



Abb.: Fahrzeugmodelle vor der Messstecke des 1 Meter Windkanals des DLR in Göttingen.

Von Sigfried Loose, Dietrich Heimann und Dirk Strauch

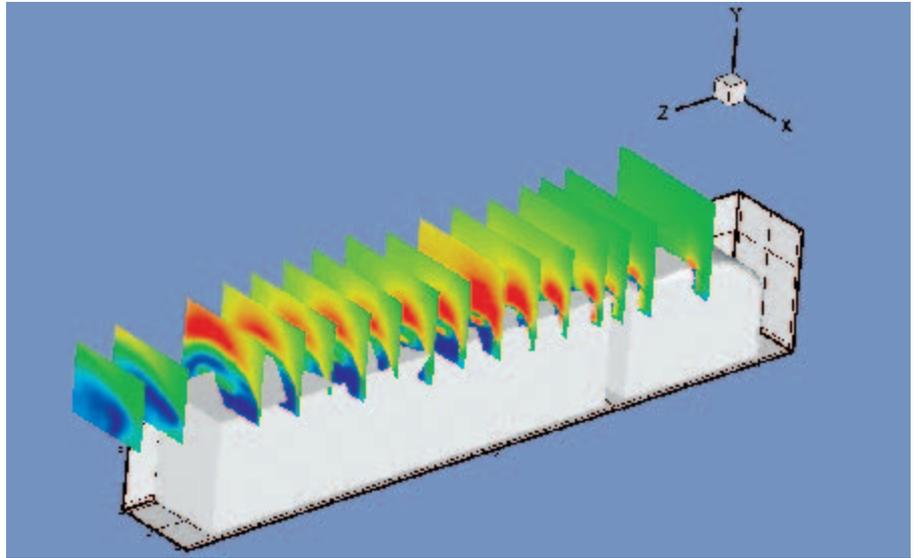
DEM KRACH EIN ENDE

Wege zum leisen Verkehr

Die prognostizierte Zunahme der Transportleistung der einzelnen Verkehrsträger wie PKW, LKW und Bahn würde, wenn keine geeigneten Gegenmaßnahmen getroffen würden, mit einer Zunahme der Belastung der Bevölkerung durch Verkehrslärm einhergehen. Forschungsarbeiten der letzten Jahre weisen diesem Thema daher sowohl aus medizinischer Sicht als auch aus technisch-operationeller Sicht eine zunehmende Relevanz zu. Die angestrebte Reduzierung der Lärmbelastung legt eine duale Vorgehensweise nahe. Zum einen soll der Lärm an der Quelle (Emission) gemindert werden, zum anderen soll die Immission von Lärm durch operationelle Maßnahmen, z.B. durch intelligente Verkehrsleitsysteme, verringert werden.

Analyse von aerodynamisch induziertem Lärm

Um den kommenden Bedürfnissen des Straßen- und Schienenverkehrs gerecht werden zu können, müssen Autos und Züge schneller, sparsamer und leiser werden. Mit zunehmender Geschwindigkeit der Verkehrsmittel steigen der aerodynamisch induzierte Widerstand und der strömungsbedingte Lärm jedoch drastisch an. Höhere Strömungsgeschwindigkeiten begünstigen die Entstehung von lokalen Ablösegebieten am Fahrzeug, in denen turbulente Strömungsfuktuationen angefacht werden. Diese wiederum erhöhen den Strömungswiderstand und sind die Ursache für die Entstehung von Breitbandlärm. Für die Optimierung zukünftiger Verkehrsmittel ist ein verbessertes Verständnis dieser Mechanismen unabdingbar. Die Entwicklung von neuen Produkten wird heute bereits häufig durch Computersimulation unterstützt. Bei der Formgebung werden hierfür aerodynamische Berechnungen vorgenommen, in denen der strömungsinduzierte Widerstand in den meisten Fällen zufriedenstellend vorhergesagt wird. Die numerischen Verfahren, die hierfür angewendet werden, lösen die statistisch gemittelten Navier-Stokes Gleichungen unter Zuhilfenahme von statistischen Turbulenzmodellen. Die turbulenten Fluktuationen und die Breitbandlärmquellen können damit aber nicht vorhergesagt werden. Weiterhin können damit nur anliegende Strömungen, in denen keine Ablösung auftritt, zuverlässig berechnet werden. Will man jedoch abgelöste Strömungen und den von ihnen erzeugten Breitbandlärm vorhersagen, werden hochwertigere Simulationsverfahren benötigt, die die zu Grunde liegenden Navier-Stokes-Gleichungen entweder direkt (ohne Turbulenzmodelle) oder im Rahmen der Large-Eddy-Simulation lösen. Speziell die Large-Eddy-Simulation kann heute zunehmend eingesetzt werden, um Breitbandlärmquellen auch



