

Schwingende Flächen hörbar gemacht



mit Laser Scanning Vibrometrie und binauraler Transferpfad-Analyse

Was für ein Geräusch entsteht eigentlich, wenn die Fläche eines Bauteils vibriert?

Auf welchem Weg gelangt der Schall zum Ohr? Welche Bauteilschwingung stört am meisten?

Mit diesen Fragen beschäftigen sich derzeit die Mitarbeiter von Polytec und HEAD acoustics im Rahmen einer Kooperation.

Die Laser Scanning Vibrometrie ist in vielen Bereichen der Industrie und Forschung zu einem etablierten Werkzeug für die Analyse von Schwingungen geworden. In typischen Anwendungsfällen geht es dabei neben der Untersuchung der Bauteilstatik (Festigkeit, Struktur) immer häufiger auch um Akustik. Im Mittelpunkt steht dabei die Frage, ob und wo störende Geräusche am Bauteil entstehen und an welchen Stellen Gegenmaßnahmen am effektivsten ansetzen können. Die alleinige Kenntnis des Schwingungsverhaltens reicht jedoch nicht aus, um die Akustik des Bauteils hinreichend genau zu beschreiben, da der Grad der Schallabstrahlung, die Übertragung des Geräusches zum Ohr (die so genannte Luftschallübertragungsfunktion) sowie die Struktur des Geräusches (wichtig für die psychoakustische Wirkung auf den Menschen), bisher in der Regel nicht adäquat berücksichtigt werden. Es kann in der Praxis also vorkommen, dass zwar schwingungstechnische Maßnahmen am Bauteil ergriffen werden, das Geräusch aber

gar nicht hörbar reduziert wird. Es bleiben also die Fragen: Welche Vibrationen erzeugen das Geräusch? An welchen Stellen wirken Gegenmaßnahmen am besten?

Ziele der Kooperation

Mitarbeiter der Firmen Polytec und HEAD acoustics haben sich das Ziel gesetzt, diese Fragen zu beantworten und ein Bindeglied zwischen Schwingungsanalyse einerseits und erzeugtem Geräusch andererseits zu formen. Die Kompetenz von Polytec in Fragen der Laser Vibrometrie und Schwingungsanalyse verbindet sich hierbei mit der akustischen Kompetenz von HEAD acoustics bezüglich der Auralisation (Hörbarmachung) von Schallquellen in idealer Weise. Ziel dieser Kooperation ist es, den Synergieeffekt der Firmen zu nutzen und gemeinsam ein Werkzeug zu entwickeln, mit dem der Anwender akustische Aufgabenstellungen zukünftig in einer kompakten Messung effizient und zielorientiert bearbeiten kann.

HEAD acoustics GmbH

Die HEAD acoustics GmbH ist weltweit eines der führenden Unternehmen auf den Gebieten der akustischen und schwingungstechnischen Mess- und Analysetechnologie sowie der Sprachverständlichkeit. Für alle Anwendungen vom Sound Design bis hin zum akustischen Umweltschutz bietet HEAD acoustics Hard- und Softwarelösungen, die sich auf die gehör-richtige Aufnahme und Wiedergabe, Messungen und Analysen, das Jurytesting sowie das virtuelle Engineering erstrecken. Zu den verschiedenen, von führenden Anwendern weltweit geschätzten Dienstleistungen gehört auch die Binaurale Transferpfad-Analyse. Nicht zuletzt dank seiner eigenen, intensiven Forschungs- und Entwicklungsarbeit und der engen Verbindung zu staatlichen und industriellen Forschungseinrichtungen setzen die Produkte von HEAD acoustics immer wieder Standards. Seit der Gründung 1986 blickt das Unternehmen auf mehr als 30 nationale und internationale Patente und 400 wissenschaftliche Veröffentlichungen zurück.

Das neue Untersuchungsverfahren

Ausgehend von einer vibrierenden Oberfläche pflanzt sich der abgestrahlte Schall durch die Luft fort und erreicht schließlich das Ohr des menschlichen „Opfers“ in Form von Geräuschen.

