

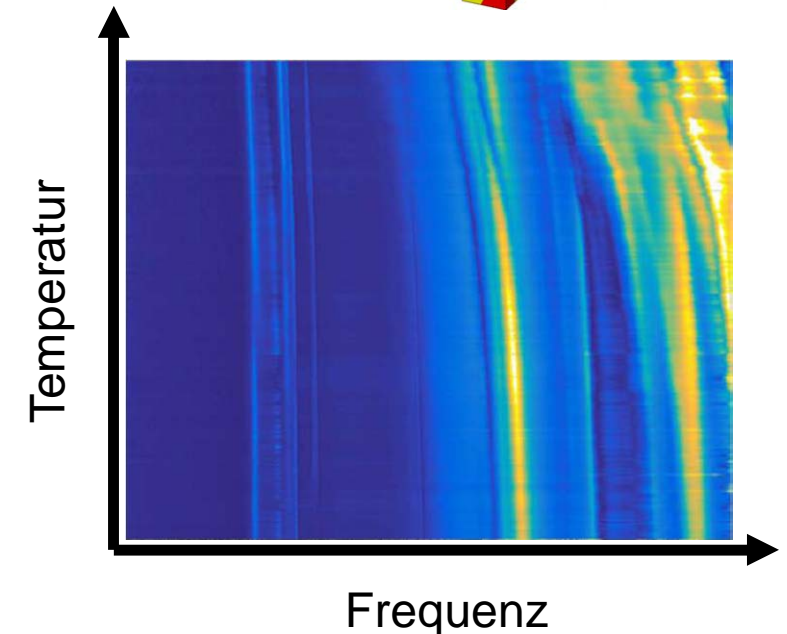
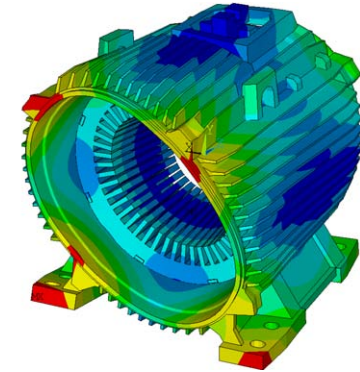
Modellkalibrierung zur dynamischen Simulation des nichtlinearen Verhaltens von Blechpaketen in Elektromotorkomponenten

Motivation

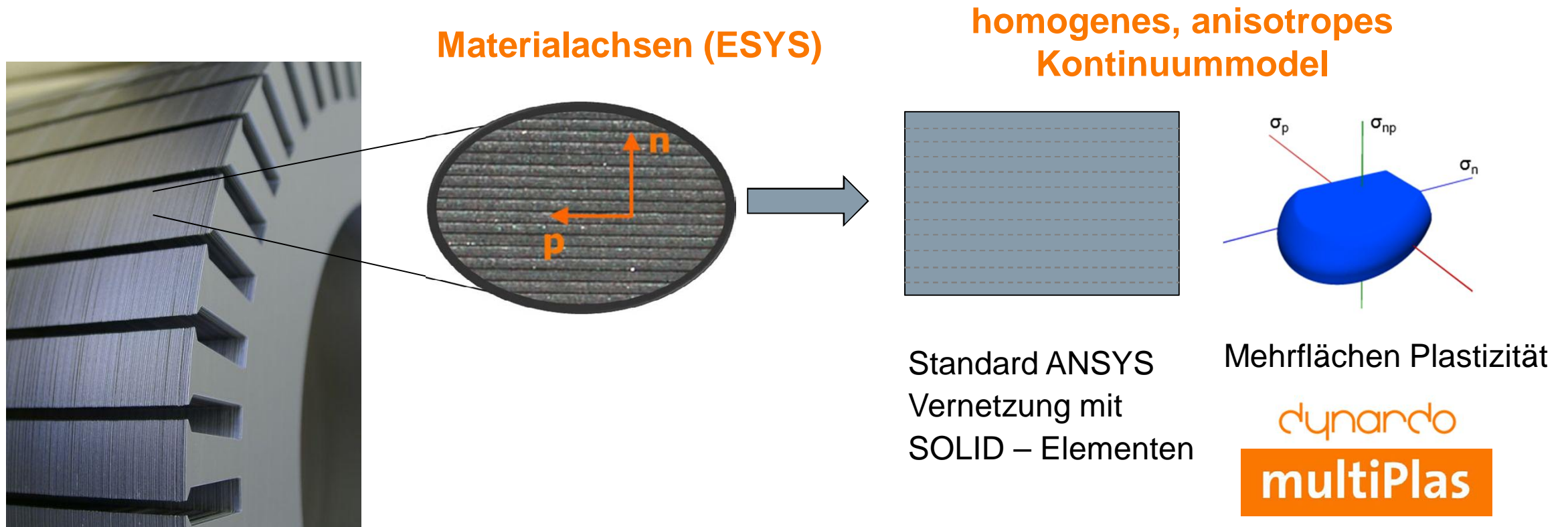
- dynamische Analyse für Laufruhe des Motors, Auslegung der Anschlusspunkte, akustische Performance
- Messungen zeigen die Spannungs- und Temperaturabhängig der dynamischen Kenngrößen (Eigenfrequenzen und Eigenmoden)
- künftig Hardwaretest einsparen durch virtuelle Prüfung

Verwendung eines nichtlinearen, spannungs- und temperaturabhängigen Materialmodells für Blechpaket

SIEMENS
Ingenuity for life



Anisotropes elasto-plastisches Materialmodell für Blechpakete

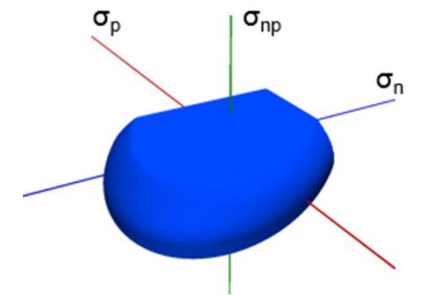
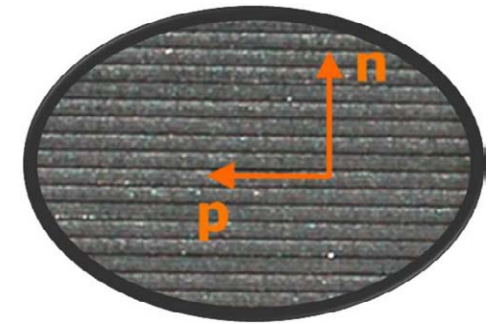


Materialmodell

Anisotropes elasto-plastisches Materialmodell für Blechpakete

Eigenschaften:

- Anisotrope Elastizität: E_n , E_p , ν , G_n , G_p
- multi-lineares Spannungs-Dehnungsverhalten
- Verschiedene Spannungs-Versagenskriterien:
 - Blech, Versagen Grundwerkstoff (v. Mises Fließkriterium)
 - Blech, Beulen (anisotropies Maximalspannungskriterium)
 - Blechkontakt, Schubversagen (Mohr-Coulomb Kriterium)
 - Blechkontakt, Zugversagen (Rankine Kriterium)
- Mögliche Verbindungen der Bleche:
 - loser Reibverbund
 - geklebt, verbacken
 - stanzpaketierte,
 - geklammert, geschweißt
- Temperaturabhängigkeit



dynardo

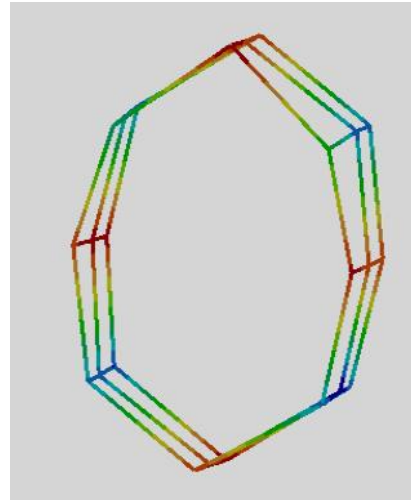
multiPlas

- experimentelle Modalanalysen
- FE-Modellierung
 - Analyseschritte
 - nichtlineare Analyse des Ausgangszustands (Paketherstellung, Pressverband)
 - nichtlineare transiente dynamische (NLTDA) Analyse als Referenzanalyse zur Parameteridentifikation
- Ergebnisextraktion (Eigenfrequenzen, MAC-Werte)
- Automatisierung des CAE-Workflows
- Parameteridentifikation für
 - Blechpaket allein
 - Blechpaket und Gehäuse im Pressverband

