



Effiziente und exakte Bestimmung der Übertragungscharakteristiken von Fahrzeugkarosserien

Die Ermittlung komplexer Übertragungseigenschaften einer Fahrzeugkarosserie wird unter anderem mittels der Transferpfadanalyse (TPA) durchgeführt. Die Qualität der Ergebnisse ist dabei stark von der messtechnischen Erfassung und der mathematischen Modellierung bestimmt. Die AVL List GmbH entwickelte neue erfolgversprechende Ansätze innerhalb eines Forschungsprojekts und stellt das Simulationswerkzeug TPA-Form vor, mit dem eine deutliche Steigerung der Effizienz und Güte der Ergebnisse erreicht werden kann.

1 Einführung

Ein wichtiges Verfahren zur Bestimmung der Beiträge einzelner Geräuschquellen zum Fahrzeuginnengeräusch ist die sogenannte Transferpfadanalyse (TPA). Die genaue Ermittlung der einzelnen Geräuschbeiträge ist eine Voraussetzung für zielgerichtete und effektive Maßnahmen an den Quellen oder Übertragungswegen zur Optimierung des Innengeräusches.

Da herkömmliche TPA-Verfahren teilweise unterschiedliche und ungenaue Ergebnisse zeigen, wurde von AVL gemeinsam mit dem Geschäftsbereich C „NVH & Friction“ im Kompetenzzentrum „Das virtuelle Fahrzeug Forschungsgesellschaft mbH“ (dem ehemaligen Acoustic Competence Center (ACC)) und dem Institut für Akustik und Elektronische Musik (IEM) in einem Forschungsprojekt eine effiziente TPA entwickelt, welche optimale Ergebnisse liefert.

2 Kommerzielle TPA-Verfahren

An einem Mittelklasse-Pkw mit Frontantrieb, dem Testfahrzeug für dieses Projekt, wurden drei verschiedene kommerzielle TPA-Verfahren erprobt, um die einzelnen Geräuschbeiträge zum Fahrzeuginnengeräusch zu bestimmen. Dabei wurden für alle untersuchten Verfahren exakt dieselben Zeitdaten als Eingangsgrößen verwendet.

Zusätzlich wurde auf die speziellen Anforderungen der einzelnen TPA-Verfahren Rücksicht genommen. Als Ergeb-

nis lagen teilweise unterschiedliche Beiträge zum Innengeräusch vor und die Summe aller Beiträge korrelierte nicht zufriedenstellend mit dem gemessenen Innengeräusch [1].

In **Bild 1** sind die wichtigsten möglichen Fehlerquellen von inertanzbasierten TPA-Verfahren [2] dargestellt, welche von der Kraftanregung der Fahrzeugstruktur ausgehen. Diese wurden in Bezug auf deren Auswirkungen auf das TPA-Ergebnis am vorher erwähnten Testfahrzeug einzeln mit Hammer- und Shakeranregung untersucht, um die Inertanzen (Verhältnis von Schwingbeschleunigung und wirkender Kraft im Anregungspunkt) und Übertragungsfunktionen (frequency response functions, FRF) zu bestimmen.

Da in heutigen Motorräumen der Platzbedarf für eine Kraftanregung an den Motorlagerpositionen äußerst limitiert ist, sind besonders Fehler in Bezug auf Ort der Anregungspositionen und Anregungsrichtung teilweise unvermeidbar. In **Bild 2** sind die exemplarischen Ergebnisse der Übertragungsfunktionen von einer Motorlagerposition zum Innenraummikrofon dargestellt. Wie hier gezeigt, differieren die Ergebnisse um bis zu 10 dB, bei einer Abweichung von 35 mm in der Anregungsposition (gleiche Richtung) oder 15° in der Anregungsrichtung (gleiche Position). In Bezug auf die Auswirkungen des Temperatureinflusses der Fahrzeugkarosserie ergeben sich bei der Kraftanregung bei Raumtemperatur (20 °C) und Bestimmung der Beiträge im Fahrbetrieb (60 °C) auch Abweichungen im Ergebnis von bis zu 5 dB. Neben diesen Fehlerquel-

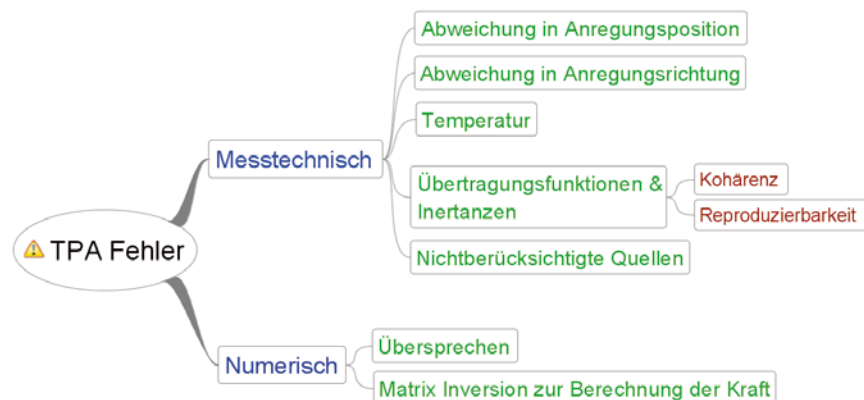


Bild 1: Überblick über messtechnische und numerische Fehlermöglichkeiten die TPA-Ergebnisse beeinflussen

Die Autoren



Dr. techn. Franz K. Brandl ist Leiter des Bereichs Fahrzeug- und Motorakustik bei der AVL List GmbH in Graz (Österreich).