Mit Hilfe der etablierten Transferpfad-Analyse (Genuit, K. & Bray, W. R., Sound & Vibration Juli 2002) kann der Weg des Schalls experimentell ermittelt werden. Als Erweiterung des Verfahrens bestimmt HEAD acoustics die Luftschallpfade typischerweise binaural (Sottek, R., Sellerbeck P., Klemenz M., SAE Konferenz 2003). Damit wird die Gestalt des Kopfes in die Analyse mit einbezogen. Dies ermöglicht die Auralisation (also die Hörbarmachung) von Teilschallquellen.

Wie bestimmt man nun in der Praxis die Luftschallübertragungsfunktionen binaural? Zu diesem Zweck kann man auf das Reziprozitätsprinzip zurückgreifen und die Luftschallübertragungspfade reziprok mit Hilfe eines binauralen Schallsenders messen (siehe Erläuterung in der Info-Box auf Seite 12).

Körperschall- und Luftschallmessungen

Das neue Verfahren erlaubt, Laser-Vibrometer-Messungen mit reziproken Luftschallmessungen zu verknüpfen. Bei der visuellen Darstellung der Bauteilschwingung wird beispielsweise statt der direkt mit dem Laser Vibrometer gemessenen Schwingungsamplitude nun die mit der reziprok gemessenen Luftschallübertragungsfunktion gewichtete Amplitude angegeben.

Diese Darstellung ist somit ein Maß für die Luftschallrelevanz der Bauteiloberfläche und gibt an, ob und wie stark einzelne Bereiche für das verursachte Geräusch am Ohr verantwortlich sind. Dem Akustikingenieur werden direkt die Stellen angezeigt, an denen akustische Maßnahmen eingeleitet werden müssen.

User Defined Datasets

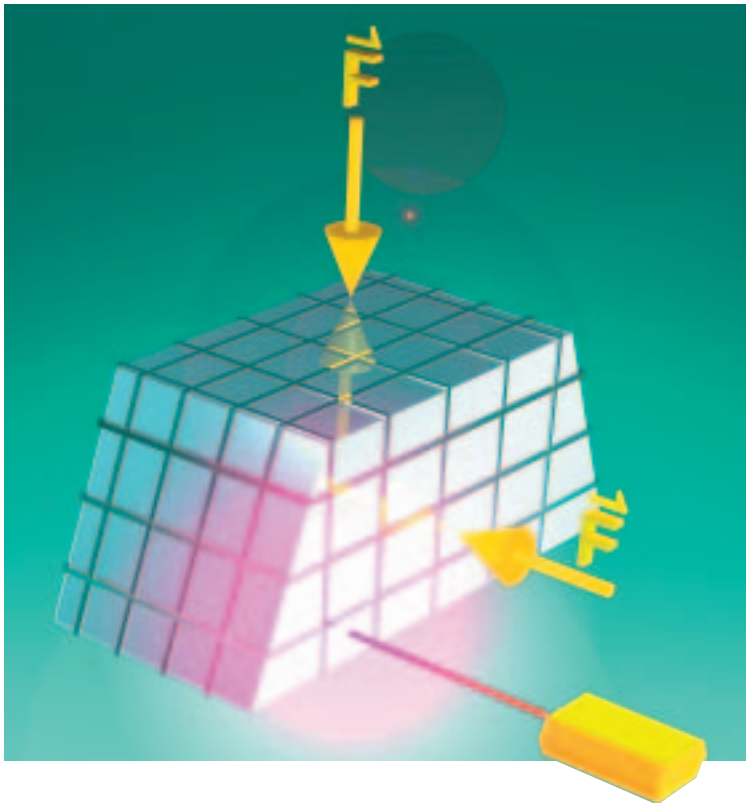
Technische Basis für die Verknüpfung der Körperschalldaten mit den Transferpfad-funktionen sind die so genannten User Defined Datasets, die als neue Option für die Polytec PSV-Software 8.1 verfügbar sind. Die User Defined Datasets erlauben dem Anwender, über eine Standard-Schnittstelle beliebige mathematische Transformationen auf die Messdaten anzuwenden und die Ergebnisse direkt in der PSV-Software zu visualisieren.

