

# Gesamtsystemsimulation im digitalen Entwicklungsprozess

Heiko Atzrodt, Darmstadt, 23.10.2019



# Methoden zur Schwingungsminderung - Überblick

Häufig sind Schwingungen von Maschinen, Strukturen und Anlagen nicht gewollt und sollen vermieden, reduziert, isoliert oder unterdrückt werden. Zur Lösung solcher Aufgabenstellungen gibt es eine Vielzahl verschiedener Ansätze. Eine Übersicht gibt die folgende Tabelle. Zu den Lösungen gehören unter anderem:

- die Verringerung der Schwingungsursache, also der Erregung
- die Verlagerung von Systemeigenfrequenzen, Verstimmen des Systems
- der Einbau von Dämpfungselementen
- die Schwingungskompensation mit Zusatzsystemen
- die Schwingungsisolation

# Methoden zur Schwingungsminderung - Überblick

	ohne Energie- wandlung	mit Energiewandlung		
		passiv	semi-aktiv	aktiv
Verminderung der Erregung				
Verstimmen des Systems				
Erhöhung der Dämpfung				
Tilgung (Kompensation)				
Isolation von Quellen				
Isolation von Empfängern				

Im Allgemeinen Steigerung von:    
 Wirksamkeit, Komplexität, Kosten,   
 Variantenvielfalt

# Systementwicklung

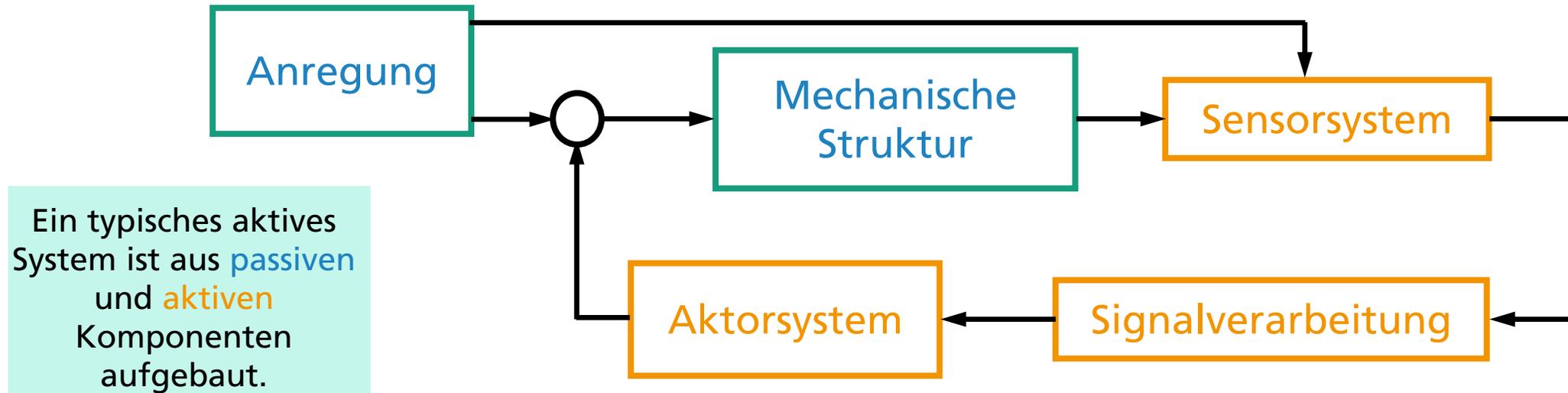
<p>Definition Anforderungen</p>	<p>Konzept</p>	<p>Systemmodell</p>	<p>Realisierung Komponenten</p>	<p>Integration/ Inbetriebnahme</p>

Abstraktion der Aufgabenstellung

 AdaptoSim™

Inbetriebnahme / Tests

# Systementwicklung - aktives System

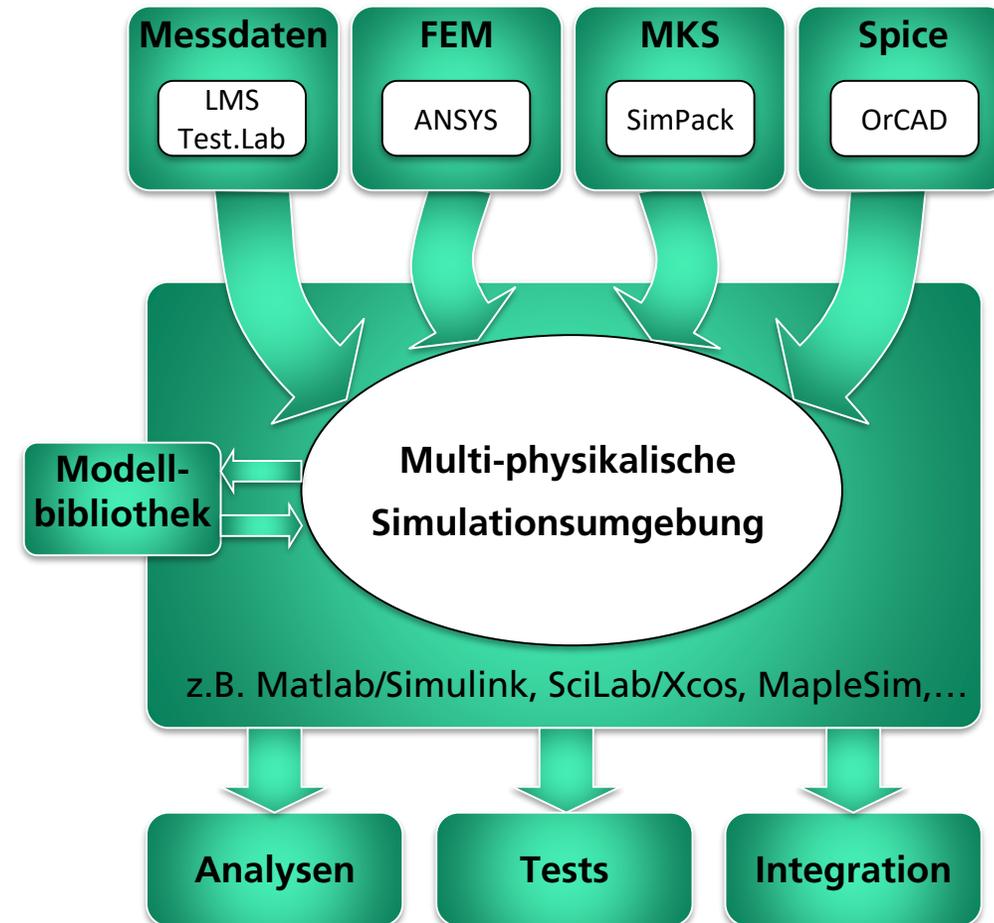


- Wechselwirkungen durch geschlossenen Regelkreis
- Zusätzlich ausgeprägte Wechselwirkungen zwischen Teilsystemen, z.B.
  - Sensormassen wirken auf mechanische Struktur zurück
  - Begrenzte Aussteuerung der Aktorik wirkt auf Signalverarbeitung zurück
  - Dynamische Eigenschaften der Aktorik können auf mechanische Struktur einwirken
  - Dynamische Eigenschaften der Aktorik können auf Erregung einwirken

# Modellbasierte Entwicklung mit integralem Ansatz zur Systemsimulation

## Integraler Ansatz

- Multi-physikalische Systeme (analytische, numerische oder experimentelle Daten)
- Modellimport und Modellreduktionstechniken
- Systemsimulation im Zeitbereich
- Parametrisierung von Aktoren und Sensoren
- Systemoptimierung
- Digitale Regelungen
- Konzept-, Kosten-, Energie- und Performanceabschätzungen



