simufact
Simulating Manufacturing
MSC Software Company

Potenziale der Simulation der additiven Fertigung in der Medizintechnik

simufact additive

mav Medizintechnisches Kolloquium

Tuttlingen, 28.11.2018

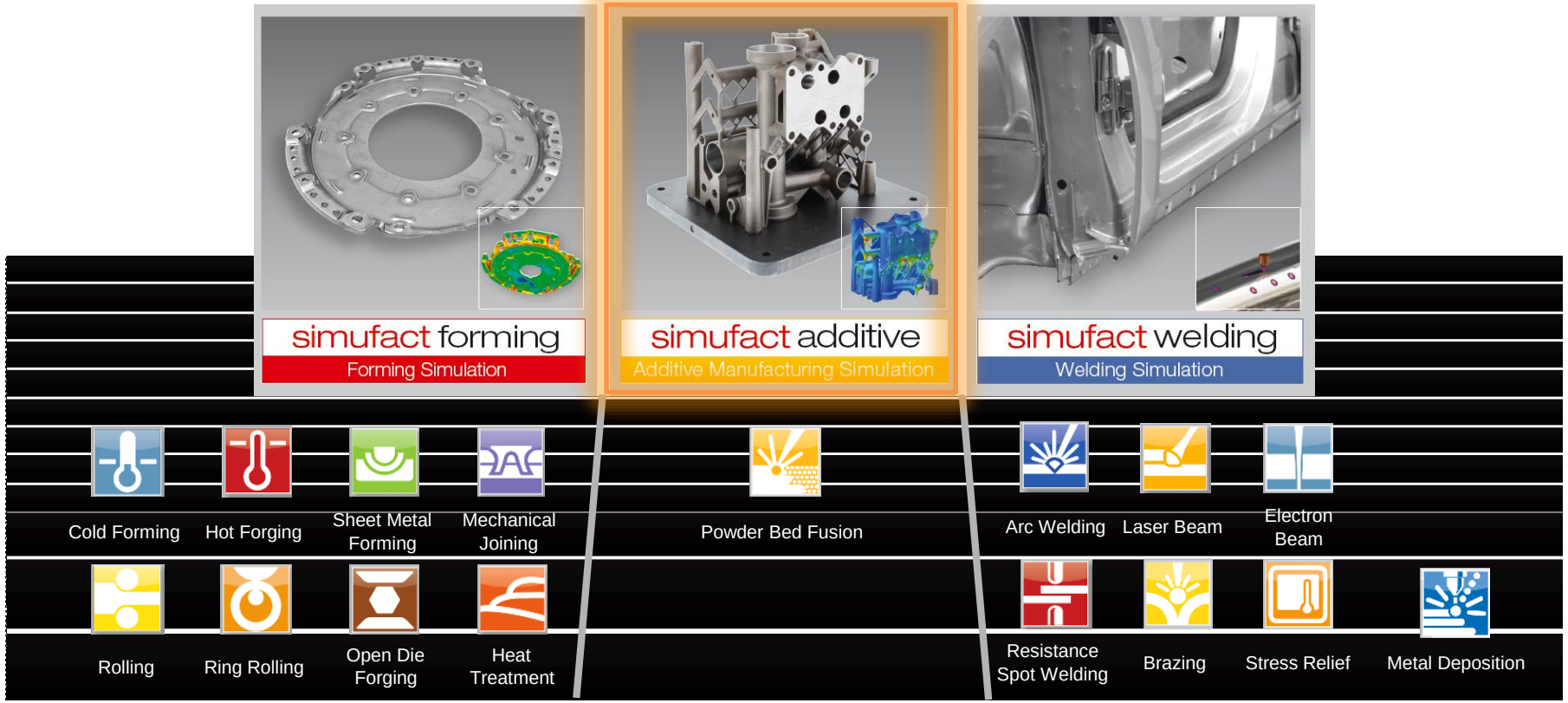
Mirja Mente, Sales Consultant

PART OF HEXAGON

simufact

simufact additive

Simulating manufacturing - the manufacturing division of MSC Software



- > 20 Jahre
- > 80 Experten
- > 1000 Kunden

HEXAGON
MANUFACTURING INTELLIGENCE

- Unterstützt beim Verstehen und der Optimierung von **metallbasierten Fertigungsprozessen**
- Fertigungsorientierte Prozess-Simulation
- Basierend auf dem eigens adaptierten **MSC MARC** nicht-linearen finite Elemente Solver – SF-MARC

Copyright © simufact engineering gmbh

Agenda

simufact additive

1. **HERAUSFORDERUNGEN IN DER ADDITIVEN FERTIGUNG VON METALL**

2. **SIMUFACT ADDITIVE – PROZESSSIMULATION DER ADDITIVEN FERTIGUNG**

3. **POTENTIALE DER PROZESSSIMULATION IN DER MEDIZINTECHNIK**
   am Beispiel eines kraniomaxillofaziales, patientenindividuelles Implantat zur Distraktionsosteogenese

Copyright © simufact engineering gmbh

Was ist additive Fertigung?

simufact additive

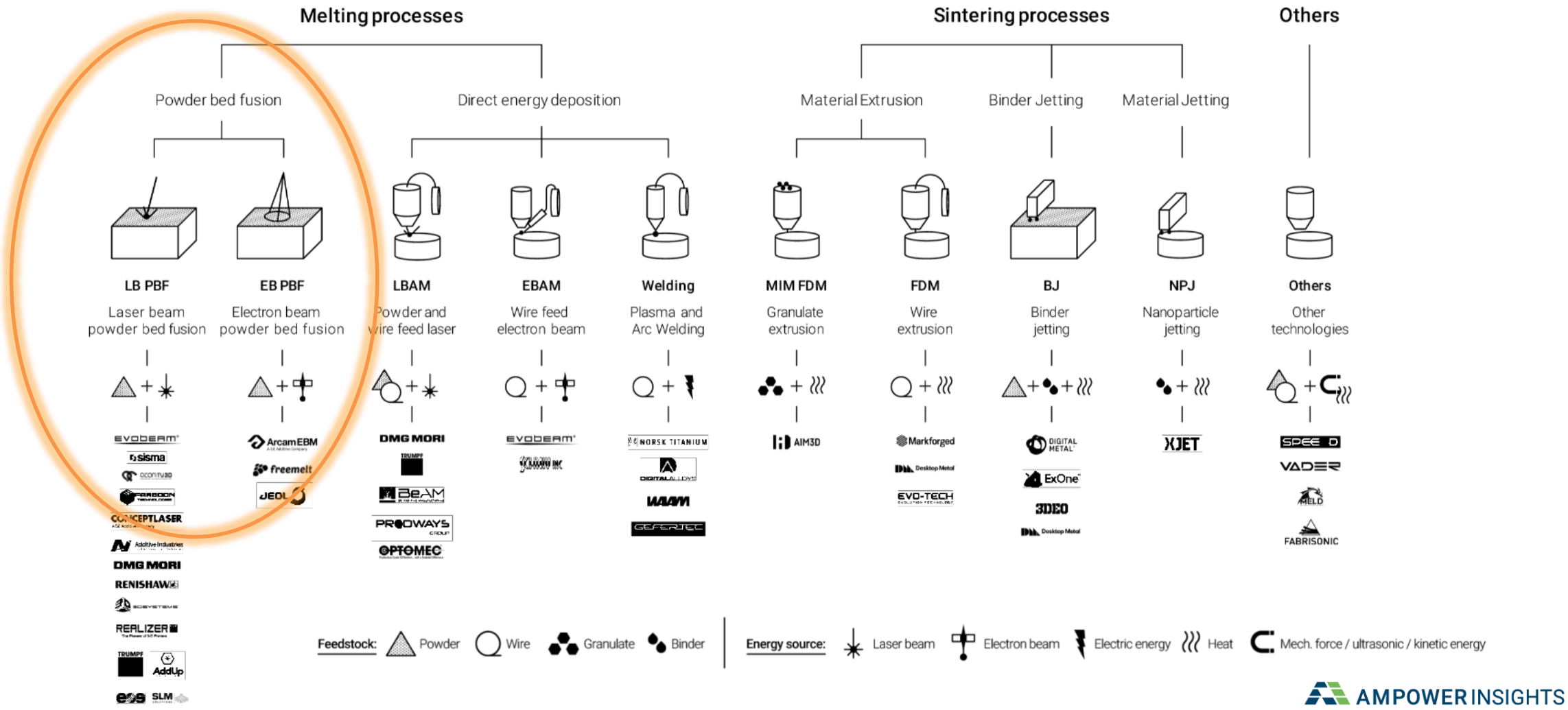
- Die Additive Fertigung bezeichnet einen Prozess, bei dem auf der Basis von digitalen 3D-Konstruktionsdaten durch das Auftragen von Material schichtweise ein Bauteil gebaut wird.

