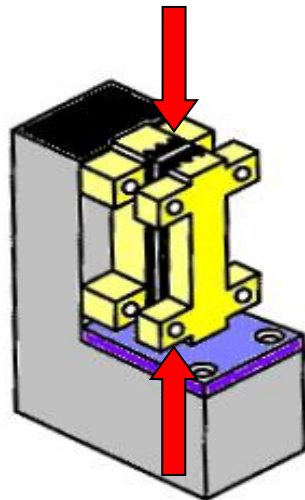
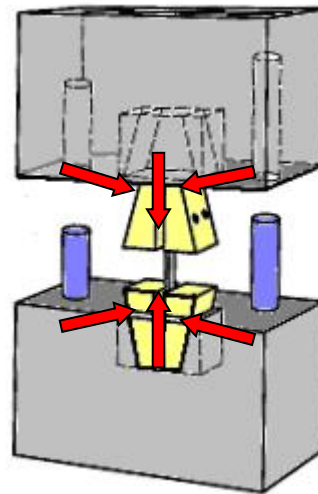




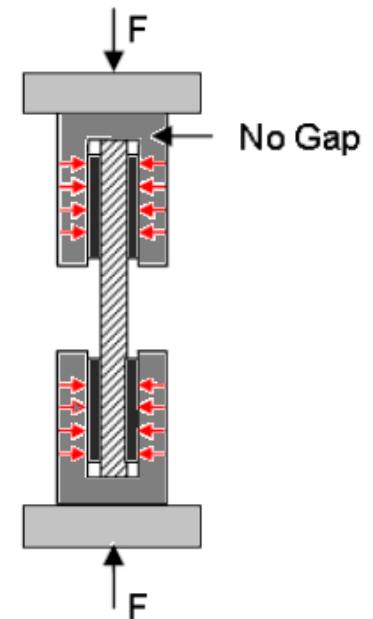
Die Verfahren können nach der Art der Krafteinleitung unterschieden werden.



End Loading Aufbau



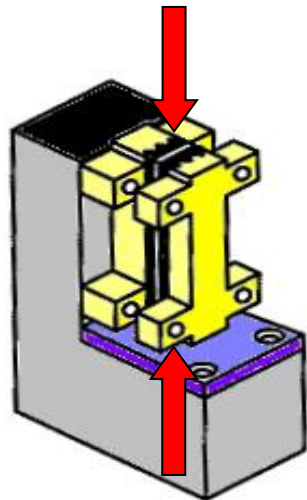
Shear Loading Aufbau



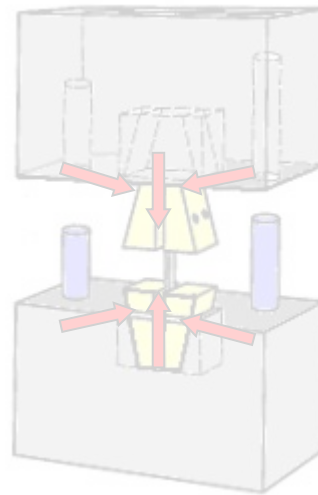
Combined Loading Aufbau

<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>	

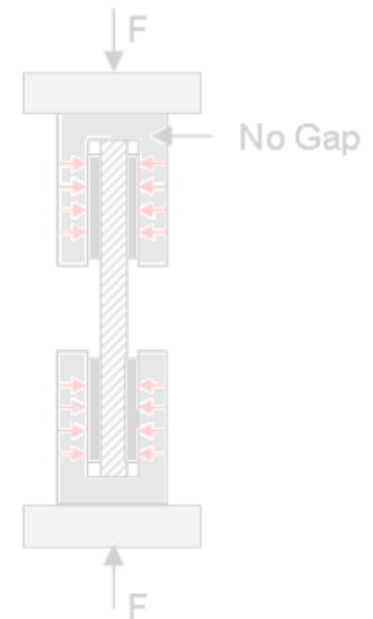
Die Verfahren können nach der Art der Krafteinleitung unterschieden werden.



End loading Aufbau



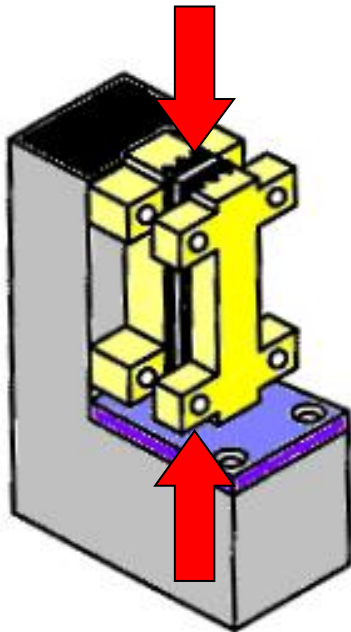
Shear Loading Aufbau



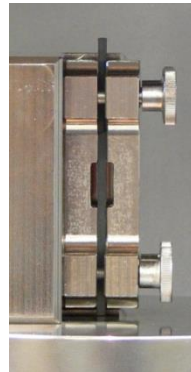
Combined Loading Aufbau

<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>	

Der End-loading Druckversuch wird zur Messung von Druckmoduli und der Druckfestigkeit eingesetzt.



End loading Aufbau



Modul



Festigkeit

## Probekörperherstellung

- Erfordert eine sehr sorgfältige Bearbeitung der Probekörperenden, besonders bei der Festigkeitsmessung.
- Zwei Probekörper erforderlich
  - Ohne Aufleimer für Modulmessungen
  - Mit Aufleimern für Festigkeitsmessungen

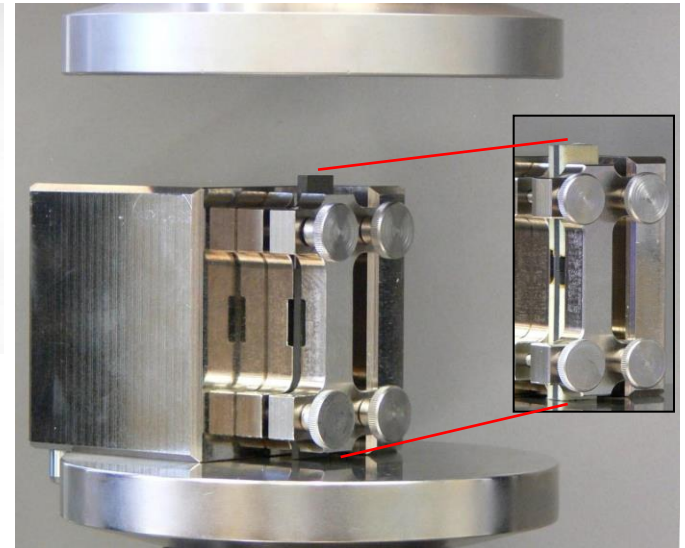
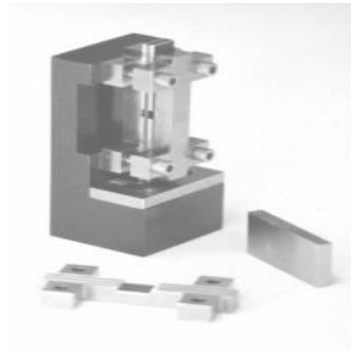
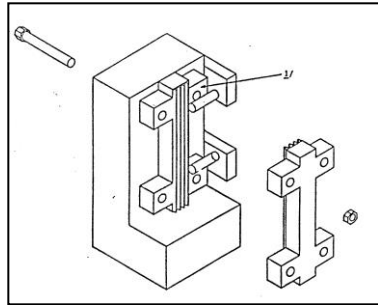
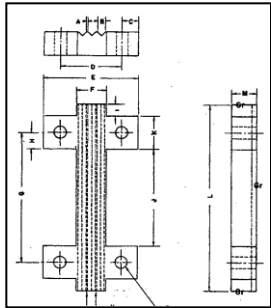
## Vorteile

- Relativ einfaches Prüfwerkzeug
- Messung der Druckstauchung über DMS oder per mechanischem Längenänderungsaufnehmer

## Nachteile

- Das Verfahren neigt zur Anzeige von zu niedrigen Festigkeitswerten und ist damit fehlerträchtig.
- Kleiner Probenquerschnitt und Messlänge
- Keine Bruchdehnungsmessungen

„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)

