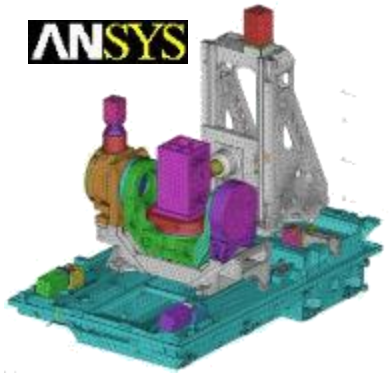
Interpolation positionsabhängiger Nachgiebigkeitsfrequenzgänge von Werkzeugmaschinen

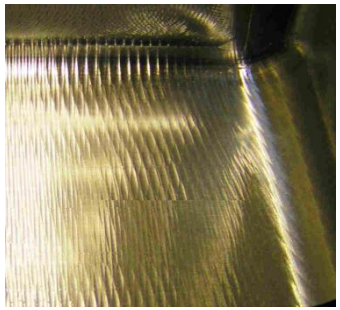
Harald Altstädter, Gebrüder HELLER Maschinenfabrik GmbH

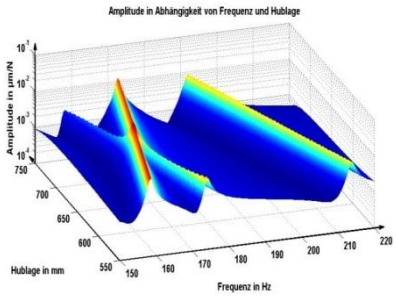
HELLER Lösungen:
Wissen, wie es geht.

Übersicht

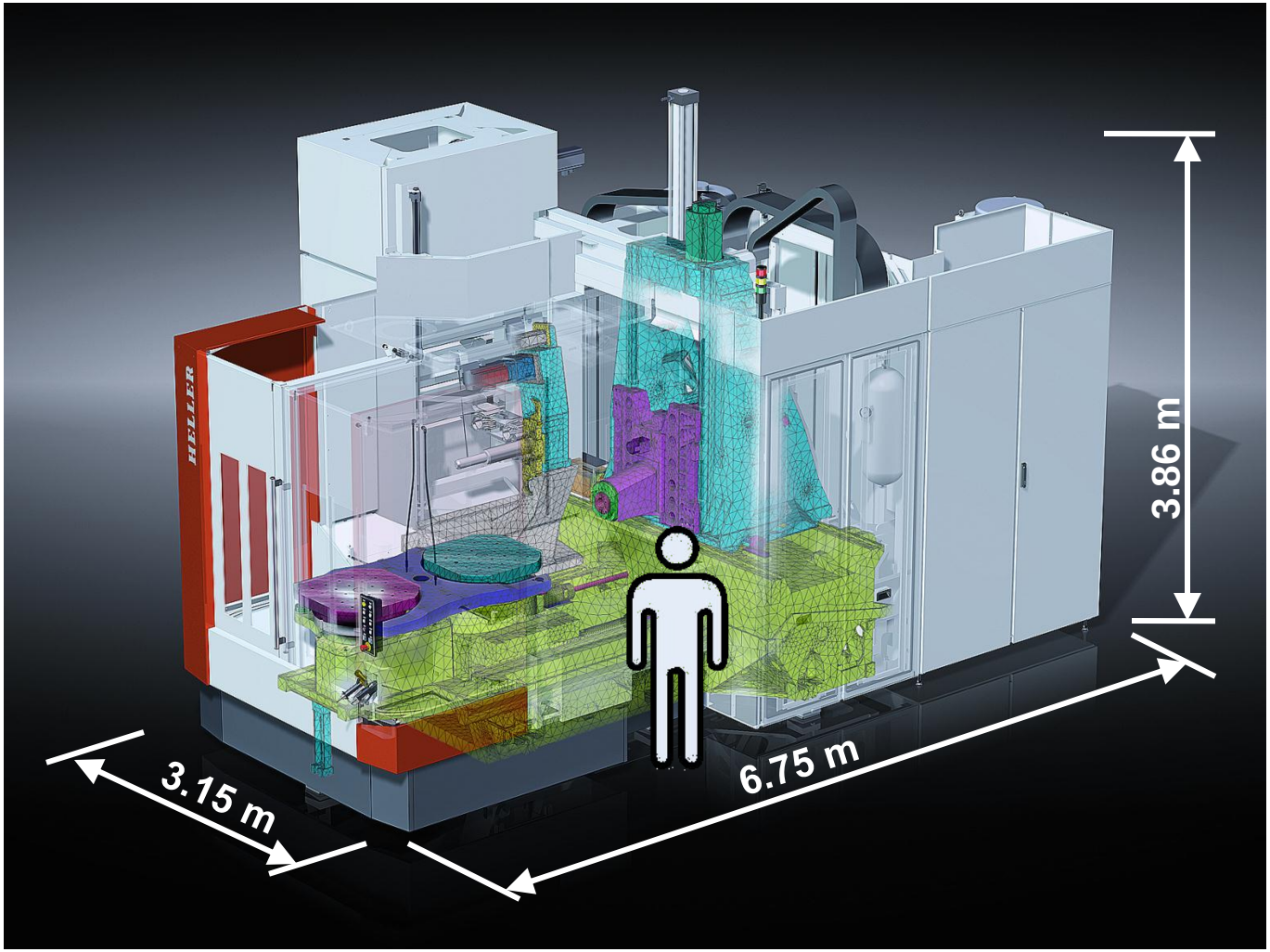
- Stand der Technik:
  - HELLER Gesamtmaschinensimulation
  - Berechnungsarten Gesamtmaschinen
  - Beispiel Simulationskette Bearbeitungszentrum
- Motivation für die NFG-Interpolation
- Vorgehensweise
  - Gegenstand der Interpolation
  - Parameteridentifikation
  - Zuordnung der Parametersätze
  - Durchführung
- Zusammenfassung und Ausblick





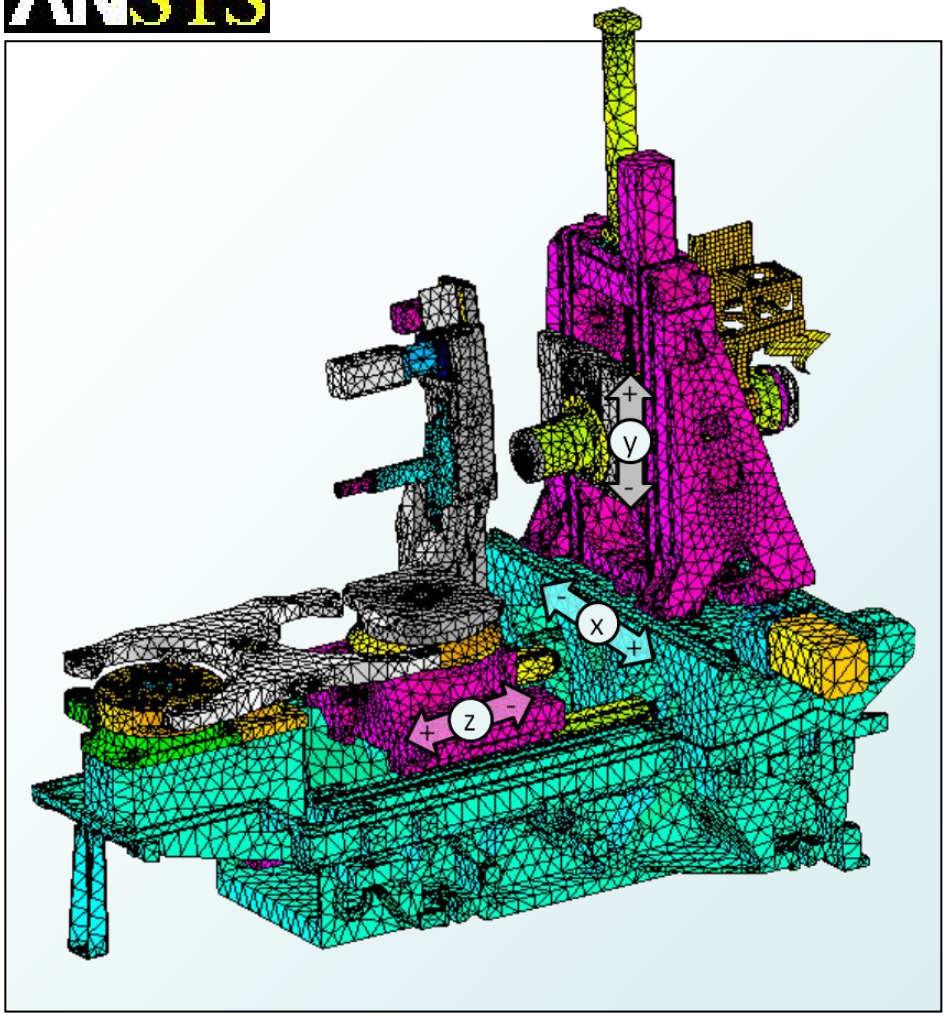


HELLER Gesamtmaschinensimulation



Demonstrator HELLER H 2000 Simulationsmodell

- **3 Millionen Freiheitsgrade**
- 140 **Einzelvolumen**
- **Kopplungen:**
  - **Linearführungen**
  - **Wälzlager**
  - **Maschinenaufstellung**
  - **Kugelrollspindeln**
- **Mechanischer Ersatzantriebsstrang**
- **Lageregelung der Vorschubachsen**



HELLER H 2000 with approx. 3 Mio. DOF.

