

## **6. Hochtemperatur**

- **SISIC in der thermischen Prozeßtechnik**
- **Oxid- und Nichtoxidkeramische Brennhilfsmittel und Rollensysteme**

## **SISIC in der thermischen Prozeßtechnik**

Dr.-Ing. Arthur Lynen

Schunk Ingenieurkeramik GmbH

Willich

Das wohl älteste Einsatzfeld von Keramik in der Technik ist der Bau von Anlagen, in denen Hochtemperaturprozesse im Rahmen der Herstellung von Glas, Keramik, Baustoffen und bei der Verhüttung von Metallen ablaufen. Aus den klassischen feuerfesten Werkstoffen werden Reaktionsgefäße oder Ofenwände und -gewölbe analog zu der Technik aufgebaut, die auch für die Erstellung von Gebäuden genutzt wird. Wie ein normaler Mauerziegel sollte auch ein Schamottestein ausschließlich auf Druck belastet werden. Erst mit modernen keramischen Werkstoffen sind für den Hochtemperaturbereich Konstruktionen möglich, in denen Belastungen durch Zug oder Biegung auftreten. Insbesondere siliciuminfiltriertes Siliciumcarbid eignet sich hervorragend beim Aufbau von Anlagen für thermische Prozesse, weil sich aus diesem Werkstoff Bauteile mit der notwendigen Größe und Komplexität herstellen lassen.

An zwei Beispielen soll die Serienfähigkeit von SISIC-Komponenten aufgezeigt werden, aus denen sich komplexe Funktionseinheiten aufbauen lassen.

Viele thermische Prozesse lassen sich nur unter Schutzgas durchführen. Eine direkte Beheizung, bei der Brenngase den Prozeß stören würden, ist dabei nicht möglich. Um trotzdem mit fossilen Brennstoffen anstelle der teureren elektrischen Energie heizen zu können, wurden für Prozeßtemperaturen bis 1000°C schon lange metallische Mantelstrahlrohre eingesetzt.

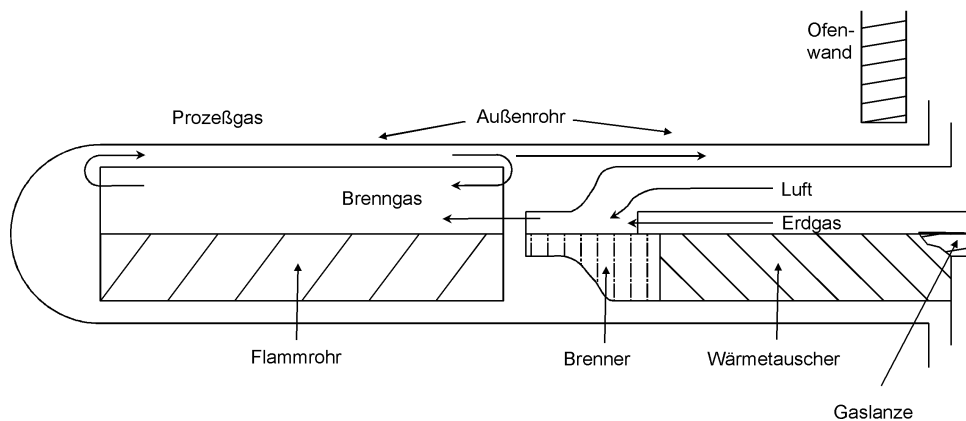


Bild 1: Prinziplskizze eines Mantelstrahlrohres

In dem Mantelstrahlrohr laufen die Verbrennung und die Wärmerückgewinnung durch Luftvorwärmung ab. Brenn- und Prozessgase bleiben durch das Außenrohr von einander getrennt. Mit dem schrittweisen Austausch von Stahl gegen SISIC - beginnend mit dem Brenner, über das Flammrohr zum Wärmetauscher und Außenrohr- konnte dieses Beheizungskonzept für immer höhere Prozeßtemperaturen nutzbar gemacht werden. Eine typische Anwendung von Strahlrohren, die abgesehen von der äußeren Anbindung an Ofen und Gas zu- und -ableitung vollkeramisch ausgeführt sind, ist die Wärmebehandlung von Elektroblechen. Bild 2 zeigt einen Querschnitt des mit Schutzgas gespülten Ofens mit Anordnung der Mantelstrahlrohre.