Copyright © simufact engineering gmbh

Unser Fokus in der Prozesssimulation

simufact additive

Metal Additive Manufacturing Technologies

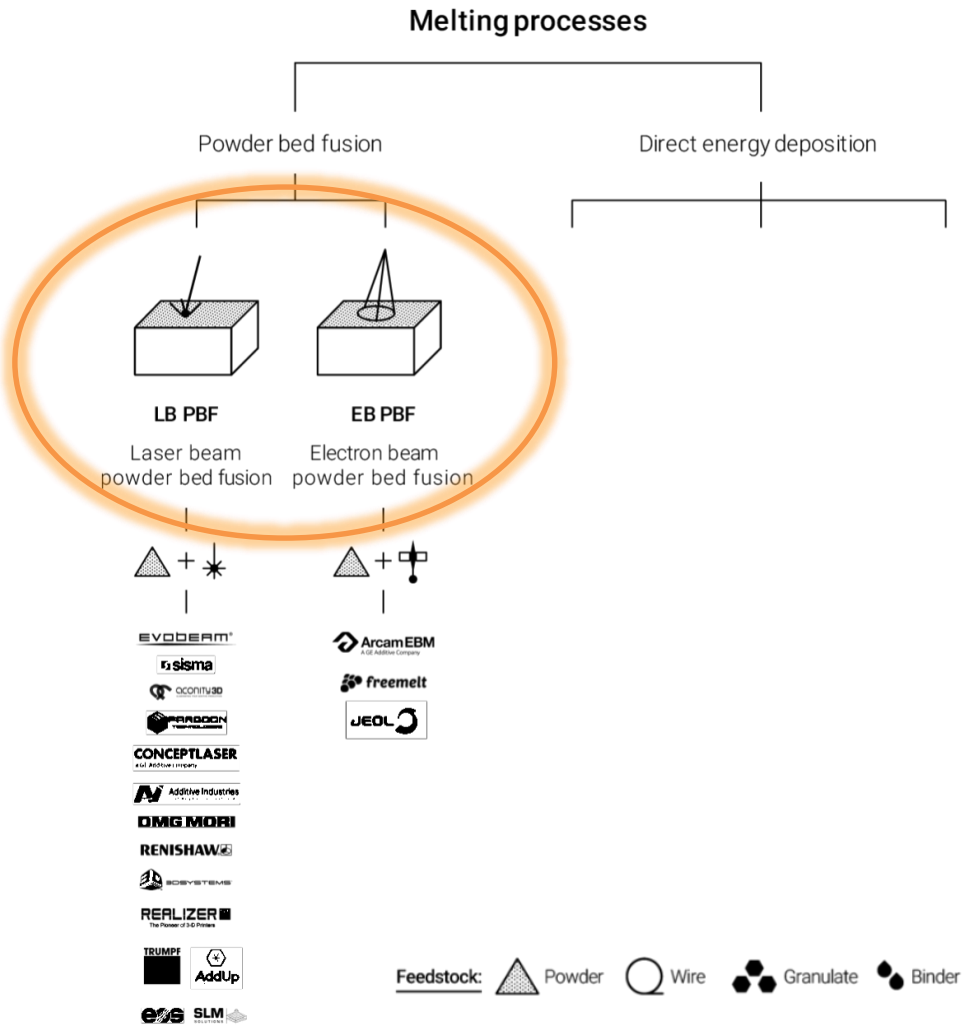


AMPOWER INSIGHTS

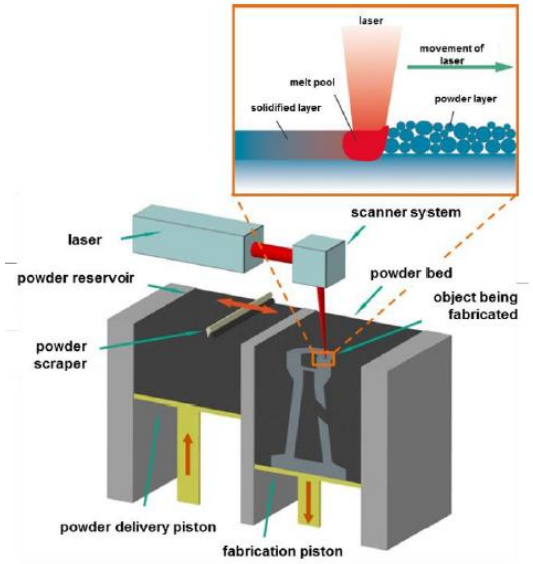
Copyright © simufact engineering gmbh

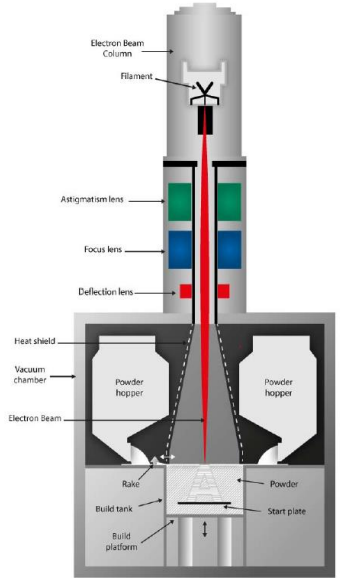
Unser Fokus in der Prozesssimulation

simufact additive



simufact additive
Additive Manufacturing Simulation





Feedstock: Powder, Wire, Granulate, Binder | Energy source: Laser beam, Electron beam, Electric energy, Heat, Mech. force / ultrasonic / kinetic energy

AMPOWER INSIGHTS

Copyright © simufact engineering gmbh

Vorteile der additiven Fertigung für die Medizintechnik

simufact additive

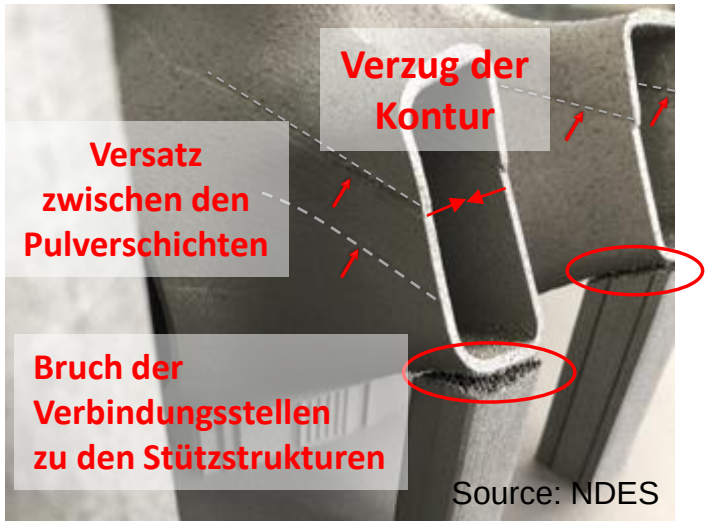
- Schnell und kostengünstig, da aus Konstruktionsdaten direkt ein Teil gedruckt wird; z. B. Hörgeräte, dafür ist kein Abdruck am Kunden nötig, statt dessen optische Vermessung
- Individuell anpassbar
- Poröse Strukturen lassen sich durch das Selective Laser Melting fertigen, was vorteilhaft für Implantate ist
- Zeitersparnis einer werkzeuglosen Fertigung vor dem Hintergrund des Zeitdrucks bis zu einer OP

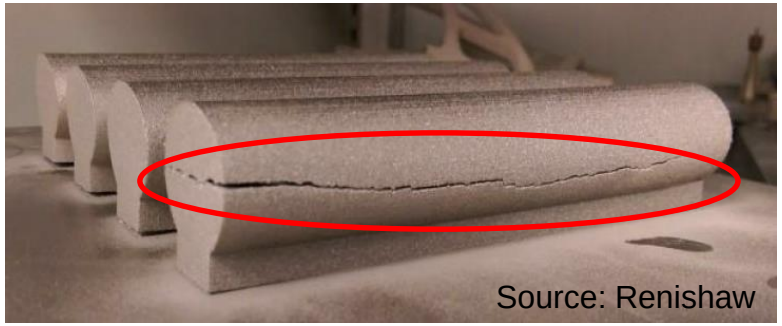
Copyright © simufact engineering gmbh

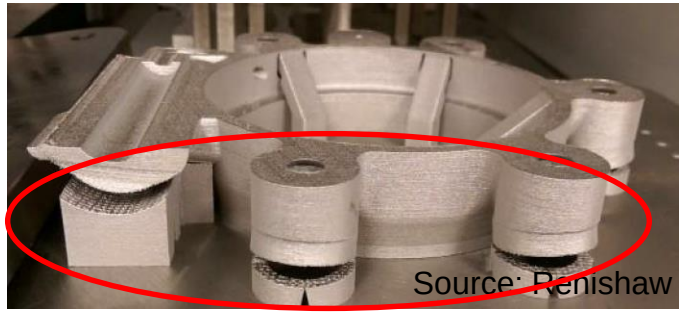
Herausforderungen der additiven Fertigung

simufact additive

- **Verzug**
  - Bauteil außerhalb der Toleranzwerte
  - Kollision des Teils mit dem Recoater Blade
- **Spannungen**
  - Bauteil und/oder Supports reißen
    - ➢ Bauprozess bricht ab
    - ➢ Kollision des Teils mit dem Recoater Blade
  - Verzug treten in nachfolgenden Schritten auf
  - Bauteil versagt im Einsatz
- Wenig Erfahrung und geringes Verständnis für die physikalischen Wechselwirkungen
- Qualität (Dichte, Fehler etc.)
- Produktivität / Geschwindigkeit / Wiederholbarkeit







