

Ein modalanalytischer Ansatz zur Bestimmung der globalen Bewegungsformen von Kraftfahrzeugen (Teil II: Verifikation und Anwendungen)

Markus Kosfelder, Frédéric Périard
Volkswagen AG, Wolfsburg

1. Einleitung

Für eine optimierte Auslegung bzw. Bewertung der Schwingungseigenschaften von Gesamtfahrzeugen im tieffrequenten, komfortrelevanten Frequenzbereich (ca. 1 Hz – 40 Hz) ist eine Aufspaltung der bei der Fahrt über eine Straße auftretenden Schwingungsamplituden in die entsprechenden globalen Bewegungsformen erforderlich.

Weil die hierbei auftretenden elastischen Auslenkungen der Karosserie nicht vernachlässigt werden dürfen, ergeben sich besondere Schwierigkeiten bei der Zerlegung der meist stark bedämpften Schwingungsformen.

Die Anregungsbedingungen der Straßenfahrt stellen aus Sicht der Schwingungsanalyse eine zusätzliche Schwierigkeit dar. Die Anregung erfolgt nicht gleichmäßig über der Frequenz, sondern es ergeben sich aufgrund der Phasenbeziehungen zwischen Vorder- und Hinterachse viele, näherungsweise äquidistant liegende, bevorzugte Anregungsfrequenzen [1].

Eine Betrachtung einzelner Bewegungsformen ist z.B. mit Hilfe geometrischer Betrachtungen möglich [2].

Eine vollständige Zerlegung der auftretenden Schwingungsamplituden ist jedoch nur dann möglich, wenn alle auftretenden relevanten Bewegungsformen „gleichzeitig“ betrachtet und optimiert werden können.

2. Bewegungsformansatz

Um dieses Problem zu lösen, wurde eine neue Methode entwickelt, die eine Zerlegung unter Annahme einer Anzahl von orthogonalen Bewegungsformen ermöglicht. **Abbildung 1** zeigt die fünf wichtigsten auftretenden Bewegungsformen für vertikale Fahrzeugbewegungen. Mit der Näherung, dass diese Formen symmetrisch auftreten und weitere Formen nur eine untergeordnete Rolle spielen, gilt:

$$\underline{Messdaten} - \underline{Res.} = [\underline{Bewegungsformmatrix}] * \underline{Modale Amplituden} \quad (1)$$

Die Bewegungsformmatrix (\underline{B}) wird aus der Position der Messpunkte und dem Bewegungsformansatz bestimmt. Aus den Messdaten und der Matrix \underline{B} ergeben sich die Modalen Amplituden. Eine Multiplikation der Modalen Amplituden mit \underline{B} ergibt die gewünschte Aufspaltung an den einzelnen Messpunkten. Der verbleibende Fehler (Residuum) wird mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate minimiert [3].

3. Ergebnisse

Mit Hilfe eines mobilen Messsystems wurden an 10 verschiedenen Messstellen (steife Karosseriepunkte) die während der Fahrt auftretenden vertikalen Beschleunigungen im Zeitbereich gemessen.

Messungen mit konstanter Geschwindigkeit (50km/h)

In **Abbildung 2** ist das Ergebnis der Multiplikation der nach Gleichung (1) ermittelten Modalen Amplituden mit der Bewegungsformmatrix für den Messpunkt „Längsträger vorn links“ abgebildet. Die resultierende Bewegungsformzerlegung ist farbig dargestellt. Die komplexe Summation der Amplitudenverläufe ergibt die „theoretische“ Gesamtbewegung

an diesem Punkt (schwarz gestrichelt). Die Übereinstimmung mit der Messkurve (schwarz durchgezogen) ist sehr gut.

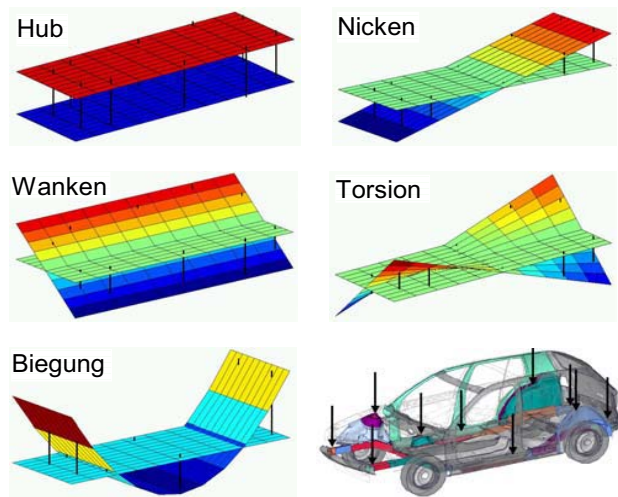


Abbildung 1: Elementare Bewegungsformen der vertikalen globalen Fahrzeugschwingungen und Fahrzeugmodell incl. Messpunkte (Pfeile)

