

Tabelle 2: Messaufbauten, d Messabstand

Messung	Raum				
	R1	R6	R7	R9	R10
MM und Fremdgeräusch, Quaderhüllfläche, d = 1 m, 9 Mespunkte (MP)	x	x	x	x	x
RSS auf verschiedenen Positionen mit/ohne MM, Quaderhüllfläche wie für MM, d = 1 m, 9 MP	(x)	x	x	x	x
MM und Fremdgeräusch, Quaderhüllfläche, d = 2 m, 9 MP		x	x		
RSS und Fremdgeräusch, halbkugelförmige Hüllfläche, r = 2 m, 10 MP	x	x	x	x	x
Nachhallzeit, Impulsanregung und Rauschen		x	x	x	x

Ergebnisse

Das Fremdgeräusch war in allen Messumgebungen vernachlässigbar gering.

Zur Diskussion der ermittelten Schallleistungspegel der MM in den verschiedenen Messumgebungen wurden diese auf den Schallleistungspegel der RSS in derselben Messumgebung R bezogen (siehe auch [2])

$$\Delta L_{W,R} = [L_{W,MM,R} - L_{W,RSS,R}] \quad (1)$$

Die Differenzen sind in Abbildung 3 dargestellt.

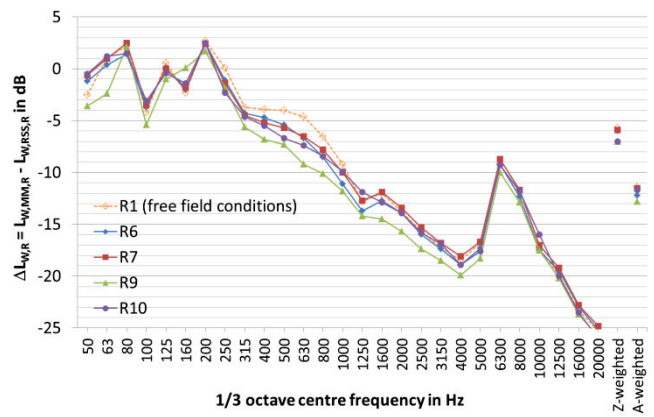


Abbildung 3: Differenz des Schallleistungspegels der MM und der RSS unter Freifeldbedingungen und in verschiedenen industriellen Umgebungen

Die Differenzen der Schallleistungspegel von MM und RSS unterscheiden sich für die verschiedenen Messumgebungen. Der Raumeinfluss auf den Schallleistungspegel ist demnach nicht derselbe für unterschiedliche Schallquellen. Abbildung 4 veranschaulicht dies durch Darstellung der Abweichung zwischen den industriellen Umgebungen (is = in situ) und dem reflexionsarmen Halbraum (ff = Freifeld)

$$\begin{aligned} \Delta L &= \Delta L_{is} - \Delta L_{ff} \quad (2) \\ &= [L_{W,MM,is} - L_{W,RSS,is}] - [L_{W,MM,ff} - L_{W,RSS,ff}] \end{aligned}$$

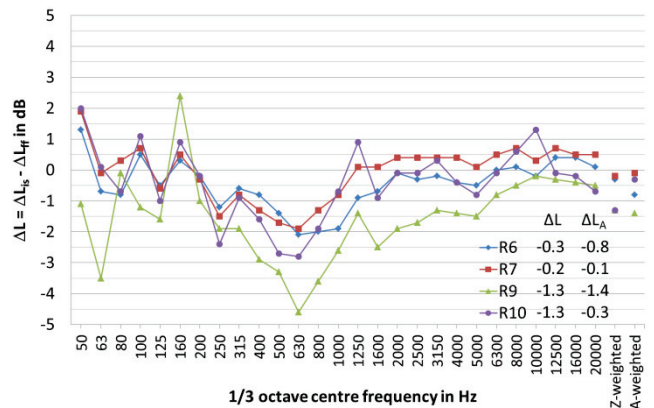


Abbildung 4: Abweichung der Differenzen des Schallleistungspegels von MM und RSS ermittelt in verschiedenen industriellen Messumgebungen und unter Freifeldbedingungen

