

Optische Dehnungsmessung in der mechanischen Prüfung von Composites

Dr. Hannes Körber

Branchenmanager Composites

Zwick Roell GmbH & Co. KG



Einführung

ZwickRoell videoXtens biax 2-150 HP

ZwickRoell 2D-DIC Software Option

**Anschluss eines externen 3D-DIC
Systems**

Anwendungen und Anforderungen

Anwendungen

- Zugversuch nach ISO 527-4* /-5** & ASTM D 3039
 - Zugmodul nach ISO 527-1, auch unter Temperatureinfluss
 - Poissonzahl nach ISO 527-1, auch unter Temperatureinfluss
- In-Plane Scher (IPS) Versuch zur Bestimmung der Schubspannungs-Dehnungs-Kurve, des Schubmoduls und der Schubfestigkeit nach ISO 14129 & ASTM D 3518
- V-notched beam shear – Iosipescu (ASTM D 5379) und V-notched rail shear (ASTM D 7078)
- Open-hole tension (ASTM D 5766)
- Biegung (ISO 14125 & ASTM D 7264)

Anforderungen

- **Hohe Genauigkeit** für **axiale** und **biaxiale Dehnungsmessung**
- **Ein Messsystem** für Raumtemperatur und Temperaturversuche
→ für vergleichbare Prüfergebnisse
- **Ein Messsystem** für Zug-, Scher- (IPS) und Biegeversuche
→ benutzerfreundlich und effizient
- **Berührungslose** Dehnungsmessung optimal
→ mechanische Messsysteme können durch hochenergetisches Probenversagen beschädigt werden
- **Wenig Aufwand** bei der Probenvorbereitung

* für Gewebe oder multidirektionale UD Laminate

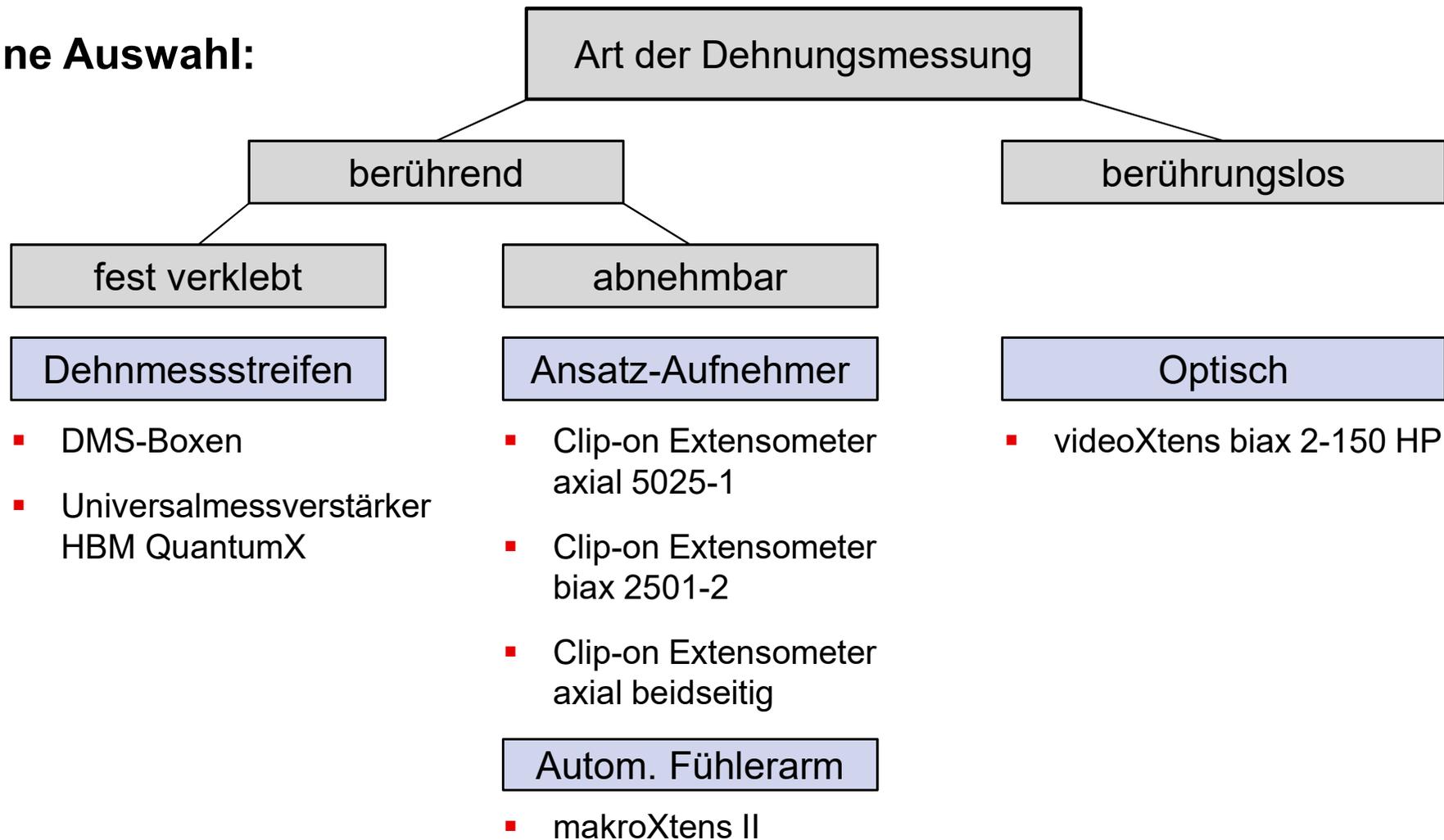
** für unidirektionale (UD) Composites

Eine große Temperaturspanne in der Anwendung erfordert auch eine große Temperaturspanne bei der Materialcharakterisierung.



ZwickRoell bietet ein umfangreiches Portfolio zur Dehnungs- und Durchbiegungsmessung bei der Prüfung von Composites.

Eine Auswahl:



Bei der Auswahl eines geeigneten Dehnungsmesssystems gilt es zu prüfen, ob biaxiale Dehnungsmessung und ob Dehnungsmessung in der Temperierkammer erforderlich ist.

Dehnungsmesssystem	Raumtemperatur		Temperaturversuche	
	$\epsilon_{l\ddot{a}ngs}$	ϵ_{quer}	$\epsilon_{l\ddot{a}ngs}$	ϵ_{quer}
DMS (DMS-Boxen und HBM QuantumX) *	X	X	X	X
Axialer Clip-on Extensometer 5025-1 **	X	-	X	-
Biaxialer Clip-on Extensometer 2501-1 **	X	X	X	X
MakroXtens II	X	X	X	-
VideoXtens biax 2-150 HP	X	X	X	X

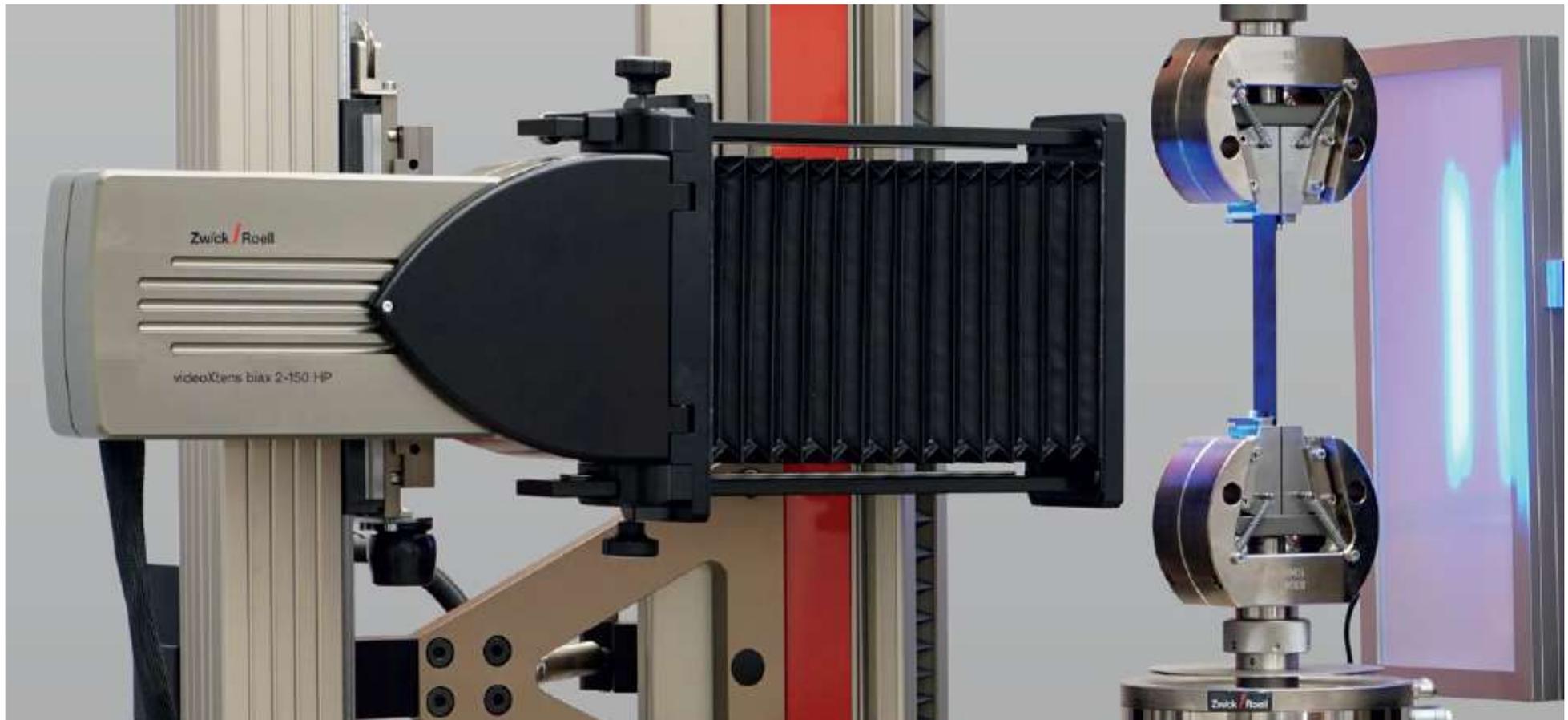
- *
 - nur für einmalige Verwendung,
 - Zeitaufwändige Applikation,
 - versagt u.U. vor finalem Probenversagen,
 - oft problematisch bei der Anwendung für Composites mit thermoplastischer Matrix

- ** Extensometer muss bei hochenergetischem Versagen vorher abgenommen werden (z.B. Zugversuch in Faserrichtung)

Unsere Lösung für die optische Dehnungsmessung: **Zwick / Roell**

Der videoXtens biax 2-150 HP.

