

### 5.3 Hohe Temperaturen, aggressive Medien – Einsatzfälle für keramische Wärmetauscher

- Ralf Damasch  
Dr. Frank Meschke  
ESK Ceramics GmbH & Co. KG  
Kempten

*Die Folien finden Sie ab Seite 398.*

#### 5.3.1. Einleitung

Siliciumcarbid hat sich bisher vielfach im Einsatz als Gleitringdichtungen und Gleitlager in Pumpen, Ventilen und Düsen bewährt. Für Wärmeübertrager stand Siliciumcarbid nur in Form von Röhren für komplex abgedichtete Rohrbündelwärmeübertrager zur Verfügung. Die hohe chemische Beständigkeit von gesintertem Siliciumcarbid gegenüber dem Angriff aggressiver Chemikalien hat zu der Überlegung geführt, die hervorragenden Eigenschaften nun auch in Form von monolithischen Plattenwärmetauschern und Mikroreaktoren für einen breiteren Einsatz nutzbar zu machen.

Hier bewährt sich der Einsatz von Siliciumcarbid, denn der Werkstoff der Superlative trotz hohen Temperaturen und Drücken ebenso wie aggressiven Chemikalien.

Wenn Natronlauge auf 130°C erwärmt und aufkonzentriert wird, sind die Platten des im Hintergrund arbeitenden Wärmeübertragers einem massiven chemischen Angriff ausgesetzt. Die Korrosion ist so stark, dass die Platten aus Edelstahl selten mehr als zwei Jahre überstehen. Noch extremer sind die Bedingungen, wenn Schwefelsäure, chlor- und fluorhaltige Säuren oder aufkonzentrierte Sole verarbeitet werden muss. Die Medien sind bereits bei Temperaturen von 100°C so aggressiv, dass von den wenigen in Frage kommenden Werkstoffvarianten für die Wärmeübertrager der Werkstoff Siliciumcarbid besonders bevorzugt wird.

Auch bei der Synthese von Produkten oder Vorprodukten der Feinchemie oder Pharmazie wird dem Prozessequipment oftmals erhöhte Korrosionsbeständigkeit abverlangt. Auch bei der Einführung der modernen Mikroverfahrenstechnik muss dies berücksichtigt werden. Auf Grund vielfältiger Vorteile, die sich von verbesserten Produktqualitäten über Sicherheitsfaktoren bis hin zu einer verbesserten Wirtschaftlichkeit erstrecken, erfreuen sich Mikroreaktoren in der Prozesstechnik einer wachsenden Beliebtheit. Bisher kamen allerdings überwiegend Systeme aus Glas, Metall oder polymeren Werkstoffen zur Anwendung, die für einen Einsatz sowohl bei hohen Temperaturen oder Drücken als auch mit aggressiven oder explosiven Medien nicht geeignet sind. Mit Mikroreaktoren aus gesintertem Siliciumcarbid wird der innovativen Mikroreaktortechnologie eine völlig neue Dimension eröffnet.

### **5.3.2. Chemische und physikalische Eigenschaften von gesintertem Siliciumcarbid**

Gesintertes Siliciumcarbid (SSIC) ist ein universell korrosionsbeständiger Werkstoff. Darüber hinaus verfügt SSIC über eine extrem hohe Verschleißfestigkeit und hervorragende Wärmeleitfähigkeit von über 110 W/mK. Das ist ein Wert, der deutlich über den von Chrom-Nickel- oder Chromstahl (16 bis 25 W/mK) liegt. Damit ist der Werkstoff nicht nur für Wärmeübertrager ideal geeignet, sondern auch für viele industrielle Anwendungen im Bereich der chemischen Verfahrenstechnik.

Auf diese Weise kommen die herausragenden Materialeigenschaften von SSIC wie Hitzetoleranz bis 1500 °C, Kälteunempfindlichkeit, hohe Verschleißfestigkeit und Robustheit gegenüber aggressiven Medien voll zur Entfaltung. So ermöglicht der Einsatz von SSIC

- die Realisierung hermetisch dichter und zugleich mechanisch stabiler Systeme
- deutlich verlängerte Standzeiten
- ein kompaktes Design bei gleichzeitig geringem Gewicht
- eine nahezu universelle Einsetzbarkeit
- eine Synthese oder Verarbeitung auch bei hohen Differenzdrücken

- aufgrund der Verschleißfestigkeit verbesserte Produktqualitäten
- höhere Ausbeuten
- höhere Flexibilitäten
- höhere Sicherheiten auch in Multi-Purpose-Anlagen

### **5.3.3. Dichtungsfreie Plattenwärmeaustauscher aus gesintertem SiC**

Als essentielle Komponente der thermischen Verfahrenstechnik werden an Plattenwärmeaustauschern auch hohe Ansprüche hinsichtlich der Standzeit und der Sicherheit gestellt. Eine Schwachstelle herkömmlicher Apparate stellen die zum Abdichten der einzelnen Plattenkanäle eingesetzten Elastomerdichtungen dar, die neben dem Verschleiß, der natürlichen Alterung ausgesetzt sind.

#### **5.3.3.1. Monolithische Konstruktion**

Um die Sicherheit und die Standzeit der Plattenwärmeaustauscher zu erhöhen, wird eine hermetisch dichte Ausführung als Monolith aus gesintertem Siliciumcarbid angeboten.

Schlüssel zum Erfolg ist das sogenannte Diffusionsschweißen, welches die Herstellung spannungsarmer und in vielen Fällen weitgehend homogener Verbindungen verschiedenster Werkstoffe erlaubt. Bei dieser Schweißmethode werden die zu verbindenden Teile in einem mit Schutzgas gefüllten Ofen auf Schweißtemperatur erhitzt und über mehrere Stunden einem Druck ausgesetzt, der die Materialien an den Schweißstellen zur Diffusion bringt. Das Endprodukt ist ein Plattenwärmeaustauscher, der als hermetisch dichter, monolithischer Block vorliegt. Besonders im Umgang mit gefährlichen Substanzen bietet er ein bis dato unbekanntes Maß an Sicherheit.

