



Implementierung eines aktiven Motorlagers und Kopplung mit einem Gesamtfahrzeug-Strukturmodell zur Simulation des NVH-Verhaltens

Andreas-Josef Grimm et al.

Daimler AG,

23.05.2019

Förderer: Projektpartner:

Mercedes-Benz
Das Beste oder nichts.



Inhalt

1. Motivation
2. Aufbau und Funktionsweise des aktiven Motorlagers
3. Aufbau Simulationsmodell
4. Zusammenfassung und Ausblick

Motivation

Fahrzeug:

- Ziel: Reduktion CO₂ –Ausstoß
- Beispiel-Maßnahmen: Leichtbau, Downsizing, ZAS
- Maßnahmen negativ für Schwingungsverhalten
- Weiche Lager/ steife Strukturen teilweise am Limit
- Lösungsansatz: aktive NVH-Systeme

Methode:

- Ziel: frühzeitige Gesamtsimulation
- Hoher Reifegrad der Simulation notwendig
- Integrierte Simulation aktiver Systeme
- Reifegrad der Modelle steigt im Prozess
- Verbesserung Prognosefähigkeit

Ziele:

- Simulation aktiver NVH-Systeme im Gesamtfahrzeug
- Entwicklung Beispielkomponenten
- Aufbau Demonstrator-Fahrzeug

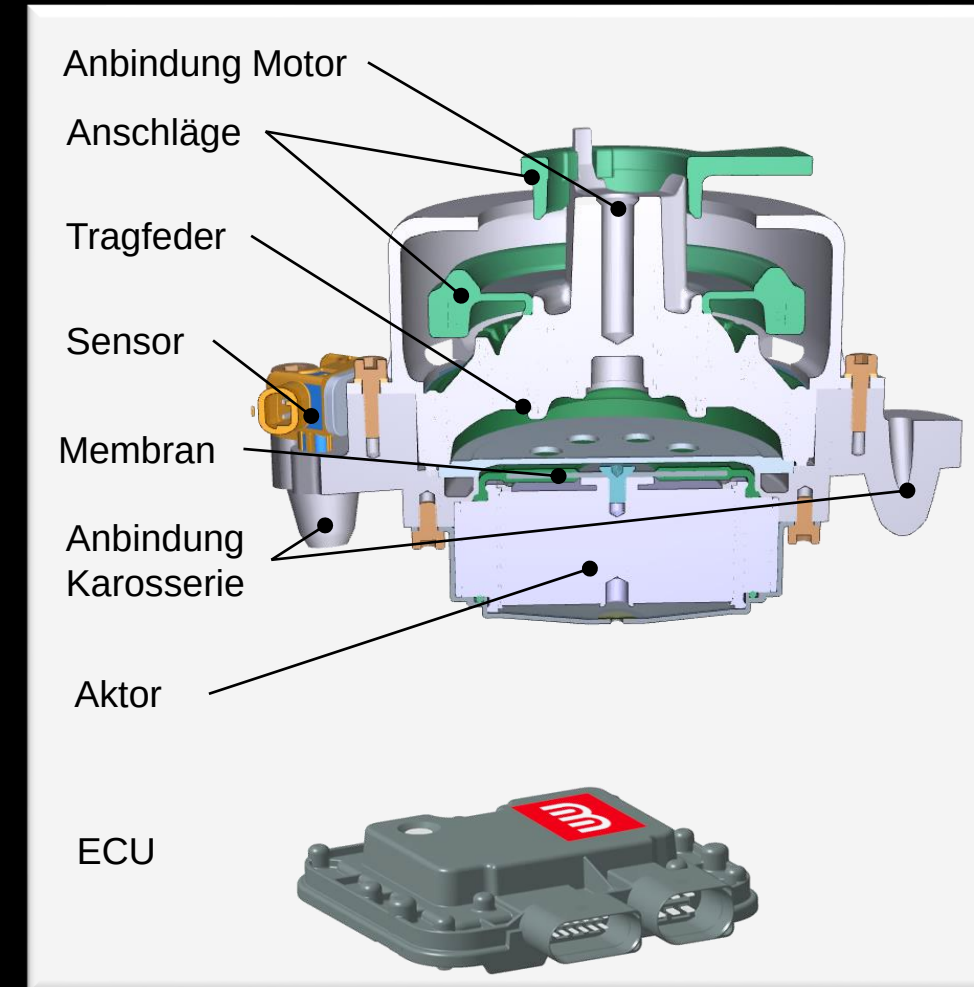
Identifizieren möglicher
Leichtbau-Potentiale

