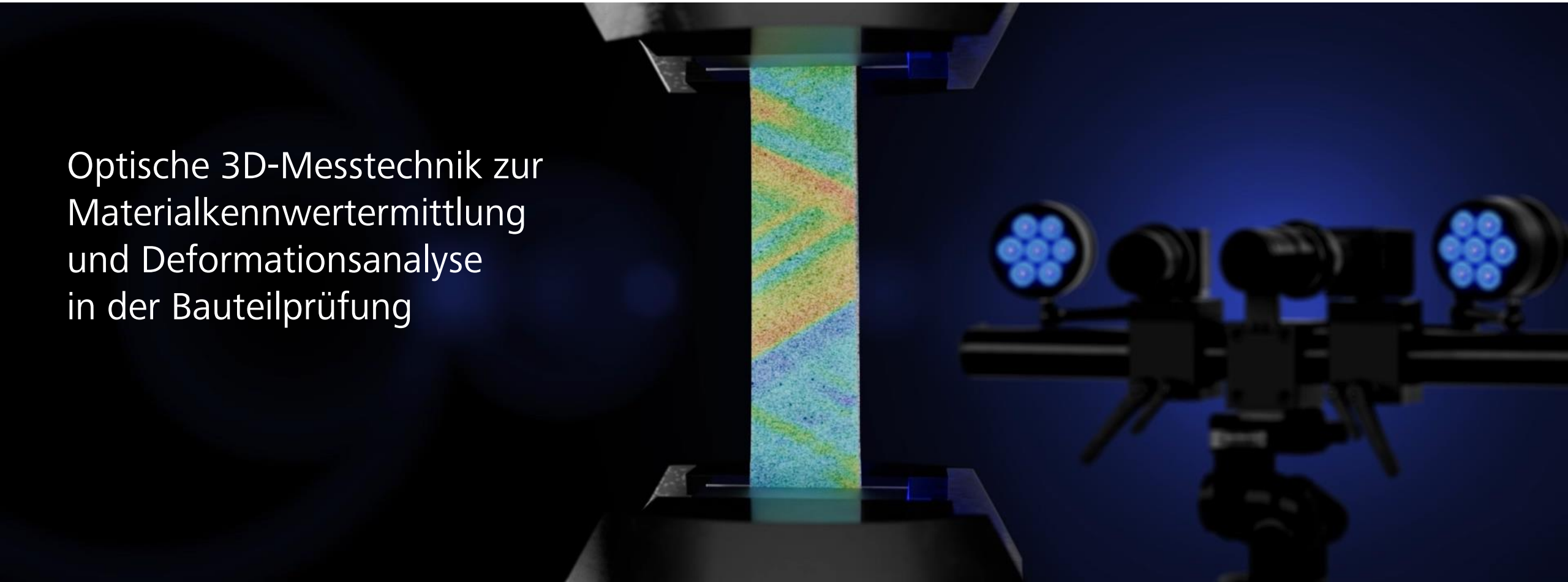
31. testXpo
Internationale Fachmesse für Prüftechnik

Gunter Sanow
Harald Friebe



Optische 3D-Messtechnik zur Materialkennwertermittlung und Deformationsanalyse in der Bauteilprüfung

GOM Metrology ist Teil der ZEISS Industrial Quality Solutions

BU Multisensoric CMMs	BU Metrology Solutions	BU Industrial Microscopy Solutions	**BU Optical Systems**	BU X-Ray	BU Software & Quality Intelligence	BU Metrology Services

RMS
Research Microscopy Solutions

IQS
Industrial Quality Solutions

SMT
Semiconductor Manufacturing Technology

IQR
Industrial Quality and Research

MED
Medical Technology

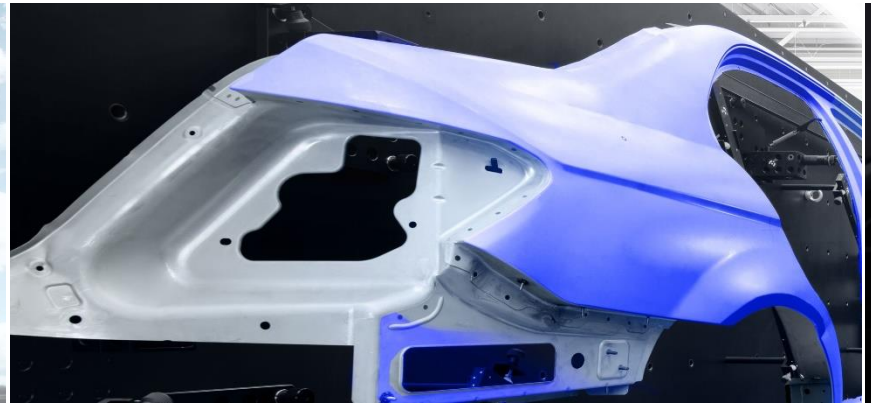
COM
Consumer Markets

Carl Zeiss GOM Metrology

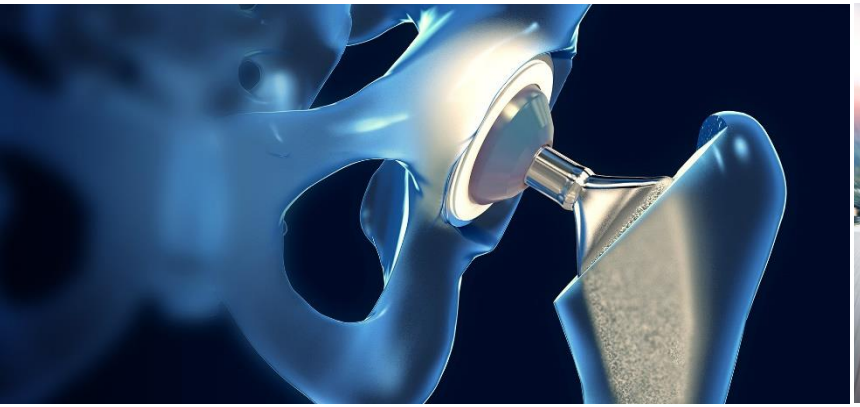
Ein globaler Messtechnikstandard in der Entwicklung und Produktion

Luft- und Raumfahrt

Automotive



Konsumgüter



Medizintechnik

Transportwesen

Energieerzeugung

Lösungen von ZEISS
Für alle industriellen Messaufgaben bereit

3D-Koordinatenmesstechnik

3D-Testing

Computertomografie

KMGs

Optische und Multisensor-Messmaschinen

Form & Oberflächen

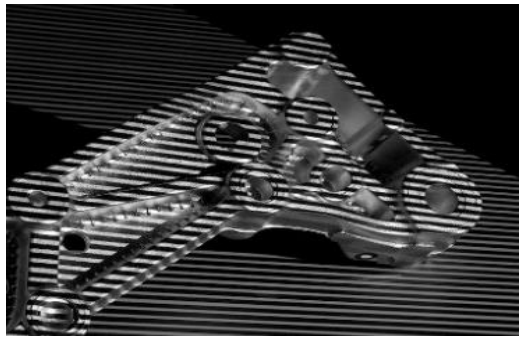
Carl Zeiss GOM Metrology
Unser Fachwissen

Digitale Bildverarbeitung

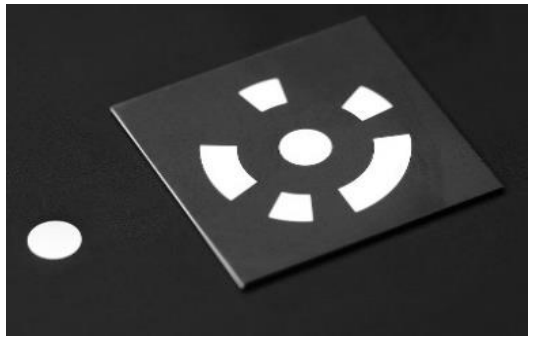
3D-Koordinatenmesstechnik

Anwendungen z.B.:

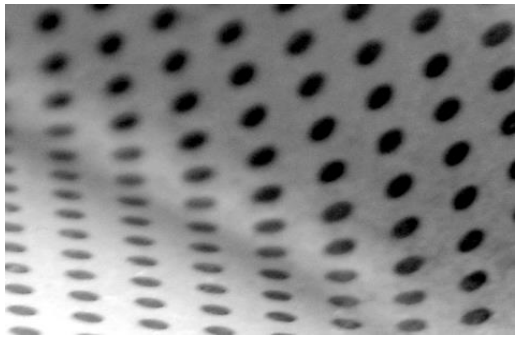
- Material- und Bauteilprüfung
- Materialkennwerte
- 3D-Formerfassung
- Qualitätssicherung Automatisierung



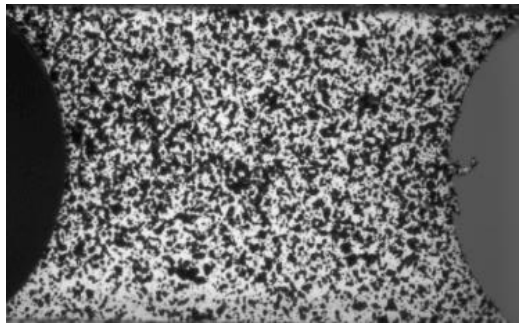
Projizierte Muster



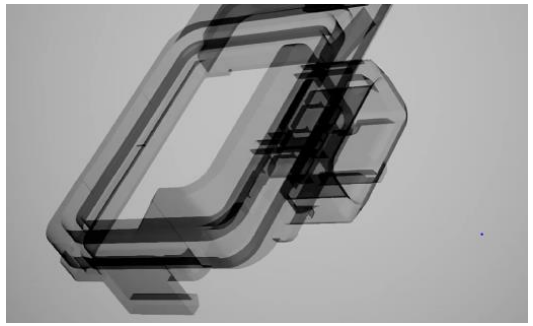
Punktmarken



Regelmäßige Punktmuster



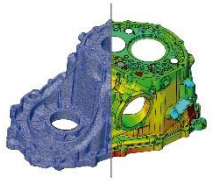
Stochastische Muster



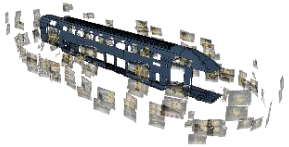
Durchstrahlung (Röntgen)

Carl Zeiss GOM Metrology
Messsysteme

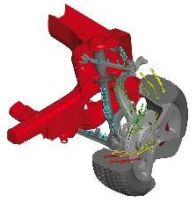
ATOS
Flächenhaftes 3D-Scannen



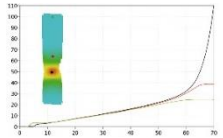
TRITOP
Mobiles optisches Koordinatenmesssystem



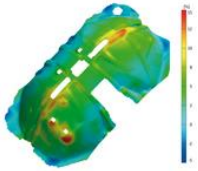
PONTOS Live
Bauteilpositionierung



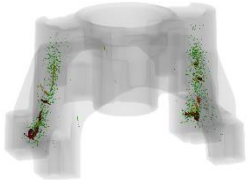
ARAMIS
3D-Bewegungs- und Verformungsanalyse



ARGUS
Optische Form-änderungsanalyse



Metrotom 6
Messtechnisches CT zur Geometrieerfassung



Auswertesoftware
ZEISS Quality Suite

GOM Inspect

GOM Correlate

GOM Blade Inspect

GOM Volume Inspect

ATOS

3D-Koordinatenmessung

ATOS
Überblick

GOM Scan 1

ATOS Compact Scan

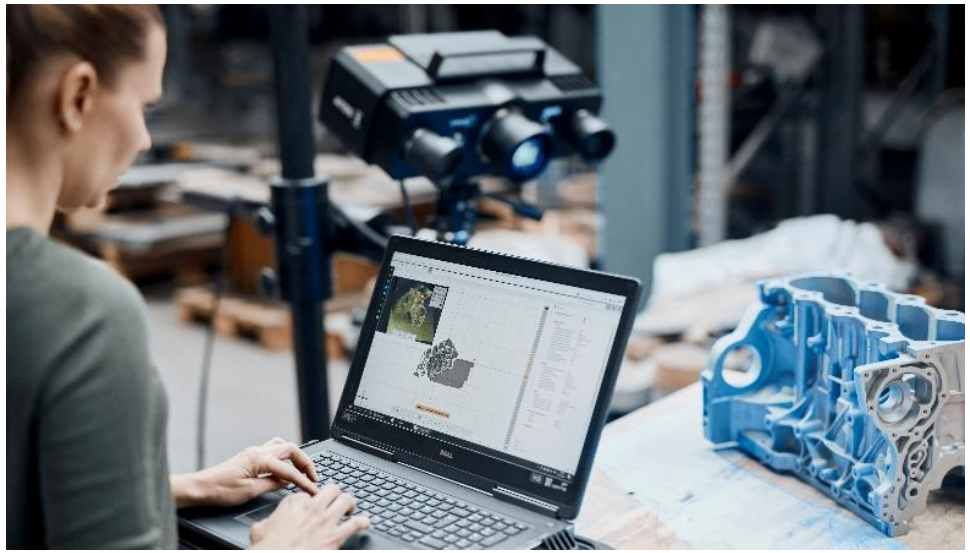
ATOS Q

ATOS 5

Optische 3D-Messtechnik und vollflächige Bauteilmessungen sind heute Standard in fast allen Industriezweigen weltweit. ATOS Messsysteme liefern mit ihrer Hard- und Software präzise Messergebnisse für industrielle Anwendungen.

- Form- und Maßanalyse
- Präzise 3D-Koordinaten
- Flächenhafte Abweichungen zum CAD
- Messberichte

ATOS
3D-Koordinatenmessung



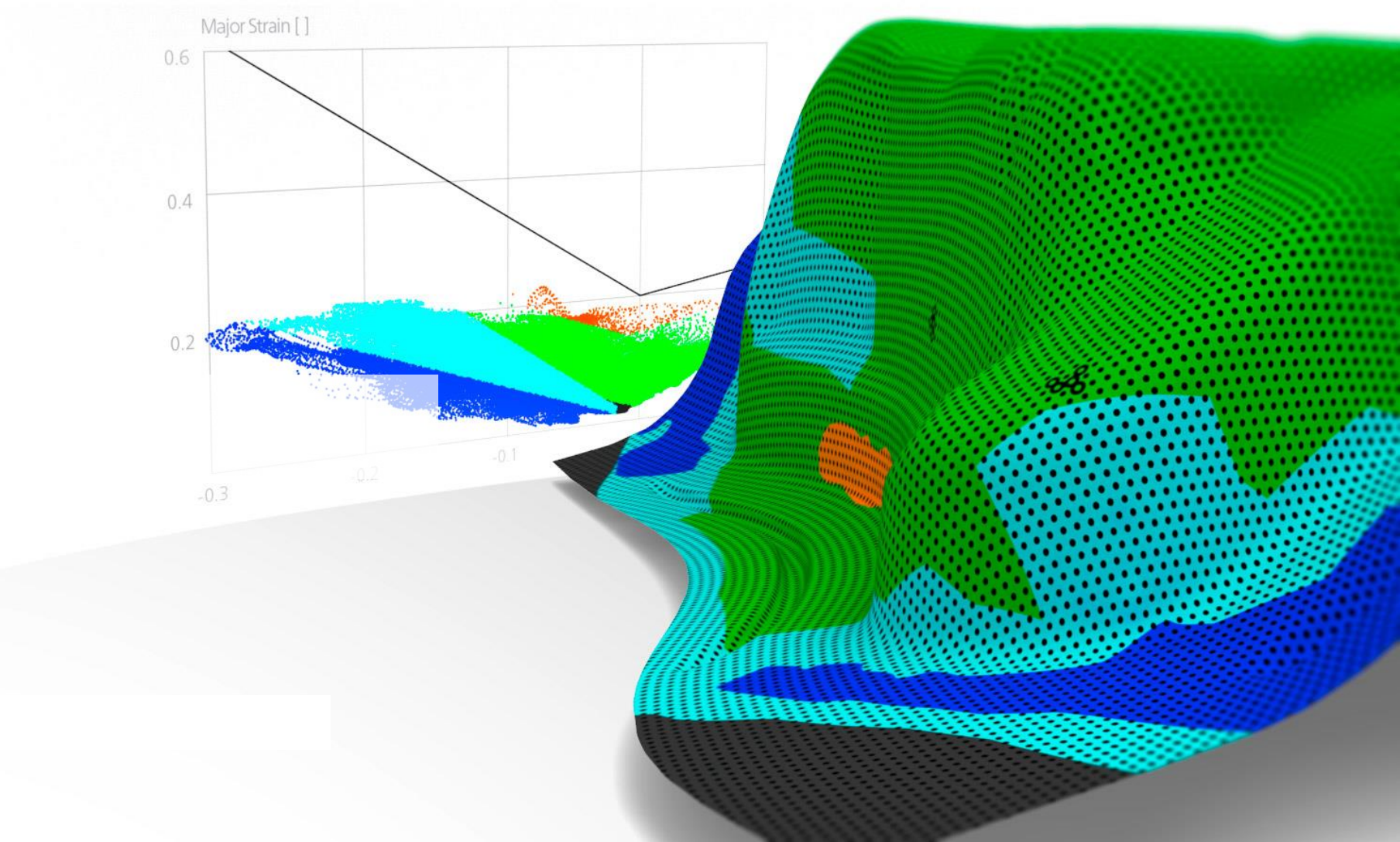
ScanBox
Komplettlösung für die effiziente Produktionskontrolle