→ **Reduzieren von Trial & Error – spart Zeit und Kosten**

→ **Prozesssimulation!**

Copyright © simufact engineering gmbh

Einflüsse auf Verzüge

simufact additive

Parameter, die den Verzug eines Teils sowie die Prozessstabilität beeinflussen

Orientierung des Bauteils im Bauraum

Supports

Dicke der Basisplatte

Material

Vorheizung Basisplatte

Laserparameter

Bauraumvorheizung

Hatching-Strategie

Bauteilgeometrie

Anzahl an Bauteilen im Bauraum

und viele weitere …

Copyright © simufact engineering gmbh

Einflüsse auf Verzüge

simufact additive

Parameter, die den Verzug eines Teils sowie die Prozessstabilität beeinflussen

die bei der Baujobvorbereitung beeinflusst werden können

Orientierung des Bauteils im Bauraum

Supports

Dicke der Basisplatte

Material

Vorheizung Basisplatte

Laserparameter

Bauraumvorheizung

Hatching-Strategie

Bauteilgeometrie

Anzahl an Bauteilen im Bauraum

⇨ Führt zu einer Vielfalt von Möglichkeiten

Copyright © simufact engineering gmbh

Prozesskette der additive Fertigung

simufact additive

Source: BDLI

Copyright © simufact engineering gmbh

Prozesskette der additive Fertigung – Simulation simufact additive

Source: BDLI

Numerische Analyse mehrere Fertigungsschritte in der Prozesskette der Additiven Fertigung

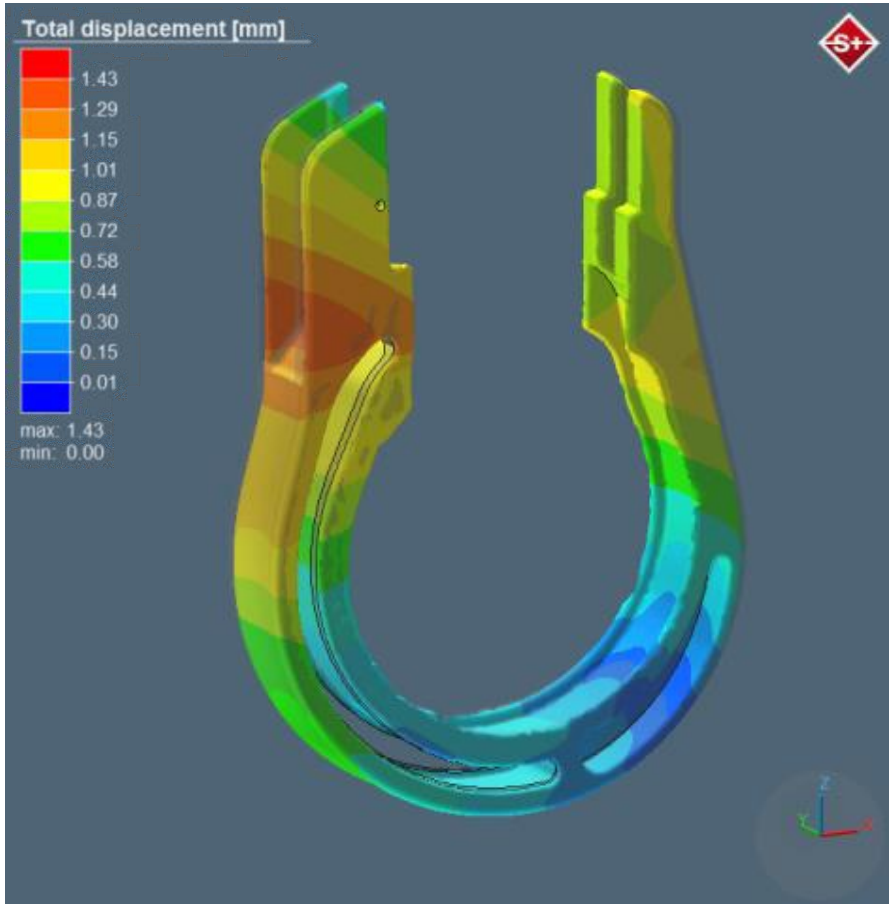
simufact additive

Einfluss auf Verzug, Spannung, Qualität, Reproduzierbarkeit…

- Jeder Prozessschritt hat einen signifikanten Einfluss
- Reihenfolge der Schritte entscheidend
- Die reine Betrachtung des Bauprozesses ergibt kein vollständiges Bild

Copyright © simufact engineering gmbh

Simufact Additive – Prozesssimulation der additiven Fertigung

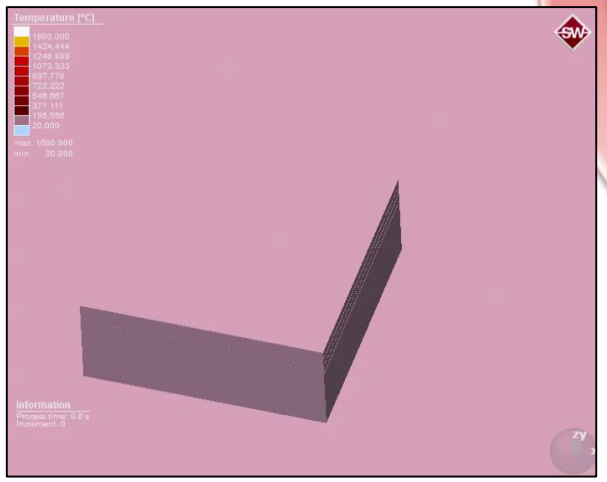


Skalierungsmöglichkeiten

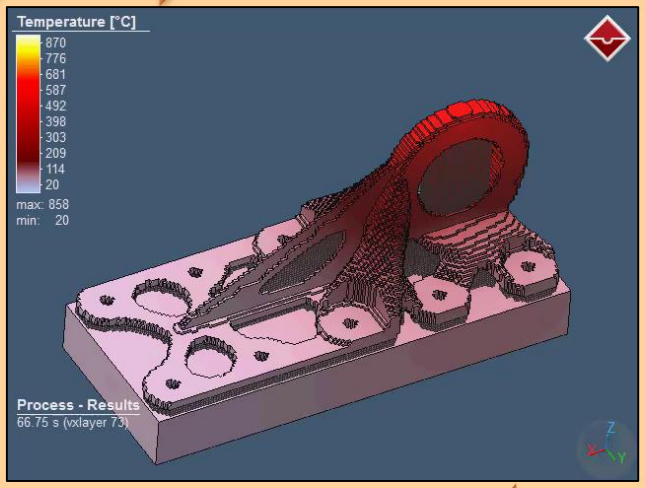
simufact additive

Geschwindigkeit

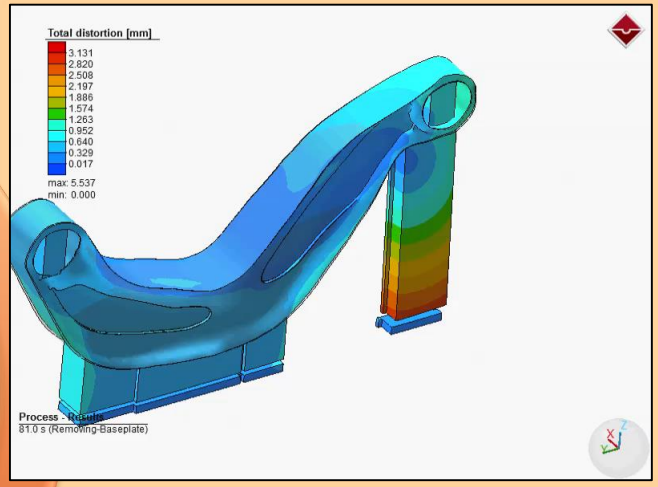
- Bewegte Wärmequelle auf einem festen Körper
- Transiente voll thermo-mechanisch-metallurgisch gekoppelte Simulation
- Liefert thermischen Verlauf und Ergebnisse wie Mikrostruktur



Informations Austausch



- Berechnung in Elementschicht pro Schritt oder in Hatching Segmenten
- Rein mechanische oder thermo-mechanische Berechnung
- Nähert thermischen Verlauf und dazugehörige Ergebnisgrößen an



- Elementschicht (> Pulverschicht) in einem Schritt berechnet
- Inhärente Dehnungen (rein mechanische Lösung) oder thermo-mechanischer Ansatz
- **Liefert Verzug und Spannungen**
- **Liefert Temperaturen**

Detailgrad

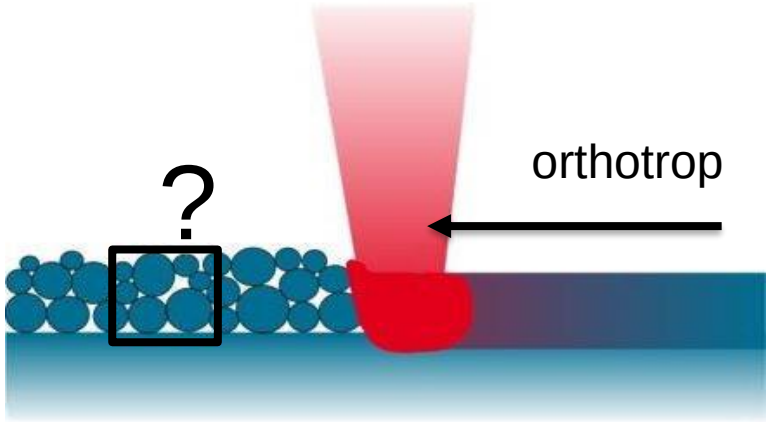
Mikro Skala **Meso Skala** **Makro Skala**

Copyright © simufact engineering gmbh

Simulationsansatz Makro Skala

simufact additive

Die inhärenten Dehnungen bilden die relative Änderungen der Abmaße eines repräsentatives Kontinuum des AM Prozess ab.



