

Beschreibung von Schallquellen

Wolfram Bartolomaeus

Bundesanstalt für Straßenwesen, 51427 Bergisch Gladbach, Deutschland, Email: bartolomaeus@bast.de

Einleitung

Die Schallabstrahlung eines auf der Straße vorbeifahrenden Fahrzeugs wird für die Berechnung der Schallausbreitung meist stark vereinfacht. Die meisten Rechenmodelle verwenden den (A-bewerteten) längenbezogenen Schallleistungspegel und modellieren den Fahrzeugstrom als (inkohärente) Linienschallquelle über einer reflektierenden Halbebene. Auch fortgeschrittene Rechenmodelle, die mehrere Schallquellen, Frequenzspektren, Richtcharakteristiken und (teil-)kohärente Schallausbreitung im Raum beinhalten, haben keine wesentlich detailliertere Quellenbeschreibung. Zumindest werden aber einige wesentlichen Aspekte der Schallabstrahlung – wenn auch nur pauschal – berücksichtigt.

Berechnungen mit der Finite- oder Rand-Elemente-Methode (FEM/BEM) rechnen im Frequenzbereich und verwenden kohärent abstrahlende Punktschallquellen. Für größere Rechenmodelle mit Reflexion und Beugung werden zumeist lediglich zweidimensionale Berechnungen durchgeführt. Die Berücksichtigung der spektralen Charakteristik der Quelle ist problematisch. Die Methode der Parabolische Gleichung (PE), die ebenfalls im Frequenzbereich arbeitet, beinhaltet auch die Berechnung von Schallwind- und Temperaturverteilungen im Ausbreitungsgebiet können damit berücksichtigt werden.

All diesen Berechnungsverfahren, ob ingenieurmäßig oder physikalisch, fehlt derzeit eine (physikalische) Modellierung der Schallquelle selbst – des vorbeifahrenden Fahrzeugs einschließlich seiner (Luft-)Bewegung. Da es sich um transiente Vorgänge handelt, eignet sich hierfür z.B. die Finite-Differenzen-Methode im Zeitbereich (FDTD) besser. Mit ihr wurde in einem ersten Schritt der Versuch unternommen, (teilweise) inkohärent abstrahlende Schallquellen zu modellieren. Die Anwendung auf vorbeifahrende Fahrzeuge soll später erfolgen.

Kohärenz

Eine Definition der „Kohärenz“ wurde schon auf der letzten DAGA gegeben [1]. Hier sei ergänzt, dass von radialer oder winkelabhängiger Kohärenz gesprochen werden kann, wenn der von einer Schallquelle abgestrahlte Schalldruck in radialer Richtung oder in verschiedenen Winkeln kohärent ist. In diesem Zusammenhang wird die ganze Schallquelle bzw. das von ihr erzeugte Schallfeld als „kohärent“ bezeichnet.

Vorbeifahrt

In Abbildung 1 wird die Kurzzeit-Kohärenz eines mit ca. 100 km/h auf einem dichten Fahrbahnbelag vorbeifahrenden Fahrzeugs gezeigt.

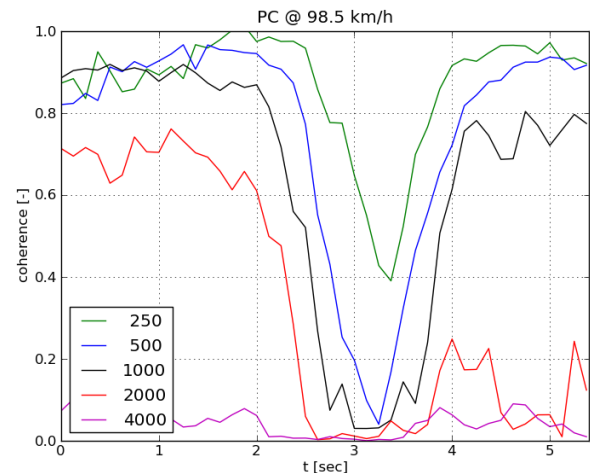


Abbildung 1: Zeitverlauf der Kohärenz eines auf einer normalen Oberfläche mit einer Geschwindigkeit von ca. 100 km/h vorbeifahrenden Testfahrzeugs in Terzbändern von 250 Hz bis 4 kHz.

