

BRUCHFESTIGKEIT UND BRUCHZÄHIGKEIT VON GLAS UND KERAMIK

Zweite Abgabe

Manuel Diehm
Gruppe 9

Versuch vom 22.01.2007

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Auswertung	2
2.1	Bruchfestigkeit	2
2.1.1	Glas	2
2.1.2	Aluminiumoxid	4
2.2	Bruchzähigkeit	8
2.2.1	Glas	9
2.2.2	Aluminiumoxid und Mg-PSZ	10

1 Einleitung

Ziel des Versuch ist es an Glas und den Keramiken Aluminiumoxid und Zirkonoxid die Bruchfestigkeit sowie die Bruchzähigkeit zu bestimmen. Dabei wird die Bruchfestigkeit an unterschiedlich behandelten Proben nach der 4-Punkt-Biegemethode ermittelt. Die Bruchzähigkeit wird auf drei verschiedenen Arten bestimmt: Durch Einbringen eines Vickerseindrucks, durch die Single Edge V-Notched Beam (SEVNB) sowie die Single Edge Notched Beam (SENB) Methode. Abschließend werden die Bruchstellen Lichtmikroskopisch auf mögliche Versagensursachen untersucht.

2 Auswertung

2.1 Bruchfestigkeit

a) Die Bruchfestigkeit gibt Auskunft über die maximale Belastbarkeit von Bauteilen unter Einfluss von Spannungen und ermöglicht Vorhersagen über das Versagenverhalten. Beeinflusst wird die Bruchfestigkeit durch die Größe der Materialfehler und deren Geometrie, die chemische Umgebung und die Temperatur.

b) Da insbesondere Materialfehler entscheidend für die Bruchfestigkeit sind, ist die Qualität bei Herstellung und Bearbeitung für die spätere Belastbarkeit eines Bauteils von großer Bedeutung. Das Ziel ist dabei, die Größe von Materialfehlern zu verringern und insbesondere Oberflächenfehler, welche sich besonders kritisch auf die Bruchfestigkeit auswirken, zu vermeiden.

Eine weitere Möglichkeit die Bruchfestigkeit zu steigern, besteht darin durch bestimmte Verstärkungsmechanismen die Rissausbreitung zu behindern. Dazu gehören zum Beispiel die Phasenumwandlung in $Mg-ZrO_2$, die Rissüberbrückung in Al_2O_3 , Ferroelastizität von Piezokeramiken, Faserverstärkung oder Rissaufspaltung.

2.1.1 Glas

a) Zuerst wurden die Maße der Proben genommen und die Kanten rund geschliffen um Spannungsüberhöhungen vorzubeugen. Daraufhin wurden die Proben in der Vier-Punkt-Biegeapparat bis zum Bruch belastet und die mithilfe einer Kraftmessdose bestimmte maximale Last notiert.

b) Tabelle 2.1 zeigt die Messergebnisse für die Glasproben beim Biegeversuch sowie die entsprechend c) & d) errechneten Werte.

Probe	W [mm]	B [mm]	L [mm]	F_{max} [N]	σ_{4B} [MPa]	c_{crit} [μm]
1	2,81	4,04	29,94	109,0	51,25	168,2
2	2,81	4,01	29,95	152,1	71,05	85,1
gemittelt	2,81	4,025	29,945	130,55	61,15	126,65

Tabelle 2.1: Messergebnisse für Glas

c) Die Biegefestigkeit für den Vier-Punkt-Biegeversuch (σ_{4B}) berechnet sich nach:

$$\sigma_{4B} = \frac{3(L-l) \cdot F_{max}}{2W^2B} \quad (1)$$

mit:

$L - l = 10$ mm: Differenz zwischen innerem und äußerem Rollenabstand

F_{max} : Last beim Bruch W : Probenhöhe B : Probendicke

d) Die Größe des Bruchauslösenden Defekts lässt sich wie folgt berechnen:

$$c_{crit} = \pi/4 \cdot \frac{K_{Ic}^2}{\sigma_{4B}^2} \quad (2)$$

mit:

$K_{Ic} = (0,75 \pm 0,05)$ MPa \sqrt{m} : Bruchzähigkeit

e) Fehlerquellen sind zum einen die Abmessungen der Probe und zum anderen die Messung der maximalen Last beim Bruch. Im Vergleich zu den Abmessungen ist der Fehler bei der Lastbestimmung wesentlich größer. Der Grund liegt in der Streuung durch die Weibullverteilung der Versagenslast. Weitere Fehler bei der Durchführung, z.B. die durch manuelles Aufbringen variierende Lastrate, verstärken diese Streuung noch.

