

Standard Prüfmethoden für Sandwich Composites

Dr. Hannes Körber

Branchenmanager Composites

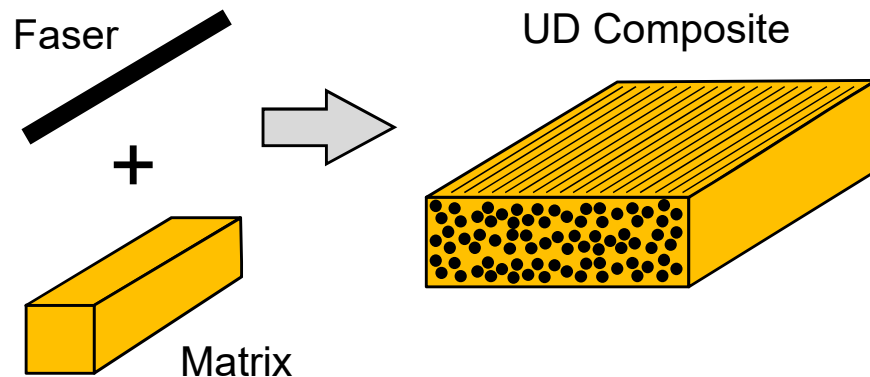
Zwick Roell GmbH & Co. KG



Was ist ein Sandwich Composite?

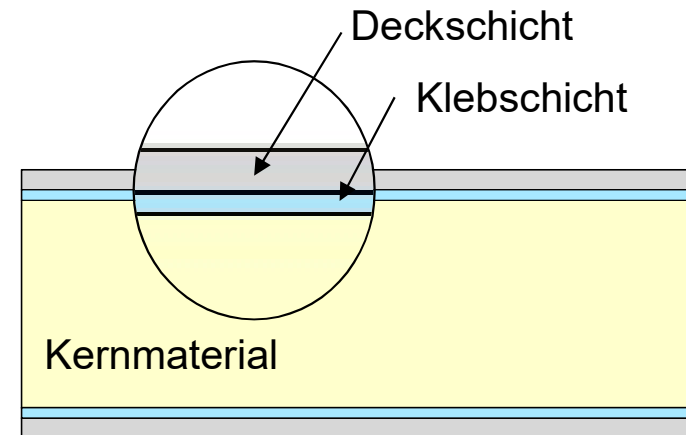
Durch die Kombination verschiedener Materialien mit unterschiedlichen Eigenschaften erhält man eine Struktur mit besseren Eigenschaften.

Faserkunststoffverbund



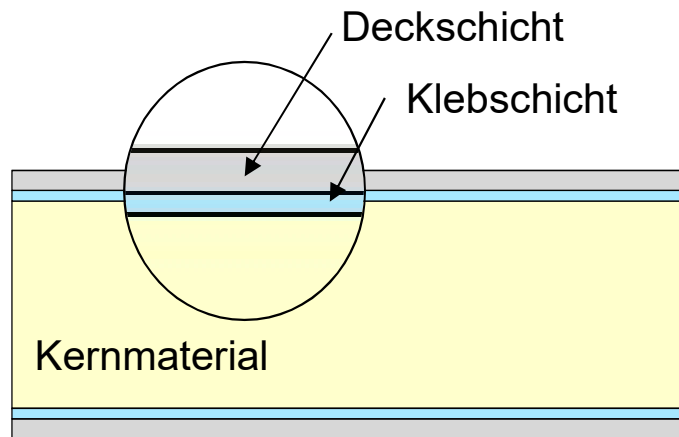
“...ein Verbund auf materieller Ebene...”

Sandwich Composite



“...ein Verbund auf struktureller Ebene...”

Durch die Kombination verschiedener Materialien mit unterschiedlichen Eigenschaften erhält man eine Struktur mit besseren Eigenschaften.



Deckschicht:

- Lastübertragung in der Ebene
- Dünn und aus Materialien mit sehr guten mechanischen Kennwerten

Kern:

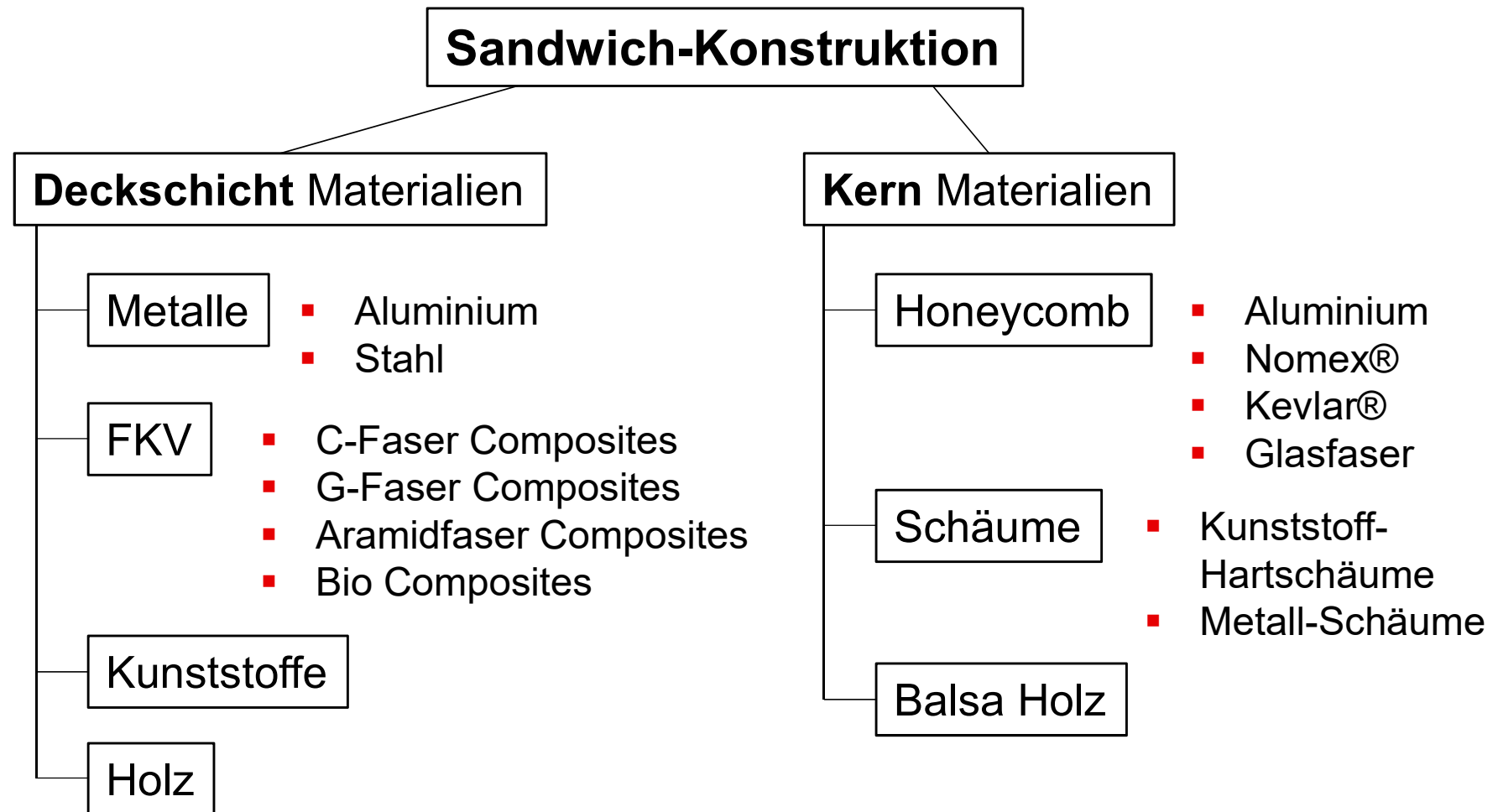
- Aufnahme von Schubkräften und Lasten in Dickenrichtung
- Dick und aus Materialien mit niedrigen mechanischen Kennwerten
- Hauptaufgabe ist die Vergrößerung des Abstands zwischen den Deckschichten
- Aus Materialien mit niedriger Dichte

Sandwich

- Hohe gewichtsspezifische Steifigkeit und Biegefestigkeit
- Deckschichten sind weniger anfällig für Beulen, verglichen mit anderen Leichtbaukonstruktionen, aufgrund der flächigen Unterstützung des Kernmaterials

Welche Materialien werden verwendet?

Die Auswahl an Materialien für Deckschicht und Kern ist groß. Diese Komplexität hat den Vorteil, dass das beste Material für die jeweilige Anwendung ausgewählt werden kann.



Sandwich Composites werden vor allem für Leichtbauanwendungen verwendet, übernehmen aber auch zusätzliche Funktionen.

Luft- und Raumfahrt



Bahn und Freizeitfahrzeuge



Bootsbau



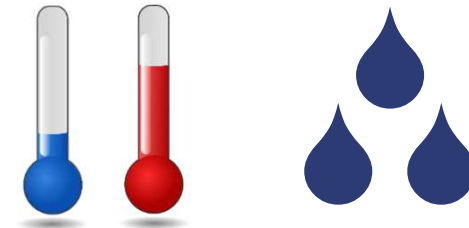
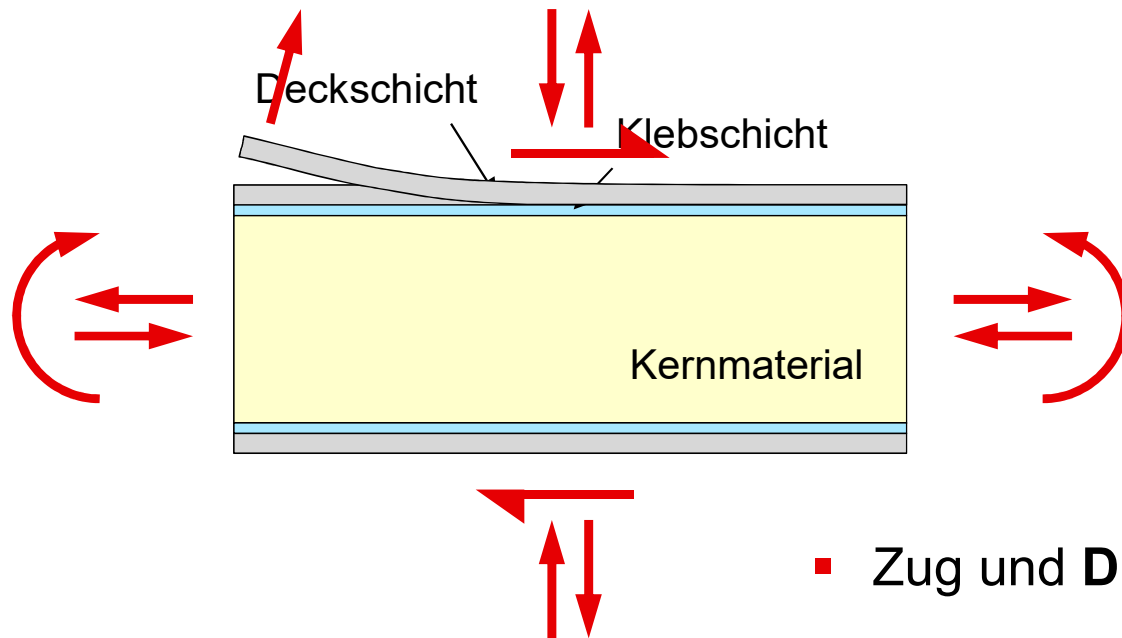
Bauwesen



