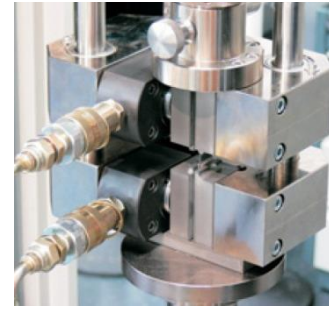


Prüfen von langfaserverstärkten Verbundwerkstoffen

Helmut Fahrenholz
testXpo 2017



Anwendungen von Faserverbundwerkstoffen

Die Lieferkette

Prüfmethoden

Prüfmaschinen und -geräte

Prüftechnik von Zwick wird seit vielen Jahren erfolgreich in allen Haupt-Anwendungen der Verbundwerkstoffe eingesetzt.



Raumfahrt



Fahrzeugbau



Medizintechnik



Freizeit



Luftfahrt



Sport



Bauwesen



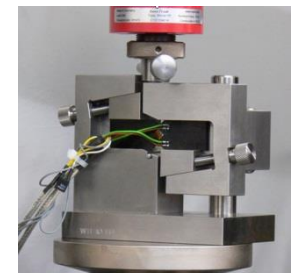
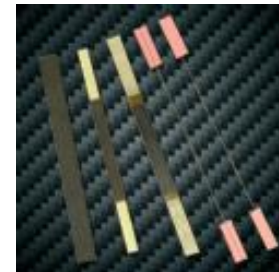
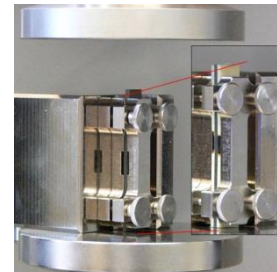
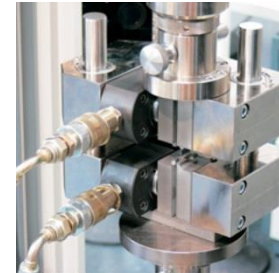
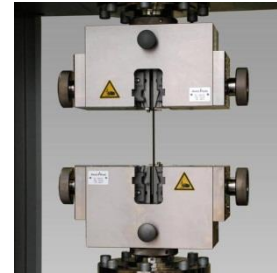
Energie

Anwendungen von
Faserverbundwerkstoffen

Die Lieferkette

Prüfmethoden

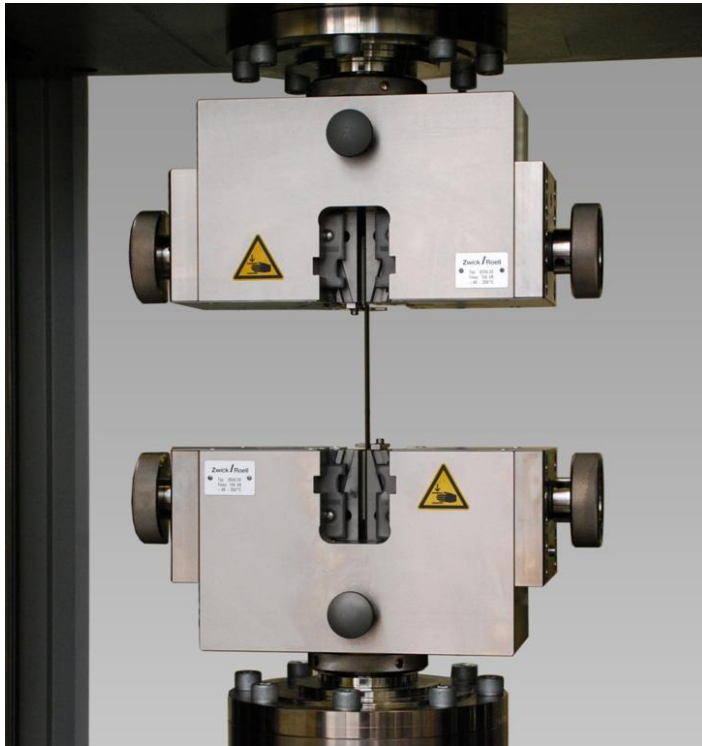
Prüfmaschinen und -geräte



Zwick deckt die gesamte mechanische Prüfung ab und somit mehr als 150 Normen zur Verbundwerkstoffprüfung.

- **Zugversuch**
- Kerbzugversuche, gekerbt und gebolzt
- Druckfestigkeit nach Schlagbeanspr.
- Interlaminare Scherfestigkeit
- Scherversuche mit Überlappung
- Schienen-Scherversuch
- Lochleibung / Tragfähigkeit
- Bruchmechanik
- Schlagversuche
- Härte
- Zeitstand
- Druckversuche
- Kerbdruckfestigkeit, gekerbt und gebolzt
- Biegeversuche
- Scherversuche in Lagenebene
- V-Kerben Scherversuch (Iosipescu)
- Scherversuche an ebenen Proben
- Befestigungselemente
- Lebensdauerprüfung
- HDT

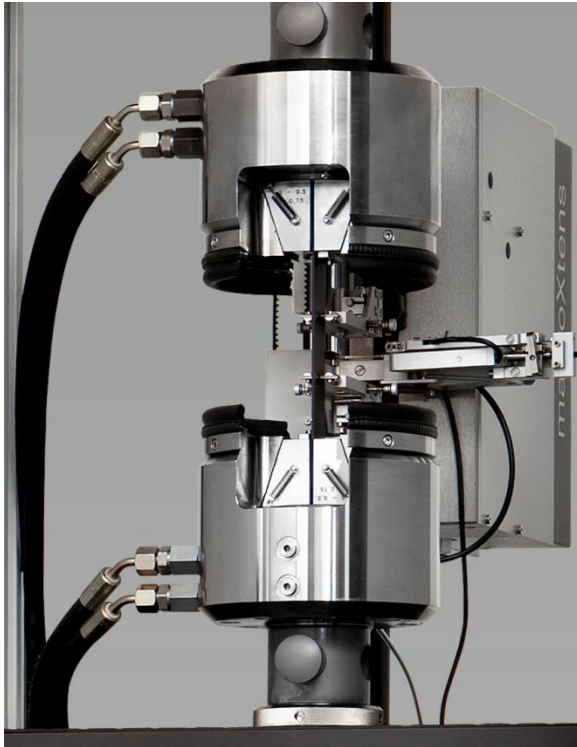
Unidirektionale Laminare werden parallel zur Faserrichtung (0°) oder quer zur Faserrichtung (90°) geprüft.



- Die Proben werden üblicherweise mit Aufleimern versehen.
- Exakte axiale Probenausrichtung ist wichtig und kann mit einem mit 3 oder mehr DMS bestückten Probekörper überprüft werden.
- Dehnungsmessmethoden bei Zwick:
 - Dehnungsmesstreifen (DMS)
 - einseitig messende mechanische Wegaufnehmer
 - doppelseitig messende mechanische Wegaufnehmer
 - optische Wegaufnehmer (videoXtens)
- Der Zugmodul wird querschnittsbezogen als Tangenten- (ASTM, ISO) oder Sekantenmodul (EN) berechnet.
- Üblicherweise wird die Poisson'sche Zahl ermittelt.

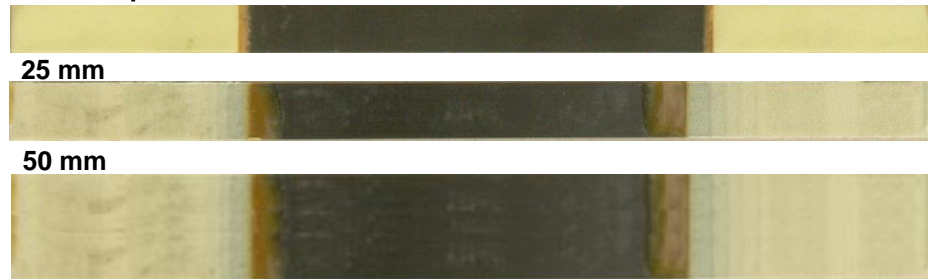
ISO 527-4	ISO 4899	EN 2561	EN 2747	ASTM D 3039	ASTM D 5083	DIN 65378	Airbus AITM 1.0007	Boeing BSS 7320	SACMA SRM 4R-94	TR 88012 CRAG meth. 300-303
ISO 527-5	ISO 11566	EN 2597	prEN 6035	ASTM D 3916	ASTM D 7205	DIN 65469	DIN 29971		SACMA SRM 9 - 94	

Multidirektionale Laminare werden üblicherweise mit breiteren Probekörpern geprüft.



