



MECHATRONISCHE SIMULATION IM ENTWICKLUNGSPROZEß

Dr.-Ing. Alexandra Ast
Maschinendynamik

Ditzingen



- 1. Entwicklungsbegleitende Simulation**
- 2. Mitwachsende Modelle**
- 3. Werkzeugkasten**
- 4. Beispiel: Modellabgleich zum Versuch**

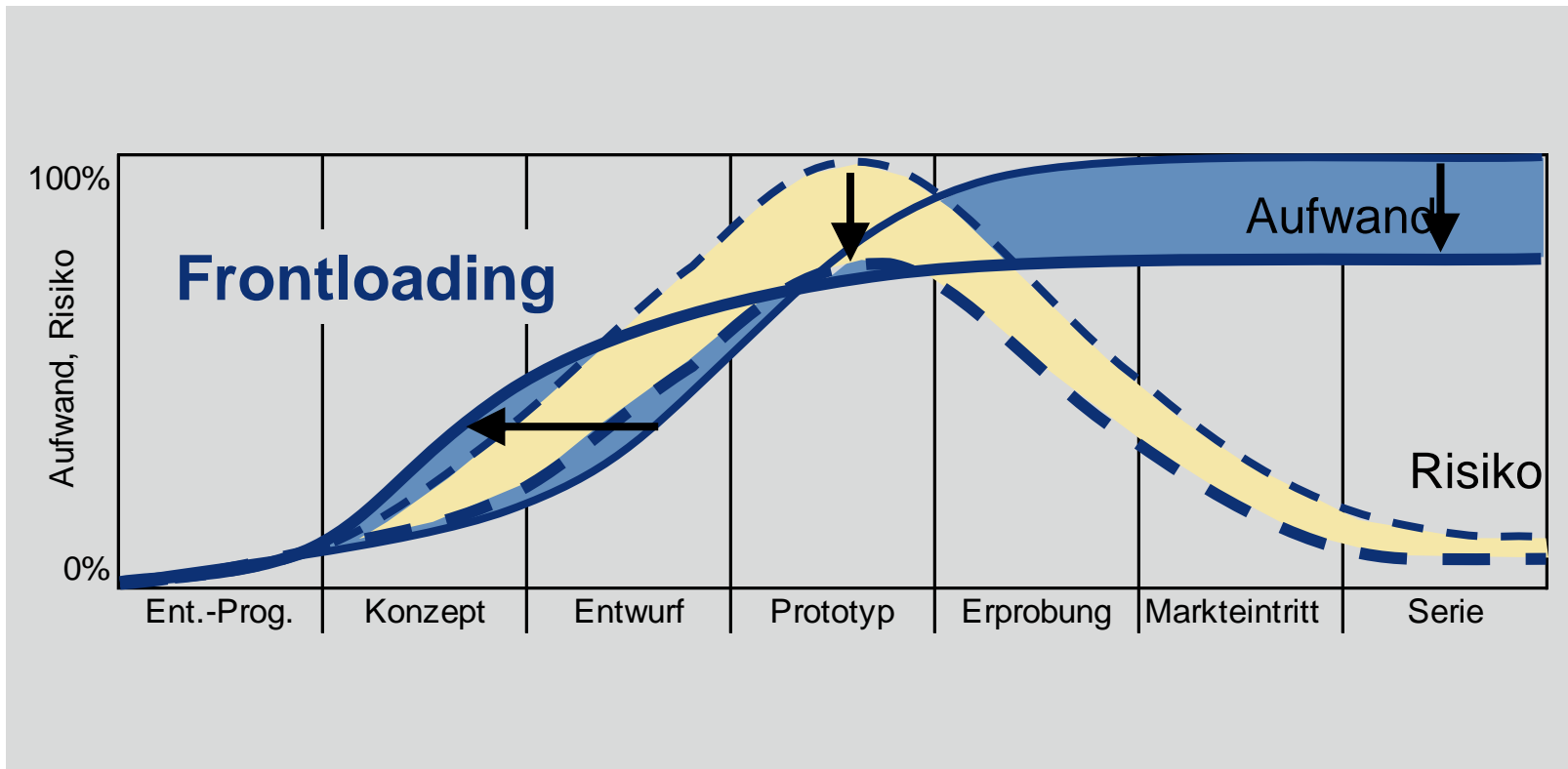


ENTWICKLUNGSBEGLEITENDE SIMULATION

Entwicklungsbegleitende Simulation

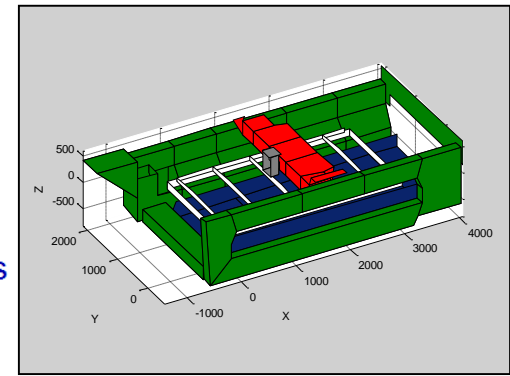
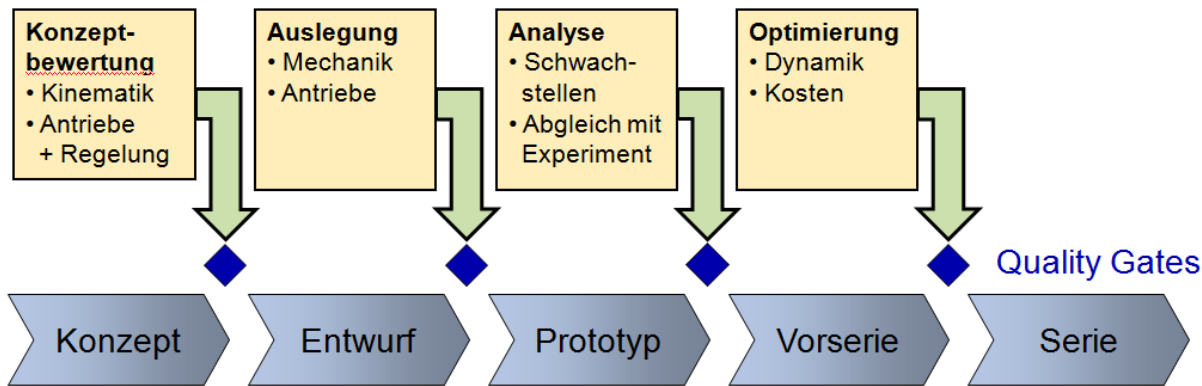
Frontloading zur Aufwands- und Risikoreduzierung

Frühzeitige Einbindung der Simulation in die Entwicklung



Entwicklungsbegleitende Simulation

Frontloading zur Aufwands- und Risikoreduzierung



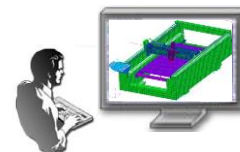
Ziele:

- ↑ Qualität
- ↑ Leistungsfähigkeit
- ↓ Entwicklungsrisiko
- ↓ Entwicklungszeit

Rollen:



Berater



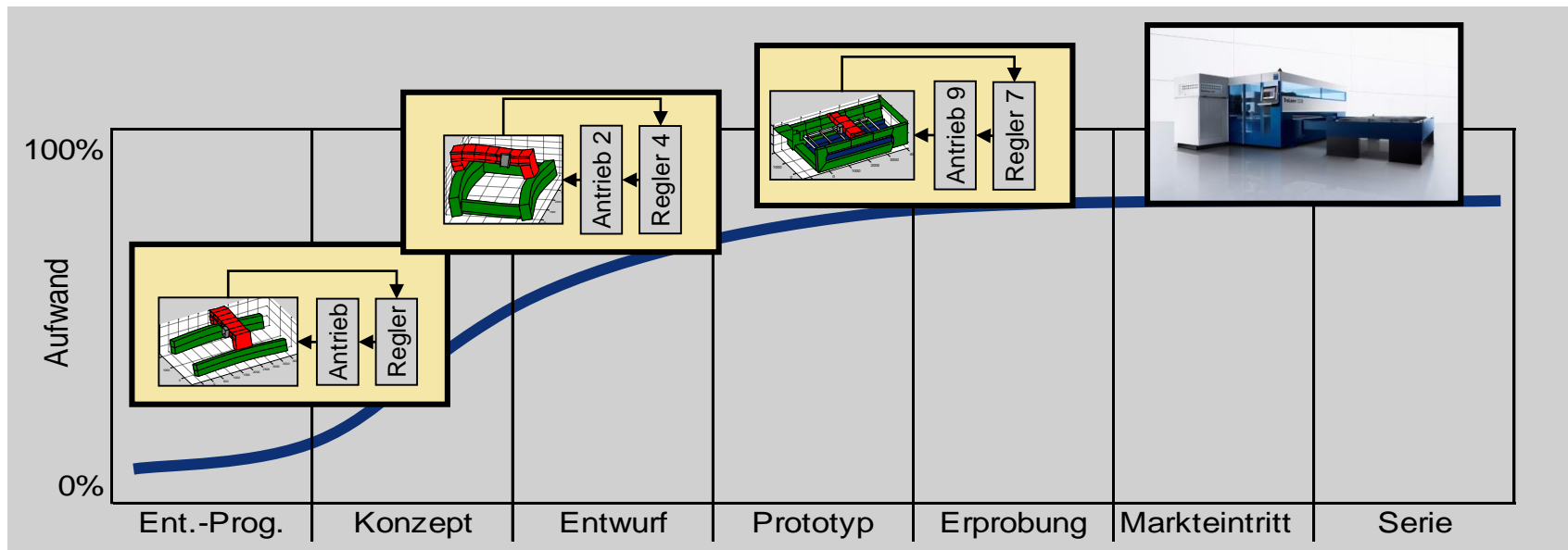
Entwickler

Entwicklungsbegleitende Simulation

Rahmenbedingungen für erfolgreiche Umsetzung

Mitwachsende Modelle

- Modularer Modellaufbau mit definierten Schnittstellen (Variantenbildung , Detaillierung)
- Modellbibliothek für wiederkehrende Elemente (z.B. Regler, Getriebe, Führungen, ...)
- Einheitliches Vorgehen zur Modellerstellung und Datenbehandlung (z.B. Standardformate für Modell- & Simulationsdaten)

