

### 3.2 SIC in der Industrie

- André Hiemann  
Schunk Ingenieurkeramik GmbH  
Willich - Münchheide

*Die Folien finden Sie ab Seite 231.*

### Technische Keramik bei Temperaturen > 1.200°C

#### - Energie-Spar-Potential -

Viele Erzeugnisse des täglichen Bedarfs wie z.B. Porzellanteller und -tassen oder Sanitärkeramik in unterschiedlicher Form, Farbe und Anwendung sind vielen Menschen in weiten Teilen der Erde vertraut. Sie sind aus dem täglichen Gebrauch nicht mehr wegzudenken (Bild 1).



**Bild 1:** Porzellanservice

Die einzelnen Herstellungsschritte derartiger Artikel sind im Grundprinzip seit vielen Jahrzehnten gleich. Entsprechend des technischen Fortschritts wurden und werden die Herstellungstechnologien im Laufe der Zeit immer weiter verfeinert und rationalisiert.

Eines bleibt jedoch erhalten.

Als keramische Erzeugnisse müssen alle diese Artikel im Laufe des Fertigungsprozesses mindestens einen Hochtemperaturbrand zwischen  $1.200^{\circ}\text{C}$  –  $1.400^{\circ}\text{C}$  durchlaufen.

Während dieses Hochtemperaturbrandes werden die eigentlichen Materialeigenschaften geschaffen. Die dazu benötigten Öfen haben sich im Laufe der Zeit sehr stark verändert.

Im Folgenden soll am Beispiel der Porzellanindustrie auf Weiterentwicklungen in der Brenntechnologie eingegangen werden, die zu erheblichen Energieeinsparungen geführt haben. Diese Energieeinsparungen sind sowohl auf verbesserte Isoliermaterialien in den Ofenanlagen selbst und auf modernste Brenntechnik incl. Steuerung (mit Erdgas beheizte Brenner aus technische Keramik) als auch in nicht unerheblichem Maße auf die Weiterentwicklung der technischen Keramik als Brennhilfsmittel (BHM) zurückzuführen.

Bei der Großserienproduktion von Porzellanartikeln werden vorrangig Tunnelöfen verwendet. Dabei handelt es sich um 60 - 100m lange Öfen, durch die kontinuierlich die Wagen mit dem darauf befindlichen Brenngut geschoben werden.

Der in Bild 2 dargestellte Tunnelofen entspricht ungefähr dem Stand der Technik des Jahres 1980.



**Bild 2:** Tunnelofen, herkömmliche Ausführung

Die zu brennenden Waren, z.B. Teller, stehen dabei in sogenannten Brennkapseln (Bild 3). Diese BHM dienen der Stapelfähigkeit der Artikel und schützen gleichzeitig vor Verunreinigungen durch die Ofenatmosphäre.

Diese Variante des tongebundenen SiC dient in diesen Ofenanlagen als Material für die BHM. Die Wandstärke liegt bedingt durch eine geringe mechanische Festigkeit des tongebundenen SiC bei etwa 20-25mm.

Um die darin befindliche Ware auf 1.400°C zu erhitzen muss die gesamte „tote“ Masse der BHM bei jedem Durchlauf mit aufgeheizt und wieder abgekühlt werden. Die Masse der BHM ist dabei um ein vielfaches höher als die Masse an zu brennender Ware.



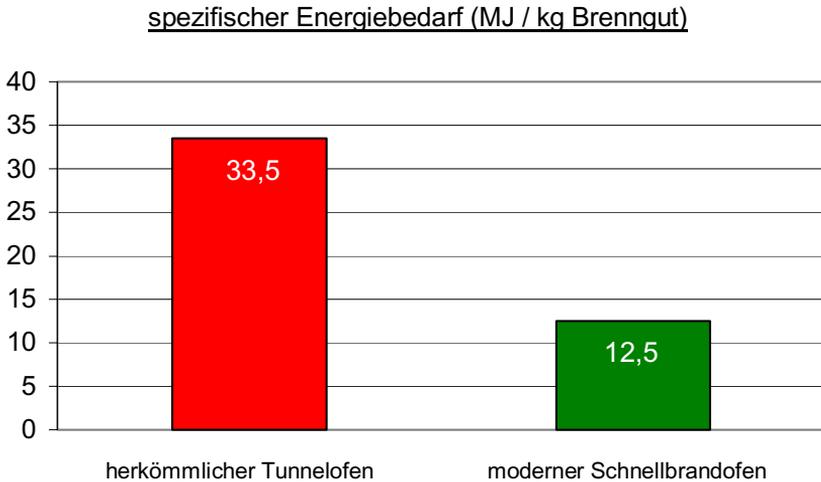
**Bild 3:** Brennhilfsmittel aus tongebundenem SiC für Teller