Ohne die herkömmlichen Dichtungen widerstehen diese neuen Plattenwärmeaustauscher und Mikroreaktoren aus gesintertem Siliciumcarbid problemlos thermisches Zyklieren, sind thermoschockbeständig und äußerst wartungsarm. Aufgrund der hohen

Verschleißresistenz gibt gesintertes Siliciumcarbid auch im Langzeitbetrieb weder Partikel noch Metallionen frei. Das Material ist gemäß KTW, WRAS und Fresenius für Trinkwasseranwendungen freigegeben und auch im Kontakt mit Lebensmitteln unbedenklich.

### 5.3.3.2. Hohe thermische Effizienz

Die derzeit im Angebot befindlichen Plattenwärmeaustauscher arbeiten im Gegenstromprinzip und wurden speziell für den Wärmeaustausch zwischen flüssigen Medien mit bis zu 6 bar Differenzdruck ausgelegt. Auf der Basis von Computersimulationen komplexer Strömungsvorgänge, auch CFD-Simulationen genannt, wurde für flüssige Medien ein gemeinsames Plattendesign konzipiert, welches ausgezeichnete Wärmeaustauschleistungen bei minimalem Druckverlust ermöglicht.

Durch die hohe thermische Effizienz ist es möglich, die Abmessungen und das Gewicht der Plattenwärmeaustauscher sehr klein zu halten. Selbst gegenüber Rohrbündelwärmeübertragern aus SSIC ist weniger als ein Viertel der Austauschfläche notwendig, um eine vergleichbare Übertragungsleistung realisieren zu können.

### 5.3.4. Mikroreaktoren aus gesintertem SiC

Nicht nur in der Computertechnik, sondern auch in der chemischen Prozesstechnik ist der Trend zur Miniaturisierung unverkennbar. Im Fokus laufender Entwicklungen stehen unter anderem die so genannten Mikroreaktoren. Die derzeit im Einsatz befindlichen Mikroreaktoren enthalten Chips aus Glas, Kunststoff oder Metall. Auf ihnen befinden sich filigrane Kanäle, welche in Mischkammern einmünden, wo die Umsetzung stattfindet.

Der Nutzen von Mikroreaktoren basiert auf einer Ressourcen einsparenden Prozessführung, die mit einer intensivierten Ausnutzung von Stoffen und Energie einhergeht. Damit werden Industrieanlagen nicht nur profitabler, sondern auch umweltfreundlicher, da sich die einzelnen Reaktionspartner exakter als bisher mischen lassen.

Auch die Mikroreaktoren Erfolg aus gesintertem SiC werden einem einzigen Monolithen verschweißt. Die aus dem aufwendigen und nicht ganz einfachen Herstellungsverfahren resultierenden Mikroreaktoren liegen in Gestalt eines monolithischen Blocks vor, der keine Grenznähte und auch keine metallischen oder keramischen Grenzschichten enthält. Auf diese Weise kommen die herausragenden Materialeigenschaften von SiC voll zur Entfaltung. Unabhängig davon gestattet das neue Fügeverfahren eine hohe Flexibilität beim Design. So können die monolithischen Mikroreaktoren aus SSiC, die aufgrund kunden-spezifischer Anforderungen als Sonderausführungen angefertigt werden, je nach vorgegebener Aufgabe fein strukturierte Mikrokanäle unterschiedlichster Geometrie aufweisen. Der Komplexität der Kanalführung sind dabei kaum Grenzen gesetzt.

### **5.3.5. Anwendungen der Wärmetauscher und Mikroreaktoren**

Das Spektrum möglicher Anwendungen der Plattenwärmeaustauscher erstreckt sich vom Hochtemperaturbereich von über 800 °C und Einsätzen im Bereich der Brennstoffzellen, Gasturbinen und der Geothermie, über die Verdampfung und Kondensation aggressiver Chemikalien und Seewasser-Einsätzen, bis hin zu Tieftemperaturanwendungen. Von diesem Eigenschaftsprofil können völlig unterschiedliche Branchen wie die Chemieindustrie, Stahlindustrie, Pharmazeutische Industrie und Energietechnik profitieren.

Die Anwendungsfelder der neuen Technologie der Mikroreaktoren betreffen sowohl die universitäre als auch die industrielle Forschung mit Schwerpunkt in den Bereichen Chemie, Pharmazie und Biotechnologie.

Besonders attraktive Einsatzgebiete sind in der chemischen und pharmazeutischen Industrie dort zu erwarten, wo aggressive Medien, empfindliche Substanzen oder explosive Stoffe synthetisiert werden. So können Letztere beispielsweise aufgrund der kleinen Dimensionierung völlig gefahrlos gehandhabt werden. In der Realisierung stellt sich die Herausforderung darin, die erforderlichen keramischen Materialien in ihrer Härte in den vorgesehenen Dimensionierungen anzufertigen. Schwierigkeiten können bei der

## Vortragsblock 4

---

Abdichtung keramischer Mikroreaktoren auftreten, vor allem bei Einsätzen im Hochdruckbereich oder bei höherer Temperatur.

### **5.3.6. Ausblick**

Nach ersten erfolgreichen Pilotanwendungen steht die Technologie vor der industriellen Umsetzung. Die nächste Herausforderung wird die Überführung der Technologie in größere, auch für die Energietechnik relevante, Dimensionen sein.

Die verwendeten Vortragsfolien (Nr. 1 bis 19) finden sich auf den folgenden Seiten.

