

Probabilistische Untersuchungen von Turbinenschaufeln unter Berücksichtigung von Fertigungstoleranzen

M. Voigt, T. Bischoff[†], K. Vogeler,

Technische Universität Dresden

R. Mücke

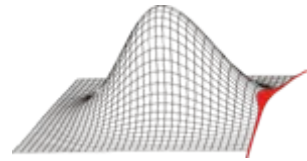
ALSTOM

H. Schlums

Rolls-Royce Deutschland

K. –H. Becker

MTU



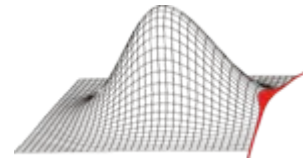
Aussage:

Bei der Herstellung von Turbinenschaufeln treten geometrische Streuungen auf.

Problem:

Wie können diese Streuungen in der probabilistischen Untersuchung berücksichtigt werden?

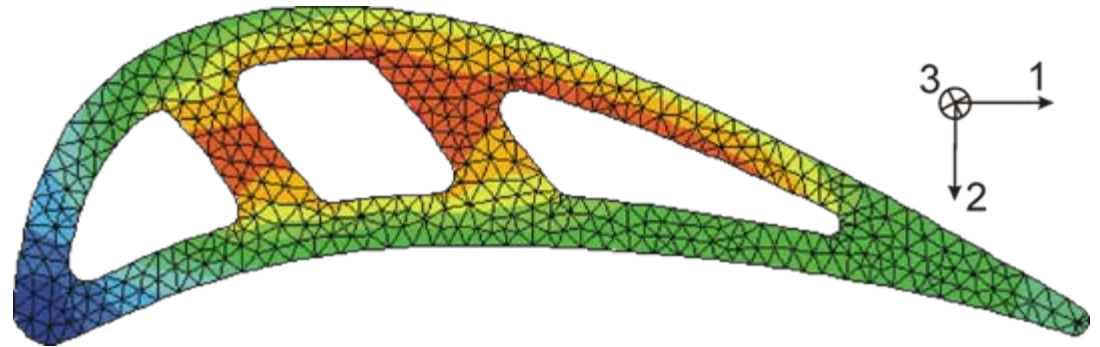
Welche Auswirkung haben diese Streuungen auf die Lebensdauer der Turbinenschaufeln?



Mittelschnitt einer Schaufel der zweite Hochdruckturbinenstufe der Turbine BR 715

FEM-Modelldaten:

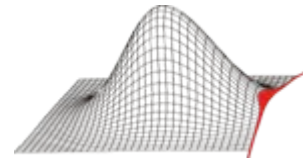
rund 1500 Elemente
und 3000 Knoten



thermische und mechanische Belastungen

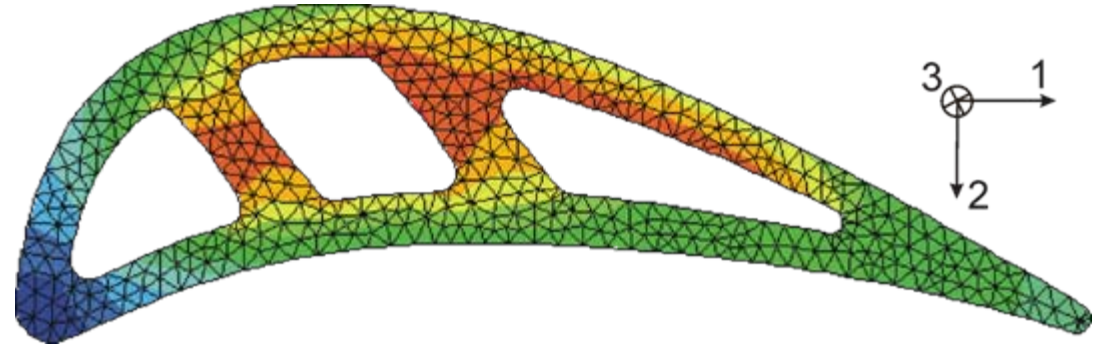
Probabilistische Eingangsgrößen:

E-Modul, Wärmeleitfähigkeit, Ausdehnungskoeffizient, spezifische Wärmekapazität, LCF-Materialdaten (Wöhlerlinie), Zentrifugalkraft, Verschiebungen der Kühlkanäle



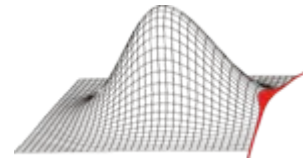
Parameter:

Verschiebung der Kühlkanäle

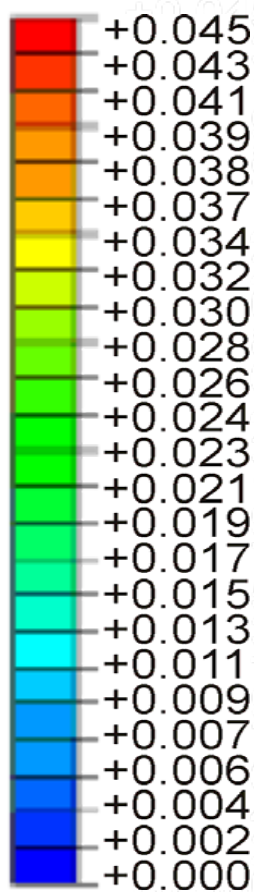


Umsetzung:

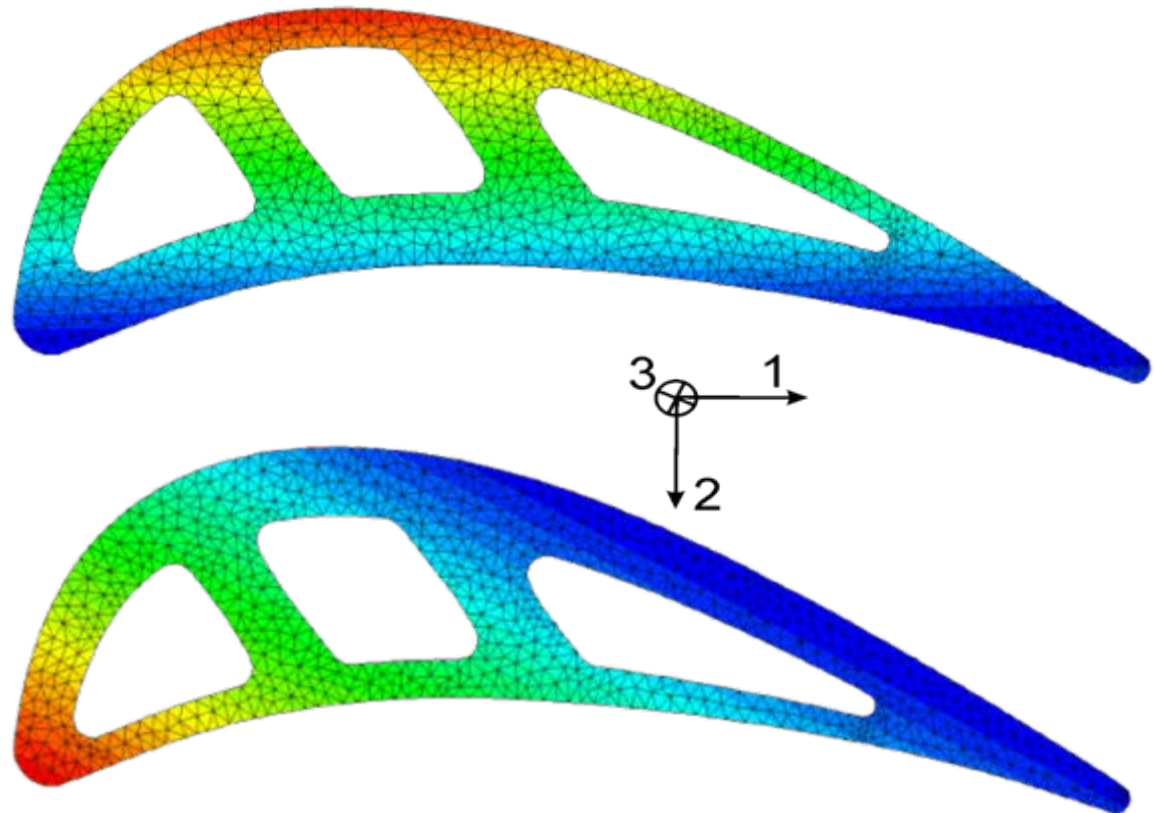
Neuvernetzung des FE-Modells

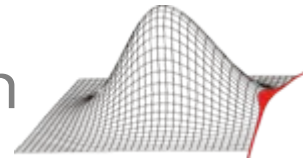


Problem: Die potenziellen Schadensstellen variieren innerhalb der MCS



Vergleichskriechdehnung [%]





Monte-Carlo-Simulation

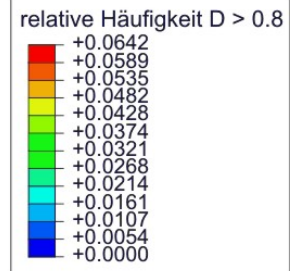
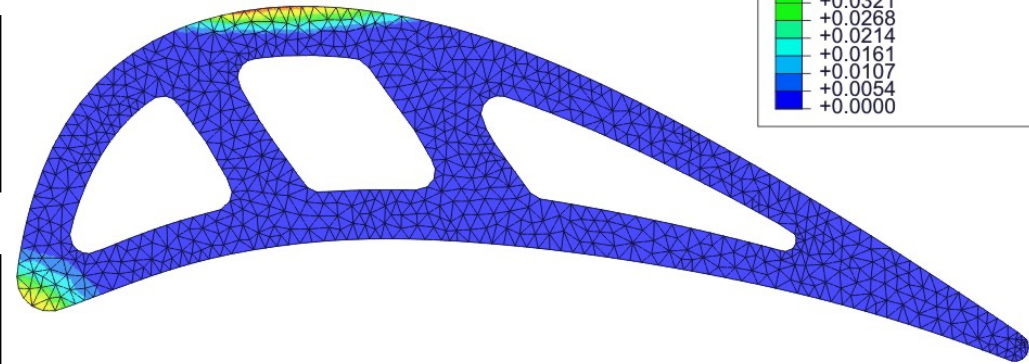
Für jeden Shot der MCS:
Auslesen der gesuchten
Ergebnisgröße (z.B. Zyklenzahl)
an allen Knoten des Modells.

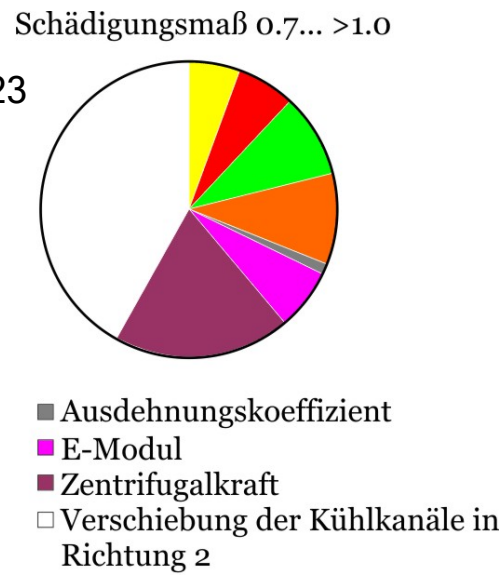
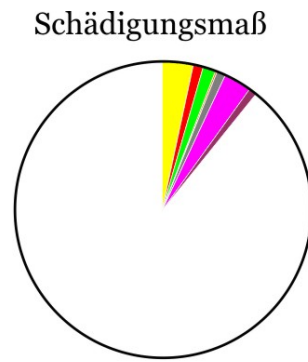
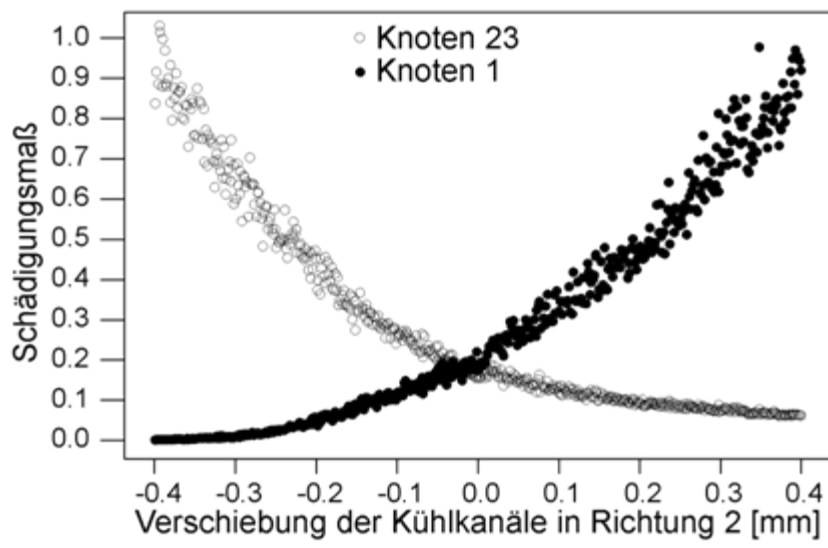
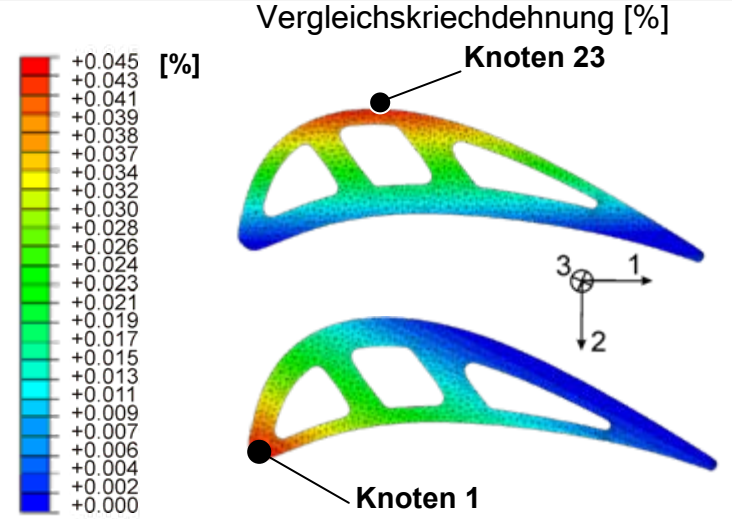
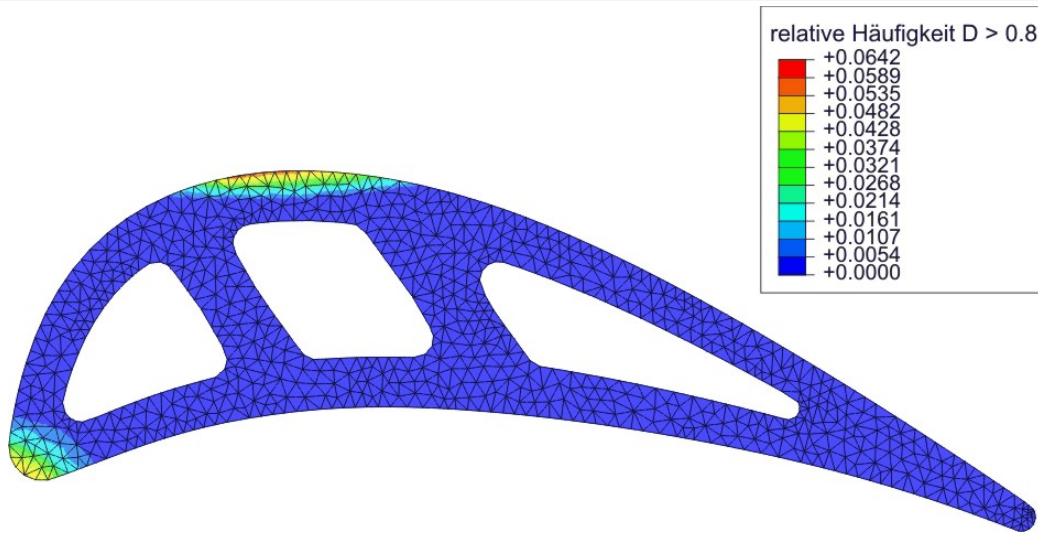
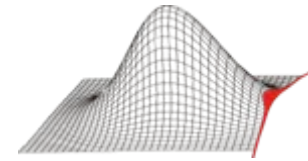
Statistische Auswertung aller
eingeliesenen Werte einzeln für
jeden Knoten.

