

Eine neue Methode zur Weitergabe der Schalldruckeinheit „Pascal“ im freien Schallfeld

U. Richter, J. Beckmann

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

1. Einleitung

Die Schalldruckeinheit „Pascal“ wird in der PTB dargestellt und mit Hilfe von kalibrierten Messmikrofonen und Schallkalibratoren an die Anwender (z. B. Eichbehörden, DKD-Kalibrierlaboratorien, Hersteller und Nutzer von akustischen Messgeräten) weitergegeben. Für druckgerade Mikrofone geschieht dies nach genormten primären (Reziprozitäts-) /1/ oder sekundären Messverfahren /2/ mit typischen Messunsicherheiten bei mittleren Frequenzen von 0,03 dB bzw. 0,10 dB. Bei freifeldgeraden Mikrofonen dagegen ist das primäre (Reziprozitäts-) Messverfahren /3/ so zeitaufwendig, dass es für die Weitergabe aus Kostengründen nicht in Frage kommt. Die Weitergabe erfolgt hier ausschließlich nach dem bisher nicht genormten Substitutionsverfahren mit Messunsicherheiten bei mittleren Frequenzen von etwa 0,3 dB. Es wurde versucht, diese hohe Messunsicherheit zu verringern.

2. Substitutionsmethode

Bei dem im freien Schallfeld üblichen Substitutionsverfahren wird die von einem Lautsprecher abgestrahlte Schallwelle nacheinander mit einem Bezugsmikrofon (B) und dem zu prüfenden Mikrofon (P) gemessen. Um Leerlauf-Übertragungsmaße zu vergleichen, wird dabei das Ersatzspannungsverfahren verwendet. Die Pegeldifferenz der Ausgangsspannungen der beiden Mikrofone $L_{UP} - L_{UB}$ verhält sich dann pro Messfrequenz wie die Differenz der Leerlauf-Übertragungsmaße $G_{FP} - G_{FB}$ der Mikrofone im freien Schallfeld und man erhält folgendes mathematische Modell:

$$G_{FP} = G_{FB} + (L_{UP} - L_{UB}) + \delta_{Lin} + \delta_{FF} + \delta_T + \delta_{rF} + \delta_{sD} + \delta_{Lsp} + \delta_{akZ} + \delta_{Proz},$$

mit Korrekturen für Abweichungen von der Linearität der Spannungsmessungen δ_{Lin} , für Abweichungen von einem idealen Freifeld δ_{FF} , für Abweichungen bei der Temperatur δ_T , der Feuchte δ_{rF} und des statischen Drucks δ_{sD} von den Referenzwerten (23 °C, 50 %, 101,3 kPa), für Veränderung des Signalpegels durch Lautsprecher-Erwärmung δ_{Lsp} , für Abweichungen vom selben Messort der Mikrofone und in ihren akustischen Zentren δ_{akZ} und schließlich für Unterschiede in der Messprozedur δ_{Proz} . Bei sorgfältig durchgeführten Messungen liefert die Unsicherheit der Primärkalibrierung (G_{FB}) des Bezugsmikrofons den größten Beitrag zur Messunsicherheit der Sekundärkalibrierung (G_{FP}) des Prüfmikrofons.

3. Ein neuer Ansatz

Bei Mikrofonexemplaren der gleichen Bauart verhalten sich die Übertragungsfaktoren im Freifeld wie diejenigen in der Druckkammer /4/, d. h. pro Messfrequenz ist die Differenz der Übertragungsmaße desselben Mikrofontyps für Freifeld- und Druckkammerbedingungen konstant. Wenn nun diese Differenzen $C_{F-p}(f)$ zwischen verschiedenen Messinstituten fest verabredet und in der Folge genormt werden /5/, dann lassen sich die Freifeld-Übertragungsmaße von Bezugsmikrofonen viel genauer durch eine Kalibrierung in der Druckkammer bestimmen mit der Aussicht, auch die Substitutionskalibrierung im Freifeld mit wesentlich besserer Übereinstimmung durchführen zu können.