Andere Anwendungen

- Windenergie
- Maschinenbau
- Medizintechnik
- Militär
- Öl- und Gas-Industrie

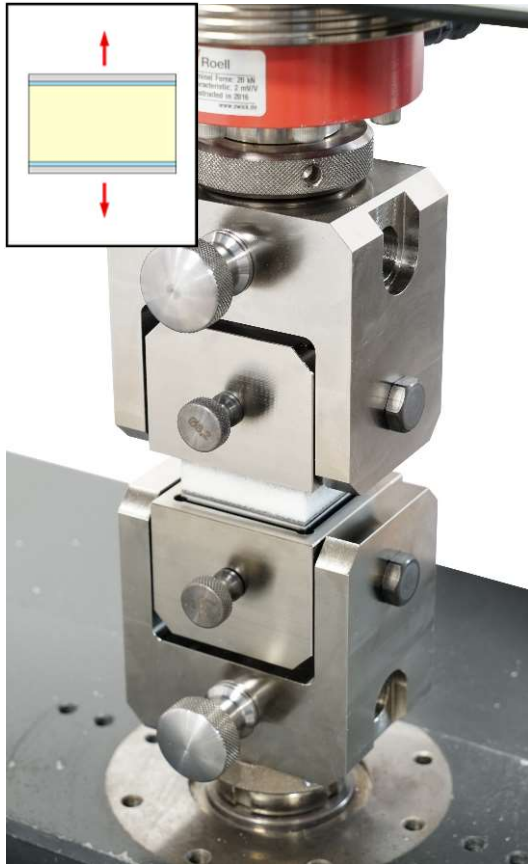
Für Sandwich-Konstruktionen müssen neben den Lastfällen für die tragenden Deckschichten weitere Lastfälle berücksichtigt werden.



- Temperatur
- Feuchtigkeit & Medien

- Zug und Druck in der Ebene
- Zug und Druck in Dickenrichtung
- Schub in Dickenrichtung
- Biegung
- Schäl-Lasten

Mit dem Querzugversuch wird die Festigkeit der Sandwich-Konstruktion unter Zugbelastung in Dickenrichtung ermittelt.



Aufbau nach DIN 53292

Ziel der Prüfung ist die Bestimmung der Festigkeit

- des Kernmaterials
- der Klebschicht zwischen Deckschicht und Kern
- der Deckschicht (bei Verbundwerkstoffen)

in Dickenrichtung der Sandwich-Konstruktion.

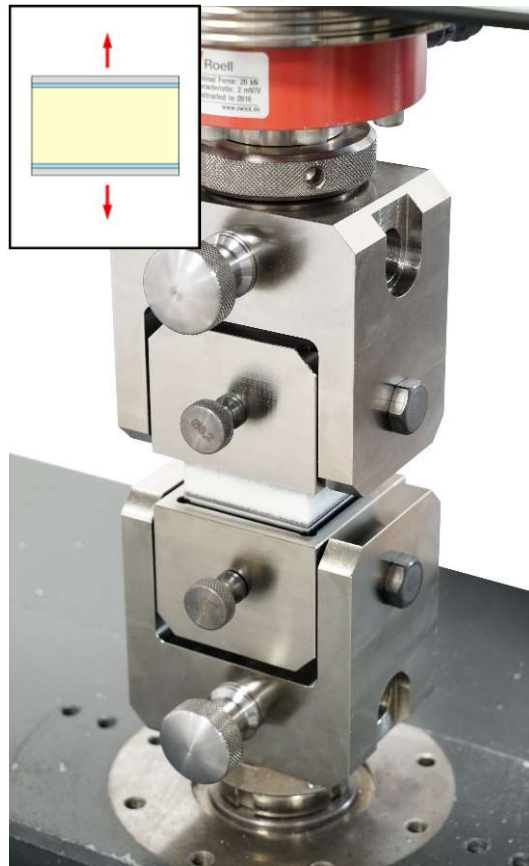
Die Proben

- sind entweder das Kernmaterial selbst oder der Schichtverbund.
- werden zwischen Lasteinleitungselemente geklebt.
- -Größe (Querschnitt) hängt von der Homogenität oder Größe der Zellstruktur des Kernmaterials ab.