Automatisierte, vollflächige 3D-Messtechnik

- Standardisierte Robotermesszelle
- Vollautomatische 3D-Digitalisierung und -Inspektion
- Für verschiedene Bauteilgrößen und Anwendungen

ARGUS

Formänderungsanalyse



ARGUS Formänderungsanalyse
Workflow

1.
Messplanung

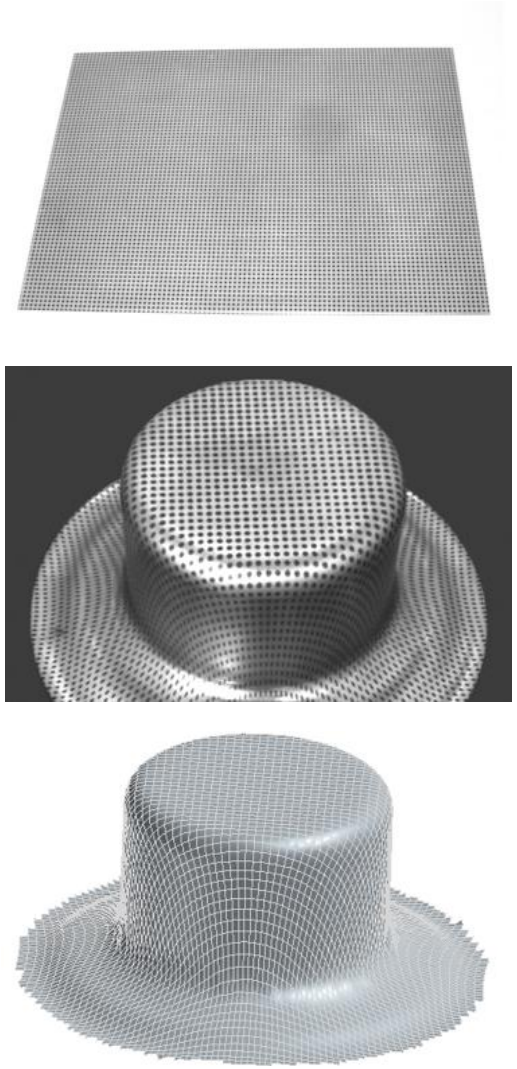
2.
Vorbereitung

3.
Messen

4.
Auswertung

ARGUS Formänderungsanalyse
Prinzip

- Punktmuster wird auf ebenes Blech appliziert
- Punktabstand 1 mm – 10 mm
- Punktmuster wird mit dem Blech umgeformt
- ARGUS misst die 3D-Koordinaten der Punkte

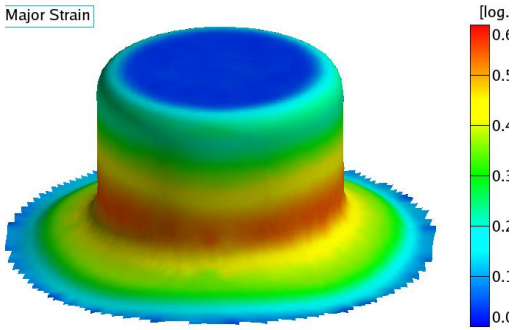


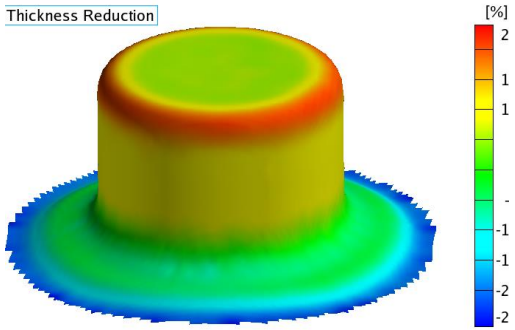
ARGUS Formänderungsanalyse
Ergebnisse

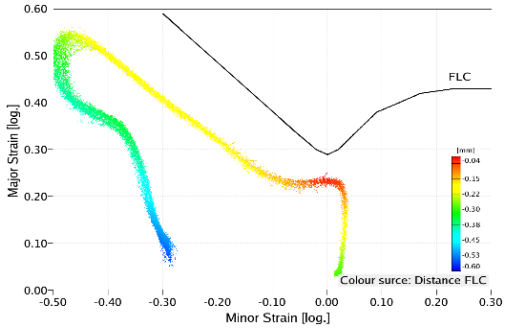
Berechnung des Dehnungstensors für jeden Punkt

Ergebnisse:

- 3D Koordinaten der Punkte
- Verteilung der Haupt- und Nebenformänderung
- Materialdickenabnahme
- Grenzformänderungsdiagramm (FLD)
- Schnittdaten
- Koordinatentransformationen
- Benutzerdefinierte Exportfunktionen





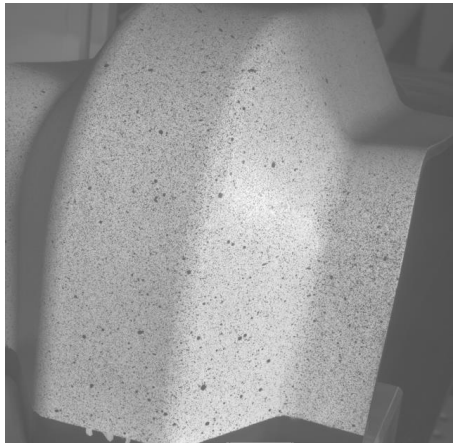


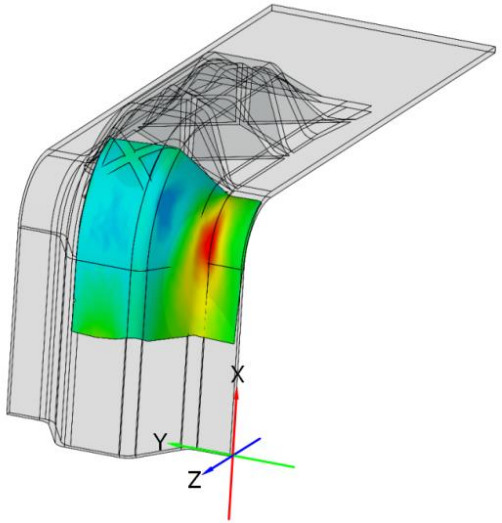
ARAMIS

Optischer 3D-Verformungssensor

ARAMIS Funktionen

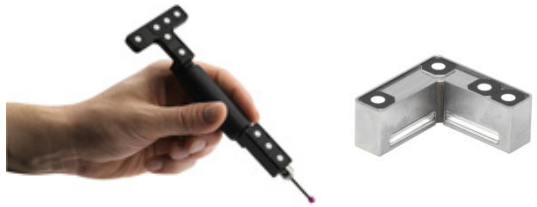
Digitale Bildkorrelation
Vollflächige Auswertung mit Hilfe von stochastischen Mustern





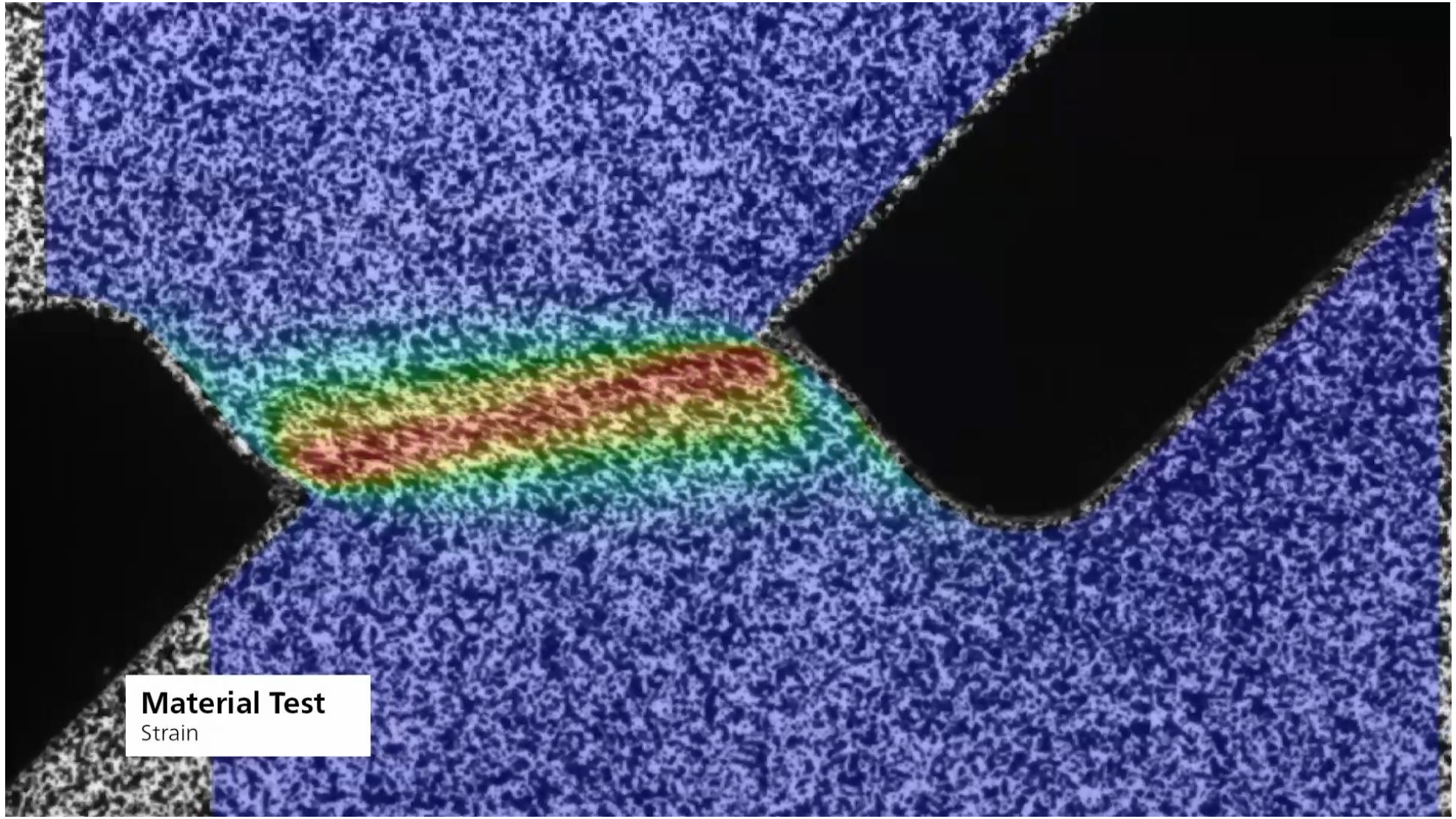
Auswertung von Messmarken

2D und 3D-Bewegungsanalyse
GOM Taster - Optische Bestimmung mechanischer Tastpunkte
Mechanische Adapter - Punktgruppen mit Zusatzinformationen



Live Messfunktion
Auswertung und Ergebnisdarstellung schon während der Messung

ARAMIS
Anwendungen



Sensorkonzept
ARAMIS

ARAMIS Adjustable

Modulares Messsystem für
2D- und 3D-Analysen

ARAMIS 3D Camera

Robustes Design für
industrielle Anwendungen

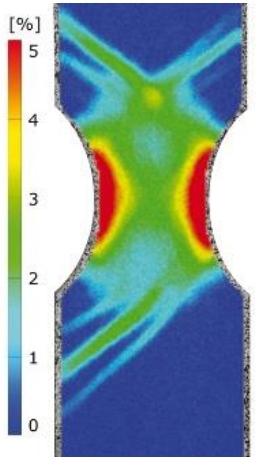
Komplettlösung
ARAMIS

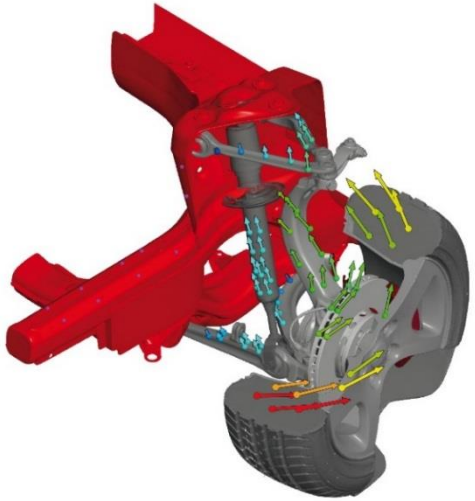
ARAMIS Controller
Bildsynchrone Signalaufzeichnungen von bis zu acht externen Messsignalen
Optionen zur externen Triggerung über das Precision-Time-Protocol (PTP)
Digitale Datenkommunikation per TCPIP

ZEISS Software
Bestimmung von Materialkennwerten / Bewegungsanalysen / CAD + FEM Import und Validierung / Thermografiedaten-Import / Schwingungsanalyse

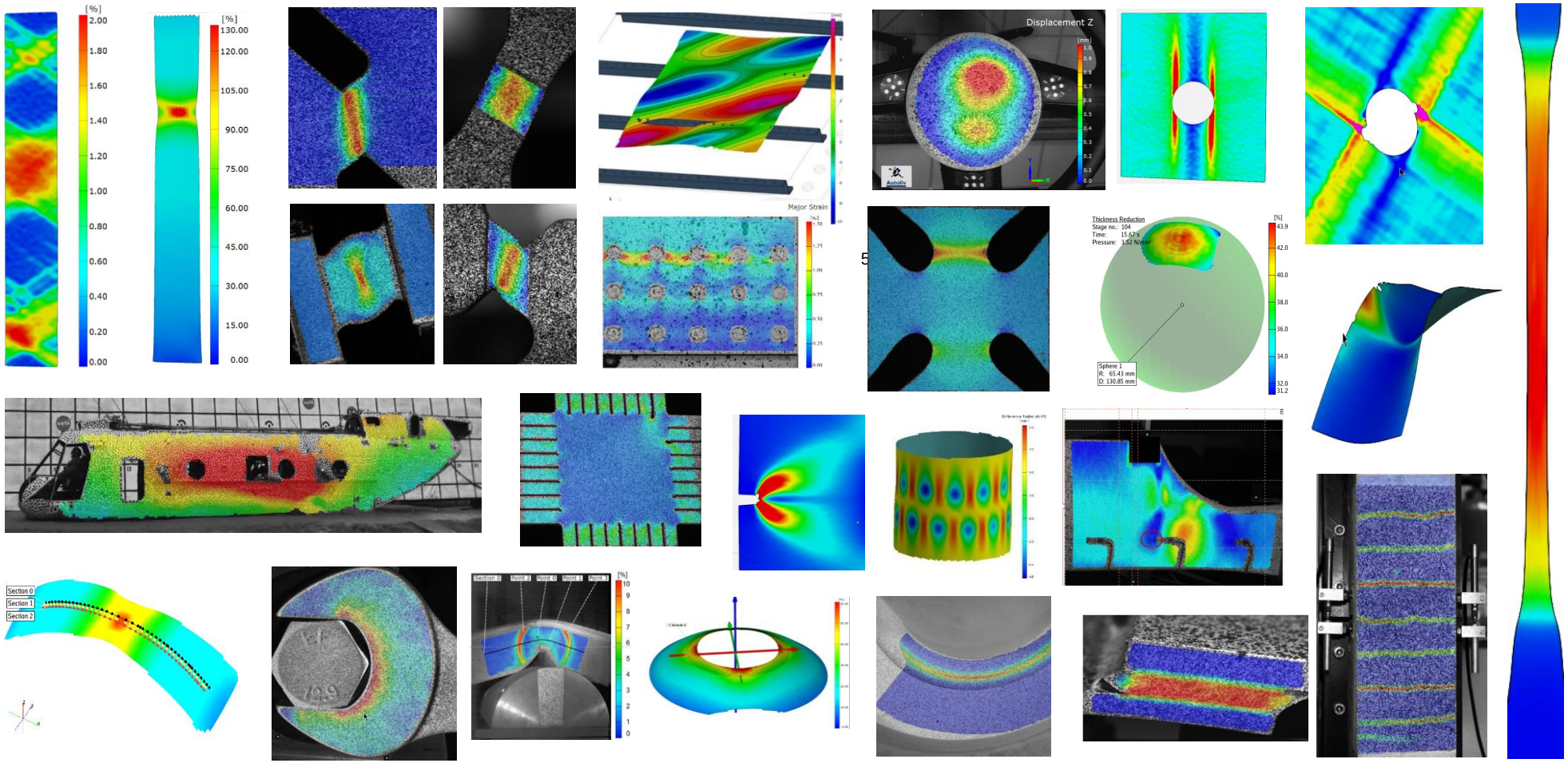
ARAMIS
Anwendungen

- Statische und dynamische Prüfungen
- Online-Messung
  - Live 3D-Koordinaten, Verschiebungen und Dehnungen
  - Digitale Datenübertragung in externe Datenlogger von Test- und Prüfständen
- Ersatz von herkömmlicher Wegsensorik
- Ersatz von Dehnungsmessstreifen (DMS)
- Ersatz von Beschleunigungssensorik für niederfrequente Anwendung
- Messung von
  - Proben und Bauteilen
    wenige Millimeter bis viele Meter Größe
  - drehenden Bauteilen
  - großen, komplexen Bewegungen



