



Anwendungsflyer

Prüftechnik für Composites



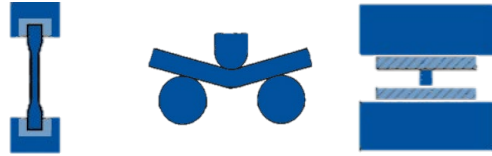


Composites/Faserverstärkte Kunststoffe sind leistungsstarke Leichtbauwerkstoffe mit hoher Festigkeit bei geringem Gewicht, hervorragendem Ermüdungsverhalten und großer Gestaltungsfreiheit. Sie kommen vor allem in Luft- und Raumfahrt, Windenergie und Automotive zum Einsatz. Damit diese innovativen Materialien zuverlässig eingesetzt werden können, ist eine präzise und normgerechte Prüfung unerlässlich.

Hegewald & Peschke bietet ein umfassendes Portfolio an Prüfmaschinen, Spannzeugen und Zubehör zur mechanischen Charakterisierung von Verbundwerkstoffen.

In den meisten Anwendungen bildet eine Universalprüfmaschine der inspekt-Serie die Basis für die Durchführung der unterschiedlichen Prüfverfahren. Die Modellvielfalt mit Laststufen von 100 N bis 2500 kN ermöglicht eine optimale Anpassung an den jeweiligen Einsatzbereich und garantiert präzise, normgerechte sowie zuverlässige Prüfergebnisse.

Die inspekt-Serie baut auf einem modularen System auf, sodass sie sich mit dem passenden Dehnungsmessgerät, dem Spannzeug oder Klima-/Temperierkammer bzw. Ofen in einen absoluten Spezialisten für die Prüfung von Composite-Materialien verwandeln kann.



Passende Spannzeuge für alle Prüfverfahren ermöglichen die umfassende und normgerechte Compositeprüfung.



Ausfahrbare Temperierkammern erlauben Prüfungen über einen weiten Temperaturbereich.



Für den Schutz der Bediener sorgen Sicherheitsumhausungen mit elektrisch verriegelter Tür.



Ausrichtadapter gewährleisten die präzise Ausrichtung des Laststrangs.

Unsere Prüflösungen ermöglichen die normkonforme Durchführung von Prüfungen nach ASTM, ISO und DIN – von klassischen Zug-, Druck- und Biegeversuchen bis hin zu komplexen Verbundtests. So lassen sich mechanische Eigenschaften wie Festigkeit, Steifigkeit, Bruchverhalten oder Ermüdungsbeständigkeit präzise bestimmen.



Besondere Anforderungen an das Prüfsystem bei der Prüfung von Composites

1) Einspannung und Vorbereitung der CFK-/GFK-Proben

a) Probenausrichtung

Ausrichtungsfehler bei der Probeneinspannung führen zu einer nicht zentrischen Einleitung der Verformung in den Probekörper. Besonders bei unidirektional (UD) verstärkten Verbundwerkstoffen kann dies die Prüfergebnisse stark verfälschen. Die Probe muss gerade und zentriert in der Belastungsachse eingespannt werden, um parasitäre Kräfte und damit verbundene Messfehler insbesondere bei der Bestimmung des E-Moduls zu vermeiden.

Der stabile Lastrahmen der inspekt-Prüfmaschinen sorgt grundlegend für die exakte Ausrichtung des Laststranges. Mithilfe spezieller Ausrichtadapter können überdies die Probenhalter so positioniert werden, dass sie sich exakt und ohne Winkelfehler gegenüberstehen. Damit wird sichergestellt, dass die Probe axial gespannt wird und unter Last keine nennenswerten Kipp- oder Schermomente wirken. Die Axialität des Prüfaufbaus kann sowohl manuell mit einer Justagevorrichtung überprüft und optimiert werden als auch über die handelsüblichen standardisierten DMS-applizierten Messnormalen (Referenzproben).