Inhalt

1. Motivation
2. Aufbau und Funktionsweise des aktiven Motorlagers
3. Aufbau Simulationsmodell
4. Zusammenfassung und Ausblick

Aufbau und Funktionsweise des aktiven Motorlagers (AEM)

- Positionierung des Motors im Fahrzeug
- Entkoppelungselement zwischen Motor und Karosserie
- Grundsteifigkeit durch Tragfeder
- Hydraulisch gedämpftes Lager als Grundlage
 - ❖ Niederfrequente zusätzliche passive Dämpfung
 - ❖ Fluid wirkt bei mittleren Frequenzen als Sperrmasse im Kanal
- Aktor leitet Kräfte über die Hydraulik ins System ein
- Reduktion der Haupt-Motorordnungen
- Optimieren durch Feedback des Beschleunigungssensors



Aufbau Simulationsmodell - Herausforderungen AEM

Für die numerische Auslegung aktiver Systeme benötigte Teilmodelle in unterschiedlichen Domänen:

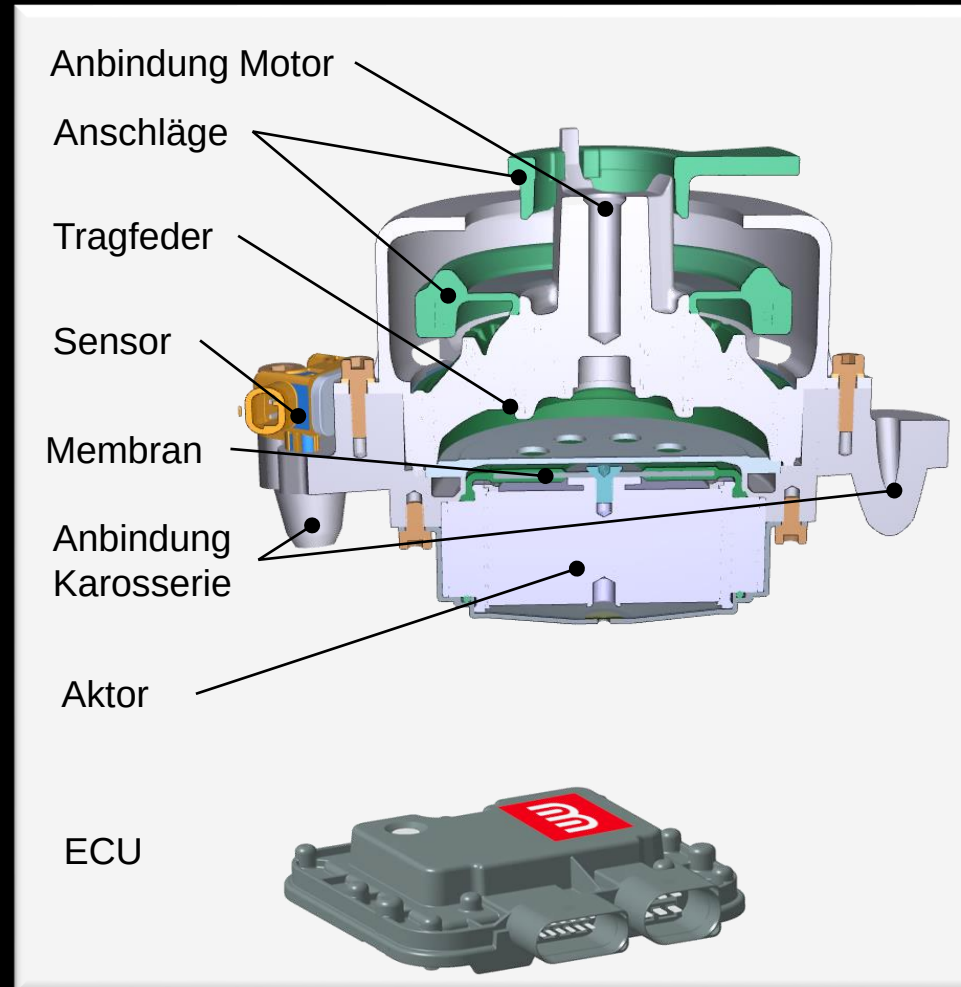
- Aktorik, Sensorik, Signalverarbeitung und Struktur
- Mechanisch, elektrisch, magnetisch, signalartig...