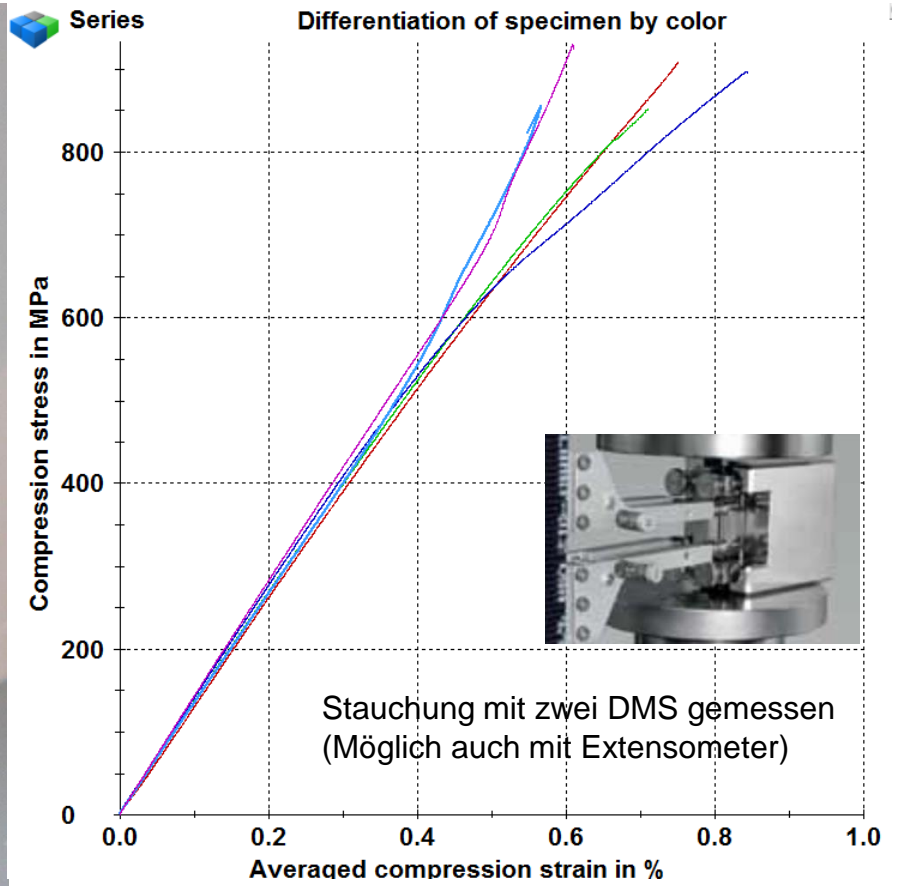
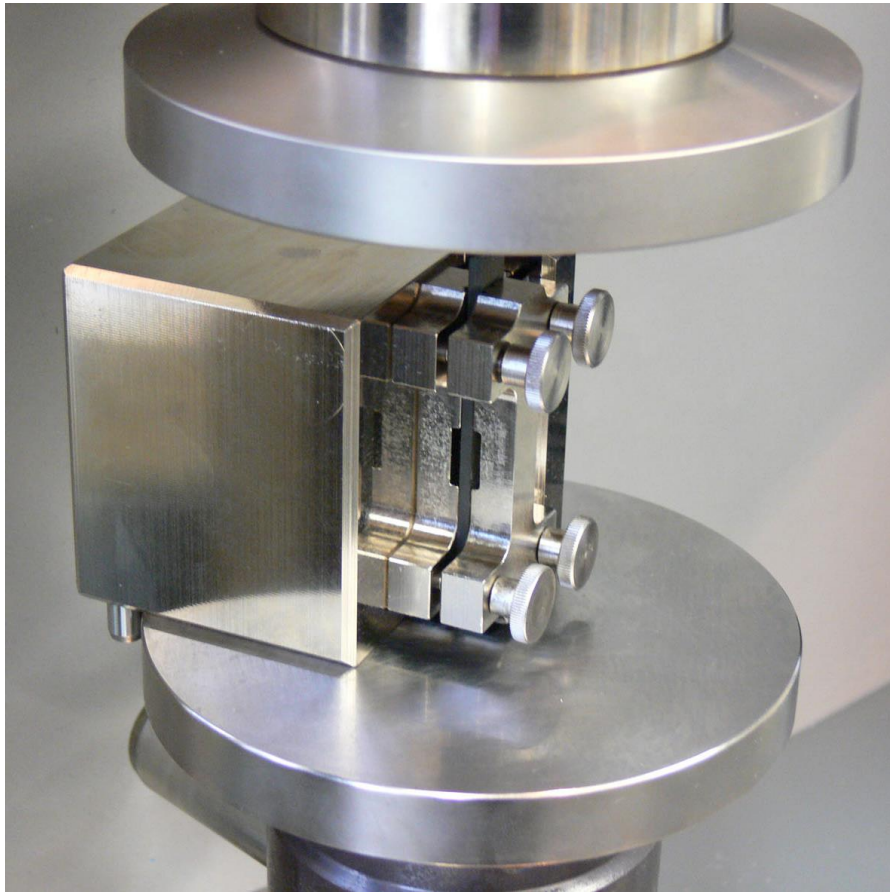
Die "Boeing modifizierte ASTM D 695" Einrichtung verfügt über einen Ständer zur exakten Ausrichtung und für vereinfachtes Handling.

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

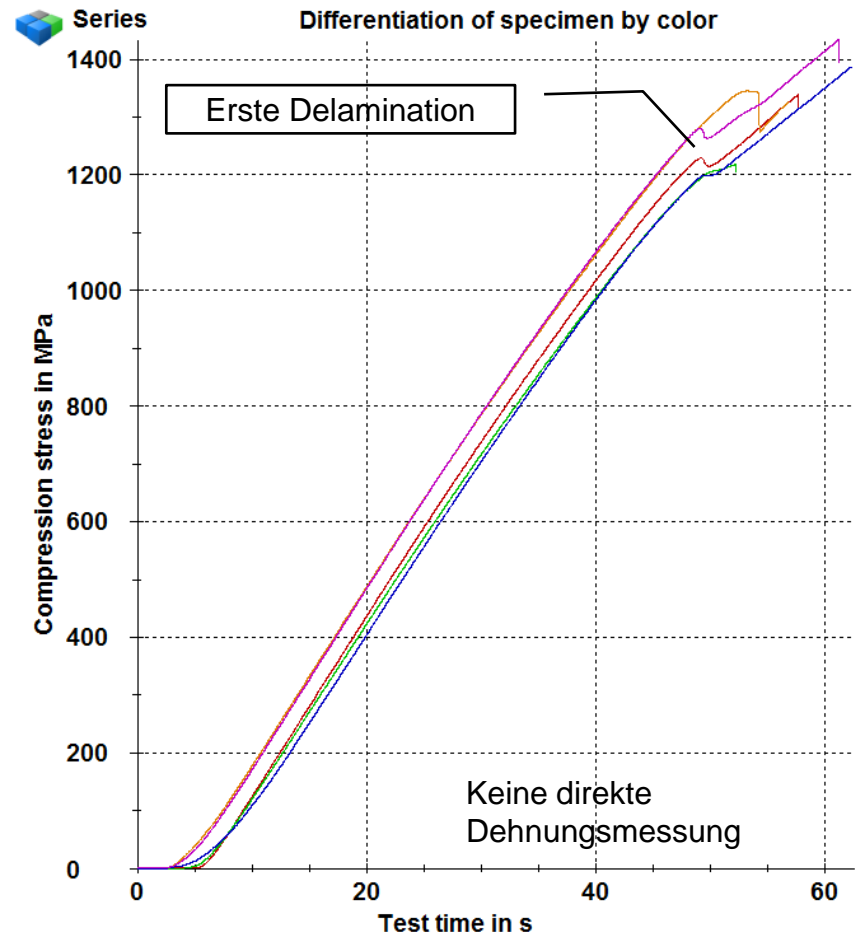
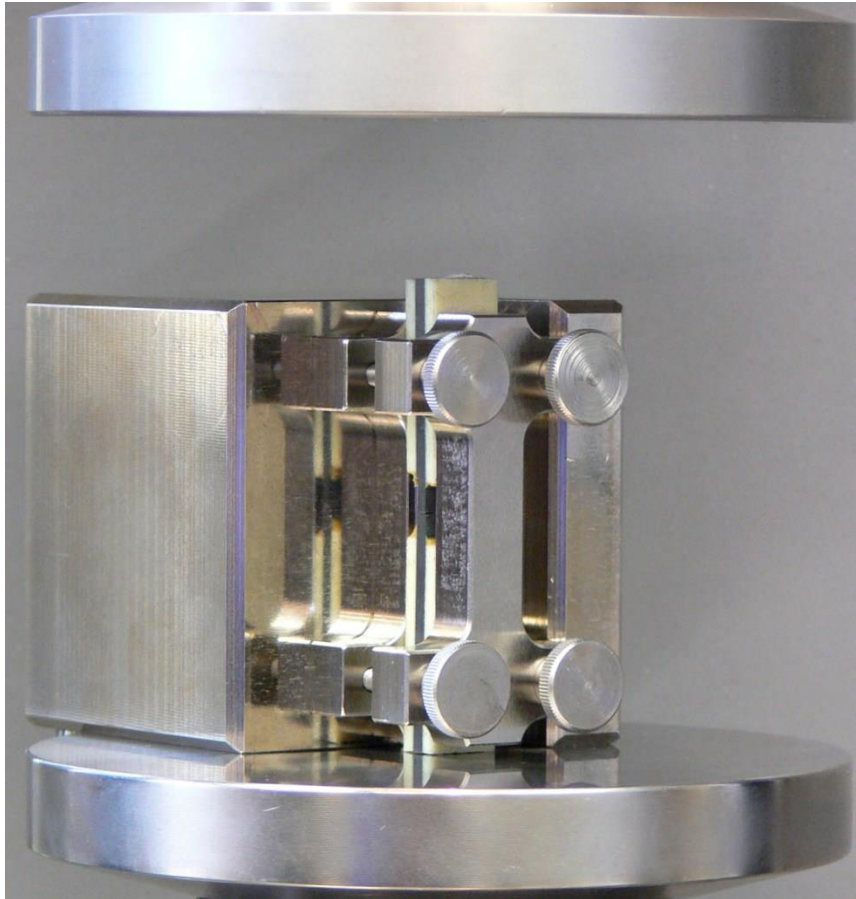
Die geführte Druckeinrichtung für Modulmessung (Mitte) und Festigkeitsmessung (rechts) ist immer exakt zur Maschine zentriert.