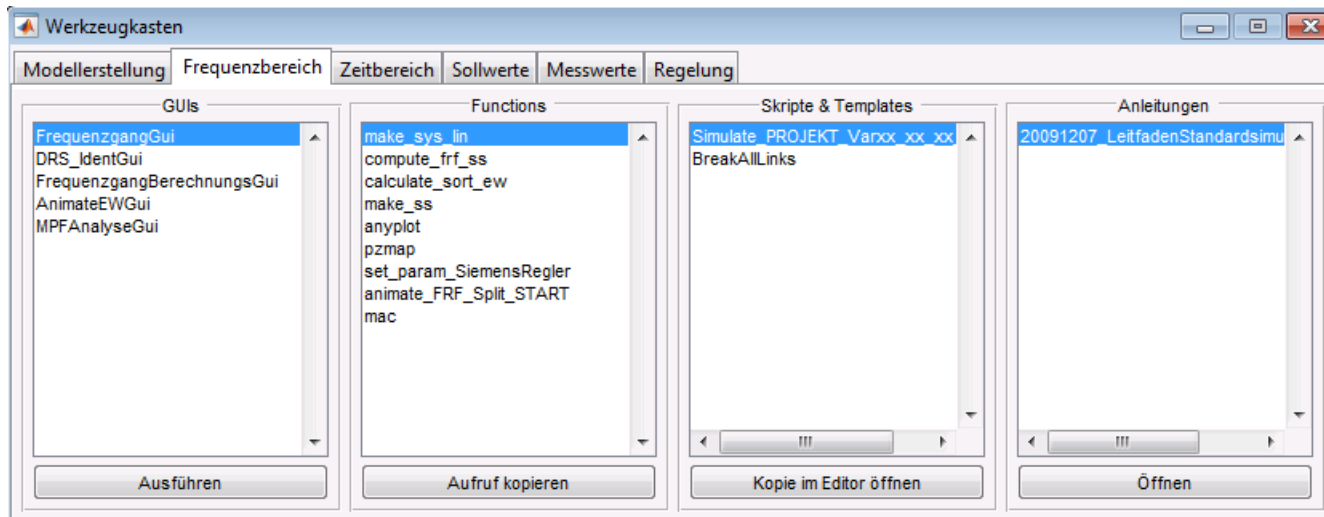


Entwicklungsbegleitende Simulation

Rahmenbedingungen für erfolgreiche Umsetzung

Werkzeugkasten

- Toolkette zum Import von neuen FE-Modelle aus Ansys
- Skripte/Templates/GUIs für Standardaufgaben
- Leitfäden für Standardanalyse



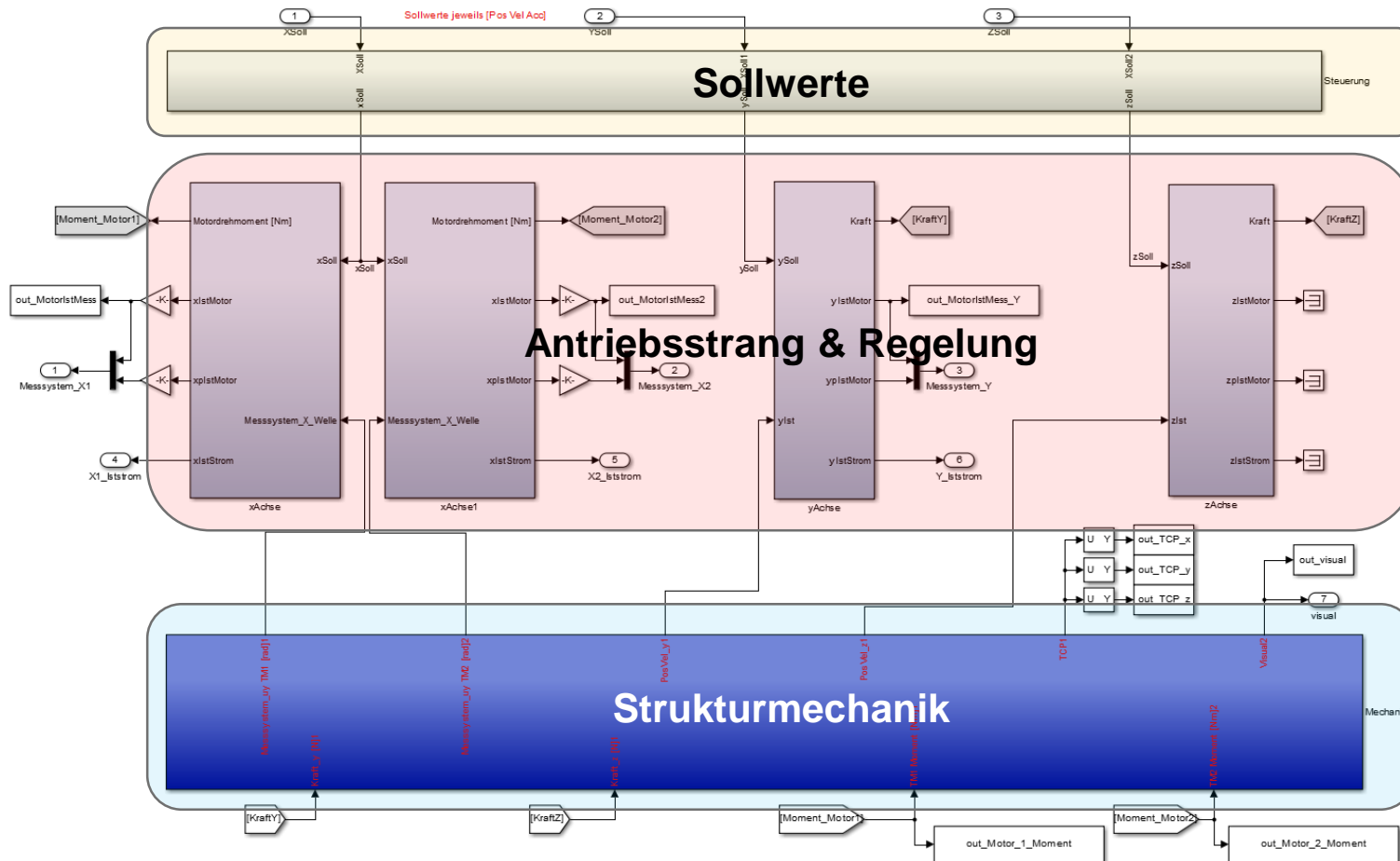
- Immer wiederkehrende Fragestellungen können bei gleichbleibender Qualität schnell bearbeitet werden
- Neue Modelle und Modellvarianten können effizient erstellt werden



MITWACHSENDE MODELLE

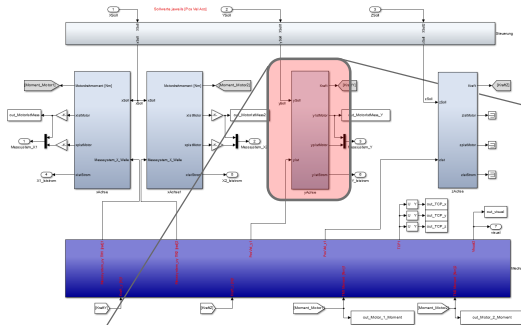
Mitwachsende Modelle

Gesamtmodellbildung in Matlab/Simulink

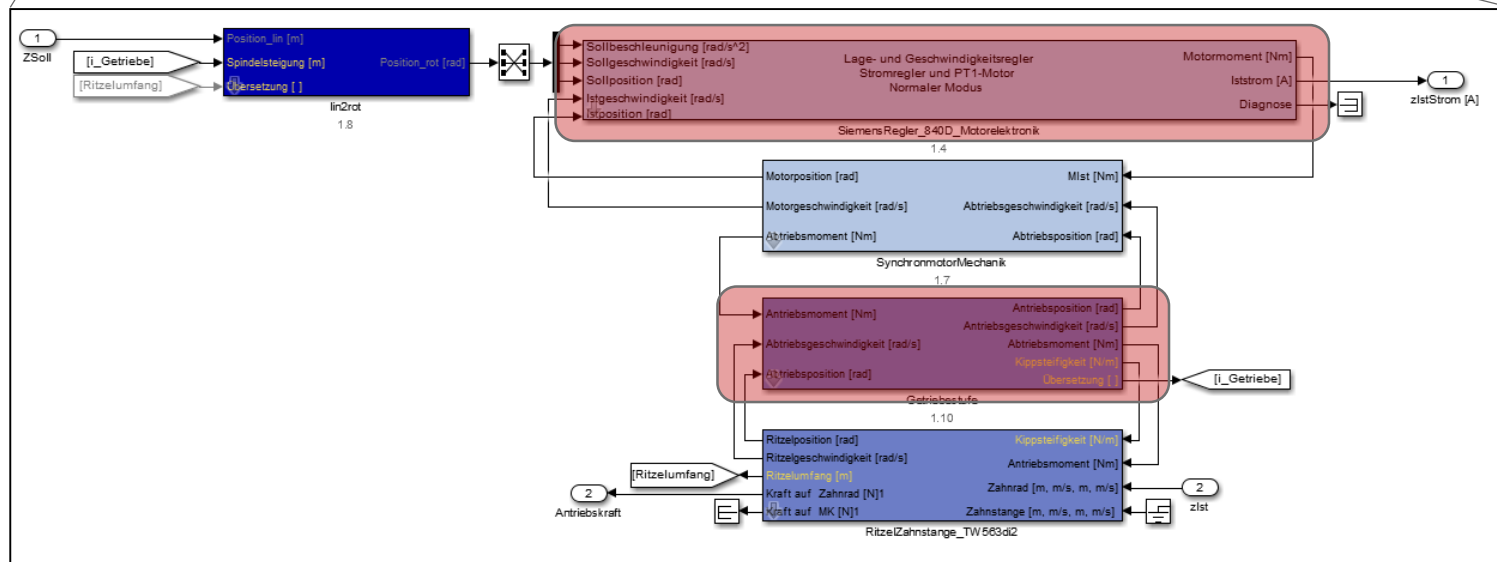


Mitwachsende Modelle

Beispiel Antriebsstrang



Modellbibliothek für wiederkehrende Elemente



Mitwachsende Modelle

Bibliothek: Beispiel Getriebe mit optionalen Nichtlinearitäten

Modellbibliothek

Parameters

Bezeichnung
GetriebeWitTP050iS

i: Getriebeübersetzung []
5

KTorsion: Drehsteifigkeit [Nm/rad]
 $187 \cdot 180 \cdot \pi$

D: Dämpfung [Nms/rad]
 $2 \cdot 10^{-2} \cdot \sin(\frac{1}{60} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \text{rpm} \cdot 0.5 \cdot \frac{1}{900})$

kKipp: Kippsteifigkeit [Nm/rad]
1.9252e6

z: Kippunkt [m]
0.0812

J: Trägheitsmoment [kgm²]
12.4e-4

MRC: Reibung Coulomb [Nm]
0

MRV: Reibung viskos [Nms/rad]
0

Nichtlineare Torsionssteifigkeitskennlinie berücksichtigen

phi: mittleres Zahnflankenspiel [rad]
0.5e-3

Zusatzeigenschaft 2

sigf: Zahnflankenstreuung [rad]
0.5e-3

Winkelfehler berücksichtigen (Fehler = WFamp*cos(WFf*phi))