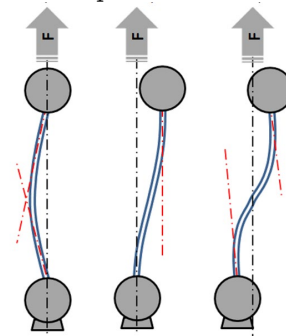


Abb.: Ausrichtadapter mit Messvorrichtung

Diese Messmethode entspricht den Anforderungen der Normen ASTM E 1012, ISO 23788 sowie den Nadcap (National Aerospace and Defence Contractors Accreditation Program) Audit Criteria AC7122 und AC7101 für die Luft- und Raumfahrtindustrie.

b) Vorspannung während der Einspannung

Während der Einspannung ist auf eine korrekte Ausrichtung ohne Schubkräfte zu achten. Eine geringe Vorspannung (unter 0,05 % der Materialbelastung) stellt sicher, dass die spezifischen Materialeigenschaften präzise erfasst werden. Die Prüfmaschinen der inspekt-Serie bieten einen Krafthaltemodus, welcher eine axiale Belastung der Probe beim Einspannen verhindert.



c) Geschwindigkeitskontrolle zur E-Modul-Bestimmung und reproduzierbares kraftschlüssiges Einspannen

Parallel schließende Spannzeuge unterstützen die präzise Geschwindigkeitskontrolle nach ISO 527-1 und sind damit optimal für die E-Modulbestimmung an CFK- und GFK-Werkstoffen geeignet. Darüber hinaus ermöglichen parallel schließende pneumatisch oder hydraulisch unteretzte Spannsysteme reproduzierbaren Kraftschluss, der die Probenenden auch nach einem Sprödbruch hält und so zur Sicherheit des Bedieners beiträgt.

d) Probenvorbereitung, z.B. mit Aufleimern

Beim Zugversuch an Fasern und Filamentsträngen wird der Probekörper häufig mit Aufleimern geschützt, um vorzeitige Faserbrüche im Bereich der Einspannung zu verhindern.



2) Genauigkeit der Kraftmessung

Eine hohe Genauigkeit der Kraftmessung ist bei der Prüfung von Composite-Materialien besonders wichtig, weil diese Werkstoffe sehr inhomogen und richtungsabhängig aufgebaut sein können. CFK- und GFK-Verbunde mit hohem Faseranteil weisen oft hohe Festigkeiten auf und nur geringe Dehnungen. Die Präzision der Kraftmessung ist daher von enormer Bedeutung um saubere Kennwerte wie bspw. den Elastizitätsmodul nach ASTM D 3039 zu ermitteln.

Die Prüfmaschinen der inspekt-Serie garantieren die Genauigkeit der Kraftmessung nach Klasse 1 (optional Klasse 0,5) im Messbereich von 0,1 – 100 % der Nennlast in Abhängigkeit vom verwendeten Kraftmesssensor (entsprechend DIN EN ISO 7500-1, ASTM E4).

3) Prüfbedingungen

Die Kunststoffmatrix von CFK- und GFK-Proben reagiert stark auf Temperatur (sie kann weicher oder spröder werden) und Feuchtigkeit (sie kann quellen oder ihre Steifigkeit verändern). Deshalb ist die Simulation dieser Umgebungsbedingungen für die Werkstoffprüfung entscheidend für zuverlässige und aussagekräftige Prüfergebnisse. Hegewald & Peschke bietet eine große Auswahl an Temperier- und Klimakammern, die optimal an die geforderten Prüfbedingungen angepasst werden können.

Die Integration der Kammern in ein Prüfsystem wird entweder fix über eine Halterung mit Schienenführung oder flexibel mit einem Rollwagen realisiert.

4) Sicherheit für das Bedienpersonal

Bei der Prüfung von Verbundwerkstoffen – insbesondere von CFK – ist das Gefährdungspotenzial zu berücksichtigen. Abhängig von Fasergeometrie und -länge können beim Bruch scharfkantige Fragmente, feine Fasersplinter oder lungengängige Carbonfaserstäube entstehen, die gesundheitsgefährdend und potenziell krebserregend sind. Zudem kann es bei Hitzeentwicklung zur Bildung von organischen Pyrolyseprodukten oder zur Freisetzung anderer gefährlicher Stoffe aus dem Verbundmaterial kommen.