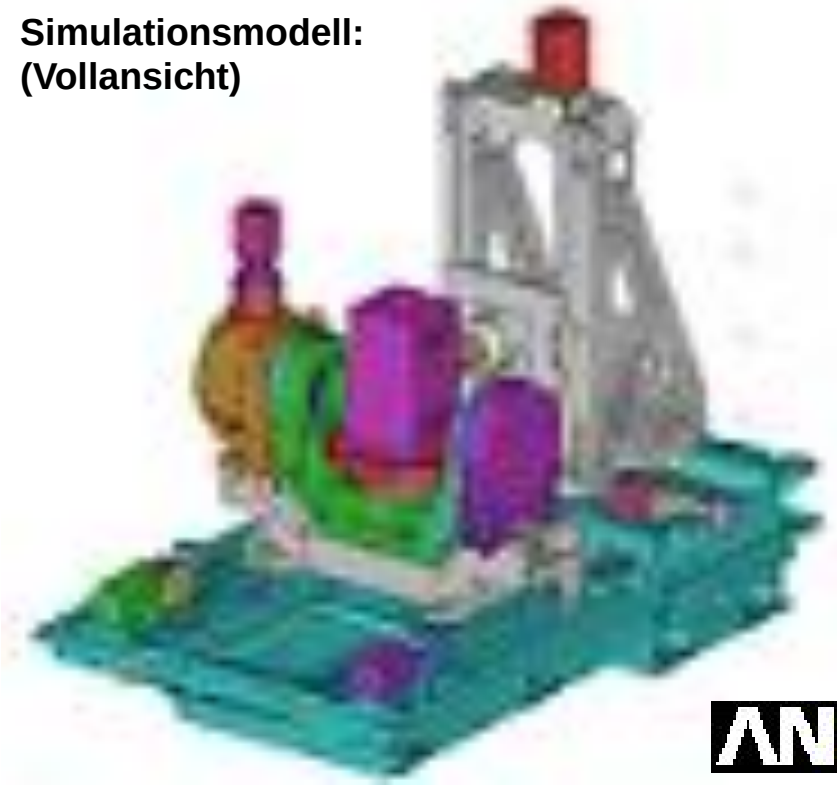
Berechnungsarten Gesamtmaschinen

- Statische Analysen (z. B. Einfederung durch Eigenmassen oder äußere Lasten)
- Modalanalysen (Eigenfrequenzen, Eigenformen)
- Stabilitätskarten: drehzahlabhängige, grenzstabile Schnitttiefe beim Zerspanen
- Statisch-dynamische Topologieoptimierungen unter Berücksichtigung der gesamten Maschinendynamik
- Thermomechanische Analysen (Maschinengenauigkeit)
- **Nachgiebigkeitsfrequenzganganalysen (NFG)**
  - Antriebsanregung (z. B. Mechanikfrequenzgänge)
  - **Anregung durch Zerspanungsprozess**

Beispiel Simulationskette Bearbeitungszentrum ML MC 20

- Simulationsmodell ML MC20 (5 Achsen)
  - 3 Millionen Freiheitsgrade
  - Hunderte Einzelkopplungen mit lokalen Federn und Dämpfungselementen
  - Inklusive Lageregelkreis (Kv, KP, TN, TE…)

Simulationsmodell: (Vollansicht)



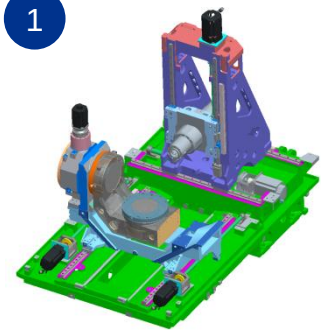
ANSYS

Schnittdarstellung

Beispiel Simulationskette Gesamtmaschinensimulation

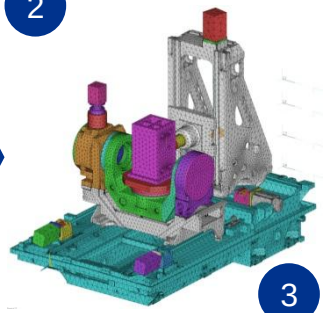
(Re)design in 3D

1



FEM Modell

2

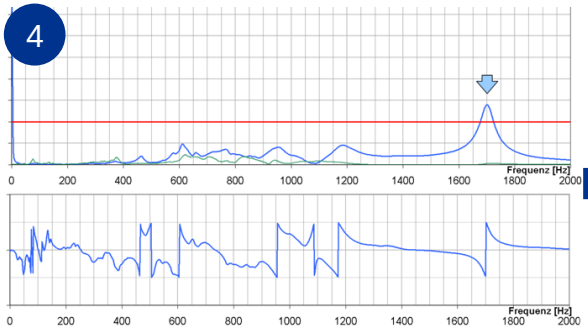


3

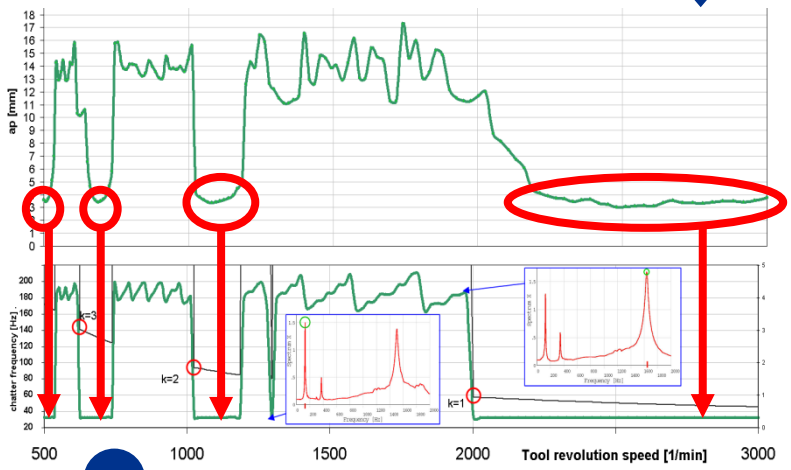
Statische und dynamische Analyse

Frequenzganganalyse

4



Rückschlüsse



5

Stabilitätsdiagramm berechnen

6

Schwingform animieren

Verformungsanteile

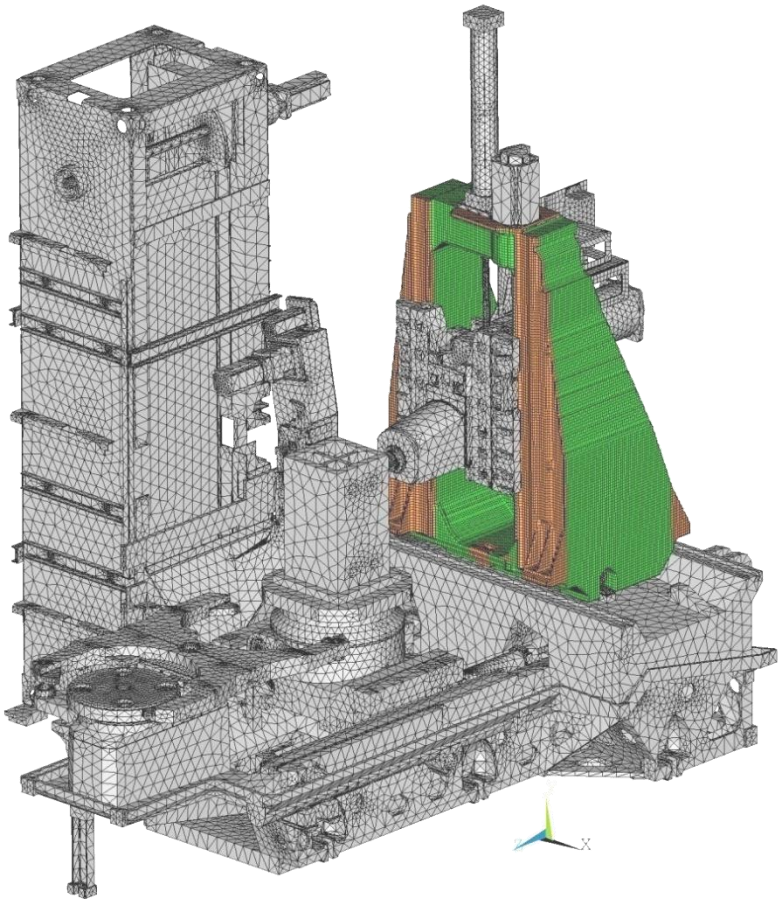
Palette	2,07%
RT-Oberteil	0,93%
YRT-Lager	2,87%
RT_Unterteil inkl. Schubstangen	14,93%
Z-Führungen+KGT	32,39%
X-Führungen	7,57%
Ständer	11,36%
Y-Führungen+KGT	3,91%
Einheit	1,74%
Werkzeug	0,01%
Maschinenbett	22,20%
Summe	***100%***