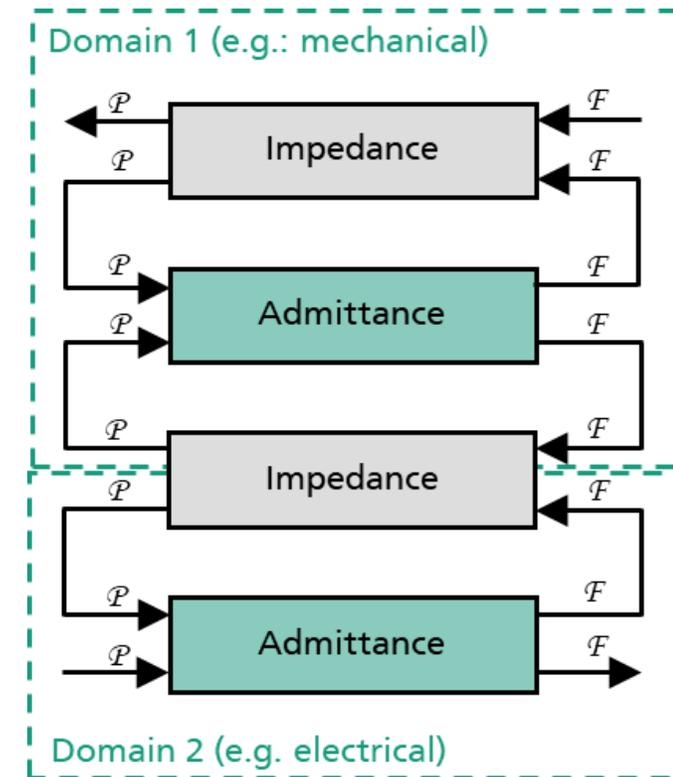
# Erstellung von Systemmodellen mit definierten Schnittstellen

Die modulare Struktur der Systemmodelle erfordert einheitliche Schnittstellen, damit Teilsysteme einfach verfeinert und ausgetauscht werden können:

- Über alle Ebenen des Modells vom Gesamtsystem bis zum Detail
- Über alle physikalischen Domänen bei multiphysikalischen Modellen

Ansatz:

- Leistungsaustausch für alle physikalischen Wechselwirkungen
- Austausch einer Fluss- und einer Potentialgröße an jeder Schnittstelle
- Abwechselnde Impedanz- und Admittanzmodellierung



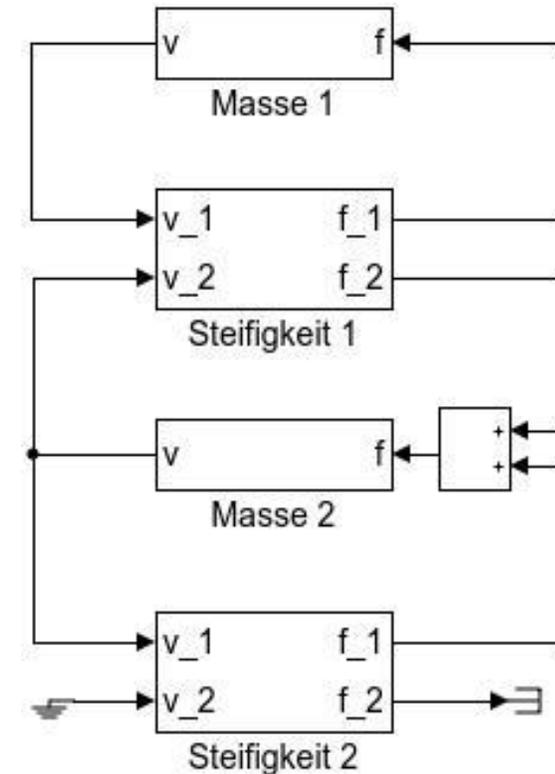
# Erstellung von Systemmodellen mit definierten Schnittstellen

Die modulare Struktur der Systemmodelle erfordert einheitliche Schnittstellen, damit Teilsysteme einfach verfeinert und ausgetauscht werden können:

- Über alle Ebenen des Modells vom Gesamtsystem bis zum Detail
- Über alle physikalischen Domänen bei multiphysikalischen Modellen

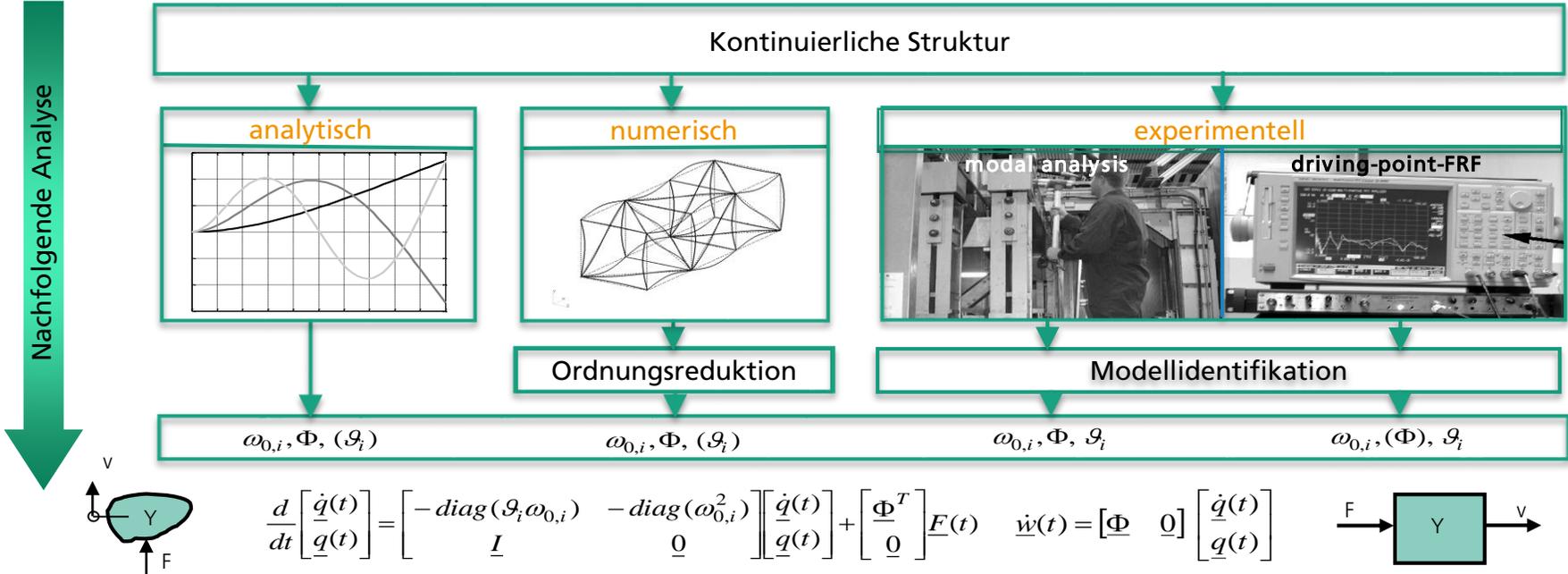
Ansatz:

- Leistungsaustausch für alle physikalischen Wechselwirkungen
- Austausch einer Fluss- und einer Potentialgröße an jeder Schnittstelle
- Abwechselnde Impedanz- und Admittanzmodellierung



