

Analyse des Schwingungsverhaltens von Kraftfahrzeug-Triebsträngen

Thomas Beckmann, Jan-Welm Biermann

Institut für Kraftfahrwesen Aachen, Aachen; Email: beckmann@ika.rwth-aachen.de

Einleitung

Der Antriebsstrang von Kraftfahrzeugen stellt ein biege- und dreh-schwingungsfähiges System dar, das diverse Resonanzfrequenzen aufweist. Diesen Resonanzen ist oftmals eine markante Schwingungsform zuzuordnen, die während des Betriebs u.a. durch die Drehungleichförmigkeiten des Verbrennungsmotors angeregt und von den Fahrzeuginsassen sowohl durch fühlbare, als auch durch hörbare Schwingungen wahrgenommen werden. Die tieffrequente Schwingung der Fahrzeugmasse gegen die rotatorische Trägheit des Verbrennungsmotors (Ruckeln) führt beispielsweise zu deutlich fühlbaren und als unangenehm wahrgenommenen Schwingungen der Fahrzeuginsassen.

Bei Schwingungsphänomenen höherer Frequenzen treten vielfach Überhöhungen des Innengeräuschpegels auf, die je nach Frequenzlage und zeitlicher Struktur des Geräuschs lautmalerisch beschrieben werden als Brummen, Dröhnen, Wummern etc. Die Minderung der Auswirkungen eines solchen Phänomens ist oftmals nur durch den kombinierten Einsatz verschiedener Entwicklungswerkzeuge möglich, der hier beispielhaft anhand eines im Innenraum auftretenden Dröhnsens erläutert werden soll.

Schwingungssystem Antriebsstrang

Das Schwingungssystem Antriebsstrang lässt sich im einfachsten Fall gedanklich reduzieren auf ein Ersatzmodell aus Drehträgheiten und Federn. Abbildung 1 zeigt dieses Drehschwingungs-Ersatzsystem für das zu untersuchende Fahrzeug. Es handelt sich um ein frontgetriebenes Kraftfahrzeug mit Handschaltgetriebe bei quer eingebautem Verbrennungsmotor.

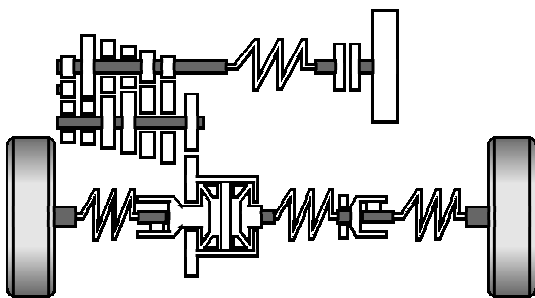


Abbildung 1: Schwingungssystem Antriebsstrang

Wesentliches Merkmal eines solchen Triebstrangs ist i.a. die asymmetrische Anordnung des Achsgetriebes, die entweder durch unterschiedlich lange Seitenwellen oder durch den Einsatz einer Zwischenwelle (wie dargestellt) ausgeglichen werden muss. Letztere Variante hat den Vorteil, dass auf beiden Seiten die gleiche Seitenwelle eingesetzt werden kann.

Sämtliche Wellen im System wirken dabei als Feder, wobei die im Getriebe vorhandenen Wellen im Vergleich zu den Seitenwellen des Fahrzeugs als sehr steif anzunehmen sind. Im Zusammenspiel von Drehträgheiten, Federn und i.a. auch Dämpfungen ergeben sich die erwähnten Systemresonanzen, die zu störenden Schwingungen führen können.

Dröhnen

Das störende Phänomen erscheint im Schalldruck auf der Fahrerseite des Fahrzeugs (vgl. Abbildung 2) als resonanzartige Überhöhung, die vielfach als Dröhnen beschrieben wird.

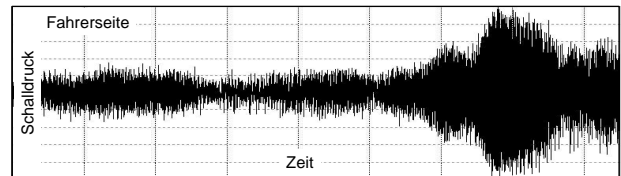


Abbildung 2: Fahrzeuginnengeräusch bei Drehzahlhochlauf

Eine Frequenzanalyse dieses Schalldrucksignals ist in Abbildung 3 dargestellt. Diese dreidimensionale Analyse beinhaltet zwei Achsen und anstelle der dritten Achse einen Farwertebereich.