Simulation im Zeitbereich:

- Transiente Lasten (z.B. Fahrmanöver)
- Nichtlineares, zeitvariantes Verhalten (z.B. adaptive Regler, Elastomerbauteile, Begrenzungen,...)

Systematischer Aufbau komplexer Modelle

- hierarchische Modellorganisation
- Abwechselnde Admittanz und Impedanz mit Leistungsaustausch

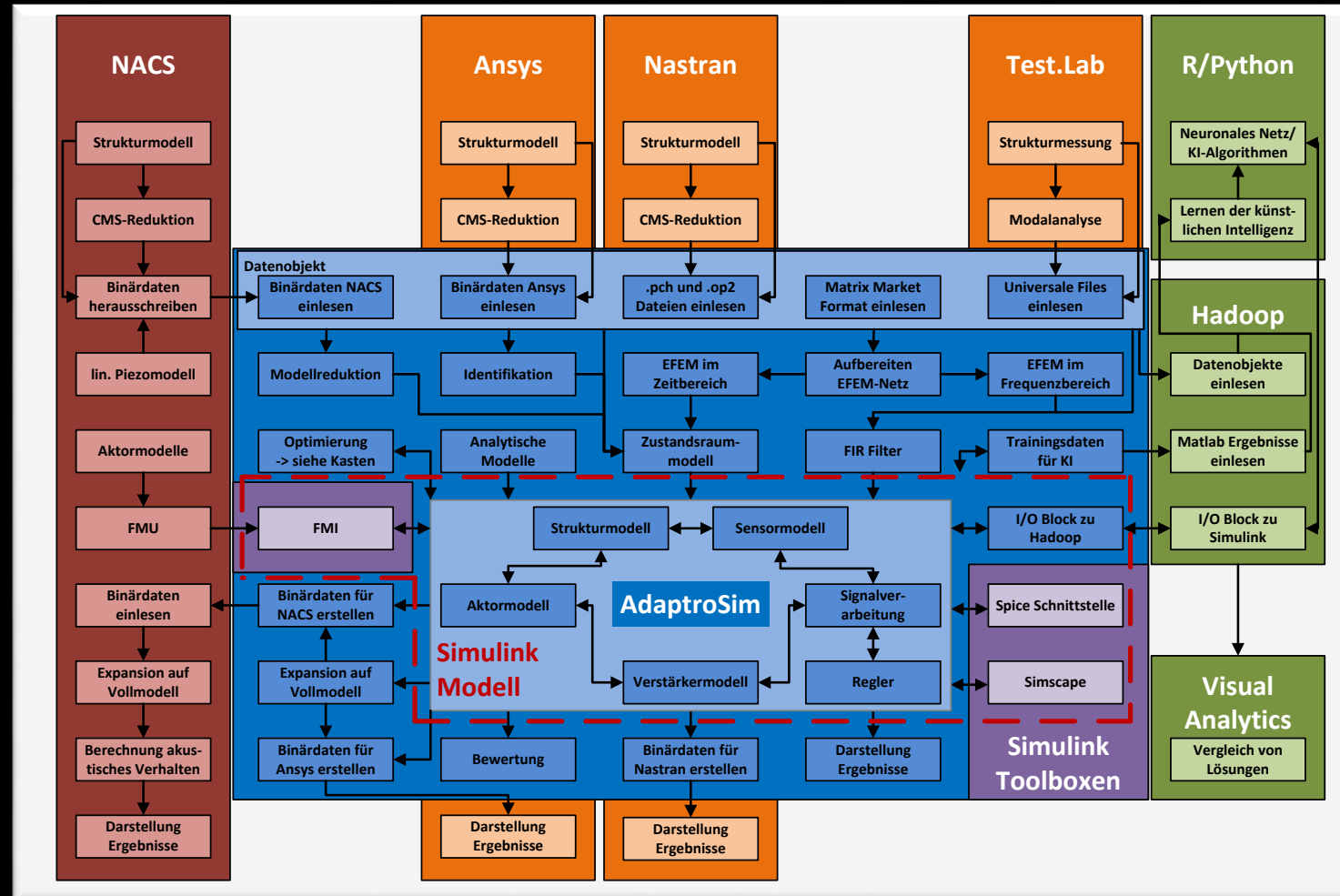


Inhalt

1. Motivation
2. Aufbau und Funktionsweise des aktiven Motorlagers
3. Aufbau Simulationsmodell
4. Zusammenfassung und Ausblick