Folgende Annahmen wurden für die Einzelfehler gemacht: ΔF_{max} : 1 N ΔW : 0,02 mm ΔB : 0,02 mm

Daraus ergibt sich der Fehler für die Bruchfestigkeit nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz zu:

$$\Delta\sigma_{4B} = \left[\left(-\frac{\partial\sigma_{4B}}{\partial F_{max}} \cdot \Delta F_{max} \right)^2 + \left(-\frac{\partial\sigma_{4B}}{\partial W} \cdot \Delta W \right)^2 + \left(-\frac{\partial\sigma_{4B}}{\partial B} \cdot \Delta B \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

So erhält man für die relativen Fehler:

Probe 1: $\Delta\sigma_{4B}/\sigma_{4B} = 9,3\%$

Probe 2: $\Delta\sigma_{4B}/\sigma_{4B} = 6,7\%$

Der Fehler der kritischen Defektgröße kann durch folgende Formel errechnet werden:

$$\Delta c_{crit} = \left[\left(-\frac{\partial c_{crit}}{\partial \sigma_{4B}} \cdot \Delta\sigma_{4B} \right)^2 + \left(-\frac{\partial c_{crit}}{\partial K_{Ic}} \cdot \Delta K_{Ic} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (4)$$

So erhält man für die relativen Fehler:

Probe 1: $\Delta c_{crit}/c_{crit} = 22,9\%$

Probe 2: $\Delta c_{crit}/c_{crit} = 19,4\%$

f) Die Oberflächenbearbeitung ist von entscheidender Bedeutung, da Oberflächen-defekte einen wesentlich größeren Einfluss auf die Bruchfestigkeit des Bauteils haben. Dies muss z.B. bei Oberflächenbehandlungen beachtet werden.

2.1.2 Aluminiumoxid

a) Für alle verwendeten Proben wurden sowohl das Trockengewicht als auch das Gewicht der saturierten Proben bestimmt. Aus den ermittelten Werten wurde anschließend die Dichte der Proben archimedisch bestimmt. Anschließend wurden, wie bei den Glasproben, die Kanten geschliffen und der Vier-Punkt-Biegeversuch durchgeführt

b) Tabelle 2.2 zeigt die Dichten für die bei unterschiedlichen Temperaturen gesinterten Aluminiumoxid Proben sowohl nach der geometrischen als auch nach der archimedischen Methode.

Probe	T_{sinter} [°C]	ρ_{geom} [g/cm^3]	ρ_{arch} [g/cm^3]	rel. ρ_{geom} [%]	rel. ρ_{arch} [%]	$\frac{\rho_{arch}-\rho_{geom}}{\rho_{arch}}$ [%]
1.1	1075	2,6192	2,6551	65,7	66,6	1,4
1.2	1075	2,5928	2,5694	65,0	64,5	0,8
2.1	1220	2,713	2,7511	68,1	69,0	1,3
2.2	1220	2,9096	2,9447	73,0	73,9	1,2
3.1	1350	3,2969	3,3498	82,7	84,0	1,5
3.2	1350	3,4537	3,4321	86,7	86,1	0,7
4.1	1440	3,6671	3,5803	92,0	89,8	2,4
4.2	1440	3,7097	3,7094	93,1	93,1	0

Tabelle 2.2: Archimedische und geometrische Dichten von Al_2O_3

c) Die Differenz beider Dichten beträgt, auf die archimedische Dichte bezogen, bis zu 2,4 %. Allerdings sollte die archimedisch bestimmte Dichte genauer sein, als die geometrisch bestimmte, da hier z.B. geometrische Unebenheiten bei der Messung berücksichtigt werden.

d) & e) Wie bei den Glasproben wird auch hier die Biegefestigkeit und die Größe des bruchauslösenden Defekts berechnet. Die Werte sind in Tabelle 2.3 angegeben.