Der Einbruch der Kohärenz bei der größten Annäherung ist bei den hohen Frequenzen erheblich. Ursache dafür ist wahrscheinlich die Luftverwirbelung des Schallfeldes.

In Abbildung 2 ist die Kohärenz als Funktion der Frequenz im Bereich von 300 Hz bis 3 kHz für fünf Vorbeifahrten eines Pkw im Geschwindigkeitsbereich von 30 km/h bis 120 km/h.

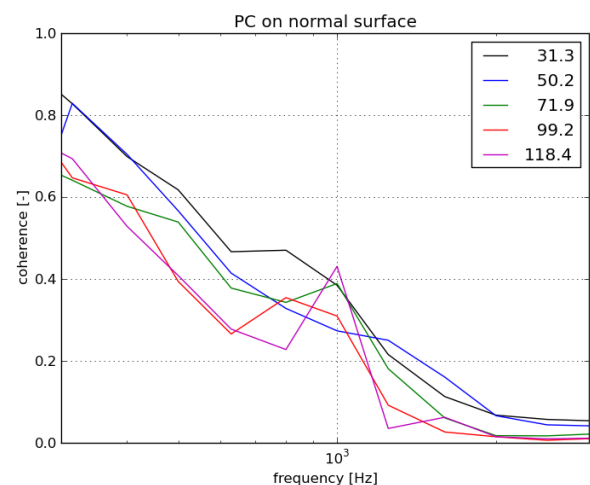


Abbildung 2: Kohärenz als Funktion der Frequenz im Bereich von 300 Hz bis 3 kHz für fünf Vorbeifahrten eines Pkw im Geschwindigkeitsbereich von 30 km/h bis 120 km/h.

Die Kohärenz ist für alle Geschwindigkeiten für Frequenzen oberhalb von 400 Hz kleiner als 0,5.

Schallquellen

In den Abbildungen 3 und 4 ist die winkelabhängige Kohärenz als Funktion der Frequenz für einen Bauakustiklautsprecher B&K Typ 4224 und für eine Referenzschallquelle für Hallräume B&K Typ 4204.

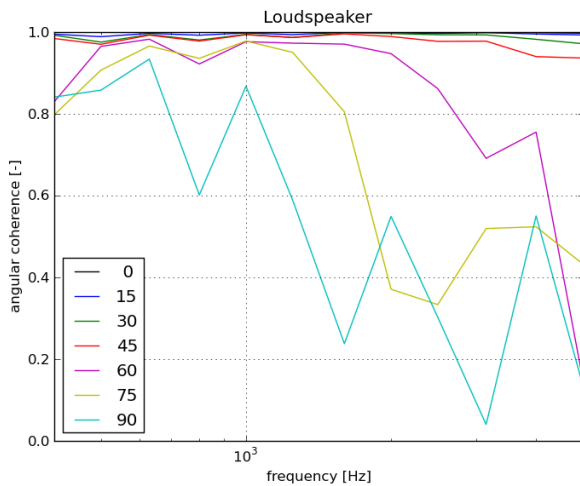


Abbildung 3: Winkelabhängige Kohärenz eines Lautsprechers.