WFamp: Amplituden der Übersetzungsfehler [rad]
[0.1717, 0.025, 0.02, 0.02, 0.02, 0.02, 0.02, 0.02, 0.02, 0.02]

Zusatzeigenschaft 3

WFf: Frequenzen der Übersetzungsfehler [1/Umdrehung]
[0.9766, 3.9060, 10.7400, 47.8500]

OK Cancel Help Apply

Antriebsmoment [Nm]	Antriebsposition [rad]
Abtriebsgeschwindigkeit [rad/s]	Antriebsgeschwindigkeit [rad/s]
Abtriebsposition [rad]	Abtriebsmoment [Nm]
	Kippsteifigkeit [N/m]
	Übersetzung []

Getriebestufe 1.7

=

Mitwachsende Modelle

Bibliothek: Beispiel Reglerblock Siemens840D/Sinamics

- abgeglichenes Verhalten zu Messungen
- **Konfigurierbar** für unterschiedliche Analysen
- **Parametrierbar** wie an der realen Steuerung

Function Block Parameters: SiemensRegler_840D_Motorelektronik

SiemensRegler 840D (Solutionline) Motorelektronik (mask) (link)

Konfigurierbares Modell des Siemensreglers 840D mit Motorelektronik.

Steuerungsseitige Parameter werden mit MD<nr> bezeichnet, antriebsseitige Parameter sind Solutionline-Parameter mit der Bezeichnung p<nr> bzw. r<nr>.

Die verschiedenen Konfigurationen werden über Variant-Subsystems realisiert. Damit der Block lauffähig ist, dürfen die vom Block erzeugten Simulink Variant-Objects im BaseWorkspace nicht gelöscht und auch nicht verändert werden. Mehrfache Instanzen des Blocks greifen alle auf das jeweils gleiche Objekt im BaseWorkspace zu.