Aufgrund der Dickwandigkeit und in Hinblick auf eine möglichst lange Lebensdauer dieser BHM ist die Aufheiz- und Abkühlgeschwindigkeit bei der Ofendurchfahrt begrenzt.

Die Durchlaufzeit bei diesen Öfen ist dadurch sehr lang und beträgt zwischen 20 h und 30 h. Schnellere Ofenfahrten würden zum vorzeitigen Bruch der BHM aufgrund ihrer relativ schlechten Temperaturwechselbeständigkeit führen.

Bedingt durch die Dickwandigkeit der BHM ist der spezifische Energiebedarf pro kg Ware (z.B. Teller) mit ca. 33,5 MJ/kg Ware entsprechend sehr hoch.

Nimmt man zum Vergleich den spezifischen Energiebedarf moderner Ofenanlagen, so sind dort gerade noch 12,5 MJ/kg Brenngut notwendig (Bild 4).



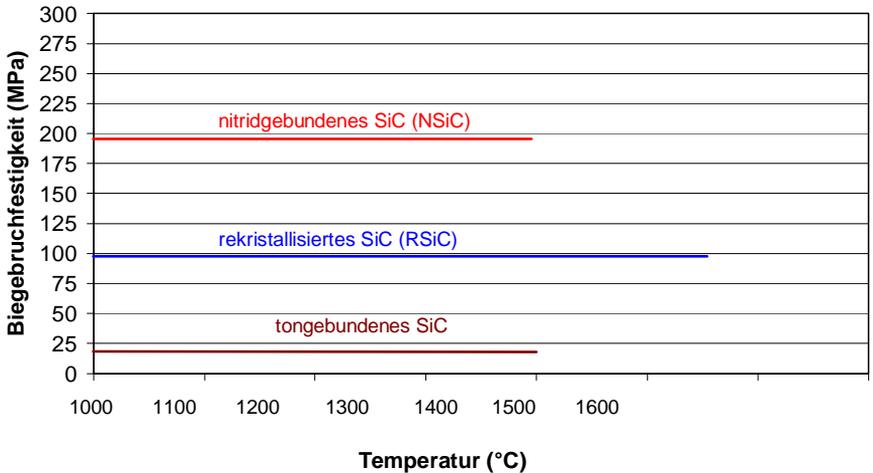
**Bild 4:** Spezifischer Energiebedarf pro kg Brenngut

Leider muss gesagt werden, dass diese energieintensiven Öfen aufgrund ihrer langen Lebensdauer und entsprechender Investitionskosten in neue Öfen auch heute z.T. noch im Einsatz sind!

Höhere Energiepreise sowie gestiegene Anforderungen an den Umweltschutz und damit höhere Fertigungskosten haben dazu geführt, dass in den letzten Jahren erhebliche Anstrengungen unternommen wurden, um den spezifischen Energieverbrauch der Öfen zu minimieren. Neue Leichtbaumaterialien in der Ofen- und Wagenisolierung und verbesserte Ausnutzung der Energie im Erdgas selbst tragen dank der geleisteten Entwicklungsarbeit der Ofenbauunternehmen zur Energieeinsparung bei.

Natürlich hat auch die Weiterentwicklung auf dem Gebiet der technischen Keramik entscheidend dazu beigetragen, dass Energie in erheblichem Umfang eingespart werden kann.