in praxisrelevanten Problemstellungen zuverlässig vorhersagen zu können. Mit dieser Methode werden die großskaligen Turbulenzstrukturen, die ursächlich zur Lärmentstehung beitragen, direkt auf einem Diskretisierungsgitter aufgelöst, während die feinskaligere Turbulenzstruktur mit speziellen Turbulenzmodellen modelliert wird. Damit können jetzt auch turbulente Strömungen bei höheren Reynolds-Zahlen mit hinreichender Genauigkeit berechnet werden. Die Verfahren der Large-Eddy-Simulation befinden sich in der Entwicklung und werden an die speziellen Bedürfnisse der bodengebundenen Fahrzeugaerodynamik/-akustik angepasst. In Verbindung mit neueren Entwicklungen der optischen Strömungsmesstechnik eröffnen sich auch neue experimentelle Möglichkeiten, um hochgradig instationäre Strömungsfelder im Hinblick auf akustische Eigenschaften zu analysieren. Die klassische Messtechnik zur Schallquellenortung mittels Richtmikrofon oder Mikrofonarray liefert zwar hochgenau den Ort der Schallquelle, aber nicht a priori den physikalischen Grund für die Schallabstrahlung. Ein Grund für die Entstehung von aerodynamisch induziertem Lärm sind kleinskalige Druckfluktuationen,

welche aus der Wechselwirkung von Strömungsstrukturen (wie z.B. Wirbeln) mit anderen Strömungsstrukturen oder mit Fahrzeugwänden in der Strömung entstehen. Die physikalischen Mechanismen und die bestimmenden Parameter dieser Wechselwirkungen sind auch heute noch weitestgehend unverstanden und mit klassischer akustischer Messtechnik nicht zu ermitteln. Hier wird vom Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, Göttingen, ein neuer Ansatz zur akustischen Strömungsfeldanalyse verfolgt.

So bietet z.B. die simultane Messung des Dichtefeldes mittels des Hintergrundschlierenverfahrens (BOS) und des Geschwindigkeitsfeldes mittels des PIV-(Particle Image Velocimetry) Verfahrens deutlich erweiterte Erkenntnisse über den Zustand des instationären Strömungsfeldes. Weiterhin bietet die Anwendung der in der Entwicklung befindlichen Mehrebenen-PIV-Technik als quantitative Feldmessmethode für instationäre Geschwindigkeitsfelder gute Chancen, wesentliche neuartige Beiträge zum Verständnis dieser oder anderer Wechselwirkungsmecha-

Abb. unten: Sichtbarmachung der „Wandstromlinien“ eines Hochgeschwindigkeitszugs bei Seitenwind mittels Ölanstrichtechnik.
Abb. links: Geschwindigkeitsfeld eines generischen LKW Modells bei schiebender Strömung.