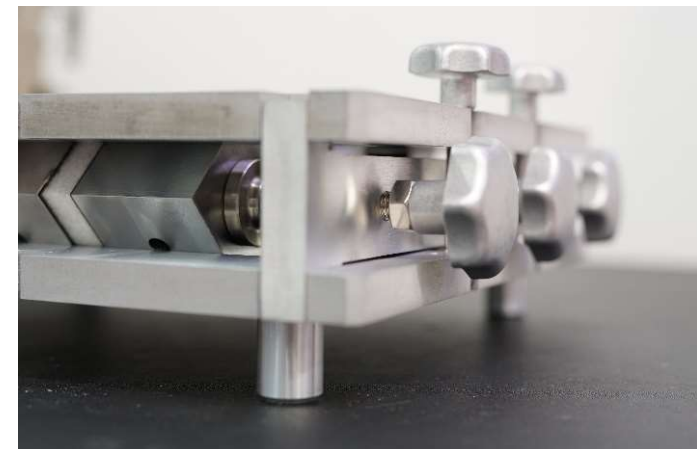
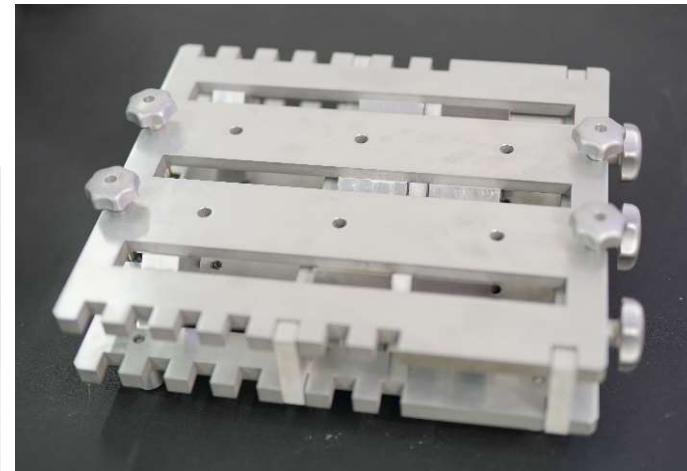
Typische Probengrößen: 25 x 25 mm²
(Querschnitt) 50 x 50 mm²
 75 x 75 mm²

<i>ASTM C 297</i>	<i>ASTM D 1623 B & C</i>	<i>DIN 53292</i>	<i>EN 2243-4</i>	<i>AITM 1.0025</i>
-------------------	------------------------------	------------------	------------------	--------------------

Für eine genaue und reproduzierbare Verklebung der Proben mit den Lasteinleitungselementen steht eine Klebevorrichtung zur Verfügung.



Aufbau nach DIN 53292



ASTM C 297

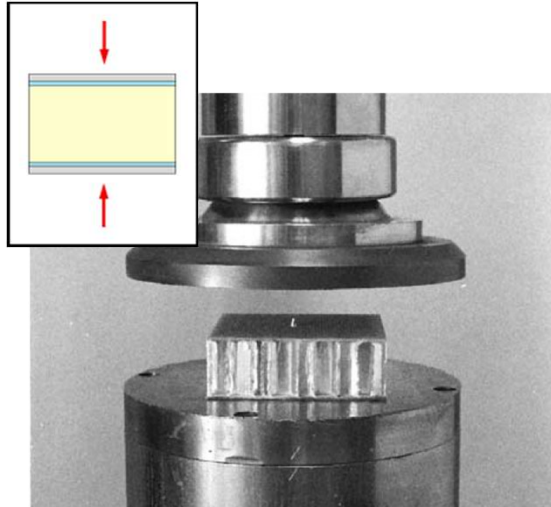
ASTM D 1623 B & C

DIN 53292

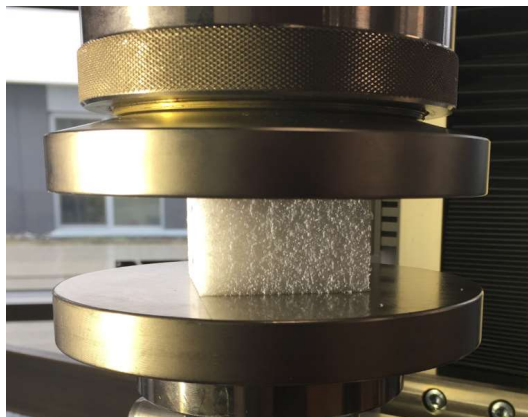
EN 2243-4

AITM 1.0025

Der Druckversuch in Dickenrichtung wird aufgrund der wesentlich geringeren mechanischen Eigenschaften des Kernmaterials benötigt.



Aufbau nach [ASTM C 365]



Aufbau nach ISO 844

Ziel der Prüfung ist die Bestimmung der Steifigkeit und Festigkeit des Kernmaterials.

- ASTM C 365: - gilt für alle gängigen Kernmaterialien
- Honeycomb mit Deckschicht (stabilisiert)
 - Honeycomb ohne Deckschicht (nicht stabilisiert)
- ISO 844: - gilt nur für Polymerhartschäume

Die Proben

- werden zwischen sorgfältig ausgerichteten Druckplatten bis zum Versagen belastet.
- -Größe (Querschnitt) hängt von der Homogenität oder Größe der Zellstruktur des Kernmaterials ab.

Typische Größen: ASTM C 365: 25 x 25 bis 75 x 75 mm²
(Querschnitt) ISO 844: 50 x 50 bis 150 x 150 mm²

ASTM C 365

ISO 844

Mit diesem Druckversuch wird die Tragfähigkeit der Sandwich-Konstruktion in Richtung der Deckschichten ermittelt.



