

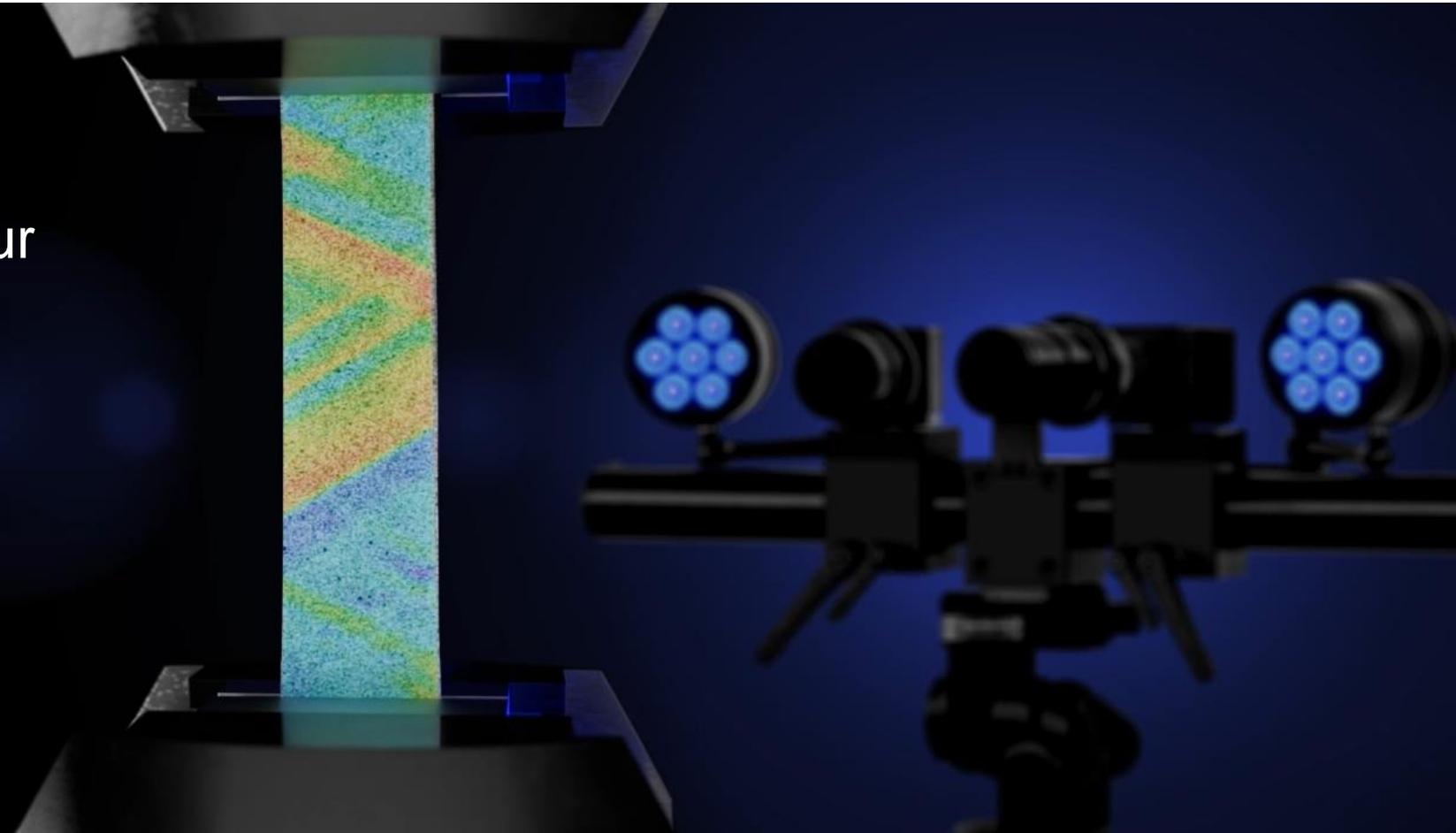
30. testXpo
Internationale Fachmesse für Prüftechnik



Gunter Sanow

12. Oktober 2022

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

GOM Metrology

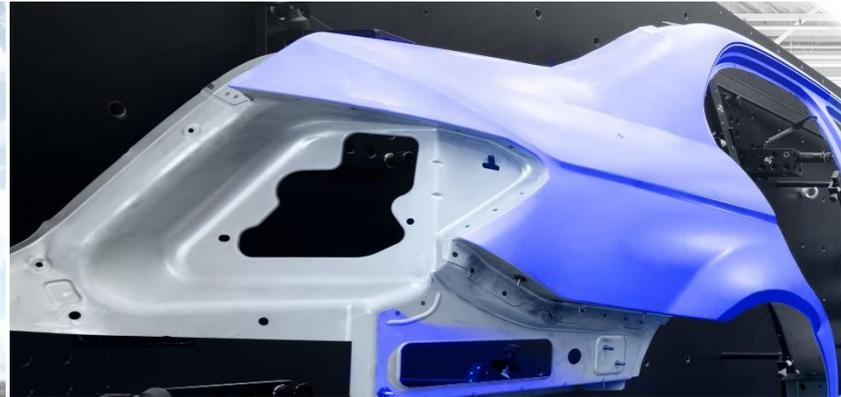
Ein globaler Messtechnikstandard in der Entwicklung und Produktion



Luft- und Raumfahrt



Automotive



Konsumgüter



Medizintechnik



Transportwesen



Energieerzeugung

Lösungen von GOM Metrology und ZEISS Für alle industriellen Messaufgaben bereit



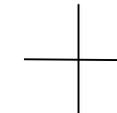
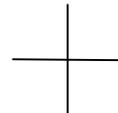
3D-Koordinatenmesstechnik



3D-Testing



Computertomografie



KMGs



Optische und Multisensor-Messmaschinen

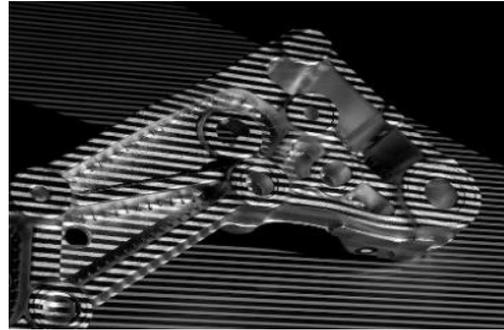


Form & Oberflächen

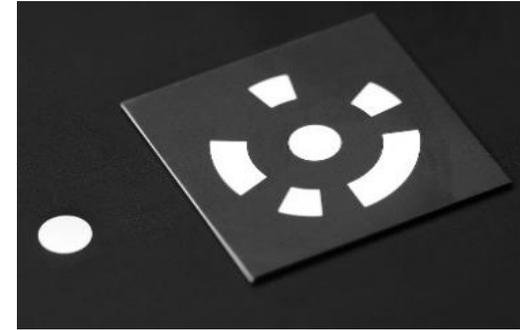
Digitale Bildverarbeitung
3D-Koordinatenmesstechnik

Anwendungen z.B.:

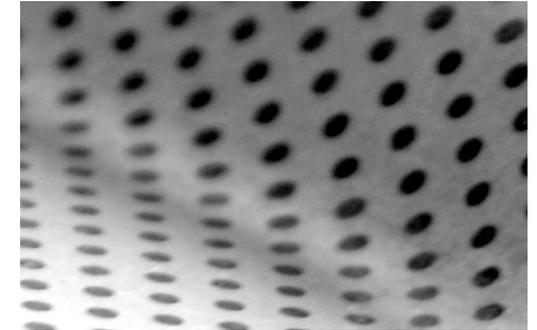
- Material- und Bauteilprüfung
- Materialkennwerte
- 3D-Formerfassung
- Qualitätssicherung Automatisierung



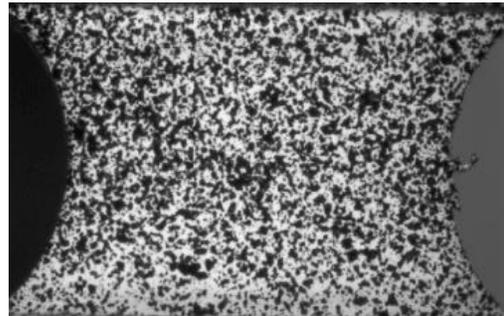
Projizierte Muster



Punktmarken



Regelmäßige Punktmuster



Stochastische Muster



Durchstrahlung (Röntgen)

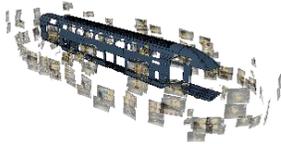
GOM Metrology Messsysteme



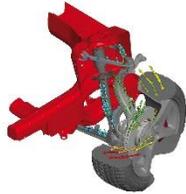
ATOS
Flächenhaftes
3D-Scannen



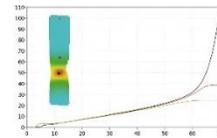
TRITOP
Mobiles optisches
Koordinatenmesssystem



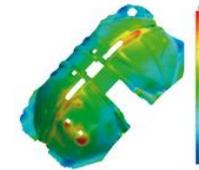
PONTOS Live
Bauteilpositionierung



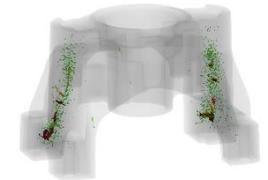
ARAMIS
3D-Bewegungs- und
Verformungsanalyse



ARGUS
Optische Form-
änderungsanalyse



Metrotom 6
Messtechnisches CT
zur
Geometrieerfassung



Auswertesoftware



GOM
Inspect



GOM
Correlate



GOM
Blade Inspect



GOM
Volume Inspect

ATOS

3D-Koordinatenmessung





GOM Scan 1



ATOS Compact Scan



ATOS Q



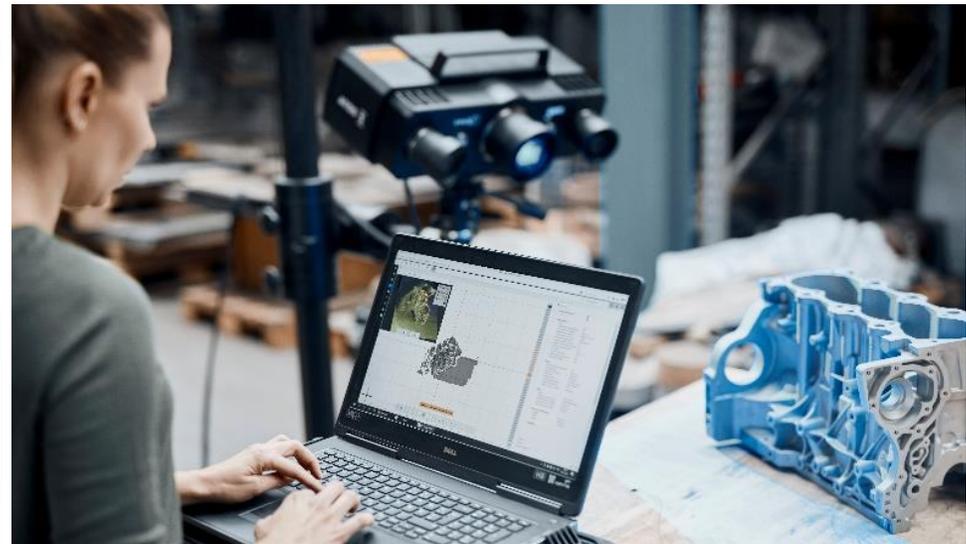
ATOS 5

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



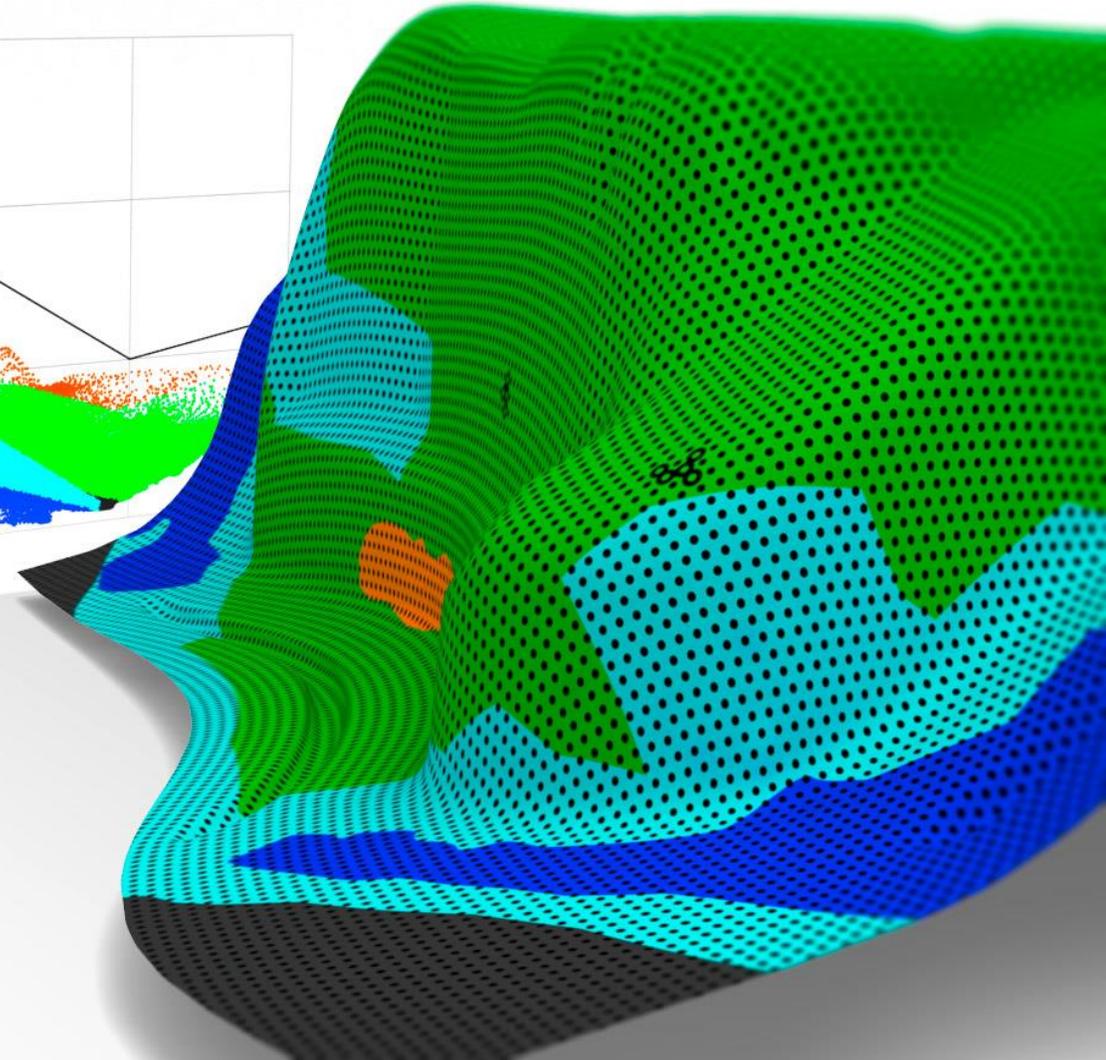
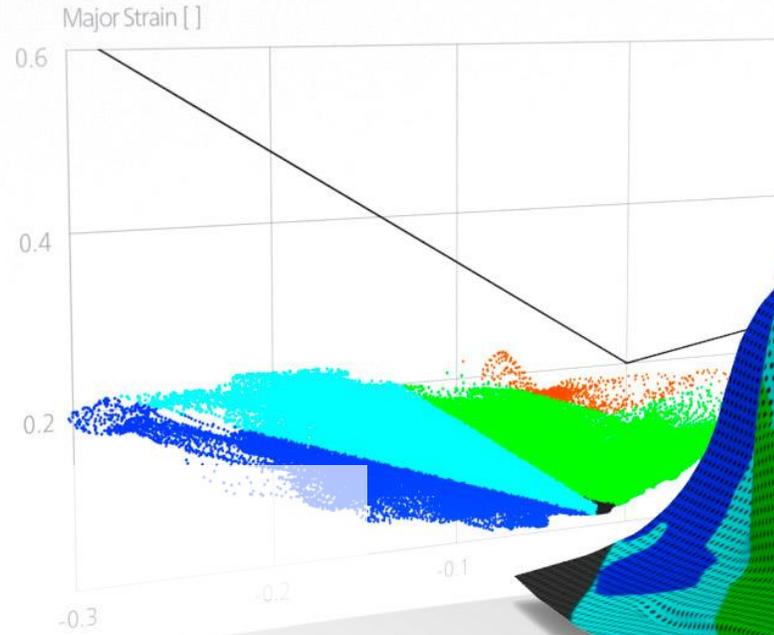
Automatisierte, vollflächige 3D-Messtechnik