Durch die Entwicklung von BHM-Materialien mit hoher Biegebruchfestigkeit (Bild 5) ist es möglich die Wandstärken der BHM erheblich zu reduzieren. Durch geringere Wandstärken der BHM wird weniger „tote“ Masse aufgeheizt und abgekühlt und damit Energie eingespart.



**Bild 5:** Festigkeitsvergleich von BHM-Materialien für  $T > 1.400^{\circ}\text{C}$

Die Gesamtheit der Neu- und Weiterentwicklungen in der Ofentechnologie haben dazu geführt, dass nicht nur Energie eingespart, sondern die Durchlaufzeit der Ware von mehr als 20 h auf 5-8 h drastisch reduziert werden kann.

Man spricht jetzt von sogenannten Schnellbrandöfen.

Die Öfen der neuen Generation zeichnen sich dadurch aus, daß das Verhältnis kg Brenngut / kg BHM auf unter 1 / 2 gesunken ist. Bei herkömmlichen Tunnelöfen ist das Verhältnis ca. 1 / 8. Eine Gegenüberstellung der dafür verantwortlichen Eigenschaften der BHM-Materialien soll das verdeutlichen (Bild 6).

## Hochtemperaturtechnik

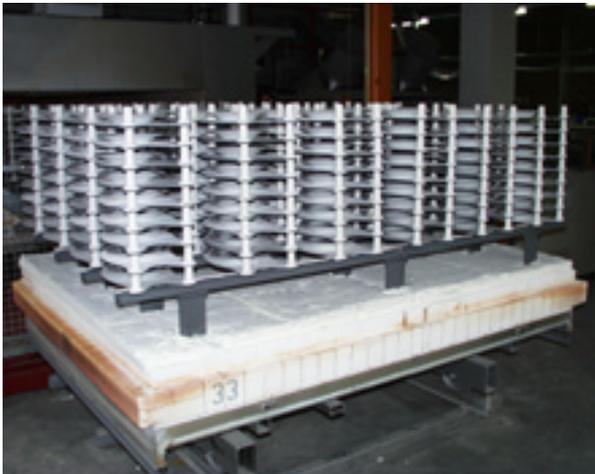
	tongebundenes SiC	RSiC	NSiC
spez. Masse (g/cm <sup>3</sup> )	2,6	2,6	2,8
Biegebruchfestigkeit (MPa)	15	90	190
Wandstärke (mm)	20	7	6
durchschn. Gesamtmasse (g)	4000	1670	1390
Lebensdauer (Zyklen)	150	1000	2000
Ebenheit über die Lebensdauer	--	+	++
Temperaturwechselbeständigkt.	--	++	++

**Bild 6:** Gegenüberstellung von BHM Materialien für Temperaturen über 1.400°C

Mit den neuen BHM-Materialien hat sich auch der gesamte Wagenaufbau (Bild 7) verändert. Das Brenngut steht nun nicht mehr gekapselt übereinander sondern frei auf Brennplatten, die durch Abstandshalter individuell positionierbar sind.

Die Wärme wird nun direkt an das Brenngut herangeführt.

Gleichzeitig führt ein derartiger Aufbau dazu, dass die gesamte Fertigungslinie automatisiert werden kann. In modernsten Anlagen, wie in Bild 7 dargestellt, wird die Ware eines kompletten Wagens vollautomatisch innerhalb weniger Sekunden gewechselt.



**Bild 7:** Schnellbrandofen, neue Generation

Die Anstrengungen der Keramikhersteller waren in den letzten Jahren darauf gerichtet die Wandstärke dieser Platten (Bild 8) immer weiter zu minimieren. Man stößt dabei z.Zt. an Fertigungsgrenzen, da während der Herstellung mit dünner werdender Wandstärke die Stabilität der Platten abnimmt und das Handlingproblem zunimmt.

Das Erzielen einer optimalen Ebenheit als oberstem Qualitätskriterium ist problematisch. Da sich das Brenngut beim Brennen seiner Unterlage (dem BHM) anpasst, wird automatisch jede Unebenheit der BHM auf die Ware übertragen.