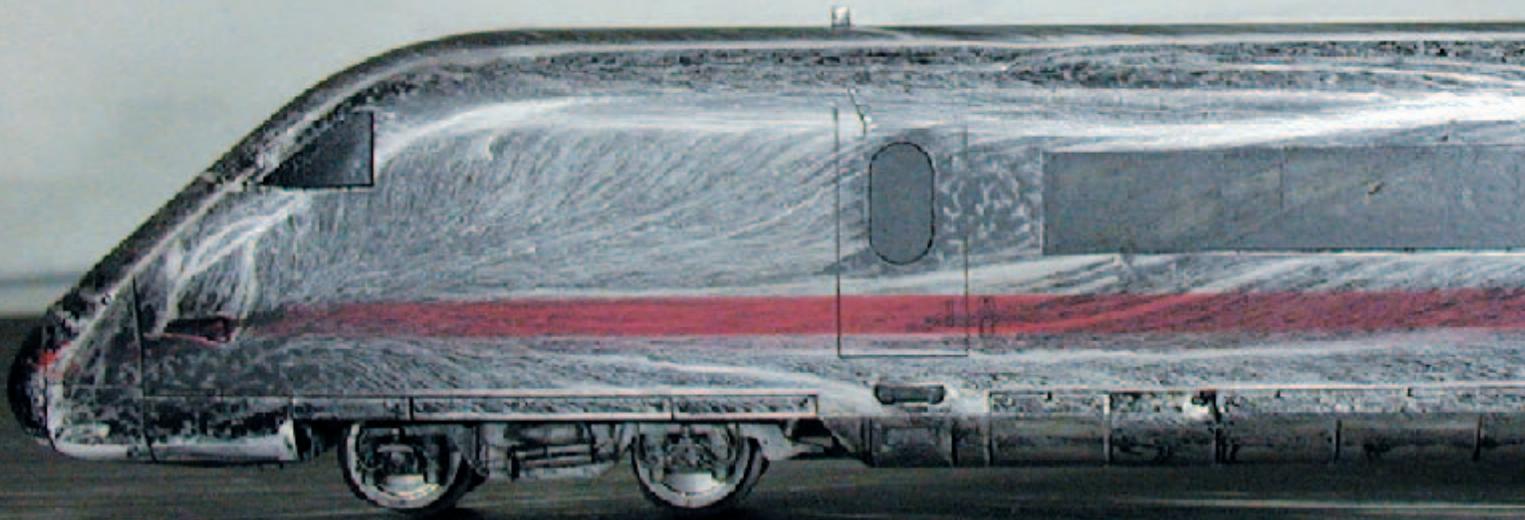




Abb.: Sichtbarmachung der „Wandstromlinien“ eines Hochgeschwindigkeitszugs bei Seitenwind mittels Ölanstrichtechnik.

Eine Initiative zur Lärmreduzierung bei Auto, Flugzeug und Bahn

Verkehr ist unvermeidbar mit Lärm verbunden, auf den die Bevölkerung mit zunehmender Sensibilität reagiert. Große technische Fortschritte in den letzten Jahrzehnten haben zwar zu einer erheblichen Reduktion der Lärmemission des einzelnen Fahrzeugs geführt, angesichts des wachsenden Verkehrs sind jedoch weitere Anstrengungen erforderlich, die spezifische Lärmemission soweit zu reduzieren, dass Mobilität und Verkehr nicht eingeschränkt werden müssen. Vor diesem Hintergrund hat das DLR mit Partnern aus Industrie, Verbänden, Behörden und Forschung die Initiative zur Gründung des nationalen Forschungsverbunds Leiser Verkehr ergriffen. Anliegen des im März 1999 etablierten Verbundes ist es, in einem Branchen übergreifenden interdisziplinären Ansatz dem wachsenden Verkehrslärm entgegenzuwirken. Angestrebt werden technische und operationelle Lösungen unter Nutzung fachlicher Synergien, Straßen-, Schienen- und Luftverkehr handeln miteinander. Eine gemeinsame Klammer bildet die Wirkungsforschung, die den kurz- und langfristigen Lärmeinwirkungen auf den Menschen nachgeht. Der Forschungsverbund schafft ein Netzwerk, das der intensiven Kommunikation und Zusammenarbeit zwischen den aus sehr unterschiedlichen Branchen stammenden Partnern dient und zur Verbesserung der wissenschaftlich-technischen Grundlagen für eine effiziente Lärmbekämpfung beiträgt.

