

Beseitigung eines Störgeräusches an einem Windkanalgebläse

W. von Heesen¹, N. Lindener², W. Neise³

¹ MÜLLER-BBM Schalltechnisches Beratungsbüro, Planegg (Arbeiten durchgeführt bei DMT GmbH, Bochum)

² Audi AG, Ingolstadt (Arbeiten durchgeführt bei BMW Technik GmbH, München)

³ DLR Institut für Antriebstechnik Abteilung Turbulenzforschung, Berlin

1. Einleitung

Bei der Inbetriebnahme des Aeroakustik-Windkanals der BMW Technik GmbH in München wurde ein Störgeräusch beobachtet, das sich in der Meßhalle als amplitudenmoduliertes hochfrequenten Zischen bemerkbar machte. Es wird über akustische Messungen berichtet, die schrittweise zur Identifizierung und Beseitigung des Geräuscherzeugungsmechanismus führten. Das Störgeräusch wurde durch Hohlräume in den Stirnseiten der Laufschaufelspitzen verursacht, die im Normalzustand des Ventilators nicht sichtbar waren, und deren Existenz vorher nicht bekannt war.

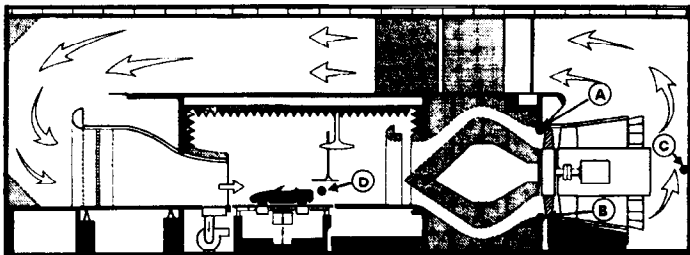


Abbildung 1: Aeroakustik-Windkanal der BMW Technik. A, B, C, D: Mikروفonpositionen.

2. Historie

Der Aeroakustik-Windkanal der BMW Technik GmbH in München (Abbildung 1) wird von einem Axialventilator mit einem Laufraddurchmesser von 5,5 m und einer elektrischen Leistungsaufnahme von 2 MW angetrieben. Zwischen dem Gebläse und der Meßhalle befindet sich ein nach aerodynamischen und akustischen Gesichtspunkten optimierter Absorptionsschalldämpfer. Bei der Inbetriebnahme im Jahr 1987 wurde ein Störgeräusch beobachtet, das in der leeren Meßhalle subjektiv als hochfrequenten amplitudenmoduliertes Zischen wahrgenommen wurde und im Frequenzbereich zwischen 1,5 kHz und 2,2 kHz als Pegelüberhöhung von ca. 5 dB meßbar war (Abbildung 2). Durch Schallquellenlokalisierung mit einer zwei-Mikrofon-Sonde konnte als wahrscheinlicher Quellenort die Spitzen der Laufschaufeln identifiziert werden [1]. Da das Störgeräusch bei Anwesenheit eines Testobjekts im Strahl durch die Windgeräusche vollständig überdeckt wurde, wurden die Untersuchungen zunächst eingestellt und erst im Jahre 1995 wieder aufgenommen.

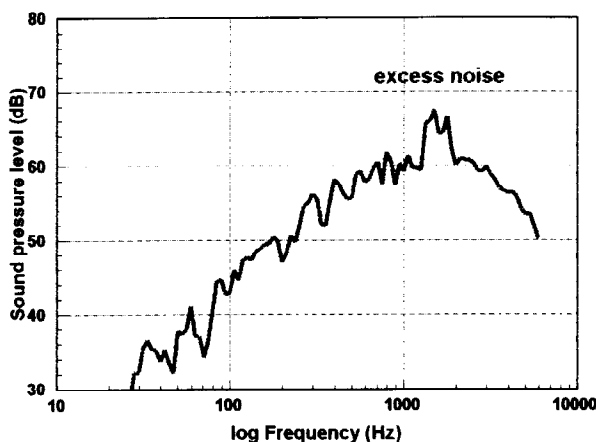


Abbildung 2: A-bewertetes 1/12-Oktav-Schalldruckspektrum des Ventilatorgeräusches am Meßpunkt D.