Ausgabe aller statistischen
Ergebnisse in eine Datei

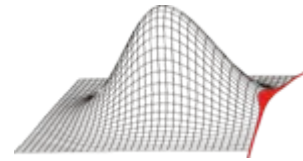
Hinzufügen der statistischen
Werte zu einer vorhandenen
ABAQUS Ergebnis Datenbank
(.odb Format)

**Farbkontur:
Relative Häufigkeit**





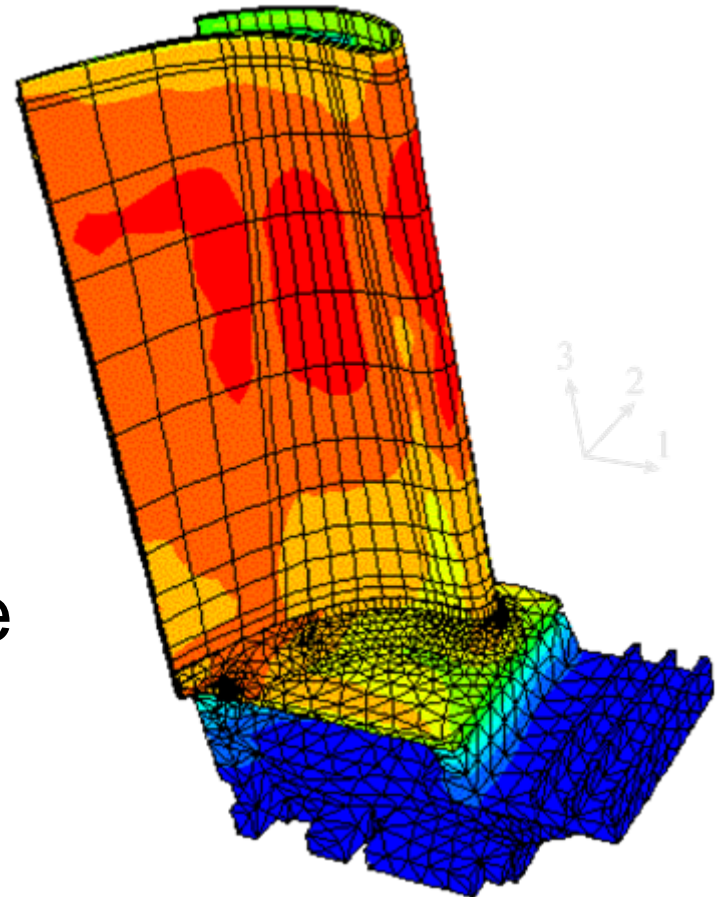
- Wärmeleitfähigkeit
- LCF-Materialdaten
- Wärmespeicherkapazität
- Verschiebung der Kühlkanäle in Richtung 1

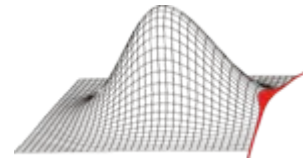


FEM-Modelldaten:

16563 Elemente und
33230 Knoten

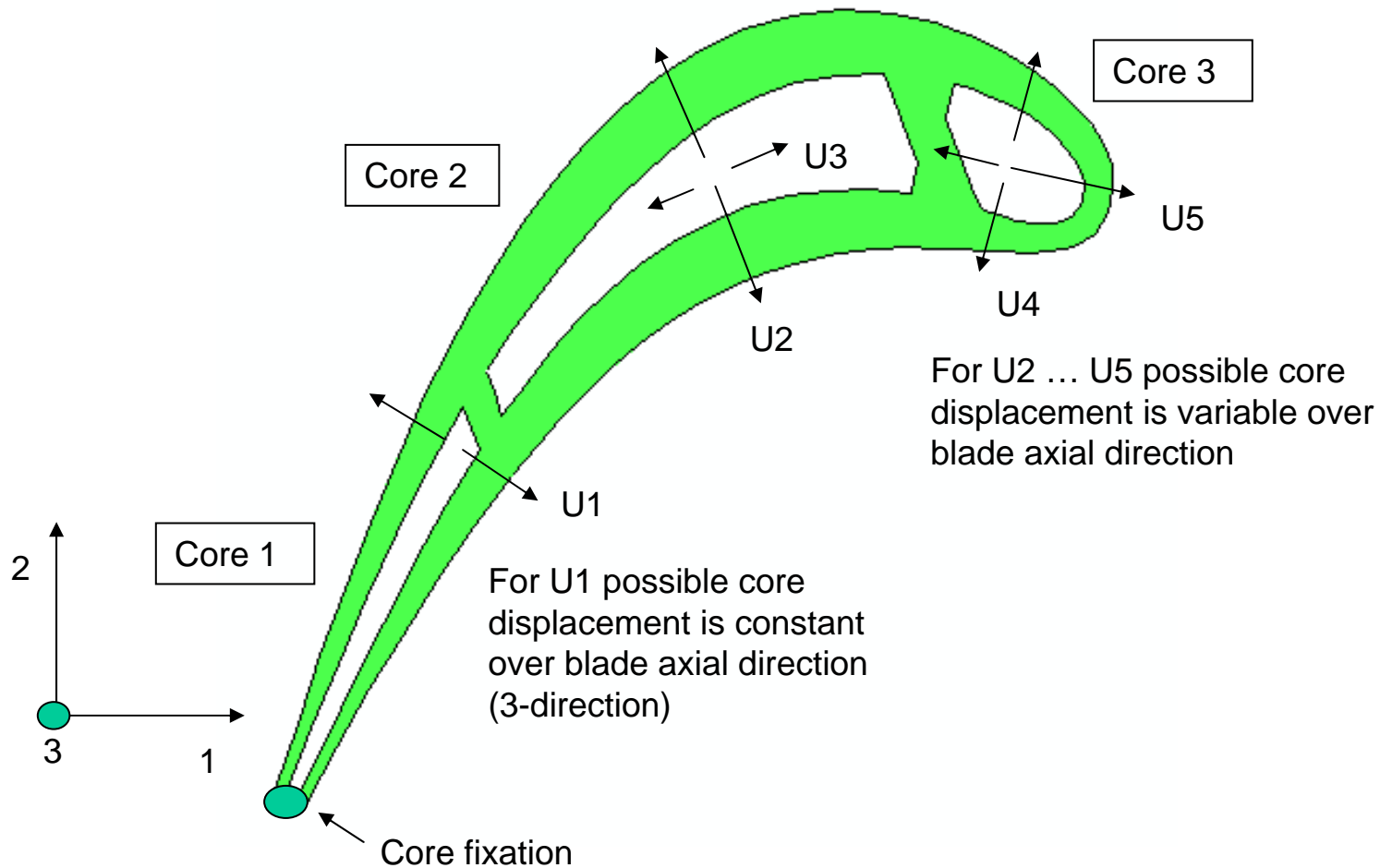
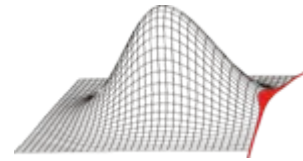
thermische und mechanische
Belastungen

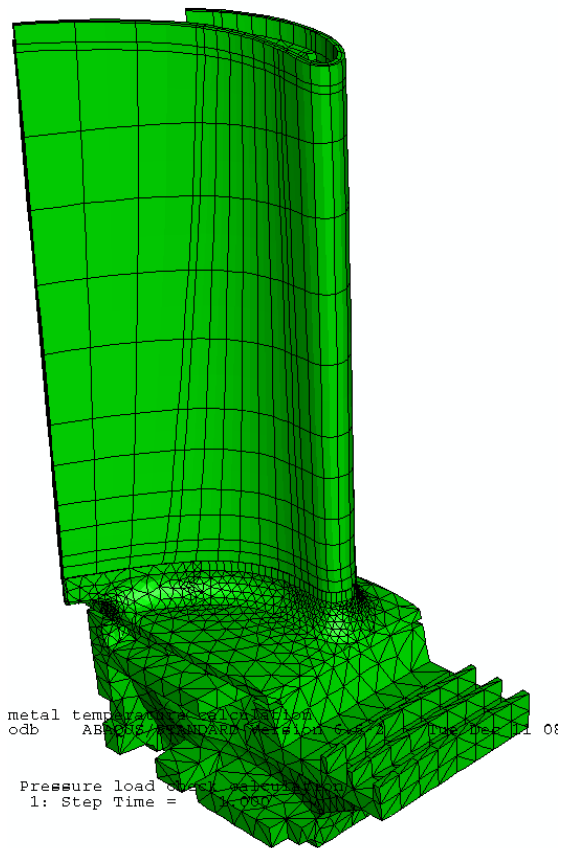
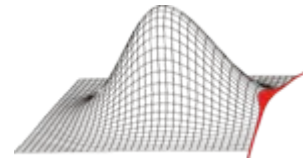




Probabilistische Eingangsgrößen:

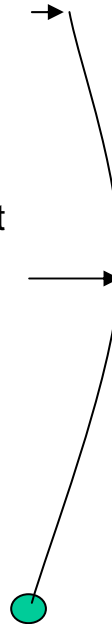
- E-Modul
- LCF-Materialdaten (Wöhlerlinie)
- TBC- Schichtdicke
- Temperatur der Kühlluft und des Heißgases
- Wärmeübergangskoeffizienten (heiß, kalt)
- Verschiebung der Kühlkanäle
- Vergrößerung des Übergangsradius zwischen Plattform und Schaufel



