

Bestimmung und Komfortrelevanz der elastischen globalen Bewegungsformen von Kraftfahrzeugen im Fahrbetrieb

Markus Kosfelder
Volkswagen AG, Wolfsburg

1. Einleitung

Der Fahrkomfort von Kraftfahrzeugen wird außer durch die im hörbaren Frequenzbereich vorliegende Fahrzeugakustik besonders durch das Schwingungsverhalten der Fahrzeuge im Bereich der niedrigen Frequenzen bestimmt. Bei der Fahrt über unebene Straßen werden gerade im Frequenzbereich von ca. 1 Hz bis ca. 40 Hz komfortrelevante Schwingungen angeregt.

Abgesehen von lokalen Resonanzen, wie z.B. der Lenksäulenresonanz, wird das Schwingungsverhalten der Fahrzeuge in diesem Frequenzbereich besonders durch Starrkörperschwingungen, Fahrwerksresonanzen und das elastische Verhalten der Karosserie geprägt.

In den gängigen Modellen, welche die globalen Schwingungsformen des Gesamtfahrzeugs beschreiben, wird die Karosserie als starrer Körper angenommen [1], [2].

In der Karosserieentwicklung wurden schon seit Anfang der 90er Jahre die Resonanzfrequenzen der Rohkarosserie als wichtige komfortrelevante Größen („Dynamische Steifigkeit“) in den Entwicklungsprozeß einbezogen [3], [4].

Dem subjektiven Urteil sehr viel näher liegende Größen als Resonanzfrequenzen sind jedoch die im Gesamtfahrzeug bei Straßenfahrt tatsächlich auftretenden Schwingungsamplituden.

In diesem Beitrag wird aufgezeigt, wie die bei der Straßenfahrt auftretenden elastischen Karosserieauslenkungen getrennt bestimmt werden können und welche Vorteile bei der Schwingungsbeurteilung des Fahrzeugs daraus resultieren.

2. Meßprinzip

Torsionsamplitude

Zur Bestimmung der Torsionsamplitude wird ein horizontal liegendes Rechteck angenommen, dessen Eckpunkte etwa den „Fahrzeugecken“ entsprechen (**Abbildung 1**). Diese Punkte liegen in der Praxis vorn an den Endpunkten der vorderen Längsträger, hinten an den oberen Enden der hinteren Kotflügel (um lokale Effekte ausschließen zu können, müssen die Meßpunkte eine hohe lokale Steifigkeit aufweisen). Solange das Fahrzeug Starrkörperbewegungen oder Biegung durchführt, liegen die vier Punkte immer genau in der Rechteckfläche. Liegt Torsion vor, dann kann die Fläche durch maximal drei der vier Punkte festgelegt werden. Der vierte Punkt weicht zwangsläufig von der Fläche ab. Werden die Meßpunkte mit z_0 (hinten rechts), z_1 (vorn rechts), z_2 (hinten links) und z_3 (vorn links) bezeichnet, dann ergibt sich nach kurzer Vektorrechnung für die Torsionsamplitude h_T :

$$h_T = \frac{1}{4} \cdot \frac{X_0 Y_0 (z_0 + z_3 - z_1 - z_2)}{\sqrt{Y_0^2 (z_0 - z_1)^2 + X_0^2 (z_0 - z_2)^2 + (X_0 Y_0)^2}}$$

Hierbei steht X_0 für die Fahrzeuglänge und Y_0 für die Fahrzeugbreite. Solange bei der Straßenanregung die Auslenkungen der Meßpunkte gegenüber den Fahrzeugabmessungen klein sind, gilt:

$$h_T = \frac{1}{4} \cdot (z_0 + z_3 - z_1 - z_2)$$

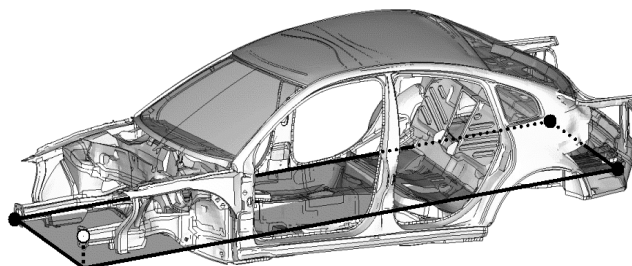


Abbildung 1: Tordiertes Fahrzeugmodell; drei der vier Meßpunkte legen ein Rechteck fest, der vierte Punkt ragt aus der Fläche heraus (aus Fahrersicht vorn links)

Biegeamplitude

Zur Bestimmung der elastischen Biegeamplitude kann ebenfalls ein einfacher geometrischer Ansatz gewählt werden. Hierzu sind im Prinzip drei in der Fahrzeugmitte entlang der Fahrzeuglängsachse verlaufende Meßpunkte erforderlich. Solange keine Biegung vorliegt, verläuft die Gerade durch alle drei Punkte. Bei auftretender Biegung kann die Gerade nur durch zwei der drei Meßpunkte verlaufen. Der Abstand des dritten Punktes zur Geraden ist ein Maß für die auftretende Biegeamplitude. Auf eine nähere Betrachtung soll an dieser Stelle verzichtet werden.