Dr. techn. Stephan Brandl ist Projektleiter im Bereich Fahrzeug- und Motorakustik bei der AVL List GmbH in Graz (Österreich).



Prof. Dr. Robert Höldrich ist Professor am Institut für Elektronische Musik und Akustik an der Kunstuniversität Graz (Österreich).



Dr. Alois Sontacchi ist Senior Scientist am Institut für Elektronische Musik und Akustik der Kunstuniversität Graz (Österreich).



Prof. Dr. Hans H. Priebsch ist wissenschaftlicher Bereichsleiter des Geschäftsbereichs C „NVH & Friction“ im Kompetenzzentrum Das virtuelle Fahrzeug Forschungsgesellschaft mbH in Graz (Österreich).

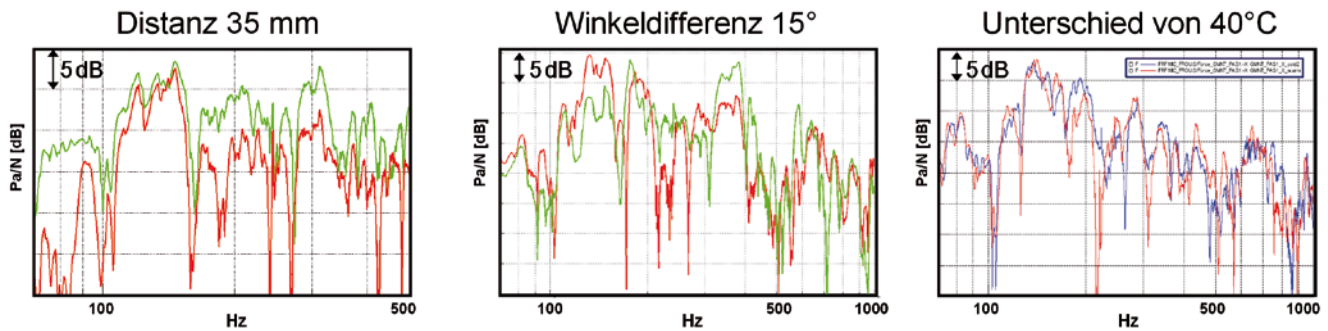


Bild 2: Vergleich gemessener Übertragungsfunktionen an einer Motorlagerposition mit Abweichungen in der Anregungsposition (links), der Anregungsrichtung (Mitte) und der Anregungstemperatur (rechts)

len bei der inertanzbasierten TPA-Messprozedur ergeben sich noch zusätzlich deutliche Abweichungen der Ergebnisse infolge der verwendeten mathematischen Modellierung.

Die Kombination aus beiden (messtechnischen sowie modellbasierten) Fehlern führt zu deutlichen Unterschieden in den einzelnen Ergebnissen. Vor allem die Berücksichtigung des Übersprechens zwischen den drei Raumrichtungen in jedem Motorlager (blockweise Inertanzmatrix) und zwischen den Motorlagern zeigt ebenfalls deutliche Unterschiede in den Ergebnissen.

In den letzten Jahren wurde ein TPA-Verfahren entwickelt, das auf Betriebsmessungen basiert. Hierbei werden die Beschleunigungen im Fahrbetrieb an einer großen Anzahl von Messstellen an der Karosserie gemessen und die Anteile je Motorlager zum Innengeräusch über

Regressionsverfahren ermittelt [3]. Hierbei sind unter anderem die an den Motorlagern eingeleiteten Kräfte nicht bekannt, so dass auch keine gezielte anregungsseitige Optimierung möglich ist.

Um die numerisch erhaltenen Ergebnisse von Inertanz [2] und Betriebsbeschleunigung [3] basierenden TPA-Verfahren zu beurteilen, wurde ein spezieller Messaufbau am Testfahrzeug appliziert. Dazu wurden an den Motorlagerpositionen der Karosserie (bei eingebautem Motor) Mini-Shaker angebracht. Als Anregung wurden an diesen Positionen gemessene Betriebsbeschleunigungen eines Motorhochlaufs bei Vollast im dritten Gang verwendet. Gleichzeitig wurde die durch die Shaker eingeleitete Kraft gemessen, **Bild 3**.

Durch diesen Aufbau sind Einflüsse von Abweichungen in der Anregungsposition, der Anregungsrichtung und der Karosserietemperatur ausgeschlossen. Wie die Ergebnisse der zweiten Motorordnung unterschiedlicher TPA-Verfahren zeigen, sind auch hier die TPA-Ergebnisse der einzelnen Shakerbeiträge zum Innengeräusch unterschiedlich und stimmen nicht immer mit dem gemessenen Shakerbeitrag überein [4]. Da das jeweilige mathematische Verfahren kommerziell erhältlicher TPA im Detail nicht bekannt ist, sind die Gründe für die Unterschiede in den Ergebnissen im Detail nicht kommentierbar.