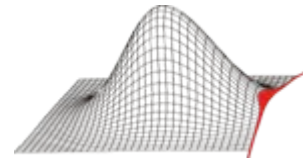


Tip core displacement

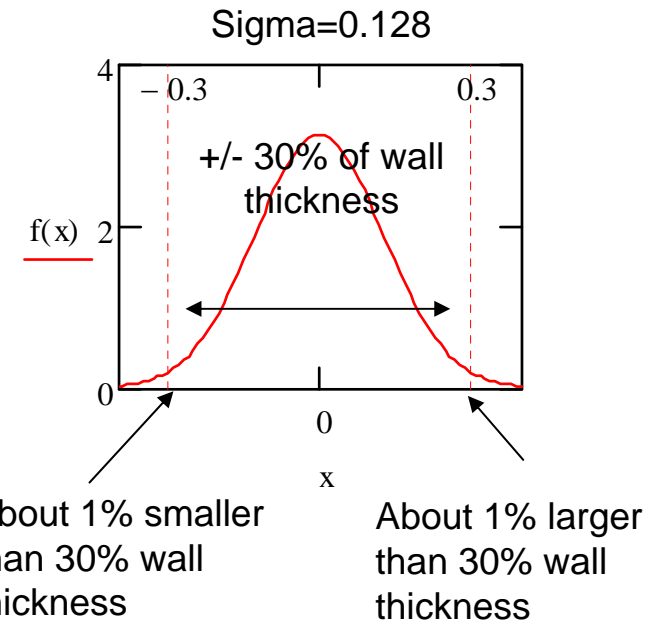
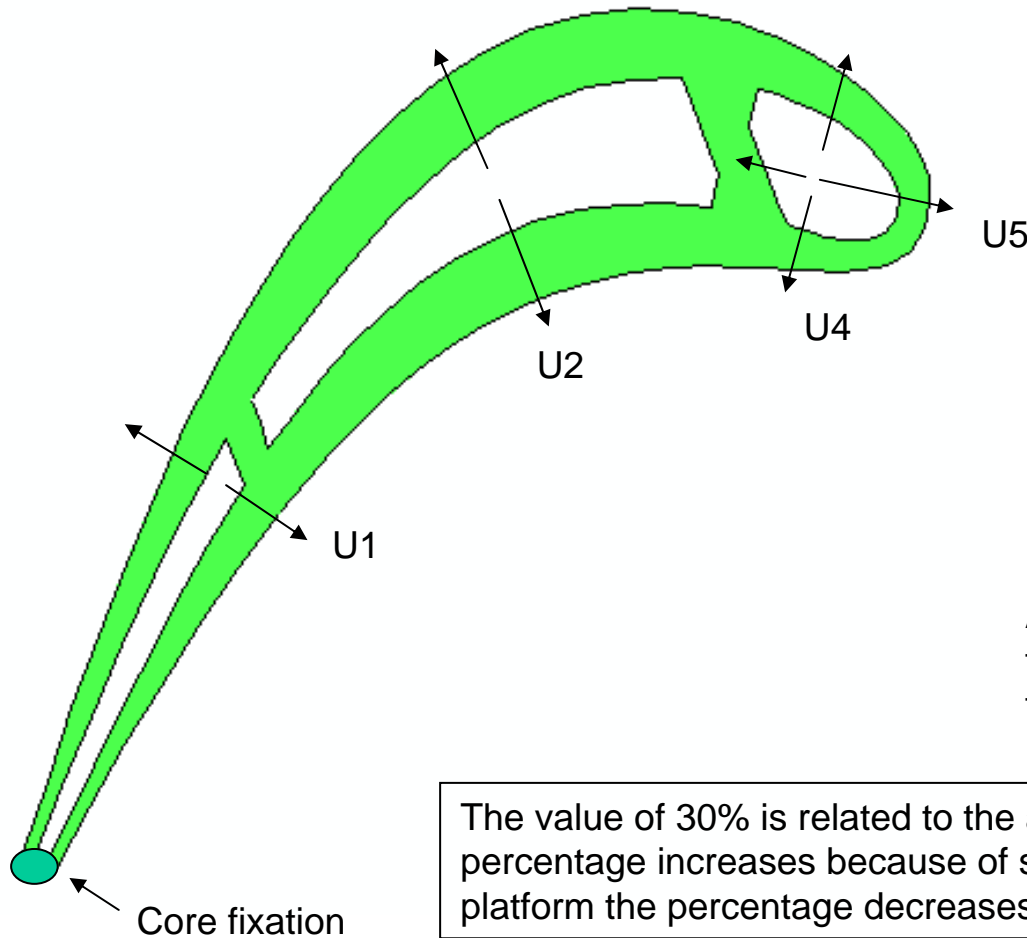
Maximum displacement above mid airfoil



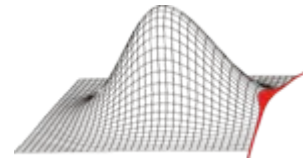
Core fixation at the middle of the platform height



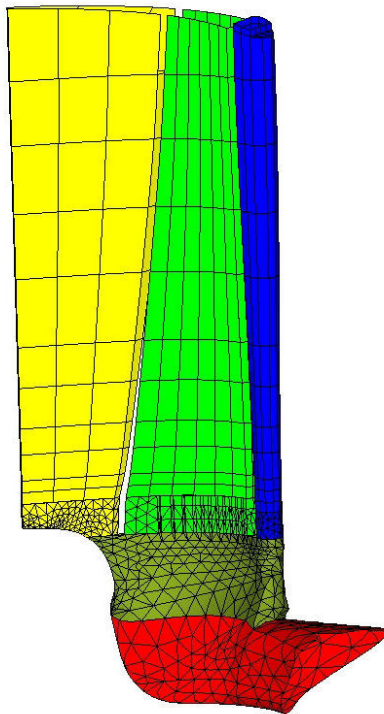
Distribution function for U1, U2, U4 and U5 (U3=0)



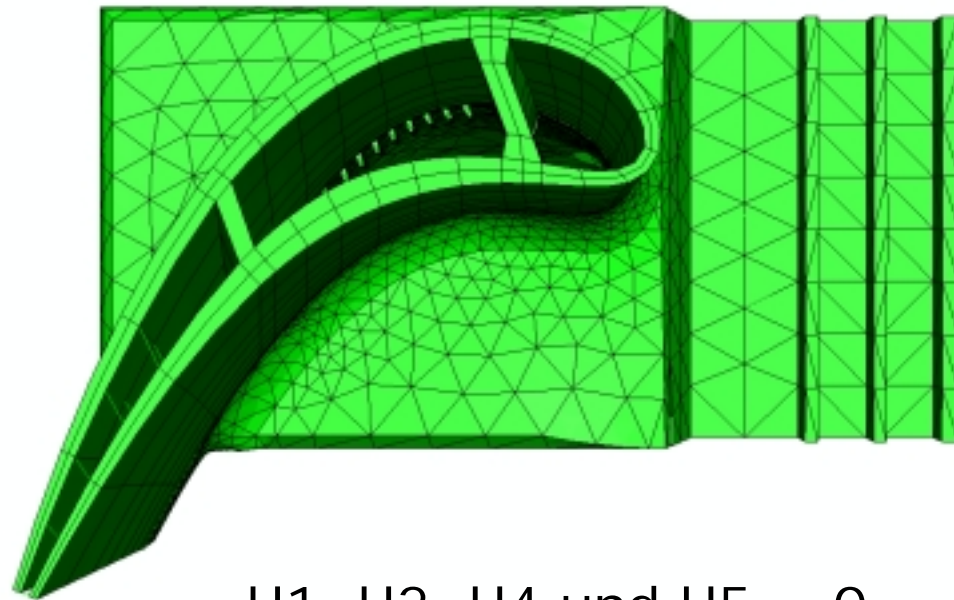
The value of 30% is related to the airfoil mid cut, i.e. at the blade tip the percentage increases because of smaller wall thickness and at the platform the percentage decreases because of larger wall thickness.



