

## 6) Keramik: Wenn´s heiß wird

### A) Keramische Rekuperatorbrenner

- André Hiemann,  
Schunk Ingenieurkeramik GmbH,  
Willich

*Die Folien finden Sie ab Seite 219.*

Bei Rekuperatorbrennern (auch Rekubrenner genannt **Bild 1**) handelt es sich um komplexe Hochleistungs-Brennersysteme mit einer Leistung von ca. 8 – 160 kW, bei denen die Prozeßwärme der Abgase unmittelbar am Brenner an die zugeführte Verbrennungsluft übertragen wird.

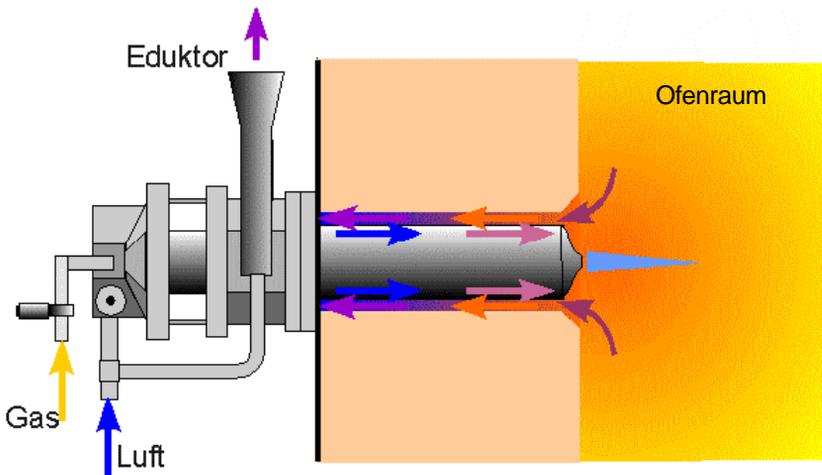


Bild 1: Prinzip eines Rekuperatorbrenners (1)

Das geschieht nach dem Wärmetauscherprinzip (**Bild 2**), indem die zurückströmenden Abgase direkt am Brenner über die Aussenwand des Frischluft führenden Zuleitungsrohrs (des Rekuperators) geleitet werden. Dort wird ein großer Teil der Abgaswärme an die zugeführte Verbrennungsluft abgegeben.

Für einen optimalen Wärmeübergang ist die Oberfläche dieses Rekuperators durch Wellen, Rippen, Zacken oder Noppen vergrößert.

Je nach Art der Oberflächenvergrößerung kann eine relative Luftvorwärmung bis zu 0,8 erreicht werden. Vereinfacht dargestellt ist es das Verhältnis der Temperatur der vorgewärmten Verbrennungsluft zur Temperatur im Prozeß. Je höher, desto besser.

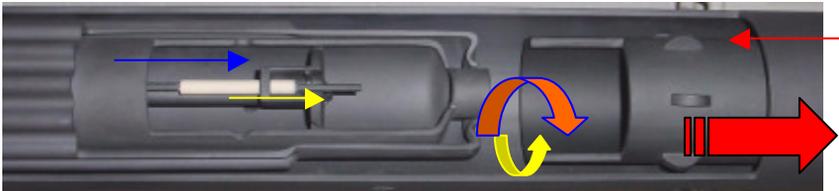


Bild 2: Funktionsprinzip eines Rekubrenners in einem Mantelrohr (2)

Der Vorteil dieses Prinzips gegenüber einem Brenner ohne Wärmerückgewinnung besteht darin, daß

1. der Wirkungsgrad der Brenner durch vorgeheizte Frischluft gesteigert wird (**Bild 3**) und

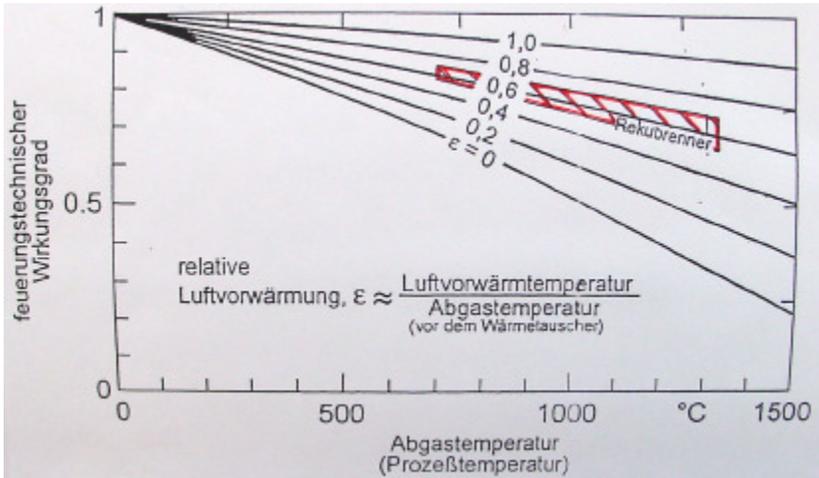


Bild 3: Wirkungsgrad in Abhängigkeit der rel. Luftvorwärmung und der Prozeßtemperatur (3)

2. durch den höheren Wirkungsgrad in erheblichem Maße Brennstoff eingespart wird. Je höher die Verbrennungslufttemperatur und je kleiner der Unterschied von Verbrennungslufttemperatur zur Prozeßtemperatur, desto größer die Brennstoffersparnis. (**Bild 4**)