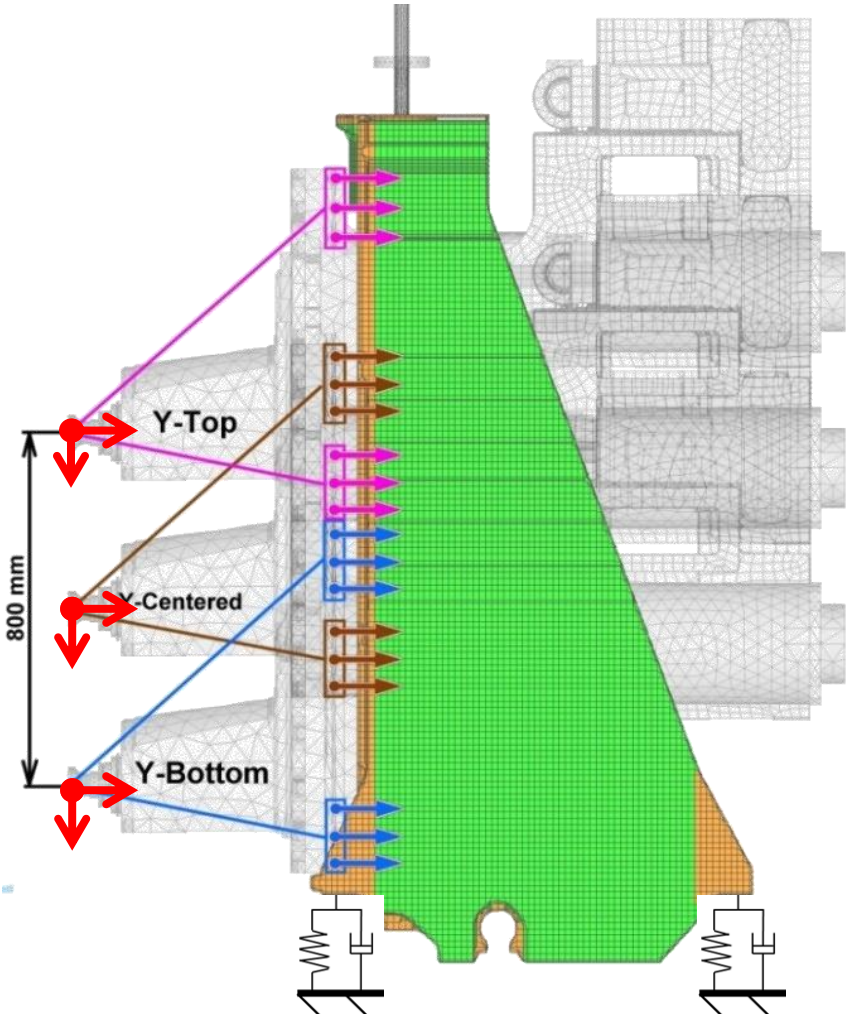
7

Kinematische Analyse

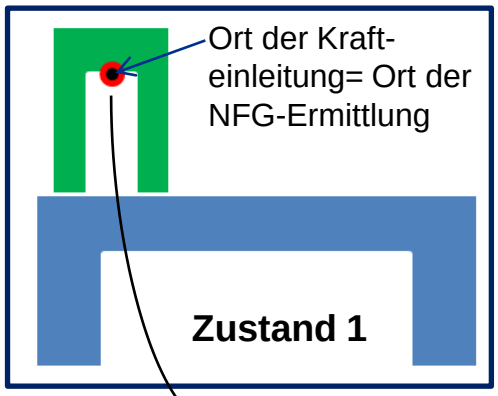
Nachgiebigkeit ist abhängig vom Ort der Zerspanung