3. Eigenschaften des Erzeugungsmechanismus

Das Signal zweier um 180° azimuthal versetzten Mikrofons an den Positionen A und B nach Abbildung 1 wurde mit einem Stereokopfhörer abgehört. Dabei wurden folgende Beobachtungen gemacht:

- Die Periodizität des Störgeräusches entspricht der Laufraddrehzahl.
- Zusätzlich zur Amplitudenmodulation ist ein Frequenz-Sweep von höheren zu niedrigeren Frequenzen mit gleicher Periodendauer wahrnehmbar.
- Zwischen den beiden Mikrofonsignalen besteht ein Zeitversatz.

Diese subjektiven Beobachtungen wurden durch die in Abbildung 3 dargestellten Campbell-Diagramme bestätigt. Die Amplitudenmodulation entspricht der Periodizität entlang der vertikalen (Zeit-)Achse und die Frequenzmodulation ist aus der Schräglage der schwarzen Linien erkennbar. Der Zeitversatz manifestiert sich durch die Verschiebung des Musters zwischen den beiden Mikrofons.

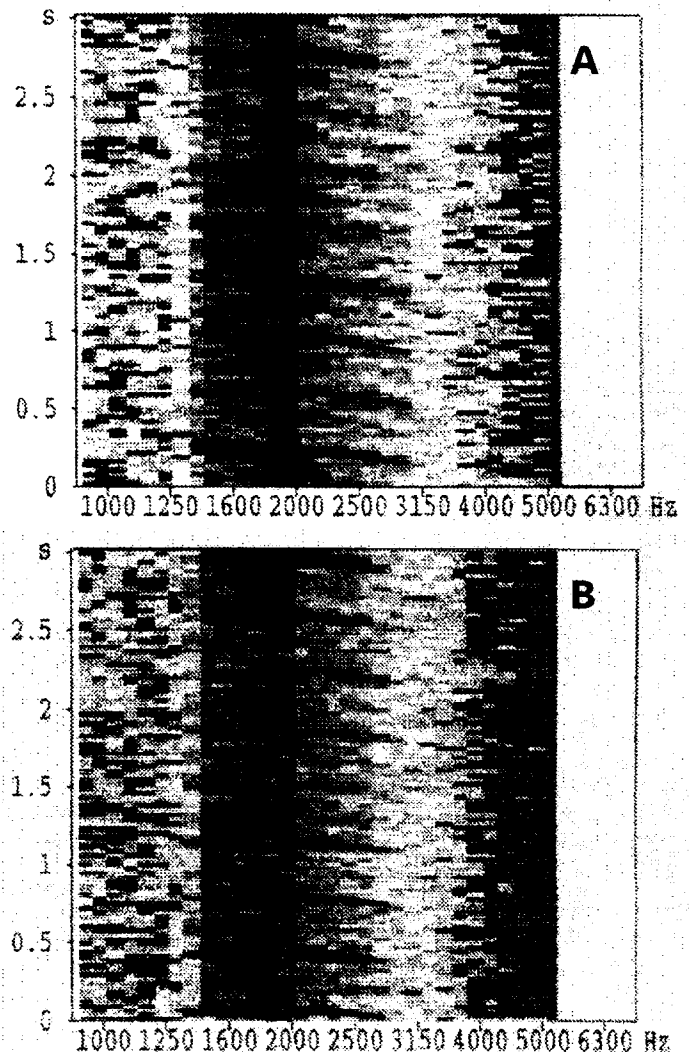


Abbildung 3: Campbell-Diagramme der 1/12-Oktav-Spektren an den Mikروفonpositionen A (oben) und B (unten). Die schwarzen Linien verdeutlichen die Position der Pegelmaxima. Die Pegel sind als Graustufen codiert.

Des weiteren ist in Abbildung 3 zu erkennen, daß es zwei parallel verlaufende Peaks gibt; einen, der sich von 2,0 auf 1,4 kHz bewegt und einen zweiten, der sich von 2,7 auf 2,0 kHz bewegt.