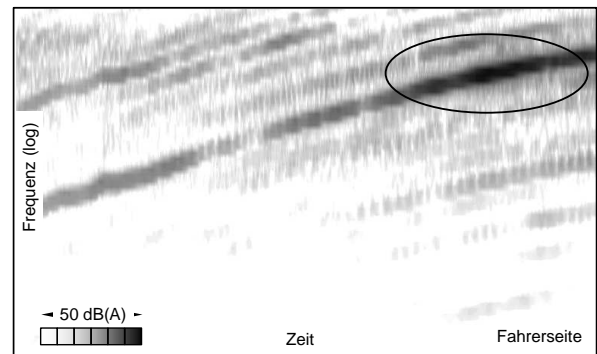


Abbildung 3: Frequenzanalyse des Innengeräuschs

Auf der Abszisse ist die Zeit in Sekunden aufgetragen, während auf der Ordinate die Frequenz in logarithmischer Form zu erkennen ist. Jeder Schnitt parallel zur Ordinate enthält eine Frequenzanalyse des dem Schnitt zugehörigen Zeitsignalblocks. Die Amplitudenwerte der FFT sind als Farwert entsprechend einer Temperaturskala aufgetragen. Aus der Analyse geht hervor, dass die Frequenzen der Schwingungsanteile mit den höchsten Amplituden mit zunehmender Drehzahl ansteigen und eine Vielfache der Drehfrequenz des Motors sind (Motorordnung). Dies ist ausschlaggebend dafür, die Drehschwingungen des Antriebsstrangs in diesem Zusammenhang näher zu untersuchen.

Messtechnik

Zur detaillierten Messung der Drehschwingungen im Antriebsstrang wird das Fahrzeug mit einem Drehschwingungs-Analyse-system der rotec GmbH ausgerüstet, mit dem bis zu sechs Drehzahlen hochauflösend erfasst werden können. Alle Schnittstellen im Triebstrang, ausgehend von der Kurbelwelle über Getriebeeingang, Getriebeausgang bis hin zur Zwischenwelle und beiden Seitenwellen, werden mit entsprechenden Drehzahlsensoren versehen. Parallel dazu können bis zu 32 Analogkanäle aufgezeichnet werden, die hier zur Messung des Luftschalls im Innenraum und des Körperschalls an diversen Messorten (Getriebe, Zwischenwellenlager, Fahrwerk etc.) verwendet werden. Ein Ergebnis der Drehschwingungsanalyse zeigt Abbildung 4.

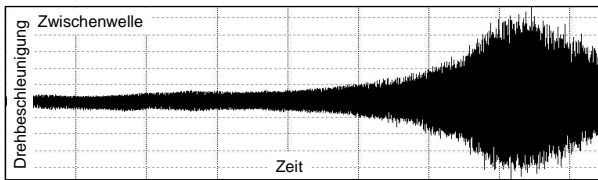


Abbildung 4: Drehbeschleunigung Zwischenwelle

Wie zu erkennen ist, liegt zeitgleich zur Schalldruckresonanz auch eine Überhöhung der Drehbeschleunigung an der Zwischenwelle vor, so dass diese Drehschwingung als Ursache des störenden Geräuschs wahrscheinlich ist.

Erarbeitung von Abhilfemaßnahmen

Es gibt mehrere geeignete Maßnahmen das Innengeräusch zu verbessern (Abbildung 5).

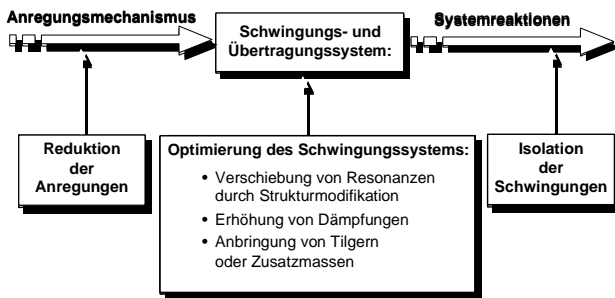


Abbildung 5: Entwickeln von Abhilfemaßnahmen

Die Reduktion der Anregungen stellt i.a. die beste Variante zur Verbesserung dar, da diese Abhilfemaßnahme direkt an der Ursache angreift. Im vorliegenden Fall kann auf die Anregungsquelle Verbrennungsmotor jedoch kein Einfluss genommen werden, so dass diese Option ausscheidet. Die Isolation der Schwingungen gegenüber dem Fahrzeuginsassen ist auf der Abstrahlungsseite aus naheliegenden Gründen ebenfalls nicht möglich. Eine Optimierung des Schwingungssystems hingegen kann auf dreierlei Arten erfolgen, wobei eine Verschiebung der Resonanzen durch Modifikation von Bauteilen der Struktur in diesem Fall die beste Alternative darstellt. Die Erhöhung von Dämpfungen ist schwierig zu realisieren und führt auch zu erhöhten Verlustleistungen im Antriebsstrang, was ebenso unerwünscht ist wie aus Kosten- und Gewichtsgründen die Anbringung von Zusatzmassen oder Tilgern.