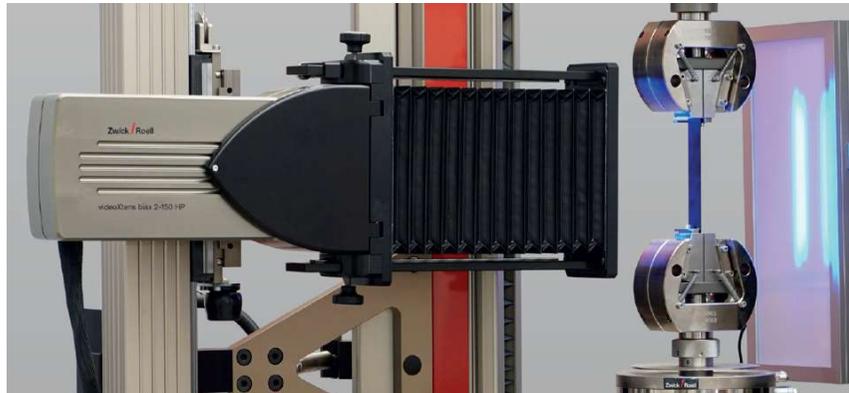
Führend in der optischen Dehnungsmessung von Composites.



Unsere Lösung für die optische Dehnungsmessung: **Zwick / Roell**

Der videoXtens biax 2-150 HP.

Führend in der optischen Dehnungsmessung von Composites.



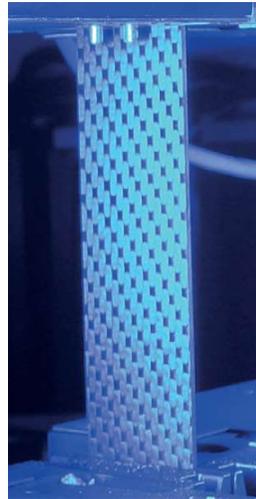
- berührungslos
- ohne Messmarken
- hohe Auflösung
- ISO 527 konform
- Längs- und Querdehnung
- für Temperierkammern geeignet
- 2D-DIC

Längsdehnung mit 2-Kamera Array Technologie		
Sichtfeld *	175 x 65	mm
Auflösung bei Raumtemperatur	0.15	µm
Querdehnung mit zusätzlicher 3. Kamera		
Sichtfeld *	85 x 65	mm
max. Probenbreite	55	mm
Auflösung bei Raumtemperatur	0.1	µm
Allgemeine Angaben		
max. Bildrate	500	fps
Probendicke	0 ... 20	mm
Kalibrierung		
EN ISO 9513		Klasse 0.5
ASTM E 83		Klasse B1 ab 15mm Messlänge
* für Arbeitsraumbreite von 640 mm (Allround-Line)		

Unsere Lösung für die optische Dehnungsmessung: **Zwick / Roell**

Der videoXtens biax 2-150 HP funktioniert auch ohne Messmarken und erfüllt die in ISO 527-1 definierten Genauigkeitsanforderungen

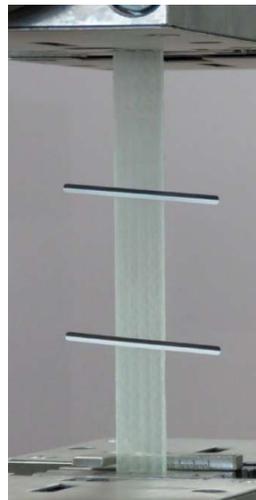
markierungsfreie
Dehnungsmessung für
lichtundurchlässige
CFK Proben



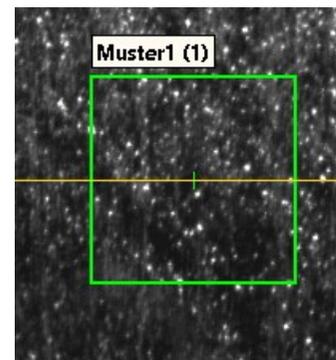
- Axiale Dehnungsmessung mit Messmarken oder markierungslos durch Erkennung des natürlichen Musters auf der Probenoberfläche
- Querdehnungsmessung mit Messmarken oder an den Probenkanten
- Signifikant verbesserter Kontrast und Minimierung des Umgebungslichteinflusses durch Verwendung von blauem Licht



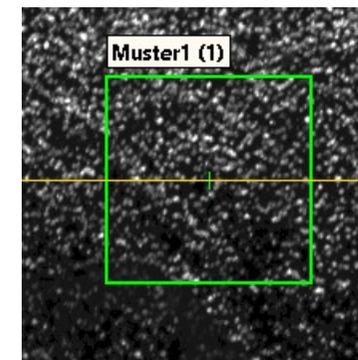
Verwendung von Messmarken
bei lichtdurchlässigen
GFK Proben



White light

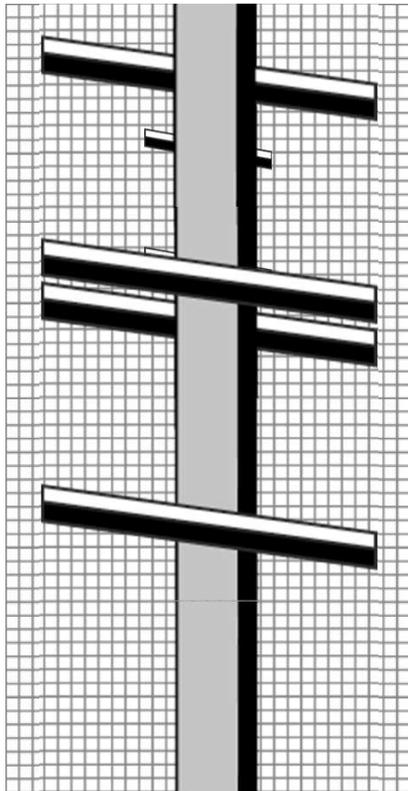


Blue light

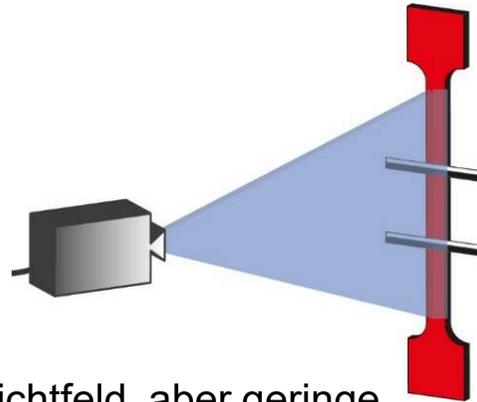


Die Array-Technologie ermöglicht ein größeres Sichtfeld ohne Kompromisse bei der Bildauflösung.

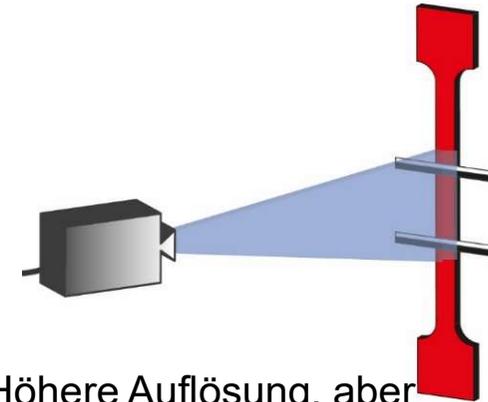
Der Kamera-Sensor-Chip bestimmt die Bildauflösung:



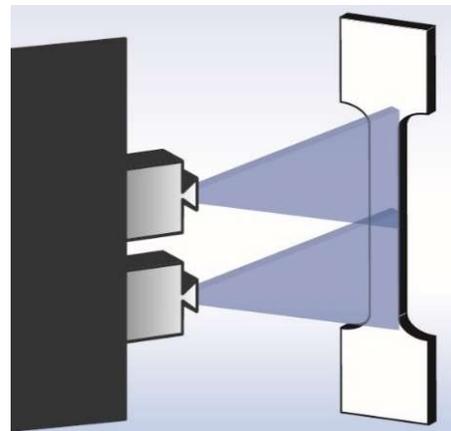
Das Sichtfeld ist abhängig vom verwendeten Objektiv:



Großes Sichtfeld, aber geringe Bildauflösung der Probe



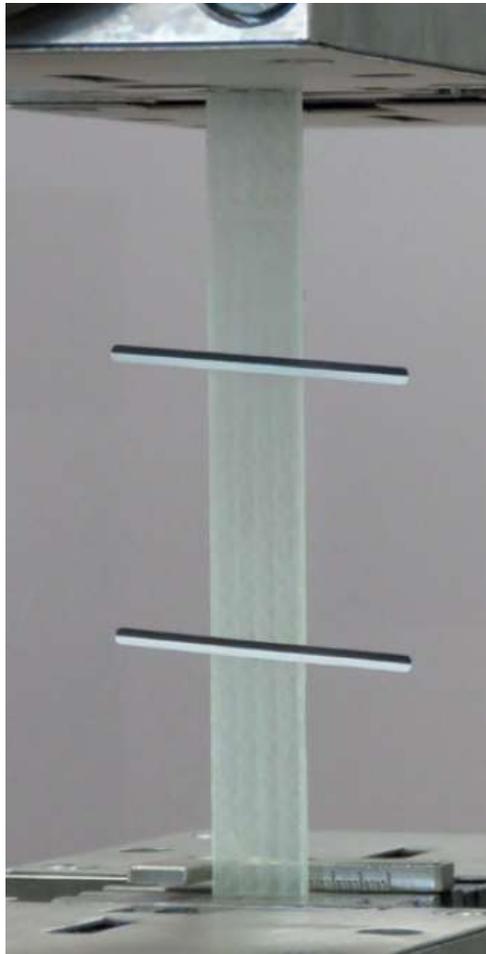
Höhere Auflösung, aber geringes Sichtfeld



Array-Technologie:

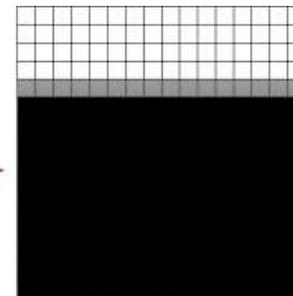
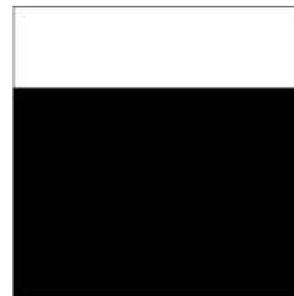
Maximales Sichtfeld ohne Beeinträchtigung der Bildauflösung im Bereich der Probe

Die leicht schräge Platzierung der Messmarken reduziert Rauschen im Messsignal und ermöglicht Messungen mit Subpixel-Genauigkeit.

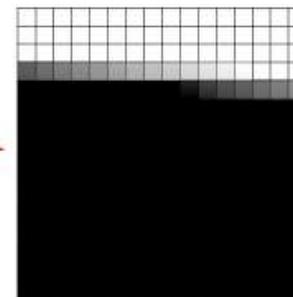
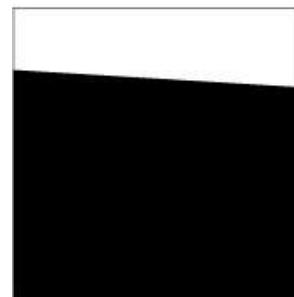


Scharfer Kontrast der Messmarke

Bild auf dem Sensor-Chip

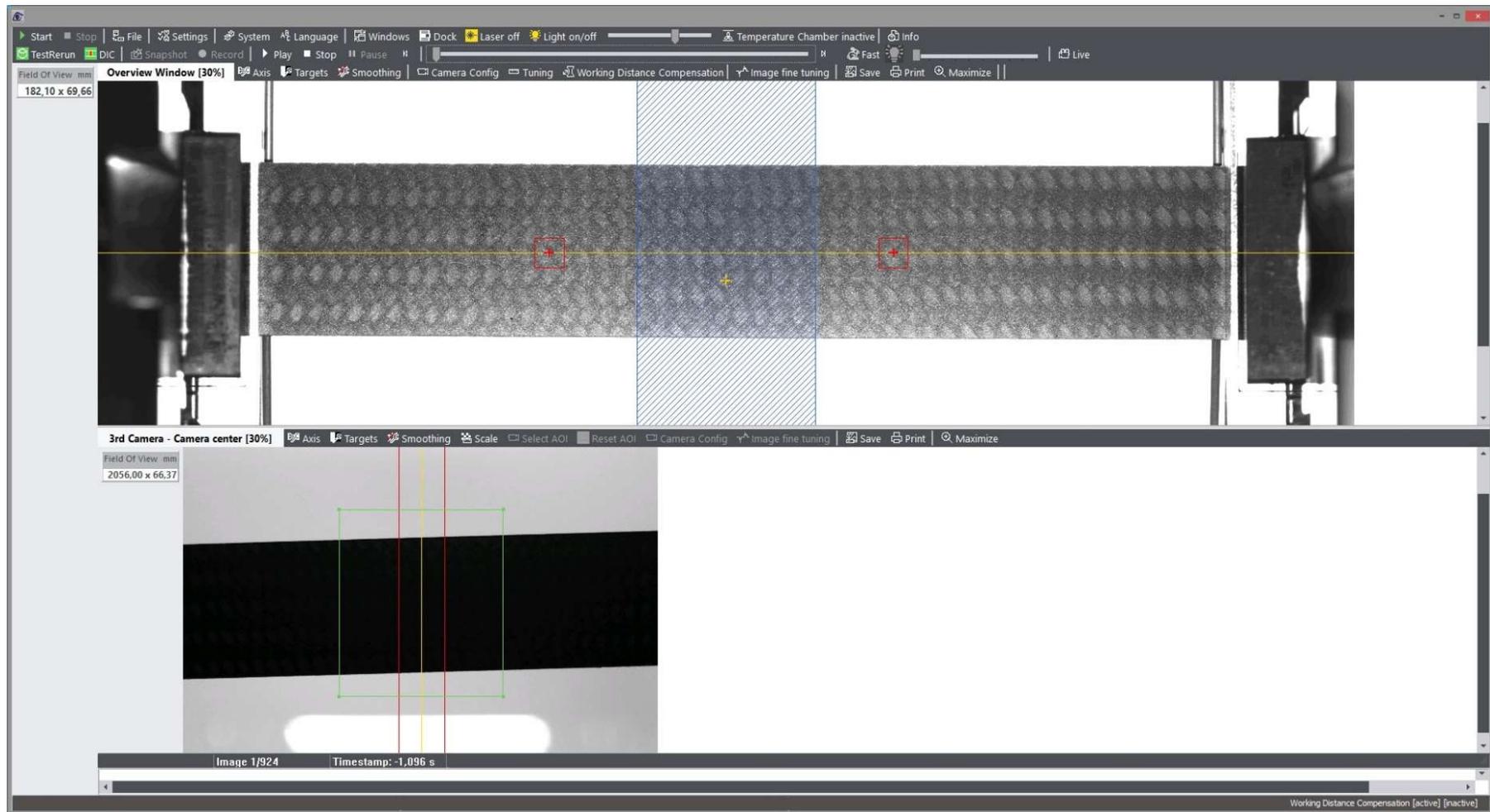


Höheres Rauschen bei horizontaler Platzierung, da die Messlinie von einer Pixelreihe zur nächsten springt.



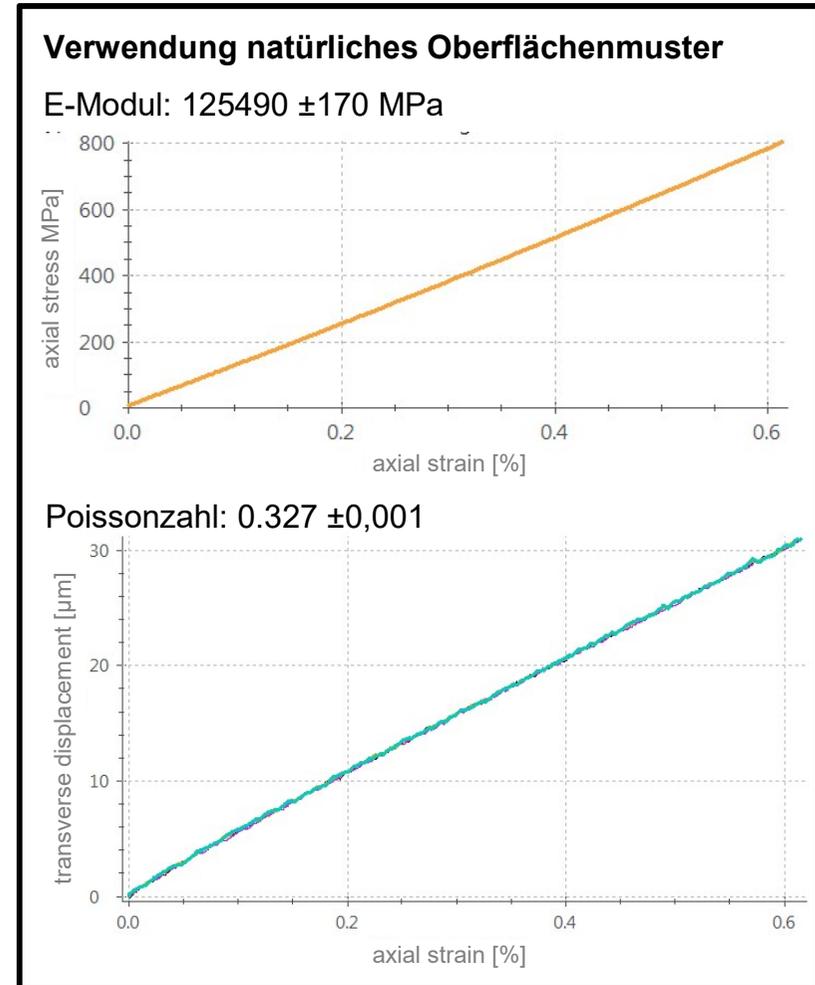
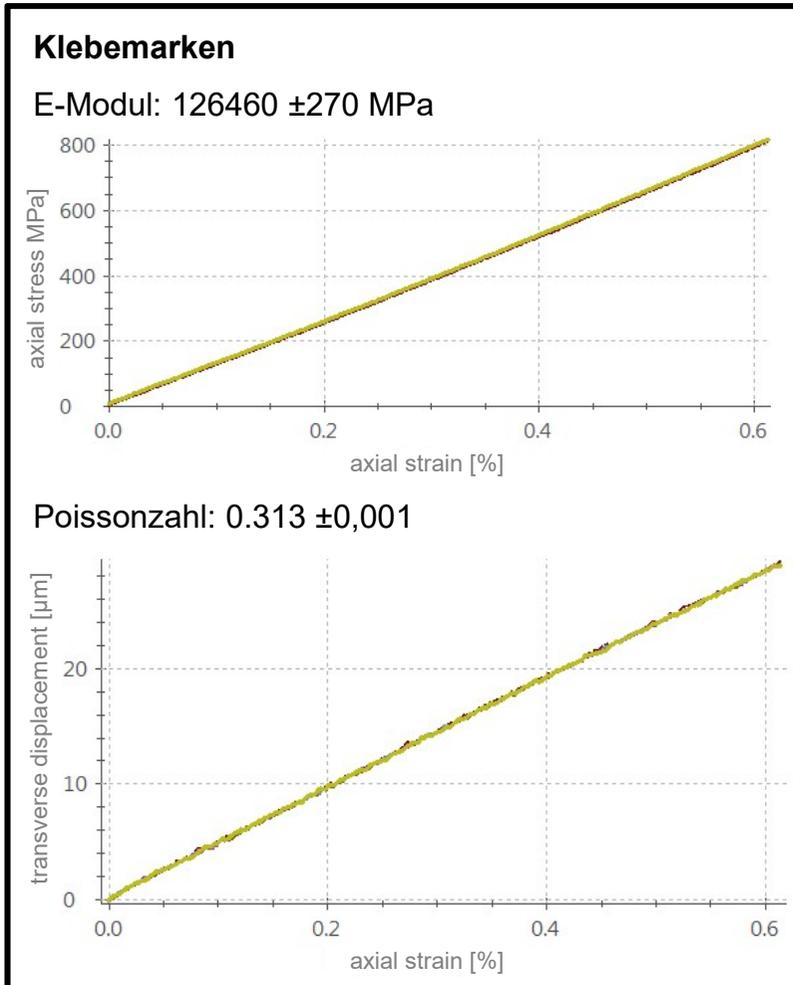
Geringes Rauschen bei leicht schräger Platzierung, durch allmählichen Übergang der gemittelten Messlinie zwischen den Pixelreihen des Sensor-Chips.

Die 2-Kamera Array-Technologie in Längsrichtung und die schräg platzierte 3. Kamera in Querrichtung, ermöglichen hochauflösende Messungen bei vollem Sichtfeld für gängige Probengeometrien

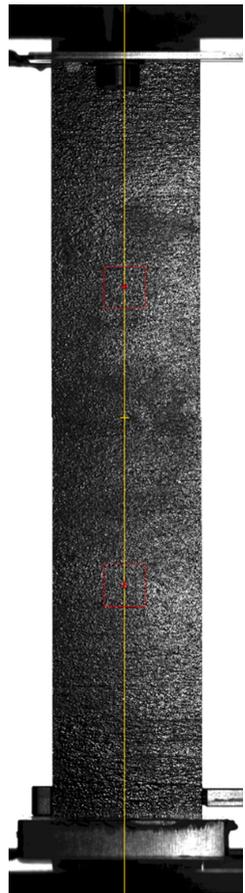


Vergleichende Längsdehnungsmessung mit Klebmarken und unter Verwendung des Oberflächenmusters für eine UD0° CFK-Zugprobe.

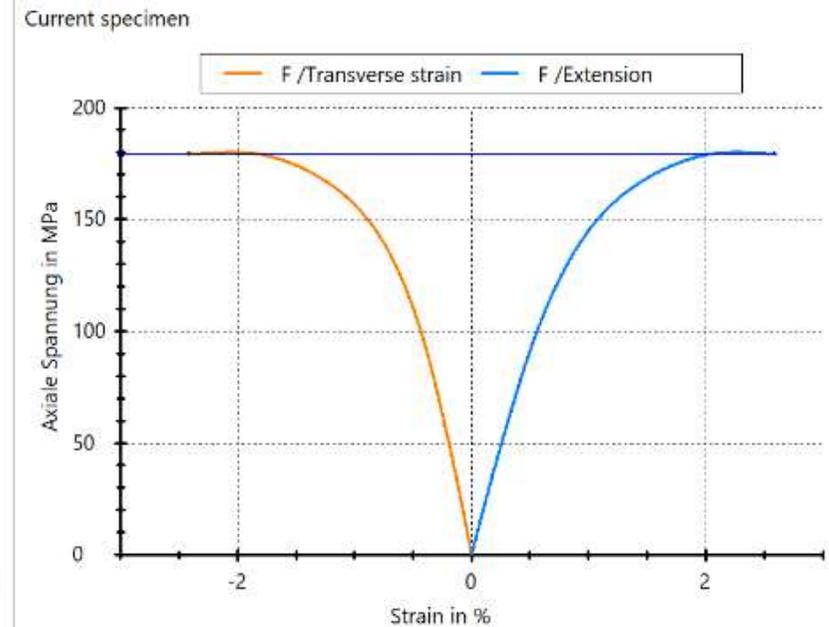
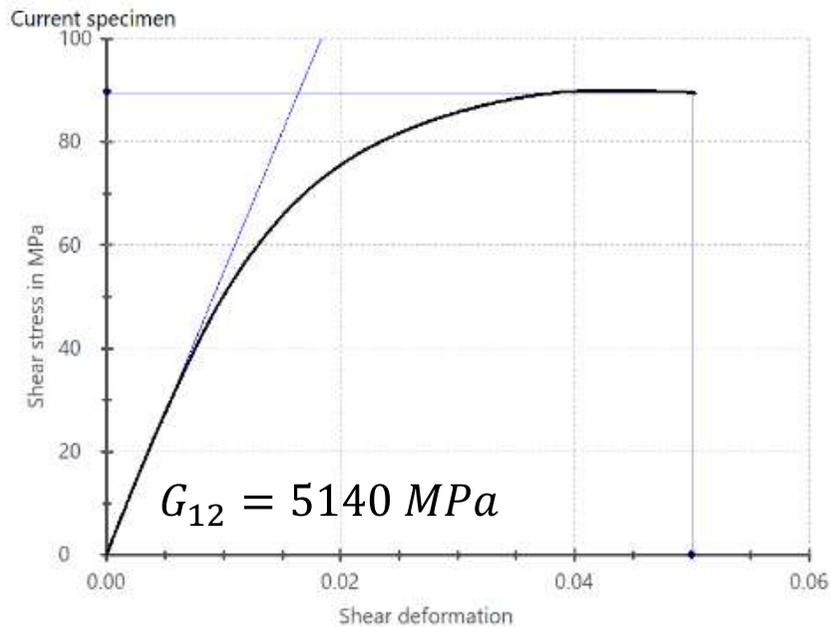
UD°
CFK



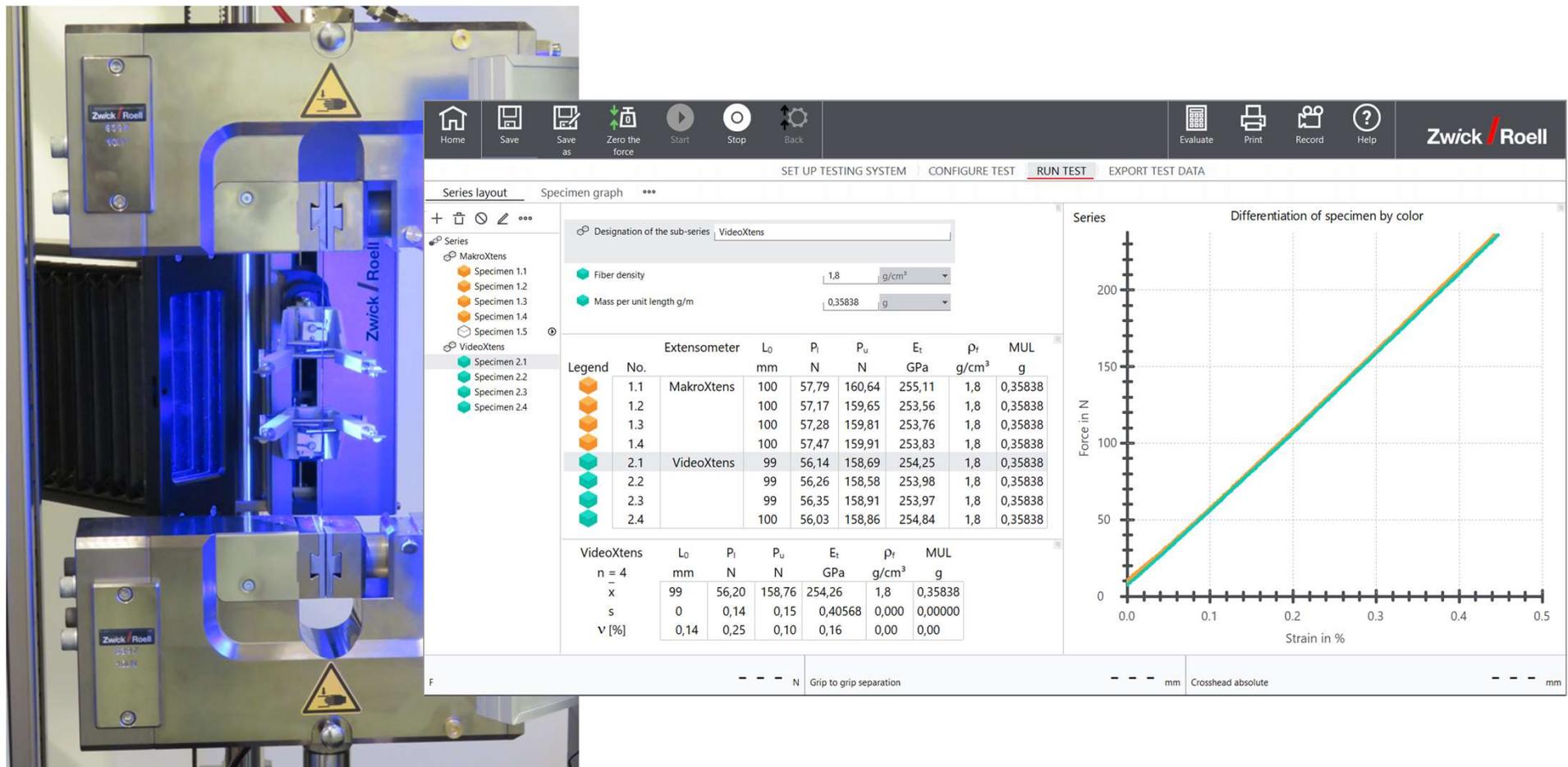
Markierungsfreie biaxiale Dehnungsmessung im Zugscherversuch mit $\pm 45^\circ$ Laminat gemäß ISO 14129.



