

Schallquellenortung in Windkanälen unter Berücksichtigung des Strömungsfeldes

Matthias Riegel, Martin Helfer

FKFS, 70569 Stuttgart, E-Mail: matthias.riegel@fkfs.de, martin.helfer@fkfs.de

1 Einleitung

Wegen der Luftströmung um das Messobjekt müssen zur Ortung des Außengeräusches von Fahrzeugen in Windkanälen einige physikalische Besonderheiten beachtet werden. Zudem sind Messungen direkt in der Strömung wegen der entstehenden Störgeräusche oft nicht möglich. Für Außengeräuschemessungen werden daher meist speziell entwickelte Messtechniken eingesetzt, wobei besondere Vorgehensweisen erforderlich sind.

2 Schallausbreitung in Strömungen

Um die Außengeräusche von Fahrzeugen im Windkanal und auf der Straße miteinander vergleichen zu können, müssen die unterschiedlichen Gegebenheiten berücksichtigt werden. Diese betreffen vor allem den Schalldurchgang durch die inhomogene Strömung und die Scherschicht bei offenen Messstrecken (s. **Bild 1**).

2.1 Einfluss der Strömung

Im Nahbereich der umströmten Oberfläche erfolgt zum einen eine Brechung des vom Fahrzeug abgestrahlten Schalls durch Gradienten im Geschwindigkeitsfeld und eine Streuung bzw. Phasen- und Amplitudenfluktuationen aufgrund von Turbulenzen. Außerdem ergibt sich eine Ablenkung der Schallstrahlen durch das Strömungsfeld.

Da direkt an der Oberfläche eines Fahrzeuges höhere Umströmungsgeschwindigkeiten herrschen als weiter entfernt, erfolgt in der Strömung eine bogenförmige Brechung nach vorn. Schallstreuungen finden vor allem im Bereich größerer Turbulenzen (z. B. in der Nähe des Außenspiegels) statt [1].

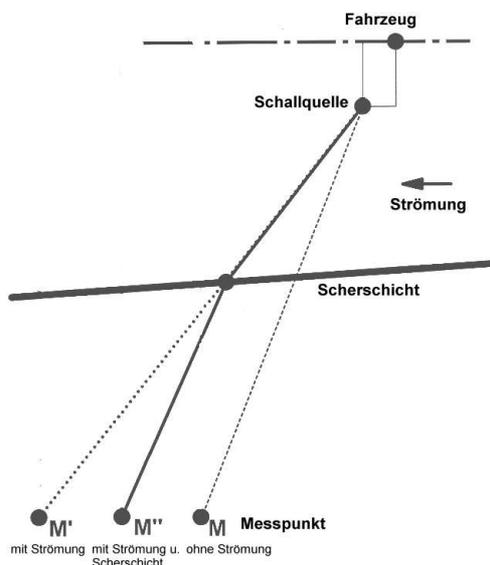


Bild 1: Schallausbreitung im Windkanal, nach [2]

Diese Vorgänge sind stark von der Fahrzeugform und -größe abhängig, sodass sie nur schwer abgeschätzt werden können. Leichter abschätzen lässt sich die Schallablenkung durch das Strömungsprofil selbst. Vereinfachend wird hierfür meist ein homogenes Strömungsprofil angenommen. In **Bild 1** sind die Zusammenhänge dargestellt [2]. Die Abstrahlrichtung des

Schalls wird durch die Strömung geschwindigkeitsabhängig geändert, sodass sich bei einem bestimmten Messabstand vom Fahrzeug ohne Einfluss der Scherschicht ein Versatz des Schallstrahls um den Abstand der beiden Punkte M und M' ergeben würde.

Neben der Abstrahlrichtung verändert sich auch der in einem bestimmten Abstand von der Mittellinie des Fahrzeugs in der Strömung gemessene Schalldruck abhängig von der Anströmungsgeschwindigkeit und der Messposition in Längsrichtung vom Fahrzeug (s. **Bild 2**), wobei die Schalldrücke in Strömungsrichtung abnehmen (sog. Konvektionsfaktor).

