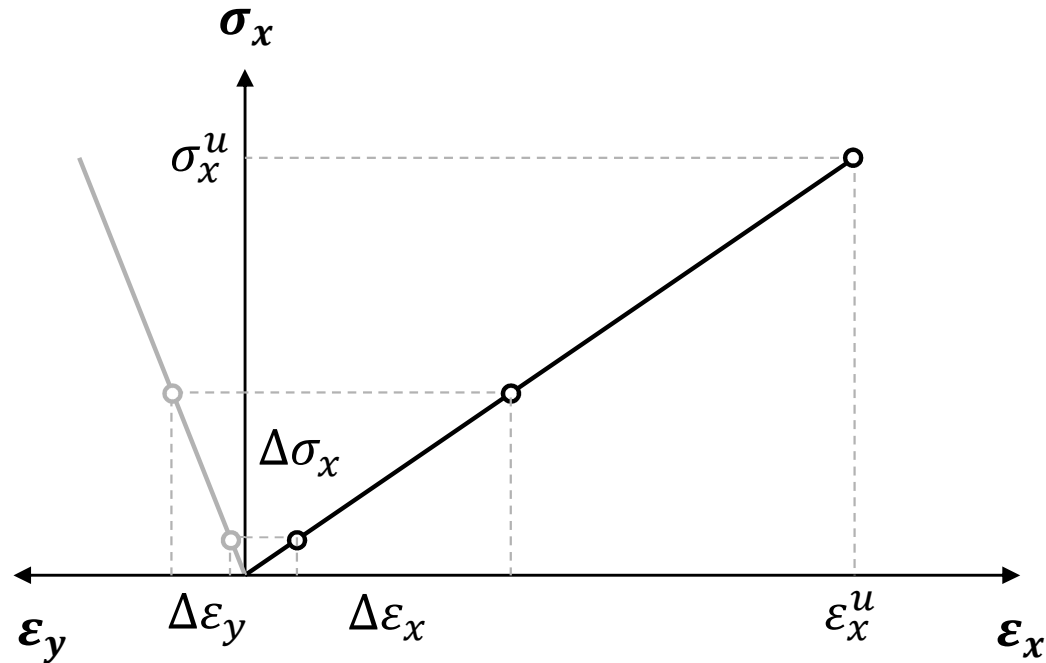
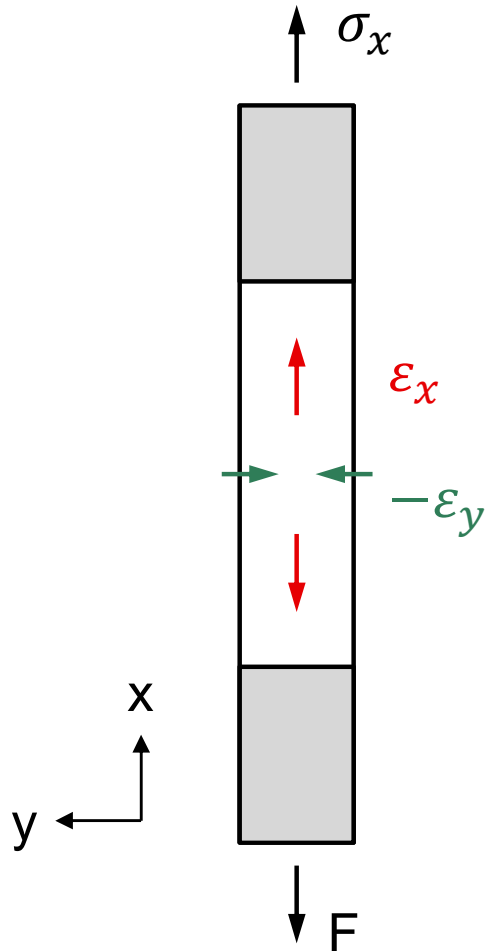


**Möglichkeiten der Längen- und
Breitenänderungsmessung für
Faserverbundwerkstoffe**

**Dr. Hannes Körber
Branchenmanager Composites**

**28. testXpo
15. Oktober 2019**

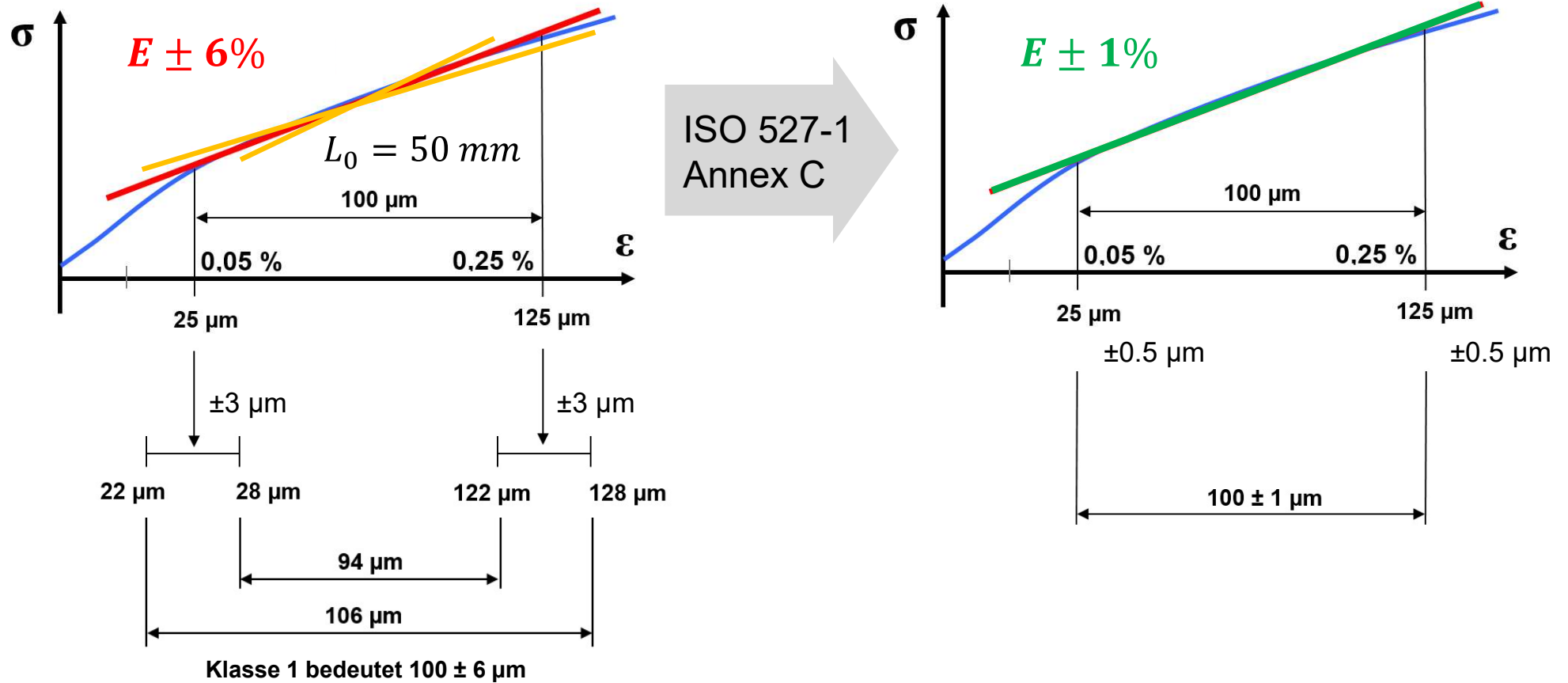
Genauere Längen- und Breitenänderungsmessung ist Voraussetzung für die exakte Bestimmung elastischer Kennwerte.



$$E_x = \frac{\Delta\sigma_x}{\Delta\epsilon_x}$$

$$\nu = -\frac{\Delta\epsilon_y}{\Delta\epsilon_x}$$

ISO 527-1 erfordert ein Extensometer mit Klasse 1 für die allgemeine Dehnungsmessung. Der E-Modul kann mit diesem Kriterium allein aber nicht sicher bestimmt werden.

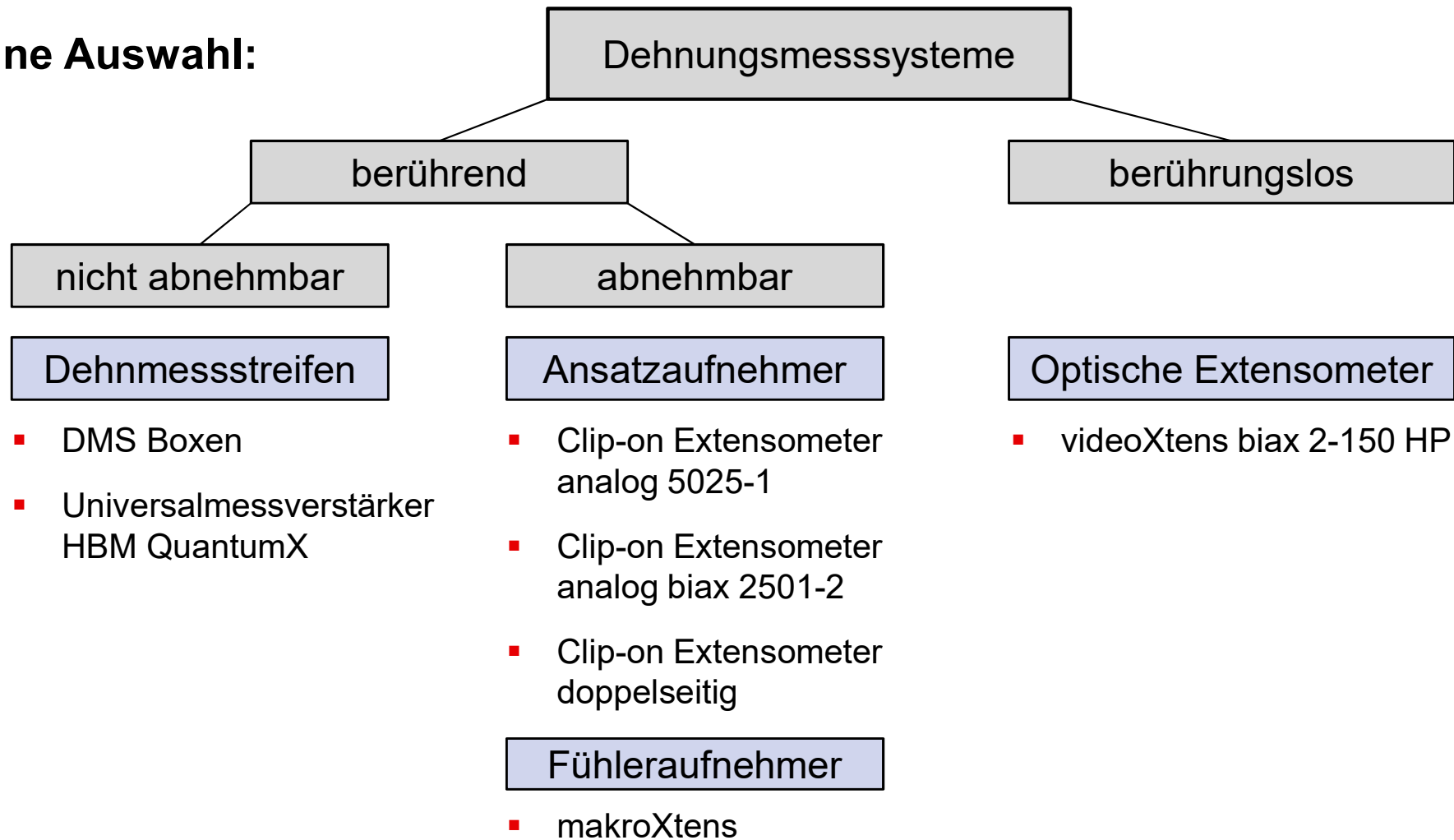


Für Composites muss eine Vielzahl von Kennwerte ermittelt werden mit unterschiedlichen Anforderungen an die Dehnungsmessung.

Versuch	Ermittelte Kennwerte	Normen	Erforderliche Dehnungsmessung
0° Zug	E_{1t} E-Modul in 0°-Richtung (Zug)	ISO 527-1,-4,-5	axial
	ν_{12} Haupt-Poissonzahl	ASTM D3039	biaxial
	X_t Zugfestigkeit in 0°-Richtung		-
	ε_{1t}^u Versagensdehnung in 0°-Richtung (Zug)		axial
90° Zug	E_{2t} E-Modul in 90°-Richtung (Zug)	ISO 527-1,-4,-5	axial
	Y_t Zugfestigkeit in 90°-Richtung	ASTM D3039	-
	ε_{2t}^u Versagensdehnung in 90°-Richtung (Zug)		axial
0° Druck	E_{1c} E-Modul in 0°-Richtung (Druck)	ISO 14126	axial (doppelseitig)
	X_c Druckfestigkeit in 0°-Richtung	ASTM D3410	
	ε_{1c}^u Versagensdehnung in 0°-Richtung (Druck)	ASTM D6641	
90° Druck	E_{2c} E-Modul in 90°-Richtung (Druck)	ISO 14126	axial (doppelseitig)
	Y_c Druckfestigkeit in 90°-Richtung	ASTM D3410	
	ε_{2c}^u Versagensdehnung in 90°-Richtung (Druck)	ASTM D6641	
Schub (In-Plane)	G_{12} In-Plane Schub-Modul	ISO 14129	biaxial
	S_L In-Plane Schubfestigkeit	ASTM D3518, ASTM D5379, ASTM D7078	

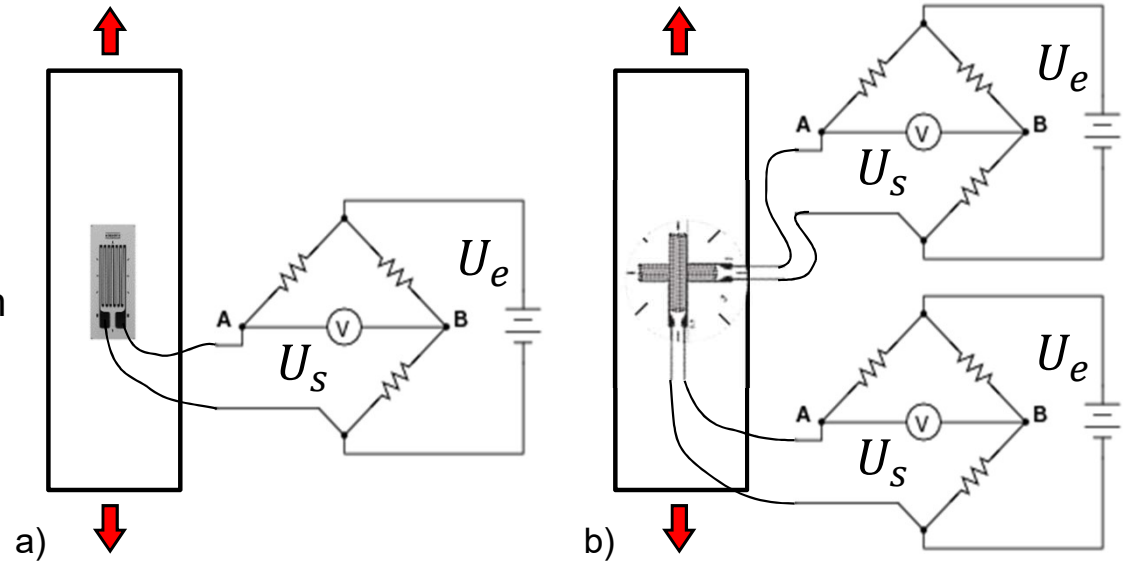
ZwickRoell bietet ein umfassendes Sortiment für die Dehnungs- und Durchbiegungsmessung zur Prüfung von Faserverbundwerkstoffen.

Eine Auswahl:

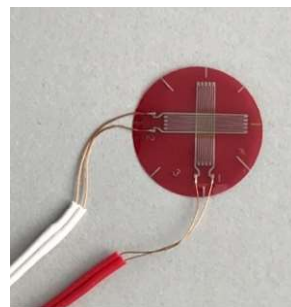


DMS sind eine etablierte und vielseitig einsetzbare Methode zur Dehnungsmessung für Composites.

- Fest verklebt mit dem Probekörper (einmalige Nutzung)
- Aufwendige Applikation durch geschultes Personal notwendig
- Einsetzbar in breitem Temperaturspektrum
- Viele verschiedene DMS-Typen verfügbar (linear, biaxial, rosette)
- Die häufigsten DMS-Typen für die mechanische Charakterisierung von Composites:



linear (1 Messgitter)



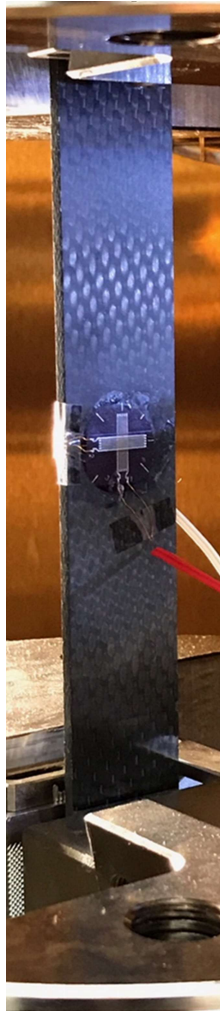
biaxial (2 Messgitter @ 90°)

Jedes DMS Messgitter ist eine "1/4 – Wheatstone'sche Brückenschaltung"
 a) linearer DMS für Längsdehnungsmessung (1 Messgitter)
 b) bi-axialer DMS für Längs- und Querdehnungsmessung (2 Messgitter)

$$\varepsilon = \frac{4}{k} \cdot \frac{U_s}{U_e}$$

ε Dehnung
 k k-Faktor
 U_s Signal-Spannung
 U_e Speise-Spannung

Für übliche Schaltungen sind vorgefertigte Vorschaltboxen verfügbar die den Anschluss vereinfachen.

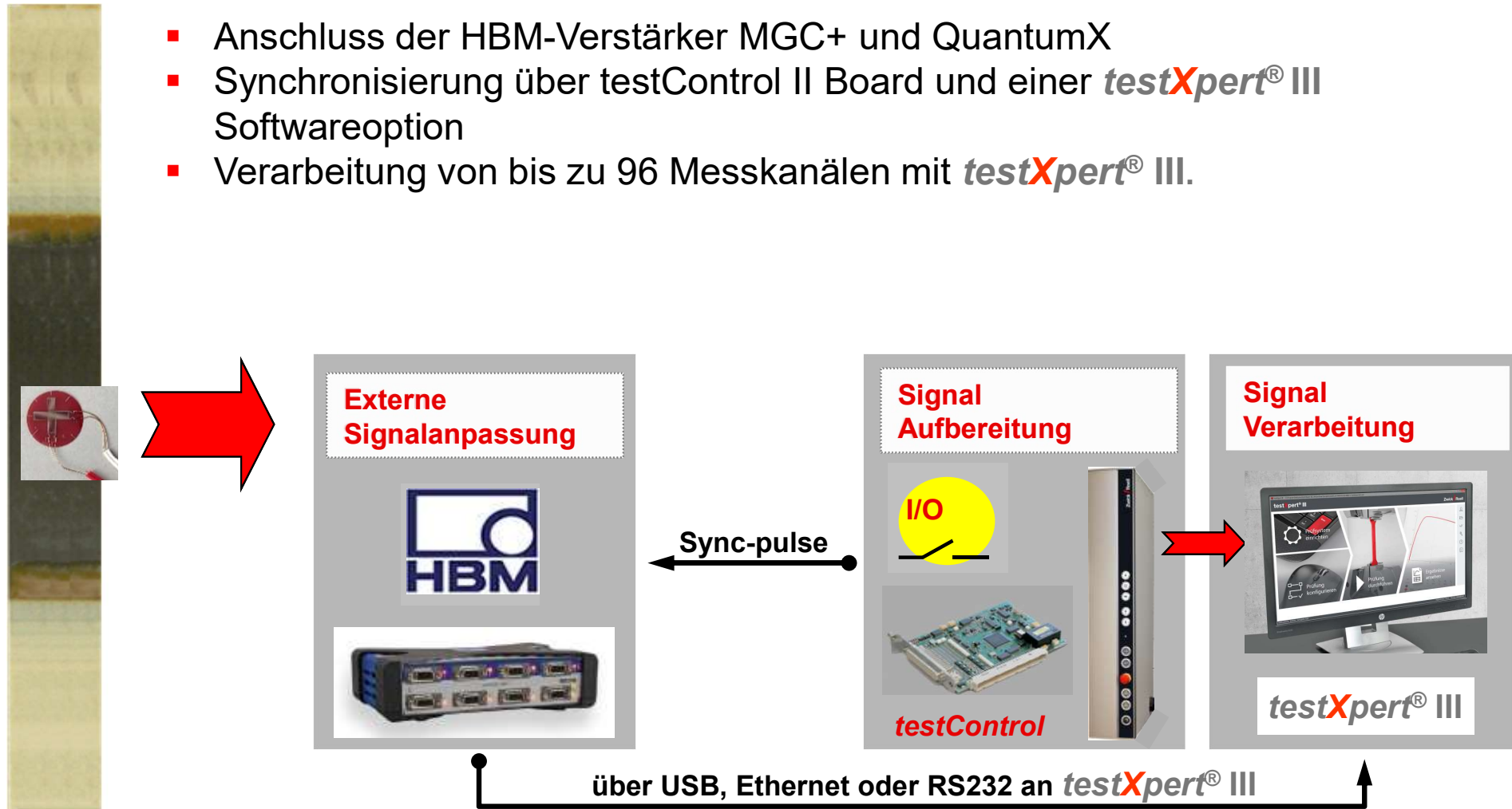


- Vorbereitet für 120 Ω und 350 Ω
- Potentiometer zum Nullabgleich
- Anschlussmöglichkeit 2 Leiter $\frac{1}{4}$ Brücke
- Anschlussmöglichkeit 3 Leiter $\frac{1}{4}$ Brücke
- Brückenschaltungen mit Speisespannungsmessung sind möglich.
- Vorbereitete Lötstützpunkte für andere Brückenwiderstände.
- Schalter zum Schutz gegen Kurzschlüsse beim Löten.
- Sensorstecker fertig beschrieben

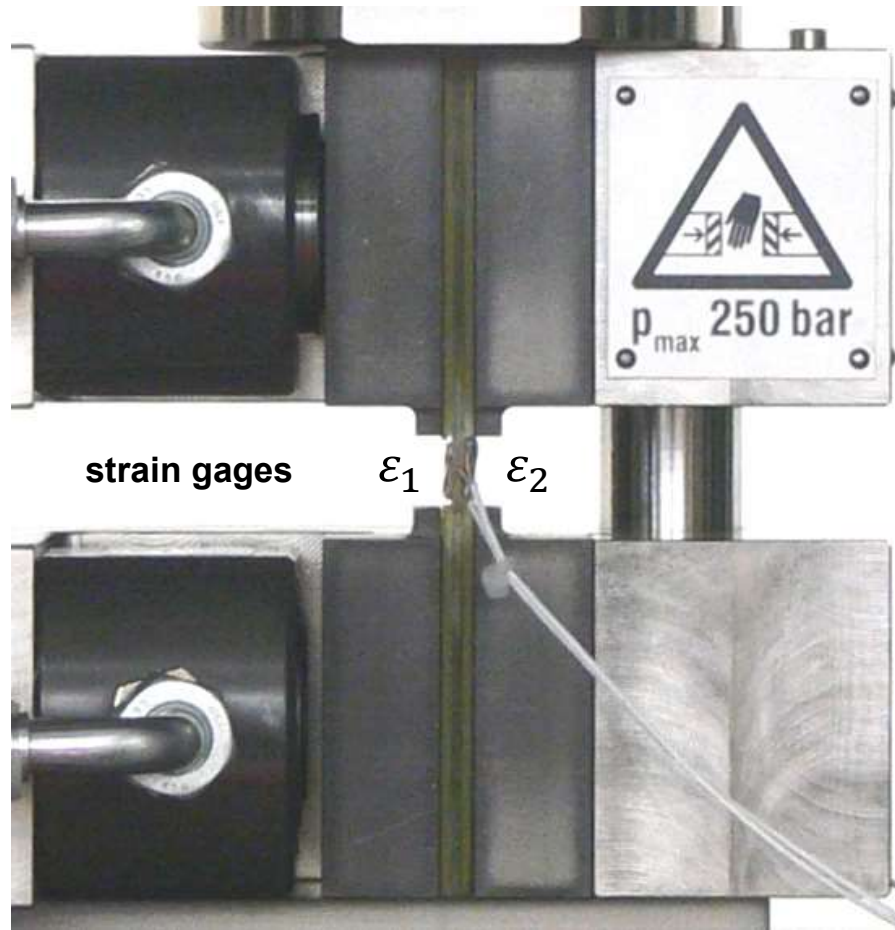


Verschiedene Messverstärker von HBM können an *testXpert*[®] III angeschlossen werden. Alle Messkanäle sind synchronisiert.

- Anschluss der HBM-Verstärker MGC+ und QuantumX
- Synchronisierung über testControl II Board und einer *testXpert*[®] III Softwareoption
- Verarbeitung von bis zu 96 Messkanälen mit *testXpert*[®] III.

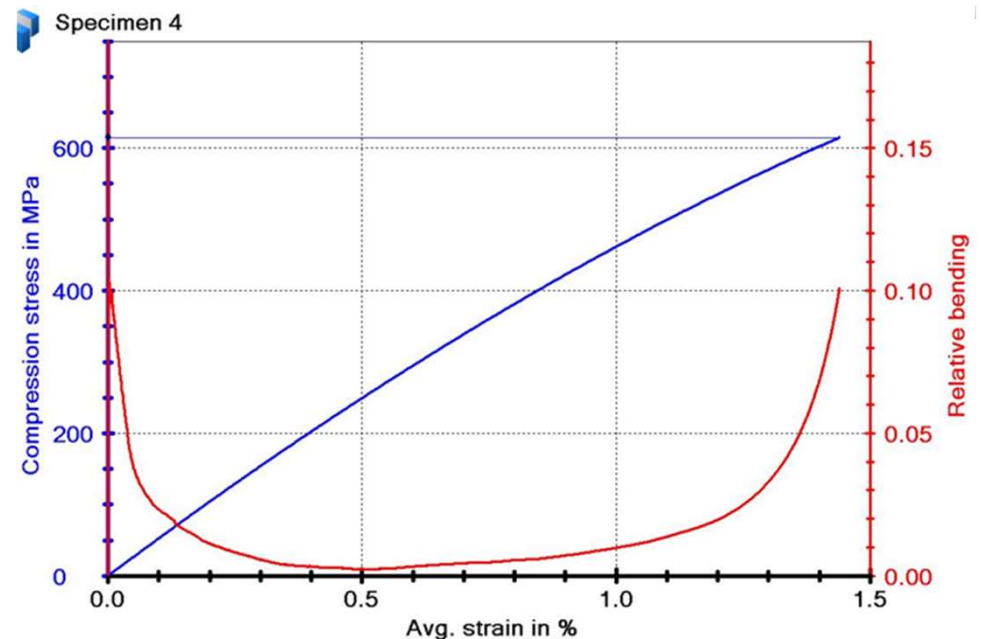


Für Druckversuche werden wegen der geringen freien Probenlänge und zur Überwachung überlagerter Biegeverformung beidseitig applizierte lineare DMS verwendet.



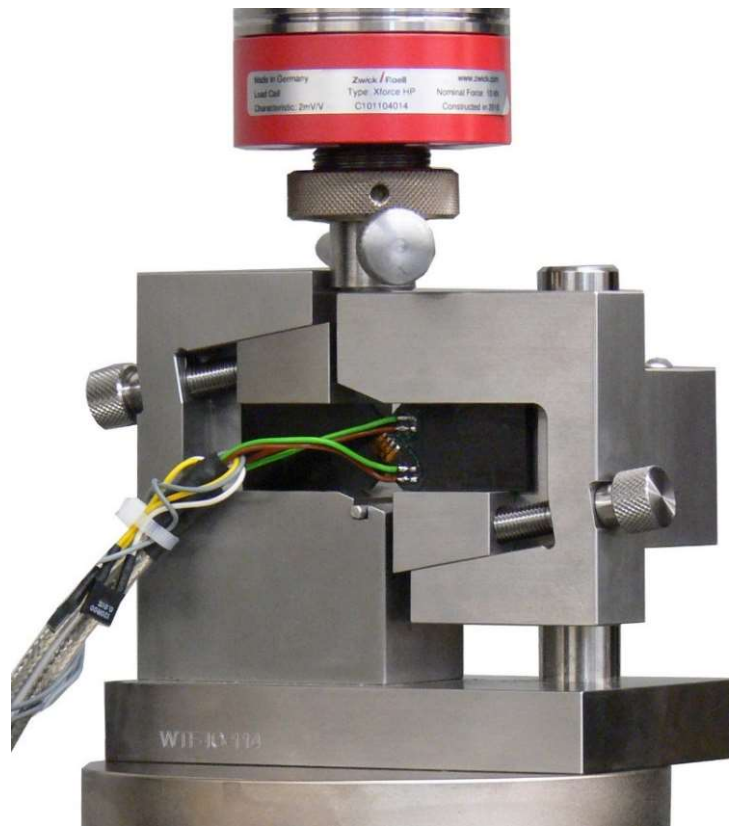
- Kriterium für überlagerte Biegung gemäß ASTM D3410 oder ASTM D6641:

$$B_y = \left| \frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{\epsilon_1 + \epsilon_2} \right| < 0.1$$



Dehnmessstreifen (DMS)

Für Schubversuche mit gekerbten Probekörpern kommen überwiegend biaxiale DMS zum Einsatz.

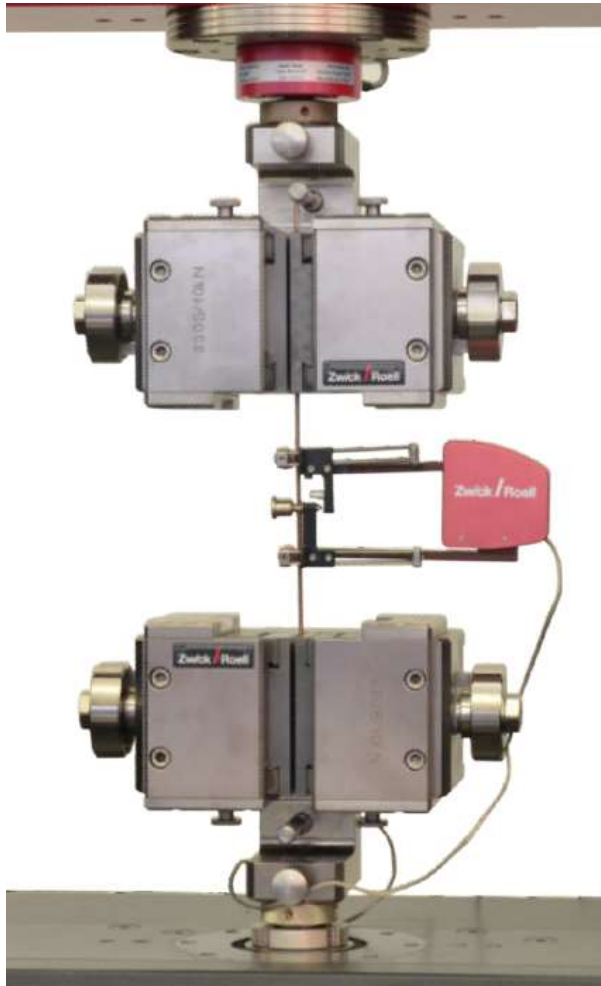


ASTM D5379: Iosipescu Schubversuch



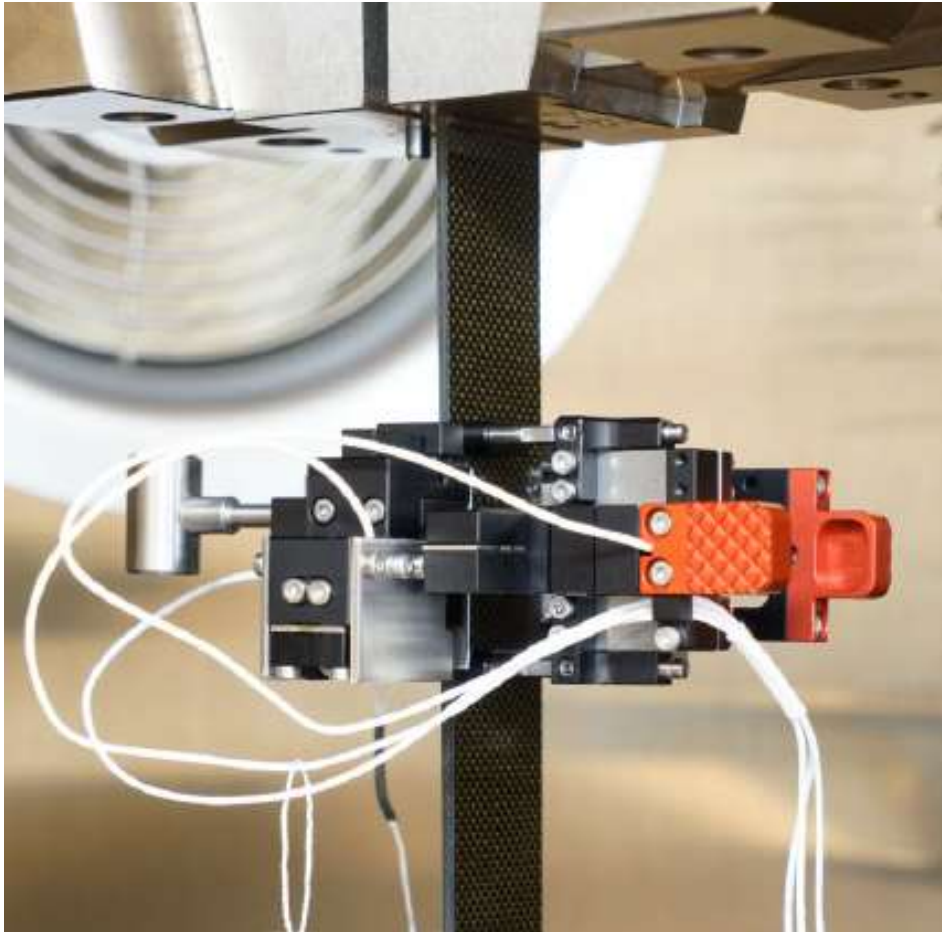
ASTM D7078: VNS Schubversuch

Der axiale Clip-on Extensometer 5025-1 ist zugeschnitten auf die Prüfung von steifen Kunststoffen und Composites nach ISO 527



- Erfüllt Anforderungen an Genauigkeit für die E-Modul Bestimmung gemäß ISO 527-1, Annex C
- Genauigkeitsklasse 0.5 nach EN ISO 9513 bis 60% des Messweges
- Anfangsmesslänge: 50 mm
- Messweg Zug: 25 mm
- Messweg Druck: 5 mm
- Geeignet für den Einsatz in Temperierkammern im Temperaturbereich -75°C bis $+200^{\circ}\text{C}$
- Sollte vor Probenbruch abgesetzt werden

Der biaxiale Clip-on Extensometer biax 2501-2 eignet sich für Prüfungen bei denen Längs- und Querdehnung gemessen wird.



- Bestimmung von E-Modul und Poisson-Zahl gemäß ISO 527
- Bestimmung des Schermoduls in Lagenebene (IPS) gemäß ISO 14129
- Anfangsmesslänge: 25 mm
- Messweg Zug: 1.2 mm
- Messweg Druck: 0.5 mm
- Geeignet für den Einsatz in Temperierkammern im Temperaturbereich -70°C bis $+175^{\circ}\text{C}$
- Absetzvorrichtung und Auffangsicherung bei Absetzen vor Probenbruch in Temperierkammer

Für die HCCF Druckvorrichtung steht ein beidseitig messender axialer Clip-on Extensometer zur Verfügung.



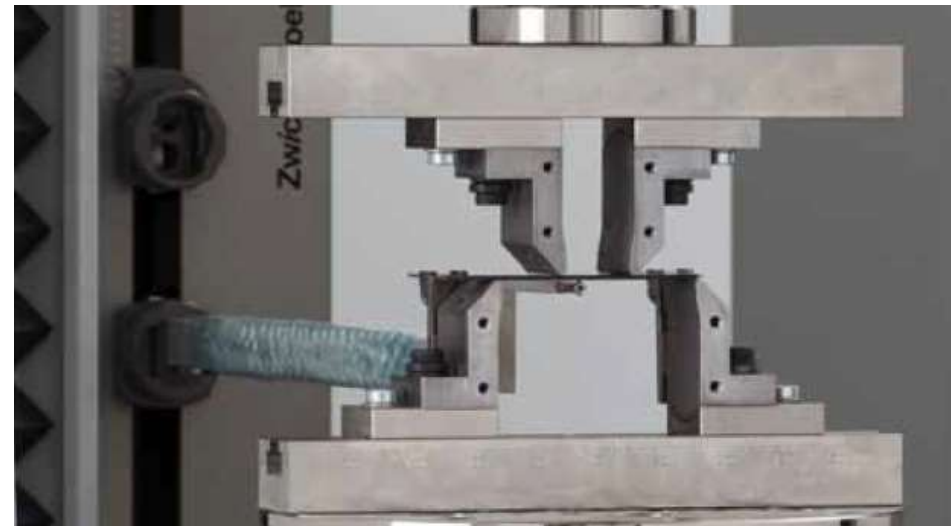
- Geeignet für Druckproben mit freier Messlänge ≥ 12.7 mm, z.B. ASTM D6641
- Erspart die zeitaufwändige beidseitige Applikation der üblicherweise verwendeten linearen DMS
- Anfangsmesslänge: 10 mm
- Messweg: 1.5 mm
- Geeignet für den Einsatz in Temperierkammern im Temperaturbereich -50°C bis $+200^{\circ}\text{C}$

Der automatische inkrementale Makro Längenänderungsaufnehmer makroXtens II für genaue E-Modul-Messungen und ausreichend Messweg für mittlere Probendehnungen.



- Anfangsmesslänge: 10 bis 205 mm
- Messweg: 75 mm bis 160 mm
- Genauigkeit: Klasse 0,5 (ISO 9513), ab 20 μm kalibriert, erfüllt ISO 527-1, Annex C
- Motorische Fühlerarme (Ansetzen-Abheben)
- Drehbare Schneiden für Bruchmessungen
- Crash Sensor für sicheren Betrieb
- Optional: motorische Messlängen-Einstellung
- Breitenänderungsaufnehmer für Poisson-Zahl (nur bei Raumtemperatur)

Für den makroXtens II sind verschiedene Messfühler für Zug- und Biegeversuche und für Versuche in der Temperierkammer verfügbar.



▲
Messfühler für Biegeversuche
in Temperierkammern
(-70°C bis +250°C)

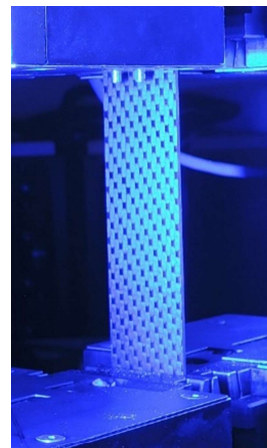
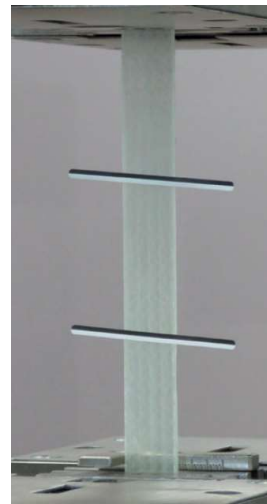
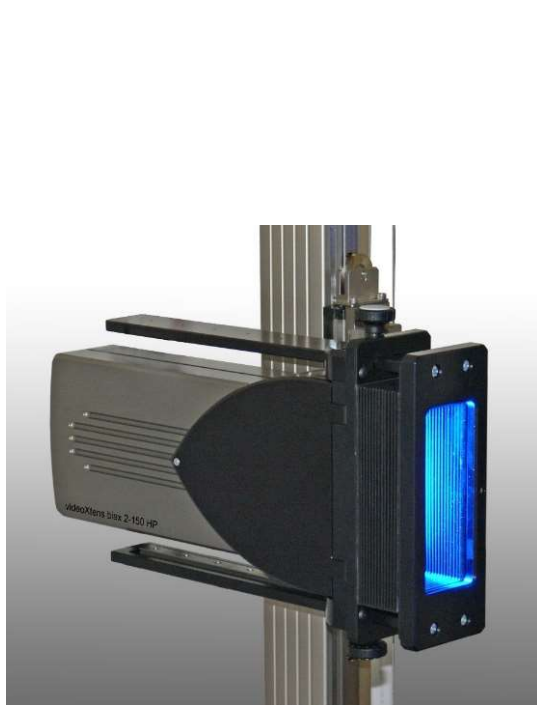
◀ Messfühler für Längenänderungsmessung
in Temperierkammern (-70°C bis +250°C)