Probekörperdimensionen nach ISO 527	Multidirektional	Unidirektional
Gesamtlänge, L_3	250 mm	250 mm
Dicke, h	2 bis 10 mm	1 oder 2 mm
Breite, b_1	25 oder 50 mm	15 oder 25 mm
Aufleimerabstand	150 mm	150 mm
Probenhalterabstand	136 or 150	136 mm
Bevorzugte Messlänge	50 mm	50 mm

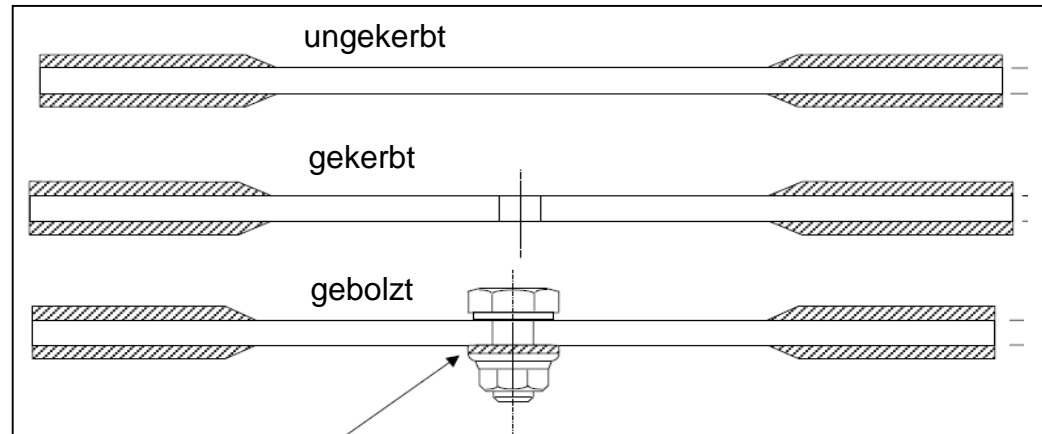
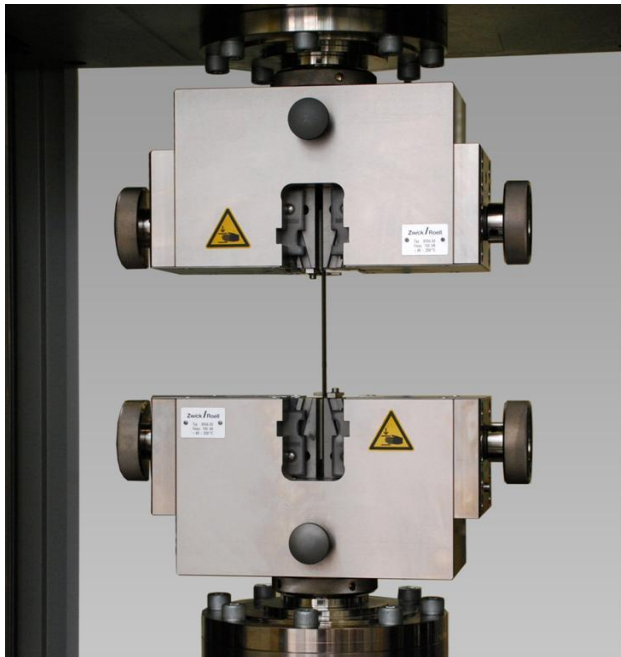
Probekörper 15 mm breit



Hydraulikspannkopf für RT und in Temperierkammer

ISO 527-4	ISO 4899	EN 2561	EN 2747	ASTM D 3039	ASTM D 5083	DIN 65378	Airbus AITM 1.0007	Boeing BSS 7320	SACMA SRM 4R-94	TR 88012 CRAG meth. 300-303
ISO 527-5	ISO 11566	EN 2597	prEN 6035	ASTM D 3916	ASTM D 7205	DIN 65469	DIN 29971		SACMA SRM 9 - 94	

Der Einfluss von Bohrungen und Schrauben auf Faserverbunde wird durch den Vergleich zwischen ungekerbten, gekerbten und gebolzten Probekörpern charakterisiert. Das Verhältnis ist der Kerbfaktor.



Ungekerbter, gekerbter und gebolzter Probekörper; nach AITM Norm 32 mm breit, mit einer Einspannlänge von 180 mm. Als "Kerbe" dient ein gebohrtes Loch

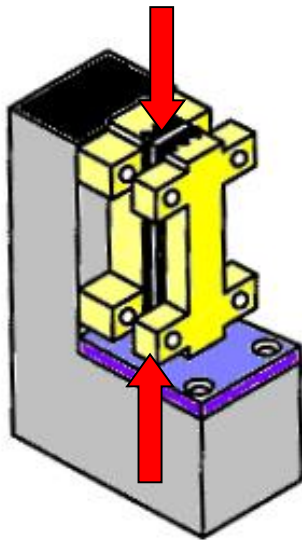
Spannungsberechnungen basieren auf dem Nominalquerschnitt ohne Berücksichtigung der Reduzierung durch das Loch.

ASTM D 5766 (OHT)	ASTM D 6742 (FHT)	Airbus AITM 1.0007	SACMA SRM 5-94	NASA RP 1092 ST-3			
------------------------------	------------------------------	-------------------------------	---------------------------	------------------------------	--	--	--

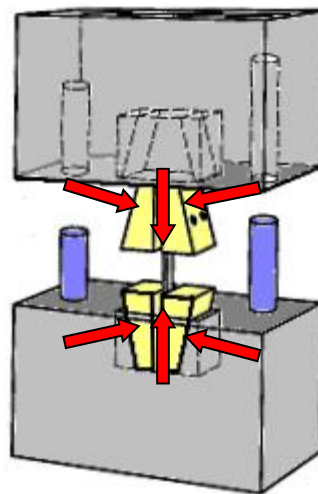
Zwick deckt die gesamte mechanische Prüfung ab und somit mehr als 150 Normen zur Verbundwerkstoffprüfung.

- Zugversuch
- Kerbzugversuche, gekerbt und gebolzt
- Druckfestigkeit nach Schlagbeanspr.
- Interlaminare Scherfestigkeit
- Scherversuche mit Überlappung
- Schienen-Scherversuch
- Lochleibung
- Bruchmechanik
- Schlagversuche
- Härte
- Zeitstand
- **Druckversuche**
- Kerbdruckfestigkeit, gekerbt und gebolzt
- Biegeversuche
- Scherversuche in Lagenebene
- V-Kerben Scherversuch (Iosipescu)
- Scherversuche an ebenen Proben
- Befestigungselemente
- Lebensdauerprüfung
- HDT

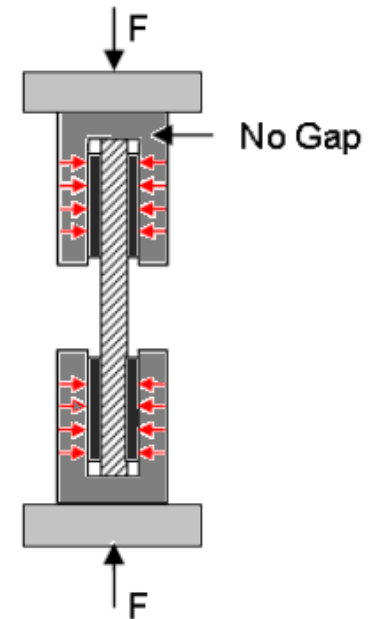
Im Druckversuch muss Biegung und Knickung vermieden werden. Normen nennen verschiedene Druckwerkzeuge, die nach der Kraft-einleitung in "End-loading" und "Shear-loading" eingeteilt werden.



End Loading Aufbau



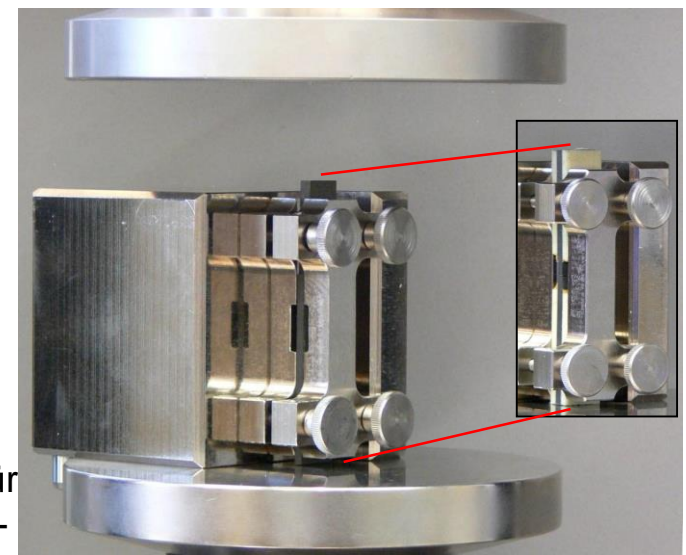
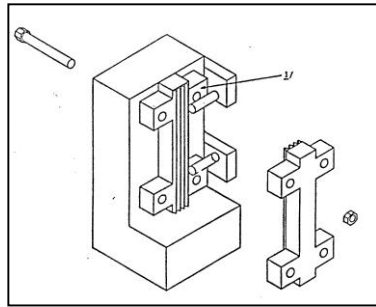
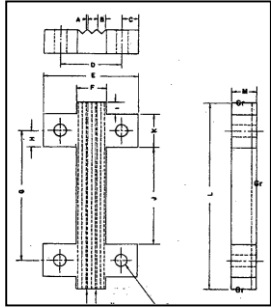
Shear Loading Aufbau



Combined Loading Aufbau

<i>ISO 14126</i>	<i>ISO 604</i>	<i>ASTM D 3410</i>	<i>ASTM D 695</i>	<i>ASTM D 6641</i>	<i>DIN 65375</i>	<i>JIS K 7076</i>
<i>prEN 2850</i>	<i>AITM 1-0008</i>	<i>Boeing BSS 7260 - type III and IV</i>	<i>SACMA SRM 1R-94</i>	<i>RAE-TR 88012 CRAG Method 400</i>	<i>RAE-TR 88012 CRAG Method 401</i>	

„End-loading“ - Druckeinrichtungen sind Varianten der ASTM D 695 Einrichtung, die zunächst für die Kunststoffprüfung entwickelt wurde.



ASTM D 695 Einrichtung für Kunststoffe (nicht für Faserverbunde eingesetzt)

Die "Boeing modifizierte ASTM D 695" Einrichtung verfügt über einen Ständer zur exakten Ausrichtung und für vereinfachtes Handling.

SACMA brachte Aussparungen in dieses Werkzeug für die DMS zur Modulbestimmung ein.

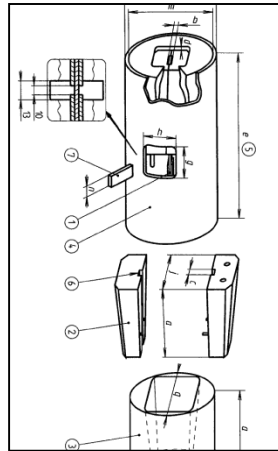
Die geführte Druckeinrichtung für Modulmessung (Mitte) und Festigkeitsmessung (rechts) ist immer exakt zur Maschine zentriert.