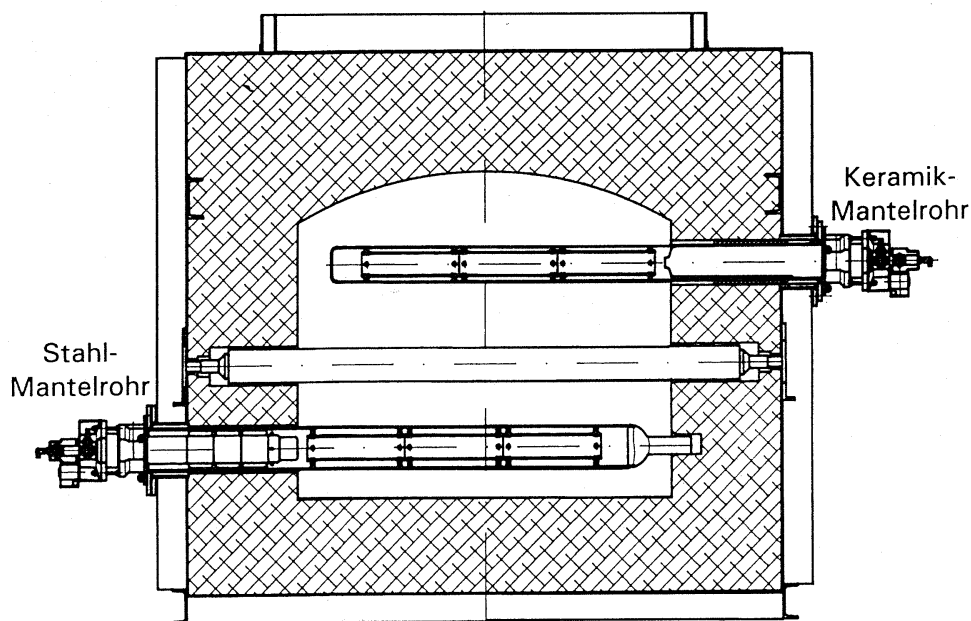


Bild 2: Mantelstrahlrohre zur Glühbehandlung von Elektroblechen /1/

Sie werden im Wechsel über und unter den Rollen montiert, die die Bleche durch den Ofen transportieren. Die metallischen Mantelrohre müssen in der gegenüberliegenden Ofenwand aufliegen, während die keramischen nur eine einseitige Lagerung benötigen. Die bisher verwendeten CrNi-Rohre biegen sich bereits bei 900°C unter Eigengewicht erheblich durch. Der Durchbiegung wird durch Drehen um 180° begegnet, was mit einem hohen personellen Aufwand verbunden ist. Abgesehen von dem geringeren Wartungsbedarf spricht für die keramischen Strahlrohre auch die höhere flächenbezogene Strahlungsleistung.

Ein anderes Beispiel für die Anwendung von SISIC bei hohen Temperaturen ist sein Einsatz beim Brand von Dachziegeln. Als Teil des Brenngestells ist insbesondere der Dachziegelhalter in großen Stückzahlen, die für die Ausrüstung eines Ofens bei 50.000 liegen, mit hoher Genauigkeit zu fertigen.