Betrachtet man den A-bewerteten und den unbewerteten Gesamtpegel, betragen die Abweichungen zur Differenz im Freifeld bis zu 1,4 dB. Die Anwendung eines von der interessierenden Schallquelle unabhängigen Umgebungs-korrekturverfahrens ist in seiner Genauigkeit entsprechend begrenzt.

Abbildung 5 zeigt die Ergebnisse für die Umgebungs-korrekturverfahren. Aufgetragen ist die Differenz des unter in situ-Bedingungen ermittelten Schallleistungspegels der MM zum Referenzwert für die verschiedenen Messumgebungen. Die helleren, schraffierten Balken stellen dabei die Differenz des unkorrigierten Schallleistungspegels zum Referenzwert dar, die dunklen Balken die Differenz nach

Anwendung des entsprechenden Korrekturverfahrens. Der Abstand zwischen den jeweiligen Balkenenden zeigt demnach den Wert des Korrekturfaktors K_2 .

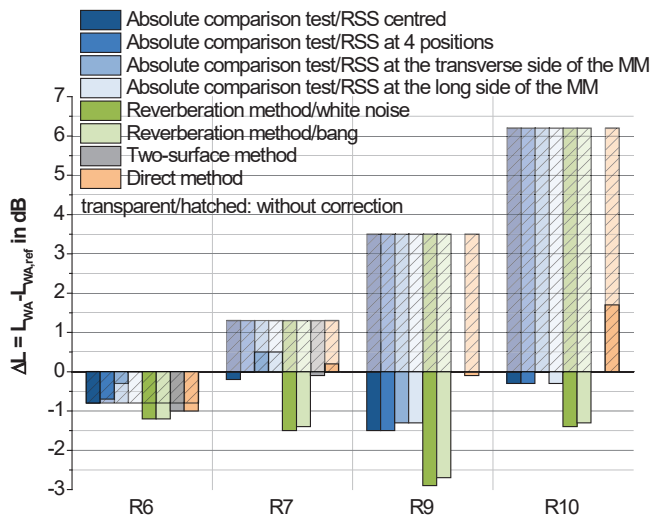


Abbildung 5: Differenz des unter in situ-Bedingungen ermittelten Schallleistungspegels der MM zum Referenzwert

Die Räume R6 und R7 sind Hallen mit hohen Decken, deren Raumrückwirkung entsprechend gering ist. In R6 liegt die ermittelte Schallleistung unter dem Referenzwert. In diesem Raum bringt nur das Absolutvergleichsverfahren mit MM („RSS at the transverse/long side of the MM“) gegenüber dem unkorrigierten Ergebnis eine Verbesserung. Dabei ist zu beachten, dass negative Werte für K_2 ermittelt wurden. Bei genauerer Betrachtung wird die Umgebungskorrektur für diese beiden Aufbauten jedoch unterschätzt. Vergleichsmessungen im reflexionsarmen Messraum haben gezeigt, dass für die RSS aufgrund der Abschirmung durch die MM ein um knapp 1 dB geringerer Schallleistungspegel gegenüber dem Referenzaufbau (Abbildung 6) und damit eine um den gleichen Wert zu niedrige Umgebungskorrektur ermittelt wird.