Kerngeometrie

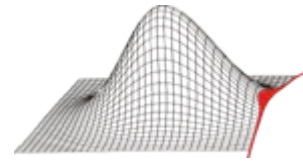


Schnittbild der Schaufel

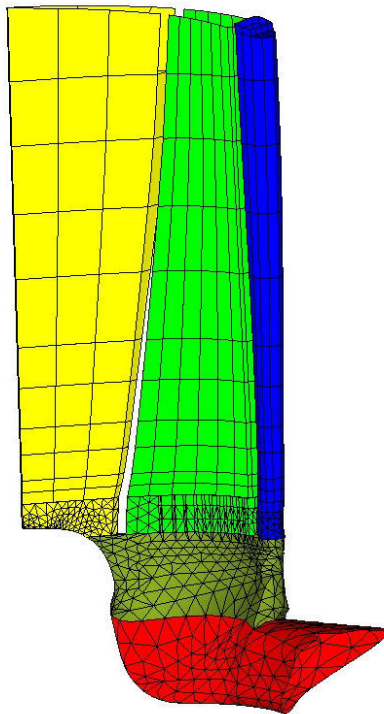


$$U1, U2, U4 \text{ und } U5 = 0$$

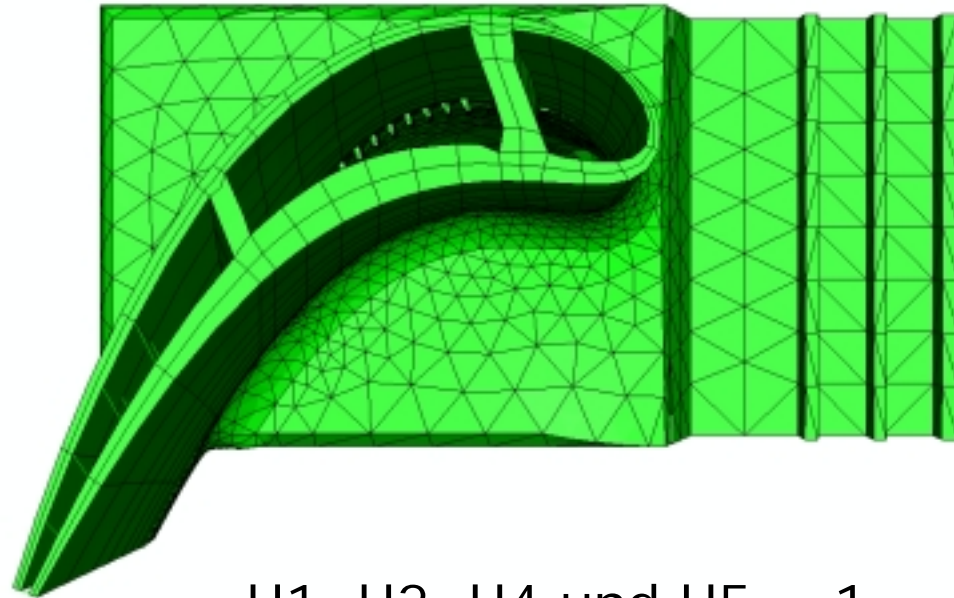
Altair HyperWorks



Kerngeometrie

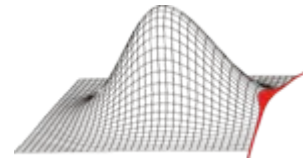


Schnittbild der Schaufel

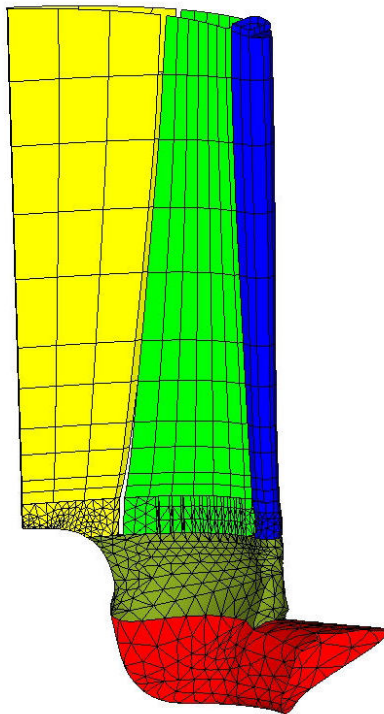


$U1, U2, U4$ und $U5 = 1$

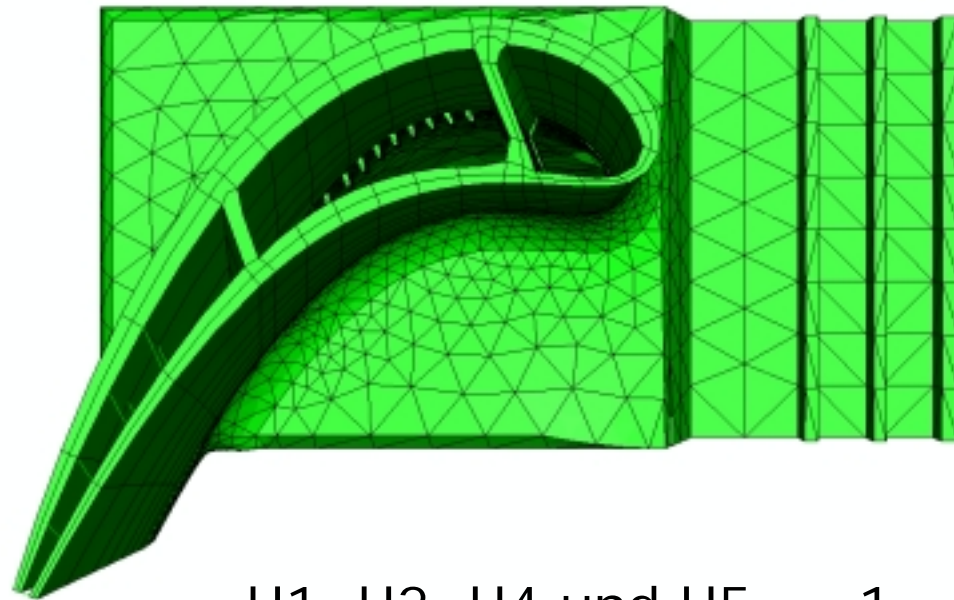
Altair HyperWorks



Kerngeometrie

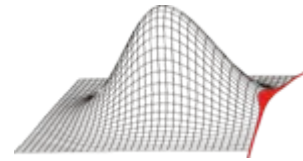


Schnittbild der Schaufel

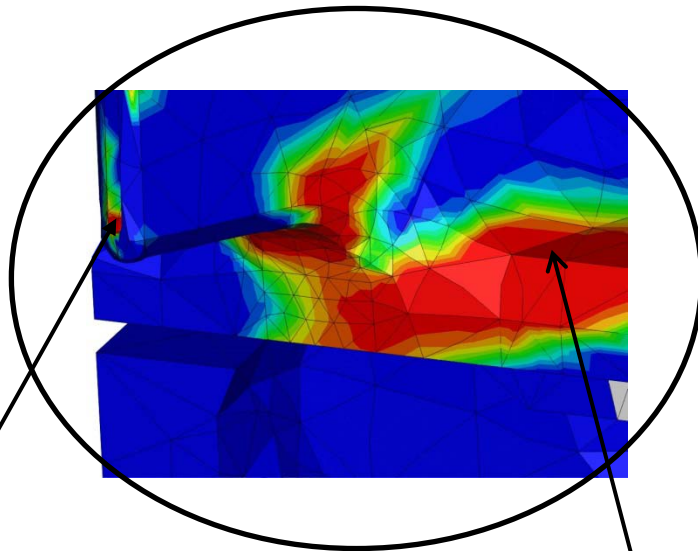
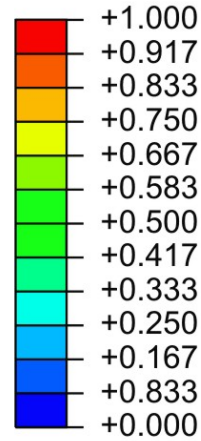