4. EUROMET Projekt A400

Um diesen neuen Ansatz zu erproben, wurde im Rahmen des EUROMET – der Vereinigung der europäischen Staatsinstitute – ein Vergleich der Freifeld-Kalibrierung von Mikrofonen durchgeführt. An dieser Vergleichsmessung nahmen fünf Staatsinstitute teil: CSIC (SP), DTU (DK), IEN (I), NPL (UK), und PTB (D). Das NPL fungierte dabei als Pilotlaboratorium.

4.1 Aufgabenstellung

Die Aufgabe bestand darin, ein vom Pilotlaboratorium verschicktes Mikrofon vom Typ B&K 4145 nach der Substitutionsmethode im freien Schallfeld bei Frequenzen zwischen 125 Hz und 12,5 kHz zu kalibrieren. Als Bezugs-Mikrofone sollten je zwei Laboratoriums-Normalmikrofone des Typs B&K 4160 (LS1P) und 4180 (LS2P) /6/ aus den teilnehmenden Laboratorien dienen. Ihre Druck-Übertragungsmaße mussten von den Teilnehmern mit Hilfe der Reziprozitätsmethode gemessen und mit Hilfe von vorgegeben „Freifeld-zu-Druck-Übertragungsmaß-Differenzen“ (siehe Tabelle 1) in Freifeld-Übertragungsmaße umgerechnet werden.

4.2 Messbedingungen

Die Vergleichsbedingungen wurden bei einem Schalldruckpegel von 84 dB und bei Messfrequenzen in Terzabständen zwischen 100 Hz und 12,5 kHz im reflexionfreien Raum der PTB (430 m³, $f_{ug} = 95$ Hz) durchgeführt. Die Mikrofone wurden in einem Abstand von 1 m vor dem Lautsprechersystem kalibriert. Die Messungen wurden an 5 aufeinander folgenden Tagen durchgeführt, wobei an jedem Tag zunächst die Bezugsmikrofone, dann das Prüfmikrofon und

anschließend wieder die Bezugsmikrofone gemessen wurden. Nur solche Messungen wurden gewertet, bei denen sich die Tagesergebnisse des gleichen Bezugsmikrofons um nicht mehr als 0,10 dB unterschieden (kritisch nur bei 6,3 kHz). Die Kalibrierungen fanden während einer sehr stabilen Wetterlage statt, so dass sich die Temperatur, der Luftdruck und die Feuchte um nicht mehr als 0,5°C, 0,3 kPa und 17% r.F. von den Referenzwerten (s.o.) unterschieden. An den Messergebnissen wurden daher keine Klimakorrekturen vorgenommen.

Tabelle 1 Vom NPL vorgegebene Differenzen von Freifeld- und Druck-Übertragungsmaßen C_{F-p} der Mikrofone 4160 und 4180 mit abgeschätzter Messunsicherheit $u(f)$ für $k=2$

f in kHz	C_{F-p} (4160) in dB	C_{F-p} (4180) in dB	$u(f)$ in dB
0,5	0,07	0	$\pm 0,10$
0,63	0,11	0	$\pm 0,10$
0,8	0,17	0	$\pm 0,10$
1	0,24	0	$\pm 0,10$
1,25	0,41	0	$\pm 0,10$
1,6	0,67	0	$\pm 0,10$
2	0,99	0,20	$\pm 0,10$
2,5	1,60	0,34	$\pm 0,10$
3,15	2,37	0,56	$\pm 0,10$
4	3,59	0,95	$\pm 0,10$
5	5,01	1,49	$\pm 0,10$
6,3	6,86	2,39	$\pm 0,20$
8	8,35	3,61	$\pm 0,20$
10	9,17	5,06	$\pm 0,20$
12,5	8,93	6,79	$\pm 0,20$

4.3 Ergebnisse

Die gemittelten Ergebnisse der Kalibrierung des Prüfmikrofons wurden an das Pilotlaboratorium gesandt. In Abhängigkeit von der Frequenz wurden dazu Messunsicherheiten zwischen 0,07 dB ($f < 300$ Hz) und 0,24 dB ($f > 5000$ Hz) errechnet.