<i>ISO 14126 Verf. 2</i>			<i>ASTM D 695</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>			

UD 0° Proben ohne Aufleimer zeigen Variationskoeffizienten kleiner 5% bei den Modulwerten, brechen aber vorzeitig im Bereich der Krafteinleitung.

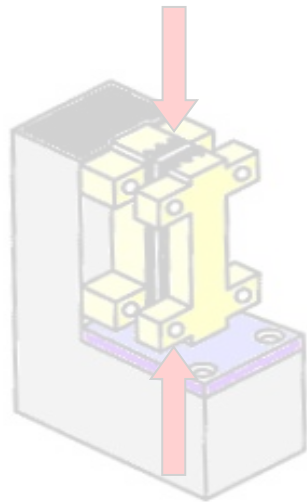


Probekörper mit Aufleimern werden nur zur Festigkeitsmessung verwendet. Die Aufleimer müssen mit viel Sorgfalt hergestellt und aufgebracht werden, die Probenenden sind zu bearbeiten.

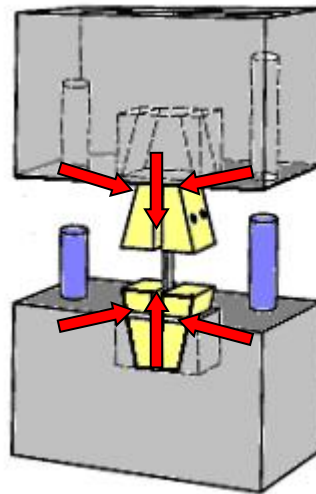




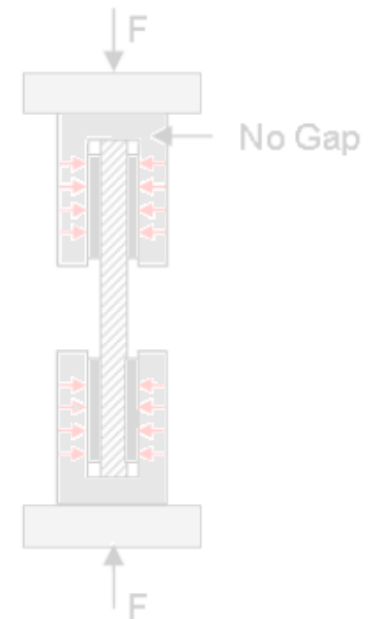
Die Verfahren können nach der Art der Krafteinleitung unterschieden werden.



End loading Aufbau



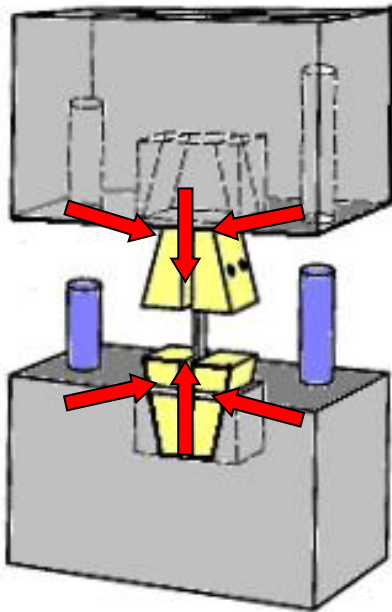
Shear Loading Aufbau



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>	

Die Druckkraft wird bei diesem Aufbau durch Klemmung an den Spannbacken übertragen. Häufig sind Aufleimer erforderlich um Spannungsspitzen zu vermeiden.



Shear loading Aufbau

## Probekörpervorbereitung

- Erfordert eine sorgfältige Bearbeitung, besonders bei Verwendung von Aufleimern.

## Vorteile

- Krafteinleitung direkt in die Laminatoberfläche oder über Aufleimer
- Bessere Dehnungsverteilung im Vergleich zu End-Loading
- Vermeidung von Spannungsspitzen
- Keine Bearbeitung der Probekörperenden erforderlich.

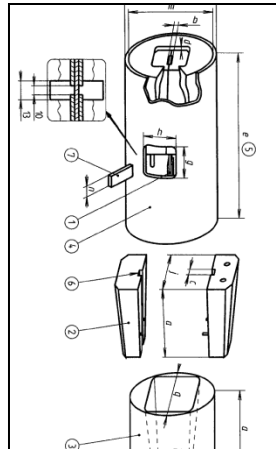
## Nachteile

- Aufwendiges Prüfwerkzeug mit schlechter Zugänglichkeit
- Empfindlich auf Dickenschwankungen der Aufleimer
- Eignet sich nur für relativ dünne Lamine
- Verfahren ist begrenzt durch die maximal über die Klebschicht der Aufleimer übertragbare Kraft.

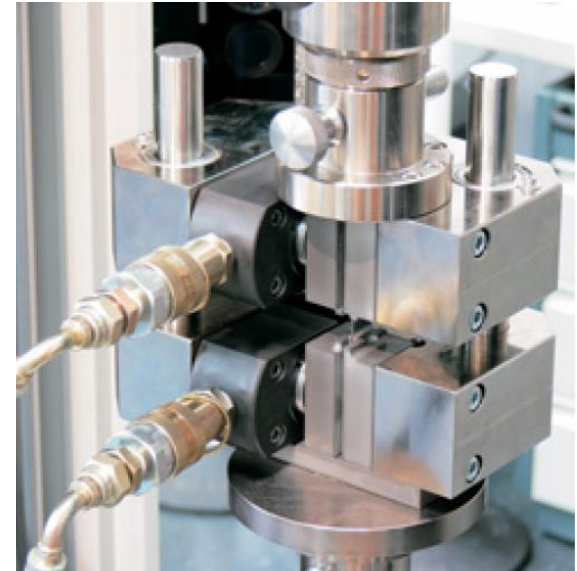
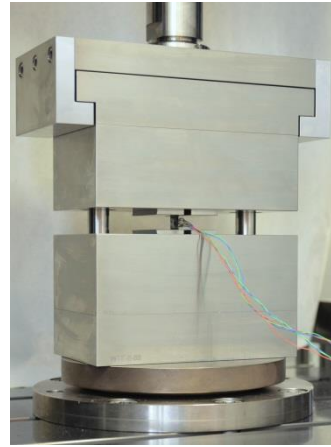
„Shear loading“ Einrichtungen nutzen bekannte Spannprinzipien. Von der ersten einfachen Celanese-Einrichtung bis zur heutigen HCCF sind viele Verbesserungen eingebracht worden.



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



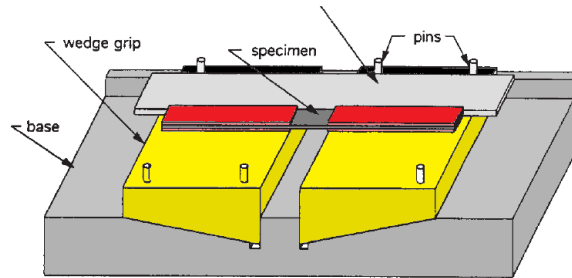
DIN 65375 und prEN 2850 bieten modifizierte Celanese - Einrichtungen an, die mit Flachkeilen das Problem der Probendicke lösen (links). Das IITRI entwickelte eine ähnlich wirkende Einrichtung, die auch das Torsionsproblem löste (rechts)



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

<b>ISO 14126 Verf. 1</b>		<b>ASTM D 3410</b>				<b>JIS K 7076</b>
<b>prEN 2850 Typ A</b>	<b>AITM 1-0008</b>			<b>RAE-TR 88012 CRAG Method 400</b>	<b>RAE-TR 88012 CRAG method 401</b>	

Das IITRI Werkzeug nach ASTM D 3410 stellt eine Verbesserung gegenüber älteren Celanese-Werkzeugen dar, hat aber weiterhin Schwächen.

