

Untersuchungen zum Einfluss der Lagerbedingungen auf die Modalen Parameter von Zweimassen-Schwungrädern

Andreas Anstätt, Sascha Ochs, Carsten Mohr

LuK GmbH & Co. oHG, 77815 Bühl, Deutschland, Email: andreas.anstaett@schaeffler.com

Einleitung

Mit Hilfe der Experimentellen Modalanalyse werden die Modalen Parameter „Eigenfrequenz, Schwingform und Dämpfung“ von Baugruppen oder Bauteilen bestimmt. Diese Parameter sind für die Entwicklung eines Produktes von besonderem Interesse, nicht zuletzt deshalb, weil sie oftmals Eingangsgrößen für weitere Entwicklungsprozesse liefern. Die richtige Vorgehensweise bei der Ermittlung dieser Parameter und die Zuverlässigkeit dieser Werte sind Grundvoraussetzungen für eine Validierung des FE-Modells im Rahmen eines Model-Updating Prozesses. Werden Baugruppen oder Einzelkomponenten beispielsweise am Prüfstand oder im Labor untersucht, so haben die Lagerbedingungen einen Einfluss auf das Messergebnis.

Dynamik des Zweimassen-Schwungrads (ZMS)

Die Konstruktion herkömmlicher ZMS ist so ausgelegt, dass die Eigenfrequenzen oberhalb der dominanten Anregungsfrequenzen des genutzten Drehzahlbereiches des Motors liegen. Die Kurbelwelle und die damit fest verbundene ZMS-Primärseite stellen ein Schwingungssystem dar. Schwingungen dieses Systems können verschiedene negative Auswirkungen haben, wie Festigkeitsprobleme der Primärseite, Lösen des Geberrings oder des Anlasserzahnkranzes, Trennprobleme der Kupplung oder die Übertragung der Schwingungen in das Ausrücksystem. [1]

Im Rahmen des Entwicklungsprozesses werden bereits in der Konstruktionsphase erste FEM-Berechnungen (Rechnerische Modalanalyse und Betriebsfestigkeit) durchgeführt. Sobald Prototypen verfügbar sind, können Experimentelle Modalanalysen folgen, die zum Abgleich der Berechnungen genutzt werden können. Von besonderem Interesse sind die Moden, die durch das Spektrum der Hauptanregenden des Verbrennungsmotors angeregt werden können. Hierbei handelt es sich um die 1. und 2. Kipp-Mode und die Schirm-Mode der Primärseite. Die Sattel-Mode liegt nicht mehr im Bereich der Motoranregung, sie wird in den folgenden Analysen dennoch betrachtet.

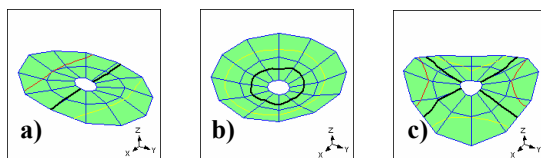


Abbildung 1: a) Kipp-Mode, b) Schirm-Mode, c) Sattel-Mode der Primärseite des Zweimassenschwungrades

Lagerbedingungen

Um den Einfluss der Lagerbedingungen auf die Messergebnisse zu untersuchen, wurden vier Lagerbedingungen

definiert: Frei-Frei Bedingung, Maschinenbett (Stahlguß), Modal-Würfel (Mineralguß) und Kurbelwelle im Fahrzeug.

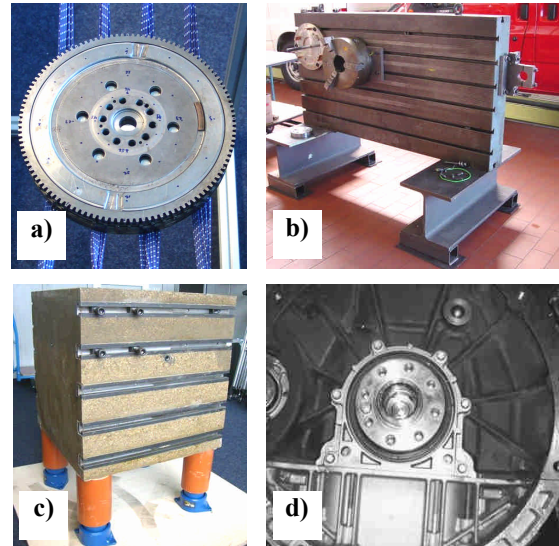


Abbildung 2: a) Frei-Frei Bedingung; b) Maschinenbett; c) Modal-Würfel; d) Kurbelwelle im Fahrzeug

Das ZMS wurde an den entsprechenden Lagerstellen mit Schrauben befestigt und diese mit einem definierten Drehmoment angezogen.