Das Ergebnis von Unebenheiten an BHM sind z.B. „kippelnde“ Teller.



**Bild 8:** Brennplatte aus NSIC

### **Energieeinsparung am konkreten Beispiel**

Im Folgenden soll nicht auf die enormen Energieeinsparungen eingegangen werden, die durch die Substitution der 25 mm starken BHM durch moderne BHM möglich sind, sondern darauf, in welcher Größenordnung weitere Energieeinsparungen realisiert werden, wenn die Wandstärke der modernen BHM um nur 1mm reduziert werden kann

Die übliche Wandstärke für ein BHM wie in Bild 8 lag im Jahr 1998 bei 7mm. Eine solche Platte hatte eine Masse von durchschnittlich 1.670g.

Seit 2000 ist es möglich diese Platte unter Beibehaltung aller Qualitätskriterien mit einer Wandstärke von 6mm herzustellen. Die Masse dieser

Platte beträgt nun im Durchschnitt 1.390g. Das entspricht einer Masse-reduzierung von 280 g/Platte

Der in Bild 7 dargestellte Schnellbrandofen hat eine Kapazität von rund 50 000 Tellern / Tag.

Das heißt, täglich fahren 50 000 Teller auf 50 000 Brennplatten durch den Ofen.

Durch die Wandstärkereduzierung von 1mm der Einzelplatte verringert sich die Gesamtmasse an BHM um ca.

### **14 Tonnen / Tag !!!**

Legt man die spezifische Wärmekapazität der BHM mit 1,1 kJ/kgK und die Brenntemperatur von 1.400°C zugrunde, so ergibt sich ein Delta für den spezifischen Energiebedarf der 14 Tonnen eingesparten BHM von 21 552 MJ / Tag.

Umgerechnet ergibt das ca. 6000 kWh / Tag.

Somit ermöglichen 280 g Massereduzierung pro BHM eine Einsparung an Erdgas (Heizwert des Erdgas gerundet auf 10 kWh/m<sup>3</sup>) von rund

### **600 m<sup>3</sup> / Tag !!!**

Das entspricht einer täglichen Menge an Erdgas, mit dem ein gut iso-liertes Einfamilienhaus mit etwa 140 m<sup>2</sup> Wohnfläche etwa 4 Monate lang mit Heizung und Warmwasser versorgt werden kann!

Die Porzellanindustrie ist nur ein Industriezweig in dem durch dünn-wandige und damit „leichte“ keramische Brennhilfsmittel Energie einge-spart werden kann. Ebenso sind die Bereiche der Isolatorenherstellung und die Sanitärkeramikherstellung zu nennen, in denen moderne BHM nicht mehr wegzudenken sind. Dort steht jedoch nicht die Energie-einsparung im Vordergrund sondern die Raumausnutzung im Ofen. Durch schlanke BHM-Profile kann die Besatzdichte im Ofen gesteigert werden.

Beim Isolatorenbrand hängen mehrere Isolatoren nebeneinander an keramischen Balken. Vor dem Brand stehen diese auf dem Wagen-boden auf. Durch die Verringerung des Volumens der Isolatoren beim Brennen bei über 1.200°C hängen sie schließlich frei an den BHM. Dadurch wird eine optimale Geradheit der Isolatoren realisiert.

Diese Isolatoren können bei über 2 m Länge beachtliche Massen von 200 - 400 kg / Isolator erreichen.

Diese Last muss von den BHM sicher aufgenommen werden. Ein Durchbrechen der BHM hätte einen Wageneinsturz mit beträchtlichem Schaden zur Folge. Es versteht sich von selbst, dass dort keramische BHM notwendig sind, die höchste mechanische Biegebruchfestigkeit bei Brenntemperatur aufweisen.

Ebenso spielen mechanisch hochbelastbare und möglichst raumsparende BHM in der Sanitärkeramik (Bild 9) eine große Rolle. Sie machen es möglich, dass die Sanitärkeramik in mehreren Etagen / Wagen durch den Ofen gefahren werden kann.