- Gilt für alle Sandwich-Konstruktionen
- Für die Berechnung der Spannung und Festigkeit wird nur die Querschnittsfläche der Deckschichten berücksichtigt
 - Dicke der Deckschichten muss vor der Herstellung des Schichtverbunds ermittelt werden
- Die Proben werden entweder geklemmt (linkes Bild) oder an den Enden in Harz eingebettet
 - Bei Verwendung einer Klemmvorrichtung ist auf eine genaue Bearbeitung der Probenendflächen zu achten
- Zur Bestimmung überlagerter Biegespannungen werden beidseitig und mittig applizierte lineare DMS verwendet

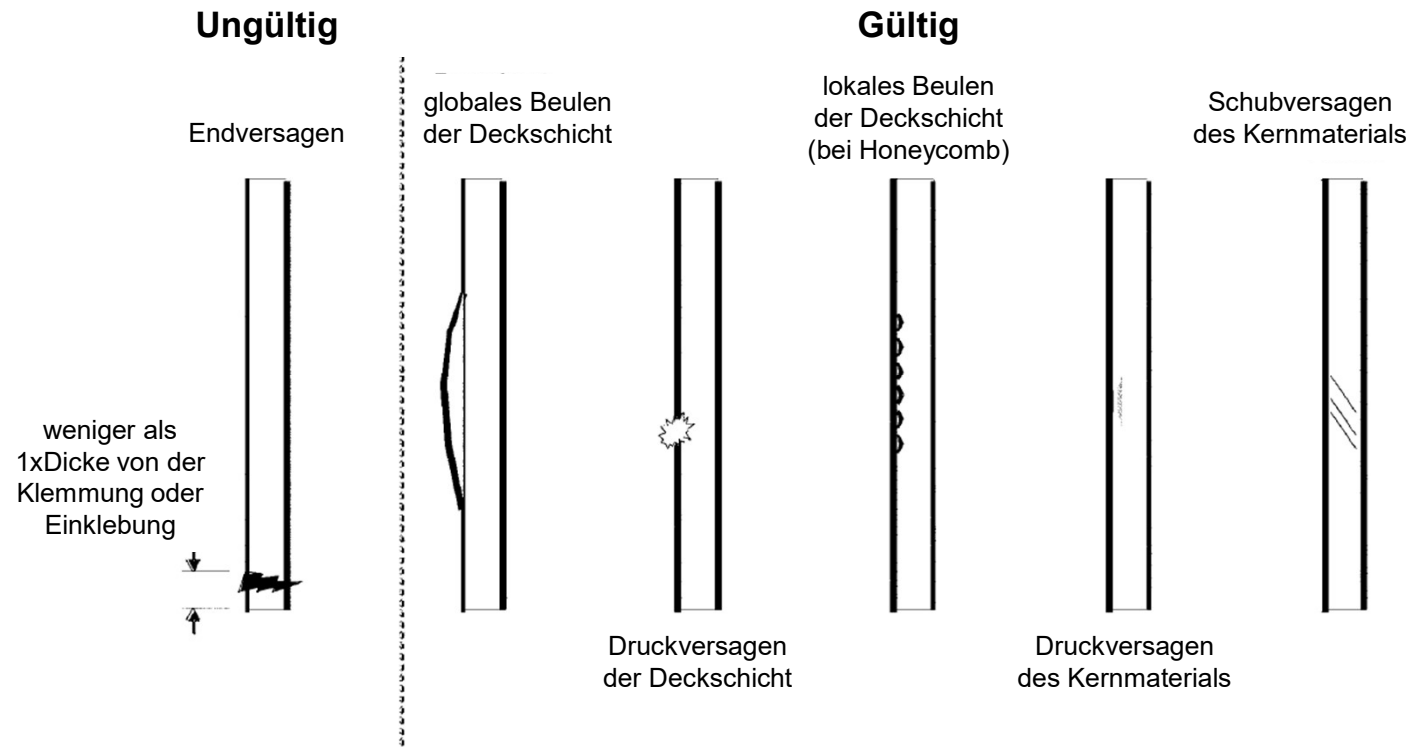
$$B_y = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2} \cdot 100 \leq 10\%$$

ASTM C 364

Mit diesem Druckversuch wird die Tragfähigkeit der Sandwich-Konstruktion in Richtung der Deckschichten ermittelt.

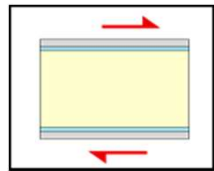


- Gültige und ungültige Versagensmoden



ASTM C 364

Der Sandwichkern überträgt vor allem Schubbelastungen und muss bei möglichst geringer Dicke ausreichende Schubkennwerte aufweisen.

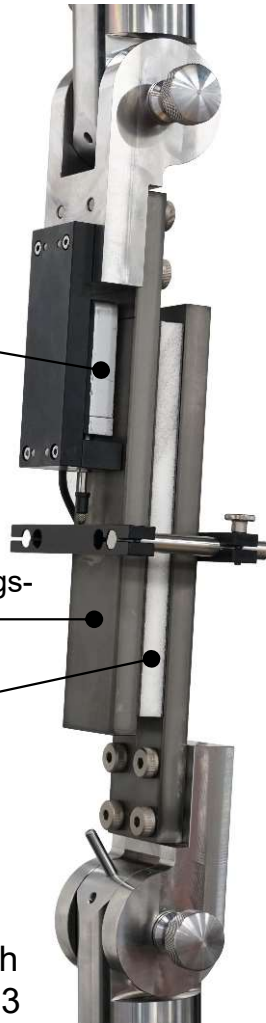


Weg-
Messsystem

Lasteinleitungs-
Platten

Probe

Aufbau nach
ASTM C 273



Ziel der Prüfung ist die Bestimmung der Schubsteifigkeit und Schubfestigkeit des Kernmaterials

Die Proben:

- sind entweder das Kernmaterial selbst oder der Schichtverbund
- werden mit Lasteinleitungsplatten verklebt und in die Vorrichtung eingebaut
- haben aufgrund der Off-Axis Belastung keine reine Schubbelastung (ASTM C 283, DIN 53294 gelten für alle Kern- und Sandwich-Typen)
→ ISO 1922 erzeugt reine Schubbelastung (nur Polymer-Hartschäume)
- -Größen und Lasteinleitungsplatten hängen von der Probendicke ab

Der Versuch kann unter Zug- und Drucklast gefahren werden

Weg-Messsystem für korrekte Bestimmung der Schubdehnung

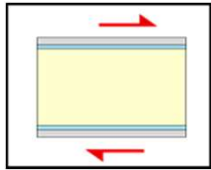
Kernschubversagen ist der einzig erlaubte Versagensmode

ASTM C 273

DIN 53294

ISO 1922

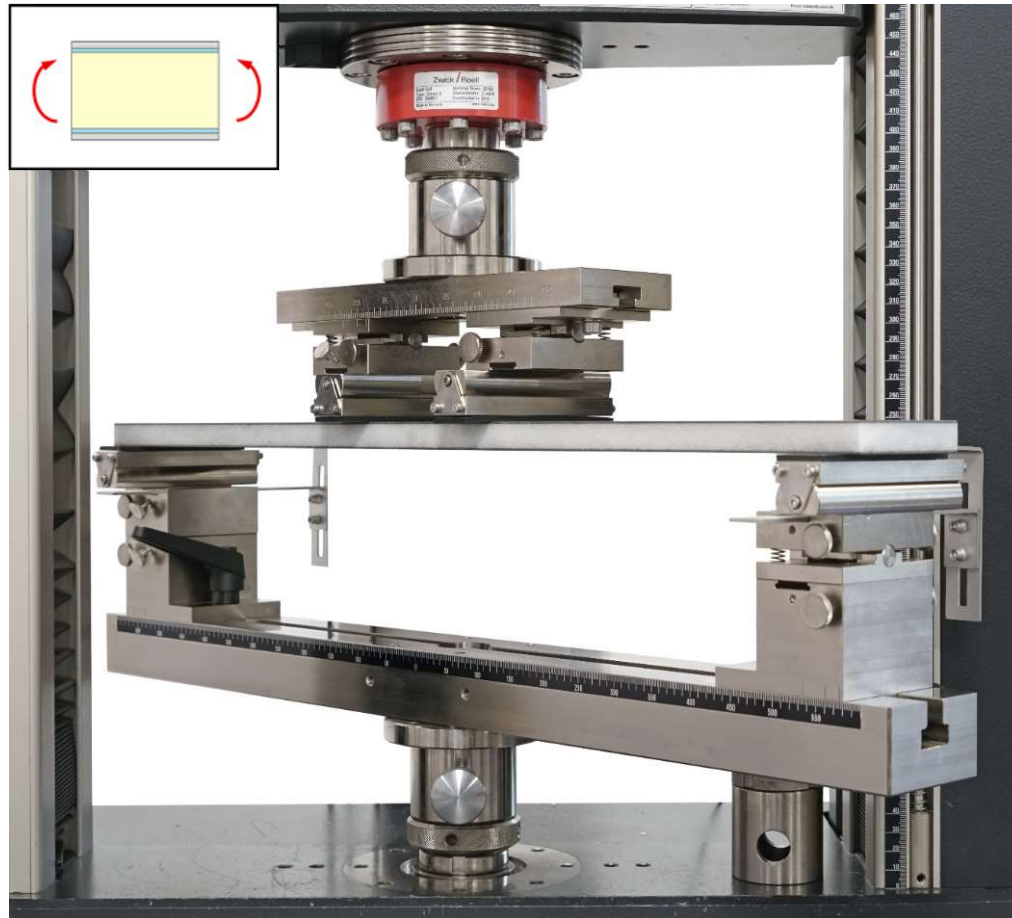
Der 3-Punkt Biegeversuch mit kurzer Probe ist eine weitere Methode zur Bestimmung der Schubkennwerte des Sandwichkerns. Der Versuch ist vergleichbar mit dem ILSS Versuch für Verbundwerkstoffe.



Standard 3-Punkt Biegeversuchsaufbau
nach ASTM C 393

- Gilt für alle Sandwich-Kernmaterialien
- Gültiges Versagen: - Kernschubfestigkeit
- Klebschichtfestigkeit
- Standard-Aufbau: 3-Punkt Biegeversuch mit 150 mm Auflagerabstand (bezogen auf Mittellinie der Auflager)
- Aufgrund der geringen Druckfestigkeit des Kernmaterials werden in der Regel flächige Auflager mit Gummi-Pads verwendet
- Die Durchbiegung sollte mit einem Biegeaufnehmer mittig unter der Probe ermittelt werden
- Mit der Berechnungsmethode ASTM D 7250 kann der Schubmodul des Kernmaterial bestimmt werden
- ASTM C 273 empfohlen für Kern-Schubkernwerte
- ASTM D 7249 empfohlen zur Bestimmung der Biegefestigkeit der Deckschichten

4-Punkt-Biegung ist der Standardversuchsaufbau für Biegeversuche von Schichtverbunden. Angestrebt wird das Versagen der Deckschicht.