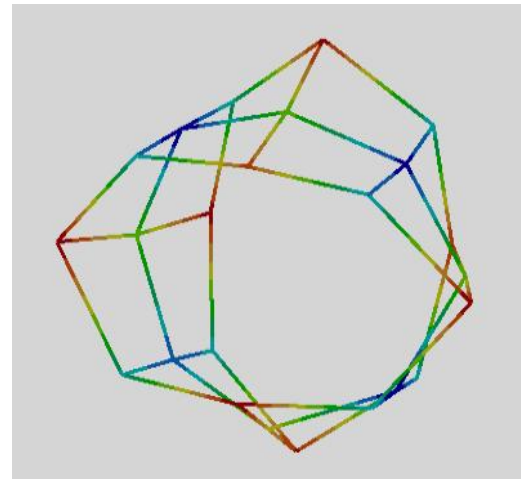
Experimentelle Modalanalysen (EMA) Statorblechpaket – ohne Wicklung



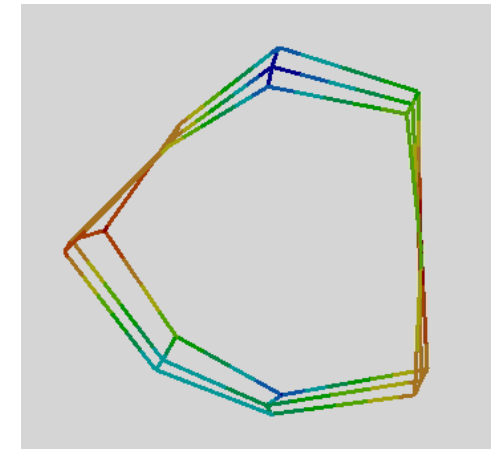
Mode 2



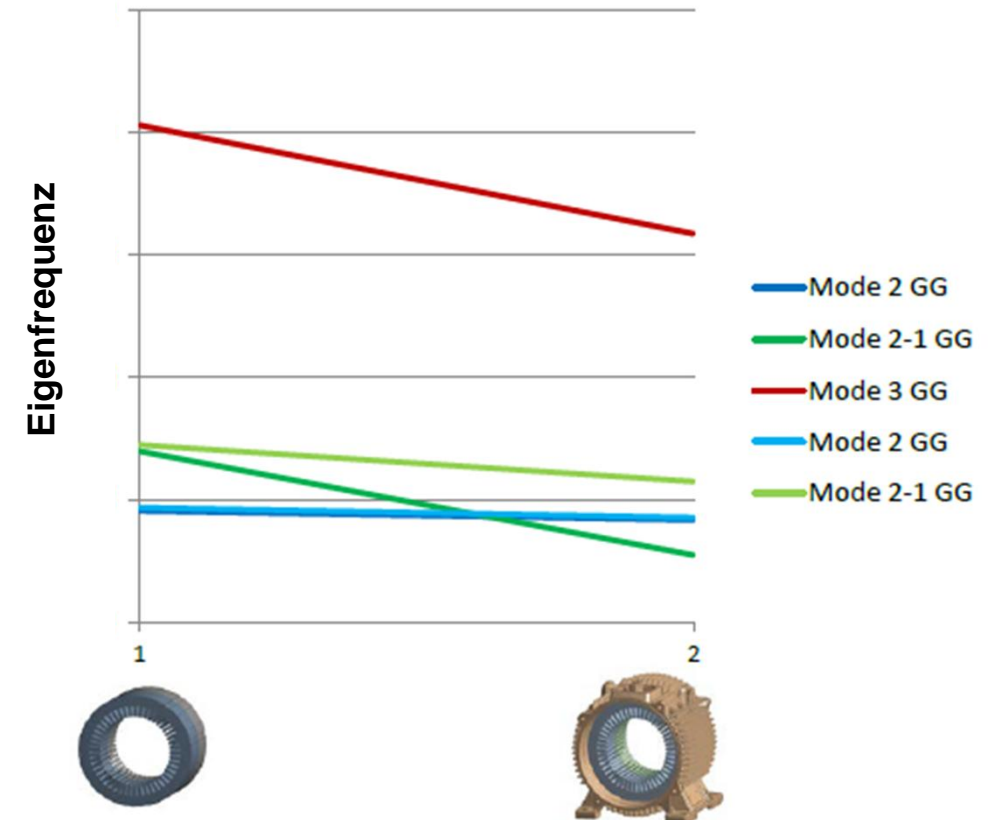
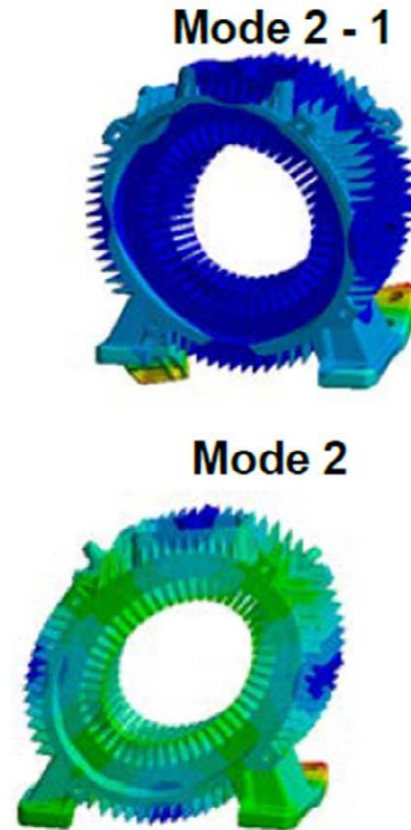
Mode 2-1



