

Prof. Dr. R. Clasen, Dr.-Ing. G. Falk

Optische Werkstoffe

- Glas**
  - + große Formkörper
  - Brech-/Abbezahl Bereich begrenzt
  - Fluoreszenz
- Kristalle - Einkristall**
  - + gute Wärmeleitung
  - + große Härte
  - begrenzte Größe
  - mechanische Bearbeitung
- Optokeramik**
  - + große, endmaßnahe Formkörper
  - Restporen

Edelsteine



Tourmaline



Granate

Schmucksteine

Farbe	Oxid
blau	Titan, Eisen
grün	Chrom, Vanadium
rot	Chrom
lavendel	Cobalt
braun / gelb	Nickel
orange	Cer



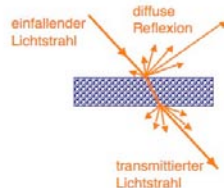
Ausgangssituation

Wie kommt man zur transparenten Keramik?  
 Nanoteilchen und Nanogefüge zur Reduzierung der Streuung notwendig?

Modellrechnungen mit Mie-Theorie und exp. Überprüfung von Jan Peelen  
 J. Appl. Phys. 45 (1974) 216-220 [7223]

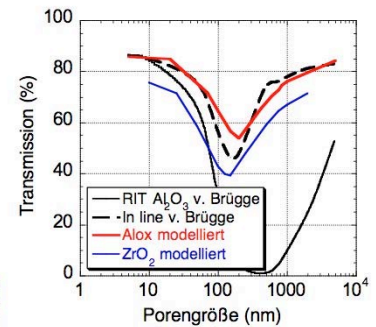
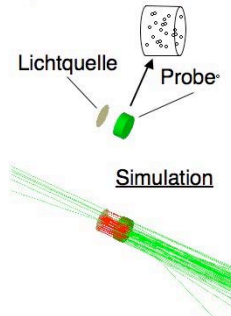
- λ Streuung an Poren entscheidend
- λ Einfluss Korngrenzen gering, wenn keine Zweitphase mit hohem Δn entsteht

$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3: n = 1,77, \Delta n = 8 \cdot 10^{-3}$

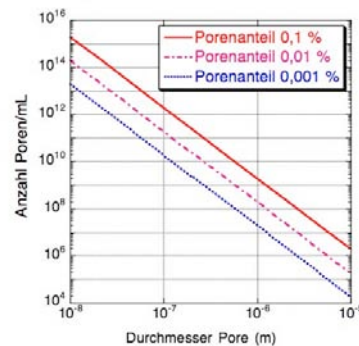


Modellierung der Transmission (λ = 600 nm)

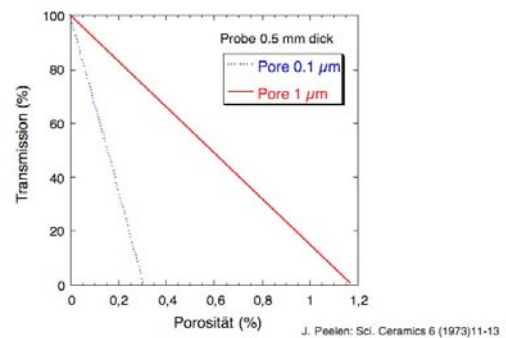
Programm SPRAY (M. Theiss Hard and Software)  
 - Zirconia Matrix mit Poren



Modellrechnung Porendurchmesser-Anzahl



Modellrechnung Transmission-Porendurchmesser

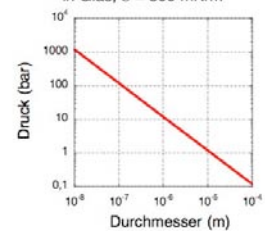
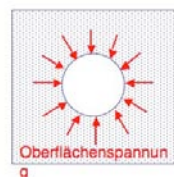