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



ARGUS

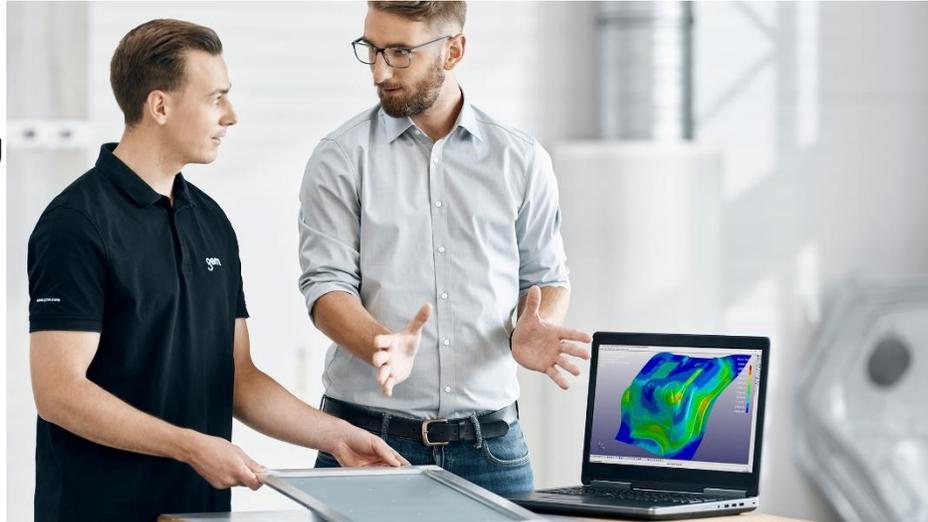
Formänderungsanalyse



ARGUS Formänderungsanalyse Workflow



1. Messplanung



2. Vorbereitung



3. Messen



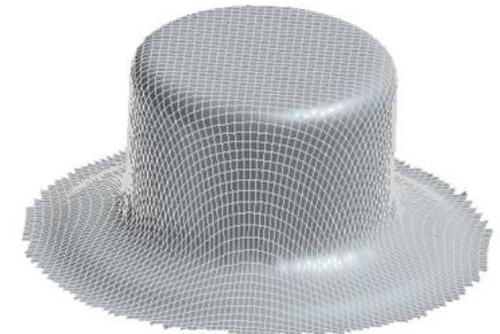
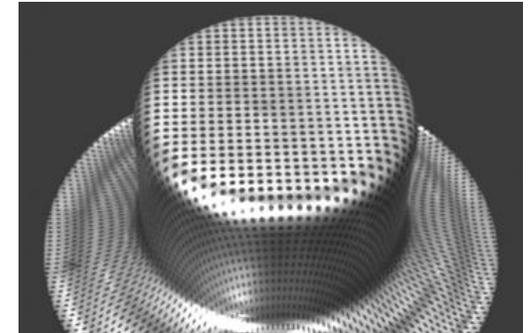
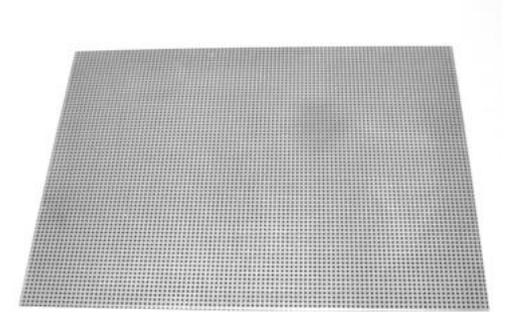
4. Auswertung



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



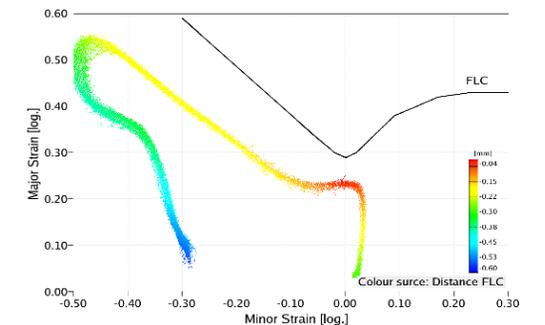
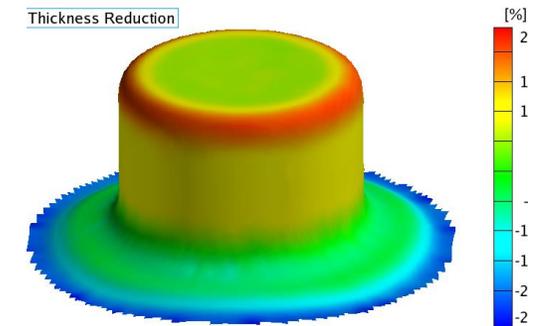
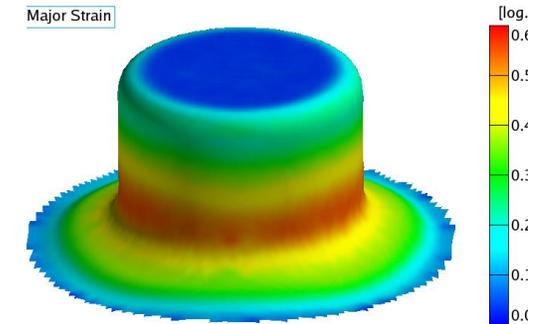
ARGUS Formänderungsanalyse Ergebnisse



Berechnung des Dehnungstensors für jeden Punkt

Ergebnisse:

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



ARAMIS

Optische Verformungsanalyse



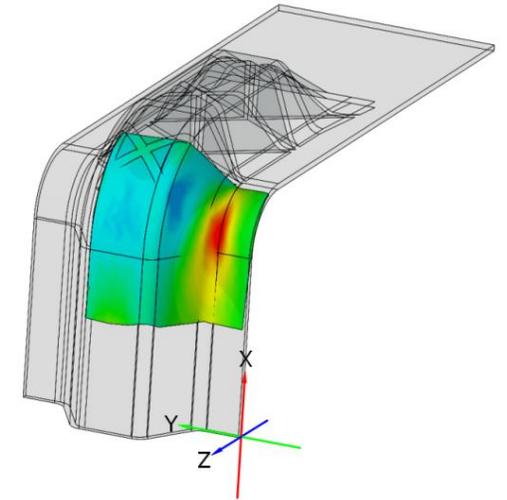
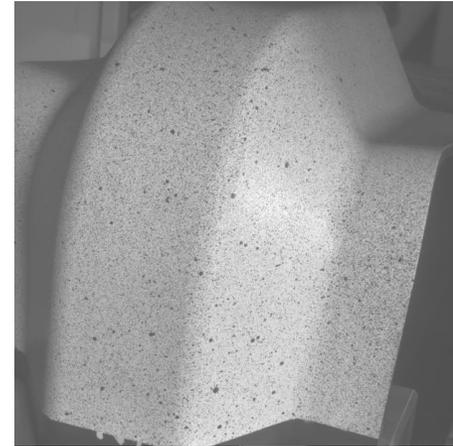
ARAMIS

Funktionen



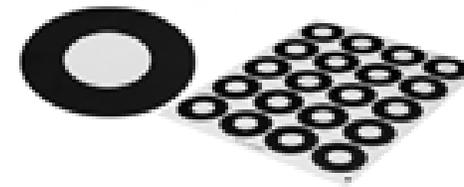
Digitale Bildkorrelation

Vollflächige Auswertung mit Hilfe von stochastischen Mustern



3D-Bewegungsanalyse

Punktuelle Auswertung von Messmarken

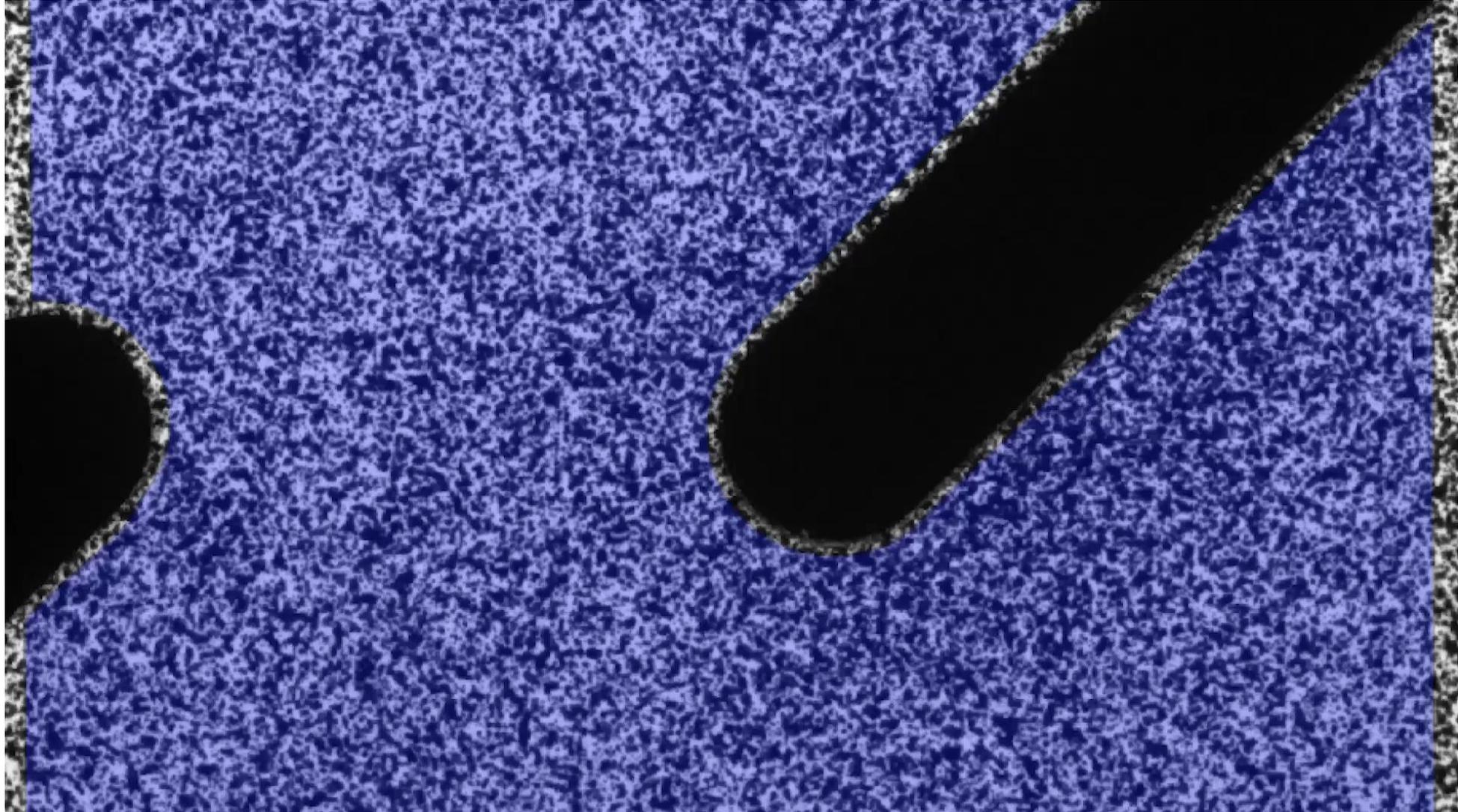


Live Messfunktion

Auswertung und Ergebnisdarstellung schon während der Messung

ARAMIS

Anwendungen



ARAMIS Portfolio



ARAMIS Adjustable
12M / SRX



ARAMIS 3D Camera 12M
150/300



ARAMIS 3D Camera 12M
600/1200



ARAMIS HHS



ARAMIS SRX
180/300

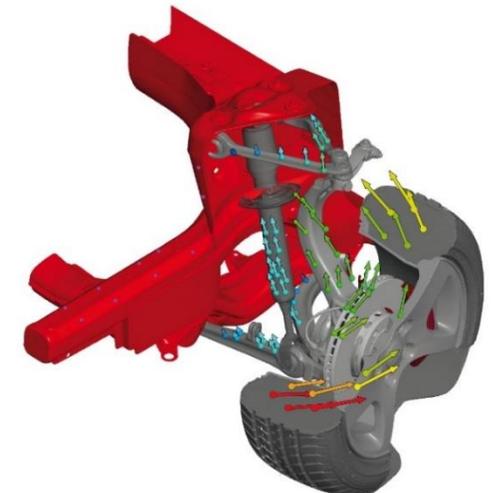
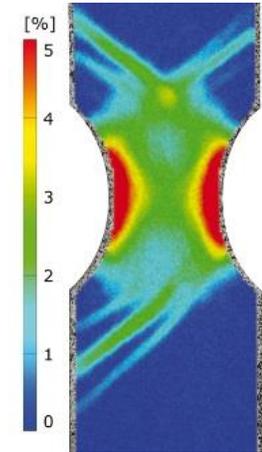
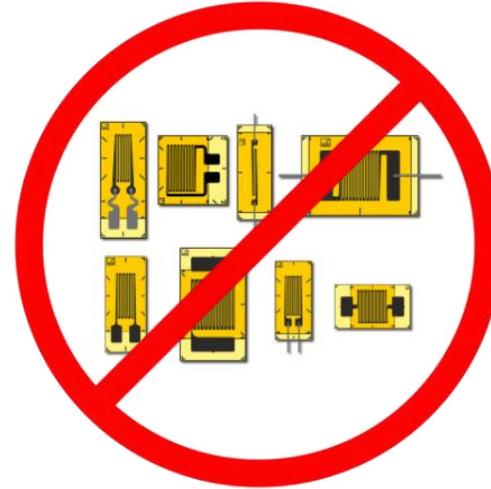


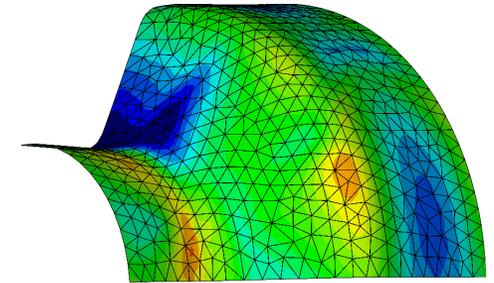
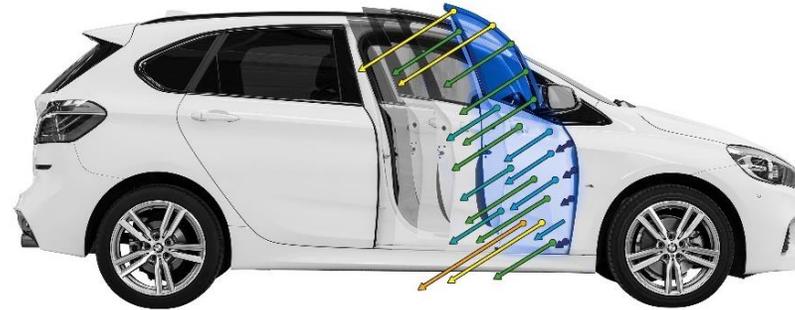
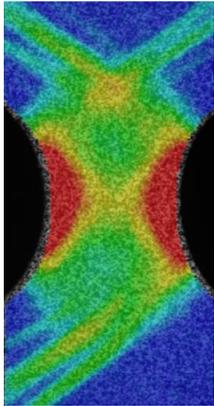
ARAMIS SRX
600/1200/1600

ARAMIS

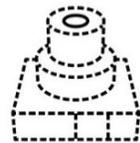
Anwendungen

- 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





**Material-
eigenschaften**



Produkt
Design/CAD/
Simulation



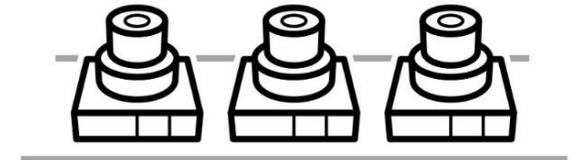
Prototypen-
fertigung



**Prototyp
Inspektion und
Testing**



**Simulation
Validierung**

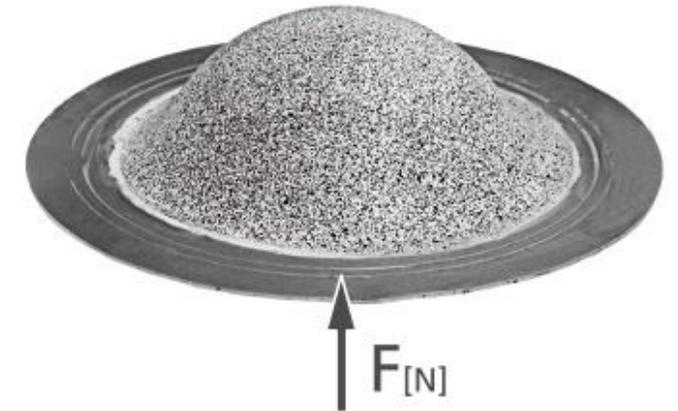
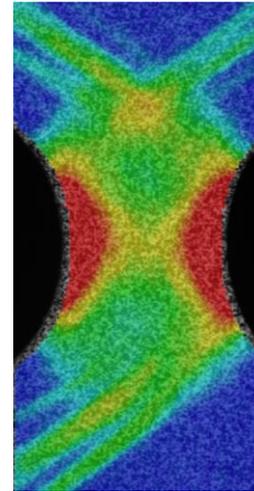