Zusammenfassung von:

- Plastischen Dehnungen
- Thermische Dehnungen
- Kriechdehnungen
- Dehnungen bei Phasenumwandlung

Einflussgrößen :

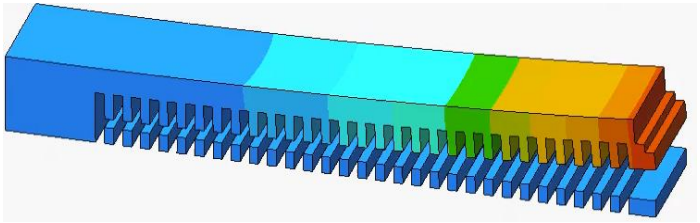
- Materialcharge
- Fertigungsparameter (Schichtdicke, Hatching Strategie, Laserleistung, Scangeschwindigkeit, Fokusdurchmesser etc.)
- Individuelle Maschineneigenschaften
- Etc. ...

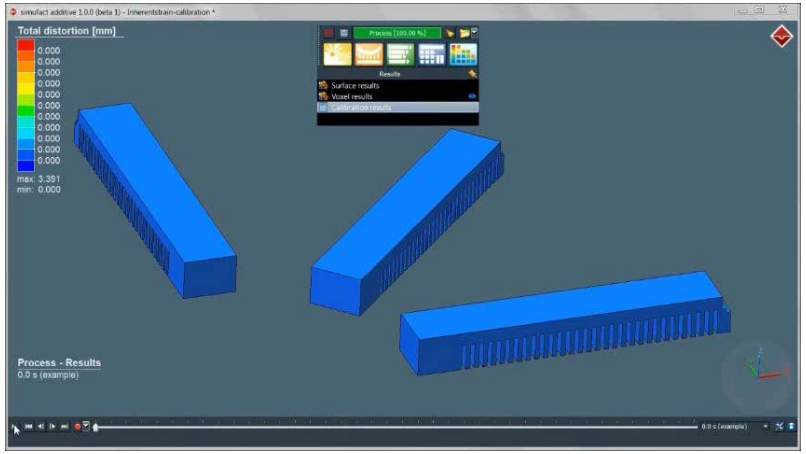
Copyright © simufact engineering gmbh

Simulationsansatz Makro Skala

simufact additive

- **Kalibrierung zur Ermittlung der inhärenten Dehnungen**
  1. Testprobe (0° und 90°, 45° optional) drucken
  2. Auftrennen der Rippen, um Spannungen aufzulösen
  3. Verformung messen (Änderung der Höhe)
  4. Numerische Kalibrierung der inhärenten Dehnungen

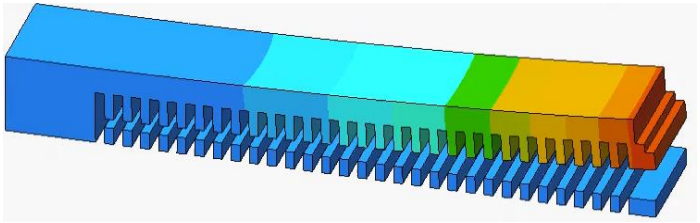




Copyright © simufact engineering gmbh

Simulationsansatz Makro Skala

simufact additive



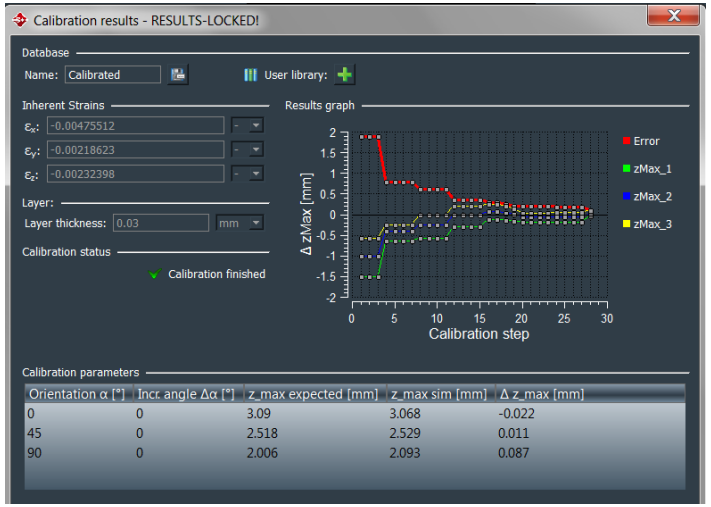
Material Properties
(Mechanical properties, Thermal properties, Microstructure, …)

Process Parameters
(Power (Current & Voltage), Hatching strategy, Velocity, Focus diameter, …)

Thermal Strains, Plastic Strains, Phase Transformation

Calibration → **Inherent Strains**

Results:
Stress, Strains, Distortion

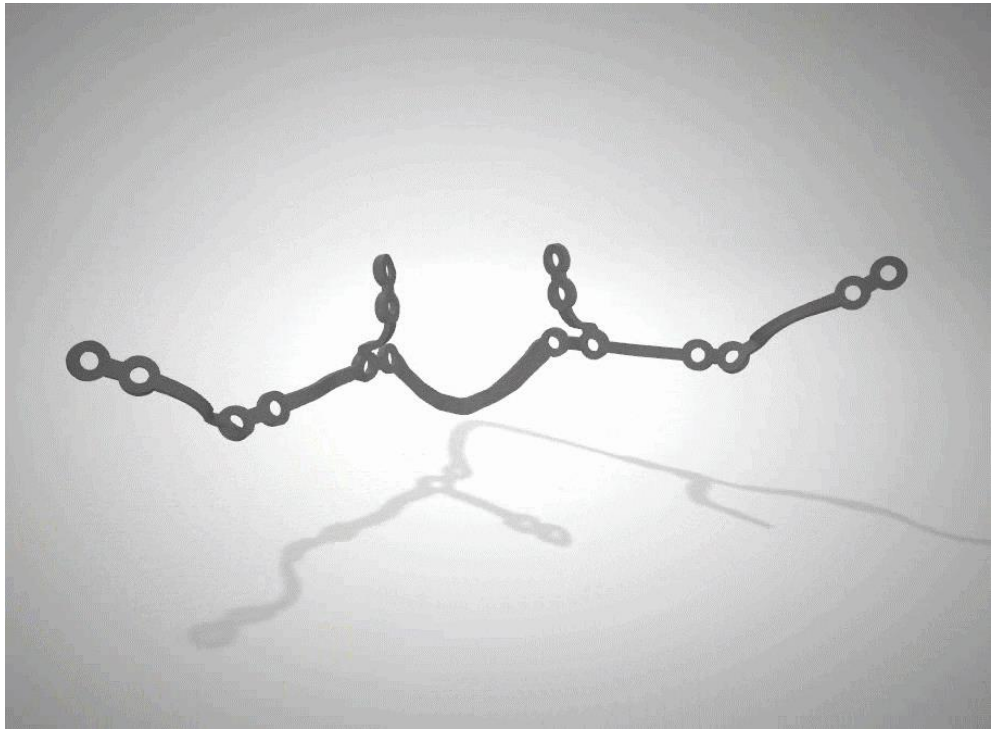


Orientation α [°]	Incr. angle Δα [°]	z_max expected [mm]	z_max sim [mm]	Δ z_max [mm]
0	0	3.09	3.068	-0.022
45	0	2.518	2.529	0.011
90	0	2.006	2.093	0.087