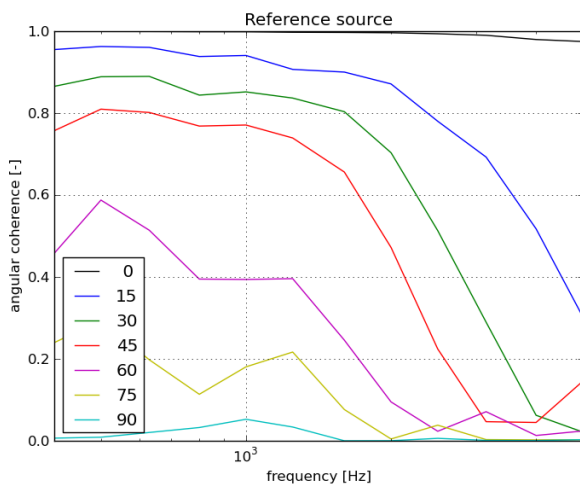


Abbildung 4: Winkelabhängige Kohärenz einer Referenzschallquelle.

Die Abnahme der Kohärenz für Winkel oberhalb 45° beim Lautsprecher ist auf Beugung und Reflexion am Gehäuse zurückzuführen. Überdies nimmt die Schallenergie stark ab. Die Kohärenz der Referenzschallquelle nimmt schon bei Winkeln unter 45° zu Frequenzen oberhalb 1 kHz stark ab.

FDTD

Zur Modellierung von Inkohärenten Schallquellen wurde die 2-D Schallausbreitung in einem PYTHON Programm der Finite-Differenz im Zeitbereich (FDTD) implementiert. Dabei wurde der Yee-Algorithmus [2] angewendet, der für die Ausbreitung elektromagnetische Wellen entwickelt wurde.

Es wurde ein 71 x 71 großes Gitter verwendet, dessen Ränder mit einer zehn Zellen (1 m) dicken absorbierenden Schicht belegt wurden, so dass eine nutzbare Fläche von 5m x 5m zur Verfügung stand.

Es wurden drei Quellen modelliert. Q1 war ein Monopol, der weißes Rauschen abstrahlte. Q5 bestand aus vier „transparenten“ unkorrelierten Rauschquellen und einer „harten“ Quelle in der Mitte, die Null abstrahlte. Bei Q9 wurden noch vier weitere „transparenten“ Quellen verwendet. Transparent“ heißt, dass ankommende Schallwellen die Quelle ungehindert durchdringen, während sie bei einer „harten“ Quelle reflektiert werden.

Q9	Q5	Q9
Q5	Q1	Q5
Q9	Q5	Q9

An sieben Positionen in je 1,5 m Abstand, jeweils 15° voneinander entfernt, wurde simultan der Schalldruck aufgezeichnet. Das Ergebnis der Kurzzeitkorrelation je zweier symmetrisch angeordneter Mikrofone“ ist für 1250 Hz in Abbildung 5 dargestellt.

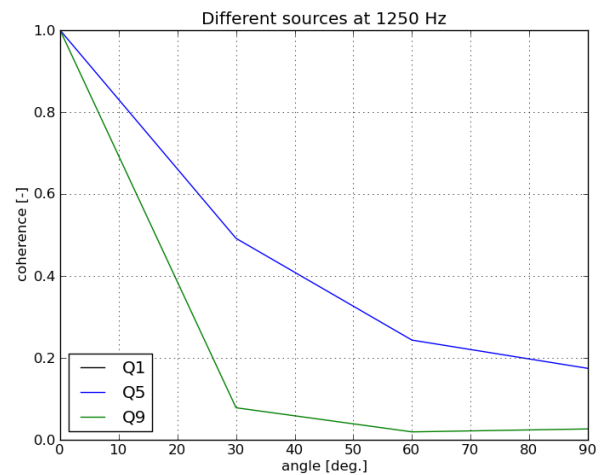


Abbildung 5: Winkelabhängige Kohärenz von drei virtuellen Schallquelle bei 1250 Hz.

Die Abnahme der Kohärenz ist für Q5 und besonders für Q9 deutlich.

Literatur

- [1] Bartolomaeus, W.: „Vorbeifahrtpegel von Straßenfahrzeugen“, DAGA 2010, Berlin
- [2] Taflove, A.; Hagness, S. C.: Computational Electrodynamics – The Finite-Difference Time-Domain Method”, Art House, Boston, 2005