

**Universität Bremen, Fachgebiet Keramische Werkstoffe und Bauteile**

Am Biologischen Garten 2 / IW3, 28359 Bremen

**Bearbeiter:**J. Horvath, Dr. K. Tushtev  
Kontakt: [tushtev@ceramics.uni-bremen.de](mailto:tushtev@ceramics.uni-bremen.de), T. 0421-218-64947**Auftraggeber:**Walter E.C. Pritzkow Spezialkeramik  
Gewerbestr. 16  
D-70565 Stuttgart**Aufgabe:**

Das Fachgebiet Keramische Werkstoffe und Bauteile wurde von Walter E.C. Pritzkow Spezialkeramik beauftragt zur mechanischen Charakterisierung durch Zug-, Biege- und Scherversuchen an einer oxidkeramischen CMC-Platte.

**Proben:**

Von Walter E.C. Pritzkow Spezialkeramik wurde eine oxidkeramische CMC-Platte geliefert. Die äußeren Abmaße betragen ca. 255 x 240 x 3 mm<sup>3</sup>. Aus dieser Platte wurden Proben wie unter Pos.1 bis 7 aufgeführt gefertigt. Die Zug- und die Scherproben wurden durch Wasserstrahlschneiden ausgeschnitten und die anderen Proben durch Trennschleifen aus der Platte getrennt. Bild 1 zeigt den Schnittplan.

- Pos. 1: 5 Zugproben 0°/90° (Schussrichtung)
- Pos. 2: 5 Zugproben +45°/-45°
- Pos. 3: 2 Zugproben 0°/90° (Kertrichtung)
- Pos. 4: 5 Scherproben 20 x 80 mm<sup>2</sup>
- Pos. 5: 5 Biegeproben 10 x 80 mm<sup>2</sup>
- Pos. 6: 5 Biegeproben für  $K_{IC}$  10 x 70 mm<sup>2</sup> mit Kerben und 7 x 70 mm<sup>2</sup> ohne Kerben
- Pos. 7: 5 Druckscherproben 10 x 30 mm<sup>2</sup>

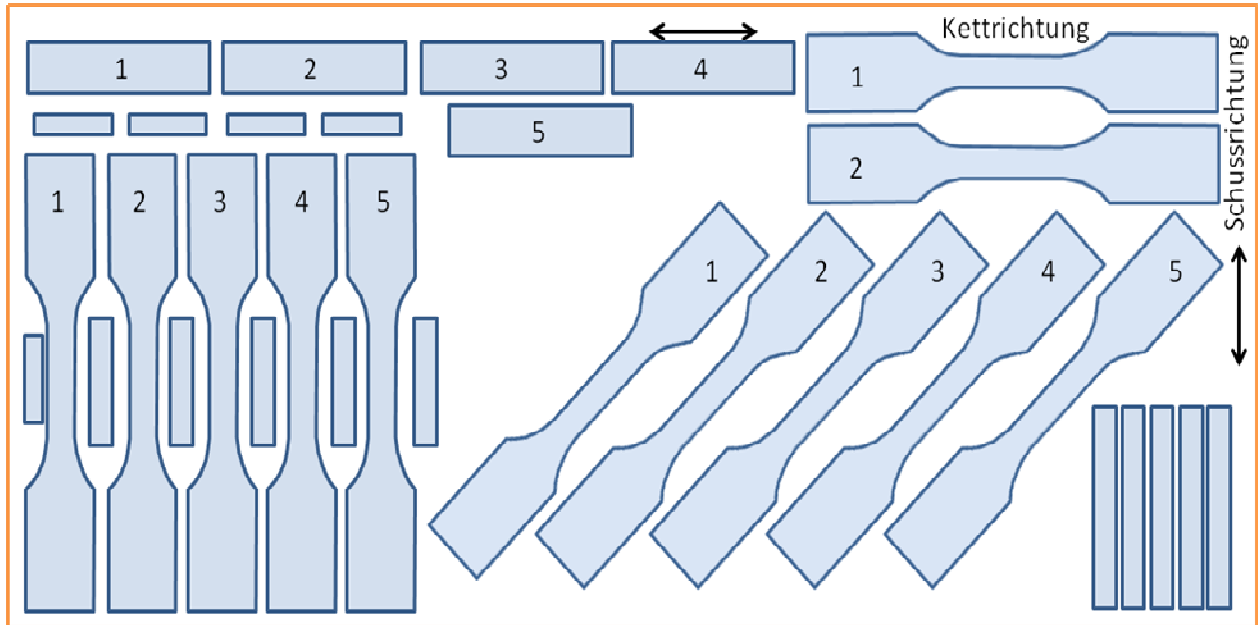


Bild 1: Schnittplan für die Probenherstellung

### Durchführung:

Die Zugproben wurden zur besseren Kräfteinleitung mit metallischen Aufleimern versehen. Die Dehnungsmessung erfolgte mit einem Clip-Feindehnungsexensometer mit Querdehnungsaufnehmer und zur Kontrolle mit einem Laserextensometer.

