

15 (1988) Neue Forschungsergebnisse, kurz gefaßt

Fraunhofer-Institut für Bauphysik

U. Ackermann, H.V. Fuchs

Modelluntersuchungen an einem Akustik-Windkanal für Pkw *)

Bei den Anforderungen an moderne Pkw wird immer mehr Wert auf ein geräuscharmes Fahrzeug gelegt. Es ist jedoch nicht nur die Lärmquelle Motor zu bekämpfen, sondern auch die Geräusche sind wichtig, die bei der Umströmung des Pkw während der Fahrt entstehen. Sie können sowohl die Fahrzeuginsassen als auch die Anwohner von Straßen stören. Das Strömungsgeräusch beinhaltet häufig besonders störende Pfeiftöne, die durch Komponenten der Karosserie wie z.B. Antennen, Scheibenwischer usw. hervorgerufen werden. Eine aero-akustische Optimierung der Karosserie wird nach dem Stand der Technik durch Fahrversuche vorgenommen. Während der Fahrt treten aber noch andere Schallquellen wie z.B. Motor- und Rollgeräusche auf. Außerdem ist das Wetter eine schwer kalkulierbare Einflußgröße. Deshalb hat sich ein führender deutscher Pkw-Hersteller entschlossen, einen Windkanal zu bauen, in dem akustische Messungen an Fahrzeugen im Stand möglich sind. Eine umfangreiche Literaturstudie zeigte sehr deutlich, daß Erfahrungen über den Aufbau lärmarmen Windkanäle nicht ohne weiteres auf die speziellen baulichen Voraussetzungen und Fragestellungen des Auftraggebers übertragbar waren. Um aerodynamische Komplikationen (z.B. Pulsieren der Strömung im geschlossenen Kanal) und akustische Probleme (z.B. hinsichtlich der Eigengeräusche der Anlage) von vornherein auszuschließen, wurde vereinbart, alle Komponenten des Windkanals (u.a. Düse, Meßkammer, Auffänger, Schalldämpfer, Gebläse) in Modell-Untersuchungen (Maßstab 1:8) zu testen und zu optimieren. Der Projekt- ablauf gliederte sich in drei Abschnitte:

- (1) Analyse und Reduktion der aero-akustischen Geräuschentstehung in einem Windkanalmodell mit einer Freistrahlmessstrecke [1];
- (2) Eignungsnachweis (im optimierten Kanal-Modell) für Messungen des Strömungsgeräusches von Fahrzeugen [2];
- (3) Vergleich der aus den Modell-Untersuchungen gewonnenen Daten mit Meßergebnissen der fertiggestellten Anlage [3].

Modellmeßtechnik

Damit die im Modell ermittelten Ergebnisse auf das Original übertragen werden können, müssen folgende Ähnlichkeitsbedingungen eingehalten werden:

Geometrische Ähnlichkeit

Original und Modell sind einander geometrisch ähnlich, wenn alle Abmessungen im selben Maßstab M abgebildet werden. Das gilt auch für die Koordinaten der Meßpunkte.

*) Im Auftrag der BMW-Technik GmbH, München

Akustische Ähnlichkeit

Geometrisch verkleinerte Modelle sind dem Original akustisch ähnlich, wenn in beiden Systemen die Helmholtzzahlen gleich sind,

$$He = \frac{l}{\lambda} = \frac{l \cdot f}{c} = \text{const.},$$

- mit l = charakteristische Länge
(z.B. hydraulischer Durchmesser der Düse)
 λ = Wellenlänge
 f = Frequenz
 c = Schallgeschwindigkeit

Für $M = 1:8$ muß also die Frequenz bei Modell-Messungen f_m um den Faktor 8 gegenüber f_a der Ausführung angehoben werden. Dies hat z.B. zur Folge, daß für $f_a = 2$ kHz bereits die Ausbreitungsdämpfung berücksichtigt werden muß.

Strömungsmechanische Ähnlichkeit

Wird der Schall aerodynamisch erzeugt, müssen auch Machzahl (Ma) und Reynoldzahl (Re) gleich sein,

$$Ma = \frac{u}{c} ; \quad Re = \frac{u \cdot l}{\nu} ,$$

- mit u = Strömungsgeschwindigkeit
 ν = kinematische Zähigkeit $\approx \frac{1}{7} \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ in Luft.