**Bild 9:** BHM aus SISIC zum Brennen von Sanitärkeramik

Für diese beiden Einsatzfälle (Isolatoren und Sanitär) liegt die Temperatur jeweils unterhalb von  $1.380^{\circ}\text{C}$ . Bis zu dieser Temperatur hat sich SISIC aufgrund seiner sehr hohen mechanischen Belastbarkeit hervorragend bewährt. Die Biegebruchfestigkeit liegt bei ca. 300 MPa und damit noch einmal rund 100 MPa höher als beim NSIC in der Porzellanindustrie.

Leider kann man dieses Material SISIC nicht bei Temperaturen über  $1.380^{\circ}\text{C}$  einsetzen, da dann das Silizium im Materialgefüge flüssig wird

und sich der Materailverbund ändert.

Bei Einsatztemperaturen oberhalb dieser Temperatur fällt die Festigkeit rapide ab, und es kommt darüber hinaus durch das Ausschmelzen des Siliziums zu Verunreinigungen in der Ofenatmosphäre.

### **Zusammenfassung:**

Im Vergleich zu herkömmlichen Tunnelöfen mit einem spezifischen Energieverbrauch von 33,5 MJ / kg Brenngut werden bei modernen Anlagen gerade noch 12,5 MJ / kg Brenngut benötigt.

Neben der Weiterentwicklung der Öfen auf dem Gebiet der Isolierung und der besseren Ausnutzung des Primärenergieträgers Erdgas kommt der Weiterentwicklung der benötigten Brennhilfsmittel (BHM) aufgrund ihrer großen Masse eine Schlüsselrolle für die Einsparung an Energie zu.

Diese BHM sind notwendig, um dem Brenngut auf dem Weg durch den Brennprozess als Unterlage zu dienen und es stapelfähig zu machen.

Moderne technische Keramik macht es neben einer beträchtlichen Steigerung der Lebensdauer möglich, die Wandstärken dieser BHM auf ein Minimum zu reduzieren und damit Energie und kostbaren Brennraum einzusparen.

Am Beispiel der Porzellanindustrie wird gezeigt, welche Auswirkungen die Verringerung der Wandstärken von Brennhilfsmitteln um 1mm auf den Energieverbrauch haben.

### **Literaturhinweis und Bildverzeichnis**

- Technologie der Feinkeramik, Deutscher Verlag für Grundstofftechnik Leipzig, 6.Auflage 1979
- Keramische Zeitschrift 8 / 2001, Verlag Schmid GmbH Freiburg
- Rosenthal AG
- Porzellanfabrik Bauscher Weiden
- JiPo Znojmo

Die verwendeten Vortragsfolien (Nr. 1 bis 16) finden sich auf den folgenden Seiten.

# Hochtemperaturtechnik

## SIC in der Industrie

André Hiemann  
Schunk Ingenieurkeramik GmbH  
Willich-Münchheide



**oder:**

**Technische Keramik bei  
Temperaturen über 1200°C**

**Energie-Spar-Potential**



## Übersicht

- Beispiel Porzellanindustrie  
Spezifischer Energieverbrauch herkömmlicher und moderner Ofenanlagen
- Ofenanlagen der bisherigen und der neuen Generation
- Erklärung und technische Anforderung an Keramische Brennhilfsmittel
- Energiebilanz moderner keramischer Brennhilfsmittel
- Weitere Einsatzbereiche