Aufbau Simulationsmodell

Softwarestrukturplan



Aufbau Simulationsmodell - AEM- Strukturmodell*

Struktur:

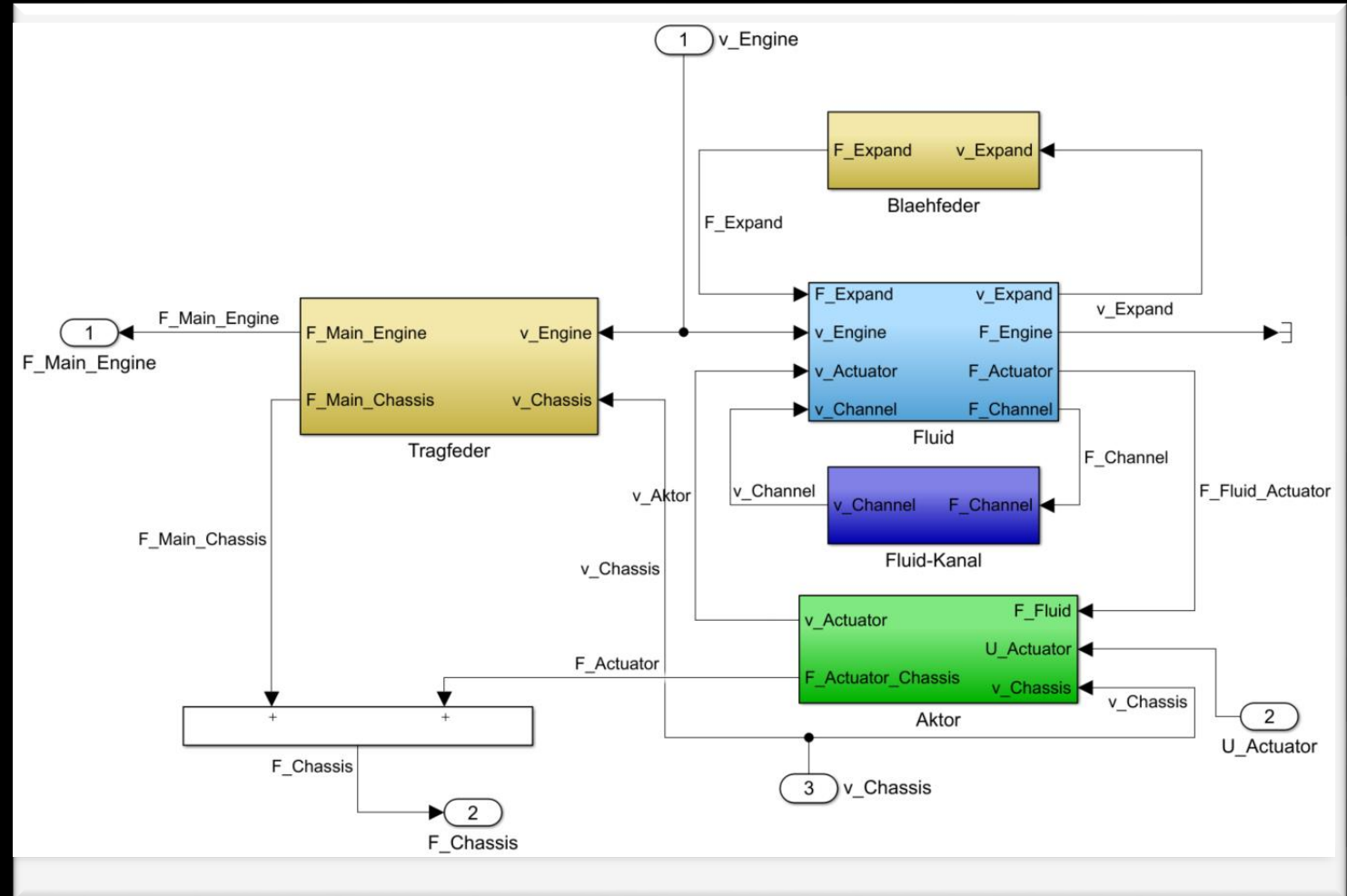
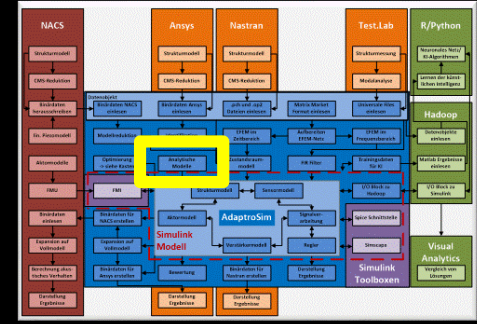
- Kelvin-Voigt-Modelle