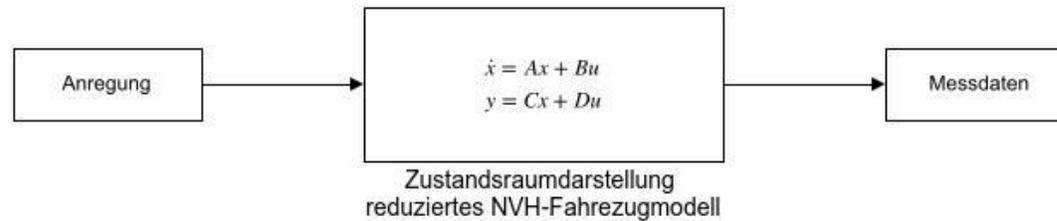
Simulation Zweimassenschwinger im Zeitbereich

# Modellbildung für Systemsimulationen



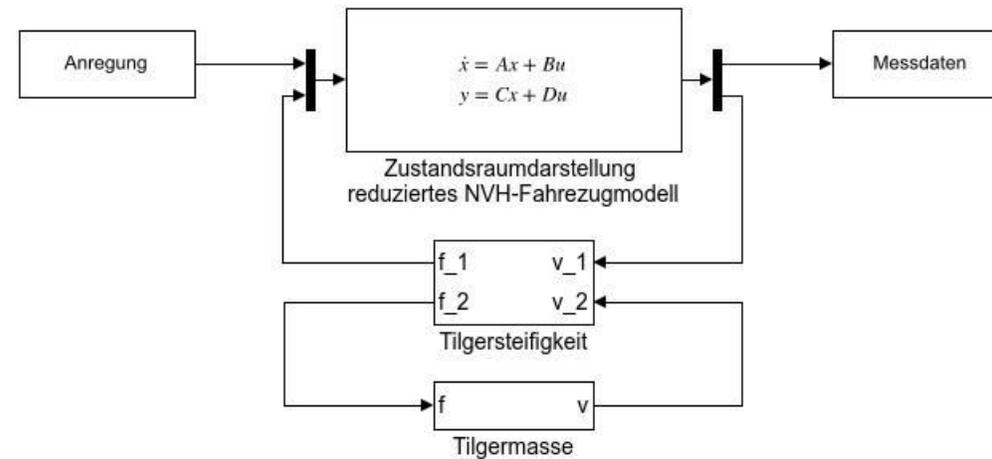
# Simulation Fahrmanöver im Zeitbereich

## Fahrzeugmodell aus FEM



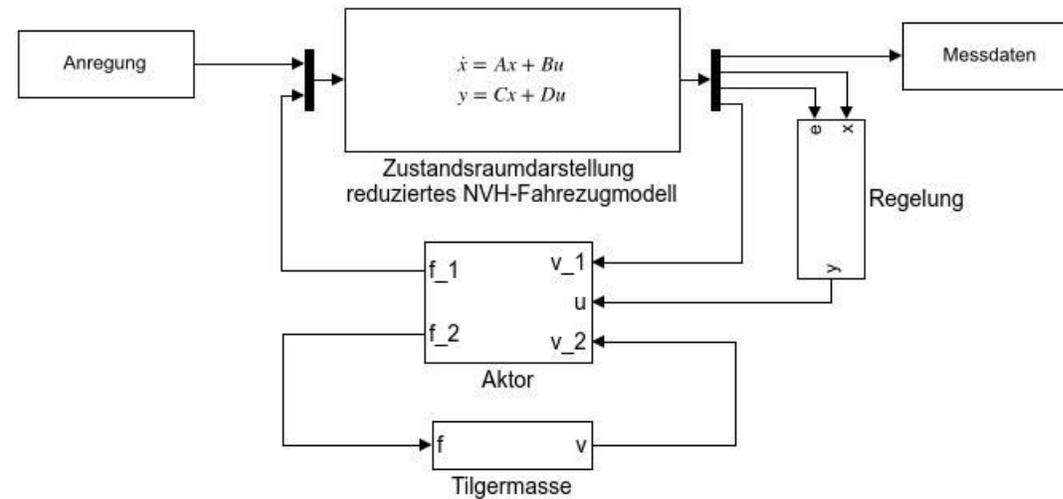
# Simulation Fahrmanöver im Zeitbereich

## Fahrzeugmodell aus FEM mit Tilger



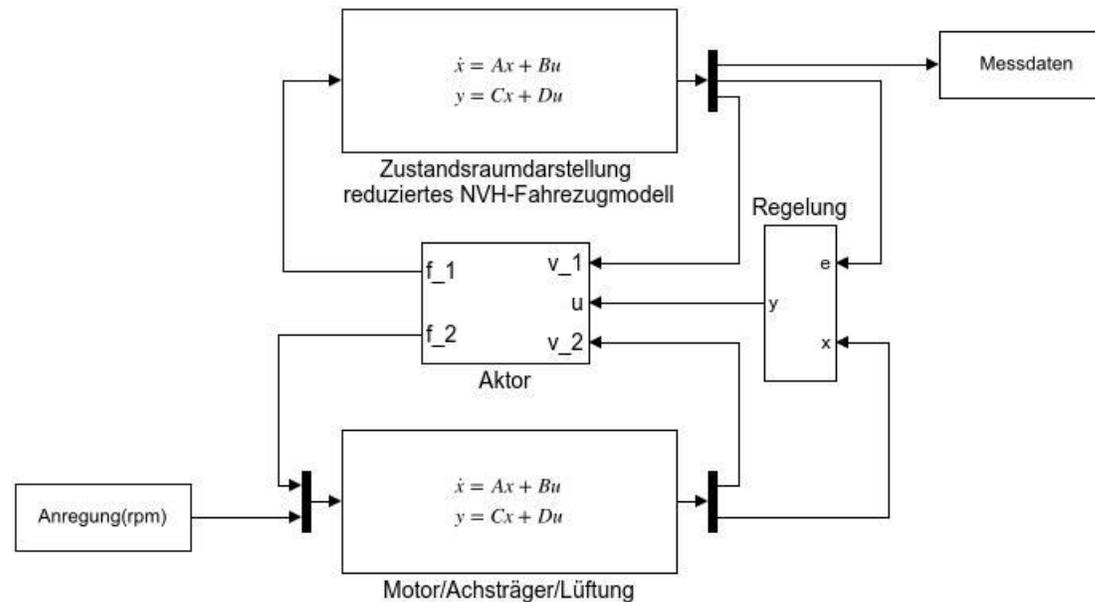
# Simulation Fahrmanöver im Zeitbereich

## Fahrzeugmodell aus FEM mit aktiven Tilger



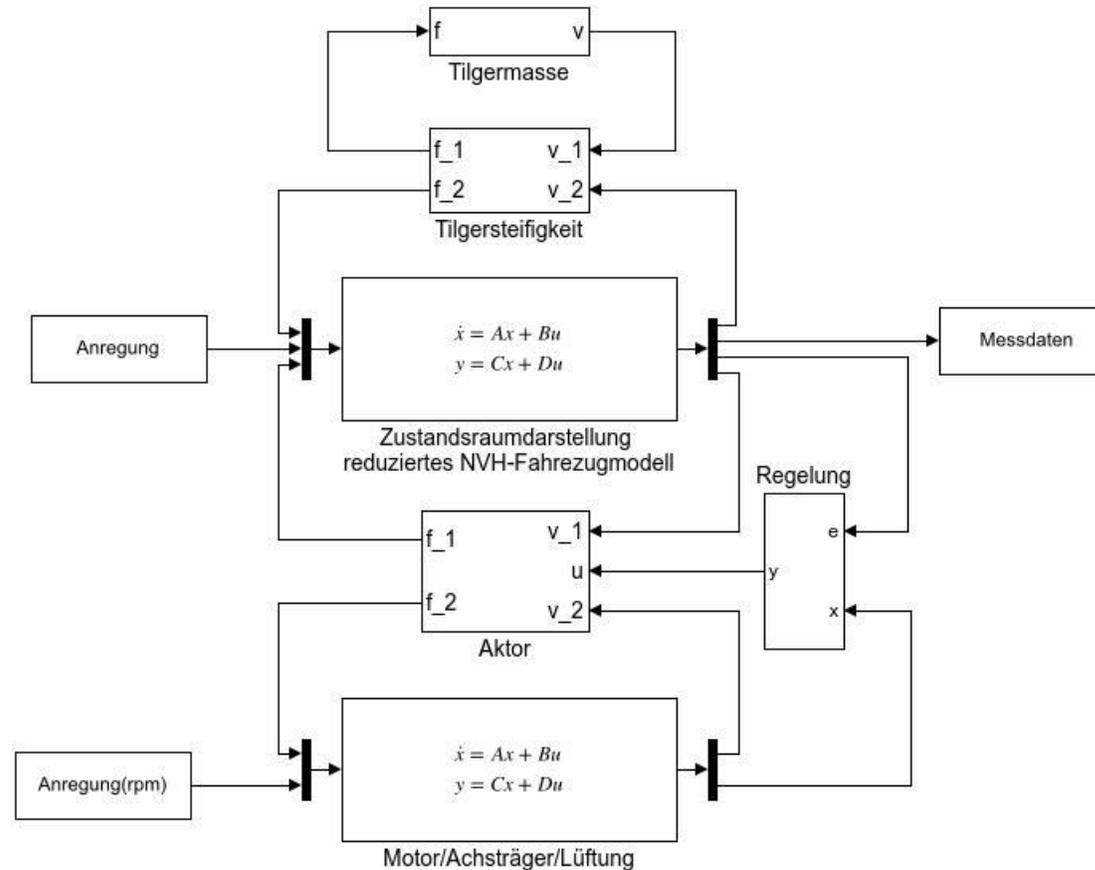
