

Robustheitsbewertungen gegenüber Geometrie- und Materialtoleranzen für einen Pressverband

SIEMENS AG

SIEMENS
Ingenuity for life



Building Technologies



Digital Factory



Energy Management



Financial Services



Mobility



Power and Gas



Power Generation Services



Process Industries and Drives

Drives

Leistungsbereich 0,37 – 1000 kW



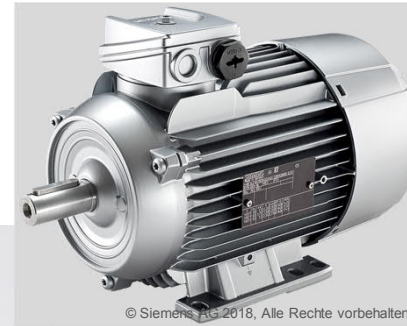
© Siemens AG 2018, Alle Rechte vorbehalten



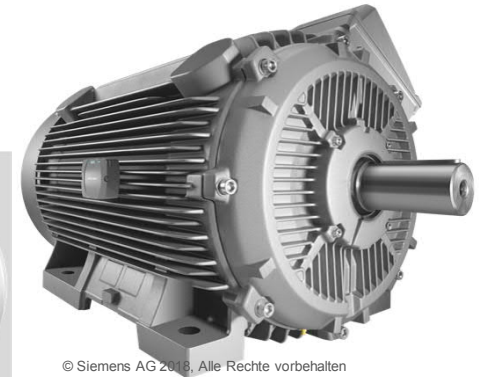
© Siemens AG 2018, Alle Rechte vorbehalten



© Siemens AG 2018, Alle Rechte vorbehalten



© Siemens AG 2018, Alle Rechte vorbehalten



© Siemens AG 2018, Alle Rechte vorbehalten



© Siemens AG 2018, Alle Rechte vorbehalten



© Siemens AG 2018, Alle Rechte vorbehalten

Motivation

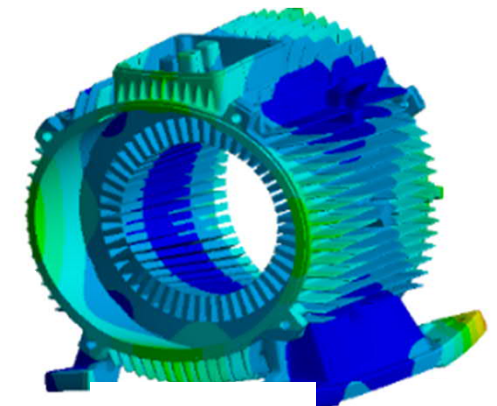
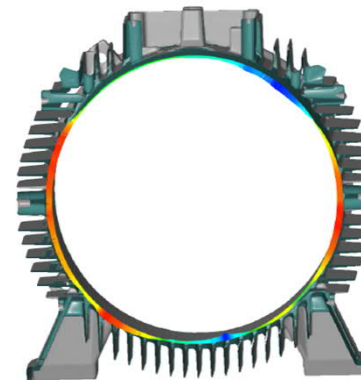
Produktion

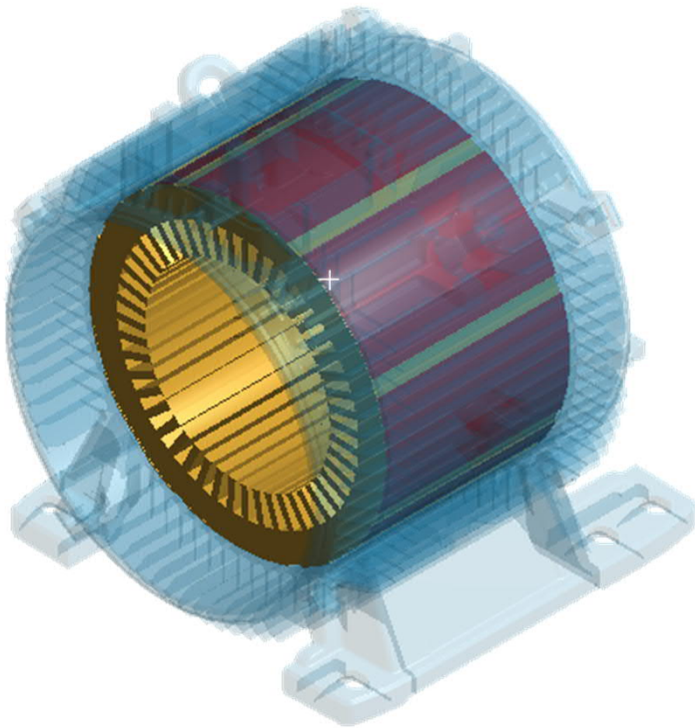
- herstellungsbedingte Geometrieschwankungen
- herstellungsbedingte Schwankungen der Materialkennwerte

Montage

- Pressverband beeinflusst Steifigkeit

Einflusses auf dynamischen Kennwerte?





- **Modellierung**
- Nominalgeometrie und Referenzimperfektion
- Beschreibung des Workflows
- Robustheitsanalyse 1: Geometrievariation
- Robustheitsanalyse 2: Geometrie- & Materialvariation
- Zusammenfassung

Streuung der Geometrie

- Abweichungen der Geometrie auf Gehäuseinnenseite

Streuung der Materialparameter

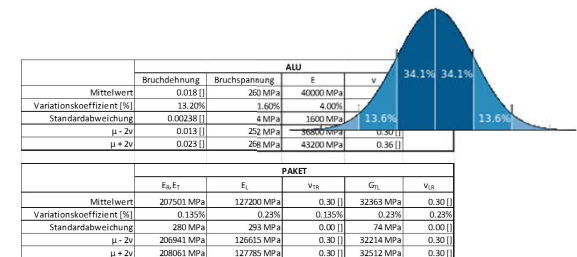
- Blechpaket: Orthotropes, linear elastisches Materialverhalten
 - $E_R, E_T, E_L, \nu_{TR}, G_{TL}, \nu_{LR}$
- Gehäuse: Isotropes Von-Mises Materialverhalten
 - $\epsilon_U, \sigma_U, E, \nu$

Streuung beim Kontaktverhalten

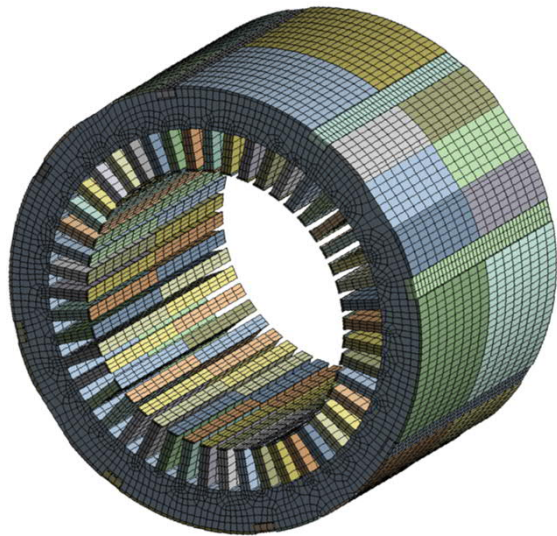
- Flächenpressung
- Resultierende Kräfte im Pressverband