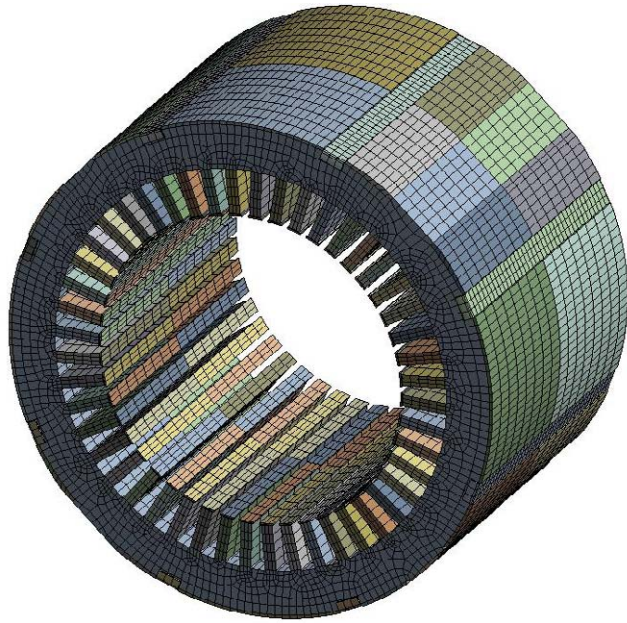
Mode 3



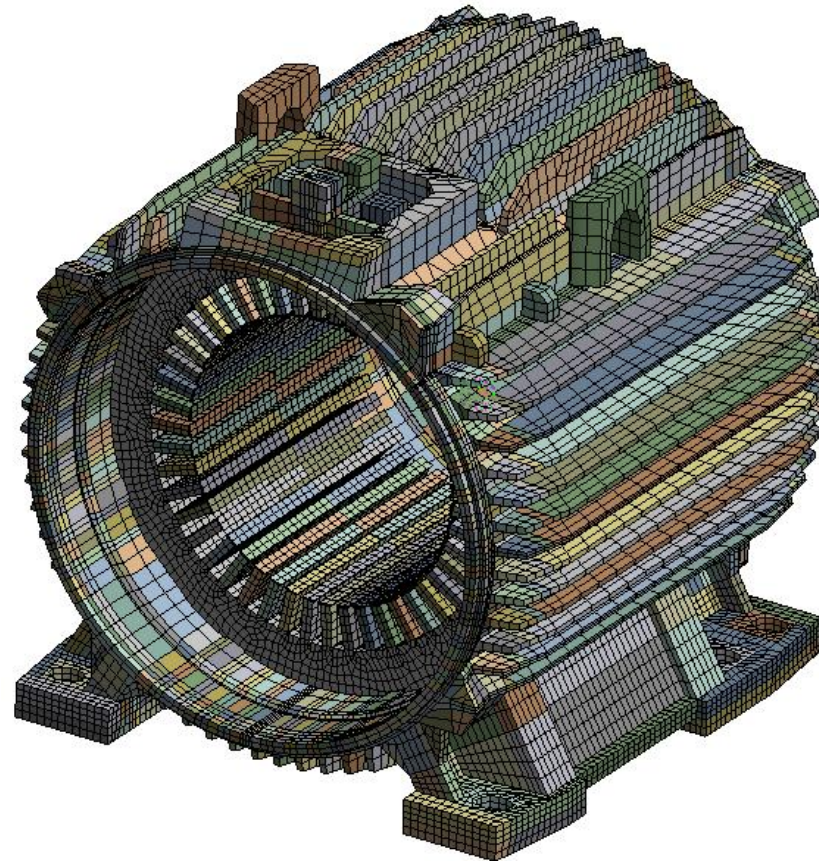
EMA – Gehäuse mit Statorblechpaket



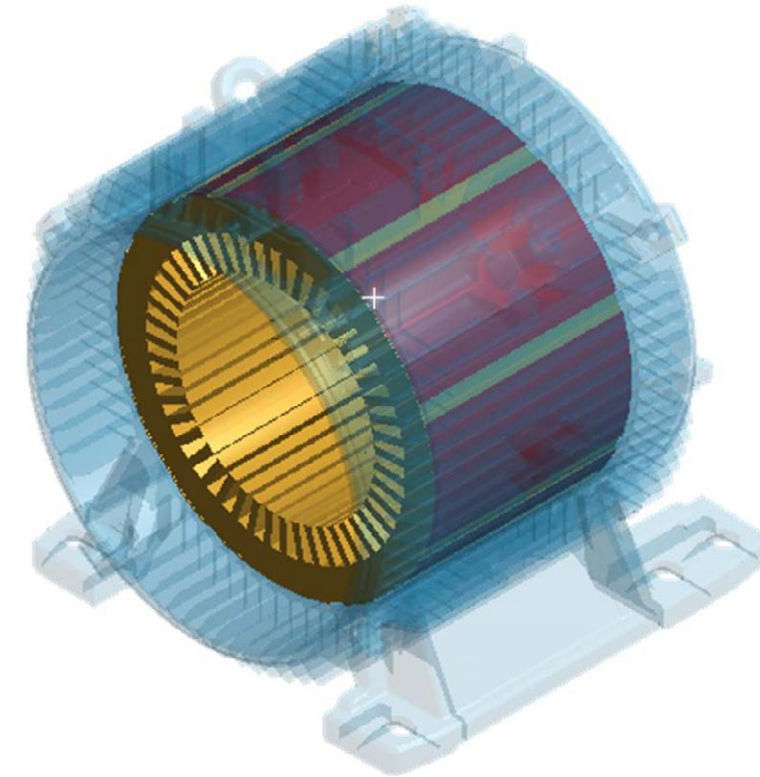
Abhängigkeit der gemessenen Eigenfrequenzen im Vergleich Blechpaket allein und mit Gehäuse



Blechpaket allein

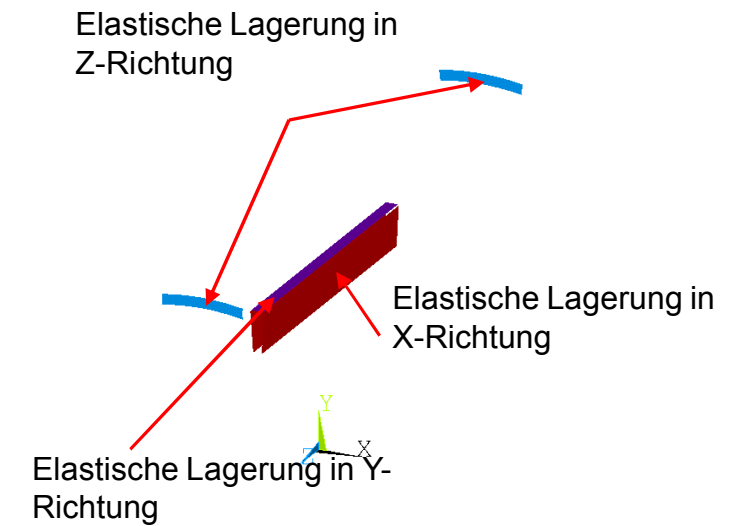
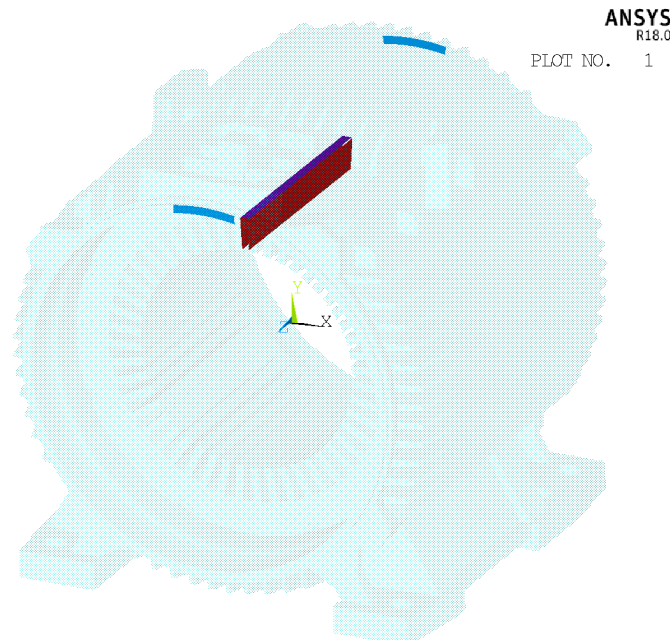


Blechpaket und Gehäuse



Kontaktenelemente mit
Kontakt-offset zur Generierung
des Pressverbands

Randbedingungen entsprechend der EMA

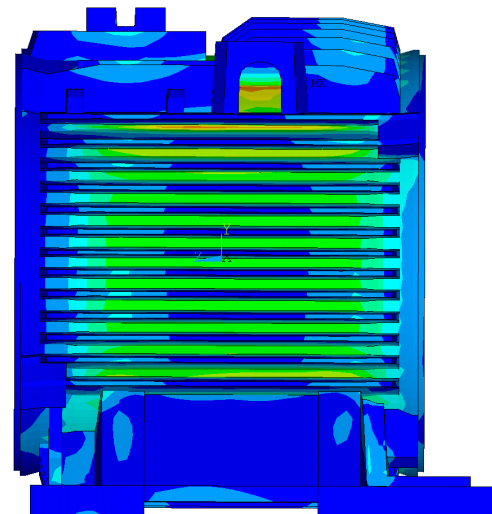
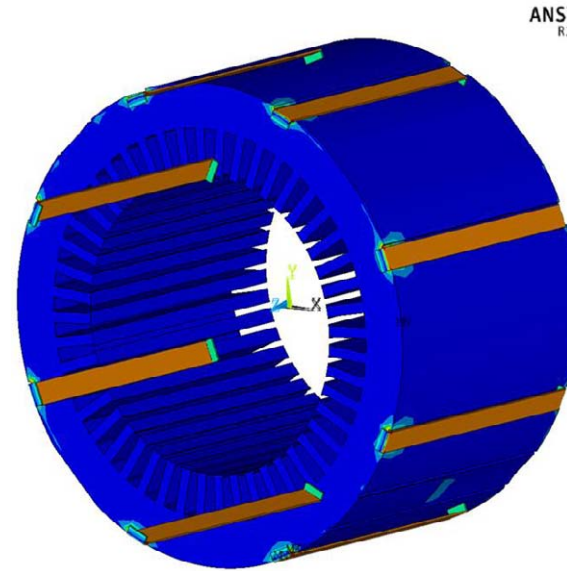


Die Aufhängung wurde mittels Surface 154 -Elementen mit der Option EFS (Elastic Foundation Stiffness) modelliert.

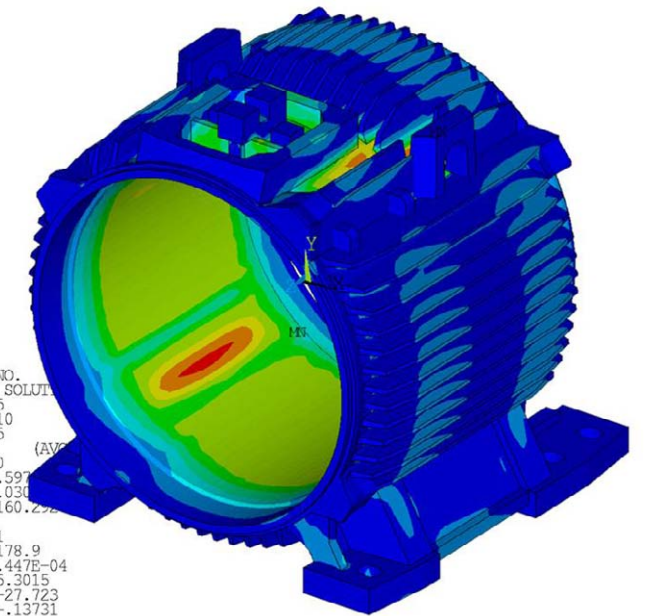
Nichtlineare Analyse des Ausgangszustands (Klammerung, Pressverband)