Erweiterungen zu dieser Softwareoption sind in Planung und sollen in Zukunft auch die Darstellung von nichtstationären Ereignissen ermöglichen. Gemeint ist damit die Möglichkeit, das akustische Verhalten eines Bauteils auch unter beliebigen, nichtstationären Betriebsbedingungen visuell darzustellen und die beispielsweise in der Automobilindustrie typische Fragestellung bezüglich Motorgeräuschen zu beantworten: Bei welcher Motordrehzahl ist welche Fläche eines Bauteils für das Geräusch verantwortlich? Erreicht werden soll dies, indem mit akustischen Übertragungsfunktionen gefilterte Zeitverläufe visualisiert werden. Eine entsprechende Softwareoption wird zur Zeit erarbeitet und für erste Consult-Anwendungen demnächst zur Verfügung stehen.

Erste Testanwendungen

Im Rahmen der Untersuchungen wurde das Verfahren anhand einer Modellstruktur getestet, die im Titelbild dieses Artikels zu sehen ist.





Das Reziprozitätsprinzip

Die Übertragungsfunktion zwischen Schallquelle und Empfangsort ändert sich nicht, wenn Schallquelle und Empfangsort miteinander vertauscht werden. Dies gilt unter der Voraussetzung, dass

- a) die Abstrahlcharakteristik des Senders gleich der Empfangscharakteristik des Empfängers ist und
- b) nur lineare Systeme und Messgrößenpaare wie z.B. Schalldruck und Volumenfluss betrachtet werden.

Wenn der Empfänger also ein menschlicher Kopf ist, muss folgerichtig der Schallsender ebenfalls die Form eines menschlichen Kopfes haben. Außerdem ist es zwingend notwendig, den vom Schallsender abgestrahlten Volumenfluss zu kennen.

Sind diese Voraussetzungen gegeben, so gilt die Reziprozität in jeder Umgebung unabhängig von den Raumeigenschaften.

Das Modell besteht aus einem Stahlrahmen, auf dem Metallflächen von unterschiedlicher Größe montiert sind. Zwei Shaker sorgen für die Schalleinleitung. Die experimentell bestimmten Transferpfade beschreiben den Schallweg von der Krafteinleitung an den Shakern zu den Ohren der Testperson im Inneren des Modells. Wie im Titelbild zu sehen ist, wird die Testperson messtechnisch, durch einen Kunstkopf bzw. durch einen binauralen Schallsender repräsentiert. Die ermittelten Transferpfade können prinzipiell mit beliebigen Zeitdaten verknüpft werden. So wurden zum Beispiel Zeitdaten an den Krafteinleitungspunkten der Motorlager eines Fahrzeugs unter Betriebsbedingungen aufgenommen und anschließend mit den Schall-Transferpfaden des Modells verknüpft. Das entstehende Geräusch im Innenraum des Modells setzt sich aus den Schallbeiträgen der einzelnen Teilflächen zusammen, die man sich auch separat anhören kann. Da das Verfahren binaural arbeitet, erhält man ein Stereosignal, das einen räumlichen Höreindruck ermöglicht und eine Lokalisierung der jeweiligen Schallquelle zulässt, so als würde man selbst im Innenraum sein.

Die PDF-Version dieses Artikels sowie weitere Informationen finden Sie auf der Internetseite von Polytec unter www.polytec.de bzw. HEAD acoustics unter www.head-acoustics.de.

DER AUTOR

Dr. Oliver Wolff

HEAD acoustics GmbH

Telefon +49 (0) 2407 577-110

E-mail oliver.wolff@head-acoustics.de

www.head-acoustics.de

