

Schallquellenlokalisierung an bewegten Objekten

Henri Siller¹, Sébastien Guérin¹ und Bernd Barsikow²

¹ Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Email: henri.siller@dlr.de

² akustik-data, Berlin, Email: barsikow@akustik-data.de

Einleitung

Die Lokalisierung und Analyse von ruhenden Schallquellen mit Mikrofonarrays und dem Beamforming Algorithmus ist heute industrieller Standard. Der erste Vorschlag für ein solches Vorgehen wurde bereits 1976 veröffentlicht [1] und das Verfahren wurde seitdem auf bewegte Schallquellen erweitert. Damit ist es möglich, nach der Aufzeichnung einer Vorbeifahrt oder eines Überfluges mit dem Mikrofonarray die Quellverteilung auf dem gesamten Fahrzeug oder Flugzeug zu ermitteln. Für Auswertungen über einen großen Frequenzbereich sind hinsichtlich Anordnung und Größe optimierte Arrays notwendig. Einfache Auswertungen solcher Daten sind mit dem Beamforming-Algorithmus möglich, eine wesentlich höhere räumliche Auflösung und Dynamik kann mit Entfaltungsverfahren erreicht werden, die die Abbildungseigenschaften des Mikrofonarrays berücksichtigen und kompensieren.

Die Abteilung Triebwerksakustik (vormals Turbulenzforschung) des DLR in Berlin und das Ingenieurbüro akustik-data verwenden solche Arrays zur Analyse und Lokalisierung von Schallquellen an vorbeifahrenden Fahrzeugen und an Flugzeugen im Überflug. Beim DLR wird diese Technik seit 1977 betrieben und weiterentwickelt [2]. Die ersten Anwendungen waren Messungen an Zügen, in den späten Neunziger Jahren folgten Messungen an Flugzeugen [3]. Eine gegenüber dem klassischen Beamforming verbesserte Auswertung durch Entfaltung bietet das DAMAS Verfahren [4], das beim DLR auf bewegte Schallquellen erweitert wurde [5].

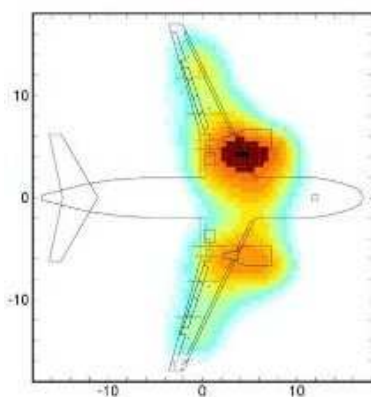


Abbildung 1: Schallkarte eines Airbus A319 im Anflug, ausgewertet durch klassisches Beamforming

Lokalisierung von bewegten Schallquellen mit der Beamforming Technik

Während bei ruhenden Schallquellen der einfache Beamforming-Algorithmus verwendet werden kann, muss bei bewegten Schallquellen die Verschiebung der Position des Messobjekts und die damit einhergehende Doppler-

Verschiebung der Frequenzen berücksichtigt werden. Ein solches, aus dem klassischen Beamforming entwickeltes, Verfahren wird vom DLR seit einigen Jahren erfolgreich für die Analyse von Verkehrsflugzeugen im Überflug eingesetzt. Abbildung 1 zeigt die Schallkarte eines Airbus A319 im Anflug bei einem Winkel von 60° zwischen Flugbahn und Mikrofonarray im Terzband von 3150 Hz.

Das Ingenieurbüro akustik-data verwendet ein entsprechendes Verfahren zur Untersuchung von PKW und Nutzfahrzeugen (siehe Abbildung 4 oben).

Bei der Messung werden die Signale aller Mikrofone zeitsynchron aufgezeichnet. Die Auswertung der Daten erfolgt im mit der Quelle mitbewegten Koordinatensystem. Dabei werden die Änderung des Abstands zwischen Quelle und Mikrofon und die daraus resultierende Laufzeit des Schalls mit jedem Zeitschritt berücksichtigt. Wegen der sich mit jedem Zeitschritt ändernden Entfernung der Quelle zu den einzelnen Mikrofonen müssen die Zeitreihen der Mikrofondaten neu abgetastet (resampled) werden. Dabei wird auch die Dopplerverschiebung der Frequenzen kompensiert.

Um eine möglichst hohe Dynamik und eine gute räumliche Auflösung zu erreichen, sind optimierte und an den zu untersuchenden Frequenzbereich angepasste Arrays erforderlich. Sollen insbesondere tieffrequente Schallquellen räumlich gut aufgelöst werden, so sind große Arrays mit vielen Mikrofonen erforderlich. Für Überflugmessungen verwendet das DLR mehrarmige Spiralarrays mit bis zu 250 Mikrofonen, die über eine Fläche mit einem Durchmesser von 32 m verteilt sind [6].



Abbildung 2: Snowflake Array für Vorbeifahrten

Das Snowflake Array für Vorbeifahrten

Im Rahmen des von der Bundesregierung geförderten Forschungsprogramms *Leiser Verkehr* wurde vom DLR und von akustik-data gemeinsam ein Array für Messungen an vorbeifahrenden Fahrzeugen entwickelt und gebaut (siehe Abbildung 2). Es besteht aus 124 Elektret-Mikrofonen, die auf einer gegenüber Windeinwirkung unempfindlichen offenen Aluminiumstruktur montiert sind. Die Mikrofone

sind über eine Fläche von 3,5x3,5 m ungleichförmig verteilt. Die Mikrofondichte nimmt zum Zentrum hin zu, um eine gute räumliche Auflösung bei hohen Frequenzen zu erhalten. Das Array besteht aus drei geschachtelten Unterarrays, was eine in etwa konstante räumliche Auflösung von 0,5 m im Frequenzbereich von 630 Hz bis 4 kHz bei einem Abstand vom Messobjekt von 5 m ermöglicht

Die vom DLR entwickelte Datenerfassungsanlage erlaubt die zeitlich synchronisierte Aufzeichnung von 128 Kanälen mit einer digitalen Auflösung von 24 Bit bei einer Abtastrate von 40 kHz. Um Störungen gering zu halten, erfolgt die Digitalisierung der Mikrofonssignale nahe am Array. Die digitalen Daten werden von dort über bis zu 50m lange Datenleitungen zum Messrechner übertragen.