Produktion und
Serienprüfung

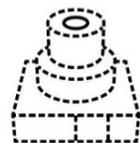
ARAMIS in der Produktentwicklung Materialeigenschaften



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



**Material-
eigenschaften**



Produkt
Design/CAD/
Simulation



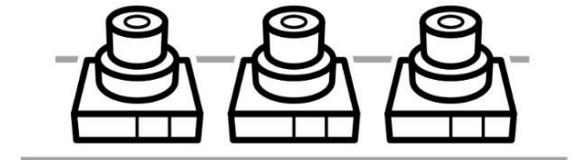
Prototypen-
fertigung



Prototyp
Inspektion und Testing



Simulation
Validierung



Produktions- und
Serienprüfung

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

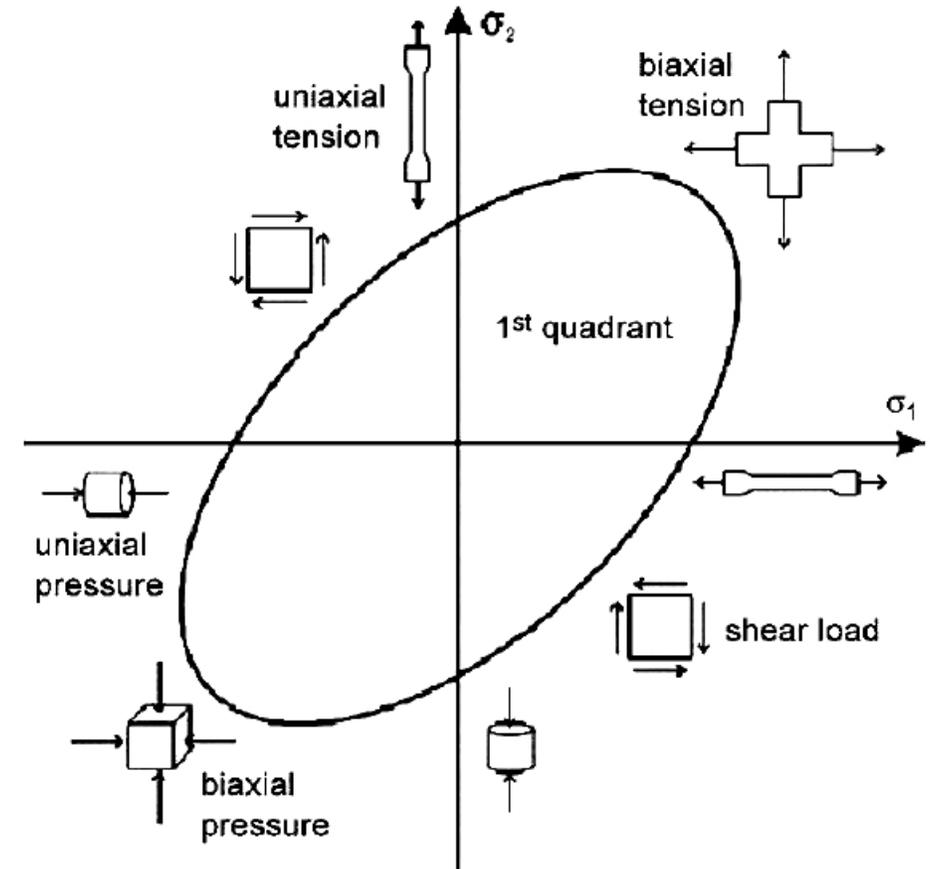


Bild: Pöhlandt K.: Materials Testing for the Metal Forming Industry, Springer-Verlag (1989)

ARAMIS mit Zugversuch



ARAMIS

Messergebnisse



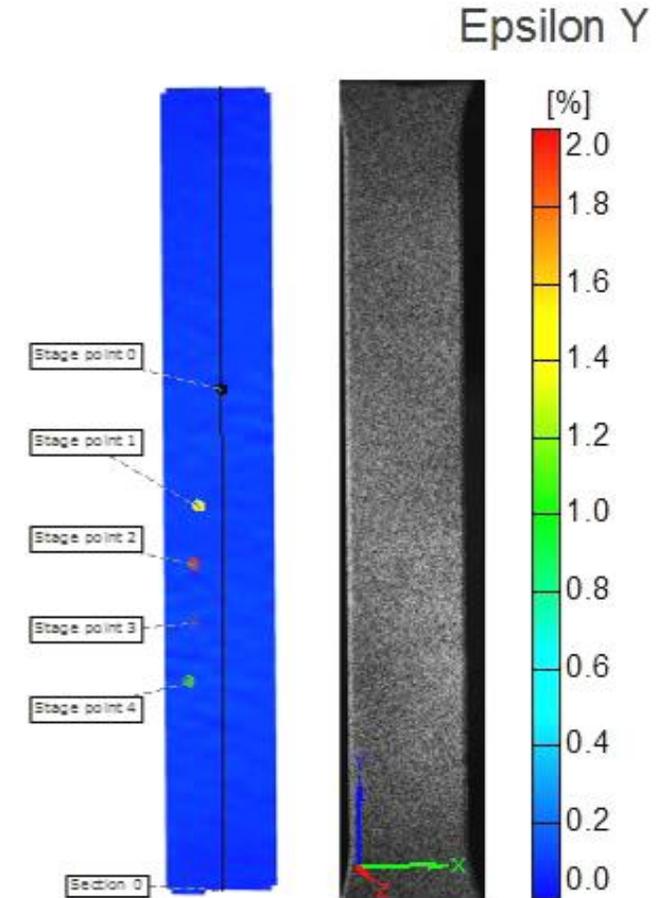
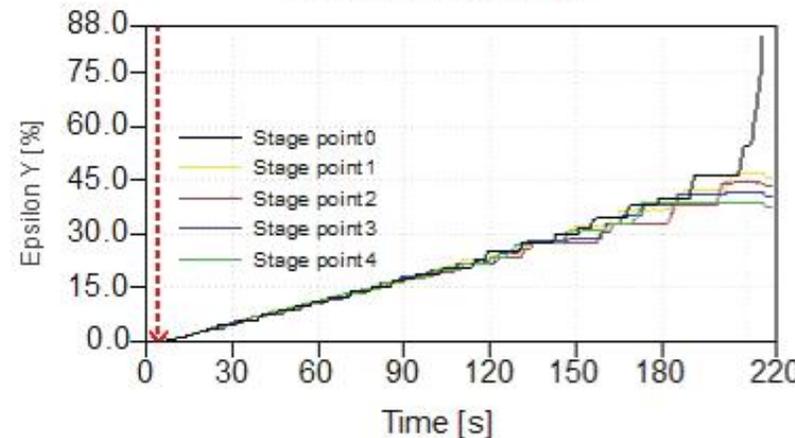
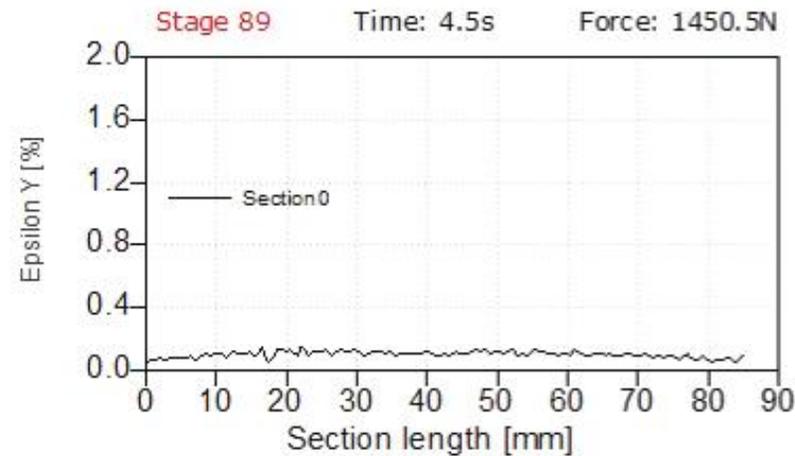
3D-Koordinaten
3D-Verschiebungen
Geschwindigkeiten

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

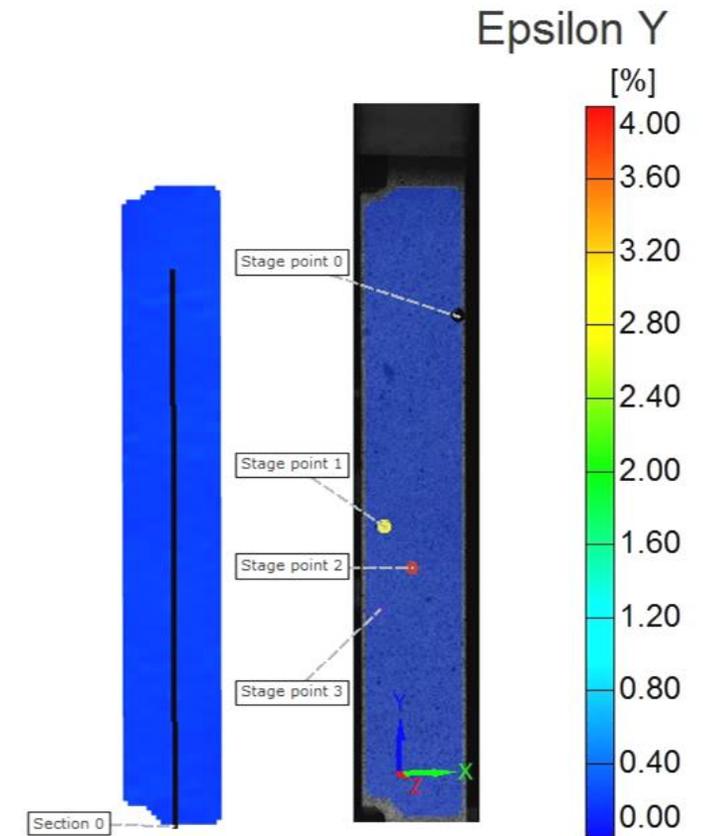
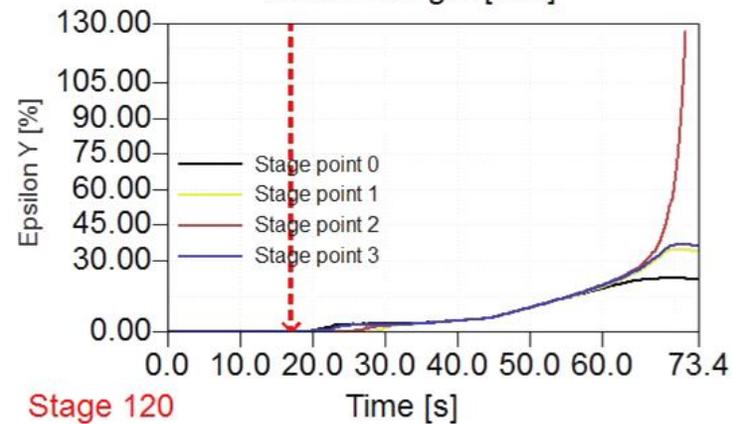
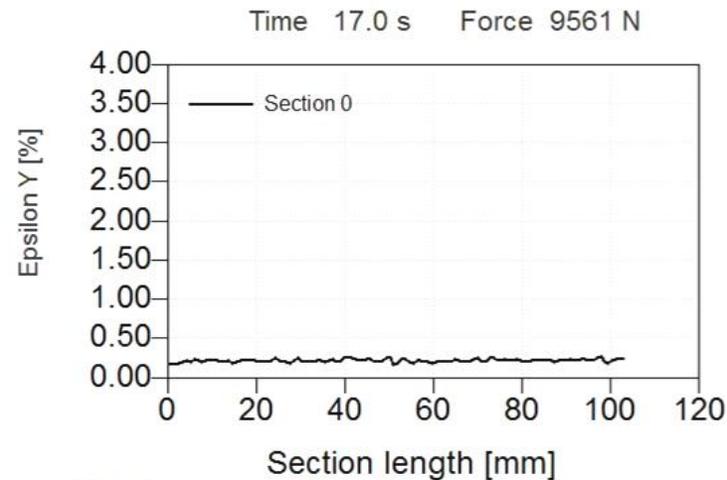


Lüdersbänder bei Stahl mit ausgeprägter Streckgrenze

Berechnung

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

Einschnürung bei Eps Y = 130 %

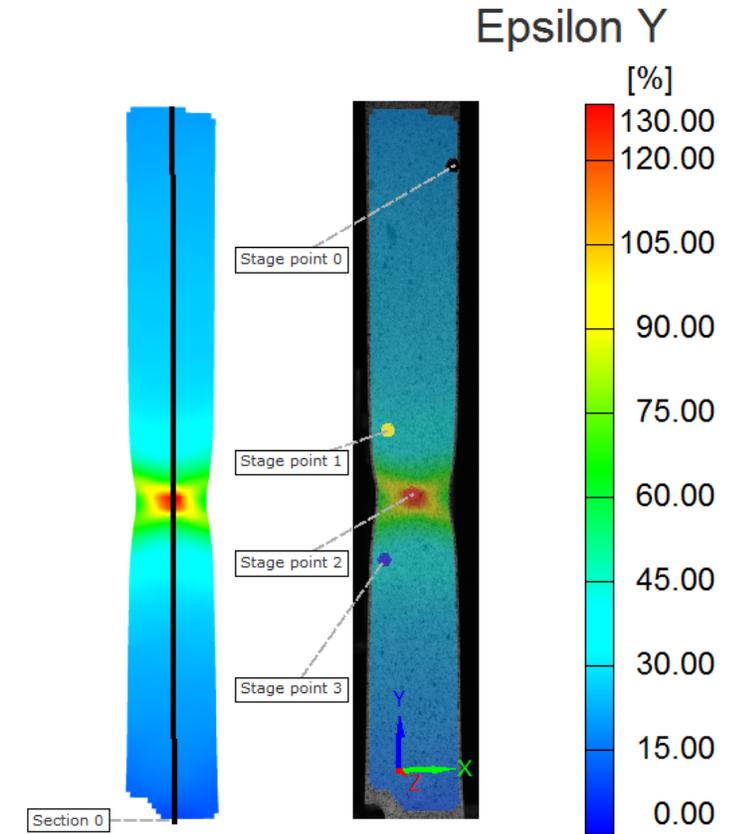
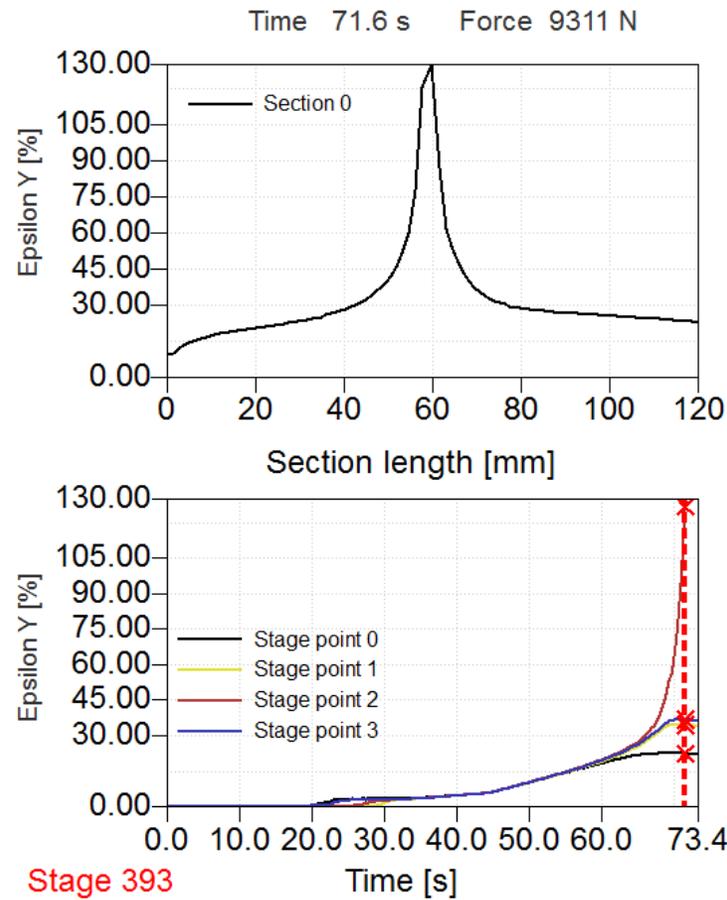