# Simulation Fahrmanöver im Zeitbereich

## Fahrzeugmodell aus FEM mit aktiven Lager



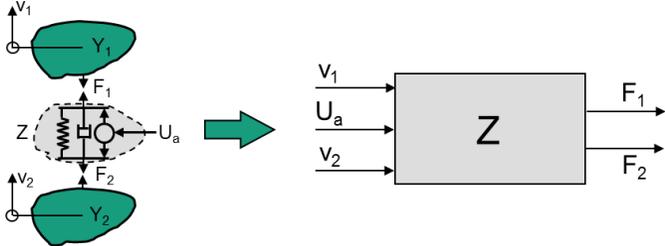
# Simulation Fahrmanöver im Zeitbereich

## Fahrzeugmodell aus FEM mit Tilger und aktiven Lager

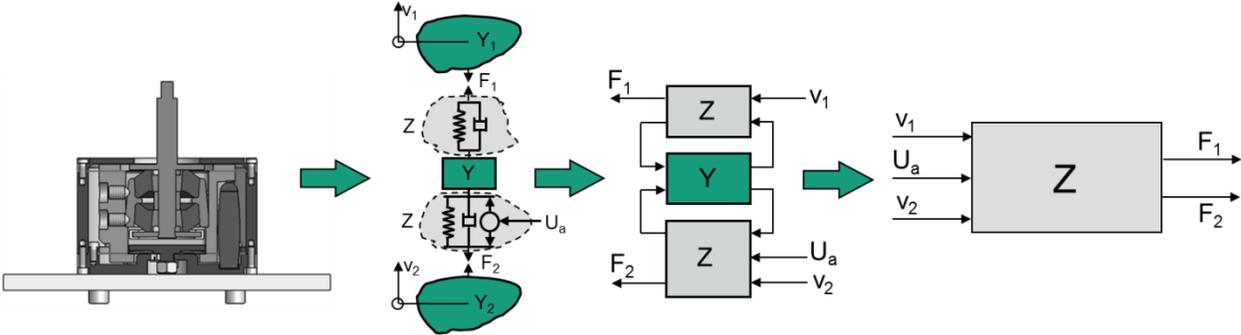


# Hierarchische und zusammengesetzte Systeme

Einfaches aktives Lager:

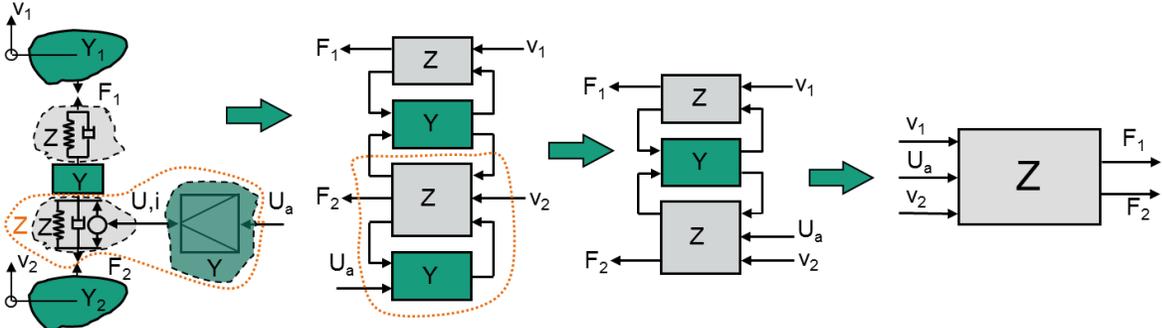


Hybrides aktives Lager:

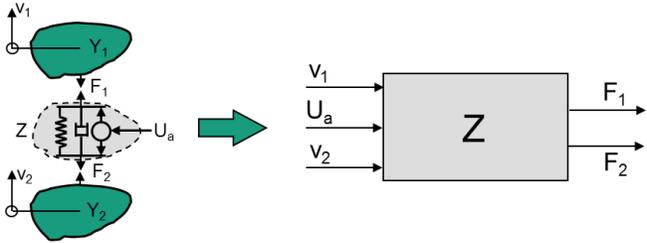


# Hierarchische und zusammengesetzte Systeme

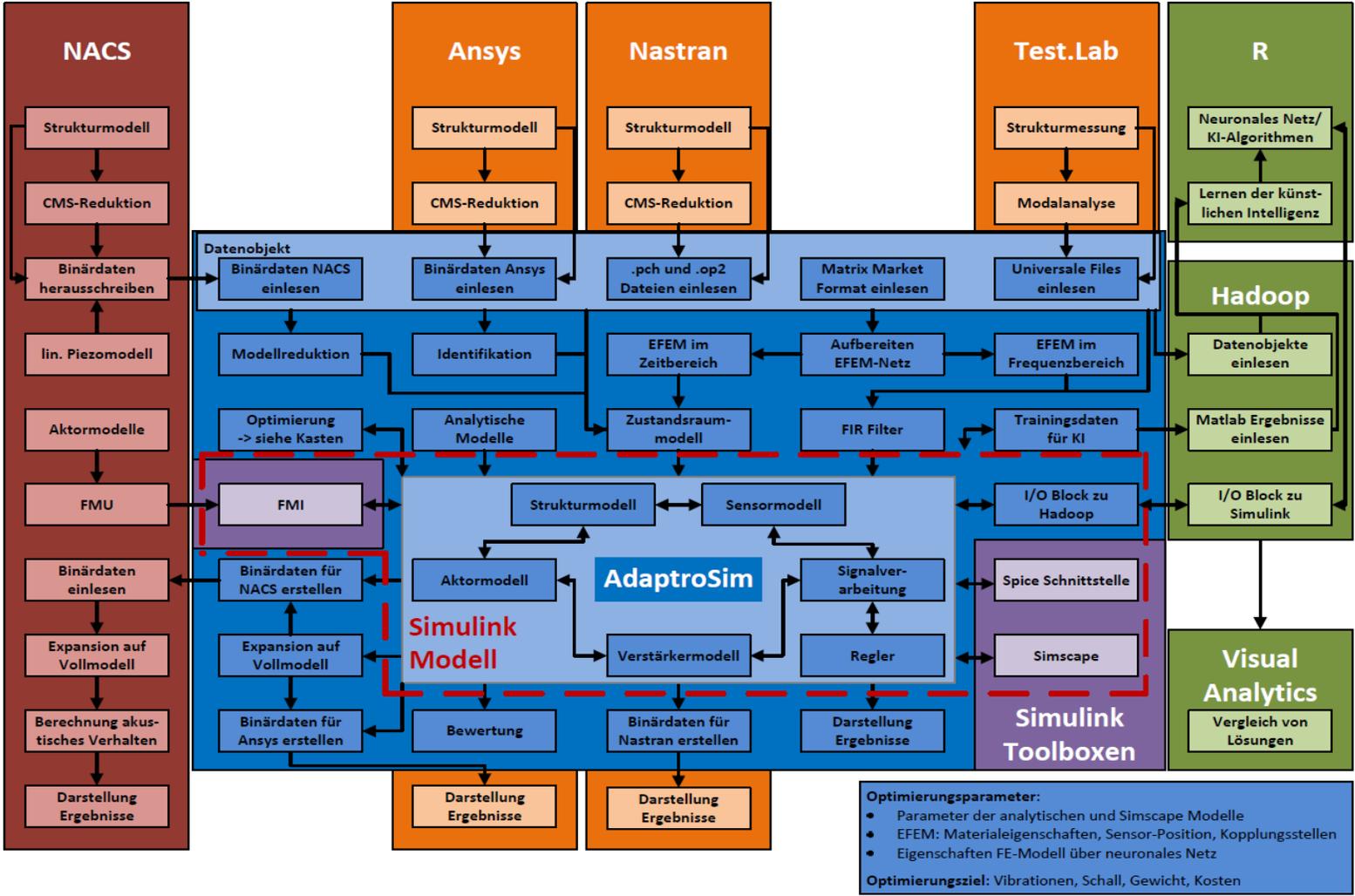
Hybrides aktives Lager mit Leistungsverstärker:



Das ursprüngliche, einfache aktive Lager hat die gleiche Schnittstelle:

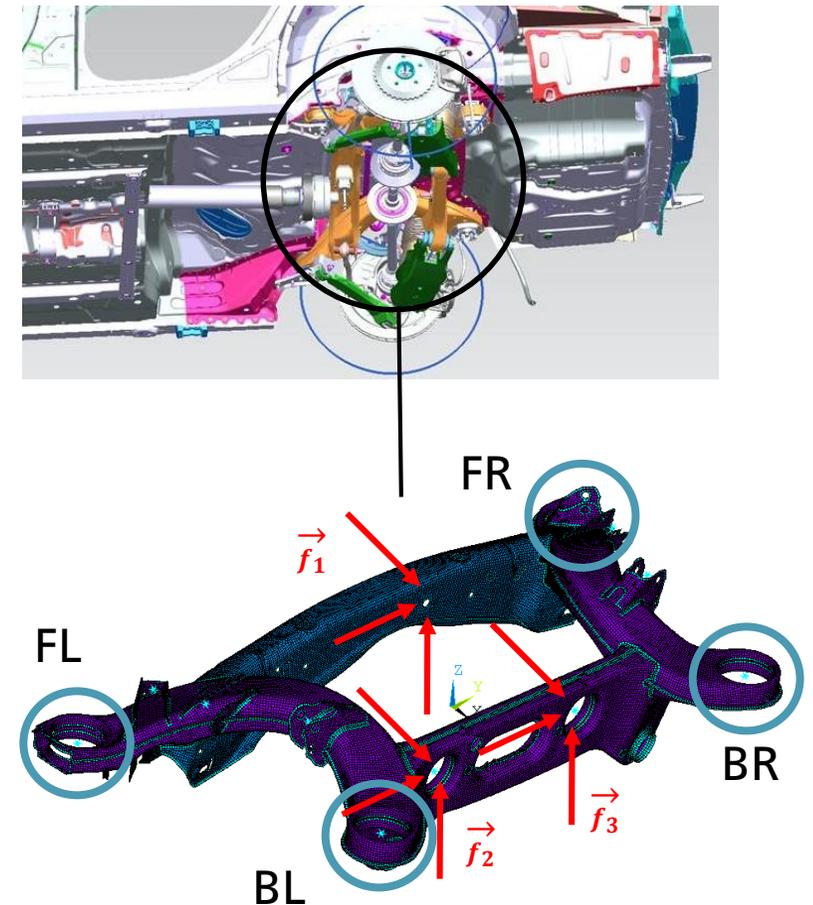


# Softwarestrukturplan



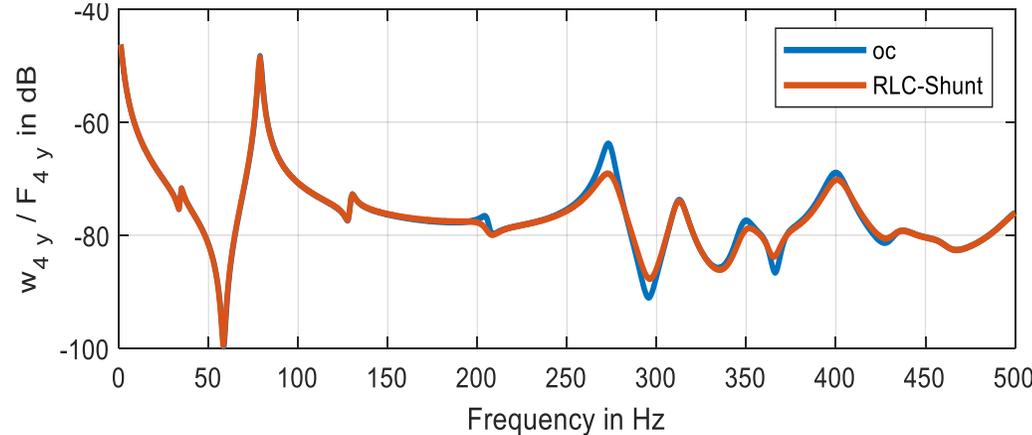
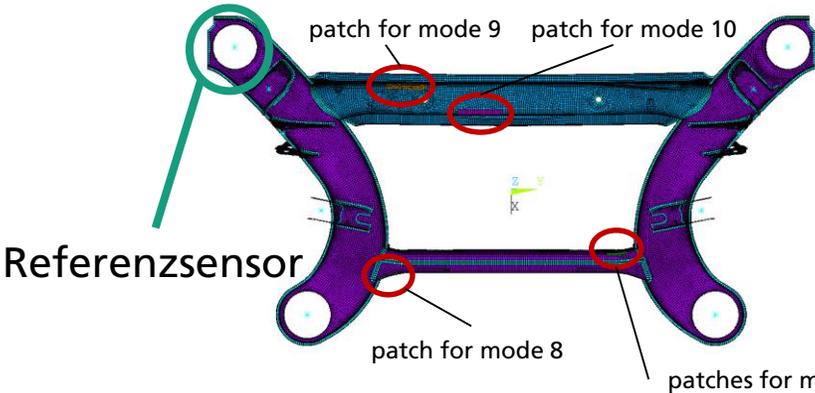
# Shunt-Damping mit Piezopatches