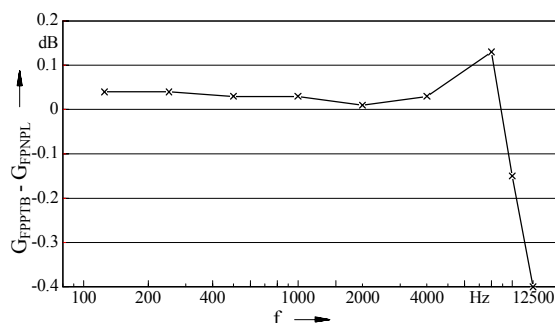


Bild 1 Differenzen der in der PTB und im NPL gemessenen Freifeld-Übertragungsmaße desselben B&K 4145 Mikrofons

Nach einer erneuten Kontrollprüfung des Prüfmikrofons im NPL wurden auch die dortigen Ergebnisse bekannt gegeben, allerdings nur für das 4160-Bezugsmikrofon sowie nur für

Messfrequenzen in Oktavabständen. In Bild 1 ist die Differenz zwischen PTB- und NPL-Ergebnissen aufgetragen. Zwischen 125 Hz und 4000 Hz treten keine größeren Unterschiede als 0,04 dB, zwischen 8 kHz und 10 kHz keine größeren als 0,15 dB auf. Nur bei 12,5 kHz gibt es eine Differenz von 0,4 dB. Übereinstimmungen in dieser Größenordnung sind als sehr gut einzustufen und sind nur möglich durch den o. g. neuen Ansatz.

5. Ungelöste Probleme

Die Kalibrierung eines Prüfmikrofons muss aber auch unabhängig vom Typ des Bezugsmikrofons (LS1P oder LS2P) möglich sein. Und hier treten vorerst Probleme auf:

In Bild 2 ist die Differenz der in der PTB gemessenen 4145-Ergebnisse für beide Bezugsmikrofone dargestellt (Kurve a). Es sind deutliche Abweichungen bei 400 Hz, 1600 Hz, 2500 Hz und 4000 Hz von bis zu 0,2 dB zu erkennen. Diese Abweichungen deuten auf ein nicht optimales Verhältnis der vom NPL vorgegebenen Freifeld-zu-Druck-Übertragungsmaß-Differenzen C_{F-p} der beiden Bezugsmikrofone hin. Nur mit geänderten C_{F-p} -Werten für die beiden Bezugsmikrofone (basierend auf C_{F-p} -Werten von 4 Staatsinstituten, mit einem geglätteten Auslauf zu tiefen Frequenzen hin und unter der Annahme einer gleichen mathematischen Funktion für die (F-p)-Werte der LS1P- und LS2P-Mikrofone) ergaben sich die in Bild 2, Kurve b dargestellten Differenzen. Sie sind nicht größer als 0,05 dB zwischen 100 Hz und 10 kHz. Als Ursachen für diese restlichen Differenzen wären die unterschiedliche Lage der akustischen Zentren für 4160- und 4180-Mikrofone und Abweichungen in den tatsächlichen Freifeldbedingungen ($1/r$ Verlauf) des Schallfeldes zu suchen.

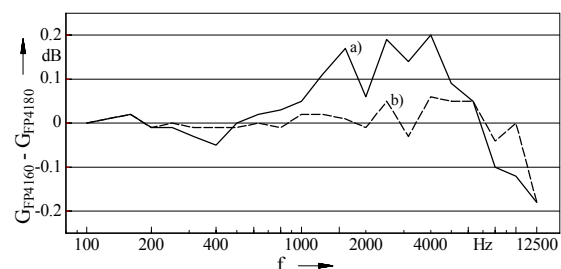


Bild 2 Differenz der in der PTB je mit einem 4160- und 4180-Bezugsmikrofon gemessenen Freifeld-Übertragungsmaße desselben B&K 4145 Mikrofons; Übertragungsmaße der Bezugsmikrofone berechnet a) nach NPL-Werten (siehe Tabelle 1) und b) nach modifizierten Werten.

8. Literatur

- /1/ DIN EN 61094-2 „Messmikrofone – Teil 2“; /2/ IEC / CD 61094-5; /3/ DIN EN 61094-3; /4/ IEC 655 (1979); /5/ WD 1 für IEC 61094-7; /6/ DIN EN 61094-1