Parameters

Allgemeine Einstellungen

Lageregelkreis

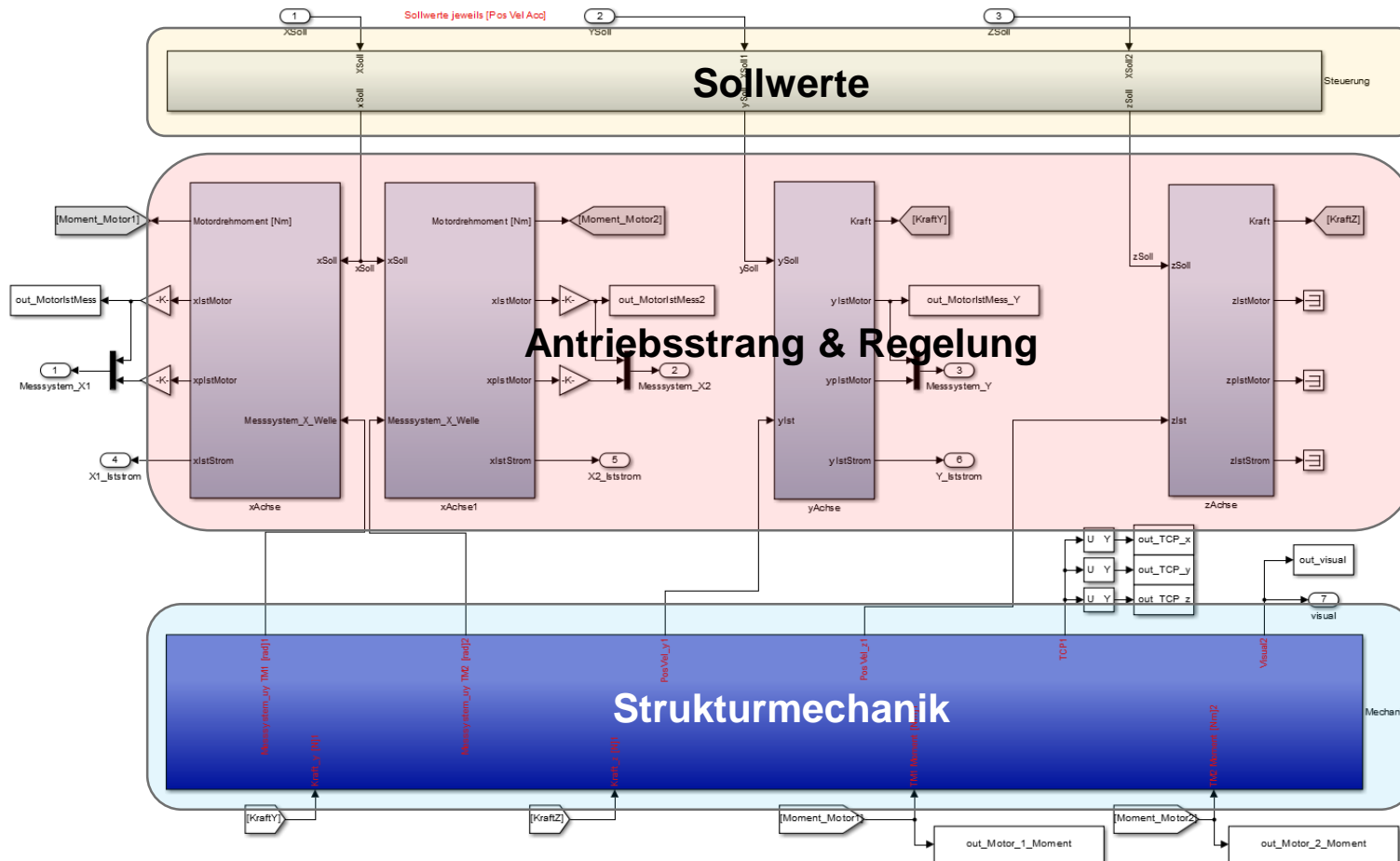
Geschwindigkeits-/Drehzahlregelkreis

Antriebsseite

Steuerungsseite

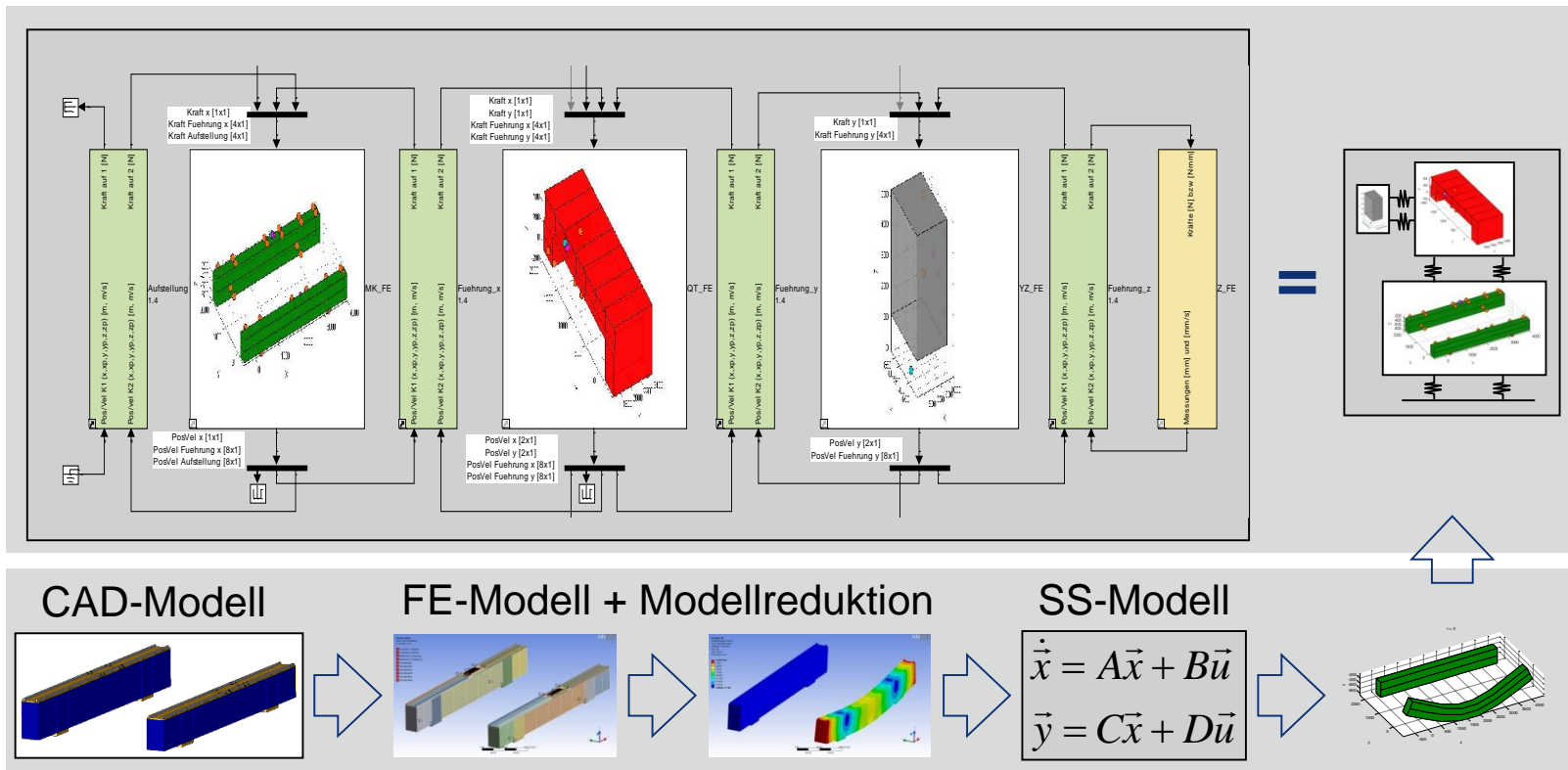
Mitwachsende Modelle

Gesamtmodellbildung in Matlab/Simulink



Mitwachsende Modelle

Strukturmechanik-Modelle

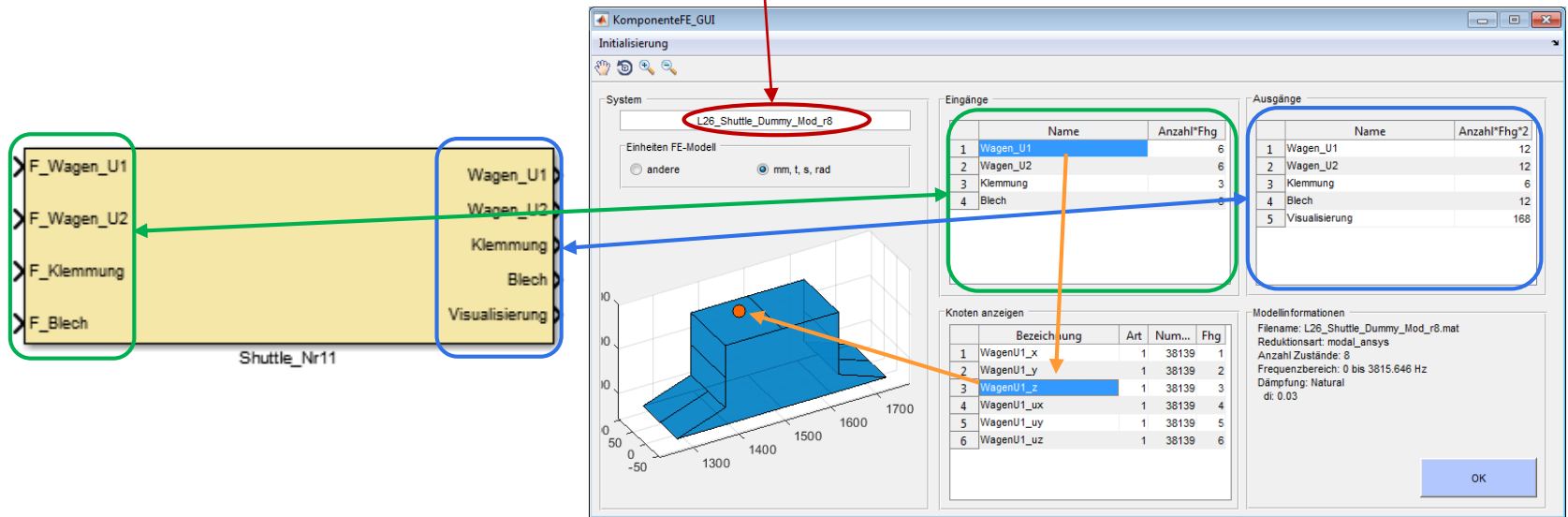


- Komponentenweiser Modellaufbau aus reduzierten FE-Modellen
- Reduktionsmethoden: modale und Krylov-Reduktion mit anschließender balancierter Reduktion über HSV

Mitwachsende Modelle

Bibliothek: Block für FE-Komponente

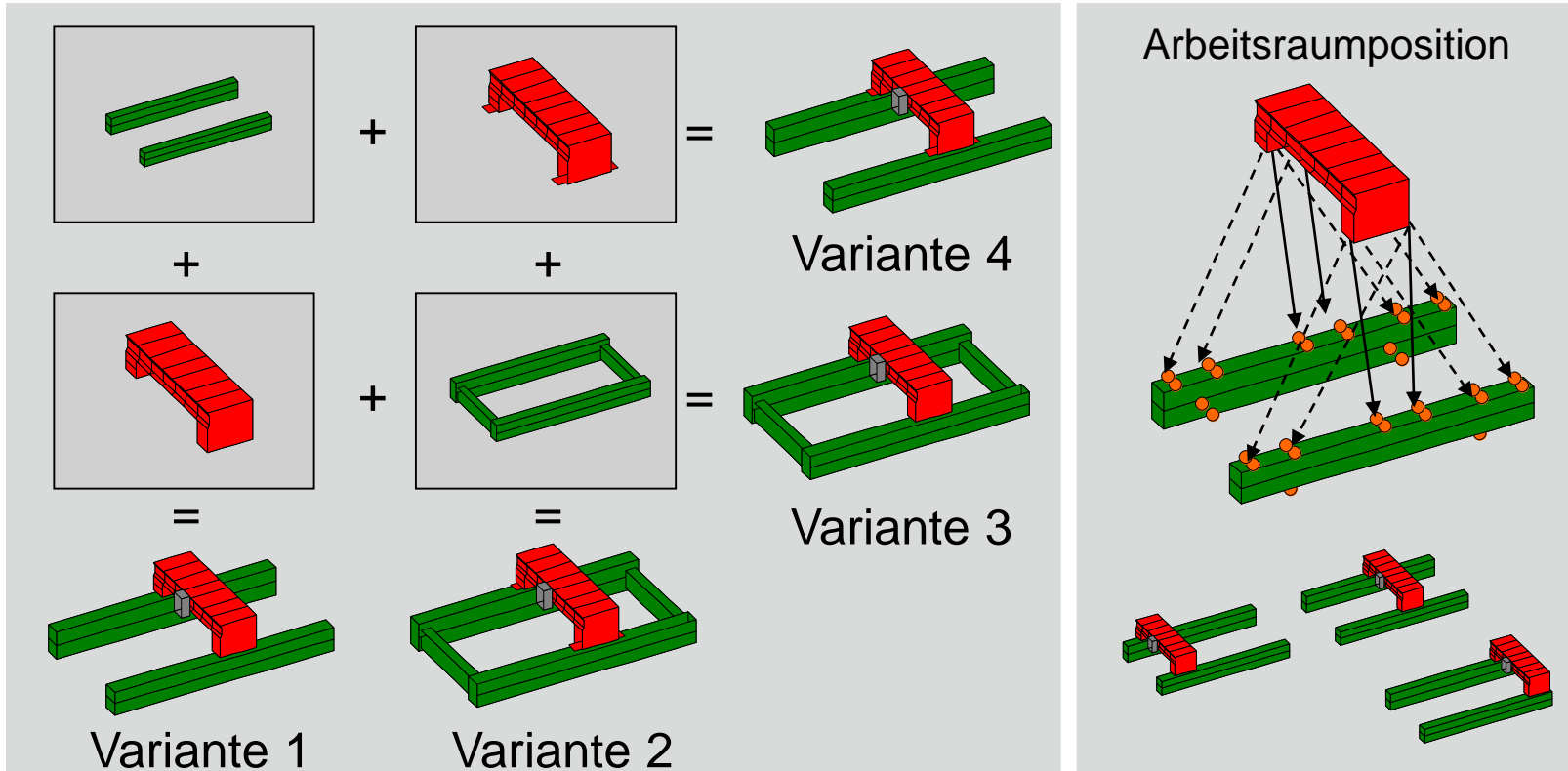
Übergabe FE-Modellstrukt



- Einfache Initialisierung: FE-Modellstrukt
- Informationen zum Inhalt des Modellstrukts in der Maske direkt visualisierbar

Mitwachsende Modelle

Variantenbildung



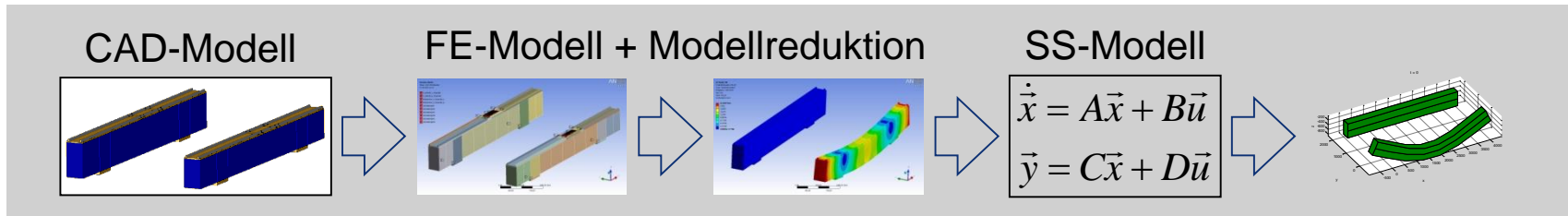
Einfache Konfigurierbarkeit für verschiedene Simulationsvarianten



WERKZEUGKASTEN

Werkzeugkasten

Import von FE-Modellen



Anforderung an den Import

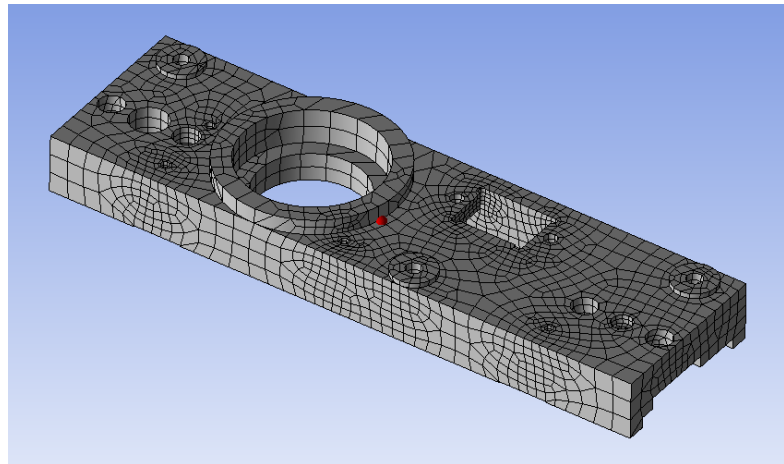
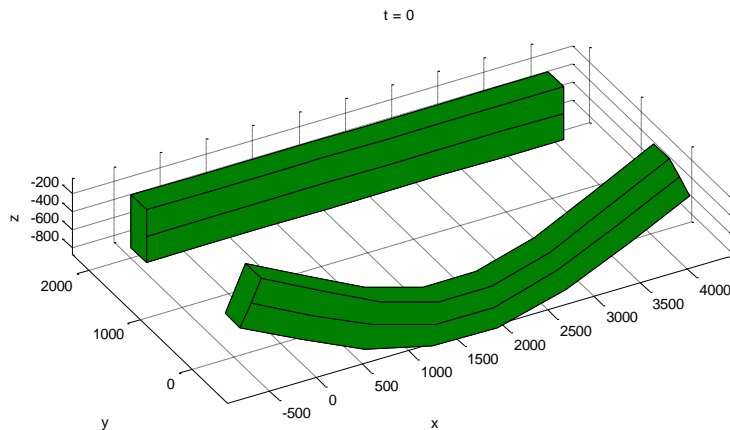
- Dynamische Verhalten soll ausreichend gut mit möglichst kleinen Modellen abgebildet werden
 - ⇒ Reduktionsmethode: modale oder Krylov-Reduktion + bal. Reduktion mit HSV
- Definition wichtiger Ein-/Ausgänge
 - ⇒ Koppelstellen für Kraftelemente, Messpunkte, Angriffspunkte für Störkräfte,...
- „grobe“ Visualisierung
 - ⇒ Darstellung der Verformungen/Schwingungen (auf Niveau exp. Modalanalyse)
- Möglichst automatisiertes Vorgehen
 - ⇒ schnell durchführbar, Reduktion von Fehlern, einfache Variantenbildung etc.