Die Biegeproben wurden an einem 4 Punktbiegeauflager mit Durchbiegungssensor in der Probenmitte getestet. Der Auflagerabstand betrug 60/20 mm.

Für die SENB Versuche zur Ermittlung des  $K_{IC}$  Wertes, wurde auch das 4 Punktbiegeauflager mit einem Auflagerabstand von 60/20 mm verwendet. Die Proben stehen dabei hochkant und waren 3 mm tief mit einem 0,5 mm Diamantdraht gekerbt. Zusätzlich wurden auch Proben ohne Kerb hochkant auf Biegung geprüft, um das Verhältnis von gekerbten zu ungekerbten Proben zu erhalten.

Die Scherversuche wurden mit einer Iosipescu-Schervorrichtung durchgeführt. Zur Dehnungsmessung wurden die Proben auf beiden Seiten mit 1mm DMS-Rosetten präpariert.

Die Versuchsgeschwindigkeit betrug bei allen Versuchen 1 mm/min.

### Ergebnisse:

Als Ergebnisse wurden die Festigkeiten und die E-Moduln berechnet bzw.  $K_{IC}$  und in den nachfolgenden Tabellen und Diagrammen zusammengefasst. Die Tabellen enthalten jeweils den Mittelwert und die Standardabweichung. Die Zug-, Scher- und Biegeergebnisse wurden noch durch Probenbilder nach dem Versuch ergänzt. Wegen des ausgeprägten nichtlinearen Anstiegs des Kurvenverlaufs bei den Zugproben +/- 45° und den Scherproben, wurden auch Versuche mit Entlastungszyklen durchgeführt.

**Ergebnisse Zugversuche 0/90°**

Tabelle 1: Zugversuche 0/90°

Probe Nr.	Zugmodul [GPa]	Zugfestigkeit [MPa]
1-0	119,7	190,7
2-0	123,1	203,9
3-0	125,5	180,9
<b>Mittelwert</b>	<b>122,8</b>	<b>191,9</b>
Standardab.	2,9	11,5

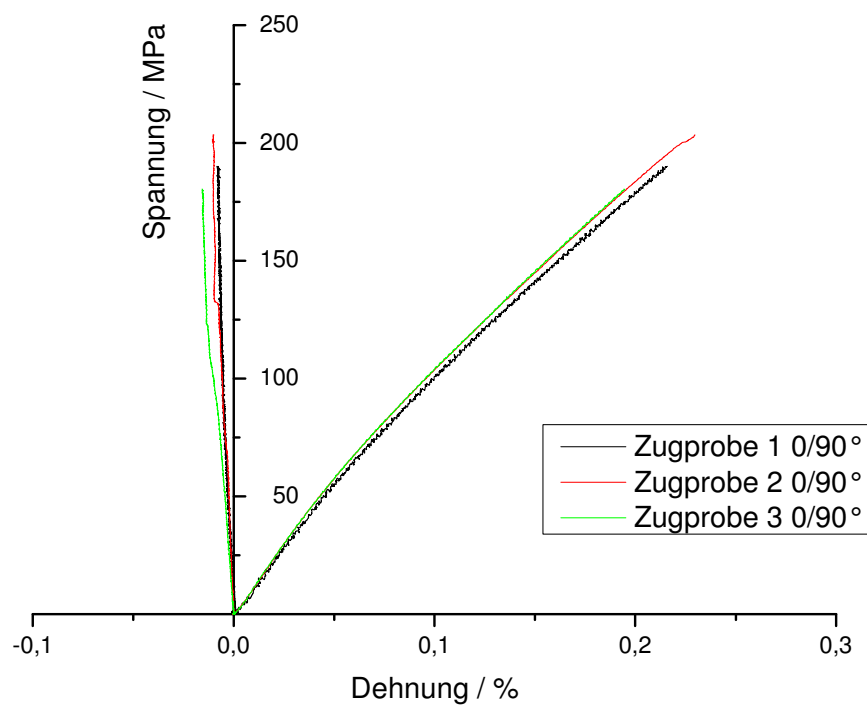


Diagramm 1: Zugproben 0/90° mit Längs- und Querdehnung



Bild 1: Zugprobe 1-0/90°

Die Zugproben sind nicht zwischen den Marken sondern im Übergang zwischen Messlänge und Radius gebrochen.

**Ergebnisse Zugversuche +/-45**

Tabelle 2: Zugversuche +/-45°

Probe Nr.	Zugmodul [GPa]	Zugfestigkeit [MPa]	Bemerkung
1-45	99,5	128,0	
2-45	101,3	136,8	
3-45	94,2	136,4	mit Entlastung
4-45	100,6	131,2	mit Entlastung
<b>Mittelwert</b>	<b>98,9</b>	<b>133,1</b>	
Standardab.	4,0	4,3	