Schwerpunkte der Forschung

Die Forschung im Verbund umfasst fünf Themenschwerpunkte, die in fünf Arbeitskreisen mit gegenwärtig folgenden Aufgabenstellungen bearbeitet werden: Der Bereich Gemeinsame Verfahren und Methoden befasst sich mit Quellen, Ausbreitung, und Prognose des Verkehrslärms. Bearbeitet werden übergreifende Fragestellungen mit deutlichen Synergieeffekten. Die Lärmwirkung strebt an, wissenschaftlich fundierte humanspezifische Wirkungskriterien zu erarbeiten, die Kritikalität von Lärmereignissen, ausgehend

von ihrem Wirkungspotenzial, zu identifizieren und die Nützlichkeit technologischer und operationeller Lärminderungsmaßnahmen zu evaluieren. Der Schwerpunkt Reduzierte Reifen-Fahrbahngeräusche befasst sich mit der im Straßenverkehr dominanten Lärmquelle an der Kontaktstelle Rad-Fahrbahnbelag. Im Bereich Leise Züge und Trassen werden Antriebs- und Rollgeräusche untersucht und das Hintergrundwissen für die lärmarme Konstruktion der nächsten Schienenfahrzeuggeneration erweitert. Das Leise Verkehrsflugzeug zielt in erster Linie auf weitere Fortschritte bei der Hauptlärmquelle Triebwerk, aber auch auf die Minderung des Umströmungslärms. Die Vorhaben werden vom BMBF gefördert – für die Lärminderung bei Verkehrsflugzeugen ist das BMDV zuständig.

Beiträge des DLR zum Forschungsverbund

Das DLR beteiligt sich fachlich und dient als Kommunikations- und Koordinierungsplattform.

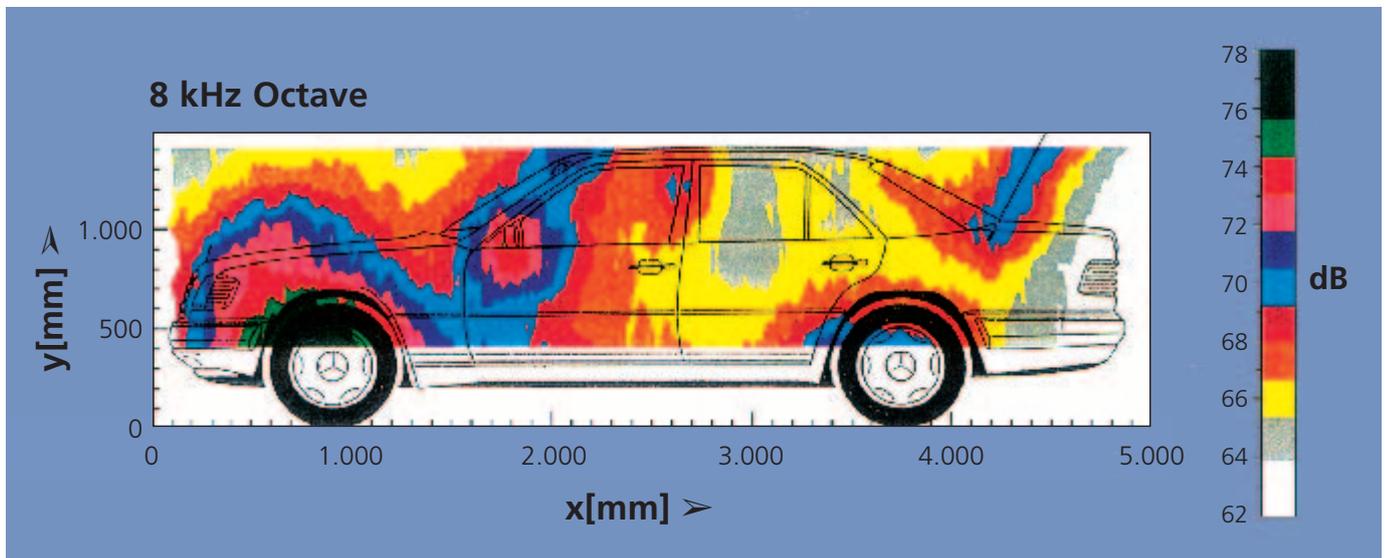
Der aktuelle fachliche Beitrag des DLR zum Forschungsverbund ist das Projekt Leiser Flugverkehr. Luftfahrtforschung ist eine Domäne des DLR, über Jahre hat sich hier ein großer Wissensfundus angesammelt. Sein wissenschaftlicher Beitrag befasst sich deshalb mit Emission, Ausbreitung, Immission und Wirkung des Lärms unter Beteiligung der Fachgebiete Aeroakustik, Flug- und Triebwerkstechnik, Flugführung, Atmosphärenphysik, Medizin und Verkehrswissenschaft. Über den Bereich Leises Verkehrsflugzeug hinaus fließen die Ergebnisse auch in die Bereiche Querschnittsaufgaben und Lärmwirkung. Darüber hinaus finanziert das DLR die Geschäftsstelle für den Verbund.

