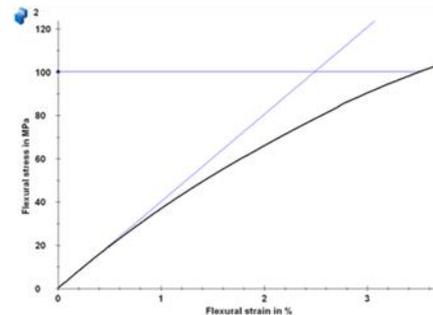
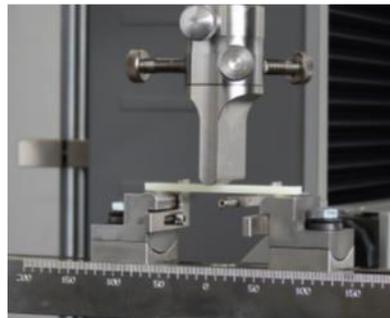


Prüfung von Kunststoffen: Der Biegeversuch

Helmut Fahrenholz

Okt. 2021



„Genau“ sind „richtige“ und „präzise“ Messungen.



Richtig, aber nicht präzise



Präzise, aber nicht richtig



Nicht richtig und nicht präzise



Richtig, und präzise

Probekörper

Prüfverfahren

Vergleich zum Zugversuch

Flache Prismen für Biegeprüfungen (Probentyp B) werden aus dem mittleren Teil des Vielzweckprobekörpers nach ISO 20753 herausgearbeitet.

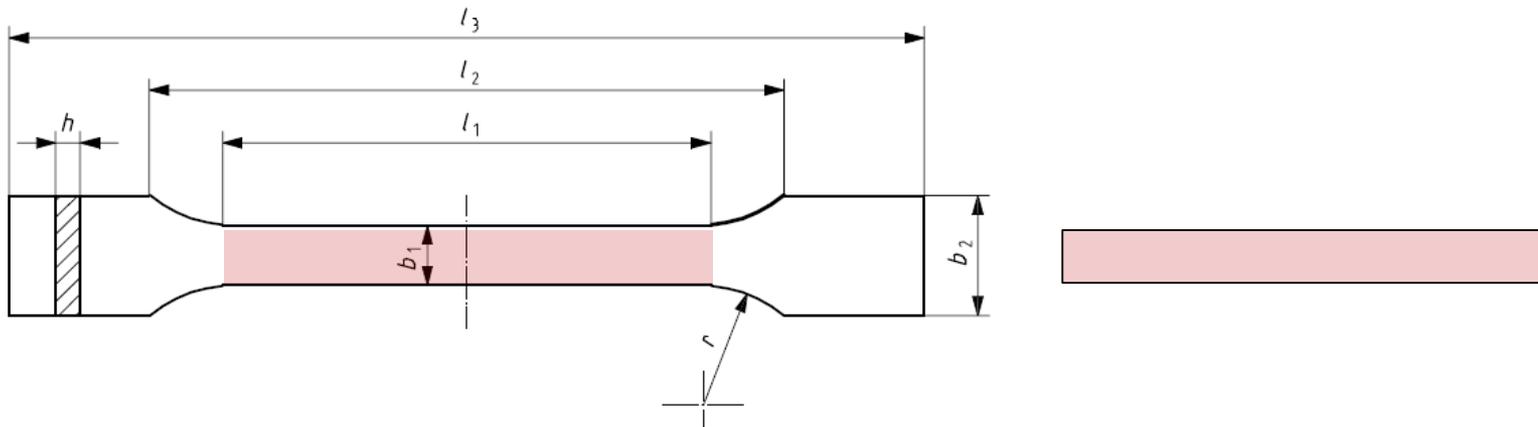


Table 3 — Dimensions of type A1 and type A2 test specimens

Dimensions in millimetres

Dimension		Type A1 (injection moulded)	Type A2 (machined)
l_3	Overall length ^a	≥ 170	≥ 150
l_2	Distance between broad parallel-sided sections ^b	$109,3 \pm 3,2$	$108 \pm 1,6$
l_1	Length of narrow parallel-sided section	80 ± 2	$60,0 \pm 0,5$
r	Radius of shoulder ^c	24 ± 1	$60,0 \pm 0,5$
b_2	Width at ends	$20,0 \pm 0,2$	
b_1	Width of narrow parallel-sided section	$10 \pm 0,2$	
h	Thickness (preferred)	$4,0 \pm 0,2$	
	Distance between clamps	115 ± 1	

^a The recommended overall length of 170 mm of the type A1 test specimen is consistent with ISO 294-1 and

5.3 Bar test specimens (type B)

Bar test specimens shall have the following dimensions:

- length l_1 : (80 ± 2) mm;
- width b_1 : $(10,0 \pm 0,2)$ mm;
- thickness h : $(4,0 \pm 0,2)$ mm.