<i>ISO 14126 Meth. 2</i>	<i>ISO 604</i>	<i>ASTM D 3410</i>	<i>ASTM D 695</i>	<i>ASTM D 6641</i>	<i>DIN 65375</i>	<i>JIS K 7076</i>
<i>prEN 2850 Typ B</i>	<i>AITM 1-0008</i>	<i>Boeing BSS 7260 - type III and IV</i>	<i>SACMA SRM 1R-94</i>	<i>RAE-TR 88012 CRAG Method 400</i>	<i>RAE-TR 88012 CRAG Method 401</i>	

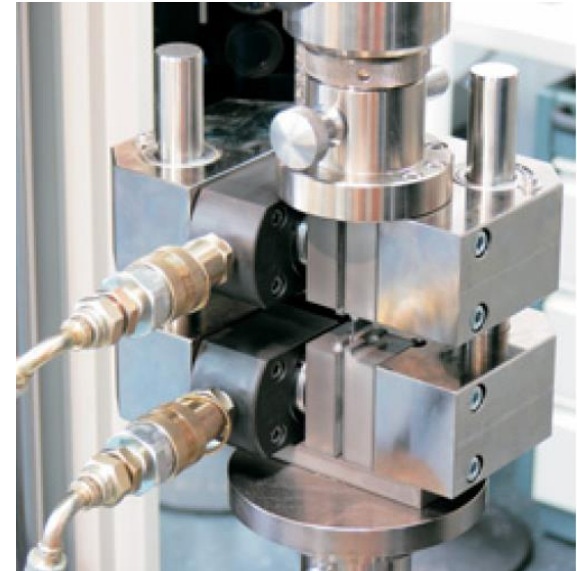
„Shear loading“ Einrichtungen nutzen bekannte Spannprinzipien. Von der ersten einfachen Celanese-Einrichtung bis zur heutigen HCCF sind viele Verbesserungen eingebracht worden.



Die alte ASTM D 3410 Einrichtung war noch mit konischen Spannkörpern ausgestattet und empfindlich auf die Probendicke und Torsion.



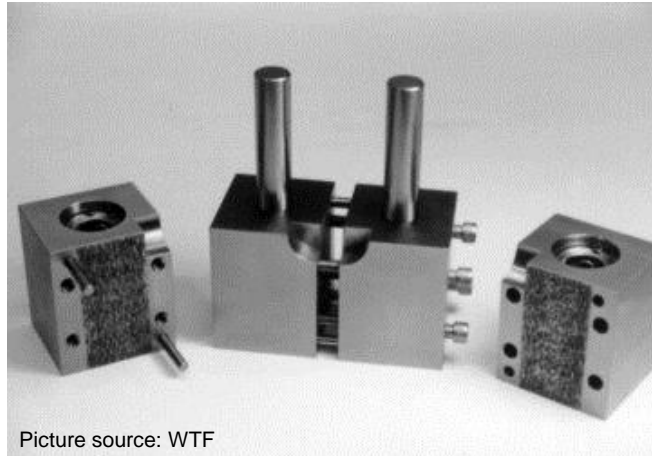
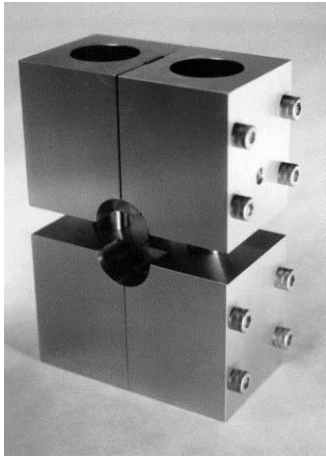
DIN 65375 und prEN 2850 bieten modifizierte Celanese - Einrichtungen an, die mit Flachkeilen das Problem der Probendicke lösen (links). Das IITRI entwickelte eine ähnlich wirkende Einrichtung, die auch das Torsionsproblem löste (rechts)



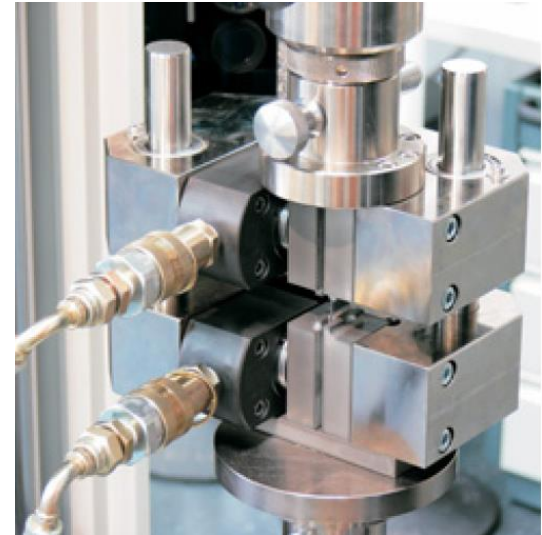
Die parallel spannende HCCF entspricht der IITRI Funktionalität, aber mit wesentlich verbessertem Handling.

ISO 14126 verfahren 1	ISO 604	ASTM D 3410	ASTM D 695	ASTM D 6641	DIN 65375	JIS K 7076
prEN 2850 Typ A	AITM 1-0008	Boeing BSS 7260 - type III and IV	SACMA SRM 1R-94	RAE-TR 88012 CRAG Method 400	RAE-TR 88012 CRAG Method 401	

„Kombiniertes Shear und End loading“ ist in der ASTM D 6641 beschrieben. Die HCCF Einrichtung erlaubt die komfortable und genaue Einstellung des Shear-loading Anteils.



Picture source: WTF

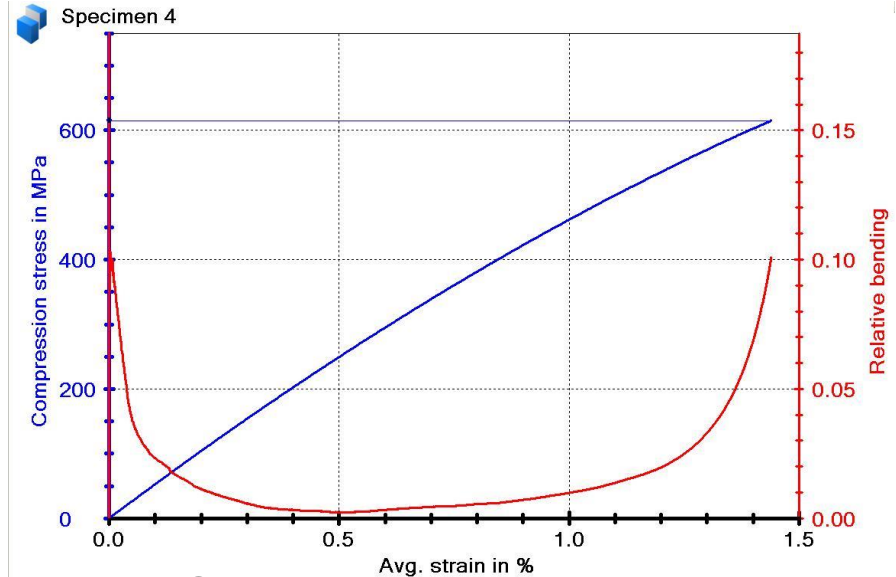


In den zusammengesetzten Werkzeughälften wird die wirkende Spannkraft mit einem Drehmomentschlüssel eingestellt. Die oberen und unteren Werkzeughälften werden an steifen Säulen geführt. Die Einspannlänge wird durch die Probekörperlänge eingestellt. Das Handling und die Spannkrafteinstellung bleibt aber sehr aufwendig.

Mit der HCCF wird bei passender Probenlänge eine kombinierte Einspannung bei stark verbessertem Handling erreicht.

<i>ISO 14126 meth. 2</i>	<i>ISO 604</i>	<i>ASTM D 3410</i>	<i>ASTM D 695</i>	<i>ASTM D 6641</i>	<i>DIN 65375</i>	<i>JIS K 7076</i>
<i>prEN 2850</i>	<i>AITM 1-0008</i>	<i>Boeing BSS 7260 - type III and IV</i>	<i>SACMA SRM 1R-94</i>	<i>RAE-TR 88012 CRAG Method 400</i>	<i>RAE-TR 88012 CRAG Method 401</i>	

Die Dehnungsmessung wird beidseitig durchgeführt um Biegung und Knickung zu überwachen. Ein clip-on Wegaufnehmer oder DMS werden dazu eingesetzt, *testXpert® II* zeigt direkt das Ergebnis.



Ein spezieller beidseitig messender clip-on Wegaufnehmer für Messlängen ab 12,5 mm reduziert den Vorbereitungsaufwand.

Druck-Proben Typ 1 nach ISO 14126 oder A nach prEN2850. Airbus-Proben sind breiter

testXpert® II überwacht Biegung, die in Form von unterschiedlicher Dehnung auf den Probenseiten sichtbar wird. Üblicherweise liegen die Biegegrenzen für die Validierung bei 0,05 oder 0,1, je nach Norm.

ISO 14126	ISO 604	ASTM D 3410	ASTM D 695	ASTM D 6641	DIN 65375	JIS K 7076
prEN 2850	AITM 1-0008	Boeing BSS 7260 - type III and IV	SACMA SRM 1R-94	RAE-TR 88012 CRAG Method 400	RAE-TR 88012 CRAG Method 401	

Zwick deckt die gesamte mechanische Prüfung ab und somit mehr als 150 Normen zur Verbundwerkstoffprüfung.