**Porzellan - praktisch und elegant**

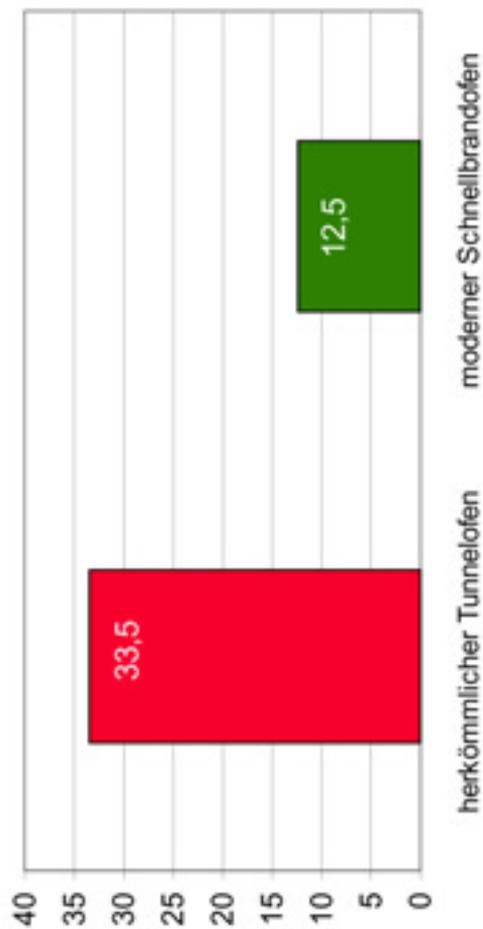


Folie 4

## Spezifischer Energiebedarf von Ofenanlagen



spezifischer Energiebedarf (MJ / kg Brenngut)



## Herkömmlicher Tunnelofen



- Ofenlänge 80-100 m
- Verhältnis Masse BHM / Brenngut ca. 8 / 1
- Durchlaufzeit >> 20 h

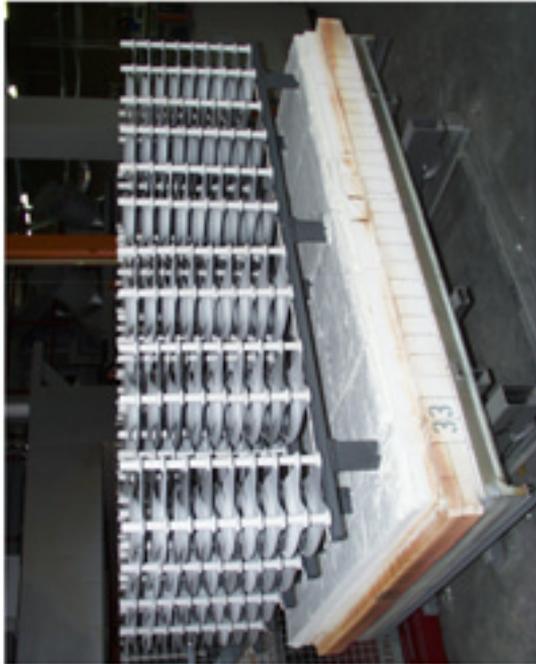
**Brennhilfsmittel aus tongebundenem SiC**



Wandstärke der  
BHM > 20mm

Masse der BHM  
ca. 4.000 g / St.

## Wagen eines modernen Schnellbrandofens



- Ofenlänge 60-80 m
- Verhältnis Masse BHM / Brenngut ca. 2 / 1
- Durchlaufzeit < 8 h