The designation of bar test specimens is type B_x, where

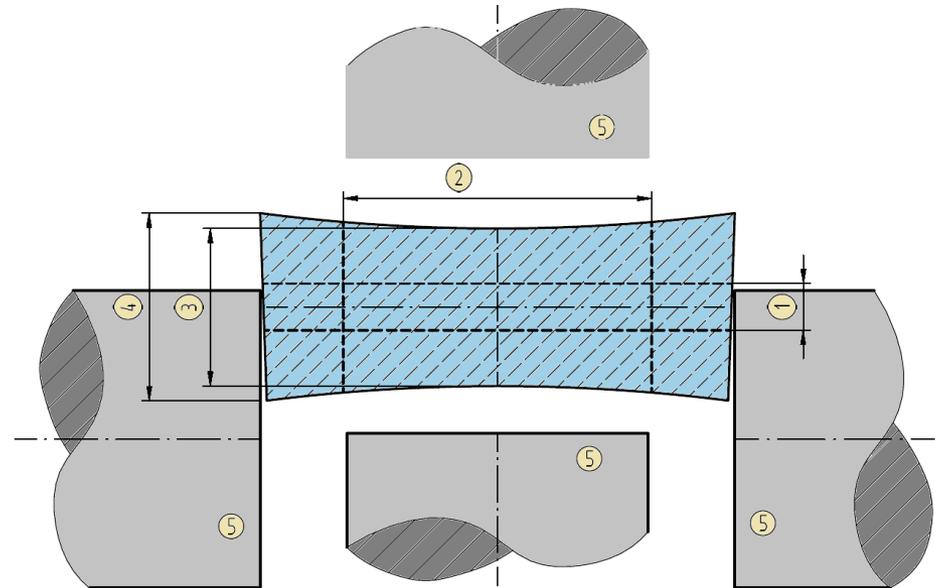
- B is the specimen type;
- x indicates the method of preparation.

Der Vielzweckprobekörper nach ISO 20753 wird für viele Prüfarten eingesetzt.

Method	Reference ^a	Type of specimen and/or dimensions mm
Tensile test	ISO 527-2	A
Tensile creep test	ISO 899-1	A
Flexural test	ISO 178	B
Flexural creep test	ISO 899-2	B
Compressive test	ISO 604	(10 or 50) × 10 × 4
Impact strength, Charpy	ISO 179-1, ISO 179-2	B
Impact strength, Izod	ISO 180	B
Impact strength, tensile	ISO 8256	B
Temperature of deflection under load	ISO 75-2	B
Vicat softening temperature	ISO 306	(≥ 10) × 10 × 4
Hardness, ball indentation	ISO 2039-1	(≥ 20) × 20 × 4
Hardness, Rockwell	ISO 2039-2	(≥ 20) × 20 × 4
Hardness, Shore	ISO 868	(≥ 20) × 20 × 4
Environmental stress cracking	ISO 22088-1, ISO 22088-2, ISO 22088-3, ISO 22088-4, ISO 22088-5, ISO 22088-6	A or B
Density	ISO 1183-1, ISO 1183-2, ISO 1183-3	B (≥ 10) × 10 × 4
Oxygen index	ISO 4589-2, ISO 4589-3	B
Comparative tracking index (CTI)	IEC 60112	20 × 20 × 4
Electrolytic corrosion	IEC 60426	30 × 10 × 4
Linear expansion	ISO 11359-2	(≥ 10) × 10 × 4
^a See Clause 2 or Bibliography.		

ISO 178 (Biegeversuch) und ISO 16012 (Dimensionsmessung) geben jetzt sehr klare Anweisungen zur Probenvermessung

- **Der Fehler bei der Messung der Probekörperdicke geht quadratisch in die Spannungsberechnungen ein !**
- Eine Abweichung von nur 0.1 mm erzeugt 5% Fehler bei den Biegespannungen
- Die Dickenmessung muss mit einer Mikrometerschraube mit Ratsche erfolgen, um eine definierte Anpresskraft zu gewährleisten.
- Die Dickenmessung findet in der Mitte des Probekörpers statt
- Breitenmessungen an den Kanten des Probekörpers sind zu vermeiden.



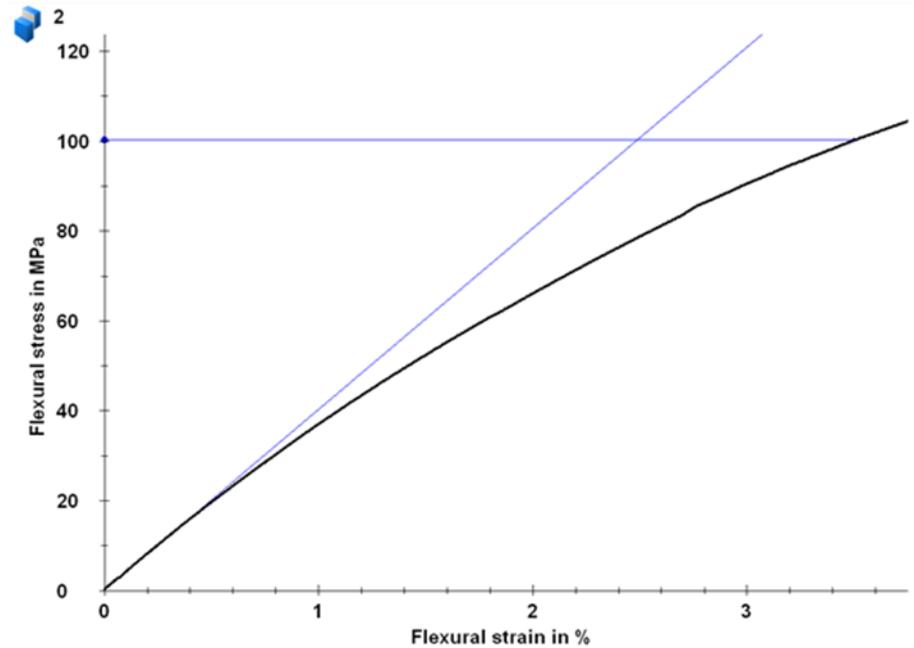
Dimension measurement

- 1 measuring range for width determination $\pm 0,5$ mm
- 2 measuring range for thickness determination $\pm 3,25$ mm
- 3 minimum thickness h_{min}
- 4 maximum thickness h_{max}
- 5 micrometer tips