# Hohe Temperaturen, Aggressive Medien – Einsatzfälle für keramische Wärmetauscher

Dipl.-Ing. Ralf Damasch / Dr. Frank Meschke  
ESK Ceramics GmbH & Co. KG  
Kempten



## WARUM EINSATZ VON SILIZIUMKARBID-KERAMIK?



**Viele Reagenzien sind korrosiv oder benötigen hohe Prozesstemperaturen**

**Verbreitete WT- und MRT-Materialien sind**

- Metalle (Edelstahl, Titan, Tantal)
- Polymere
- Glass

**Prozessbeschränkungen ergeben sich durch**

- Geringe Korrosionsfestigkeit
- Geringe Temperaturfestigkeit
- Fehlende Druckfestigkeit
- Erosion

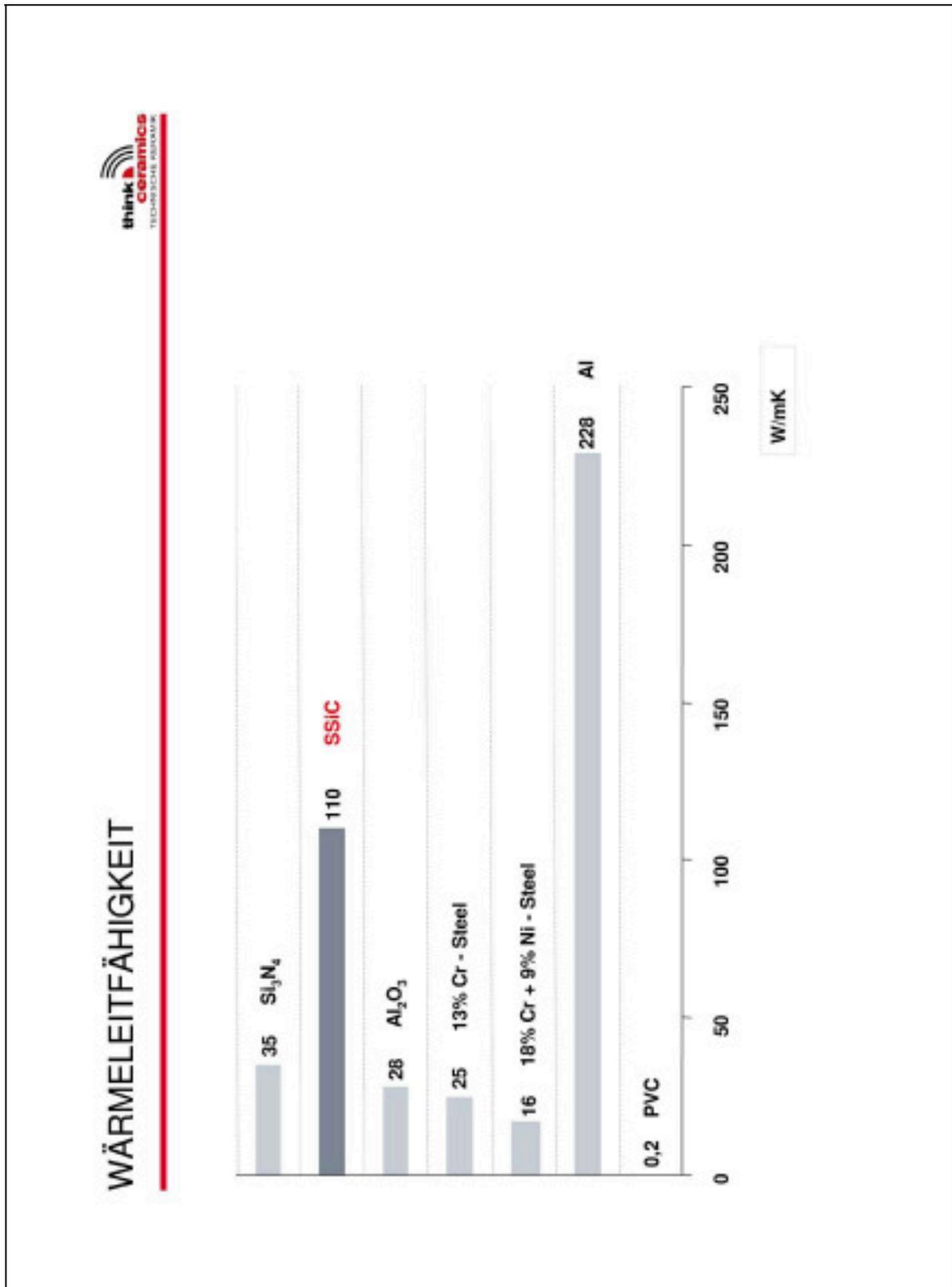


### MATERIALEIGENSCHAFTEN SSiC

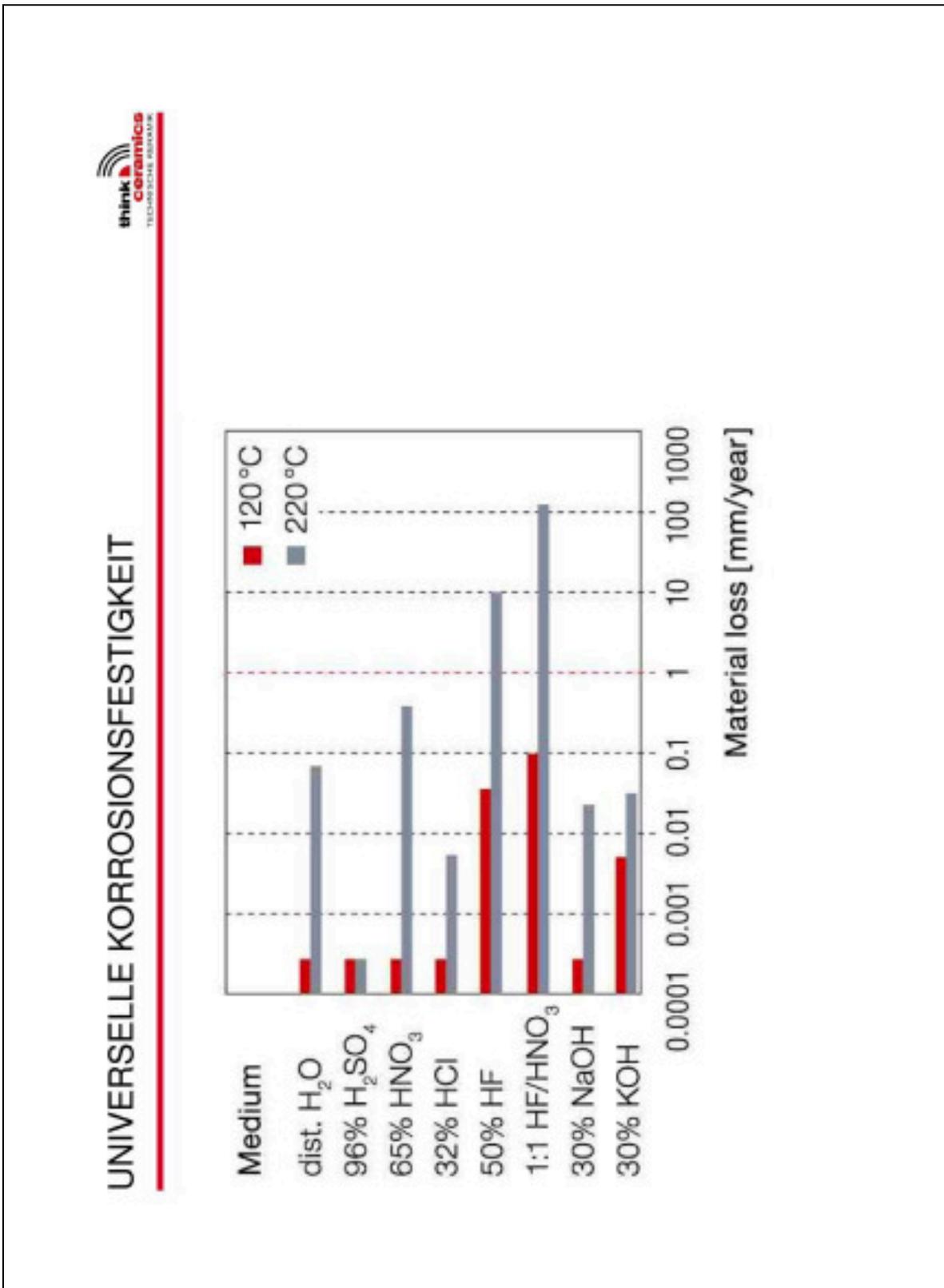