Zum Schutz des Bedienpersonals stehen – je nach Prüfaufgabe und Gefährdungsgrad – verschiedene Schutzmaßnahmen zur Verfügung:

a) Schutzumhausung

Die Prüfmaschinen der inspekt-Serie können mit stabilen, transparenten Schutzumhausungen verkleidet werden, die Verletzungen des Bedienpersonals verhindern.

Elektrisch verriegelte Schutztüren stellen sicher, dass während des Prüfablaufs niemand in den Gefahrenbereich gelangt. Je nach Ausführung der Schutztür können die verschiedenen Anforderungen nach EN ISO 13489-1 erfüllt werden.

b) Absaugung

Beim Bruch oder bei Langzeitprüfungen (z. B. Ermüdung) können feine Faserstäube entstehen, die gesundheitsschädlich sind. Eine integrierte Absaugung mit Filter schützt die Bediener vor diesen Schadstoffen.

c) Elektrostatische Ausstattung

Auch wenn CFK-Produkte in der Regel nicht leitfähig sind, können die Stäube elektrisch leitfähig sein. Daher können die Prüfsysteme nebst der Prüfraumabsaugung mit einer ATIX Einhausung Staubklasse H ausgestattet und die Elektronik nach IP67 Schutzart geschützt werden.

5) Einbindung peripherer Geräte – präzise Dehnungsmessung mit DMS-applizierten Proben

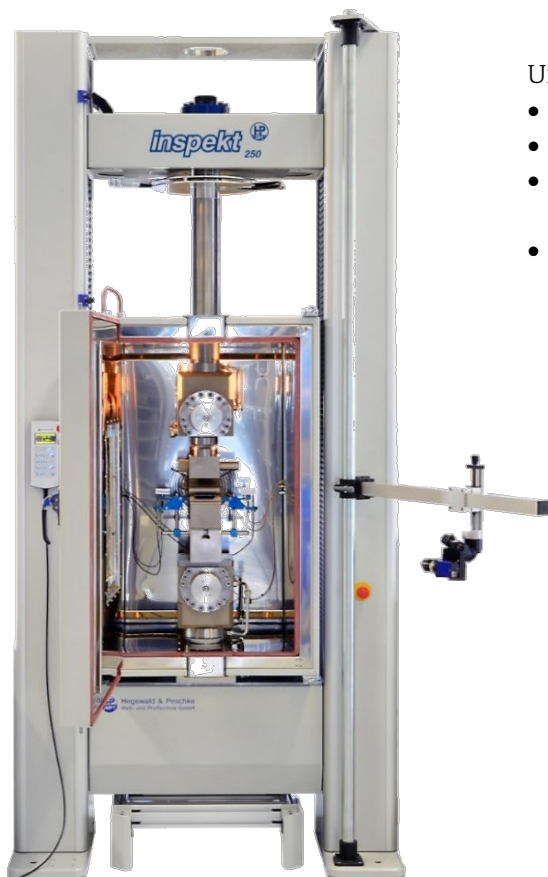
DMS-applizierte Proben ermöglichen eine hochpräzise Bestimmung von lokalen Verformungen. Für die Erfassung und Auswertung der DMS-Signale bietet die Prüfsoftware LabMaster die synchronisierte Einbindung externer Geräte und Sensoren. Über einen Messverstärker werden die Daten der auf der Probe applizierten Dehnungsmessstreifen erfasst und direkt an LabMaster zur Weiterverarbeitung und Integration in den Prüfablauf weitergegeben.



