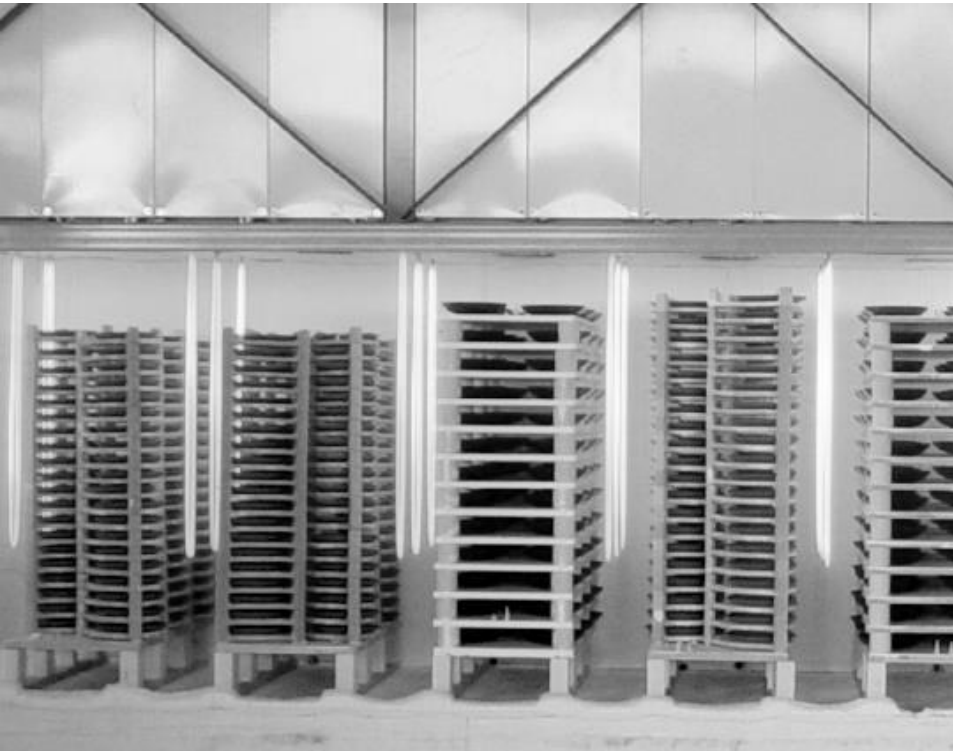




THERMPROZESS-TECHNIK

# BRENNSTOFFZELLEN

Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)





## Periodische Ofenanlagen

100°C – 1600°C

und prozessergänzende Systeme  
im Prototypen-/Musterbau von SOFCs



## Inhalt

Thermische Prozesse in der Brennstoffzellenfertigung

Definition SOFC (Solid Oxide Fuel Cell)

Die Prozesskette

THERMCONCEPT Kompetenzfelder

Engineering

Prototypen-/Musterbau

Ofensysteme für die thermische Prozesskette

Brennhilfsmittel und Trägersysteme

THERMCONCEPT Hochleistungsöfen

im keramischen Fertigungsprozess

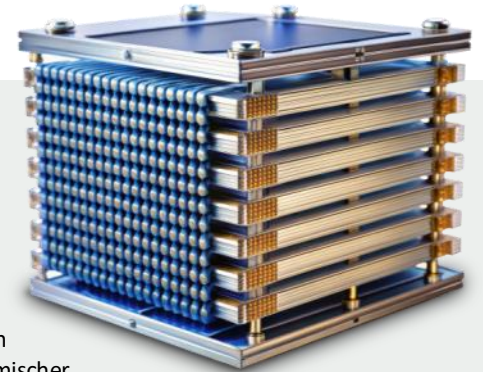
# Thermische Prozesse in der Brennstoffzellenfertigung

## Definition SOFC (Solid Oxide Fuel Cell)

Eine der aussichtsreichsten Technologien zur Erzeugung und Nutzung von Wasserstoff ist die Feststoffoxid-Brennstoffzelle (Solid Oxide Fuel Cell, SOFC). Sogenannte Hochtemperatur-Brennstoffzellen (HT-SOFC) verwenden als Basiswerkstoff für die einzelnen Zellen ein oxidkeramisches Material. Diese Zellen werden bei Sinteremperaturen von bis zu 1.600 °C gefertigt.

In den letzten Jahren haben jedoch auch SOFCs an Bedeutung gewonnen, die im Temperaturbereich von 600 °C bis 700 °C betrieben werden können. In diesen Zellen ist ein metallischer Basiswerkstoff verbaut. Zudem wurden die Werkstoffe der funktionalen Dünnschichten so optimiert, dass die Sintertemperaturen im Fertigungsprozess auf maximal 1.100 °C begrenzt werden können. Dies stellt gegenüber den oben genannten keramisch basierten HT-SOFCs einen klaren energetischen und fertigungstechnischen Vorteil dar.