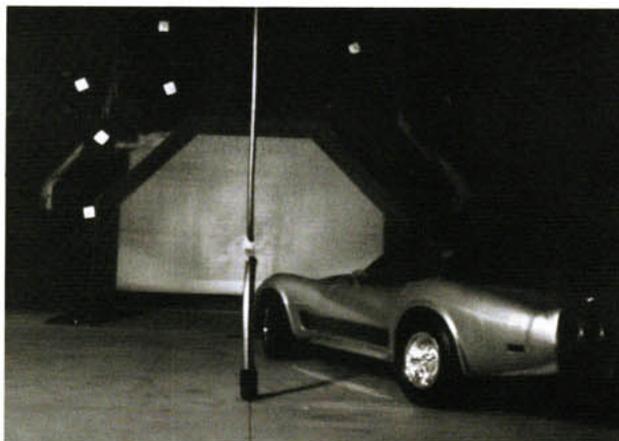


Bild 1: Testobjekt und Meßsonden im Modell des Windkanals

Die Konstanz von Ma schließt die Konstanz der Strouhalzahl (St) wegen der Beziehung

$$St = \frac{He}{Ma} = \frac{f \cdot l}{u}$$

mit ein. Wird, wie im vorliegenden Fall, im Original und im Modell im gleichen Medium (Luft) gemessen, ist die Bedingung gleicher Re und Ma nicht einzuhalten. Als Ausweg wird deshalb gefordert, daß im Original und im Modell $Re > 10^5$ ist, d.h. in jedem Fall eine vollständig entwickelte turbulente Strömung vorliegt.

Versuchsaufbau

Der Akustik-Windkanal wird als geschlossener Freistrah-Windkanal aufgebaut. Die Luft strömt durch eine Düse in die Meßkammer ein und durch einen gegenüberliegenden Auffänger heraus. Der kleinste erreichbare Schallpegel in der Meßstrecke einer solchen Anlage ist gegeben durch den Strahlärm, der bei turbulenter Vermischung im Freistrah entsteht. Das Gebläsegeräusch läßt sich durch geeignete Schalldämpfer genügend stark vermindern. Zusätzlich entsteht Schall durch die Wechselwirkung der Strömung mit den Wänden der Meßkammer. Um diese zweite Quelle minimieren zu können, benötigt man für die Modellmessungen einen Strömungserzeuger mit einem sehr niedrigen Eigengeräuschpegel. Diese Bedingung erfüllt in geradezu idealer Weise der Schalldämpfer-Prüfstand im IBP. Für die Untersuchungen wurde das Meßkammermodell direkt an den Sendehallraum angeschlossen. Das Foto in Bild 1 zeigt einen Blick aus der Meßkammer durch die Düse in den Sendehallraum. Die Meßkammer ist 2 m lang, 0,9 m hoch und 1,9 m breit. Ihre Wände sind innen mit Mineralfaserplatten reflexionsarm ausgekleidet. Das Foto in Bild 2 zeigt zum Vergleich die Düse in der ausgeführten Anlage.

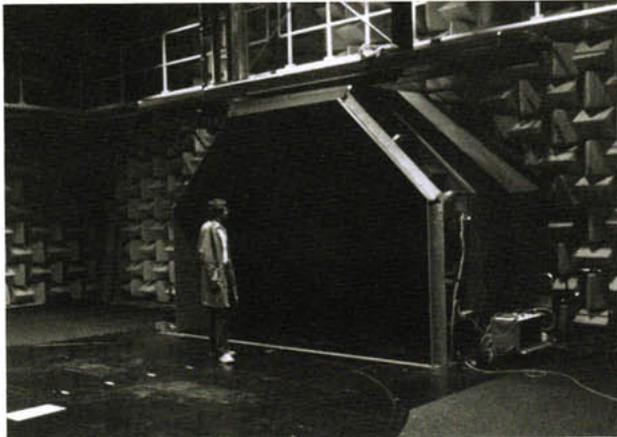


Bild 2: Blick auf die Düse im ausgeführten Akustik-Windkanal

Ergebnisse

Bild 3 zeigt ein typisches Schmalbandspektrum in der nicht optimierten Meßkammer, außerhalb des Freistrahls gemessen. Die Spitzen im Spektrum werden durch großräumige Ringwirbelstrukturen im Freistrah erzeugt. Prallen diese Wirbel auf die gegenüberliegende Wand, strahlen sie bei ihrer Folgefrequenz Schall ab, der das Entstehen der Wirbel in der Düsenebene triggert. Diese Rückkopplung wirkt besonders gut im Strouhalzahlbereich um 0,5 [4]. Bei der entsprechenden Frequenz ($f_m = 30$ Hz) wird der Deckel der Meßkammer zu so starken Schwingungen angeregt, daß nur ein sofortiges Abschalten der Strömung die Meßkammer vor der Zerstörung bewahrt. In der optimierten Meßkammer konnte sowohl im Modell als auch in der Ausführung das Auftreten der Schwingungen vermieden werden, wie der Vergleich in Bild 4 zeigt.