Probe	F_{max} [N]	σ_{4B} [MPa]	K_{Ic} [MPa \sqrt{m}]	c_{crit} [μm]
1.1	53,8	21,9	0,106	18,2
1.2	77,9	32,9	0,147	15,7
2.1	117,5	43,4	0,263	28,9
2.2	212,2	94,3	0,584	30,1
3.1	266,7	105,1	1,252	111,4
3.2	456,3	177,3	1,388	48,1
4.1	780,5	302,0	1,632	22,9
4.2	191,7	74,7	1,844	479,2

Tabelle 2.3: Messergebnisse für Al_2O_3

K_{Ic} wurde hierbei nach folgender Formel berechnet:

$$K_{Ic} = 2,3 \text{ MPa}\sqrt{m} \cdot \frac{\rho - \rho_0}{\rho_{theo} - \rho_0} \quad (5)$$

mit:

$\rho_0 = 0,65 \cdot \rho_{theo}$: Grünkörperdichte

$\rho_{theo} = 3,986 \text{ g/cm}^3$: Theoretische Dichte

g) Nachfolgend die Fehlerrechnung zu den einzelnen Messwerten. Die zusammengefassten Ergebnisse finden sich in Tabelle 2.4.

Fehler bei der geometrischen Dichtebestimmung:

Fehler werden bei der Wägung der Proben sowie der Bestimmung der Geometrie gemacht. Beide sind in der Größe ähnlich und werden folglich berücksichtigt.

$$\Delta\rho_{geom} = \left[\left(-\frac{\partial\rho_{geom}}{\partial L} \cdot \Delta L \right)^2 + \left(-\frac{\partial\rho_{geom}}{\partial W} \cdot \Delta W \right)^2 + \left(-\frac{\partial\rho_{geom}}{\partial B} \cdot \Delta B \right)^2 + \left(-\frac{\partial\rho_{geom}}{\partial m} \cdot \Delta m \right)^2 \right]^{1/2} \quad (6)$$

Für die Messunsicherheiten der Abmessungen wurde in allen Dimensionen ein Betrag von 0,02 mm angenommen. Die Messunsicherheit bei der Massenbestimmung beträgt 0,001 g.

Fehler bei der Archimedischen Dichtebestimmung:

Als Fehlerquellen kommen hier nur die Abwägegenauigkeit der Waage und die Dichtebestimmung des Wassers in betracht. Die Dichtebestimmung des Wasser wird aufgrund des sehr geringen Fehlers im folgenden vernachlässigt.

$$\Delta\rho_{arch} = \left[\left(-\frac{\partial\rho_{arch}}{\partial D} \cdot \Delta D \right)^2 + \left(-\frac{\partial\rho_{arch}}{\partial W} \cdot \Delta W \right)^2 + \left(-\frac{\partial\rho_{arch}}{\partial S} \cdot \Delta S \right)^2 \right]^{1/2} \quad (7)$$

Alle Abwägefehler wurden mit 0,001 g angenommen.

Fehler bei der Bestimmung von K_{Ic} :

Als Fehler geht hier nur der Fehler, der für die Archimedische Dichte berechnet wurde ein.

$$\Delta K_{Ic} = \left[\left(-\frac{\partial K_{Ic}}{\partial \rho_0} \cdot \Delta \rho_0 \right)^2 \right]^{1/2} \quad (8)$$

Fehler bei der Bruchfestigkeitsbestimmung:

Die Berechnung erfolgt hier analog zu der Berechnung bei den Glasproben. Die Annahmen für die Fehlergrenzen sind ebenfalls wie bei den Glasproben.

Fehler bei der Bestimmung der kritischen Defektlänge:

Als Fehler geht der bestimmte Fehler für K_{Ic} sowie für σ_{4B} ein.

$$\Delta c_{crit} = \left[\left(-\frac{\partial c_{crit}}{\partial K_{Ic}} \cdot \Delta K_{Ic} \right)^2 + \left(-\frac{\partial c_{crit}}{\partial \sigma_{4B}} \cdot \Delta \sigma_{4B} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (9)$$

Damit ergeben sich für die Fehler die in Tabelle 2.4 aufgelisteten Werte:

f) Die Abbildungen 2.1 und 2.2 zeigen jeweils den Verlauf von Bruchzähigkeit gegen relative Dichte bzw. von kritischer Defektlänge gegen relative Dichte.

