

Untersuchungen zur Korrelation von Schalldrücken und Schallintensitäten verschiedener Positionen auf einer Hüllfläche im Feld von Schallquellen

Gerhard Hübner, David Kandelaki

ITSM, Universität Stuttgart, D-70569 Stuttgart, Germany, <http://www.itsm.uni-stuttgart.de>

Einleitung

Die von einer technischen Schallquelle, von Maschinen und Geräten abgestrahlte Luftschalleistung wird am häufigsten nach dem Hüllflächenverfahren gemessen, bei dem die auf dieser Fläche S angetroffene Messgröße entweder das Schalldruckquadrat (ISO 3740er Serie [1]) oder die Schallintensität (ISO 9614 [2]) ist. Auch wenn für das Schallintensitätsverfahren eine Scanning-Abtastung der Hüllflächenmessgröße normativ angeboten wird, ist die Messung an dem meist gleichmäßig über S diskret verteilten N Messpunkten für beide Verfahren heute noch die Regelanwendung. Aus den dabei entlang der Hüllfläche erzielten zeitlich gemittelten Größen-Daten wird dann bekanntlich das örtliche Mittel berechnet, dessen Unsicherheit zu der Unsicherheit der Zielgröße, der Schalleistung meist wesentlich beiträgt. Da einerseits der Messaufwand mit zunehmender Messpositionszahl N steigt und man andererseits die gefragte Schalleistung bzw. das betreffende örtliche Datenmittel mit einer bestimmten höchstzulässigen Unsicherheit u bestimmen möchte, stellt sich die schon öfter andiskutierte Frage nach einer gesicherten Regel, durch die die notwendige Messpunktanzahl N bei gegebener Unsicherheit u für die speziell bei der Messung vorliegende Feldsituation bestimmt werden kann.

Die Standardisierung [1], [2] und [3] bietet hierzu zwei verschiedene Beziehungen an.

In DIN45635, Teil 1 sowie in ISO3745, ISO3744, ISO3746 wird N - abhängig von der gewählten Messunsicherheitsklasse - als ein bestimmtes Vielfaches α der Differenz $L_{p,max} - L_{p,min}$ bestimmt:

$$N \geq \alpha \cdot (L_{p,max} - L_{p,min}) \quad (1)$$

wobei $L_{p,max}$ und $L_{p,min}$ die bei einer Vormessung "am Ort" auf der Hüllfläche angetroffenen Höchst- und Niedrig-Schalldruckpegelwerte sind.

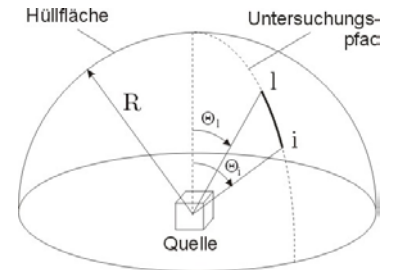
Das Schallintensitätsmessverfahren bestimmt N dagegen aus einer Gleichung:

$$N \geq C \cdot F^2 \quad (2)$$

wobei F der Variationskoeffizient der auf S gemessenen Verteilung der flächennormalen Schallintensitäten und C ein Faktor ist, der durch eine vorgegebene Spanne des Vertrauensbereiches sowie durch das gewünschte zugehörige Vertrauensniveau festgelegt ist.

Beide Bestimmungsgleichungen setzen voneinander unabhängige "Stichproben-Daten", also nicht-korrelierter Mess-

größen voraus. Sollte, wie zu vermuten, diese Voraussetzung in Schallfeldern praxisnaher technischer Schallquellen nicht zutreffen, müssten insbesondere bei überbestimmten N , die Gleichungen (1), (2) neu überdacht, und dabei nicht ausgeschlossen werden, dass die gleiche Messunsicherheitsgrenze u auch für kleinere N , also mit geringeren Messaufwand gewährleistet werden kann. Als einen ersten Schritt in dieser Richtung wird in dem Beitrag die Korrelationsfrage an Hand einiger Beispiele theoretisch und experimentell untersucht.