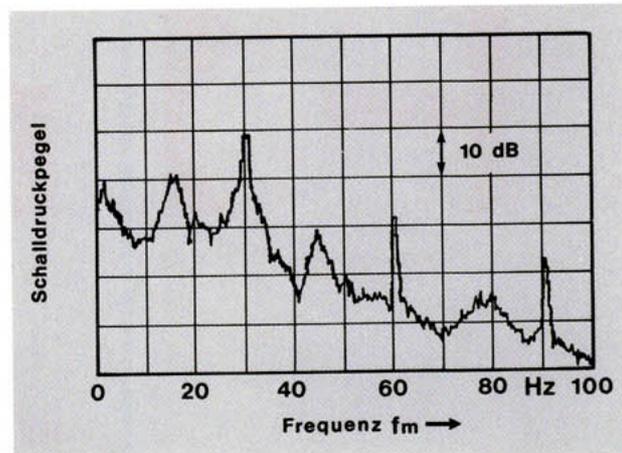


Bild 3: Schmalbandspektrum in der leeren, nicht optimierten Meßkammer; Bandbreite 0,25 Hz; Strömungsgeschwindigkeit 130 km/h

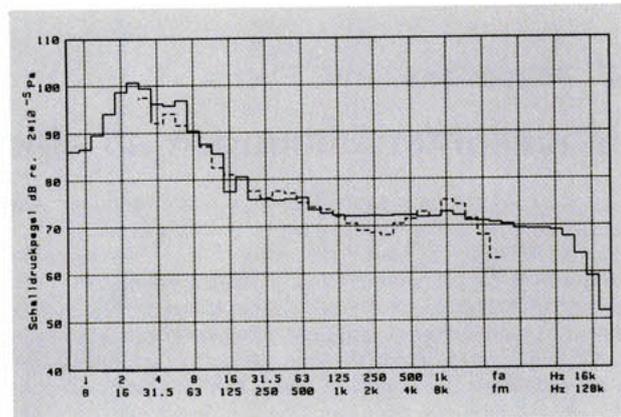


Bild 4: Ternärspektrum im Modell (---) und in der Ausführung (—) des Akustik-Windkanals
Strömungsgeschwindigkeit 150 km/h
Mikrofonposition außerhalb des Freistrahls

Resümee

Die gute Übereinstimmung der beiden Messungen an geometrisch ähnlichen Orten im Modell und im Original zeigt die Tauglichkeit der Modellmeßtechnik für die Auslegung von Akustik-Windkanälen. Die Minimierung der Schallentstehung am vergleichsweise preiswerten Modell spart Nachrüstkosten im Original, die die Kosten der Modellmessungen bei weitem übersteigen.

Literatur

- [1] U. Ackermann: "Einfluß von Randbedingungen auf die Druckschwankungen in der Meßstrecke eines aero-akustischen Windkanals". IBP-Bericht BS 133/85 (1985).
- [2] U. Ackermann: "Bestimmung der Druckschwankungen im Modell eines aero-akustischen Windkanals". IBP-Bericht BS 143/86 (1986).
- [3] U. Ackermann; A. Jacobs: "Schallmessungen im Akustik-Windkanal. Vergleich Modell - Original". IBP-Bericht BS 162/87 (1987).
- [4] U. Ackermann: "Instabilitätswellen in einem runden turbulenten Freistrah und ihre Schallabstrahlung". Dissertation Universität Göttingen, 1976.



FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR BAUPHYSIK
7000 Stuttgart 80, Nobelstraße 12, Tel.(0711)6868-00
8150 Holzkirchen (OBB), Postf. 1180, Tel. (08024)643-0

Herstellung und Druck:
IRB Verlag, Informationszentrum RAUM und BAU
der Fraunhofer-Gesellschaft, Stuttgart

Nachdruck nur mit schriftlicher Genehmigung des
Fraunhofer-Instituts für Bauphysik