#### Material Vorteile

- Hohe Festigkeit, gasdicht (Dichte > 97 %)
- Diamant-ähnliche Härte & extreme Verschleißfestigkeit
- Überlegene Temperaturfestigkeit bis zu 1,500 °C
- Exzellente Wärmeleitfähigkeit (> 110 W/mK)
- Universelle Korrosionsfestigkeit



5.3 Keramische Wärmetauscher - Folie 4



5.3 Keramische Wärmetauscher - Folie 5

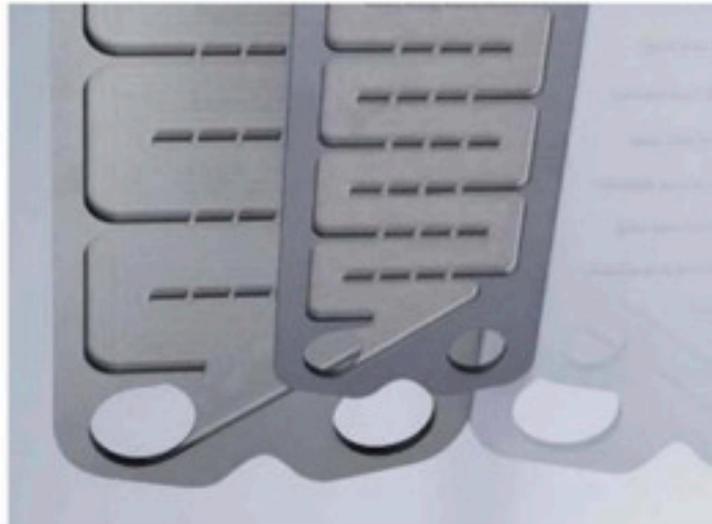
## PLATTENWÄRMEAUSTAUSCHER AUS SSiC



### Eckdaten

- Diffusionsgeschweißter, dichtungsfreier Plattenwärmeaustauscher
- Druck 6 bar
- bis 4 qm Austauschfläche
- Übertragungsleistung bis ca. 600 kW (flüssig/flüssig)
- Flansche DN50PN16
- Flanschauskleidung PTFE / PFA