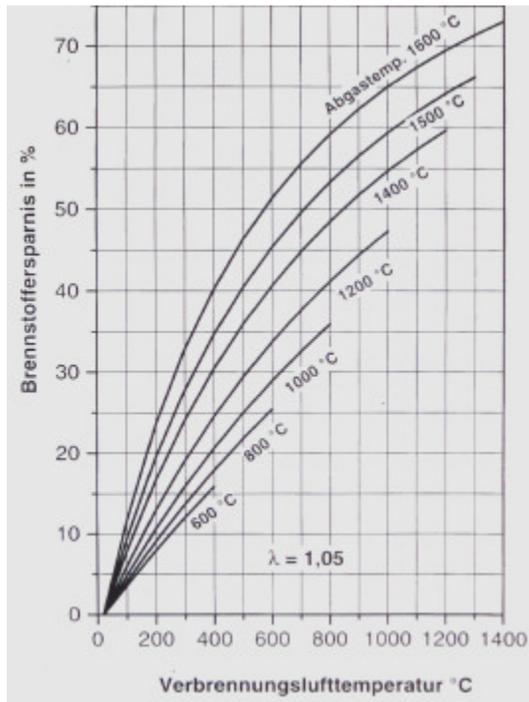


Bild 4:

Brennstoffersparnis in Abhängigkeit der Luftvorwärmung (3)

3. Die Abgase verlassen den Prozeß (durch die Wärmerückgewinnung im Ofen) „kühl“ und somit sind aufwendige Abgasführungsleitungen mit relativ teureren Materialien überflüssig.

Derartige Brennersysteme werden als direkte Brenner (**Bild 5**) oder als Brenner für indirekte Beheizung (**Bild 6**) eingesetzt.

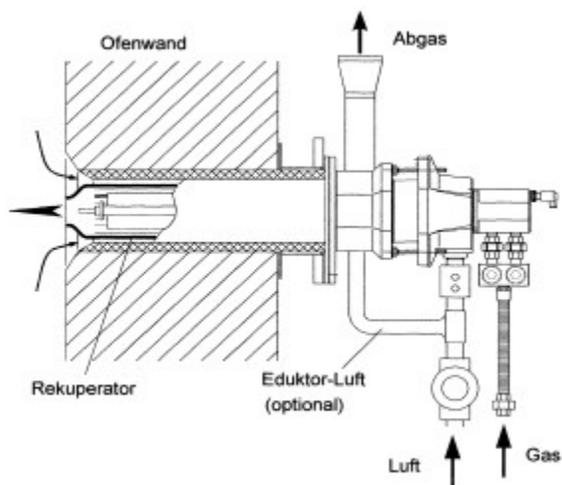


Bild 5: direkte Brenner (1)

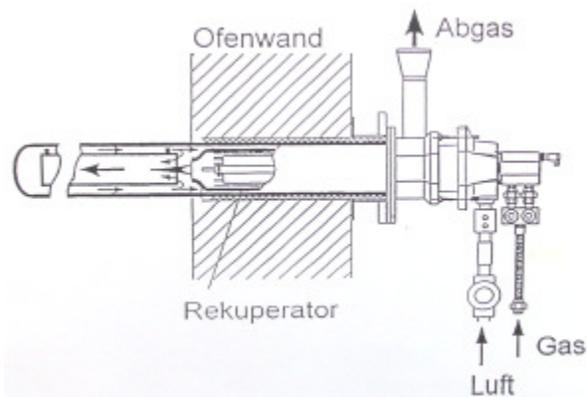


Bild 6: Brenner für indirekte Beheizung (1)

Direkte Beheizung wird überall dort angewendet, wo die Verbrennungsgase in den Ofenraum gelangen können (z.B. Porzellan- und Keramikindustrie, Schmiedeöfen, Ziegelindustrie usw.)

Von indirekter Beheizung spricht man, wenn der Brenner nicht direkt in den Ofenraum feuert sondern in ein einseitig geschlossenes Mantelrohr eingeführt wird.

Dieses Mantelrohr befindet sich im Ofenraum und trennt so die offene Flamme des Brenners vom Ofeninneren. Es wird von innen durch den Brenner aufgeheizt und gibt die Wärme über seine Aussenfläche in den Ofen ab. Der Verbrennungsimpuls sorgt dafür, daß die Verbrennungsgase im Rohr zirkulieren und so eine gleichmäßige Wärmeverteilung erzielt wird. Die indirekte Beheizung findet dort Anwendung, wo das thermisch zu behandelnde Gut nicht mit den Verbrennungsgasen in Berührung kommen darf und/oder der Wärmebehandlungsprozeß unter Schutzgas gefahren werden muß (z.B. Aufheizen von NE-Bädern, Emaillieröfen, Wärmebehandlungsanlagen für Spezialstähle und warmfeste Legierungen, Pulvermetallurgie und Hochtemperaturaufkohlung usw).

Die Einführung derartiger Brenner mit Wärmerückgewinnung wurde aufgrund von Energieeinsparungsgedanken vorangebracht.

Erste derartige Rekuhbrenner wurden aus wärmebeständigem Cr-Ni-Stahl hergestellt.

Der Nachteil besteht darin, daß diese Systeme nur bis zur Kriechgrenze des Stahls von ca. 1.100°C (**Bild 7**) eingesetzt werden können und zudem verzundern.

