

# Beispiele für den Einsatz der experimentellen Modalanalyse in der Fahrzeugentwicklung

Michael Kronast

Ford GmbH, Produktentwicklung, 50725 Köln, Deutschland, Email: mkronast@ford.com

## Einleitung

Ein Kraftfahrzeug ist ein schwingungstechnisch komplexes Gebilde welches in einem sehr breiten Frequenzbereich auch angeregt wird. Anregungen, die z.B. von der Fahrbahn oder dem Antriebsstrang kommen, können durch Eigenschwingungen so verstärkt werden, daß die entstehenden Struktur-schwingungen zum Versagen von Bauteilen führen oder die erreichten Schwingungs- und Schallpegel den Komfort, die Verständigung usw. einschränken. Deshalb müssen die Frequenz und Ausbildung der Eigenschwingungen im Entwicklungsprozeß vorgegeben und die Einhaltung überwacht werden.

Für die Bestimmung der dynamischen Eigenschaften nutzt man in der Fahrzeugentwicklung die Modalanalyse. Entweder gibt es ein FE Modell des Fahrzeuges, seiner Systeme oder Teile, oder man hat Meßergebnisse aus denen dann die modalen Parameter bestimmt werden können. Beide Methoden haben ihre Vor- und Nachteile und werden heute intensiv im Entwicklungsprozeß genutzt. Im Folgenden werden die Einsatzmöglichkeiten der Modalanalyse basierend auf experimentellen Daten (EMA) und Beispiele für deren Anwendung dargestellt.

## Bestimmung der dynamischen Eigenschaften des Fahrzeuges im Entwicklungsprozess

Die Bestimmung der dynamischen Eigenschaften eines Fahrzeuges ist oft sehr aufwendig. Am einfachsten zu erfassen sind Betriebsschwingungen, die sich aus den Anregungen im Betrieb und den dynamischen Eigenschaften ergeben. Wann immer möglich versucht man deshalb mit dieser Darstellung der Struktur-dynamik zu arbeiten. Reichen die Resultate der Betriebsschwingungsanalyse nicht aus, ist eine detaillierte Kenntnis der dynamischen Eigenwerte erforderlich, dann muß eine Modalanalyse durchgeführt werden.

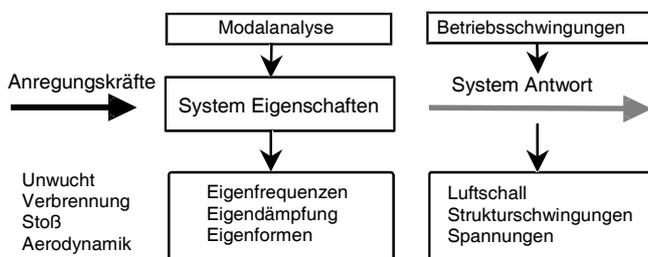


Abbildung 1: Zusammenhang zwischen Anregungskräften, Systemeigenschaften und Betriebsschwingungen.

Die dynamischen Eigenschaften eines Fahrzeuges müssen sehr früh im Entwicklungsprozeß bekannt sein. Zu diesem Zeitpunkt gibt es meist noch keine aktuellen Fahrzeugstruk-

turen, dann können modale Untersuchungen am ehesten mit FE / CAE Modellen durchgeführt werden. Für einfachere Teilsysteme, wie z.B. die Rohkarosserie, ist dies auch ein zuverlässiges Verfahren. Bei kompletten Fahrzeugen oder im höheren Frequenzbereich gibt es aber immer noch Unsicherheiten mit der Genauigkeit der Vorhersagen. Ein Aufgabenbereich der EMA ist deshalb die dynamischen Eigenwerte von Komponenten und Systemen, bis hin zum Vollfahrzeug, für Korrelationszwecke zu bestimmen. Das modale Modell wird nicht weiter verwendet.