Material: UD CFK



Hochauflösende berührungslose Dehnungsmessung mit videoXtens als Alternative zur berührenden Messung mit makroXtens für die Zugprüfung von imprägnierten Fasersträngen.



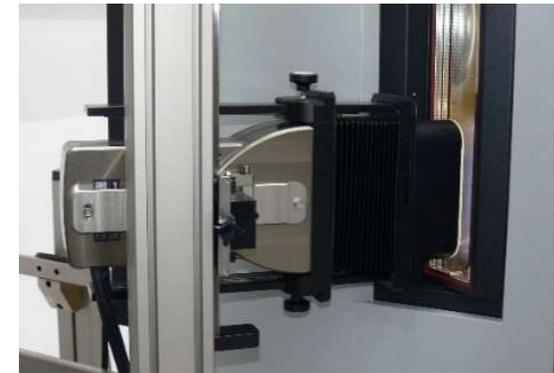
Durch Beachtung vieler Details bei der Konstruktion unserer Temperierkammern ermöglichen ZwickRoell videoXtens-Messsysteme eine unübertroffene Messgenauigkeit auch bei Temperaturversuchen.

Einflüsse auf die Messgenauigkeit:

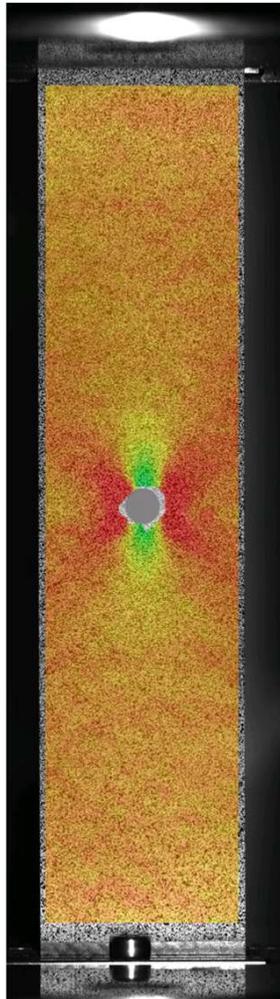
- Konvektion
- Vibrationen des Ventilators
- Glasmodul für videoXtens
- Auflösung der Kamera

ZwickRoell Temperierkammern

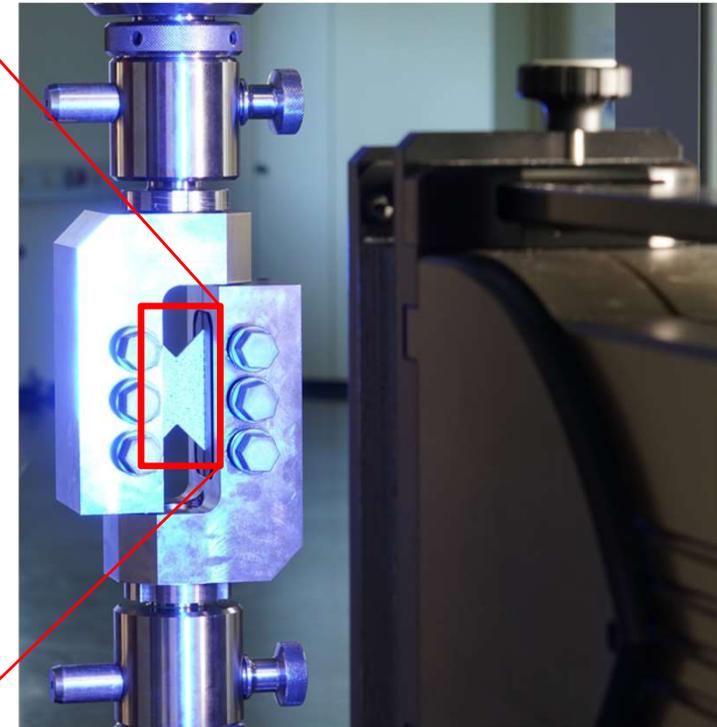
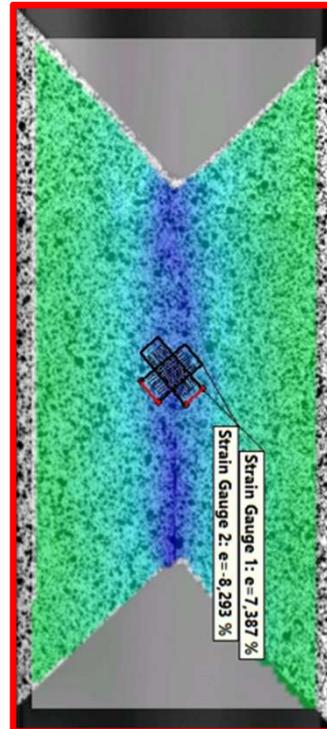
- Geschlossene Tunnel-Verbindung zur Kammer (Bild rechts oben)
- Ventilator-Konzept für optimale Luftströmung in der Kammer
- Reduzierte Ventilator-Schwingung
- Optimiertes Glasmodul
- Optimierte Beleuchtung
- Optimierte Kameraeinstellungen
- Minimale Temperaturschwankung
- Luftkanal für vertikalen Luftstrom an der Innenseite des Sichtfensters (Bild rechts unten)



Mit der 2D-DIC Software Option erweitert sich das Anwendungsspektrum der ZwickRoell videoXtens-Messsysteme.



◀ Axiales Dehnungsfeld im Open-Hole-Tension (OHT) Test nach ASTM D 5766



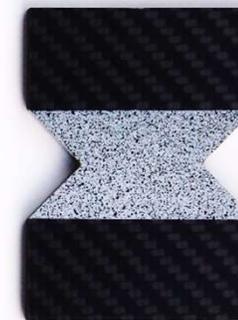
▲ Schub-Dehnungsfeld und Anwendung virtueller DMS im V-Notched Rail Shear Test nach ASTM D 7078

2D-DIC eignet sich für Composite Versuche mit ebenen Messflächen bei denen es im Versuch zu keinen signifikanten Out-of-Plane Bewegungen und Verformungen kommt.

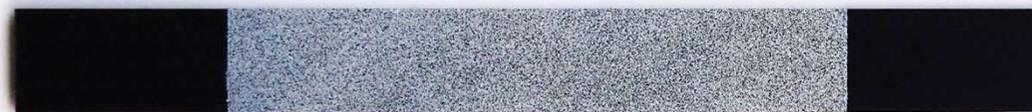
Zugversuch nach ASTM D3039 oder ISO 527-4,-5