Aktorik und Sensorik:

- idealer Akteur mit linearem Verhalten
- Verrauschtes Signal

Fluid:

- Conti-Gleichung
- Bernoulli-Gleichung

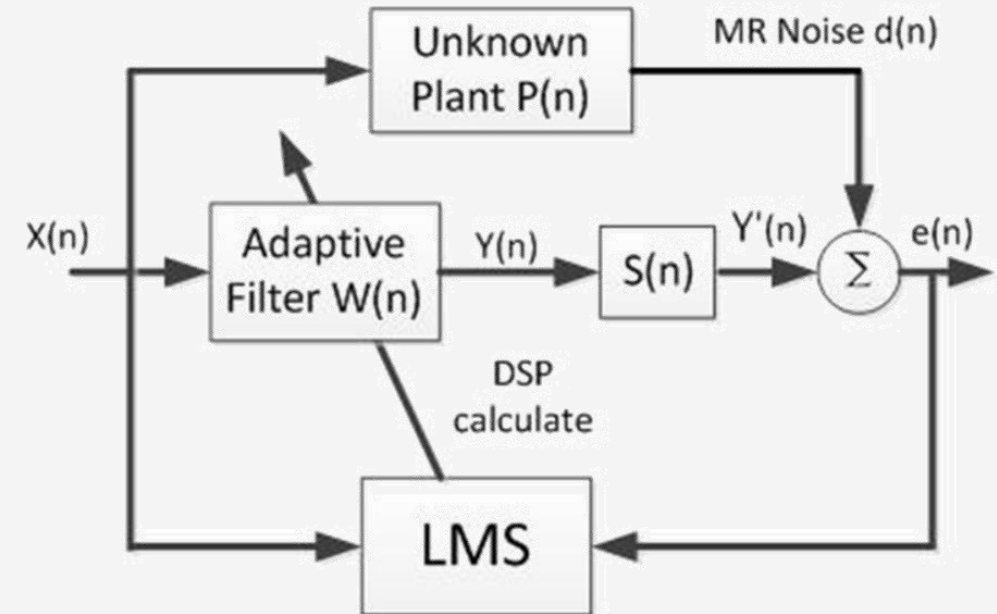
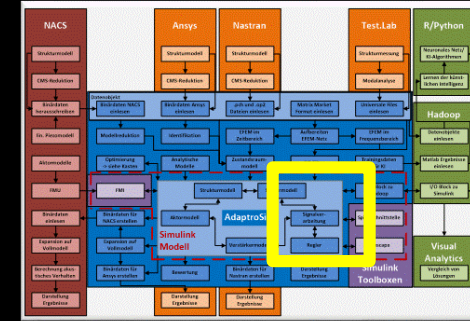


*Angelehnt an Hausberg 2016, Adaptive und kennfeldbasierte Steuerung aktiver Motorlager

Aufbau Simulationsmodell - Signalverarbeitung

Signalverarbeitung ist von enormer Bedeutung für aktive Systeme:

- Modellierung in Simulink
- Einsatz eines schmalbandigen FxLMS-Algorithmus
- Fehlergröße ist die am Fußpunkt gemessene Beschleunigung des aktiven Motorlagers
- Minimierung der Fehlergröße durch Einstellung der Amplitude und Phase bei elektrodynamischem Aktuator



- X(n) is the reference microphone signal
- Y(n) is the speaker output
- W(n) is the adaptive filter