- Einsatz von Shunt-Damping zur Schwingungsminderung am Hinterachsfahrschemel
  - Anregung des Hinterachsfahrschemels über die drei Ankopplungspunkte des Antriebstrangs und dem Differentialgetriebe
  - Kopplung Hinterachsfahrschemel über vier Elastomerlager mit der Karosserie
  - Applikation von Piezopatches auf dem HAFS als elektromechanische Wandler
  - Reduktion der Freiheitsgrade und Überführung nach Simulink als Zustandsraum
  - Anbindung Shunt Schaltung

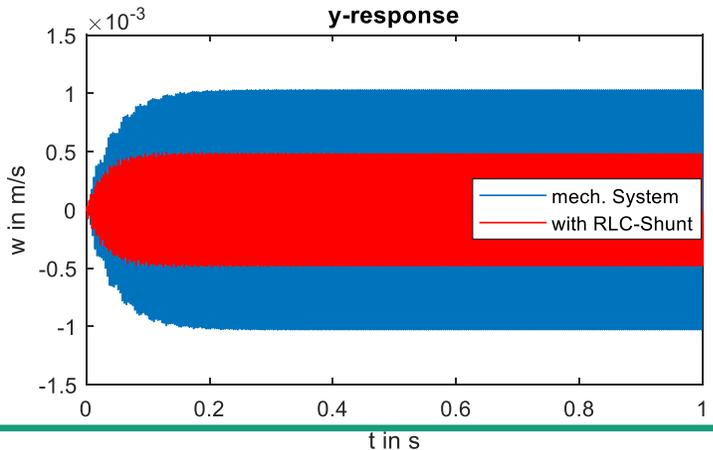


# Shunt-Damping mit Piezopatches

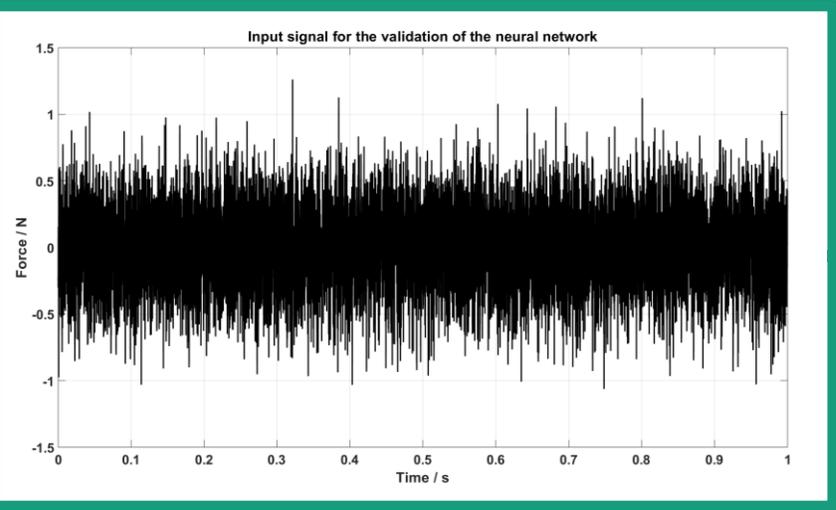
## ■ Frequenzbereich



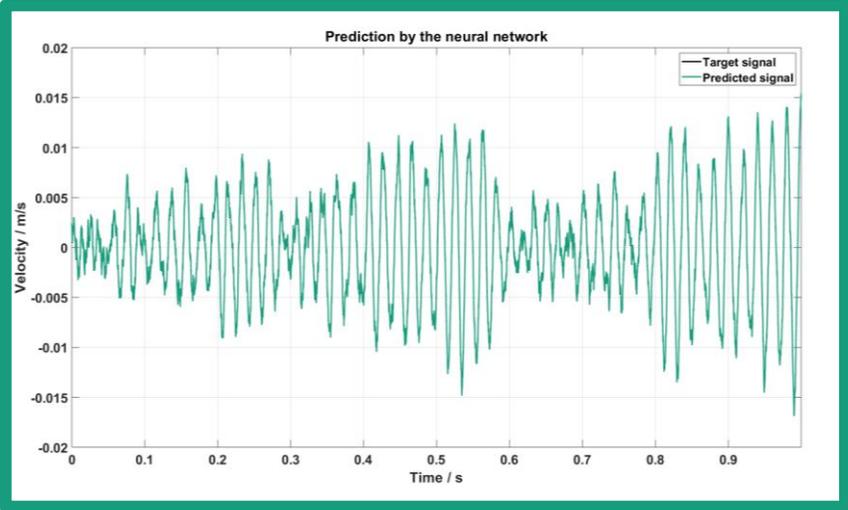
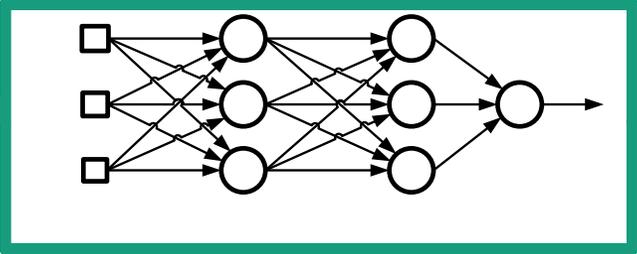
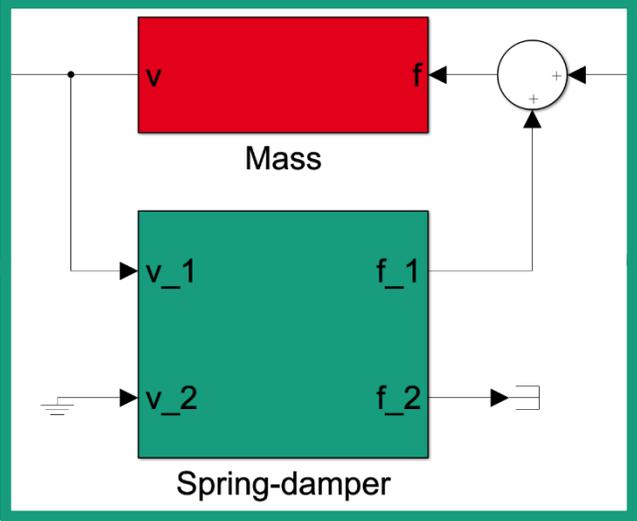
## ■ Zeitbereich