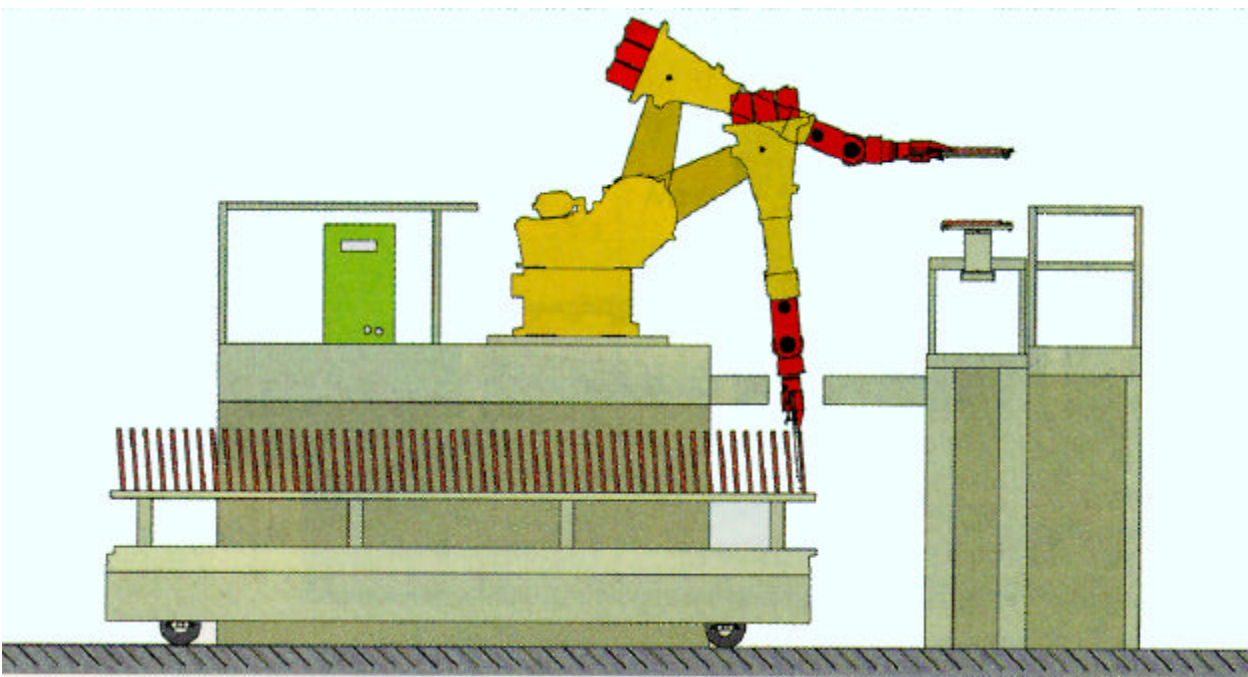


Bild 3: Schonender Transport der Dachziegel mittels Roboter /2/

Bisher nur in der Sanitär- und Geschirrkernik genutzt, konnte der sogenannte Druckguß hier mit Erfolg auch für technische Keramik eingesetzt werden. Im traditionellen Schlickerguß werden die pulverförmigen Rohstoffe in Form einer stabilen, wäßrigen Suspension, dem Schlicker verarbeitet. Er wird in saugfähige Gipsformen gegossen, die

einen Teil des Wassers aufnehmen. Dabei bildet sich an der Formwandung eine verfestigte Schicht. Der sogenannte Scherben kann nach einer gewissen Trocknungszeit als Formkörper entnommen werden. Beim Druckguß beruht die Entwässerung nicht auf der Saugfähigkeit des Formenmaterials. Vielmehr wird der Schlicker mit bis zu 35 bar in eine nichtsaugende poröse Kunststoffform gepumpt und bildet nach dem Prinzip einer Druckfiltration den Formkörper. Nach dem Ausformen ist die Form ohne Rücktrocknung sofort wieder einsatzbereit. Gegenüber der traditionellen, drucklosen Gießformgebung mit Gipsformen ergeben sich folgende Vorteile:

- kein Gipsformlagerraum
- keine Formenrücktrocknung
- aufgrund stärkerer Entwässerung größere Stabilität des Formkörpers und geringere Trockenzeiten
- Dichterer Scherben mit geringerer Schwindung, höherer Maßhaltigkeit und Festigkeit
- leicht zu entfernende Formnähte
- geringere körperliche Belastung des Fertigungspersonals

#### Zusammenfassung

Am Beispiel SISIC läßt sich darstellen, daß Ingenieurkeramik kein „exotisches“ sondern ein serien- und systemfähiges Material ist. Insbesondere im thermischen Anlagenbau werden durch Einsatz dieses Werkstoffes Konstruktionen möglich, die über eine wesentlich bessere Energieausnutzung und Lebensdauer eine erhebliche Steigerung der Wirtschaftlichkeit ermöglichen und darüber hinaus zu einer geringeren Umweltbelastung führen.

#### Quellen:

/1/ Telger, K.; Roth, W.: Betriebserfahrung beim Einsatz von Brennern mit flammloser Oxidation, Gaswärme Internat. 44 (1995) [7-8], 332 - 337

/2/ Keller GmbH, Postfach 20 64, D-49470 Ibbenbüren-Laggenbeck; Ein-Lagen-Schrägbesatz - neue Wege in der Brenntechnologie; Keramische Zeitschrift 9.1998, 740 - 741