V-Notched Rail Shear Versuch nach ASTM D7078



Zug-Scherversuch nach ASTM D3518 oder ISO 14129



Open-Hole Tension (OHT) Versuch nach ASTM D5766

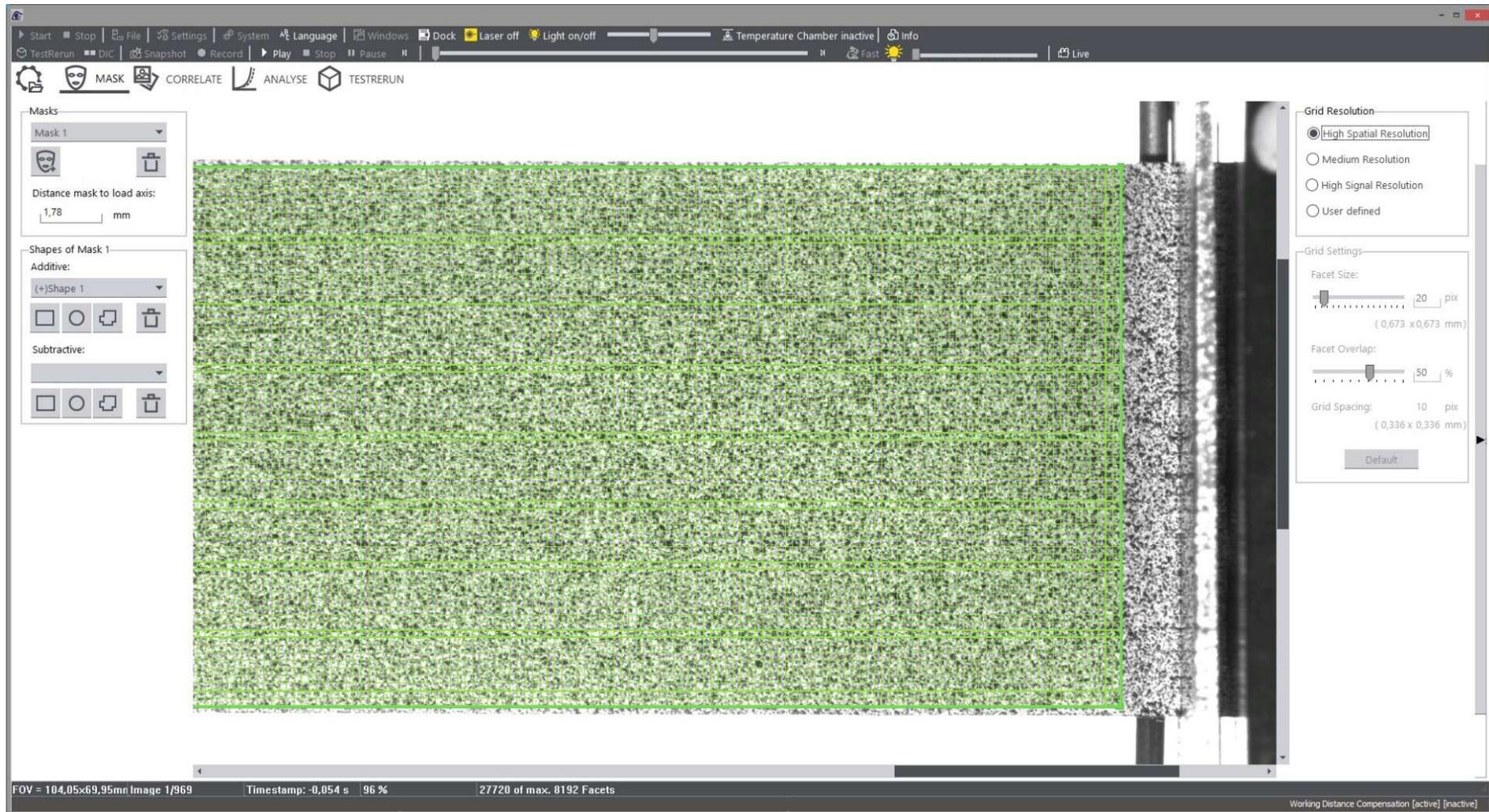


Iosipescu Schubversuch nach ASTM D5379

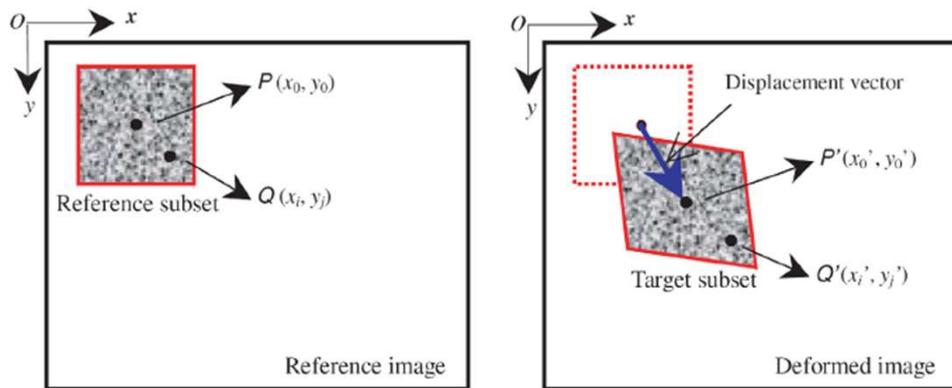


2D-DIC: Maske und Facettengröße

Drei vordefinierte Einstellungen für Größe und Überlappung des Facettenfeldes stehen zur Verfügung. Eine individuelle Einstellung der Parameter ist ebenfalls möglich.



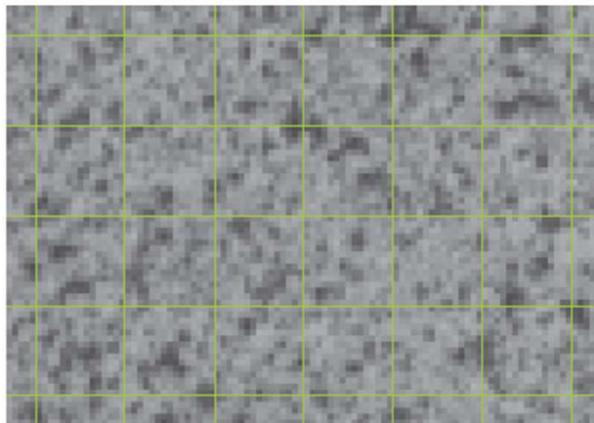
Ein zufälliges Schwarz-Weiß-Muster wird auf die Probenoberfläche aufgebracht, wenn die natürliche Oberfläche keine ausreichende Grauwertverteilung für die DIC Berechnung bietet.



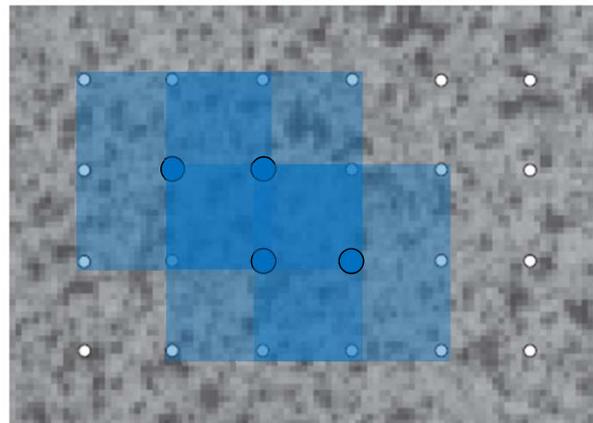
Links: Facette im unverformten Ausgangszustand

Rechts: Facette im verformten Zustand

[Pan et al. *Measurement Science and Technology* 2009]