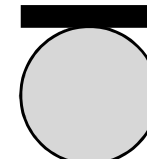
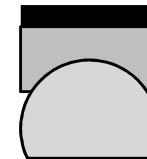


Standard 4-Punktbiegeversuchsaufbau nach ASTM D 7249

- Gilt für alle Sandwich-Typen
- Wegaufnehmer zur mittigen Messung der Durchbiegung erforderlich
- Bestimmung der Randschichtdehnung in der Deckschicht mittels DMS (ASTM D 7249)
- Abstände für Auflager und Krafteinleitung variieren je nach Norm
- Auflager und Krafteinleitungselemente:

ASTM D 7249
(flach mit Gummi-Pads)

DIN 53293 & AITM 1.0018
(rund mit Gummi-Pads)

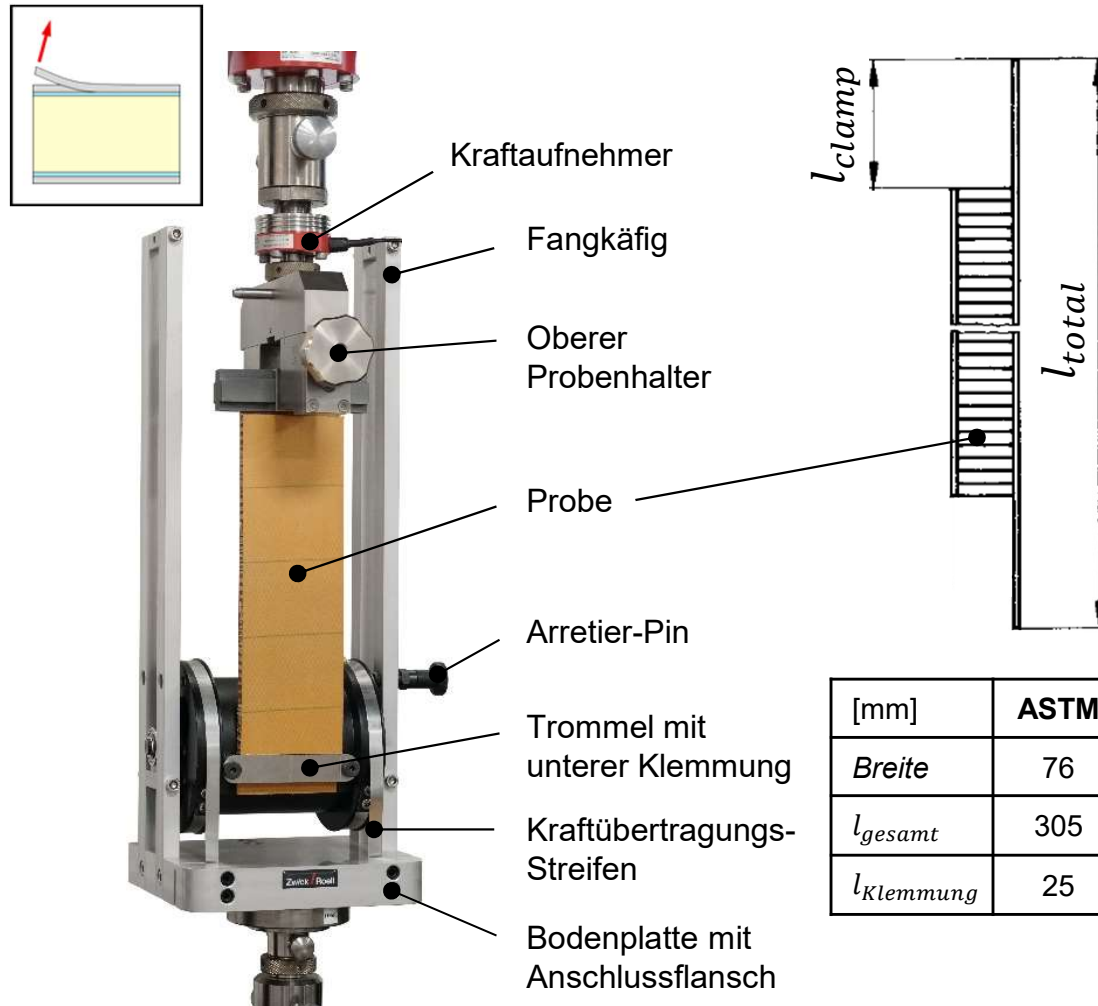


ASTM D 7249

DIN 53293

AITM 1.0018

Mit diesem Versuch wird die Schälfestigkeit der Klebeverbindung zwischen Deckschicht und Kernmaterial gemessen.