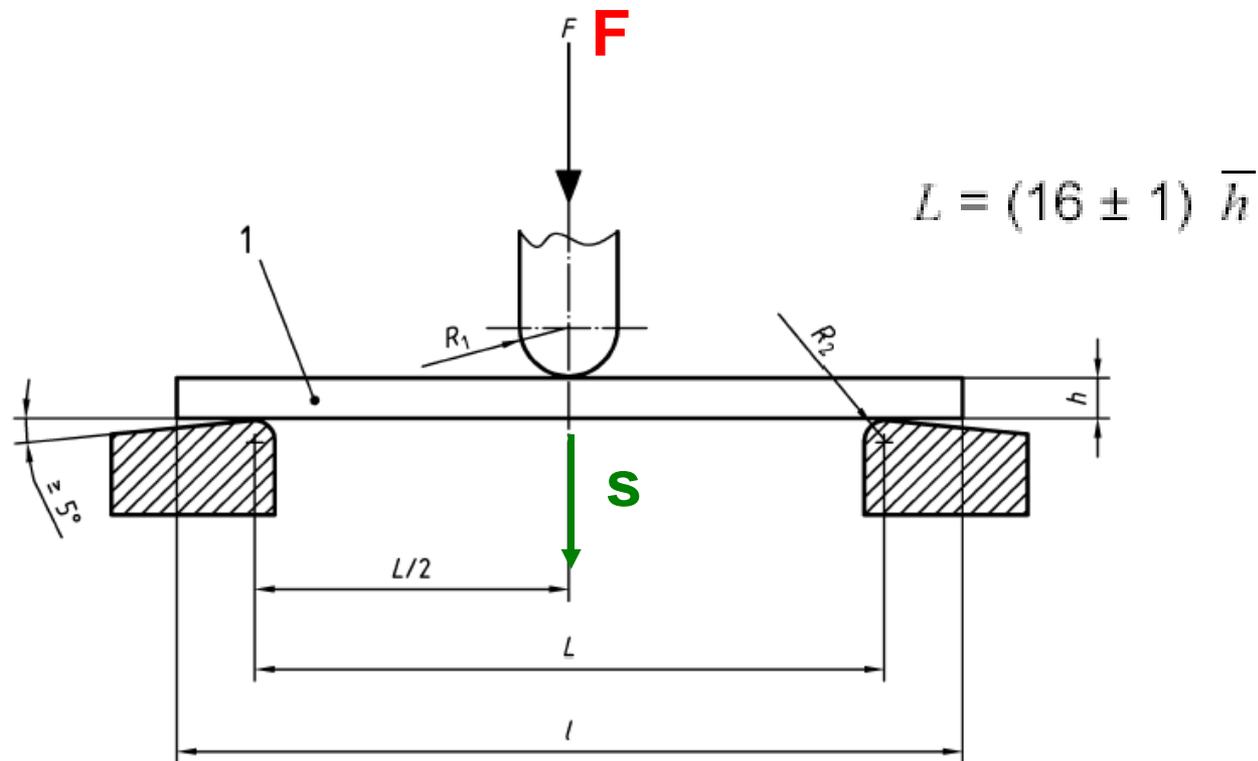
Probekörper

Prüfverfahren

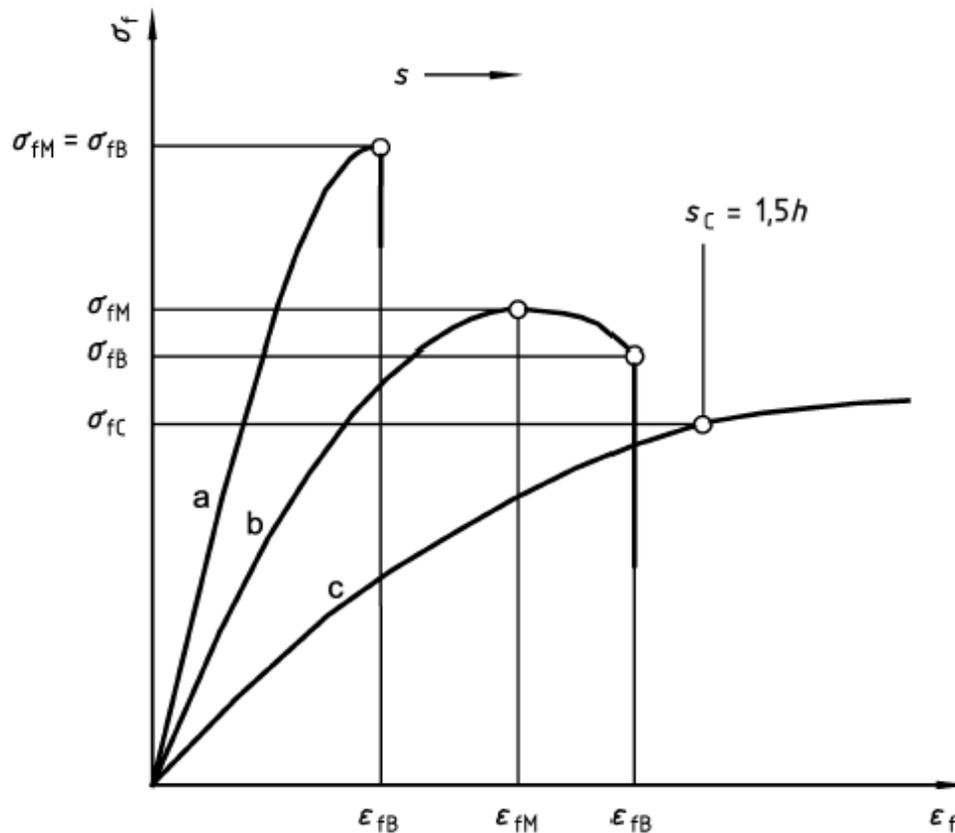
Vergleich zum Zugversuch



Der Auflagerabstand steht in einem festen Verhältnis zur Dicke des Probekörpers. Für Standard-Prüfkörper mit 4 mm Dicke beträgt er 64 mm.