nichtlineare Lastgeschichteanalyse

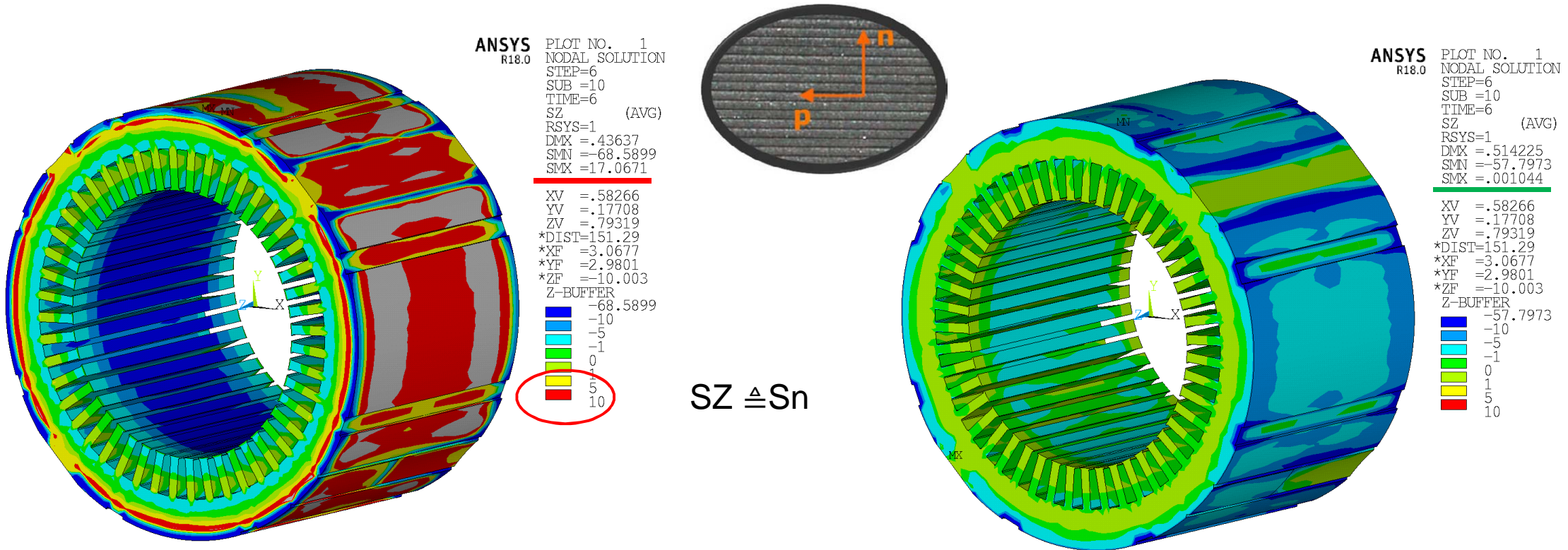
- Initialisierung der Kontakte
- Eigengewicht des Blechpakets
- axiales Zusammendrücken des Blechpakets
- Aktivierung der Klammern
- axiale Entlastung des Blechpakets
- Initialisierung des Pressverbands



ANSYS R18.0 PLOT NO.
NODAL SOLUTION
STEP=6
SUB =10
TIME=6
SECV (AVG)
RSYS=0
DMX =.597
SMN =.030945
SMX =160.292
XV =1
*DIS=178.9
*XF =.447E-04
*YF =6.3015
*ZF =-27.723
A-ZS=-13731
Z-BUTTER
.030945
17.8377
35.6444
53.4512
71.2579
89.0647
106.871
124.678
142.485
160.292



Vergleich der Axialspannungen (MPa) im Blechpaket nach Aktivierung des Pressverbands (LS 6)

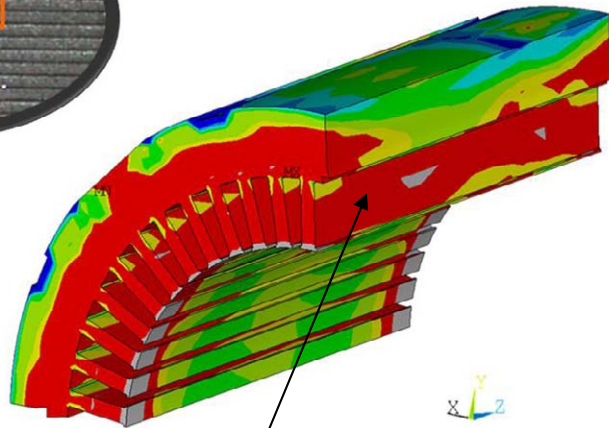
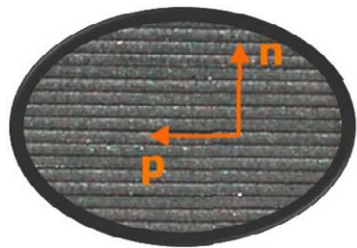


Berechnung mit linear elastischem Materialmodell führt zu unrealistisch hohen Zugspannungen senkrecht zu den Blechfugen

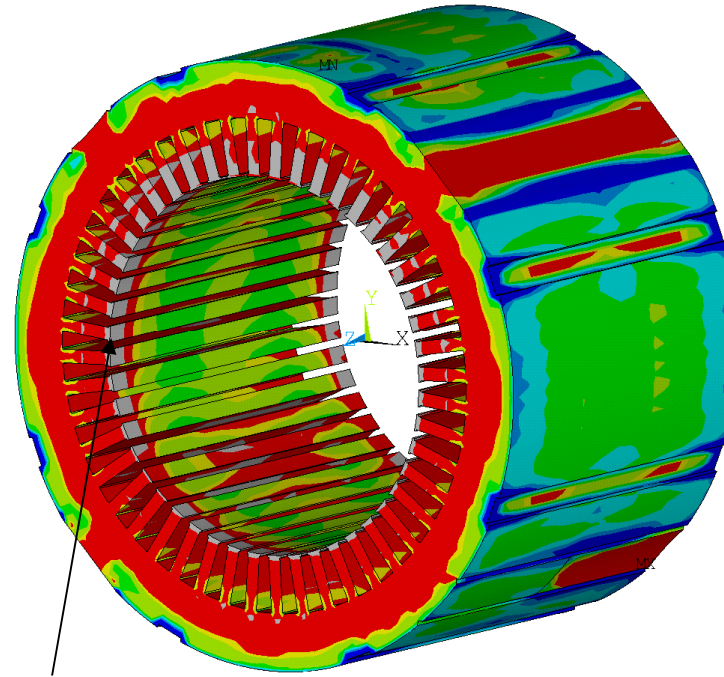
Berechnung mit nichtlinearem Materialmodell mit realistischer Verteilung der axialen Spannungen

Ergebnisse mit nichtlinearem Materialmodell

Axialspannungsverteilung S_n (MPa) im Blechpaket nach Aktivierung des Pressverbands (LS 6)



axiale Zugspannungsrelaxation
erfolgt auch im Inneren der
Blechpaketstruktur



typisches Auffächern des Blechpakets an der Innenseite

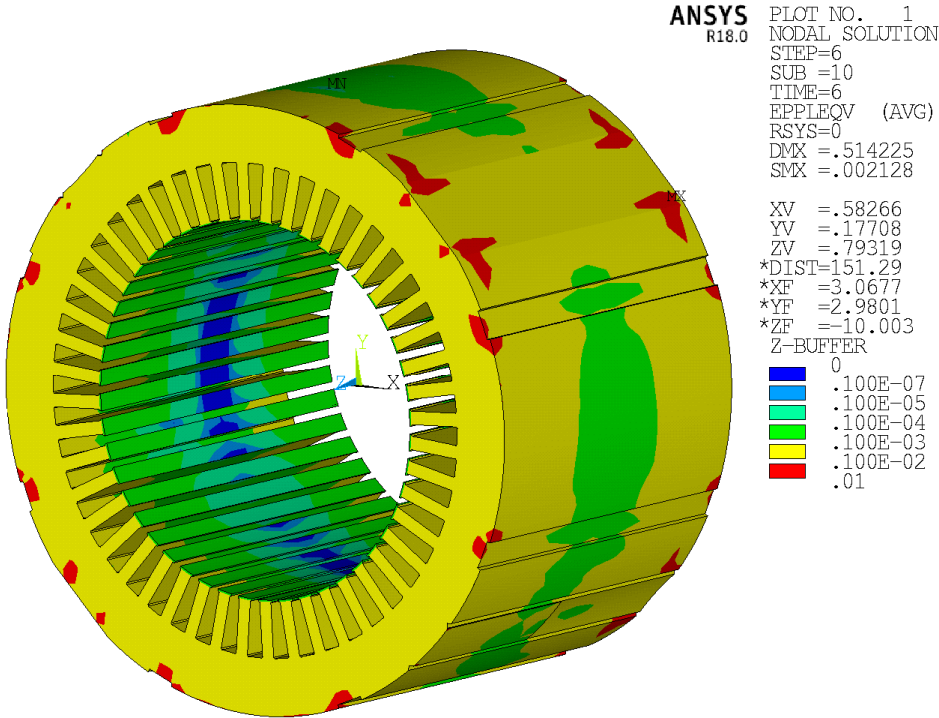
ANSYS R18.0 PLOT NO. 1
NODAL SOLUTION
STEP=6
SUB =10
TIME=6
SZ (AVG)
RSYS=1
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =.514225
SMN =-57.7973
SMX =.001097