U1, U2, U4 und U5 = -1

Altair HyperWorks

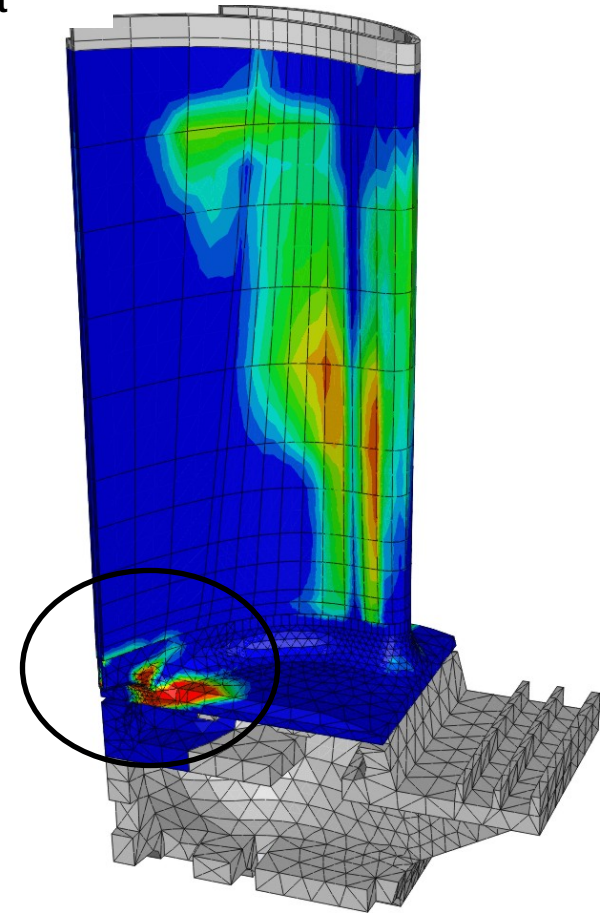


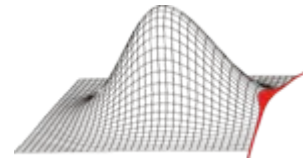
Relative Häufigkeit



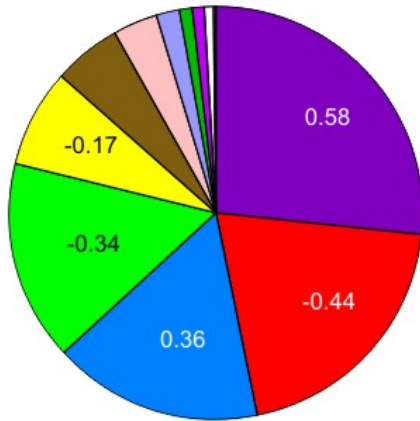
Bereich A

Bereich B

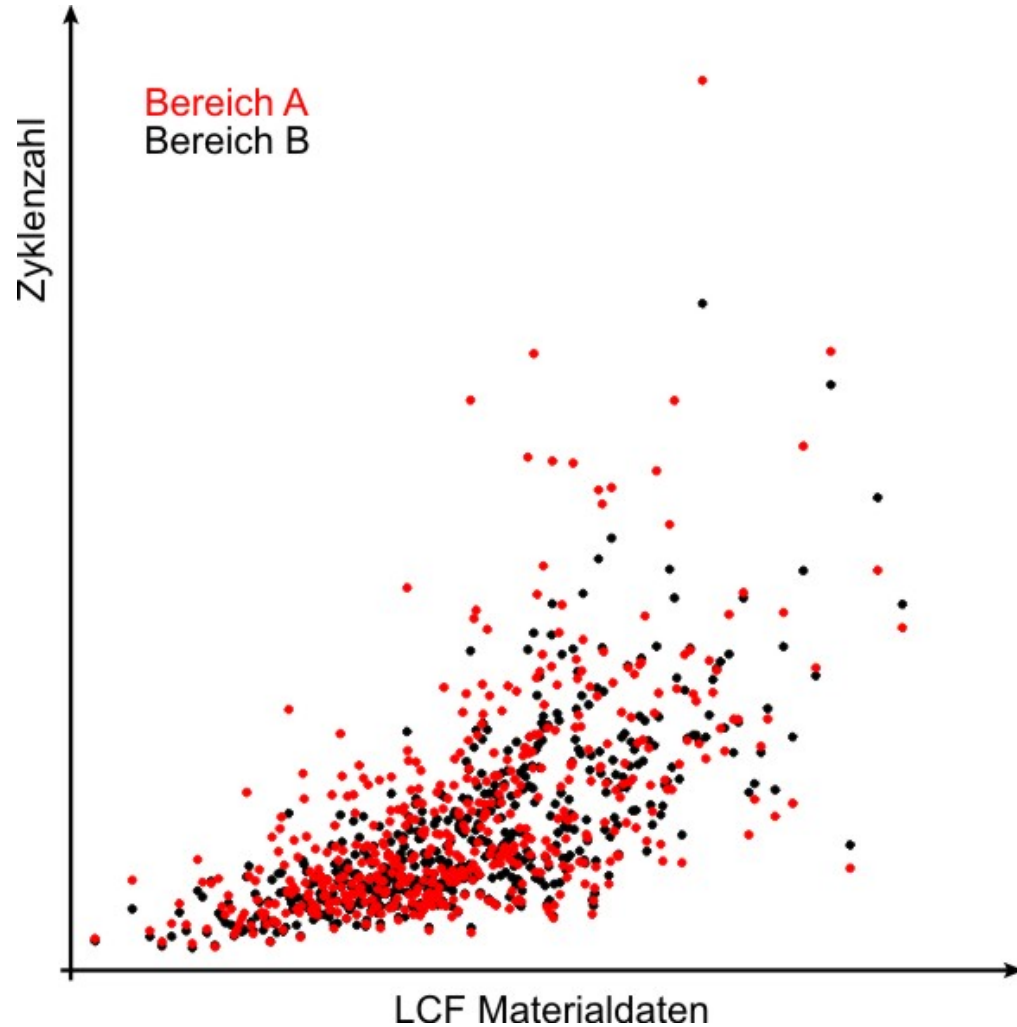




Zyklenzahl Bereich A

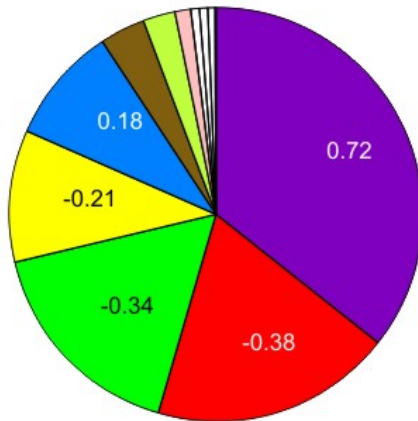


- LCF-Materialdaten
- Temperatur Heißgas
- TBC-Dicke
- Alpha außen
- E-Modul
- Kernverschiebung-U2
- Alpha innen
- Filettradius
- Kernverschiebung-U1
- Kernverschiebung-U4



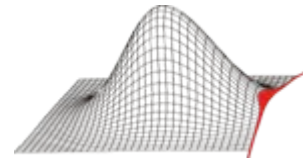
- Temperatur Kühlluft
- Kernverschiebung-U5