Bei längerem Betrieb nahe der Kriechtemperatur des Stahls ist ein Durchbiegen der Rohre nicht zu vermeiden. Das hat zur Folge, daß in räumlich engen Öfen der gesamte Prozeß gestört werden kann und diese Teile ausgewechselt oder gedreht werden müssen.

Bei der indirekten Beheizung beträgt die maximal mögliche Wärmestromdichte am Mantelrohr  $30 \text{ kW/m}^2$ , höher eingestellte Werte senken deutlich die Lebensdauer der metallischen Mantel- oder Strahlrohre.

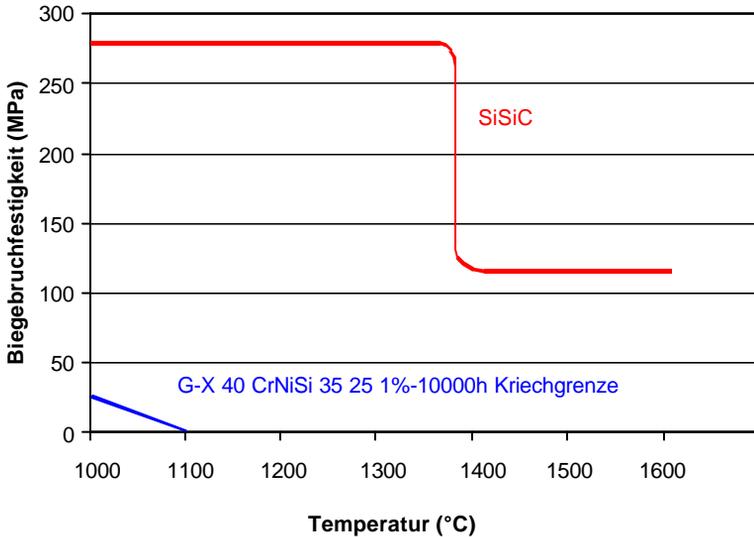


Bild 7: Hochtemperaturfestigkeitsvergleich (3)

Seit wenigen Jahren sind Rekubrenner für direkte und indirekte Beheizung Stand der Technik, die teilweise oder vollständig aus keramischen Materialien bestehen.

Diese Bauteile bestehen vorrangig aus SiSiC.

Dabei handelt es sich um einen zweiphasigen keramischen Werkstoff mit einem Anteil von ca. 88% SiC und 12% freiem Silizium.

### Dieser keramische Werkstoff zeichnet sich aus durch:

- gleichbleibende mechanische Festigkeit bis ca. 1380°C
- hervorragende Temperaturwechselbeständigkeit (notwendig bei Impulsbefeuern),
- hohe Wärmeleitfähigkeit von ca. 28 W/mK bei 1100°C (gegenüber Stahl mit ca. 14 W/mK)
- „Miniaturbau“ möglich, da die Wärmestromdichte bis ca. 45 kW/m<sup>2</sup> beträgt gegenüber Stahl von 30 kW/m<sup>2</sup>
- elektrisch leitfähig (notwendig zum Zünden und zur Flammenüberwachung)
- korrosionsbeständig gegenüber aggressiven Verbrennungsbestandteilen, kein Verzundern
- mit einer Dichte von ca. 3,1 g/cm<sup>3</sup> deutlich leichter als Stahl und somit geringere Masse des Gesamtsystems
- gasdicht
- keine Schwindung der Keramik beim Herstellungsprozeß

Dadurch ist es möglich, daß deutlich höhere Prozeßtemperaturen realisiert werden können, die Brennerbauteile aber keine Kriecherscheinungen und Verzunderungen aufweisen. Dadurch wird der Wartungsaufwand erheblich reduziert.

Die Standzeit wird verlängert und die Betriebssicherheit erhöht.

Aufgrund der enormen Temperaturgradienten innerhalb des Brenners infolge des Wärmetauscherprinzips kommt es dank der guten Temperaturwechselbeständigkeit und Wärmeleitfähigkeit zu keinen thermisch bedingten Spannungsschäden. **(Bild 8)**

Während die Temperatur am Reku in Höhe der Brennkammer rund 1200°C beträgt, werden in Höhe des Abgasstutzens unter 500°C gemessen.

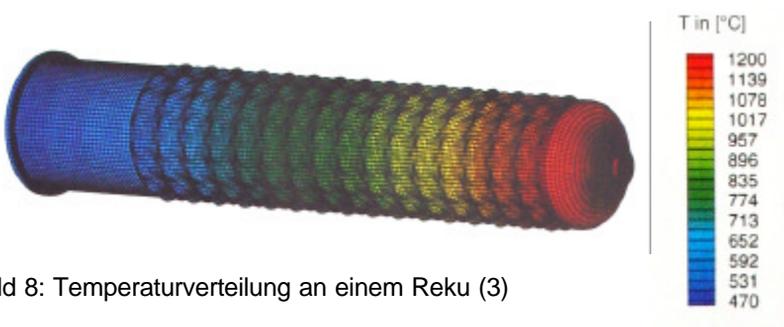


Bild 8: Temperaturverteilung an einem Reku (3)

Die höheren Prozeßtemperaturen tragen dazu bei, daß die Verbrennungsluft auf höhere Temperaturen vorgewärmt werden kann und dadurch Brennstoff eingespart wird.