Versuchsdurchführung

Im Rahmen der Untersuchung wurden 9 verschiedene ZMS untersucht. Davon waren 6 ZMS von verschiedenen Fahrzeugen und 3 ZMS vom gleichen Fahrzeug, jedoch unterschiedlicher Bauart. Die Bauteile wurden mit dem Modalhammer, je nach Zugänglichkeit, an neun oder zwölf Positionen am äußeren Umfang angeregt. Die Beschleunigungsantwort wurde mit zwei Beschleunigungssensoren, die 30° versetzt zueinander montiert waren, ebenfalls am äußeren Umfang gemessen. Aus den ermittelten Übertragungsfunktionen wurden mittels Curve-Fitting-Verfahren die Modalen Parameter bestimmt.

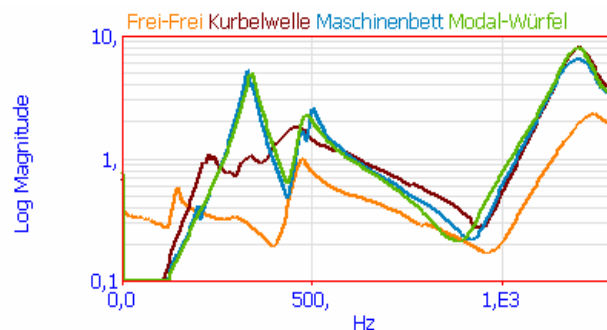


Abbildung 3: Fahrzeug F: Driving Points des ZMS unter verschiedenen Lagerbedingungen

In Abb. 3 sind am Beispiel des ZMS im Fahrzeug F die gemessenen Übertragungsfunktionen, in diesem Falle die Driving-Points, dargestellt. Es ist zu erkennen, dass sich die Kipp-Eigenfrequenzen der Frei-Frei-Lagerung und der Kurbelwellenlagerung deutlich von denen der verschraubten Lagerungen unterscheiden. Die elastischen Moden hingegen liegen wieder in einem ähnlichen Frequenzbereich.

Ergebnis

Einfluss der Lagerbedingung auf die Eigenfrequenz

Wie am Beispiel in Abb. 4 zu erkennen ist, werden besonders die Eigenfrequenzen, die zu den Starrkörperbewegungen des Beuteils gehören, von den Lagerbedingungen stark beeinflusst. Hierfür sind maßgeblich die unterschiedlichen Steifigkeiten der Lagerung verantwortlich. Bei den elastischen Moden zeigt sich nur eine geringe Beeinflussung der Eigenfrequenz, solange der Lagerpunkt nicht in einem Schwingungsbauch liegt. [2] [3]

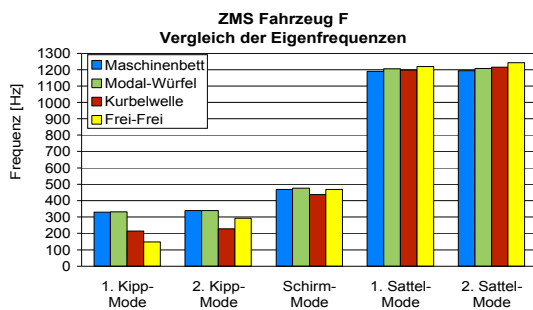


Abbildung 4: Fahrzeug F: Vergleich der Eigenfrequenzen unter verschiedenen Lagerbedingungen

Einfluss der Lagerbedingung auf die Schwingform

Die Lagerbedingung hat in erster Linie einen Einfluß auf die Schwingform, wenn die Lagerpunkte in Schwingungsbäuchen liegen. Bei der Frei-Frei Lagerbedingung unterscheidet sich die Kipp-Mode in ihrer Schwingform von denen der verschraubten Lagerbedingungen, siehe Abb. 5. Im Falle der Frei-Frei Bedingung kippt der Innenradius des ZMS phasengleich mit dem Außenradius, bei den anderen Lagerbedingungen hingegen steht der Innenradius fest. Der feststehende Innenradius hat ebenfalls einen Einfluss auf die Schirm-Mode. In der Frei-Frei Bedingung schwingt hier der Innen- gegen den Außenradius. Die Sattelmoden besitzen einen Schwingungsknoten im Bereich der Verschraubung und somit sind die Schwingformen von den Lagerbedingungen kaum beeinflusst. Dies zeigt sich auch in guten MAC-Werten.

