

Drehschwingungsdynamik und Geräuschbildung am PKW-Antrieb

Klaus Küpper, Harald Stoffels (beide: Ford Werke AG, Spessartstrasse, 50725 Köln),

Die Drehschwingungspegel in modernen PKW-Antrieben mit 3- und 4-Zylindern Reihenmotoren erreichen mit steigendem Drehmoment, erzeugt durch hohe Spitzendrücke und Druckgradienten des Motors sehr hohe Werte. Grund ist der Kundenwunsch nach hoher Fahrzeugbeschleunigung bei niedrigen, verbrauchsgünstigen Drehzahlen in allen Schaltstufen des Getriebes (Bild 1 Drehschwingungspegelübersicht), sowie ein fortschreitender Trend zum 'Downsizing'. Das hohe Drehschwingungsniveau kann zu einer hohen Anregung im Getriebe führen; hierbei werden dann die nicht unter Last stehenden Lasteile zu Schwingungen in ihren Spielen angeregt. Resultat ist ein nicht akzeptables Rasselgeräusch, welches sich bei PKW-Schaltgetrieben vorzugsweise breitbandig im Frequenzbereich von etwa 0.5kHz bis 5kHz neben dem Fahrzeug und im Fahrzeuginnenraum (Bild 2: Vergleich des Innengeräusches mit und ohne Rasseln) bei bestimmten Fahrmanövern äußert.

Eine Möglichkeit, die Rasselanregung im Getriebe zu vermindern, ist das inzwischen zum Industriestandard gelangte Zweimassenschwungrad in Antrieben mit mehr als 2000 [rad/sec²] Anregung im Maximum des Drehmoments. Damit kann man die Pegel in das Zielgebiet der niedrigen Getriebeanregung absenken (vgl. Bild 1). Bild 3 zeigt schematisch die Wirkweise; hier zeigt sich, dass momentan nur die Applikation eines Zweimassenschwungrades im Kundensinne zielführend ist.

Das Zweimassenschwungrad führt jedoch häufig zu höheren Drehschwingungspegeln an der Kurbelwellen-Frontseite und dem Nebenaggregattrieb, deren Beherrschung zusätzlichen Entwicklungsaufwand und Materialkosten erzeugen kann. Daher wurden und werden verstärkt alternative Isolationsstrategien untersucht. Um diese im Entwicklungsprozess effektiv zu bewerten, ist eine Verbindung der Signalanalyse des

Rasselgeräusches mit einem Kundenurteil unabdingbar. Hier hat sich gezeigt, dass zur effektiven Beschreibung der Frequenz-Zeit Struktur des Rasselgeräusches die Frequenzanalyse nach dem 'Wavelet'-Verfahren die geeignetste ist /2/. Hierbei kann als zu analysierendes Eingangssignal sowohl ein Messsignal, als auch ein berechnetes Signal, beispielsweise aus einer Torsionsschwingungsrechnung des Antriebes, verwendet werden. (Bild 4 zeigt eine 'Wavelet'-Analyse eines Rasselgeräusches im Fahrzeuginnenraum für eine Konstantfahrt im niedrigen Gang, die ebenfalls gezeigte 'Cepstrum'-Analyse (rechte Bildhälfte) zeigt, dass das Geräusch hauptsächlich mit der Zündordnung moduliert ist. Bild 5 zeigt eine Berechnung des Rasselgeräusches in einem Ausgleichswellenantrieb für zwei verschiedene konstruktive Ausführungen um Rasseln im Rädertrieb zu eliminieren /3/).

Aufgrund der thermodynamischen Zusammenhänge im Hubkolbenverbrennungsmotor hat sich in der Vergangenheit ebenfalls ein signifikanter Einfluss nicht nur des Brennverfahrens, sondern auch von dessen Derivaten, wie beispielsweise die Benzindirekteinspritzung, gezeigt /2/. Hierbei hat die Einstellung der Steuer- und Regelparameter auf die innermotorische Verbrennung einen nicht zu unterschätzenden Einfluss auf das Drehschwingungsverhalten u.a. auch auf höhere Drehschwingungsharmonische, gezeigt

Daher muss sich der Ingenieur hybrider Methoden bedienen, um auf dem Weg zu einem akzeptablem Kompromiss zwischen Konstruktionsaufwand, Betriebsweise und Geräuschverhalten des Triebwerkes ein letztendlich den Kundenerwartungen in allen wichtigen Belangen (Verbrauch, Performance, Akustik) entsprechendes Triebwerk zu liefern.

/1/ Linow, A.; Küpper, K.; Teichert, U.: 'Getrieberasseln und seine Abstellmaßnahmen'. In: 'Fortschritte der Akustik', Seite 130-131. DAGA 2000, DEGA. e.V., Oldenburg, 2000.

/2/ Stoffels, H.: 'Untersuchungen zur Verminderung von Torsionsschwingungen in PKW-Antriebssträngen'. VDI-Berichte 1630; VDI-Verlag, Düsseldorf, 2001.

/3/ Stoffels, H.; Schröer, M.: 'NVH' -Aspekte eines Antriebsstrangs mit turboaufgeladenem Dreizylinder Motor und Benzindirekteinspritzung'. In: Laschet, A. et al.: 'Systemanalyse in der Kfz-Antriebstechnik 2'. Haus der Technik Fachbuch; Expert Verlag, Renningen, 2003.