Um den Einfluss des Übersprechens auf das Ergebnis quantifizieren zu können, wurde der Einfluss des Übersprechens in diesem Projekt folgendermaßen definiert: Übersprechen wird als das Verhältnis der Summe der Energie über die Übersprechpfade zur Summe der Ener-

gie über den Anregungspfad (Hauptpfad) berechnet. 0 dB Übersprechen bedeutet damit, dass gleichviel Energie über die Summe der Nebenpfade wie über den Hauptpfad übertragen wird. Negative dB Werte hingegen zeigen, dass mehr Energie über den Hauptpfad als über sämtliche Nebenpfade übertragen wird.

Wie aus **Bild 4** und **Bild 5** ersichtlich, ist an diesem Fahrzeug der Einfluss des Übersprechens im jeweiligen Motorlager deutlich größer als der Einfluss durch das Übersprechen zwischen allen Motorlagern. Wobei sich hier die Fehler durch Nichtberücksichtigung des Übersprechens auf bis zu 10 dB belaufen.

3 Optimierungsmöglichkeiten der TPA

Eine limitierte Berücksichtigung des Übersprechens ist eine Möglichkeit, die Genauigkeit der inertanzbasierten TPA begrenzt zu optimieren. Üblicherweise erhöht die Anzahl der Inertanzen in der Inertanzmatrix die „Konditionszahl“, welche ein Parameter für die numerische Fehlerverstärkung ist. Niedrige Beiträge können bei der Inversion der Inertanzmatrix zu extrem hohen Werten führen, wenn die einzelnen Innengeräusch-Beiträge aus den Beschleunigungsmessungen im Fahrbetrieb berechnet werden. Daher ergibt sich in den meisten Fällen ein Optimum, wenn nur das Übersprechen in den einzelnen Motorlagern berücksichtigt wird und damit die niedrigen zusätzlichen (ungenaueren) Messwerte, resultierend vom geringen Übersprechen zwischen den Motorlagern, wegfallen.

In **Bild 6** ist dies wieder als Geräuschpegel mit dem zuvor beschriebenen Messaufbau

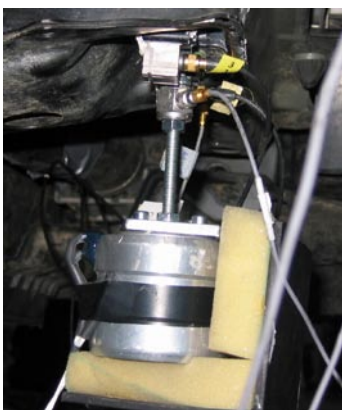


Bild 3: Versuchsaufbau mit Befestigung eines der sechs Mini-Shaker und Beschleunigungsaufnehmer im Bereich der Krafteinleitungsstellen

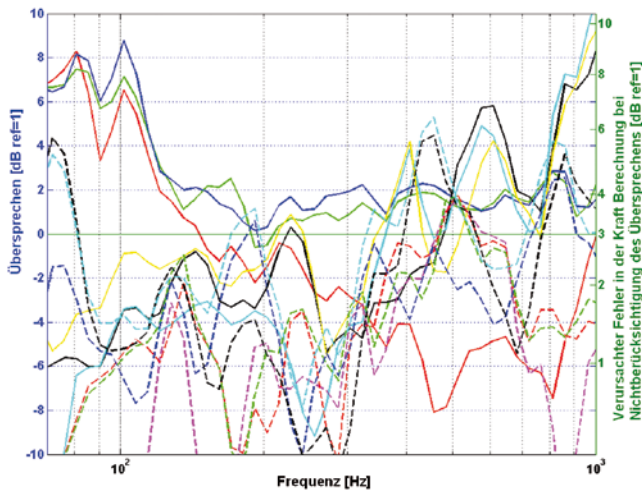


Bild 4: Möglicher Fehler bei der Kraftermittlung bei Nichtberücksichtigung des Übersprechens innerhalb der jeweiligen Motorlager

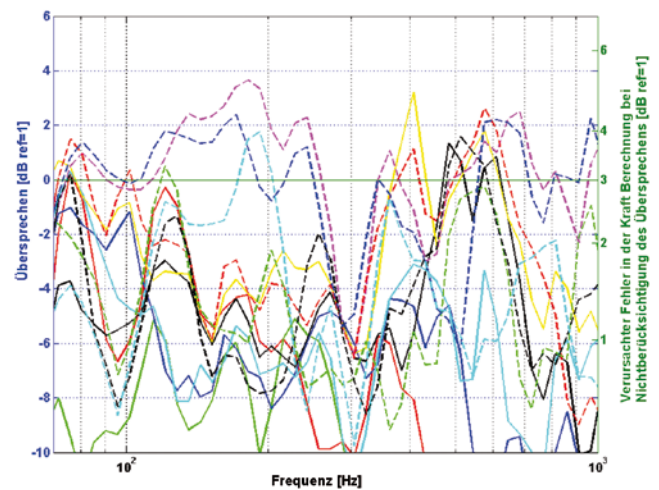


Bild 5: Möglicher Fehler bei der Kraftermittlung bei Nichtberücksichtigung des Übersprechens zwischen den einzelnen Motorlagern