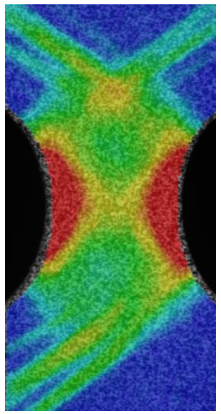


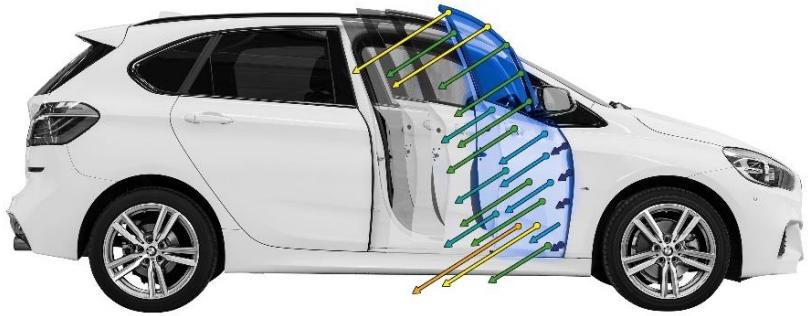
ARAMIS
Anwendungen*

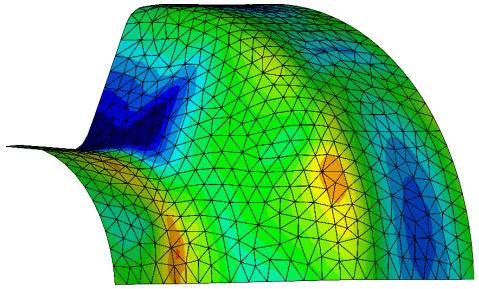


*Beispiele mit stochastischen Mustern

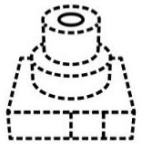
ARAMIS in der Produktentwicklung







Material-eigenschaften

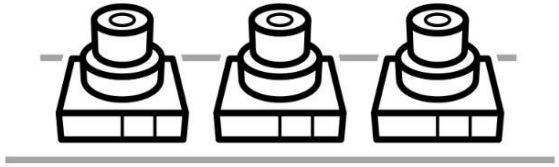


Produkt Design/CAD/ Simulation

Prototypen-fertigung

Prototyp Inspektion und Testing

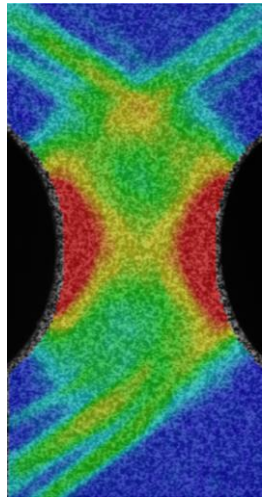
Simulation Validierung

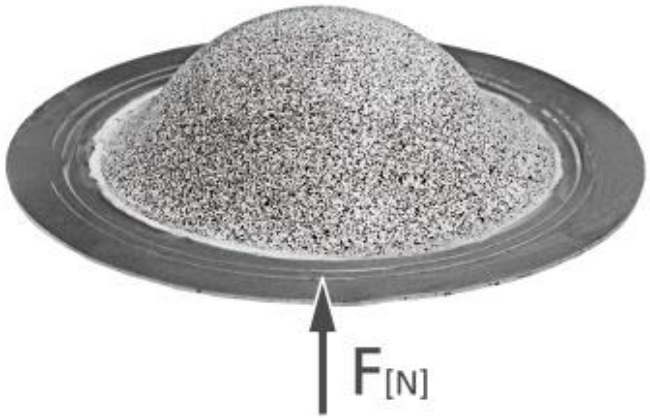


Produktion und Serienprüfung

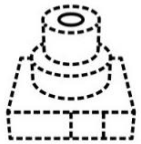
ARAMIS in der Produktentwicklung
Materialeigenschaften

- Eingabe von Daten für Material Modelle
- Umformbarkeit von Blechen
- Kantenrissempfindlichkeit





Material-eigenschaften

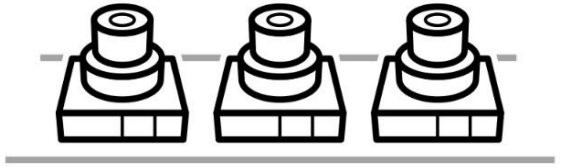


Produkt Design/CAD/ Simulation

Prototypen-fertigung

Prototyp Inspektion und Testing

Simulation Validierung



Produktions- und Serienprüfung

Materialprüfung
Übersicht

Ziel: Bestimmung der Fließortkurve für definierte Dehnungszustände eines Materials

Ableitung von Materialkennwerten, bspw.

- Spannungs- und Dehnungskurve
  - Global und lokal
    - „E-Modul“
    - Querkontraktionszahl (Poissonzahl)
    - R Wert
    - N Wert
    - Scherkennwerte
      - Scherspannung-Scherdehnung
      - Schermodul

Methode:

Versuche mit ARAMIS messen, um lokale und globale Daten zu erhalten
→ Verbesserung der Materialkarte und damit der FE-Simulation

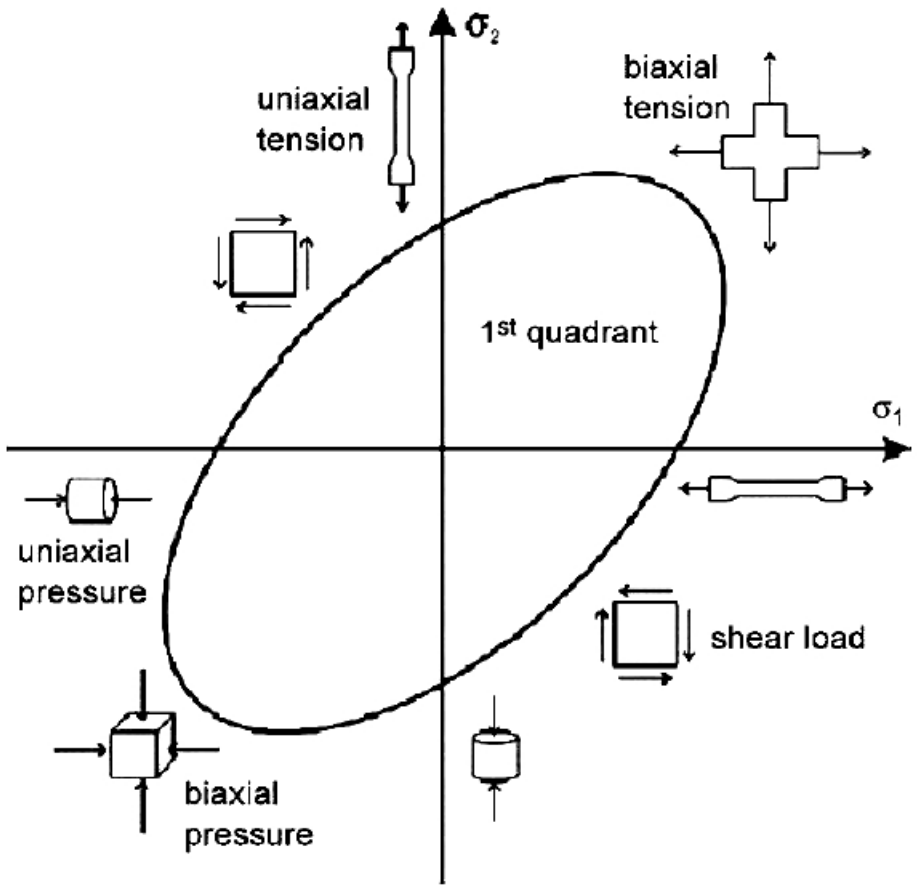


Bild: Pöhlandt K.: Materials Testing for the Metal Forming Industry, Springer-Verlag (1989)

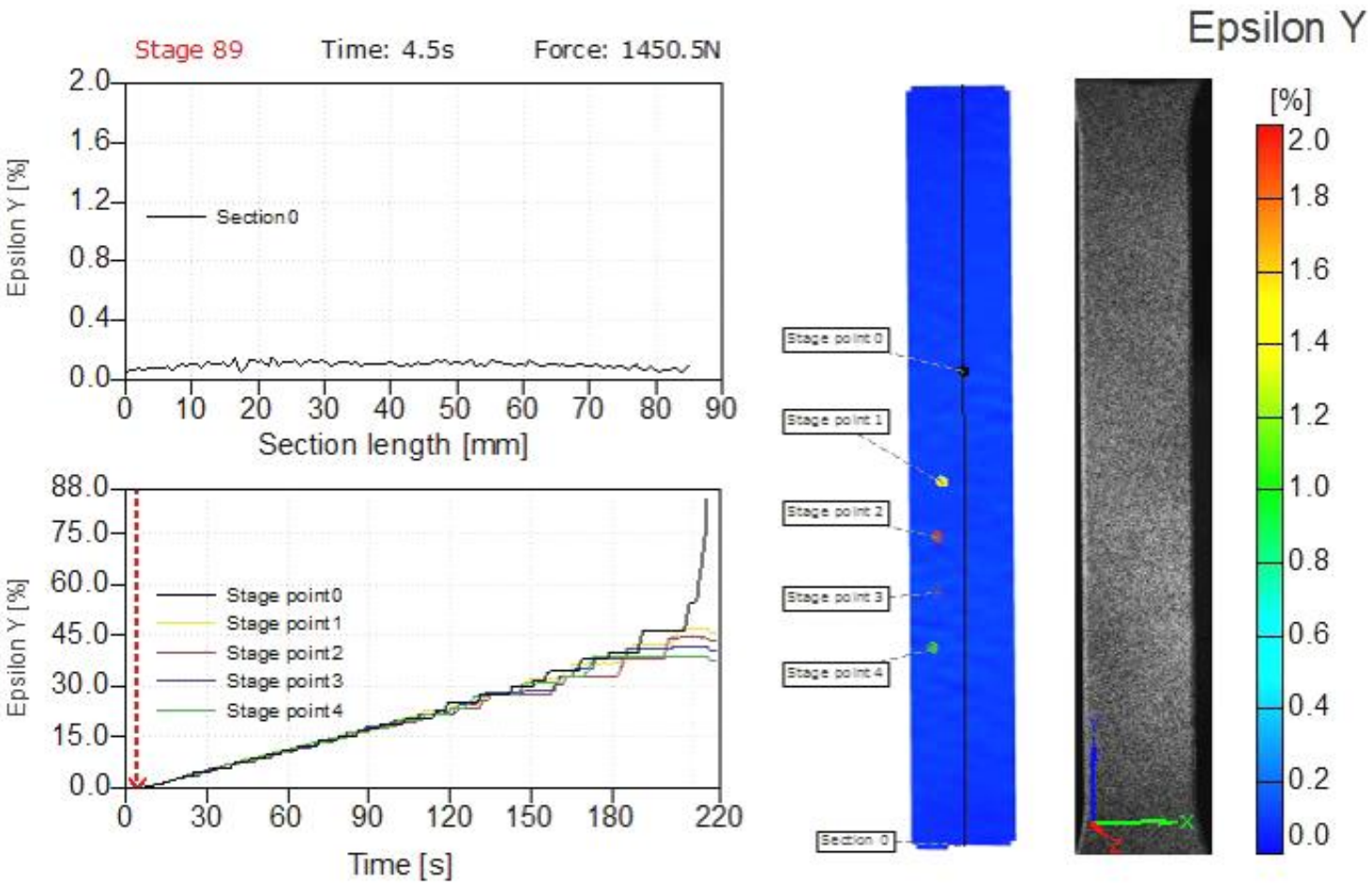
ARAMIS
mit Zugversuch

ARAMIS
Messergebnisse

3D-Koordinaten
3D-Verschiebungen
Geschwindigkeiten

Dehnungen
- Haupt- und Nebenformänderung
- Dehnung in X und Y, Scherung
- Vergleichsdehnung
- Dickenabnahme
- Dehnraten für alle Dehnungen

Weiterführende Auswertungen
- E-Modul, Fließkurven
- r- und n-Werte, ...
- FLC
- FEA Daten Vergleich