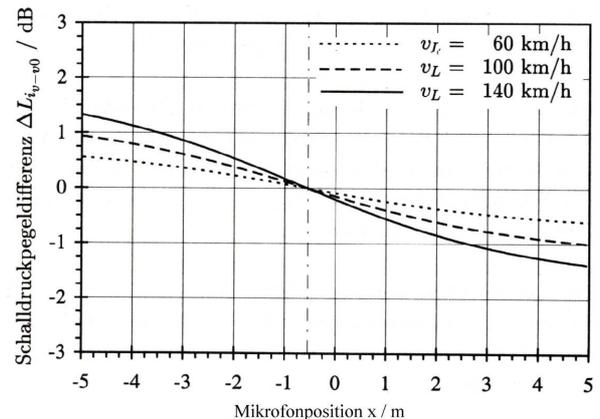


Bild 2: Theoretischer Verlauf der Schalldruckpegel-Änderung durch die Strömung in Abhängigkeit von der Mikrofonposition (Messabstand von der Fahrzeuglängsachse: 6 m, Schallquellenpos.: $x = -0,55$ m) [3]

2.2 Einfluss der Scherschicht

Die Scherschicht verursacht eine Brechung des Schalls und beeinflusst ebenso wie die Strömung den Schalldruck. Außerdem wird der Schall durch die Turbulenzen innerhalb der Scherschicht gestreut.

Nimmt man vereinfachend eine infinitesimal dünne Scherschicht an, so ergibt sich, wie in **Bild 1** gezeigt, eine Brechung in Richtung auf M'', also parallel zur Ausbreitungsrichtung ohne Strömung. Für eine Schallquellenortung durch die Scherschicht hindurch ist diese Tatsache von großer Bedeutung. Ein Messsystem zur Schallquellenlokalisierung würde nämlich die in **Bild 1** dargestellte Schallquelle um den Abstand $M \rightarrow M''$ in Strömungsrichtung versetzt auf dem Fahrzeug zuordnen. Dieser Versatz kann bei bekanntem Scherschichtverlauf für beliebige Messpositionen durch geometrische Ansätze korrigiert werden.

Die Beeinflussung des Schalldrucks durch die Scherschicht ist in **Bild 3** dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Auswirkungen gegenläufig zu denen der Strömung sind. Beide Effekte heben sich daher nahezu auf und brauchen bei Messungen normalerweise nicht berücksichtigt zu werden.

Die Schallstreuung in der Scherschicht lässt sich nur schwer abschätzen. Vergleiche zwischen Windkanal- und Straßmessungen haben jedoch gezeigt, dass eine Berücksichtigung im Allgemeinen nicht nötig ist [3].

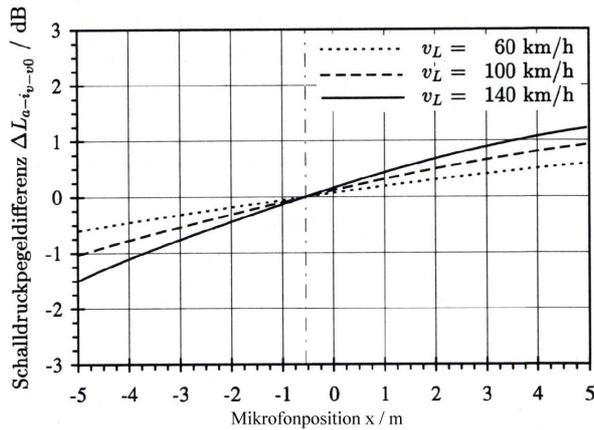


Bild 3: Theoretischer Verlauf der Schalldruckpegel-Änderung durch die Scherschicht in Abhängigkeit von der Mikrofonposition (Messabst. von der Fahrzeuglängsachse: 6 m, Schallquellenpos.: $x=-0,55$ m) [3]

3 Eingesetzte Messtechnik

Für die Schallquellenortung in Windkanälen werden in der Regel Schallintensitätssonden, Mikrofonarrays oder Hohlspiegelmikrofone eingesetzt.