3. Ergebnisse

Mit Hilfe eines mobilen Meßsystems wurden die an den Meßstellen während der Fahrt auftretenden Beschleunigungen im Zeitbereich gemessen. **Abbildung 2** zeigt die nachträglich berechneten und gemittelten Amplitudenspektren der Torsionsamplituden bei Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit (50 km/h) für zwei verschiedene Bauzustände (im Bauzustand B, mit Karosserieversteifungen und Fahrwerksmodifikationen, ergibt sich ein deutlich verbesserter Komforteindruck).

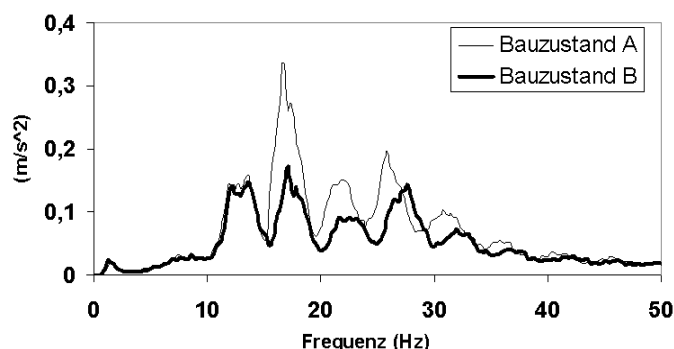


Abbildung 2: Vergleich der gemittelten Torsionsamplituden zweier Bauzustände bei Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit (50 km/h); Bauzustand B mit Karosserieversteifungen und Fahrwerksmodifikationen

Weil bei einer Geradeausfahrt die Hinterräder den Vorderrädern in ihrer Spur folgen, ergeben sich abhängig vom Radstand und der Fahrgeschwindigkeit äquidistante Frequenzabstände für gleich- bzw. gegenphasige Anregung

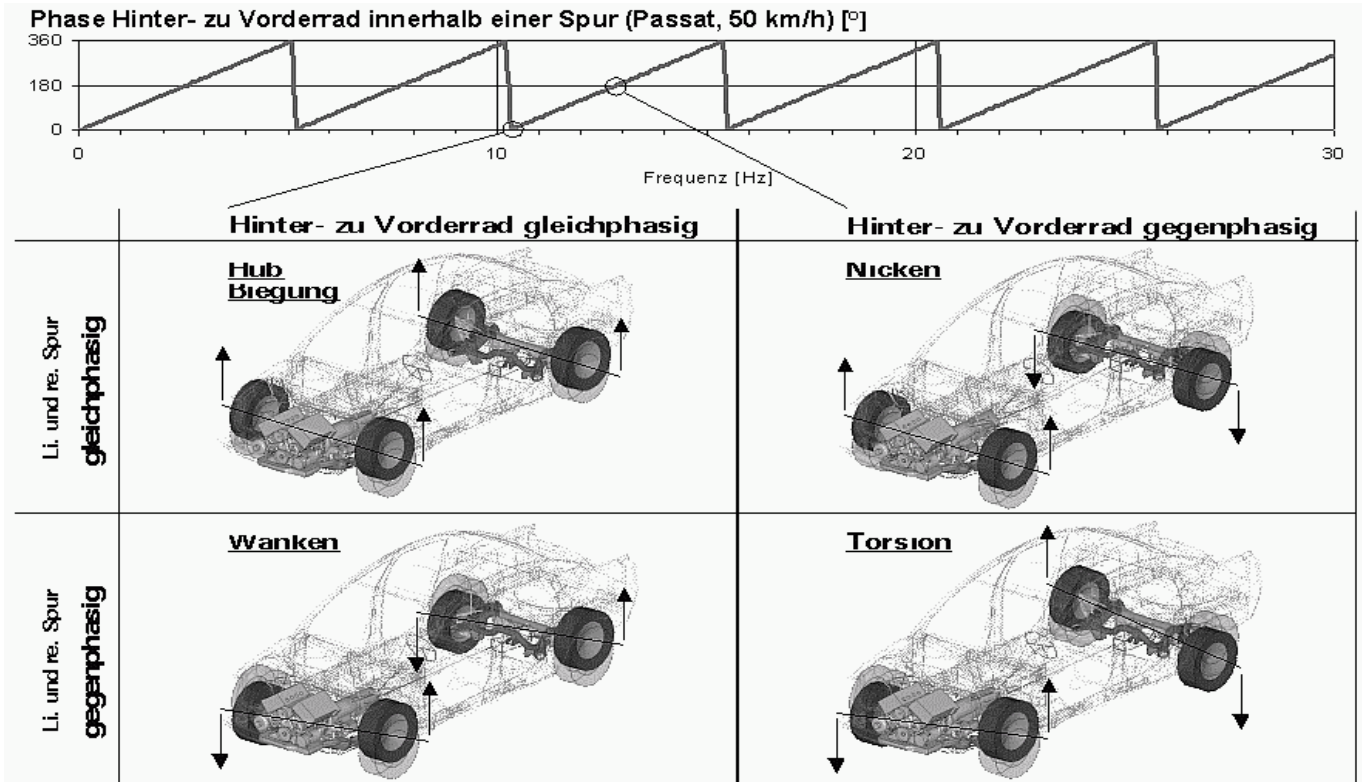


Abbildung 3: Ausgezeichnete Phasenlagen der Radaufstandspunkte bei Staßenanregung