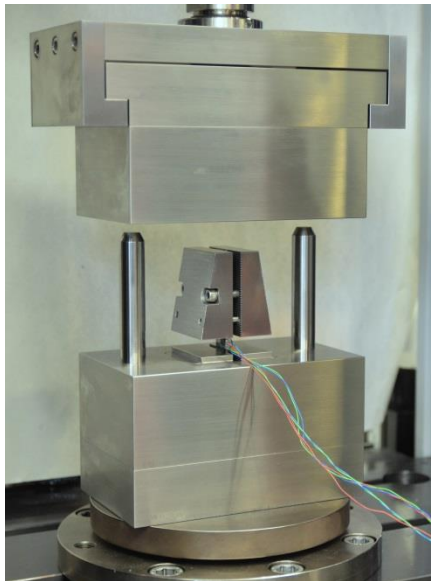


Ausrichtlehre  
ASTM D 3410

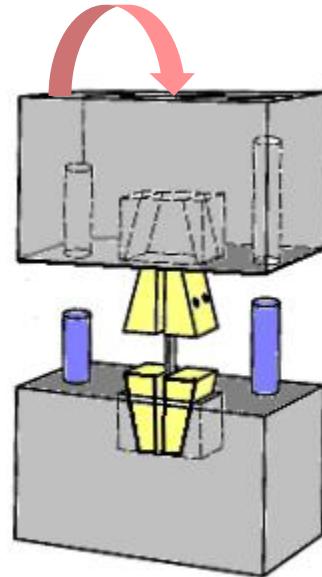
## Funktionsprinzip des IITRI Werkzeugs

- Der Probekörper muss in einer Ausrichtlehre zunächst sorgfältig in die Keilbacken eingebaut werden.
- Danach wird die obere Werkzeughälfte in Position gebracht.
- Bei Aufbringen der ersten Belastung rutschen die Spannkeile in Position und bringen dabei Ausrichtfehler in den Probekörper ein.
- Während der Prüfung bewegen sich die Spannkeile und "verstärken" Biege- und Knickeffekte.
- Keine Korrekturmöglichkeiten während der Prüfung
- Bei hohen Druckkräften besteht das Risiko einer Beschädigung des PK durch Spannkkräfte

→ **Das Verfahren ist sehr empfindlich gegenüber Bedienerfehlern.**



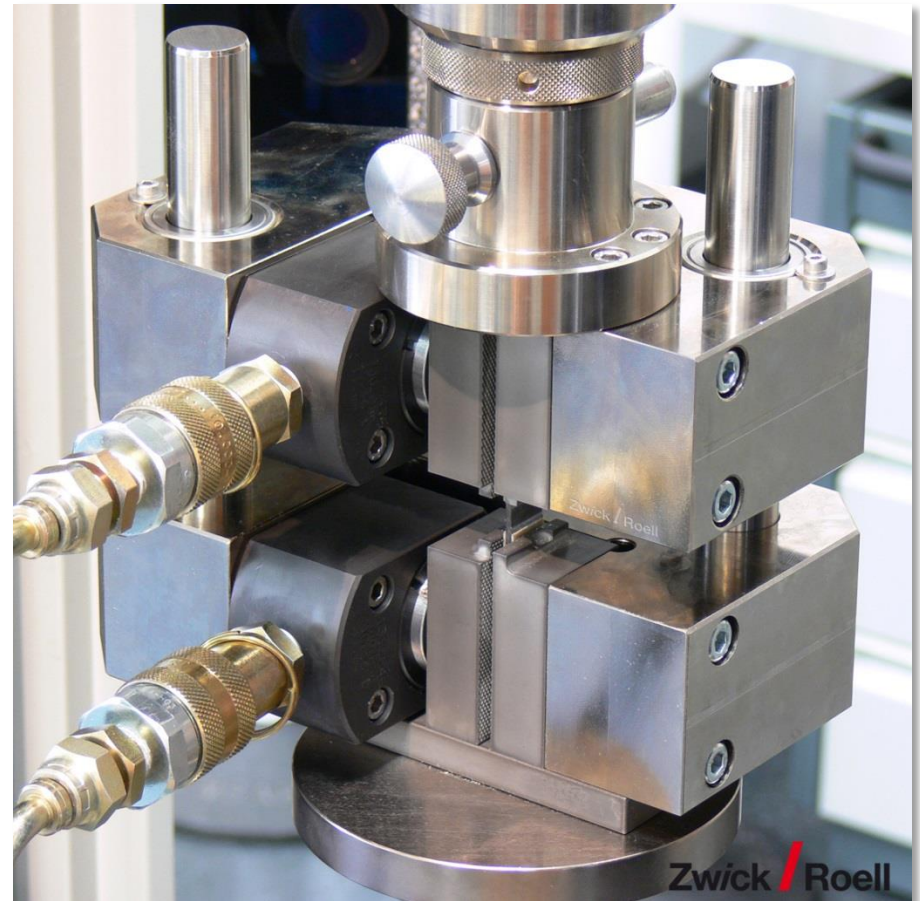
IITRI Werkzeug wie in ASTM D 3410 beschrieben



Die HCCF ist mit ihrem parallelen hydraulischen Spannprinzip sicher zu bedienen und liefert zuverlässige Messergebnisse.

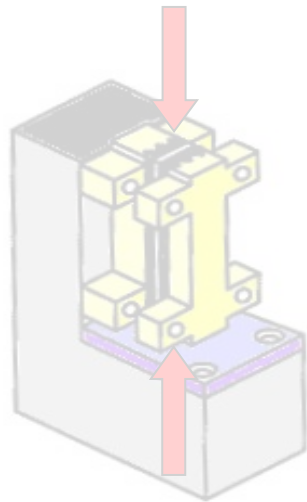
## Eigenschaften der HCCF

- Shear loading bis ca. 40 kN
- Combined loading bis 200 kN
- Probekörperbreiten bis 35 mm möglich
- Exakte Ausrichtung der Klemmbacken
- Exakte Führung
- Parallel schließende hydraulische Klemmung
- Keine Backenbewegungen während der Prüfung
- Ausrichtfehler nach Spannen des PK sind über DMS sichtbar und können korrigiert werden.
- Einstellbare Probenanschläge
- Einfaches Ausrichten des Probekörpers, gute Zugänglichkeit und einfache Reinigung.
- Geeignet für mehrere Normen und Krafteinleitungsarten

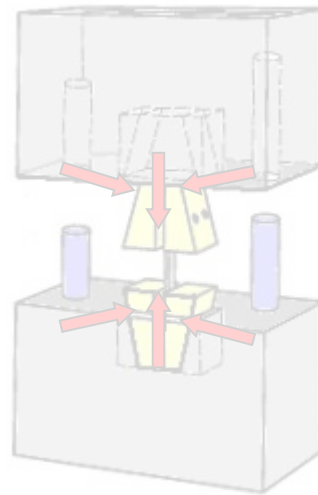


**HCCF** – Hydraulic Composites Compression Fixture

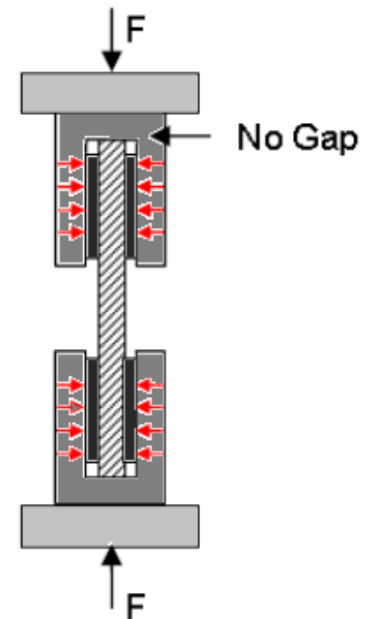
Die Verfahren können nach der Art der Krafteinleitung unterschieden werden.