Probe	$\Delta\rho_{geom}/\rho_{geom}$ [%]	$\Delta\rho_{arch}/\rho_{arch}$ [%]	$\Delta K_{Ic}/K_{Ic}$ [%]	$\Delta\sigma_{4B}/\sigma_{4B}$ [%]	$\Delta c_{crit}/c_{crit}$ [%]
1.1	0,8	0,004	16,7	20,4	52,6
1.2	0,8	0,0039	16,2	15,3	44,6
2.1	0,8	0,0038	6,5	11,9	27,3
2.2	0,8	0,0042	3,5	9,59	20,2
3.1	0,8	0,0039	1,7	9,1	18,5
3.2	0,8	0,0039	1,6	8,2	16,7
4.1	0,8	0,0038	1,4	8,5	17,2
4.2	0,8	0,004	1,3	9,7	19,7

Tabelle 2.4: Fehlerwerte für Aluminiumoxidproben

h) Die Proben höherer Dichte haben eine höhere Festigkeit, da hier die Bruchzähigkeit höher ist, als bei geringerer Dichte. Dies lässt sich auch an der Formel für die Bruchzähigkeit erkennen:

$$K_{Ic} = 2,3 \text{ MPa}\sqrt{m} \cdot \frac{\rho - \rho_0}{\rho_{theo} - \rho_0} \quad (10)$$

Eine Erhöhung der Dichte geht auch mit einer Erhöhung der Bruchzähigkeit einher, welche wiederum die Festigkeit erhöht. Die Größe der Bruchauslösenden Defekte verändert sich hingegen kaum, da die Verdichtung hauptsächlich unter Verringerung der Anzahl kleinerer Defekte erfolgt und die größeren Defekte kaum beeinflusst werden.

i) Mit Ausnahme der ersten drei Proben stimmt die beobachtete Defektlänge (vgl. Tabelle 2.5) recht gut mit der zuvor berechneten überein. Für die ersten Proben ergibt sich allerdings auch in der Fehlerrechnung ein sehr großer Fehler für die Berechnung, was die fehlende Übereinstimmung von Rechnung und Beobachtung erklären könnte. Allerdings werden auch bei der Ausmessung der Defekte Fehler gemacht. So ist es zum einen recht schwer den ursächlichen Defekt genau zu lokalisieren, vor allem, wenn mehrere Defekte in Frage kommen und zum anderen werden die Form und die Größe der Defekte mitunter durch Abplatzungen beim Bruch verfälscht.

Bei allen Proben waren anscheinend Oberflächen Defekte für den Bruch verantwortlich. Dies deckt sich mit der Theorie, welche besagt, dass Oberflächenrisse, bei gleicher Größe und Geometrie, einen wesentlichen stärkeren Einfluss als Volumenfehler haben.

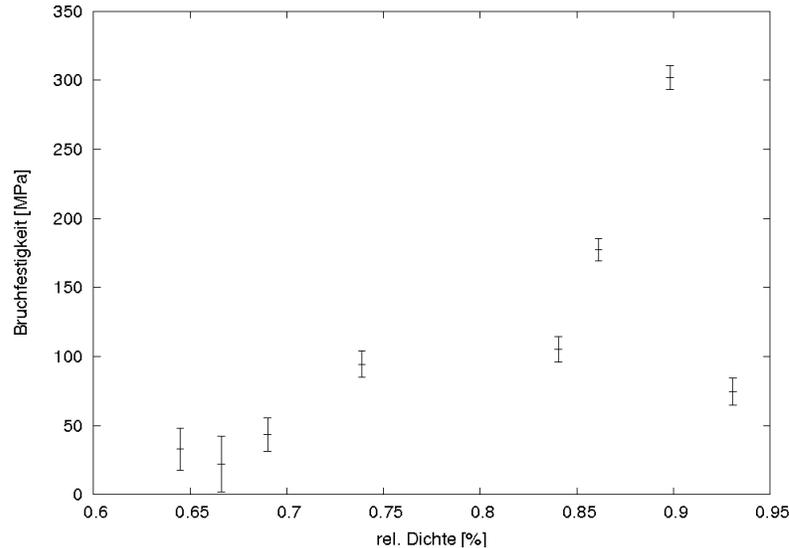


Abbildung 2.1: Auftragung Bruchfestigkeit gegen relative Dichte

j) Die gemessenen Festigkeitswerte reichen von 22 MPa bis 300 MPa. In der Literatur wird die Bruchfestigkeit von Aluminiumoxid mit Werten zwischen 200 und 1000 MPa angegeben. Die gemessenen Werte sind also um einiges geringer als die Literaturwerte.