Die höhere  $\text{NO}_x$ -Entwicklung bei höheren Verbrennungstemperaturen wird vermieden, indem eine mehrfache Verbrennung gewährleistet wird.

Inzwischen ist es produktionstechnisch möglich einseitig geschlossene Heizrohre (die größten Einzelbauteile im Brennersystem) bis zu einer Länge von 2400mm mit einem Durchmesser von ca. 200mm in Serie herzustellen.

Die Anbindung an einen metallischen Flansch erfolgt mittels Klemmverbindung, die über Federkräfte die unterschiedliche Wärmeausdehnung von Stahl und Keramik ausgleicht.

### Zusammenfassung:

Teil- oder/und vollkeramische Rekuperatorbrenner verdrängen in immer größerem Maß Rekuperatorbrenner aus Stahl, die nur bis zur Kriechgrenze des Stahls von max. 1100°C eingesetzt werden können.

Sie zeichnen sich gegenüber Rekuperatorbrennern aus Stahl in folgenden Punkten aus.

1. Durch die Hochtemperaturfestigkeit der Keramik kann die Prozeßtemperatur bis an die Festigkeitsgrenze von SiSiC (1380°C) gesteigert werden. Dadurch erhöht sich die Vorwärmung der Verbrennungsluft, der Wirkungsgrad wird erhöht und Brennstoff eingespart.

#### *Beispiel Keramikbrenner.:*

Bei einer Prozeßtemperatur von 1300°C kann eine Luftvorwärmung von 1000°C erreicht werden. Das ergibt eine relative Luftvorwärmung von 0,77.

Gegenüber einer Anlage ohne Wärmerückgewinnung liegt die Brennstoffersparnis bei ca. 50%.

#### *Beispiel Stahlbrenner.:*

Hier ist maximal nur eine Prozeßtemperatur von 1100°C möglich. Bei angenommen gleicher relativer Luftvorwärmung von 0,77 liegt die vorgewärmte Verbrennungsluft bei ca. 850°C.

Gegenüber einer Anlage ohne Wärmerückgewinnung liegt die Brennstoffersparnis bei ca. 40%.

Damit verbraucht der Rekuperatorbrenner aus Stahl ca. 10% mehr Brennstoff als der Rekuperatorbrenner aus SiC-Keramik.

2. Ein materialbedingtes Durchbiegen der Brennerbauteile im Hochtemperaturbereich sowie Verzunderungen gibt es nicht. Dadurch wird der Wartungsaufwand (Drehen der Rohre und Reinigen) deutlich verringert.

3. Durch die bessere Wärmeleitfähigkeit, die höheren möglichen Prozeßtemperaturen sowie einer höheren Wärmestromdichte der Keramik kann der Brenner bei gleicher Leistung kleiner gebaut werden. Das spart Raum in der Wärmebehandlungsanlage.

### Literaturhinweis und Bildverzeichnis:

- (1) Fa. WS Wärmeprozess-technik GmbH, Renningen
- (2) Fa. Aichelin GmbH, Oederan
- (3) Sonderdruck aus „Gaswärme International“, Band 47 (1998), Heft 6

Die verwendeten Vortragsfolien (Nr. 1 bis 12) finden sich auf den folgenden Seiten.