- $P(z)$ is the unknown plant
- $Y'(n)$ is the cancelling signal
- $S(n)$ is the secondary path filter

Quelle: <http://mr.ee.ntu.edu.tw/lib/exe/fetch.php?cache=&media=pub:para:anc:fxlms.png>

Aufbau Simulationsmodell - Fahrzeug- Strukturmodell

Erstellung schnell simulierbarer Modelle mit geringer Komplexität aus hochkomplexen Finite-Elemente Modellen

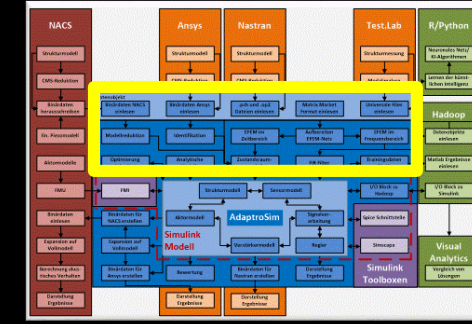
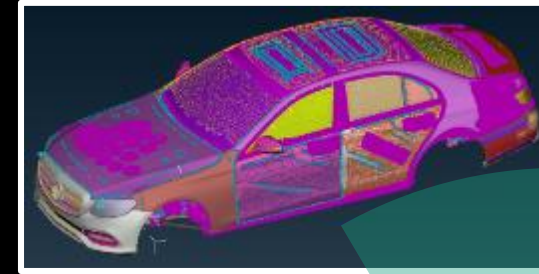
- Reduktion innerhalb der FE-Software (NASTRAN, ANSYS)
- Import reduzierter Modelle in die Simulationsumgebung und weitere Verarbeitung

Mehrstufige Reduktion

- Physikalische Reduktion (Modal)
- Numerische Reduktion (Balanced Truncation)

Parametrische Reduktion

- Erzeugung parametrischer Modelle zur Exploration und Optimierung im Entwurfsraum



$$Bf(t) = M\ddot{x}(t) + D\dot{x}(t) + Kx(t)$$

$$y = Cx(t)$$

→ Order reduction

$$q = \Phi x$$

$$\Phi^T B f(t) = \Phi^T M \Phi \ddot{x}(t) + \Phi^T D \Phi \dot{x}(t) + \Phi^T K \Phi x(t)$$

$$y = C\Phi x(t)$$

$$\tilde{B}f(t) = \tilde{M}\ddot{q}(t) + \tilde{D}\dot{q}(t) + \tilde{K}q(t)$$

$$y = \tilde{C}q(t)$$

→ State-space formulation

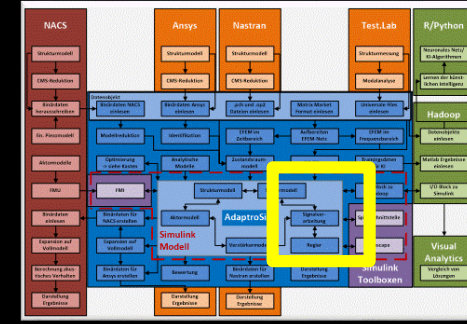
$$\begin{Bmatrix} \ddot{q} \\ \dot{q} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} -\tilde{M}^{-1}\tilde{D} & -\tilde{M}^{-1}\tilde{K} \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{q} \\ q \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \tilde{M}^{-1}\tilde{B} \\ 0 \end{bmatrix} f(t)$$

$$y = [0 \quad \tilde{C}] \begin{Bmatrix} \dot{q} \\ q \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} f(t)$$