2.2 Bruchzähigkeit

Es wurden drei verschiedene Methoden zur Bestimmung der Bruchzähigkeit verwendet: Vickerseindruck, SEVNB und SENB.

Die Methode des Vickerseindrucks ist von den genannten die ungenaueste, da es beim Ablesen der Risslängen zu größeren Fehlern kommt. Gründe dafür ist der schiefe Verlauf der meisten Risse sowie die Schwierigkeit den Endpunkt exakt zu bestimmen. Außerdem kann manchmal aufgrund von Deformationen überhaupt kein Riss erkannt werden.

Die SENB und SEVNB Methoden sollten wesentlich genauer sein, da hier dem Riss eine eindeutige Richtung vorgegeben wird. Dies ist bei der SEVNB Methode noch exakter als bei der SENB Methode. Nachteil der SEVNB Methode ist allerdings, dass die Probenpräparation am längsten dauert.

Für möglichst genaue Messungen ist also die SEVNB Methode vorzuziehen, während der Vickerseindruck mit dem geringsten Aufwand durchzuführen ist.

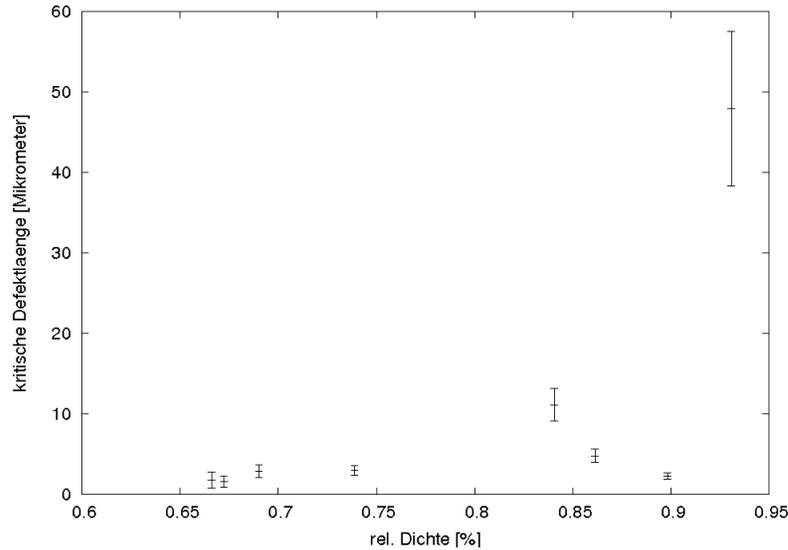


Abbildung 2.2: Auftragung kritische Defektlänge gegen relative Dichte

2.2.1 Glas

a) Die Bruchzähigkeit wurde durch die Vickerseindruck Methode bestimmt. Dazu wurden Diamanteindrücke bei unterschiedlichen Lasten in die Proben eingebracht und anschließend die Diamantdiagonalen sowie eventuell vorhandene Risse unter dem Lichtmikroskop vermessen.

b) Die Messergebnisse sind in Tabelle 2.6 zu finden.

c) Die Bruchzähigkeit berechnet sich nach folgender Formel:

$$K_{Ic} = 0,032 \cdot H \cdot \sqrt{a} \cdot \left(\frac{E}{H}\right)^{1/2} \cdot \left(\frac{c}{a}\right)^{3/2} \quad (11)$$

mit:

$H = \frac{F}{2a^2}$: Härte nach Vickers

F : Eindrucklast

E : E-Modul

a : Eindruckdiagonale

c : Risslänge

Die berechneten Ergebnisse sind in Tabelle 2.6 zusammengefasst.