Die Formeln zur Berechnung der Spannungen und Dehnungen aus Kräften und Durchbiegungen unterscheiden sich von denen des Zugversuchs. Die Gültigkeit beschränkt sich auf den genormten Prüfaufbau und das Messen kleiner Durchbiegungen.



$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bh^2}$$

$$\epsilon_f = \frac{600sh}{L^2} \%$$

$$E_f = \frac{\sigma_{f2} - \sigma_{f1}}{\epsilon_{f2} - \epsilon_{f1}}$$

Geometrische Fehler und Reibung werden kompensiert wenn die Durchbiegung größer 0.1 L ist. (Nur Faserverbund ISO 14125, nicht bei ISO 178 !)

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bh^2}$$

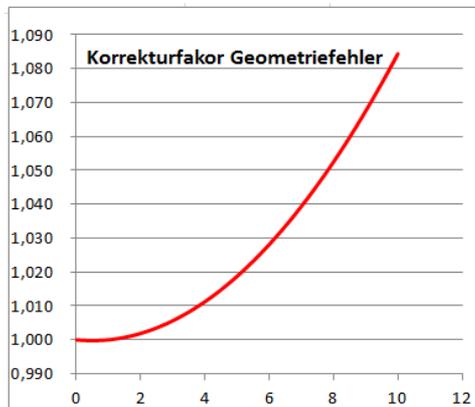
Grundformel (wie ISO 178)

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bh^2} \left\{ 1 + 6 \left(\frac{s}{L} \right)^2 - 3 \left(\frac{sh}{L^2} \right) \right\}$$

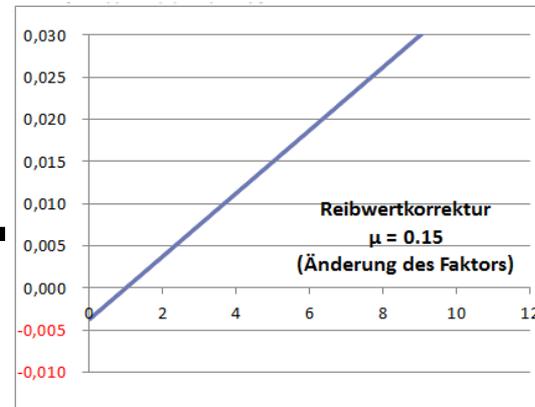
Formel mit **Geometrie**-Korrektur

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bh^2} \left\{ 1 + 6 \left(\frac{s}{L} \right)^2 - 3 \left(\frac{sh}{L^2} \right) - \mu \left(2 \frac{s}{L} - \frac{h}{L} \right) \right\}$$

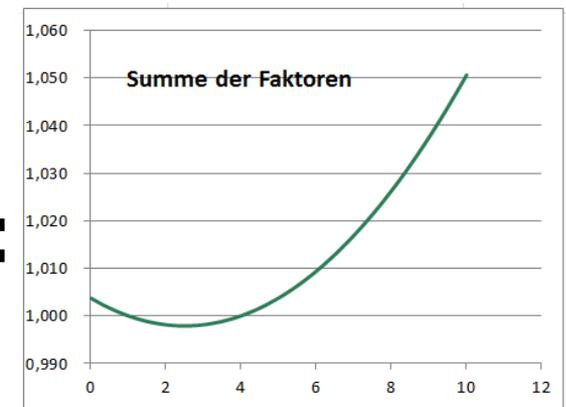
Formel mit **Geometrie**- und **Reibungs**-Korrektur