End loading Aufbau



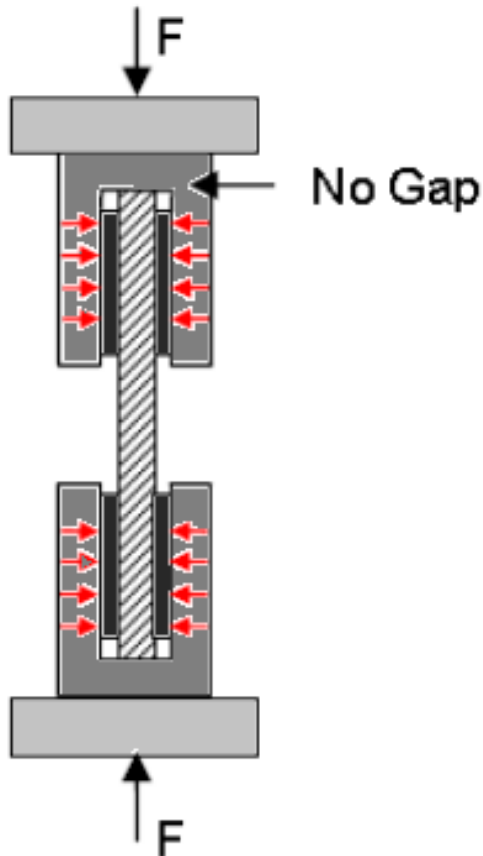
Shear Loading Aufbau



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>	

Der combined loading Aufbau kann für die meisten Faserverbundtypen eingesetzt werden.



Combined loading Aufbau

## Probekörpervorbereitung

- Erfordert eine sorgfältige Probekörpervorbereitung inklusive Bearbeitung der Probekörperenden.

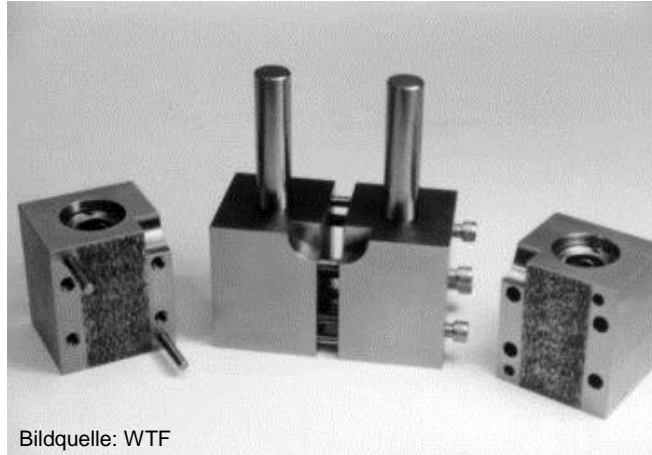
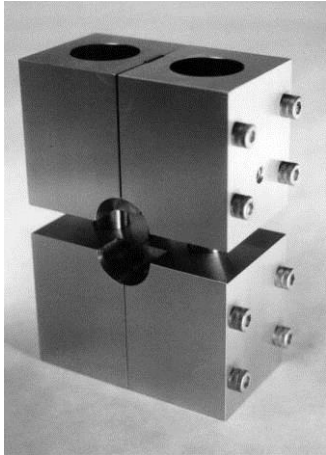
## Vorteile

- Kraftübertragung teils über die Stirnflächen der Probekörper, teils über die Probekörperoberfläche.
- Übertragung höherer Kräfte als im Shear-Loading Aufbau möglich.
- Gleichmäßige Dehnungsverteilung im Prüfquerschnitt
- Geeignet für alle Faseraufbauten, nicht nur für Lamine
- Geeignet für große Probekörper und dickere Strukturen oder Lamine
- Geeignet für Faserverbundwerkstoffe mit thermoplastischer Matrix.

## Nachteile

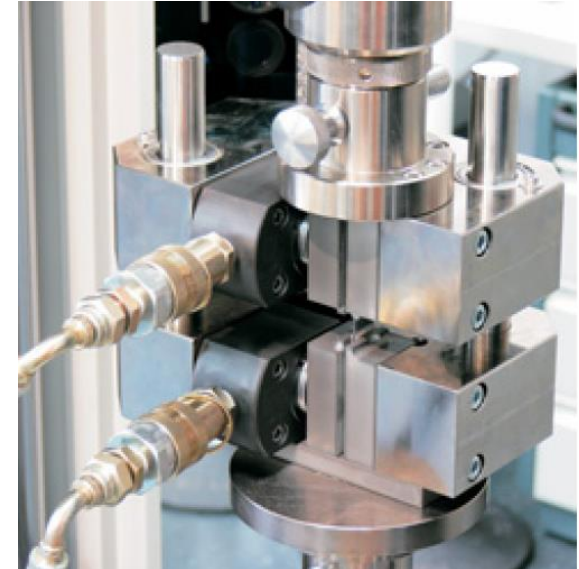
- Empfindlich auf Dickenvariationen der Aufleimer
- Bearbeitung der Probekörperenden notwendig

Druckversuche bei hohen Kräften werden im Combined-Loading Aufbau durchgeführt. Hier sind Prüfungen bis 600 kN möglich.



Bildquelle: 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.

<b>ISO 14126 meth. 2</b>				<b>ASTM D 6641</b>		
	<b>AITM 1-0008</b>					



**Methoden in ASTM, ISO und EN**

**Ergebnisse und Gültigkeitskriterien**

**Prüfungen mit der HCCF von Zwick**

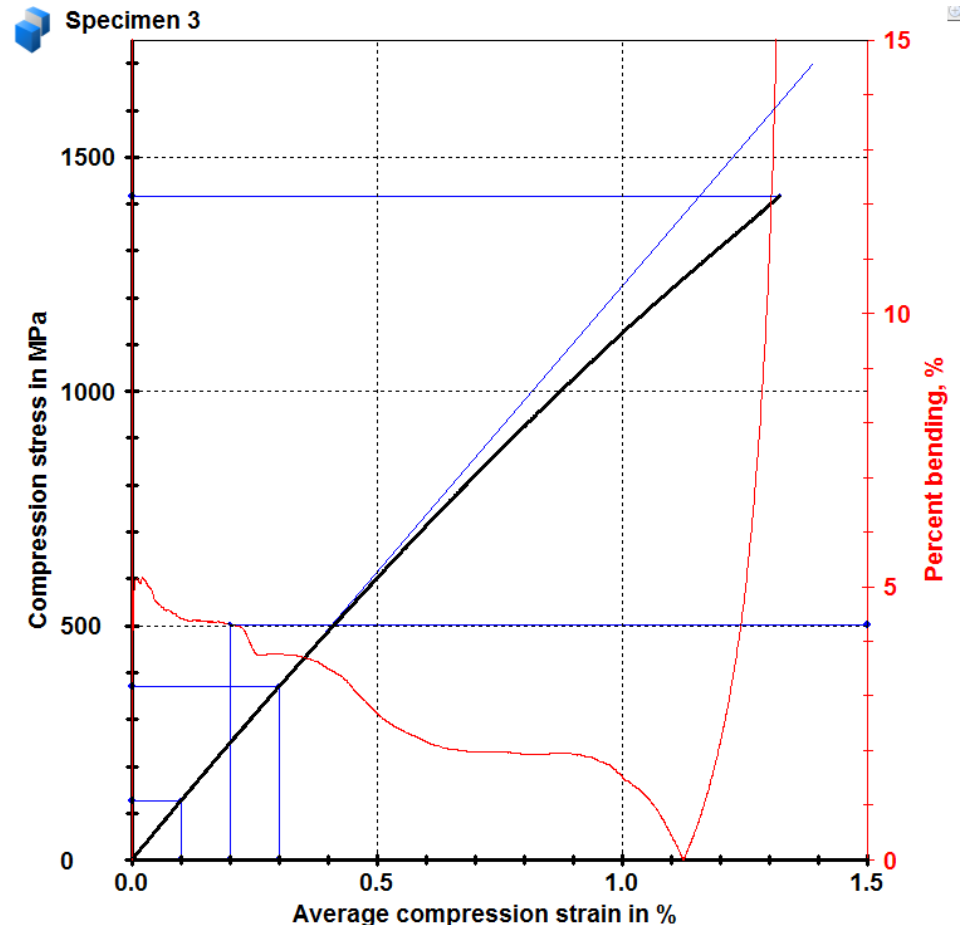
Ergebnisse und Gültigkeitskriterien sind in verschiedenen Normen Weise definiert.