am Versuchsfahrzeug dargestellt. Da hier, wie vorher erwähnt, die messtechnisch bedingten Fehler eliminiert wurden, verursachen nur mehr numerische Probleme die dargestellten Abweichungen. In Bild 6 ergeben sich für das gemessene und errechnete Innengeräusch ohne Übersprechen (oben) große Unterschiede. Für eine Berücksichtigung des Übersprechens innerhalb der Motorlager (Mitte) ist bereits eine sehr gute Übereinstimmung erkennbar die sich bei vollständiger Berücksichtigung des Übersprechens (unten) noch etwas verbessert. Wenn nun zusätzlich messtechnische Fehler auftreten, was bei einer realen TPA der Fall ist, ist daher eindeutig einem Ansatz mit (teilweiser) Berücksichtigung des Übersprechens der Vorzug zugeben. Da das Übersprechen sowohl stark vom Fahrzeug als auch von der Frequenz abhängig ist, lässt sich allerdings keine allgemein gültige Aussage bezüglich der Präferenz einer der beiden Verfahren treffen.

4 Innovatives Verfahren TPA-Form

Mit dem neuen Verfahren TPA-Form können die Inertanzen und Kräfte an den Motorlagerpositionen durch Betriebsbeschleunigungen und reziprok gemessenen Übertragungsfunktionen, beispielsweise vom Fahrgastraum zum Motorraum (Motorlagerpositionen), bestimmt werden [5]. Diese Vorgangsweise ist bedeutend schneller durchführbar als eine herkömmliche inertanzbasierte TPA und reduziert gleichzei-

tig deutlich deren messspezifische Fehlermöglichkeiten. Dabei handelt es sich wie vorher gezeigt um Fehler infolge von Ab-

weichungen in Anregungsrichtung und Position sowie von unterschiedlichen Karosserietemperaturen.



Abranet[®]

– staubfrei schleifen

Das innovative Schleifmittel Abranet[®] von MIRKA sorgt durch seine einzigartige Netzkonstruktion für optimale Absaugung des Schleifstaubes. Lange Standzeit und hoher Abtrag garantieren effektive Prozesse und eine perfekte Oberfläche.

Testen Sie Abranet[®] und fordern Ihre 150 mm Testscheibe an! Fax: 0800 - 2000 900

MIRKA Schleifmittel GmbH
www.mirka.de

Quality from start to finish



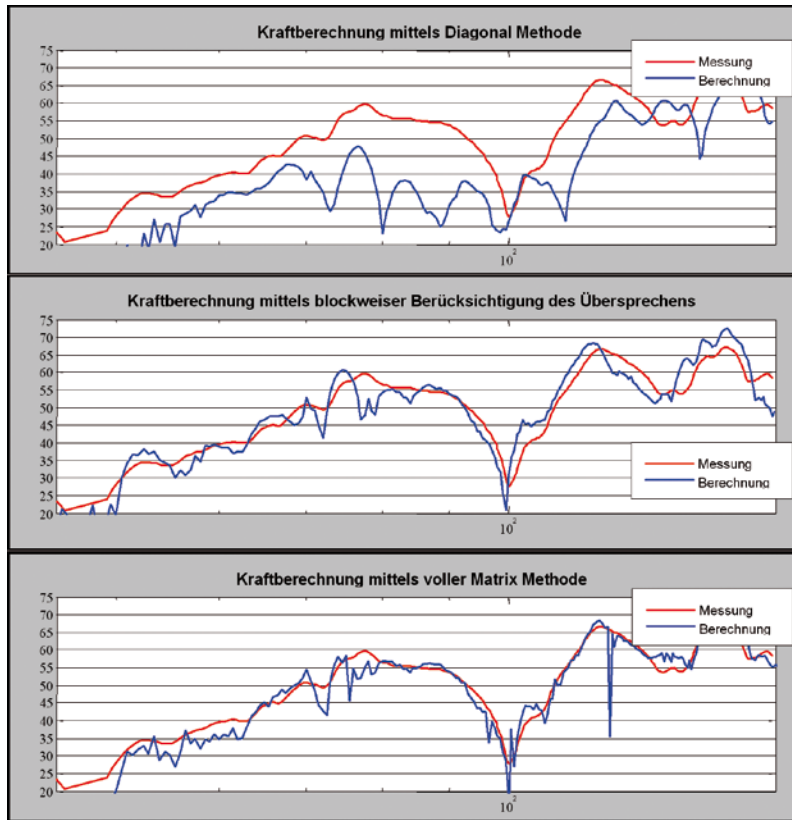


Bild 6: Gemessener (rot) und mittels Inertanzverfahren berechneter (blau) Einzelbeitrag einer Antriebsstrangkomponente für drei Varianten der Matrixinversion: ohne Übersprechen (oben), mit Übersprechen innerhalb jedes Lagers (mitte), mit Übersprechen innerhalb und zwischen (unten) den einzelnen Lagern