Werkzeugkasten

Import von FE-Modellen

Warum nur eine „grobe“ Visualisierung?

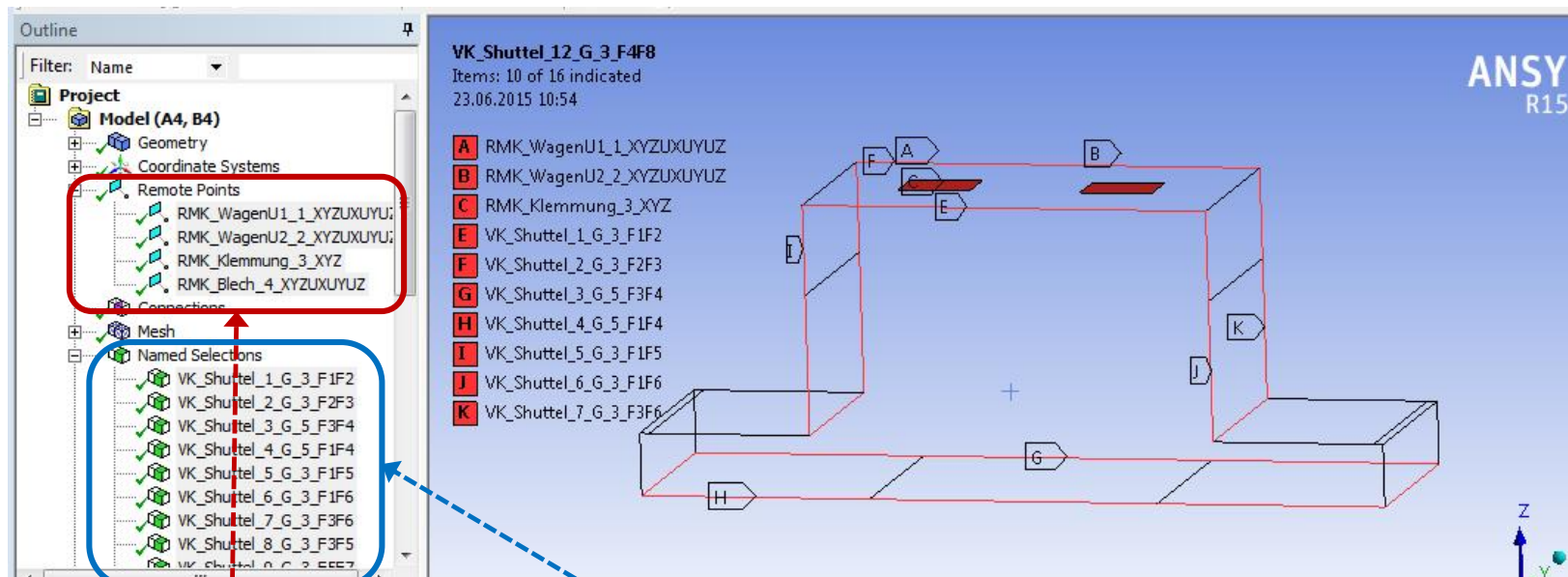
- Schwingungsform und -verhalten ist noch gut erkennbar
- Details über einzelnen Knoten bzw. kleinster Elemente ist nicht Zielsetzung der Simulation (eher FEM-Simulation z.B. Festigkeitsberechnungen, Schweißnahtsimulation etc.)
- Deutliche Reduktion der anfallenden Simulationsdaten



Werkzeugkasten

Import von FE-Modellen: Vorbereitungen in ANSYS

- Alle Informationen sind im Prinzip schon in ANSYS vorhanden (⇒ Textdatei ds.dat)
- Vergabe von Schlüsselbezeichnungen (z.B. „RMK“, „VK“, ...)
- Zusätzliche Informationen in Standardbezeichner (z.B.: Gruppierung, FHG bei Remote Pointes; Typ, Anzahl Punkte, Flächenzugehörigkeit bei Visualisierung)



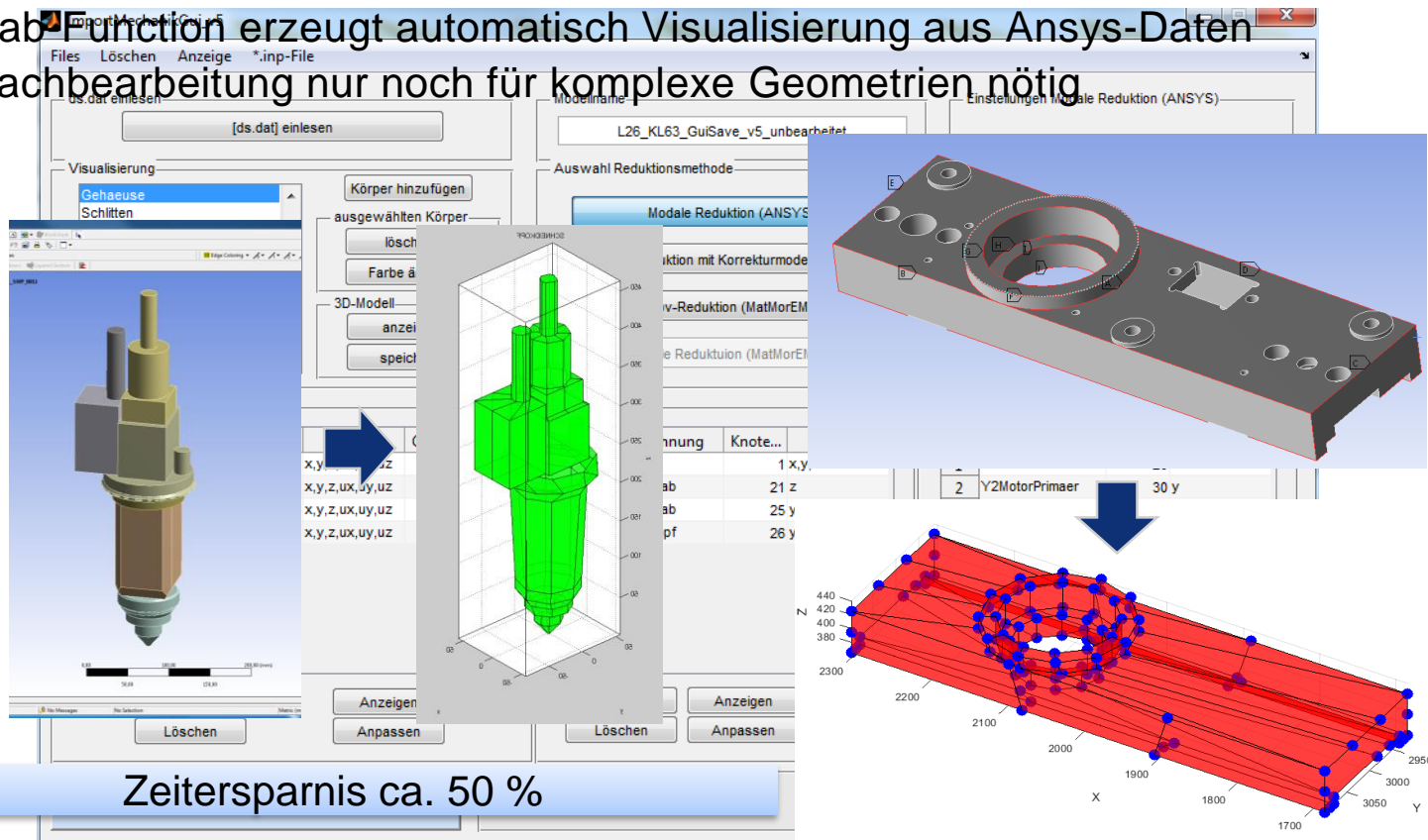
Koppel-, Mess-
und Störknoten

Visualisierung aus Geometrie
Kanten, Kreise, einzelne Punkte

Werkzeugkasten

Import von FE-Modellen: Import in Matlab

- Einlesen der ds.dat-Datei mit ImportMechanikGui für alle Daten der Koppel-, Mess- und Störknoten \Rightarrow keine Nachbearbeitung mehr nötig
- Matlab-Function erzeugt automatisch Visualisierung aus Ansys-Daten \Rightarrow Nachbearbeitung nur noch für komplexe Geometrien nötig