- Zugversuch
- Kerbzugversuche, gekerbt und gebolzt
- **Druckfestigkeit nach Schlagbeanspr.**
- Interlaminare Scherfestigkeit
- Scherversuche mit Überlappung
- Schienen-Scherversuch
- Lochleibung
- Bruchmechanik
- Schlagversuche
- Härte
- Zeitstand
- Druckversuche
- Kerbdruckfestigkeit, gekerbt und gebolzt
- Biegeversuche
- Scherversuche in Lagenebene
- V-Kerben Scherversuch (Iosipescu)
- Scherversuche an ebenen Proben
- Befestigungselemente
- Lebensdauerprüfung
- HDT

Alle Einrichtungen zur Bestimmung des Schädigungsverhaltens von Faserverbunden im CAI-Versuch stehen bei Zwick zur Verfügung.



Im instrumentierten Fallwerk HIT 230F wird der Probekörper unter festgelegten Bedingungen vorgeschädigt.

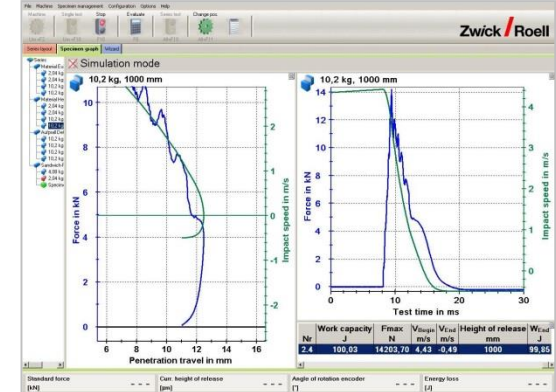
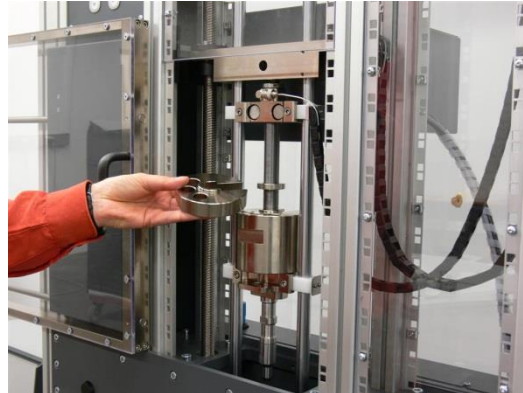
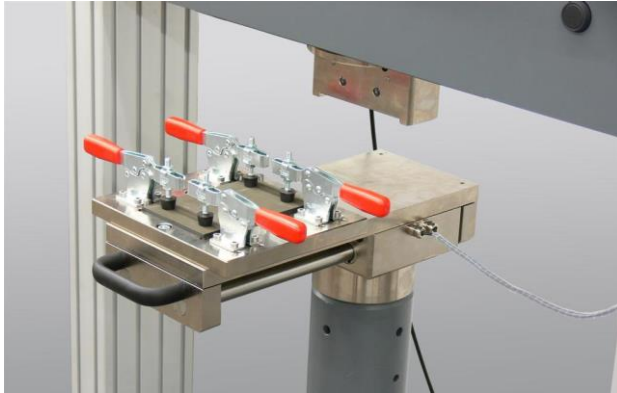


Eine Serie sorgfältig vorgeschädigter Probekörper wird danach in einer speziellen Druckeinrichtung geprüft und so der Festigkeitsverlust festgestellt.

ISO 18352	prEN 6038	ASTM D 7137 ASTM D 7136	DIN 65561	AITM 1.0010	Boeing BSS 7260 - type II	SACMA SRM 2R-94	CRAG method 403	NASA RP 1092 ST-1
-----------	-----------	----------------------------	-----------	-------------	---------------------------	-----------------	-----------------	-------------------

Compression after impact

Die Vorschädigung mit dem instrumentierten Fallwerk HIT 230 F ermöglicht eine exakte Prozessüberwachung, sowie einfache und sichere Bedienung.



Die Proben werden auf einem Ausschnitt von: 76,2 x 127mm (ASTM, Boeing, SACMA, DIN), 75 x 125 mm (EN, Airbus) oder 140 mm Durchmesser (CRAG) gespannt

Nur die Airbus AITM erfordert Spannen innerhalb des Ausschnitts.

Zur Bedienungvereinfachung werden die Probekörper außerhalb des Fallwerks aufgespannt und dann in die Prüfposition geschoben.

Verschiedene Normen erfordern unterschiedliche Fallmassen zwischen 1kg und 6,8 kg um die vorgegebene Schlagenergie innerhalb eines genormten Geschwindigkeitsbereichs zu erreichen. Mit einem modularen Gewichtssatz können die Gewichte leicht gewechselt werden..

Der Aufschlagkörper ist halbkugelförmig mit einem Durchmesser von (16 ± 0.5) mm.

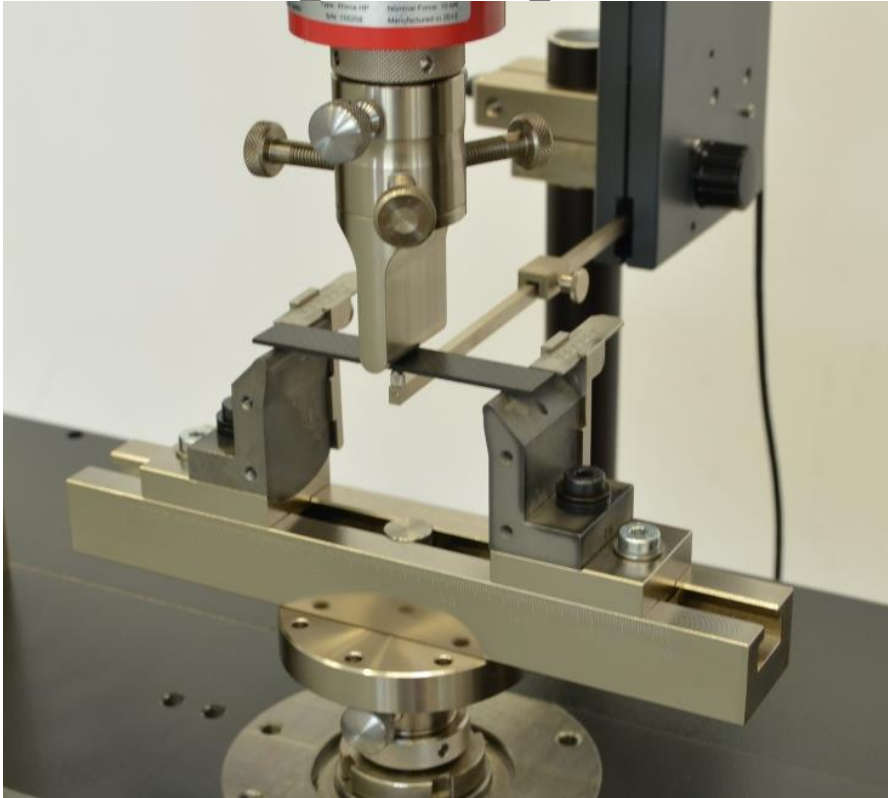
testXpert III führt durch den Versuchsablauf und zeigt direkt die Kraft-Eindringkurve, sowie die beim Schlag verbrauchte Arbeit.

ISO 18352	prEN 6038	ASTM D 7137 ASTM D 7136	DIN 65561	AITM 1.0010	Boeing BSS 7260 - type II	SACMA SRM 2R-94	CRAG method 403	NASA RP 1092 ST-1
-----------	-----------	----------------------------	-----------	-------------	---------------------------	-----------------	-----------------	-------------------

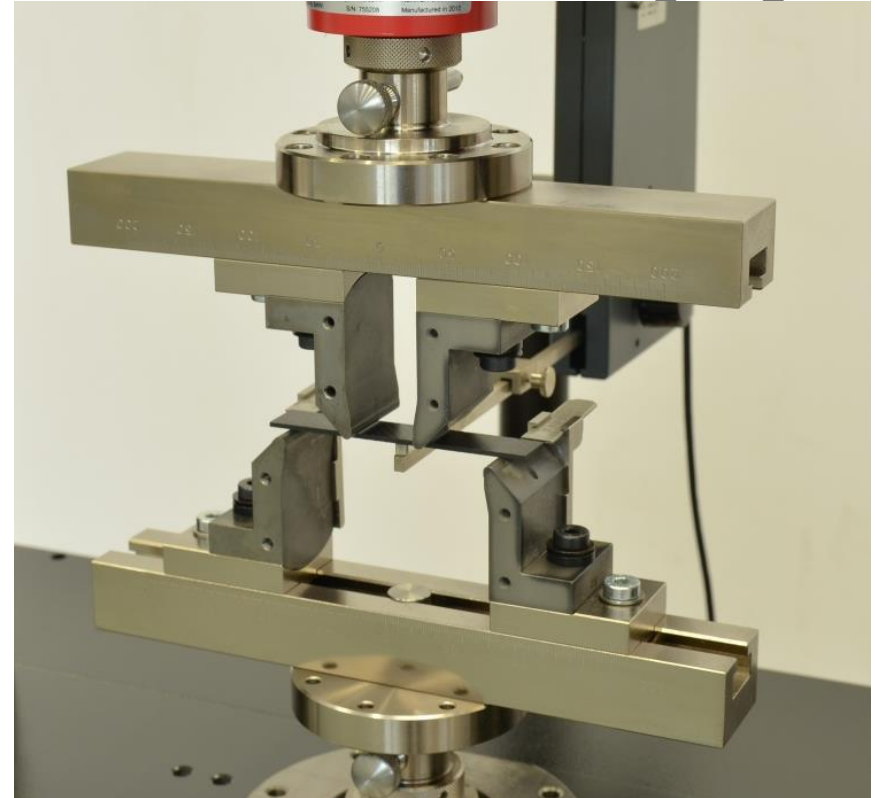
Zwick deckt die gesamte mechanische Prüfung ab und somit mehr als 150 Normen zur Verbundwerkstoffprüfung.