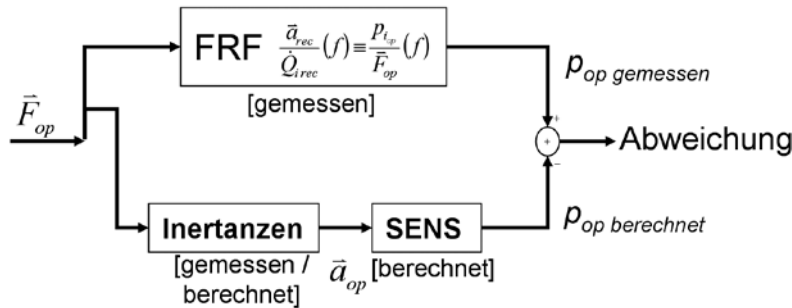


Bild 7: Blockschaltendiagramm für die Verifikation von Sensitivitäten und Inertanzen

Infolge der Reziprokmessung wird der Fehler durch die Abweichungen in Anregungsrichtung an den Motorlagern durch Messung der Beschleunigungen an diesen Positionen eliminiert, weil die Richtung der Beschleunigungsaufnahme der Richtung der Kraftanregung in der reziproken Transferfunktion entspricht. Die genauen Positionen zur Messung der Beschleunigungen an den Motorlagern sind durch Beschleunigungsaufnehmer weitaus besser zu treffen als durch Hammer- oder Shakeranregung.

Die Temperatur der Karosserie ist nahezu dieselbe, wenn die Reziprokmessung direkt nach den Betriebsmessungen erfolgt.

Durch diese Verbesserung der Qualität der Inertanzen wird auch die Vorhersagequalität der Ergebnisse einer TPA verbessert. Dies wirkt sich in weiterer Folge auch positiv auf die Auralisation der Anteile der einzelnen Geräuschpfade aus, weil die Berechnung der Kraft mit Hilfe der – mittels TPA-Form bestimmten – Inertanzen wesentlich verbessert wird.

5 Theorie-Grundlagen für TPA-Form

Um die Inertanzen und Kräfte an den Motorlagerpositionen zu bestimmen sind zwei Schritte notwendig. Im ersten Schritt werden die Beschleunigungen an den Motorlagern und die Schalldrücke an den Innenraummikrofonpositionen im Fahrzeugbetrieb gemessen. Sie werden im zweiten Schritt für die Berechnung der Inertanzen benötigt. Zu jeden Zeitpunkt eines Motorhochlaufes ergeben die gemessenen Schalldrücke dividiert durch die jeweils gemessenen Beschleunigungen an den Motorlagerpositionen die sogenannten „Sensitivitäten“ der Karosserie nach Gl. (1).

Da die Inertanzen und Übertragungsfunktionen (Beschleunigung zu Schalldruck) – wie bei allen TPA-Verfahren vorausgesetzt – über die unterschiedlichen Fahrzustände konstant bleiben, bleiben auch diese ermittelten Sensitivitäten über alle Fahrzustände in einem Motorhochlauf konstant. Dadurch kann aus den vorhandenen Daten eine Berechnung der Sensitivität durch eine Methode der kleinsten Quadrate durchgeführt werden.

Im zweiten Schritt werden die Inertanzen aus den soeben berechneten Sensitivitäten und den reziprok gemessenen Übertragungsfunktionen nach Gl. (2) bestimmt. Durch geeignete Umformung von Gl. (2) entsteht das in Gl. (3) dargestellte lineare Gleichungssystem. Da die Inertanzen hier die einzigen Unbekannten sind können diese aus dem Gleichungspaket errechnet werden. Aus den Inertanzen und den gemessenen Betriebsbeschleunigungen an den Motorlagern können damit exakt nach Position und Richtung die jeweiligen Kräfte und Beiträge zum Innengeräusch ermittelt werden.

6 Verifikation von TPA-Form

Für die Verifikation der Ergebnisse wurde ein ähnlicher Versuchsaufbau wie für die Verifikation der konventionellen TPA im Testfahrzeug installiert. Dafür wurden zwei Minishaker am stehenden Fahrzeug an zwei Motorlagern karosserie-seitig angebracht und unter Motorbetriebsbedingungen im Motorhochlauf betrieben. Zwischen jeden Minishaker und Karosserie war jeweils ein Kraftgeber ange-

Bei der Bahn funktioniert's...

und ist auch für die Prüfung moderner Elektroantriebe in der Automobilindustrie die richtige Wahl.

Prüfanlagen von REO – seit Jahrzehnten ein Garant für Zuverlässigkeit bei der Prüfung elektrischer Umrichter und Motoren.



REO-Prüfanlagen sind bis zu einer Leistung von 5 kV AC und 630 kW DC erhältlich und bestehen aus Modulen, wie Spannungsversorgung, Lasteinheit und Steuerung.