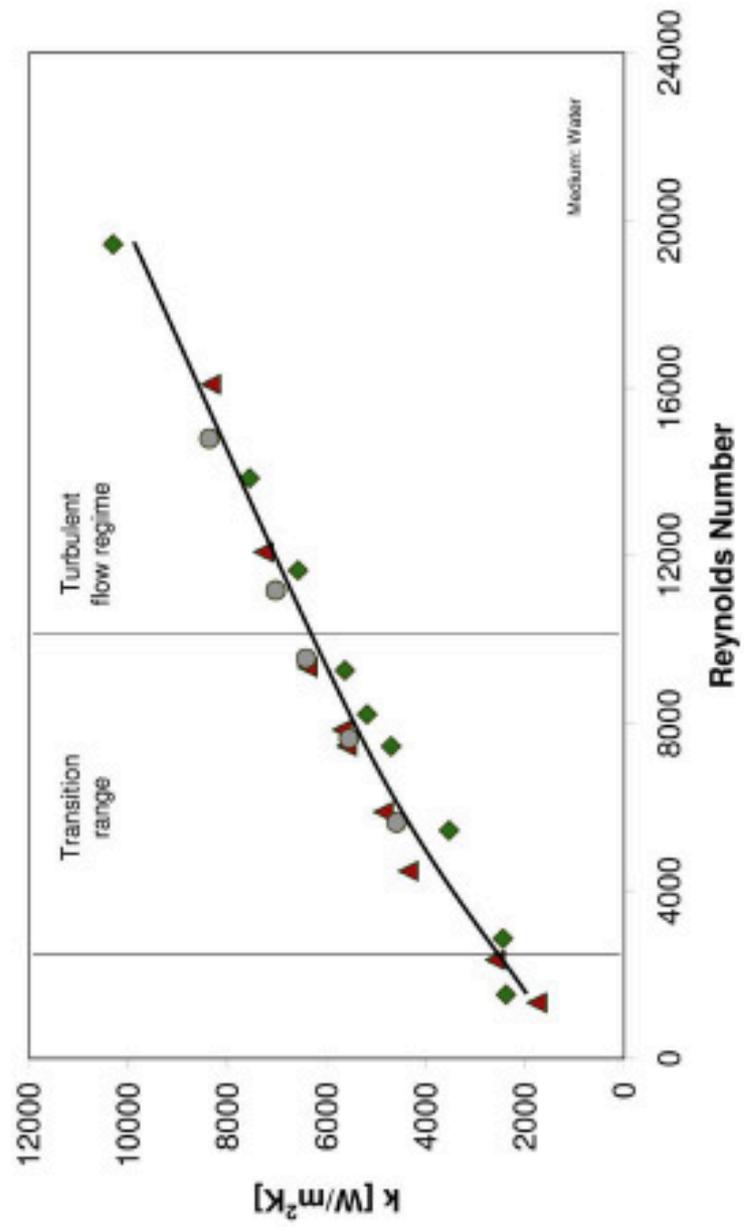
### PLATTENWÄRMEAUSTAUSCHER AUS SSiC



#### Patentiertes ESK Plattendesign

- Hoher k-Wert
- Geringer Druckverlust
- Einfaches und komplettes Entleeren
- Modulare Konstruktion