XV =.58266
YV =.17708
ZV =.79319
*DIST=151.29
*XF =3.0677
*YF =2.9801
*ZF =-10.003
Z-BUFFER
-57.7973
-10
-7.5
-5
-2.5
-1
-.5
.100E-02

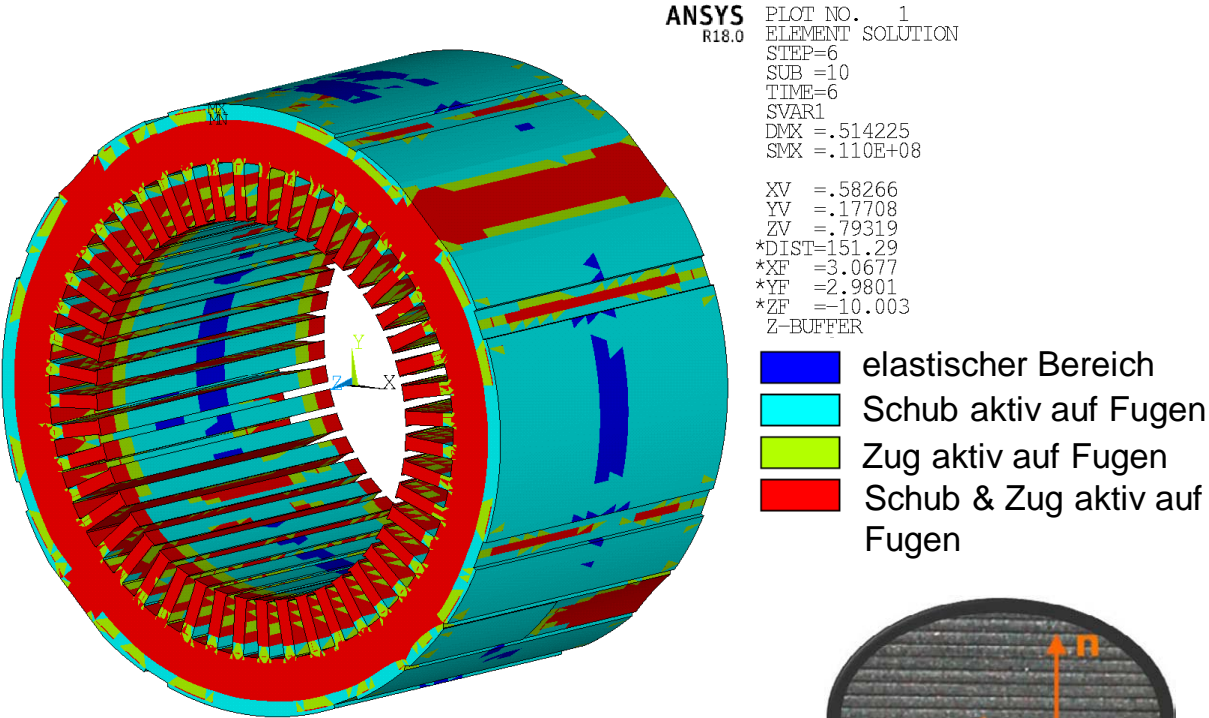
Nichtlineare Analyse des Ausgangszustands (Pressverband)

Ergebnisse mit nichtlinearem Materialmodell

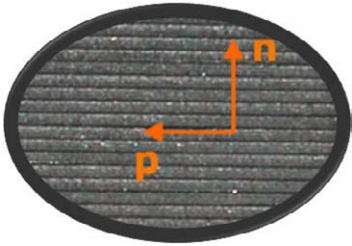
Plastische Bereiche im Blechpaket nach Aktivierung des Pressverbands (LS 6)



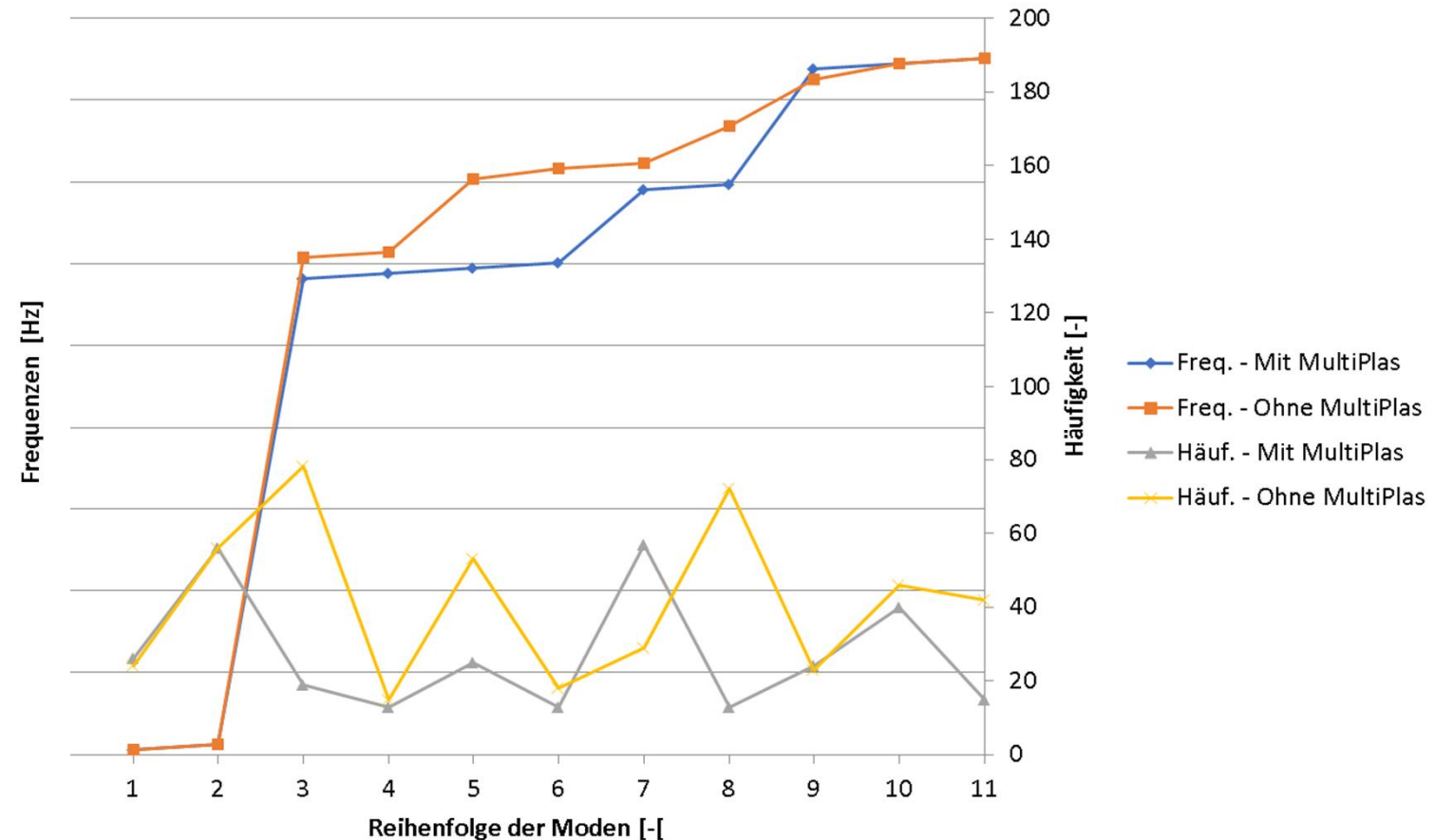
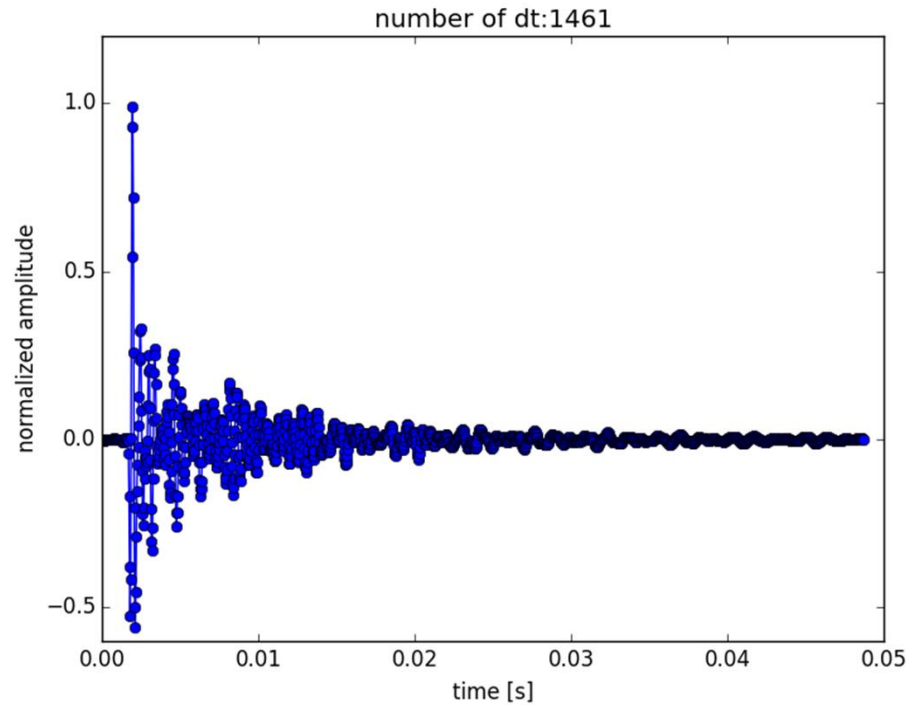
äquivalente plastische Dehnungen