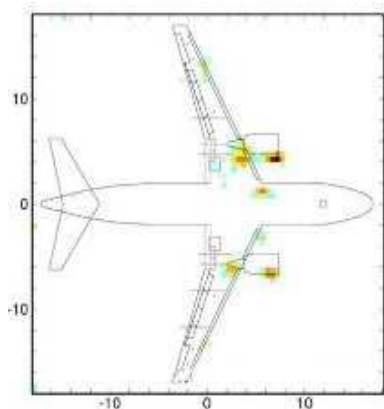


Abbildung 3: Schallkarte des Überflugs aus Abbildung 1, ausgewertet durch Entfaltung für bewegte Schallquellen

Neue Auswerteverfahren für Arraydaten

Das klassische Beamforming unterliegt verschiedenen Beschränkungen in Hinsicht auf das Auflösungsvermögen und die Dynamik des Arrays. Diese lassen sich zum einen durch eine optimierte geometrische Auslegung der Mikrofonverteilung und eine hohe Anzahl von Mikrofonen verbessern, zum anderen aber auch durch erweiterte Auswertelgorithmen, die die Abbildungseigenschaften des Arrays berücksichtigen. Die mit dem Beamforming Algorithmus berechnete Schallquellenverteilung stellt nämlich eine Faltung der wahren Schallquellenverteilung mit den Abbildungseigenschaften des Arrays dar. Erweiterte Auswerteverfahren kompensieren die Abbildungseigenschaften des Mikrofonarrays mit seinen Neben- und Gitterkeulen durch eine Entfaltung und erlauben eine räumlich hochauflösende Analyse der Schallquellen mit einer gegenüber dem klassischen Beamforming erhöhten Dynamik. Ein Beispiel dafür das DAMAS Verfahren [4].

Erweiterte Auswertelgorithmen mit Entfaltung werden beim DLR seit kurzem zur Analyse von Überflügen und bei akustik-data bei der Analyse von Straßenfahrzeugen eingesetzt.

Während das klassische Beamforming bei flächig verteilten Quellen eine eher qualitative Methode ist, lassen sich mit den Entfaltungsverfahren solche Einzelschallquellen auch quantitativ bestimmen.

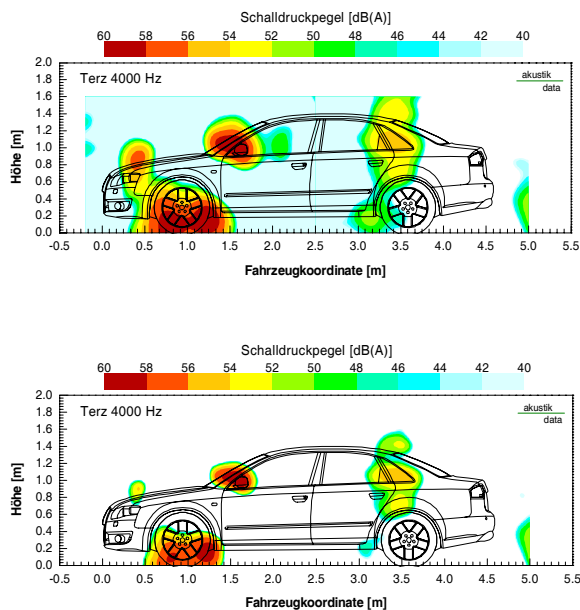


Abbildung 4: Messergebnisse von akustik-data mit dem Snowflake Array im Audi Windkanal ($U=200$ km/h, 4000 Hz-Terz), oben: klassisches Beamforming, unten: verbesserte Auswertung durch Entfaltung (mit freundlicher Genehmigung der Audi-AG)

Literatur

- [1] Billingsley & Kinns: The Acoustic Telescope, J. Sound and Vibr. 48 (1976), pp. 485-510
- [2] F. King III und D. Bechert: On the Sources of Wayside Noise Generated by High-Speed Trains, J. Sound and Vibr. 66 (1979), pp. 311-332
- [3] U. Michel, B. Barsikow und B. Haverich: Investigation of Airframe and Jet Noise in High-Speed Flight with a Microphone Array, AIAA paper 97-1596 (1997)
- [4] T. Brooks and W. Humphreys: A Deconvolution Approach for the Mapping of Acoustic Sources (DAMAS) Determined from Phased Microphone Arrays, J. Sound Vibr. 294 (4-5) (2006), pp. 856-879
- [5] S. Guérin, C. Weckmüller und U. Michel: Beamforming and Deconvolution for Aerodynamic Sound Sources in Motion, Berlin Beamforming Conference (BeBeC), November 2006
- [6] S. Guérin, U. Michel, H. Siller, U. Finke und G. Saueressig: Airbus A319 Database from Dedicated Flyover Measurements to Investigate Noise Abatement Procedures, AIAA paper 2005-2981 (2005)