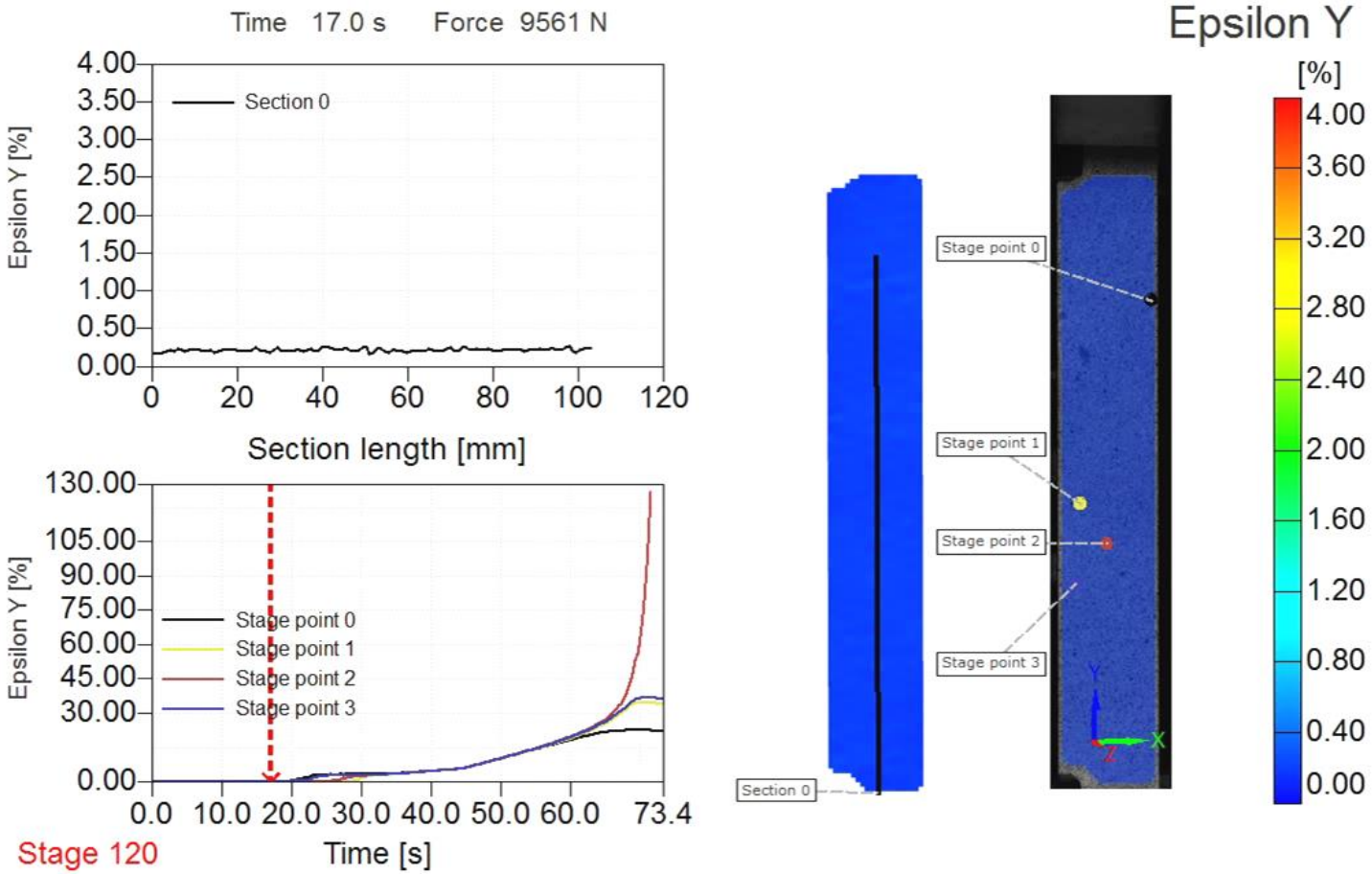
ARAMIS
Zugversuch

Lüdersbänder bei Stahl mit ausgeprägter Streckgrenze

Berechnung

- E-Modul
- n-Wert
- R-Wert

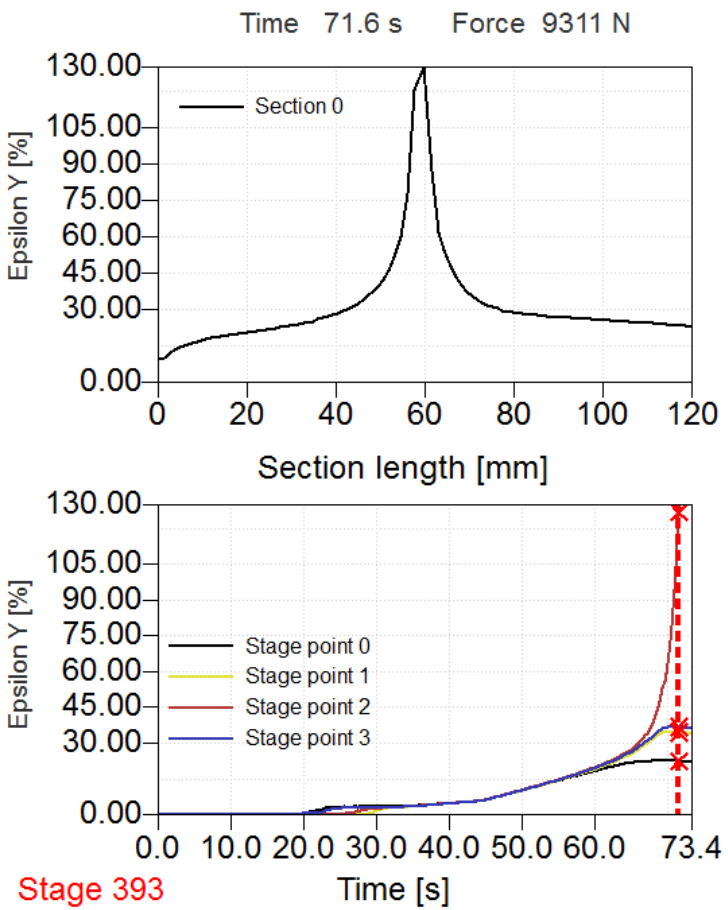
Einschnürung bei Eps Y = 130 %

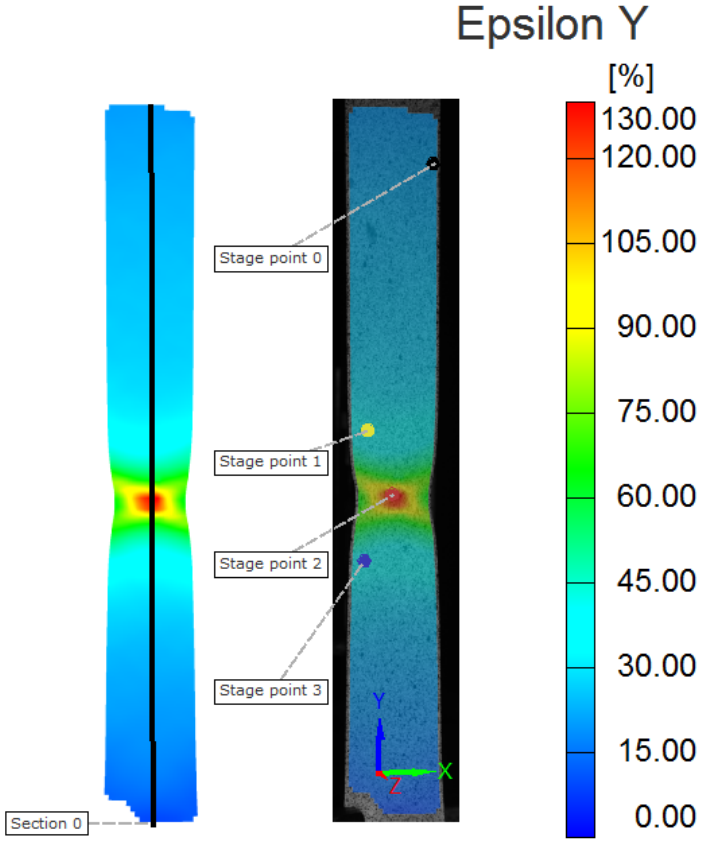


ARAMIS
Zugversuch

Einschnürung und Bruchdehnung bei Stahl

Einschnürung bei Eps Y = 130 %



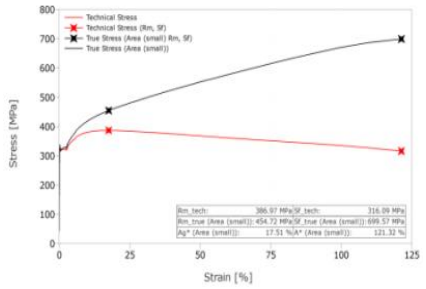


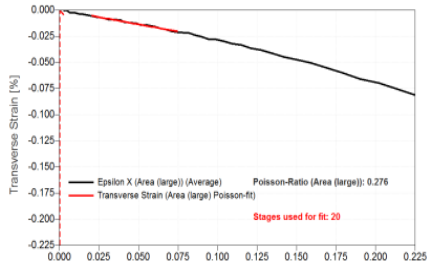
ARAMIS Zugversuch
Materialkennwertermittlung

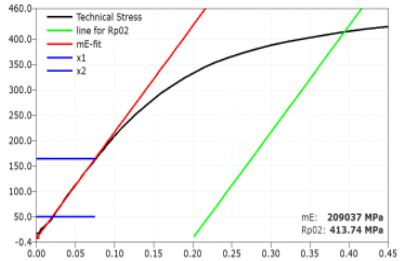
Automatische Materialkennwertbestimmung

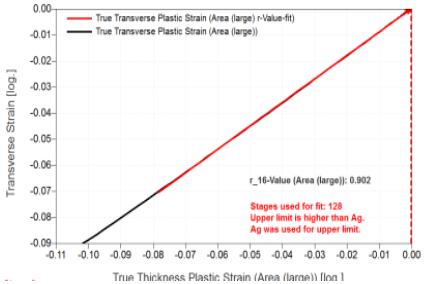
wie z.B.:

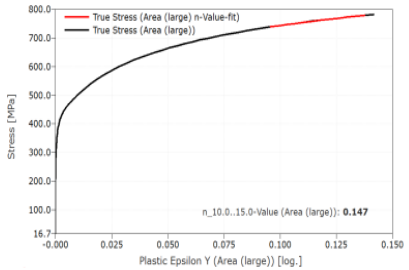
- Spannungs- und Dehnungskurve
  - Global und lokal
    - „E-Modul“
    - Querkontraktionszahl
    - r-Wert
    - n-Wert
  - Scherkennwerte
    - Scherspannung-Scherdehnung
    - Schermodul

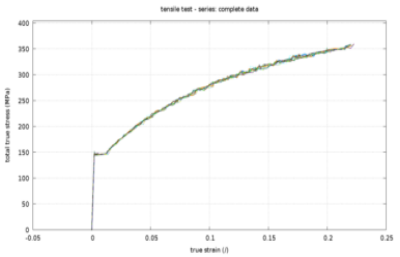












ARAMIS und Thermographie
Messaufbau

- Kombination aus digitaler Bildkorrelation und Thermographie
- Für Zugversuche
- Stahlproben
- Kunststoffproben
- Kombinierte Messdaten von Verschiebungen, Dehnungen und Temperatur
- Gleichzeitiges Verständnis von mechanischem und thermischem Verhalten von Proben im Belastungszustand

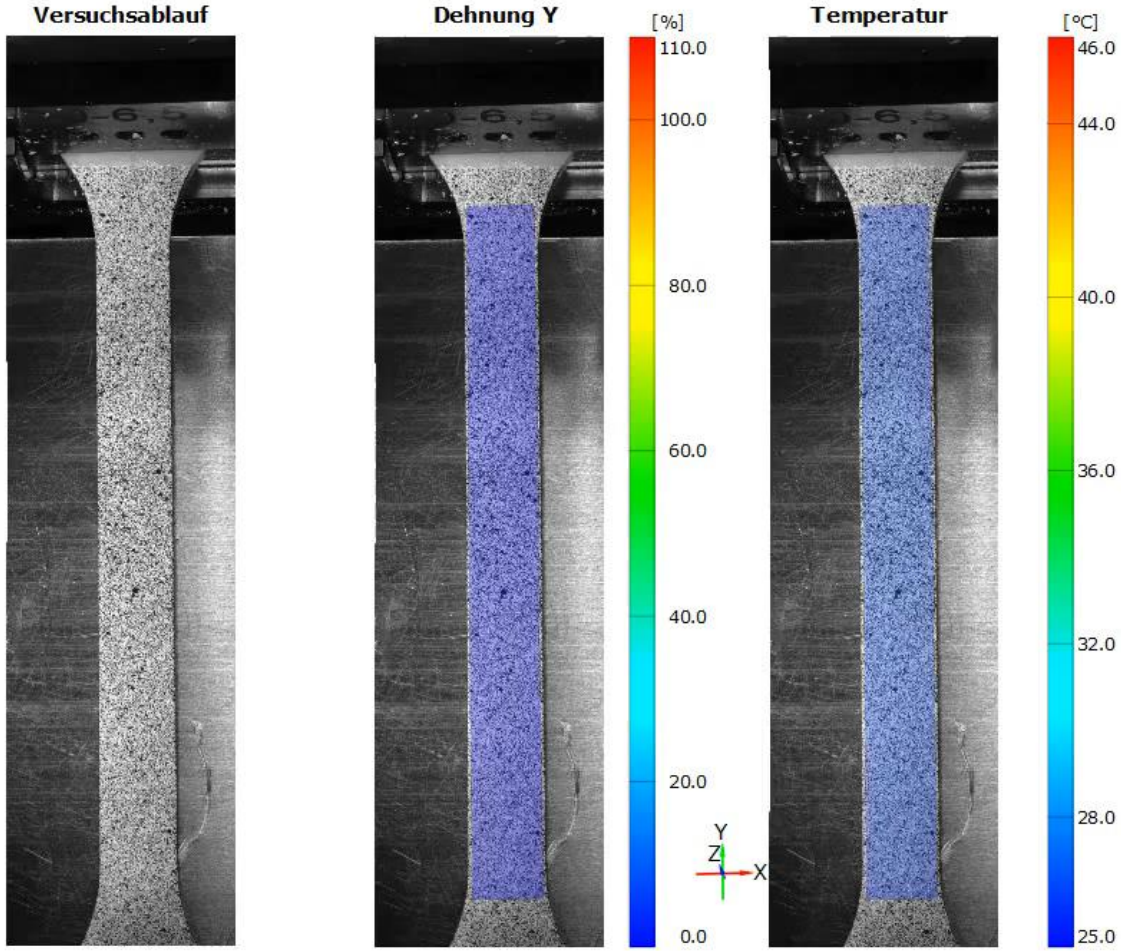
Anwendungsbeispiel – Zugversuch
Kunststoff

Probenkörper

- Maße paralleler Bereich: 85 × 10 × 4 mm³
- Material: Kunststoff (Makrolon)

Messsysteme

- ARAMIS 12M, Messvolumen: 125 × 90 × 70 mm³
- Thermographiekamera: Infratec 8300

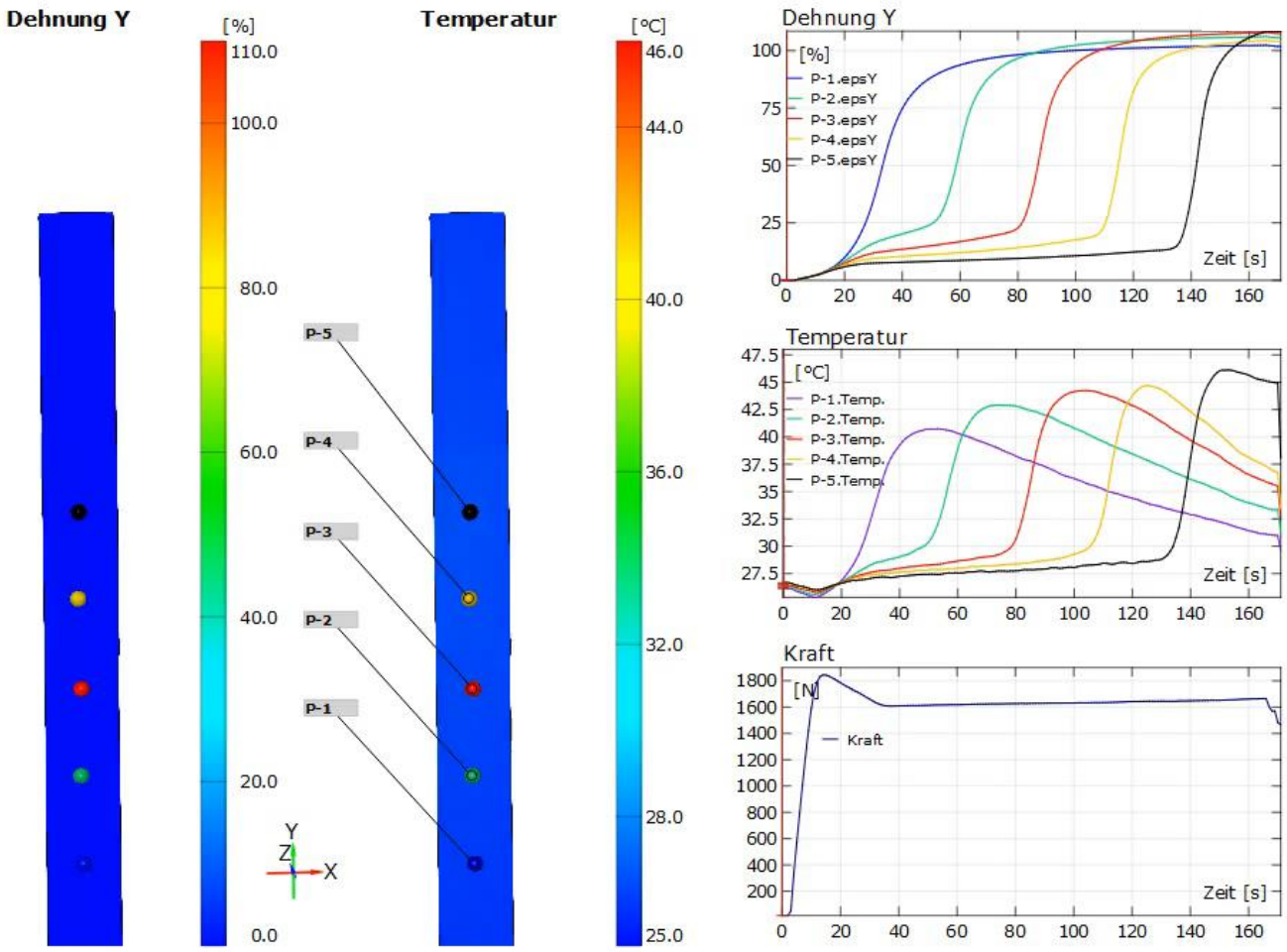


Anwendungsbeispiel – Zugversuch
Kunststoff

Zu Beginn schnürt die Probe im unteren Bereich ein. Hier konzentrieren sich Dehnung und Temperaturwerte.