- Zugversuch
- Kerbzugversuche, gekerbt und gebolzt
- Druckfestigkeit nach Schlagbeanspr.
- Interlaminare Scherfestigkeit
- Scherversuche mit Überlappung
- Schienen-Scherversuch
- Lochleibung
- Bruchmechanik
- Schlagversuche
- Härte
- Zeitstand
- Druckversuche
- Kerbdruckfestigkeit, gekerbt und gebolzt
- **Biegeversuche**
- Scherversuche in Lagenebene
- V-Kerben Scherversuch (Iosipescu)
- Scherversuche an ebenen Proben
- Befestigungselemente
- Lebensdauerprüfung
- HDT

Für 3-Punkt und 4-Punkt Biegeversuche stehen hochwertige Einrichtungen, Biegeaufnehmer und Software zur Verfügung.



3-Punkt Biegeversuch



4-Punkt Biegeversuch

<i>ISO 14125</i>	<i>EN 2562</i>	<i>EN 2746</i>	<i>ASTM D 7264</i>	<i>ASTM D 790</i>	<i>ASTM D 4476</i>	<i>ASTM D 6272</i>	<i>CRAG Method 200</i>	<i>HSR/EPM-D- 003-93</i>
------------------	----------------	----------------	--------------------	-------------------	--------------------	--------------------	----------------------------	------------------------------

Zwick deckt die gesamte mechanische Prüfung ab und somit mehr als 150 Normen zur Verbundwerkstoffprüfung.

- Zugversuch
- Kerbzugversuche, gekerbt und gebolzt
- Druckfestigkeit nach Schlagbeanspr.
- **Interlaminare Scherfestigkeit**
- **Scherversuche mit Überlappung**
- **Schienen-Scherversuch**
- Lochleibung
- Bruchmechanik
- Schlagversuche
- Härte
- Zeitstand
- Druckversuche
- Kerbdruckfestigkeit, gekerbt und gebolzt
- Biegeversuche
- **Scherversuche in Lagenebene**
- **V-Kerben Scherversuch (Iosipescu)**
- **Scherversuche an ebenen Proben**
- Befestigungselemente
- Lebensdauerprüfung
- HDT

ILSS Versuche können mit einer ausreichend steifen 3-Punkt Biegeeinrichtung durchgeführt werden.



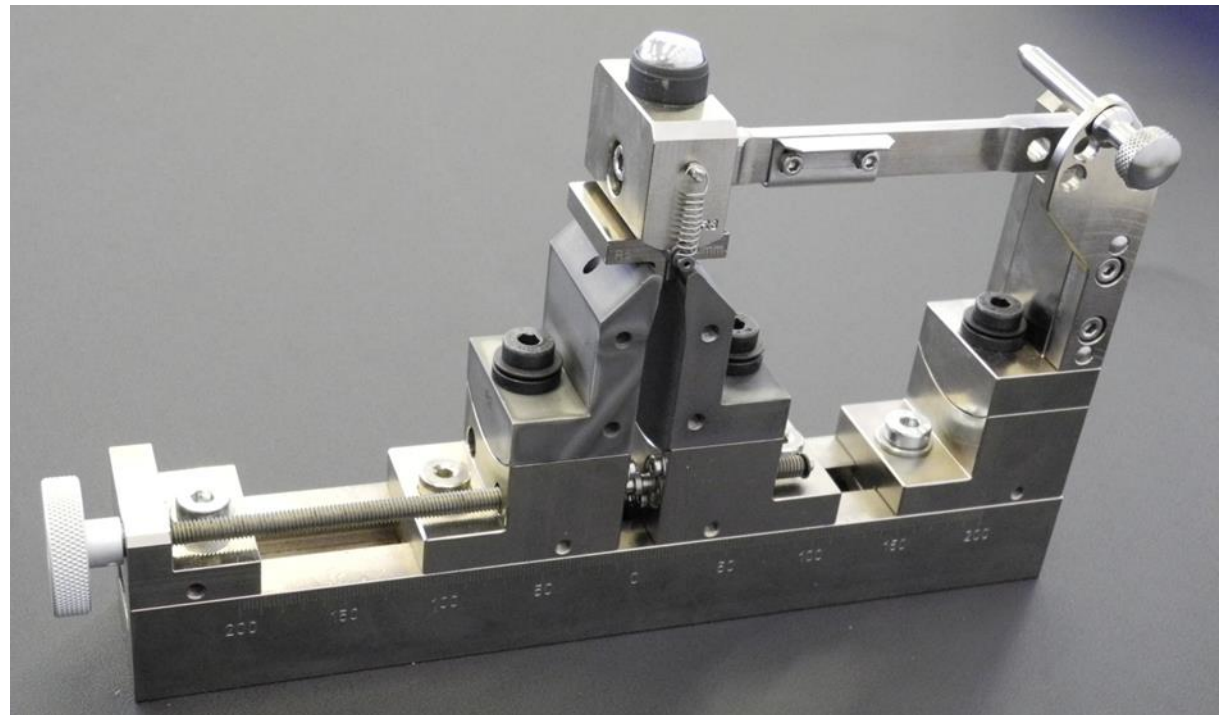
Zusammenfassung:

- Das Verfahren liefert nur scheinbare Schereigenschaften, da in der Nähe der Biegefinne Spannungsspitzen auftreten.
- Das Auflager-Dicke-Verhältnis ist sehr kurz. Ein Auflagerabstand von 10 mm ist typisch.
- Keine Durchbiegungsmessung erforderlich.
- Der Auflagerabstand muss sehr exakt eingestellt werden (± 0.3 mm)
- Sehr genaue Mittigkeit des Stempels erforderlich
- Die Kräfte sind erheblich höher als im 3-Punkt Biegeversuch.

ISO 14130	EN 2377	EN 2563	ASTM D 2344	ASTM D 4475	JIS K 7078	SACMA SRM 8-88	CRAG method 100
-----------	---------	---------	-------------	-------------	------------	-------------------	--------------------

Die neue Kurzbiegevorrichtung erlaubt die komfortable Einstellung des Auflagerabstands bei variablen Laminatdicken.

- Der Auflagerabstand in mit Faktor 4 oder 5 zur Laminatdicke einzustellen.
- Der Auflagerabstand wird dabei einmal pro Prüfserie berechnet und eingestellt.
- Vorrichtung erlaubt einfache zentrische Einstellung des korrekten Auflagerabstands.
- Jedes Auflager kann einzeln justiert werden.
- Keine wiederholten Einstellarbeiten nach Änderung des Auflagerabstands.



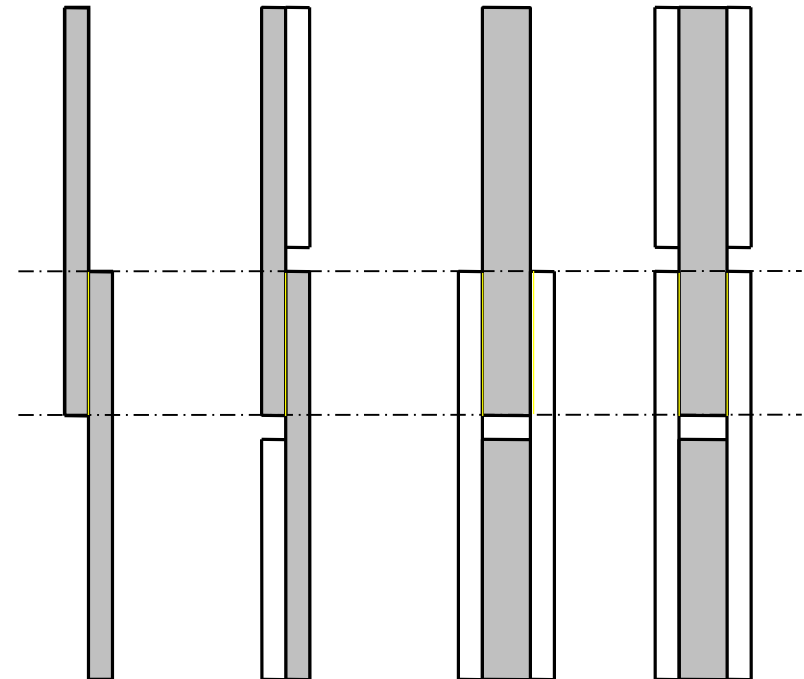
<i>ISO 14130</i>	<i>EN 2377</i>	<i>EN 2563</i>	<i>ASTM D 2344</i>	<i>ASTM D 4475</i>	<i>JIS K 7078</i>	<i>SACMA SRM 8-88</i>	<i>CRAG method 100</i>
------------------	----------------	----------------	--------------------	--------------------	-------------------	-----------------------	------------------------

Scherversuche in Zugrichtung eignen sich für Vergleiche an Klebungen von Laminaten, z.B. mit Folien oder Prepregs.



Zusammenfassung:

- Für einfache einschnittige Scherproben werden seitlich versetzbare Probenhalter benötigt. Das können Keilschraub, Schraub oder pneum. Ausführungen sein.
- Geschlitzte einschnittige Probekörper können in symmetrisch schließenden Probenhaltern geprüft werden. Die EN und die DIN Norm erfordern eine Stützvorrichtung.
- Zweischnittige Scherproben können mit einfachen Probenhaltern geprüft werden. Geschlitzte doppelschnittige Probekörper ermöglichen die gleiche Probenhalteröffnung an beiden Seiten.
- Das Ergebnis ist eine Scherfestigkeit in Lagenebene.