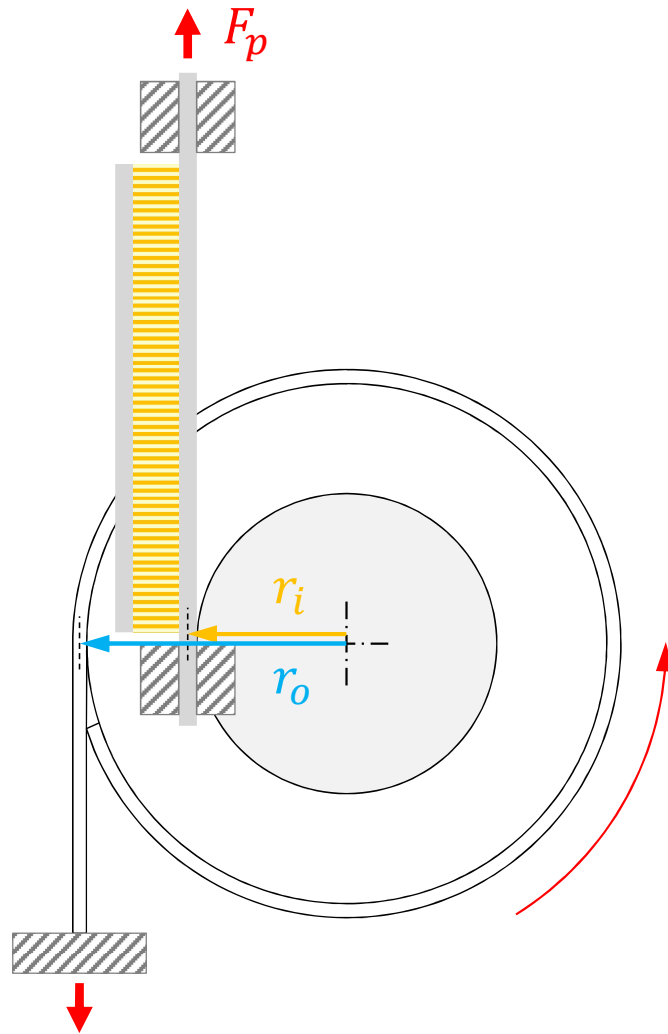


- Der Trommelschälversuch eignet sich für dünne und flexible Deckschichten
- Erzeugt Vergleichswerte für Prozess- und Qualitätskontrolle (kein Materialkennwert)
- Erfordert eine Kalibrierung um:
 - den Einfluss der Deckschichtbiegung auf die gemessene Kraft zu ermitteln
 - die Kraft zu ermitteln, bei der sich die Trommel in Bewegung setzt

[mm]	ASTM	DIN
Breite	76	75
l_{gesamt}	305	300
$l_{Klemmung}$	25	25

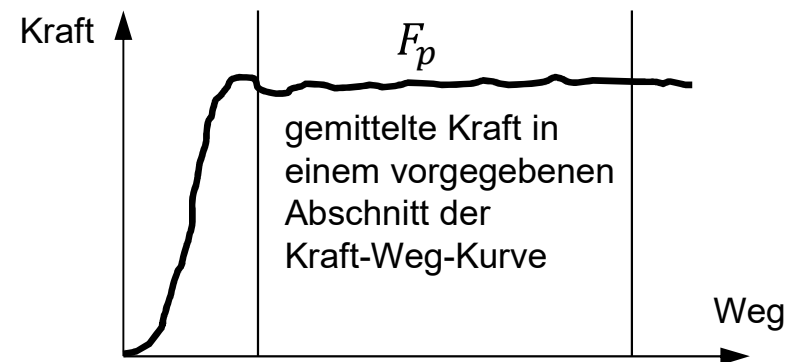
ASTM D 1781	DIN 53295	Airbus QVA-Z10-46-05
-------------	-----------	----------------------

Mit diesem Versuch wird die Schälfestigkeit der Klebeverbindung zwischen Deckschicht und Kernmaterial gemessen.



Mittlere Schälkraft:
$$\bar{T} = \frac{(r_0 - r_i)(F_p - F_0)}{w}$$

- r_0 Trommelaußenradius + halbe Dicke der Kraftübertragungstreifen
- r_i Trommelinnenradius + halbe Deckschichtdicke
- F_p gemittelte im Versuch gemessene Kraft
- F_0 gemittelte bei der Kalibrierung gemessene Kraft
- w Probenbreite



Für statische Normversuche von Sandwich Composites ist eine 100 kN Maschine oft ausreichend. Für die Kennwertermittlung der Deckschichtmaterialien kommen Maschinen mit niedrigerem oder höherem Kraftbereich zum Einsatz.

ZwickiLine

- einfach zu bedienende Einsäulen-Maschinen für Kräfte bis 5 kN

ProLine

- optimale und wirtschaftliche Wahl für Versuche die keine komplexe Sensorik erfordern

AllroundLine – Tischmaschinen

- für Kräfte bis 150 kN
- sehr leicht und biegesteif
- optional mit zwei Arbeitsräumen um Umbauaufwand zu minimieren
- Standfüße zur Positionierung des Arbeitsraums in optimaler Höhe

AllroundLine – Standmaschinen

- für Kräfte von 100 kN bis 1200 kN
- 4 Führungssäulen für genaueste Ausrichtung der Prüfachse
- optional mit zwei Arbeitsräumen um Umbauaufwand zu minimieren
- Zug-Torsions-Maschinen erhältlich



ZwickRoell Temperierkammern bieten ein Höchstmaß an Integration und gewährleisten einen sicheren und zuverlässigen Betrieb.



Door-in-Door Konzept
für schnellen
Probenwechsel

**Vollständige Integration
in testXpert III** für maximale
Kontrolle und Nachver-
folgung der Prüfergebnisse

**Temperaturmessung an
der Probe**
zur Überwachung und
Regulierung der Temperatur
an der entscheidenden
Stelle

**Temperaturschwankung
($\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$)**
Eine präzise Regelung
erzeugt eine homogene
Temperatur in der gesamten
Temperierkammer

Für manche Sandwich-Versuch ist der Traversenweg ausreichend.
Für alle anderen Fälle steht aus unserem umfangreichen Portfolio für Dehnungs- und Wegmesssysteme die richtige Lösung zur Verfügung.



Lineare
DMS...



...angeschlossen an DMS-
Box...



...oder HBM QuantumX
Universalmessverstärker



Wegmessung mit Biegeaufnehmer (links) oder mit
makroXtens und Fühlerarm für Biegeversuche...



Inkrementeller Messtaster
für den Kernschubversuch



...oder mit integriertem
Langweg-Aufnehmer



Questions and Answers