## **Oxid- und Nichtoxidkeramische Brennhilfsmittel und Rollensysteme**

Dr.-Ing. Andreas Sonntag

W. Haldenwanger

Technische Keramik GmbH & Co. KG

Berlin

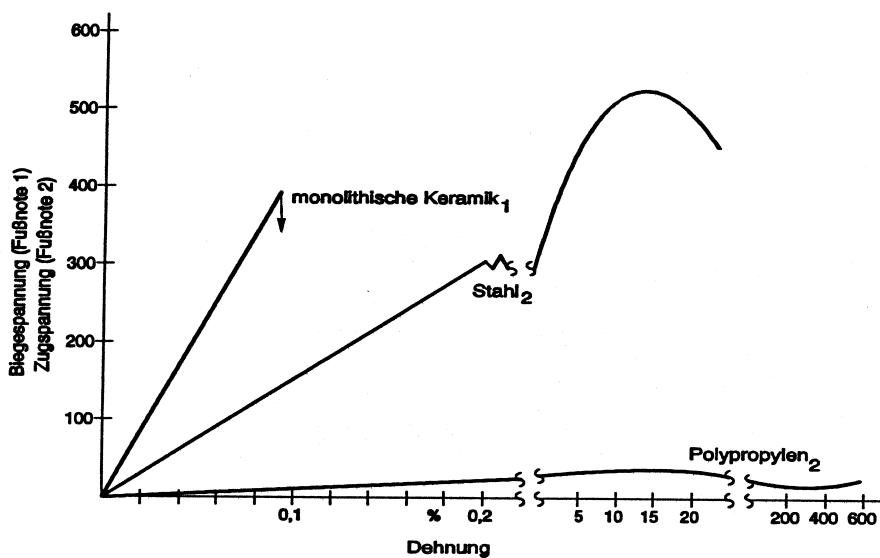
Die physikalisch-chemischen Gesetzmäßigkeiten keramischer Werkstoffsysteme erlauben es, Materialien herzustellen, die auch bei extrem hohen Prozeßtemperaturen (z.B. 1700°C) dauerhaft einsatzfähig sind, und ihre Eigenschaften nahezu unverändert erhalten bleiben. Es handelt sich also um chemisch höchst stabile Zusammensetzungen, deren Basis oxidische Werkstoffsysteme (Oxidkeramik) sowie karbidische und nitridische Systeme (Nichtoxidkeramik) sind. Diese Hochtemperaturstabilität der Keramiken kann jedoch nur unter Verwendung hochwertiger, synthetischer Rohstoffe höchster Reinheit verwirklicht werden, die nach entsprechender Aufbereitung, Formgebung und Brenntechnik zum Endprodukt führen. Die Bandbreite der unterschiedlichen Werkstoffsysteme wird vorgestellt, deren charakteristischen Merkmale erläutert und daraus hervorgehende prädestinierte Einsatzgebiete der individuellen Werkstofftypen vorgestellt. Es wird der aktuelle Stand der Technik im Einsatz von verschiedenen technischen Keramiken im Hochtemperatureinsatz dargestellt, und die damit unmittelbar verbundenen Innovationen insbesondere im Bereich der Hochtemperaturbrenntechnik illustriert. Typische Einsatzgebiete sind hier Schutz- und Isolationsrohre für die Hochtemperaturmeßtechnik, keramische Tragrollen für Schnellbrandtechniken, Flachglasterperung und Metallhärtung, oder auch Brennhilfsmittelaufbauten mit hochbelastbaren Tragbalken zur Isolatorenherstellung. Erst durch den Einsatz moderner Brennhilfsmittel konnten in den letzten Jahren enorme Fortschritte in der Automatisierung keramischer Brennbetriebe zur Porzellan- oder auch Ziegelherstellung realisiert werden. Diese Brennhilfsmittel auf SIC-Basis zeichnen sich durch eine hohe Formstabilität, Belastbarkeit und damit auch Zuverlässigkeit aus und können in Form relativ leichter Brenngestellaufbauten in einen automatisierten Brennbetrieb integriert werden.