# Neuronale Netze: Masse-Feder Dämpfer



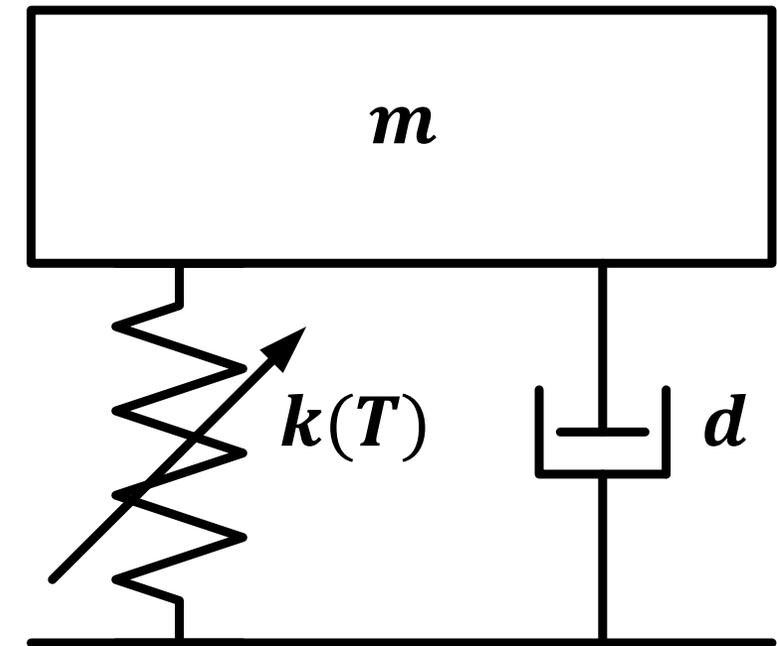
Anregung des Systems mit einem Input-Signal (z.B. white noise)



Vergleich der Ergebnisse des realen Systems und des neuronalen Netzwerks

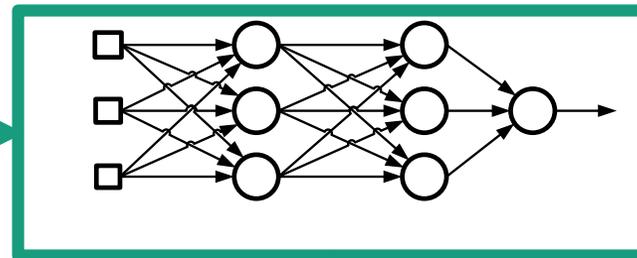
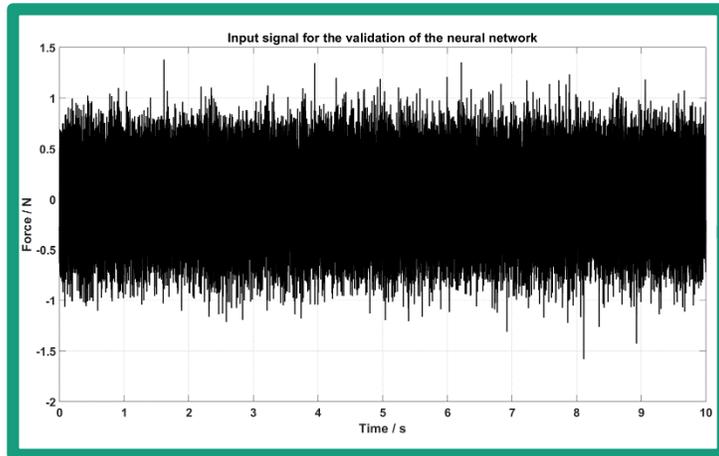
# Neuronale Netze: Lineares zeitvariantes System

- Das dynamische Verhalten eines zeitvarianten Masse-Feder-Dämpfsystems wird anhand eines künstlichen neuronalen Netzes identifiziert.
- Es werden für das **Training** des künstlichen, neuronalen Netzes für **verschiedenen Temperaturen** Daten generiert.
- Das neuronale Netz sollte für zwei verschiedene Temperaturen **interpolieren** (führt zu einer Verschiebung der Eigenfrequenz)

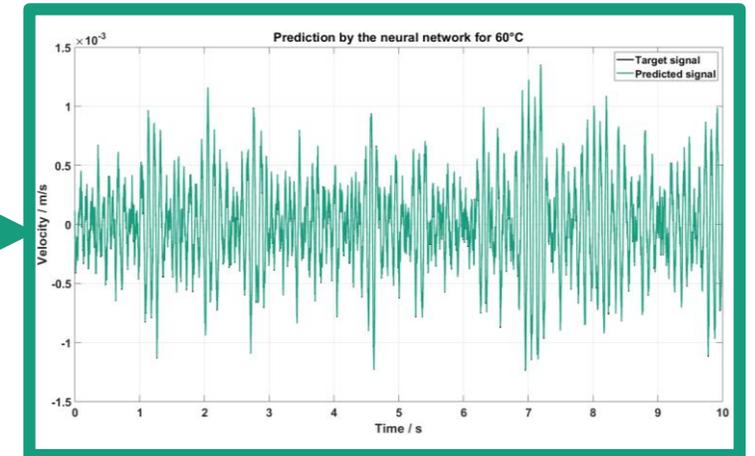


# Neuronale Netze: Lineares zeitvariantes System

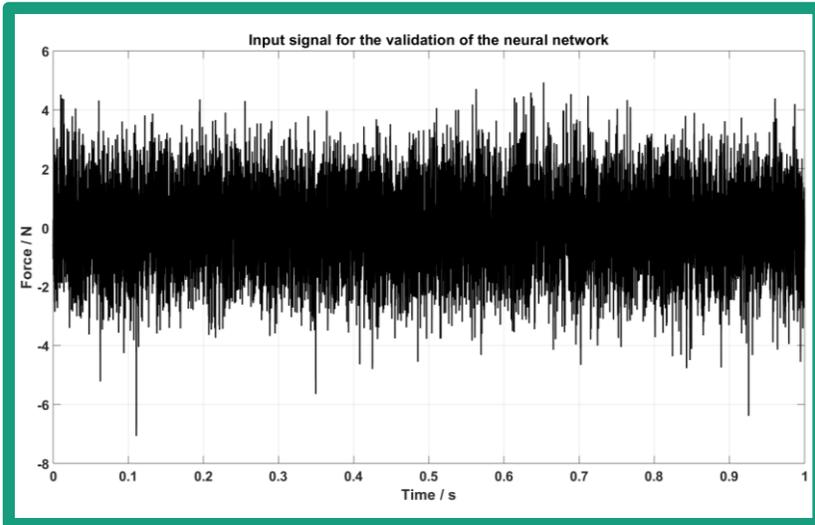
Kann das neuronale Netz das Systemverhalten bei 60° voraussagen?