Copyright © simufact engineering gmbh

Beispiel

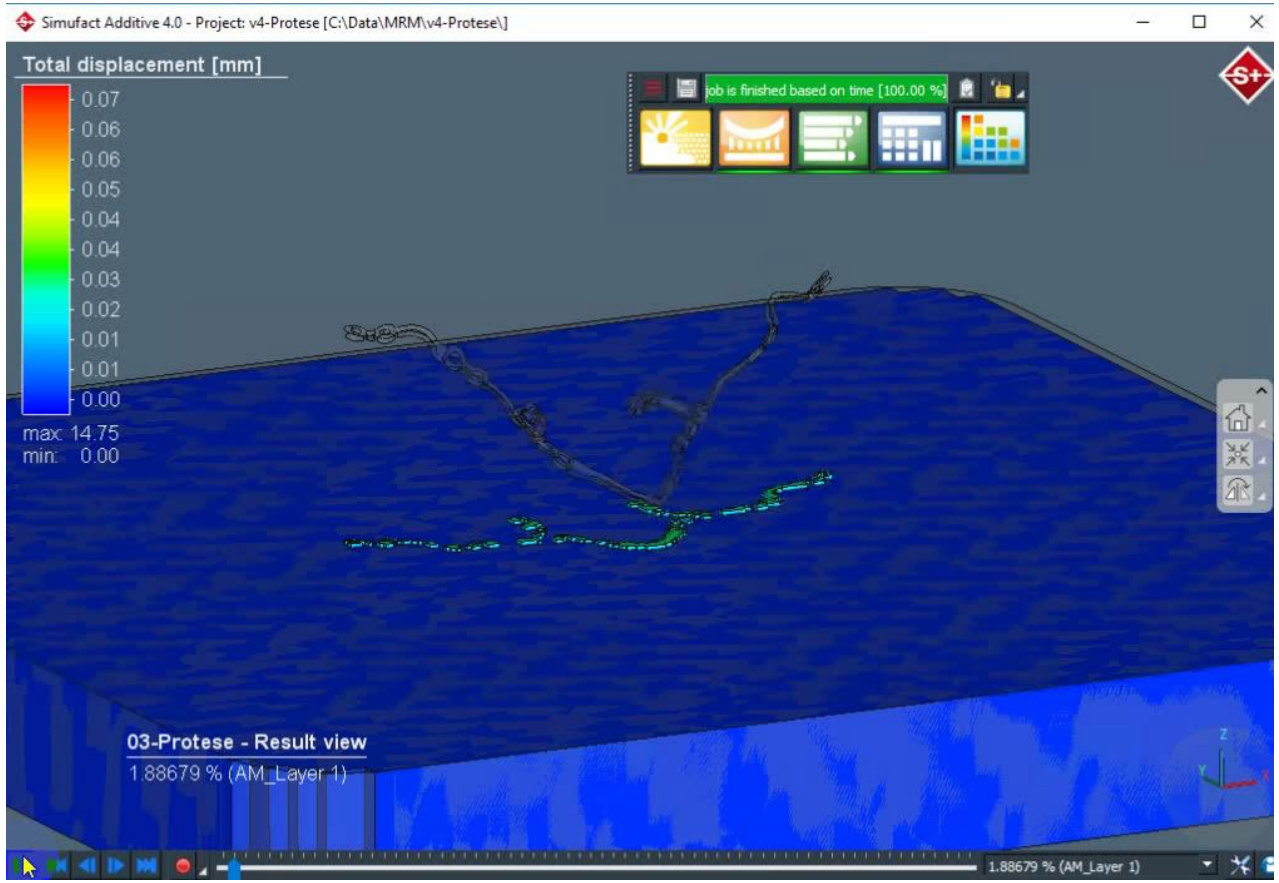
Kraniomaxillofaziales, patientenindividuelles Implantat zur Distraktionsosteogenese



Modellaufbau

Prozesskette der Fertigung

- Baujob eines Implantats in Titan TiAl6V4
  - Der Werkstoff Titan, der u.a. für Implantate und Prothesen verwendet wird, ist biokompatibel und korrosionsbeständig
- Lösen der Verschraubungen der Basisplatte
- Abtrennen des Teils
- Entfernen der Supportstrukturen

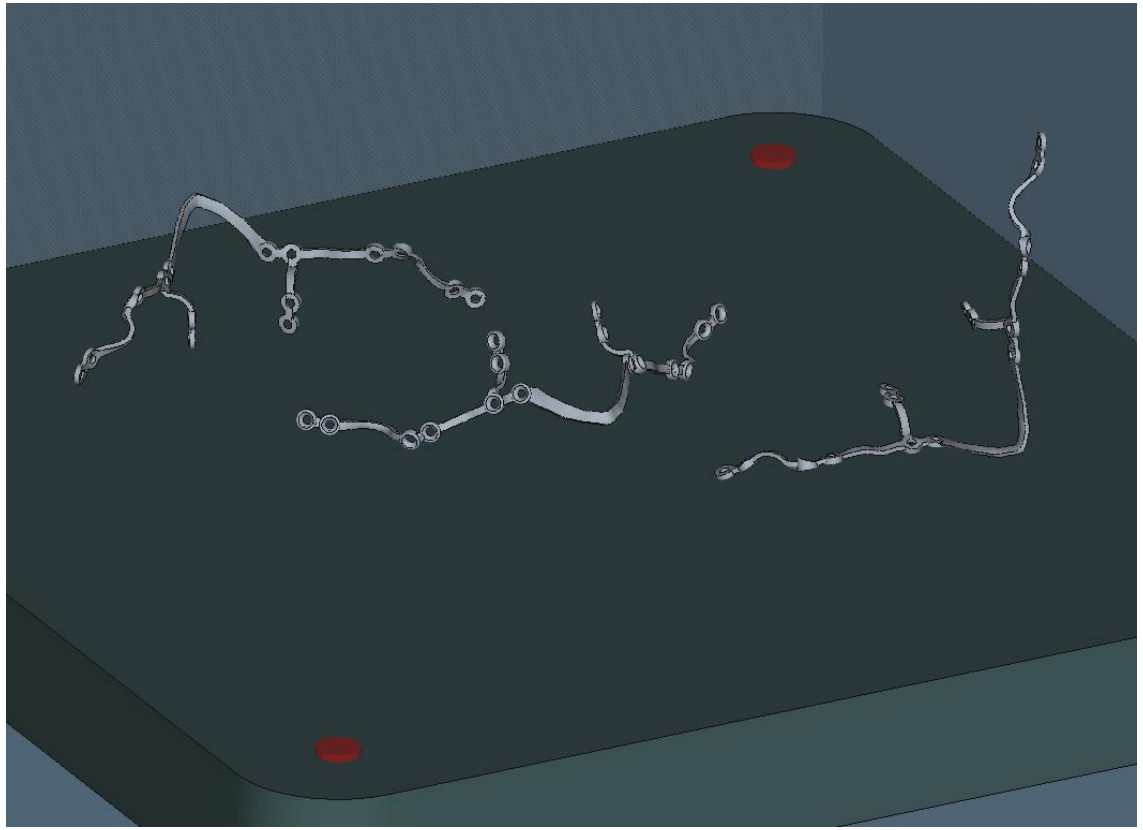


Copyright © simufact engineering gmbh

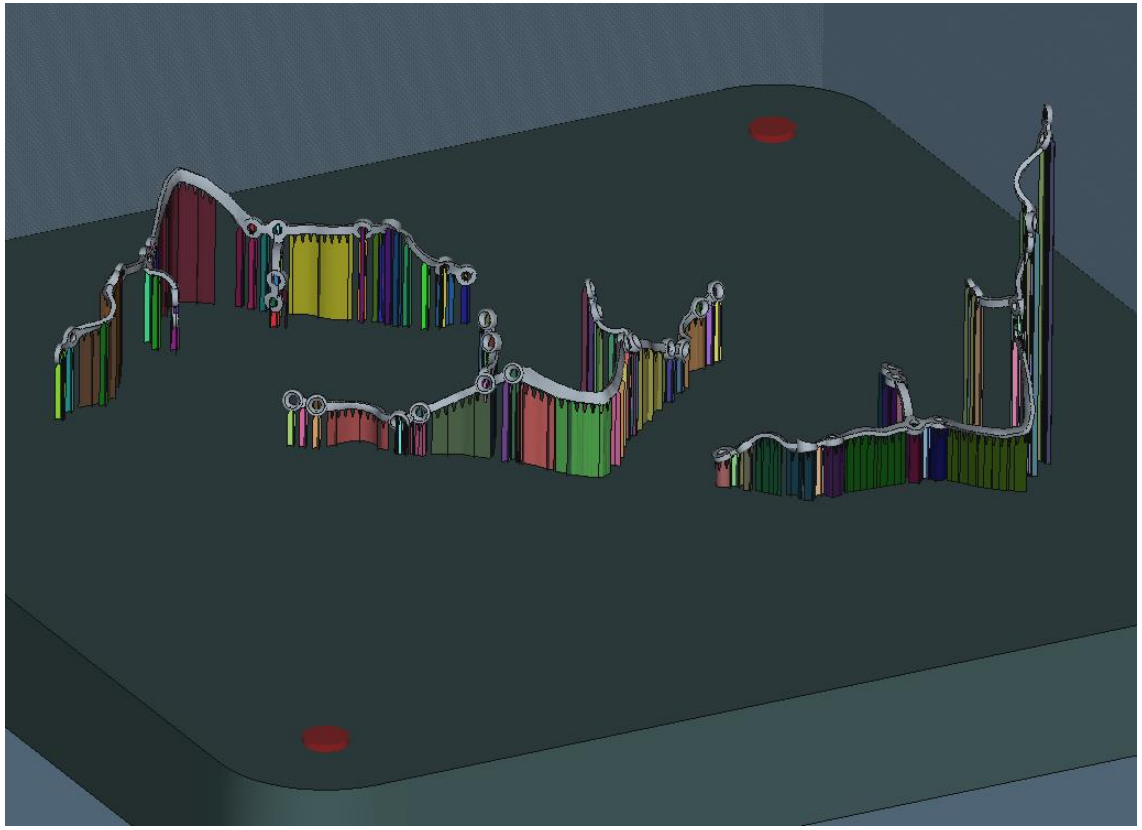
Unterschiedliche Orientierungen
Erprobung des Prozesses durch Simulation