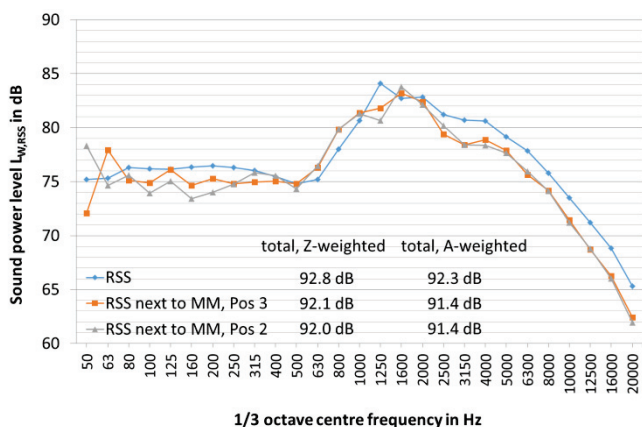


Abbildung 6: Schallleistungspegel der RSS unter der Quaderhüllfläche mit 1 m Messabstand bezogen auf die MM, ohne und mit MM, reflexionsarmer Halbraum

In R7 wird K_2 beim Absolutvergleichsverfahren mit MM ähnlich unterschätzt. In den halligeren Räumen R9 und R10 ist der Unterschied zum Absolutvergleichsverfahren ohne

MM („RSS centred/at 4 positions“) geringer, was sich mit der höheren Raumrückwirkung begründen lässt.

In einer älteren, hier nicht dargestellten Messreihe, wurde die RSS auf der dort verwendeten Modellmaschine platziert. In der Messreihe wurde die Umgebungskorrektur überschätzt, was sich mit der erhöht aufgestellten RSS (näher an den Mikrofonen positioniert) erklären lässt. Entscheidend für das Absolutvergleichsverfahren ist demnach die geeignete Positionierung der RSS.

In R10 ist die Raumrückwirkung am größten, die „wahre Umgebungskorrektur“, die Differenz zwischen dem unkorrigierten Schallleistungspegel in situ und unter Freifeldbedingungen beträgt 6,2 dB. Auch die nach DIN EN ISO 3744:2011 [1] ermittelten Umgebungskorrekturen liegen deutlich über der maximal zugelassenen Korrektur von 4 dB. Damit wäre hier eine Schallleistungsermittlung der MM nach Norm nicht möglich. Die korrigierten Pegel haben jedoch eine akzeptable Abweichung zum Referenzwert. Insbesondere das Absolutvergleichsverfahren führt mit maximal 0,3 dB Differenz des korrigierten Schallleistungspegels zum Referenzwert zu sehr guten Ergebnissen.

Auffällig ist weiterhin, dass das Nachhallverfahren in allen Räumen in einer Überschätzung der Raumrückwirkung resultiert.

Das Absolutvergleichsverfahren zeigt sich demnach am geeignetsten für die Anwendung in der Praxis, da es wenig von den Umgebungsbedingungen abhängig ist, derselbe Messaufbau wie für die zu vermessende Schallquelle verwendet wird und die Schallquelle bei geeigneter Positionierung einer Referenzschallquelle an ihrem Ort verbleiben kann. Problematisch ist lediglich, dass eine (relativ teure) Referenzschallquelle benötigt wird. Hierzu sind an der BAuA Untersuchungen geplant, die Umgebungskorrektur mithilfe einer alltäglichen Quelle als Referenzschallquelle zu ermitteln.

Danksagung

Frau Anke Berger und dem Team des Labors „Produkte und Arbeitssysteme“ danken wir für die engagierte Durchführung der Messungen.

Die vorgestellten Untersuchungen sind Teil des von der PTB koordinierten EMRP-Projektes SIB56 Sound Power.

The EMRP is jointly funded by the EMRP participating countries within Euramet and the European Union.

Literatur

[1] DIN EN ISO 3744:2011, Akustik - Bestimmung der Schallleistungs- und Schallenergiepegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen - Hüllflächenverfahren der Genauigkeitsklasse 2 für ein im Wesentlichen freies Schallfeld über einer reflektierenden Ebene

[2] Arendt, I., Kurtz, P.: Reasons justifying a revision of the existing sound power measurement standards. Proceedings Internoise 2016, Hamburg, Germany, 2016