Facettengröße: 15x15 Pixel,
keine Überlappung

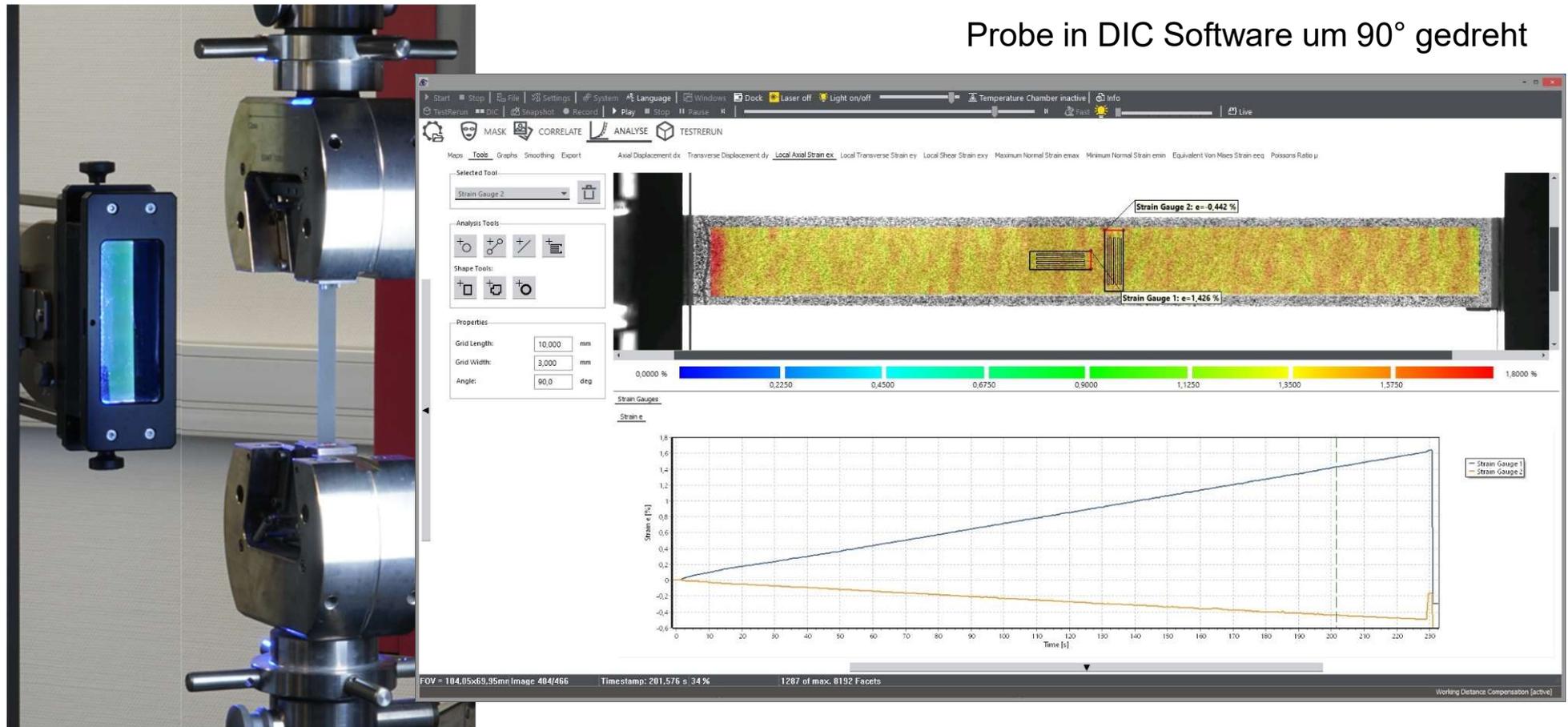


Entsprechendes Verschiebungsfeld

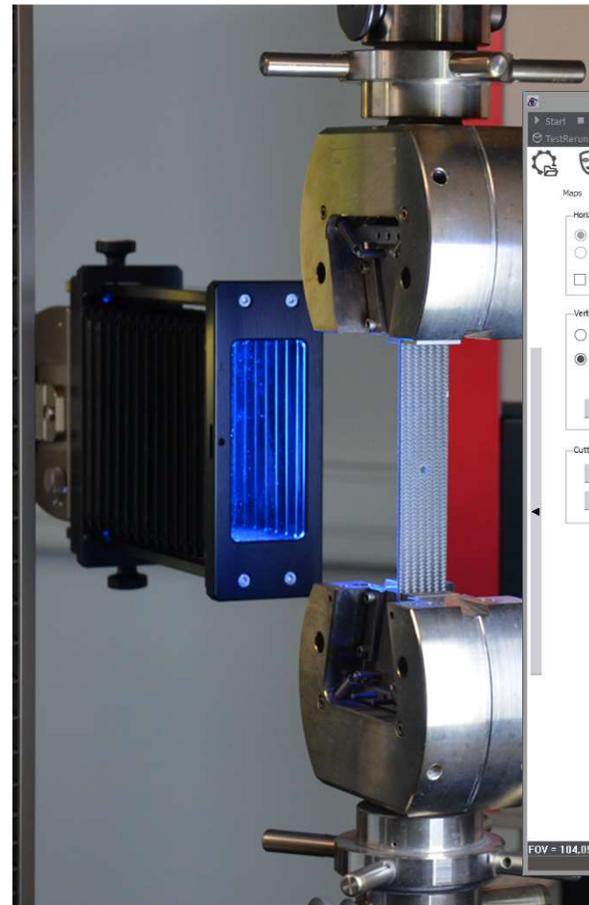
Ein Datenpunkt im Dehnungsfeld berechnet sich aus 3x3 Punkten im Verschiebungsfeld

Zugversuch nach ASTM D3039 oder ISO 527-5 mit UD0° CFK-Probe.
Axiales Dehnungsfeld und Bestimmung der Längs- und Querdehnung
mit virtuellen Dehnmessstreifen.

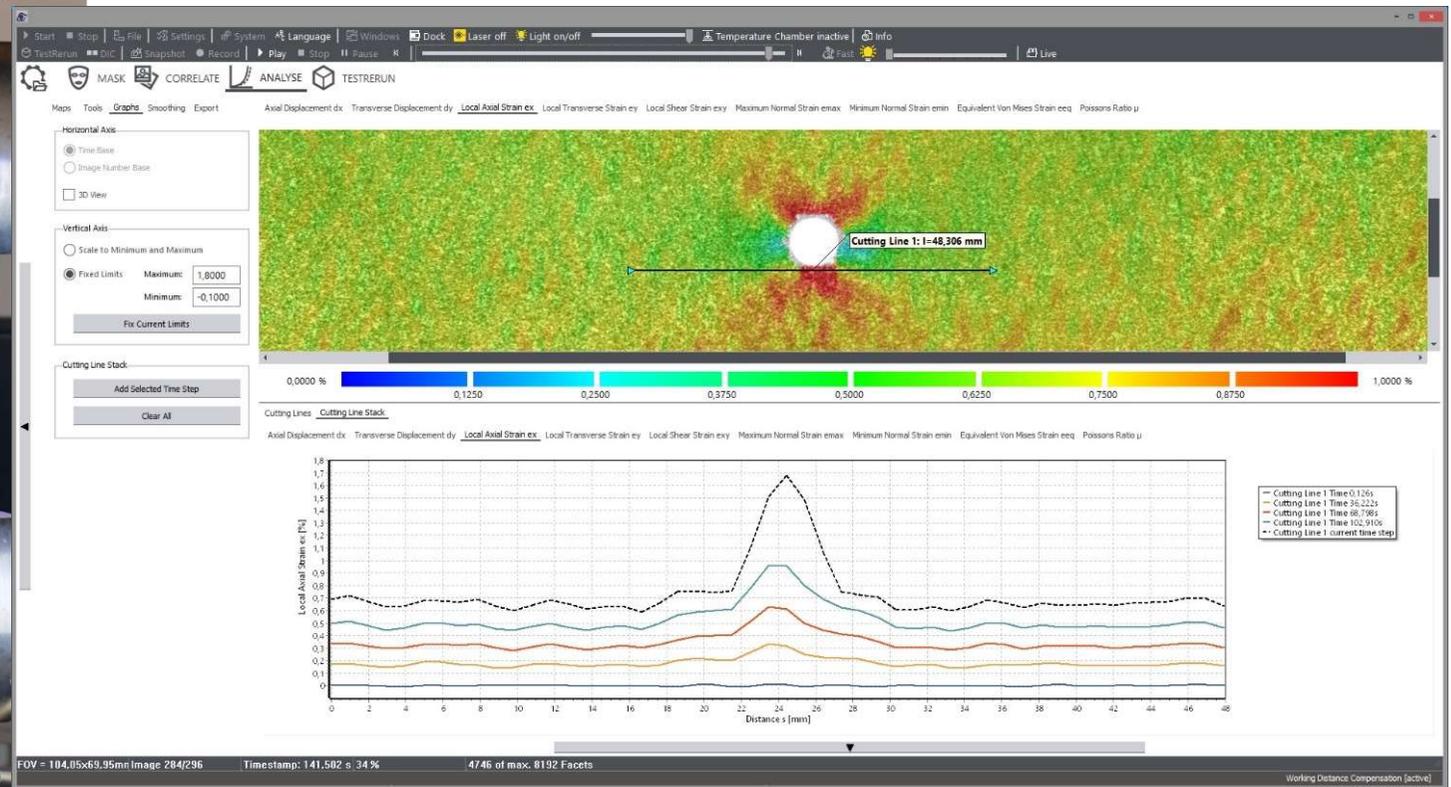
Probe in DIC Software um 90° gedreht



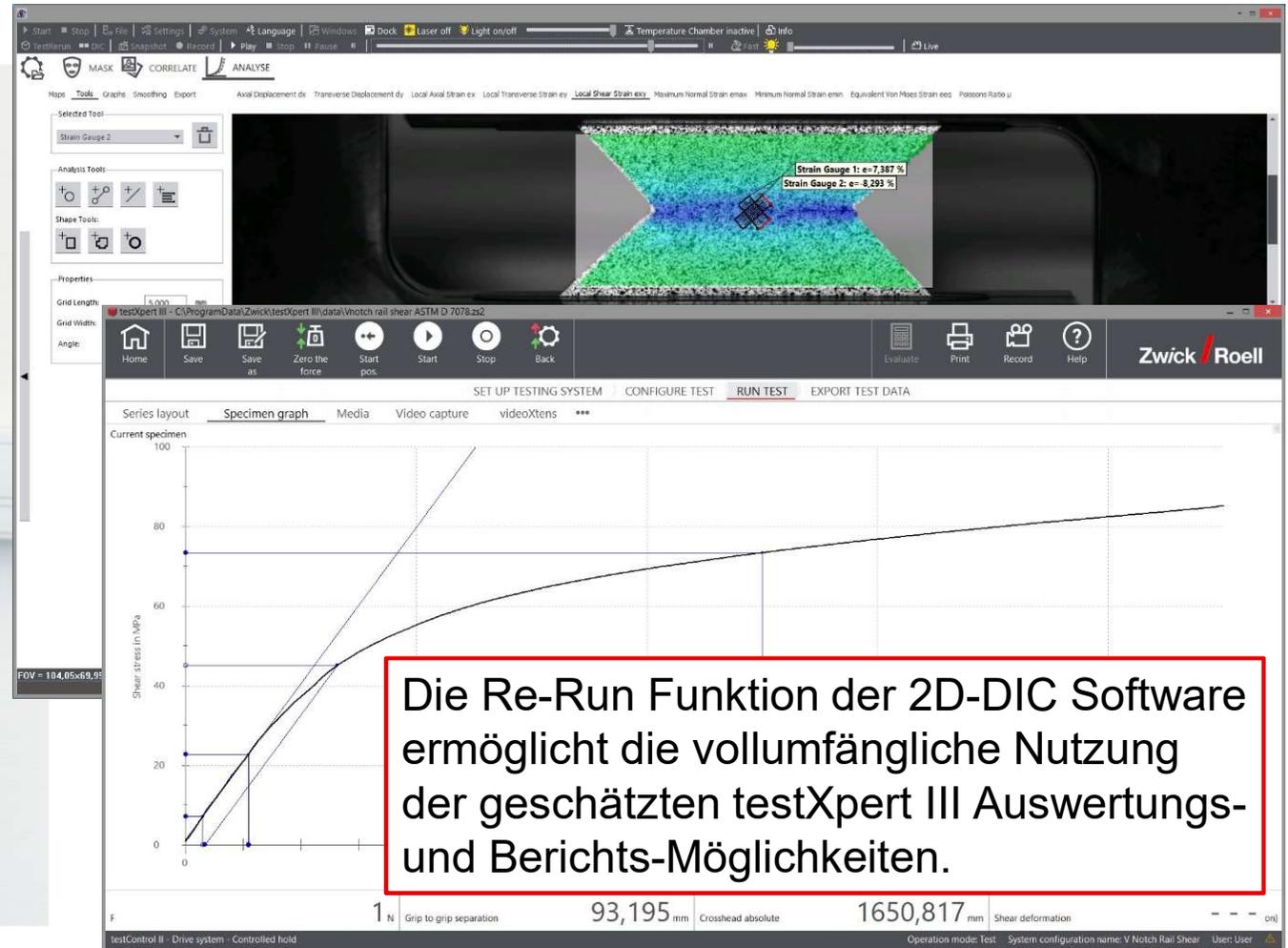
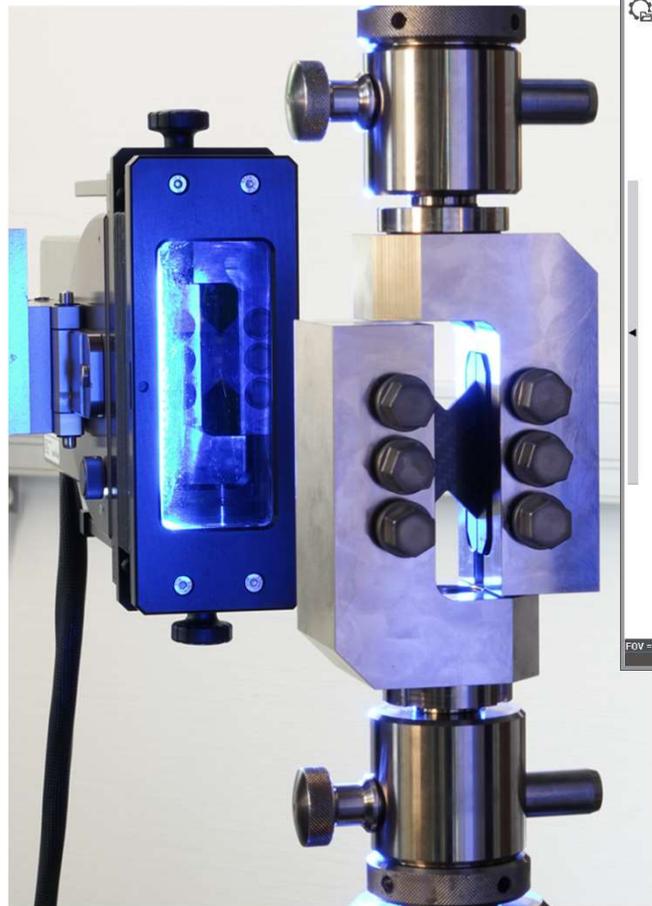
Open-Hole-Tension Test nach ASTM D5766 mit multidirektionalem CFK-Gewebe-Laminat. Axiales Dehnungsfeld und Auswertung der Dehnungsverteilung am Loch mit Schnittlinien-Stapel-Diagramm.