simufact additive

Baujobvorbereitung



Mit Supports

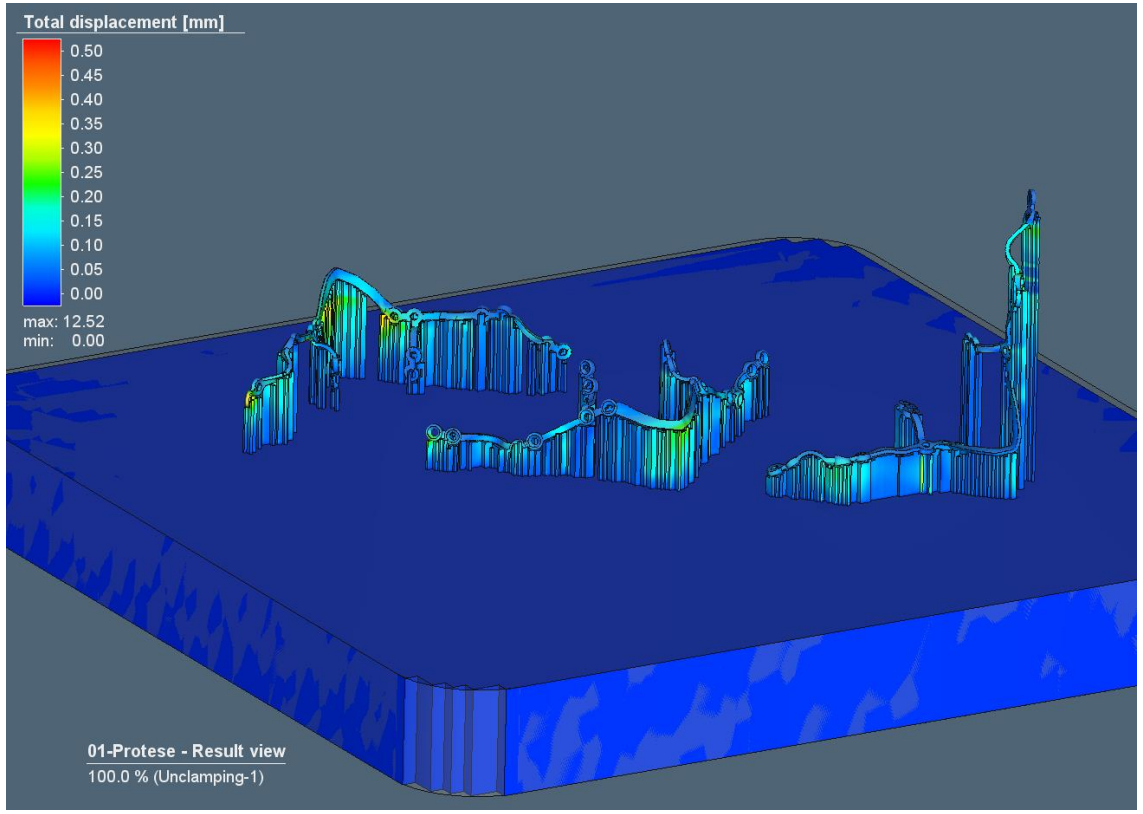


Copyright © simufact engineering gmbh

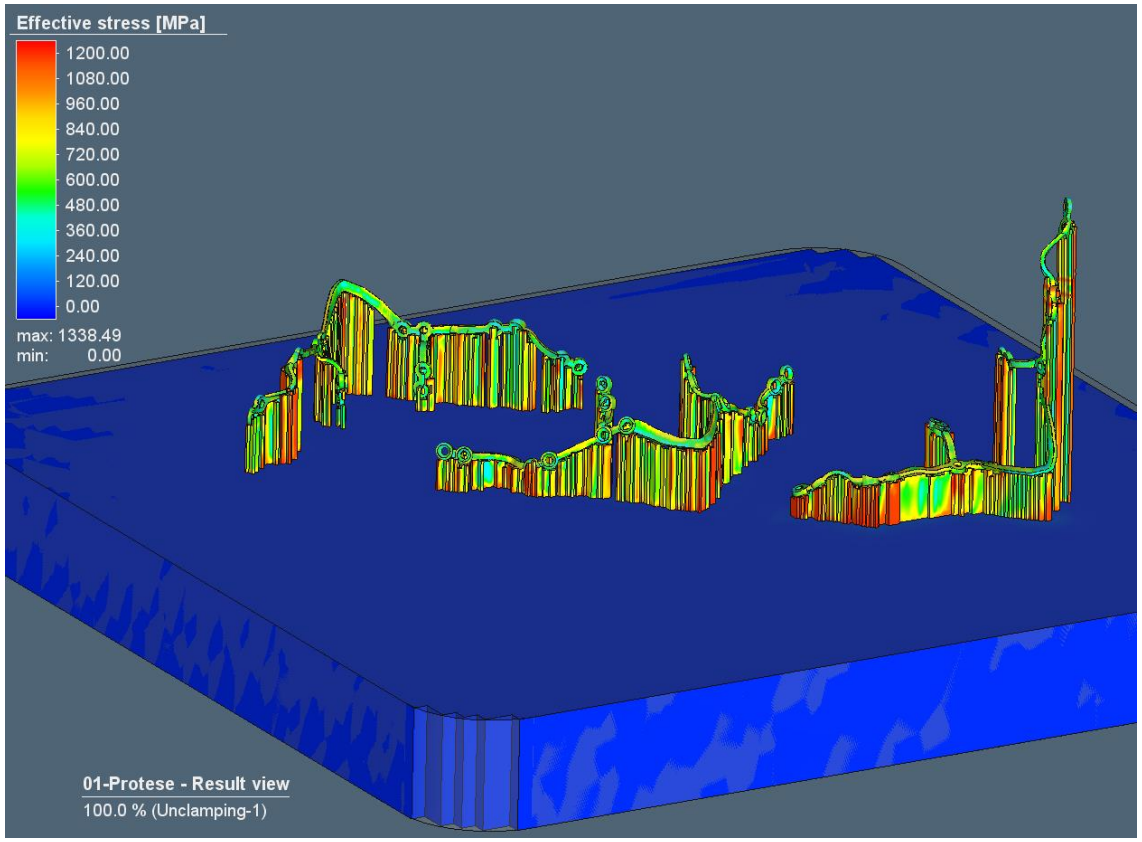
Unterschiedliche Orientierungen
Erprobung des Prozesses durch Simulation