Im weiteren Verlauf wächst die Einschnürzone weiter nach oben.

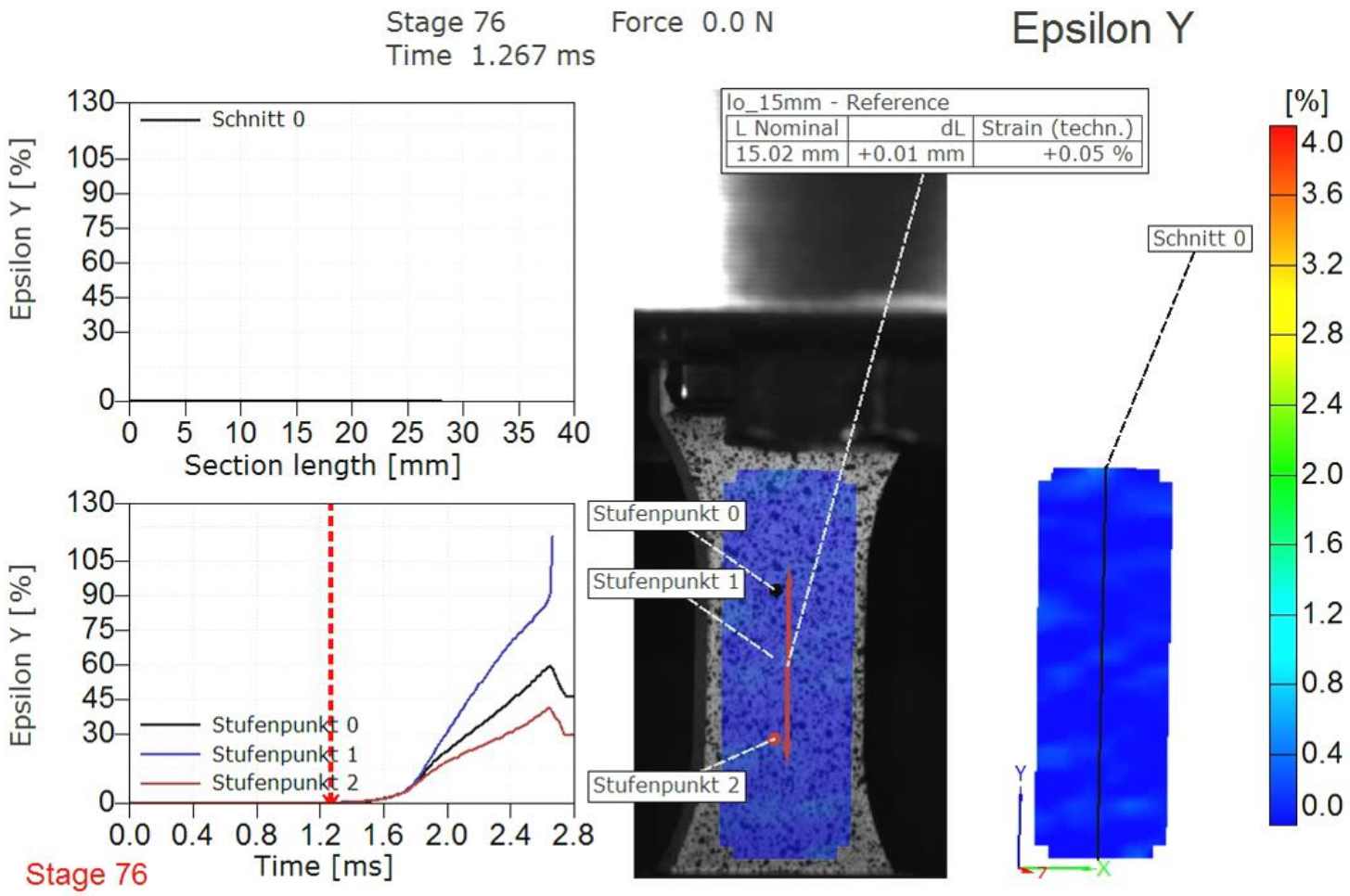
Die Temperaturausbreitung folgt dem lokalen Dehnungsanstieg, wobei im unteren Bereich die Temperatur schon wieder abfällt (z.B. durch Konvektion, Wärmeleitung, …)



Hochgeschwindigkeitszugversuch

Überblick

- Prüfgeschwindigkeit:
  10 m/s
- Frame rate:
  60.000 Hz

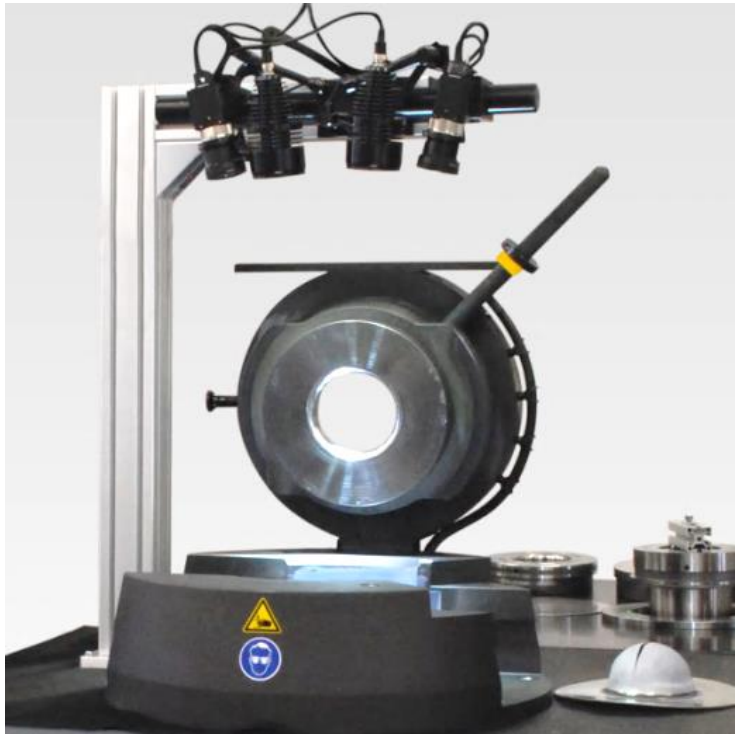


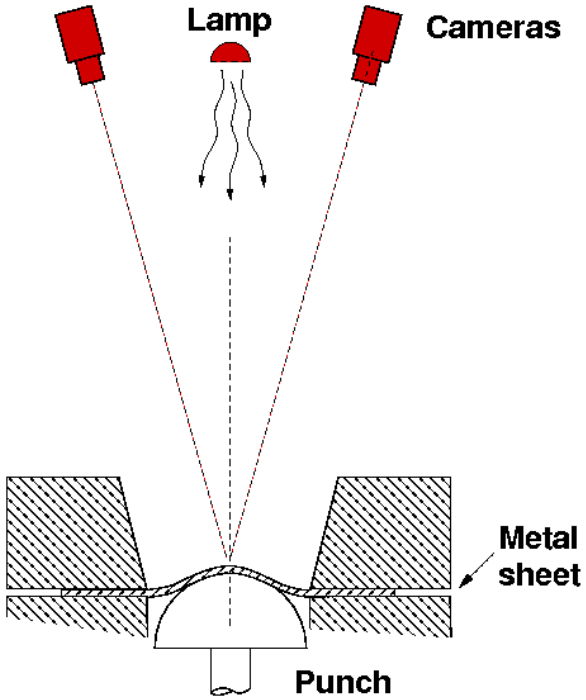
ARAMIS
Prüfung der Umformbarkeit von Blechwerkstoffen

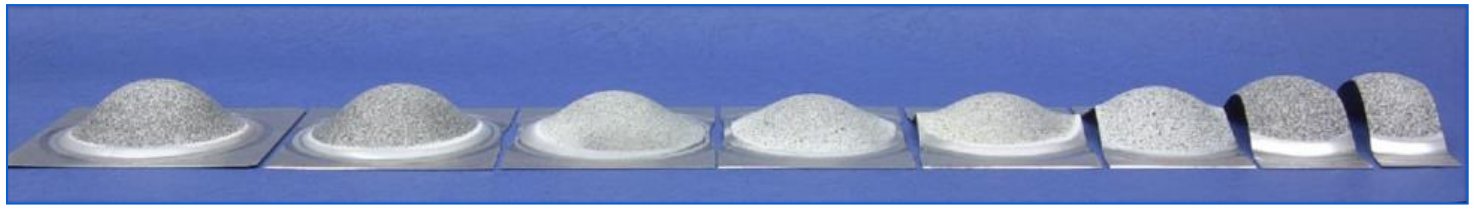
ARAMIS
Nakajimatest – FLC Bestimmung

Bestimmung von Grenzform-änderungskurven (FLC)

Dehnungsgeregelte Versuche mit ARAMIS an BUP möglich

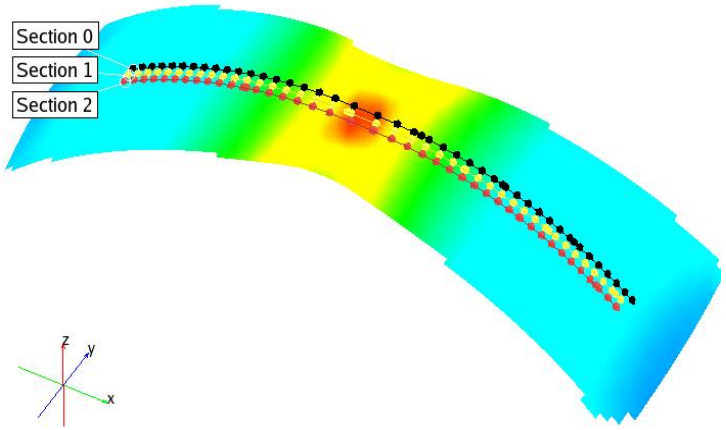


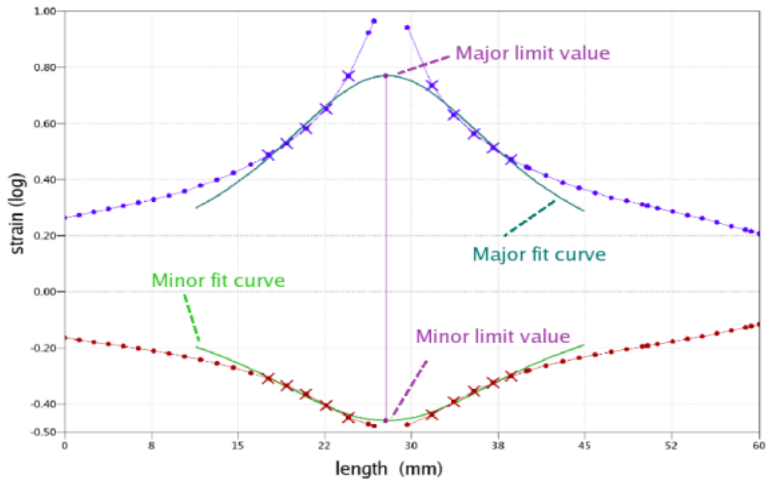


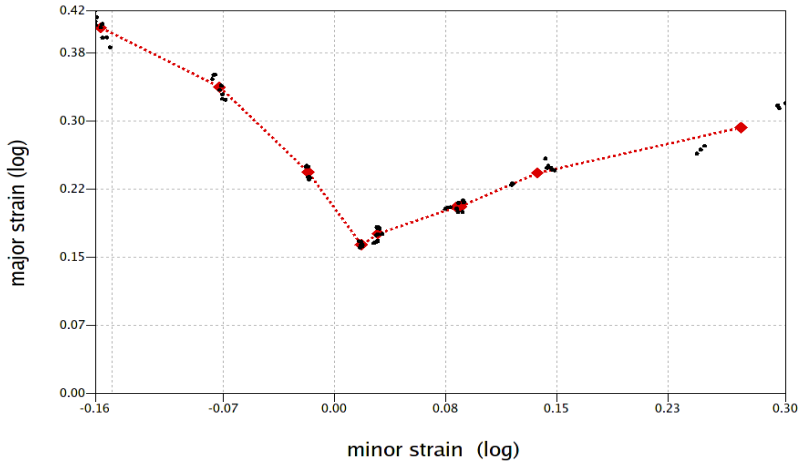


ARAMIS
Nakajimatest – FLC Bestimmung

- Bestimmung von Grenzform-änderungskurven (FLC)
- Schnittbasierte Auswertung nach ISO 12004
- Verschiedene zeitbasierte Auswerteverfahren
  - BMW-Methode, LFT-Methode
  - ISO12004-Entwurf





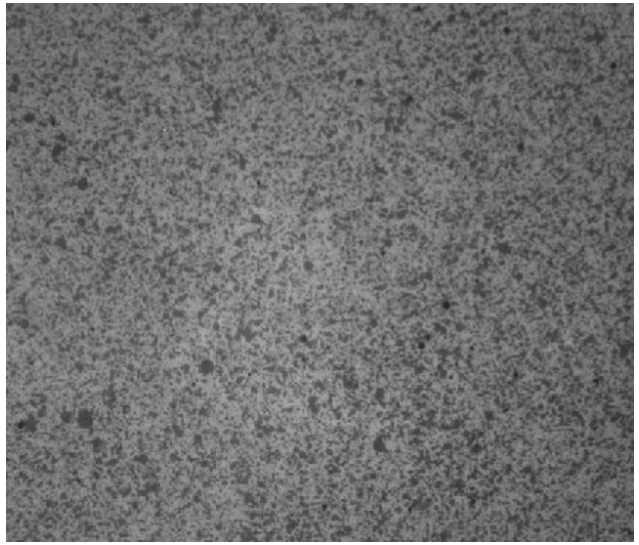


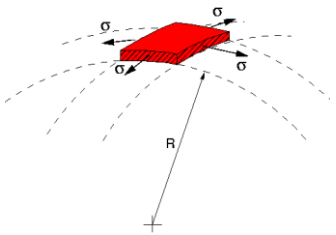
ARAMIS Bulge-Test zur Fließkurvenbestimmung

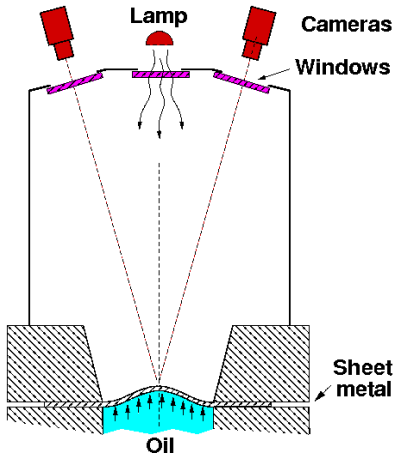
ISO 16808 – Fließkurve aus dem Bulge-Test aus:

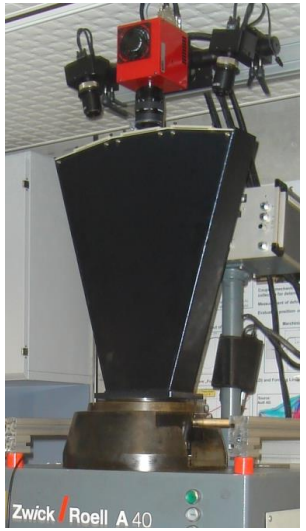
- Druck der Flüssigkeit
- Krümmungsradius*
- Aktueller Dicke*
- Vergleichsformänderung*