Übersicht Prüfverfahren für Compositematerialien (Auswahl)

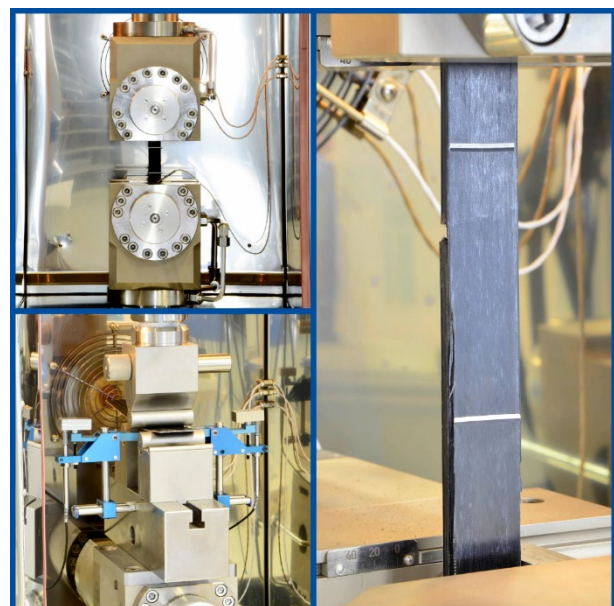
Norm	Prüfverfahren	Prüfergebnisse
ASTM D3039	Zugversuch an faserverstärkten Kunststoffen	Zugfestigkeit, E-Modul, Dehnung bis Bruch
ASTM D790	Dreipunkt-Biegeversuch	Biegefestigkeit und Biegemodul
ASTM D2344	Kurzbiegeversuch (ILSS)	Interlaminare Scherfestigkeit
ASTM D3518	Scherversuch im $\pm 45^\circ$ -Laminat	Schubfestigkeit und Schubmodul
ISO 527-4/-5	Zugversuch an Composites	Zugfestigkeit und E-Modul für Faserverbunde in verschiedenen Orientierungen
ISO 14125	Vierpunkt-/Dreipunkt-Biegeversuch	Biegefestigkeit und Steifigkeit von Composites
DIN EN 2561	Zugversuch an unidirektionalen Laminaten	Festigkeit und E-Modul in Faserrichtung
DIN EN 2850	Druckversuch an unidirektionalen Laminaten	Druckfestigkeit in Faserrichtung
DIN EN 2597	Biegeversuch an Laminaten	Biegefestigkeit und -modul in Faserrichtung

Prüfsystem zur Bestimmung mechanischer Eigenschaften an Compositeproben durch Zugversuche (z.B. nach ASTM D3039 & DIN EN ISO 527) und Biegeversuche (z.B. nach ASTM D790 & DIN EN ISO 14125)



Universalprüfmaschine inspekt 250 kN, ausgestattet mit

- Temperierkammer
- Videoextensometer
- Hydraulikspannzeug mit Ankoppelsystem für weitere Prüfwerkzeuge
- 3-Punkt-Biegebank





Weitere Prüfverfahren und Prüfvorrichtungen für die normgerechte Prüfung von Composites

**Zugprüfung nach
ASTM C297**



**Stauchdruckprüfung
nach ASTM D695, ASTM D3846,
EN 2850, ISO 14126**



**Druckprüfung
nach ASTM D6641, ISO 14126**



**Trommelschälprüfung
nach ASTM 1781,
ASTM C297**



**Scherdruckprüfung
nach ASTM C273**



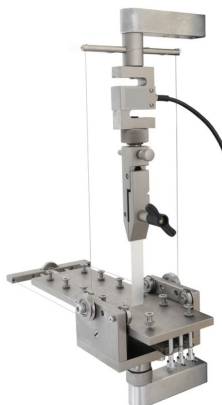
**Scherzugprüfung
nach ASTM-D4255
(two-rail shear)**



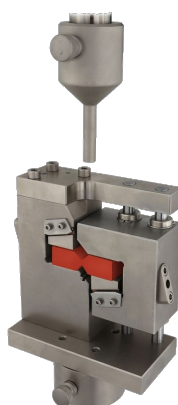
**Scherzugprüfung nach
ASTM C273, ISO 12090,
NFT 56-605, ISO 1922-1981**



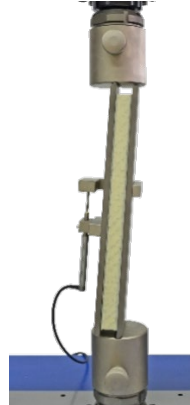
**45° Zugversuch nach
EN ISO 14129,
ASTM D3518**