# Technische Keramiken im Anwendungsbereich der Hochtemperaturtechnik

Dr. A. Sonntag

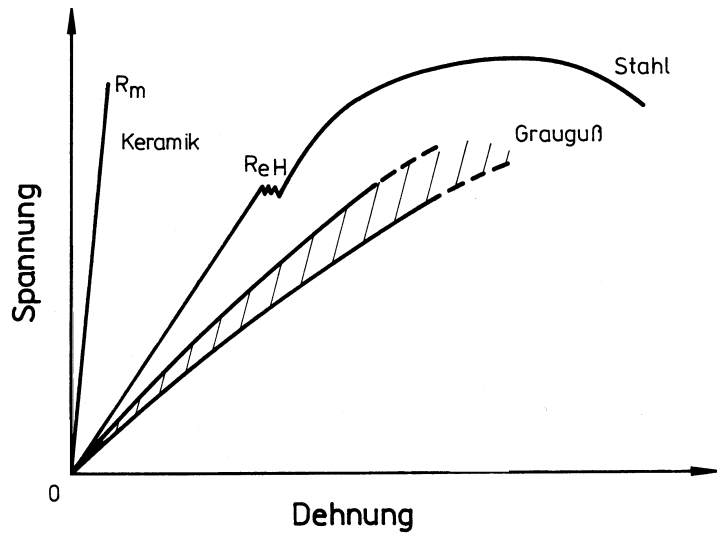
Folie 1

## Spannungs-Dehnungsdiagramm Vergleich Keramik - Metall - Kunststoff



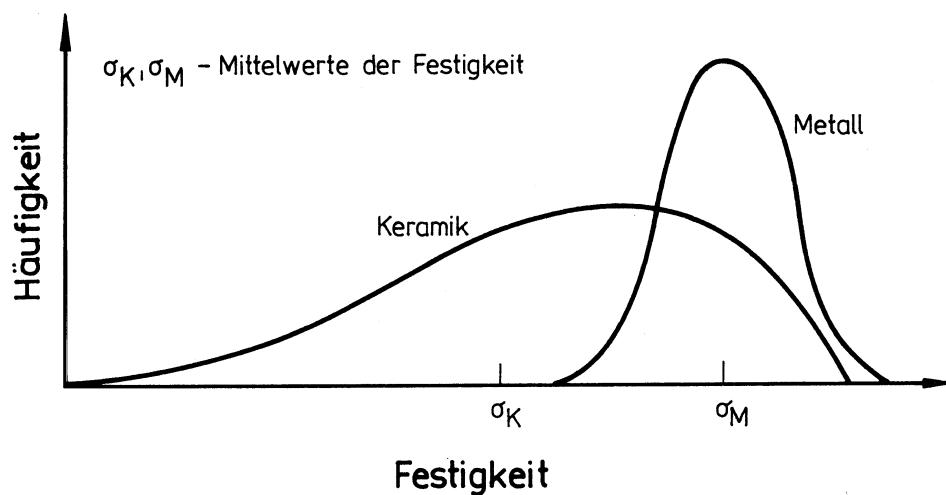
Folie 2

# Spannungs-Dehnungsdiagramm Vergleich Keramik - Metall



Folie 3

# statistisches Festigkeitsverhalten Vergleich Keramik - Metall



Folie 4



# Technische Keramiken in der Hochtemperaturtechnik

- charakteristische Eigenschaften

□

- Vergleich der Werkstofftypen

□

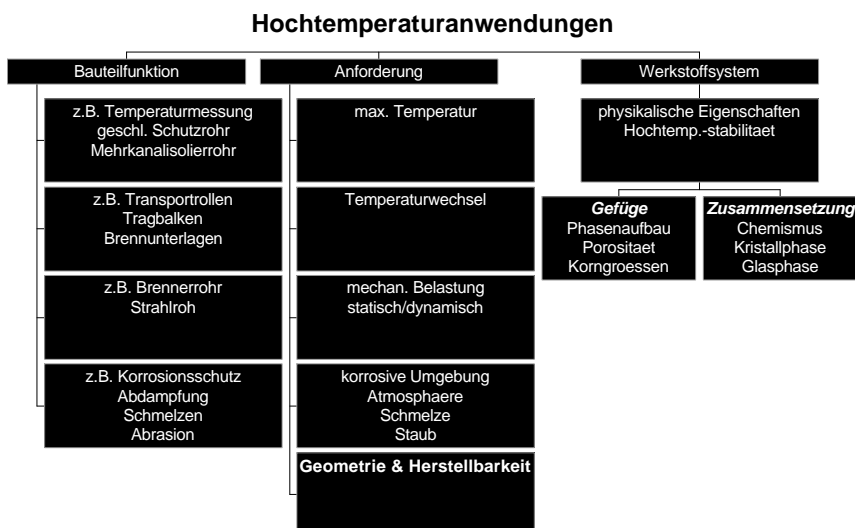
→ prädestinierte Anwendungen für Hochtemperaturtechnik