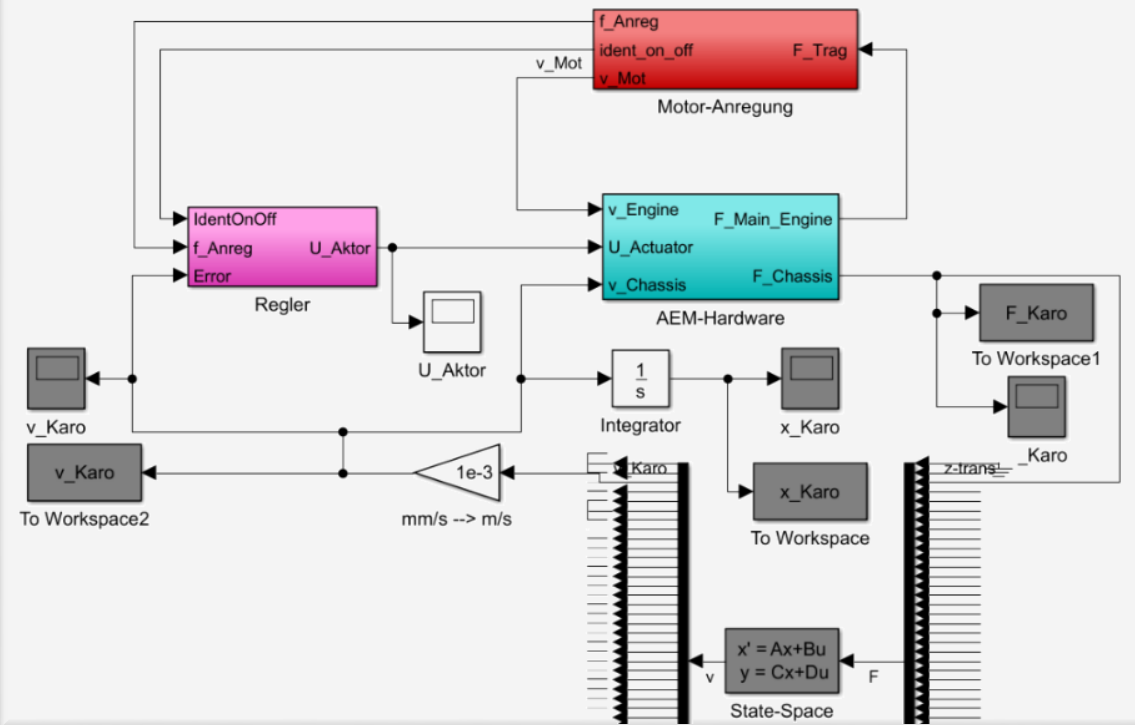
$$\begin{aligned}\dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx + Du\end{aligned}$$

Simulation mit reduziertem Speicher- und Zeitbedarf

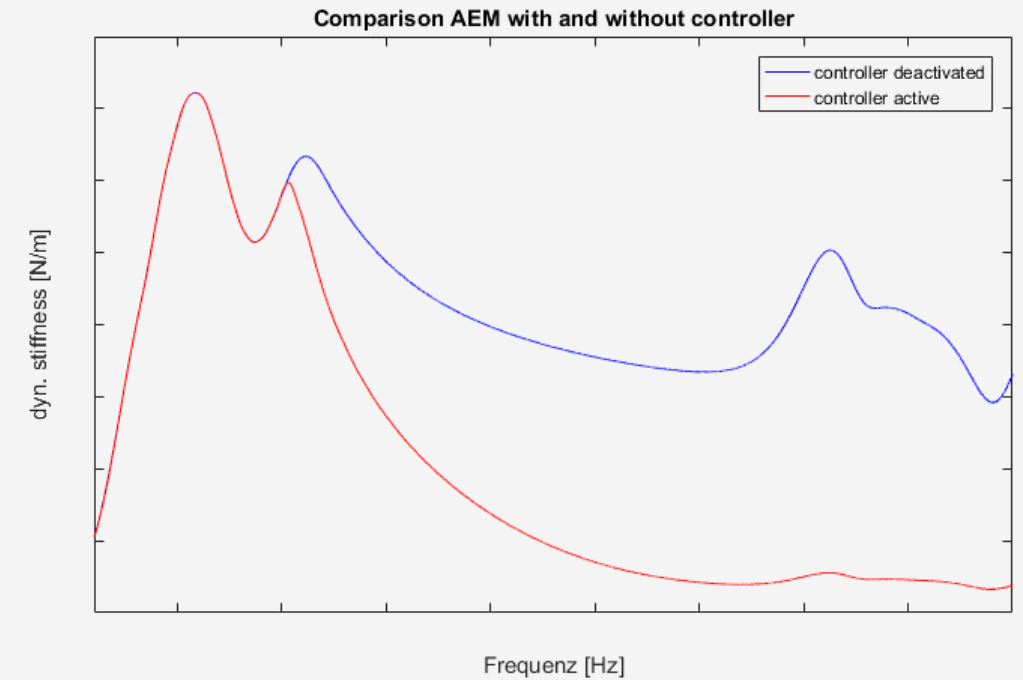
Aufbau Simulationsmodell - Gesamtsimulation