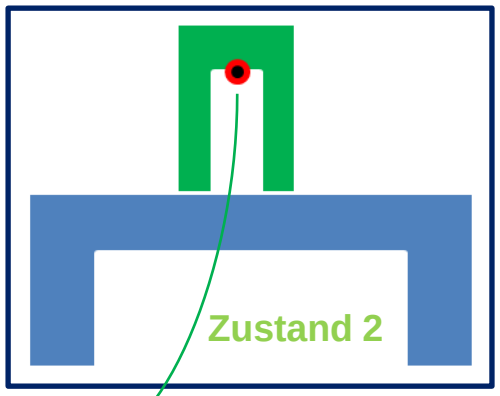
- Hebelverhältnisse
- Massenverteilung

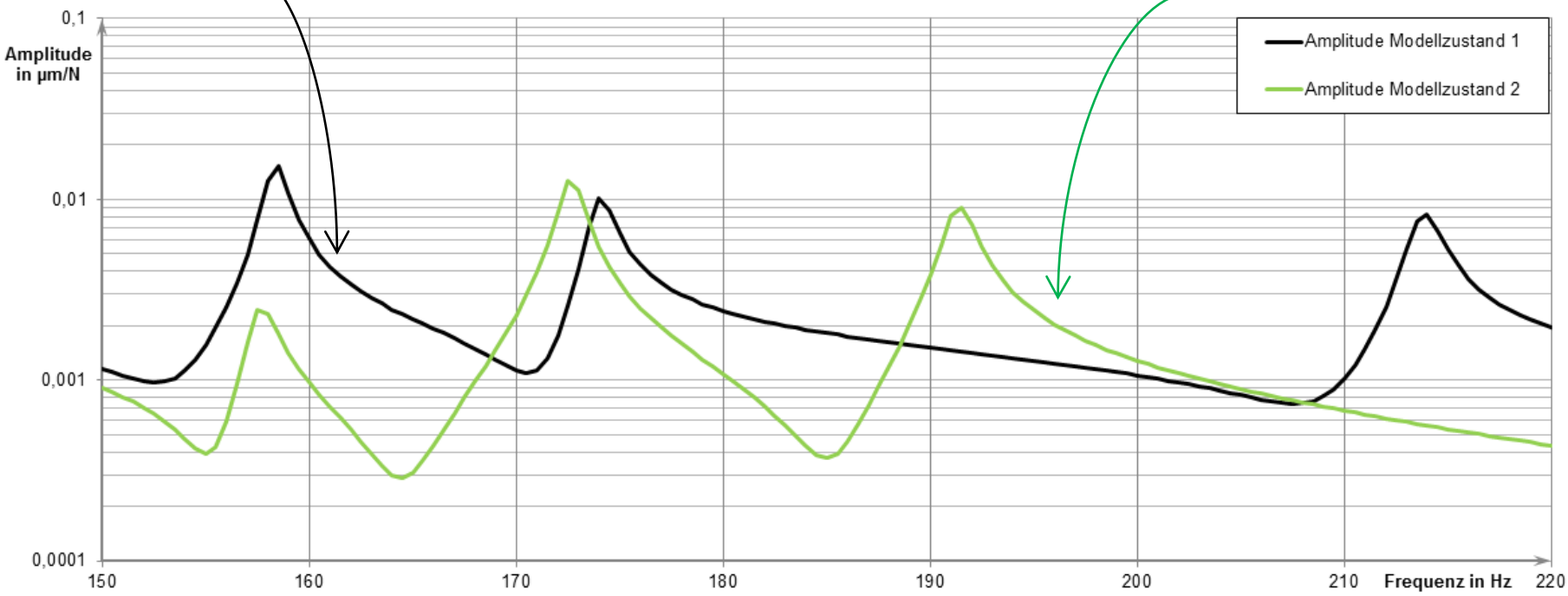




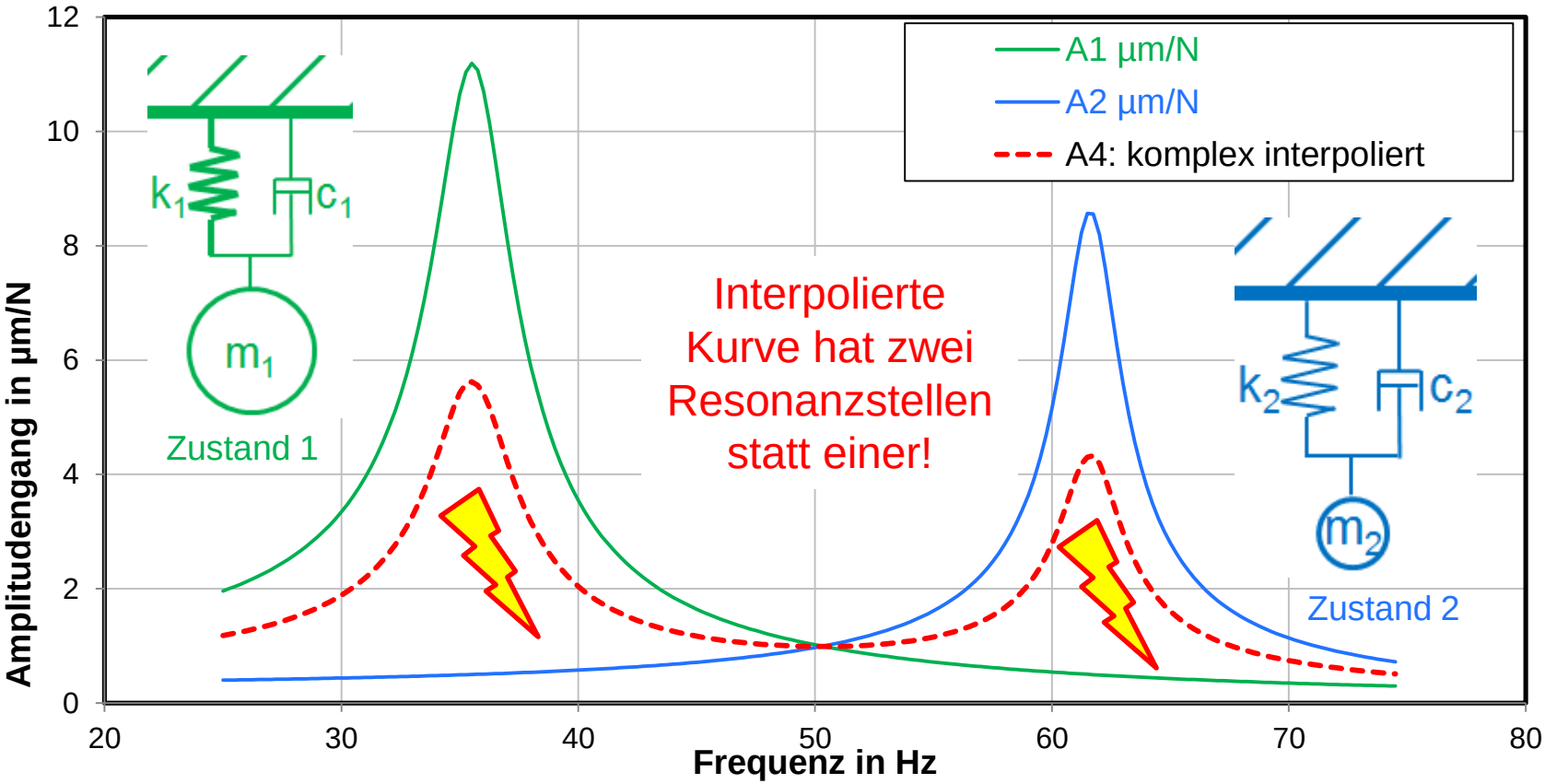
Motivation: Einfaches Beispielmodell





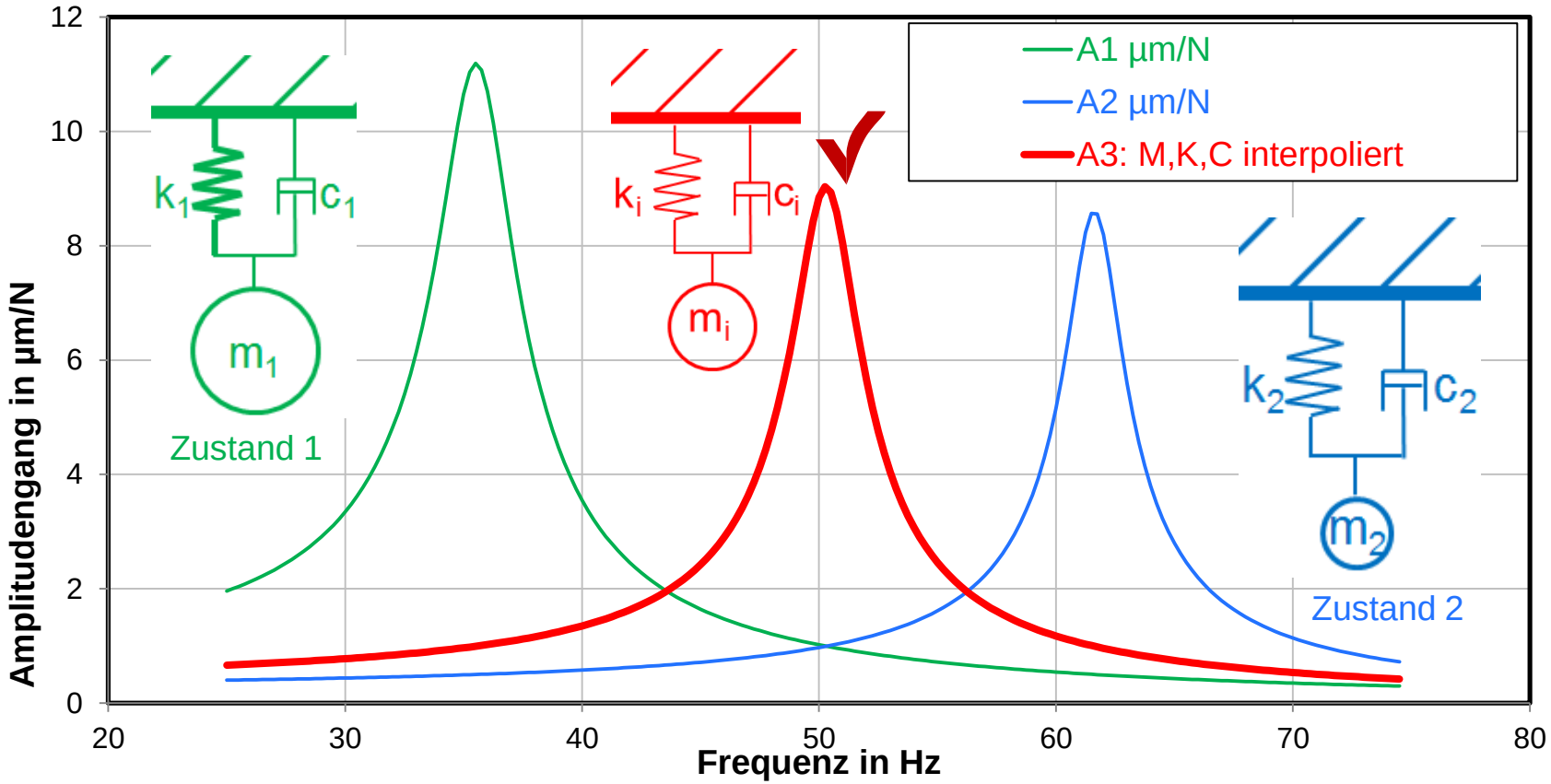