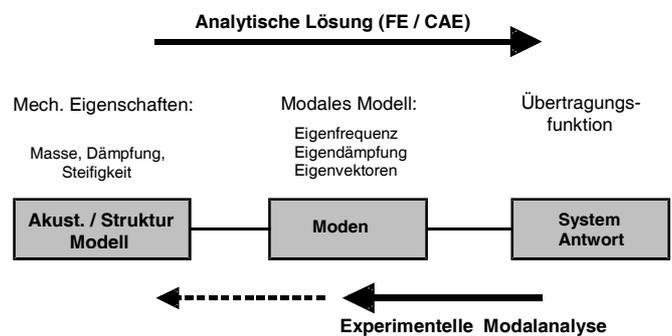


Abbildung 2: Darstellung der Ansätze für FE/CAE und experimenteller Modalanalyse

## Beispiele für die EMA im Entwicklungsprozess

Gibt es kein FE/CAE Modell, zum Beispiel wenn man Daten von Fremdfahrzeugen zum Zwecke des Benchmarkings benötigt, dann ist die EMA das einzig zur Verfügung stehende Werkzeug um Eigenwerte zu bestimmen. Auch in diesem Fall wird das erzeugte modale Modell meist nicht für weitere Untersuchungen genutzt.

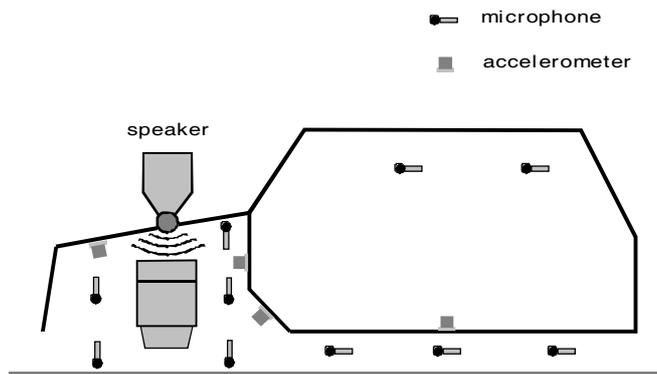


Abbildung 3: Rohkarosserie für eine Modalanalyse aufgebaut und instrumentiert.

Soll die EMA zur Ermittlung der Ursache von unerwünschten Geräusch- und Schwingungsphänomenen und deren Beseitigung eingesetzt werden, dann muss oft eine Untersuchung am kompletten Fahrzeug erfolgen, was dann

auch immer eine sehr aufwendige, zeitintensive und komplexe Arbeit darstellt. Um den Aufwand zu reduzieren wird versucht nur einen Teil der zu untersuchenden Struktur, entsprechend der geforderten Auflösung, zu instrumentieren und den Rest wie nötig einzubeziehen.

Das Ergebnis einer Vollfahrzeug EMA gibt dann auch nie ein wirklich komplettes modales Modell der Versuchsstruktur wieder. Man beschränkt sich eher auf den Frequenzbereich und die Eigenwerte, für die ein unmittelbarer Zusammenhang zur Fragestellung besteht. Für die Darstellung der Ursache ist dieses Vorgehen auch meist ausreichend.



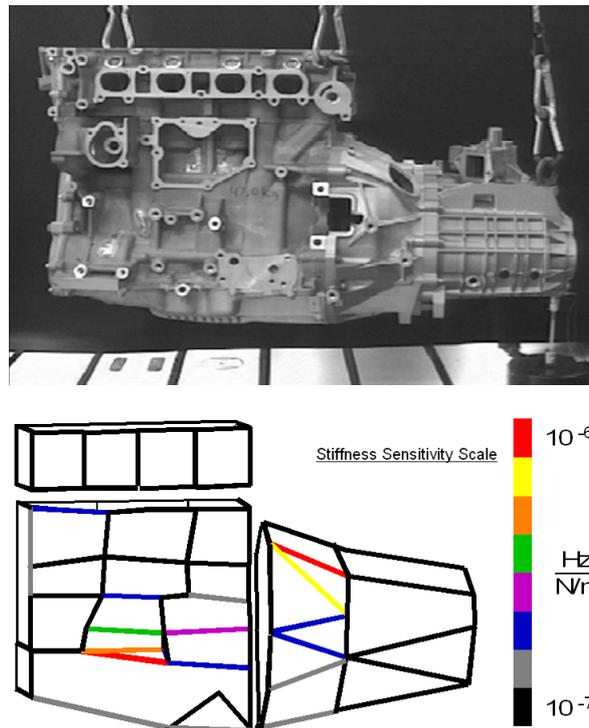
**Abbildung 4:** Vollfahrzeug aufgebaut für eine Vibro-Akustische EMA mit akustischer Anregung des Motorraumes.