+



=



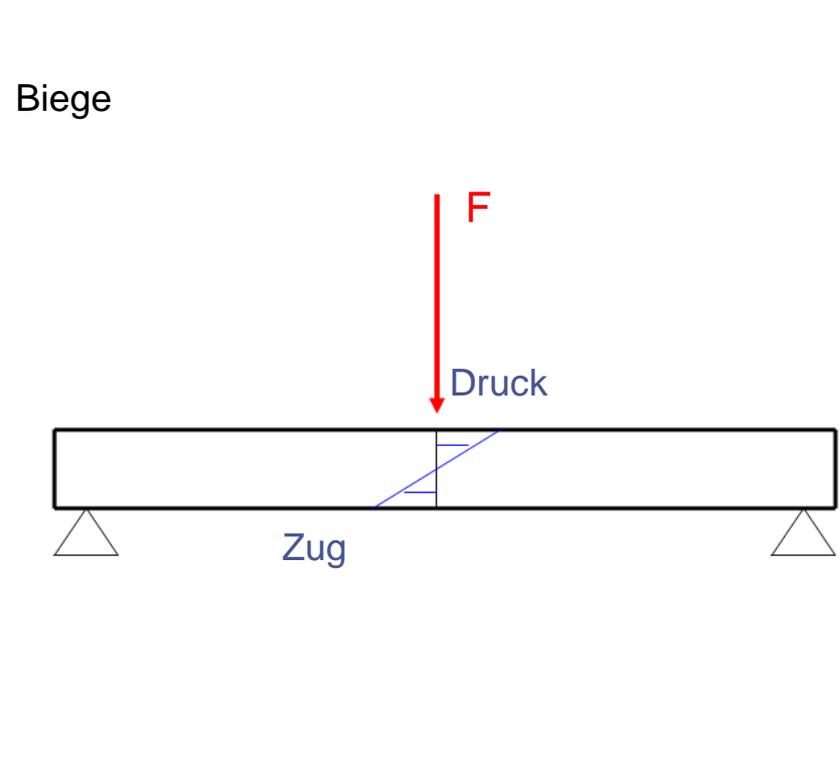
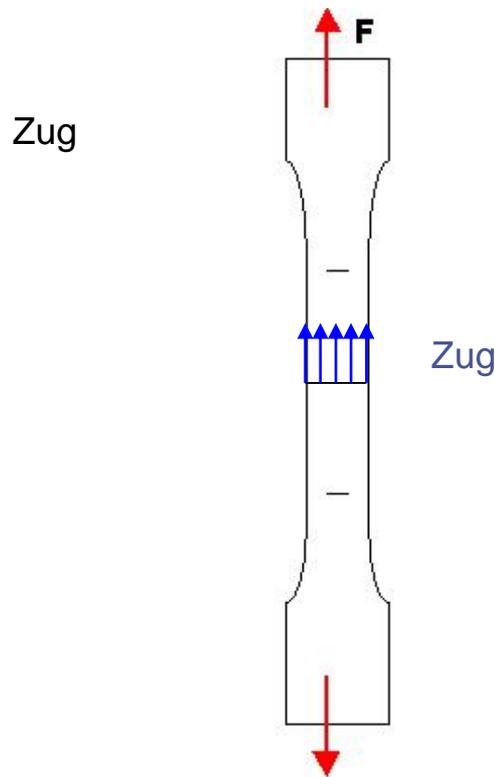
Beispiel für Probendicke 2mm und Auflagerabstand 80 mm. Hinweis: für 10*4*80 Kunststoffproben ist der Korrekturfaktor bei 6 mm sehr gering

Probekörper

Verfahren

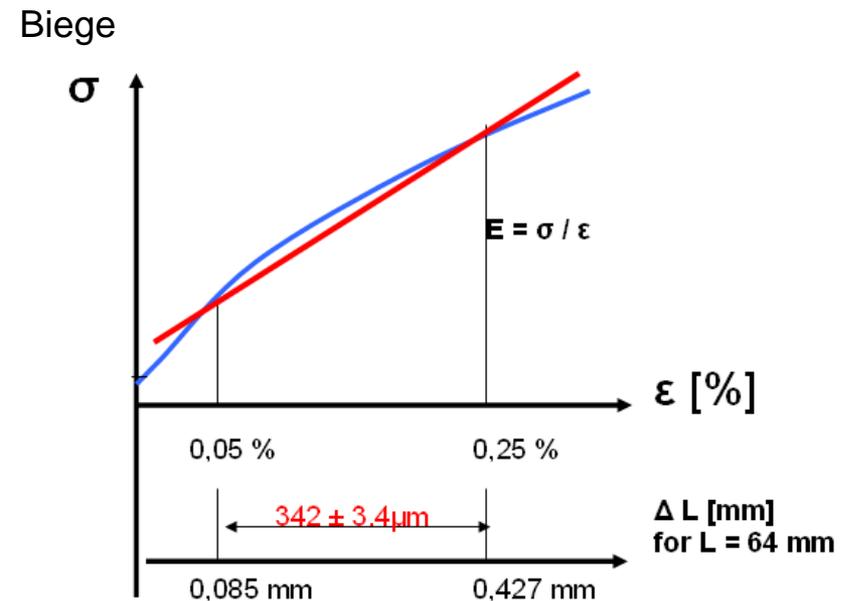
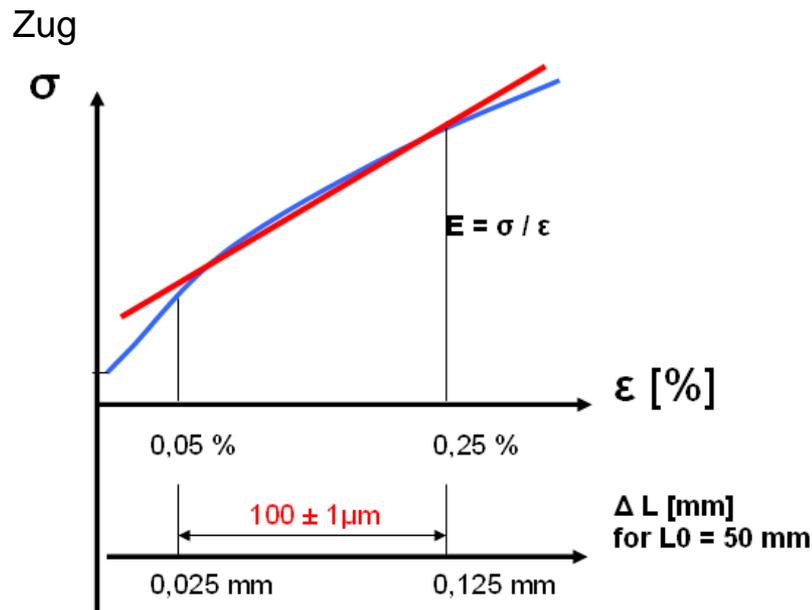
Vergleich zum Zugversuch

Der Zugversuch zeigt ein über den Querschnitt gemittelt Materialverhalten. Beim Biegeversuch geht das Materialverhalten nahe der Probenoberfläche stärker in das Ergebnis ein.