ARAMIS Zugversuch



Einschnürung und Bruchdehnung
bei Stahl

Einschnürung bei Eps Y = 130 %



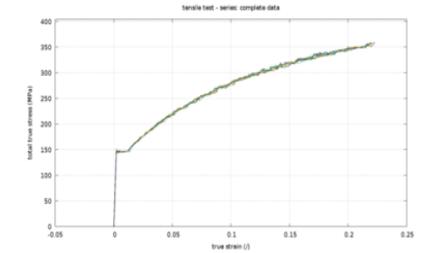
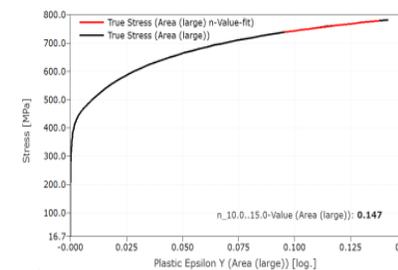
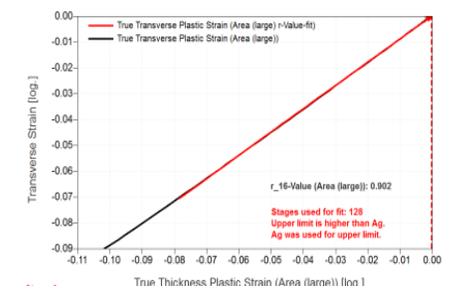
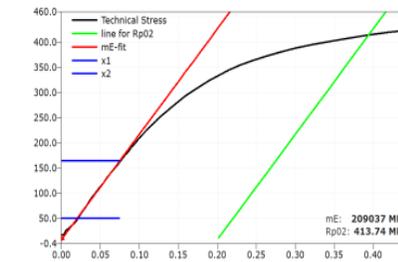
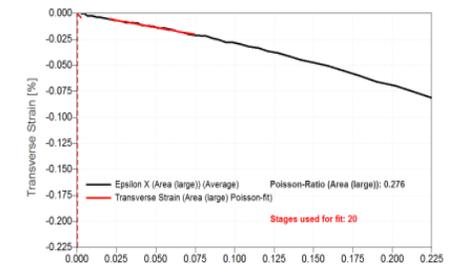
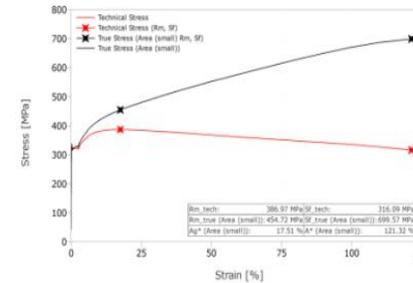
ARAMIS Zugversuch

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



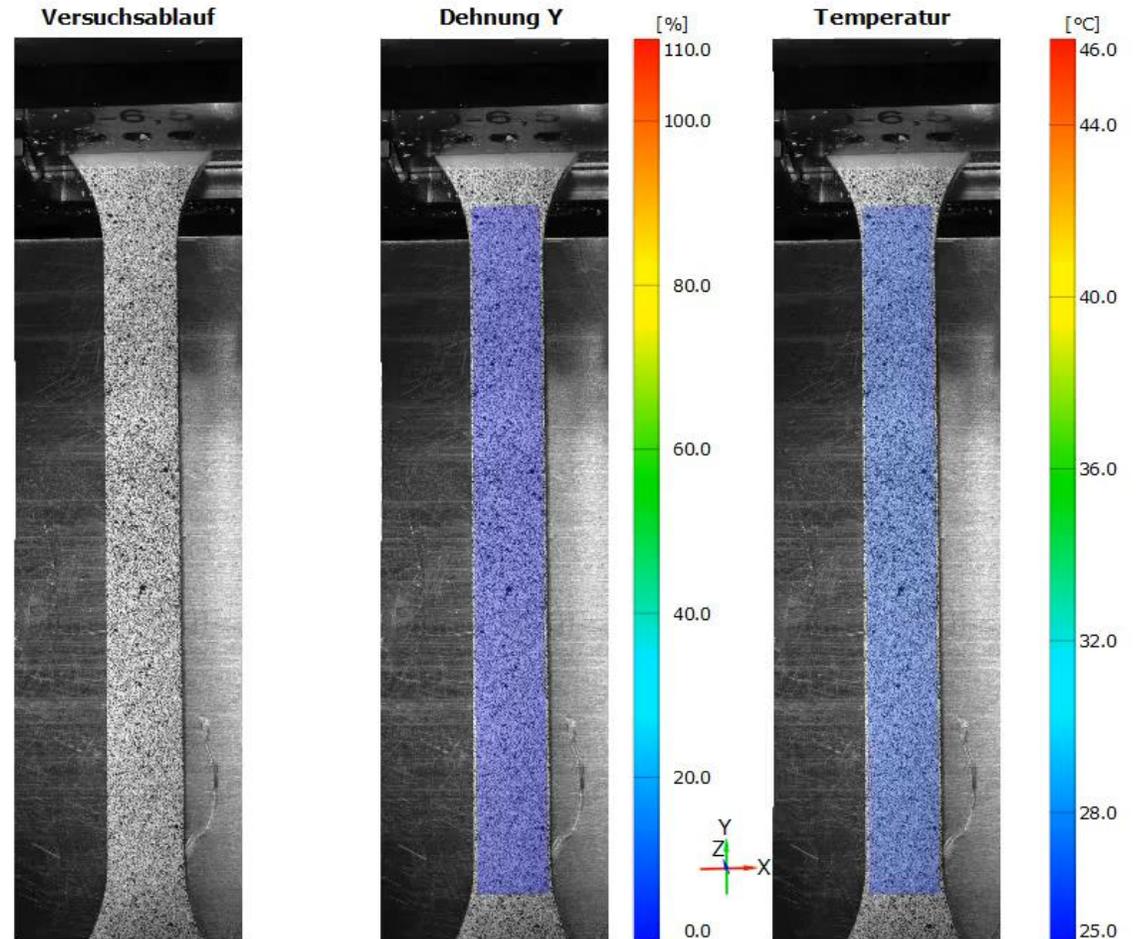
Anwendungsbeispiel – Zugversuch Kunststoff

Probenkörper

- Maße paralleler Bereich: $85 \times 10 \times 4 \text{ mm}^3$
- Material: Kunststoff (Makrolon)

Messsysteme

- ARAMIS 12M, Messvolumen: $125 \times 90 \times 70 \text{ mm}^3$
- Thermographiekamera: Infratec 8300

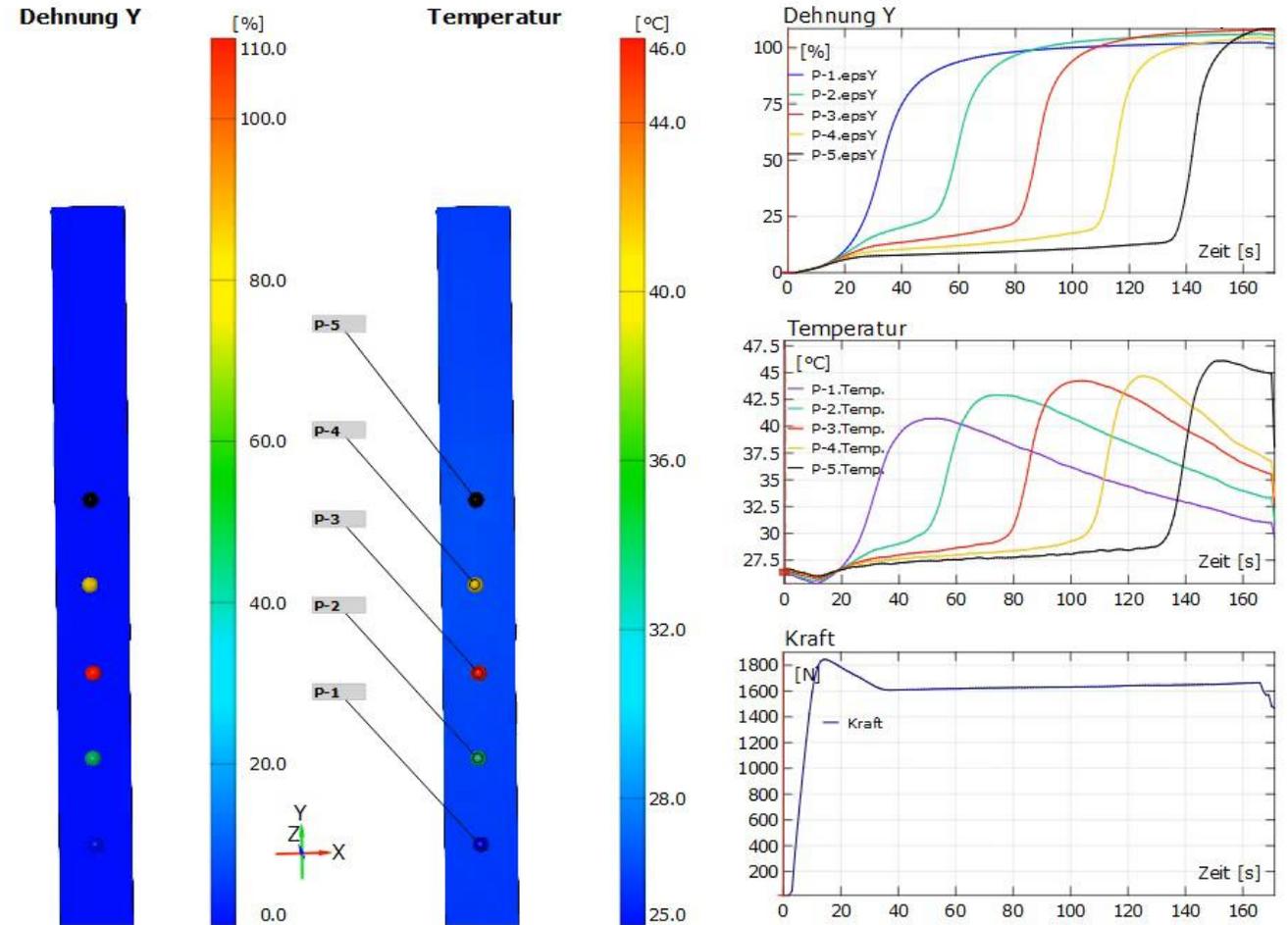


Anwendungsbeispiel – Zugversuch Kunststoff

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

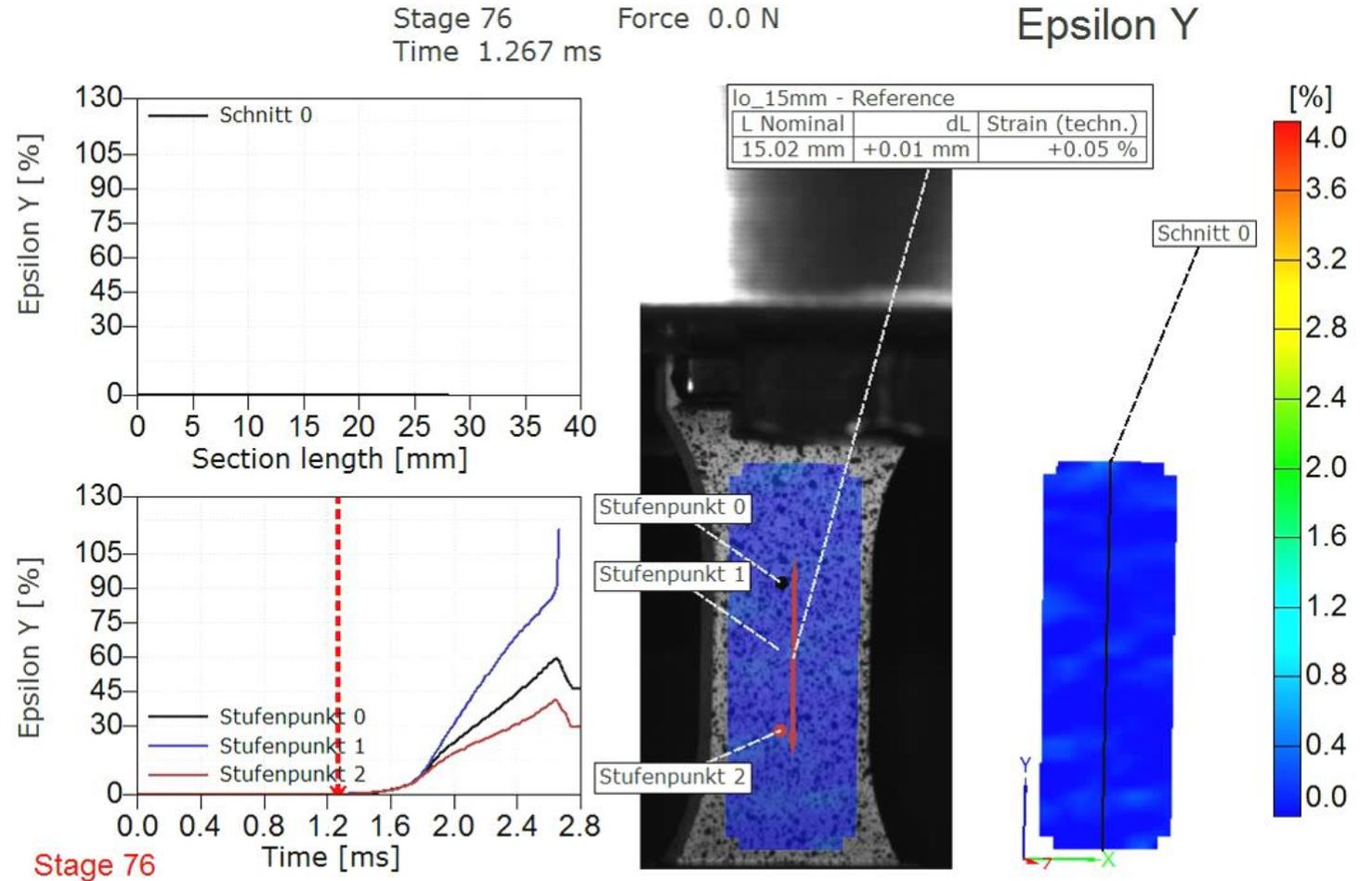
Im weiteren Verlauf wächst die Einschnürzone weiter nach oben.

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



Überblick

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



ARAMIS

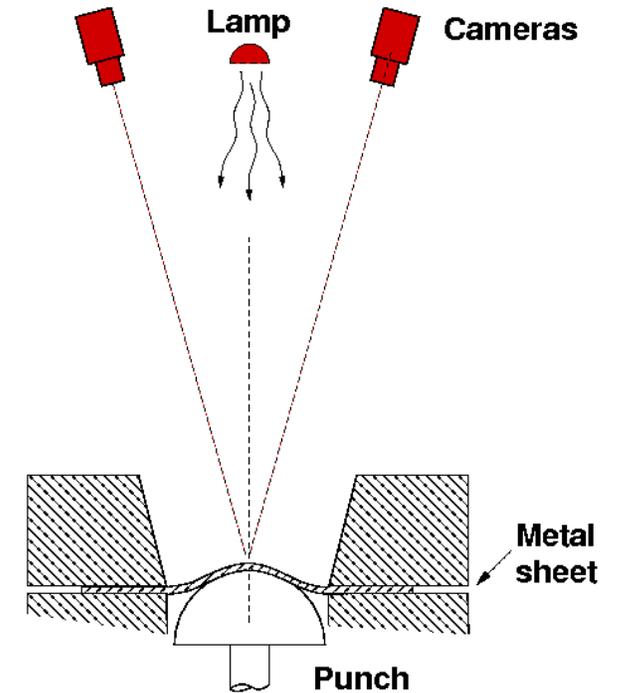
Prüfung der Umformbarkeit von Blechwerkstoffen



ARAMIS

Nakajimatest – FLC Bestimmung

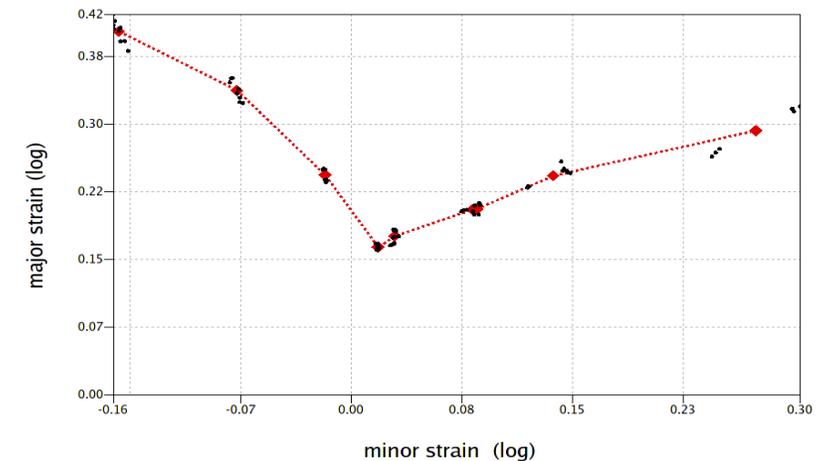
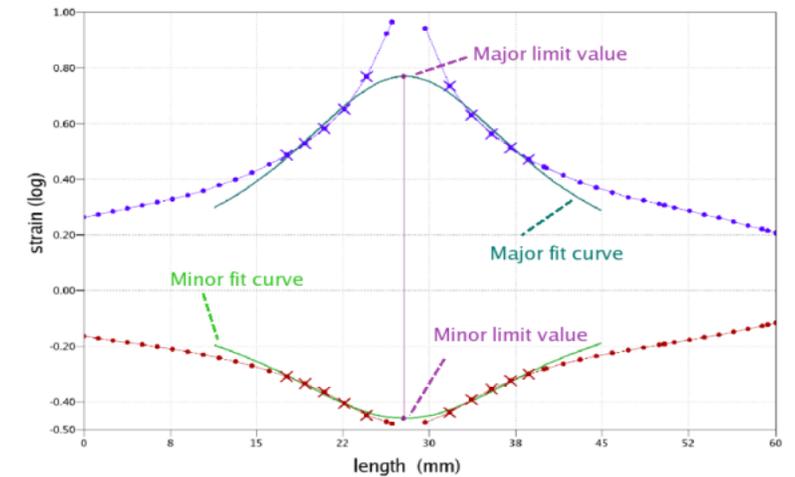
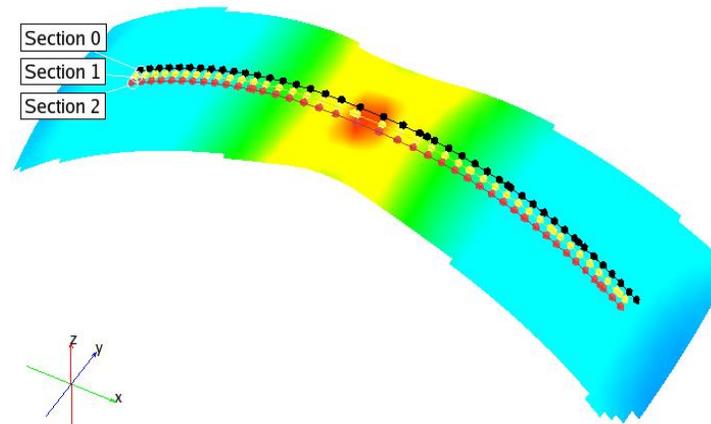
Bestimmung von
Grenzform-
änderungskurven (FLC)