Phänomenologische Grundfakten

Die Korrelation benachbarter Messsondensignale in Feldern akustischer Schallquellen wird zunächst in einer theoretischen Übersicht als Funktion des wellenlängen bezogenen Sondenabstandes zusammengefasst. Als Parameter werden dabei variiert die Geometrie der Schallquelle- Punktquelle und flächenförmig ausgedehnte Quellen - ferner der Zeitverlauf ihrer Emission - tonal und stationäres Rauschen - die Feldgröße Schalldruckquadrat und Schallintensität sowie insbesondere der Abstand der beiden Sonden voneinander. Der für die schriftliche Fassung des Beitrages zur Verfügung stehende Raum erlaubt dabei allerdings nur eine verbale Darstellung der theoretischen Beschreibung, die im Vortrag aber durch Grafiken der betreffenden Zusammenhänge detailliert belegt wird.

Korrelationsfaktor und Kohärenzfunktion, Signale zweier Feldgrößen, $X(t, R_i)$ und $Y(t, R_i)$ beschreiben wir wie üblich durch

$$Q_{xy} = \frac{\overline{X(t, R_i) \cdot Y(t, R_i)^t}}{\sqrt{\overline{X^2(t, R_i)^t}} \cdot \sqrt{\overline{Y^2(t, R_i)^t}}}; \gamma_{xy} = \frac{|G_{xy}(t)|}{\sqrt{G_{xx}(t) \cdot G_{yy}(t)}}$$

wobei G_{xy} die sich aus der Kreuzkorrelationsfunktion R_{xy} ergebende (einseitige) Spektraldichte ist.

Theoretisch gilt: der Korrelationsfaktor Q_{xy} der Signale zweier Sonden in Feldern tonaler Quellen - Monopol, Dipol, eingebettete schwingende ebene Platten verschiedener Schwingungsordnungszahlen - pendelt unabhängig von der Entfernung für beide Feldgrößen, p^2 und I_n , zwischen plus und minus 1, zeigt also theoretisch auch für beliebig große Sondendistanzen grundsätzlich keine Bereiche mit

unkorreliertem Verhalten. Die Abhängigkeit von kd bzw. $kd \cdot L/R$ mit d als Sondenabstand, $k = 2\pi/\lambda$, L der Plattenabmessung und R der mittlere Messabstand verläuft lediglich für die Platte in einer steileren Sprungfunktion als für die Elementarstrahler, denen ein sanfter Übergang zwischen den Grenzen ± 1 eigen ist. Solange kd bzw. $kd \cdot L/R$ etwas kleiner als 3 entsprechend λ größer als $2d$ bzw. $2L/R$ hält sich der Wert $+1$ in etwa, was für einen Sondenabstand $d = 1\text{m}$, und $L \approx R = 1\text{m}$ einem Frequenzbereich von etwa 0 bis 170 Hz. Danach springt der Korrelationsfaktor mehr oder weniger steil auf minus 1.

Ein demgegenüber deutlich verschiedenes Verhalten zeigen erwartungsgemäß Rausch-Schallquellen.

Bei kovariantem Tiefpassrauschen eines Doppelmonopols klingt für den einzelnen Feldpunkt die für die Addition der beiden dort zusammentreffenden Schalldruckquadrat-Komponenten maßgebende Korrelation mit dem Unterschied der beiden Laufwege und mit zunehmender Grenzfrequenz f_0 deutlich ab. Die gleiche Tendenz besteht für den Doppelmonopol, der Bandpass-Rauschen der Mittenfrequenz f_m und Bandbreite Δf abstrahlt, und zwar hier auch für größer werdenden Abstand d_{ii} der Messsonden voneinander. Dieser Abklingvorgang vollzieht sich umso rascher, je breiter das Band ist.

Messergebnisse

Es wurden zahlreiche Messungen der Kohärenz in Feldern verschiedener Schallquellen in unterschiedlichen Räumen durchgeführt. Einige mit einem 2-Kanal FFT Analysator ermittelten Ergebnisse werden beispielhaft für $p(\mathbf{R},t)$ vorgestellt.

Eine multisinus angeregte kleine Stahlkapsel zeigt das für tonale Quellen erwartete Verhalten (Bild 1) mit $\gamma \approx 1$ durchgängig für alle untersuchten kd_{ii} -Werte im Semianechoic-Raum. Dem entspricht ein Bereich von Mikrofonabständen von 0,015 m bis 1,7 m und Frequenzen zwischen 500 Hz und 2408 Hz.