Streuung des dynamischen Verhaltens

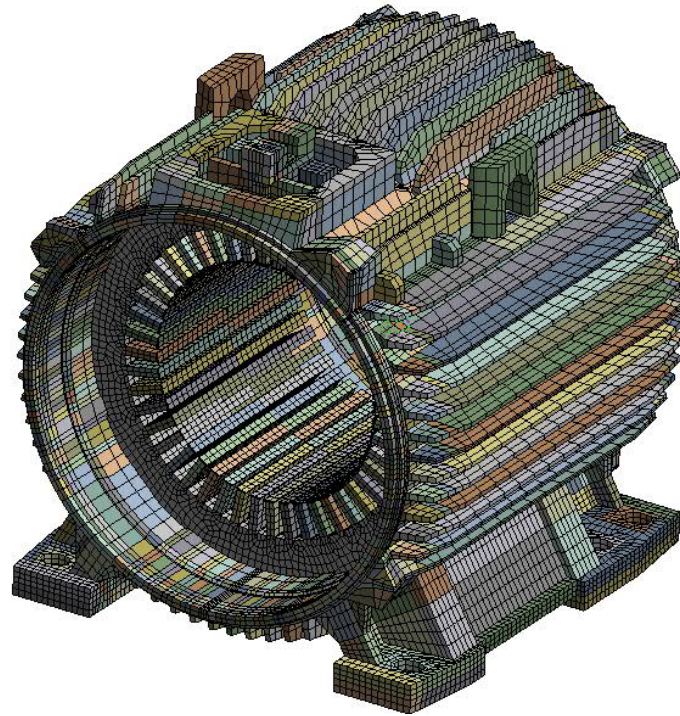
- Eigenfrequenzen
- Eigenformen



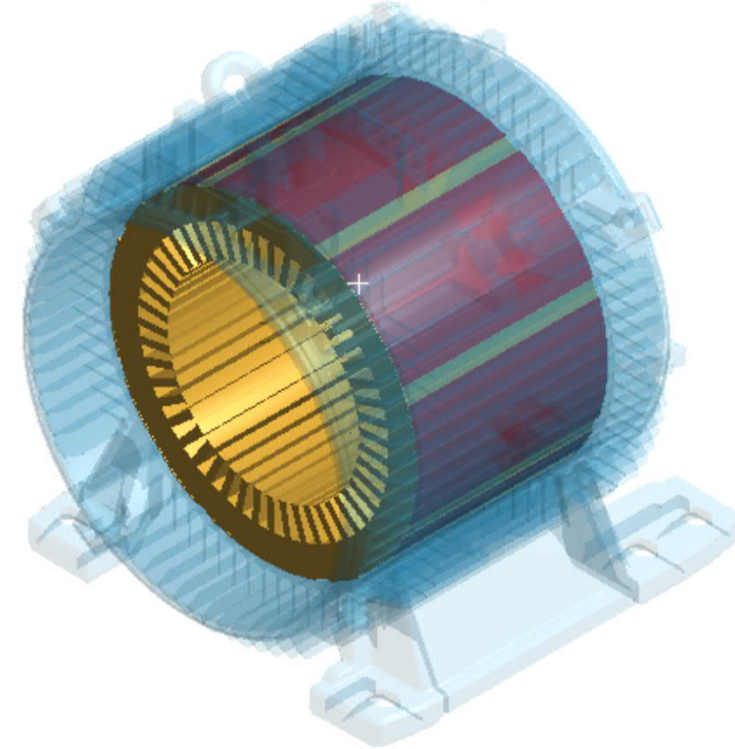
FE - Modellierung



Blechpaket



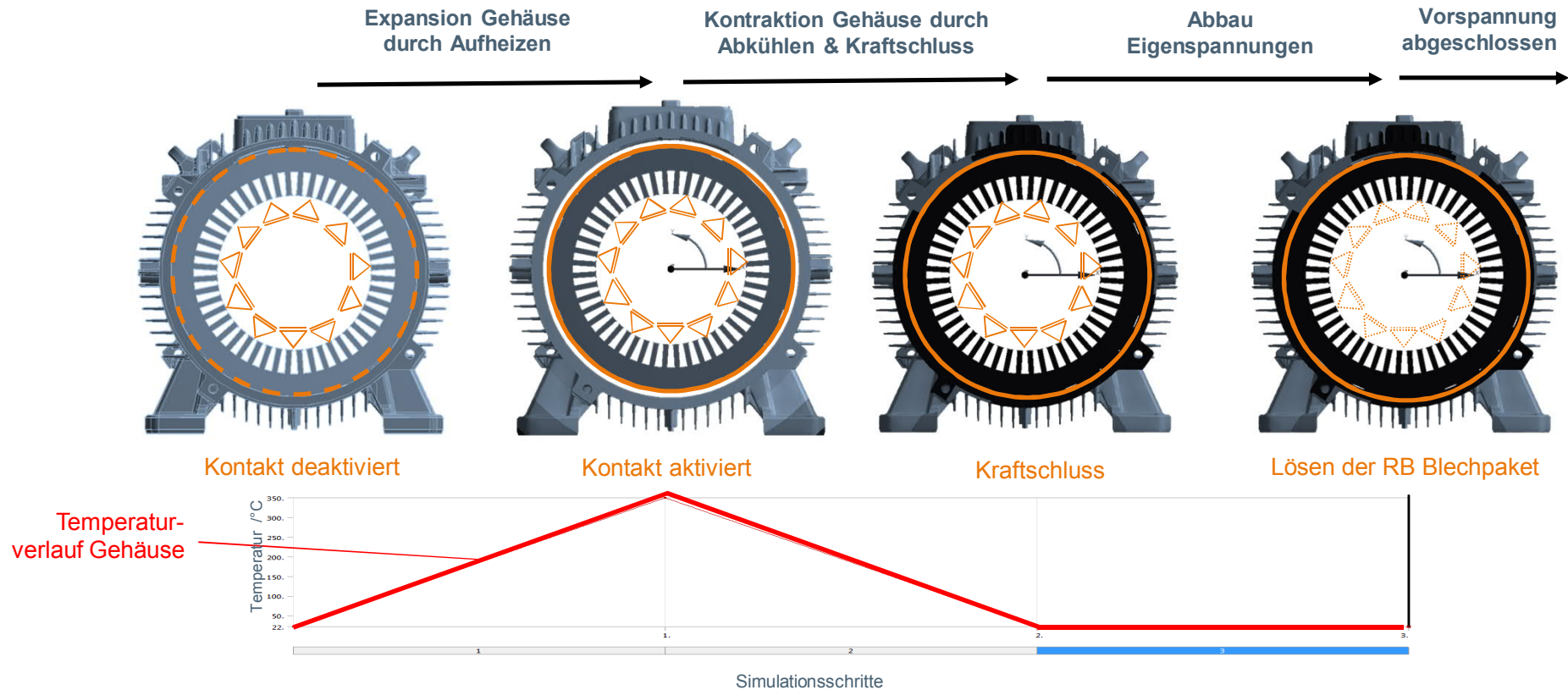
Blechpaket und Gehäuse

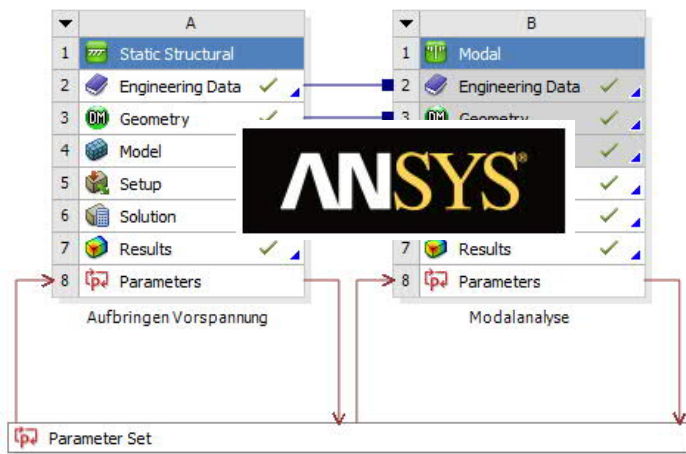


Kontaktelemente mit Kontakt-Offset
zur Generierung des Pressverbands

SIEMENS
Ingenuity for life

FE-Simulationsschritte



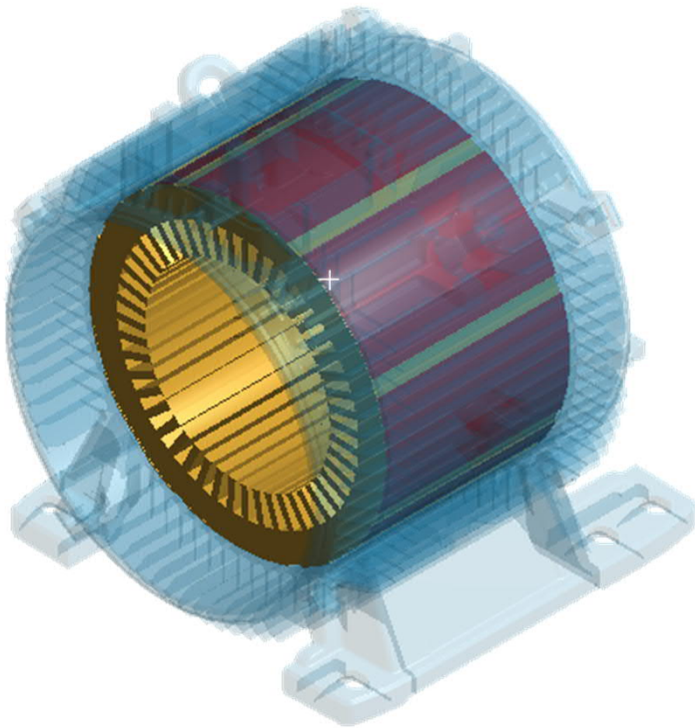


Vorgespannte Modalanalyse

- Kontakteinstellungen der Vorspannung:
 - „wahren Status verwenden“

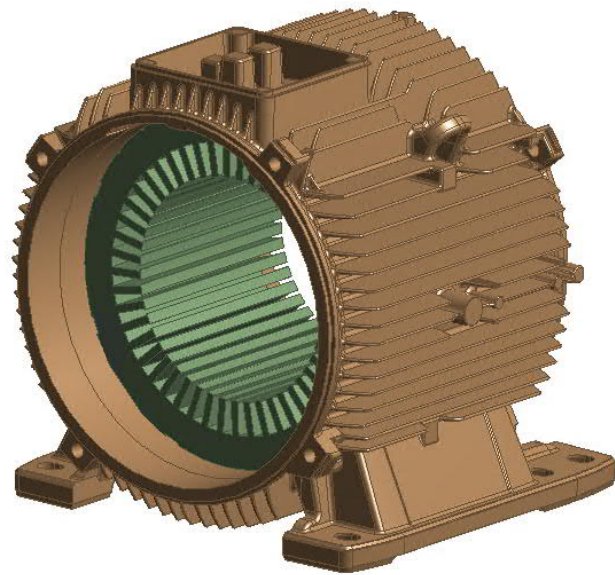
Abgleich der Eigenmoden

- Abgleich der aktuellen gerechneten Eigenmoden mit der Referenz mittels **Modal Assurance Criterion (MAC)**
- Verwendung von rstmac