Beispiel Einmassenschwinger: Arithmetische Interpolation

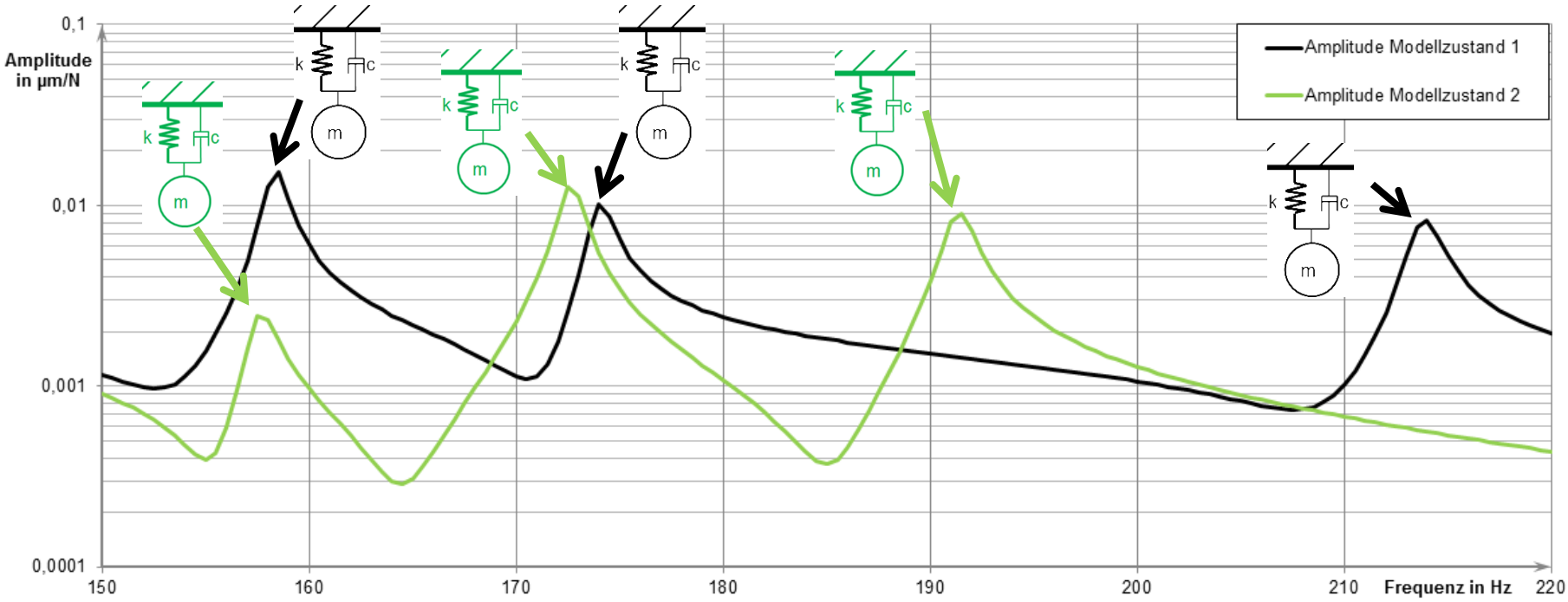


Beispiel Einmassenschwinger: Lösungsprinzip

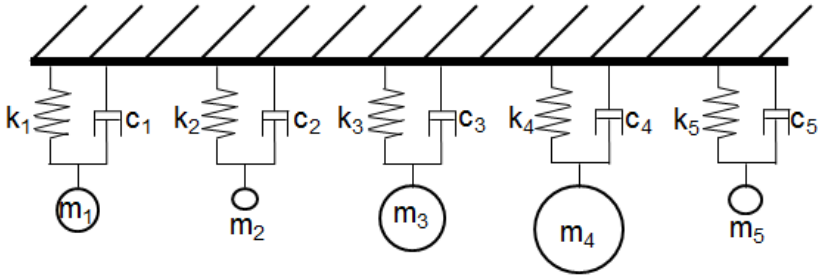
- Positionsabhängige Dynamikdaten: Interpolation der Modellparameter