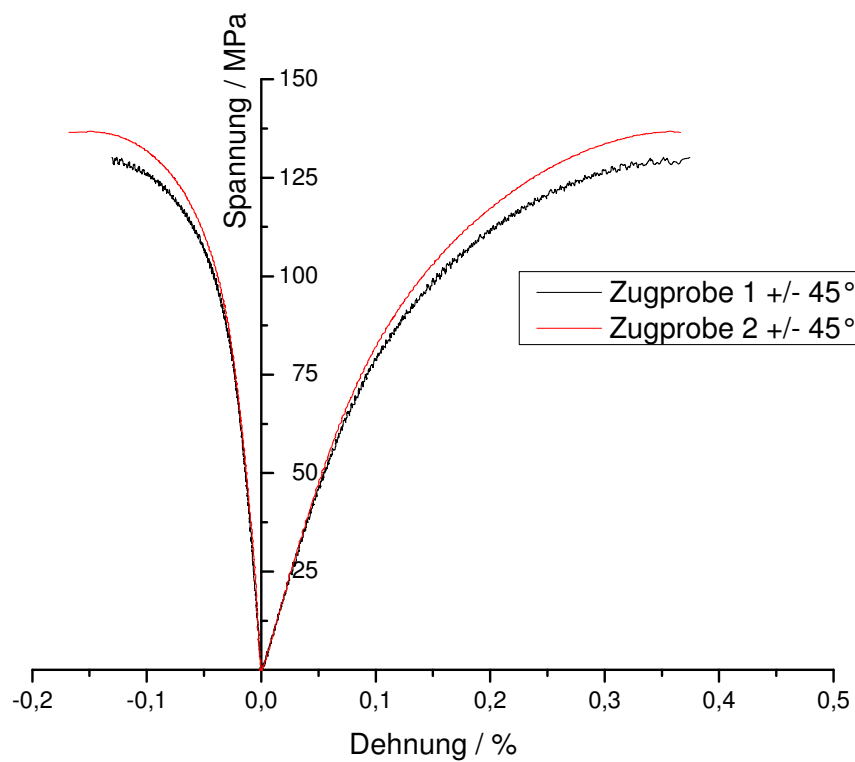


Diagramm 2: Zugproben +/-45° mit Längs- und Querdehnung

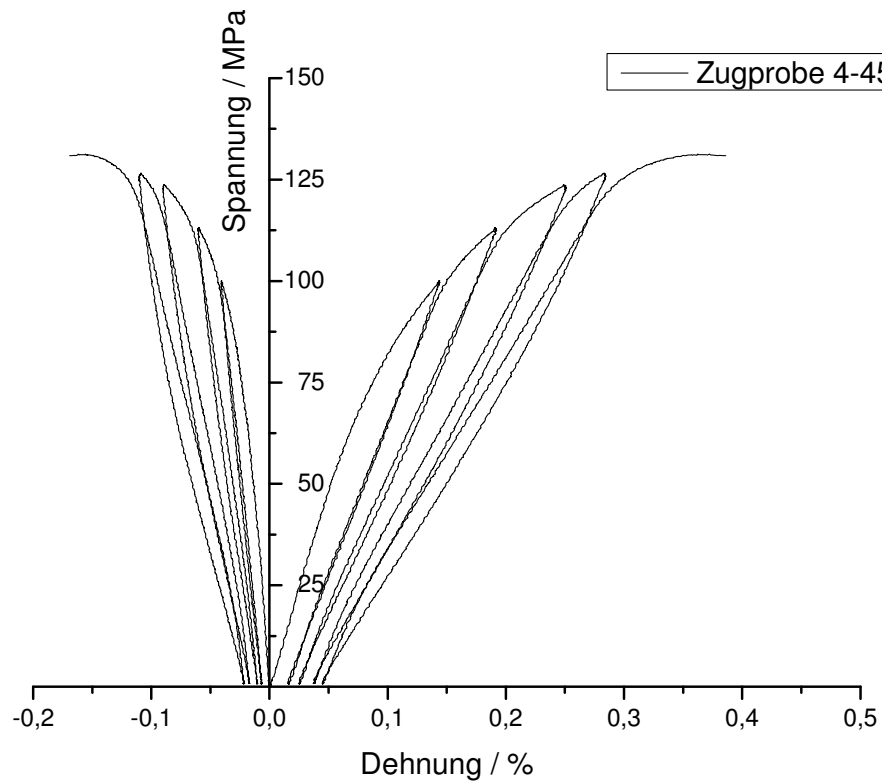


Diagramm 3: Zugprobe +/-45° mit Längs- und Querdehnung und Entlastungszyklen



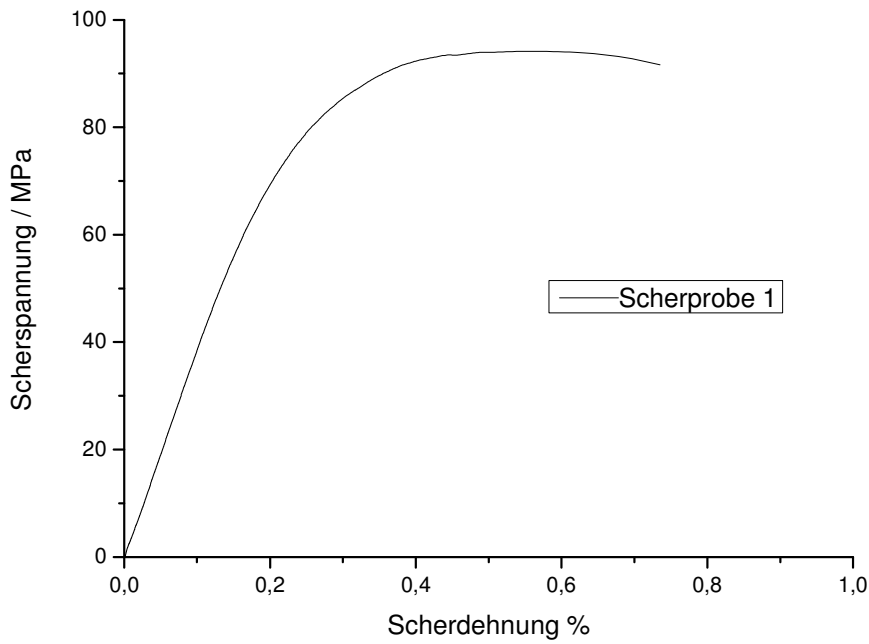
Bild 2: Zugprobe 1-45

Die Proben versagen innerhalb der parallelen Probenlänge

**Ergebnisse Scherversuche:**

Tabelle 3: Scherversuche

Probe Nr.	Scherm modul [GPa]	Scherfestigkeit [MPa]	Bemerkung