Probe	beobachtete Defektlänge [μm]	berechnete Defektlänge [μm]
1.1	70	18
1.2	80	8
2.1	40	28
2.2	50	30
3.1	120	111
3.2	60	48
4.1	20	22
4.2	50	47

Tabelle 2.5: Vergleich von beobachteter Defektlänge zu berechneter Defektlänge

Last [kg]	a [μm]	c [μm]	H [GPa]	K_{Ic} [MPa \sqrt{m}]	Standardabweichung
5	139,0	642,0	1,27	0,36	0,031
5	157,3	637,6	0,99	0,41	
5	162,5	618,5	0,93	0,44	
			Mittelwert:	0,403	
			Standardabw.:	0,404	
10	182,6	796,5	1,47	0,48	
10	208,3	896,2	1,13	0,46	
10	178,8	922,7	1,53	0,38	
			Mittelwert:	0,44	
			Standardabw.:	0,503	

Tabelle 2.6: Bruchzähigkeiten der Glasprobe

d) Der Literaturwert für Glas beträgt $K_{Ic} = 0,7 - 0,8 \text{ MPa}\sqrt{m}$. Damit liegen die von uns gemessenen Werte fast um die Hälfte niedriger. Der Grund hierfür sind vermutlich die zuvor schon angesprochenen Messschwierigkeiten, die durch Deformationen an den Eindrücken auftreten und das genaue Ablesen der Risslängen und Eindruckdiagonalen erschweren.

2.2.2 Aluminiumoxid und Mg-PSZ

a) Zur Untersuchung der Bruchzähigkeit wurden die Proben mit allen drei Methoden (Vickers, SENB, SEVNB) untersucht. Bei der SENB-Methode wurden die Proben mit einer Diamantdrahtsäge angesägt bevor sie im Vier-Punkt Verfahren zerbrochen wurden. Im Unterschied dazu erfolgte das Ansägen bei der SEVNB-Methode mit einer Rasierklinge. Zwischen die Rasierklinge und die Probe wurde dabei Dia-

mantpulver gegeben.

b) Die Messergebnisse für die Vickersmethode für Mg-PZT finden sich in Tabelle 2.7. Allerdings konnte die Aluminiumoxidprobe nicht nach dem Vickerseindruckverfahren vermessen werden, da die Körner zu groß waren und es zu Deformationen kam, die ein Ausmessen des Vickerseindrucks oder der Risslänge unmöglich machten.

Last [kg]	a [μm]	c [μm]	H [N/m^2]	K_{Ic} [$MPa\sqrt{m}$]
5	108,0	116,8	2102803738	5,91
5	105,5	105,5	2203504043	6,73
5	108,0	108,0	2102803738	6,65
			Mittelwert:	6,43
			Standardabw.:	0,452
10	142,0	142,0	2432673709	8,20
10	142,0	176,0	2433639295	5,94
10	141,5	234,7	2450049950	3,84
			Mittelwert:	5,99
			Standardabw.:	2,18
20	192,0	227,3	2661782662	7,74
20	199,5	229,6	2465567508	7,92
20	203,0	268,6	2380779032	6,37
			Mittelwert:	7,34
			Standardabw.:	0,85

Tabelle 2.7: Messergebnisse Vickerseindruck für Mg-PZT

Tabelle 2.8 zeigt die Messwerte für die Bruchzähigkeitsberechnung nach den SENB und SEVNB Methoden.

c) Vickers Eindruckmethode

Die Berechnung erfolgt analog der Glasprobe.

SEVNB & SENB

Die Berechnung erfolgt für beide Proben über folgende Gleichung:

$$K_{Ic} = \sigma\sqrt{a}Y = \frac{F}{B\sqrt{W}} \cdot \frac{L-l}{W} \cdot \frac{3 \cdot \sqrt{\alpha}}{2 \cdot (l-\alpha)^{1,5}} \cdot Y \quad (12)$$

Material	Nr.	F_{max} [N]	a_1 [μm]	a_2 [μm]	a_3 [μm]	a_m [μm]	$(a_{max} - a_{min})/a$	α	Y	K_{Ic} [MPa \sqrt{m}]
SENB										
Al_2O_3	1	79,80	550,00	537,00	551,00	546,00	0,03	0,1863	1,3742	1,57
	3	86,50	701,00	705,00	720,00	708,67	0,03	0,2316	1,2821	1,70
gem.		83,15	625,50	621,00	635,50	627,33	0,03	0,2095	1,3253	1,64
ZrO_2	3	406,70	454,00	467,70	477,10	466,27	0,05	0,1499	1,4604	6,12
	4	337,20	543,10	551,10	551,20	548,47	0,01	0,1758	1,398	5,57
gem.		371,95	498,55	509,40	514,15	507,37	0,03	0,1629	1,4284	5,87
Material	Nr.	F_{max} [N]	a_1 [μm]	a_2 [μm]	a_3 [μm]	a_m [μm]	$(a_{max} - a_{min})/a$	α	Y	K_{Ic} [MPa\sqrt{m}]
SEVNB										
Al_2O_3	2	128,10	399,00	380,00	392,00	390,33	0,05	0,1319	1,5079	2,02
	4	145,40	438,00	435,00	450,00	441,00	0,03	0,1427	1,479	2,17
gem.		136,75	418,50	407,50	421,00	415,67	0,04	0,1374	1,493	2,10
ZrO_2	1	333,60	470,60	430,70	475,10	458,80	0,10	0,1504	1,4592	5,19
	2	252,50	701,00	705,00	697,00	701,00	0,01	0,2232	1,298	4,69
gem.		293,05	585,80	567,85	586,05	579,90	0,05	0,1874	1,372	5,02