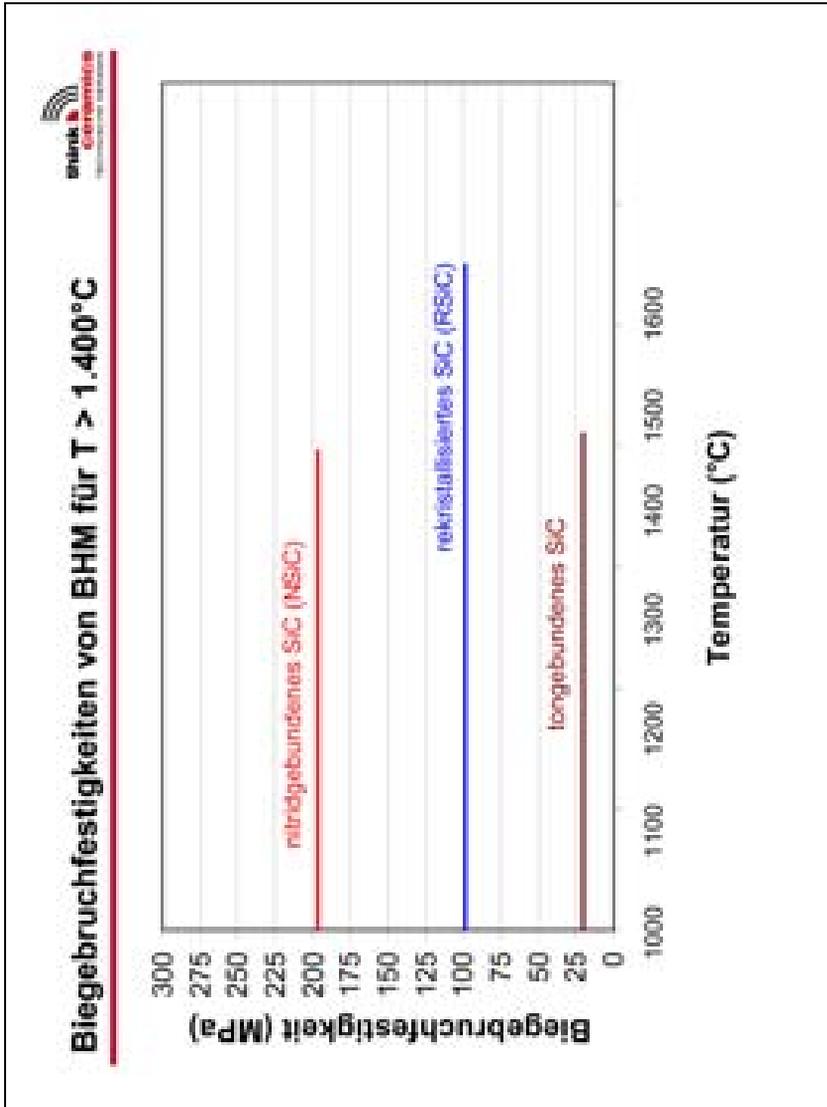
## Energiebilanz an BHM

Kapazität 50.000 Stück / Tag			
	Var. A	Var. B	Delta
Dicke der BHM (mm)	7	6	1
Masse / Stück (g)	1.670	1.390	280
Masse BHM / Tag (to)	83,5	69,5	14
			<b>= 583 kg/h</b>

$$\begin{aligned} \text{Energiebedarf BHM} &= 14.000 \text{ kg/Tag} * 1,1 \text{ kJ/kgK} * 1400\text{K} \\ &= 21.560 \text{ MJ/Tag} \end{aligned}$$

$$(1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ})$$

$$= \text{ca. } 6000 \text{ kWh/Tag}$$



Folie 10

## Eigenschaften von BHM für T > 1.400°C

### Anforderungen an BHM

- Hohe Lebensdauer
- geringe Masse
- gleichbleibend gute Ebenheit über die gesamte Lebensdauer

	tongebundenes SiC	RSiC	NSiC
spez. Masse (g/cm <sup>3</sup> )	2,6	2,6	2,8
Biegebruchfestigkeit (MPa)	15	90	190
Wandstärke (mm)	25	7	6
durchs. Gesamtmasse (g)	4.000	1.670	1.390
Lebensdauer (Zyklen)	150	1.000	2.000
Ebenheit über Lebensdauer	--	+	++

## Energiebilanz an BHM



Kapazität 50.000 Stück / Tag			
	Var. A	Var. B	Delta
Dicke der BHM (mm)	7	6	1
Masse / Stück (g)	1.670	1.390	280
Masse BHM / Tag (to)	83,5	69,5	14
			<b>= 583 kg/h</b>

Energiebedarf BHM =  $583 \text{ kg/h} * 1,1 \text{ kJ/kgK} * 1400\text{K}$

= ca. 898 MJ / h oder 21 552 MJ / Tag

(1 kWh = 3,6 MJ)

= ca. 6000 kWh / Tag



## Energieersparnis

280 Gramm höhere Masse / BHM verursachen einen Mehrbedarf an Erdgas von ca.

**600 m<sup>3</sup> / Tag**

(bei einem gerundeten Heizwert von ca. 10 kWh/m<sup>3</sup>)

Damit kann man ein gut isoliertes EFH mit etwa 130m<sup>2</sup> Wohnfläche ca. **4 Monate** incl. Warmwasser beheizen!