Aufbau Gesamtsimulation



Ergebnisse der Gesamtsimulation



Inhalt

1. Motivation
2. Aufbau und Funktionsweise des aktiven Motorlagers
3. Aufbau Simulationsmodell
4. Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung:

- Aktive Systeme zur Entschärfung des Zielkonflikts Leichtbau/NVH
- Entwicklung einer Simulationsmethodik zur frühzeitigen Prognose der NVH-Performance aktiver Systeme
- Modularer Aufbau der Simulationsumgebung für Detaillierung der Modelle im Entwicklungsprozess
- Aufbau eines realen Fahrzeuges mit Maßnahmen

Ausblick:

- Frühzeitiger Einsatz in der Fahrzeugentwicklung zur frühzeitigen Prognose aktiver NVH-Systeme und somit Nutzung möglicher Leichtbau-Potentiale
- Neue Möglichkeiten zum Modellaustausch aktiver Komponenten zwischen OEM und Lieferant in Fahrzeugentwicklung nutzen

Danke für Ihre Aufmerksamkeit

Danksagung:

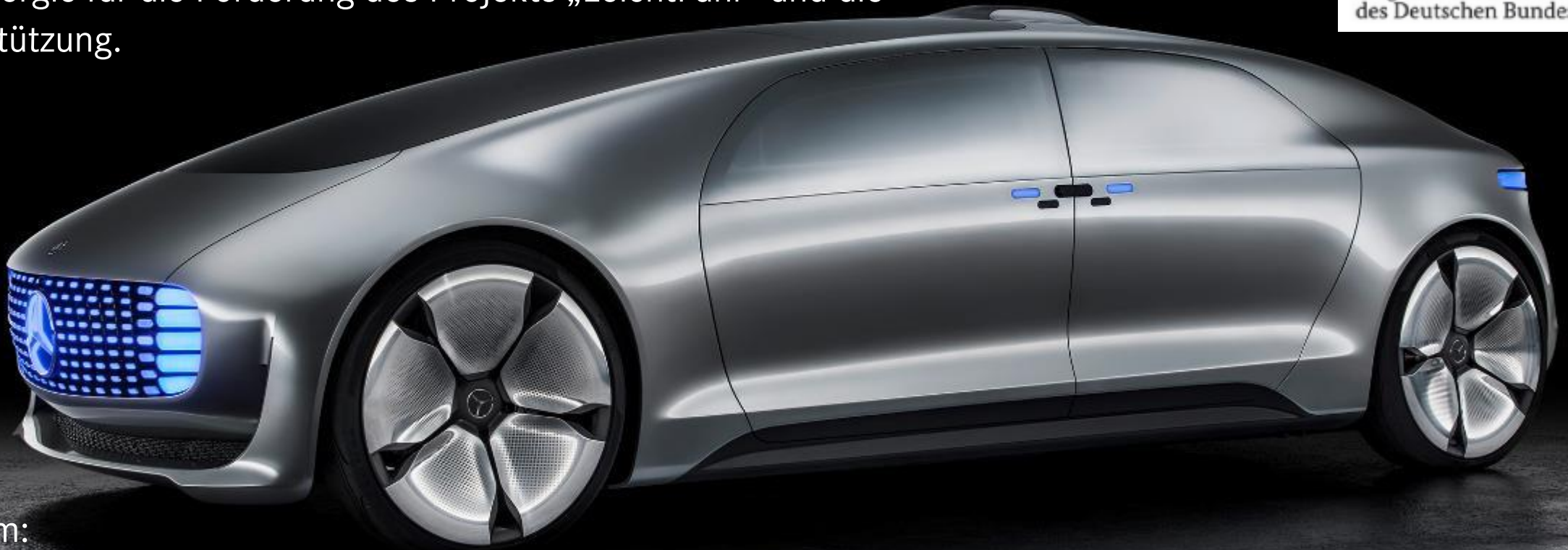
Das gesamte Projektteam dankt dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie für die Förderung des Projekts „LeichtFahr“ und die Unterstützung.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Projektteam:

