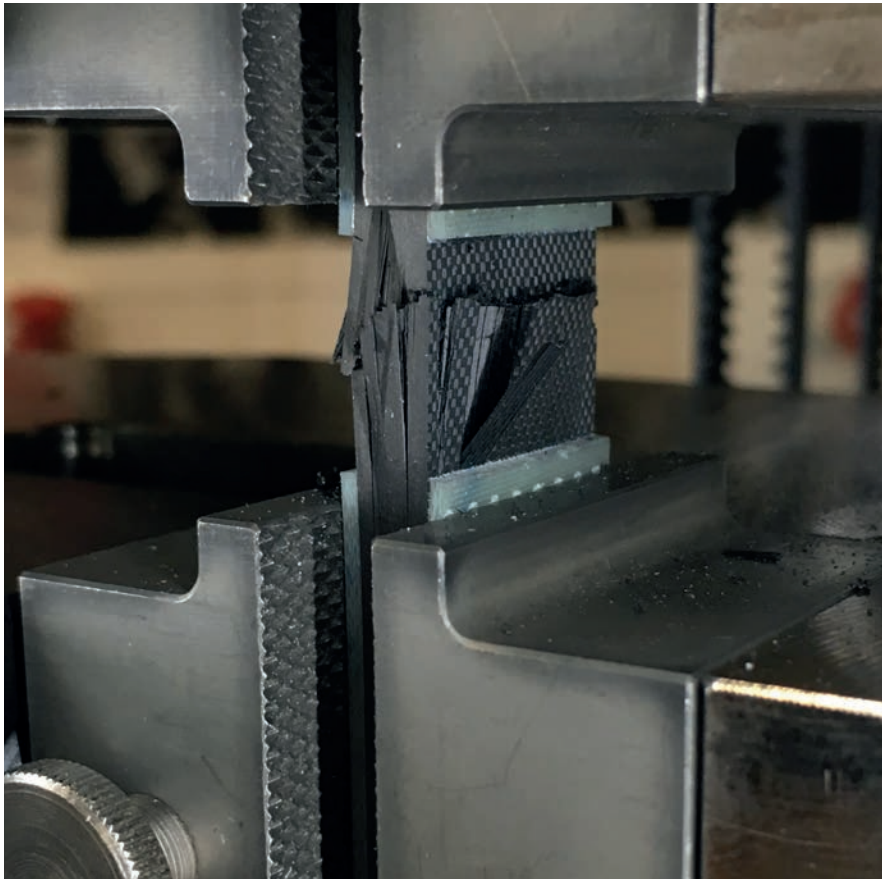


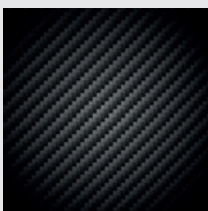
## Prüfmaschinen und Prüfsysteme für Composites





## ZwickRoell Unternehmensgruppe

Inhalt	Seite
ZwickRoell Gruppe	3
Ihr Partner für die Composites Prüfung	4



## Prüfanwendungen Faserverbundwerkstoffe

Anwendung	Varianten	Seite
Übersicht Prüfanwendungen		5
Zugversuche	Zug, OHT, FHT,	6
Druckversuche	Druck, OHC, FHC	8
Druckfestigkeit nach Schlagprüfung	CAI	10
Schubversuche	IPS, V-Notched Shear, Rail-Shear, Lap-Shear, ILSS	11
Biegeversuche	3-Punkt, 4-Punkt	15
Energiefreisetzungsrate	$G_{Ic}$ , $G_{IIc}$ , Mixed Mode	16
Bolzentragsfähigkeit	Einfacher Scher-Zug, doppelter Scher-Zug	17



## Produkte und Dienstleistungen für die Composites Prüfung

Produkte	Ausführungen	Seite
Elektromechanische Prüfmaschinen	Tisch- und Standmodelle	18
Großlastmaschinen	Nennlasten zwischen 300 kN und 1200 kN	20
Temperierkammern		21
Modulares Prüfsystem für Composites	Temperaturbereich von -70 °C bis +250 °C	22
Ermüdungsprüfmaschinen	Servohydraulisch und elektrodynamisch	24
Automatisierung	Roboter-Prüfsysteme für Composites Anwendungen	25
Prüfgeräte	Fallwerke	26
Kraftaufnehmer		27
Prüfsoftware	testXpert III	28
Extensometer	Berührende und berührungslose Messsysteme	30
Exakte Ausrichtung der Prüfmaschine	Alignment	33
Dienstleistungen von ZwickRoell		34



## Normenübersicht

Normen	Seite
Kalibrierung, Konditionierung, Herstellung Probekörper	37
Langfaserverstärkte Verbundwerkstoffe	37
Schicht-, Kern- und Wabenverbundwerkstoffe	38

## ZwickRoell – Mit Leidenschaft und Kompetenz

„Leidenschaftliche Kundenorientierung!“ lautet die Antwort, wenn Sie nach unserer Firmenphilosophie fragen. Dass das nicht nur Worthülsen sind, sehen Sie daran, dass über ein Drittel unserer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter im Service tätig ist.

Als familiengeführtes Unternehmen, das auf eine 150-jährige Tradition zurückblickt, legen wir großen Wert auf Ehrlichkeit und Fairness. So entstand über die Jahre hinweg eine vertrauensvolle und enge Zusammenarbeit zwischen unseren Kunden, Partnern, Lieferanten und Mitarbeitern, die wir alle sehr zu schätzen wissen.



Kunstwerk „Global Loops“ am ZwickRoell Stammhaus in Ulm

## Die Grundlage für eine erfolgreiche Partnerschaft: Innovative Mitarbeiter, innovative Produkte!



### Immer für Sie da

Allein über 1100 Mitarbeiter arbeiten an unserem Stammsitz in Ulm. Viele von ihnen bereits seit Jahren oder gar Jahrzehnten. Ihr Wissen, Können und ihre Einsatzbereitschaft machen den Erfolg der Zwick Roell Gruppe weltweit aus.

Weltweit sind wir in mehr als 50 Ländern persönlich für unsere Kunden da.

### Die passenden Lösungen

Sowohl für die statische Materialprüfung als auch für die verschiedenen Arten der Ermüdungsprüfung bieten wir die passenden Lösungen an. Wir bieten Produkte für die Härteprüfung ebenso wie Geräte für die Schlagprüfung und Schmelzindexbestimmung.

Und sollte es doch einmal nicht passen, dann finden unsere Experten die passende Lösung. Dies reicht von der Kleinstanpassung bis hin zum komplett automatisierten Prüfsystem oder zum Prüfstand für spezielle Aufgaben.

## ZwickRoell – Ihr Partner für die Composites Prüfung

### Prüflösungen mit System

Erfahrung und Engagement für die Sache haben bei ZwickRoell in den letzten Jahren das weltweit umfassendste Prüfsystem für die Composites Prüfung entstehen lassen. Trotz der Komplexität des Themas ist es gelungen, durch einen modularen Aufbau der Prüfmittel, eine einfache Bedienung und gute Umbaumöglichkeiten zwischen den Versuchsarten zu erreichen. So erzielen Sie zuverlässige und perfekt genaue Messungen, denen Sie vertrauen können.

Ein weiterer Effekt dieser Modularität: Die Prüfmaschinen können auch nach Jahren noch problemlos für neue Versuchsarten nachgerüstet werden.

### Fachleute & Normen

Mit rund 100 Mitarbeitern in den Entwicklungsabteilungen werden bei ZwickRoell Prüfmaschinen, -geräte und Softwarepakete auf dem aktuellen Stand der Normung entwickelt.

Spezialisten in unseren anwendungstechnischen Laboren testen neue Produkte und führen Prüfungen für unsere Kunden durch. So validieren sie die Eignung für die geforderten Prüfarten.

Durch die Mitarbeit in verschiedenen Normungsgremien, z. B. in den Feldern Prüfmaschinen, Luftfahrt, Kunststoffe und Faserverbundwerkstoffe ist ZwickRoell mit rund 10 Mitarbeitern auf nationaler und internationaler Ebene eng an der Normentwicklung beteiligt.

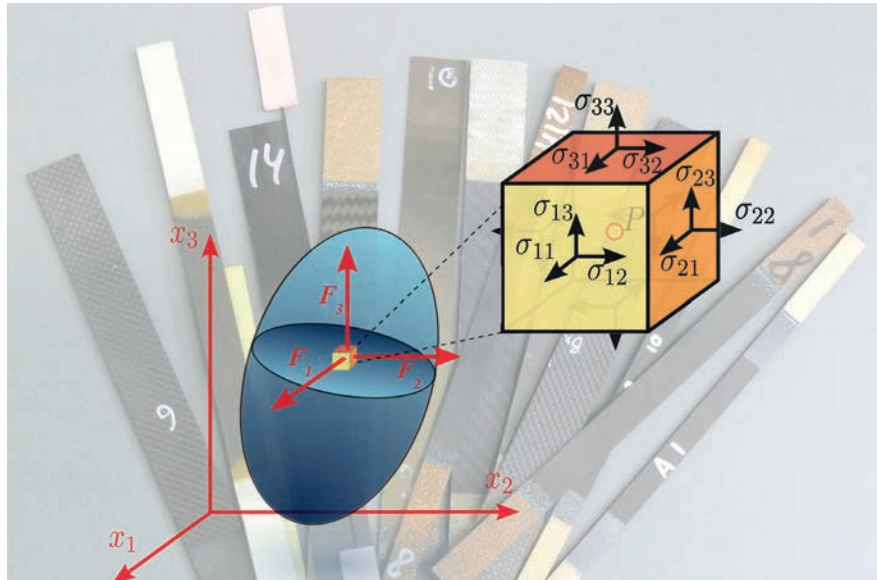


Bild 1: ZwickRoell Produkte charakterisieren Verbundwerkstoffe in allen Normal- und Scherrichtungen.

### Produktqualität

Prüfmaschinen, die für die Prüfung spröder Werkstoffe eingesetzt werden, unterliegen engen Anforderungen in Bezug auf Qualität der Antriebs- und Führungselemente, Axialität, Spielfreiheit und bei Druckversuchen auch der Steifigkeit. Wir tragen dem Rechnung durch Einsatz hochwertiger Standard-Bauelemente, kompetenter Werkstoffauswahl und durchdachten Konstruktionsprinzipien.

### Moderne Fertigung, erfahrene Mitarbeiter

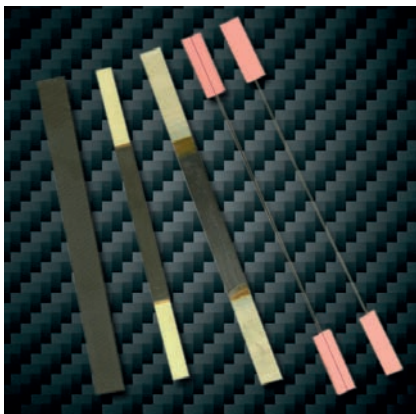
ZwickRoell fertigt am Standort Ulm auf rund 7000 m<sup>2</sup> Produktionsfläche Prüfmaschinen nach aktuellsten Herstellverfahren. Ein moderner Maschinenpark und eine Montage mit kompetenten und sehr erfahrenen Mitarbeitern stehen für gleichbleibend hohe Qualität. Etliche unserer Mitarbeiter gehören dem Unternehmen seit vielen Jahren an und arbeiten zum Teil schon in der zweiten oder dritten Generation bei ZwickRoell.



Bild 2: ZwickRoell Produkte sind normkonform zu allen gängigen Standards

### Kalibrierung und Alignment – Worauf es besonders ankommt

Alle Prüfmittel werden bei ZwickRoell vor ihrer Auslieferung nach aktuellen ISO-Normen kalibriert. So wird sichergestellt, dass alle Sensoren korrekt messen. Bei Prüfmaschinen, die für die Prüfung von spröden Werkstoffen, wie zum Beispiel unidirektional verstärkten Faserverbunden, Keramiken oder spröden Metallen eingesetzt werden, kann zusätzlich eine Vermessung und Justage der Schiefzugeigenschaften (Alignment) durchgeführt werden.



## Prüfung von Faserverbundwerkstoffen

Faserverbundwerkstoffe verhalten sich orthotrop und im Gebrauchsbereich weitgehend elastisch. Deshalb ist die Messung des Spannungs-Dehnungsverhaltens in allen Normal- und Schubrichtungen üblich.

Die Normung hat eine Reihe von Verfahren entwickelt, die den Werkstoff unter den verschiedensten Belastungsfällen charakterisieren können.

Die Durchführung der Prüfungen erfordert präzise Werkzeuge und eine exakte Kräfteinleitung mit geringem Schiefzuganteil, der über sogenannte Alignment-Fixtures eingestellt wird.



Bild 1: ZwickRoell bietet für jede Prüfung die geeignete Maschinenkonfiguration! Zwei übereinanderliegende Arbeitsräume oder zusätzliche seitliche Arbeitsräume vermeiden Umbauarbeiten.

## Zugversuch an Fasern und Filamentsträngen

Zugversuche an unidirektional verstärkten Werkstoffen, wie pultrudierte Stangenware oder gehartzte Filamentbündel erfordern viel Erfahrung bei der Auswahl des geeigneten Spannwerkzeugs.

In vielen Fällen muss der Probekörper durch Aufleimer geschützt werden, um vorzeitige Faserbrüche im Bereich der Einspannung zu vermeiden. Aber es gibt auch Lösungen, die den Einsatz dieser Aufleimer und den damit verbundenen Aufwand zur Probenvorbereitung vermeiden und so einen echten Effektivitätsgewinn erzielen.

ZwickRoell bietet eine sehr große Auswahl an Probenhaltern und Backeneinsätzen. Im ZwickRoell anwendungstechnischen Labor in Ulm werden Vorprüfungen an kundeneigenen Probekörpern durchgeführt und die optimale Maschinenkonfiguration bestimmt.

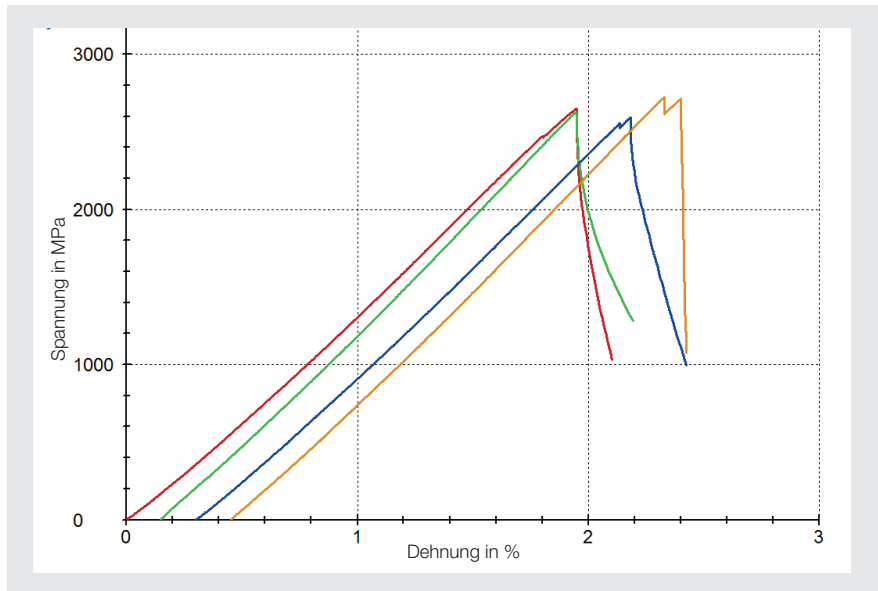


Bild 2: testXpert III sorgt für den korrekten Prüfablauf – voll automatisch.

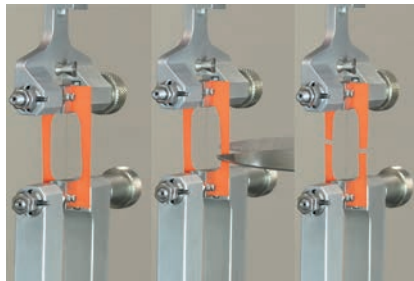


Bild 3: Einzelfilamente werden im Papier-rähmchen eingespannt.

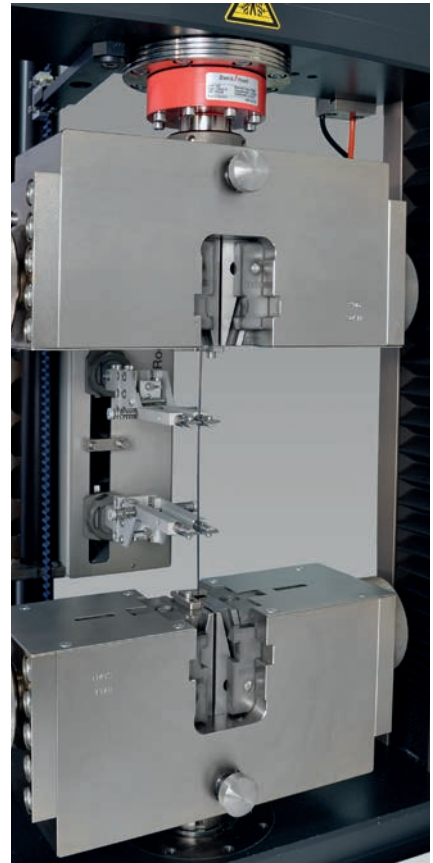


Bild 4: Gehartzter Kohlefaser-Filamentstrang in der Prüfung



Bild 1: Pultrudiertes GFK-Rundprofil, ohne Aufleimer eingespannt. Rechts: Gültige Faserbrüche im Bereich der freien Einspannlänge durch sanfte Spannkrafteinleitung.

## Zugversuche und Kerbzugversuche an Laminaten

Zugversuche an unidirektionalen Laminaten erfordern eine perfekt gegen Schiefzug ausgerichtete Prüfmaschine, geeignete Probenhalter und eine exakte Dehnungsmessung.

Multidirektionale Laminare werden häufig mit größeren Probenquerschnitten geprüft. Aufgrund ihres progressiven Schädigungsverhaltens sind sie jedoch weniger Schiefzug empfindlich.

ZwickRoell bietet Lösungen für viele Anforderungen: Einfache mechanische Keil-Probenhalter, sowie flexible einsetzbare Keil-Schraub- und Hydraulik-Probenhalter mit Anschlussystem für Druck-, Biege- und Schereinrichtungen.

Zur Bestimmung der Probendehnung stehen Dehnmessstreifen (DMS), Ansatzaufnehmer und komfortable wie zerstörungssichere mechanische und optische Längenänderungsaufnehmer zur Verfügung.

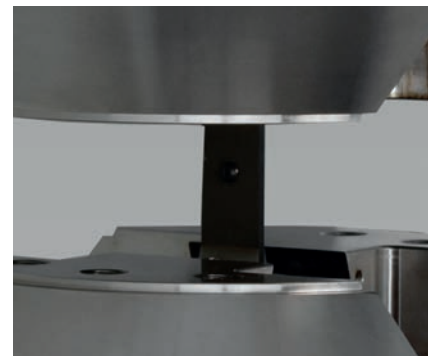
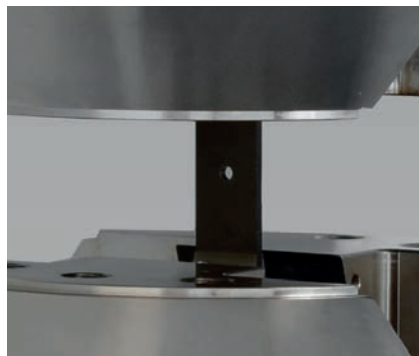
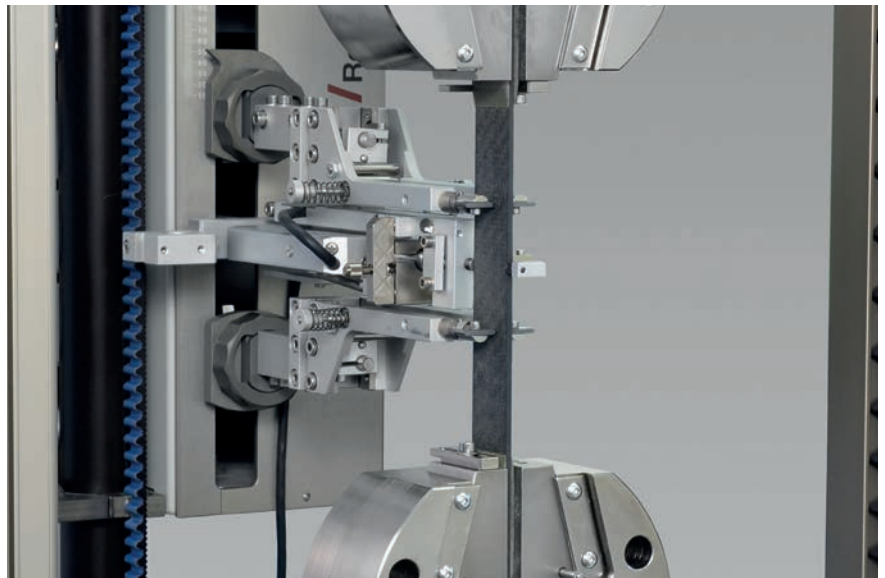


Bild 2: Zugversuche werden in Faserrichtung (0°) oder quer (90°), sowie an multidirektionalen Laminaten auch als Kerbzug (OHT) oder gebolzt (FHT) durchgeführt.

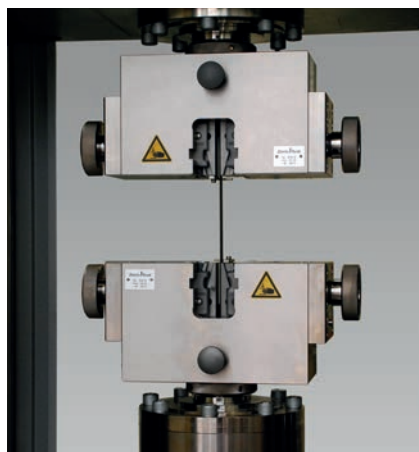
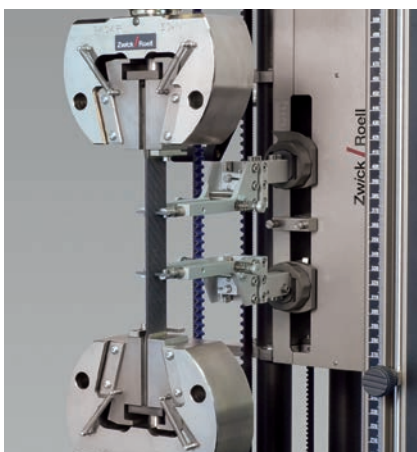


Bild 1: Zur Prüfung von Laminaten stehen zentrisch schließende Keilprobenhalter, seitlich verstellbare Keilschraub-Probenhalter, sowie hydraulische, parallel schließende Körper-über-Keil-Probenhalter mit breiter Backenauswahl zur Verfügung.

## Druckversuche, OHC, FHC

Verschiedene Druckversuche, jeder mit einem spezifischen Werkzeug, sind über die letzten fünf Jahrzehnte entwickelt worden.

Diese Werkzeuge werden üblicherweise nach der Art der Druckkraft-einleitung unterschieden.

Stirnseitige Krafteinleitung zwischen zwei Druckplatten stellt zwar die einfachste Art des Prüfwerkzeugs dar, erfordert aber eine hohe Genauigkeit bei der Bearbeitung der Probenenden. Das Verfahren liefert zuverlässige Druckmodul-Kennwerte, führt aber oft zu vorzeitigem Versagen und damit zu niedrigen gemessenen Druckfestigkeiten.

Die Krafteinleitung durch Einspannung (shear loading) eignet sich gut zur Messung höherer Festigkeiten. Ältere ASTM Normen definierten die Celanese-Druckvorrichtung, die allerdings sehr empfindlich auf Dickenvariationen des Probekörpers ist. Dieses Problem wurde in der EN-Norm durch den Ersatz der Spannkegel gegen Flachkeile gelöst.

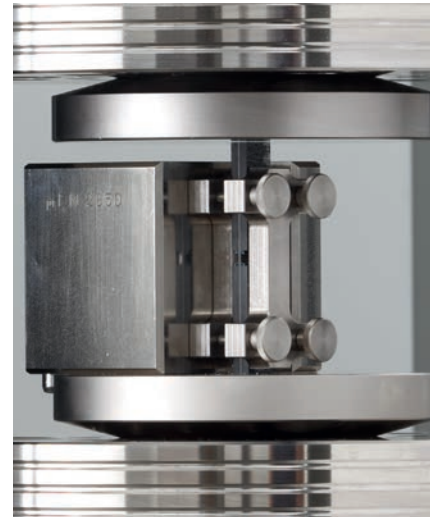


Bild 2: End-loading Druckvorrichtung nach prEN 2850 und ASTM D 695 (Boeing modifiziert). Der Stützblock wird mit Anschlägen zur Druckachse zentriert.

Eine wesentliche Verbesserung stellt die von ZwickRoell hergestellte HCCF dar. Das hydraulische parallele Spannprinzip verhindert Backenbewegungen während der Prüfung und führt so zu einem höheren Anteil gültiger Prüfungen. Die HCCF kann im shear-loading bei geringeren Kräften, und auch im kombinierten shear/end loading für hohe Kräfte eingesetzt werden. Auch

Kerbdrukversuche (OHC, FHC) nach Airbus Norm sind möglich. Ausrichtfehler, die meist aus der Probenvorbereitung resultieren, werden schon vor der eigentlichen Lastaufbringung sichtbar und können korrigiert werden.

Die HCCF wurde 2011 von Airbus für Prüfungen nach AITM 1.0008 zugelassen.

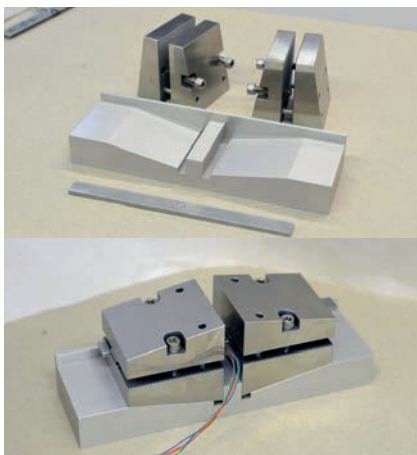


Bild 1: manuelle IITRI Druckvorrichtung nach ASTM D 3410: Probekörper und Keilbacken werden in einer Einstellvorrichtung montiert und ausgerichtet und in einem geführten Werkzeug geprüft

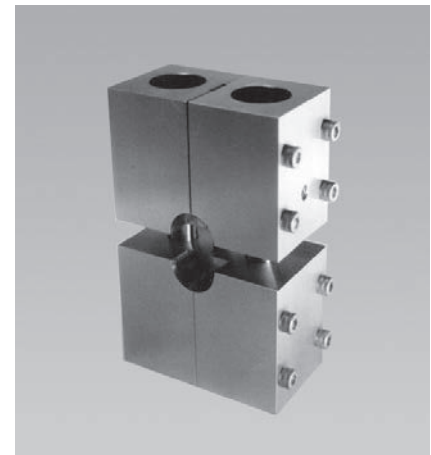
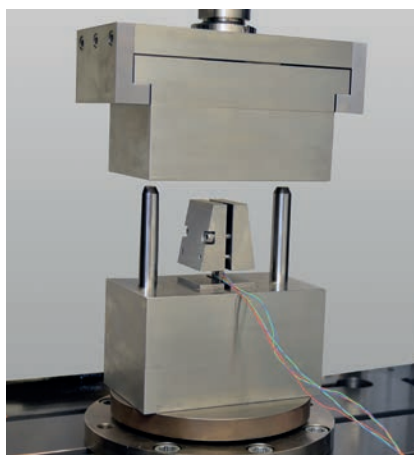


Bild 3: Manuelle combined loading Druckvorrichtung nach ASTM D 6641 (© Wyoming Test Fixture inc.)



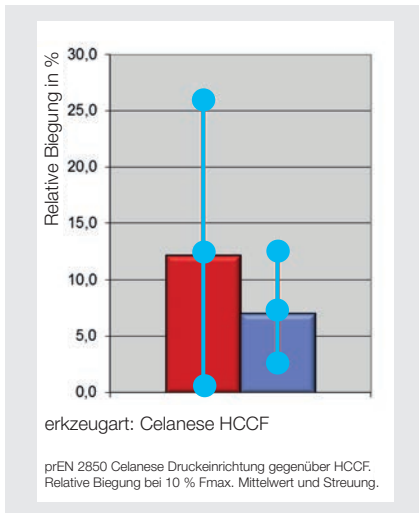


Bild 1: Signifikant verbesserte Biegung und geringere Messwertstreuung mit der HCCF

Kerbdrukversuche (OHC) und gebolzte Kerbdrukversuche (FHC) nach ASTM und Boeing Normen werden an langen Probekörpern unter Einsatz von Knickstützen durchgeführt.

ZwickRoell bietet zuverlässige Dehnungsmessung mit DMS, wie auch doppelseitige clip-on Längenänderungsaufnehmer, die zwischen den Klemmbacken der HCCF exakt geführt sind.

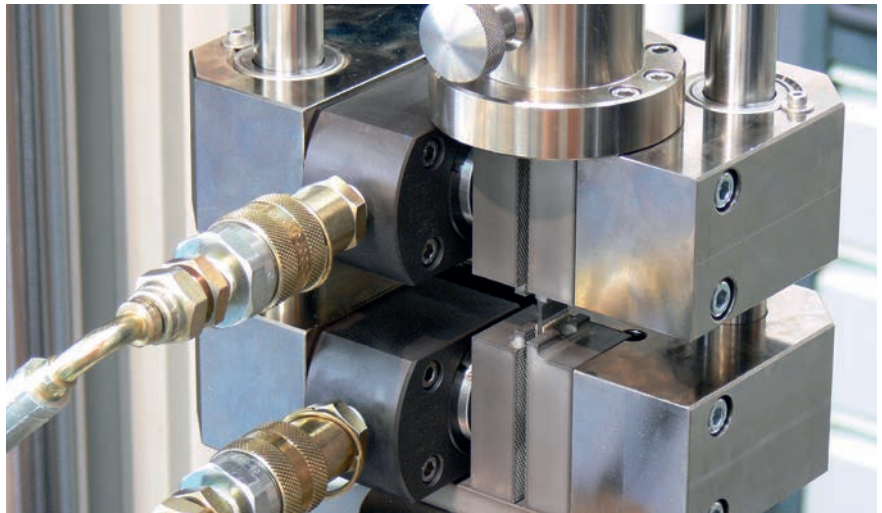


Bild 3: Die hydraulisch betätigte Druckvorrichtung HCCF wird für Scher- und combined loading Druckversuche eingesetzt.

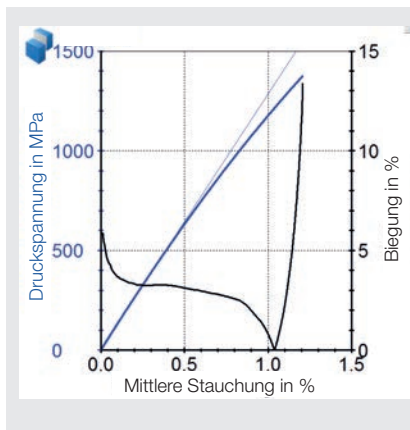


Bild 4: testXpert III Spannungs-Dehnungs Diagramm mit Kontrolle der relativen Biegung

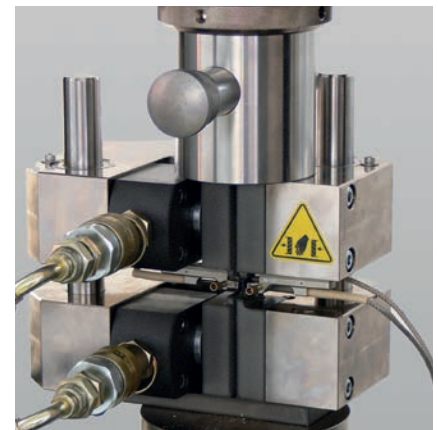


Bild 6: Verschiedene Normen erlauben den Einsatz von Ansatz-Dehnungsaufnehmern



Bild 2: Die HCCF eignet sich auch für OHC und FHC.



Bild 5: OHC und FHC Druckversuche nach ASTM erfordern eine Knickstütze, die sowohl im shear loading mit hydraulischen Probenhalter, als auch im end-loading zwischen Druckplatten verwendet wird.



## Druckfestigkeit nach Schlagbeanspruchung (CAI)

Im CAI Versuch wird die Restdruckfestigkeit eines Laminats nach Impactschädigung bestimmt. Daraus lassen sich Rückschlüsse über die Schadenstoleranz eines Composite-Mehrschichtverbundes ziehen.

Das instrumentierte Fallwerk HIT 230F mit seiner einstellbaren Fallhöhe bis 1 m und der integrierten Geschwindigkeitsmessung am Aufschlagpunkt ist exakt auf die Anforderungen zur Vorschädigung von CAI-Probekörpern abgestimmt.

Der modulare Gewichtssatz ermöglicht die exakte Einstellung der Schädigungsenergie. Eine spezielle Einrichtung vermeidet Mehrfachaufschläge. Der Aufschlagkörper (Durchmesser 16 mm) ist instrumentiert und erzeugt über die komfortable Prüfsoftware testXpert III ein Kraft-Weg Diagramm, das Hinweise auf den Schädigungverlauf liefert.

Im anschließenden Druckversuch wird die Restdruckfestigkeit bestimmt. Bei ISO, EN und Airbus-Normen ist der Probekörper im Druckwerkzeug oben und unten gespannt, während er bei ASTM, DIN und Boeing Normen nur geführt ist.

Zur Überwachung der Biegung und Knickung werden DMS appliziert.



Bild 1: Fallwerk HIT 230F mit Zubehör für die CAI-Vorschädigung



Bild 3: Sichere Aufnahme des CAI Probekörpers im Fallwerk

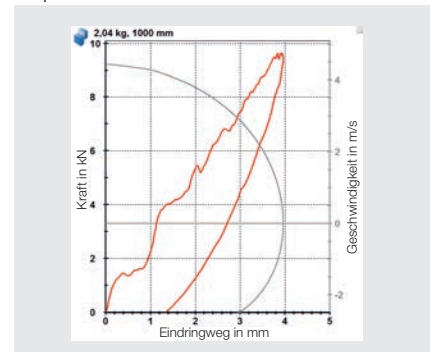
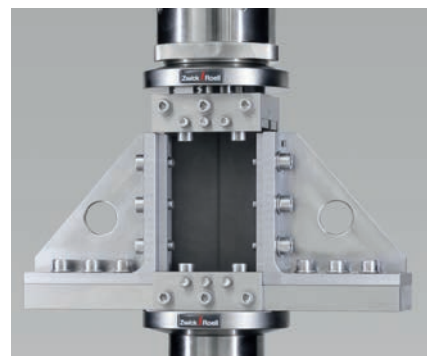
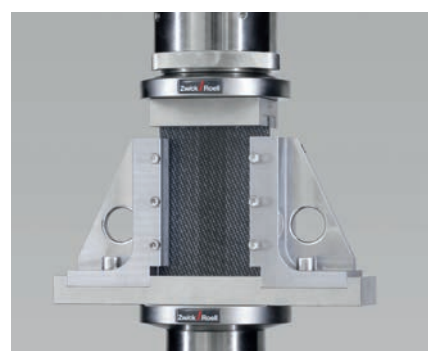


Bild 4: Die Instrumentierung liefert ein Kraft-Weg-Geschwindigkeit-Diagramm.



Bild 2: Im Druckversuch wird die Restdruckfestigkeit des Probekörpers und damit seine Schadenstoleranz bestimmt. (unten: Druckeinrichtung nach ASTM, DIN, Boeing, oben: Druckeinrichtung nach ISO, EN, Airbus.)



## Scherung in Lagenebene (IPS), $\pm 45^\circ$ Zugversuch

Bei diesem Schubversuch verläuft die Faserrichtung unter  $\pm 45^\circ$  zur Zugachse des Probekörpers.

Im Zugversuch können die Fasern aneinander abgleiten, wodurch es zu einer Verformung der Matrix kommt.

Die Schubdehnung wird aus der Längs- und Querdehnung des Probekörpers bestimmt. Hierfür bietet ZwickRoell mehrere Lösungen:

- Messung mit zwei Dehnungsmessstreifen
- Messung mit biaxialem clip-on Wegaufnehmer
- Messung mit dem automatischen Längenänderungsaufnehmer makroXtens und zusätzlichem Breitenänderungsaufnehmer

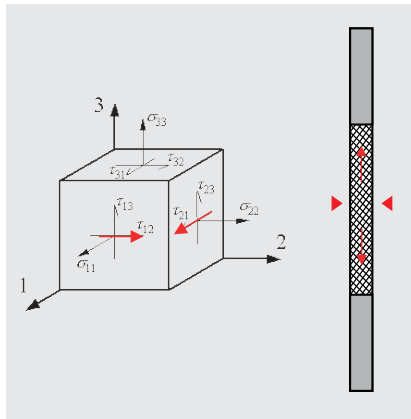


Bild 2: Der  $\pm 45^\circ$  Laminataufbau erlaubt die Messung von Schubeigenschaften.



Bild 3: Messung der Schubdehnung mit Dehnungsmessstreifen

- Messung mit biaxialem Videoextensometer

testXpert III zeichnet normgerecht die Schubspannungs-/Schubdehnungs-Kurve auf und berechnet die charakteristischen Kennwerte Schubmodul ( $G_{1,2}$ ) und Schubfestigkeit ( $\tau_{1,2M}$ ).

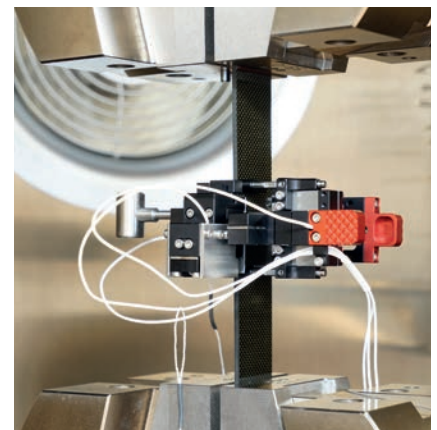


Bild 4: Messung der Schubdehnung mit biaxialem clip-on Wegaufnehmer

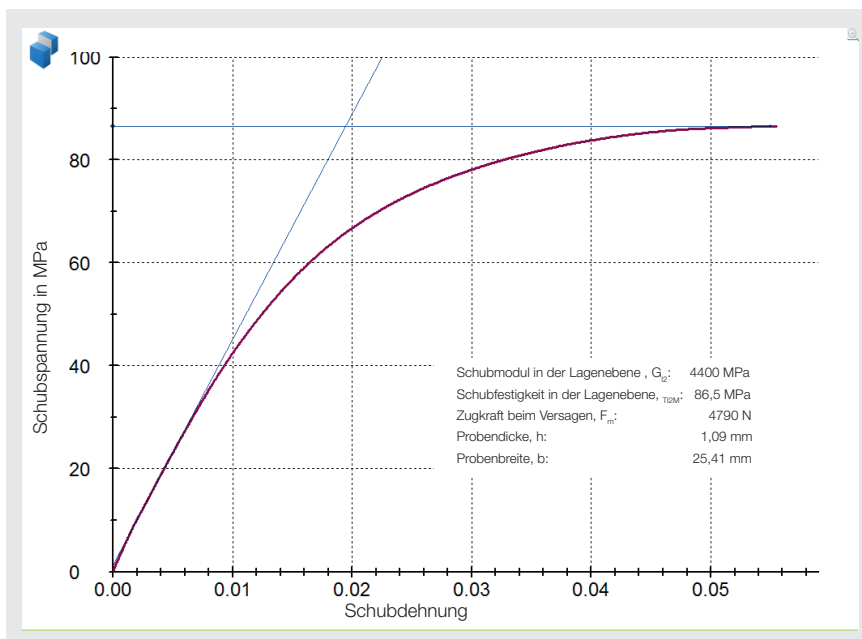


Bild 1: Das Schubmodul wird zwischen zwei Schubdehnung bestimmt, z.B. 0,1 % und 0,5% nach ISO 14129 oder 0,05% und 0,25% nach prEN 6031 und AITM.

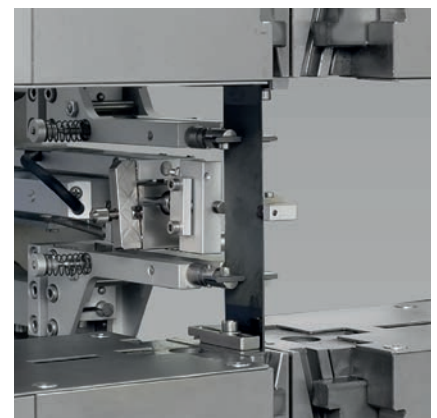


Bild 5: Messung der Schubdehnung in zwei Ebenen mit dem makroXtens

## V-Kerb Schubversuch

Mit dem V-Kerb Schubversuch können Schubeigenschaften von Laminaten aus unidirektionalen Faserverbundwerkstoffen, Geweben oder Geflechtem ermittelt werden.

Es gibt zwei Verfahren, die sich durch die Größe des Probekörpers und die Art der Krafteinleitung unterscheiden: Beim V-Kerb Schubversuch nach ASTM D 7078 ist der Probekörper für die Beurteilung größerer Faserarchitekturen größer und wird eingespannt. Beim Iosipescu-Verfahren nach ASTM D 5379 findet eine weitgehend formschlüssige Kraftübertragung statt.

Die Kerbe sorgt für eine Konzentration der Scherspannungen im engsten Querschnitt. In dieser

Scherebene werden die Schubdehnungen, z. B. über DMS mit kurzer Gitterlänge gemessen.

Für das V-Kerb Verfahren nach ASTM D7078 steht ein Werkzeug mit manueller Klemmung über Schrauben zur Verfügung.

Das Iosipescu-Verfahren bietet eine axiale Führung der Probenaufnahmen, wodurch ein nahezu biegemomentfreier Zustand im Bereich der Scherebene erreicht wird.

Die doppelte Führung des einen Teils der Vorrichtung erleichtert den Einbau der Probe und verhindert eine out-of-plane Verformung der Probe im Versuch.

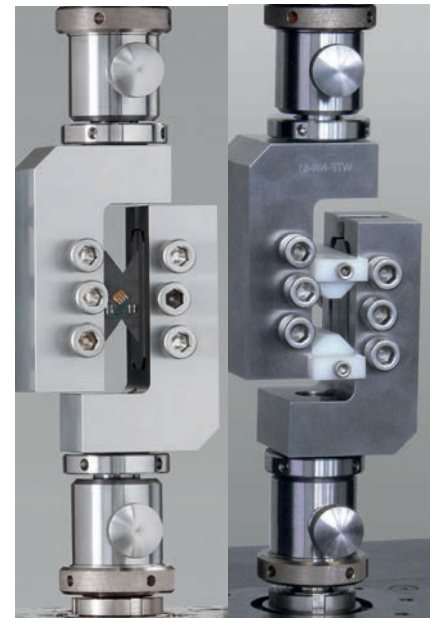


Bild 1: V-Kerb Schubwerkzeuge nach ASTM D 7078 mit manueller Klemmung (links) und Anschlägen zur Ausrichtung des Probekörpers (rechts).

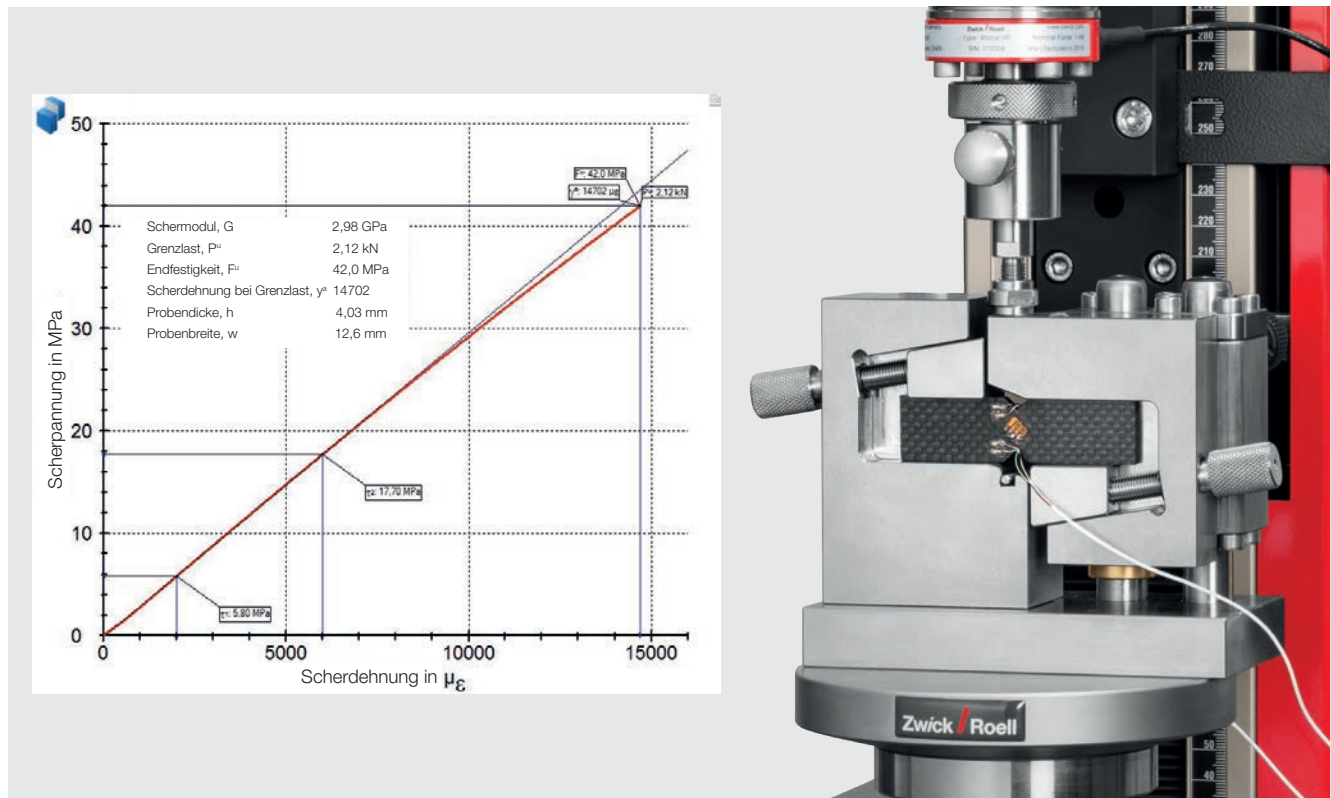


Bild 2: Iosipescu-Verfahren des V-Kerb Schubversuchs. testXpert III übernimmt die korrekte Ermittlung der Scherspannungen, und Schubdehnungen, sowie der einzelnen Kennwerte.

## Rail-Shear Verfahren

Die ASTM bietet weitere Verfahren zur Scherprüfung in Lagenebene an unidirektionalen Laminaten und Geweben an, bei denen Prüfplatten auf Schienen fixiert werden.

Die Messgrößen sind Schubspannungen und -festigkeiten, Schubdehnungen, die mit Dehnungsmessstreifen ermittelt werden, sowie das Schubmodul.

## Scherung durch Überlappung (Lap-Shear)

Diese Prüfmethode wird üblicherweise zur vergleichenden Messung der Scherfestigkeit an Verklebungen oder zwischen Laminatenebenen eingesetzt.

Durch den Einsatz eines hochauflösenden Längenänderungsaufnehmers kann bei bekannter Klebschichtdicke zusätzlich auch die Schubdehnung gemessen werden.

Korrekte Prüfergebnisse werden mit exakt ausgerichteten Probenhaltern erzielt, die mechanisch, pneumatisch oder hydraulisch arbeiten. Eine seitliche Verstellbarkeit der Spannbacken ist bei einschnittigen einfachen Probekörpern erforderlich.

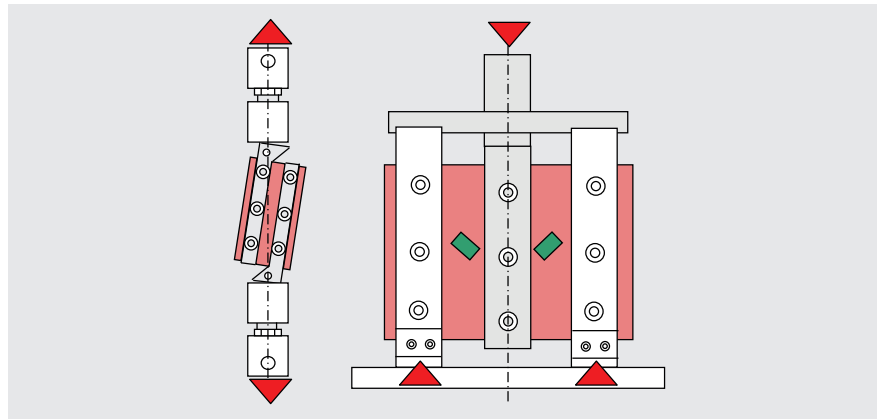


Bild 1: Rail-shear Verfahren nach ASTM D 4255, two-rail shear im Zugversuch (links), three-rail shear im Zug- oder im Druckversuch (rechts).

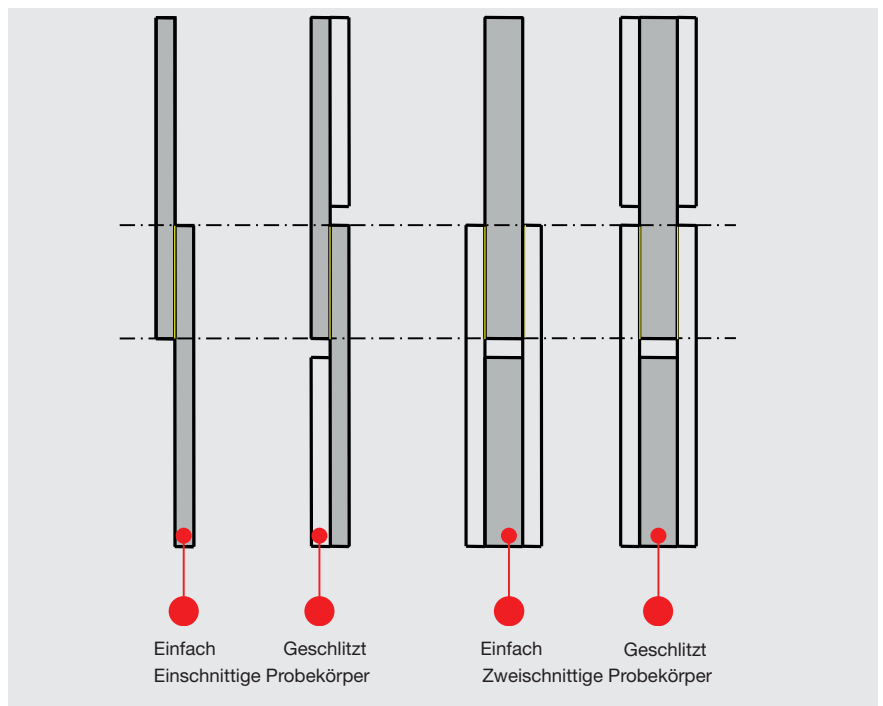


Bild 2: Schubversuche durch Überlappung werden mit ein- oder zweischnittigen Probekörpern, in einfacher oder geschlitzter Ausführung durchgeführt.

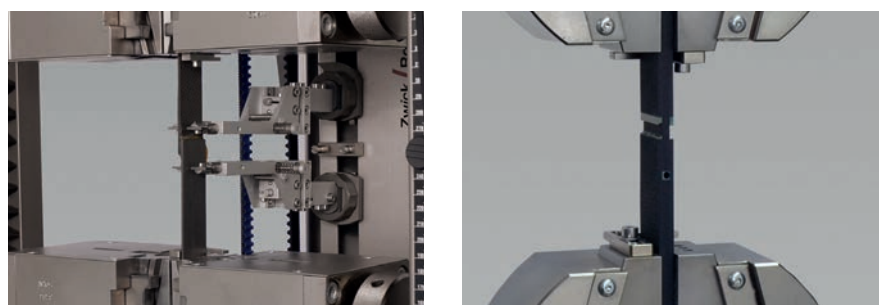


Bild 3: Zur Prüfung von einschnittigen einfachen einschnittigen Scherprobekörpern (links) muss der Probenhalter über eine seitliche Verstellbarkeit verfügen, rechts: geschlitzter Probekörper.

## Interlaminare Scherfestigkeit (ILSS) im Kurzbiegeverfahren (SBS)

Bei dieser Prüfung ist der Auflagerabstand gering im Verhältnis zur Probendicke. Dadurch wird der Probekörper auf Scherung belastet und gebrochen.

Die ILSS Prüfvorrichtung ist für den Einsatz in einem breiten Temperaturbereich vorgesehen.

Auflager und Stempel können exakt parallel eingestellt werden. Ein seitlicher Haltearm sorgt für exaktes Einhalten der Mittenposition.

An den Innenseiten der Auflager befinden sich Messflächen für eine exakte Kontrolle des Auflagerabstands.

Für die Prüfung variabler Probekörperticken stehen verschiedene Einstelllehren und Spindelverstellungen sowie eine Höhenverstellung der Biegefinne zur Verfügung.

Norm	Stempelradius, R	Auflagerradius, r	Stützweite, L	Mittengenauigkeit
ISO 14130	5 mm	2 mm	5 h ± 0,3 mm	-
ASTM D 2344	3 mm	1,5 mm	4 h ± 0,3 mm	± 0,3 mm
EN 2377	3 ... 5 mm	2 ... 3 mm	5 h ± 0,1 mm	-
EN 2563	3 mm	3 mm	5 h ± 0,1 mm	± 0,02 mm
CRAG method 100	3 mm	3 mm	4 h ± 0,5 mm	-
			5 h ± 0,5 mm	-

h = Probendicke

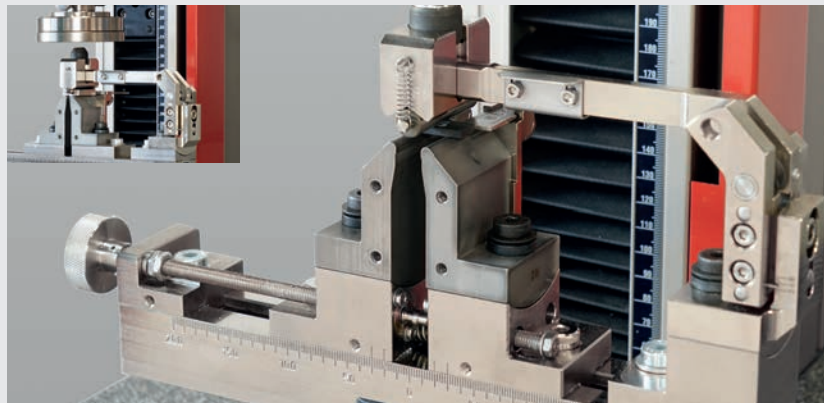


Bild 2: ILSS-Vorrichtung: Über eine seitlich geführte Biegefinne wird die Kraft exakt zentrisch in den Probekörper eingeleitet. Der Auflagerabstand wird manuell oder per mittenzentrierter Spindelverstellung eingestellt.



Bild 3: Standard 10 mm Einstelllehre für exakte Ausrichtung



Bild 1: Auflager und Stempel sind exakt parallel. Probenanschlüge vereinfachen die Bedienung.



Bild 4: Einstelllehre mit variablem Auflagerabstand



Bild 5: Befestigung eines Temperatursensors nahe am Probekörper

## Biegeversuche

3-Punkt und 4-Punkt Biegeversuche werden mit Auflagerabständen von 16 bis 40 mal Probendicke durchgeführt. So wird der Scheranteil hinreichend gering gehalten.

Die gemessenen Biegemoduli und -festigkeiten werden stark vom Laminataufbau beeinflusst und korrelieren deswegen nicht mit den gemessenen Zugeigenschaften.

Die Durchbiegungen werden üblicherweise mit einem ansetzbaren Wegaufnehmer bestimmt.

Norm	Verfahren	Probendicke, h	Stempelradius, R	Auflagerradius, r
ISO 14125	3-Punkt	≤ 3 mm	5 mm	2 mm
		> 3mm	5 mm	5 mm
	4-Punkt	≤ 3 mm	2 mm	2 mm
		> 3mm	5 mm	5 mm
ASTM D 7264			5 mm	5 mm
ASTM D 790	3-Punkt	-	5 mm	5 mm
EN 2562	3-Punkt	-	12,5 mm	5 mm
EN 2746	3-Punkt	-	5 mm	2 mm

ZwickRoell Prüfmaschinen verfügen jedoch zusätzlich über eine exakte Verformungskompensation, die im 3-Punkt-Biegeversuch oft eine hinreichend genaue Durchbiegungsmessung mit dem integrierten Traversenwegaufnehmer ermöglicht.

Die Biegevorrichtungen können in einem breiten Temperaturbereich zwischen -80 °C und +250 °C eingesetzt werden.

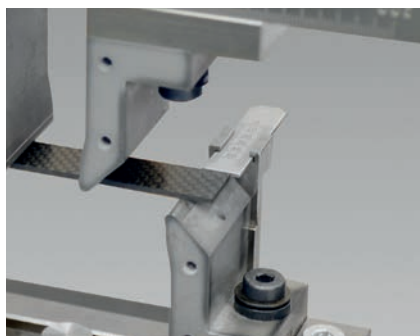


Bild 1: Exakte Positionierung des Probekörpers durch Anschläge



Bild 3: Stempel und Auflager werden mit Einstelllehre unter Last verspannt und ausgerichtet.

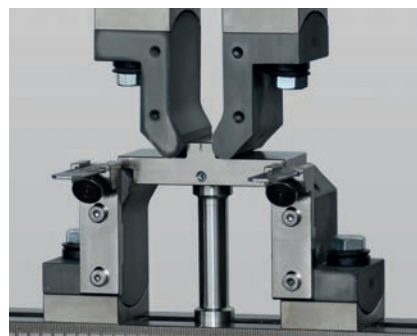


Bild 5: Einstelllehre für den 4-Punkt-Biegeversuchsaufbau

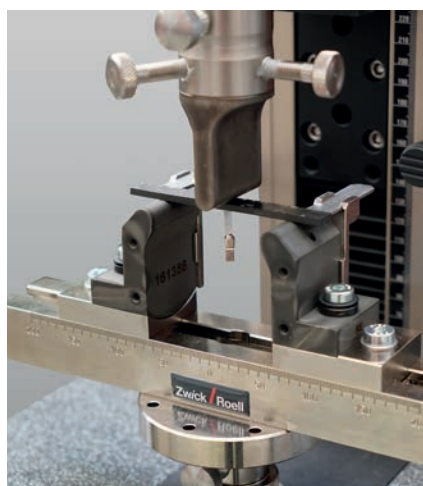


Bild 2: 3-Punkt Biegeversuch mit indirekter Wegmessung über Traversenweg

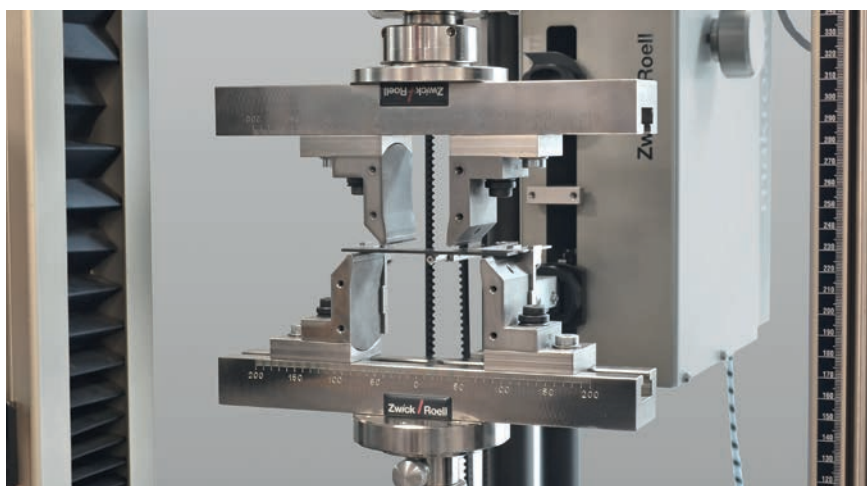


Bild 4: 4-Punkt Biegeversuch mit direkter Wegmessung

## Interlaminare Energiefreisetzungsrate (G)

Bei der Messung der kritischen Energiefreisetzungsrate ( $G_c$ ) wird die Energie pro Rissfläche bestimmt, die zur Ausbreitung eines Risses um einen bekannten Weg erforderlich ist.

Mode I - Rissöffnung – wird im DCB Aufbau (Double Cantilever Beam) gemessen und ist in vielen Normen beschrieben.

Mode II - Scherung in Lagenebene – wird häufig im ENF Verfahren (End Notch Flexure) gemessen, das als 3-Punkt oder seltener als 4-Punkt Biegeverfahren eingesetzt wird. Die ISO-Normung wendet das C-ELS Verfahren an (Calibrated End Loaded Split). Seltener ist das TCT-Verfahren (Transverse Crack Tension).

Das Mixed Mode I/II Bending Verfahren (MMB) erlaubt die Einstellung definierter Modusanteile und simuliert die in der Praxis häufig auftretenden überlagerten Beanspruchungen.

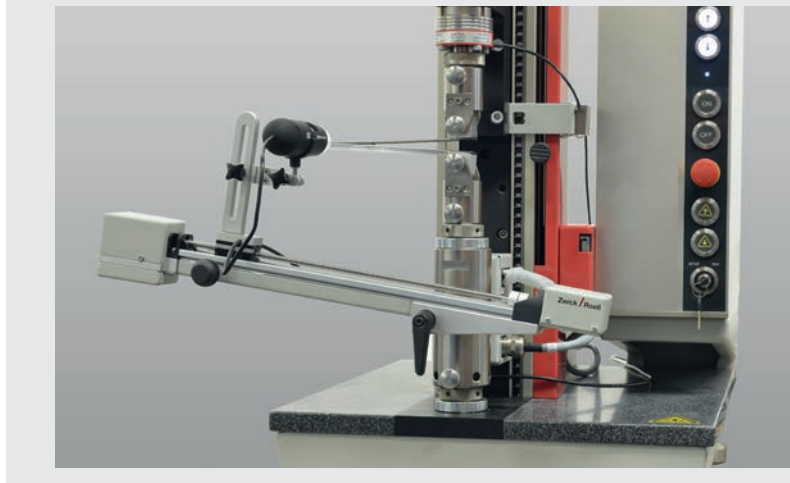
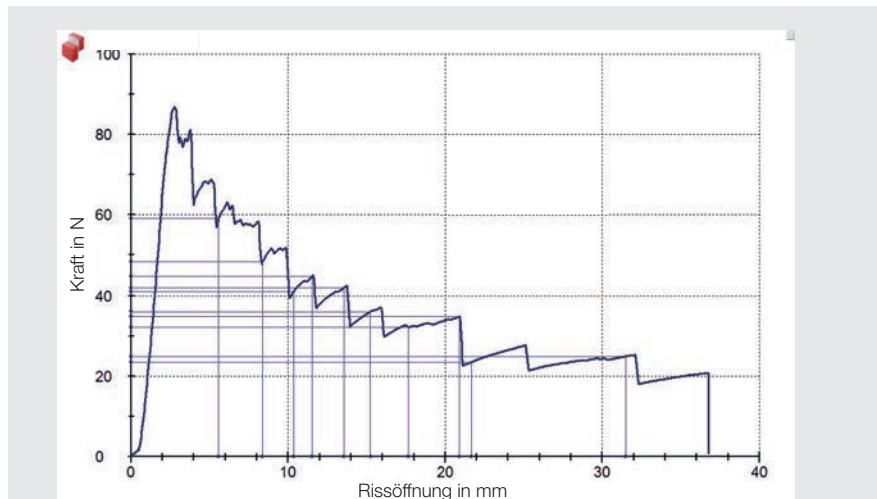


Bild 2: Mode I Energiefreisetzungsrate ( $G_{IC}$ ) im Double-Cantilever-Beam (DCB) Aufbau. Die Verfolgung der Rißspitze mit video-recording liefert eine mit der Kraft-Weg Kurve synchronisierte Filmsequenz.



Bild 1: Mode II Energiefreisetzungsrate  $G_{IIC}$



Bild 3: Einstellbare Mode I / Mode II Anteile

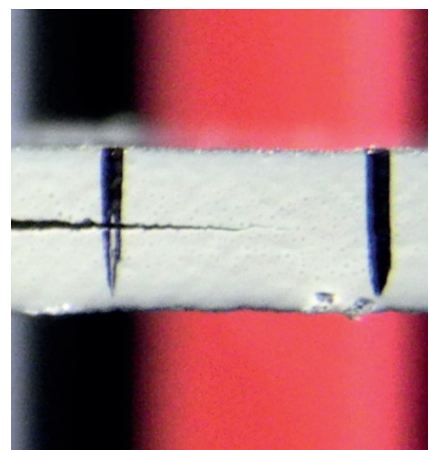


Bild 4: Die Rißspitze wird mit einer Lupe verfolgt



## Bolzentragfähigkeit und Lochleibung

Die Beurteilung des Tragfähigkeitsvermögens von Schraub- oder Bolzenverbindungen ist in vielen Normen und Qualitätssicherungsanweisungen hinterlegt.

Der gewählte Prüfaufbau orientiert sich am erwarteten Belastungsfall. Dieser kann einschnittig oder zweischnittig ausgelegt sein und sich auf eine einzige Bolzenverbindung oder auf eine doppelte Schraubverbindung mit dabei auftretenden Bypass-Kräften beziehen.

Weiterhin unterscheiden sich die Verfahren durch die Art der Verbindung, die eine lose Auflage mit bekanntem Spalt zwischen Probekörper und Halteplatte oder als Schraubverbindung mit bekanntem Anzugsdrehmoment ausgeführt werden kann.

Zur Messung der Lochleibung wird ein Längenänderungsaufnehmer an der Halteplatte und dem Probekörper angesetzt.

Die Prüfungen werden meistens in Zugrichtung, seltener auch als Druckversuch durchgeführt.

Fertige testXpert III Standard-Prüfvorschriften stellen die exakte Normeinhaltung sicher.

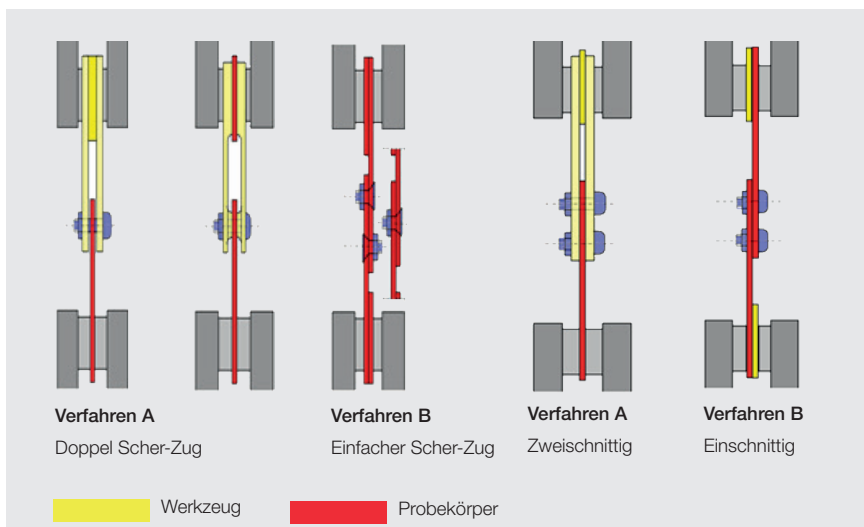


Bild 1: Verfahren zur Messung von Bolzentragfähigkeit und Lochleibung bei direkter und mit Bypass-Belastung

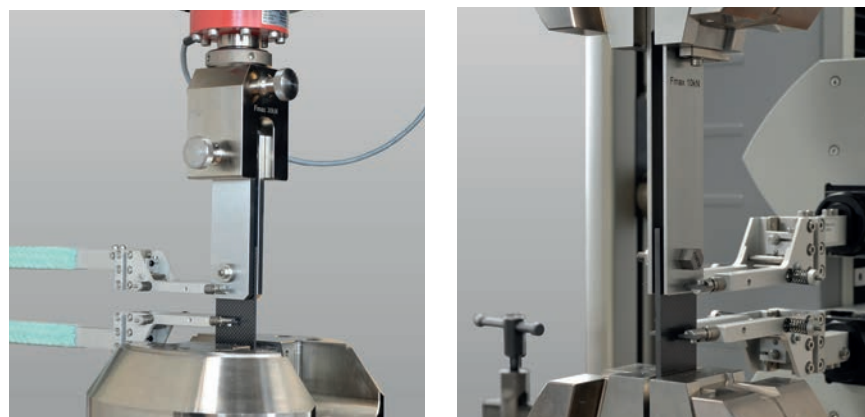


Bild 2: Prüfwerkzeuge zur Messung von Bolzentragfähigkeit und Lochleibung

## Elektromechanische Prüfmaschinen

### zwickiLine

Die hochwertigen und leicht zu bedienenden Einsäulen-Lastrahmen wurden für mechanische Prüfungen bei Prüfkraften bis 5 kN konzipiert.

Im Prüflabor für Verbundwerkstoffe werden sie häufig als Entlastungsmaschinen neben größeren Lastrahmen eingesetzt, damit diese für z.B. Biege-, Scher- und  $G_{IC}$ -,  $G_{IIC}$ -Versuche nicht umgebaut werden müssen.

## ProLine Baureihe für Standard-Prüfaufgaben

Viele Standard-Versuchsarten mit Zug-, Druck-, Scher- oder Schälbelastungen erfordern keine aufwendige Sensorik. In diesen Fällen kann eine ProLine Prüfmaschine die optimale Wahl darstellen.

### Tischmodelle - AllroundLine

Für Standardprüfungen im Kraftbereich bis 150 kN stehen verschiedene Tischmodelle zur Verfügung. Sie sind mit zwei Säulen aus patentierten Aluminium-Strangpressprofilen ausgeführt.

Diese sind leicht, sehr biegesteif und dienen gleichzeitig als Spindelführung und Spindelschutz. Die Tischmodelle der AllroundLine können mit Standfüßen versehen werden, wodurch der Prüfraum in einer für den Benutzer oder die Anwendung optimalen Höhe positioniert werden kann. Dies ermöglicht beispielsweise eine bequeme sitzende Bedienung mit absoluter Beinfreiheit, wodurch das System auch für Rollstuhlfahrer gut geeignet ist.



## Standmodelle – AllroundLine

Standmodelle mit elektromechanischen Antrieben stehen im Lastbereich von 100 kN bis 1200 kN zur Verfügung und werden für Prüfungen an Werkstoffproben oder Strukturbauteilen eingesetzt. Prüfarten sind z.B. Zugversuche, Druckversuche, Biegeversuche, Scherversuche und Torsion.

Der extrem steife Lastrahmenaufbau mit zwei oder 4 Führungssäulen sorgt für optimale Verhältnisse in Bezug auf die exakte Ausrichtung der Prüfachsen.

Die Lastrahmen können mit einem oder mehreren Arbeitsräumen ausgestattet werden. Modelle mit seitlichem Arbeitsraum verringern den Umbauaufwand. Die Werkzeuge für verschiedene Versuchsarten bleiben dabei in der Maschine.

Für Bauteilprüfungen kann die untere Traverse als Aufspannplatte ausgeführt werden. Für Torsionsprüfungen wird der Lastrahmen mit einem Torsionsantrieb mit testControl II Steuerung und entsprechender Sensorik ausgestattet. Die Standmodelle der AllroundLine bilden damit ein hochwertiges und flexibles Prüf-

system zur Prüfung von Verbundwerkstoffen.

## testControl II – die Mess- und Steuerelektronik

testControl II ist „Made by Zwick-Roell“ und optimal auf die Anforderungen der Prüfungen an Verbundwerkstoffen ausgerichtet. Die Messwerte der Sensoren werden mit einer Geschwindigkeit von 400 kHz abgetastet und mit 2000 Hz weiterverarbeitet. Zusammen mit der Signalaufösung von 24 bit wird so eine optimale Signalqualität im gesamten Geschwindigkeitsbereich erreicht.



## Großlastmaschinen

Große Laminatstärken bei Faserverbundwerkstoffen erfordern in ihren Dimensionen angepasste Probekörper. Besonders bei Zug- Druck- und CAI-Prüfungen treten sehr große Kräfte auf.

Elektromechanische Großlastprüfmaschinen der Allround-Baureihe, mit Nennlasten zwischen 300 kN und 1200 kN ermöglichen Prüfungen bei großen, aber auch bei sehr kleinen Kräften. Der modulare Werkzeugaufbau erlaubt komfortable Werkzeugwechsel zwischen den verschiedenen Versuchsarten.

Ausfahrbare Temperierkammern ermöglichen Prüfungen in einem großen Temperaturbereich.

Eine Schutzumhausung mit elektrisch verriegelter Schutztür sorgt für die Sicherheit der Bediener.

Die exakte Ausrichtung des Laststrangs wird durch eine Schiefzug-Ausrichteinrichtung sichergestellt.



Bild 1: Großlastprüfmaschine Z600

## Temperierkammern

Zur Prüfung bei niedrigen oder hohen Temperaturen kommen Temperierkammern zum Einsatz, die über eine Schienenführung komfortabel in den Prüfraum eingefahren werden. Die Temperierkammern von ZwickRoell bieten dabei den höchsten Grad der Integration in das Prüfsystem und sorgen so für eine sichere Bedienung.

- Beste Temperaturgenauigkeit und Verteilung
- Probennahe Temperaturmessung und exakte Regelung
- Komfortables Einbringen der Probekörper durch die innovative Tür-in-Tür Technik
- Zeitersparnis durch Vorkonditionierung der Probekörper in einem Zwischenmagazin
- Exaktes Positionieren der Probekörper mit mechanischen Einlegehilfen.
- Wahlweise seitliche Schlitz- oder Scheiben mit optischem Glas für die Nutzung von seitlich angebauten mechanischen oder berührungslosen Extensometern
- Kabeldurchführungen für clip-on Extensometer
- Fronttür mit elektrischer Verriegelung und Schutztürfunktion
- Volle Integration in testXpert III mit Regelung der Temperatur, variable Lüftergeschwindigkeit, Aufzeichnung des Temperaturverlaufs während der Prüfung, Einschalten der Innenbeleuchtung.

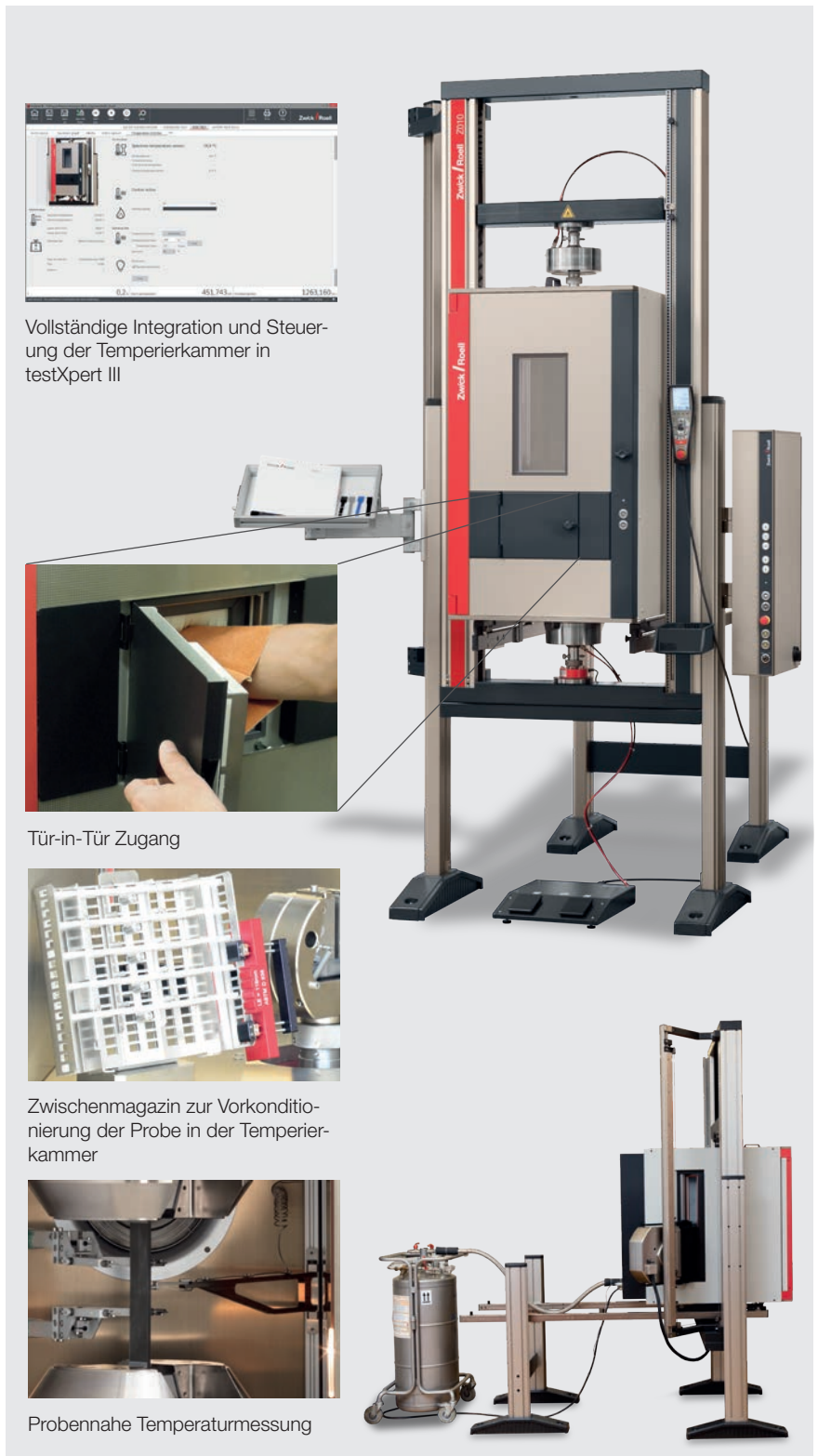


Bild 1: Das Temperierkammersystem ist voll in die Prüfmaschine integriert. Es bietet viele Vorteile, die die Prüfungen sicher und effizient machen.

## Ein modulares Konzept für Prüfungen in Temperierkammern

In der Luftfahrt werden Verbundwerkstoffe üblicherweise einer Temperatur von  $-55\text{ °C}$  an der Außenhaut und mehr als  $+200\text{ °C}$  im Bereich des Abgasstrahls und noch höheren Temperaturen in den Triebwerken ausgesetzt.

Um dies in den Prüfungen abzubilden, stehen Temperiereinrichtungen zur Verfügung, die bei Bedarf auf Führungsschienen in den Prüfraum des Lastrahmens eingefahren werden. Die Werkzeuge für die verschiedenen Prüfungen können über mechanische Adapter an die vorhandenen Hydraulik-Probenhalter angeschlossen werden.

## Variabler Lastrahmen

Der verfügbare Einbauraum ist bei geringstmöglicher Lastrahmenhöhe optimiert. Feste Flanschverbindungen zu den Probenhaltern sorgen für eine gute Seitenstabilität, die auch Druckversuche bei größeren Kräften ermöglicht. Optional ist der Einbau einer Schiefzug-Ausrüchteinrichtung vorgesehen, die eine exakte Geradstellung der Prüfachse für schiefzugempfindliche Prüfungen sicherstellt.



## 21 Versuchsarten, 115 Normen

Das modulare Prüfsystem beinhaltet alle wichtigen Standardprüfungen an Faserverbundwerkstoffen:

- Zugversuche
- Kerbzugversuche, OHT und FHT
- Scherversuche in Lagenebene, IPS
- Kurzbiegeversuch, ILSS
- Druckversuche, CAI Druckversuche
- Kerbdruckversuche, OHC, FHC
- V-Kerb Scherversuche
- Lochleibungsversuche

## Weitere Prüfungen bei Raumtemperatur

Mit ausgefahrener Temperiereinrichtung sind weitere Prüfungen möglich, die einen kleineren Kraftaufnehmer erfordern:

- Dreipunkt- und Vierpunkt-Biegeversuche
- Messung der Energiefreisetzungsrate  $G_{Ic}$  und  $G_{IIc}$

Dieses modulare System steht für elektromechanische Prüfmaschinen in den Laststufen 100 kN, 250 kN und 600 kN, sowie für verschiedene servohydraulische Prüfmaschinen zur Ermüdungsprüfung zur Verfügung.

turbereich  
250 °C

Prüfung unter Raumtemperatur



Interlaminaer Scherversuch (ILSS)

V-Kerb Scherversuch (Iosipescu)

V-Kerb Scherversuch (rail shear)

$G_{Ic}$  Energiefreisetzungsrate (ENF)

Biegeversuche (Dreipunkt, Vierpunkt)

Mixed Mode Bending (MMB)

$G_{IIc}$  Energiefreisetzungsrate (DCB)

Iosipescu V-Kerb Scherversuch bei kleinen Kräften

Scherung durch Überlappung, Scherung in Lagenebene (IPS), 90° Zugversuch bei kleinen Kräften.

## Ermüdungsprüfmaschinen

Für dynamisch-zyklische Prüfungen von Composites kommen Prüfmaschinen mit unterschiedlichen Antriebssystemen zum Einsatz.

LTM – Prüfmaschinen mit Linear-motor-Technologie werden in den Nennlaststufen 1 kN, 2 kN, 3 kN, 5 kN und 10 kN hergestellt. Herzstück ist der speziell für die Prüftechnik entwickelte und patentierte elektrodynamische Antrieb. Dieser erlaubt Prüffrequenzen bis 100 Hz und kann die verschiedensten Funktionsabläufe wie Sinus-, Dreieck-, Rechteck-, Trapezfunktionen und Nachfahrversuche exakt und reproduzierbar durchführen. Die Stärke dieses Antriebs ist die präzise Versuchsführung bei niedrigen Betriebs- und Servicekosten. Ein geeigneter Stromanschluss genügt für den Betrieb der LTM.

Servohydraulische Prüfmaschinen werden sowohl für dynamisch-zyklische Prüfungen als auch für statische Prüfungen eingesetzt. Der Standard-Frequenzbereich erreicht bis zu 100 Hz, jedoch bei Kräften von bis zu 2500 kN. Gängige Lastrahmen werden in Nennlaststufen von 10 kN, 25 kN, 100 kN, 250 kN und 500 kN hergestellt. Die hydraulische Leistung wird entweder von einem Aggregat an der Prüfmaschine, oder von einer Zentralhydraulik bereitgestellt. Die Maschinen der Kompaktbaureihe verfügen über ein integriertes Flüsteraggregat und ermöglichen einen platzoptimierten Betrieb in Laboren ohne Zentralhydraulik.

Beide Maschinentypen sind mit Kraft- und Kolbenwegaufnehmern ausgestattet und können mit weiteren Sensoren, Temperierkammern und Schutzeinrichtungen, sowie mit verschiedenen Kühlprinzipien erweitert werden.



Bild 1: LTM 10 – Ermüdungsprüfung in verschiedenen Prüffarten im Lastbereich



Bild 2: Servohydraulische Prüfmaschine Typ HB100 (links) und HC kompakt (rechts). Modularer Aufbau für dynamische und statische Prüfungen an Verbundwerkstoffen.



## Automatisierung

Die Qualifizierung neuer Verbundsysteme erfordert umfassende Prüfkampagnen. ZwickRoell ist der Spezialist für Automatisierungen in der Prüftechnik und bietet erprobte Systeme mit außerordentlichen Leistungsmerkmalen.

### 'roboTest L' - Automatisierung

Diese Automatisierung arbeitet mit pneumatischen Sauggreifern oder Zangengreifern. Bis zu 450 Probekörper werden auf einem Tisch in Stapeln oder Fächern magaziniert. Der Probekörperquerschnitt kann im automatischen Ablauf gemessen werden. Zur Probenidentifikation stehen integrierte Barcode-Lesesysteme zur Verfügung.

### 'roboTest R' - Automatisierung

Diese Automatisierung ist interessant, wenn mehrere Prüfmaschinen

in ein System integriert werden, bei Anwendungen in einer Temperatureinrichtung sowie bei Prüfungen, die ein spezielles Probekörperhandling erfordern.

#### Vorteile:

- Sichere Prüfergebnisse:
  - Genau** – weil alle Sensoren exakt kalibriert werden
  - Wiederholbar** – weil die Automatisierung alle Abläufe immer exakt gleich ausführt
  - Vergleichbar** – Weil die Prüfabläufe exakt den Normvorgaben folgen, ohne Abweichungen zwischen Bedienern
  - Nachvollziehbar** – Weil alles detailliert protokolliert wird
- Erweiterte Kapazität durch mannlose Prüfung nachts oder am Wochenende
- Sortierung der Probenreste
- Dokumentation der Versagensarten



Bild 2: roboTest L Automatisierung



Bild 3: roboTest R Automatisierung



Bild 1: Vollautomatische Prüfanlage mit zwei Lastrahmen für Zug, OHT, FHT, IPS, Scherung durch Überlappung, ILSS, Lochleibungs- und Biegeprüfungen in einem breiten Temperaturbereich.

## Fallwerke

Der Hauptanwendungsbereich von Fallwerken in der Prüfung von Verbundwerkstoffen ist die Vorschädigung von Prüfplatten für den Compression-After-Impact (CAI) Versuch, zum Beispiel nach ISO 18352, Airbus AITM 1.0010, Boeing BSS 7260, ASTM D 7136, EN 6038 oder DIN 65561.

ZwickRoell bietet drei Fallwerkstypen mit unterschiedlichen Anwendungsschwerpunkten:

### HIT 230 F

Instrumentiertes Fallwerk für CAI und Durchstoßversuche bis 4,43 m/s und einer pot. Energie bis 230 J

### HIT 600 F

Instrumentiertes Fallwerk mit Beschleunigung für CAI und Durchstoßversuche bis 8 m/s und einer pot. Energie bis 600 J

### HIT 1100F und HIT 2000F

Universelle Fallwerke für instrumentierte Standard- und Bauteilver-

suche bis 19 m/s und 2000 J

### Wesentliche Merkmale:

- Einfache und sichere Bedienung
- Gute Zugänglichkeit
- Variable Einstellung der Schädigungsenergie
- Exakte Messung des Schädigungsverlaufs durch die integrierte Instrumentierung
- Sicheres Vermeiden von Mehrfachaufschlägen
- Kontrolle der tatsächlichen Auftreffgeschwindigkeit

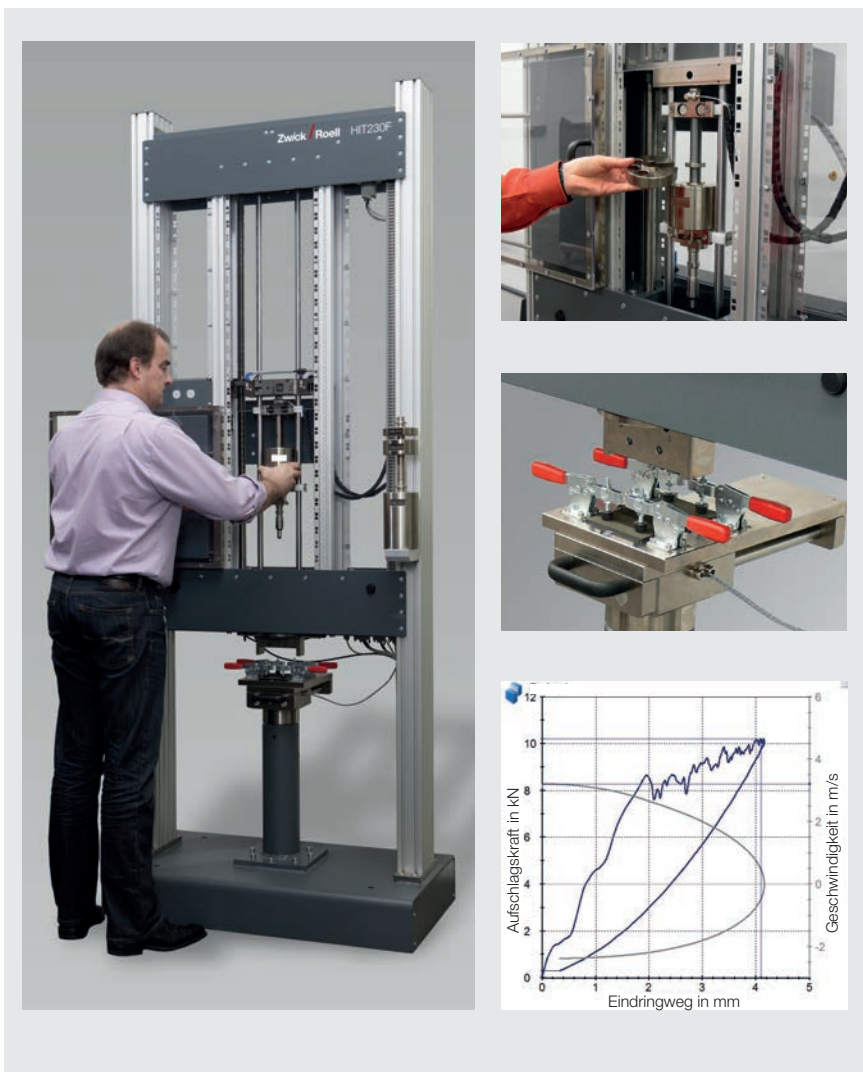


Bild 1: Das instrumentierte Fallwerk HIT 230F wird zur Vorschädigung von Prüfplatten für den CAI-Versuch eingesetzt. Das Kraft-Weg Diagramm zeigt den Schädigungsverlauf

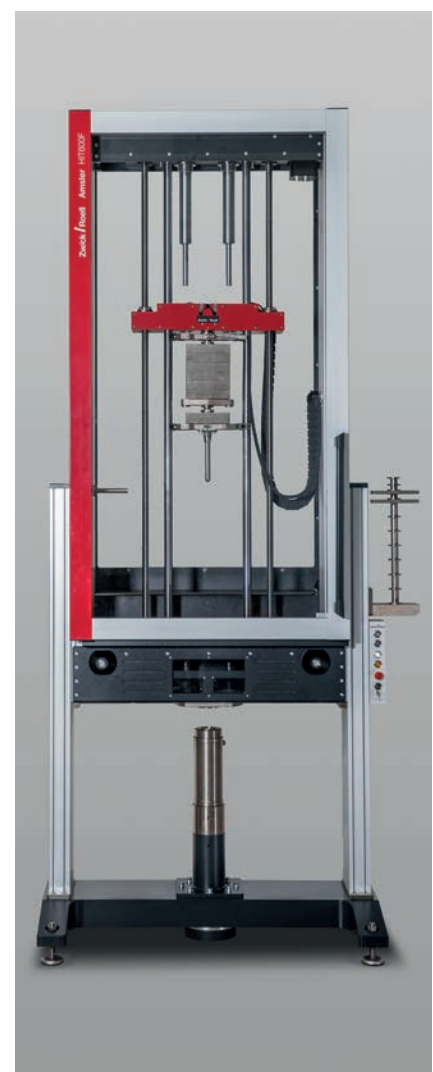


Bild 2: Fallwerk Amsler HIT600F

## Kraftaufnehmer

Kraftaufnehmer müssen höchste Qualitätsanforderungen erfüllen.

Die Grundlage dafür ist eine Kalibrierung nach ISO 7500-1 oder nach ASTM E4. Diese Kalibrierung wird als Werkskalibrierung ausgeführt und kann nach Inbetriebnahme des Prüfmittels durch unseren Service als DAkkS, COFRAC oder NAMAS Kalibrierung wiederholt werden. So können Sie sich immer auf Ihre Prüfmaschine verlassen.

### Dabei können die ZwickRoell Kraftsensoren noch viel mehr:

Die automatische Identifikation zusammen mit dem integrierten Nullpunkt- und Empfindlichkeitsabgleich sorgen dafür, dass Sie jeden Kraftaufnehmer an jeder Prüfmaschine einsetzen können, ohne erneute Rekalibrierung.

Die Temperaturkompensation macht die Messung weitgehend unabhängig von der aktuellen Umgebungstemperatur.



Bild 2: Jeder Kraftaufnehmer erhält eine ZwickRoell-Werkskalibrierung sobald er an einer Prüfmaschine zum Einsatz kommt.

Das alles passiert in einem sehr großen Messbereich in dem in der Genauigkeitsklasse 0,5 oder 1 gemessen wird.

Kraftaufnehmer der Baureihe Xforce HP+ und Xforce K+ erreichen die Genauigkeitsklasse 1 bereits ab 0,1% ihrer Nennlast.



Bild 1: Kraftaufnehmer für höchste Qualitätsanforderungen. Eingebauter Kraftaufnehmer der Xforce HP Baureihe (links). Verschiedene Kraftaufnehmer der Baureihe Xforce HP und P (rechts).



Bild 1: An den Arbeitsprozessen ausgerichteter Workflow in der Ansicht eines Administrators mit vollen Funktionalitäten - [www.testXpert.de](http://www.testXpert.de)

## Prüfsoftware testXpert III

### Intuitiv und workfloworientiert von Anfang an!

testXpert III ist das Resultat aus der engen Zusammenarbeit mit Anwendern aus der Materialprüfung und der Erfahrung von über 35.000 erfolgreichen testXpert Installationen. Bereits beim Start von testXpert III überzeugt die Leichtigkeit einer intuitiven und strukturierten Bedienung. Aussagekräftige Symbole und klar visuell verbundene Zusammenhänge unterstützen den Benutzer und reduzieren die Wege und Klicks der Maus.

### An Ihren Arbeitsprozessen ausgerichteter Workflow

Einfache Führung von der Vorbereitung und Durchführung der Prüfung bis zur Ergebnisanalyse.

- Prüfsystem einrichten - Konfiguration aller maschinenrelevanten Einstellungen für die Prüfanwendung.
- Prüfung konfigurieren - Konfiguration aller prüfungsrelevanten Parameter, wie z.B. die Auswahl der Ergebnisse mit Hilfe des intelligenten Assistenten.
- Prüfung durchführen - Schnelle und einfache Orientierung durch den gesamten Prüfablauf.

- Ergebnisse ansehen - Verifizierung aller Daten der durchgeführten Prüfung zusätzlich im abgesicherten Modus.

Mittels intelligenter Benutzerverwaltung lassen sich Benutzerrollen festlegen oder direkt von Windows-Accounts über LDAP übernehmen. Der Bediener kann sich von Anfang an auf seine Aufgaben konzentrieren und vermeidet Fehleingaben. Die konsequente Workfloworientierung in testXpert III hilft die Einarbeitung auf ein Minimum zu reduzieren und ermöglicht ein effizientes und sicheres Prüfen.

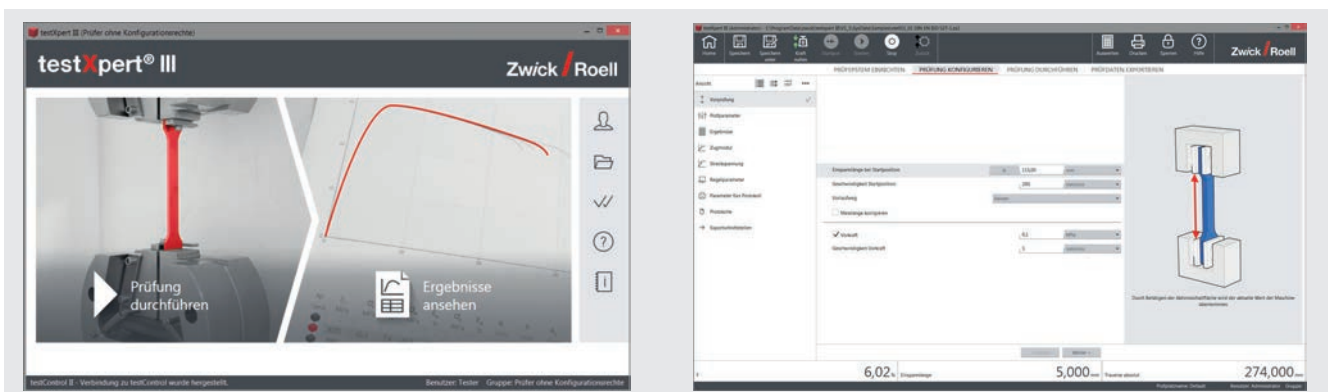


Bild 2: Für den Prüfer optimierte Ansicht (links), der intelligente Assistent für die Prüfungskonfiguration (rechts)

## Einzigartiges Prüfplatzkonzept

Alle relevanten Prüfsystem- und Sicherheitseinstellungen - wie Traversenposition, Werkzeugabstand oder Sensorkonfiguration - können in einem frei definierbaren Prüfplatz vordefiniert und gespeichert werden. Der gespeicherte Prüfplatz überprüft die angeschlossene Sensorik. Nur bei einer Übereinstimmung mit den Vorgaben kann die Prüfung gestartet werden. Dies bietet exakt wiederholbare Prüfbedingungen.

## Manipulationssichere Prüfergebnisse

testXpert III protokolliert alle Prüfsystem- und Systemeinstellungen und gewährleistet nachvollziehbare Prüfergebnisse. Dank der Nachvollziehbarkeit in testXpert III hat man jederzeit die Antworten auf die Frage: „Wann macht wer, was, warum und wer ist verantwortlich.“

testXpert III garantiert sichere Prüfergebnisse und den höchstmöglichen Schutz für Anwender und Prüfsystem.

## Sicherer Import & Export

testXpert III kommuniziert direkt mit jedem IT-System. Alle prüfungsrelevanten Daten werden schnell und auf direktem Weg aus ERP-Systemen, Datenbanken oder direkt von externen Geräten importiert. Der Export kann bequem in alle gewohnten Auswerte-Analyse-Plattformen erfolgen.

## Normgerechtes Prüfen

testXpert III bietet über 600 vorbereitete Standard-Prüfvorschriften, voreingestellt auf Normvorgaben, mit integrierten Ergebnisstabellen und Statistiken. Der Anwender kann sofort normgerecht prüfen - um den Rest kümmert sich testXpert III!

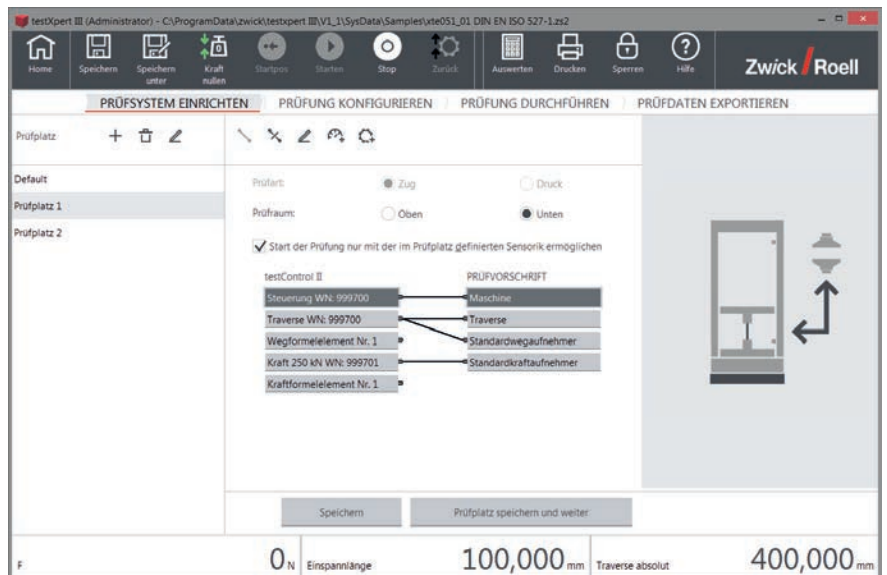


Bild 1: Nach einem Wechsel des Prüfaufbaus lassen sich die gespeicherten Prüfplätze wieder herstellen und die Prüfungen können mit identischen Einstellungen durchgeführt werden.

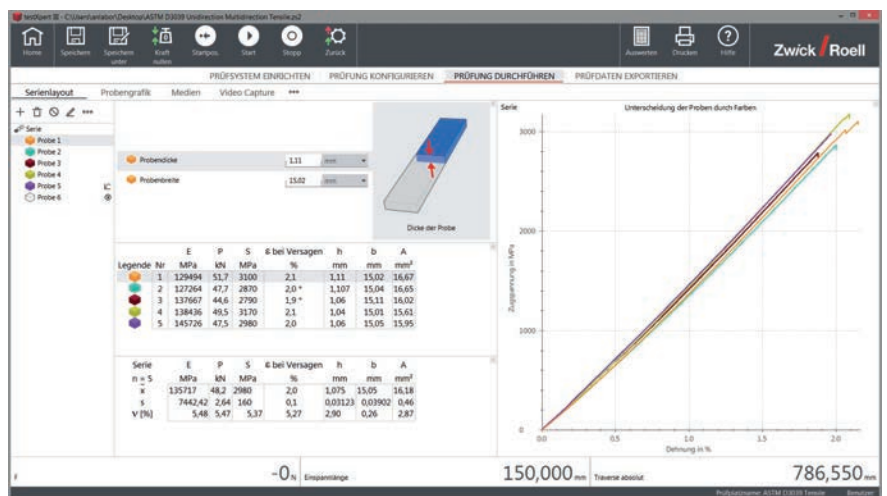


Bild 2: Klare visuelle Verbindung der zusammenhängender Inhalte und strukturierter Workflow

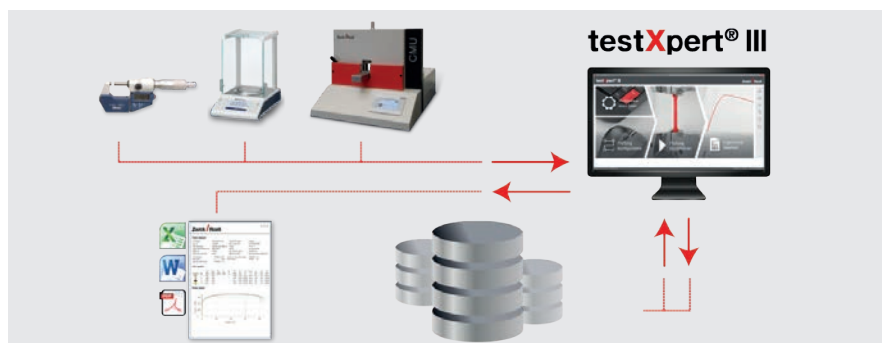


Bild 3: Sicherere und einfachere Schnittstellen für den Austausch der Messergebnisse

## Präzise Messung von Dehnungen und Längenänderungen

Der Einsatz von Dehnungsmessstreifen (DMS) ist im Bereich der Faserverbundwerkstoffe immer noch weit verbreitet. Dabei kann der Messstreifen direkt auf dem Probekörper appliziert sein oder er wirkt als messendes Element in einem Ansatz-Wegaufnehmer.

Die Messsignale werden präzise, direkt und zeitsynchron von der ZwickRoell Messelektronik testControl II erfasst.

Alternativ stehen Messverstärker der Firma HBM, z. B. MGC oder QuantumX, zur Verfügung, die voll in die ZwickRoell-Umgebung unter testXpert III eingebunden sind.

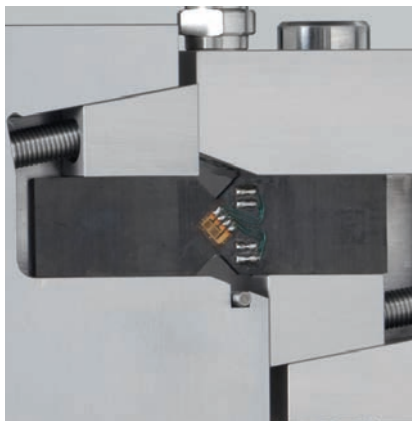


Bild 2: Dehnungsmessstreifen werden direkt auf dem Probekörper appliziert.



Bild 5: Axial messender Ansatz-Wegaufnehmer

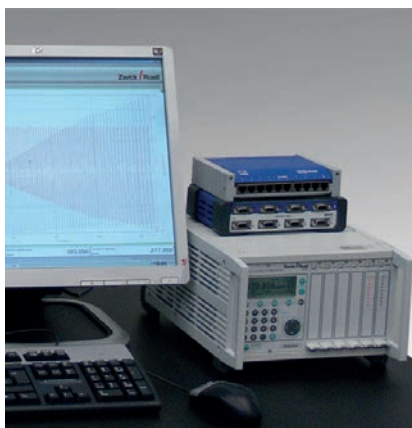


Bild 3: Messverstärker von HBM werden von testXpert III unterstützt.

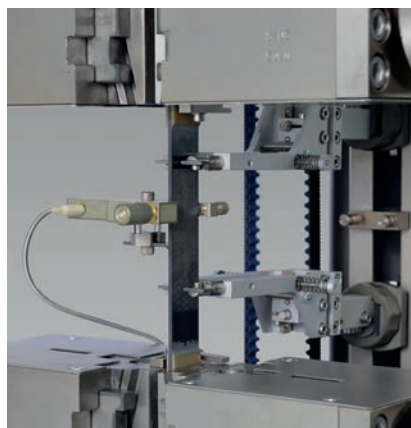


Bild 6: Breitenaufnehmer als clip-on Messsystem

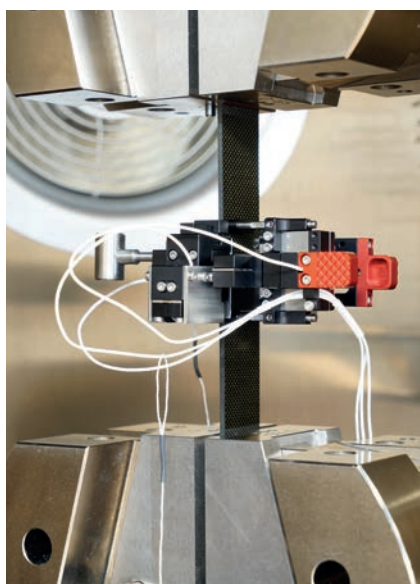


Bild 1: Der bi-axial messende clip-on Wegaufnehmer für hohe und niedrige Temperaturen



Bild 4: Direkter Anschluss von DMS an testControl II über eine fertig konfigurierte Vorschaltbox



Bild 1: Mechanisch messend, automatisch ansetzend: der makroXtens



Bild 2: makroXtens mit langen Fühlern für Zugversuche in Temperierkammer



Bild 4: makroXtens mit Breitenänderungsaufnehmer für Zug- oder In-Plane Shear (IPS) Versuche bei RT

## Automatische Längenänderungsmessung mit makroXtens

Automatische Extensometer mit mechanischem oder optischem Messprinzip vereinfachen die Vorbereitung und Durchführung der Prüfungen.

Der mechanisch messende makroXtens wird für viele Prüfungsarten eingesetzt. Mit seiner hohen Messwertauflösung von bis zu  $0,006 \mu\text{m}$  erfüllt er auch die erhöhten Zusatzanforderungen zur Modulmessung im Zugversuch nach ISO 527-1. Seine Kippschneiden schützen ihn sicher bei Messungen bis zum Probenbruch.



Bild 3: makroXtens mit Biegeföhler für 3- und 4-Punkt Biegeversuche

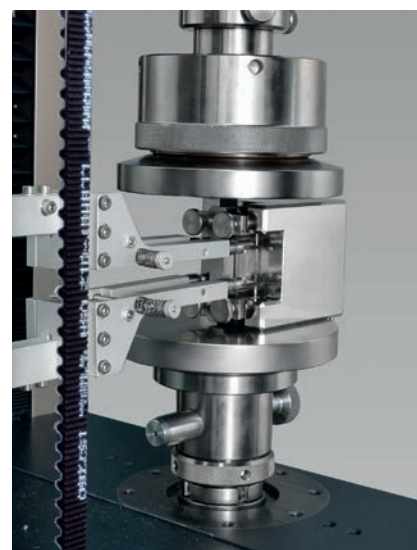


Bild 5: makroXtens zur Modulbestimmung im End-Loading Druckversuch

## Berührungslose Längenänderungsmessung mit videoXtens

ZwickRoell ist in der berührungslosen Messung führend. Während der videoXtens HP über eine Bildauswertung die Verschiebung von Messmarken verfolgt, reicht dem videoXtens biax HP für lichtundurchlässige Faserverbundwerkstoffe auch das natürliche Muster der Probenoberfläche um ohne zusätzliche Markierung die Längs- und Querdehnung zu ermitteln.

Der videoXtens HP und der videoXtens biax HP eignen sich für Zug-, In-Plane Shear (IPS) und Biegeversuche und können bei Raumtemperatur sowie über den gesamten Temperaturbereich der

Temperierkammer eingesetzt werden.

Beide Geräte erfüllen die strengen Anforderungen an die Dehnungsmessung zur Bestimmung des E-Moduls nach ISO 527-1 Annex C. Durch eine zusätzliche Kamera für die Querdehnungsmessung können mit dem videoXtens biax HP Materialkennwerte wie Poisson-Zahl und Schubmodul mit sehr hoher Genauigkeit bestimmt werden.

Durch die berührungslose Messung ist eine Beschädigung des videoXtens auch bei hochenergetischen Versagensmoden ausgeschlossen. Die Dehnungsmessung kann somit uneingeschränkt bis zum Probenbruch erfolgen.

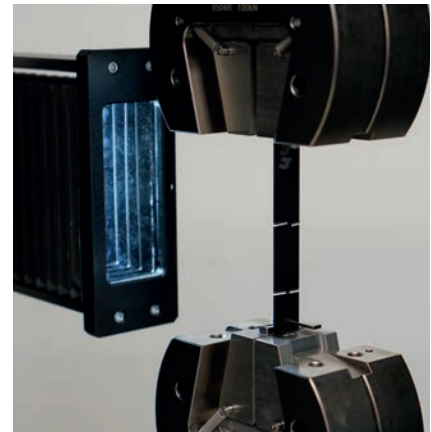


Bild 3: Berührungslose Dehnungsmessung mit videoXtens HP unter Verwendung von Messmarken

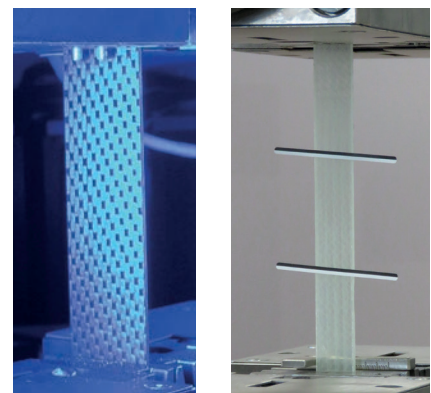
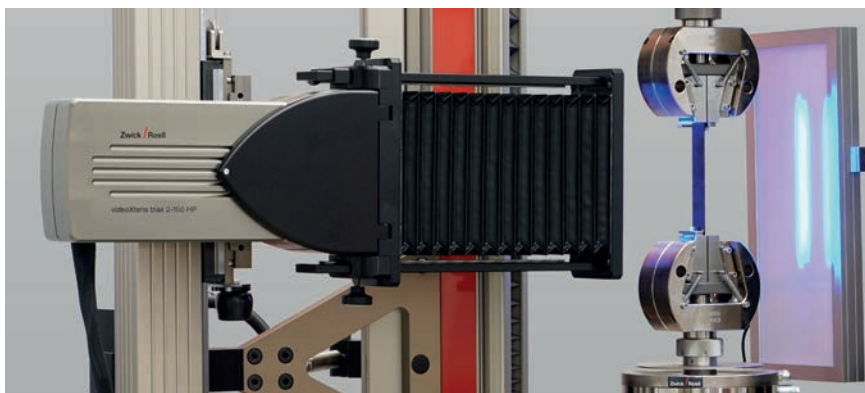


Bild 1: Berührungslose Dehnungsmessung mit videoXtens biax HP (links) unter Verwendung des natürlichen Musters der Probenoberfläche (Mitte) oder mit Hilfe von Messmarken (rechts)

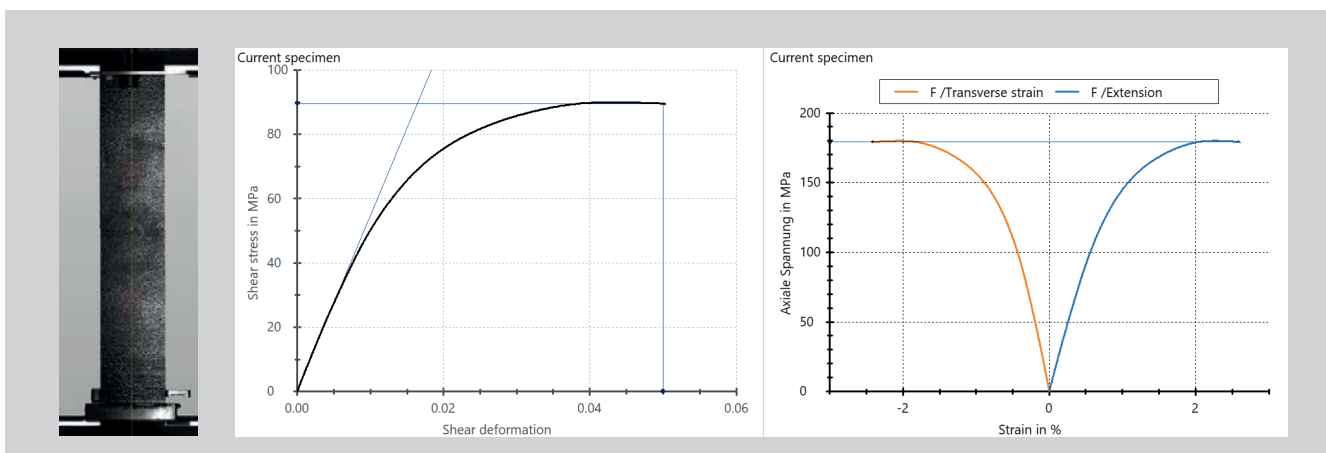


Bild 2: Markierungslose Dehnungsmessung mit videoXtens biax HP im In-Plane Shear (IPS) Versuch. Natürliches Oberflächenmuster der IPS-Probe aus unidirektionalem CFK (links), Schubspannungs-Schubdehnungs-Kurve (Mitte), ermittelte Längs- und Querdehnung (rechts).



## Exakte Ausrichtung der Prüfmaschine (Alignment)

Ausrichtungsfehler der Prüfmaschine führen zu einer nicht zentrischen Verformungseinleitung in den Probekörper. Besonders bei UD verstärkten Verbundwerkstoffen kann dies erheblichen Einfluss auf das Prüfergebn haben.

ZwickRoell Prüfmaschinen sind bereits präzise gefertigt und die Führungselemente erfüllen höchste Qualitätsanforderungen.

Damit sich die Probenhalter für auf schiefzugempfindliche Faserverbundwerkstoffe exakt und ohne Winkelfehler gegenüberstellen, ist eine Einstellung mit Hilfe einer „Alignment-Justageeinrichtung“ möglich.

Das Ergebnis dieser Justagearbeiten wird mit einem präzisen Schief-

Alignment-Fehler führen zu erhöhten Randfaserdehnungen und damit zu scheinbar geringeren Festigkeiten durch vorzeitiges Probenversagen.

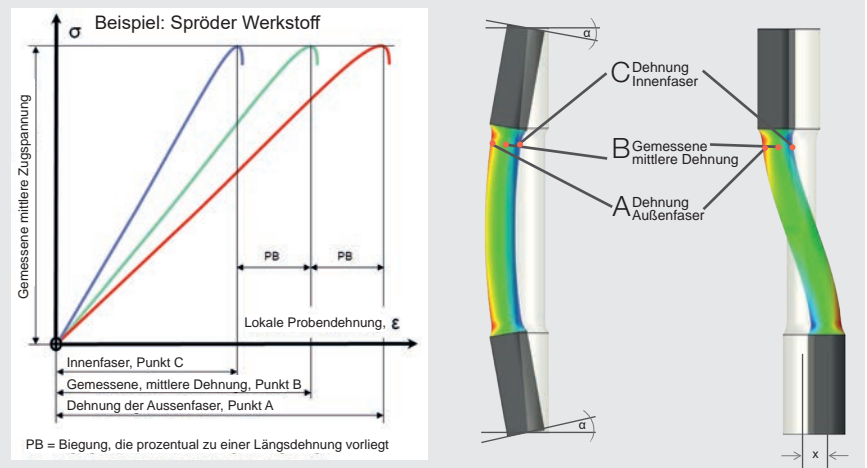


Bild 2: Typische Ausrichtungsfehler: Winkelfehler (links), konzentrischer Versatzfehler (rechts)

zug-Messnormal überprüft, das den Anforderungen der Normen ASTM E 1012, ISO 23788 und im Rahmen der Luftfahrtindustrie den Nadcap Audit Criteria AC7122 entspricht.

ZwickRoell bietet sowohl die erforderlichen Einstell- und Messmittel, als auch die Schiefzugmessung als Dienstleistung durch kompetentes und geschultes Servicepersonal an.



Bild 1: Ausrichtung der Prüfmaschine und Überprüfung des Schiefzugs mit einer Messeinrichtung nach Nadcap AC 7122 durch einen ZwickRoell Techniker.

## Dienstleistungen

### Labor für Material- und Bauteilprüfung

Wenn Unternehmen eine Prüfaufgabe haben aber noch keine passende Prüfmöglichkeit, dann steht ZwickRoell mit seinem Labor für Werkstoff- und Bauteilprüfung kompetent zur Seite.

Wir können auch bei Kapazitätsengpässen aushelfen oder Vergleichsprüfungen durchführen. Dabei spielt es keine Rolle, ob es sich um nur einen einzelnen Versuch handelt oder um komplette Prüfserien. Mit neuesten Technologien und modernen Prüfmaschinen sichern wir eine schnelle und normgerechte Prüfung zu. Selbstverständlich prüfen wir auch gemäß Werksnormen.

Unsere Labore für Werkstoff- und Bauteilprüfungen führen jegliche Prüfdienstleistungen auf allen statischen und dynamischen Material-Prüfmaschinen durch. Auch Härte- und Fließprüfungen sowie Prüfungen unter Torsion oder Temperatur sind möglich.

Und das alles ganz individuell für unterschiedlichste Bauteile und Werkstoffe, ob Metalle, Kunststoffe, Composites, Gummi und andere - wir haben Prüfspezialisten für alle Anwendungen.

Direkter Kontakt:  
Tel. +49 7305 10-11440  
auftragspruefung@zwickroell.com



Bild 1: Statische Prüfmaschinen und -geräte im ZwickRoell Prüflabor



Bild 2: Ein Teil der dynamischen Prüfmaschinen im ZwickRoell Labor für Material- und Bauteilprüfung



Bild 3: Prüflabor für Werkstoff- und Bauteilprüfung

## Anwendungstechnik

Für eine kompetente Beratung stehen technische Berater, erfahrene Anwendungstechniker und qualifizierten Ingenieure zur Verfügung. Dank Ihres fundierten Fachwissens unterstützen Sie bei der Planung und Umsetzung jeder Prüfanwendung.

In unseren anwendungstechnischen Laboren haben wir eine ständige Ausstellung von Material-Prüfmaschinen und Prüfgeräten inklusive umfangreichem Zubehör wie Probenhalter, Prüfwerkzeuge, Sensorik und Temperierkammern.

## Dienstleistungen im Überblick

Unsere Servicetechniker garantieren eine erfolgreiche und reibungslose Inbetriebnahme – von der Installation über die Erstkalibrierung bis hin zu allen Einweisungen.

## Kundensupport

Wann immer unsere Kunden darüber hinaus noch Unterstützung benötigen, hilft unsere Hotline bei Fragen zu Fehlfunktionen von Hard- und Software.

## Inspektion und Kalibrierung

Selbstverständlich führen wir auch die jährlich erforderliche Inspektion und Kalibrierung durch. Unsere Checklisten-geführte Inspektionen und Kalibrierungen sind die Grundlage für sichere Prüfergebnisse. Zudem verlängern sie die Lebensdauer der Prüfmaschinen und -geräte und sparen langfristig Betriebskosten.



Bild 2: Erfahrene Anwendungstechniker beraten über individuelle Prüfmöglichkeiten



Bild 1: ZwickRoell verfügt über ein DAKKS-akkreditiertes Kalibrierlabor und ist mit jährlich über 10.000 Kalibrierungen Deutschlands größtes Kalibrierlabor

## Software Services

Auch nach dem Kauf der Prüfsoftware stehen wir für weitere Software-Dienstleistungen jederzeit zur Verfügung. Egal ob Software zum Ausprobieren, Updates, kundenspezifische Anpassungen oder Schulungen.

## Schulungen in der ZwickRoell Academy

Unsere ZwickRoell Academy bietet ein breites und modulares Schulungsprogramm - egal ob bei ZwickRoell in Ulm, in Kundennähe oder direkt beim Kunden vor Ort. Dies reicht von Schulungen zu unserer Prüfsoftware, über Anwendungsschulungen und Workshops bis hin zu individuell auf Kundenwünsche abgestimmte Schulungen.

## Weitere Dienstleistungen

Wenn Material-Prüfmaschine an einen anderen Ort verlagert werden sollen, unterstützt ZwickRoell mit seinem Umzugs- und Verlagerungsservice bei der technischen und



Bild 2: Die ZwickRoell Academy bietet ein breites und interessantes Schulungsprogramm für Einsteiger und Fortgeschrittene an.

organisatorischen Planung, dem Transport sowie der kompletten Wiederinbetriebnahme. Auch die professionelle und dokumentierte Überprüfung der Schiefzugausrichtung der Prüfmaschinen durch standardisierte Messnormale

(sogenannte Alignment-Messung) ist Bestandteil unserer Portfolios. Darüber hinaus sind wir in der Lage, protokollierte Messsystemanalysen an Prüfmaschinen durchzuführen und entsprechende Fähigkeitskennwerte zu ermitteln.



Bild 1: ZwickRoell unterstützt kontinuierlich während des gesamten Lebenszyklus von Materialprüfsystemen

Inhalt	Normen	Prüfeinrichtung
<b>Prüfeinrichtungen und deren Kalibrierung</b>		
Zug-, Druck- und Biege-Prüfmaschinen	DIN 51220, Airbus QVA-Z11-01-00, Airbus QVA-Z11-01-03	
Schlag-Prüfmaschinen	ISO 13802, EN 10045-2, DIN 51230	
Kraftkalibrierung	ISO 7500-1, -2, ASTM E 4	
Längenänderungskalibrierung	ISO 9513, ISO 5893, ASTM E 83	
Schiefzug / Alignment	ASTM E 1012, ISO 23788, Nadcap AC 7122/Annex A	
<b>Umgebungsbedingungen, Konditionierung</b>		
Feuchte, Feuchtelagerung	ASTM D 5229, EN 2489, EN 2823	
Einfluss von Prüfflüssigkeiten	EN 2489	
Prüftemperaturen	EN 2744	
Konditionierung	EN 2743, EN 2823, SACMA SRM 11	
<b>Herstellung von Probekörpern</b>		
Herstellung von Prüfplatten	ISO 1268, ISO 9353, EN 2374, EN 2565, EN 12576, DIN 65071	
Mechanische Bearbeitung	ISO 2818	
Applizieren von Dehnungsmessstreifen	ASTM E 1237	
<b>Langfaserverstärkte Verbundwerkstoffe</b>		
Übersicht zur Prüfung von Verbundwerkstoffen	ASTM D 4762, ISO 20144, ASTM D 6856	
Terminologie für Verbundwerkstoffe	ASTM D 3878	
Zugversuche an Textilglas	ISO 3341, ISO 3342, ISO 3375	Material-Prüfmaschine
Zugversuche an Einzelfilamenten und Garnen	ISO 11566, ISO 10618	Material-Prüfmaschine
Zugversuche an Filamentsträngen	ASTM D 4018, ISO 9163	Material-Prüfmaschine
Zugversuche an pultrudierten Stangen	ASTM D 3916	Material-Prüfmaschine
Zugversuche an gewickelten Zylindern	ASTM D 5450	Material-Prüfmaschine
Zugversuche an Prepregs	DIN 65469, DIN 29971	Material-Prüfmaschine
Zugversuche an Laminaten	ISO 527-1, -4, -5, ASTM D 3039, ASTM D 7565, ASTM D 3552, EN 2561, EN 2597, DIN 65378, AITM 1-0007, Airbus QVA-Z10-46-34, Airbus QVA-Z10-46-36, AITM 1-0049, Boeing BSS 7320, SACMA SRM 4R-94, SACMA SRM 9-94, TR 88012 CRAG Methods 300-303	Material-Prüfmaschine
Zugversuch an gesteppten Verbindungen	AITM 1-0029	Material-Prüfmaschine
Eigenschaften in Dickenrichtung	ISO 20975-1, -2, ASTM D 7291	Material-Prüfmaschine
Querzugversuche an Laminaten	ASTM D 7291	Material-Prüfmaschine
Kerbzugversuche, OHT, FHT	ASTM D 5766, ASTM D 6742, AITM 1.0007, EN 6035, AITM 1-0050, SACMA SRM 5-94, NASA RP 1092 ST-3	Material-Prüfmaschine
Bestimmung der Poissonschen Zahl	ASTM E 132, ISO 527-4, -5	Material-Prüfmaschine
Druckversuche an pultrudierten Stangen	ISO 3597-3	Material-Prüfmaschine
Druckversuche an gewickelten Zylindern	ASTM D 5449	Material-Prüfmaschine
Druckversuch, Sandwich Biegebalkenverfahren	ASTM D 5467	Material-Prüfmaschine
Druckversuche, End loading	ISO 14126 Verfahren 2, ASTM D 695, prEN 2850 B, DIN 65375, JIS K 7076, Boeing BSS 7260 - type III and IV, SACMA SRM 1R-94, SACMA SRM 6-94, RAE-TR 88012 CRAG Methods 400 and 401	Material-Prüfmaschine
Druckversuche, Shear loading	ISO 14126 Verfahren 1, ASTM D 3410, prEN 2850 A, JIS K 7076, AITM 1-0008, Airbus QVA-Z10-46-38, RAE-TR 88012 CRAG Methods 400 and 401	Material-Prüfmaschine
Druckversuche Combined loading	ISO 14126 Verfahren 2, ASTM D 6641, ASTM C 1358, AITM 1-0008	Material-Prüfmaschine
Kerbdruckversuche, OHC, FHC	ISO 12817, ASTM D 6484, ASTM D 6742, prEN 6036, AITM 1-0008, Boeing BSS 7260 - Type 1, SACMA SRM 3R-94, NASA RP 1092 ST-4, RAE-TR 88012 CRAG Method 402, Northrop NAI-1504C	Material-Prüfmaschine
Restdruckfestigkeit nach Eindrückung	ASTM D 6264	Material-Prüfmaschine
Schädigungstoleranz, CAI - Restdruckfestigkeit nach Schlagbeanspruchung	ISO 18352, ASTM D 7136, ASTM D 7137, prEN 6038, AITM 1.0010, Boeing BSS 7260 - type II, CRAG method 403, SACMA SRM 2R-94, DIN 65561, NASA RP 1092 ST-1	Fallwerk & Material-Prüfmaschine

Inhalt	Normen	Prüfeinrichtung
Restzugfestigkeit und Restdruckfestigkeit nach Kantenschlag	AITM 1-0076	Fallwerk & Material-Prüfmaschine
Biegeversuche an Laminaten	ISO 14125, ASTM D 790, ASTM D 7264, EN 2562, EN 2746, TR 88012 CRAG Method 200, HSR/EPM-D-003-93	Material-Prüfmaschine
Biegeversuche an pultrudierten Profilen und Stangen	ISO 3597-2, ASTM D 4476, EN 13706-2	Material-Prüfmaschine
Biegeversuche an gekrümmten Abschnitten	ASTM D 6415, AITM 1-0069	Material-Prüfmaschine
Kurzbiegeversuche, ILSS	ISO 14130, ASTM D 2344, EN 2377, EN 2563, JIS K 7078, Airbus QVA-Z10-46-10, AITM 1-0047, SACMA SRM 8-88, CRAG method 100	Material-Prüfmaschine
Kurzbiegeversuch – Doppelbalkenmethode	ISO 19927	Material-Prüfmaschine
Kurzbiegeversuch an pultrudierten Stangen	ISO 3597-4, ASTM D 4475,	Material-Prüfmaschine
Scherung in Lagenebene mit dem $\pm 45^\circ$ Zugversuch, IPS	ISO 14129, ASTM D 3518, EN 6031, DIN 65466, JIS K 7079, AITM 1-0002, Airbus QVA-Z10-46-22, SACMA SRM 7-94, RAE TR 88012 CRAG Method 101	Material-Prüfmaschine
Scherung in Lagenebene, Plattenbiegeverfahren	ISO 15310	Material-Prüfmaschine
Scherung in Lagenebene, gewickelte Zylinder	ASTM D 5448	Material-Prüfmaschine
Scherung durch Überlappung	ASTM D 3846, ASTM D 3914, ASTM D 7616, ASTM D 5868, EN 2243-1, EN 2243-6, EN 6060, DIN 65148, AITM 1.0019, Airbus QVA-Z10-46-09, Airbus QVA-Z10-46-01, CRAG method 102	Material-Prüfmaschine
Rail Shear	ASTM D 4255	Material-Prüfmaschine
V-Notch Shear	ASTM D 5379, ASTM D 7078	Material-Prüfmaschine
Scherung in Lagenebene, Schubrahmenmethode	ISO 20337, DIN EN ISO 20337	Material-Prüfmaschine
Lochleibung, Schraub- und Bolzenverbindungen	ISO 12815, ASTM D 5961, ASTM D 7248, EN 6037, DIN 65562, AITM 1-0009, AITM 1-0051, AITM 1-0065, AITM1-0067, TR 88012 CRAG Method 700, SACMA SRM 9-89	Material-Prüfmaschine
Schrauben Auszugsversuch	ASTM D 7332, AITM 1-0066	Material-Prüfmaschine
Lochleibung, pultrudierte Profile	EN 13706-2	Material-Prüfmaschine
Energiefreisetzungrate $G_{IC}$ (DCB)	ISO 15024, ASTM D 5528, EN 6033, AITM 1-0005, AITM 1-0053, Boeing BSS 7273, Boeing BMS 8-276, ESIS TC 4, NASA method RP 1092 ST-5	Material-Prüfmaschine
Energiefreisetzungrate $G_{IIC}$ (ENF)	ASTM D 7905, prEN 6034, AITM 1-0006,	Material-Prüfmaschine
Energiefreisetzungrate $G_{IIC}$ (C-ELS)	ISO 15114, AITM 1-0068	Material-Prüfmaschine
Energiefreisetzungsrates, Mixed Mode $G_I/G_{II}$	ASTM D 6671	Material-Prüfmaschine
Dauerfestigkeit an Laminaten	ISO 13003, ASTM D 3479, AITM 1-0075, HSR/EPM-D-002-93	Servohydr. Prüfmaschine, LTM
Kerb-Dauerfestigkeit	ASTM D 7615	Servohydr. Prüfmaschine, LTM
Dauerfestigkeit an Bolzenverbindungen	ASTM D 6873, AITM 1-0074	Servohydr. Prüfmaschine, LTM
Mode I Rissbildung durch Ermüdung	ASTM D 6115	Servohydr. Prüfmaschine, LTM
Härteprüfung	ASTM D 2583, EN 59	Barcol-Härteprüfgerät
Wärmeformbeständigkeit HDT	ISO 75-1, -3, ASTM D 648	HDT-Prüfgerät
Zeitstandversuche, Creep	ASTM D 7737	Zeitstand-Prüfmaschine
Schlagzähigkeit, Izod	ASTM D 256, ISO 180	Pendelschlagwerk
Schlagzähigkeit, Charpy	ISO 179-1, -2	Pendelschlagwerk
<b>Schicht-, Kern- und Wabenverbundwerkstoffe</b>		
Zugversuch senkrecht zur Deckschichtebene	ASTM C 297, ASTM D 1623, EN 2243-4, DIN 53292, AITM 1-0025	Material-Prüfmaschine
Poissonsche Zahl an Wabenverbunden	ASTM D 6790	Material-Prüfmaschine
Knotenklebkraft von Wabenkernen	ASTM C 363, AITM 1-0061, Airbus QV-Z10-46-45	Material-Prüfmaschine
Querkontraktion von Wabenkernen	AITM 1-0062, Airbus QVA-Z10-46-46	Material-Prüfmaschine
Druckversuch senkrecht zur Deckschichtebene	ASTM C 365, ISO 844, DIN 53291	Material-Prüfmaschine
Druckfestigkeit und Modul von Füllmassen	Airbus QVA-Z10-46-17	Material-Prüfmaschine
Energieaufnahme von Wabenverbunden	ASTM D 7336	Material-Prüfmaschine
Compression After Impact, CAI, an Deckschichten	AITM 1-0077	Material-Prüfmaschine

Inhalt	Normen	Prüfeinrichtung
Biegeversuche	ASTM C 393, ASTM D 6416, ASTM D 7249, ASTM D 7956, DIN 53293, AITM 1-0018; Airbus QVA-Z10-46-31	Material-Prüfmaschine
Schubversuche	ASTM 273, ASTM D 8067, DIN 53294, AITM 1-0030, AITM 1-0046, AITM 1-0056, Airbus QVA-Z10-46-06	Material-Prüfmaschine
Biege-Schubversuch	ASTM D 7250	
Trommelschälversuch	ASTM D 1781, DIN 53295, AITM 1-0080, Airbus QVA-Z10-46-05	Material-Prüfmaschine
Ciba-Schälversuch	Airbus QVA-Z10-46-02	Material-Prüfmaschine
90° Abzugsversuche ( T-Peel)	ASTM D 1876	Material-Prüfmaschine
Floating Roller Peel (Bell)	ASTM D 3167, ISO 4578, Airbus QVA-Z10-46-03	Material-Prüfmaschine
Zeitstand Biegeversuch	ASTM D 480	Zeitstand-Prüfmaschine
Ermüdungsverhalten bei Scherbeanspruchung	ASTM C 394	Servohydr. Prüfmaschine, LTM
Schädigungswiderstand	ASTM D 7766, AITM 1-0057	Fallwerk

# Zwick / Roell

## ZwickRoell

August-Nagel-Str. 11

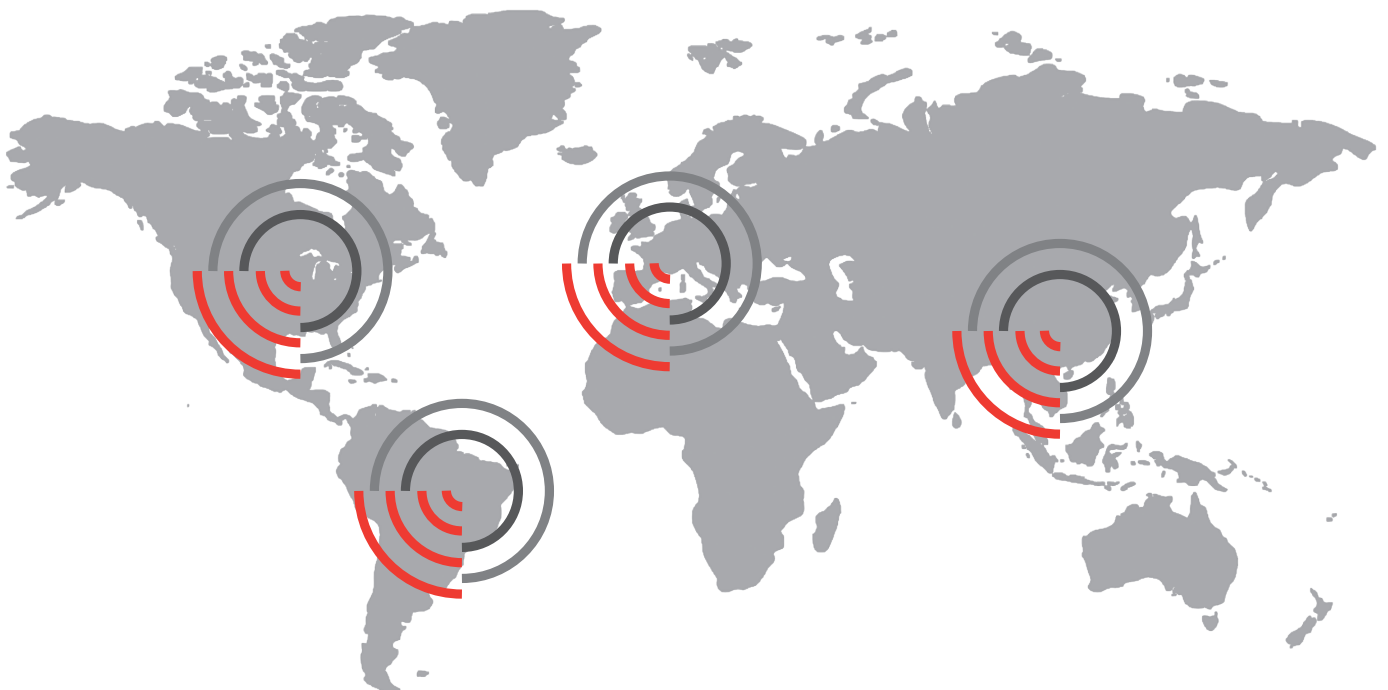
D-89079 Ulm

Phone +49 7305 10 - 0

Fax +49 7305 10 - 11200

info@zwickroell.com

www.zwickroell.com



**Find your local company – worldwide**  
[www.zwickroell.com](http://www.zwickroell.com)