In einem ersten Schritt wird versucht, durch Erhöhung der Zwischenwellen-Steifigkeit die bestehende Resonanz in Richtung höherer Frequenzen zu verschieben. Diese Maßnahme bewirkt bei maximaler Ausnutzung des bestehenden Bauraums jedoch lediglich eine zu geringe Verschiebung der Resonanz. Daher werden in einem zweiten Schritt durch eine Übertragungsweganalyse mögliche Strukturresonanzen im weiteren Übertragungssystem ermittelt, um ggf. durch mögliche Verbesserungen in der Übertragungstrecke eine Verstärkung der Anregung zu unterbinden. Aus den Ergebnissen der Übertragungsweganalyse lassen sich jedoch in diesem Fall solche Verbesserungsmaßnahmen nicht ableiten, da sich das Übertragungssystem im relevanten Frequenzbereich eher günstig in Bezug auf die Weiterleitung der Anregung verhält. Da offensichtlich durch diese üblichen Mittel keine Verbesserung des Innengeräuschverhaltens zu erzielen ist, soll in einem weiteren Schritt durch das Wechselspiel zwischen Simulation und Fahrversuch ein höheres Systemverständnis entwickelt werden.

Optimierung durch Simulation

Der Aufbau des Simulationsmodells ist in Analogie zu Abbildung 1 in Abbildung 6 dargestellt, wobei bei der Modellierung auch Dämpfungen berücksichtigt werden müssen.

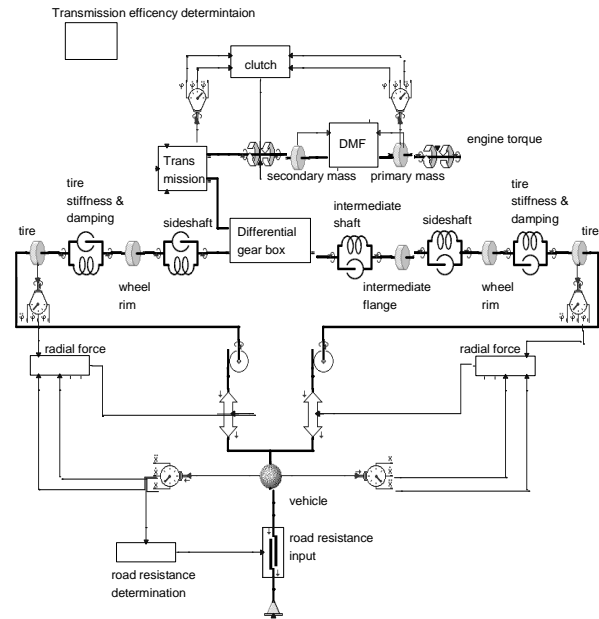


Abbildung 6: Modell zur Drehschwingungsberechnung

Es handelt sich um ein Mehrkörper-System-Modell mit konzentrierten Parametern (z.B. Steifigkeiten) und wird mit Hilfe der Software ITI-Sim erstellt. Es beinhaltet die Modellierung des Zweimasen-Schwungrads, der Kupplung, des Getriebes und Achsgetriebes sowie des Seitenwellensystems inklusive Zwischenwelle. Der schlupfbehafte Kontakt zwischen Rad und Straße bildet dabei die Verbindung zum Fahrzeug, das durch den Fahrwiderstand abgebremst wird. Das Modell kann durch Modifikation der Parameter an die vorhandenen Versuchsdaten angepasst und validiert werden. Anschließend ist eine Optimierung des Schwingungsverhaltens durch Variation von Systemparametern möglich. Ergebnis dieser Untersuchungen ist, dass durch eine Verringerung der Zwischenwellen-Steifigkeit eine Verbesserung im Luftschall erzielt werden kann, wie die Analyse von Nachmessungen bestätigt (siehe Abbildung 7).

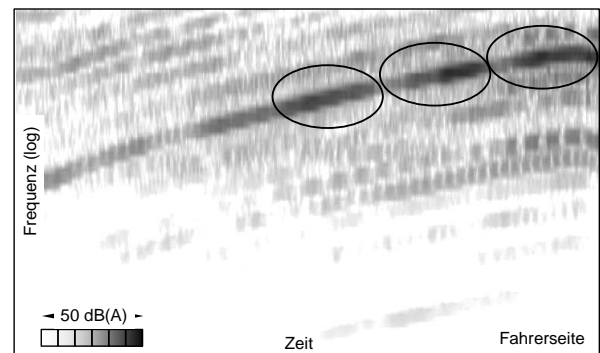


Abbildung 7: Frequenzanalyse des Innengeräuschs (verbessert)

Die Maßnahme bewirkt offensichtlich eine Entkopplung mehrerer Systemresonanzen, was insgesamt zu einem angenehmeren Verlauf des Innengeräuschs führt. Dies wird durch subjektive Bewertungen bestätigt. Durch den kombinierten Einsatz mehrerer Entwicklungswerkzeuge konnte somit eine Lösung für das ungünstige Systemverhalten entwickelt werden.