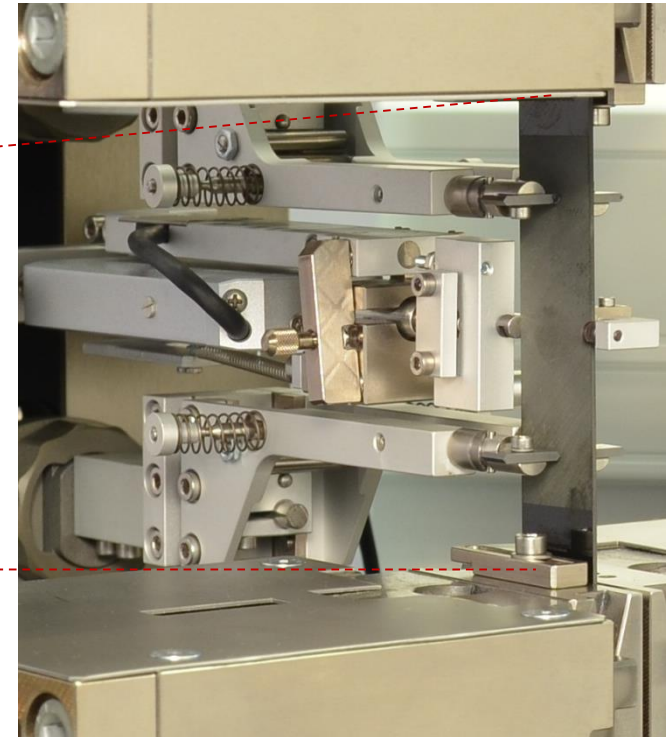
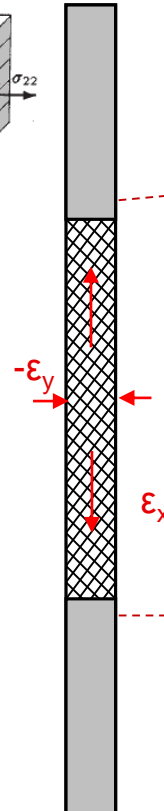
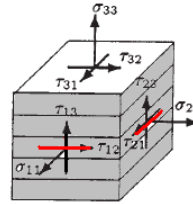
Einschnittige Probekörper einfach geschlitzt Zweischnittige Probekörper einfach geschlitzt

EN 2243-1	EN 2243-6	pr EN 6060	AITM 1-0019 QVA Z10-46-01 QVA-Z10-46-09	CRAG method 102	DIN 65148	ASTM D 3846	ASTM D 3528
-----------	-----------	------------	---	--------------------	-----------	-------------	-------------

Scherung in Lagenebene kann im Zug- oder Druckversuch unter $\pm 45^\circ$ zur Faserrichtung erzeugt werden.

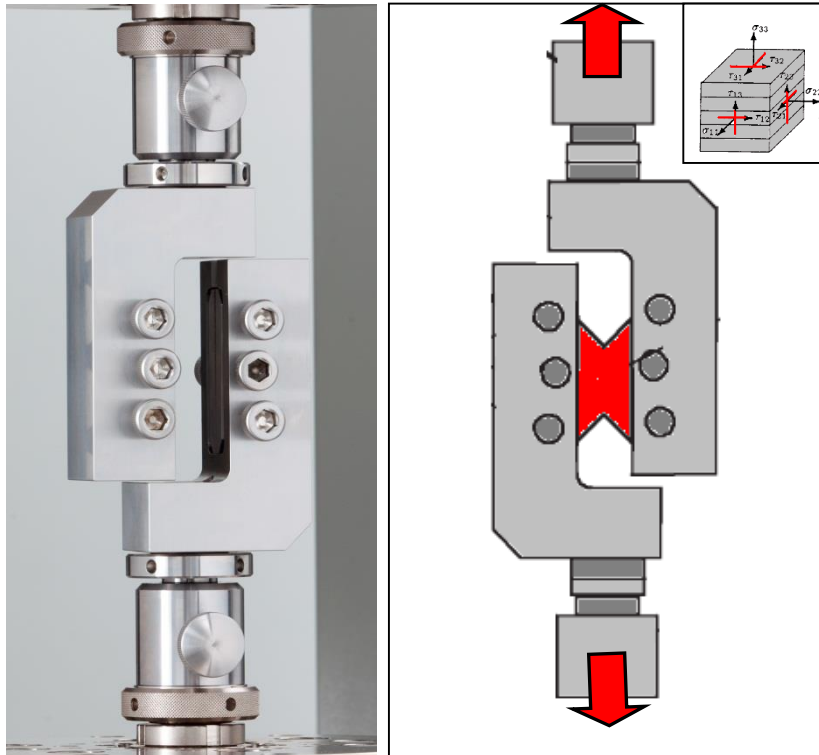
Zusammenfassung:

- Die Probekörper werden aus Platten unter 45° zur Faserrichtung entnommen.
- Zur Dehnungsmessung in Zug- und Querrichtung werden DMS oder Längenänderungsaufnehmer verwendet.
- Schubspannung in Lagenebene: $\tau = F / (2 a h)$
- Schubverformung in Lagenebene: $\gamma_{12} = (\epsilon_x - \epsilon_y)$
- Der Schermodul wird als Sekante zwischen den Dehnungen 0,001 and 0,005 [m/m] gemessen
- Die Prüfmethode eignet sich nur für Dehnungen kleiner 5%.



ISO 14129	prEN 6031	ASTM D 3518	AITM 1-0002	DIN 65466	JIS K 7079	SACMA SRM 7-94	CRAG method 101
-----------	-----------	-------------	-------------	-----------	------------	----------------	-----------------

Der “V-notched Rail shear” Versuch wird sowohl für Scherung in Lagenebene wie auch für interlaminare Scherung eingesetzt. Jede der möglichen sechs Scherebenen kann separat untersucht werden.

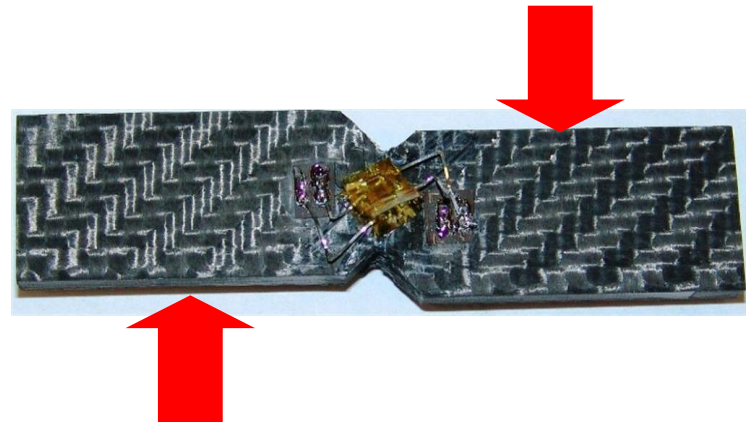
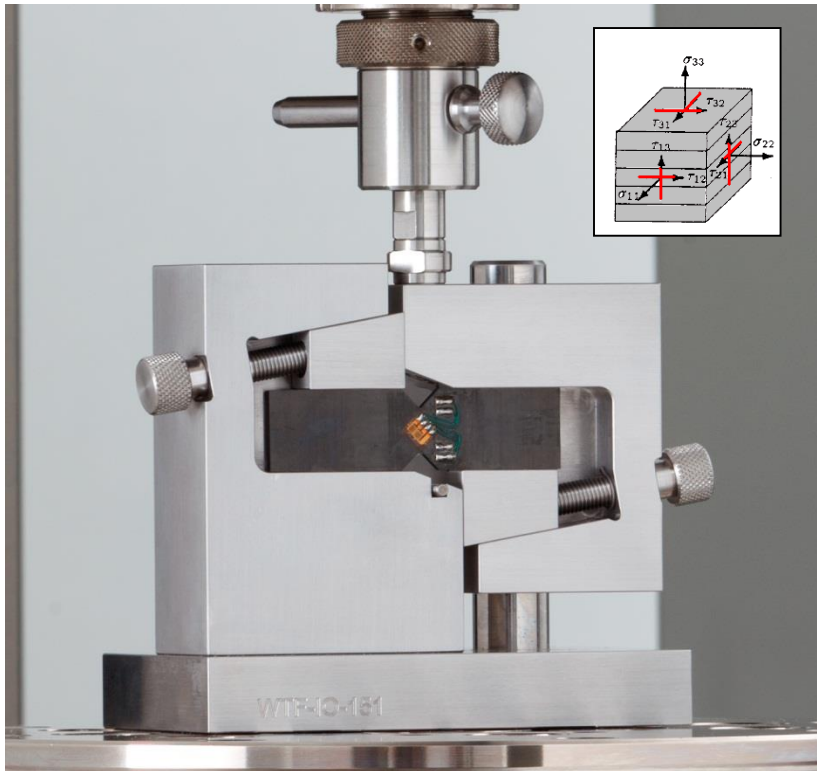


Zusammenfassung :

- Die Fasern müssen entweder längs oder quer zur Beanspruchung liegen.
- Die DMS werden unter 45° zur Scherebene appliziert.
- Im Vergleich zum Iosipescu-Verfahren ist die Scherfläche relativ groß.
- Ergebnisse sind Scherverhalten, 0,2% Scherspannung, max. Scherspannung und der Sekanten-Schermodul.

ASTM D 7078

Der Iosipescu Prüfaufbau erzeugt eine Zone nahezu reiner Scherung im Probekörper und erlaubt die Untersuchung jeder der 6 möglichen Scherebenen.