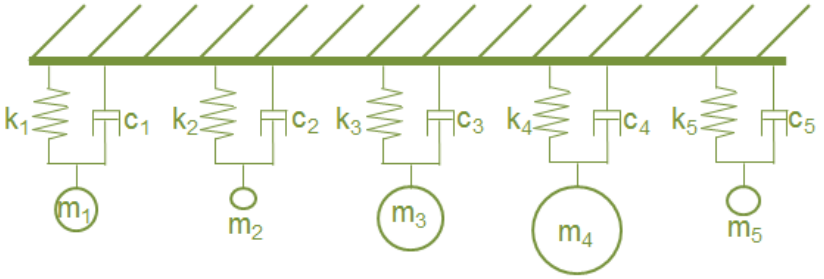
Übertragung des Interpolationsprinzips auf ein „reales“ Modell



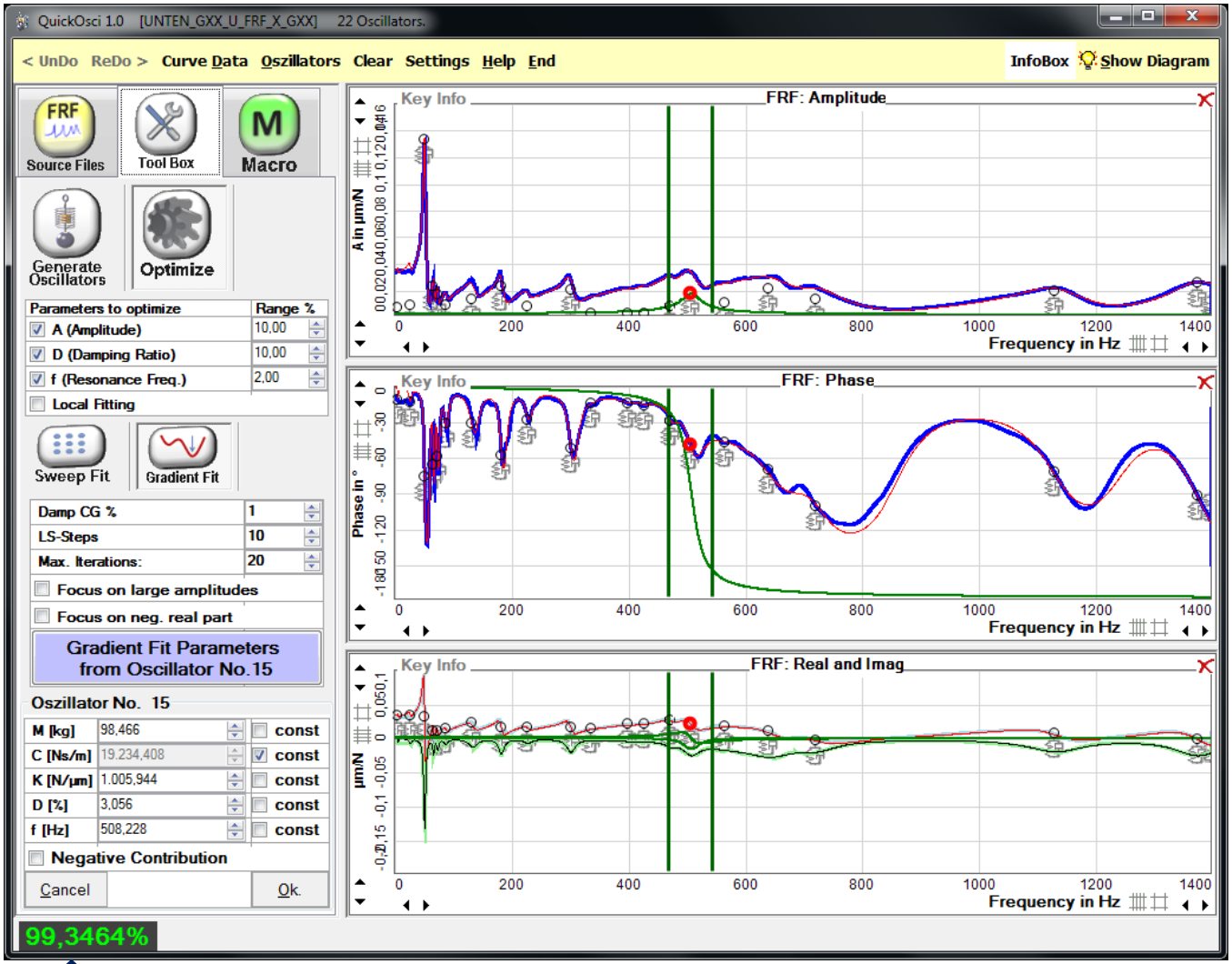
Parametersatz Zustand 1



Parametersatz Zustand 2



Parameteridentifikation: Auto-Fitting mit dem Tool QuickOsci

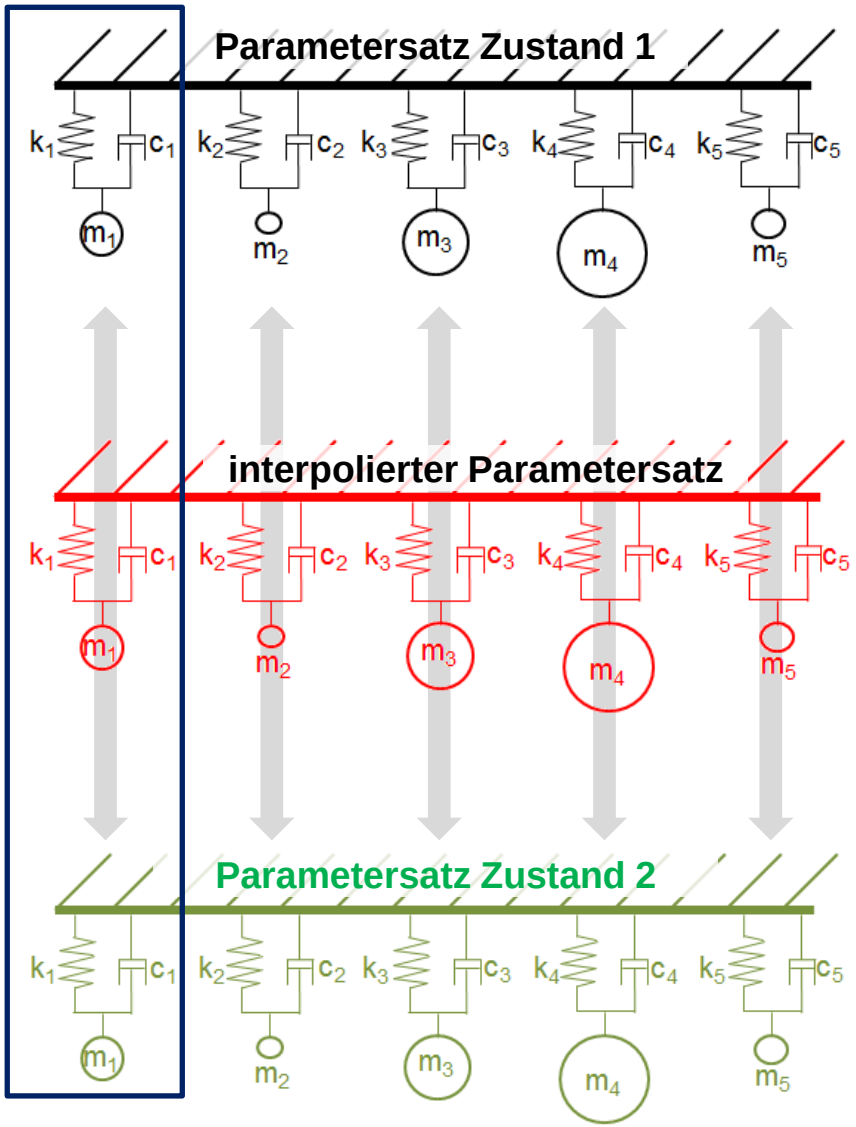


QuickOsci 1.0 Copyright © 2013 by Harald Altstädter

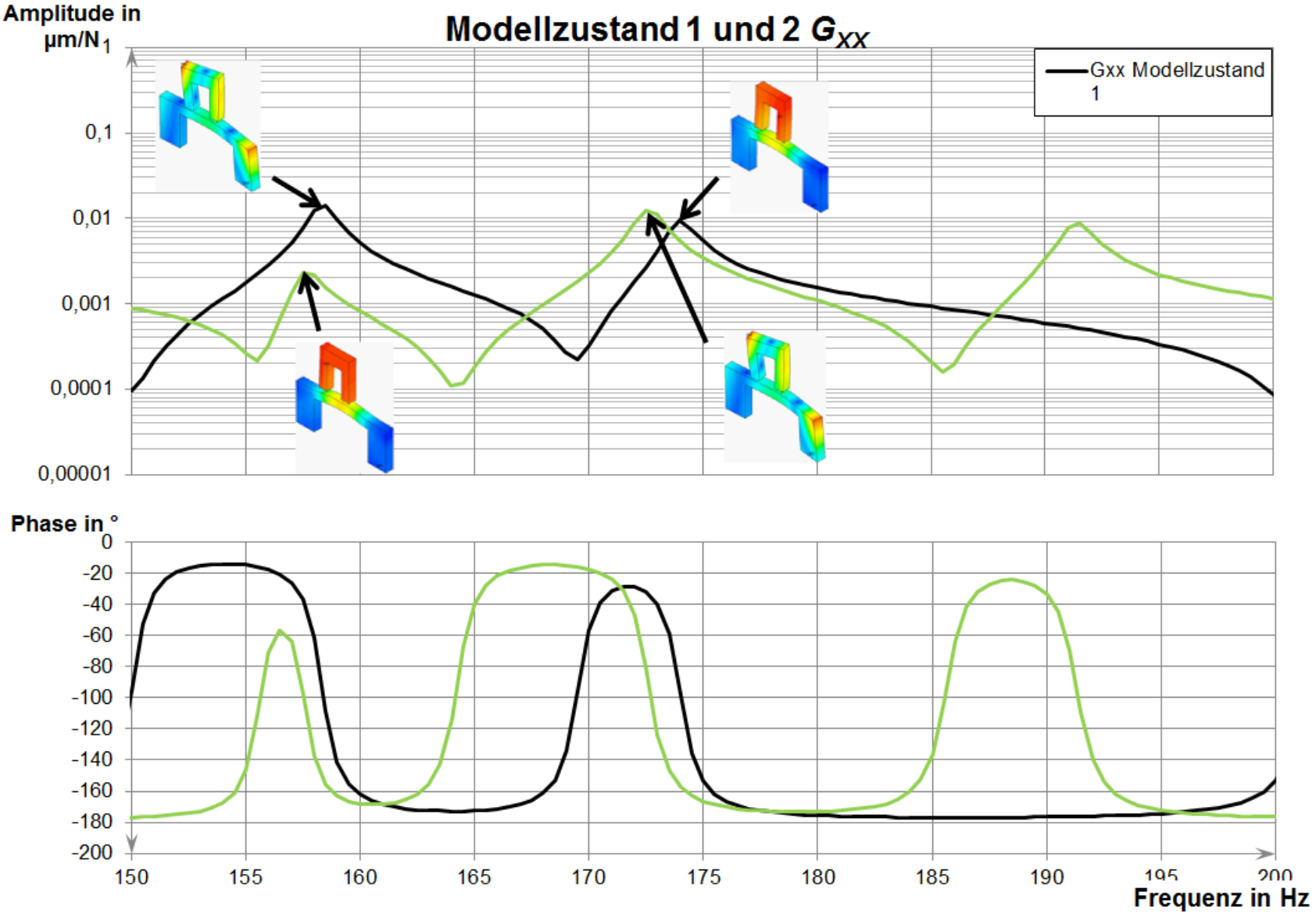
- FRAC-Wert = Approximationsqualität

Richtige Zuordnung der Oszillatoren: Basis Eigenfrequenz

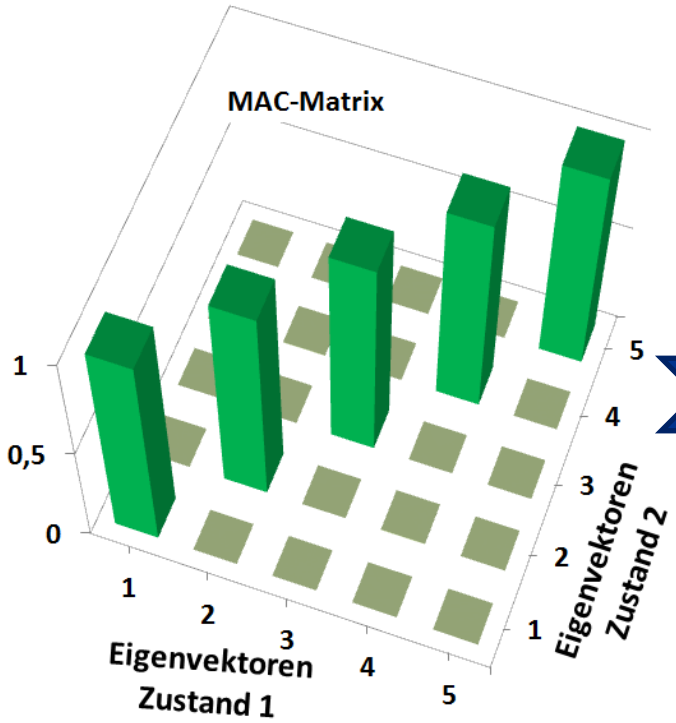
- Welcher Oszillatorparameter aus dem ersten Modellzustand ist mit welchem Oszillatorparameter aus dem zweiten Modellzustand zu interpolieren?