ARAMIS

Nakajimatest – FLC Bestimmung

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



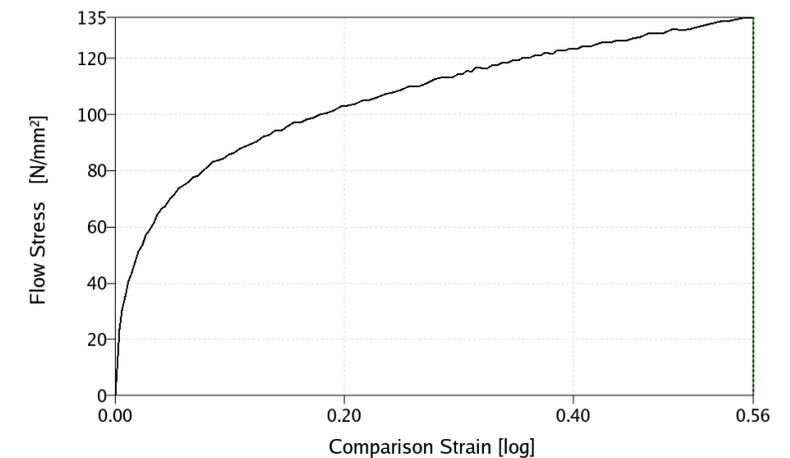
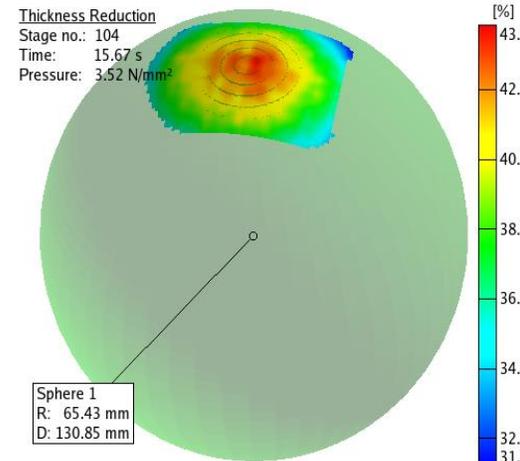
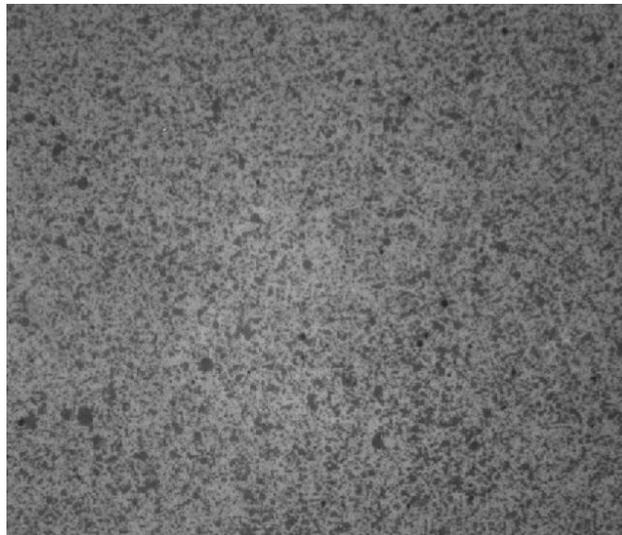
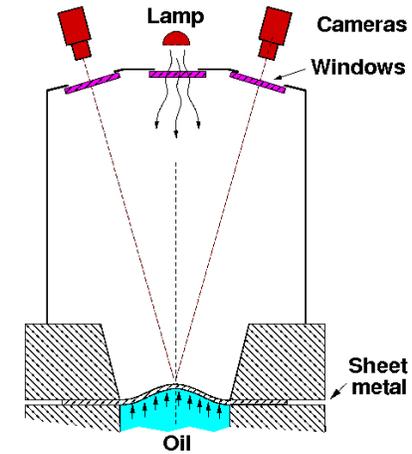
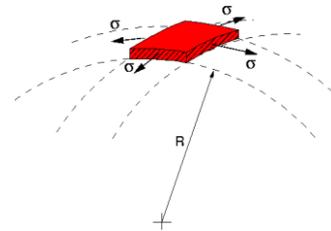
ARAMIS Bulge-Test zur Fließkurvenbestimmung



ISO 16808 – Fließkurve aus dem Bulge-Test aus:

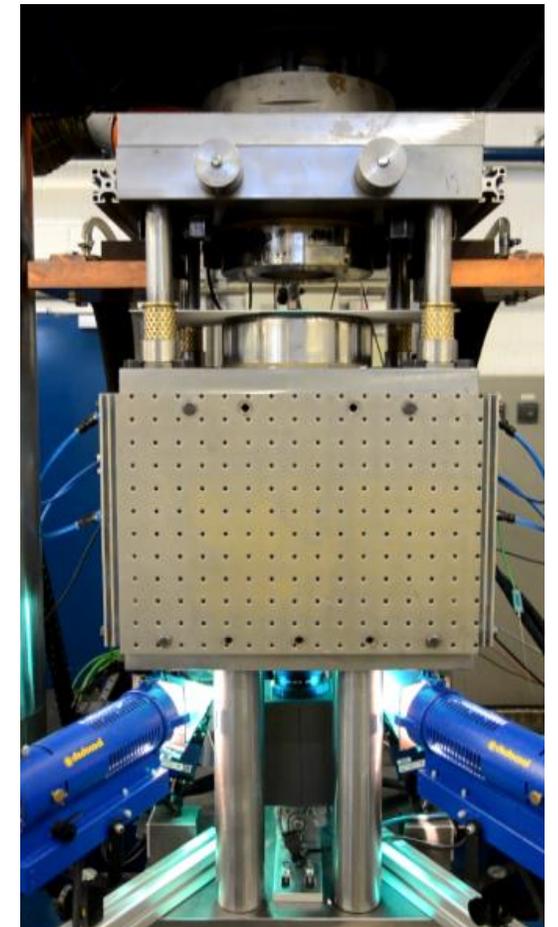
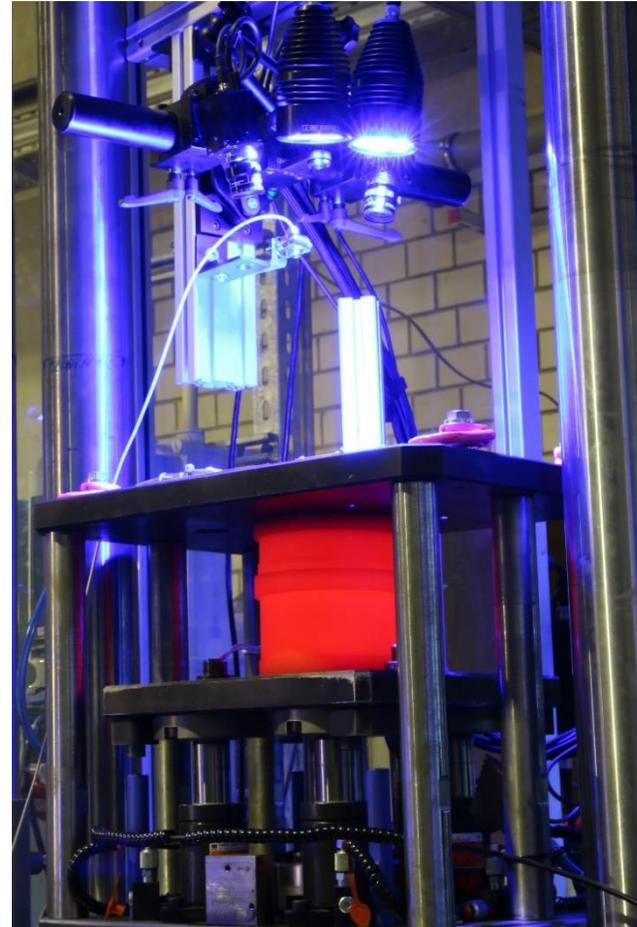
- Druck der Flüssigkeit
- Krümmungsradius*
- Aktueller Dicke*
- Vergleichsformänderung*

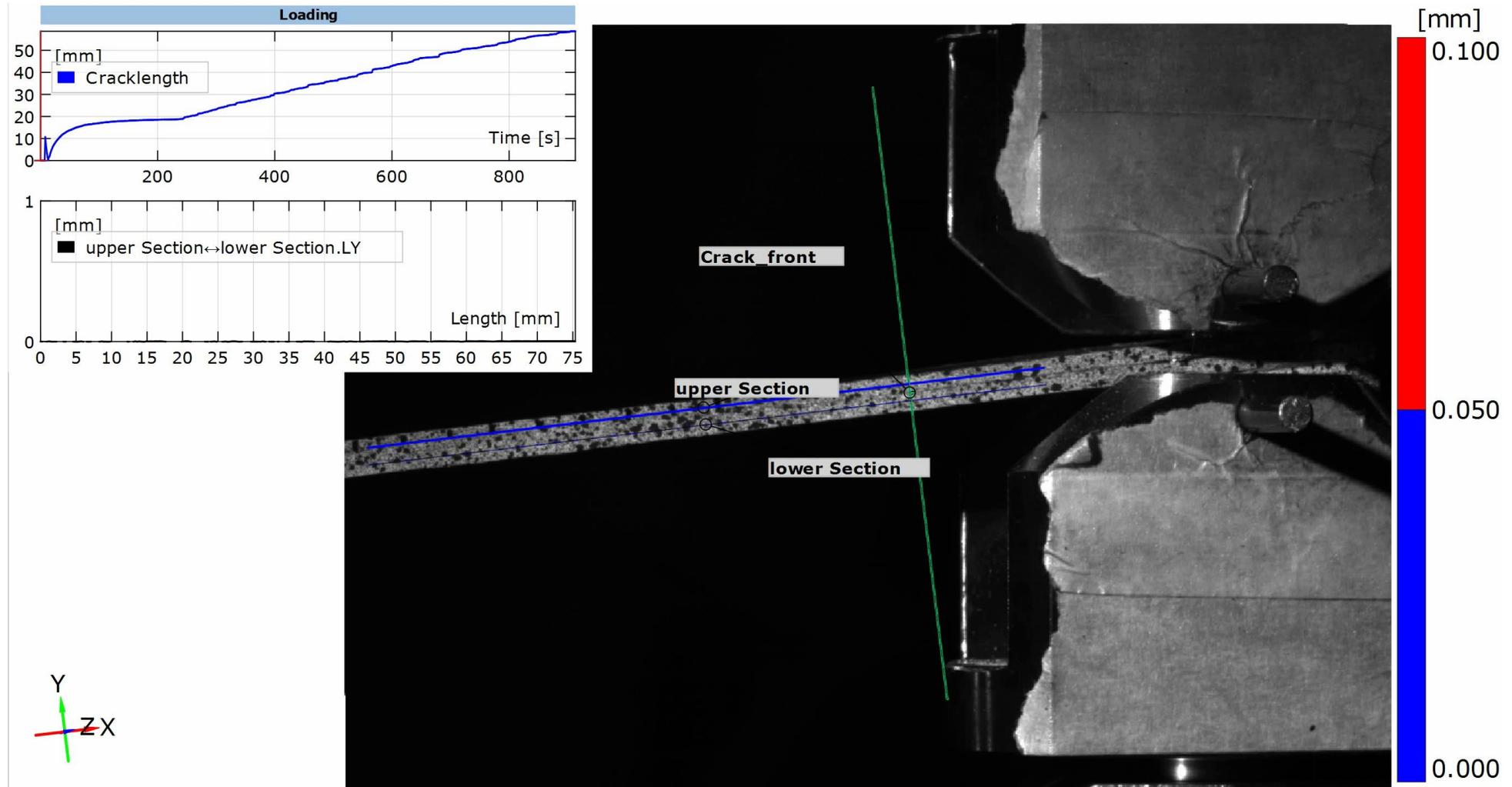
*Mit ARAMIS bestimmt



Umformbarkeit im Hochtemperaturbereich

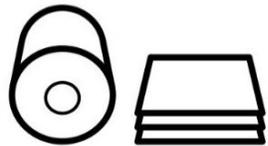
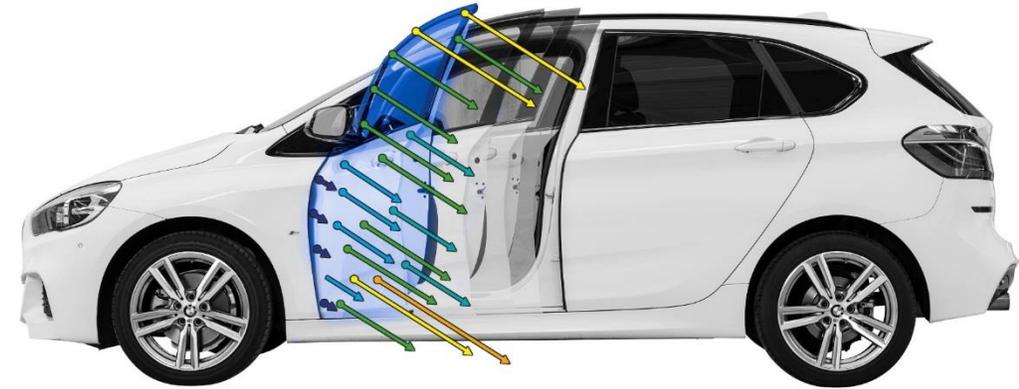
FLC und Spannungs-Dehnungs-Diagramm
für pressgehärtete Stahlproben