⇒

→ *Stand der Technik - Einsatzbeispiele*

Folie 5

# Technische Keramiken in Hochtemperaturanwendungen



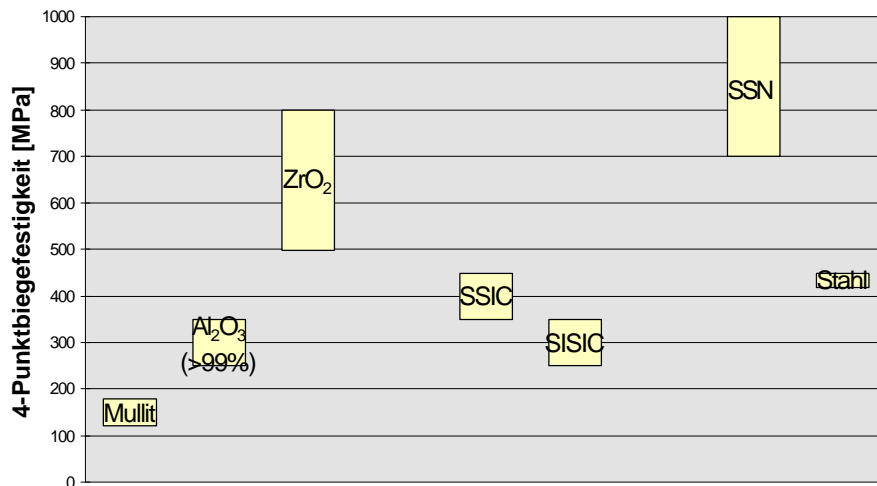
Folie 6

# Technische Keramiken in Hochtemperaturanwendungen

- Bauteilfunktion
- Anforderungen
- Werkstoffsystem

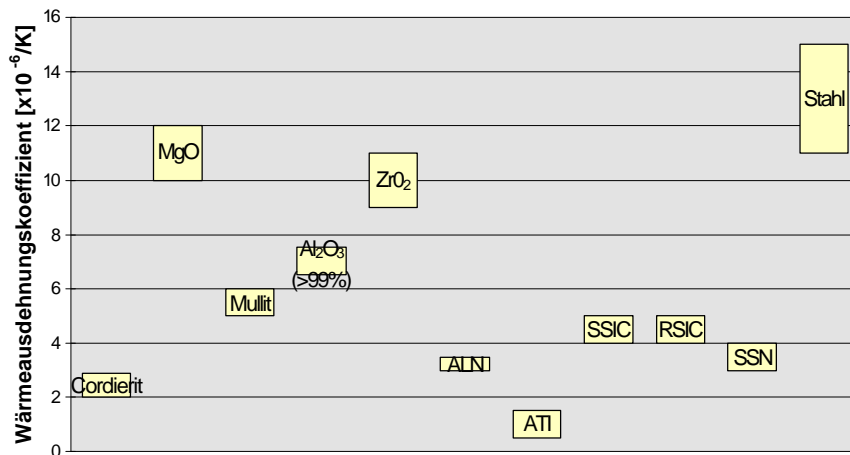
Folie 7

## Technische Keramiken: Festigkeiten im Vergleich



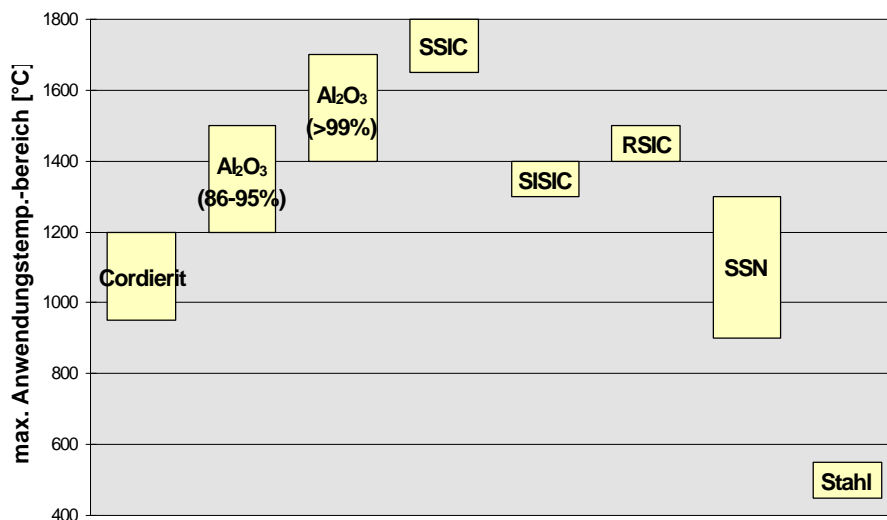
Folie 8

## Technische Keramiken: Wärmeausdehnung im Vergleich



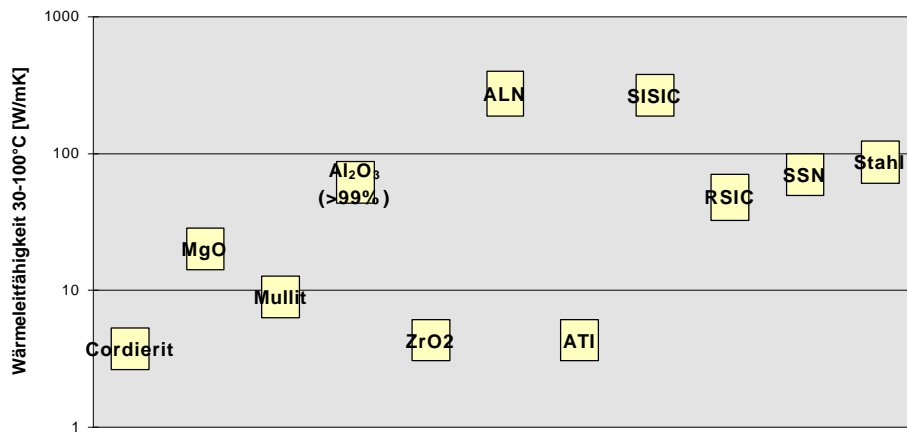
Folie 9

## Technische Keramiken: max. Anwendungstemperaturen im Vergleich



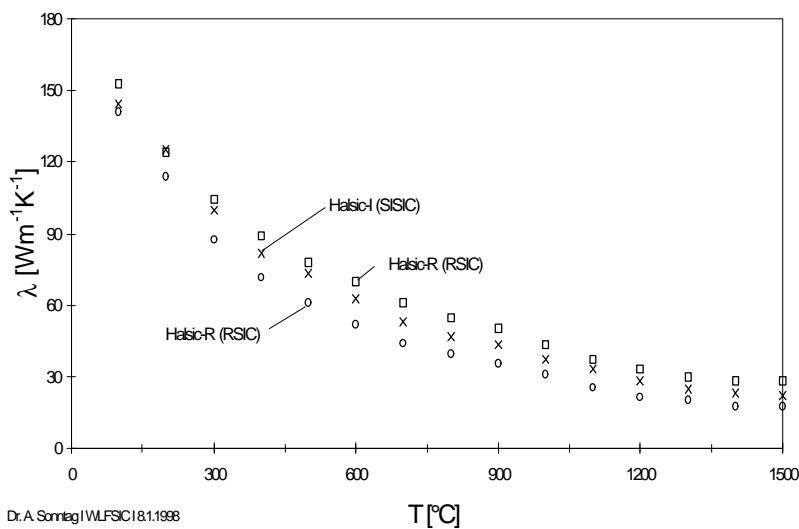
Folie 10

# Technische Keramiken: Wärmeleitfähigkeiten im Vergleich



Folie 11

## thermal conductivity versus temperature determined by laserflash



Folie 12

Beispiel:  
**Hochtemperaturmessung**

**Bauteilfunktion:**

- Isolierrohr
  - » elektrische Isolation  
Thermoelementdraht bis  
zu 1.800°C
- geschl. Schutzrohr
  - » mechanischer Schutz  
bis zu 1.800°C
  - » korrosiver Schutz  
bis zu 1.800°C

**Anforderung:**

- Hochtemperaturstabilität
  - Formbeständigkeit
- Korrosionsstabilität
- elektrische Isolation
- Formgebung
  - » Strangpressen
  - » Mehrkanalstäbe
    - Durchführkanaldurch-  
messer ab 0,25mm
  - » enge Toleranzen

Folie 13

Beispiel:  
**Hochtemperaturmessung**

**→ Werkstoffsysteme:**

- » Isolierstäbe:
  - $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  Typ 610 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 60%, Alkali 3%)  
bis max. 1.500° nach DIN 43725
  - $\text{Al}_2\text{O}_3$  99,7 Typ 799  
auch für T>1.500°C
- » Schutzrohre:
  - $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  div Systeme, offenporös & dicht
  - $\text{Al}_2\text{O}_3$  99,7
  - SIC (RSIC, SISIC, silikatisch gebundenes SIC)
  - $\text{ZrO}_2$  (MgO PSZ, CaO FSZ)

Folie 14