Aus diesen Beobachtungen wurden die folgenden Schlußfolgerungen gezogen:

- Eine Laufschaufel produziert deutlich mehr Störgeräusch, als die anderen Schaufeln.
- Der Geräuscherzeugungsmechanismus ist tonaler Natur; die mit den stationären Mikrofonen festgestellte Breitbandigkeit ist durch den Doppler-Effekt verursacht.
- Es werden zwei Töne (oder Gruppen von eng benachbarten Tönen) erzeugt, deren Frequenzen im rotierenden System in der Mitte der beiden in Abbildung 3 erkennbaren Frequenzintervalle liegen.

Durch die in Abbildung 4 dargestellten Messungen konnte die Schaufel mit dem stärksten Störgeräusch identifiziert werden. Mit Hilfe einer Lichtschranke und einer reflektierenden Markierung auf der Laufradnabe wurde ein drehzahlsynchrones Rechtecksignal generiert (unten). Durch eine mit der Laufraddrehung synchronisierte Mittelung im Zeitbereich wurden die nicht drehzahlsynchronen Anteile des Mikrofonsignals unterdrückt (Mitte), so daß jede Schaufel deutlich zu erkennen ist. Im nicht gemittelten Zeitsignal (oben) treten die stärksten Geräusche beim Vorbeistreichen von Schaufel Nr. 6 auf.

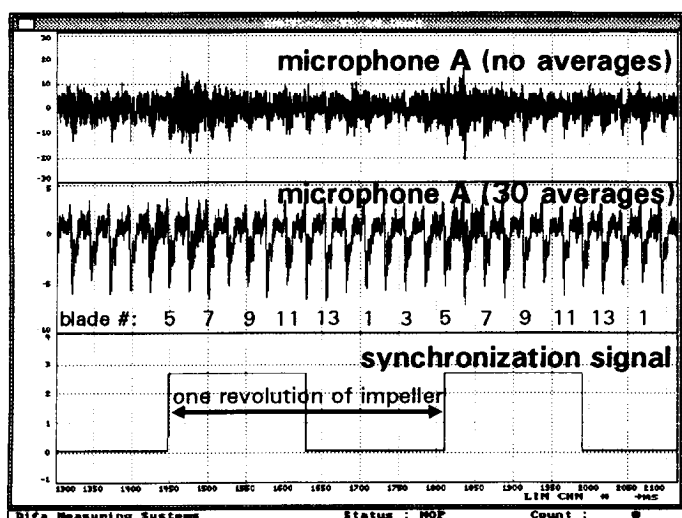


Abbildung 4: Zeitsignal des Mikrofon A (oben), gleiches Signal nach 30 auf die Laufraddrehung synchronisierten Mittelungen im Zeitbereich (Mitte) und Synchronisationssignal (unten).

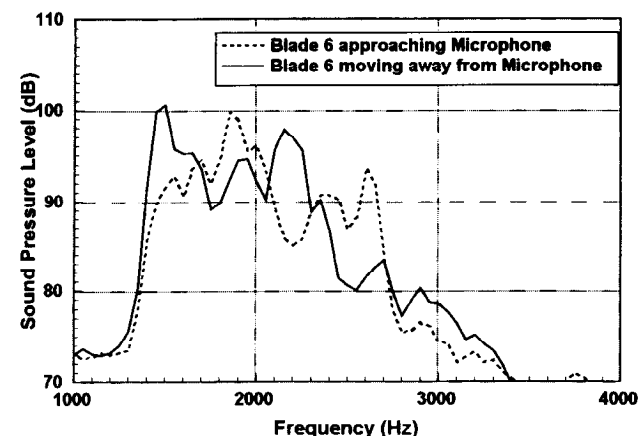


Abbildung 5: Kurzzeit-FFT-Spektren am Mikrofon A beim Herannahen (gestrichelt) und beim Wegbewegen (durchgezogen) der Schaufel Nr. 6.

Die Doppler-Frequenzverschiebung läßt sich an den Kurzzeitspektren in Abbildung 5 erkennen. Wenn sich die Schaufel Nr. 6 auf das Mikrofon zubewegt, liegen die Pegelspitzen bei 1,9 und 2,6 kHz; wenn sich die Schaufel vom Mikrofon wegbewegt, verschieben sich die

Frequenzen auf 1,5 und 2,1 kHz. Die Frequenzen im mitbewegten System ergeben sich daraus als 1,6 bzw. 2,35 kHz. Der Frequenzhub von 12% bzw. 11% entspricht einer Geräuschquelle an der Schaufelspitze; bei einer Quelle an der Nabe würde der Frequenzhub 8% betragen.