1	24,3	94,2	Nicht alle DMS sind erfasst
2	37,0	93,5	mit Entlastung
3	35,8	92,7	mit Entlastung
4	37,0	90,3	mit Entlastung
<b>Mittelwert</b>	<b>36,6</b>	<b>92,7</b>	
Standardab.	0,7	1,7	



Diagramm

4: Scherprobe 1 ohne Entlastungszyklen

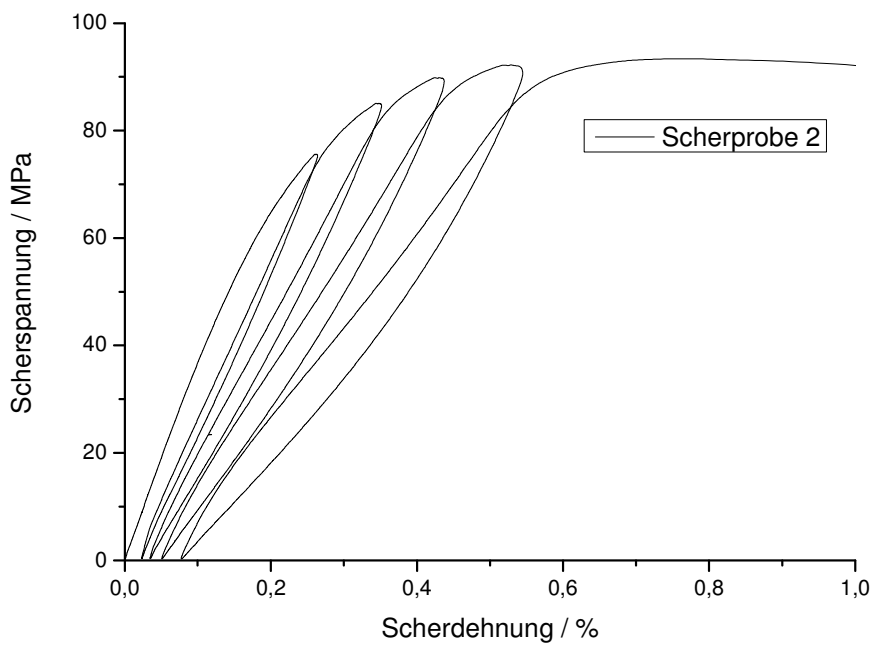


Diagramm 5: Scherprobe 2 mit Entlastungszyklen

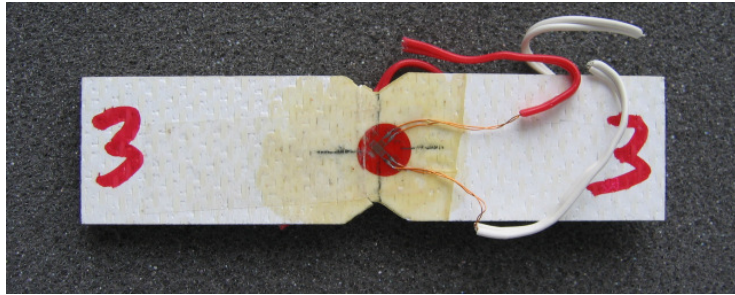


Bild 3: Scherprobe 3.4

Der Bruch verläuft links von der Probenkerbe.

**Ergebnisse Biegeversuche:**

Tabelle 4: Beigeversuche

Probe Nr.	Biegemodul [GPa]	Biegefestigkeit [MPa]	Bemerkung
1A	94,8	265,2	Ungültig
2A	100,1	304,4	
3A	112,0	320,6	
1.1	96,4	317,6	
1.2	113,7	316,9	
<b>Mittelwert</b>	<b>105,6</b>	<b>314,9</b>	
Standardab.	8,6	7,1	

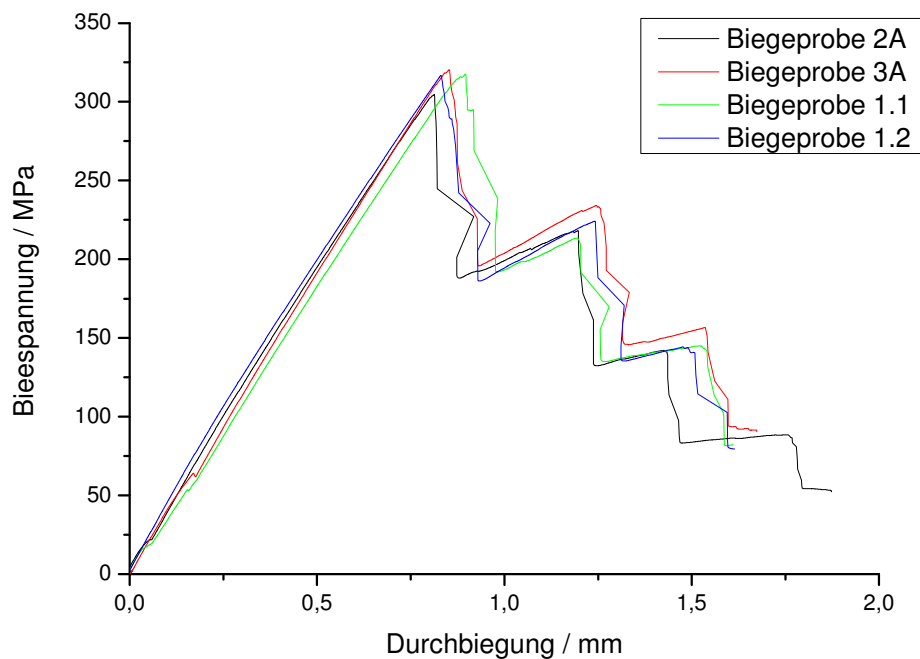


Diagramm 6: Biegeproben, Messkurven der Biegespannungen über die Durchbiegungen



Bild 4: Biegeproben 1.1 und 1.2

**Ergebnisse SENB-Versuche:**

Tabelle 5: SENB-Versuche

Probe Nr.	$K_{Ic}$ MPam <sup>0,5</sup>	Biegefestigkeit [MPa]
3.1	10,7	200,3
3.2	9,7	180,1
3.3	10,4	192,1
3.4	10,0	186,3
<b>Mittelwert</b>	<b>10,2</b>	<b>189,7</b>
Standardab.	0,4	8,6

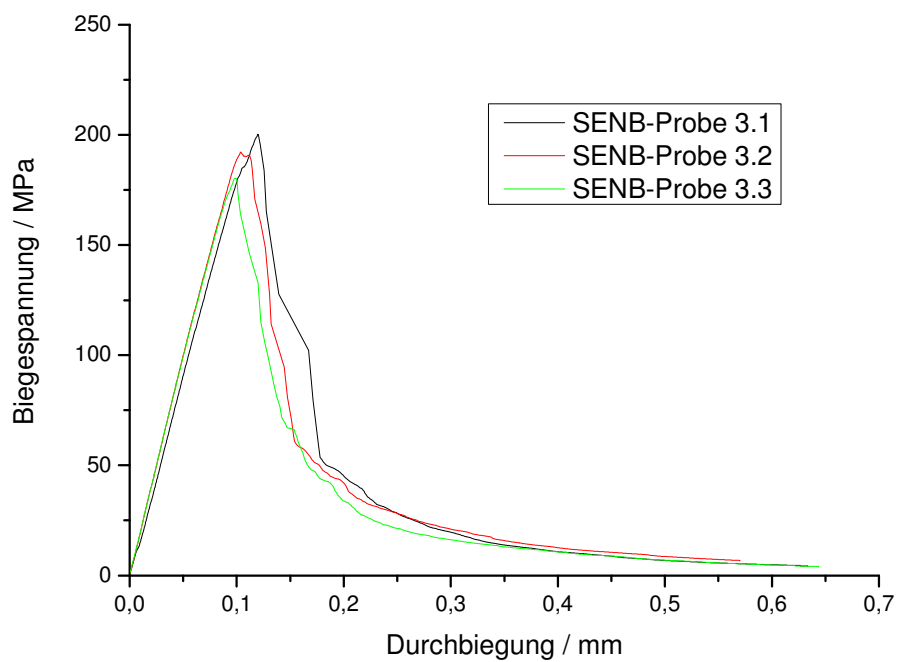


Diagramm 7: SENB-Proben, Messkurven der Biegespannungen über die Durchbiegungen

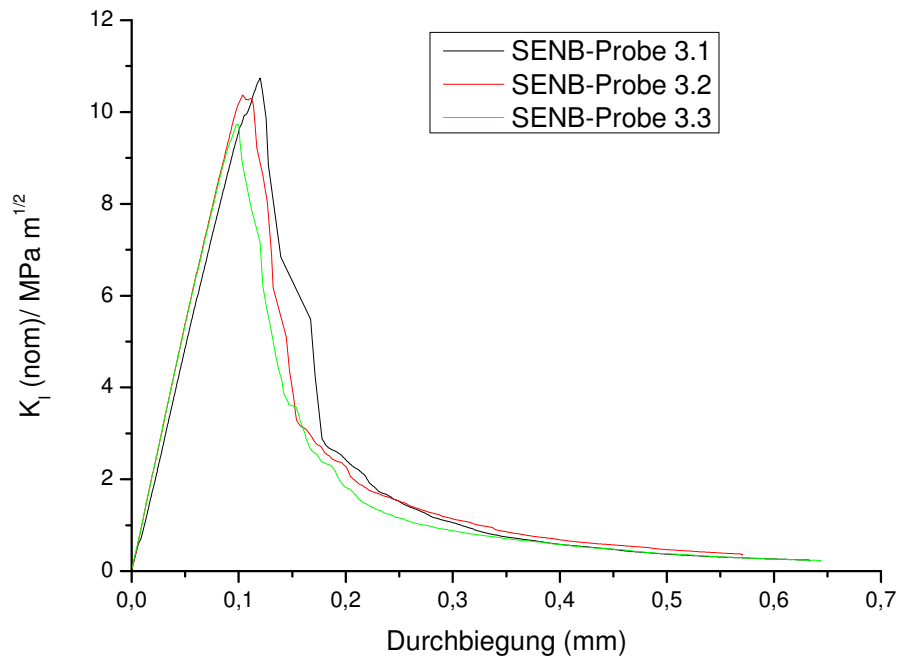


Diagramm 8: SENB-Proben, Messkurven der  $K_I$ -Werte über die Durchbiegungen

Die gleichen SENB-Proben wurde hier mit  $K_I$  (nom) als Y-Achse dargestellt.  $K_I$  (nom) ist der  $K_I$  – Wert berechnet mit der Ausgangsriszlänge (nominell).

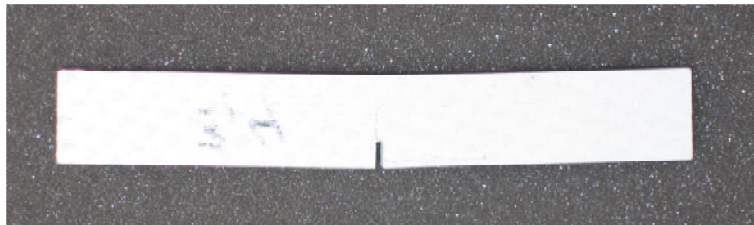


Bild 5: SENB-Probe 3.4

**Ergebnisse Biegeversuche hochkant:**

Tabelle 6: Biegung hochkant

Probe Nr.	Biegemodul [GPa]	Biegefestigkeit [MPa]
4.1	108,5	300,7
4.2	111,7	305,9
4.3	110,3	299,1
<b>Mittelwert</b>	<b>110,2</b>	<b>301,9</b>
Standardab.	1,6	3,6

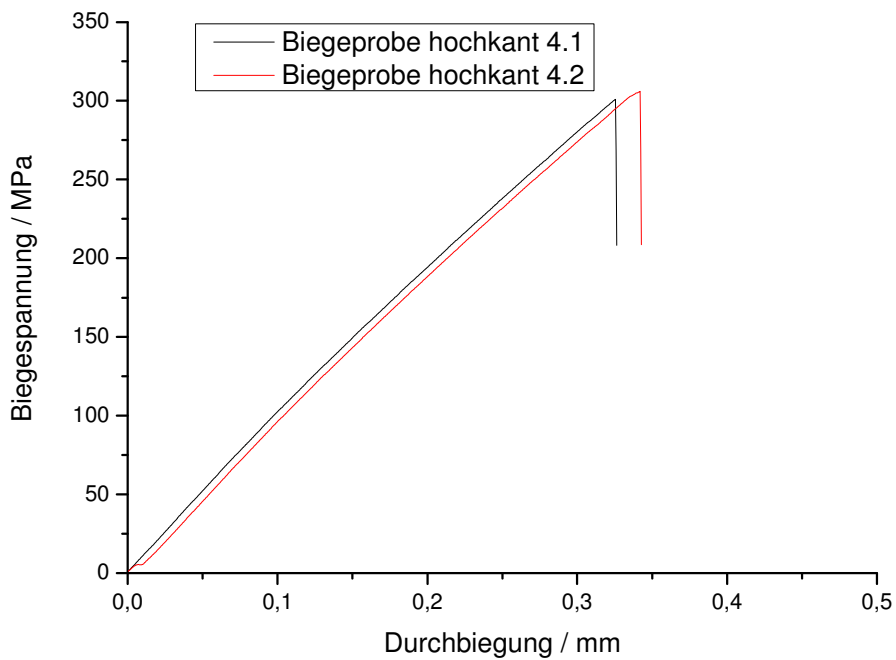


Diagramm 9: Biegeproben hochkant, Messkurven der Biegespannungen über die Durchbiegungen

**Ergebnisse Druckscherproben**

Die Ergebnisse der Druckscherproben stehen noch aus und werden nachgeliefert.