Der videoXtens biax 2-150 HP funktioniert auch ohne Probenmarkierung und erfüllt die strengen Genauigkeitsanforderungen an die Dehnungsmessung definiert in der Prüfnorm ISO 527-1.



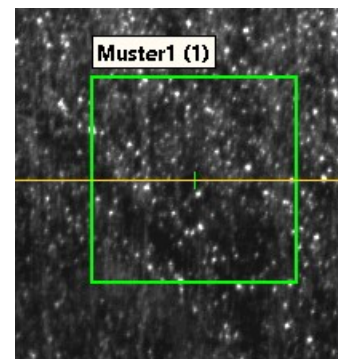
- Sichtfeld 150 mm
- 2-Kamera Array-Technologie für die Längenänderungsmessung
- Zusätzliche Kamera für die Breitenänderungsmessung
- Erfüllt die Genauigkeitsanforderungen der ISO 527-1 zur Bestimmung von Zug-Modul und misst die Querdehnung mit einzigartiger Genauigkeit zur Bestimmung der Poisson-Zahl - bei Raumtemperatur und in ZwickRoell Temperierkammern
- Biaxiales Dehnungsmesssystem für
 - Zug-, Schub- (IPS) und Biegeversuche
 - Gesamten Temperaturbereich der Temperierkammer
 - Messungen bis Probenbruch

Der videoXtens biax 2-150 HP funktioniert auch ohne Probenmarkierung und erfüllt die strengen Genauigkeitsanforderungen an die Dehnungsmessung definiert in der Prüfnorm ISO 527-1.

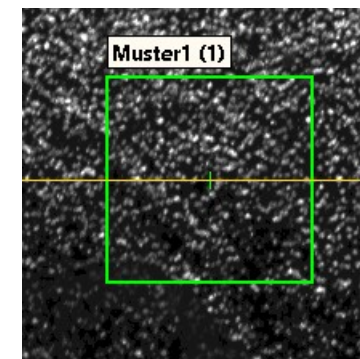


- Längsdehnungsmessung über Klebmarken oder markierungsfrei durch Mustererkennung
- Querdehnungsmessung über Klebmarken, Probenkantenerkennung oder markierungsfrei durch Mustererkennung
- Kontrastreiche Mustererkennung durch Blaulicht

Weißlicht

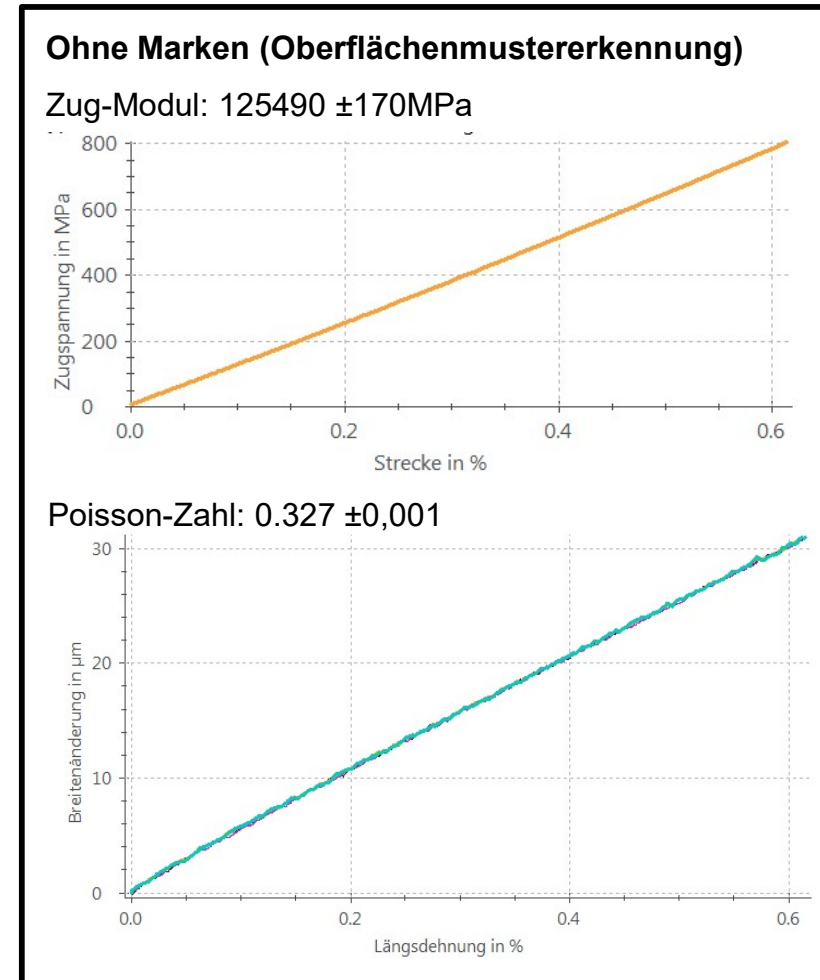
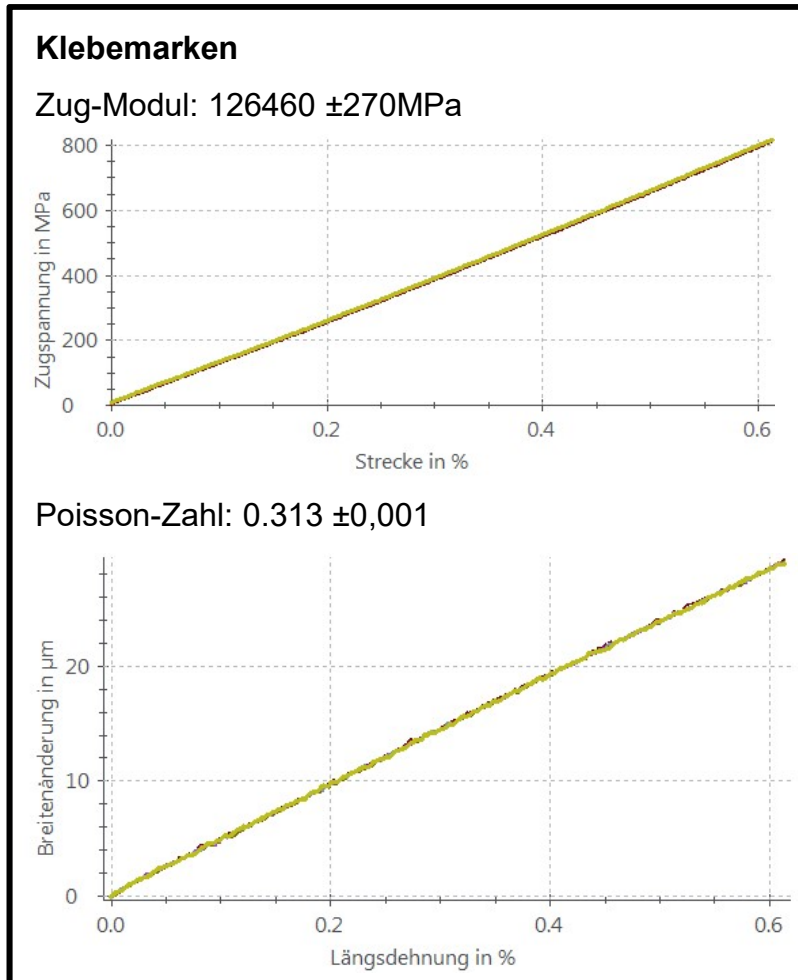