plastische Aktivitäten



Nichtlineare transiente dynamische Analyse (NLTD) Referenzanalyse für Parameteridentifikation



Berechnete Frequenzen der NLTD liegen erwartungsgemäß unter denen der LTDA.



Ergebnis:

- Im Zeitbereich
 - Hammersignal
 - Antwortsignal an Messpunkten
- Koordinaten der Messpunkte
- .csv (Beschleunigungen)

Ergebnis:

- Im Frequenzbereich
 - Eigenfrequenzen / Dämpfung
 - Eigenvektoren
 - Wireframe der Messpunkte
- .uff (universal file format)

Ergebnis:

- Eigenfrequenzen
- MAC-Werte
- mac.txt

Parameteridentifikation - Inputparameter

linear- elastische Parameter

- E-Modul Axial (Richtung Z)
- E-Modul Transversal (Richtung X+Y)
- Querdehnzahl (Richtungen YZ und XZ)
- Querdehnzahl (Richtung XY)
- Schubmodul (Richtungen YZ und XZ)
- Schubmodul (Richtung XY)

nichtlineare Parameter

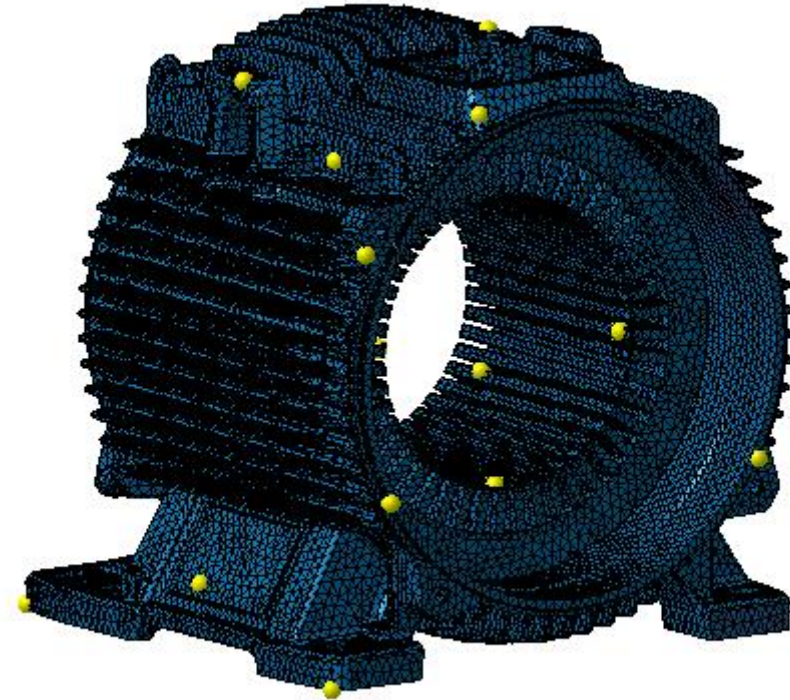
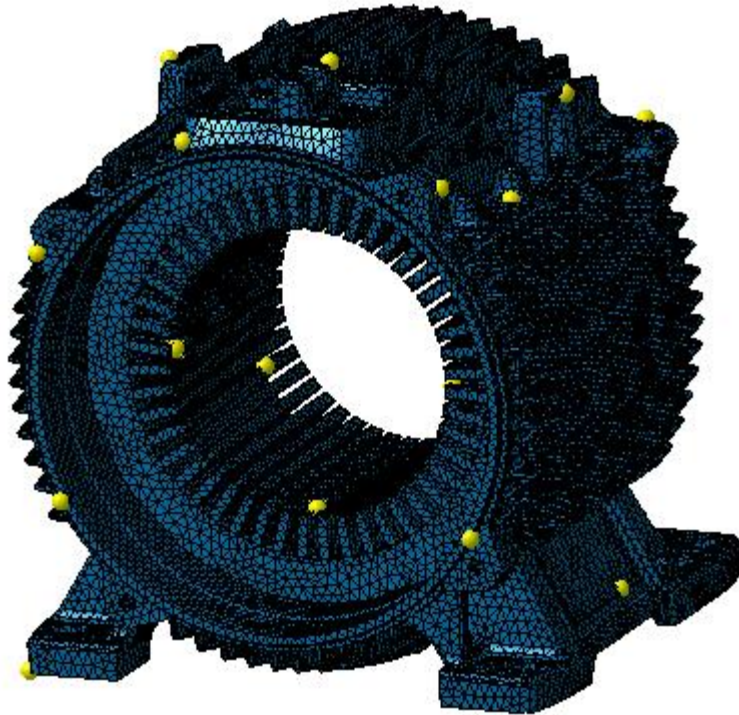
- Reibungswinkel
- Rest-Reibungswinkel
- Kohäsion
- Rest-Kohäsion
- Zugfestigkeit - Tension cut off
- Multiplikationsfaktor - Zugfestigkeit
- Rest-Zugfestigkeit - Tension cut off
- Dilatanzwinkel

Dyn.