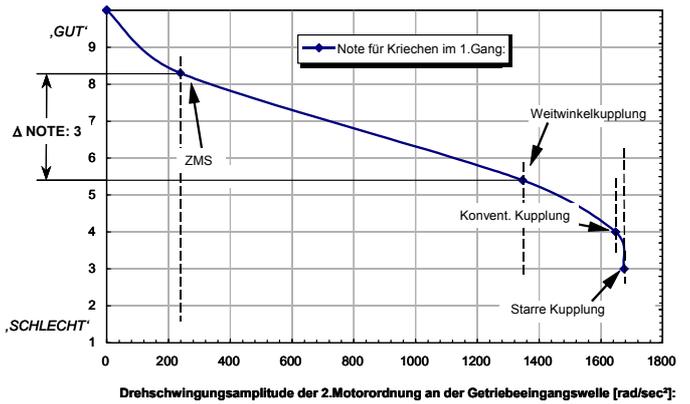


Bild 3: Einfluss der Drehschwingungs-Isolationseinrichtung auf die Getriebe-Rasselgeräuschemwertung.

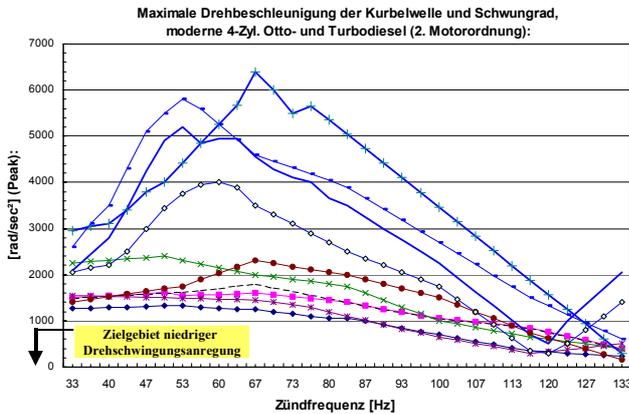


Bild 1: Drehschwingungsniveau moderner Otto- und Dieselmotor-Antriebsstränge im Vergleich.

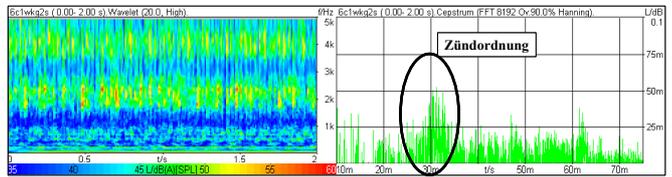


Bild 4: 'Wavelet'- und 'Cepstrum'-Analyse des Getrieberasselgeräusches.

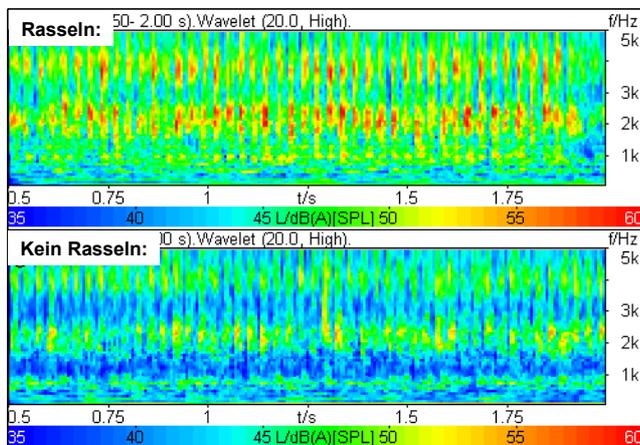
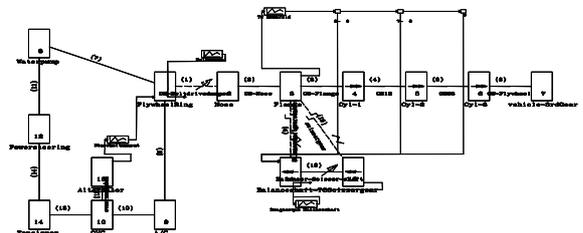


Bild 2: Fahrzeuginnengeräusch bei Konstantfahrt im niedrigen Gang: Vergleich mit / ohne Getrieberasseln.

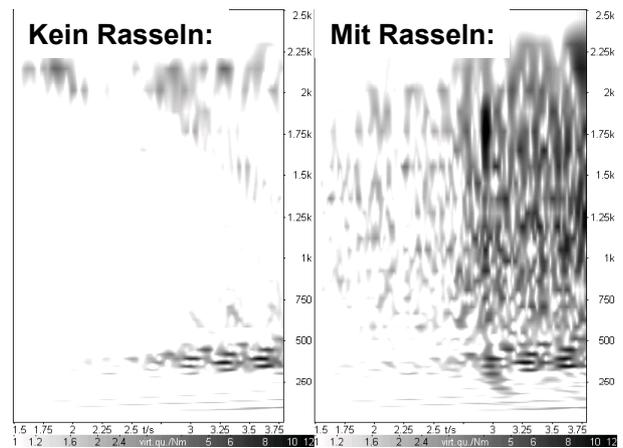


Bild 5: Torsionsschwingungsmodell (oben) zur Berechnung von Rasseln in einem Ausgleichwellenantrieb und Analyse der Simulationsdaten (untere Bildhälfte) /3/.