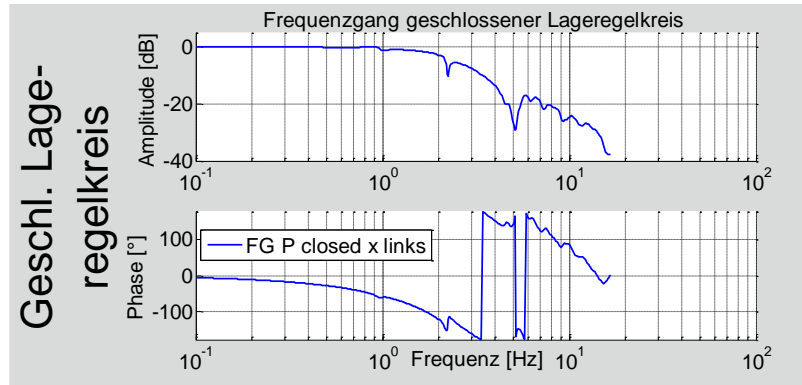
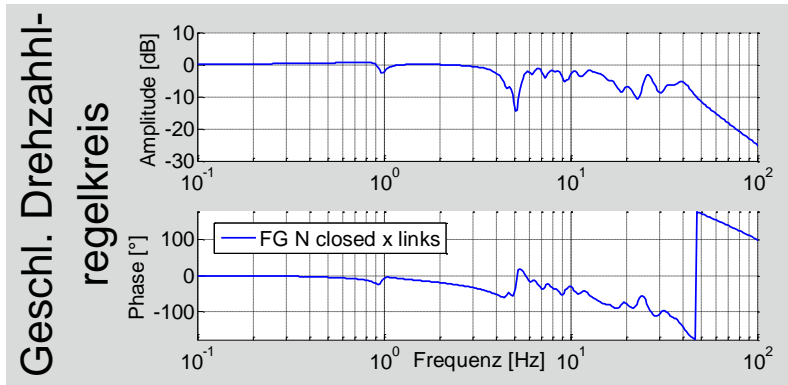
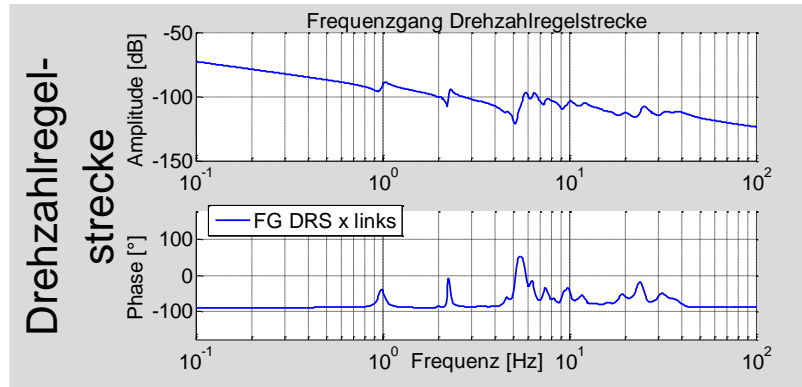
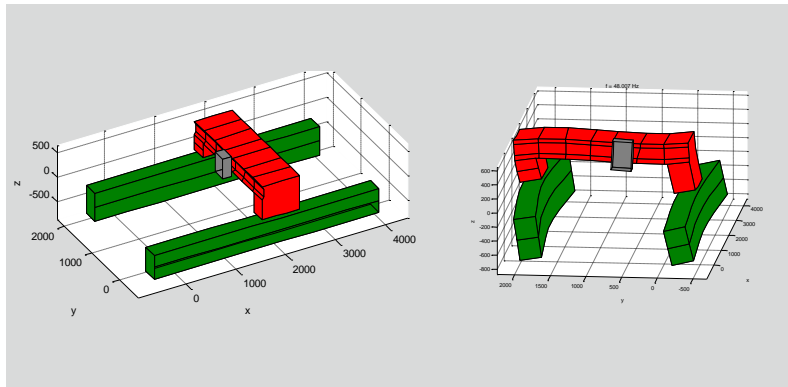
The screenshot displays the 'ImportMechanikGui' software interface. On the left, a 3D model of a mechanical part is shown. A blue arrow points to the right, where a green wireframe model of the same part is displayed. A second blue arrow points to the right, where a red finite element mesh of the part is shown. The interface includes various control buttons such as 'einlesen', 'Körper hinzufügen', 'löschen', 'Farbe ändern', 'anzeigen', and 'speichern'. A table of node coordinates is visible in the lower right corner of the interface.

Nummerung	Knoten...
1	x, y, z
21	z
ab	x, y, z, ux, uy, uz
ab	x, y, z, ux, uy, uz
pf	x, y, z, ux, uy, uz

Zeitersparnis ca. 50 %

Werkzeugkasten

Standardanalysen im Frequenzbereich: Übertragungsfunktionen, Parametrierung der Regler, Modalanalyse & Betriebsschwingungen



*) alle Frequenzen normiert

Ermittlung der erreichbaren Dynamik und Identifikation von Schwachstellen

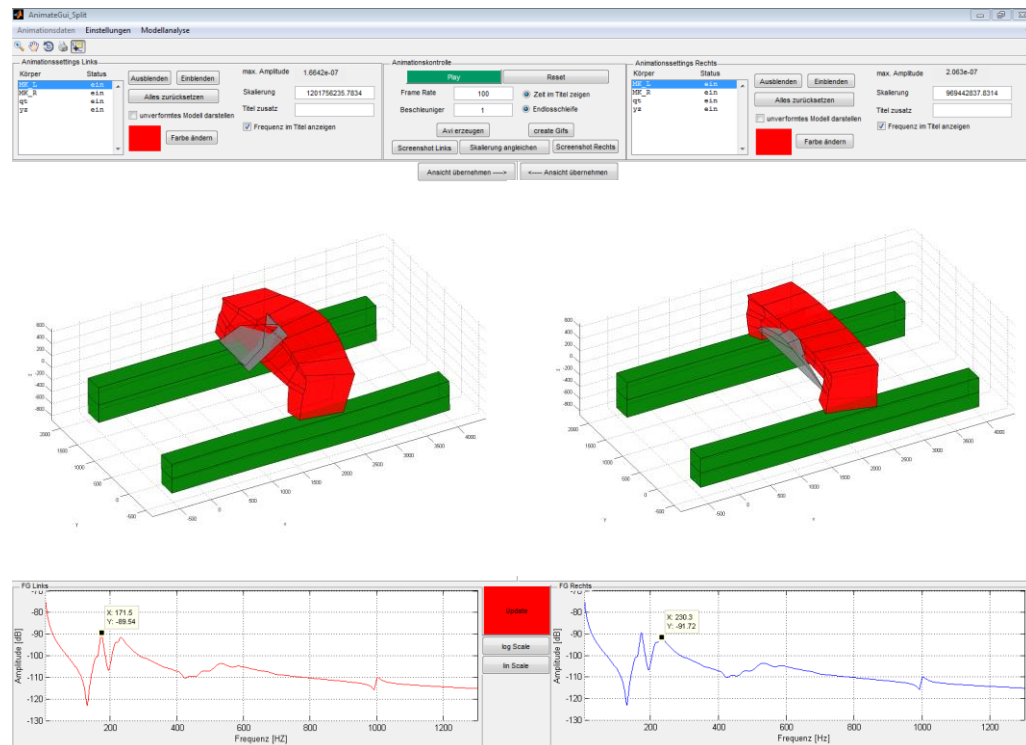
Werkzeugkasten

Standardanalysen im Frequenzbereich: Beispiel

Animations-Tool zur Auswertung von Betriebsschwingungen

Features:

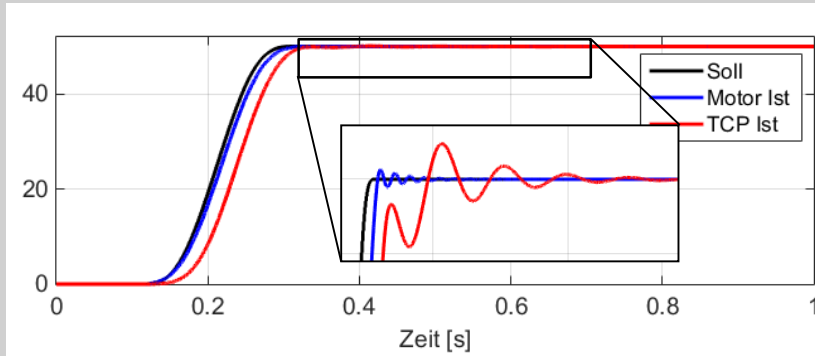
- Vergleich der Schwingungsformen bei verschiedenen Frequenzen
- Vergleich der Schwingungsformen verschiedener Modelle
- Grafisch interaktive Auswahl der Frequenz
- Ein-, Ausblenden und Transparenz ändern von Komponenten
- Videoexportfunktion



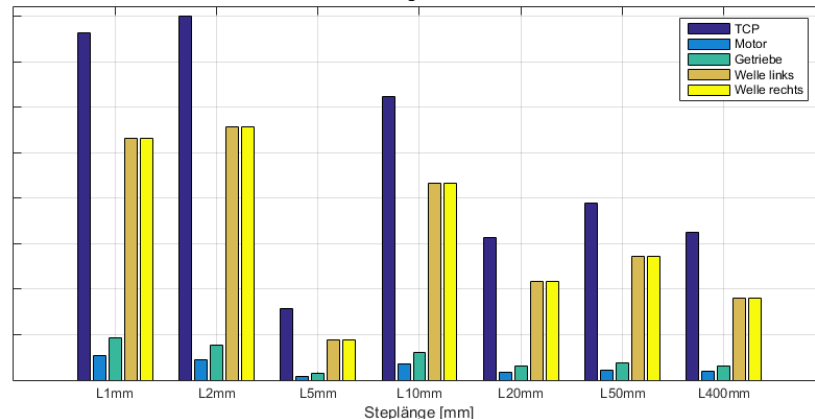
Werkzeugkasten

Standardanalyse im Zeitbereich

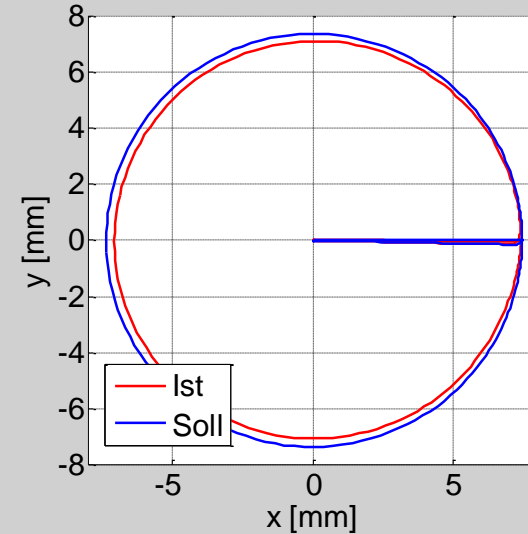
Automatisierte Stepauswertung



Überschwingen Peak2Peak



Kreisformtest



Ermittlung des Überschwingverhaltens,
Nachgiebigkeit unter Beschleunigung,
Identifikation von Schwachstellen,
Abstimmung der Achsdynamiken