 - `rstmac,file.rst,1,1all,`..\data\reference.rst\file.rst`,...`

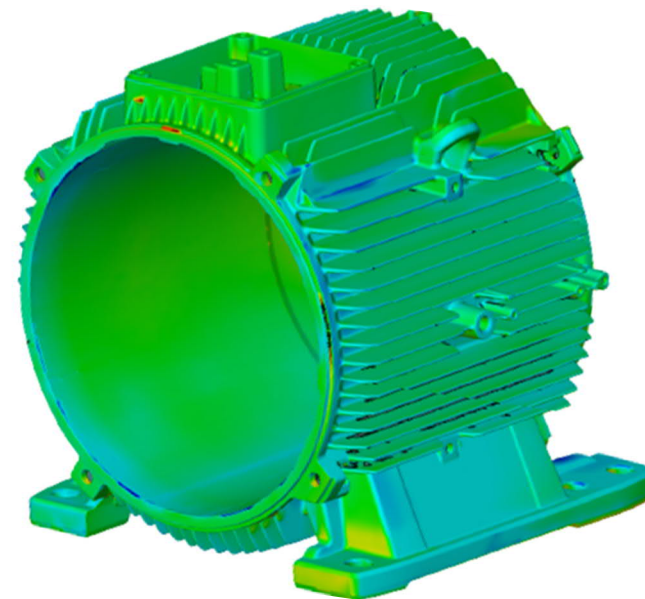


- Modellierung
- **Nominalgeometrie und Referenzimperfektion**
- Beschreibung des Workflows
- Robustheitsanalyse 1: Geometrievariation
- Robustheitsanalyse 2: Geometrie- & Materialvariation
- Zusammenfassung

Nominalgeometrie vs. Referenzimperfektion



Nominalgeometrie aus CAD

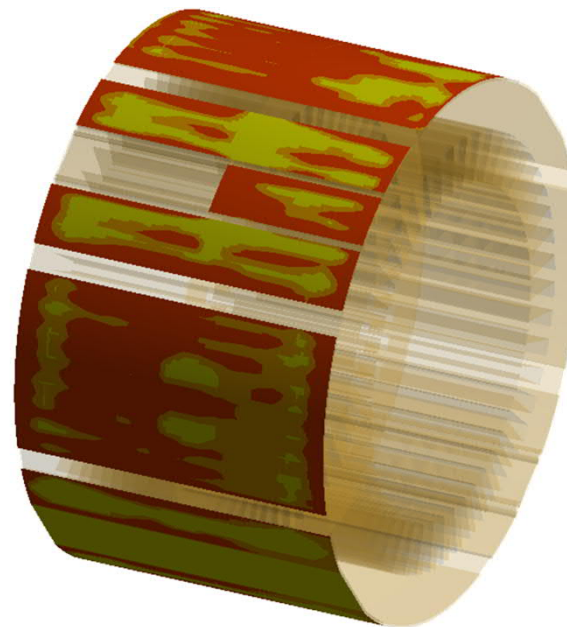


Referenzimperfektion aus
Oberflächenscannmessungen
realer Teile

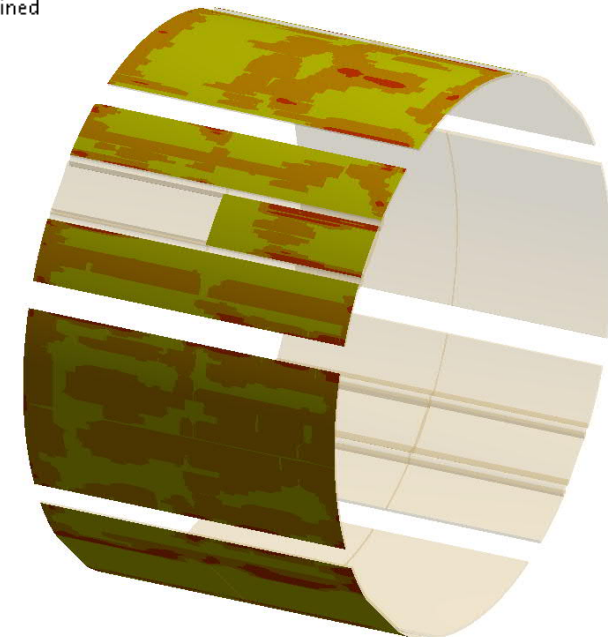
Ergebnisse – Nominalgeometrie vs. Referenzimperfektion

■ Kontaktstatus

Nominalgeometrie



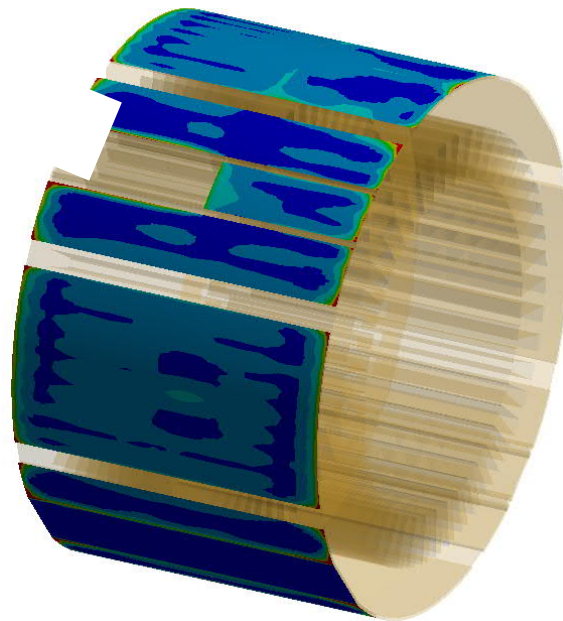
Referenzimperfektion



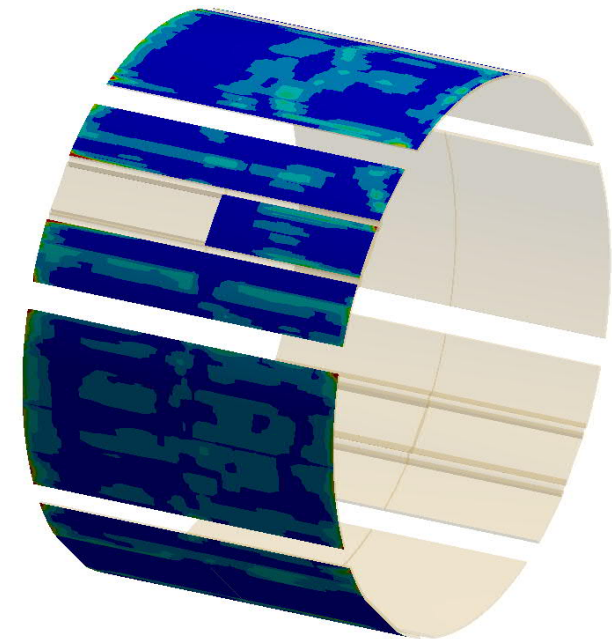
Ergebnisse – Nominalgeometrie vs. Referenzimperfektion