Da Schallintensitätssonden keine sonderlich guten Ortungseigenschaften aufweisen, werden sie typischerweise möglichst nahe am Messobjekt eingesetzt. Im Windkanal erfordert dies Messungen innerhalb der Strömung. Um zusätzliche Geräusche und Pseudoschall zu vermeiden, müssen daher Spezialsonden eingesetzt werden (s. **Bild 4**). Theoretisch ist eine exakte Bestimmung der Schallintensität mit der Zweimikrofontechnik nur ohne Strömung oder bei ebenen Schallwellen in einer eindimensionalen Strömung möglich. Aerodynamische Schallquellen an Fahrzeugen strahlen jedoch weder ebene Wellen ab, noch ist die Umströmung eines Fahrzeuges eindimensional. Versuche haben jedoch ergeben, dass bei üblichen Strömungsgeschwindigkeiten die Fehler sehr klein bleiben, wenn einige Randbedingungen beachtet werden [4].



Bild 4: Schallintensitätssonde für den Einsatz im Windkanal

Besonders in Windkanälen mit offenen Messstrecken eignen sich Mikrofonarrays zur Schallquellenortung (s. **Bild 5**). Jedoch kann diese Technik auch in geschlossenen Messstrecken eingesetzt werden, wenn die Mikrofone bündig in die Messstreckenwand eingesetzt werden [5]. Bei der Zuordnung des akustischen Ergebnisses zur Fahrzeuggeometrie muss unbedingt der Schallversatz durch die Strömung beachtet werden.

Ausschließlich für offene Messstrecken sind Hohlspiegelmikrofone (s. **Bild 6**) geeignet [6]. Sie können von außerhalb der Strömung auf einzelne Punkte auf der Fahrzeugoberfläche fokussiert werden. Durch Verfahren des Hohlspiegels kann so der interessierende Karosseriebereich abgescannt werden. Neuerdings werden auch Array-Hohlspiegel eingesetzt, bei denen im Bereich des Spiegelbrennpunkts ein Mikrofonarray positioniert ist, mit dem ohne Positionsveränderung des Spiegels ein größerer

Bereich der Fahrzeugoberfläche akustisch vermessen werden kann. Auch hier muss unbedingt der Schallversatz durch die Strömung beachtet werden.



Bild 5: Mikrofonarray in einem Aeroakustik-Windkanal



Bild 6: Hohlspiegelmikrofon mit Fahrzeug

4 Literaturverzeichnis

- [1] Blumrich, R.: Spielen Schallausbreitungseffekte durch die inhomogene Umströmung in der Fahrzeugaeroakustik eine Rolle? DAGA 2010, 15.-18.03.2010. Berlin: Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V., 2010, ISBN: 978-3-9808659-8-2.
- [2] Helfer, M.; Busch, J.: Aeroacoustic Measurements in the Wind Tunnel of the University of Stuttgart in Comparison with Road Measurements. First CEAS-ASC Workshop "Wind Tunnel Testing in Aeroacoustics". DNW, Emmeloord (NL), 05.-06.11.1997.
- [3] Busch, J.: Verfahren zum Vergleich von Fahrzeug-Umströmungsgeräuschen auf der Straße und im Windkanal. Renningen-Malmsheim: expert verlag, 1997, ISBN: 3-8169-1528-0.
- [4] Helfer, M.: Localization of Sound Sources. In: Wiedemann, J.; Hucho, W.-H. (Hrsg.): Progress in Vehicle Aerodynamics - Advanced Experimental Techniques. Renningen: Expert-Verlag, 2000, ISBN: 3-8169-1843-3.
- [5] Guidati, S.; Wagner, S.: Phased Array Measurements in a Closed Test Section Wind Tunnel. In: Wagner, S.; Ostertag, J. (Hrsg.): Third Aeroacoustics Workshop in Connection with the National Research Project SWING+, Stuttgart: Institut für Aerodynamik und Gasdynamik, 26./27. September 2002.
- [6] Helfer, M.: Hohlspiegelmikrofone. In: Genuit, K. (Hrsg.): Sound-Engineering im Automobilbereich. Berlin: Springer, 2010, ISBN: 978-3-642-01414-7.