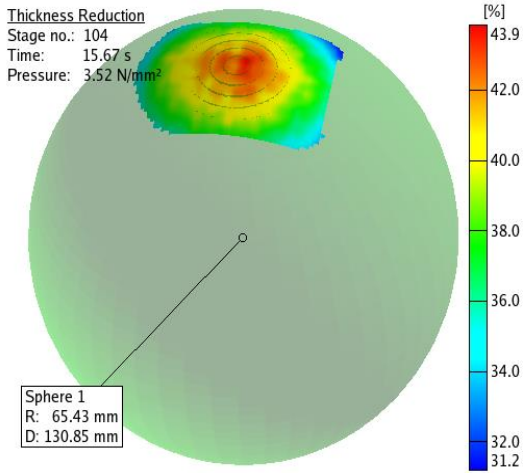
*Mit ARAMIS bestimmt

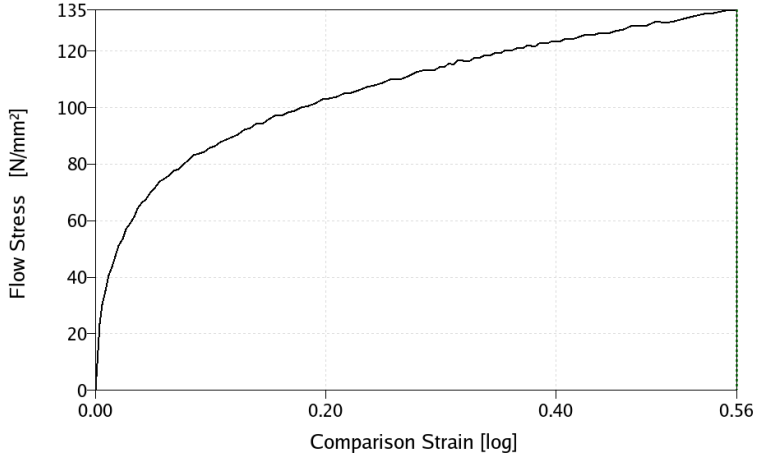








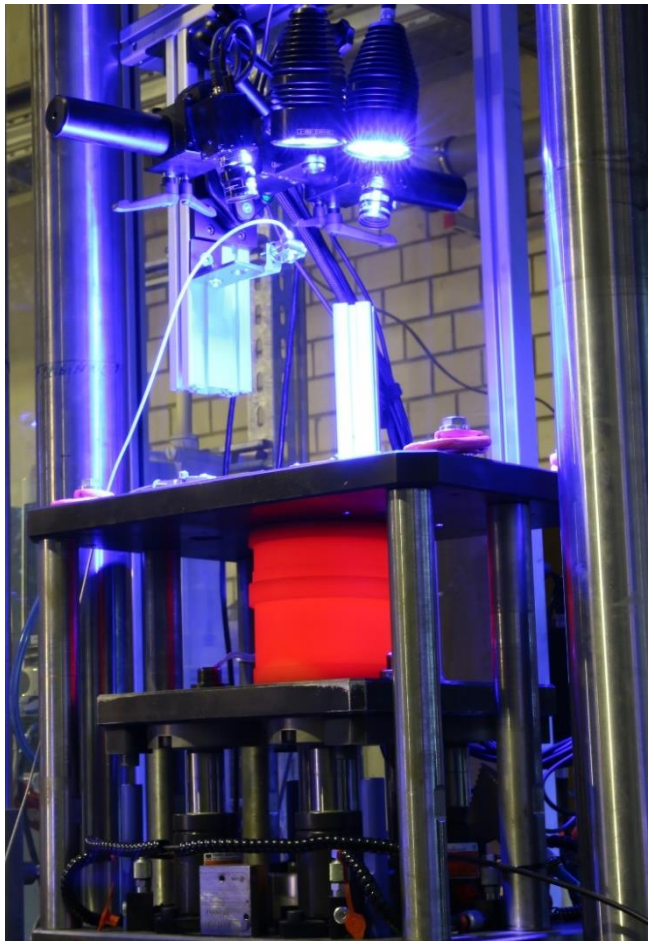


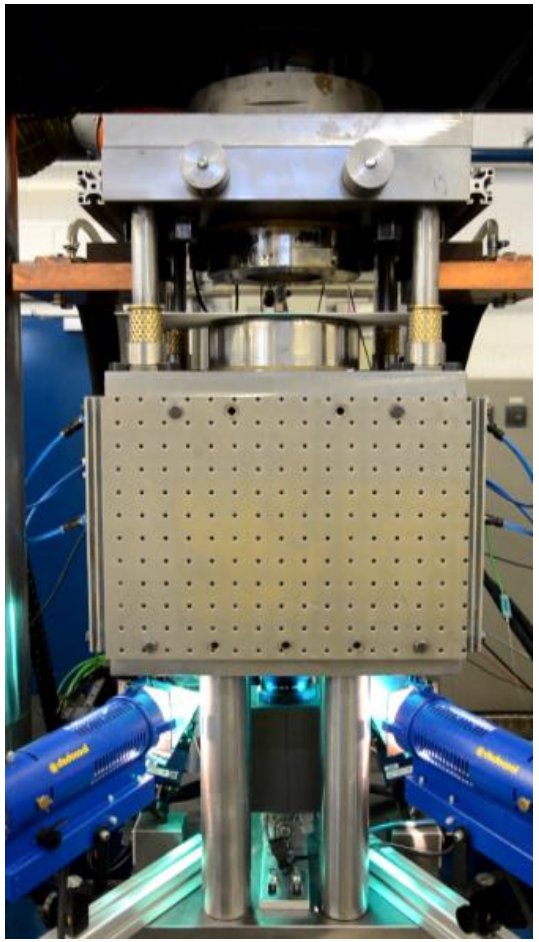


Umformbarkeit im Hochtemperaturbereich

FLC und Spannungs-Dehnungs-Diagramm

für pressgehärtete Stahlproben

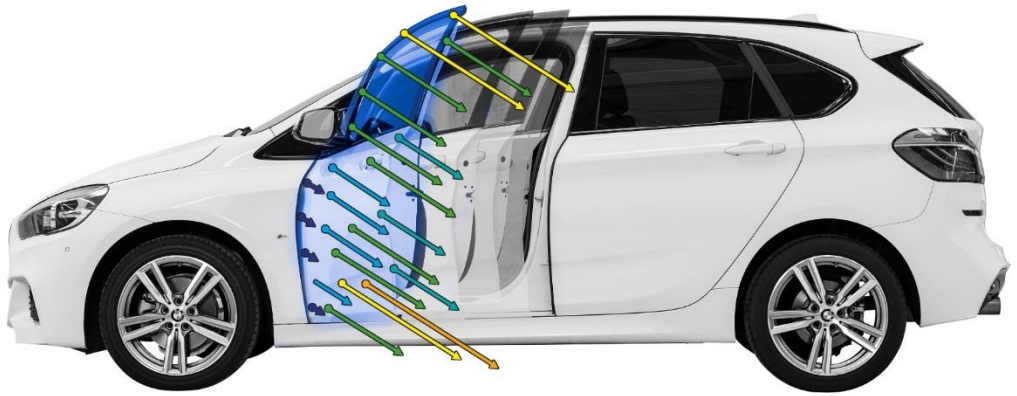




ARAMIS in der Produktentwicklung

Prototyp Inspektion und Testing

- Geometriebasierte Prüfung
- Bewegungs- und Verformungsanalyse



Material-
eigenschaften

Produktdesign/
CAD/Simulation

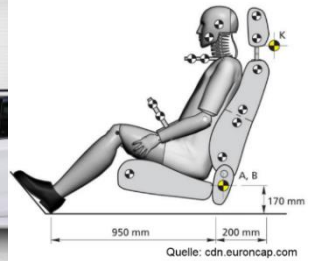
Prototypen-
fertigung

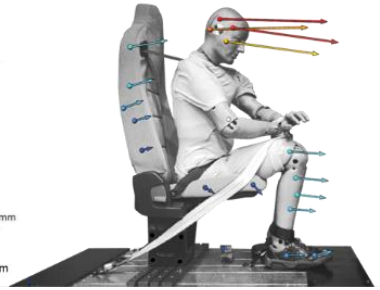
**Prototyp
Inspektion und
Testing**

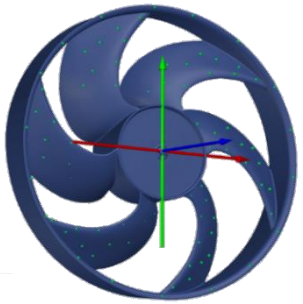
Simulation
Validierung

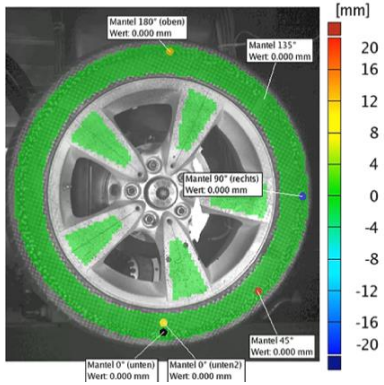
Produktion und
Serienprüfung

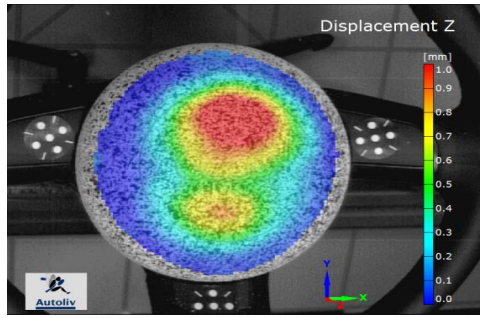
Anwendungen Automotive

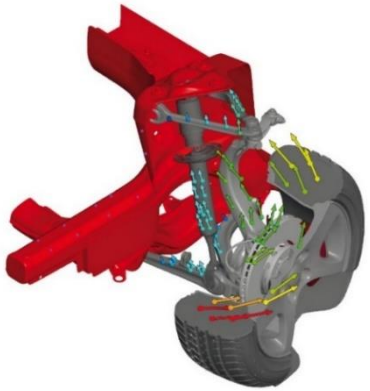


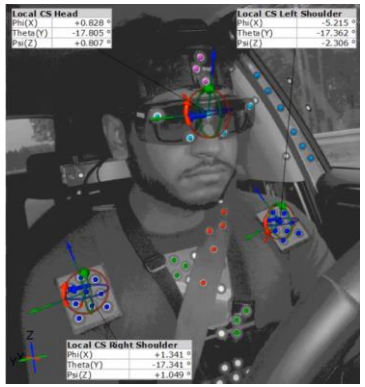


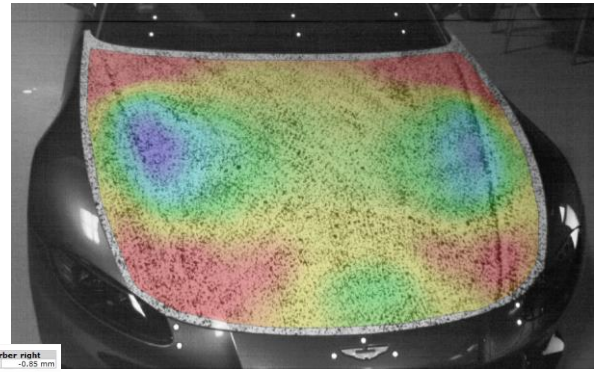


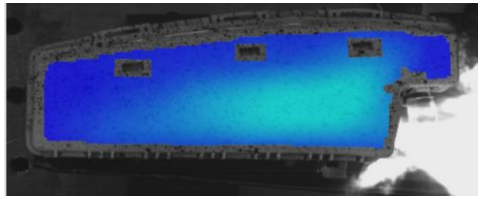


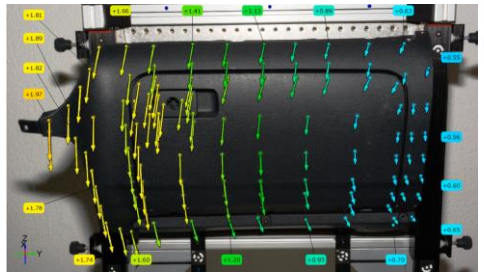


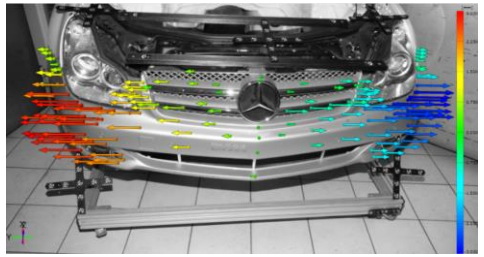


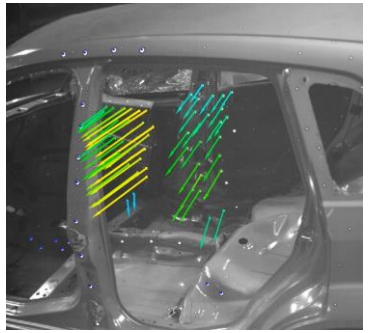


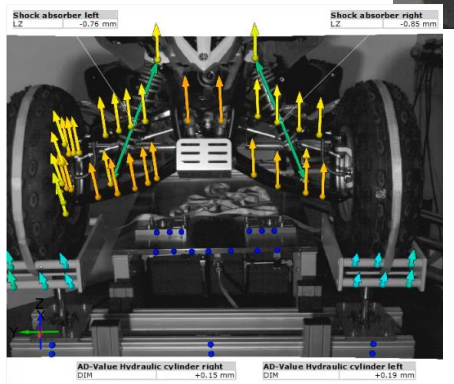


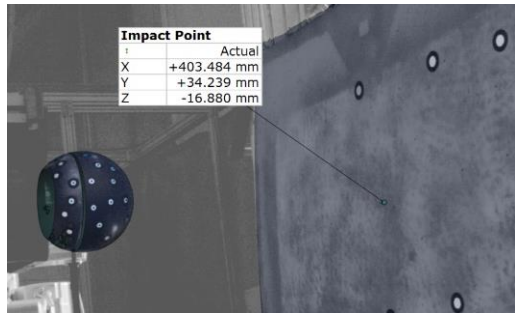


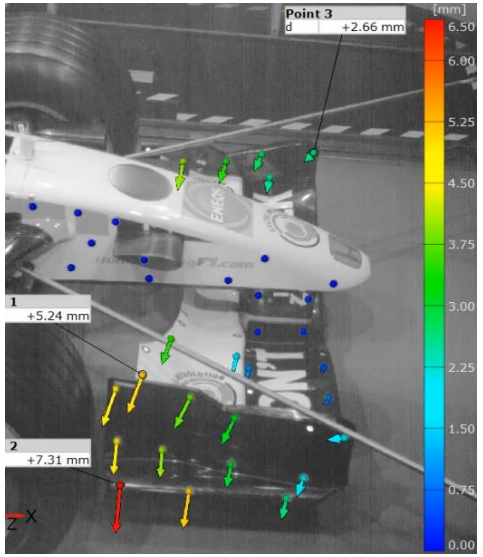










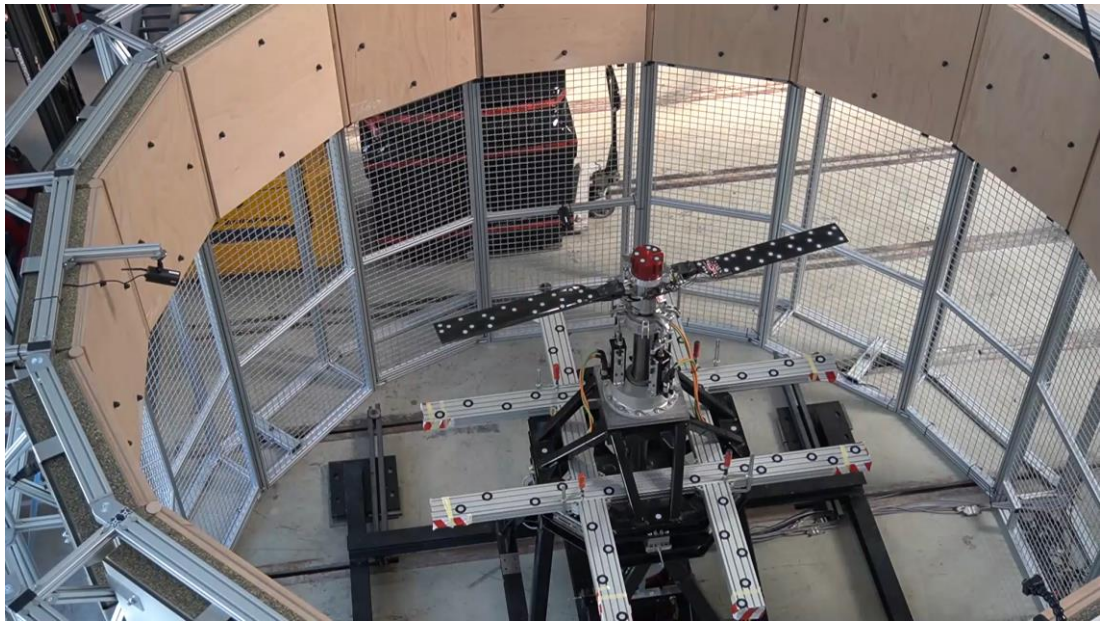


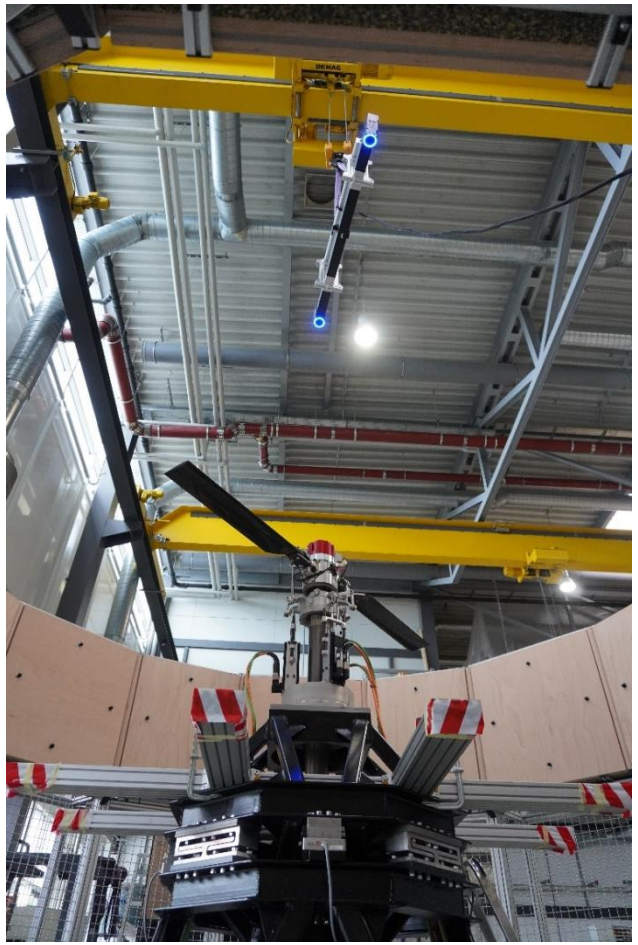
Anwendung Luft- und Raumfahrt
Helikopter-Rotor