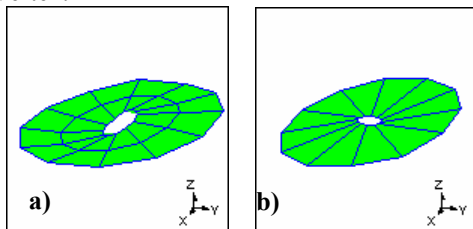


Abbildung 5: Vergleich der Kipp-Schwingform a) Frei-Frei Bedingung mit b) Modal-Würfel

Einfluss der Lagerbedingung auf die Dämpfung

Im Rahmen der Untersuchung zeigten die Lagerbedingungen den größten Einfluß auf die Dämpfung. Die Kurbelwellenlagerung beeinflusst das Dämpfungsverhalten der Kippmoden am stärksten. Gründe hierfür sind u.a. die Füge-

stellendämpfung der Kurbelwellenlagerung. Die Sattelmoden hingegen werden vom Dämpfungsverhalten der Lagerbedingung weniger beeinflusst, hier zeigt sich annähernd ein gleiches Dämpfungsverhalten, dass sich wiederum auf die Materialdämpfung zurückführen läßt.

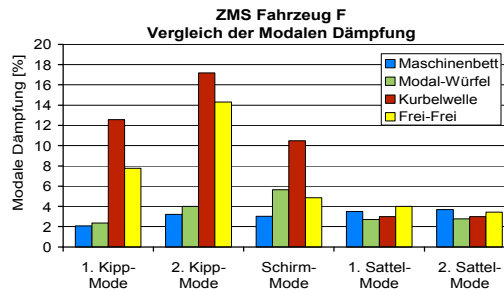


Abbildung 6: Fahrzeug F: Vergleich der Modalen Dämpfung unter verschiedenen Lagerbedingungen

Abgleich mit Betriebsschwingungsmessungen

Mit der Betriebsschwingungsmessung im Fahrzeug wurden die Kippmode und die Axialmode der ZMS Primärseite ermittelt. Hierfür wurden insgesamt sechs kapazitive Wegsensoren am Motorblock auf Höhe des inneren und äußeren ZMS Randes angebracht. Mit der durch drei Punkte aufgespannten Ebene konnten die Kipp- und die Axialmode bestimmt werden. Die Sattelmode konnte mit diesem Verfahren aufgrund der geringen geometrischen Auflösung nicht bestimmt werden, diese Eigenfrequenz lag ohnehin außerhalb des Anregespektrums des Motors.

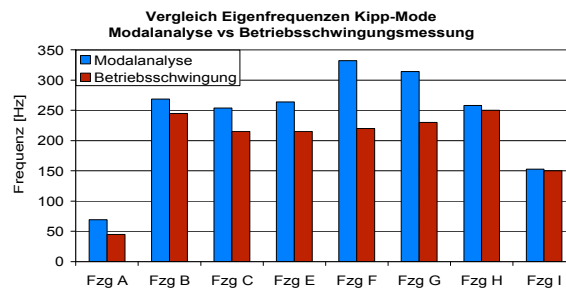


Abbildung 7: Vergleich Eigenfrequenzen der Kippmode zwischen Modalanalyse und Betriebsschwingungsmessung

Wie in Abb. 7 zu sehen ist, liegen die im Fahrbetrieb ermittelten Eigenfrequenzen der Kippmoden bei allen ZMS unter denen mittels Modalanalyse ermittelten Frequenzen. Die Differenz kann bei den untersuchten Bauteilen bis zu 100 Hz betragen. Ein Grund hierfür ist die geringere Gesamtsteifigkeit des Kurbelwelle-ZMS Systems gegenüber der relativ steifen Lagerbedingung am Modal-Würfel.

Literatur

[1] Anstatt, A.; Mohr C.: Optimierte Schwingungsisolierung im Kurbelwellen-ZMS-Verbund. In: DEGA e.V. (Hg.): Fortschritte der Akustik - DAGA'05, München, 2005.

[2] Steinbuch, R.; Schmidt, L.: Einfluss der Lagerung auf das Messergebnis-Auswahl einer geeigneten Messposition am Beispiel eines Elektroantriebs. DGAQS-Tag 2005.

[3] Ochs, S.: Untersuchung zum Einfluss der Lagerbedingungen auf die strukturdynamischen Eigenschaften von Zwei-Massen-Schwungrädern. Diplomarbeit, Karlsruhe 2006, S.95.