think  
ceramics

# Wenn's heiß wird - Rekuperatorbrenner aus SISIC

André Hiemann  
Schunk Ingenieurkeramik GmbH  
Willich-Münchheide



Folie 1

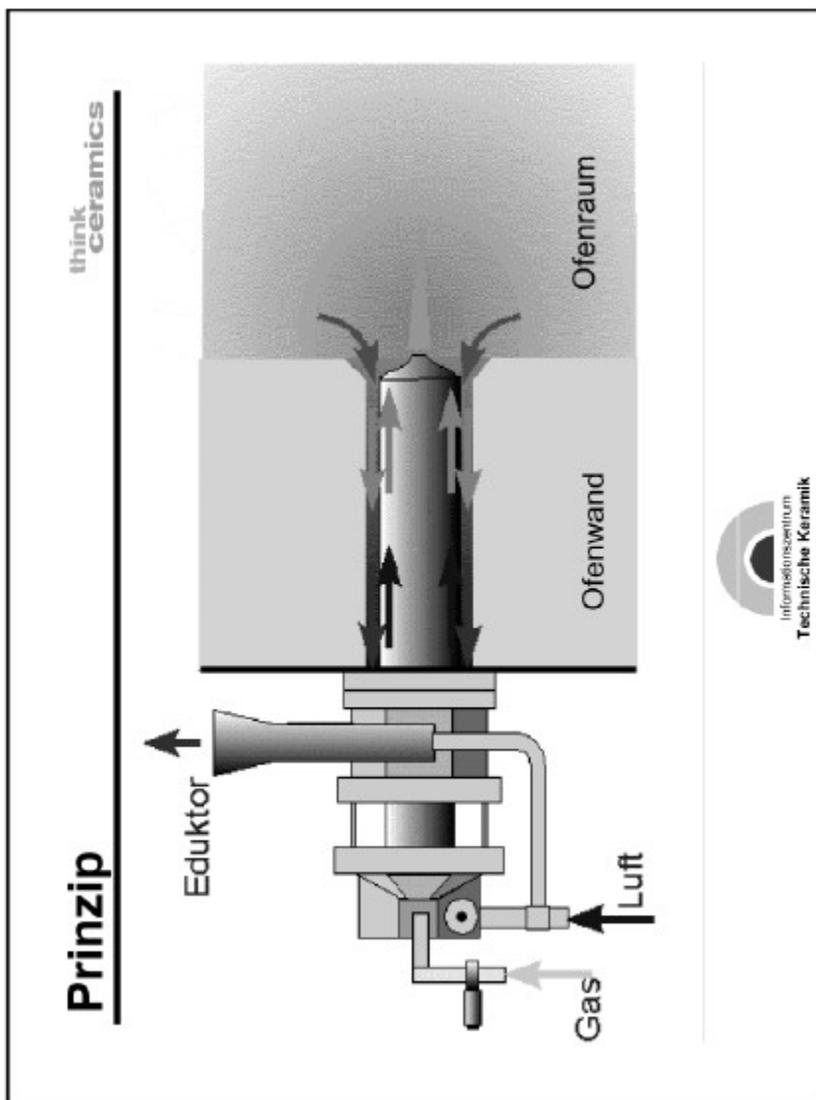
## **Wenn's heiß wird**

think  
ceramics

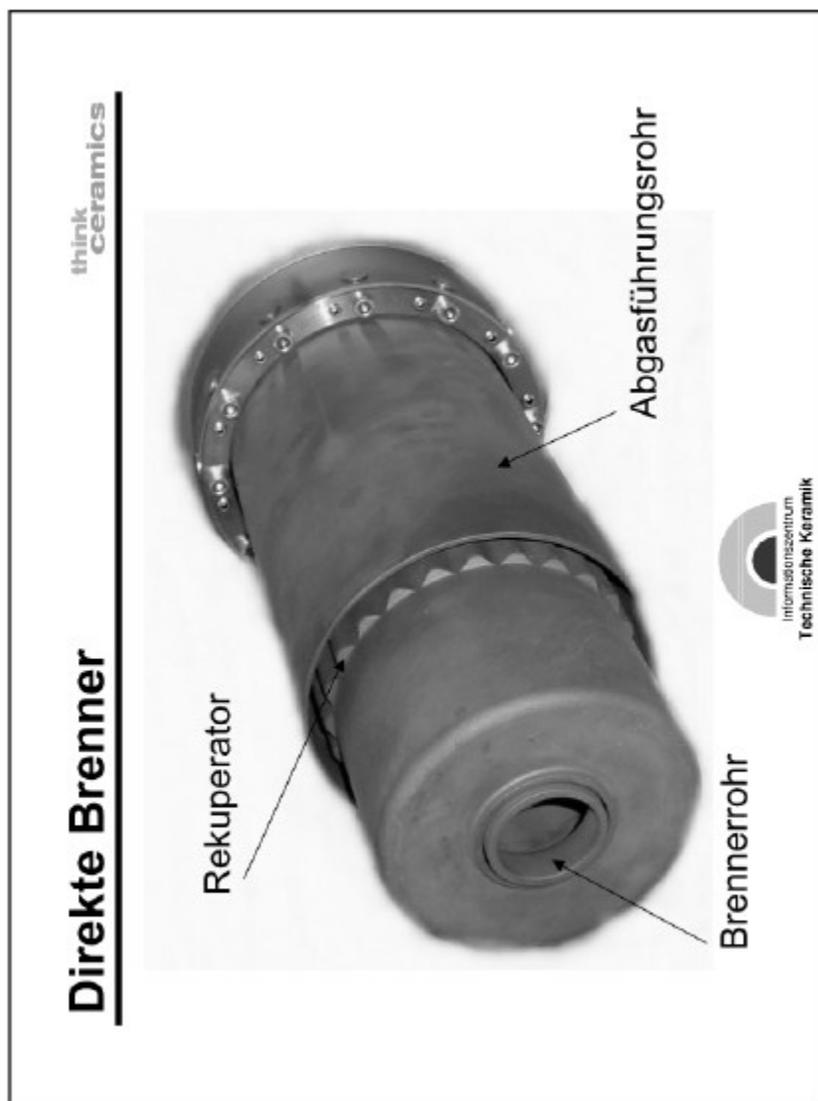
- Was sind Rekuperatorbrenner (Reku)?
- Vorteile der Reku-brenner gegenüber normalen Brennern
- Einsatzgrenzen von Reku-brennern aus Stahl
- Überschreiten dieser Grenzen durch keramische Reku-brenner