4. Identifizierung des Erzeugungsmechanismus

Die Ursache des Störgeräusches wurde erst offensichtlich, als der Laufradmantel geöffnet wurde und die Stirnseiten der Laufschaufeln inspiziert werden konnten. In den Stirnseiten der Laufschaufeln wurden Bohrungen sichtbar (siehe Abbildung 6), deren Existenz bis dato unbekannt war. Die besonders starke Geräuscherzeugung der Schaufel Nr. 6 wurde durch den relativ weiten Kopfspalt verursacht. Die Spaltweite betrug 3,95 mm bei Schaufel Nr. 6, gegenüber 1,80 bis 3,15 mm bei den anderen Schaufeln.

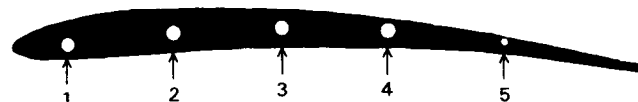


Abbildung 6: Position der Bohrungen in den Stirnseiten der Laufschaufelspitzen. Der Durchmesser der Bohrungen betrug 17 mm (Nr. 1 bis Nr. 4) bzw. 9 mm (Nr. 5).

Durch Verschließen der Hohlräume konnte das Störgeräusch vollständig beseitigt werden. Abbildung 7 zeigt die an Mikrofonposition A gemessenen Schalldruckspektren im Ursprungszustand und mit verschlossenen Hohlräumen. Die Minderung des A-Pegels in der leeren Meßstrecke betrug ca. 3 dB.

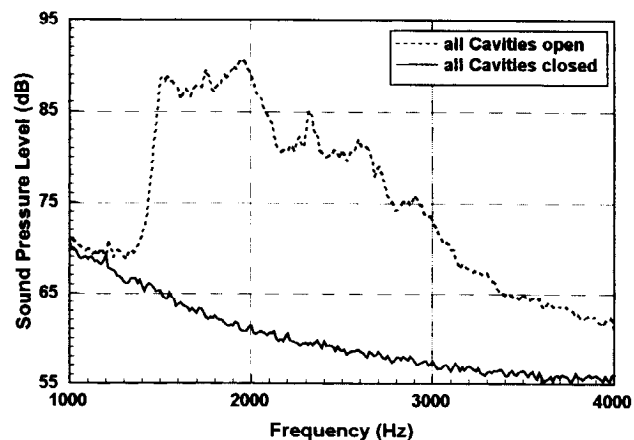


Abbildung 7: Schalldruckpegel am Mikrofon A mit offenen und geschlossenen Hohlräumen.

Die Resonanzfrequenzen der Hohlräume in der Schaufel Nr. 6 wurden bei stehenden Lüfter durch Anblasen des Kopfspalts mit einer Druckluftdüse gemessen. Die gemessenen Frequenzen von 1674 und 2410 Hz stimmen gut mit den aus den Messungen bei laufendem Ventilator abgeleiteten Frequenzen von 1,6 und 2,35 kHz überein.

Teile der Arbeiten wurden vom Bundeswirtschaftsministerium unter der Projektnummer AiF 10047 gefördert. Eine ausführlichere Darstellung der Untersuchungen findet sich in [2] und [3].

5. Literatur

- [1] von Heesen, W., Reiser, P., Quellenortung an einem großen Axialventilator, Fortschritte der Akustik - DAGA '89, p. 631-634, DPG-GmbH, Bad Honnef, Germany, 1989
- [2] von Heesen, W., Lindener, N., Neise, W., Elimination of a High-Frequency Narrow-Band Noise Component in a Low-Noise Automobile Wind Tunnel, SAE Paper Nr. 960904, 1996
- [3] Neise, W., von Heesen, W., Lindener, N., Hansen, J., Blade Tip Cavity Noise of a Large Axial-Flow Wind Tunnel Fan, AIAA/CEAS Paper Nr. 96-1692, 1996