REO INDUCTIVE COMPONENTS AG
Tel. +49 (0) 212 - 88 04 - 0
main@reo.de | www.reo.de

www.reo.de

$$P_{tot,i}(t) = \boxed{} \cdots \boxed{}$$

$$\begin{bmatrix} p_{tot,i}(f, t_1) \\ \vdots \\ p_{tot,i}(f, t_m) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1(f, t_1) & \cdots & a_n(f, t_1) & p_{s1}(f, t_1) & p_{s1}(f, t_1) \\ \vdots & & \vdots & & \\ a_1(f, t_m) & \cdots & a_n(f, t_m) & p_{s1}(f, t_m) & p_{s1}(f, t_m) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} S(i, l, f) \\ \vdots \\ S(i, n, f) \\ D(i, l, f) \\ D(i, l, f) \end{bmatrix}$$

- i ... Position des Antwortmikrofons
- $1 \dots m$... betrachteter Zeitblock
- $1 \dots n$... betrachtete Beschleunigung
- $1 \dots l$... betrachtete Quellmikrofone
- $S(i, j, f)$... Beschleunigung-zu-Schalldruck-Sensitivität für Antwortmikrofon i und Beschleunigung j bei Frequenz f
- p_{sh} ... Schalldruck am Quellmikrofon h
- $D(i, h, f)$... Schalldruck-zu-Schalldruck-Sensitivität für Antwortmikrofon i und Quellmikrofon h bei Frequenz f

Gl. (1)

$$\frac{\vec{a}_{rec}}{Q_{i,rec}}(f) \equiv \frac{p_{i,op}}{\vec{a}_{op}}(f) \cdot \frac{\vec{a}_{op}}{\vec{F}_{op}} = S(f) \cdot \frac{\vec{a}_{op}}{\vec{F}_{op}}(f) = S(f) \cdot I(f)$$

\vec{a}_{rec} ... Beschleunigung während der Reziprokmessung in Richtung \vec{F}_{op}

$Q_{i,rec}$... Volumenbeschleunigung während der Reziprokmessung am Antwortmikrofon i

$p_{i,op}$... Schalldruck am Antwortmikrofon i im Betriebszustand

\vec{a}_{op} ... Beschleunigungen im Betriebszustand

\vec{F}_{op} ... Vektor eingeleiteter Kräfte im Betriebszustand

$S(f)$... Matrix mit den berechneten Beschleunigung-zu-Schalldruck-Sensitivitäten

Gl. (2)

$$\begin{bmatrix} \frac{a_{1,rec}}{Q_{1,rec}(f)} \\ \frac{a_{2,rec}}{Q_{1,rec}(f)} \\ \frac{a_{3,rec}}{Q_{1,rec}(f)} \\ \frac{a_{1,rec}}{Q_{2,rec}(f)} \\ \frac{a_{2,rec}}{Q_{2,rec}(f)} \\ \frac{a_{3,rec}}{Q_{2,rec}(f)} \\ \frac{a_{1,rec}}{Q_{3,rec}(f)} \\ \frac{a_{2,rec}}{Q_{3,rec}(f)} \\ \frac{a_{3,rec}}{Q_{3,rec}(f)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{11}(f) \\ I_{12}(f) \\ I_{13}(f) \\ I_{21}(f) \\ I_{22}(f) \\ I_{23}(f) \\ I_{31}(f) \\ I_{32}(f) \\ I_{33}(f) \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} S(1,1,f) & 0 & 0 & S(2,1,f) & 0 & 0 & S(3,1,f) & 0 & 0 \\ 0 & S(1,1,f) & 0 & 0 & S(2,1,f) & 0 & 0 & S(3,1,f) & 0 \\ 0 & 0 & S(1,1,f) & 0 & 0 & S(2,1,f) & 0 & 0 & S(3,1,f) \\ S(1,2,f) & 0 & 0 & S(2,2,f) & 0 & 0 & S(3,2,f) & 0 & 0 \\ 0 & S(1,2,f) & 0 & 0 & S(2,2,f) & 0 & 0 & S(3,2,f) & 0 \\ 0 & 0 & S(1,2,f) & 0 & 0 & S(2,2,f) & 0 & 0 & S(3,2,f) \\ S(1,3,f) & 0 & 0 & S(2,3,f) & 0 & 0 & S(3,3,f) & 0 & 0 \\ 0 & S(1,3,f) & 0 & 0 & S(2,3,f) & 0 & 0 & S(3,3,f) & 0 \\ 0 & 0 & S(1,3,f) & 0 & 0 & S(2,3,f) & 0 & 0 & S(3,3,f) \end{bmatrix}$$

Gl. (3)