## ■ Ergebnisse

- Druckmodul
- Druckfestigkeit
- Druckstauchung bei Druckfestigkeit (nur shear- und combined loading)
- Definiert aber wenig üblich: Poissonsche Zahl unter Druckbelastung

## ■ Gültigkeitskriterien

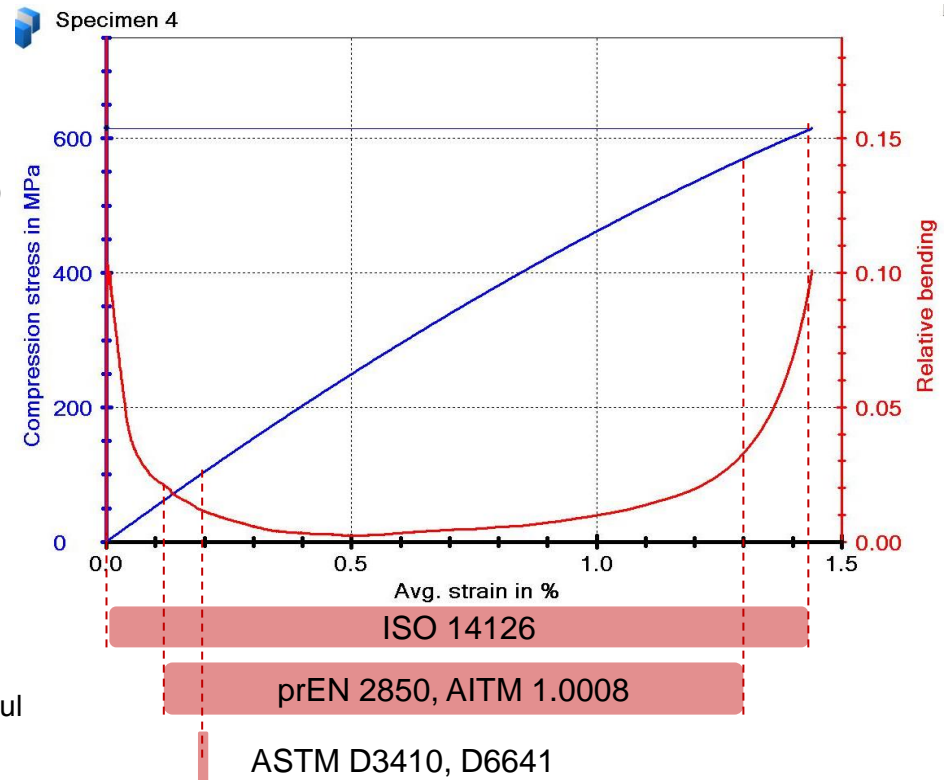
- Prozentuale Biegung (PB)
- Versagensart



## Die Festlegungen für Gültigkeitskriterien unterscheiden sich in den Normen und sind z.T. kaum erreichbar.

### Kriterium: Biegung (absolut), Prozentuale Biegung, PB (relativ)

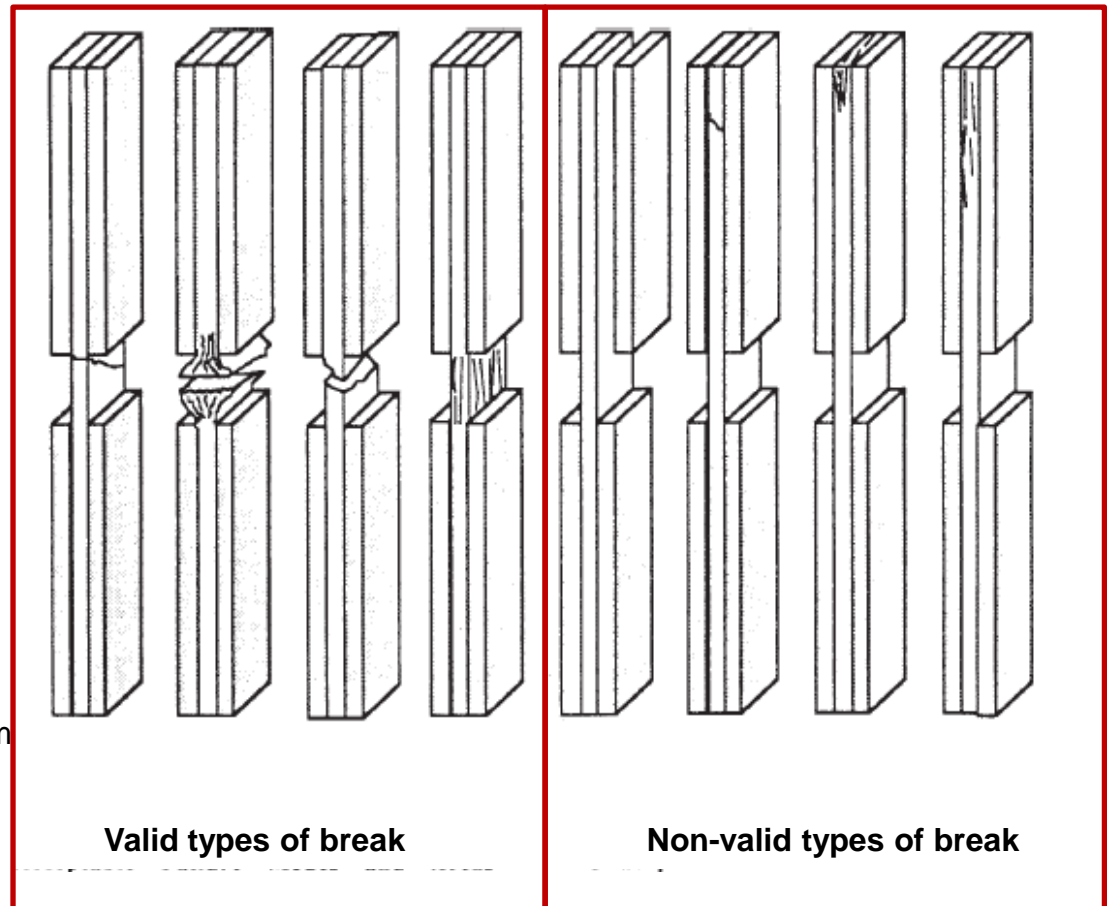
- ISO 14126:
  - Keine Überwachung direkt nach Spannen des PK
  - PB darf 10 % während des gesamten Versuchs nicht überschreiten (Diese Bedingung ist nahezu unerreichbar)
- prEN 2850, Verfahren A – Shear Loading
  - zwischen 10% und 90% Fmax: PB ≤ 5%
- AITM 1.0008:
  - Biegung nach Spannen: max. 150 µm/m
  - zwischen 10% und 90% Fmax: PB ≤ 10%
- ASTM D 3410, D 6641:
  - PB ist nur definiert für den elastischen Bereich.
  - PB ≤ 10% in der Mitte des Bereichs in den der Druckmodul gemessen wird.
  - Hinweis, dass sogar 30% bis 40% Biegung oft keinen signifikanten Einfluss auf die Ergebnisse haben.



Gültige Brucharten treten immer im Bereich der freien Länge zwischen den Druckwerkzeughälften auf.

## Kriterium: Bruchart

- ISO 14126:
  - Gibt Beispiele für gültige Brucharten
- prEN 2850, Verfahren A – Shear Loading
  - Ein Bruch wird als gültig angenommen, wenn er im freien mittleren Bereich des Probekörpers auftritt.
- AITM 1.0008:
  - Gibt Beispiele für gültige und für ungültige Brucharten
- ASTM D 3410, D 6641:
  - Gibt Beispiele für gültige und für ungültige Brucharten und definiert zudem eine Klassifizierung der Brucharten.

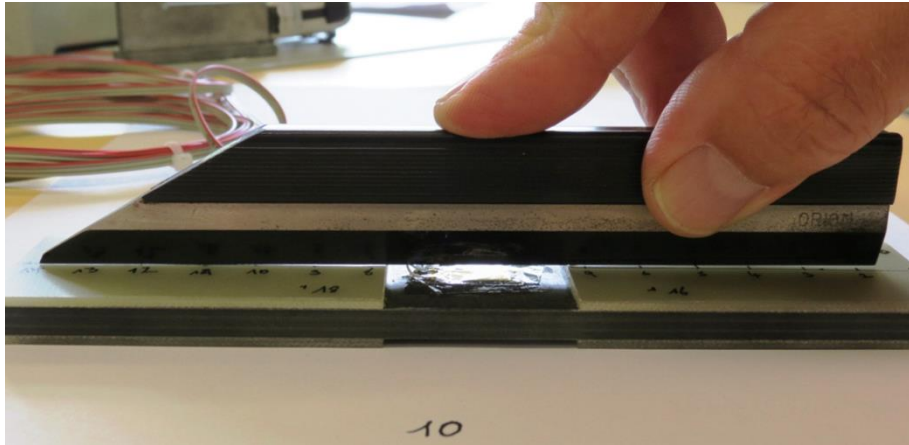


**Methoden in ASTM, ISO und EN**

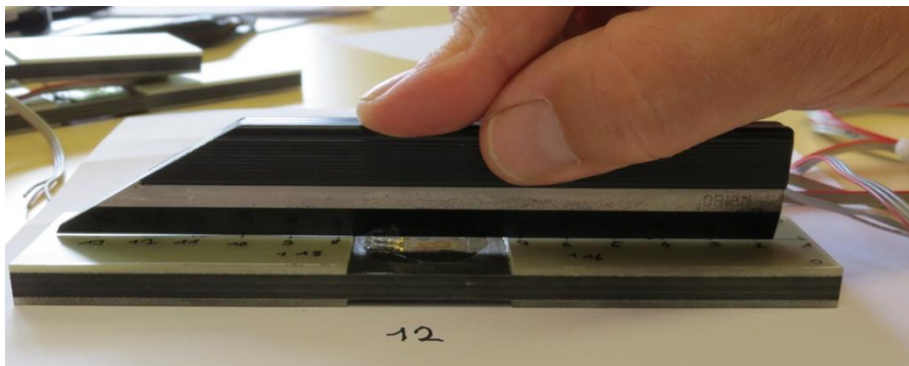
**Ergebnisse und Gültigkeitskriterien**

**Prüfungen mit der HCCF von Zwick**

Druckversuche sind empfindlich auf Ausrichtfehler. Viele Probleme sind bedingt durch Variationen der Aufleimerdicke.