**Vergleich der Ergebnisse aus unterschiedlichen Versuchen**

Ein Vergleich der Ergebnisse aus den unterschiedlichen Versuchen wurde in den Nachfolgenden Diagrammen dargestellt.

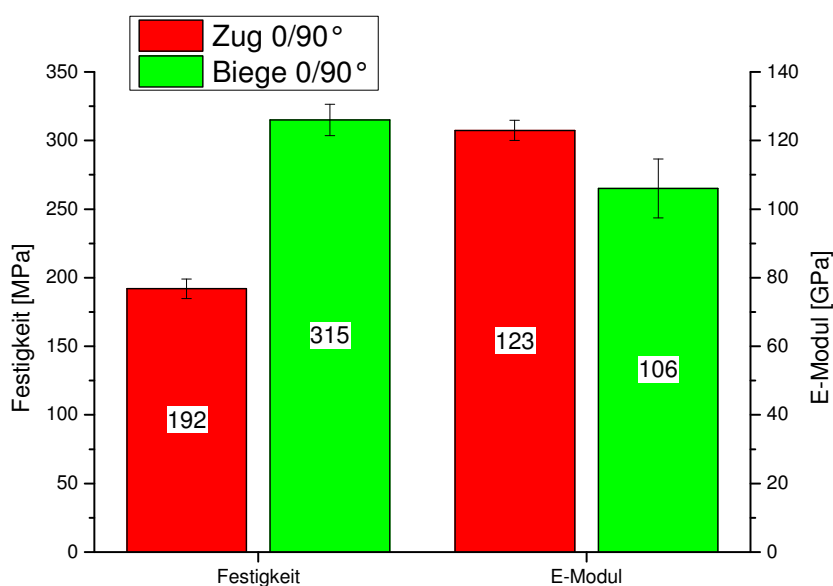


Diagramm 10: Ergebnisse der Zugversuche und Biegeversuche im Vergleich

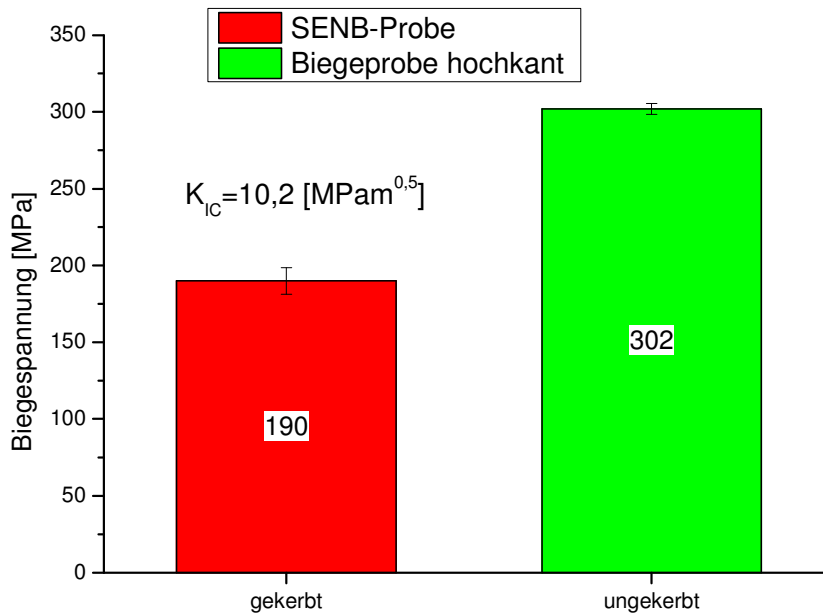


Diagramm 11: Ergebnisse der SENB-Biegespannung und Biegeversuche hochkant im Vergleich