Zusammenfassung:

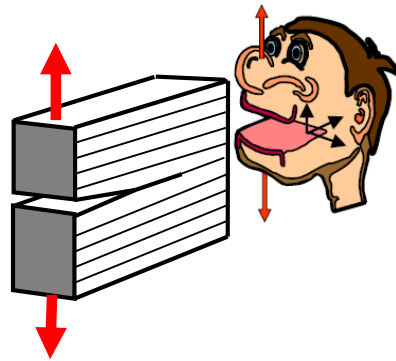
- Für hochmodulige unidirektionale Fasern oder Gewebe
- Die Fasern müssen parallel oder quer zur Belastungsrichtung liegen.
- DMS werden unter 45° in Richtung der Scherebene appliziert.
- Ergebnisse sind Scherverhalten, 0,2% Scherspannung, max. Scherspannung und Sekanten-Schermodul.
- Sowohl interlaminare Scherung wie auch Scherung in Lagenebene können mit diesem Verfahren ermittelt werden.

ASTM D 5379

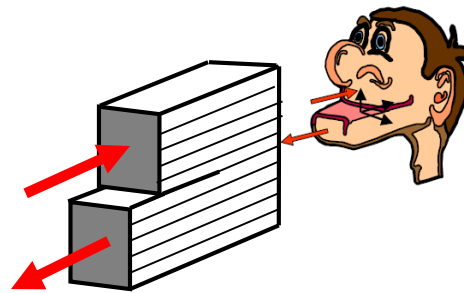
Zwick deckt die gesamte mechanische Prüfung ab und somit mehr als 150 Normen zur Verbundwerkstoffprüfung.

- Zugversuch
- Kerbzugversuche, gekerbt und gebolzt
- Druckfestigkeit nach Schlagbeanspr.
- Interlaminare Scherfestigkeit
- Scherversuche mit Überlappung
- Schienen-Scherversuch
- Lochleibung
- **Bruchmechanik**
- Schlagversuche
- Härte
- Zeitstand
- Druckversuche
- Kerbdruckfestigkeit, gekerbt und gebolzt
- Biegeversuche
- Scherversuche in Lagenebene
- V-Kerben Scherversuch (Iosipescu)
- Scherversuche an ebenen Proben
- Befestigungselemente
- Lebensdauerprüfung
- HDT

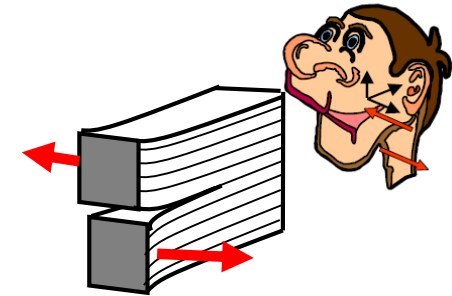
Drei Modi werden in der Bruchmechanik zur Beschreibung des Belastungsfalls verwendet: Mode I und Mode II kommen üblicherweise für Faserverbundwerkstoffe zum Einsatz.



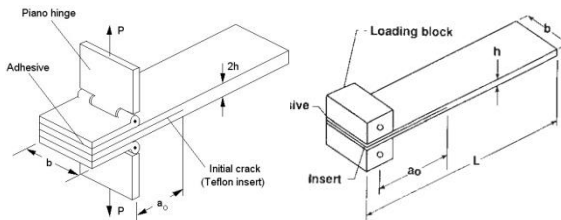
Mode I
Rissöffnung



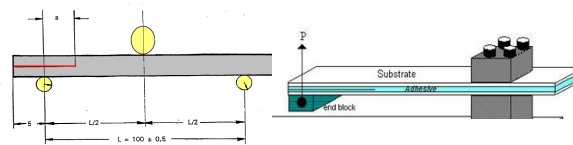
Mode II
In-Plane Scherung



Mode III
Out-of-Plane Scherung



DCB
Double Cantilever Beam



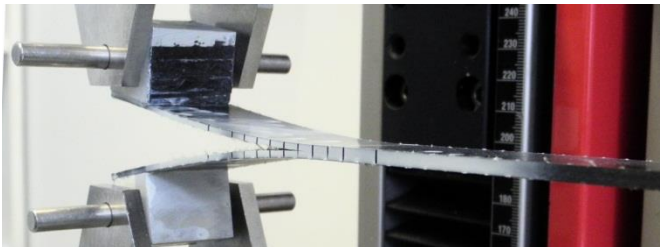
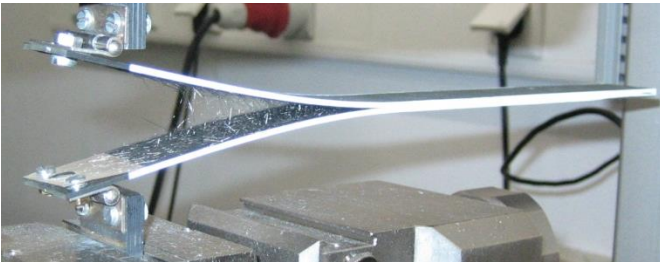
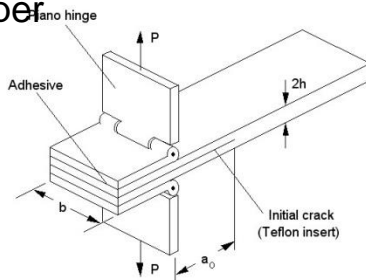
ENF - End
Notch Flexure

C-ELS, End
Loaded Split

Kein genormter Probekörper

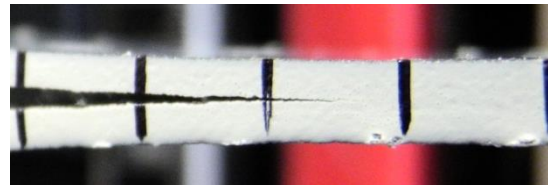
Die Bestimmung der Mode I Energiefreisetzungsrate G_I basiert auf der Theorie der linearelastischen Bruchmechanik (LEBM).

DCB Probekörper



Zusammenfassung:

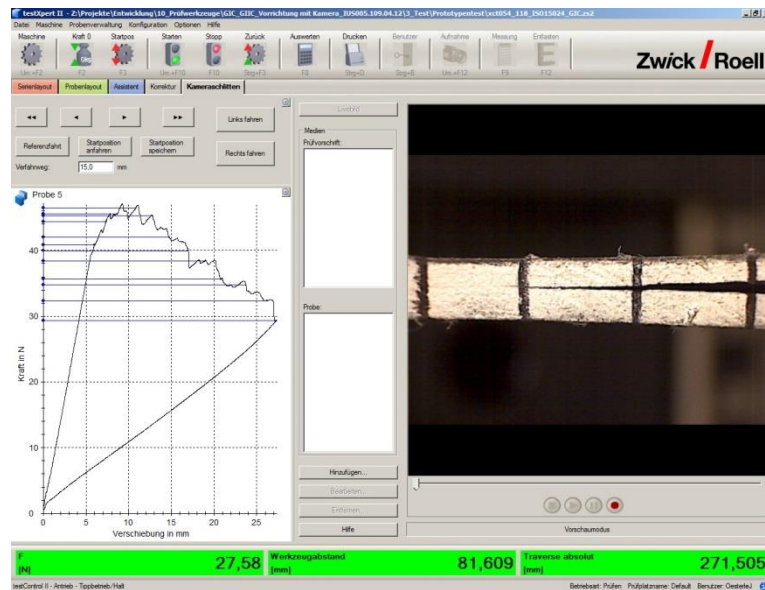
- Die Rissöffnung wird üblicherweise als Traversenweg gemessen. Der gemessene Wert sollte um den Betrag der Maschinenverformung kompensiert werden.
- Das Risswachstum wird visuell an beiden Probenseiten verfolgt.
- Nur stabiles Risswachstum ist messbar.
- G_{IC} ist die freigesetzte Energie pro Flächeneinheit, die benötigt wird um eine Rissfortschritt zu erzeugen.
- Normen für die Erfassung von R-Kurven sind verfügbar.



ISO 15024	ASTM D 5528	AITM 1-0005 AITM 1-0053	Boeing BSS 7273	CRAG method 600	NASA method RP 1092 ST-5	ESIS TC 4	prEN 6033 (zurückgez.)
------------------	--------------------	--	----------------------------------	----------------------------------	---	------------------	---

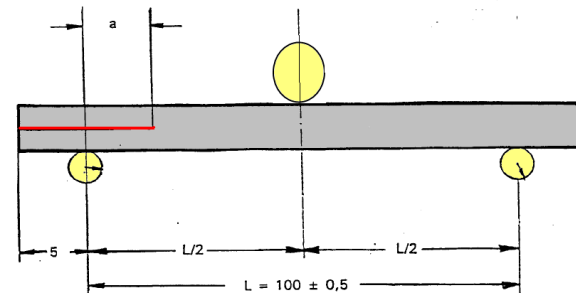
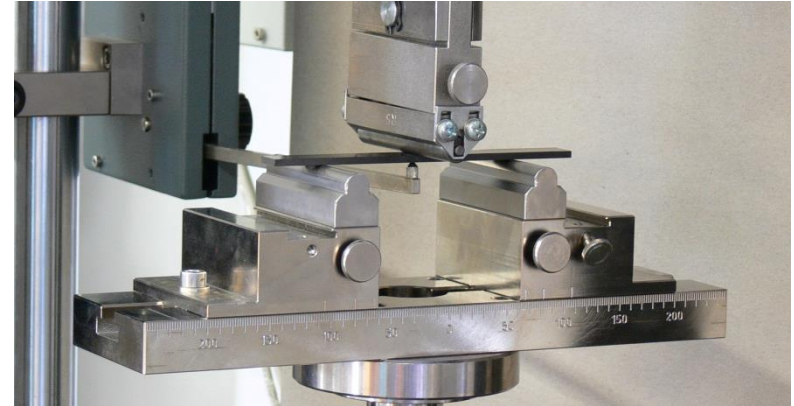
Rissfortschrittsmessungen werden durch die motorisierte Video-Nachführung nachvollziehbar und komfortabler.