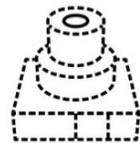


Prototyp Inspektion und Testing

- Geometriebasierte Prüfung
- Bewegungs- und Verformungsanalyse



Material-
eigenschaften



Produktdesign/
CAD/Simulation



Prototypen-
fertigung



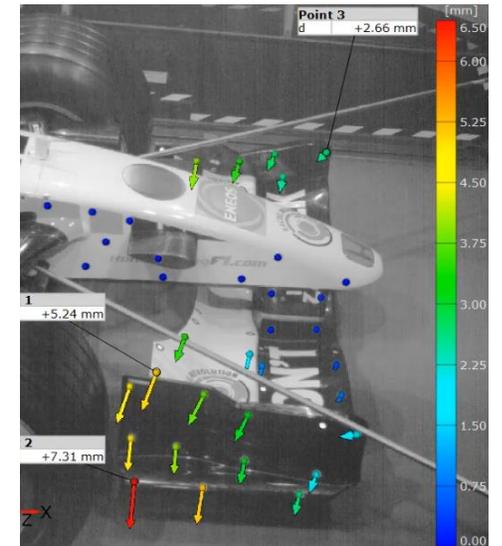
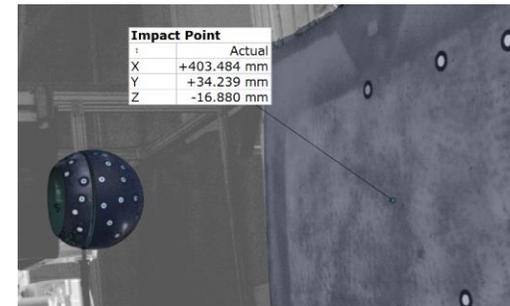
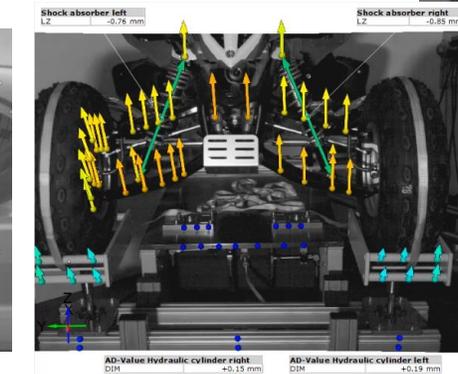
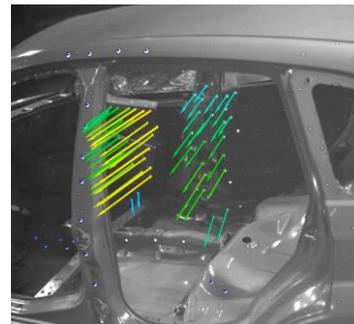
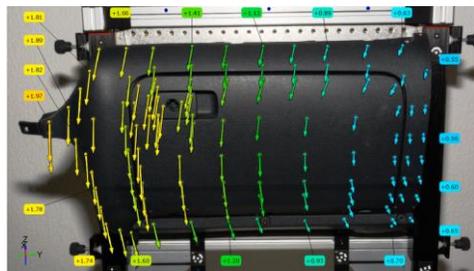
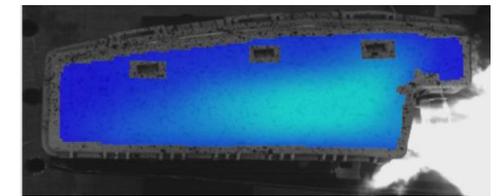
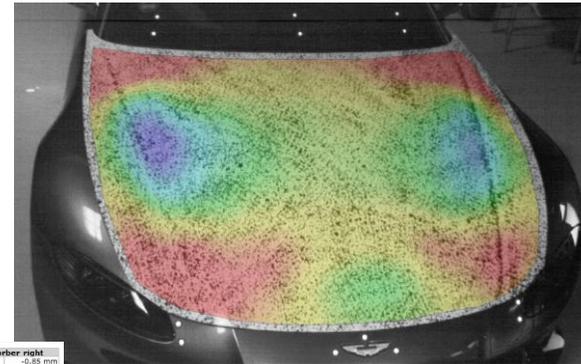
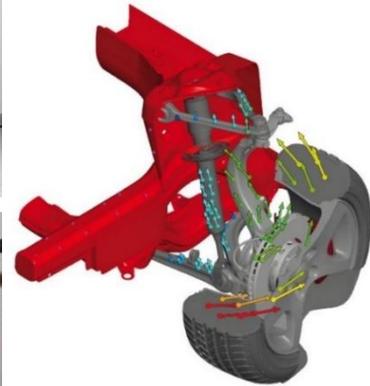
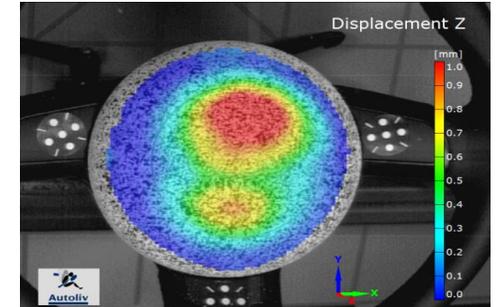
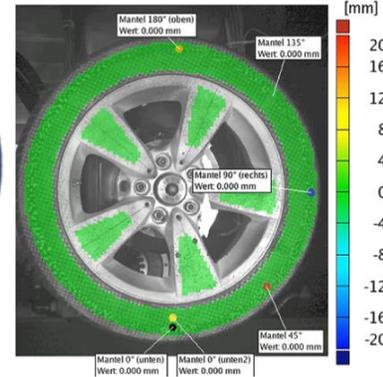
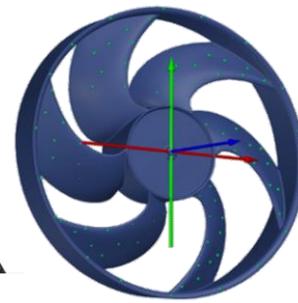
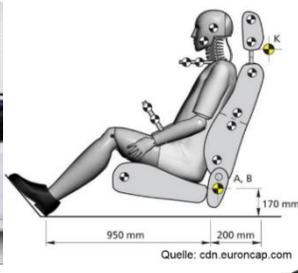
**Prototyp
Inspektion und
Testing**



Simulation
Validierung



Produktion und
Serienprüfung



Anwendung Automotive Türzuschlag

Messzeit 1 ms/Stufe → 1.000 Hz

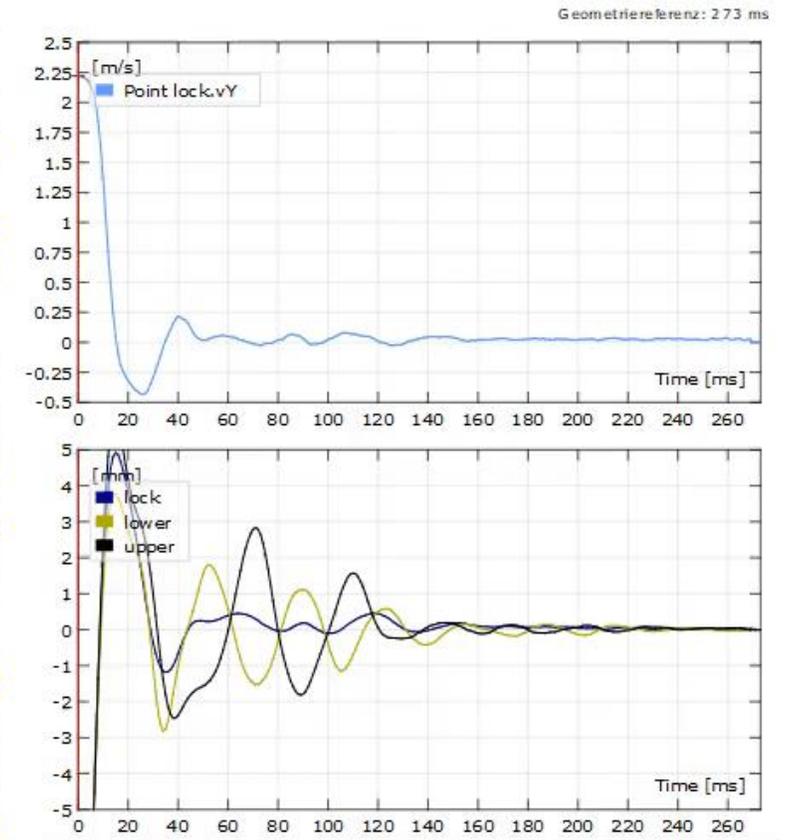
Auswertung ca. 10 Minuten

Displacement Y-Direction and velocity



RBMC by chassis + 3-point alignment

Door Slam 09.09.2017



5/9

Anwendung Automotive Türzuschlag

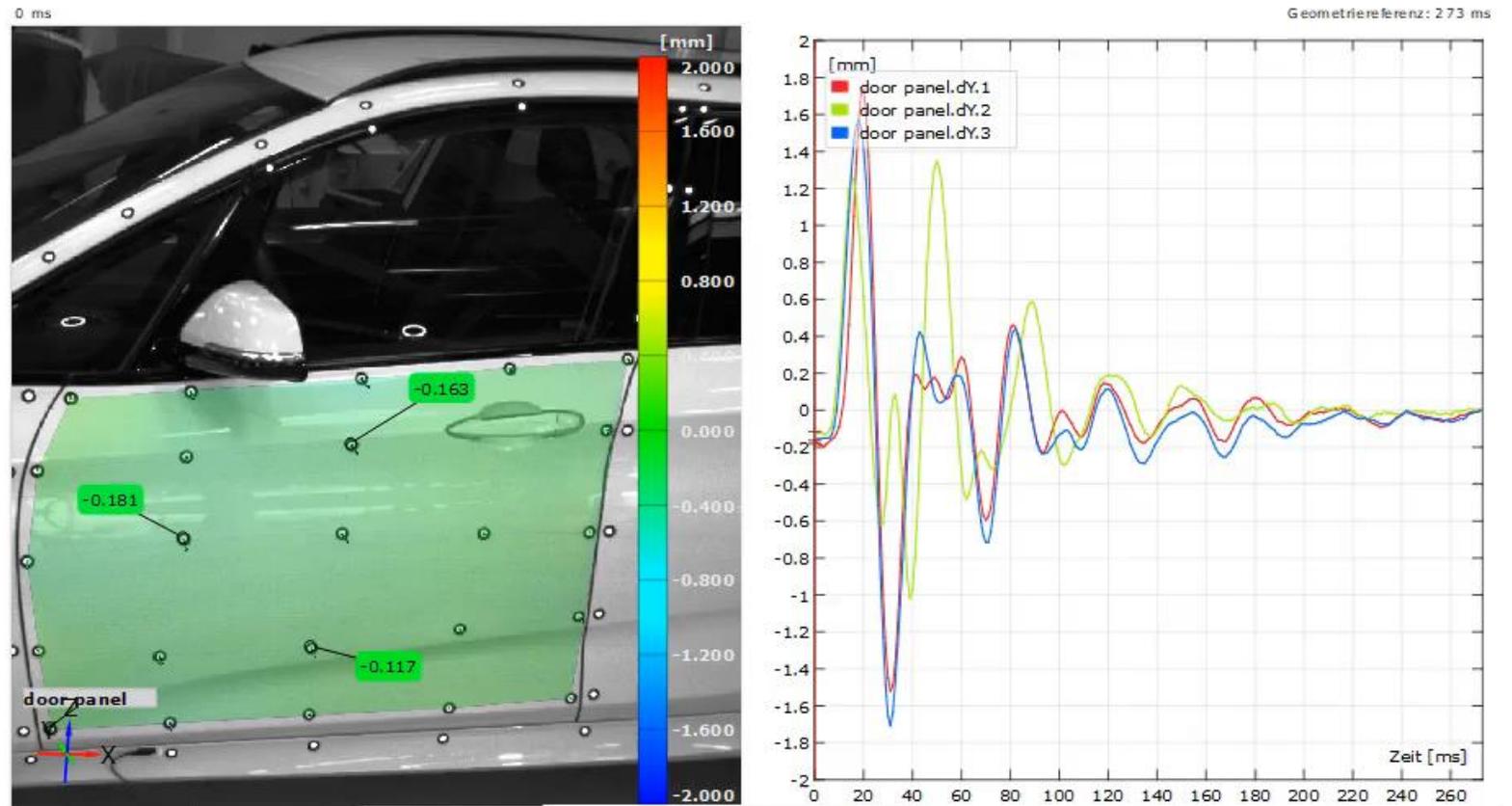
Türschwingung nach dem
Schließvorgang

Türblech schwingt deutlich
in Höhe der Analysepunkte

Punktvernetzung zur
flächenhaften Darstellung

Messdaten zwischen
den Punkten interpoliert

Displacement Y-Direction - vibration of the door panel



Anwendung Automotive Türzuschlag

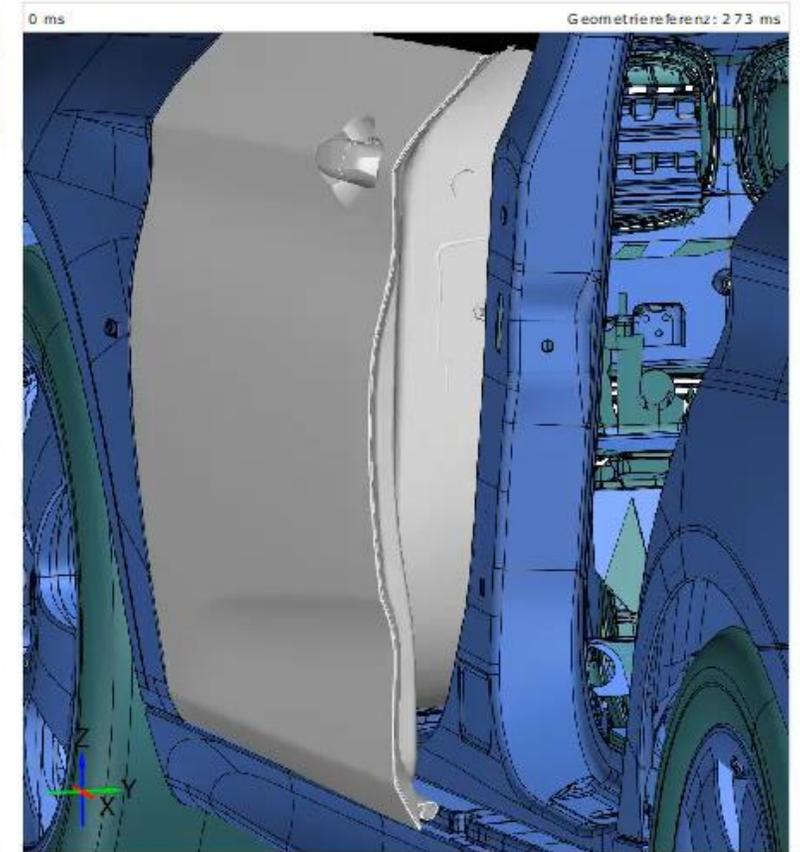
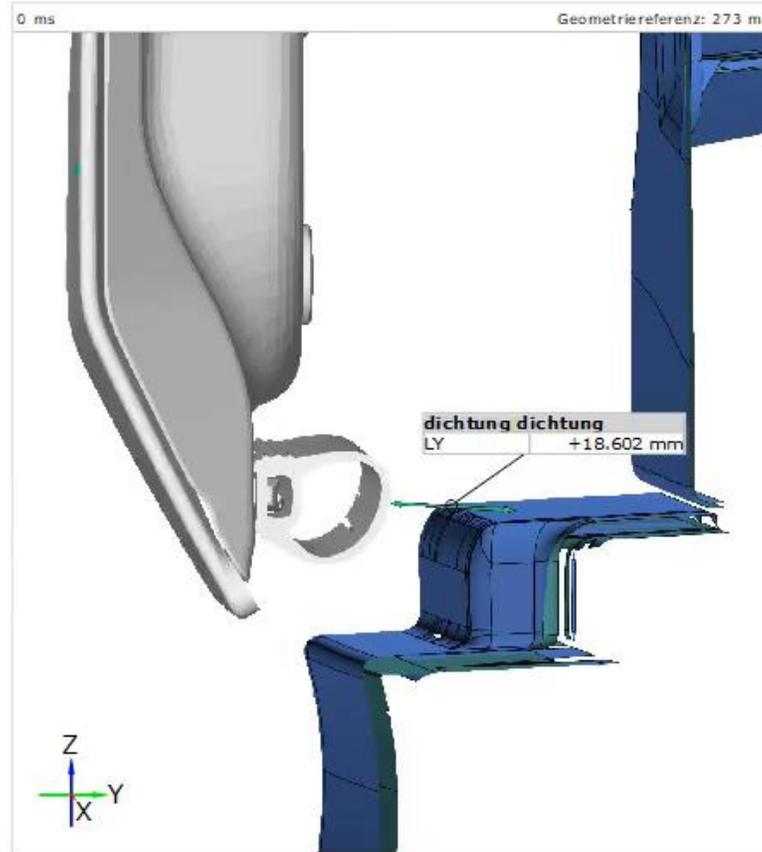