- Rayleigh – Dämpfungswert alpha
- Rayleigh - Dämpfungswert beta

Parameteridentifikation - Responseparameter

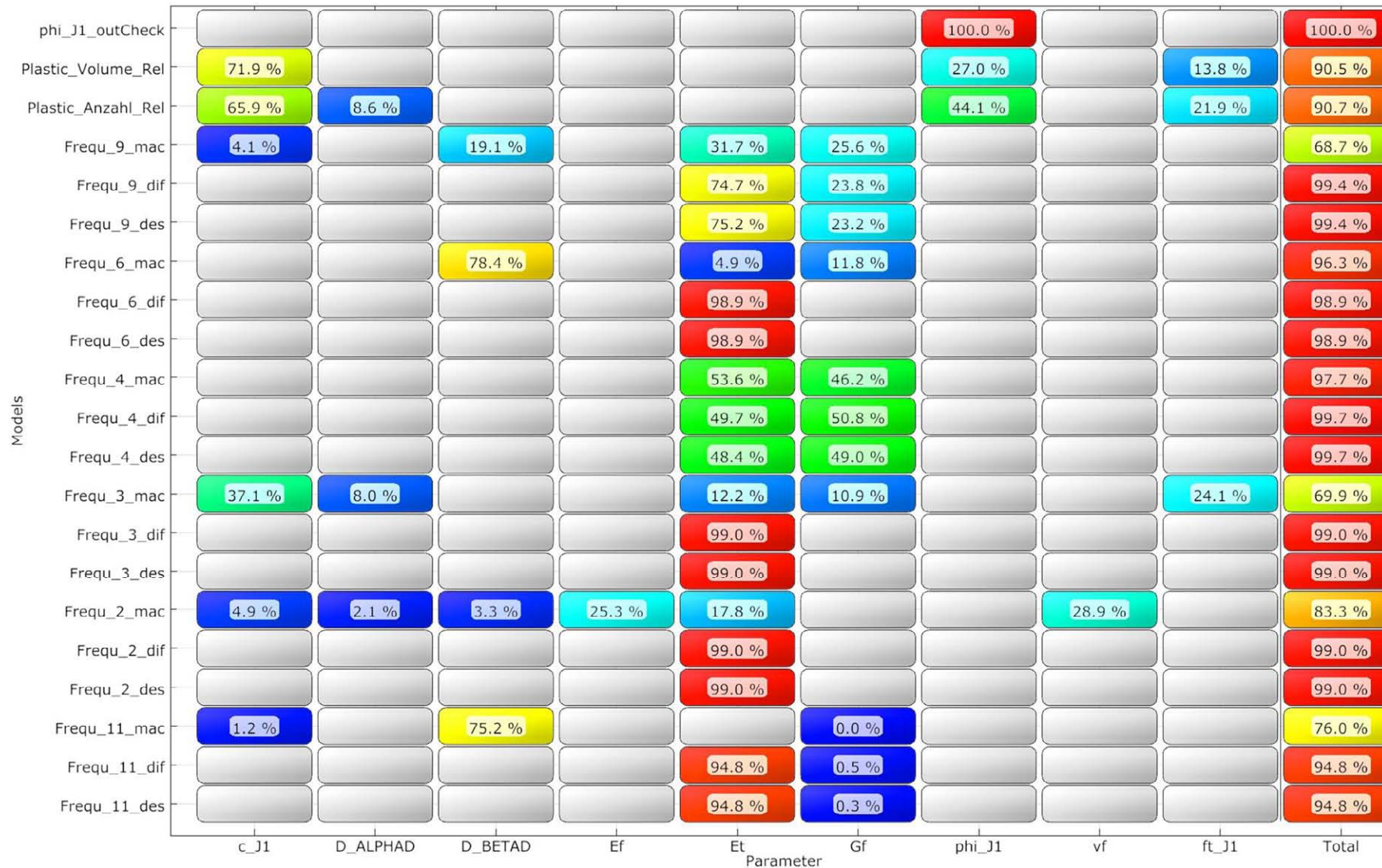
Kontrollpunkte (KP) für die Auswertung



Es werden insgesamt 32 KP definiert:

Für jeden KP werden 3 Komponenten (in globalen Richtungen X,Y,Z) der Beschleunigung exportiert.

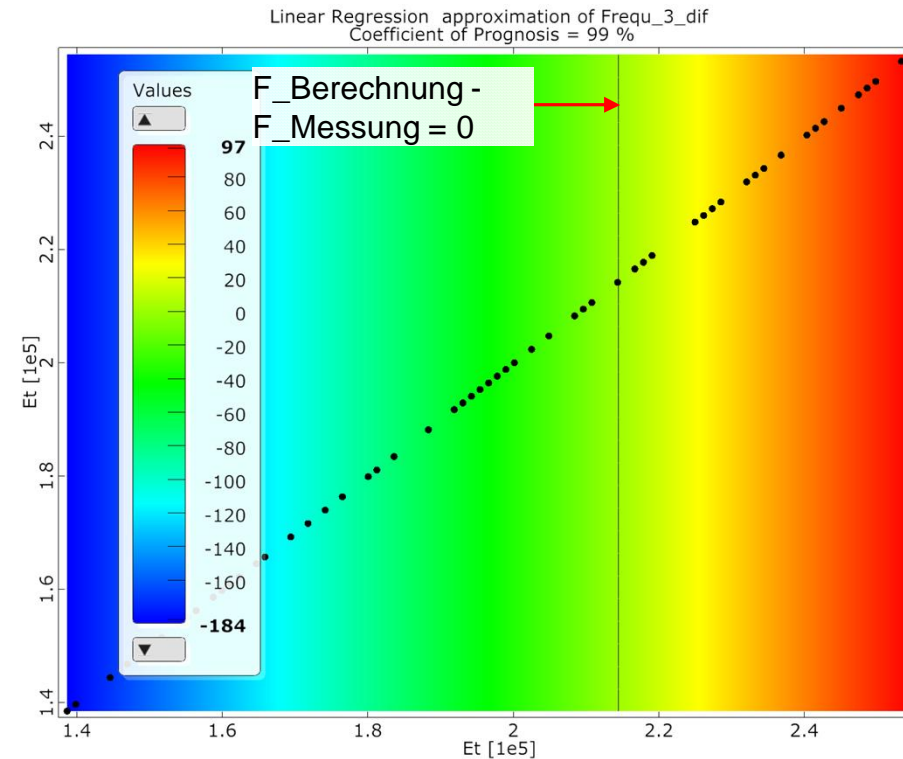
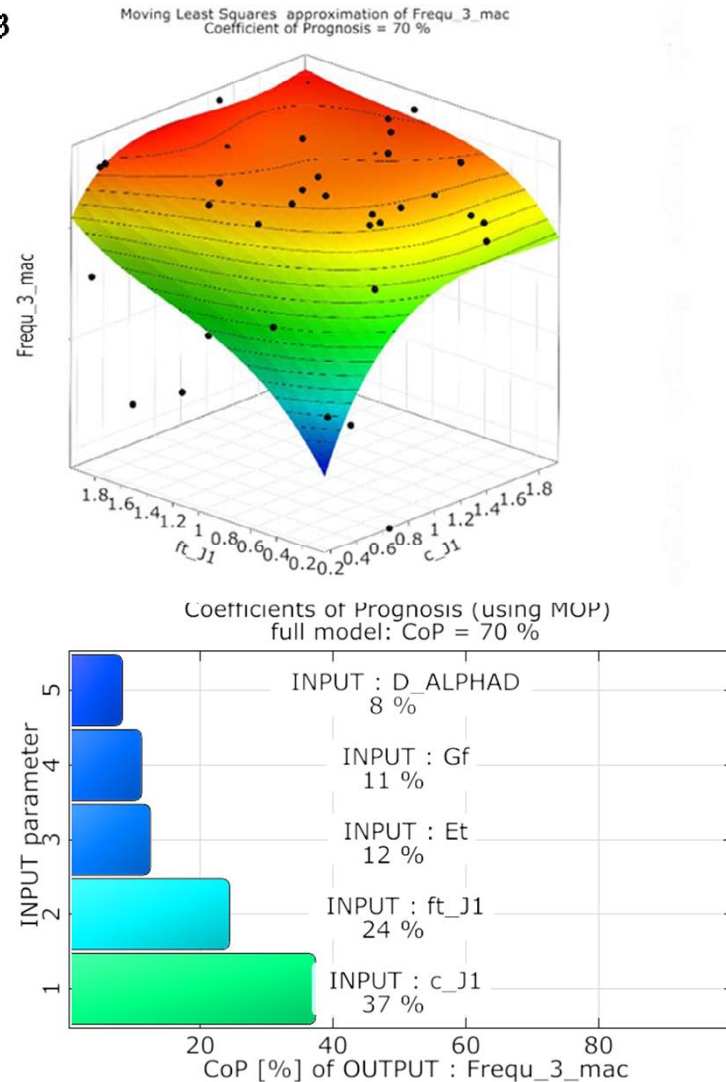
Sensitivitätsanalyse Blechpaket allein – COP Matrix



- Aussortierung von Ausreißern (Gründe:
- teilw. fehlerhafte Ergebnisextraktion,
- große plast. Dehnungen aufgrund zu geringer unt. Parametergrenzen)