## Beispiel: Transportrollen: Wärmebehandlung von Flachglas

### Bauteilfunktion:

- Transport von Flachglas
  - » Ofenanlagen zur thermischen Härtung (Panzerglas)
  - » zur Vorwärmung für anschl. Verformung (z.B. Biegen von Autoscheiben)
  - » zum Tempern

### Anforderung:

- chem. Kompatibilität
  - » keine Verfärbung im Glas durch Kontakt zur Transportrolle bei ca. 700°C (+/-)
- hohe TWB
- Geometrie:
  - » Länge bis 3.100 mm
  - »  $D_a$ : bis 100mm
- Oberflächengüte / Geradheit:
  - »  $R_a$  ca. 2 $\mu$ m, TIR < 0,2mm

Folie 15

## Beispiel: Transportrollen: Wärmebehandlung von Flachglas

### → Werkstoffsystem:

- » amorphes  $\text{SiO}_2$  (sog. "Quarzgut")

|                                |  |                         |
|--------------------------------|--|-------------------------|
| $\text{SiO}_{2,\text{amorph}}$ | 99,6   | %                       |
| Rohdichte                      | 1,92-2,00  | $\text{g/cm}^3$         |
| Biegefestigkeit<br>4-Punkt     | 20°C: 30-40<br>700°C: 45-60                                      | MPa                     |
| E-Modul                        | 40 - 45  | GPa                     |
| WAK $_{RT-1000^\circ\text{C}}$ | 0,5 - 0,7  | $10^{-6} \text{K}^{-1}$ |
| Porosität                      | 12 - 16  | vol.%                   |
| $R_a$                          | ~2   | $\mu\text{m}$           |
| TIR                            | 0,2  | mm                      |
| max. Abmessungen               | $D_a$ : 1000 L: 2800<br>$D_a$ : 85 L: 3100<br>$D_a$ : 20 L: 1300 | mm                      |

Folie 16

Beispiel:  
Transportrollen in Rollenöfen

**Bauteilfunktion**

- Transport von z.B.
- Wand- & Bodenfliesen
  - » gleichmässige Bewegung von gesetztem Fliesenteppich
- Sanitärware
  - » sehr hohe Belastungen
- Oxidkeramik
  - » sehr hohe Temperaturen bis 1600°C
- Hartporzellan

