

WIRKSAMKEITSNACHWEIS UND ANWENDUNG DER OPERATIONELLEN TRANSFERPFADANALYSE MIT NEBENWEGKOMPENSATION IM BEREICH KOMFORTRELEVANTER GESAMTFAHRZEUGSCHWINGUNGEN

Robert Henneberger¹, Lukas Binder¹, Stefan Sentpali¹

¹Hochschule München, Fahrzeugtechnik Arbeitsgruppe Akustik & Dynamik, Lothstraße 64, 80335 München

Die operationelle Transferpfadanalyse (oTPA) bietet die Möglichkeit subjektive Fahrkomforteindrücke zu objektivieren. Hierbei werden die einzelnen Vibrationspfade im Bereich des *primary ride* und *secondary ride comfort* ermittelt. Hierfür muss ein geeigneter Messaufbau gewählt werden, bei dem alle Vibrationsquellen des Fahrwerks, des Aggregats sowie die Immissionsorte des Karosserieaufbaus (Sitze) mit Schwingungsaufnehmern versehen werden. Die Fahrkomfortmessungen werden im realen Betrieb auf verschiedenen Fahrbahnuntergründen durchgeführt. Die Ergebnisse helfen den Schwingungsbeitrag der einzelnen Quellen auf die Vibration am Fahrersitz zu quantifizieren. Ferner können Fahrzeuge objektiv bezüglich Fahrkomfort relevanter Kriterien miteinander verglichen werden.

1. Motivation

Wird mit einem Kraftfahrzeug eine unebene Straße überfahren, wird dieses zu Schwingungen angeregt. Je nach Störfrequenz und Schwingstärke wird dies oftmals als störend von den Fahrzeuginsassen empfunden und kann sogar zu Unwohlsein führen. Diese Störeffekte hängen in großem Maß von der Fahrwerkabstimmung (z.B. Fahrwerksfedern, Dämpfer, Reifen, und Aggregatlagerung) ab [1]. Für eine optimale Abstimmung müssen heute umfangreiche Testfahrten von geschulten Fahrwerksentwicklern durchgeführt werden. Um die Fahrwerkabstimmung zu vereinheitlichen müssen die Fahrkomfortphänomene objektiviert werden.

Mit Hilfe moderner Analysetools, wie der operationellen Transferpfadanalyse oTPA, werden die Fahrkomfort relevanten Phänomene im Bereich 1 Hz - 30 Hz detektiert und die Beitragsleistung ermittelt.

2. Messtechnik

Eine messtechnische Herausforderung stellt der zu betrachtende Frequenzbereich dar. Hierbei sind die komfortrelevanten Frequenzen vom niedrigen einstelligen Hertzbereich < 1 Hz (Perzeptionsschwelle) bis zur unteren Hörschwelle im Bereich um 16 Hz besonders wichtig. Um die wichtigsten komfortrelevanten Beitragsleistung detektieren zu können, ist es sinnvoll diese Fahrwerkskomponenten auch als Schwingungsquelle zu erfassen. Hierfür wurden alle vier Radträger, das Aggregat, der Fahrschemel sowie die Karosserieanbindungspunkte der Radträger mit hochempfindlichen dreiachsigen Beschleunigungssensoren bestückt. Als Immissionspunkte wurden Fahrer- und Beifahrersitzschiene referenziert. Für die Gesamtfahrzeuganalyse wurden in Summe mehr als 60 Messkanäle zur ganzheitlichen schwingungstechnischen Abbildung des Fahrkomforts benötigt. Weiterhin wurden eine Kreiselp Plattform zur Bewertung der rotatorischen Freiheitsgrade, sowie GPS und CAN-Bus Daten des Messfahrzeugs aufgezeichnet (vgl. Bild 1).

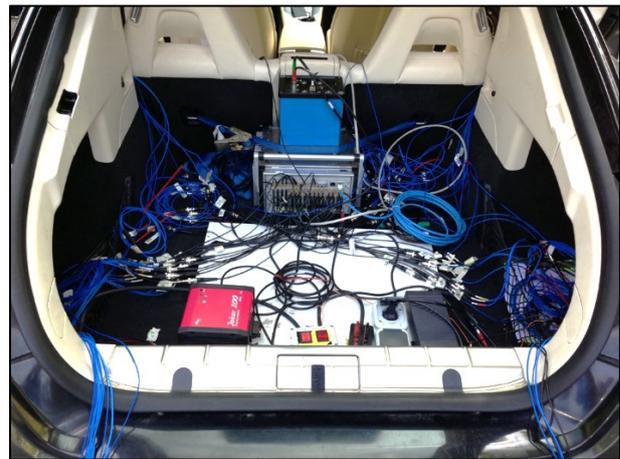


Bild 1: Anordnung der mobilen Schwingungsmesstechnik im Kofferraum eines Versuchsfahrzeugs.