Richtige Zuordnung der Oszillatoren: Basis Eigenvektor

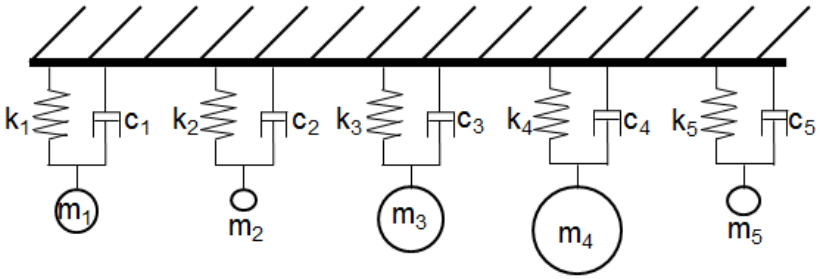


Richtige Zuordnung der Oszillatoren: Basis Eigenvektor

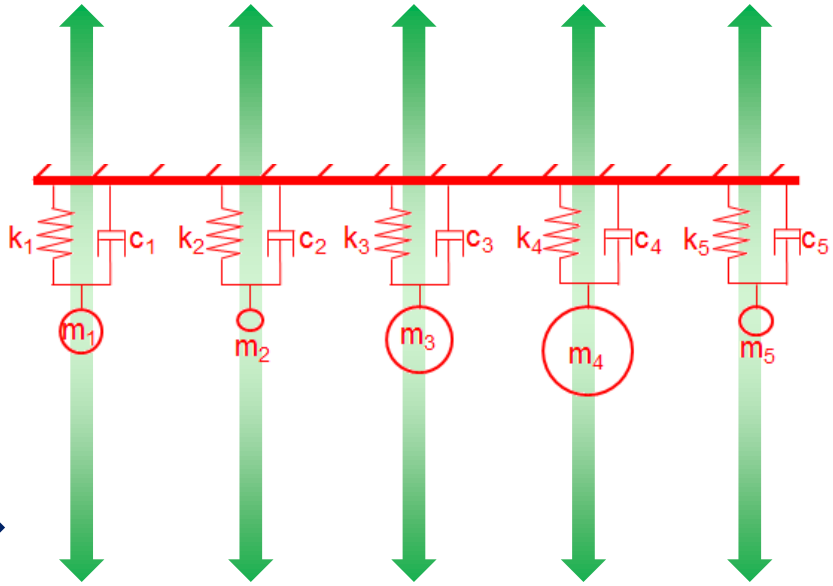


Zuordnung

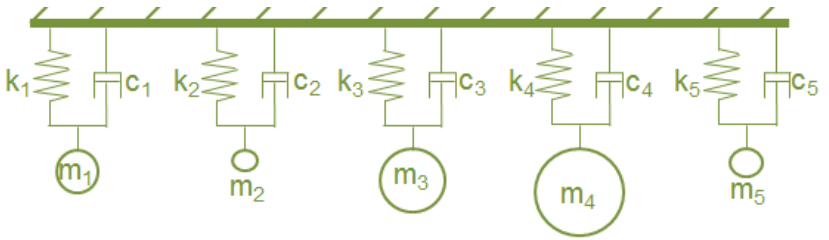
Zustand 1



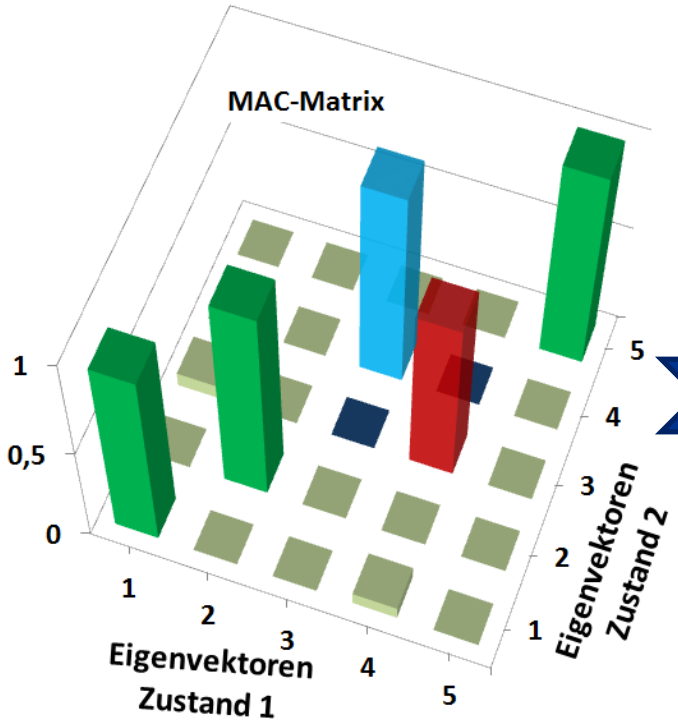
interpoliert



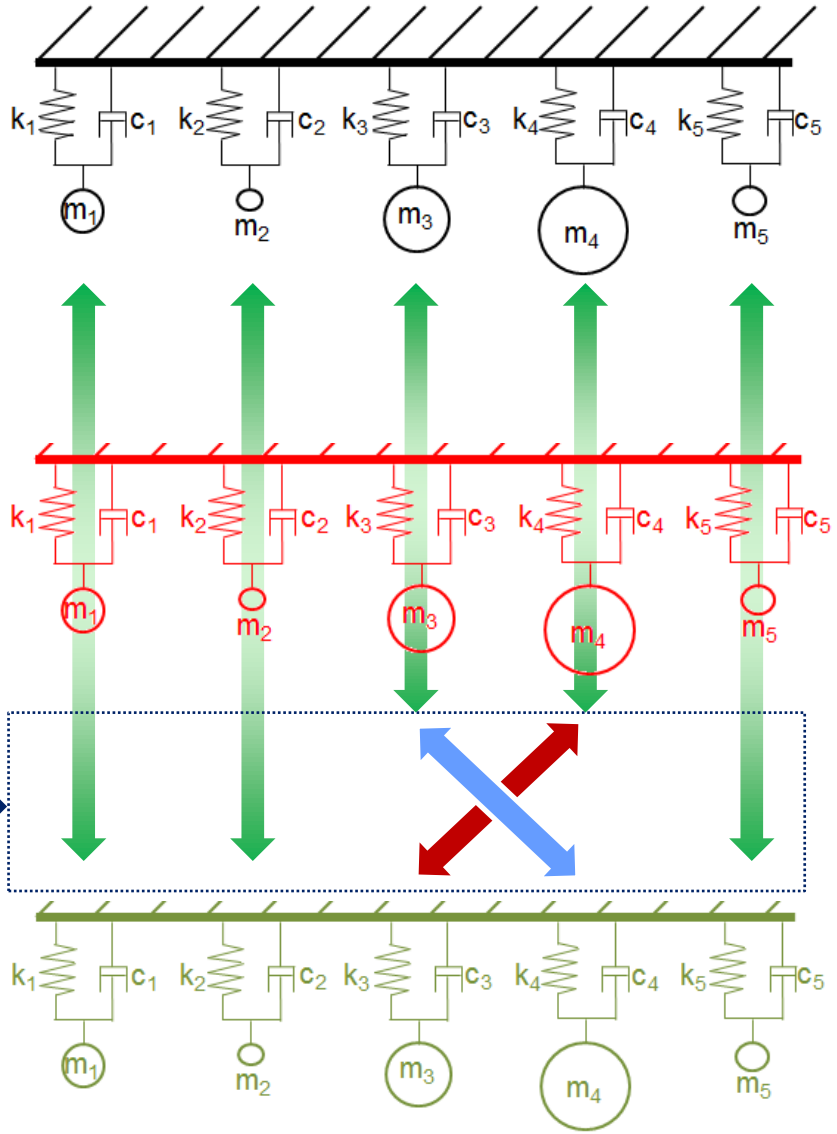
Zustand 2



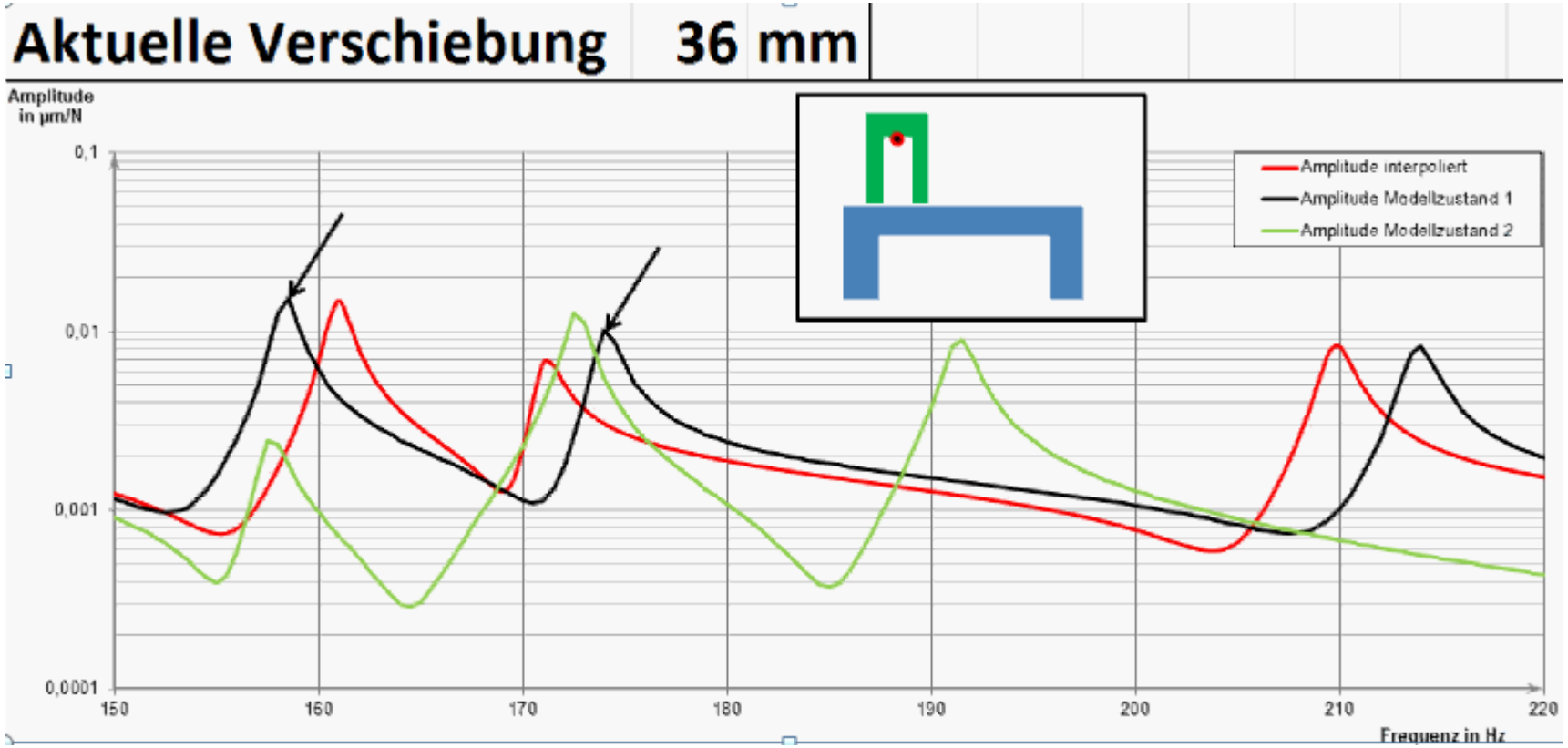
Richtige Zuordnung der Oszillatoren: Basis Eigenvektor