Im Feld eines Radialgebläses, das ein breitbandiges Rauschen mit Überlagerung einiger tonaler Komponenten abstrahlt, wurden im Semianechoic-Raum γ -Werte zwischen 1,0 und 0,8 für $kd_{ii} < 3$ ermittelt, die bei einem Messabstand von 1m einem Bereich $f < 150$ Hz entsprechen (Bild 2). Das Schallfeld der gleichen Schallquelle führte in einer stark halligen, aber mit $K_{2A} = 6$ dB, also in einer für das p^2 -Hüllflächen-Verfahren noch zulässigen Umgebung, selbst bei kleinsten Messabständen von 0,015 m zu γ -Werten, die größtenteils deutlich unter 1 liegen (Bild 3). Aber auch unter diesen Umgebungsbedingungen gibt es im untersuchten praxisnahen Parameterbereich keine durchgehenden Bereiche mit $\gamma = 0$, die also eine statistische Unabhängigkeit der betrachteten Feldgrößen anzeigen würde.

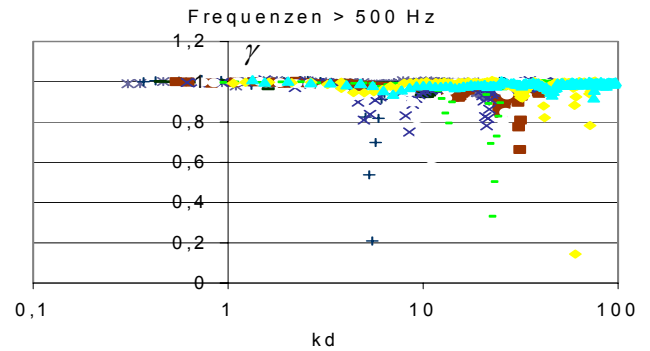


Bild 1: Kohärenzfunktion für Multisinus-Feld der Blechkapsel

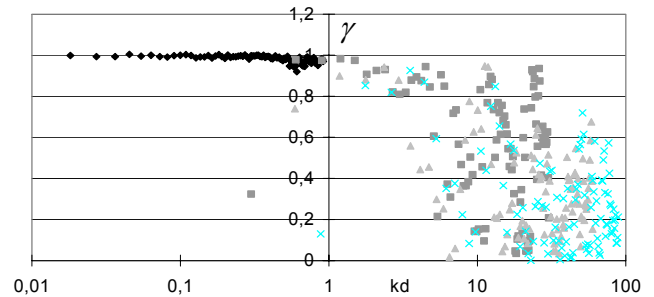


Bild 2: Kohärenzfunktion für Radialgebläse-Feld im Semianechoic-Raum

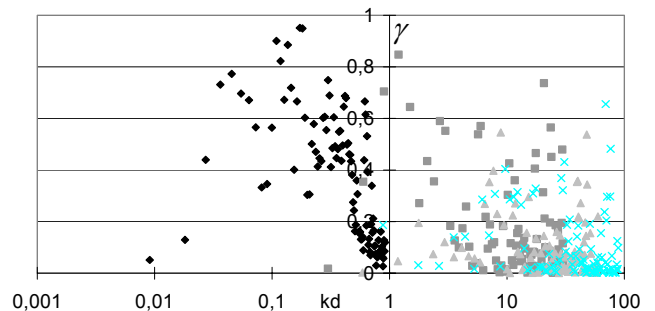


Bild 3: wie Bild 2 aber gemessen in einem stark halligen Raum

Literatur

- [1] DIN 45635-1 Geräuschmessung an Maschinen; Luftschallemission, Hüllflächen-Verfahren; Rahmenverfahren für 3 Genauigkeitsklassen, 1984-04
- [2] DIN EN ISO 3744 Akustik – Bestimmung der Schalleistungspegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen – Hüllflächenverfahren der Genauigkeitsklasse 2 für ein im wesentlichen freies Schallfeld über einer reflektierenden Ebene, 1995-11
- [3] DIN EN ISO 9614-1 Akustik – Bestimmung der Schalleistungspegel von Geräuschquellen aus Schallintensitätsmessungen – Teil 1: Messungen an diskreten Punkten 1995-06
- [4] Gerhard Hübner: Zur Schalleistung von Schallquellsystemen – Abstrahlung, Messung: Impedanz und Winkelfehler. DAGA '75, Braunschweig, Kongressbericht VDE-Verlag, Berlin 1975, S. 215-218
- [5] David Kandelaki: Spatial correlation of intensity fluctuations in a field of random modulated sources; Soviet Physics Acoustics. 35(1) Jan.-Feb. 1989