3. Anregungsprofile

Untersucht wurden drei Fahrzeuge der Oberklasse. Als Anregungsprofile dienten 10 unterschiedliche Messstrecken (Stadt, Überland, etc.) mit charakteristischen Anregespektren, um die gewünschten Fahrkomfort Phänomene zu provozieren. Weiterhin wurden transiente Anregungen durch Schlagleisten und Kantenüberfahrten untersucht. Die Messwertaufnahme erfolgte zeitsynchron mit Hilfe eines Starttriggers bei verschiedenen konstanten Fahrzeuggeschwindigkeiten. Der Wirksamkeitsnachweis der oTPA erfolgte auf einer Vierstempelhydropulsanlage.

4. Wirksamkeitsnachweis oTPA

Um die Übertragungsfunktionen von den Quellen zum Emissionspunkt Sitzschiene berechnen zu können, wurde das statistische Verfahren der Hauptkomponentenanalyse angewandt. Dieses Verfahren hat den Vorteil die im Betrieb herrschenden Übertragungsfunktionen mit allen Verspannungen und Temperatureinflüssen zu ermitteln. Da hierbei Betriebsmessungen verwendet werden, kommt es zu einem sog. Übersprechen der Messkanäle untereinander, was mittels einer Hauptachsentransformation kompensiert wird [2]. Zur Erzeugung der bereinigten Übertragungsfunktionen mit hinreichender Genauigkeit wurden für die Berechnungen alle Messdurchläufe einbezogen. Für den Wirksamkeitsnachweis ist

das Gesamtfahrzeug auf einer Vierstempelhydropulsanlage von 0 Hz - 30 Hz bei konstanter Schwinggeschwindigkeit angeregt worden. In Bild 2 sind zunächst der gemessene Körperschallpegel an der Sitzschiene im komfortrelevanten Bereich und der kumulative Beitrag aller ermittelten Quellen über der Erregerfrequenz aufgetragen. Beide Kurven stimmen sehr gut überein. Der Unterschied im Gesamtpegel liegt bei 0,3 dB. Weiterhin sind alle vier Radträger eingetragen. Hierbei liefert der angeregte Radträger vorne links den signifikanten Anteil. Besonders im Bereich seiner Eigenfrequenz um 15 Hz. Alle anderen Radträgerbeiträge sind vernachlässigbar gering.

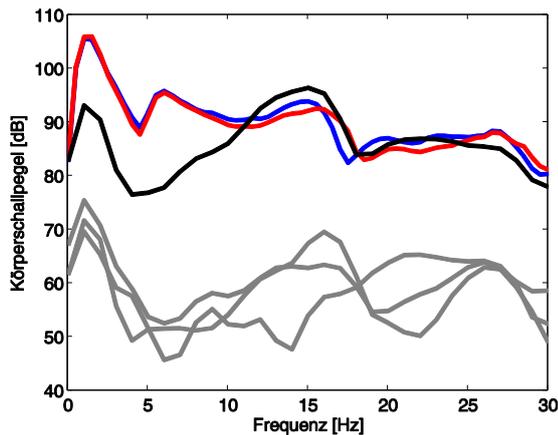


Bild 2: Körperschallpegel Sitzschiene gemessen (rot) und berechnet (blau), Radträgerbeitrag vorne links (schwarz), übrige Radträger (grau).