Blaulicht

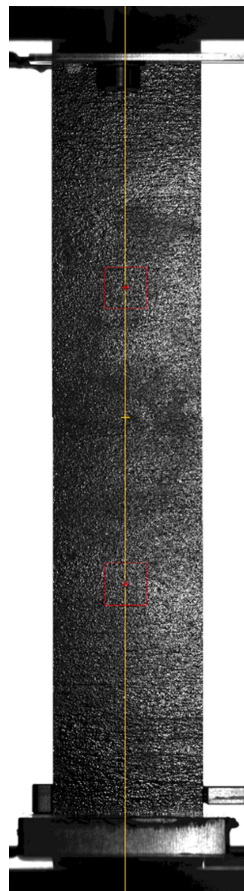


Wahlweise kann für lichtundurchlässige Proben die markierungslose Messung oder die etablierte Messung mit Marken verwendet werden.

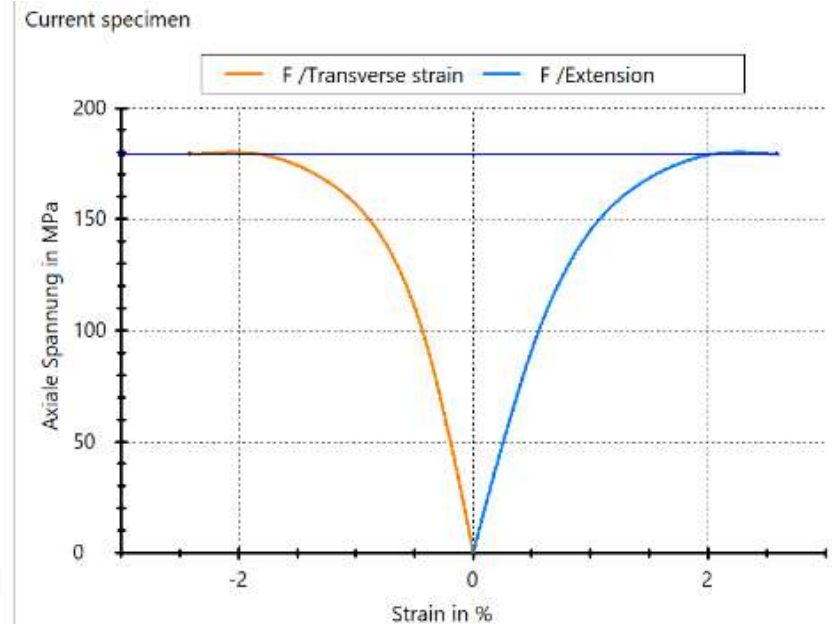
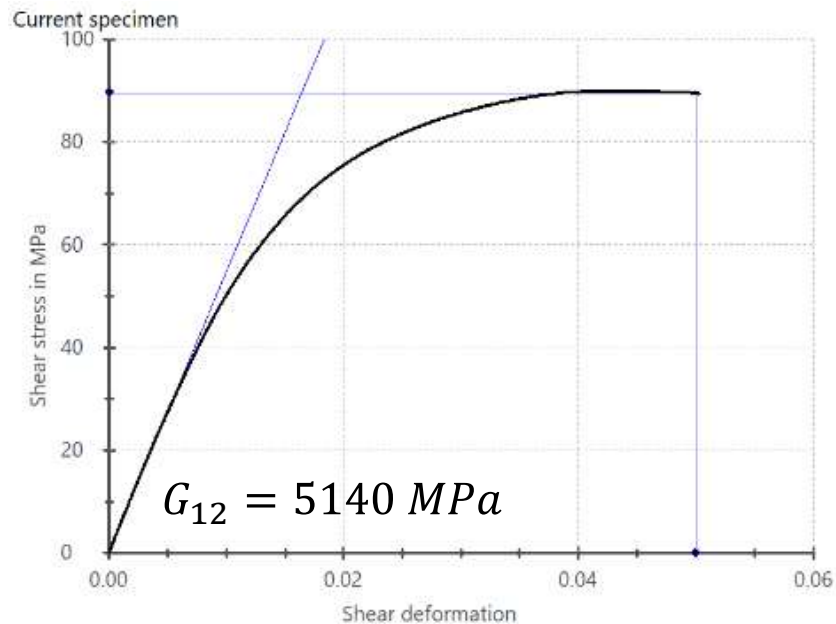
UD
CFK



Beispiel für markierungslose biaxiale Dehnungsmessung im In-Plane Schubversuch mit $\pm 45^\circ$ Laminat nach ISO 14129.



Material: UD CFK



Bei der Auswahl eines geeigneten Dehnungsmesssystems muss die Notwendigkeit der biaxialen Dehnungsmessung und die Eignung für Temperaturversuche beachtet werden.

Dehnungsmesssystem	Raumtemperatur		Temperierkammer	
	$\epsilon_{l\ddot{a}ngs}$	ϵ_{quer}	$\epsilon_{l\ddot{a}ngs}$	ϵ_{quer}
DMS (Vorschaltboxen oder QuantumX)	x	x	x	x
Clip-on Extensometer 5025-1	x	-	x	-
Clip-on Extensometer biax 2501-1	x	x	x	x
makroXtens II	x	x	x	-
videoXtens biax 2-150 HP	x	x	x	x

ZwickRoell bietet ein umfassendes Sortiment für die Dehnungs- und Durchbiegungsmessung zur Prüfung von Faserverbundwerkstoffen.