Sensitivitätsanalyse Blechpaket allein

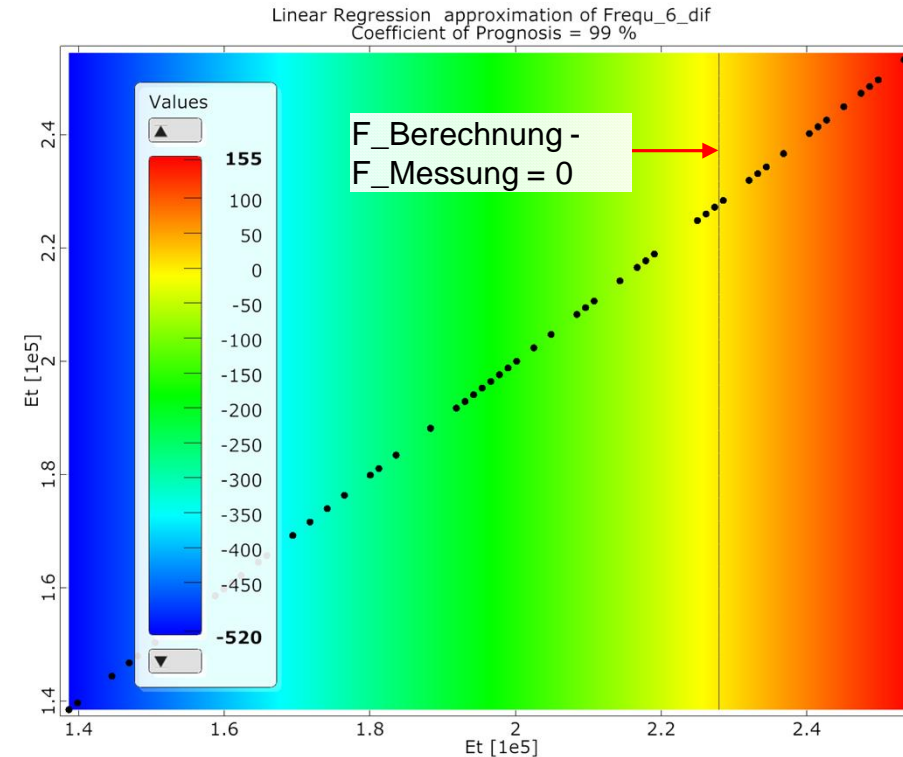
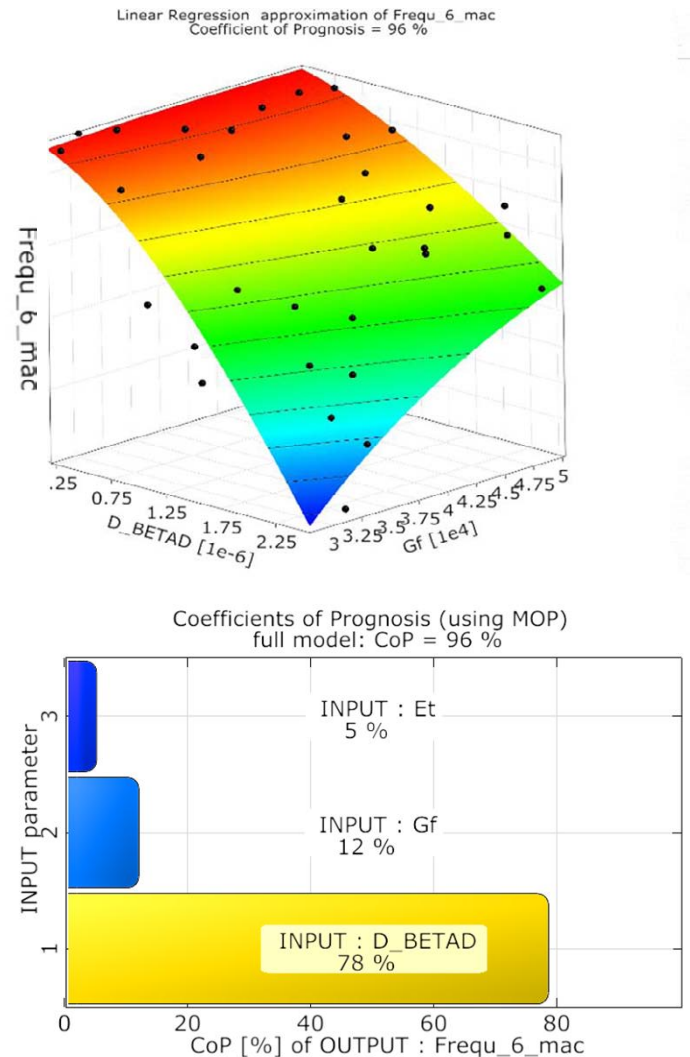
Frequenz 3



- Parameter Frequ_3_Diff hängt nur von Inputparameter Et ab (Erklärbarkeit **99%**)
- Parameter Frequ_3_mac hängt von mehreren Inputparameter ab (Erklärbarkeit **70%**). Die MAC Werte weisen kaum Streuungen auf (**0,2%**)

Sensitivitätsanalyse Blechpaket allein

Frequenz 6



- Parameter Frequ_6_Diff hängt nur von Inputparameter Et ab (Erklärbarkeit **99%**)
- Parameter Frequ_6_mac , hängt von mehreren Inputparameter ab (Erklärbarkeit **96%**). Die MAC Werte innerhalb des optimierten Designraums streuen um **20%** und hängen dominant von **D_BETAD** ab.

Parameteridentifikation Blechpaket allein

Zielfunktion für die Optimierung basiert auf Frequenzdifferenzen und MAC –
Wertdifferenzen der relevanten Moden:

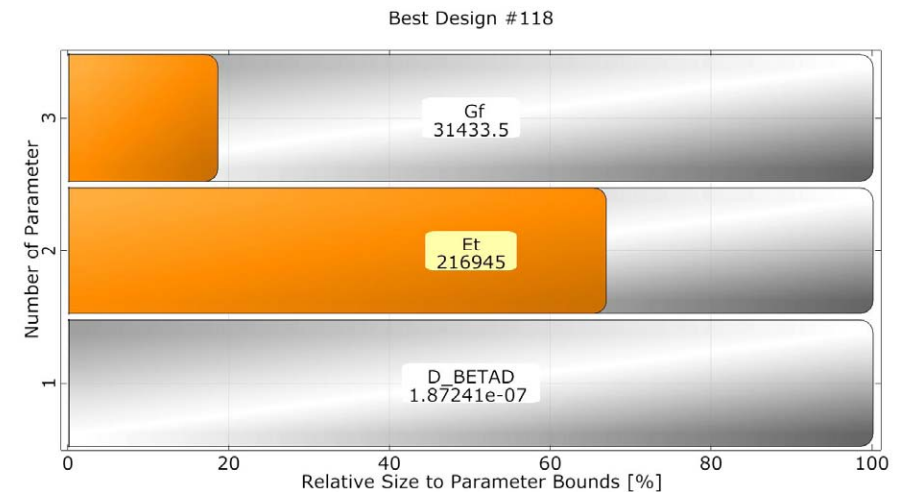
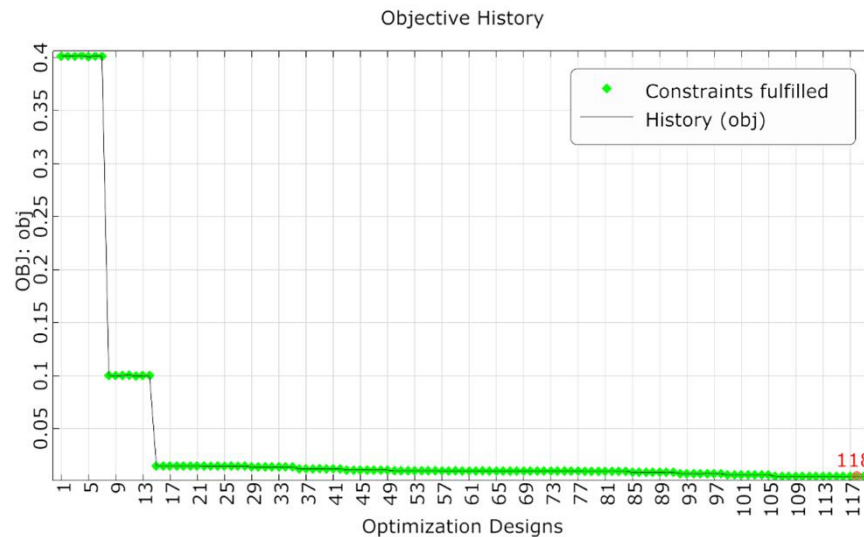
$$\text{Minimieren} \rightarrow \sum_{i=1}^{11} [\alpha * (1 - MAC_{Mi})]^2 + \left(\frac{\Delta F_i}{F_{Ref}}\right)^2$$

i ... über alle Frequenzen/Moden (2, 3, 4, 6, 9, 11)

Mi ... Mode i

ΔF_i ... Frequenzdifferenz i

α ... Multiplikationskoeffizient – zu sichern, dass die in die Zielfunktion eintretenden Werte-
Beiträge von MAC und F in vergleichbaren Größenordnungen liegen. Der erste Vorschlag: $\alpha=1$



Experimentelle Modalanalysen an Blechpaketen im Pressverband mit Gehäusen zeigen Abhängigkeiten der Eigenfrequenzen vom Spannungs- bzw. Temperaturzustand

Der Ansatz der Homogenisierung aus der Kontinuumsmechanik ermöglicht die Vernetzung des Blechpaketes mit Volumenelementen.

Ein nichtlineares, anisotropes Blechpaket-Materialmodell kann die Spannungs- und Temperaturabhängigkeiten der dynamischen Eigenschaften beschreiben.

Die Ergebnisse der experimentellen Modalanalyse konnten durch den aufgebauten CAE-Workflow simulativ nachvollzogen werden.

Kontakt



Marion Ballweg
Vorfeldentwicklung/ Simulation

E-Mail: marion.ballweg@siemens.com

siemens.com