■ Anpressdruck [MPa]

Nominalgeometrie



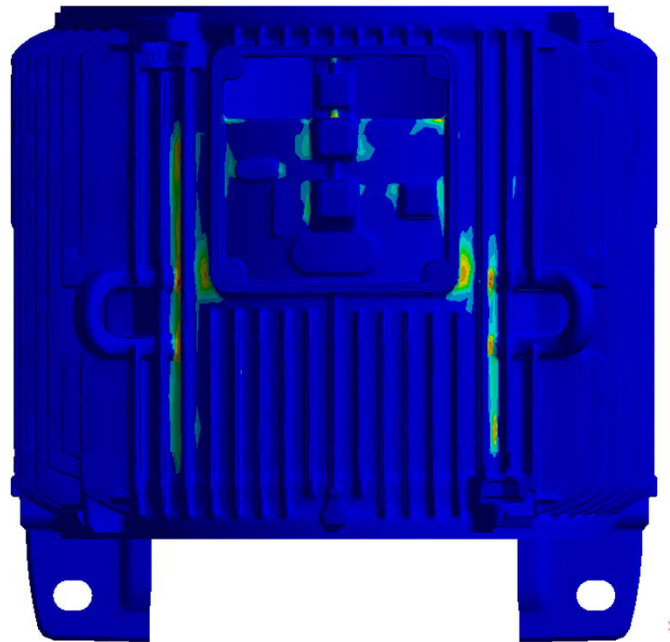
Referenzimperfektion



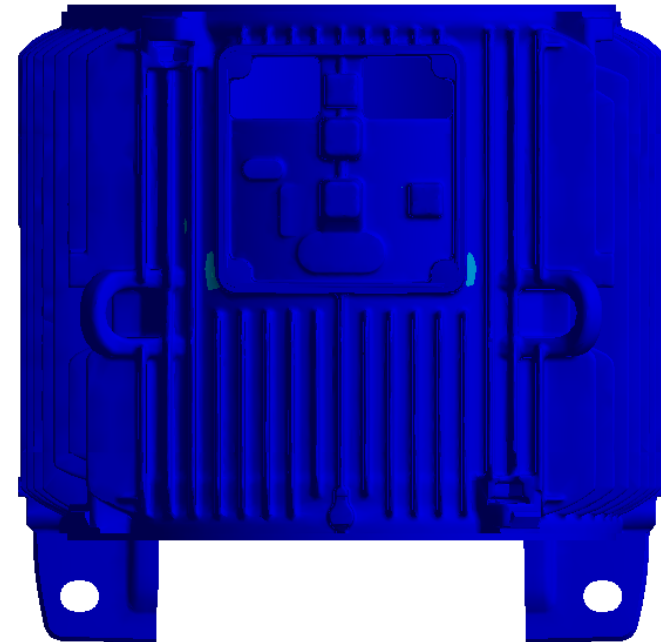
Ergebnisse – Nominalgeometrie vs. Oberflächenanmessung

■ Plast. Dehnungen

Nominalgeometrie



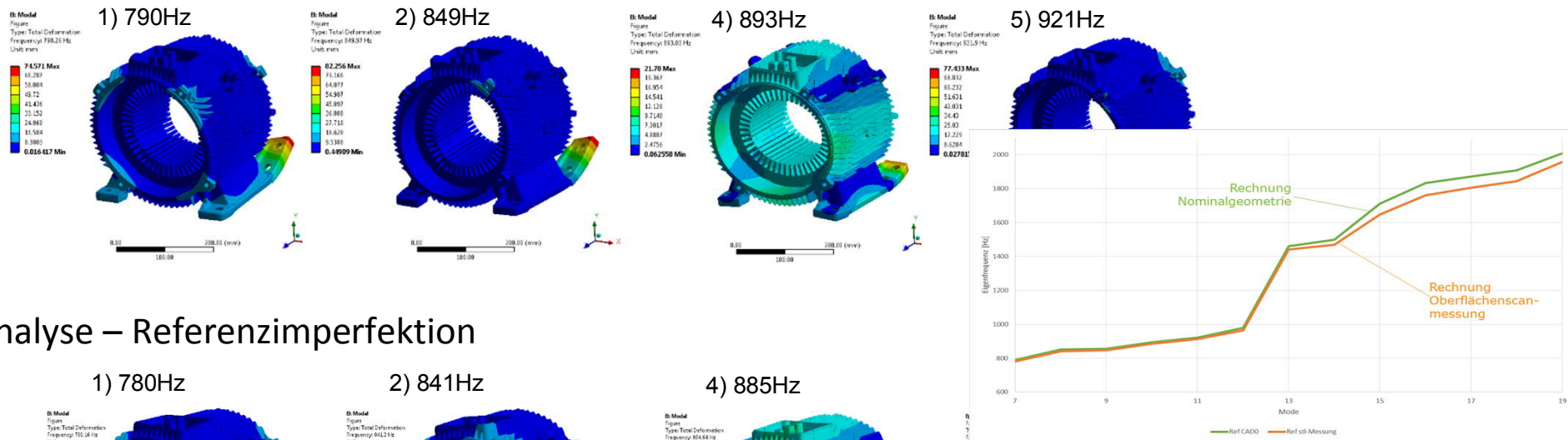
Oberflächenanmessung



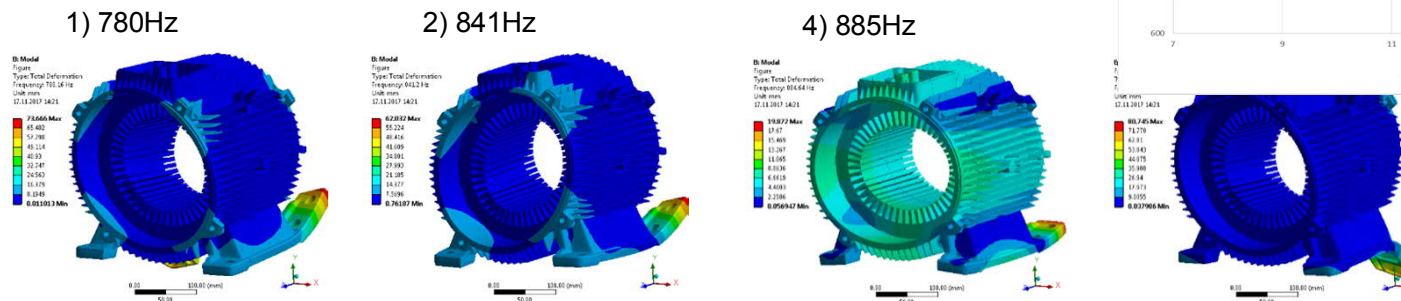
■ Annahmen für Nominalgeometrie konservativ

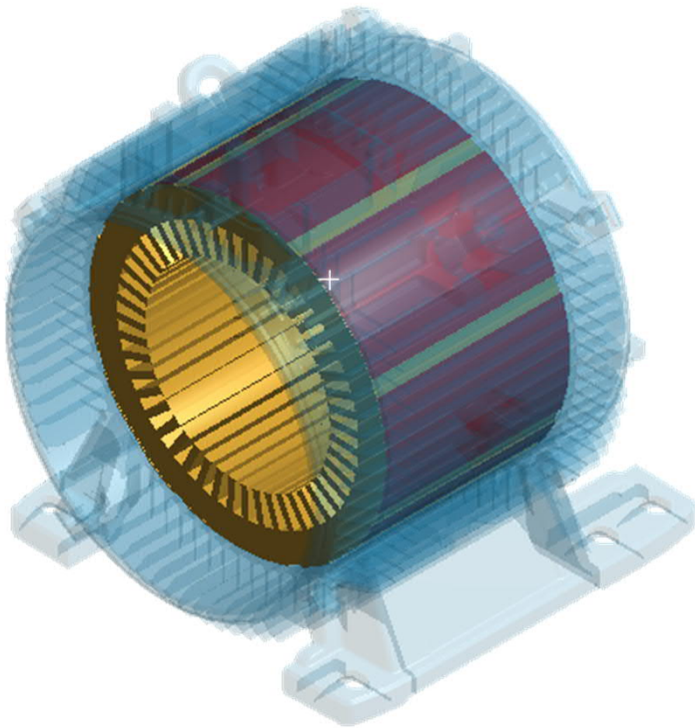
Ergebnisse – Nominalgeometrie vs. Referenzimperfektion