5. Ergebnisse

Im Folgenden werden ausschließlich Phänomene in Fahrzeughochachse dargestellt. In Bild 3 ist exemplarisch für eine Einzelhindernisüberfahrt bei gleicher Fahrgeschwindigkeit und Dämpfereinstellung der Beitrag des Aggregats und die Summe aller 4 Radträger zusammen mit Referenzbeschleunigung an der Sitzschiene, für Fahrzeug B, dargestellt. Deutlich zu erkennen ist der Beitrag des Motors im Bereich des *primary rides* Komforts bis ca. 3 Hz. Hierbei wird dem Motor die Aufbauschwingung aufgeprägt. Oberhalb 8 Hz (Stuckern) nimmt der Beitrag des Aggregats deutlich ab. Der Beitrag der Radträger hingegen liefert ein Maximum bei ca. 12 Hz, was dem Bereich der Radeigenfrequenz entspricht. In Bild 4 links sind die Beiträge Aggregat für drei Fahrzeuge gegenübergestellt. Der Aggregatbeitrag des schwarz markierten Fahrzeugs ist bei ca. 15 Hz deutlich geringer als der, der anderen Fahrzeuge. Wobei es im Bereich um 12 Hz einen deutlichen Eintrag liefert. Die Stuckerschwingungen des Aggregats werden vom rot markierten Fahrzeug am geringsten übertragen. Der Pegelunterschied von 20 dB im sog. Abrollkomfortrelevanten Frequenzbereich bei 30 Hz zwischen blau und schwarz markierten Fahrzeug ist ein Indiz auf ungünstige Aggregatlagerung hinsichtlich Abrollisolation. Dies ist auch in Bild 4 rechts feststellbar. Die blaue Kurve zeigt deutlich höhere Beiträge im Bereich des Stößigkeitsverhaltens der Stoßdämpfer gegen-

über den anderen Fahrzeugen. Neben der aufgeprägten Aufbau-schwingung bei Einzelhindernisüberfahrt, ist der Beitrag der Radträger im Bereich ihrer Eigenfrequenzen am größten. Das rot markierte Fahrzeug zeigt hierbei das Beste Isolationsvermögen.

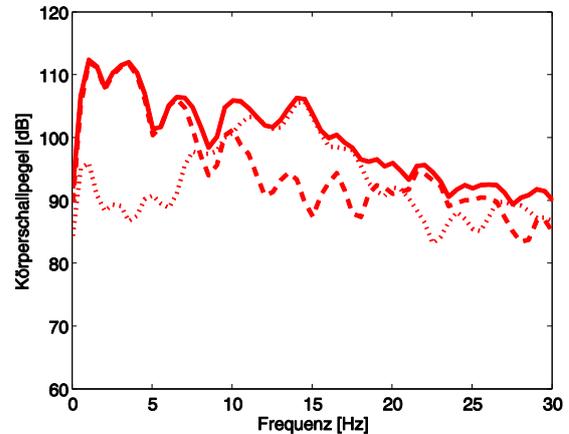


Bild 3: Körperschallpegel gemessen (-), Beitrag Aggregat (-), Radträger (·).

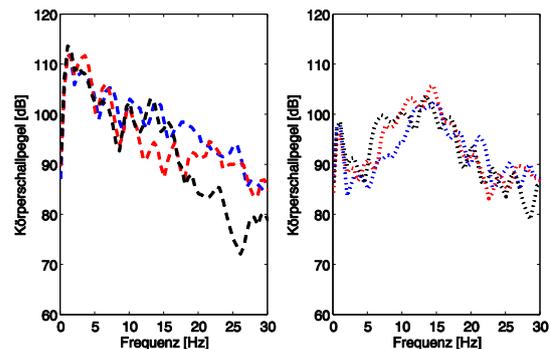


Bild 4: links: Beiträge Aggregat, Fahrzeug A, B und C, rechts: Beiträge Radträger, Fahrzeug A, B und C.

Zusammenfassung

Die operationelle Transferpfadanalyse wurde im fahrkomfortrelevanten Frequenzbereich erfolgreich angewandt. Gemessene und berechnete Beiträge aus der Summe der Übertragungspfade liefern eine sehr gute Übereinstimmung. Weiterhin lassen sich Komfortspezifische Phänomene detektieren und deren Beitrag zur Gesamtemission am Fahrersitz beurteilen. Die Untersuchungen können im realistischen Betriebszustand durchgeführt werden. In Kombination mit Betriebsschwingungsanalysen lassen sich die Ergebnisse noch weiter detaillieren.

Literaturverzeichnis

- [1] Gh. R. Sinambari, S. Sentpali, Ingenieurakustik, 5. Auflage (2014), Kap.11 „Mechatroniksysteme im Fahrzeug“.
- [2] O. Martner, C. Zerbs, Übertragungspfadanalyse und –synthese (TPA/TPS) mit Nebenwegkompensation bei Fahrzeugen, Haus der Technik Fachbuch 2005, Band 51.