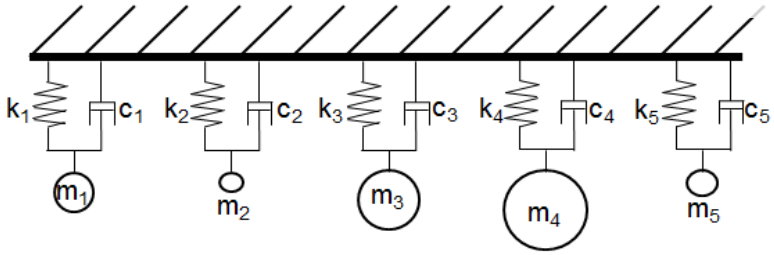
Zuordnung



Amplitudengang: Übergang von Zustand 1 in Zustand 2

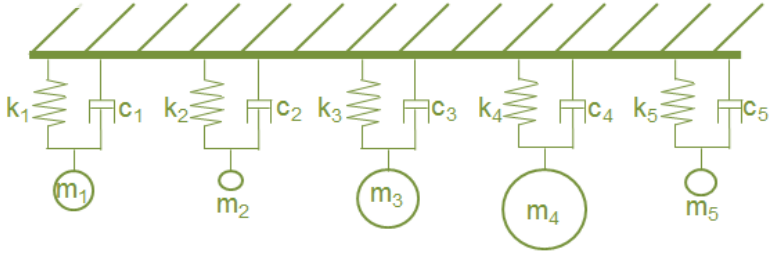


Parametersatz Zustand 1



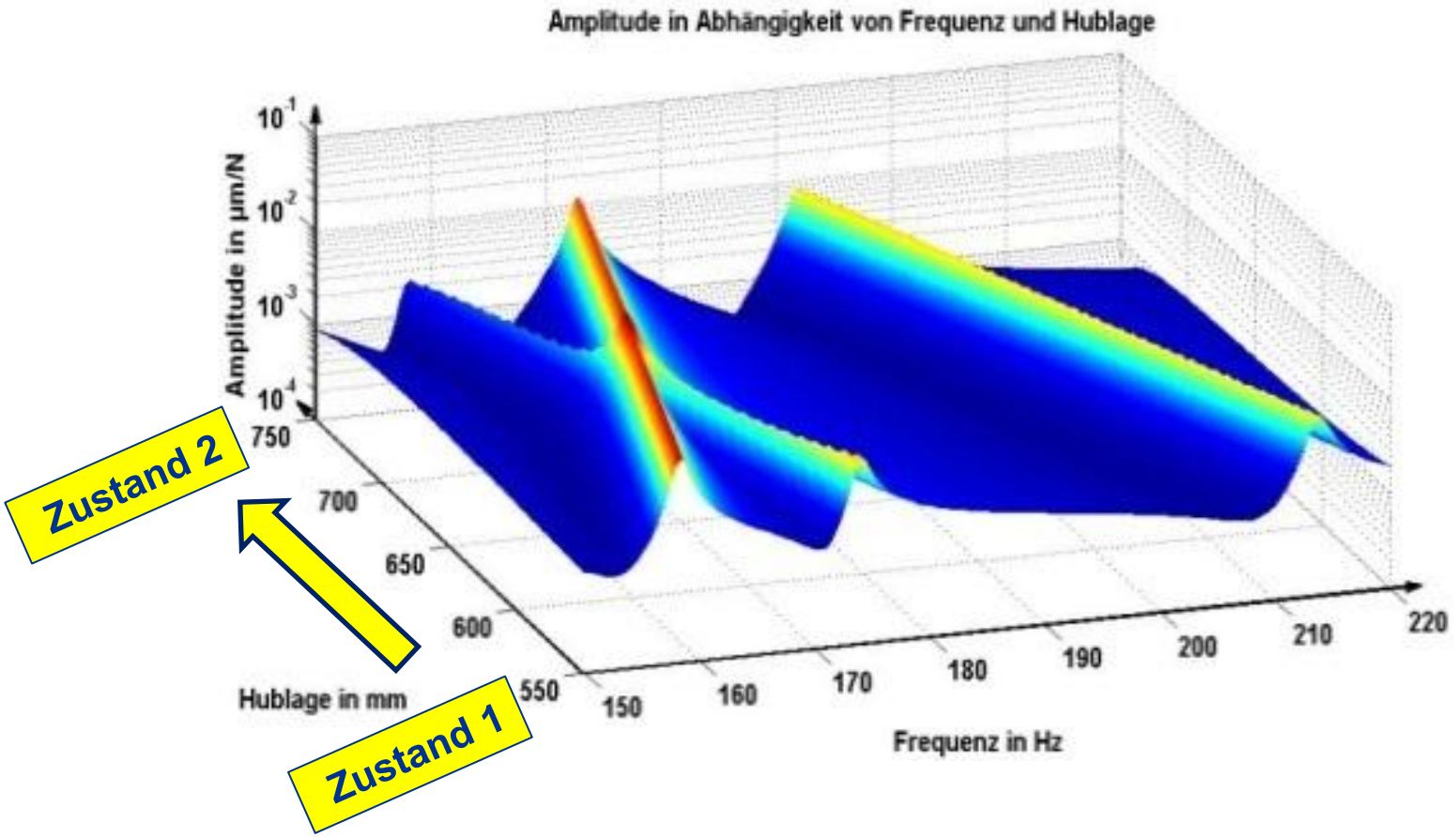
Interpolation

Parametersatz Zustand 2

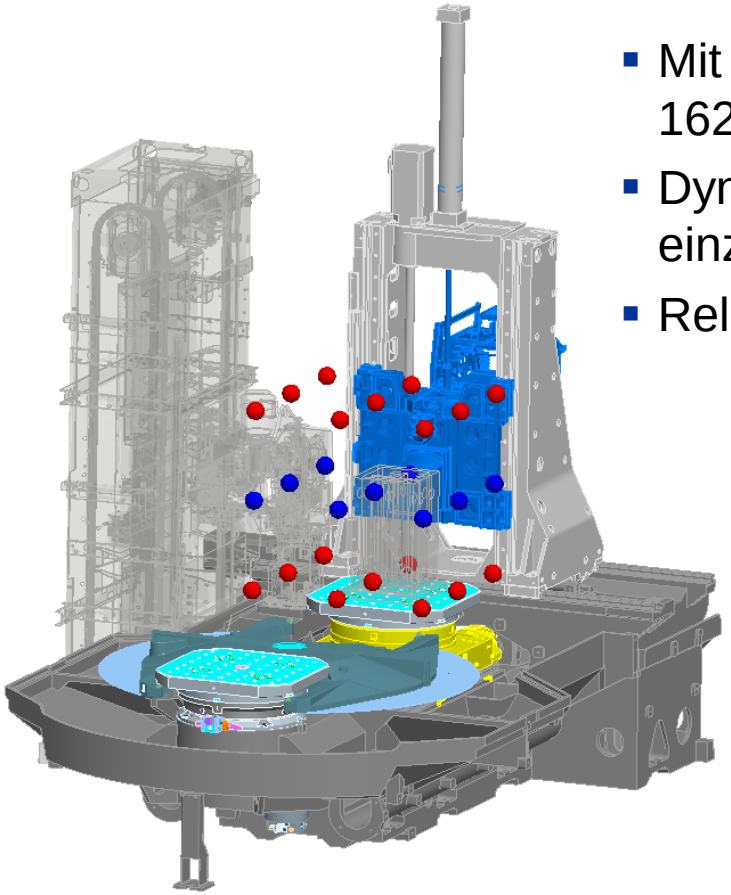


Validierung: Übergang von Zustand 1 in Zustand 2

- Validierung möglich:
  - interpolierten NFG mit Messung oder FE-Simulation vergleichen



NFG-Interpolation im Forschungsprojekt ReffiZ



- Referenzpunkte-Raster im Arbeitsraum
  - 3 x 3 x 3 Positionen
  - An jeder Position 3 Haupt-NFG = 81 NFG
- Mit Kreuz-NFG (symmetrische NFG-Matrix): 162 NFG
- Dynamische Charakterisierung (Fitting) ist für jeden einzelnen NFG notwendig
- Relevanz bei gemessenen UND simulierten Daten

NFG-Interpolation im Forschungsprojekt ReffiZ

Bearbeitungszentren (alle Referenz-Hublagen)
- **HELLER H 2000**
- **HELLER MCH 350**

Messung oder **FEM-Simulation**

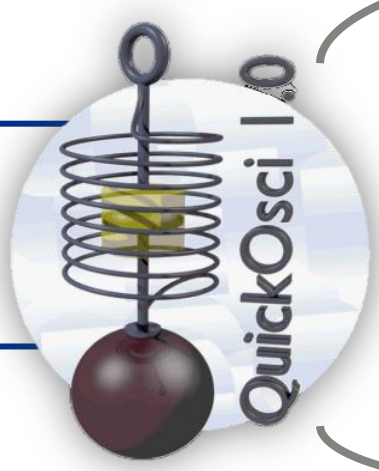
CAD-Modell

- NFG
- evtl. Kreuz-NFG

Eigenformen

z. B. 162 NFG pro Maschine

Fitting:
Koeffizienten-Satz identifizieren
- **m_i, k_i, c_i für jede Referenz-Hublage**



NFG arbeitsraumpositionsabhängig

Zuordnung
- Mode Shapes vergleichen (MAC)
- Koeffizienten zuordnen

Interpolation
- Shape Functions erstellen
- 3D-Interpolation (Lagrange)

Stabilitätssimulation (PrimeCut/WZL):
Stabilitätskarten positionsabhängig

Zusammenfassung und Ausblick

- Zusammenfassung Vorgehensweise
  - Referenz-Zustände definieren und erfassen (FEM oder Messung)
  - Aufbau eines interpolierbaren Ersatzmodells für jeden Referenz-Zustand
  - Parameter-Zuordnung erfolgt über Ähnlichkeit der Eigenformen (MAC)
  - Interpolation der Ersatzmodell-Parameter
  - Direkte Verwendung der Parameter im Zeitbereich
  - Überprüfbarkeit ist gegeben

- Unmittelbar bevorstehend: Erweiterung des Interpolationskonzepts auf eine mehrachsige Interpolation (3D-Interpolation z. B. Lagrange)

- NFG-Interpolation zwischen Zuständen mit anderen Einflüssen, z. B.
  - Reduzierte Steifigkeit und Masse des Werkstücks aufgrund von Materialabtrag
  - Rotatorische NC-Achsen (z. B. Schwenkachsen)
  - Nichtlineares Verhalten, z. B. über der Vorschubgeschwindigkeit, Werkzeug-Drehzahl
- …

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Hinweis

www.reffiz.de

ReffiZ

- Realisierung Effizienter Zerspanprozesse

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmenkonzept „Forschung für die Produktion von morgen“ (Förderkennzeichen 02PJ1170) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium für Bildung und Forschung

BETREUT VOM

PTKA Projektträger Karlsruhe
Karlsruher Institut für Technologie