(Abbildung 3). Der Kurvenverlauf der Torsionsspektren wird deshalb durch Frequenzen mit maximaler Torsionsanregung geprägt (bei ca. 13 Hz, 18 Hz, 23 Hz, 28 Hz, ...).

Eine fahrzeugphysikalisch interessante Betrachtung ergibt sich, wenn die Meßfahrt beschleunigt erfolgt. Wird während der Messung die Fahrgeschwindigkeit bei konstanter Beschleunigung mindestens verdoppelt, dann verschwindet aufgrund der variierenden Phasenbeziehung zwischen Vorder- und Hinterrad die sonst äquidistant auftretende Welligkeit in den Spektren der Torsionsamplitude, und die globalen Fahrzeugeigenschaften werden sichtbar (Abbildung 4). Die maximalen Torsionsamplituden treten nicht im Frequenzbereich der 1. globalen Karosserietorsion (ca. 25 Hz - 30 Hz), sondern im Bereich der Fahrwerksresonanzen (ca. 14 Hz -16 Hz) auf. Hier wirken die größten dynamischen Kräfte auf die Karosserie ein, weshalb hier auch die größten elastischen Karosseriebewegungen auftreten. Der Frequenzbereich der Karosserieresonanzen, hier ab ca. 28 Hz, fällt nur durch eine relativ geringe Überhöhung auf.

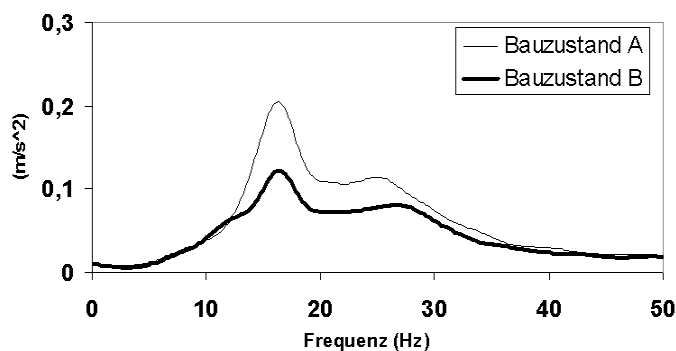


Abbildung 4: Vergleich der gemittelten Torsionsamplituden zweier Bauzustände bei einem Geschwindigkeitshochlauf (20 km/h – 70 km/h); Bauzustand B mit Karosserieversteifungen und Fahrwerksmodifikationen

4. Fazit

- Die Charakteristik des Spektrums der Torsionsamplitude wird bei der Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit stark durch die bei Straßenanregung geltenden Phasenbeziehungen zwischen Vorder- und Hinterrädern geprägt.
- Wird die Messung der Torsionsamplitude mit konstanter Geschwindigkeit durchgeführt, sind im allgemeinen keine Aussagen über einzelne Einflußfaktoren möglich. So kann weder die 1. Torsionsresonanz der Karosserie noch eine Fahrwerksresonanz unmittelbar abgelesen werden.
- Der Einfluß der Phasenbeziehungen zwischen Vorder- und Hinterrädern auf die Torsionsmessungen läßt sich durch eine beschleunigte Meßfahrt vermeiden.
- Zum Vergleich bzw. zur Beurteilung von torsionswirksamen Maßnahmen ist diese Messung sehr gut geeignet.
- Die komfortrelevanten elastischen Amplituden haben ihr Maximum im Bereich der Fahrwerksresonanzen.
- Komfortverbesserungen lassen sich sowohl durch Karosserieversteifungen als auch durch Fahrwerksmodifikationen (Verkleinerung der eingeleiteten Kräfte) erreichen.

Literatur

- [1] Mitschke, M. (1984) Dynamik der Kraftfahrzeuge, –Band B: Schwingungen, Springer-Verlag
- [2] Mitschke, M., Klingner, B. (1998) Schwingungskomfort im Kraftfahrzeug, ATZ Nr.100
- [3] Freymann, R. (1992) Strukturdynamische Auslegung von Fahrzeugkarosserien, VDI Berichte Nr. 968, S.143-S.158
- [4] Lüdke, B. (1999) Funktionaler Rohkarosserie-Leichtbau, Tag der Karosserie, Institut für Kraftfahrwesen, RWTH Aachen