**Anforderungen**

- Hochtemperaturstabilität
  - » Formstabilität unter dyn. Belastung
- Korrosionsbeständigkeit
  - » Glasurabdampfungen, Rauchgase
- hohe TWB
  - » Rollenwechsel im Betrieb
- Geometrie:
  - » Länge: bis 4.000mm
  - » hohe Geradheit
  - TIR < 2 bzw. 4mm

Folie 17

Beispiel:  
Transportrollen in Rollenöfen

**Werkstoffsysteme:**

- z.B. Fliesen:
  - »  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{SiO}_2$  div. Systeme, überwiegend offenporös (TWP)
  - » Phasenbestandteile:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Mullit, Restglasphasen
- z.B. Sanitärkeramik
  - » SISIC: extrem hohe mechanische Belastbarkeit, einsetzbar bis 1.650°C<sub>(ox)</sub>, begrenzte Lebensdauer durch Oxidation
  - neu: Korund-Mullit Rolle mit T<sub>max</sub> bis 1550°C**
  - » **neu: Halsic-RX:** mehrfach erhöhte Lebensdauer i. Vgl. zu RSIC

Folie 18

Beispiel:  
Wagenaufbauten für Tunnelschnellbrandöfen

**Bauteilfunktion**

- Porzellanschnellbrand
  - » z.B. Brenngestell für Porzellanschnellbrand (1.400-1.420°C)
    - Balken, Leisten, Stützen
  - » Brennunterlagen für Brenngut
    - Platten, Ringe etc.

**Anforderung:**

- Hochtemperaturstabilität
  - » Formstabilität unter statischer Belastung
  - » Be- u. Entladung durch Automaten
- Korrosionsbeständigkeit
  - » Glasurabdampfungen, Rauchgase etc.
  - » keine Glasuranklebung an Brennunterlagen
- hohe TWB
  - » z.B. kalt-kalt: 4h

Folie 19

Beispiel:  
Wagenaufbauten für Tunnelschnellbrandöfen

**Werkstoffsysteme:**

Balken und Stützen:

- RSIC oder NSIC und neu: Halsic-RX
  - » extrem gute TWB,
  - » absolute Formstabilität bei sehr hoher Belastbarkeit und
  - » hohe Oxidationsbeständigkeit

Brennunterlagen:

- RSIC, Halsic-RX
  - » weitere positive Eigenschaft: beständige Haftung der **Engobierung** zur Vermeidung von Glasuranklebung

Folie 20



Beispiel:  
**Brenngut mit hohem Eigengewicht**

**Bauteilfunktion:**

- sehr hohe Traglasten, z.B.
  - » Brenngestellaufbau für Sanitärwaren (ca. 1.220°C)
  - » Tragbalken für Langstabisolatoren (ca. 1.320°C)
- große Bauteilabmessungen
  - » z.B. 50x50x3000mm  
60x80x2300mm etc.

**Anforderung:**

- Hochtemperaturstabilität
  - » sehr hohe und konst. Bauteilfestigkeit
  - » absolute Formstabilität unter statischer Belastung
  - » geringe elastische Durchbiegung
- Korrosionsbeständigkeit
  - » Glasurabdampfungen, Rauschgase etc.
- hohe TWB

Folie 21

Beispiel:  
**Brenngut mit hohem Eigengewicht**

**Werkstoffsystem**

**Balken und Stützen:**

- SISIC:
  - » extrem hohe, konst. Bauteilfestigkeit
  - » Herstellbarkeit von großen Bauteilgeometrien
  - » absolute Formstabilität bei sehr hoher Belastbarkeit
  - » hohe Oxidationsbeständigkeit
  - » hohe TWB
  - » hohe Korrosionsbeständigkeit

Folie 22

Beispiel:  
Wärmebehandlung von Metallen in Rollenöfen

**Bauteilfunktion:**

- Transportrollen in Wärmebehandlungsöfen für Metallbauteile (Härten, etc.)
  - » Transportgut: Bleche, Ronden, Schmiedeblocke u.a.
- Direktkontakt Metall-Keramik
  - »  $T_{\max}$ : ca. 1.200-1.300°C
  - » stark reduzierende Atm.
  - » z.T. sehr hohe Last

**Anforderung:**

- Korrosionsbeständigkeit gegenüber typ. Stahlegierungen (Fe, Ni, Cr usw.)
- hohe Tragfähigkeit unter korrosiven Bedingungen
- hohe TWB

Folie 23

Beispiel:  
Wärmebehandlung von Metallen in Rollenöfen

**Werkstoffsysteme:**

sehr hohe Traglasten:

bis ca. 1.000°C: RSIC

1.000 - 1.200°C: plasmabeschichtetes RSIC

mittlere Traglasten:

bis ca. 1.000°C: hochwertige Standardrollen auf  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{SiO}_2$ -Basis

1.000 - 1.200°C: dito, aber erhöhter Verschleiß durch Korrosion

Folie 24