Versuch

- Verformungsverhalten Rotorblätter auf Prüfstand
- Drehzahl bis zu 1.800 rpm

Messfrequenz: 1000Hz

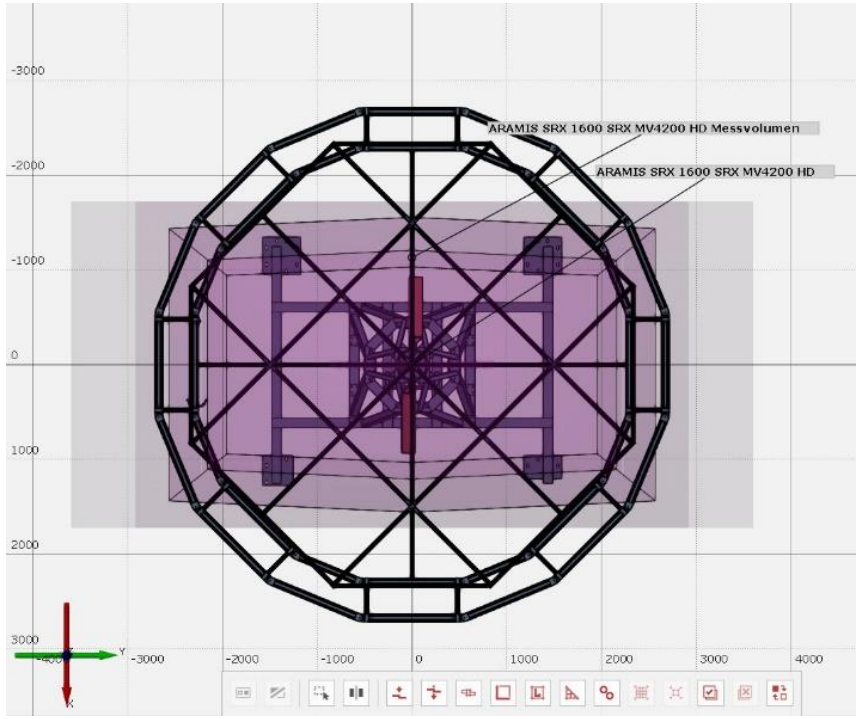


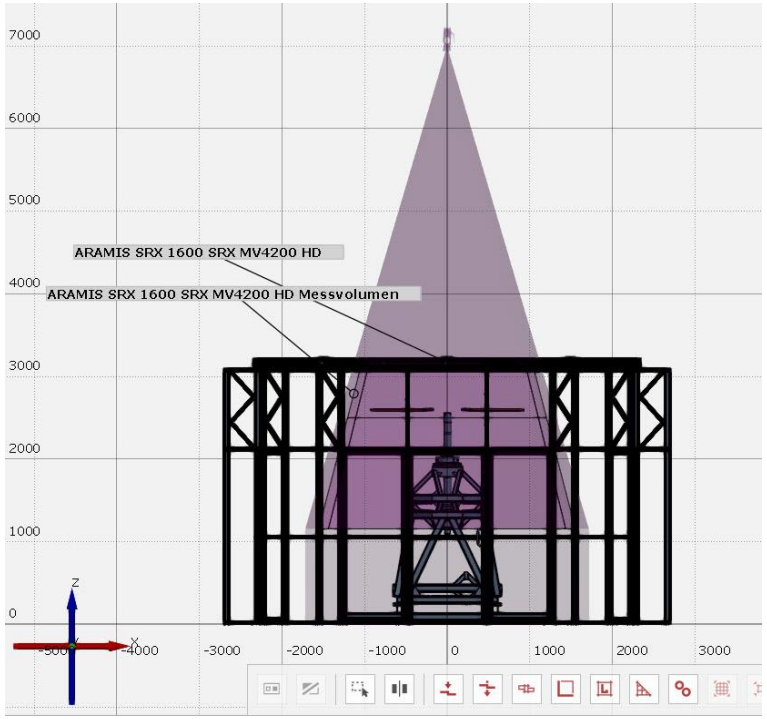


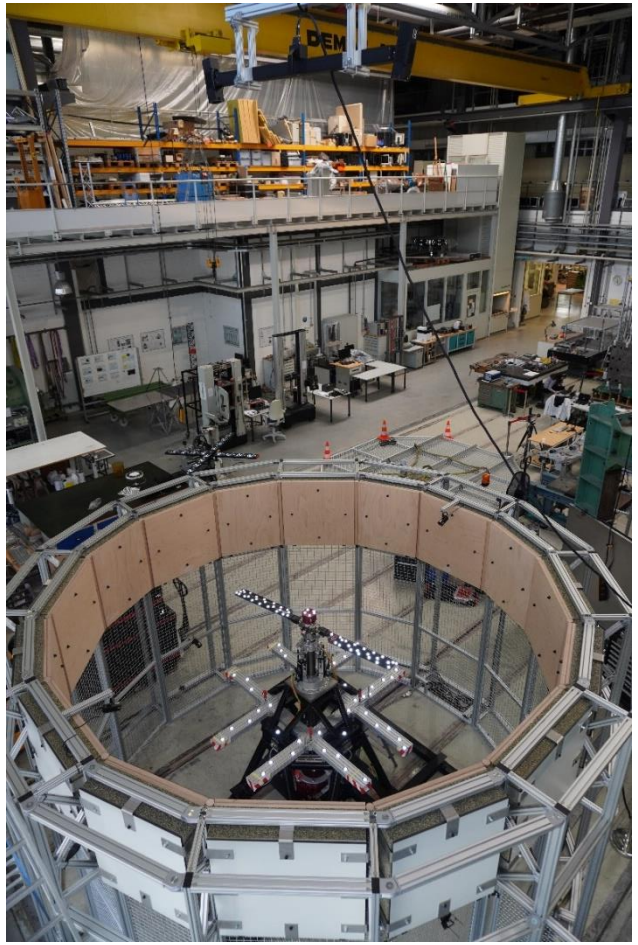
42

Anwendung Luft- und Raumfahrt
Helikopter-Rotor

Digitale Messplanung



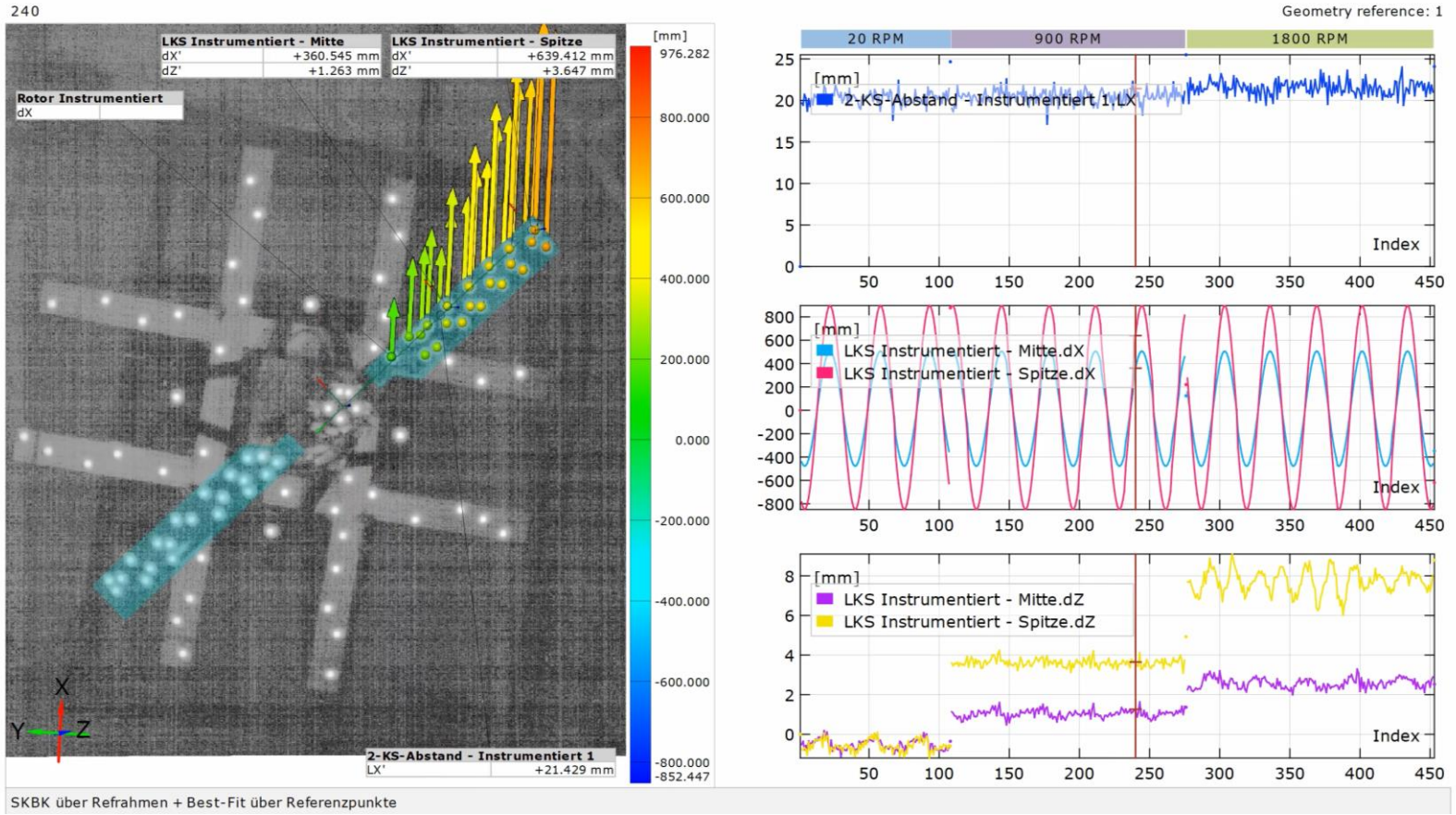




Anwendung Luft- und Raumfahrt
Helikopter-Rotor

Versuchsergebnisse*

- Simultane Erfassung von Rotationen und Translationen
- Zeitsynchrone Darstellung unterschiedlicher Messergebnisse
- Biegeverhalten des Rotorblattes in der Rotationsebene X-Verschiebung
- „Flattern“ des Rotorblattes Z-Verschiebung
- Messdaten werden zur Validierung eines FE-Modells genutzt



* “Heuschneider, V., Berghammer, F., Abdelmoula, A., Hajek, M., and Sirohi, J.: Model Based Blade Attachment Stiffness Evaluation of the MERIT Rotor in Hover with Photogrammetry and Digital Image Correlation, Proceedings of the Vertical Flight Society’s 78th Annual Forum & Technology Display, Fort Worth, Texas, USA. May 10-12, 2022.”

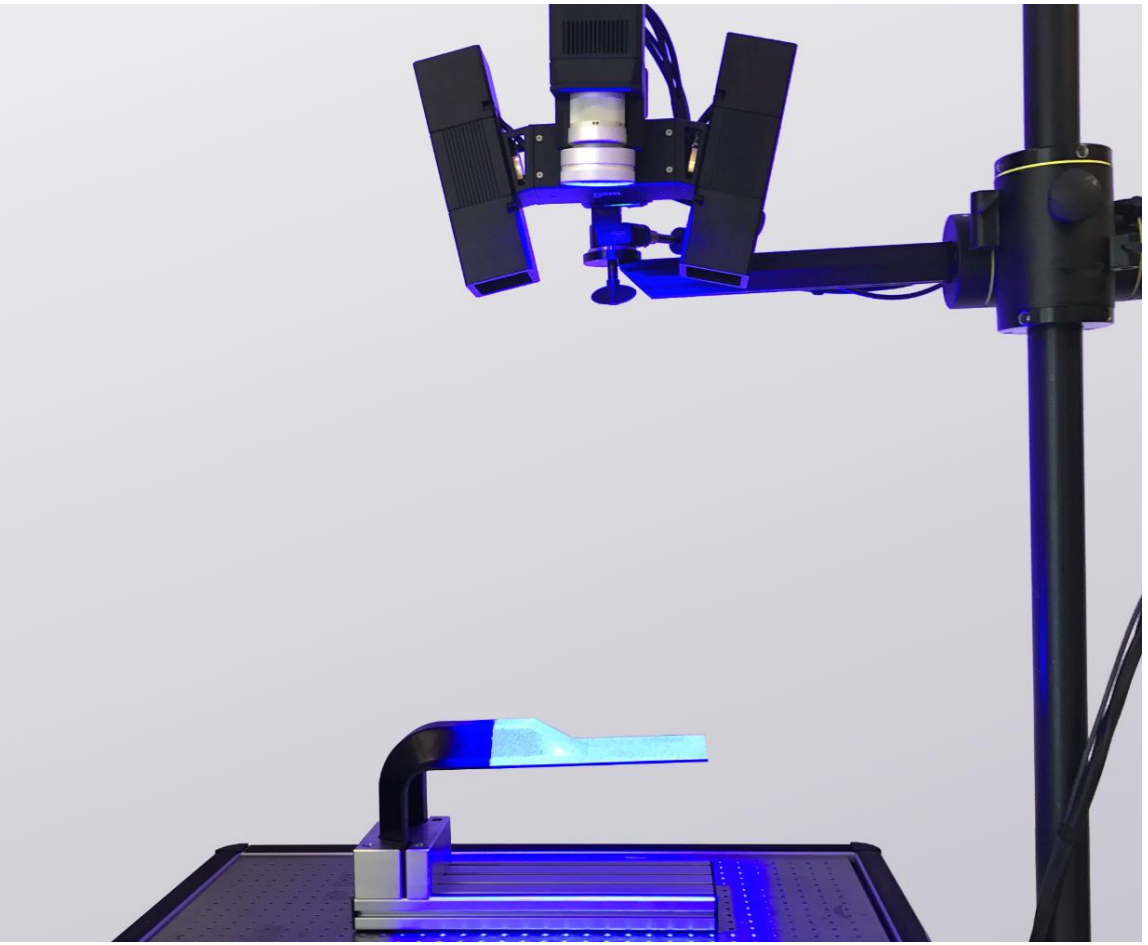
44

ARAMIS zur Analyse von Schwingungsformen
Messung

ARAMIS SRX

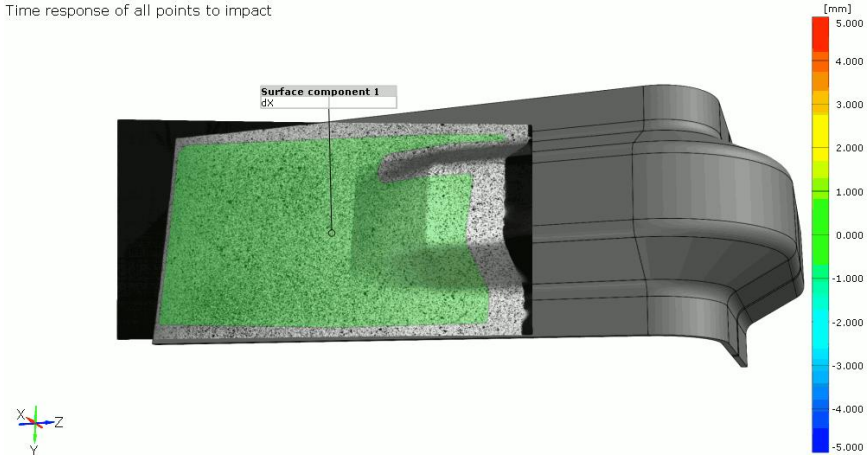
- 1000fps
- HD (1920px x 1000px)
- MV 250mm x 150mm x 150mm