Das gewonnene modale Modell kann aber auch für eine Vorhersage der zu erwartenden Auswirkungen von Veränderungen genutzt werden. Entfernt man eine oder mehrere Moden aus dem gewonnenen modalen Modell, z.B. Resonanzen einer Komponente die man verändern könnte, dann kann man die dazugehörigen Transferfunktionen synthetisieren. Ein Vergleich der ursprünglichen mit den neu errechneten Transferfunktionen zeigt so den zu erwartenden Unterschied. Bei der Interpretation solcher Ergebnisse muß aber auch immer daran gedacht werden, daß das zugrunde liegende modale Modell oft nicht vollständig ist.

Die Modalanalyse hat, wenn sie am Vollfahrzeug angewandt wird, einen entscheidenden Nachteil. Manche Eigenwerte weisen ein stark nichtlineares Verhalten auf, z.B. das Fahrwerk oder die Motorlagerung. Da im Betrieb die wirkenden Kräfte um ein vielfaches größer sind als bei einer EMA, können größere Abweichungen in den bestimmten Eigenwerten auftreten. Seit einiger Zeit kommen nun Verfahren zum Einsatz, bei denen das zu untersuchende Versuchsobjekt normal betrieben und nur die Antworten erfasst werden. Die Algorithmen der Betriebsmodalanalyse versuchen dann eine oder mehrere Referenzen aus dem gemessenen Satz von Antworten zu bestimmen, um dann damit ein modales Modell aufzubauen. Dieses Verfahren hat sich als geeignet für die Bestimmung z.B. der Starrkörpermoden des Antriebsstranges oder des Fahrwerkes erwiesen.

In manchen Modulen zur EMA gibt es auch Möglichkeiten zur gezielten Änderung der mechanischen Eigenschaften. Man kann Veränderungen an und zwischen den gemessenen Freiheitsgraden für Masse, Steifigkeit oder einfache strukturelle Veränderungen, wie zusätzliche Verbindungen mit Trägern, einfügen. Solche Änderungen können dann

schnell in die untersuchte Struktur eingefügt und die Vorhersagen verifiziert werden. Diese Vorgehensweise ist aber gegenüber z.B. den Möglichkeiten im FE/CAE Modell sehr eingeschränkt und wird heute deshalb selten angewandt.



**Abbildung 5:** Oben: Gehäuse eines Antriebsstrangs aufgebaut für eine EMA. Unten: Berechneter Einfluß von Steifigkeitsänderungen auf die Eigenfrequenz der ersten Biegeschwingung.

## Zusammenfassung

Die Modalanalyse ist ein wichtiges Werkzeug im Entwicklungsprozess von komplexen Strukturen. Durch die Entwicklung der FE/CAE Methoden und dem Anstieg der Rechnerleistung kann man heute einige der Aufgaben ausschließlich im Rechenmodell bearbeiten. Bei sehr komplexen Strukturen wie Vollfahrzeugen hat aber die experimentelle Modalanalyse noch immer ihre Bedeutung. Die Entwicklung der Betriebsmodalanalyse hat nun einen weiteren Einsatzbereich erschlossen.