Vergleich zum Zugversuch

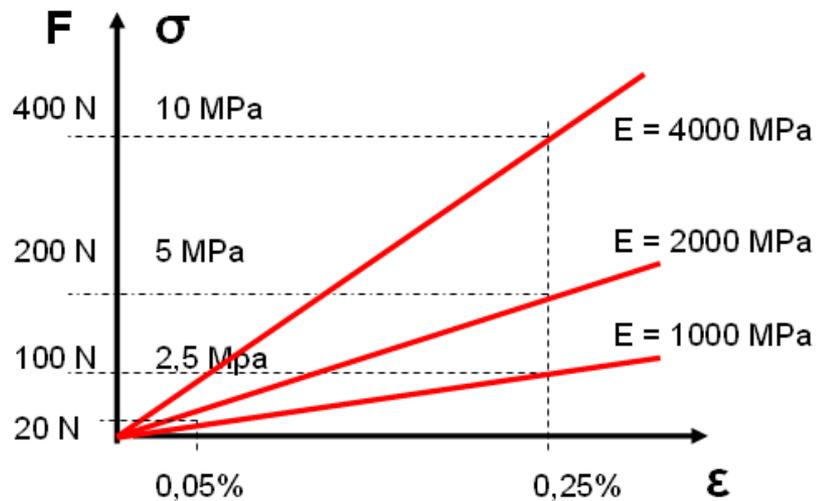
Der Biegemodul wird im gleichen Dehnungsintervall wie der Zugmodul bestimmt. Im Biegeversuch sind die dafür zu messenden Durchbiegungen mehr als dreimal größer als die entsprechende Längenänderung im Zugversuch.



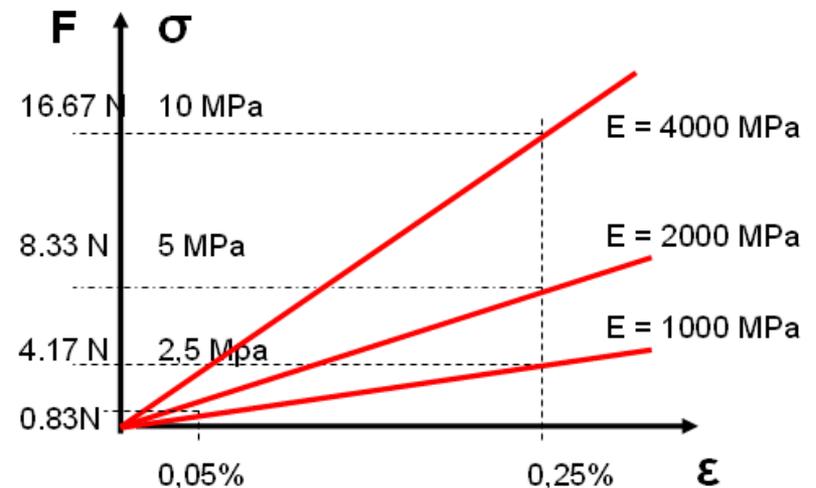
Vergleich zum Zugversuch

Die Kräfte zur Modulbestimmung sind im Biegeversuch rund 24 Mal geringer, was oft den Einsatz eines kleinen Kraftsensors erfordert.