Prof. Dr. H.B. Weyer, Vorsitzender der Verbundprogrammleitung und ehemaliger Direktor des DLR Instituts für Antriebstechnik, Dr. D. Wurzel, Leiter der Geschäftsstelle, Forschungsverbund Leiser Verkehr, Köln Porz. ◀

nismen zu liefern. Es eröffnen sich so Möglichkeiten zur Umsetzung klassischer Ansätze der Strömungsakustik in ein bildgebendes Messverfahren. Die experimentelle Herausforderung besteht im Wesentlichen darin, dass die zu bestimmenden aeroakustischen Größen durch Ableitung bestimmt sind. Deren quantitativ korrekte Ermittlung aus den primären Messgrößen stellt hohe Anforderungen an die relative Genauigkeit der Geschwindigkeitsfeldmessung sowie die zugehörigen Auswertelgorithmen. Im Rahmen der Projekte EuroPiv und PivNet sind von europäischen Partnern Ansätze entwickelt worden, um Gradientenfelder quantitativ korrekt aus experimentellen PIV-Daten zu ermitteln. Die Auswertung des Grundlagenexperiments bestätigt die grundsätzliche Möglichkeit der optischen Detektion von komplexen Schallfeldern und eröffnet damit den numerischen Verfahren erweiterte Möglichkeiten bei der Berechnung großskaliger Schallfelder.

Lärmimmissionsprognose

Lärmarme Verkehrskonzepte sind nur realisierbar, wenn im Vorfeld (z.B. im Rahmen von Planfeststellungsverfahren) belastbare Lärmprognosen vorliegen. Diese stellen für Genehmigungsbehörden und Planer die einzige Grundlage zur Beurteilung von zukünftig zu erwartenden Lärmimmissionen dar. Die derzeit vorgeschriebenen Verfahren arbeiten stark quellenorientiert mit vereinfachten Annahmen und mit einer zum Teil ungenauen Datengrundlage. Neben einer möglichst genauen Quellenbeschreibung muss auch der Ausbreitungsweg zwischen den Verkehrsschallquellen (Straße und Schiene) und den Empfängern (z.B. Wohnhäusern) berücksichtigt werden. Da die Atmosphäre je nach Tageszeit und Wetter und der Boden je nach Bewuchs, Bebauung und Geländeform einen großen Einfluss auf die Ausbreitung von Schallwellen ausüben, sind Schallausbreitungsmodelle erforderlich, die diese Einflüsse möglichst umfassend und genau simulieren können. Das DLR-Institut für Physik der Atmosphäre widmet sich der Entwicklung solcher Modelle. Da eine umfassende Berücksichtigung der Schallausbreitungsvorgänge mit einem sehr



hohen Rechenaufwand verbunden ist, werden auch vereinfachte Modelle und spezialisierte Berechnungsverfahren angewendet.