- Verbesserte Nachvollziehbarkeit
- Risslängen können nachträglich erneut positioniert werden
- Mode I, Mode II und Mixed Mode



Die Berechnung der Mode II Energiefreisetzungsrate (G_{II}) basiert auf Kraft und Durchbiegung am Rissinitiierungspunkt.

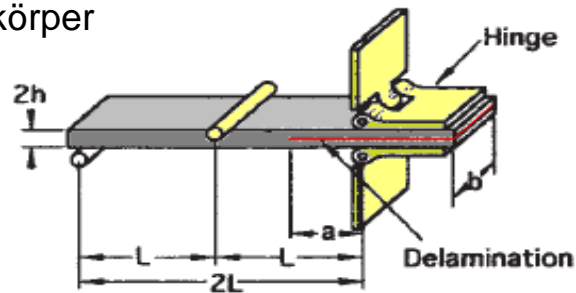
- Der Prüfaufbau ist als 3-Punkt Biegung genormt.
- Die Probekörper werden mit ENF (End Notch flexure) in ASTM und mit ELS (End loaded split) in ISO. bezeichnet.
- Die Durchbiegungsmessung erfolgt über den Traversenweg (mit Steifigkeitskorrektur), oder mittels eines Wegaufnehmers, der mittig angesetzt wird.
- Der Rissinitiierungspunkt ist durch ein Kraftmaximum charakterisiert.
- Am Ende der Messung wird der Probekörper in Flüssigstickstoff gekühlt und dann vollständig gebrochen um die Bruchflächen zu vermessen.
- Die Verwendung des TCT (Transverse Crack Tension) Probekörpers stellt eine Alternative dar.



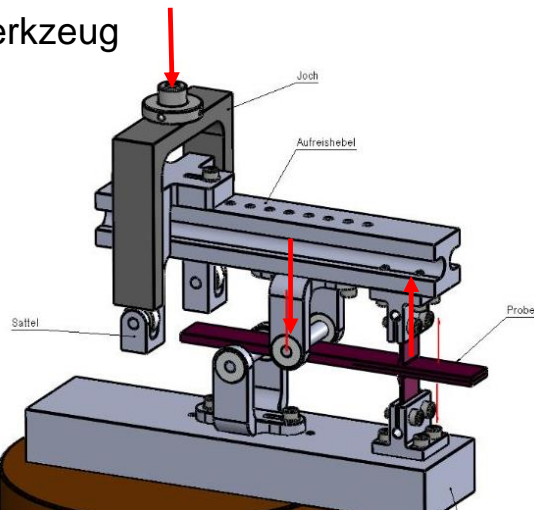
AITM 1-0006	Boeing BMS 8-276	ASTM D 7905	ISO 15114				prEN 6034 (zurückgezogen)
-------------	---------------------	-------------	-----------	--	--	--	------------------------------

„Mixed Mode“ Biegung kann an unidirektionalen Laminaten gemessen werden. Kombiniert werden dabei Mode I (Rissöffnung) und Mode II (Biege-Scherung).

Probekörper



Prüfwerkzeug



ASTM D 6671

Anwendungen von Faserverbundwerkstoffen

Die Lieferkette

Prüfmethoden

Prüfmaschinen und -geräte

Die Allround-Line ist für höchste Anforderungen konzipiert.



Tischmodelle von 5 bis 150 kN



Standmodelle gibt es mit einem oder mit zwei Arbeitsräumen.



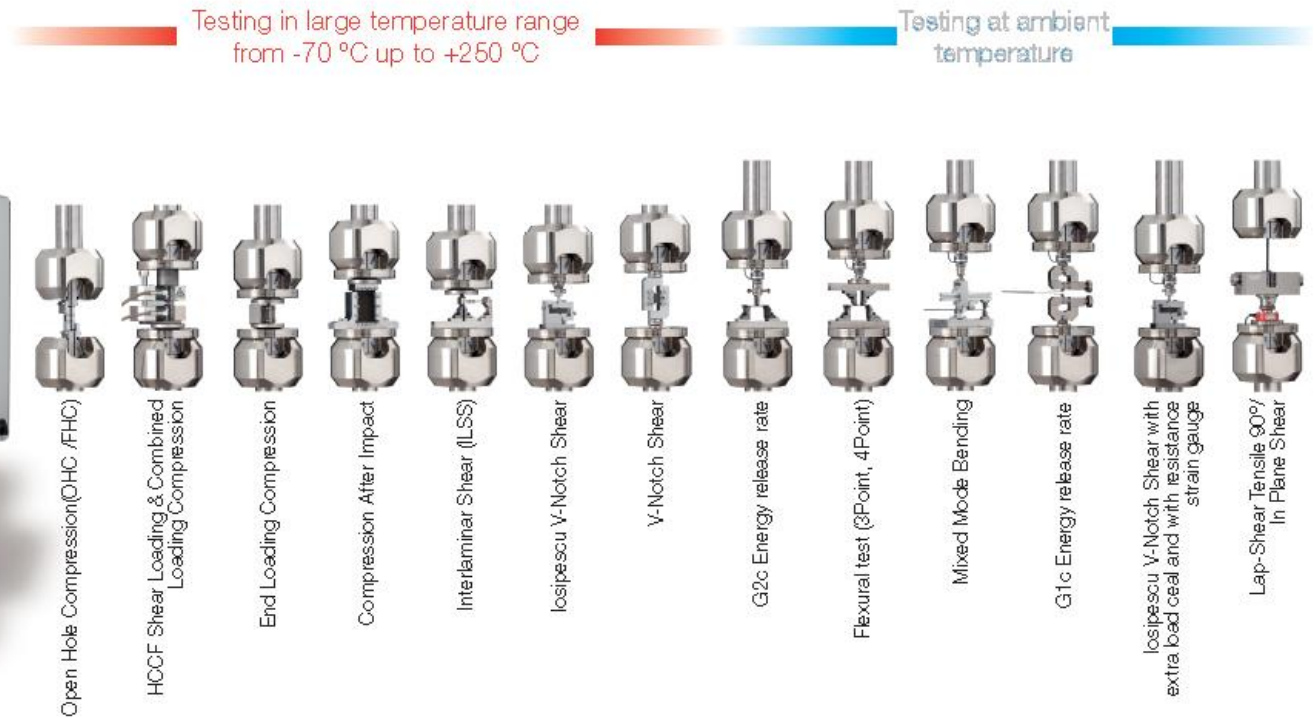
Nennlasten bis 1000 kN mit elektromechanischen Antrieben

Modulares Prüfsystem, 100 und 250 kN

Zwick hat ein modulares Prüfsystem für den erweiterten Temperaturbereich entwickelt, das 21 Prüfverfahren und rund 120 Prüfnormen abdeckt.



Tensile, OHT, FHT, Load Bearing, Lap Shear, In-Plane Shear



Der seitliche Prüfraum bietet die Funktionalität einer zweiten Prüfmaschine und vermeidet den Wechsel schwerer Probenhalter

- **Zentraler Arbeitsraum, 250 kN**
 - Zugversuche, FHT, OHT,
 - Druckversuche, FHC, OHC und CAI
 - Verschiedene Schubverfahren
 - Lochleibungsversuche
- **Seitlicher Arbeitsraum bis maximal 50 kN**
 - Scherung durch Überlappung
 - 90° Zugversuche
 - $\pm 45^\circ$ Schubversuche (IPS)
 - Iosipescu und V-Kerb Schubversuche
 - Kurzbiegeversuche (ILSS)
 - Energiefreisetzungsrate, GIC, GIIC, MMB
 - Biegeversuche
- Temperaturprüfungen in beiden Arbeitsräumen
- Schutzeinrichtungen für beide Arbeitsräume
- Längenänderungsaufnehmer in beiden Arbeitsräumen
- Geringer Platzbedarf im Vergleich zu zwei Maschinen



Prüfungen in Kälte und Wärme



Elektro-dynamische Prüfmaschinen LTM 5 und LTM 10 werden für zyklische Prüfungen, z.B. zur Materialermüdung, eingesetzt.

- Nennkraft 5 kN bzw. 10 kN (dynamisch)
- Frequenz hubabhängig bis 100 Hz
- Elektrischer Linearmotorantrieb
- Ermüdungsprüfung
- Bauteile, Komponenten, Strukturdetails
- Klebstoffe, Verklebungen
- Niedriger Energieverbrauch
- Niedrige laufende Kosten
- Ölfreier Betrieb
- Drei verschiedene Kühloptionen
(Umluft, externer Chiller, Kühlwasseranschluss)



LTM 10 – Dynamisch mit elektrischem Antrieb

Zwick bietet ein breites Programm an Probenhaltern, Werkzeugen und Lösungen zur Prüfung von Faserverbunden.



Zwick bringt die Prüfung von Verbundwerkstoffen auf ein industrielles Niveau bezüglich Sicherheit, Zuverlässigkeit, gute Bedienbarkeit und Automatisierung.

- Hochwertige Prüfmaschinen für Lastbereiche bis über 1000 kN
- Vollständiges Angebot an Probenhaltern und Werkzeugen, das alle üblichen Prüfmethode abdeckt
- HCCF, das neue hydraulisch spannende Druckwerkzeug, das gleich mehrere Prüfverfahren abdeckt.
- Die größte Auswahl digitaler Längenänderungsaufnehmer in mechanischer und optischer Ausführung
- Der Weltmarktführer in der Automatisierung von mechanischen Prüfungen.
- *testXpert*® III, die Software die mitdenkt