Animiertes Netz

Messung an verdeckten Stellen

Netz an Punktkomponente geheftet

Dynamic distance seal - chassis - animated mesh

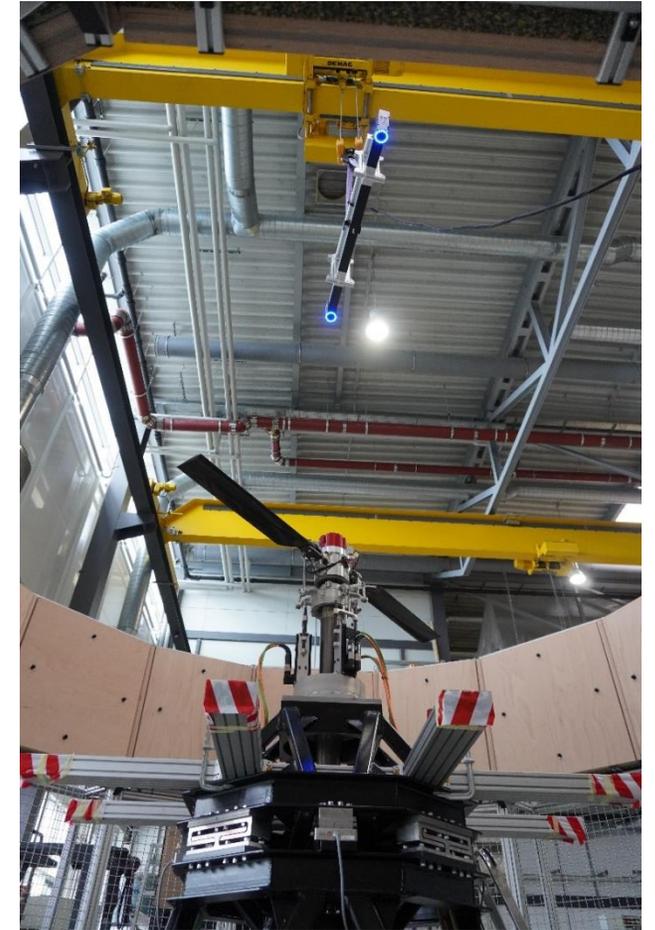


Anwendung Luft- und Raumfahrt Helikopter-Rotor

Versuch

- Verformungsverhalten Rotorblätter auf Prüfstand
- Drehzahl bis zu 1.800 rpm

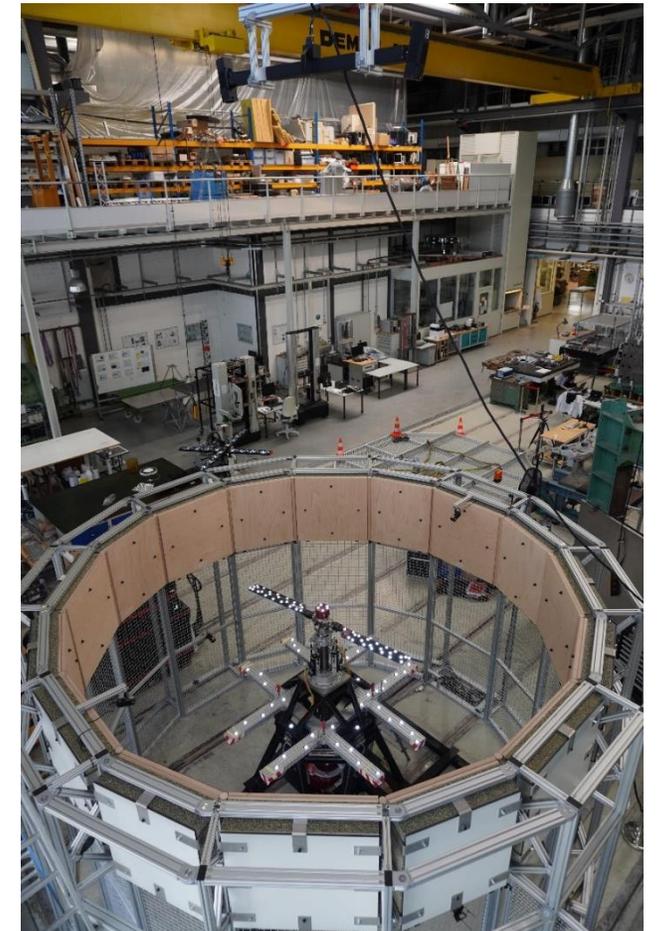
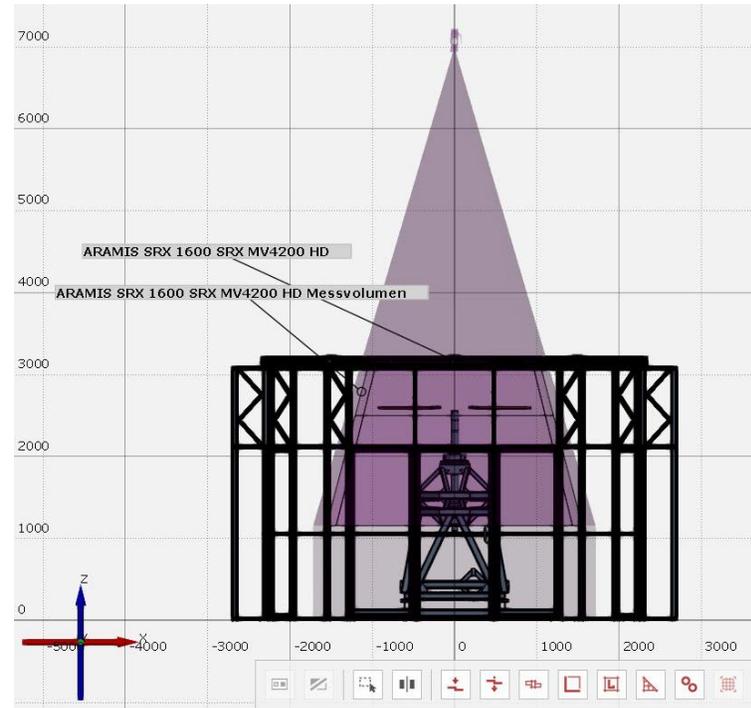
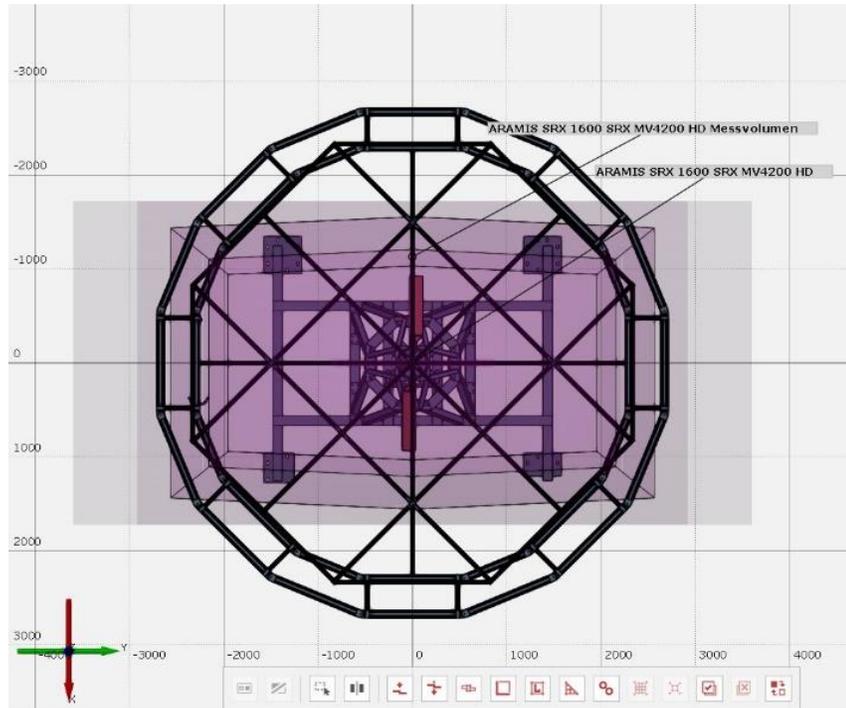
Messfrequenz: 1000Hz



Anwendung Luft- und Raumfahrt Helikopter-Rotor

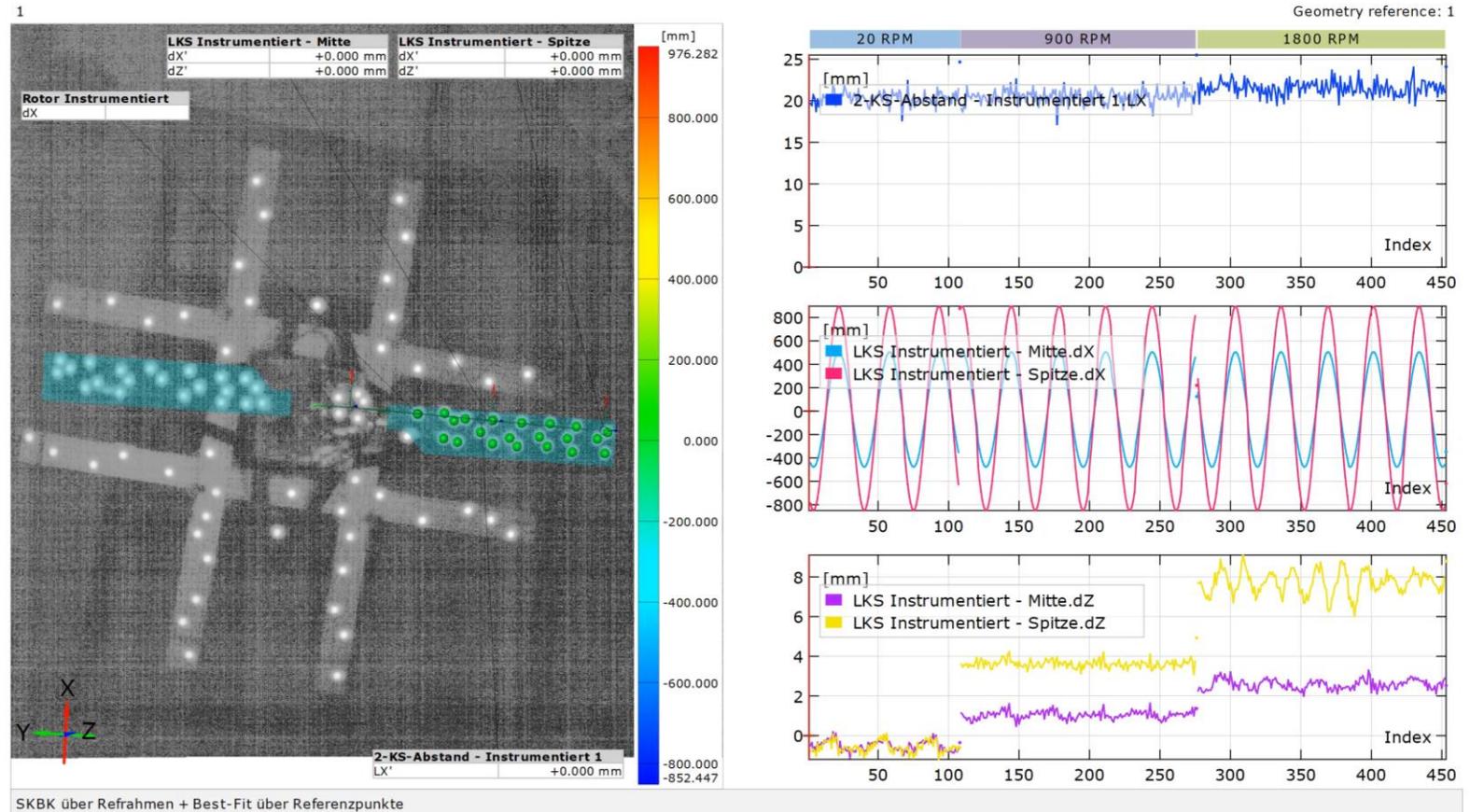


Digitale Messplanung



Versuchsergebnisse*

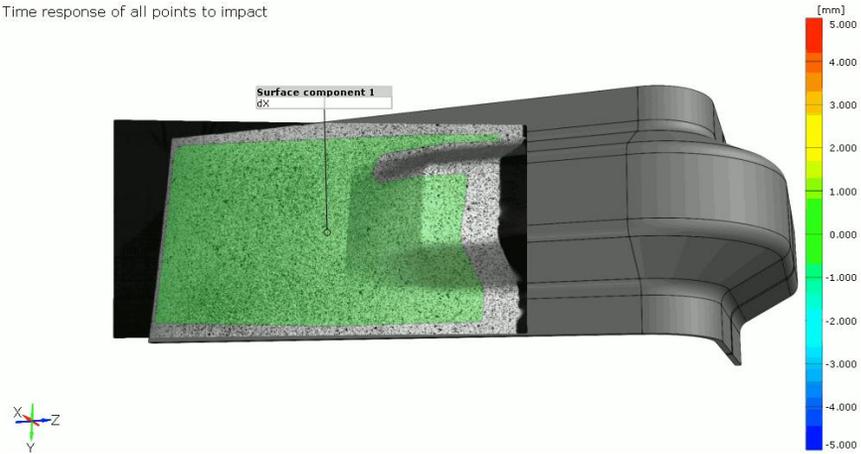
- Simultane Erfassung von Rotationen und Translationen
- Zeitsynchrone Darstellung unterschiedlicher Messergebnisse
- Biegeverhalten des Rotorblattes in der Rotationsebene
X-Verschiebung
- „Flattern“ des Rotorblattes
Z-Verschiebung
- Messdaten werden zur Validierung eines FE-Modells genutzt



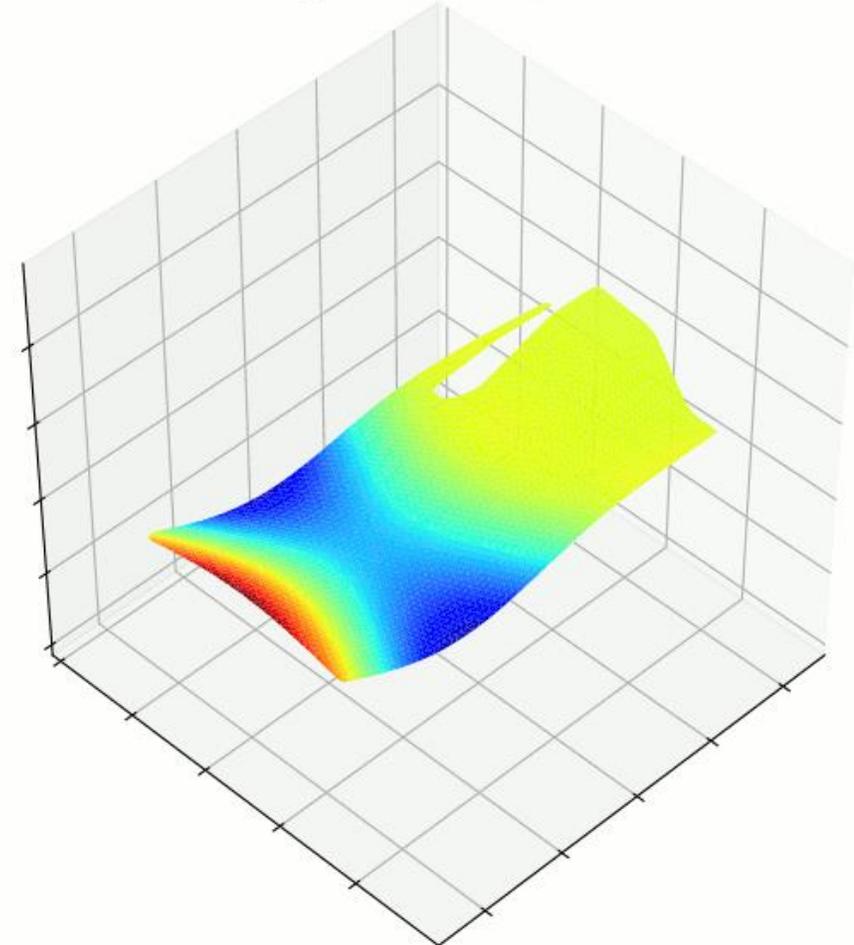
* "Heuschneider, V., Berghammer, F., Abdelmoula, A., Hajek, M., and Sirohi, J.: Model Based Blade Attachment Stiffness Evaluation of the MERIT Rotor in Hover with Photogrammetry and Digital Image Correlation, Proceedings of the Vertical Flight Society's 78th Annual Forum & Technology Display, Fort Worth,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

ARAMIS zur Analyse von Schwingungsformen Auswertung direkt in ARAMIS mit Schwingungstool