Tabelle 2.8: Messergebnisse SENB und SEVNB

mit:

$$Y = 1,9887 - 1,326 \cdot \alpha - \frac{(3,49 - 0,68\alpha + 1,35\alpha^2) \cdot \alpha \cdot (l - \alpha)}{(1 + \alpha)^2} \quad (13)$$

und

$$\alpha = \frac{(a_1 + a_2 + a_3)}{3W} \quad (14)$$

gem. K_{Ic} [MPa \sqrt{m}]	Vickers	SEVNB	SENB	Literaturwert
Al2O3	-	2,1	1,64	3
Mg-PSZ	6,59	5,02	5,87	5

Tabelle 2.9: Vergleich der Messergebnisse

d) & e) Wie aus Tabelle 2.9 zu erkennen ist, liegt der Messwert nach der SEVNB Methode am besten, während der Wert nach der Vickersmethode die größte Abweichung vom Literaturwert aufweist. Diese Abweichungen bei der Vickersmethode sind auf die oben schon erwähnten Schwierigkeiten bei der Vermessung zurückzuführen, da aufgrund mangelnder Tiefenschärfe die Randbereiche des Diamanteindrucks oft unscharf waren und nicht genau vermessen werden konnten. Noch schwieriger gestaltete sich die Vermessung der Risslängen, da durch den sehr langsam schwächer werdenden Kontrast nicht genau auszumachen war, wann der Riss aufhörte. Zudem wiesen die Risse oft Krümmungen auf oder verzweigten.

Die Werte der SENB und insbesondere der SEVNB Messungen liegen deutlich besser, als die der Vickersmessung. Allerdings brauchen beide Methoden auch einen höheren Aufwand zur Messung. Die Unterschiede zwischen beiden Methoden liegen darin, dass z.B. bei der SEVNB Methode, die Kerbtiefen besser vermessen werden konnten, da er durch die scharfe Spitze eindeutig definiert war. Bei der SENB Methode hingegen war durch die Zylindrische Form der Kerbe der Kerbgrund nur undeutlich zu erkennen. Dies könnte auch ein Grund sein, warum die Werte der SEVNB Methode noch besser liegen, als die der SENB Methode.

f) Um genauere Ergebnisse zu erhalten könnte man die mikroskopischen Vermessungen computergestützt durchführen. Daraus ließe sich eine höhere Messgenauigkeit erzielen. Außerdem sollte man beim Schleifen der Kanten schonender vorgehen, da sonst Oberflächendefekte entstehen, die das Messergebnis verfälschen können. Das könnte z.B. durch feineres Schleifpapier erreicht werden.

g) Die Bruchzähigkeit ist eine wichtige Kenngröße für Keramische Materialien und Glas. Daher hat auch die Testmethodik für die Bruchzähigkeit entsprechende Bedeutung. Kennt man die Bruchzähigkeit eines Materials, so ist es möglich Aussagen über die Bruchfestigkeit zu treffen, da kleine K_{Ic} zu einer entsprechend geringen Bruchfestigkeit führen. Durch hohe K_{Ic} Werte erreicht man also große Bruchfestigkeiten. Um hohe Bruchzähigkeiten über dem für Keramiken üblichen Wert von bis zu $2 \text{ MPa}\sqrt{m}$ zu erreichen kann man sich verschiedener Verstärkungsmechanismen bedienen, wie z.B. Phasenumwandlungen, Rissüberbrückung oder Faserverstärkung.