■ Modalanalyse – Nominalgeometrie



■ Modalanalyse – Referenzimperfektion





- Modellierung
- Nominalgeometrie und Referenzimperfektion
- **Beschreibung des Workflows**
- Robustheitsanalyse 1: Geometrievariation
- Robustheitsanalyse 2: Geometrie- & Materialvariation
- Zusammenfassung

Workflow 1

■ Geometrievariationen

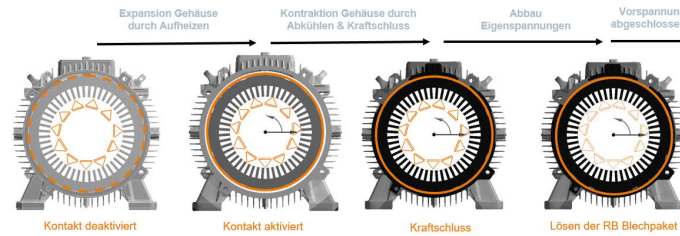


■ Materialvariationen

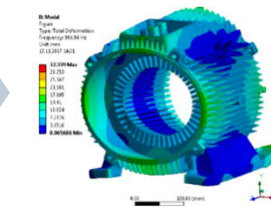


	NORMAL	1
	NORMAL	20
	NORMAL	0.02
	NORMAL	10

■ Statische Analyse

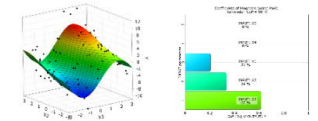


■ Lineare Modalanalyse

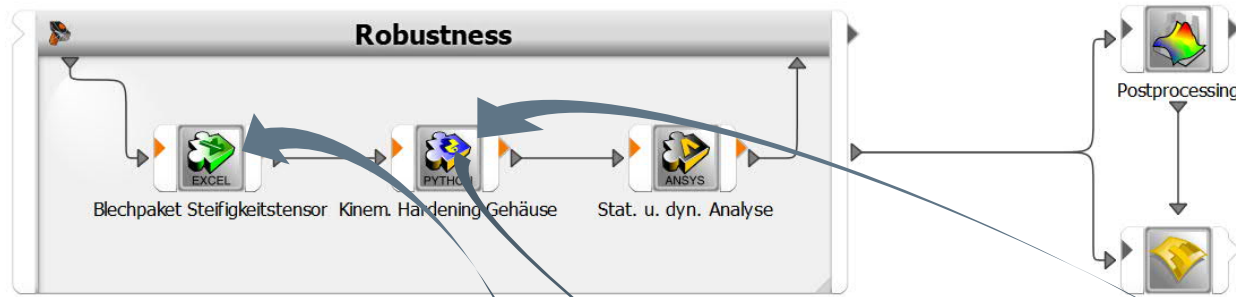


■ Bewertung

MOP & CoP



Workflow 2

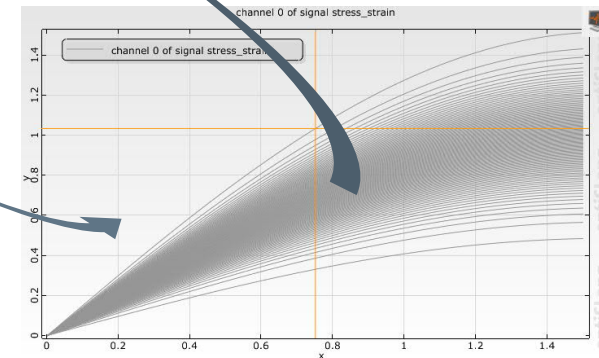


Steifigkeitstensor
 $E_R, E_T, E_L, \nu_{TR}, G_{TL}, \nu_{LR}$

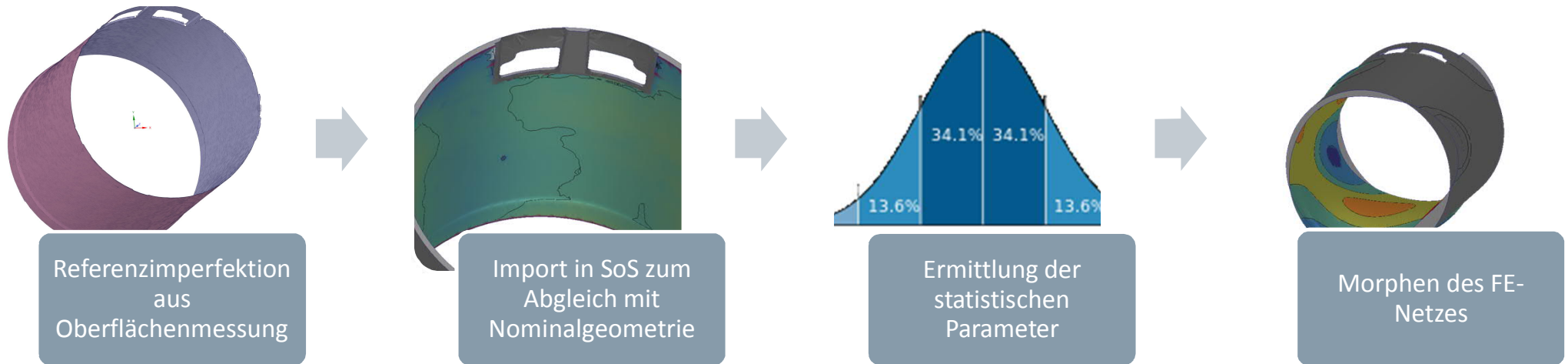
Blechpaket

$\epsilon_U, \sigma_U, E, \nu$