Zyklenzahl Bereich B

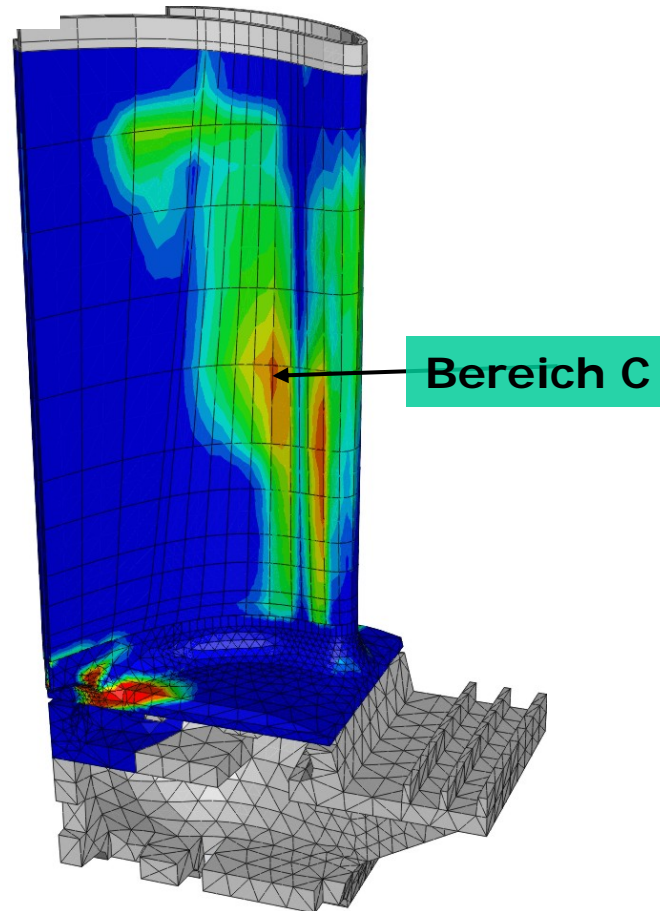
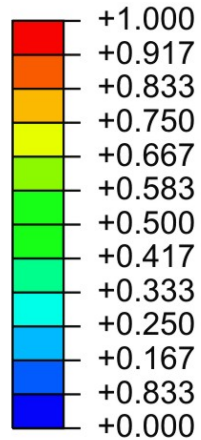


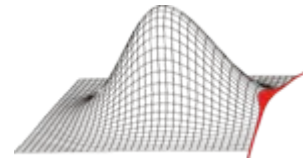
- LCF-Materialdaten
- Temperatur Heißgas
- Alpha außen
- E-Modul
- TBC-Dicke
- Kernverschiebung-U2
- Temperatur Kühlluft
- Alpha innen

- Kernverschiebung-U4
- Kernverschiebung-U1
- Filettradius
- Kernverschiebung-U5



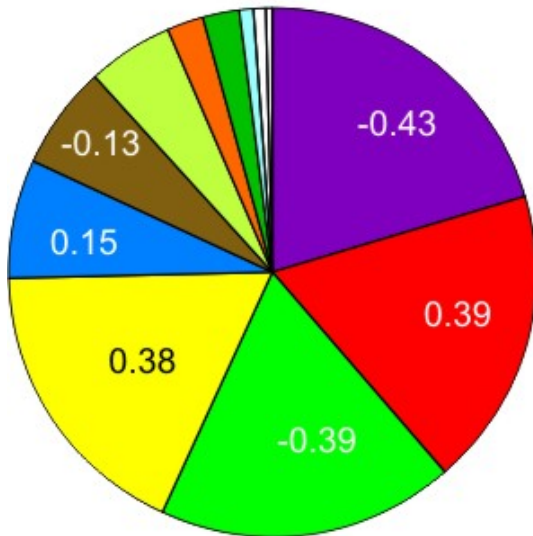
Relative Häufigkeit



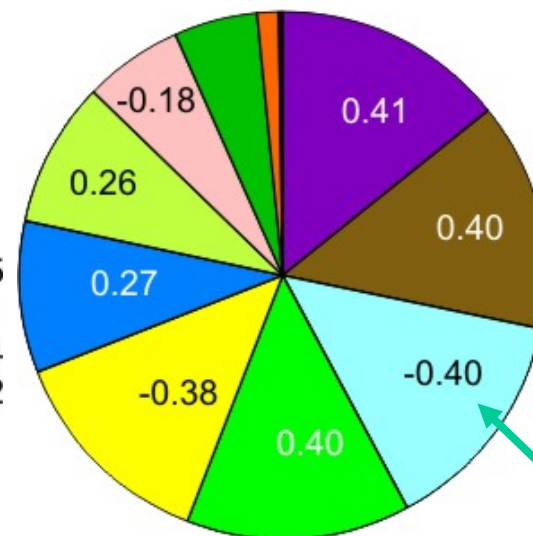


Target-Variable: Zyklenzahl Bereich C

Target-Variable: MISES-Spannung Bereich C



- Alpha außen
- LCF Materialdaten
- Temperatur Heißgas
- TBC-Dicke
- Alpha innen
- E-Modul
- Kernverschiebung-U5
- Kernverschiebung-U1
- Kernverschiebung-U4
- Kernverschiebung-U2

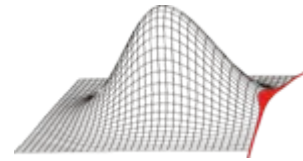


- Alpha außen
- E-Modul
- Kernverschiebung-U2
- Temperatur Heißgas
- TBC-Dicke
- Alpha innen
- Kernverschiebung-U5
- Temperatur Kühlluft
- Kernverschiebung-U4
- Kernverschiebung-U1

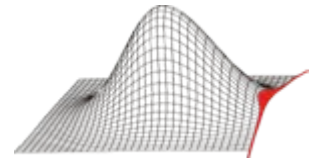
□ Filettradius Temperatur Kühlluft

□ Filettradius LCF-Materialdaten

Verschiebung Kern_U2 zeigt zwar Einfluss auf die Spannung, aber für die Lebensdauer der Schaufel sind andere Parameter deutlich wichtiger.



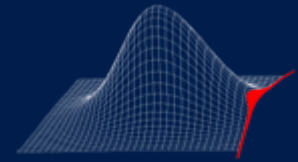
- Mit Hilfe der Probabilistik kann der Einfluss der geometrische Fertigungstoleranzen auf die Lebensdauer der Turbinenschaufel abgeschätzt werden.
- Die Schadensstellen können an verschiedenen Stellen der Turbinenschaufel in Abhängigkeit von den geometrischen Variationen auftreten.
- Geringe Änderungen der Geometrie können mithilfe von Morphing-Technologie im FE-Netz berücksichtigt werden.



Die hier präsentierten Ergebnisse entstanden innerhalb
des AG Turbo Vorhabens

„Entwicklung und Umsetzung von effizienten
probabilistischen Methoden in der Auslegung von
Turbinenschaufeln“

mit finanzieller Unterstützung von
ALSTOM, MTU, Rolls-Royce Deutschland
und dem
Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie.



Probabilistische Untersuchungen von Turbinenschaufeln unter Berücksichtigung von Fertigungstoleranzen

M. Voigt, T. Bischoff[†], K. Vogeler,

Technische Universität Dresden

R. Mücke

ALSTOM

H. Schlums

Rolls-Royce Deutschland

K. –H. Becker

MTU