Zug

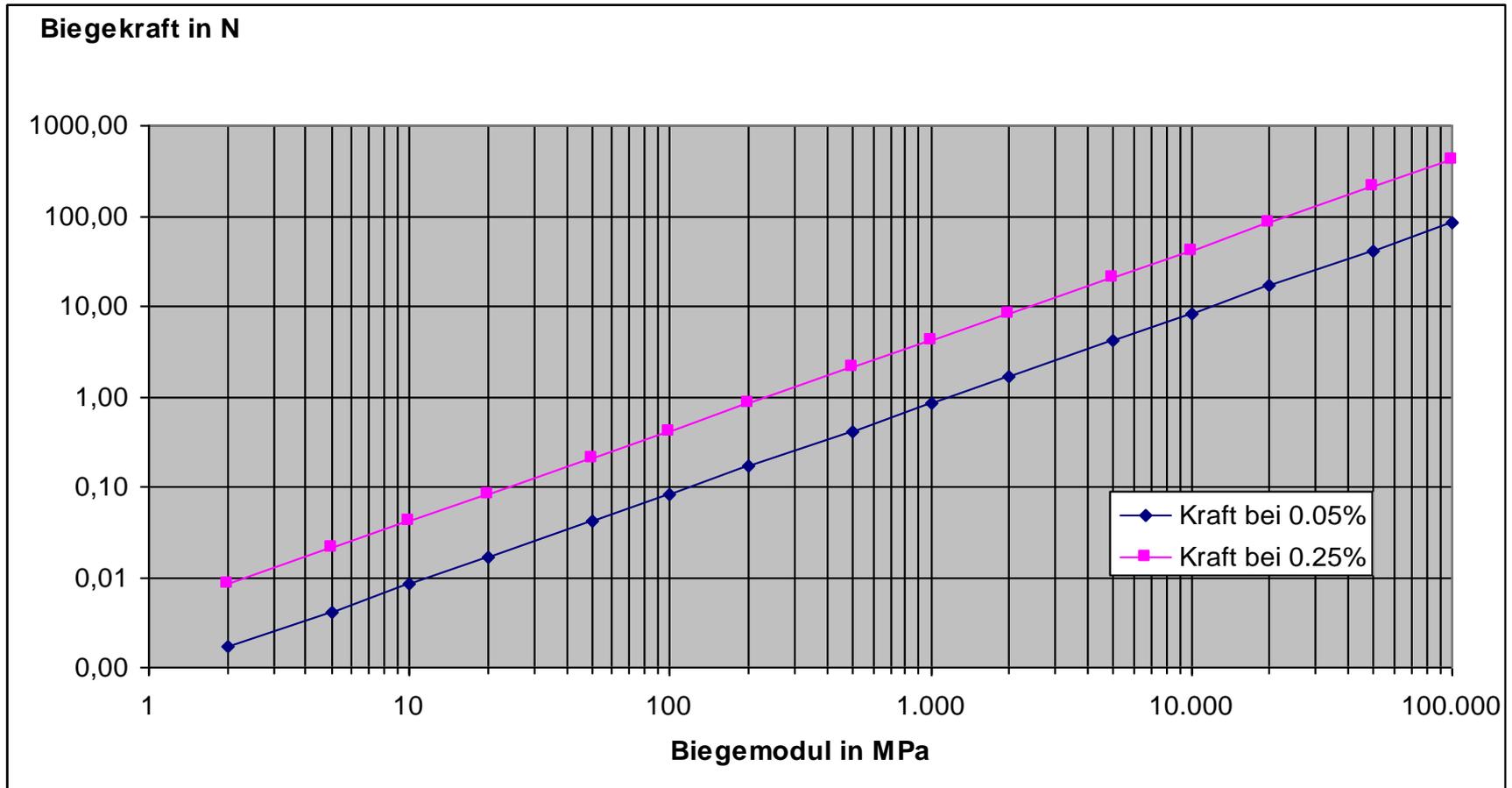


Biege



Vergleich zum Zugversuch

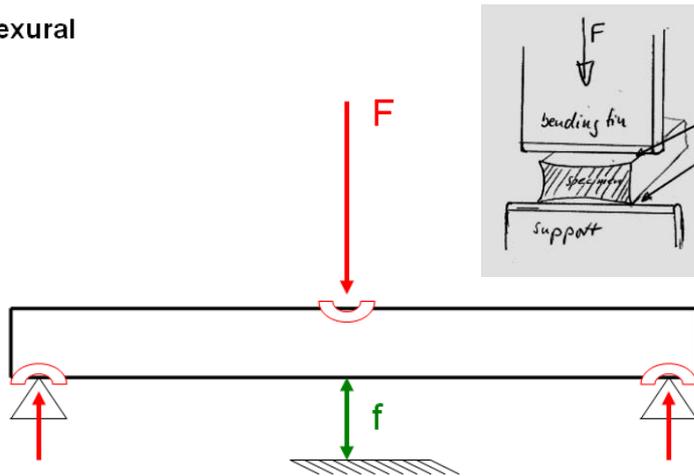
Die Kräfte im Biegeversuch sind relativ klein und hängen vom Biegemodul ab.



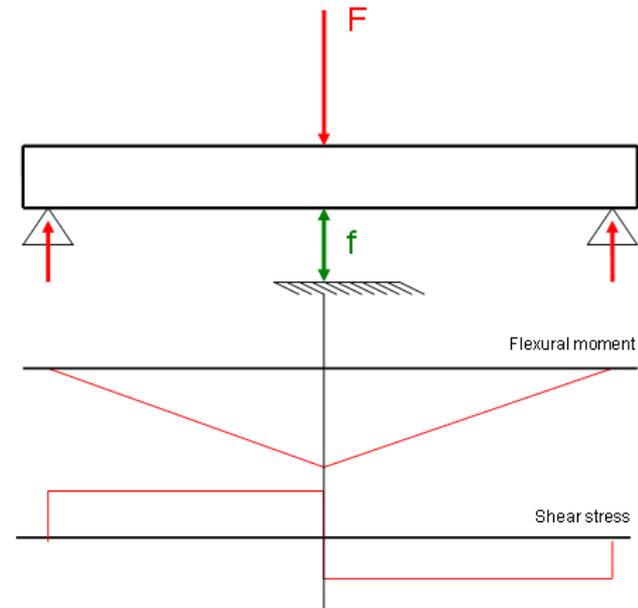
Der 3-Punkt-Biegeversuch unterliegt einigen systematischen Fehlerquellen.

Der Eindringweg der Auflager wird als Dehnung interpretiert, während die Eindringung des Biegestempels im Fall direkter Durchbiegungsmessung durch die Wegmessung kompensiert wird.

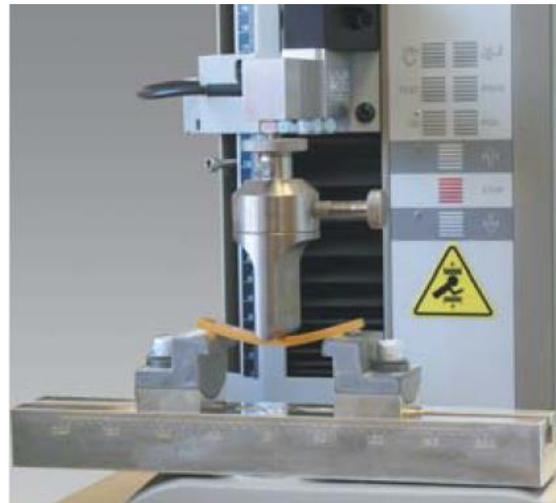
Flexural



Die Berechnung der Spannungen und Dehnungen vernachlässigen das Vorhandensein von Schubspannungen.



Im Biegeversuch kann mit direkter Durchbiegungsmessung über einen Wegaufnehmer gearbeitet werden. Auch die Messung über den Traversenweg der Prüfmaschine ist möglich, sofern die Eigenverformung der Prüfmaschine hinreichend genau kompensiert wird.