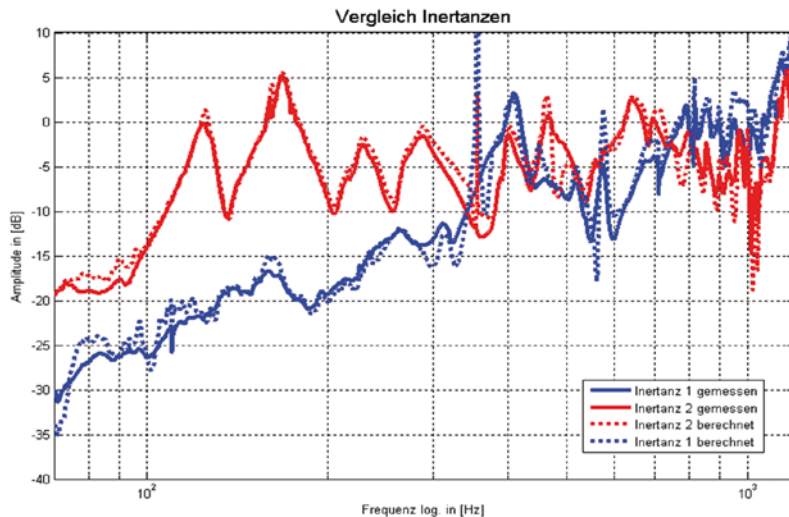


Bild 8: Vergleich zweier mittels TPA-Form berechneter und gemessener Inertanzen

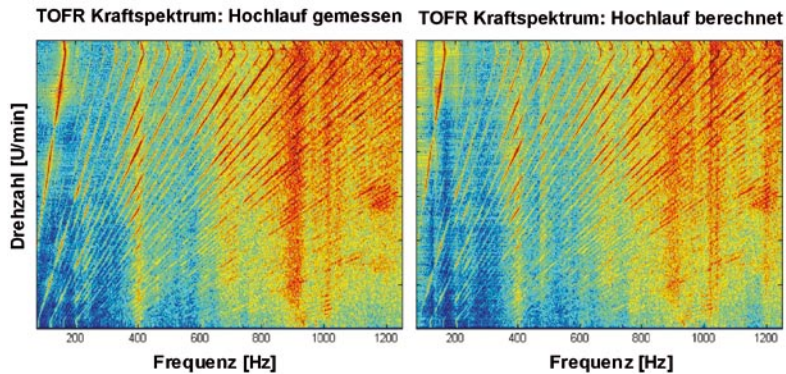


Bild 9: Vergleich der im Betrieb gemessenen (links) und mittels TPA-Form-Inertanzmatrix-Verfahrens berechneten (rechts) Kräfte

bracht und daneben jeweils ein 3D-Beschleunigungsaufnehmer. Mit Hilfe der so gewonnenen Daten konnten folgende Verifikationen durchgeführt werden:

- Verifikation der berechneten Sensitivitäten
- Verifikation der berechneten Inertanzen
- Verifikation der eingeleiteten Kräfte.

6.1 Verifikation der berechneten Sensitivitäten

Um die berechneten Sensitivitäten zu verifizieren, wurde ein Vergleich der gemessenen und berechneten Größen (Beschleunigungen im Fall der Verifikationsmessung) an den Antwortpunkten für den gesamten Hochlauf verwendet. In **Bild 7** ist dieser Ansatz als Blockschaltdiagramm dargestellt. Das Blockschaltdiagramm zeigt die Beziehungen zwischen Sensitivitäten, In-

ertanzen und (reziprok gemessenen) Übertragungsfunktionen. Dazu werden die Beschleunigungen einerseits unter Verwendung der gemessenen Übertragungsfunktionen bestimmt und andererseits mit Hilfe der berechneten Sensitivitäten und gemessenen Inertanzen ermittelt. Durch die hohe Übereinstimmung der beiden Werte lässt sich der wichtige Schluss ziehen, dass die Bestimmung der Sensitivitäten korrekt und die Annahme der Konstanz der Sensitivitäten über alle Betriebszustände gegeben ist.

6.2 Verifikation der berechneten Inertanzen

Unter Verwendung der verifizierten Sensitivitäten können die Inertanzen mittels TPA-Form bestimmt werden. Zur Verifikation der berechneten Inertanzen wurde ein Vergleich zwischen gemessenen

und mittels TPA-Form bestimmten Inertanzen durchgeführt. Dieser Vergleich ist in **Bild 8** dargestellt und zeigt eine sehr gute Übereinstimmung.

Der auftretende Unterschied zwischen den gemessenen und berechneten Inertanzen liegt für den betrachteten Frequenzbereich unter 3 dB. Dieser Fehler ist also bei weitem geringer als eine Summation der Fehler aus Abweichungen der Krafteinleitungsposition, Abweichungen der Krafteinleitungsrichtung und vorhandener Temperaturunterschiede.

6.3 Verifikation der eingeleiteten Kräfte

Als letzter Schritt der Verifikation wurde mit Hilfe der berechneten Inertanzen die Kraft unter Verwendung der Inertanzmatrix-Methode bestimmt. Damit wird der gesamte Einfluss der Fehler in den Inertanzen auf die Berechnung der im Betrieb auftretenden Kräfte dargestellt. **Bild 9** zeigt Campbell-Diagramme von im Betrieb gemessenen (links) und den entsprechenden mittels TPA-Form und Inertanzmatrix-Verfahren bestimmten Kräfte (rechts).