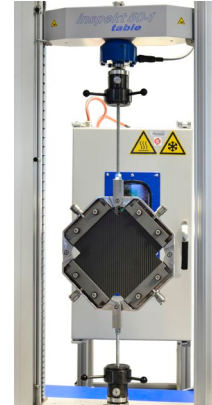
**Iosipescu Versuch
nach ASTM D5379**



**Schubversuch nach
DIN 53294**

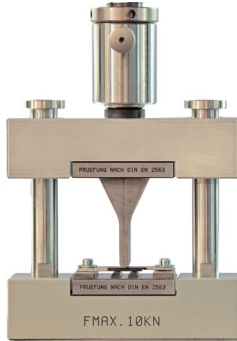


**Scherversuch zur Ermittlung
der Umformeigenschaften
mit Scherrahmen**





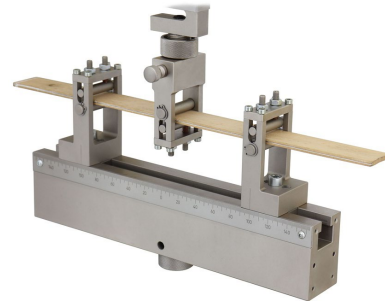
**3-Punkt-Biegevorrichtung
nach DIN EN 2563**



**V-Kerb Schubversuch
nach ASTM D 7078**



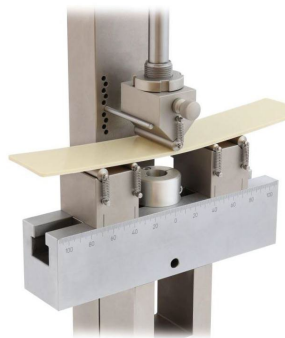
**Biegemüdigkeitsprüfungen
nach ASTM D7774**



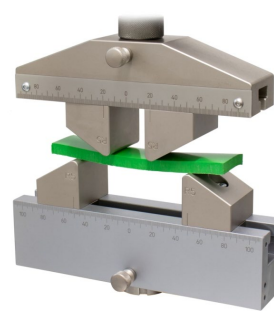
**3-Punkt-Biegeversuch
nach ASTM-D7264, ASTM-
D6272, DIN EN ISO178**



**3-Punkt-Biegeversuch
nach ASTM-D2344**



**4-Punkt-Biegeversuch nach
ASTM-D7264, ASTM-D6272**



**3-Punkt-Biegeversuch
nach DIN EN 2563,
DIN EN 2562**



Dehnmessgeräte für die Compositeprüfung

Neben applizierten Dehnmessstreifen werden bei der Prüfung von Composites häufig taktile oder optische Extensometer zur Bestimmung des Elastizitätsmoduls eingesetzt. Dabei können sowohl Clip-on-Messsysteme als auch Langwegdehnmessgeräte mit integriertem Klappmechanismus zur Energieableitung und einer Auflösung von 0,01 µm verwendet werden. Darüber hinaus können auch Videoextensometer zum Einsatz kommen. Mit diesen lassen sich sowohl makroskopische Dehnungen als auch Dehnungsverteilungen in einzelnen Segmenten berührungslos erfassen. Mit Hilfe hochauflösender Videotechnologie können Verformungen anhand der natürlichen Oberflächenstruktur oder optional aufgebracht Markierungen präzise bestimmt werden. Mit dem DIC-Modul (Digital Image Correlation) ist zudem eine orts- und richtungsabhängige Erfassung lokaler Dehnungen möglich. Dadurch können komplexe Deformationsvorgänge während der Prüfung anschaulich visualisiert und anschließend detailliert ausgewertet werden – ein entscheidender Vorteil insbesondere bei der Analyse kohlefaserverstärkter Verbundwerkstoffe.