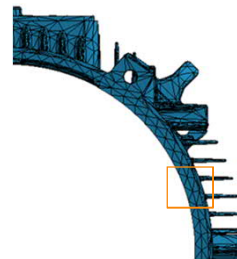
Materialkurven σ - ϵ
 Gehäuse



Modellierung der Geometrieimperfektionen



- Variation Innenwandgeometrie wird mittels SoS räumlich variabel aufgebracht



Modellierung der Geometrievariationen



- Reihenentwicklung der Imperfektionen

$$\mathbf{H} = \Phi \mathbf{z} + \mu_{\mathbf{H}}$$

Φ ... Modeshapes
 \mathbf{z} ... Amplituden

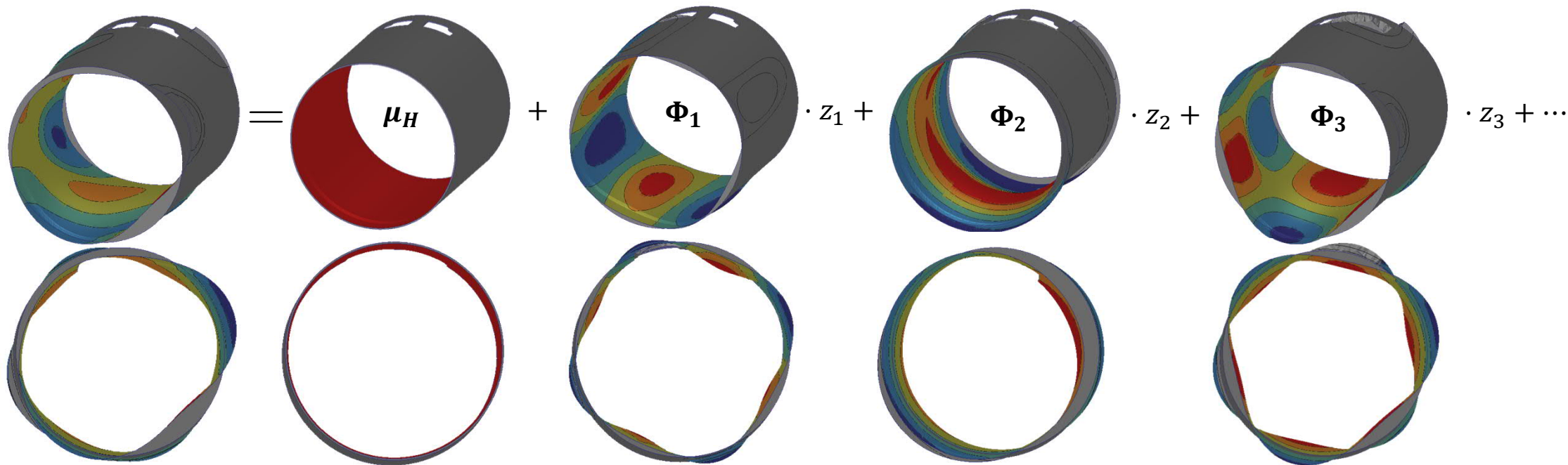
Imperfekte Geometrie

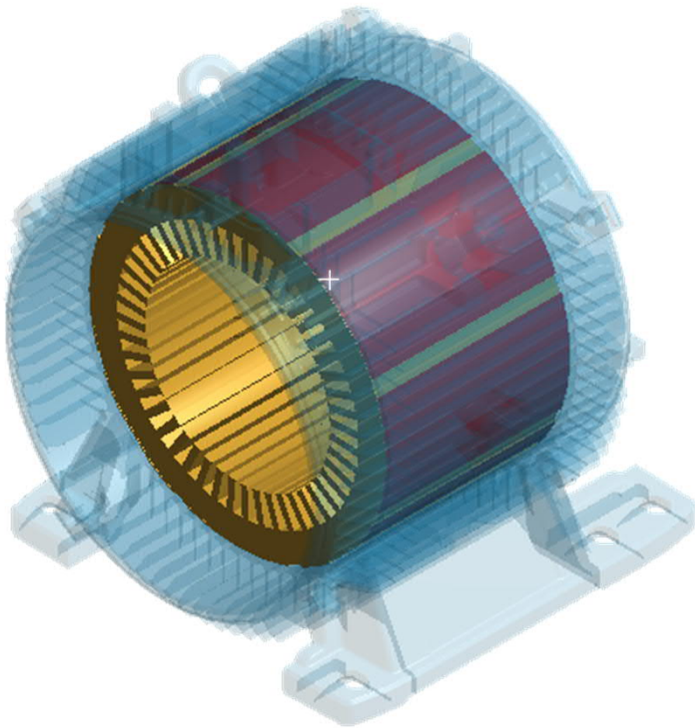
Mittelwert

Modeshape 1

Modeshape 2

Modeshape 3

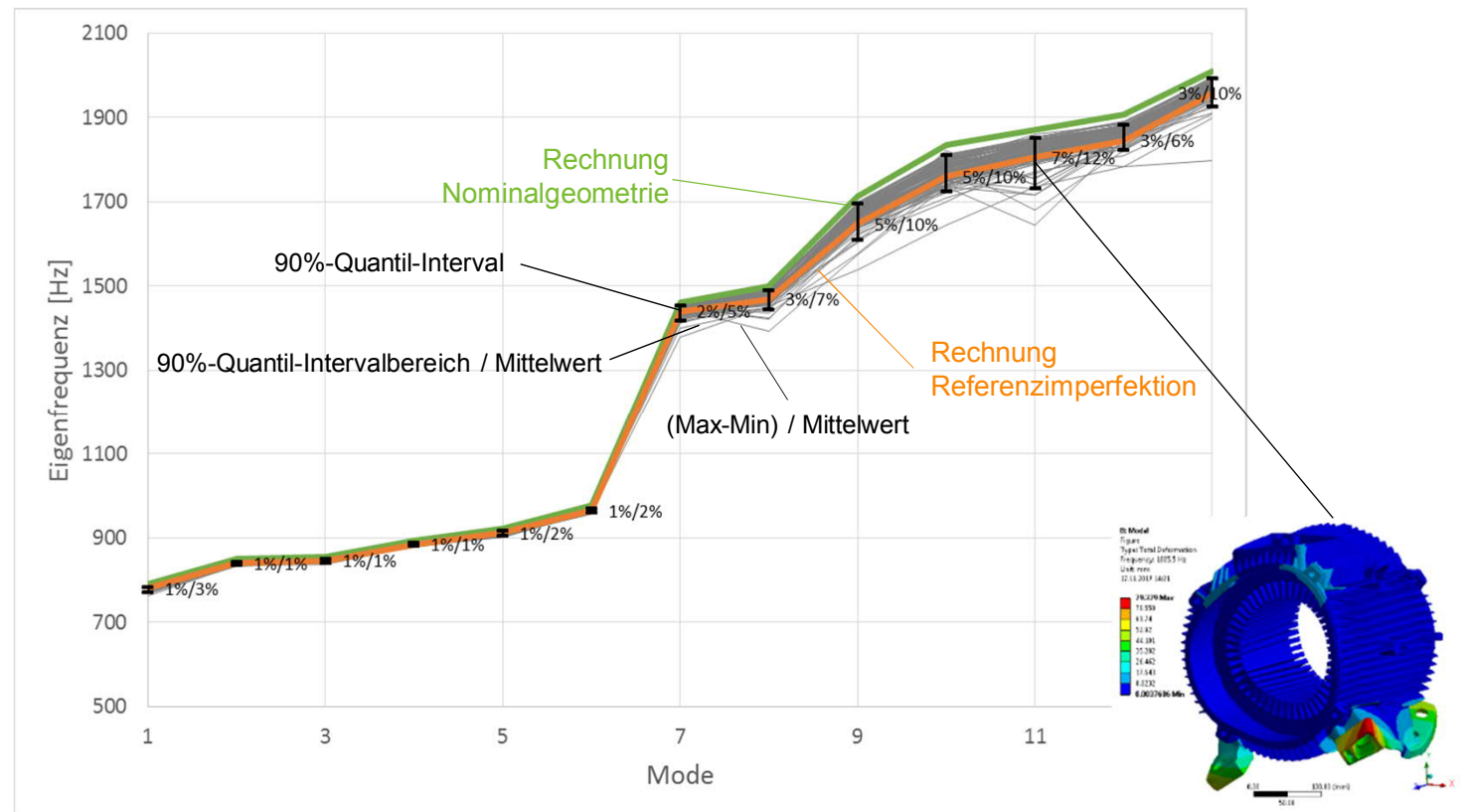


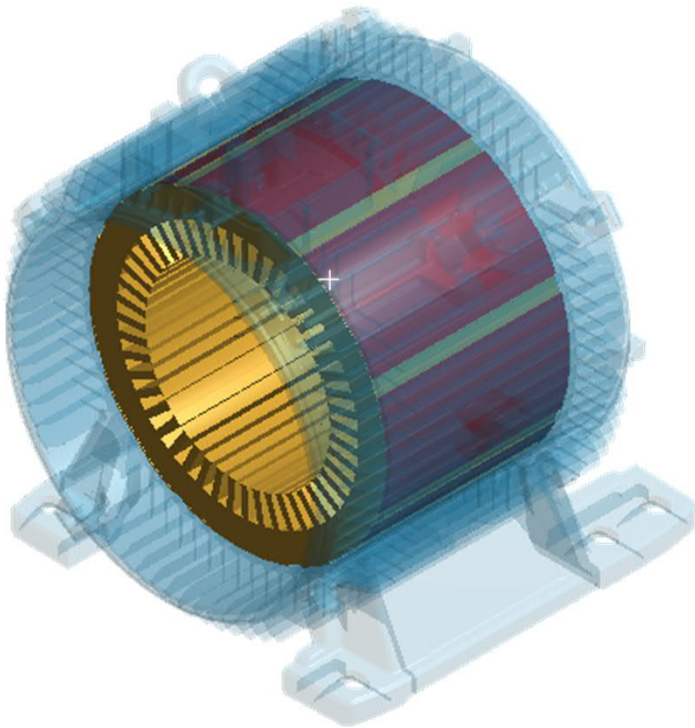


- Modellierung
- Nominalgeometrie und Referenzimperfektion
- Beschreibung des Workflows
- **Robustheitsanalyse 1: Geometrievariation**
- Robustheitsanalyse 2: Geometrie- & Materialvariation
- Zusammenfassung