Die Schallausbreitungssimulation dient vor allem der Lärmprognose im Planungsstadium von Verkehrswegen und der Abschätzung der Wirkung aktiver und passiver Lärminderungsmaßnahmen. Zum Beispiel ist es möglich, Lärmschutzbarrieren zu optimieren und die meteorologischen Einflüsse auf die Schallimmission zu bestimmen. Wetterabhängige Lärmschutzmaßnahmen (z.B. flexible Verkehrsleitsysteme und Geschwindigkeitsbeschränkungen) sowie die Festlegung lärmoptimierter Trassen könnten z.B. bei Anwendung einer genauen Lärmimmissionsprognose realisiert werden.

Schließlich erlauben verlässliche Lärmimmissionsprognosen auch eine Prioritätenfestlegung bei der technischen Lärmekämpfung an der Quelle. So haben z.B. hochfrequente Anteile des Lärms auf Grund der atmosphärischen Dämpfung nur eine geringe Reichweite, sodass ihre Entstehung an der Quelle nicht vorrangig vermieden werden muss (Quellenranking).

Operationelle Methoden zur Lärminderung

Die Reduzierung von Verkehrslärm vor allem in Ballungsgebieten und städtischen Wohnvierteln ist eine komplexe Aufgabe. Denn wer kennt nicht den Konflikt, dass einerseits Anwohner ein ruhiges Umfeld haben möchten, das Autofahrer andererseits gleichzeitig auf einem möglichst direkten und schnellen Wege ihren Zielort erreichen wollen.

Eine Lösung dieses Konflikts können verbesserte Verkehrsmanagement- und -leitsysteme, bei denen auch Lärmkriterien berücksichtigt werden, erreichen. Solchen Arbeiten zur Entwicklung eines lärmoptimierten Verkehrsleitsystems, bei dem die physikalischen Aspekte der Lärmimmissionsprognosen mit den modernen technischen Möglichkeiten der Verkehrsflusssteuerung gekoppelt werden, widmet sich das DLR-Institut für Verkehrsforschung in Berlin.

Solche neuartigen Systeme dienen als technische Unterstützung für ein modernes und dynamisches Verkehrsmanagement, bei dem die Einhaltung von Lärmgrenzwerten einen wesentlichen Aspekt darstellt. Dieses Instrumentarium kann mit unterschiedlichen Simulationsschrit-

ten eine günstigere räumliche Verteilung der jeweiligen Lärmbelastung berechnen. Mit Hilfe dieser Verteilung lassen sich dann neue Fahrrouten sowohl für den Personenverkehr als auch für den Güterverkehr ableiten. Diese alternativen Routenvorschläge sollen jedoch dem Fahrer nicht statisch durch ein Navigationssystem aufgezwungen werden. Hier müssen auch die individuellen Wünsche der Fahrer mit berücksichtigt werden, damit ein solches System überhaupt akzeptiert werden kann. Vor allem, wenn Fahrer gute Ortskenntnisse besitzen, würden statische Routenvorschläge durch ein Navigationssystem bzw. durch einen Routenplaner kaum beachtet werden. Aus diesem Grund sollen hier die Kenntnisse und auch die Wünsche von Fahrern, das heißt die Erarbeitung von Routen mit in die Entwicklung eines solchen Systems einfließen.

Dipl. Phys. Sigfried Loose, DLR Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, Göttingen. Dr. habil. Dietrich Heimann, DLR Institut für Physik der Atmosphäre, Oberpfaffenhofen. Dr. Dirk Strauch, DLR Institut für Verkehrsforschung, Berlin Adlershof. ◀



Abb. unten: Hochgeschwindigkeitszugmodell in der Messstrecke des kryogenen Windkanals (KKK) des DNW in Köln.
Abb. links: Schallquellenanalyse an einem Serienfahrzeug.

