

Einfluss der unmittelbaren Umgebung auf den Strahlungswiderstand von Hornschallquellen

J. Klaus¹, J. Enders¹, K. Lange², G.-P. Ostermeyer¹

¹ TU Braunschweig, Institut für Dynamik und Schwingungen, 38106 Braunschweig,

E-Mail: gp.ostermeyer@tu-braunschweig.de

² Volkswagen AG, 38440 Wolfsburg

Einleitung

In modernen Kraftfahrzeugen sind per Gesetz akustische Warnsignalgeber vorgeschrieben, welche unter dem Begriff „Hupe“ allgemein bekannt sind. Eine häufig verwendete Bauform ist der sogenannte „horn trumpet type“, bei welchem eine Membran einen Wechseldruck in einer Druckkammer erzeugt und dieser Wechseldruck über einen schneckenförmigen Trichter abgestrahlt wird.

Der durch den Warnsignalgeber emittierte Schalldruckpegel wird durch die ECE-Regelung Nr. 28 [1] vorgeschrieben. Der untere Grenzwert von 93 dB in 7 m vor dem Fahrzeug stellt die Automobilhersteller zunehmend vor eine Herausforderung, da im Zuge der lärmarmen Fahrzeugkonstruktion ein gut gekapselter Motorraum den Schall des Warnsignalgebers zu einem großen Teil absorbiert. Eine Möglichkeit, diesem Problem entgegenzutreten, besteht darin, die Hupe so zu positionieren, dass der Bauraum als verlängerter Trichter wirkt und damit den Strahlungswiderstand vergrößert. Die Idee lehnt sich an das sogenannte Klipschhorn [2][3] an, bei dem der Wirkungsgrad eines Lautsprechers erhöht wird, indem er in eine Raumecke ausgerichtet ist. Im Motorraum können dazu bereits vorhandene Kanten oder Flächen beitragen. Es soll hier untersucht werden, welche Abstände zwischen Mündungsfläche und einer vor der Öffnung platzierten ebenen Platte die Impedanzanpassung optimieren.

FE-Modell

Zur Bestimmung der abgestrahlten Leistung wurde ein rotationssymmetrisches FE-Modell erstellt, bei welchem eine Platte mit variablem Abstand l_r vor der Mündungsfläche eines Exponentialhorns platziert ist (vgl. Abbildung 1). Infolge der rotationssymmetrischen Geometrie ist lediglich ein halbkreisförmiges Gebiet zu diskretisieren. Dazu wird das FE-Softwarepaket ANSYS Classic verwendet, mit dessen Skriptsprache APDL alle FE-Arbeitsschritte von der Modellerstellung bis zum Postprocessing parametrisiert und automatisiert durchgeführt werden. Die zur Modellgenerierung nötigen Parameter werden dazu aus Parameter-Dateien eingelesen. Diese werden automatisiert einzeln durch ein Python-Skript aus einer Parameter-Vorlagedatei erstellt, welche die konstanten und den zu variierenden Parameter der Simulationsreihe enthält. Die anschließende Berechnung der Simulationen erfolgt durch ein weiteres Python-Skript, welches ANSYS im Batchmodus sequentiell für jede Simulation der Simulationsreihe aufruft. Zur erweiterten Auswertung der Simulationsergebnisse dient ein drittes Python-Skript, das alle Ausgabegrößen berechnet, die nicht durch den ANSYS-internen Postprocessor zugänglich sind.

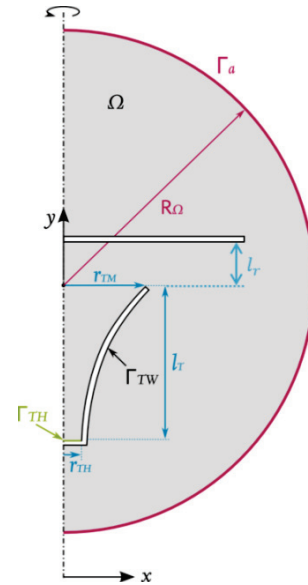


Abbildung 1: Rotationssymmetrisches FE-Modell – Exponentialhornschnitt im halbkreisförmigen Gebiet Ω

Simulation

Die komplexen Ausgabegrößen Druck und Schnelle werden multipliziert und die sich ergebene Intensität wird über die Hüllfläche Γ_a integriert. Das Integral entspricht der durch die Berandung tretenden Leistung, die nach der Energieerhaltung gleich der von dem Horn abgestrahlten Leistung ist. Diese abgestrahlte Leistung wird in Abhängigkeit des Abstandes l_r betrachtet (Abbildung 2 und 3).