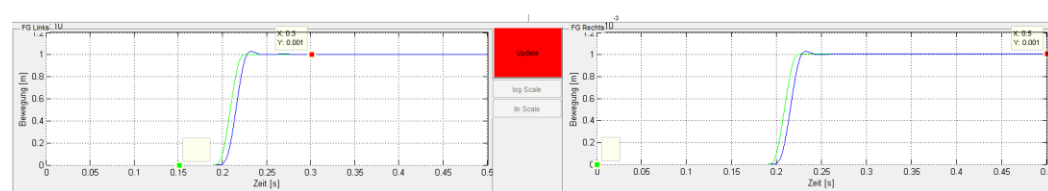
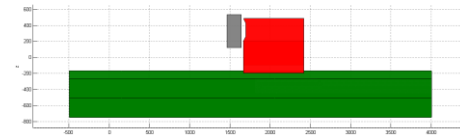
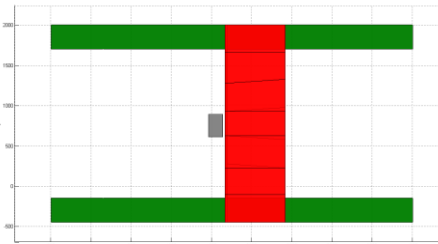
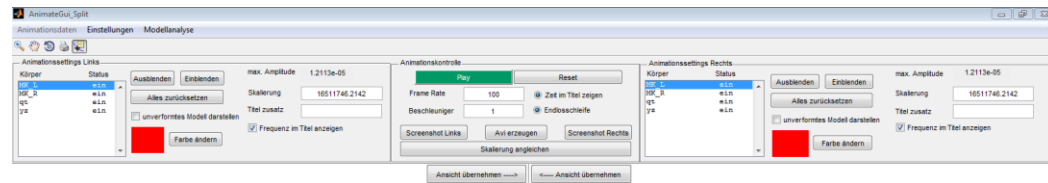
Werkzeugkasten

Standardanalysen im Zeitbereich: Beispiel

Animations-Tool zur Auswertung von Zeitsimulationen

Features:

- Anzeigemöglichkeiten:
 - Absolutbewegung
 - Relativ zur Soll-Bewegung des Motors
 - Relativ zur Ist-Bewegung des Motors
- Zeitsteuerung: Zusammenhang zwischen Signalverlauf und Animation
- Basisfunktionen wie bei Schwingungsanimation

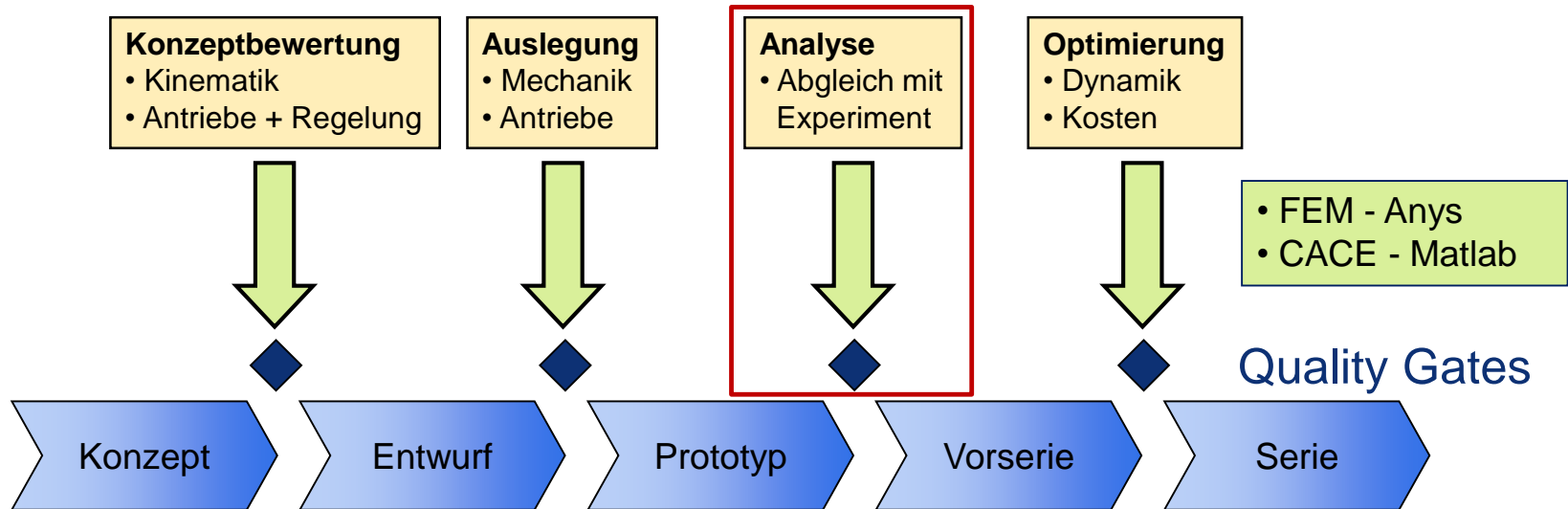




BEISPIEL: MODELLABGLEICH

Beispiel Modellabgleich

Entwicklungsbegleitende Simulation



Ziele:

↑ Qualität

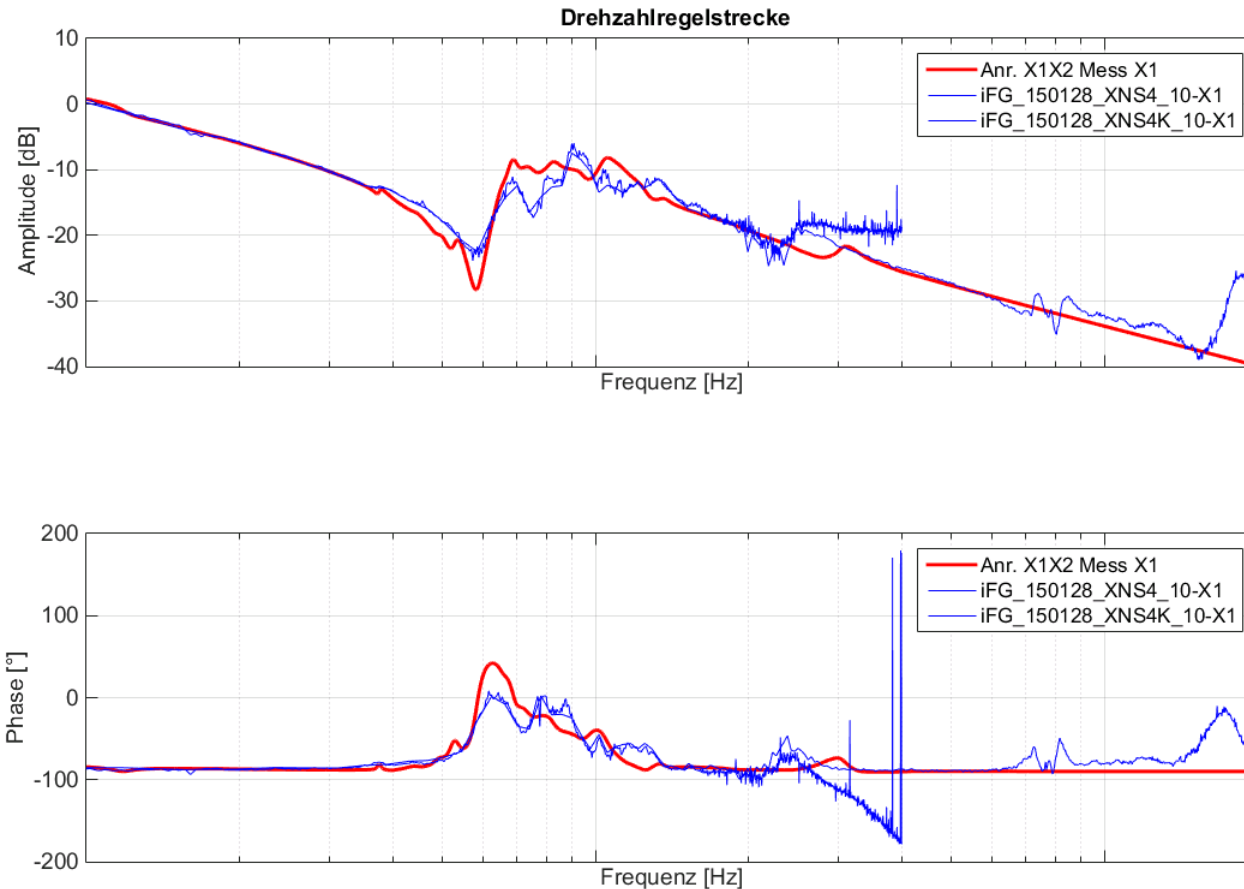
↓ Entwicklungsrisiko

↑ Leistungsfähigkeit

↓ Entwicklungszeit

Beispiel: Modellabgleich

Ausgangssituation der Drehzahlregelstrecke einer Neuentwicklung

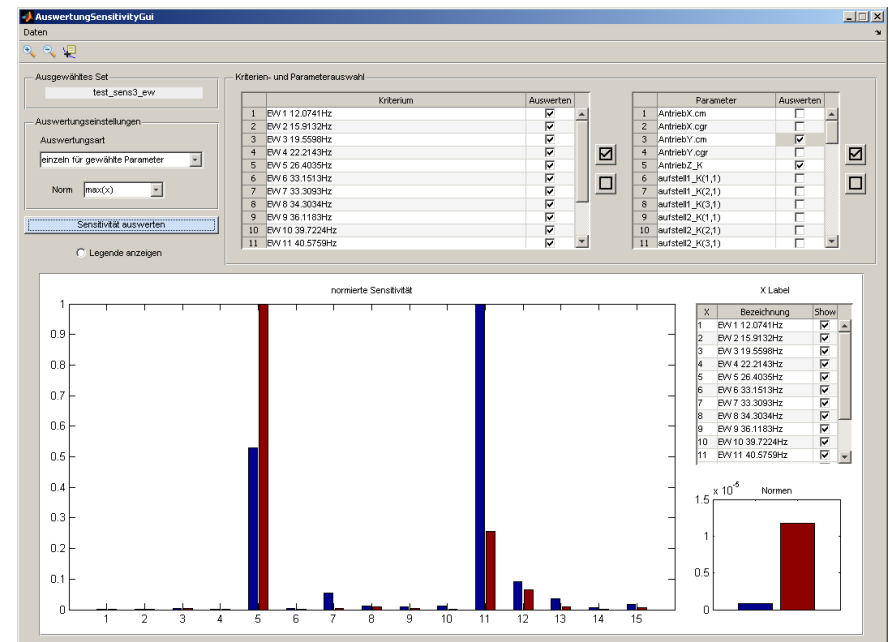
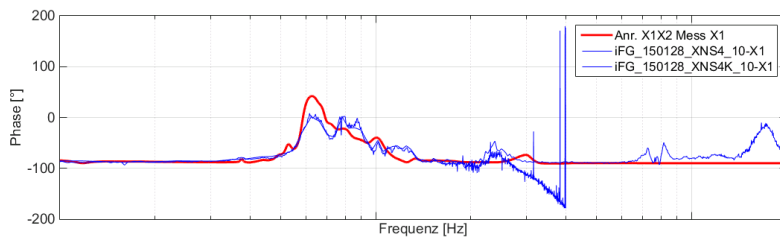
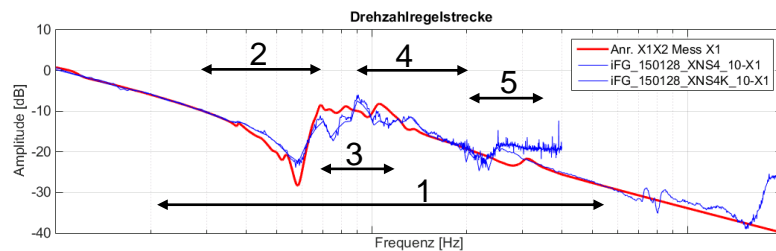