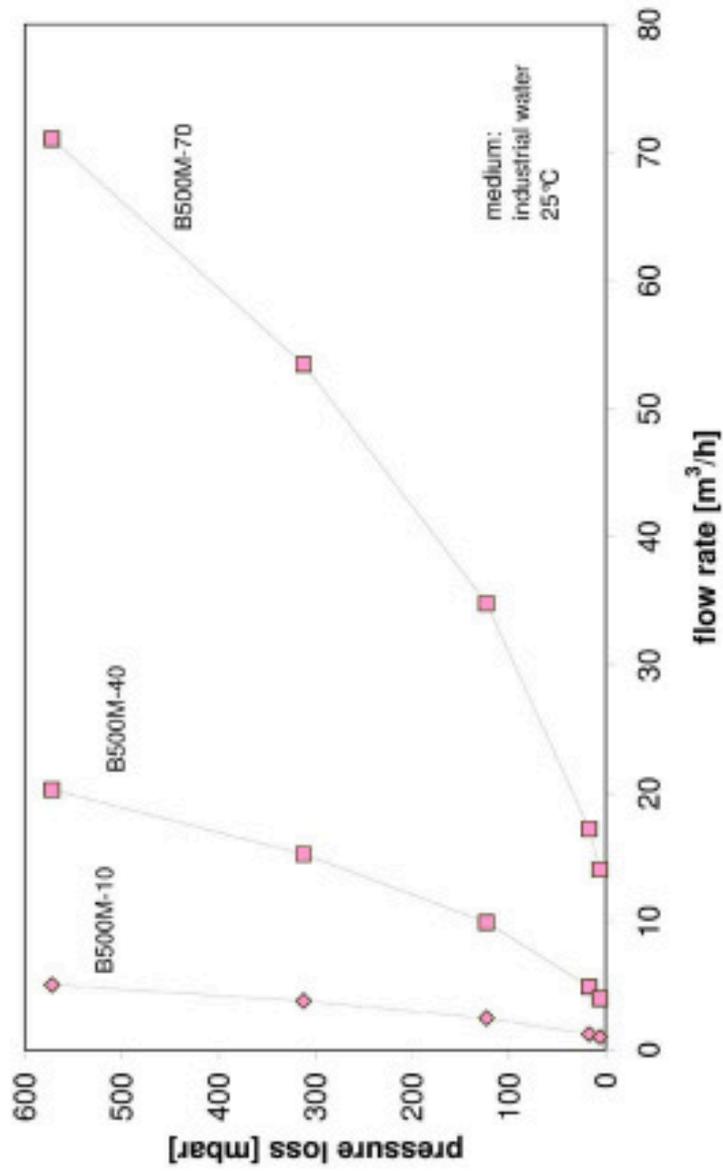
# PLATTENWÄRMEAUSTAUSCHER AUS SSiC



5.3 Keramische Wärmetauscher - Folie 8

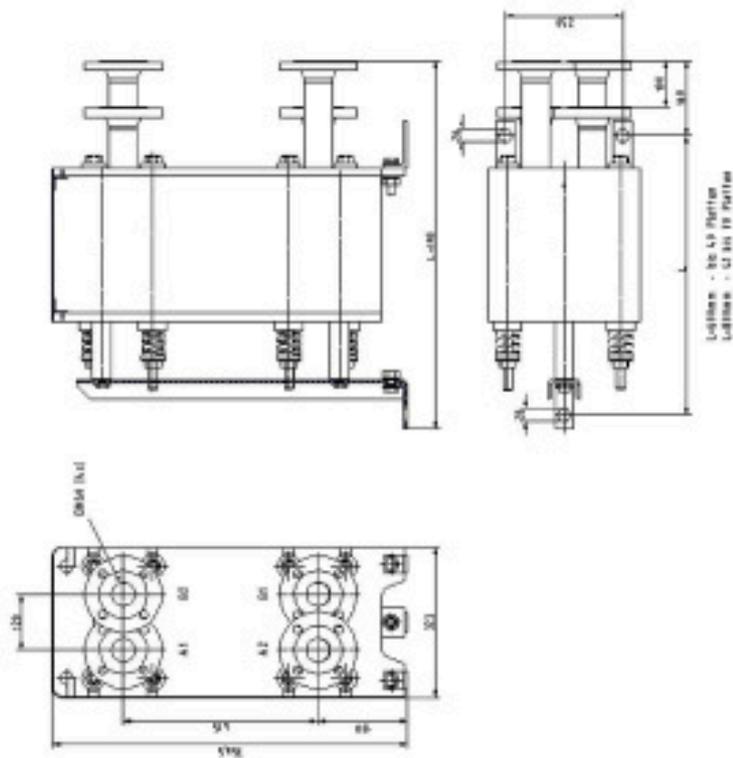


PLATTENWÄRMEAUSTAUSCHER AUS SSiC



5.3 Keramische Wärmetauscher - Folie 9

## PLATTENWÄRMEAUSTAUSCHER AUS SSiC



### Abmessungen des BG500M

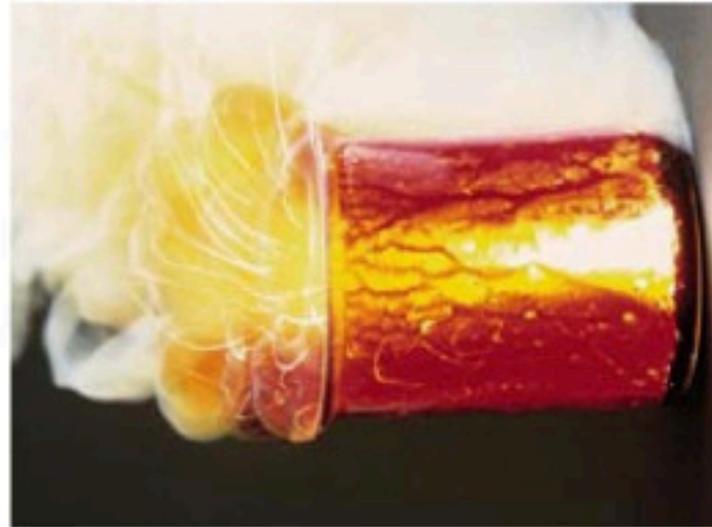
Höhe: 767 mm  
Breite: 323 mm

Länge: 600 mm (up to 40 Platten)  
800 mm (up to 70 Platten)

Gewicht: 275 kg (70 Platten)

Flansche: DN50 PN16

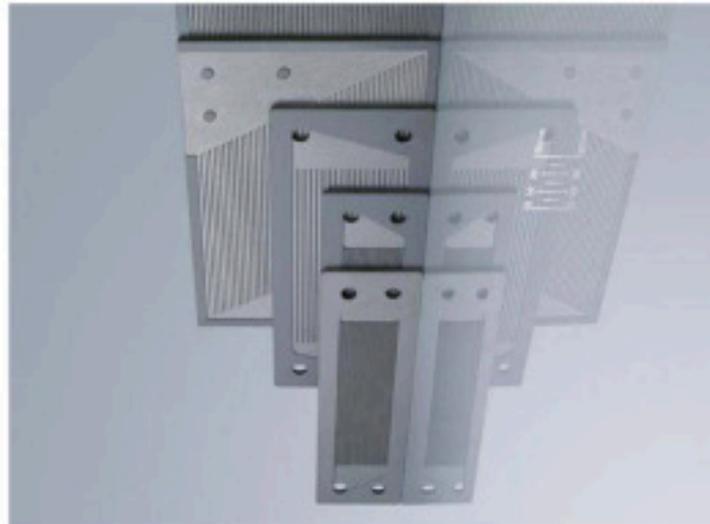
## MIKROREAKTOREN AUS SSiC



### Einsatzgebiete: Chemische Prozessintensivierung

- Ziel: Verbesserung von
  - Ausbeute, Selektivität
  - Flexibilität
  - Sicherheit
- Lösung:
  - Vom Batch- zum kontinuierlichen Prozess
  - Molekularer Kontakt der Reaktionspartner
- Verfahrensschritte
  - Mischen
  - Synthese
  - Wärmeaustausch

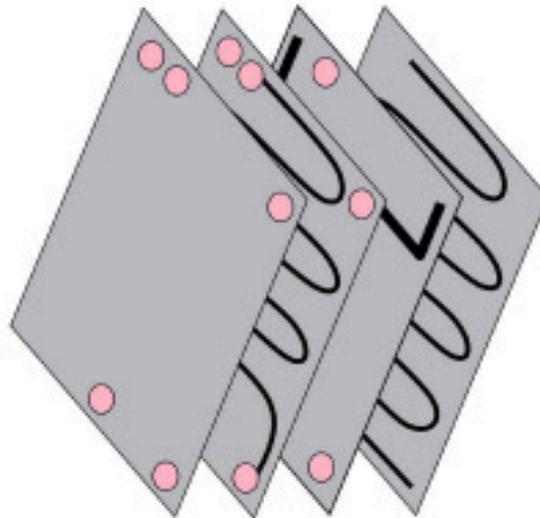
## MIKROREAKTOREN AUS SSIC



### Aufbauvarianten

- Modulares Konstruktionsprinzip
- Stapel werden aus individuell konstruierten Einzelplatten aufgebaut
  - integrierte Kühl- und Aufheizstrecken (exzellente Wärmeleitfähigkeit)
  - integrierte Reaktionskammern
  - interne oder externe Verteiler
  - Größen bis zu 0.5 x 0.5 x 0.2 m<sup>3</sup>
- Ein Fügeprozess überführt den Plattenstapel in einen monolithischen Block