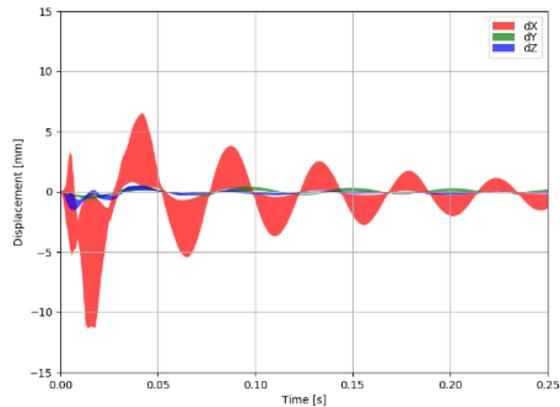
Time response of all points to impact



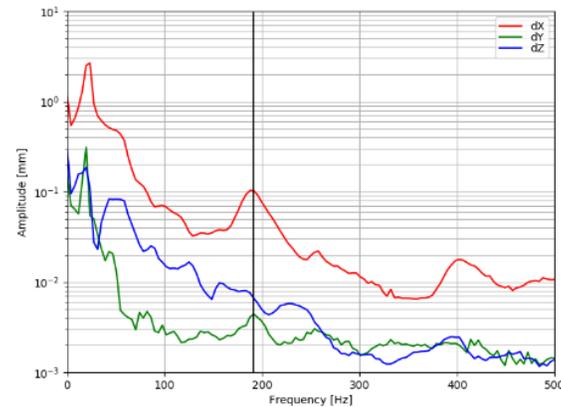
ODS @191Hz after impact

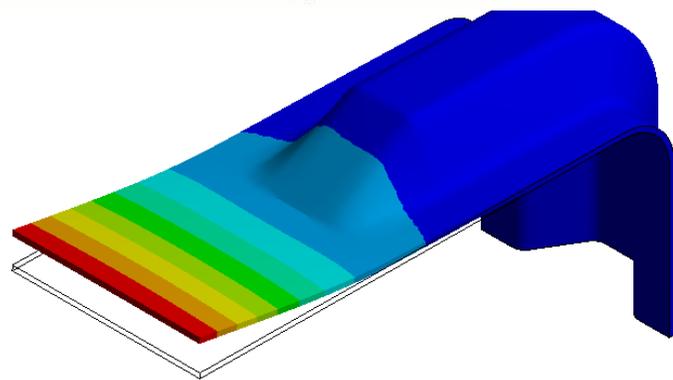
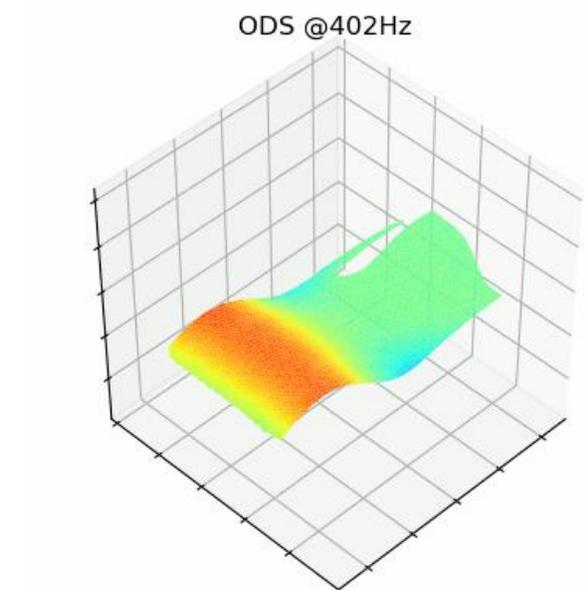
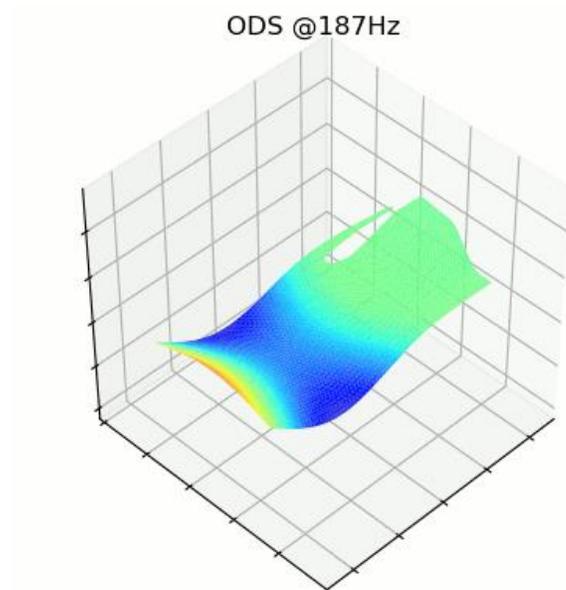
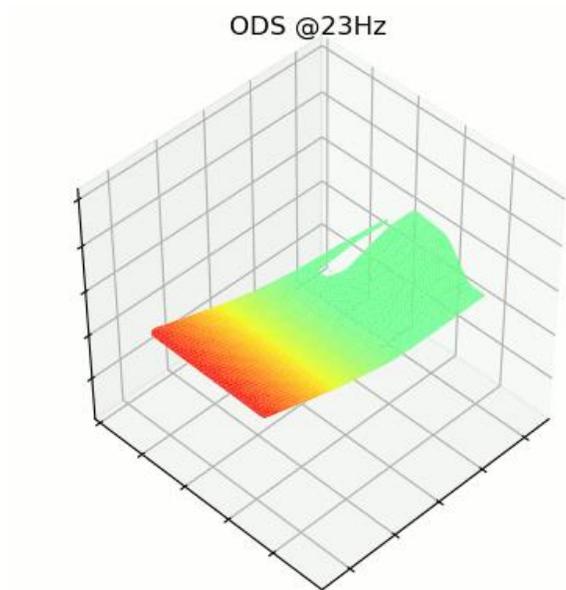


Time response of all points to impact

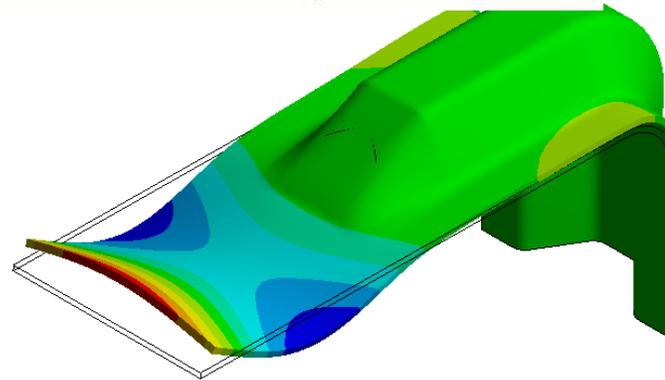


Frequency response (max. of all points) to impact

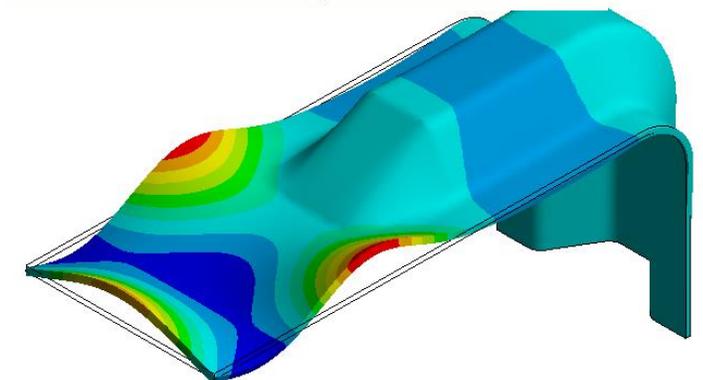




1st Mode

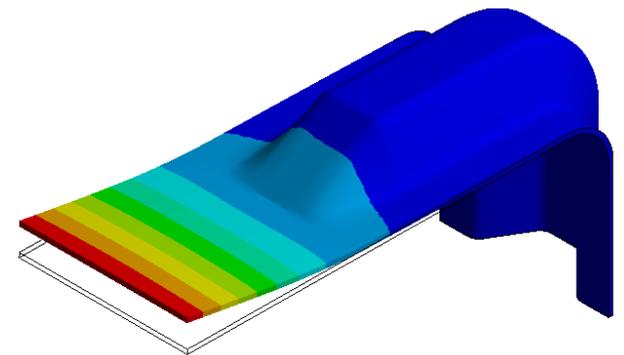
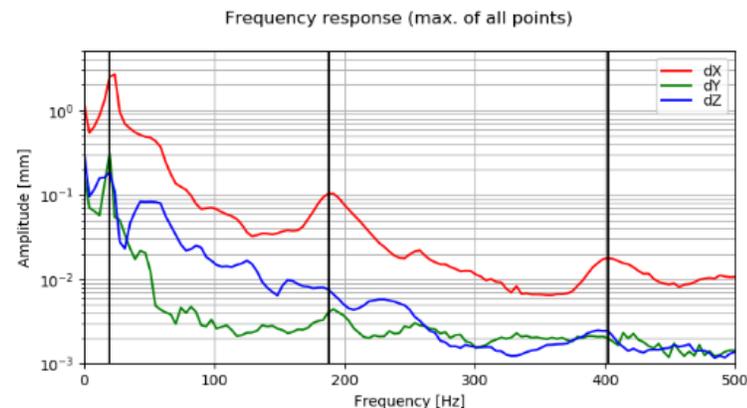
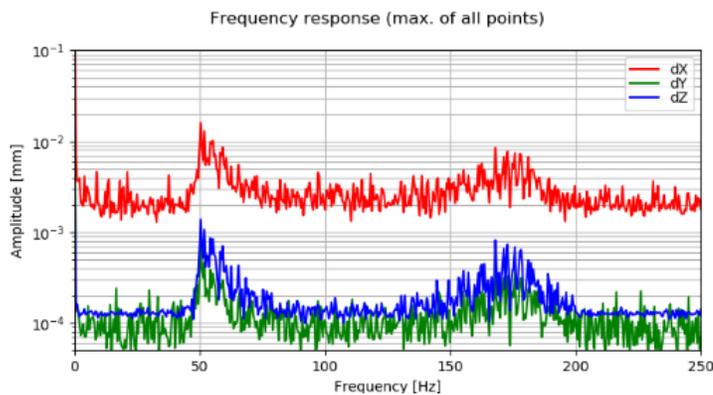


5th Mode



11th Mode

- 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

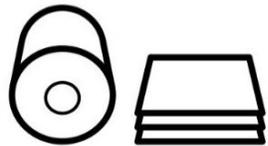
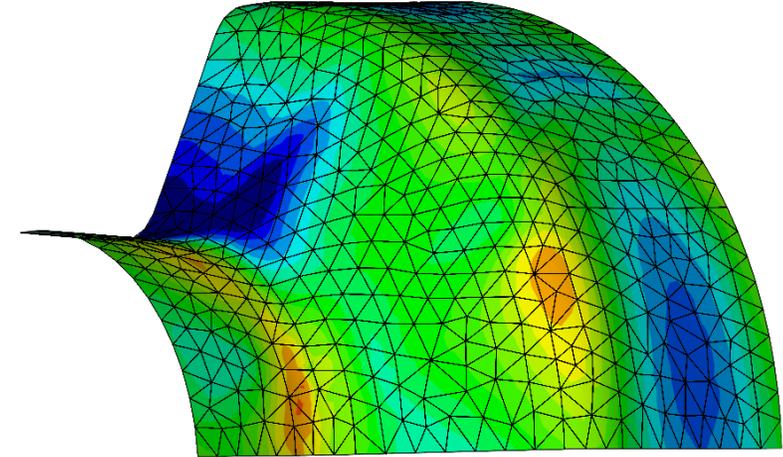


Simulationsabgleich

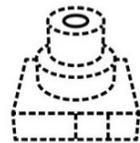
Validierung numerischer Simulationen

Verbesserung der Simulationsrandbedingungen

Genauere Simulationsdaten für zukünftige Prüfungen



Material-
eigenschaften



Produktdesign/
CAD/Simulation



Prototypen-
fertigung



Prototyp
Inspektion / Testing



**Simulation
Validierung**



Produktion und
Serienprüfung

FEA Eingabeparameter

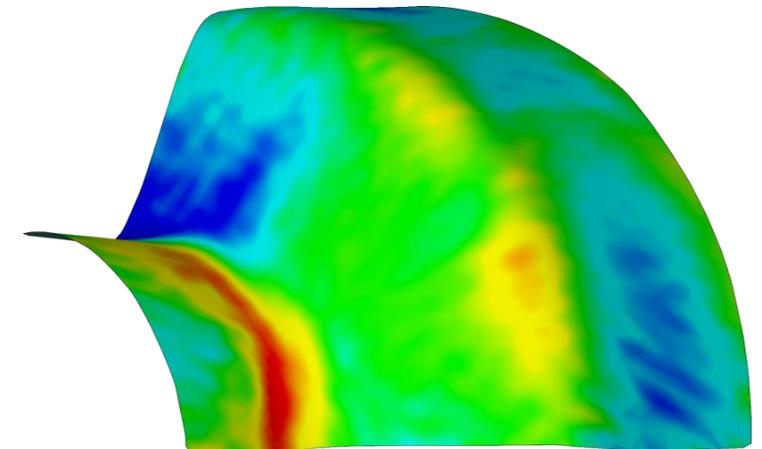
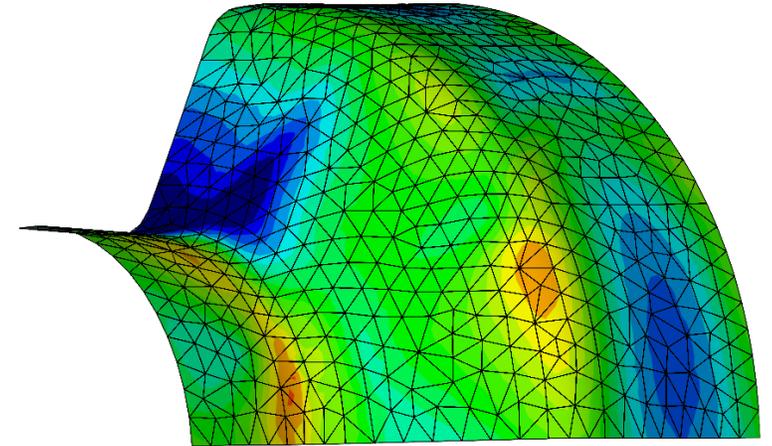
Geometrie

Materialmodell / Daten

Randbedingungen

Validierung der FEA Ergebnisse

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

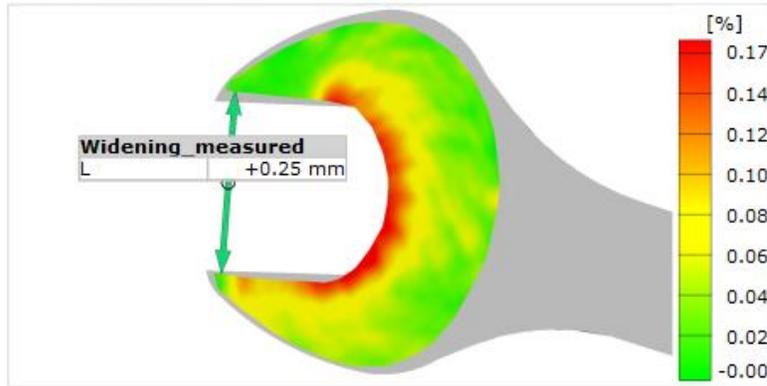


Verformungsmessungen für bessere Simulationen

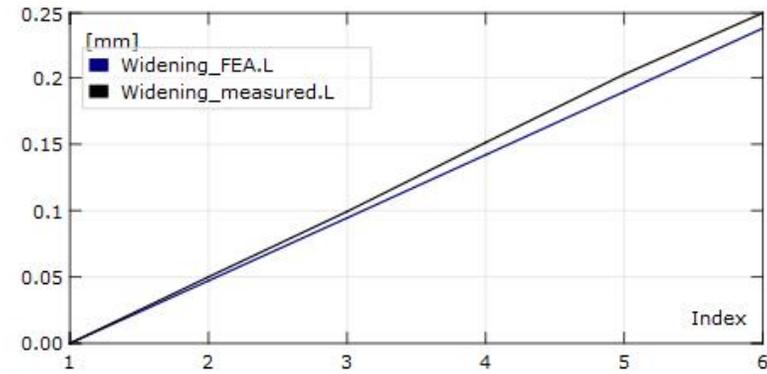


Comparison

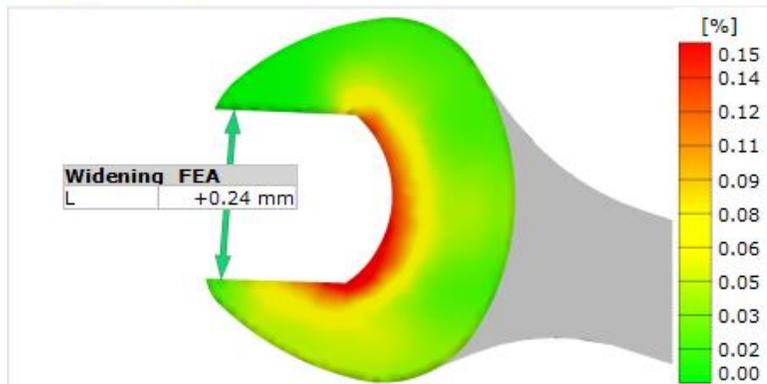
Measurement



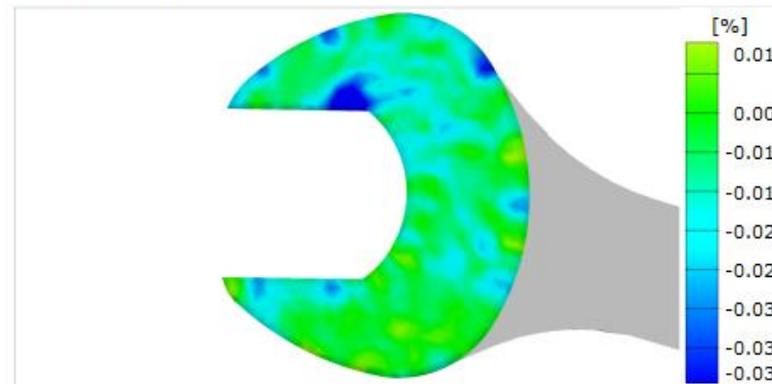
Widening



Simulation



Deviation



30. testXpo bei ZwickRoell GOM Metrology Ausstellungsbereiche

A3: Hauptstand GOM Metrology

- ARAMIS Zugversuch
- ARAMIS an BUP
- ATOS

A2: an HTM

- ARAMIS HHS an HTM
- Zugversuch





Seeing beyond