ISO 178 legt, je nach Zielsetzung der Prüfung, unterschiedliche Mindestanforderungen für die Wegmessung fest.

Tabelle 2 — Zielsetzungen der Prüfung und Kalibrieranforderungen

Geforderte Zielsetzung der Prüfung	Arten (I-IV) von Prüfungen, aufsteigend angeordnet nach Komplexität und Genauigkeitsanforderungen			
	Nur Spannung/Festigkeit	Spannung/Festigkeit/Dehnungen > 1 %	Spannung/Festigkeit/Dehnungen/wiederholbarer und präziser Modulwert	Spannung/Festigkeit/Dehnungen/richtiger und präziser = genauer Modulwert
Eigenschaft	I	II	III	IV
σ_{fB}	×	×	×	×
σ_{fM}	×	×	×	×
σ_{fC}		×	×	×
s_c		×	×	×
ϵ_{fB}		×	×	×
ϵ_{fM}		×	×	×
E_f			×	×
Kalibrieranforderung				
Kraft	ISO 7500-1, Klasse 1			
Durchbiegungsmessung	—	ISO 9513, Klasse 2	ISO 9513, Klasse 2 sowie die in 5.4.3 vorgegebene Bedingung	ISO 9513, Klasse 1 sowie die in 5.4.3 vorgegebene Bedingung
Art der Durchbiegungsmessung	—	Traversenweg	Traversenweg mit Nachgiebigkeitskorrektur	Direkte Messung mittels Durchbiegungsmesseinrichtung



Richtig, aber nicht präzise



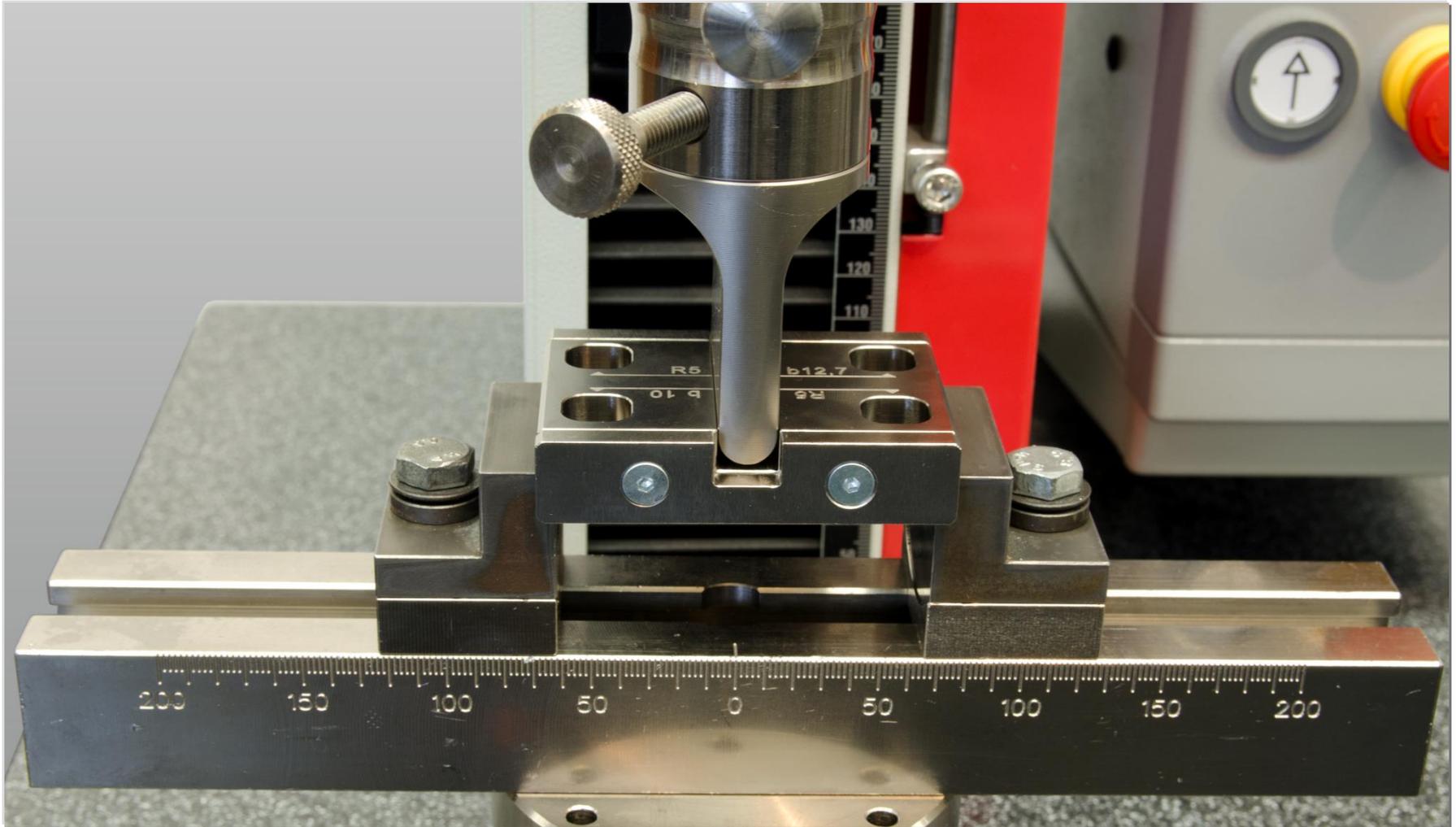
Präzise, aber nicht richtig



Nicht richtig und nicht präzise



Richtig, und präzise



Exakte Ausrichtung eines Biegewerkzeugs