## MIKROREAKTOREN AUS SSIC



### Aufbauvarianten

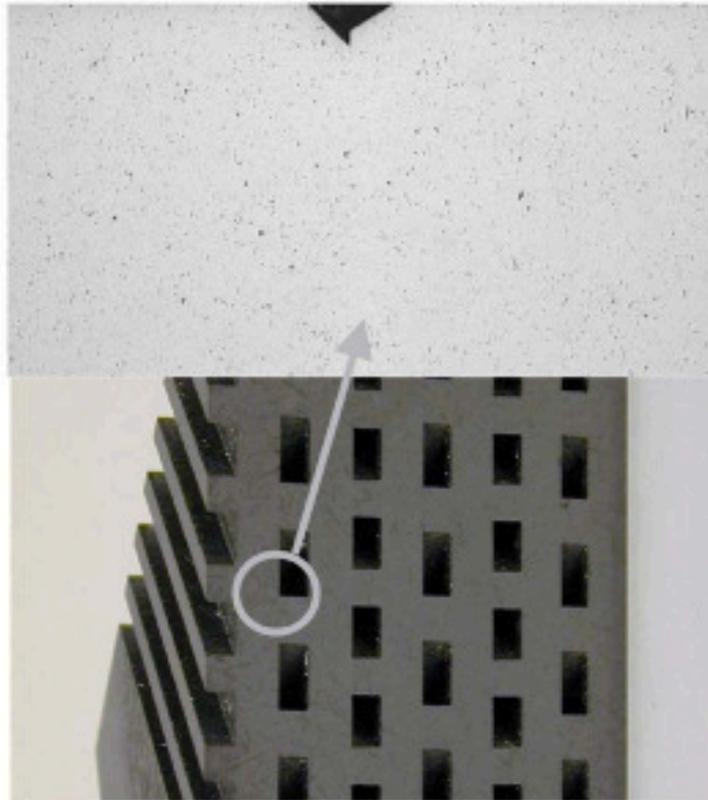
- Modulares Konstruktionsprinzip
- Stapel werden aus individuell konstruierten Einzelplatten aufgebaut
  - integrierte Kühl- und Aufheizstrecken (exzellente Wärmeleitfähigkeit)
  - integrierte Reaktionskammern
  - interne oder externe Verteiler
  - Größen bis zu  $0.5 \times 0.5 \times 0.2 \text{ m}^3$
- Ein Fügeprozess überführt den Plattenstapel in einen monolithischen Block

## MONOLITHISCHE MIKROREAKTOREN AUS SiC



### Kennzeichen

- komplexen innere Kanalstrukturen
- Keine Grenzflächen
- Hermetisch gasdicht
- Universell korrosionsbeständig
- Großer Einsatzbereich von kryogenen Temperaturen bis 1500 °C
- Alle Materialvorteile von SiC bleiben unverändert erhalten

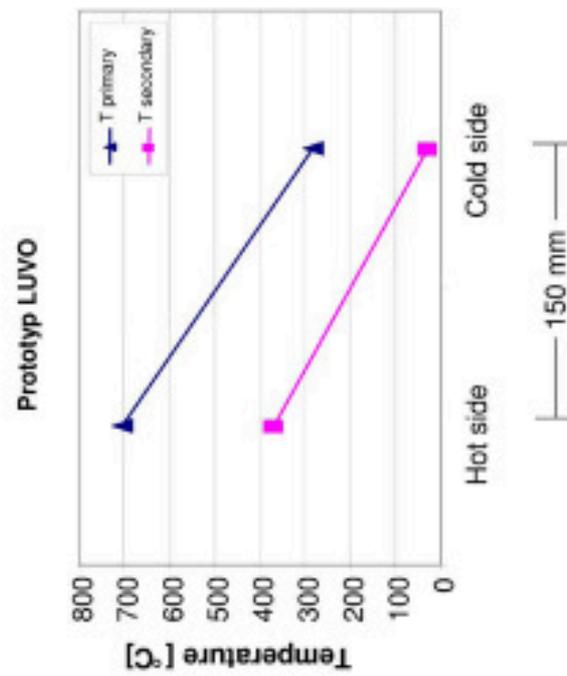
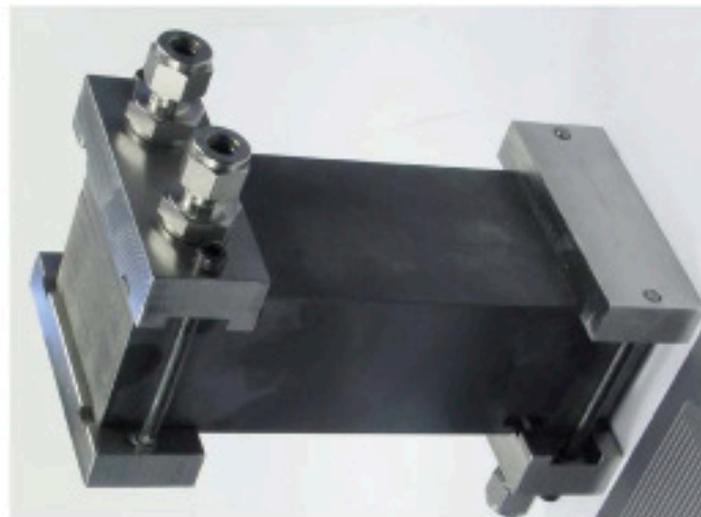