simufact additive

Verzug nach dem Baujob



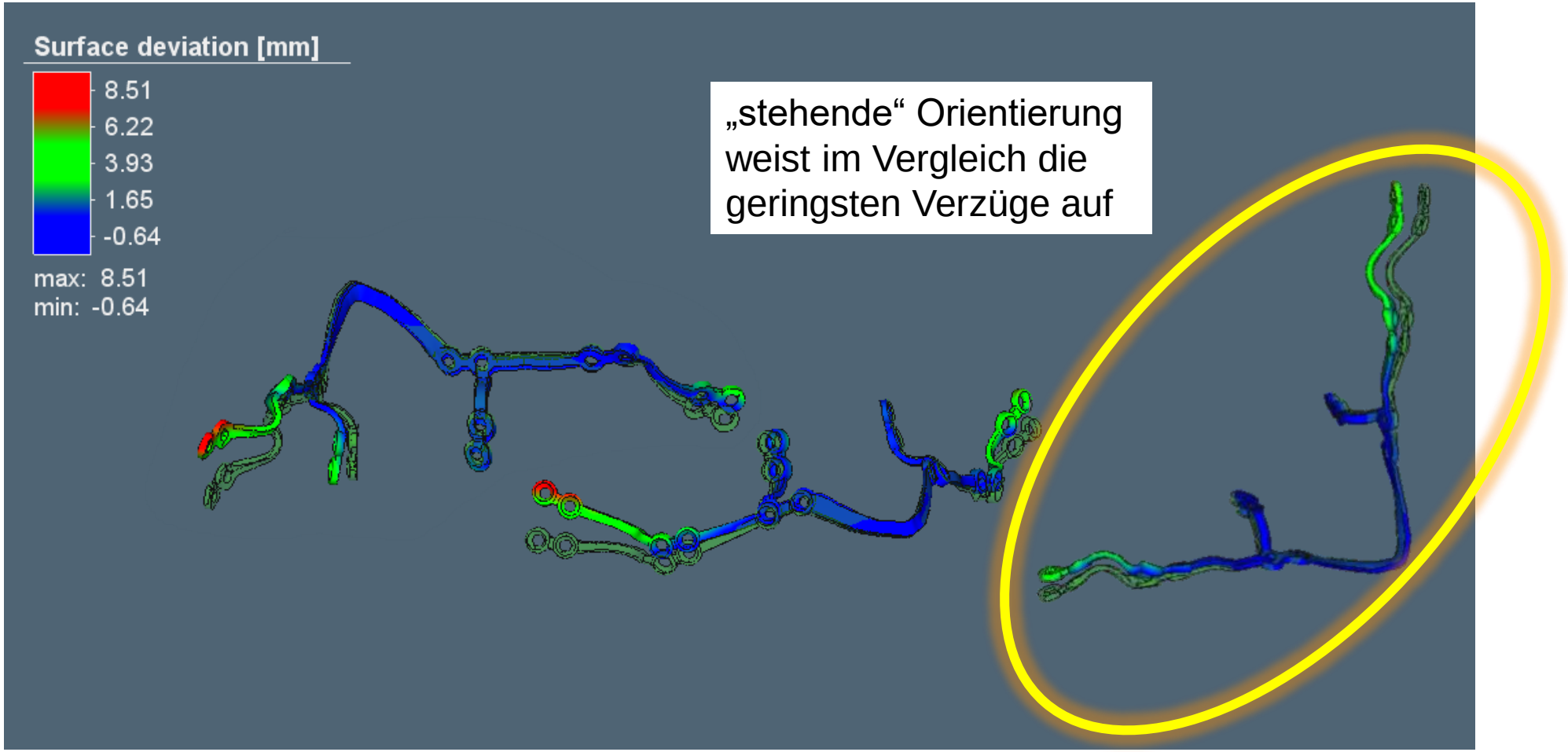
Eigenspannung nach dem Baujob



Copyright © simufact engineering gmbh

Unterschiedliche Orientierungen
Erprobung des Prozesses durch Simulation

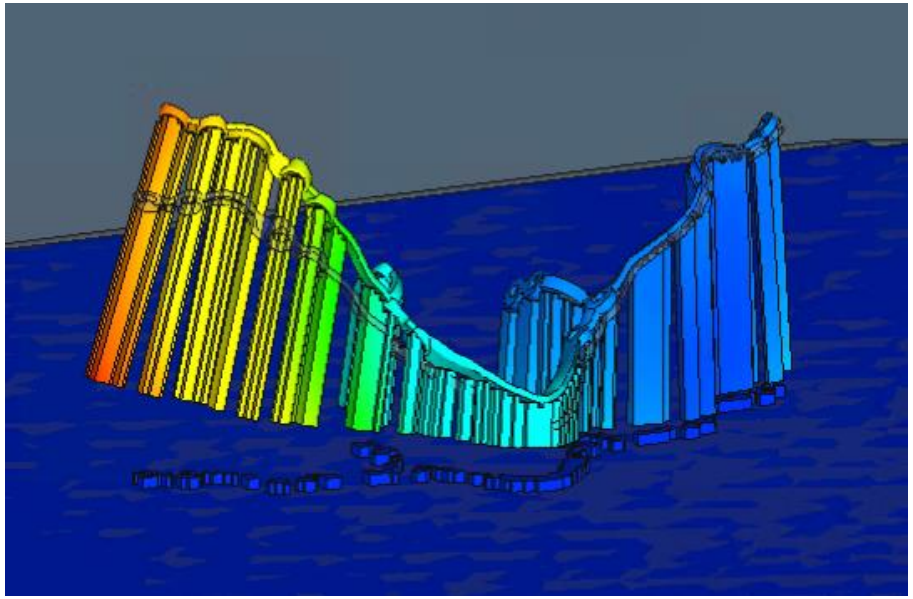
Oberflächenabweichung



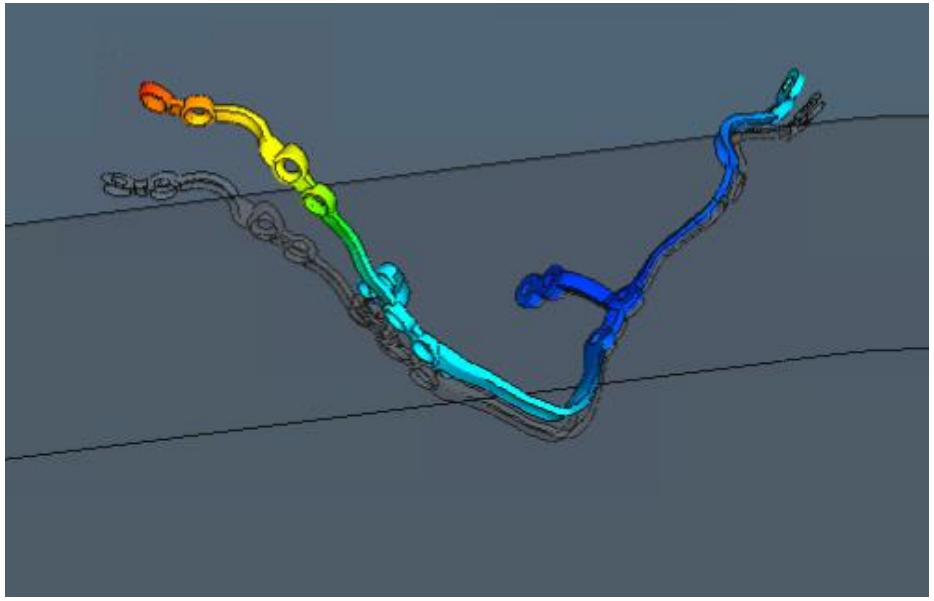
Copyright © simufact engineering gmbh

Verzugskompensation

simufact additive



Verzug nach Abtrennen des Implantats von der Basisplatte



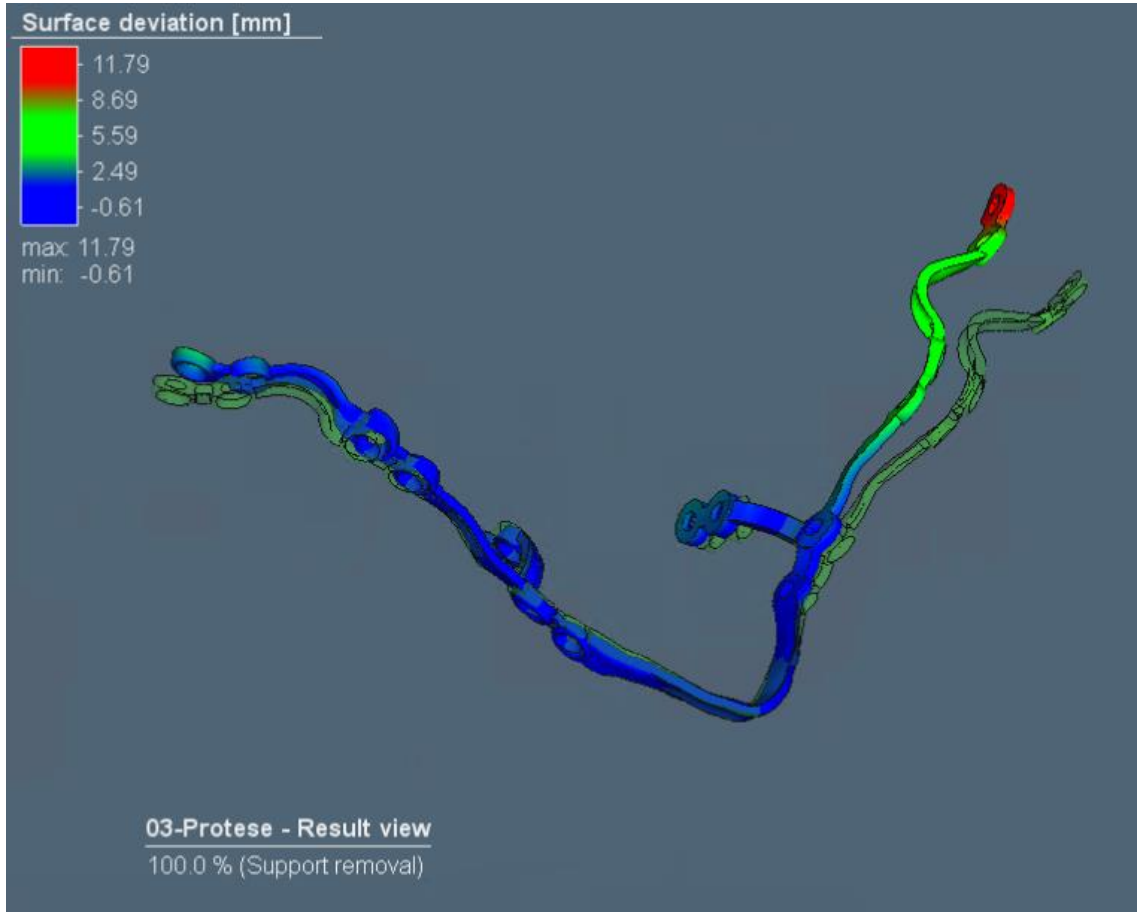
Verzug nach Entfernen der Supportstrukturen

Copyright © simufact engineering gmbh

Verzugskompensation

simufact additive

- Oberflächenabweichung auf Basis eines Best Fit des initialen Implantats am Ende der Fertigungskette



⇨ Verzugskompensation des Implantats auf Basis der Simulationsergebnisse

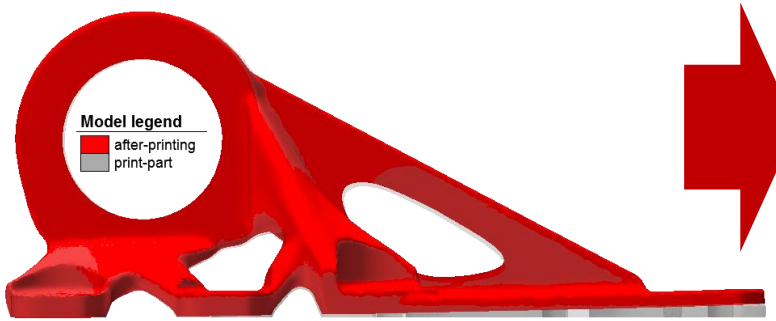
Copyright © simufact engineering gmbh

Verzugskompensation Ablauf:

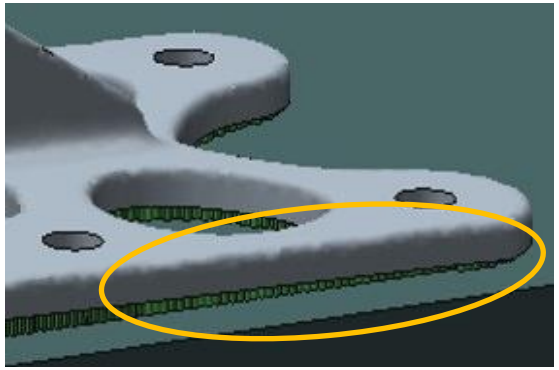
simufact additive

Integrierter, automatisierter Verzugskompensationsansatz bis:

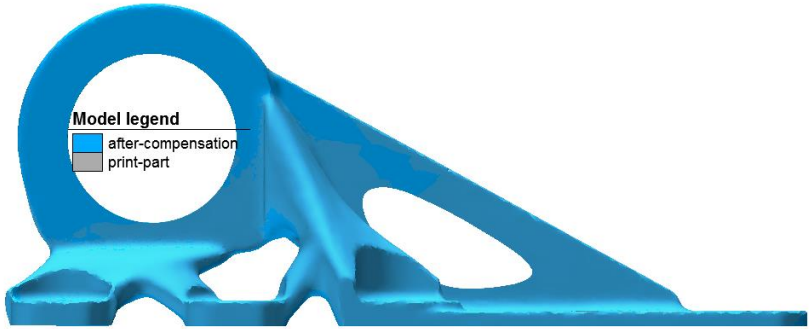
- Maximal-tolerierte Oberflächenabweichung unterschritten wird
- Maximale Anzahl an automatisch erstellten Modellen erreicht wird



Verzug des Bauteils nach Drucken der Originalgeometrie



Kompensierte Geometrie zeigt sich hier im Offset der Spitze



Verzug nach dem Drucken der kompensierten Geometrie

Copyright © simufact engineering gmbh

Ergebnis der Verzugskompensation

simufact additive

Kompensation

- In nur drei Schritten

Verzugsoptimiertes Implantat nach dem Druck, Abweichung < 0.2 mm

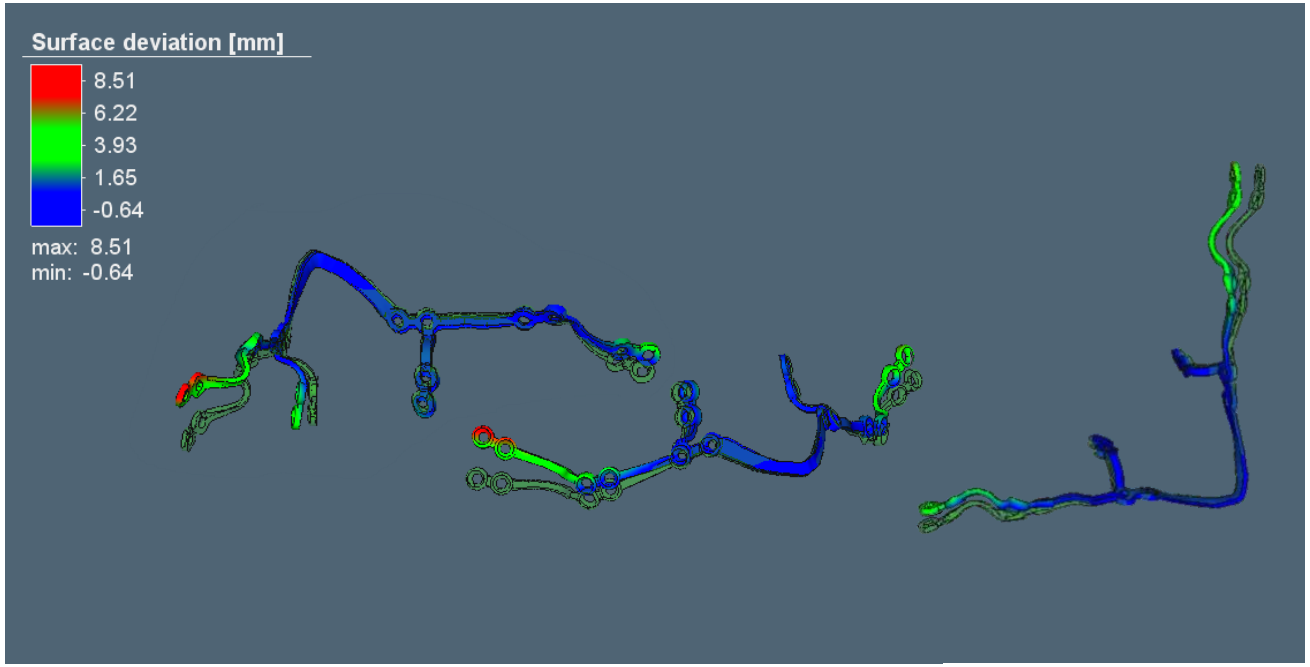
Copyright © simufact engineering gmbh

Potentiale der Prozesssimulation in der Medizintechnik

simufact additive

Analysiert werden kann …

- der Einfluss der Orientierung des Teils im Bauraum auf den Verzug



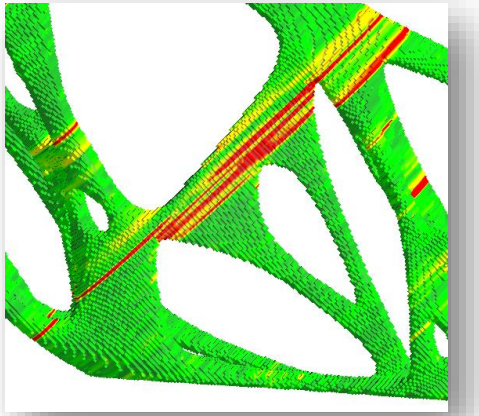
Copyright © simufact engineering gmbh

Potentiale der Prozesssimulation in der Medizintechnik

simufact additive

Analysiert werden kann …

- der Einfluss der Orientierung des Teils im Bauraum auf den Verzug
- wie verschiedene Supportstrukturen Wärmeenergie abführen und Eigenspannungen reduzieren
- wo die Wahrscheinlichkeit hoch ist, dass Supports reißen können
- Einfluss der Wärmebehandlung
- das Unterschiedliche Verhalten bei mehreren oder einem Teil im Bauraum → Verzug Basisplatte
- wo Querschnittsänderungen bei der Belichtung Schichtversatz erzeugen



Schichtversatz simuliert

Schichtversatz am Realteil

Copyright © simufact engineering gmbh

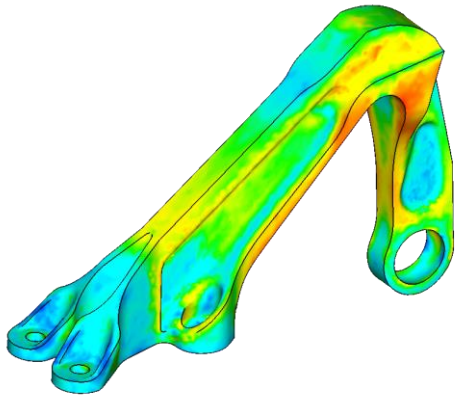
Potentiale der Prozesssimulation in der Medizintechnik

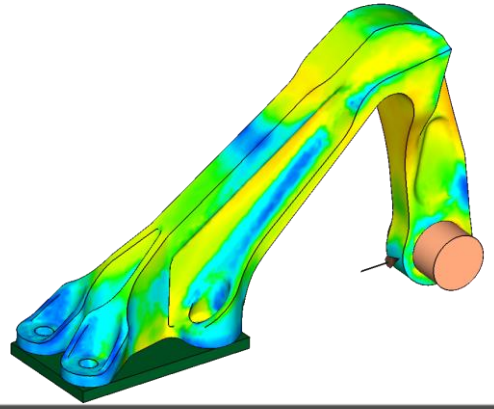
simufact additive

Analysiert werden kann …

- der Einfluss der Orientierung des Teils im Bauraum auf den Verzug
- wie verschiedene Supportstrukturen Wärmeenergie abführen und Eigenspannungen reduzieren
- wo die Wahrscheinlichkeit hoch ist, dass Supports reißen können
- Einfluss der Wärmebehandlung
- das Unterschiedliche Verhalten bei mehreren oder einem Teil im Bauraum → Verzug Basisplatte
- wo Querschnittsänderungen bei der Belichtung Schichtversatz erzeugen
- weitere Tests (bspw. Lebensdauer) auf Basis von Fertigungsergebnissen

Nach dem Druck





Nach dem Druck unter Last

Copyright © simufact engineering gmbh

Potentiale der Prozesssimulation in der Medizintechnik

simufact additive

Analysiert werden kann …

- der Einfluss der Orientierung des Teils im Bauraum auf den Verzug
- wie verschiedene Supportstrukturen Wärmeenergie abführen und Eigenspannungen reduzieren
- wo die Wahrscheinlichkeit hoch ist, dass Supports reißen können
- Einfluss der Wärmebehandlung
- das Unterschiedliche Verhalten bei mehreren oder einem Teil im Bauraum → Verzug Basisplatte
- wo Querschnittsänderungen bei der Belichtung Schichtversatz erzeugen
- weitere Tests (bspw. Lebensdauer) auf Basis von Fertigungsergebnissen

- **die Ursache von problematischen Baujobs erkennen**

⇨ ***First-time-right*** **fertigen,**
durch u.a. automatische Verzugskompensation, Supportoptimierung

Copyright © simufact engineering gmbh

Zeit für Fragen

MSC Software

simufact
Simulating Manufacturing
MSC Software Company