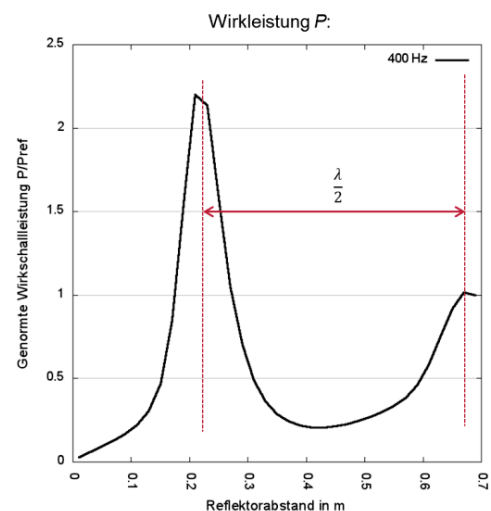


Abbildung 2: Genormte Wirkschalleistung P bei 400Hz in Abhängigkeit vom Plattenabstand l_r .

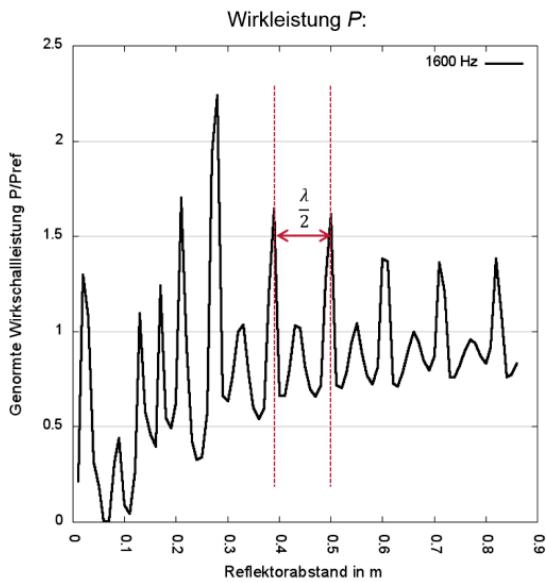


Abbildung 3: Genormte Wirkschalleistung P bei 1600Hz in Abhängigkeit vom Plattenabstand l_r .

Die Referenz $P = 1$ entspricht dabei der abgestrahlten Leistung ohne Reflektor. Es ergibt sich, dass die Schallleistung je nach Frequenz um bis zu 120 % angehoben werden kann. Günstige Abstände sind frequenzabhängig und wiederholen sich in einem Abstand von $\frac{\lambda}{2}$. Plottet man die räumliche Druckverteilung (Abbildung 4), so zeigt sich je nach Abstand l_r ein mehr oder weniger stark ausgeprägtes Interferenzbild. Die Interferenzen führen zu einer starken abstandsabhängigen Horneingangsimpedanz und beeinflussen auf diese Weise maßgeblich den elektro-akustischen Wirkungsgrad.