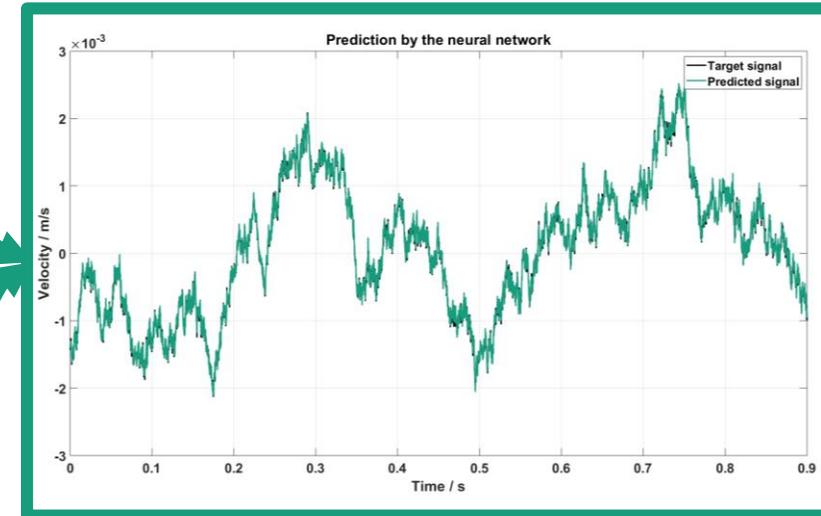
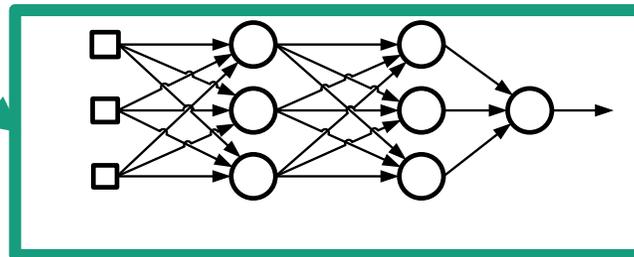
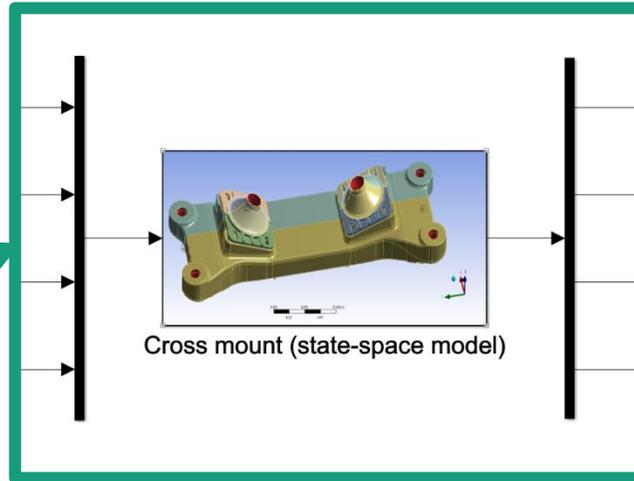
$T = 60^{\circ}\text{C}$



# Neuronale Netze: Getriebequerträger



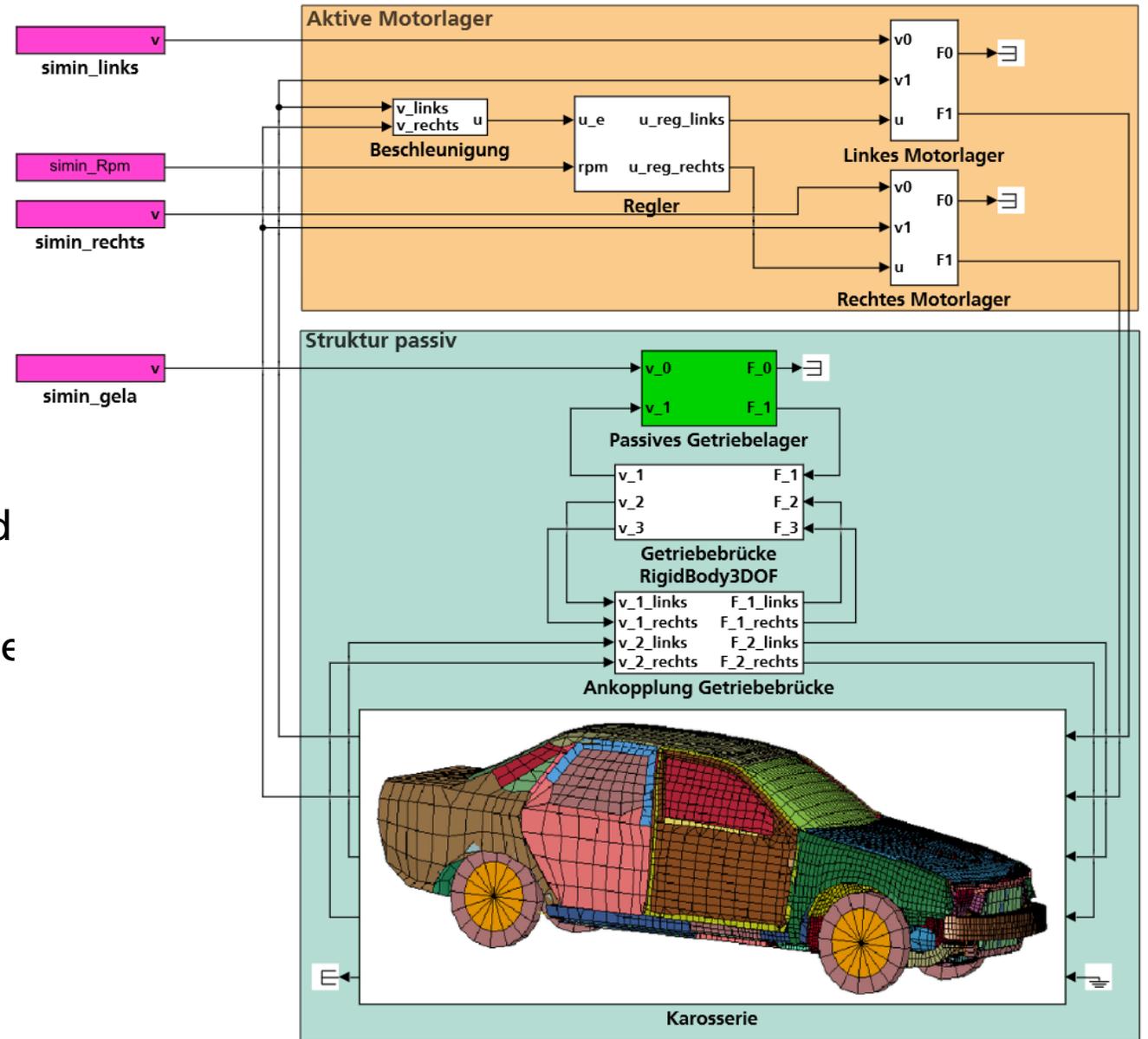
Anregung des Systems mit einem Input-Signal (z.B. white noise)



Vergleich der Ergebnisse des realen Systems und des neuronalen Netzes

# Aktive Motorlager mit AdaptoSim™

- Ganzheitliche Systemsimulation
  - Wechselwirkung aller aktiven und passiven Maßnahmen mit der Reststruktur und untereinander
  - Bewertung der Komfortpunkte und Schallabstrahlung
  - Vergleich unterschiedlicher Variante
  - Gleichzeitige Optimierung der Parameter aller Einzelmaßnahmen



# Adaptrosim

Software zur Entwicklung und Auslegung von **aktiven Systemen** auf Matlab-Basis:



- *Structure and Vibration Toolbox*
  - multi-physikalische Systeme (analytische, numerische und experimentelle Daten)
  - Systemsimulation im Zeitbereich
- *ANSYS-Matlab Interface*
  - Schnittstelle zu ANSYS
  - Modellreduktionstechniken
- *Smart Structure Toolbox*
  - Shunt Damping
  - Regelungskonzepte

## Kundenvorteil:

- Parametrieren von Aktoren, Sensoren und optimale Platzierung
- Konzept- und Performanceabschätzungen
- ➔ Kundenspezifische Systemlösungen
- ➔ Beschleunigter Entwicklungsprozess

[www.adaptrosim.de](http://www.adaptrosim.de)

# Kontakt

**Dipl.-Ing. Heiko Atzrodt**

Abteilungsleiter Strukturdynamik und Schwingungstechnik

Fraunhofer LBF

Bartningstr. 47, 64289 Darmstadt

Telefon: +49 6151 705-349

[heiko.atzrodt@lbf.fraunhofer.de](mailto:heiko.atzrodt@lbf.fraunhofer.de)