Porenentfernung

**Binnendruck Pore**

$$p = \frac{2 \sigma}{r}$$

Binnendruck Gasblase in Glas,  $\sigma = 300 \text{ mN/m}$



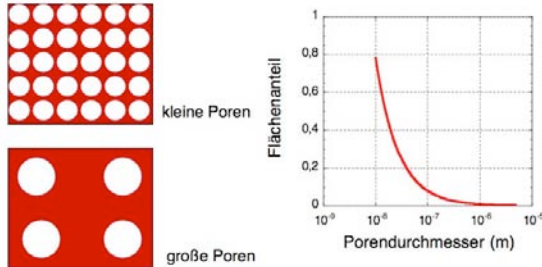
Porenentfernung in Keramik

zu feine Poren in Grünkörpern aus Nanoteilchen => Knudsen-Bereich  
 hohe Gründichte, feine Teilchen, große Poren => bimodale Porenverteilung ?

Prof. Dr. R. Clasen, Dr.-Ing. G. Falk

**Modellrechnung Transmissionsfläche**

Vergleich der Projektionsfläche von verschieden großen Poren mit gleichen Gesamtvolumen



**Beryll - Kristalle für Brillen**



Beryll-Gruppe gehören Smaragd, Aquamarin und - oft als Edelberyll zusammengefasst - Heliodor, Goldberyll, Morganit, Goshenit u. a. Chemische Zusammensetzung Aluminium-Beryllium-Silicat:  $Be_3Al_2Si_6O_{18}$

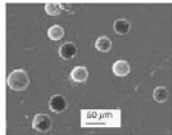


Mohshärte 7,5 - 8, Dichte 2,66 - 2,87 g/mL

Fotos: Gerhard Niceus

**Poren in Glas und Optokeramik**

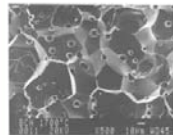
**Glas**



Gaslöslichkeit in Glas:  
He, N<sub>2</sub>, Luft: 10<sup>-3</sup> ... 10<sup>-4</sup>  
mit Temperatur und Druck steigend  
Blasenbestimmung nach DIN 3140

⇒ kleine Blasen  $d < 10 \mu\text{m}$  lösen sich auf

**Keramik**



Gaslöslichkeit in Keramik:  
Vermutung:  
deutlich kleiner als in Glas ?

⇒ kleine Blasen stabil viele Blasen reduzieren Transmission

**Entwicklung Brillen**



Lesestein, ca. 1240



erstes historisches Bild (1352)



Fadenbrille



Öhrenbrille



Sportzwickler um 1900

**Blasenbeseitigung in Kieselglas durch Nachhippen**



Rechts: Gesintert bei 1580 °C, links: Hippe 1350 °C, 1600 bar (10 bar/min, 10 K/min)

**Autofokus Brille (2006)**

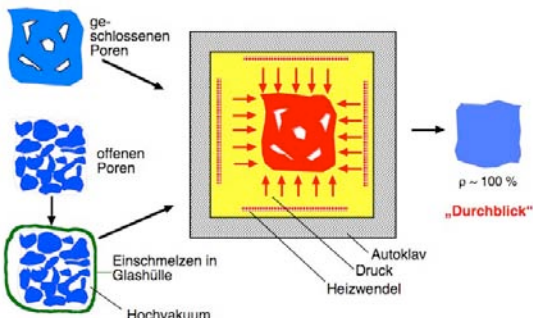


E-Feld geschaltete Flüssigkristalle

Dicke 5  $\mu\text{m}$   
Spannung 2 V

**Heißisostatisches Pressen (Hippen)**

Probe mit:

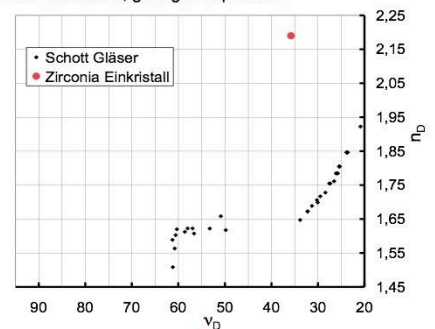


**Motivation: ZrO<sub>2</sub> als optisch transparente Keramik**

- mechanische Eigenschaften
- Temperaturstabilität
- optische Eigenschaften

**ZrO<sub>2</sub> im Abbédiagramm:**

Hohe Brechzahl, geringe Dispersion



Prof. Dr. R. Clasen, Dr.-Ing. G. Falk

ZrO<sub>2</sub>-Optokeramik



M. Wolff, UdS: ZrO<sub>2</sub>-Keramikscheiben  
oben: auf Unterlage  
unten: vor Fotoobjektiv



IKTS Dresden: ZrO<sub>2</sub>-Keramikscheiben  
2, 3 und 4 mm dick

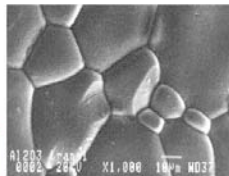
Daten von Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-basierten Keramiken

	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	YAG	MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	AION
Gitter	hex. (α-Phase)	kubisch	kubisch	kubisch
Schmelzpunkt (°C)	2053	2223	2130	2015
Dichte (g/cm <sup>3</sup> )	3,97	4,55	3,58	3,71
Biegefestigkeit (MPa)	300 - 520	k.A.	185	300
E-Modul (MPa)	300 - 380	280	190	323
K <sub>IC</sub> (MPa m <sup>0,5</sup> )	4,0 - 5,5	k.A.	1,72	2,40
α (10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> )	6,65 (a) 7,15 (c)	7,7	8,0	8,8
C <sub>p,20°C</sub> (J / kg / K)	850 - 1050	625	810	k.A.
λ <sub>30-100°C</sub> (W/m/K)	19 - 30	13	2,5	25
n	1,761 (a) 1,769 (c)	1,815	1,712	1,793

Philips DGA Na-Hochdrucklampe

**Transluzente Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Keramik:**

- Formgebung durch Extrusion
- Sinterung bei 1700 °C in H<sub>2</sub>-Atmosphäre, Begrenzung des Kornwachstums mit MgO



Nd-YAG Keramik von Konoshima



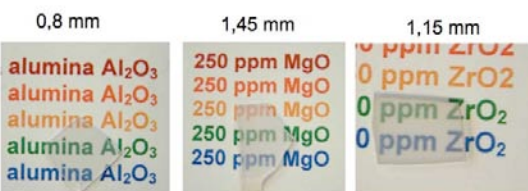
Nd:YAG Keramik soll Einkristalle ersetzen können.

1,5 kW bei 1064 nm erreicht.

OLE July/August (2002) 12

Transparente Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Optokeramik

0 ppm + 250 ppm MgO + 450 ppm ZrO<sub>2</sub>



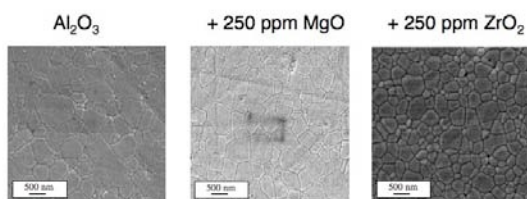
Sinterung / HIP Temperaturen

1280 °C/1250 °C    1200 °C/1200 °C    1300 °C/1250 °C

99,99 % TD    99,90 %TD    99,95 %TD

Vergleich Gefüge Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Proben

Proben gesintert bei 1200 °C, 5 K/min, 48 h Haltezeit



Mittlere Korngröße:  
800 nm

791 nm

603 nm

Transparente Saphirscheiben

**MSI** <http://www.matsysinc.com/sapphire.html>  
Materials Systems Inc.

Scheiben bis 35 x 92 cm<sup>2</sup>

Preis: 7,3 \$/cm<sup>2</sup>, Ziel: 1,5 \$/cm<sup>2</sup>

(2/3 der Kosten für Schleifen/Polieren)



IR-Durchlässigkeit