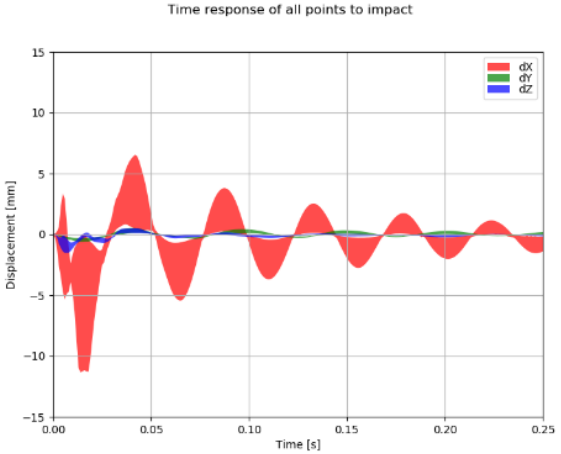
Anregung: Hammerschlag

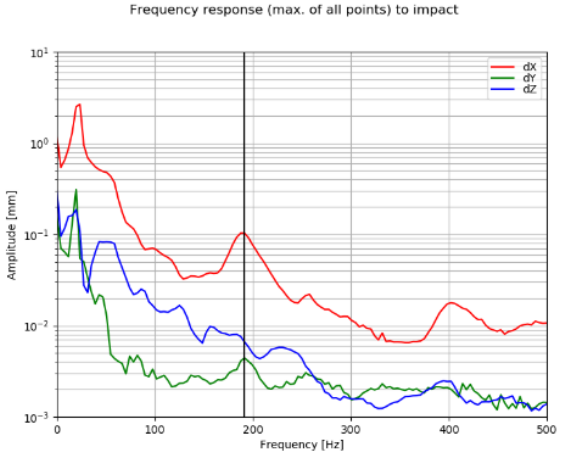


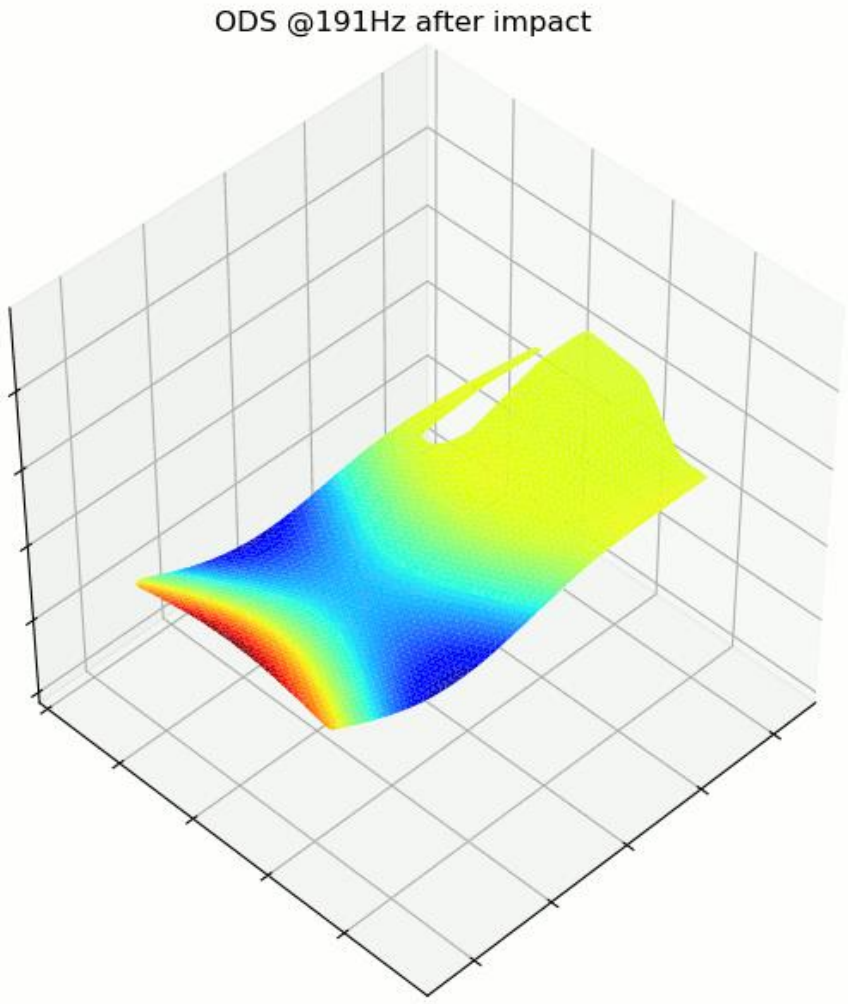
ARAMIS zur Analyse von Schwingungsformen

Auswertung direkt in ARAMIS mit Schwingungstool



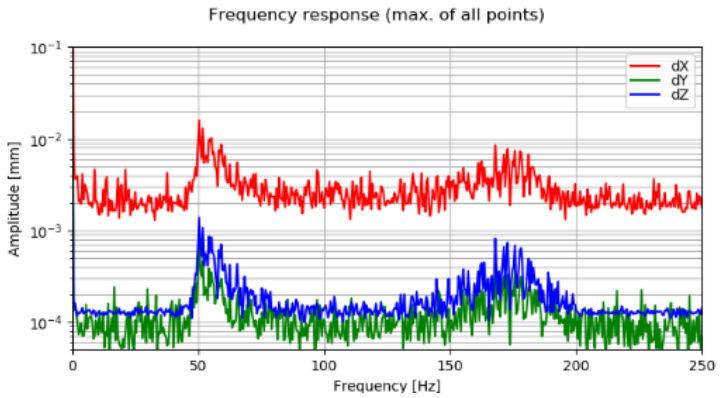


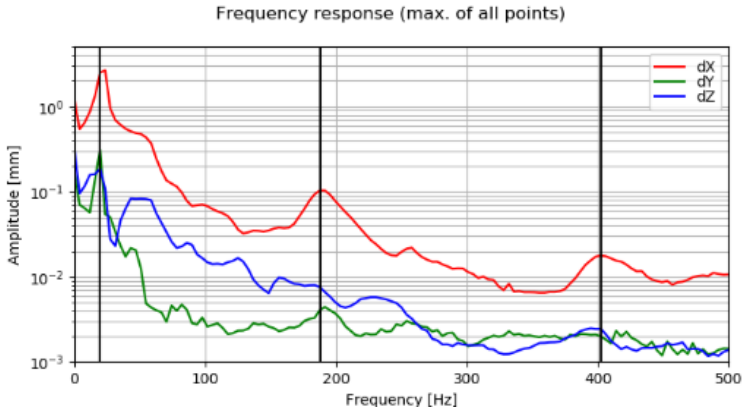


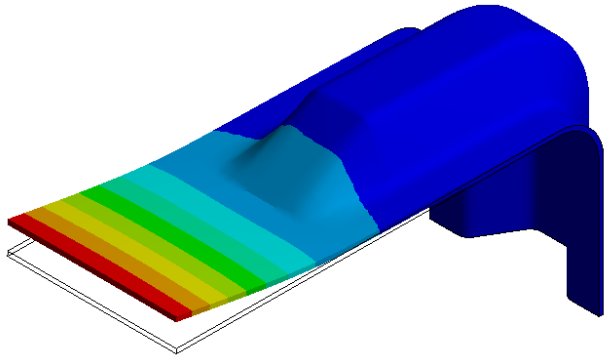


ARAMIS zur Analyse von Schwingungsformen

- Auswertung direkt in ARAMIS mit internem Schwingungstool
- Nutzung der ARAMIS Messdaten zur Analyse in externere Software
- Amplituden im Sub–Mikrometerbereich können im Frequenzgang bestimmt werden
- Es können unabhängig von der Anregung alle spezifischen Moden bei unterschiedlichen Frequenzen ausgewertet werden
- Auch FEM – Vergleiche sind möglich







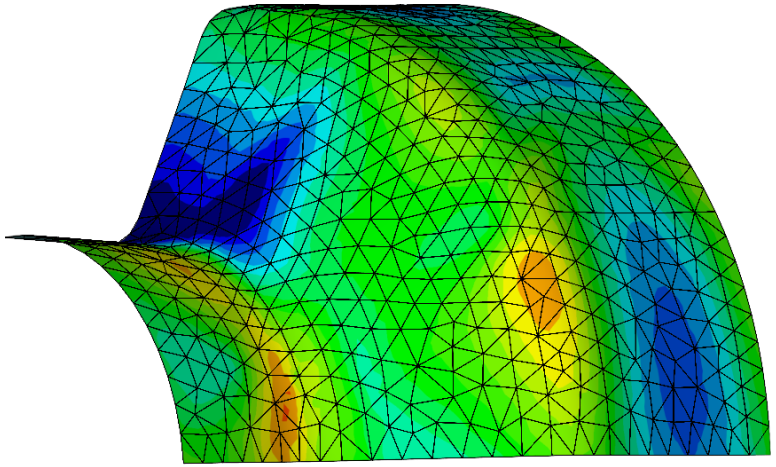
ARAMIS in der Produktentwicklung

Simulationsabgleich

Validierung numerischer Simulationen

Verbesserung der Simulationsrandbedingungen

Genauere Simulationsdaten für zukünftige Prüfungen



Material-
eigenschaften

Produktdesign/
CAD/Simulation

Prototypen-
fertigung

Prototyp
Inspektion / Testing

Simulation
Validierung

Produktion und
Serienprüfung

Numerische Simulationen

FEA Eingabeparameter

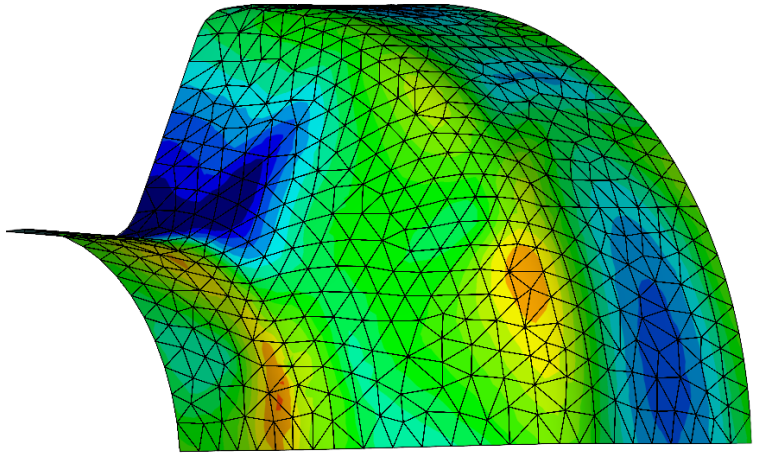
Geometrie

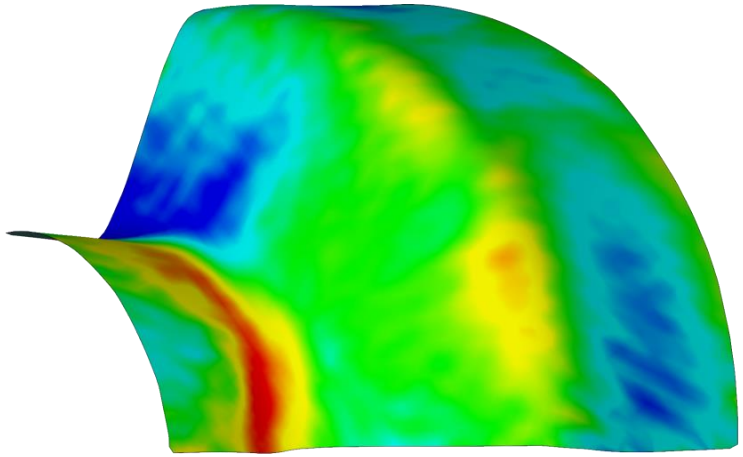
Materialmodell / Daten

Randbedingungen

Validierung der FEA Ergebnisse

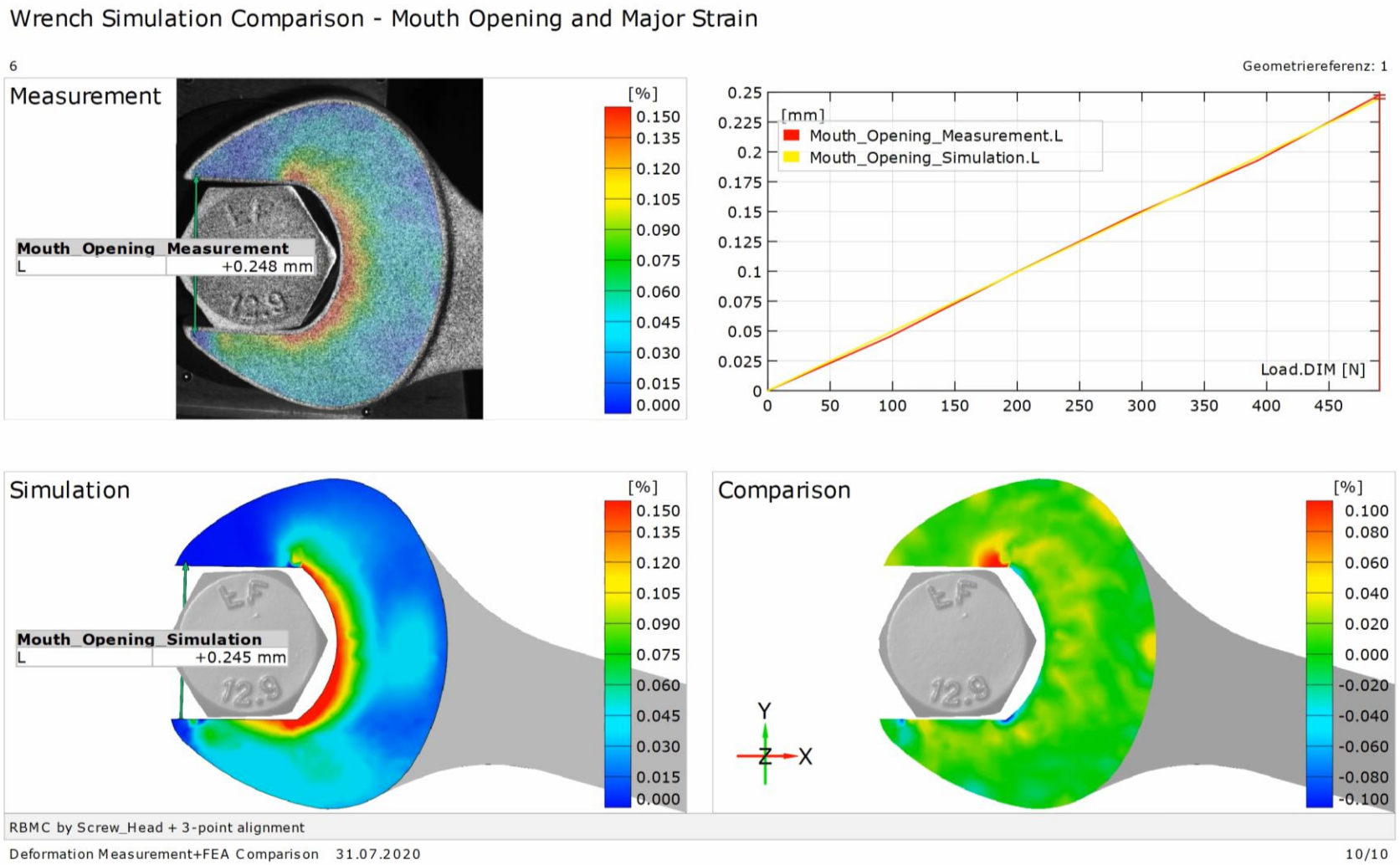
- Abweichungen der Form
- Abweichung der Verschiebung und Deformation
- Abweichung der Dehnung





Verformungsmessungen für bessere Simulationen

FEM Datenabgleich



ZEISS

Seeing beyond