Schon gute Übereinstimmung auf Basis der Katalogparameter

Beispiel: Modellabgleich

Sensitivitätsanalyse zur Ermittlung der relevanten Parameter

- Ermittlung des Parametereinfluss auf das betrachtete Übertragungsverhalten
- Definition verschiedener Frequenzbereiche zur Abgrenzung und Gewichtung
- Sensitivität ist die Summe aller Veränderungen für die definierten Frequenzbereiche



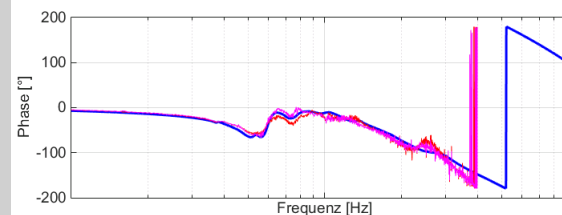
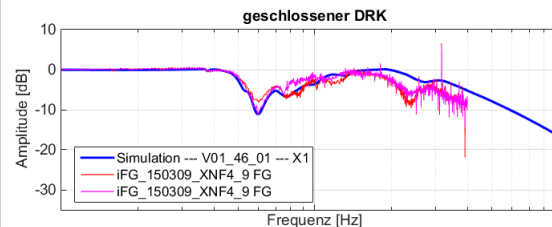
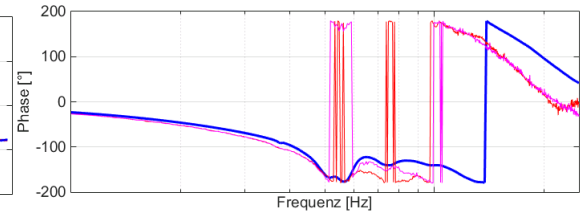
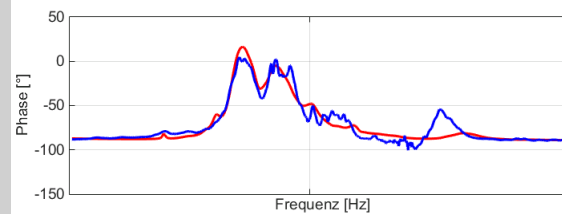
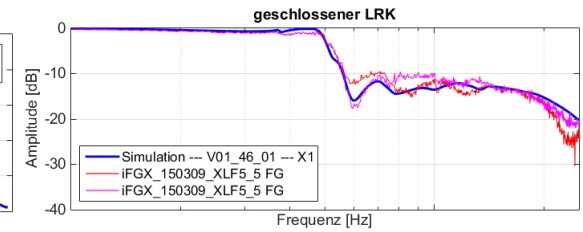
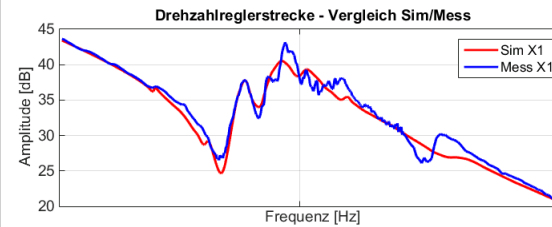
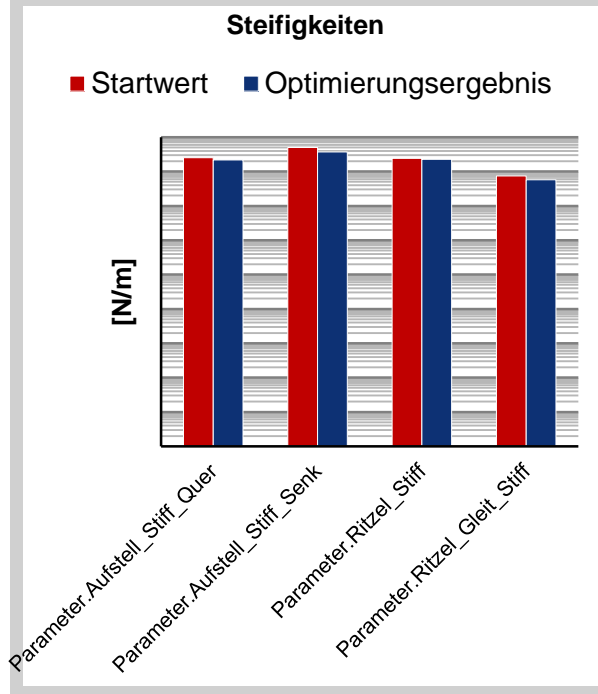
Aus 42 Parameter werden 12 mit dem größten Einfluss ermittelt

Beispiel: Modellabgleich

Übereinstimmung nach gradientenbasierter Optimierung

Gütefunktional

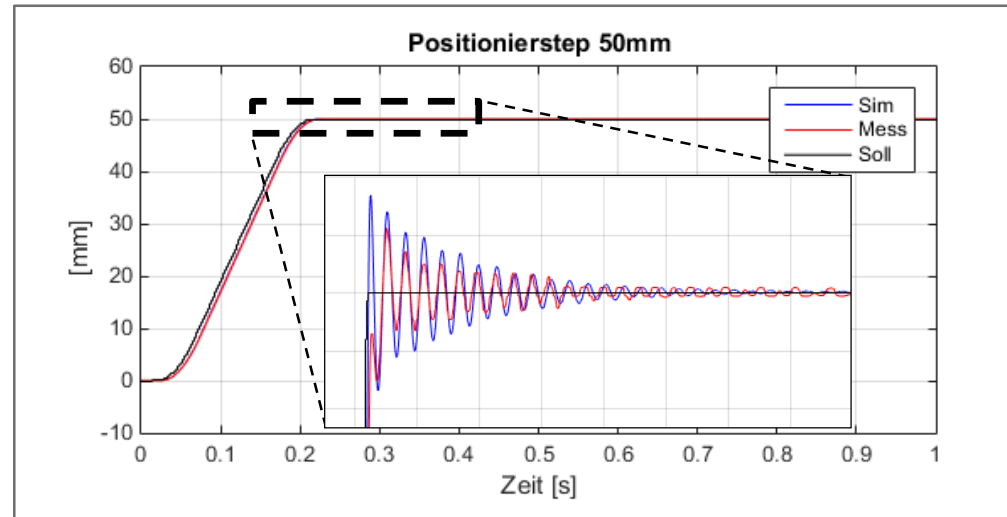
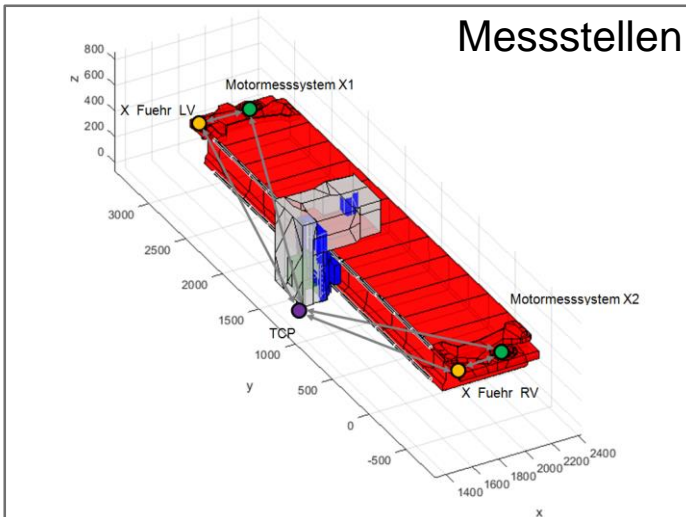
Summe der Abweichung zwischen Messung und Simulation für definierte Frequenzpunkte



- Übereinstimmung konnte verbessert werden
- Geschlossener Drehzahl- und Lageregelkreis zeigen mit gleichen Parametern gute Übereinstimmung

Beispiel: Modellabgleich

Übereinstimmung im Zeitbereich



Dynamik	Auswertung	Messstelle	Abweichung
	[-]	[-]	[%]
Testfall1	Peak2Peak	TCP	7,2
Testfall1	Nachgiebigkeit	TCP – Motor	0,9
Testfall2	Peak2Peak	TCP	7,1
Testfall2	Nachgiebigkeit	TCP – Motor	1,67

Mit dem abgeglichenen Modell wird eine sehr gute Übereinstimmungen erreicht!

Fazit

- Realitätsnahe Nachbildung des gesamten Maschinenverhaltens durch Integration von Steuerung, Regelung und Mechanik in einem Modell
- Sicherstellen in frühen Entwicklungsphasen, dass Entwicklungszielen erreichbar sind
- Reduktion von Optimierungsschleifen an realen Prototypen
- Steigerung der Prognosefähigkeit von virtuellen Prototypen durch Abgleich mit realen Prototypen
- Fortlaufende Weiterentwicklung der Modelle und Werkzeuge

Mit den **mitwachsende Modellen** und dem zugehörigen **Werkzeugkasten** sind die Rahmenbedingungen geschaffen worden, die Simulation im gesamten Entwicklungsprozess erfolgreich zu verankern



UND JETZT FREUE ICH MICH AUF IHRE FRAGEN!

**Dr.-Ing. Alexandra Ast, Maschinendynamik
Ditzingen**



ANSPRECHPARTNER

Alexandra Ast
Maschinendynamik
+49 7156 303-32496
Alexandra.Ast@de.trumpf.com

Werkzeugkasten

Import von FE-Modellen: ursprüngliches Vorgehen

- Koordinaten und Knotennummern aller Koppel- und Visualisierungspunkte wurde mit Skript aus Ansys-Classic in ein Text-File geschrieben und wieder in Matlab importiert
- Visualisierung aus Punktwolke zusammgeklickt
- Jeder Koppelknoten musste händisch nachbearbeitet werden (FHG, Bezeichnung,...)