Sichtbares Licht am linken Aufleimer, Mitte: Schwankungen bis 200  $\mu\text{m}$ .



Sichtbares Licht am linken Aufleimer links. Schwankungen bis 227  $\mu\text{m}$ .

Während der Prüfung kann die Ausrichtung anhand der Signaldifferenz zwischen den DMS überwacht werden.

- Einfache Biegung wird sichtbar
- Biegung aus Versatz bleibt unsichtbar, da sie in der Mitte durch Null geht.

10 % Biegung bei 2000  $\mu\text{m}/\text{m}$  entsprechend folgenden Versatzfehlern:

- ASTM D 6641: 8  $\mu\text{m}$  @ 2 mm Dicke
- prEN 2850: 5  $\mu\text{m}$  @ 2 mm Dicke
- AITM 1.0008 / A1: 29  $\mu\text{m}$  @ 3.2 mm Dicke

Elektromechanische Prüfmaschinen der Allround-Line sind sehr gut für Druckprüfungen geeignet.

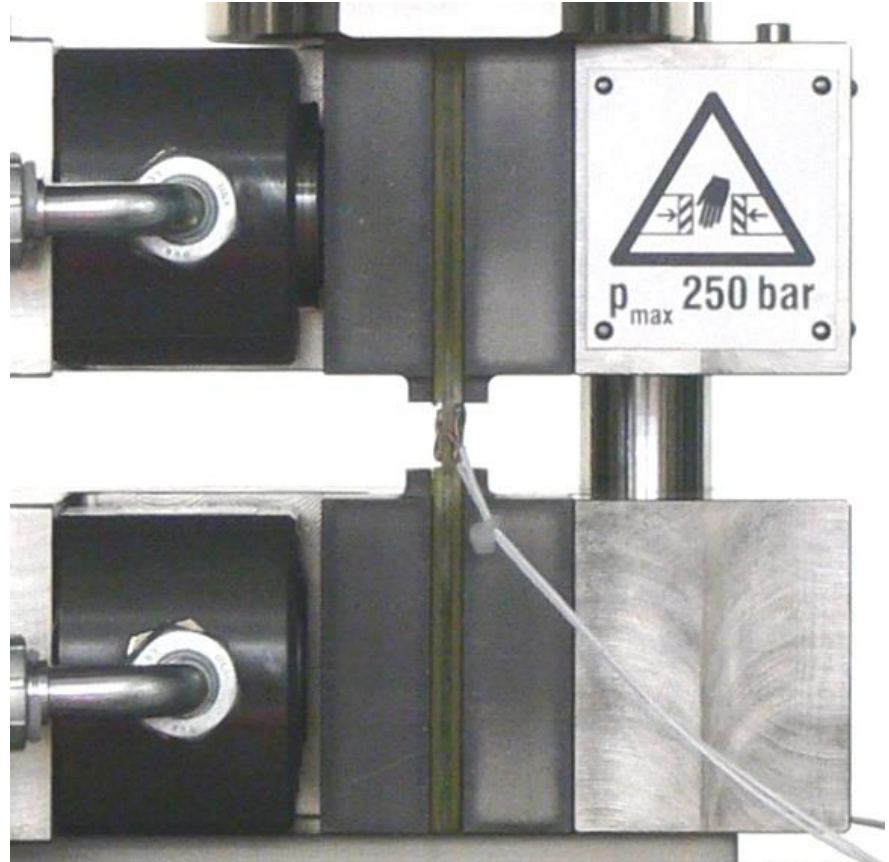


- 50 kN ist meistens ausreichend für Druckprüfungen nach ASTM D 3410, ASTM D 6641, ISO 14126, EN 2850 bei denen die Probenbreite 12 mm (1/2 in) oder kleiner ist.
- 130 kN können bei der Prüfung multidirektionaler Lamine nach ASTM D 3410 erreicht werden.
- 180 kN werden für Probekörper Typ A1 nach ASTM 1.0008 wegen der Standardbreite von 32 mm benötigt.
- Der Prüfaufbau muss exakt ausgerichtet und mit Kraftsensor und 2-kanaliger Dehnungsmessung ausgestattet sein.
- Der Prüfablauf wird komplett mit der testXpert II / testXpert III Software gesteuert.

Die Dehnung kann entweder mit einem Ansetzaufnehmer gemessen werden, oder – wesentlich üblicher - mit zwei DMS.



Beidseitig messender Ansetzaufnehmer in einem speziellen Halterahmen.

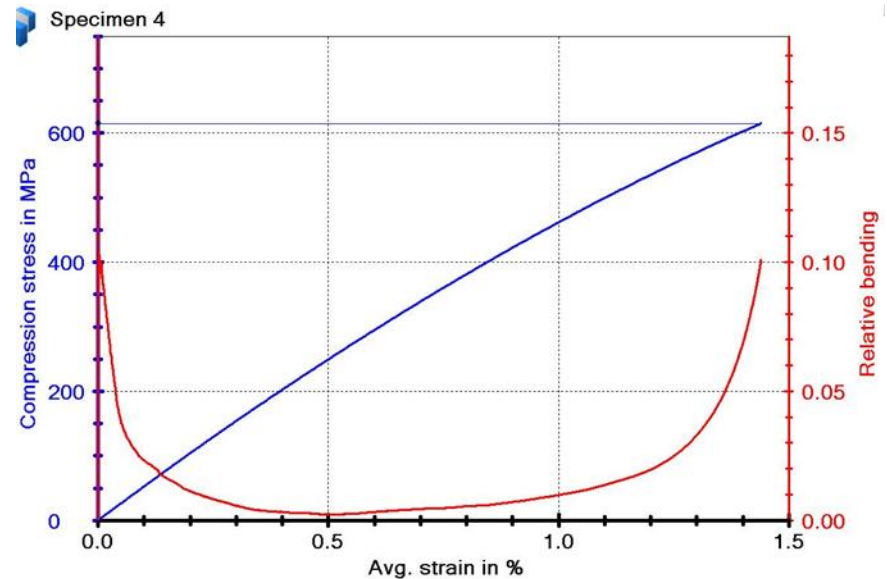


Zwei DMS in Viertelbrücken-Schaltung sind auf den gegenüberliegenden Seiten des Probekörpers appliziert.



Die Software führt den Bediener, berechnet die Ergebnisse und das Biegekriterium und dokumentiert Ergebnisse und Ablauf.

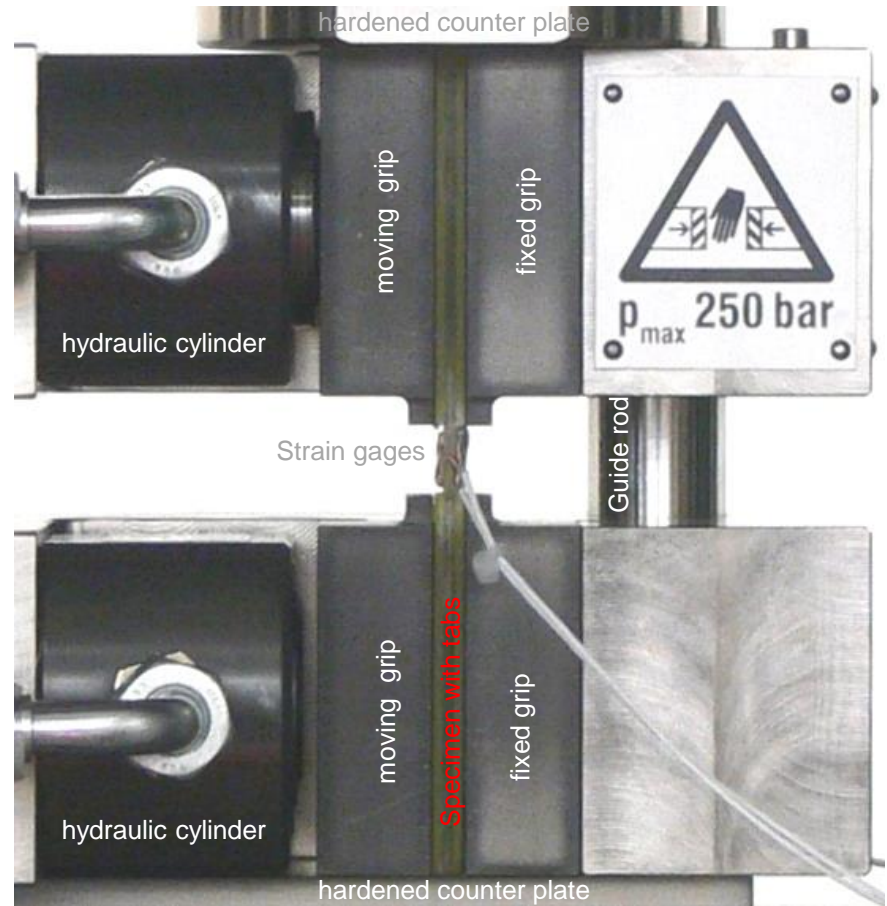
- Sicherheitsfunktionen
- Datenerfassung von allen Kanälen
- Datentransformation zu berechneten Messkanälen wie:
  - Mittlere Stauchung aus 2 Kanälen.
  - Absolute Biegung (B)
  - Relative Biegung (PB)
  - Spannungen und Dehnungen
- Korrekte Ergebnisberechnung nach der angewandten Norm
- Prüfprotokoll
- Datenablage und Nachvollziehbarkeit.