Wie in beiden Diagrammen zu sehen ist, lässt die sehr gute Übereinstimmung gemessener und berechneter Kräfte auf eine hohe Güte der berechneten Inertanzen schließen. Die TPA-Form-Methode, welche zur Bestimmung der Inertanzen verwendet wurde, konnte daher an Hand des verwendeten Versuchsaufbaus mit einem sehr positiven Ergebnis verifiziert werden.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Das von der AVL beschriebene Verfahren TPA-Form ermöglicht eine wesentlich genauere und schnellere Bestimmung des Übertragungsverhaltens von Fahrzeugen als vergleichbare Methoden. Dies bringt nicht nur Vorteile in üblichen Anwendungen der Transferpfadanalyse (TPA), sondern ist auch Voraussetzung dafür, die TPA früher als bisher in den Fahrzeugentwicklungsprozess zu integrieren.

Um den Einsatz der TPA schon vor dem Vorhandensein erster Prototypen zu ermöglichen, ist eine Einbindung von CAE-Daten notwendig. Dadurch können die Vorteile CAE-basierter Berechnungen (einfache Variantenrechnung, früher Einsatz im Entwicklungsprozess, keine Prototyp notwendig etc.) mit denen der TPA (keine

Frequenzbegrenzung, in Hardware verifizierte Messdaten etc.) kombiniert werden.

Die Integration dieser Daten führt im Wesentlichen zu zwei Herausforderungen: In erster Linie muss der Datentransfer zwischen den beteiligten Programmen einfach realisiert werden. Von viel höherer Bedeutung für das Verfahren selbst ist zweitens aus theoretischer Sicht aber die möglichst genaue Übereinstimmung der Krafteinleitungspositionen und Krafteinleitungsrichtungen zwischen dem Berechnungsmodell und der Messung.

Hier kommen abermals die Vorteile der mittels TPA-Form-Verfahren bestimmten Inertanzen zum Tragen. Da die messtechnischen und numerischen Fehler minimiert werden, erlauben die durch das TPA-Form-Verfahren berechneten Inertanzen eine möglichst fehlerfreie Integration CAE-berechneter Daten. Somit lassen sich beispielsweise eine Transferfunktionsmessung an einem Vorgängermodell mit Kräften

aus einer CAE-Berechnung eines neuen Motors kombinieren, um den Einfluss der berechneten Optimierungsschritte auf den Schalldruck im Fahrzeuginnenraum möglichst frühzeitig mit möglichst hoher Genauigkeit vorhersagen zu können.

Erste Untersuchungen in dieser Richtung wurden bereits durchgeführt [6] und haben erfolgversprechende Ergebnisse gezeigt. In Zukunft wird bei AVL daher ein verstärktes Augenmerk auf die Kombination von TPA und CAE gelegt werden, um die wichtigen Aussagen einer exakten TPA schon zu einem wesentlichen früheren Zeitpunkt in den Fahrzeugentwicklungsprozess integrieren zu können.

Literaturhinweise

- [1] Biermayer, W.; Brandl, F.; Höldrich, R.; Sontacchi, A.; Brandl, S.; Fliesser, W.: Sound Engineering based on Source Contributions and Transfer Path Results. JSAE Paper 318 / 20075399, Japan, 2007

- [2] Genuit, K.; Sottek, R.; Vorländer, M.; Behler, G.; Kellert, T.: Binaurale Transferpfadanalyse und -synthese. Abschlussbericht, FVV-Vorhaben, Nr. 806, Frankfurt/Main, 2005
- [3] Noumura, K.; Yoshida, J.: Method of Transfer Path Analysis for Interior Vehicle Sound by Actual Measurement. JSAE Paper 268 / 20065041, Japan, 2006
- [4] Brandl, S.; Priebsch, H.; Brandl, F.; Biermayer, W.; Höldrich, R.; Sontacchi, A.: Challenges and New Solutions for Transfer Path Analysis. ISMA, Leuven, September 15th to 17th 2008
- [5] AVL Patent Application: No. 55625 "TPA-Form"
- [6] Brandl, S.; Brandl, F.; Pramberger, H.; Zieher, F.: Necessities for CAE Supported Transfer Path Analysis for Vehicle Interior Noise Prediction. JSAE Paper 201 / 20095052, Japan, 2009

Download des Beitrags unter
www.ATZonline.de

ATZ
online

ATZ

Read the English e-magazine.
Order your test issue now:
SpringerAutomotive@abo-service.info

Engagieren Sie sich in der Entwicklung zukunftsweisender Antriebskonzepte?

TGS unterstützt Sie mit der Planung und Realisierung kompletter Prüfstands-systeme.

Individuell und nach Ihren Vorgaben.



Downsizing - Hybrid - Elektroantrieb



TECHNOGERMA SYSTEMS GmbH D - 64291 Darmstadt, Röntgenstraße 10a
Fon: +49 (0) 6151 / 99587 - 0 info@technogerma.com www.technogerma.com

TECHNOGERMA SYSTEMS GmbH



Prüfstände - Komponenten - Systeme