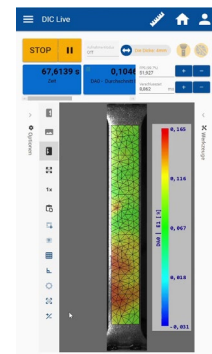
Clip-on Extensometer



Langwegdehnmessgerät



Videoextensometer



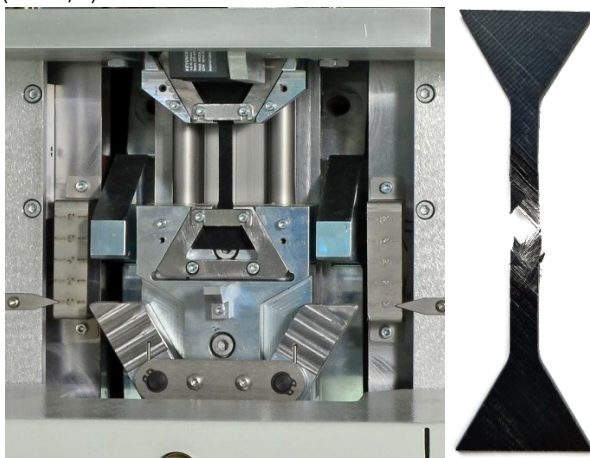
DIC-Modul

Rotationsschlagwerk für hochdynamische Zugprüfungen an Faserverbundwerkstoffen



- Charakterisierung mechanischer Eigenschaften von Faserverbundwerkstoffen und technischen Textilien bei crashrelevanten Geschwindigkeiten
- Prüfung von Verbindungsstellen (z.B. Nähte, Klebestellen)
- Realisierung von Dehnraten bis 350 s^{-1}

Materialkennwerte bei solch hohen Dehnraten werden für Crashsimulationen verwendet, u.a. im Leichtbau oder in der Automobilindustrie. Sie bilden dabei das Materialverhalten bei 50 km/h (14 m/s) ab.



Funktionsweise:

In diesem Rotationsschlagwerk ist eine 300 kg schwere, sich drehende Schwungmasse ausschlaggebend für die resultierende Geschwindigkeit und Energiespeicherung. Diese Energie wird zum Versuch auf einen Linearschlitten mit der integrierten Probenaufnahme übertragen. Der eigentliche Zugversuch dauert dann nur wenige Millisekunden. In dieser Zeit werden die physikalischen Messgrößen Kraft, Weg und Zeit aufgenommen.

Die Maschine wird komplett über ein Touch-Panel bedient und die aufgezeichneten Messdaten in einem Zwischenspeicher abgelegt. Die Werte werden anschließend automatisiert in die Prüfsoftware LabMaster importiert und stehen zur individualisierten Auswertung zur Verfügung. LabMaster arbeitet auf Basis einer SQL-Datenbank und dient auch der rückführbaren Messdatensicherung.

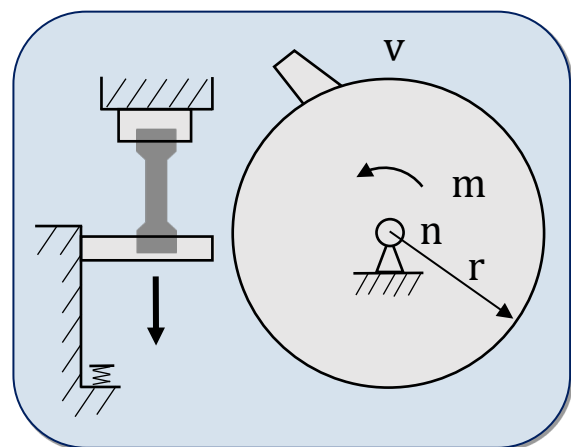


Abb. Schematische Veranschaulichung der Funktionsweise des Rotationsschlagwerks

Ergebnisse:

- Dehnraten
- Kraft-Weg-Diagramme
- E-Modul, Zugfestigkeit und Bruchdehnung bei definierten Dehnraten
- Die Fläche unterhalb des Kraft-Weg-Diagramms stellt die verrichtete Arbeit dar und entspricht der abgebauten Energie