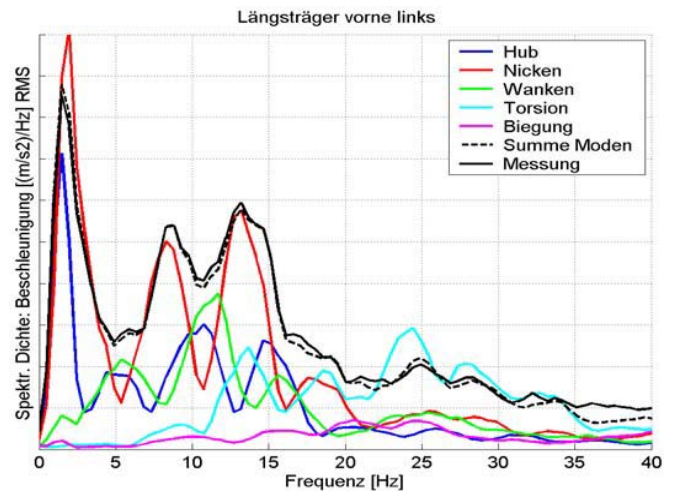


Abbildung 2: Bewegungsformzerlegung am Messpunkt „Längsträger vorn links“

Abbildung 3 zeigt die Bewegungsformzerlegung am Messpunkt „Schweller Mitte links“. An diesem Punkt befinden sich Schwingungsknoten der Formen Nicken und Torsion und Schwingungsbäuche der Formen Hub, Wanken und Biegung. Dominierend treten an diesem Punkt die Wank- und die Hubbewegung in Erscheinung. Im Vergleich dazu wird die Karosseriebiegung nur sehr schwach angeregt. Aus praktischen Gründen wurde bei dieser Messung der Messaufnehmer nicht am Schweller direkt, sondern einige cm neben dem Schweller am Fahrzeugboden angebracht. Die

Abweichung der Summe der Moden im Vergleich zur Messung im Frequenzbereich zwischen 20 Hz und 33 Hz ist vermutlich

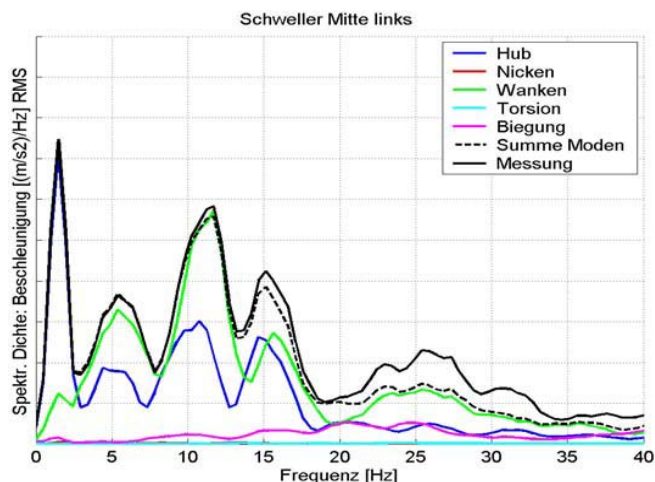


Abbildung 3: Bewegungsformzerlegung am Messpunkt „Schweller Mitte links“

Beschleunigte Messfahrt (20 km/h - 60 km/h)

Wenn die Messfahrt beschleunigt erfolgt, dann können die bei der Straßenfahrt vorliegenden dominanten Anregungsfrequenzen innerhalb einer Messung „herausgemittelt“ werden (Abbildung 4, siehe auch [2]). Die Modalen Amplituden können dann als globale Bewegungsempfindlichkeiten des Fahrzeugs interpretiert werden. Diese werden im Frequenzbereich von ca. 1Hz - 4Hz durch Starrkörperbewegung dominiert (Fahrzeugaufbauresonanzen). Im Frequenzbereich von ca. 8Hz -18Hz liegt eine Mischung von elastischen und starren Bewegungen vor. Innerhalb dieses Frequenzbereiches liegen z.B. die Fahrwerksresonanzen. Oberhalb von 20Hz nimmt die Bedeutung von Karosserieelastizitäten (Torsionsresonanzen) immer mehr zu. Das hier vermessene Fahrzeug hat seine größte Torsionsamplitude bei ca. 26 Hz.