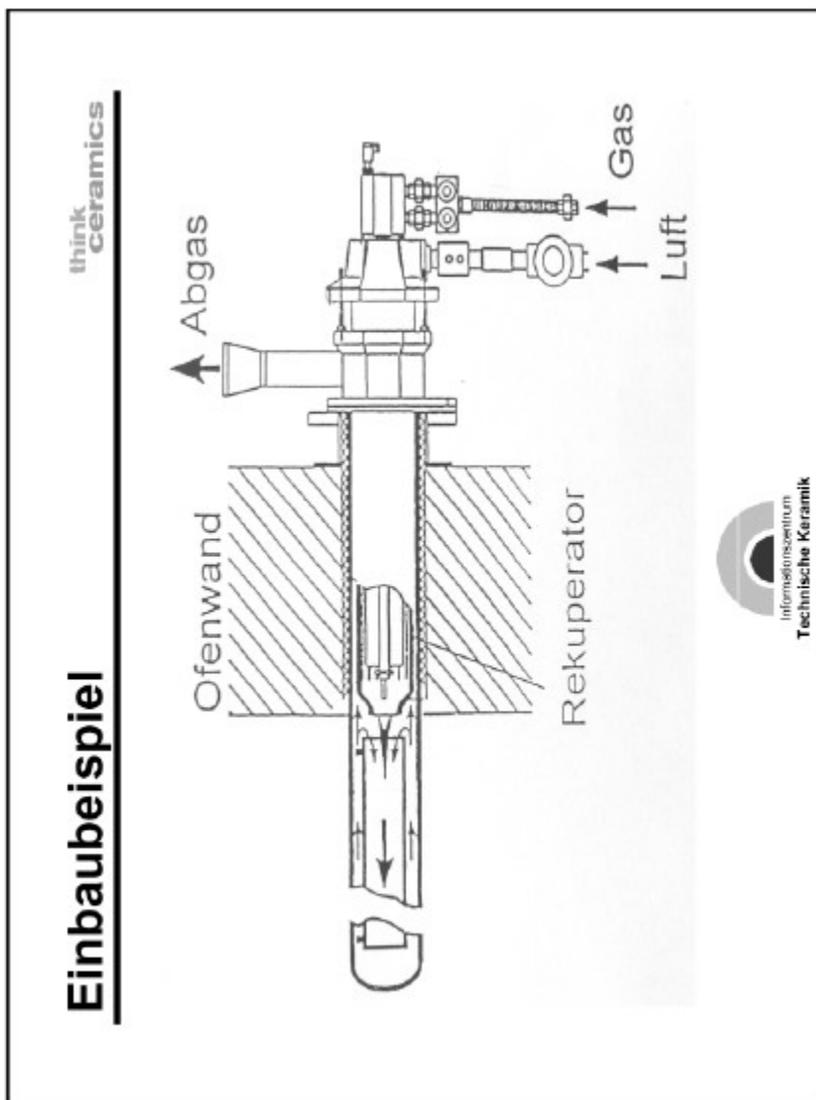
Folie 2

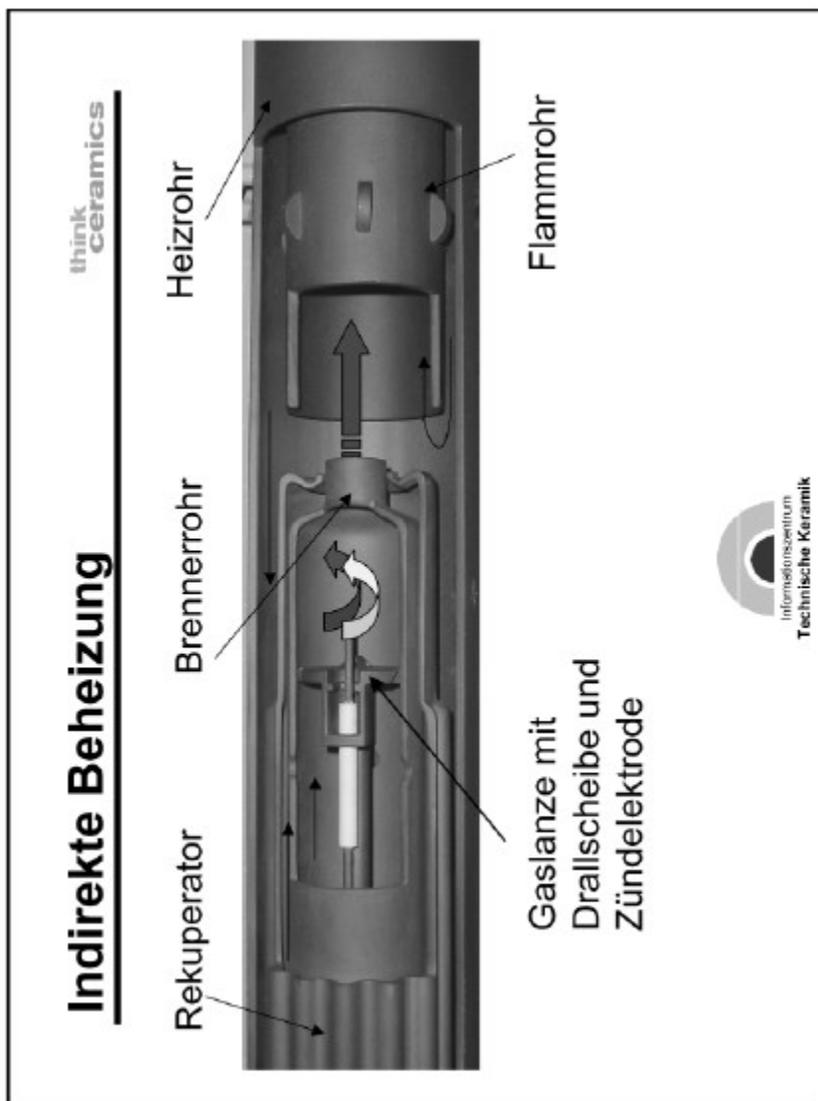


Folie 3

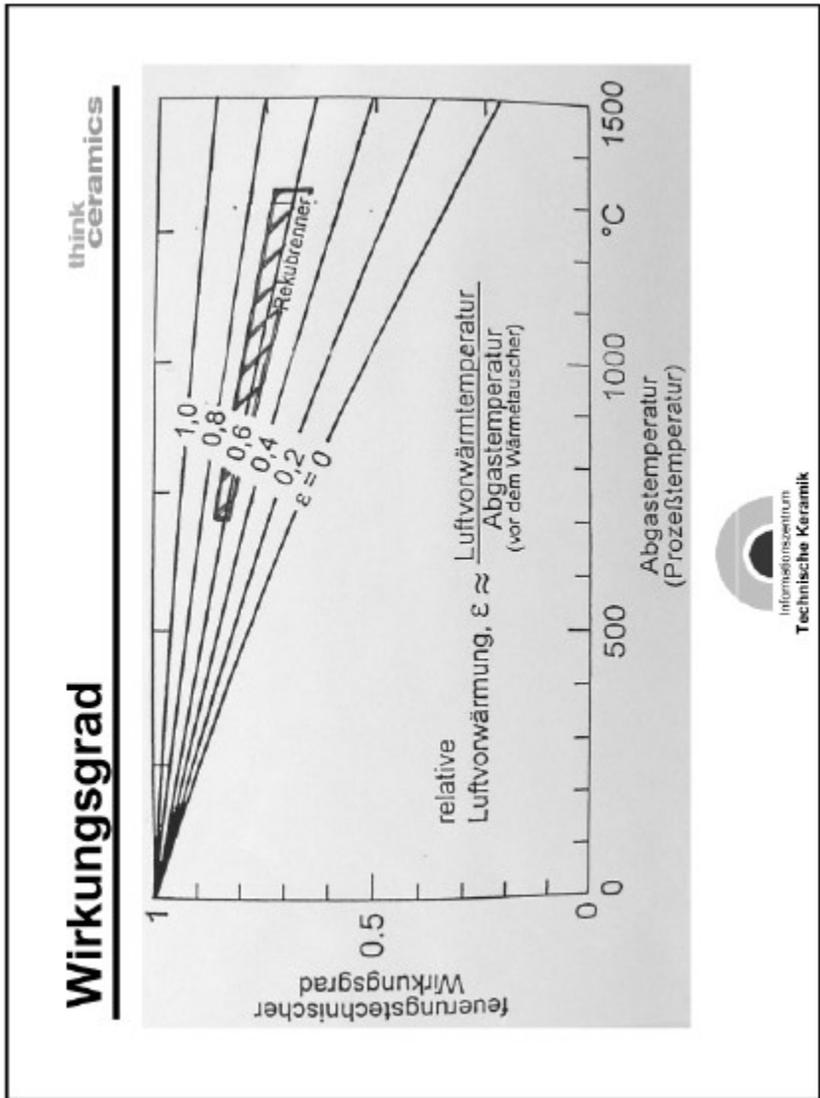


Folie 4



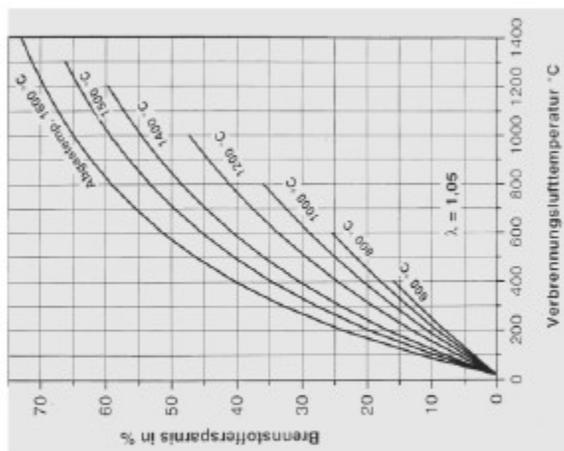


Folie 6



# Brennstoffersparnis

think  
ceramics



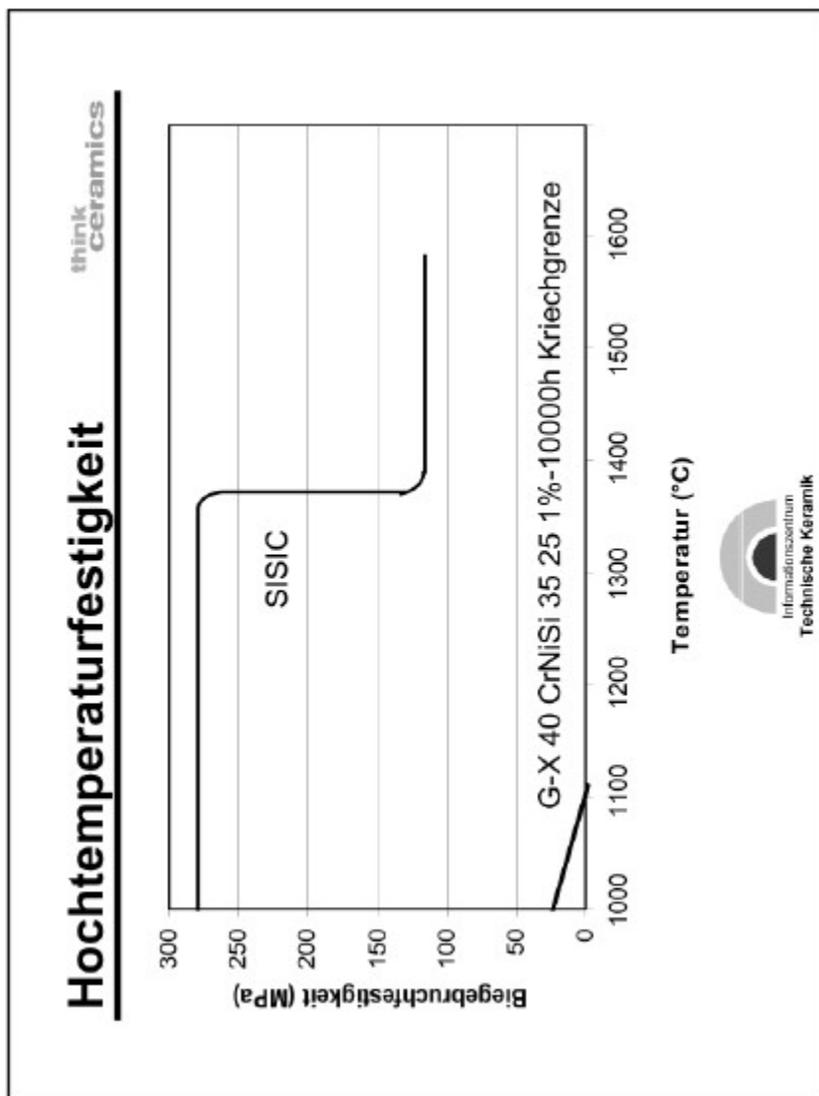
Folie 8