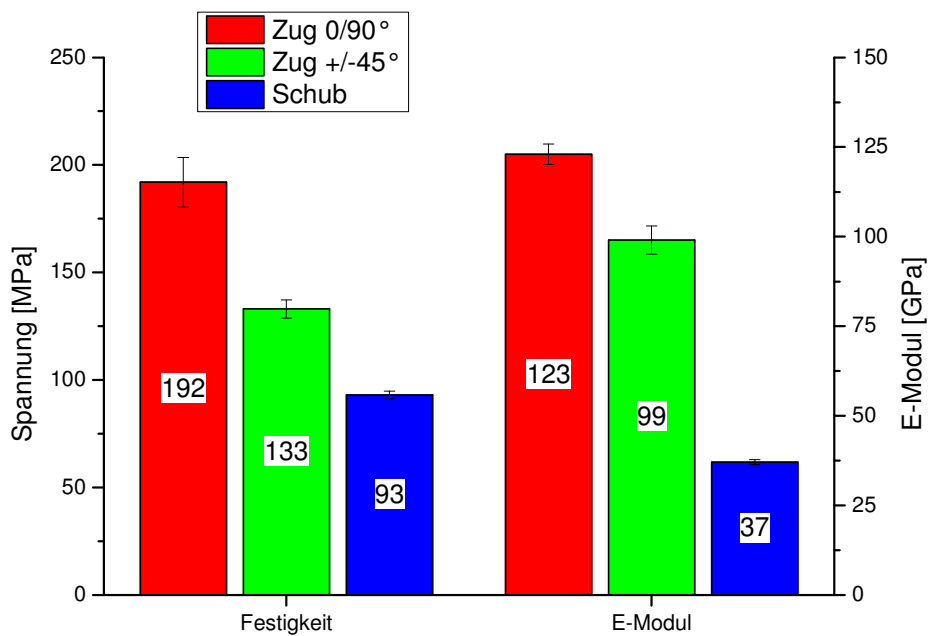


Diagramm 12: Ergebnisse der Zug- und Scherversuche im Vergleich

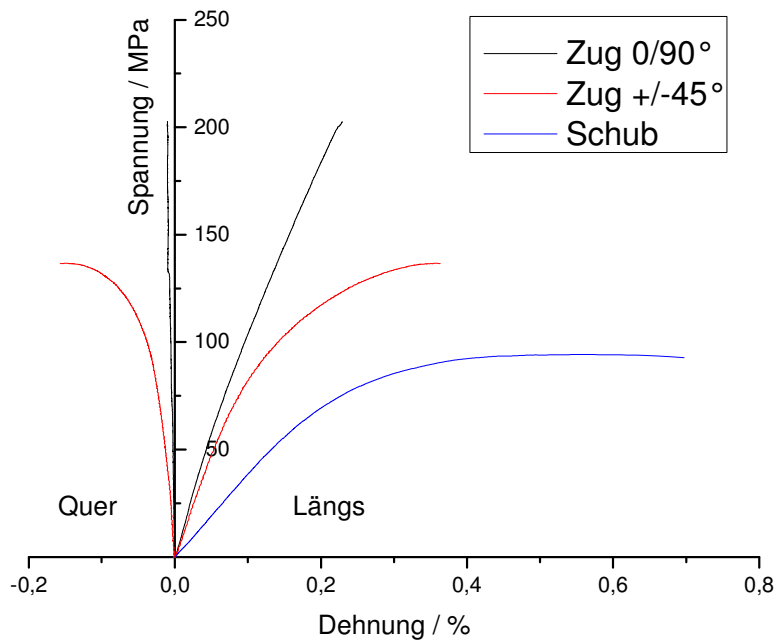


Diagramm 13: Messkurven der Zug- und Scherversuche im Vergleich

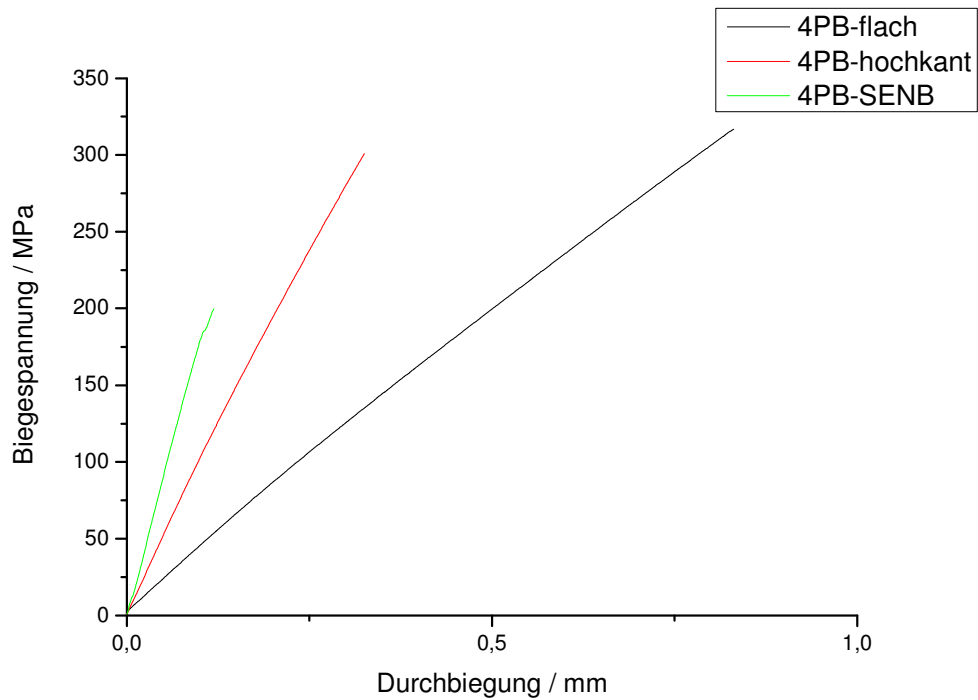


Diagramm 14: Messkurven der Biegeproben im Vergleich

Bremen, 19.11.2012

*Kamen*

Dr.-Ing. Kamen Tushtev