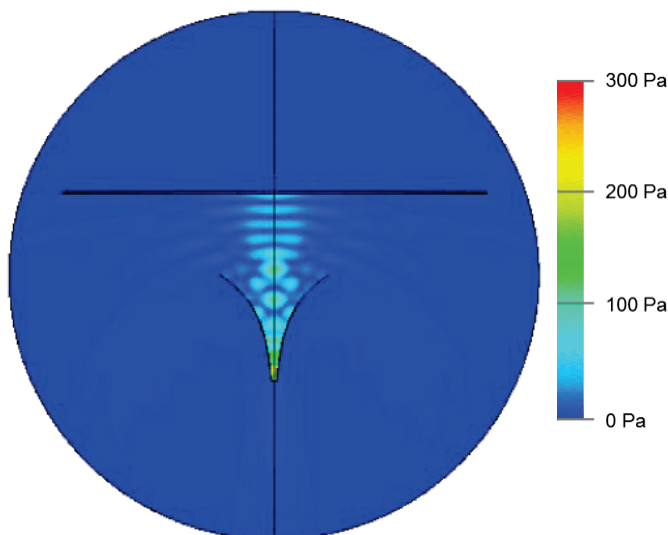


Abbildung 4: Räumliche Schalldruckpegelverteilung – ausgeprägte stehende Wellen zwischen Platte und Hornmündungsfläche.

Während die Richtcharakteristik im tiefen Frequenzbereich einer Kugelcharakteristik nahe kommt, ergeben sich zu

hohen Frequenzen hin ausgeprägte Keulen und der Einfluss der mündungsnahen Platte auf die Abstrahlrichtung nimmt zu (vgl. Abbildung 5).

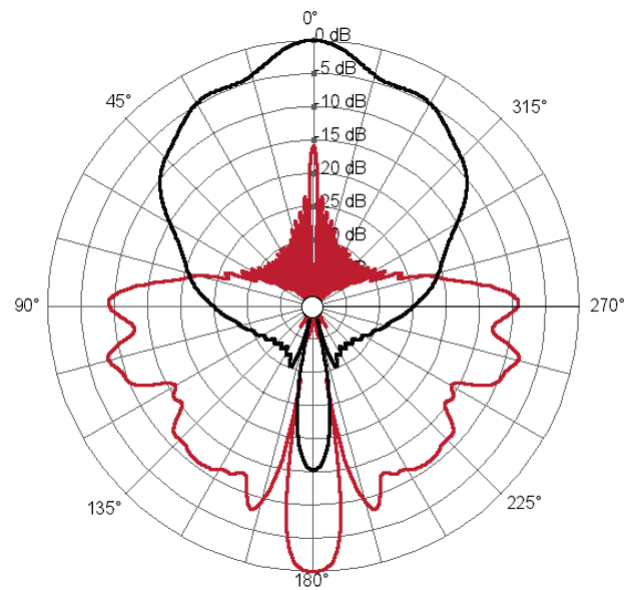


Abbildung 5: Simulierte Richtcharakteristik bei 2000 Hz mit (rot) und ohne (schwarz) Reflektorplatte

Zusammenfassung und Ausblick

Wie durch Simulationen bestätigt worden ist, kann die abgestrahlte Leistung einer Hornschallquelle maßgeblich erhöht werden, wenn die Umgebung als verlängerter Trichter wirkt. Im Modell wird eine sich vor der Trichtermündung befindende Platte im Abstand variiert und die abgestrahlte Leistung betrachtet. Es zeigt sich, dass sich günstige Entfernungen im Abstand vom $\frac{\lambda}{2}$ wiederholen und ungünstige Abstände die abgestrahlte Leistung sogar mindern können. Da die günstigen Abstände immer frequenzabhängig sind, muss der gewählte Abstand ein Kompromiss sein, der aus der spektralen Zusammensetzung der Quelle hervorgeht.

Somit können bereits bestehende Flächen oder sogar Kanten und Ecken im Motorraum dazu verwendet werden, den elektro-akustischen Wirkungsgrad der Hupen zu erhöhen. Dieses Vorgehen stellt eine Möglichkeit dar, der zunehmenden, für die akustischen Warnsignalgeber kritischen Motorraumkapselung entgegenzuwirken.

Literatur

- [1] Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN/ECE): Regelung Nr. 28, Einheitliche Vorschriften für die Genehmigung der Vorrichtungen für Schallzeichen und der Kraftfahrzeuge hinsichtlich ihrer Schallzeichen, 2011
- [2] Beranek L.; Mellow T.: Acoustics: Sound Fields and Transducers, 2012
- [3] Klipsch, P. W.: Patent US D163700 S, "Room-corner loud-speaker", 1951