## **Hochwarmfester Stahl**

think  
ceramics

- Kriechgrenze bei ca. 1.100°C, Verformung
- max. Wärmestromdichte von 30 kW/m<sup>2</sup>
- Verzunderung, Wartungsaufwand
- + einfaches Handling bei der Montage





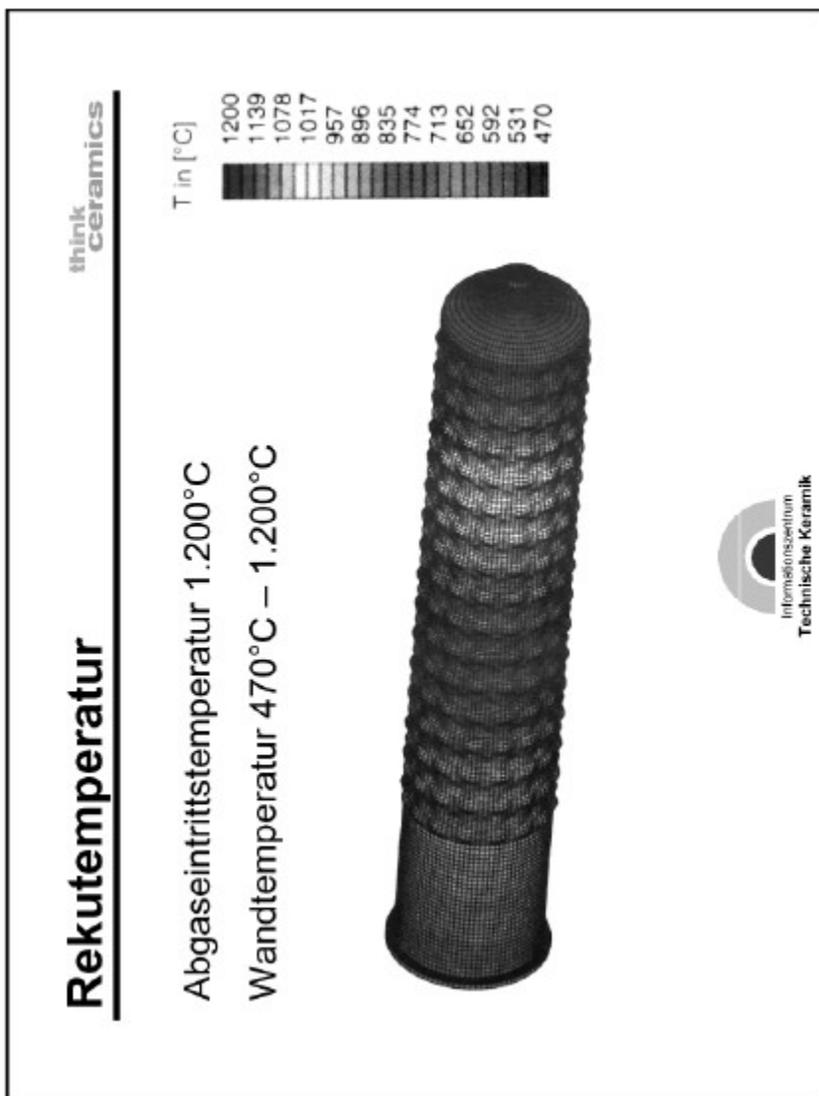
Folie 10

## **Warum SISIC-Keramik**

think  
ceramics

- + Hochtemperaturfestigkeit bis 1.380°C
- + kein Verzundern oder Korrodieren
- + sehr hohe Wärmeleitfähigkeit, TWB,
- + "Miniaturbau", da  
max. Wärmestromdichte 45 kW/m<sup>2</sup>
- + Leichtbau durch Dichte von ca. 3,1 g/cm<sup>3</sup>
- + elektrisch leitfähig, gasdicht
- + gute Herstellbarkeit der Keramik
- Handling beim Einbau





Folie 12