Ergebnisse – Robustheit 1: Geometrievariation

- Moden gemäß MAC shape tracking sortiert
- Maximale relative Min-Max-Streuung = 12% (Mode 11)
- Reduktion um max. 9%, Erhöhung um max. 3% gegenüber Referenzimperfektion

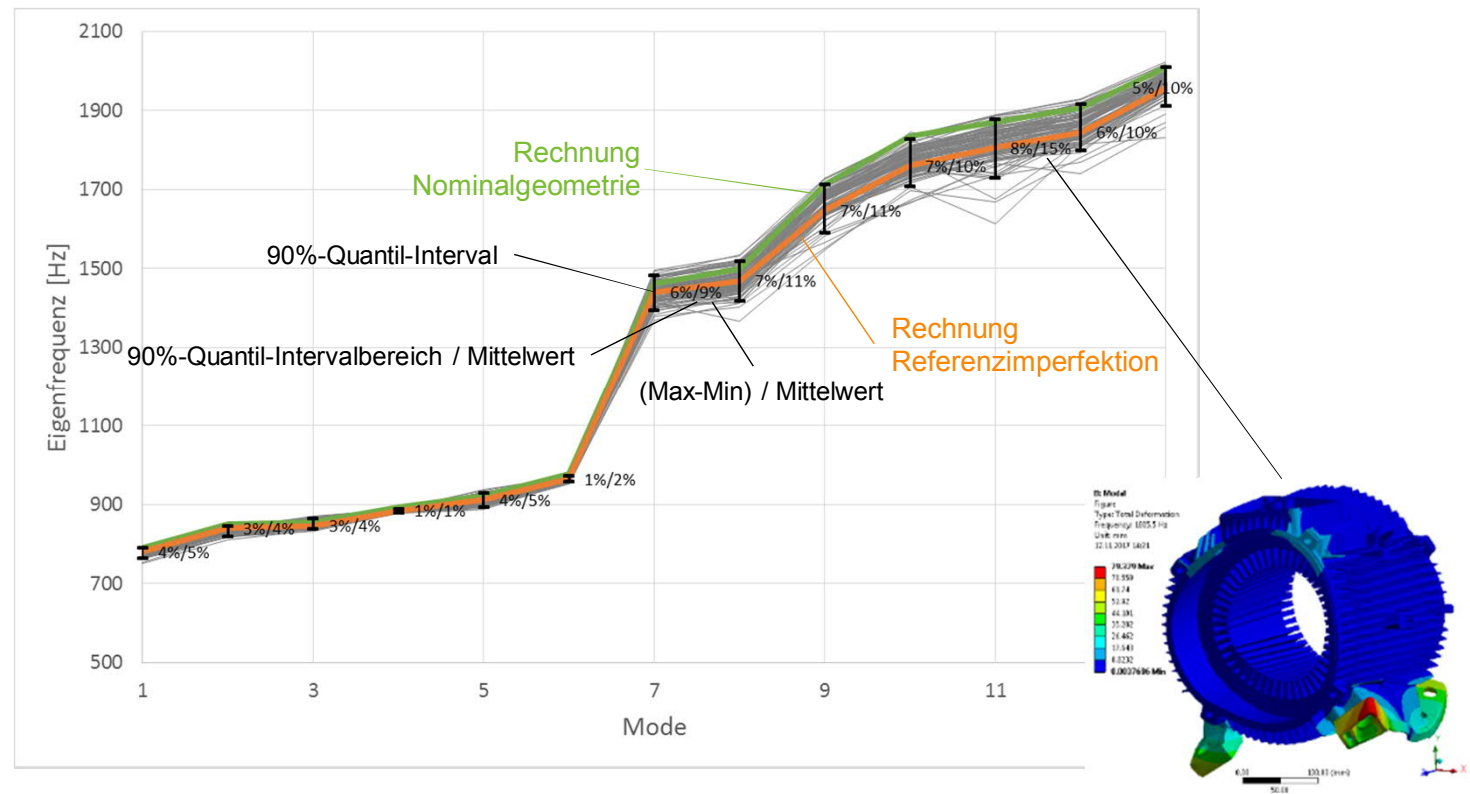




- Modellierung
- Nominalgeometrie und Referenzimperfektion
- Beschreibung des Workflows
- Robustheitsanalyse 1: Geometrievariation
- **Robustheitsanalyse 2: Geometrie- & Materialvariation**
- Zusammenfassung

Ergebnisse – Robustheit 2: Geometrie- & Materialvariation

- Moden gemäß MAC shape tracking sortiert
- Maximale relative Min-Max-Streuung = 15% (Mode 11)
- Reduktion um max. 11%, Erhöhung um max. 4% gegenüber Referenzimperfektion



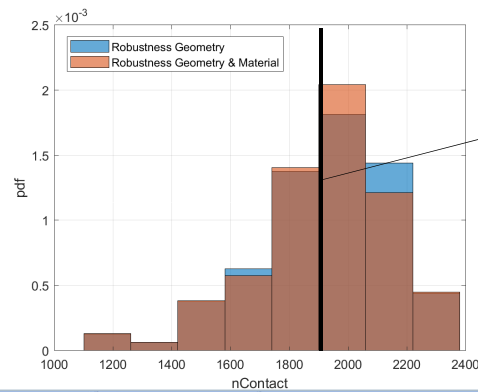
Ergebnisse – Robustheit 1 vs. Robustheit 2

- Ähnliche Verteilung, 5%- und 95%-Quantile äquivalent

Robustheit 1: Geometrievariation

Robustheit 2: Geometrie- & Materialvariation

Anzahl Elemente in Kontakt



Min:	1158	Max:	2341
Mean value:	1920.37	Standard deviation:	232.27
CoV:	0.12095		

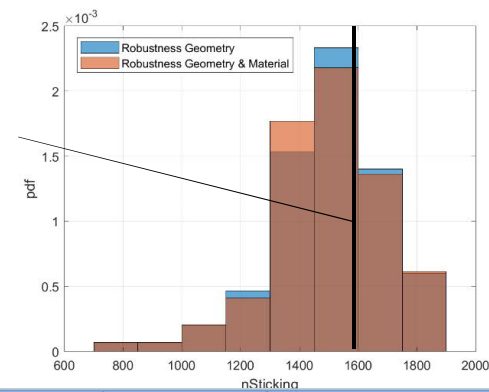
5%-Quantil = 1502 , 95%-Quantil = 2279

Min:	1154	Max:	2342
Mean value:	1916.18	Standard deviation:	232.887
CoV:	0.121537		

5%-Quantil = 1511 , 95%-Quantil = 2277

Berechnung Referenzimperfektion: 1911
 Berechnung Nominalgeometrie: 3304
 Kontaktelemente Paket gesamt: 4620

Anzahl sticking Elemente



Min:	798	Max:	1880
Mean value:	1503.04	Standard deviation:	198.836
CoV:	0.132289		

5%-Quantil = 1216 , 95%-Quantil = 1811

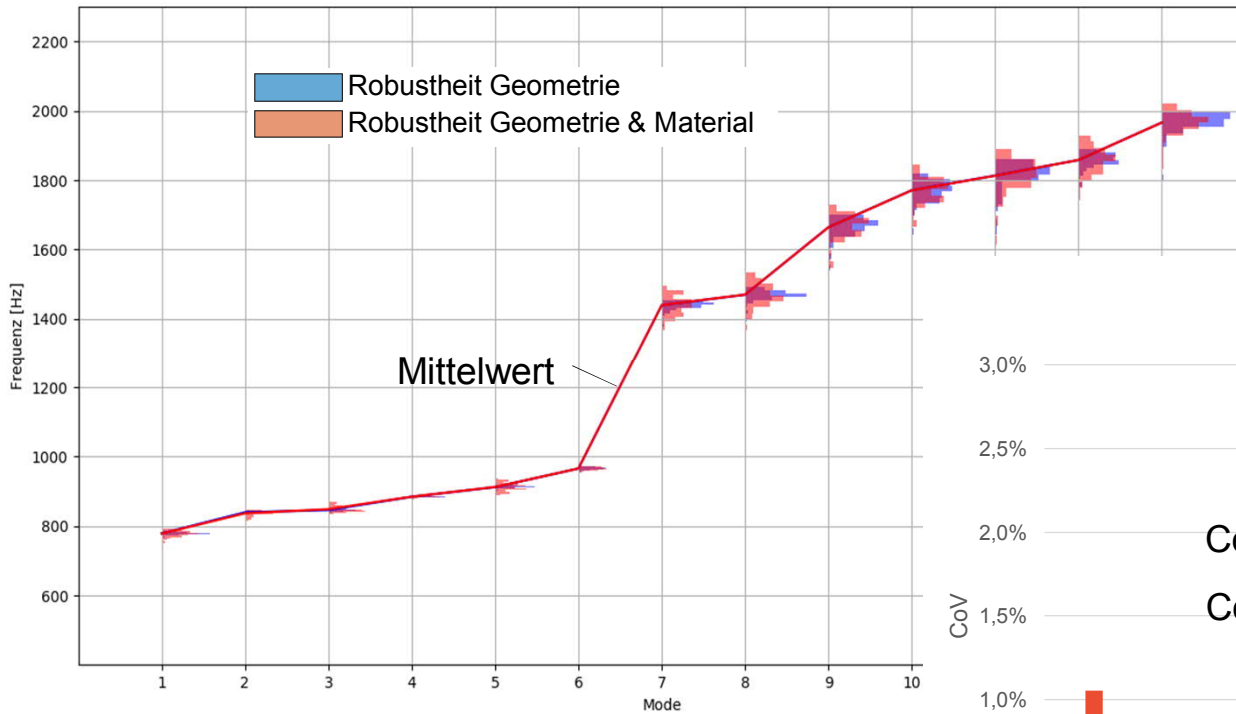
Min:	788	Max:	1881
Mean value:	1497.66	Standard deviation:	200.825
CoV:	0.134092		