Probe in DIC Software um 90° gedreht



V-Notched Rail Shear Test nach ASTM D7078 mit CFK-Gewebe-Probe.
Biaxiale Dehnungsmessung mit virtuellem DMS und Berechnung der Schubspannungs-Dehnungs-Kurve in testXpert III über Re-Run Funktion.



2D-DIC ist eine Alternative zur Verwendung von klassisch applizierten Dehnmessstreifen für Schubversuche mit V-Kerben-Proben.

Iosipescu and V-Notched Rail Shear Test mit applizierten DMS

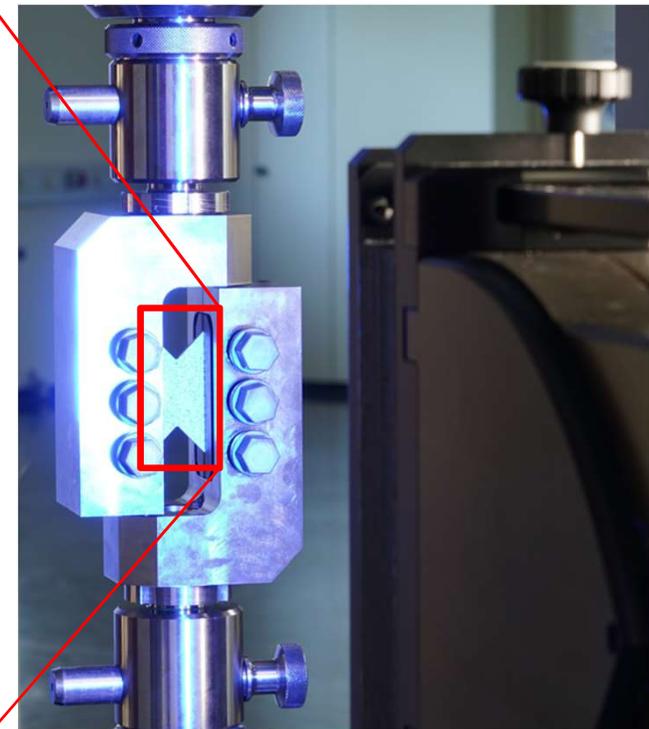
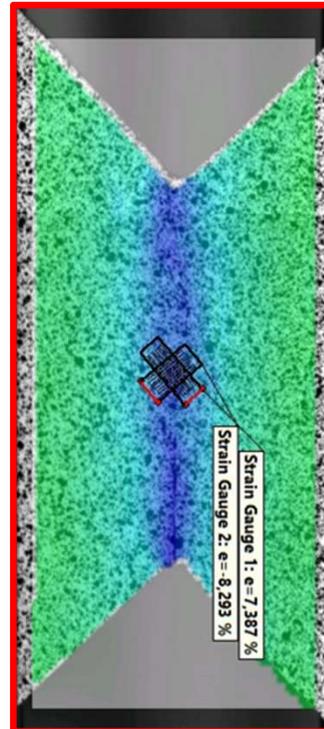


ASTM D5379



ASTM D7078

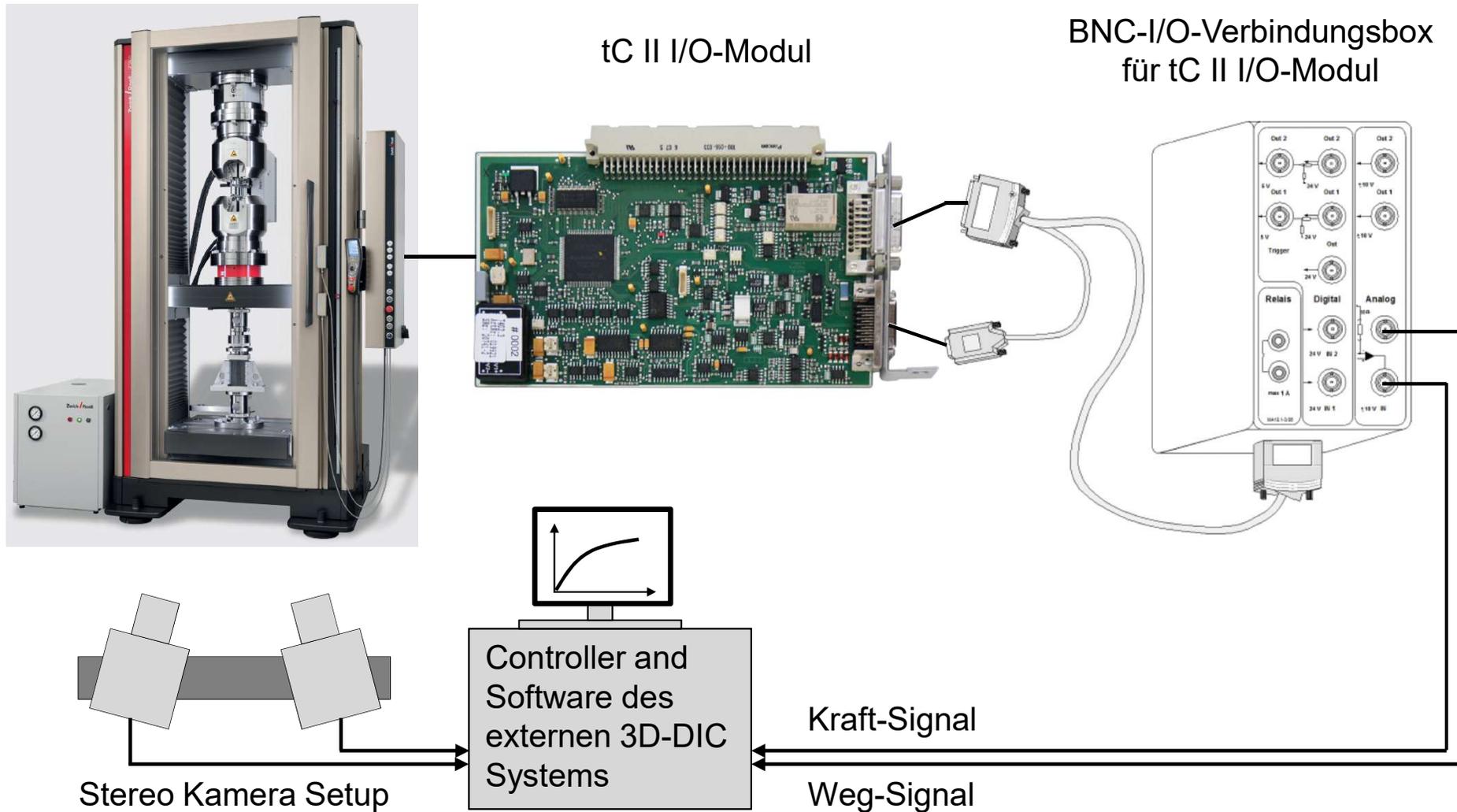
Iosipescu Schubversuch V-Notched Rail Shear Test



Schub-Dehnungsfeld und Anwendung virtueller DMS im V-Notched Rail Shear Test nach ASTM D 7078

Anschluss eines externen 3D-DIC Systems

Mit der BNC-I/O-Verbindungsbox ist die Anbindung eines externen 3D-DIC-Systems an eine ZwickRoell Prüfmaschine einfach und unkompliziert.





Questions and Answers