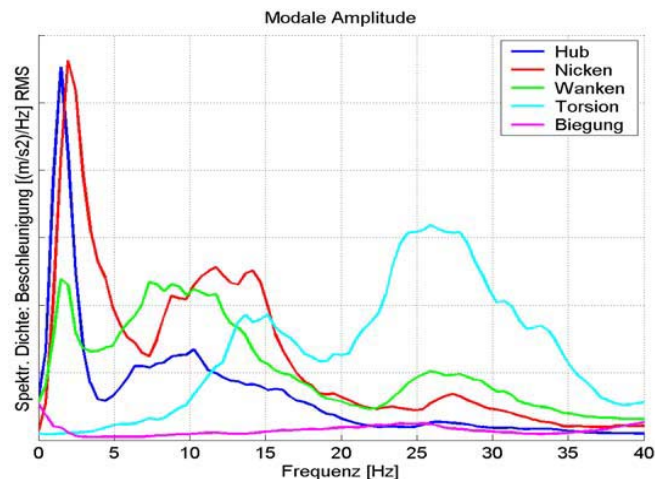


Abbildung 4: Modale Amplituden bei Messung mit einem Geschwindigkeitshochlauf (20km/h - 60km/h)

Besonders geeignet ist diese Analyseverfahren zur Objektivierung verschiedener Fahrzeugaufbauzustände. **Abbildung 5** zeigt die Amplitudenveränderungen der einzelnen Bewegungsformen für die Dämpfereinstellungen Normal (weich) / Sport (hart) für ein Oberklassefahrzeug mit elektronischer Dämpferverstellung.

auf ein im Ansatz nicht vorhandenes vertikales „Bodenpumpen“ des Fahrzeugbodens zurückzuführen.

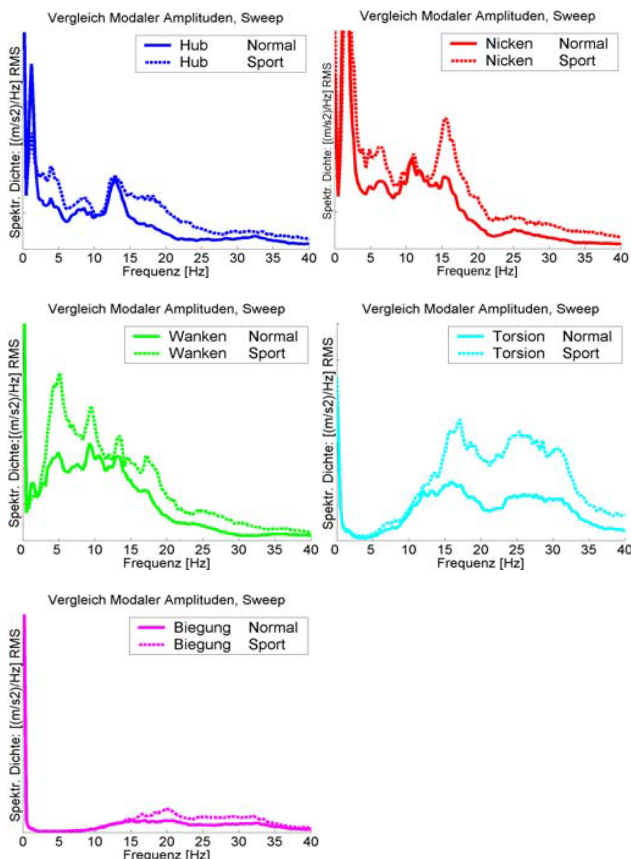


Abbildung 5: Vergleich der Modalen Amplituden für die Dämpfereinstellungen Normal / Sport für ein Oberklassefahrzeug (Messung 20 km/h - 60 km/h, Hochlauf)

4. Zusammenfassung

Das vorliegende Verfahren erlaubt im Rahmen der getroffenen Näherungen eine Objektivierung der globalen Fahrzeugbewegungen in einem definierten Betriebszustand. Weil an den Fahrzeugen keinerlei Umbauten erforderlich sind, ist der erforderliche Messaufwand relativ gering. Außer einer Bewegungsformzerlegung an einzelnen Punkten kann eine globale Fahrzeugbeschreibung über die Modalen Amplituden erfolgen. Sind die Modalen Amplituden einmal bestimmt, können über eine Modifikation der Bewegungsformmatrix bezüglich der Punktgeometrie auch andere Stellen im Fahrzeug als die Messpunkte betrachtet werden. Zur Auslegung der globalen Steifigkeiten von Gesamtfahrzeugen liefert dieses Verfahren wertvolle Informationen über das Auftreten von Karosserieelastizitäten im Vergleich zu den Starrkörperformen. Der Anschluß zur subjektiven Bewertung kann zum Beispiel im Vergleich zu einem Referenzfahrzeug bzw. Referenzaufbauzustand erfolgen.

Literatur

[1] Mitschke, M. (1984) Dynamik der Kraftfahrzeuge, –Band B: Schwingungen, Springer-Verlag
 [2] Kosfelder, M. (2001) Bestimmung und Komfortrelevanz der elastischen globalen Bewegungsformen von Kraftfahrzeugen im Fahrbetrieb, DAGA 2001
 [3] Kosfelder, M., Périard, F. (2002) Ein modalanalytischer Ansatz zur Bestimmung der globalen Bewegungsformen von Kraftfahrzeugen, (Teil I: Methode), DAGA 2002