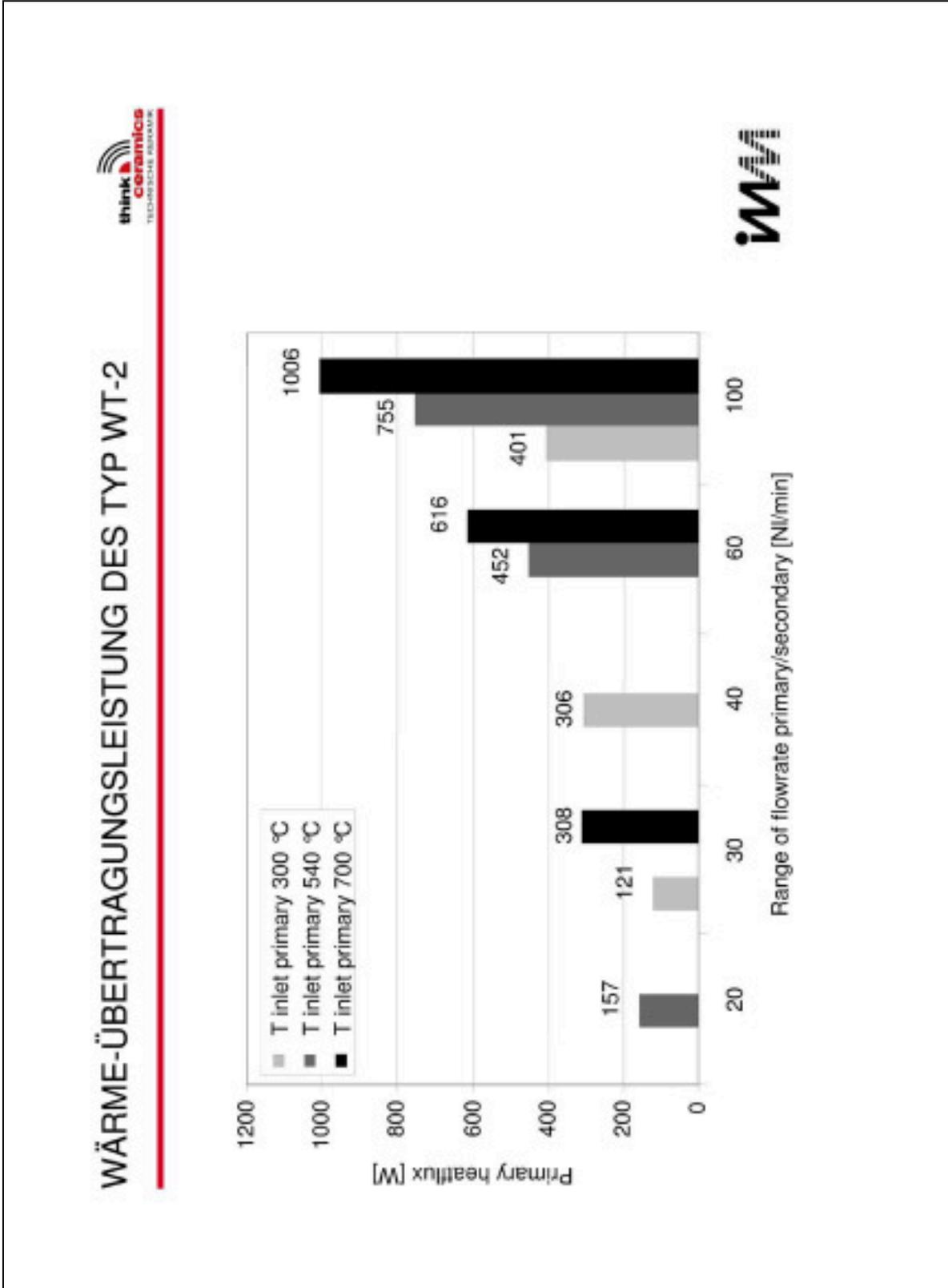
BEISPIELE MIKROREAKTOREN AUS SSiC



Typ I	Typ II
<b>Kanalgröße</b>	<b>Kanalgröße</b>
Breite [ $\mu\text{m}$ ]	Breite [ $\mu\text{m}$ ]
Höhe [ $\mu\text{m}$ ]	Höhe [ $\mu\text{m}$ ]
Länge [mm]	Länge [mm]
<b>Austauschfläche [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Austauschfläche [m<sup>2</sup>]</b>
Volumen [cm <sup>3</sup> ]	Volumen [cm <sup>3</sup> ]
Druckverlust [mbar]	Druckverlust [mbar]
<b>LUVO</b>	<b>WT-2</b>
2000	600
500	800
100	100
0,06	0,03
136	66
21	48

# WÄRMEAUSTAUSCH-CHARAKTERISTIK





5.3 Keramische Wärmetauscher - Folie 17

## SSiC WÄRMETAUSCHER UND MIKROREAKTOREN



### Vorteile

- anforderungsspezifisch herstellbares Produkt
- Monolithische Konstruktion aus diffusionsgeschweißten Platten
- Hermetisch gasdicht
- Universell korrosionsbeständig
- Temperaturfest
- Druckfest
- Wartungsfrei
- Hohe Wärme-Übertragungsleistung
- Mit Standard Anschlussflanschen leicht zu installieren



## MÖGLICHE ANWENDUNGEN



### **Chemische Industrie**

Schwefelsäure-Aufkonzentration  
Brom und Jod Produktion  
Fluorindustrie  
Pilotanlagen  
Elektrolyse  
VCM / PVC Produktion

### **Stahlindustrie**

Pickling Bäder

### **Goldgewinnung**

Schwefelsäure und HCl  
Anwendungen

### **Papierindustrie**

Bleiche

### **Pharmazeutische Industrie**

- Mehrzweck-Anlagen
- Kleinmengen-Produktion

### **Düngemittel Produktion**

- Phosphor Anwendungen
- Schwefelsäure-Anwendungen

### **Abgasreinigung**

- Abgasreinigung

### **Halbleiter Industrie**

- Hochreine Chemikalien
- Fluor Anwendungen

### **Brennstoffzellen**

- Ionenfreie Luftkühler
- Rekuperatoren