In der HCCF ist es möglich, Ausrichtfehler nach den ersten Spannen und vor Lastaufbringung zu erkennen und zu korrigieren.

## Allgemeiner Prüfablauf mit HCCF:

- DMS werden durch löten mit der Messkette verbunden.
- DMS in frei hängender Position nullen
- Kraftsignal nullen
- Probekörper in die HCCF, einsetzen, die Spannbacken bleiben leicht geöffnet.
- Vorlast anfahren um die Enden des Probekörpers in einen end-loading Kontakt zu bringen.
- Schließen der HCCF mit hydr. Handpumpen
- Überprüfung der absoluten Biegung (B)
- Wenn die Biegung mehr als 150µm beträgt, ist eine Nachjustage erforderlich
- Durchführung des Prüfung bis Probenbruch
- Überprüfung der Gültigkeitskriterien Bruchart und Biegung.

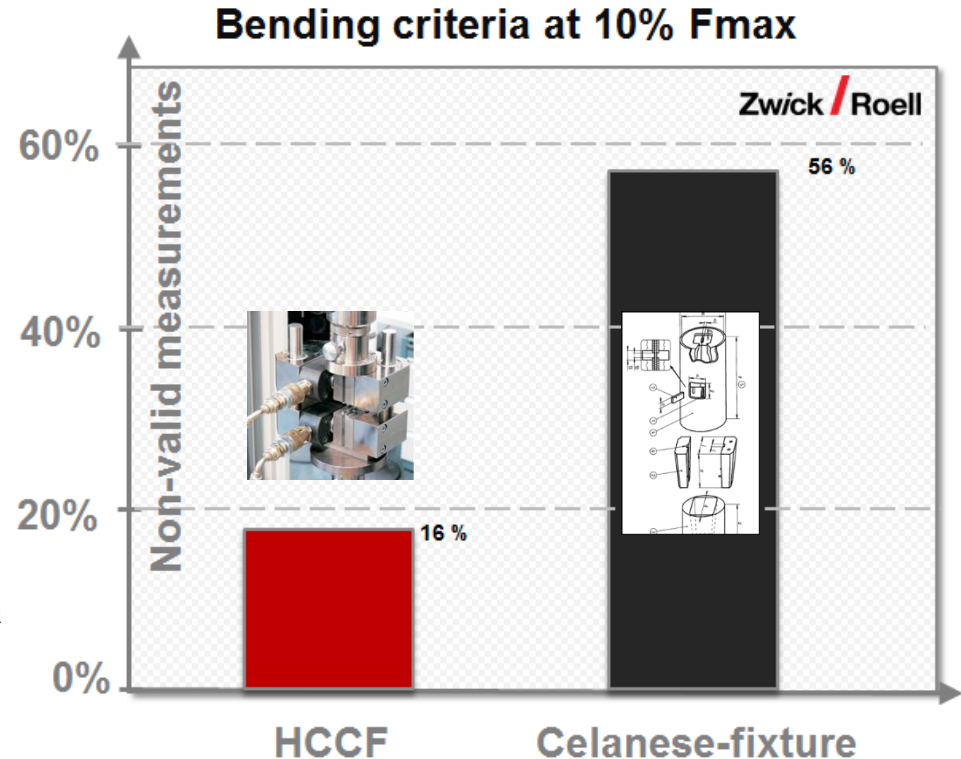


Case study: The number of valid tests significantly increased with the use of the HCCF compared to a mechanical Celanese-type fixture.

## Test conditions

- Test piece according to compression standard prEN 2850
- Geometry A1 (10 x 2 mm)
- 18 measurements per each fixture
- Load introduction by shear loading via the tabs.

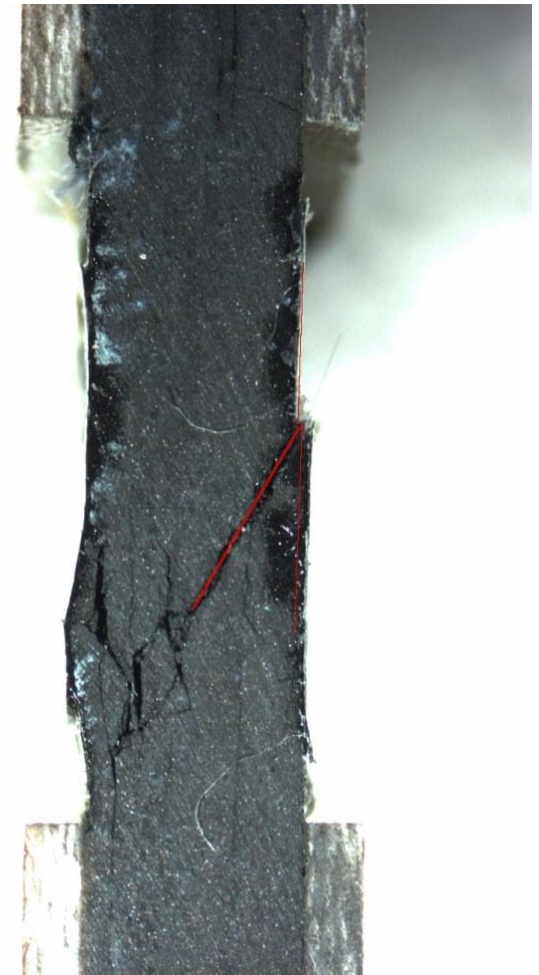
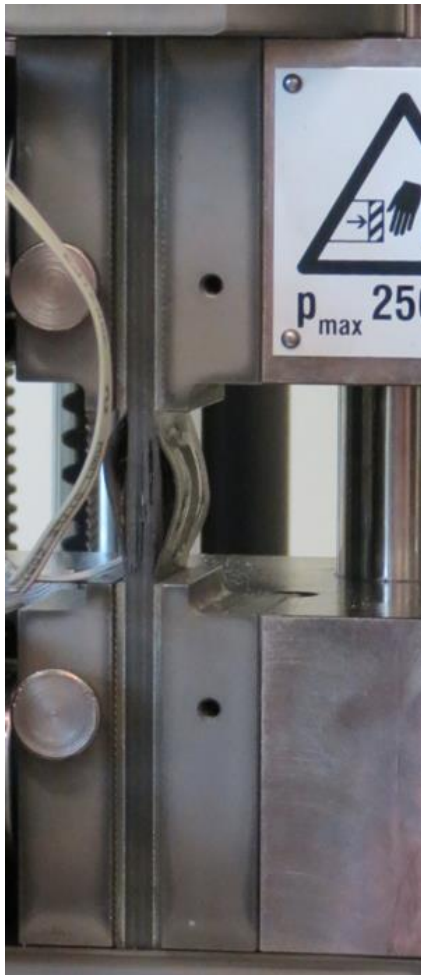
**Aim:** Assessment of the bending criteria at 10%F<sub>max</sub>



16% of the tests with HCCF were not valid, while 56% of the tests performed with a Celanese wedge-type fixture were not valid.

# Beispiele für erzielte Brucharten

## Druckversuche nach AITM 1.0008 mit der HCCF



# Beispiele für erzielte Brucharten

## Druckversuche nach ASTM D 6641, CFK



# Beispiele für erzielte Brucharten

## Druckversuch nach ISO 14126, GFK



## Zwick – Reliable Test Results.