5%-Quantil = 1219 , 95%-Quantil = 1801

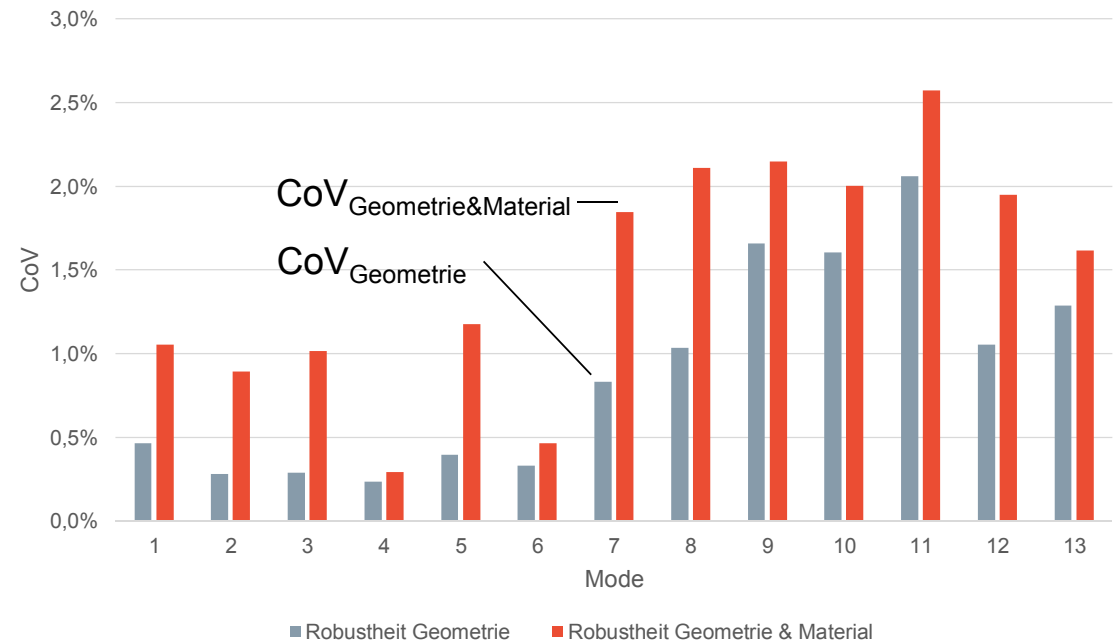
Berechnung Referenzimperfektion: 1594
 Berechnung Nominalgeometrie: 2526

Rechnung
Referenzimperfektion

Ergebnisse – Robustheit 1 vs. Robustheit 2

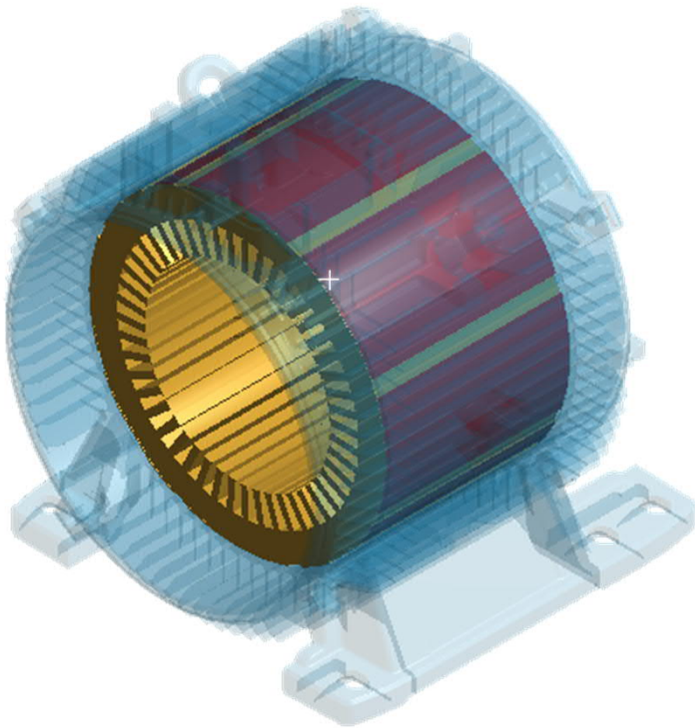


Variationskoeffizient CoV



$$CoV = \frac{\sigma}{\mu}$$

σ : Standardabweichung
 μ : Mittelwert



- Modellierung
- Nominalgeometrie und Referenzimperfektion
- Beschreibung des Workflows
- Robustheitsanalyse 1: Geometrievariation
- Robustheitsanalyse 2: Geometrie- & Materialvariation
- **Zusammenfassung**

Ergebnisse – Robustheit 1 vs. Robustheit 2

	Statische Analyse (Herstellung Pressverband)	Modalanalyse
Nominalgeometrie vs. Referenzimperfektion	Referenzimperfektion: Reduzierung von Radialkraft (Faktor 0.64) und Kontaktfläche (Faktor 0.33)	Referenzimperfektion: Reduzierung der ersten 13 Eigenfrequenzen zw. 1 und 4%
Robustheit 1: Geometrievariation	<ul style="list-style-type: none"> • Mittelwerte ~ Referenzimperfektion • CoV Kontaktfläche, Radialkraft etc. zw. 12 und 17% 	<ul style="list-style-type: none"> • Mittelwerte ~ Referenzimperfektion • Streubereich d. Eigenfrequenzen zw. 1 und 12%
Robustheit 2: Geometrie- & Materialvariation	<ul style="list-style-type: none"> • Mittelwerte ~ Referenzimperfektion • CoV Kontaktfläche, Radialkraft etc. zw. 12 und 17% 	<ul style="list-style-type: none"> • Mittelwerte ~ Referenzimperfektion • Streubereich d. Eigenfrequenzen zw. 1 und 15%
	Geometrievariationen haben wesentlich stärkeren Einfluss auf Kontaktverhalten und Vorspannkraft	Geometrie- <u>und</u> Materialvariationen haben Einfluss auf die Eigenfrequenzen des Systems

Oberflächenscanmessungen der Gehäuseinnenseite: Aufgebracht mittels Meshmorphing (SoS), keine Neuvernetzung notwendig

Einfluss der **Oberflächenvariation** und **Materialvariationen** auf statische und dynamische Systemeigenschaften mittels **Robustheitsanalyse** berücksichtigt (optiSLang & SoS)

Ermittlung der **Schwankungsbreiten** und **Einflusseparation** Material-Geometrie durch **zwei unterschiedliche Robustheitsanalysen**

Statisches Verhalten durch **Geometrievariation** geprägt
Dynamisches Verhalten durch **Geometrie- und Materialvariation** geprägt

Kontakt

SIEMENS
Ingenuity for life



Marion Ballweg
SIEMENS AG

Vorfeldentwicklung/ Simulation

E-Mail: marion.ballweg@siemens.com
siemens.com