## THERMCONCEPT



Während der Betrieb von SOFC-Anlagen klimaneutral möglich ist, gestaltet sich deren Herstellung aufgrund der aufwendigen Gewinnung und Veredelung oxidkeramischer Verbindungen als energieintensiv. Aktuell werden die benötigten Ofenanlagen noch häufig mit fossilem Strom oder Erdgas betrieben. Um den ökologischen Fußabdruck zu minimieren, ist eine Optimierung der Fertigungsprozesse unerlässlich.

THERMCONCEPT unterstützt den Transformationsprozess durch hocheffiziente, diskontinuierliche Ofenanlagen, deren Design konsequent auf die Senkung des Energiebedarfs pro kW gefertigter SOFC-Leistung ausgelegt ist.



# Thermische Prozesse in der Brennstoffzellenfertigung

## Die Prozesskette

# THERMCONCEPT



Für die Herstellung der für die SOFC benötigten einzelnen Zellen sind bis zu 10 und mehr thermische Prozesse erforderlich bis aus einem sog. Stack, dem elektrochemischen Bauteile einer SOFC, eine Brennstoffzelle gefertigt werden kann.

Nachfolgend ein Überblick über die Prozesskette der thermischen Verfahren zur Herstellung von Zellen, die in LT-SOFCs und HT-SOFCs verbaut werden

### LT-SOFC –Niedertemperatur-Zellfertigung

**≤ 400 °C**

Trocknung & Ausbrand

- Entfernung von Lösemitteln
- Pyrolyse organischer Binder
- Vorbereitung der Schicht-Porosität

**600-700 °C**

Kalzination

- Zersetzung anorganischer Vorstufen
- Phasenbildung der Oxide

**800-950 °C**

Oxidation

- Einstellung der Stöchiometrie
- Oxidation von Substraten & Interkonnektoren

**800-1.100 °C**

Sinterprozesse

- Verdichtung von Elektrolyt-, Anoden- und Kathodenschichten
- Haftung der Grenzflächen

### HT-SOFC –Hochtemperatur-Zellfertigung

**Vorprozesse**

**ähnlich wie LT-SOFC**

**≈ 1.600 °C**

Hochtemperatur-Sintern

- Keramische Vollsinterung
- Mechanische Festigkeit
- Gasdichte Elektrolyt-Struktur

Der aus den Einzelkomponenten hergestellte SOFC-Stapel ("Stack") wird noch mindestens einem weiteren thermischen Prozess unterzogen, der im Temperaturbereich von 600 bis 700°C zur Schwindung und Sinterung des Dichtungsmaterials, meist Schichtminerale, notwendig ist, um die Gasdichtheit der Zellen untereinander sicherzustellen.



### Zielkonflikt

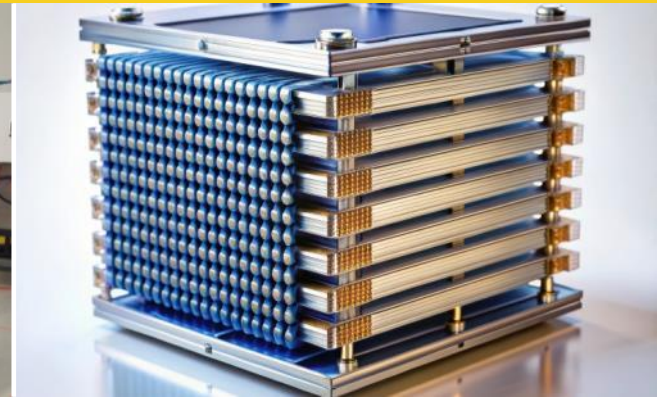
- Produktqualität und Kosten
- Hohe Anforderungen durch Produktdimensionen und Großformate
- Hohe Ofenbeladung vs. Temperaturhomogenität
- Thermische Belastung vs. begrenzte Lebensdauer von Brennhilfsmitteln

### Was bieten wir

- Unterstützung bereits in der frühen Planungsphase
- Langjährige Expertise im Ofenbau und Besatzdesign
- Ganzheitliche Abstimmung von Ofen, Besatzaufbau und Prozessparametern
- Auslegung von Brennhilfsmitteln inkl. lasttragender Konstruktionen
- Optimierung von Heiz-/Kühlgradienten für stabile Prozesse und lange Lebensdauer

### Was wir leisten

- Engineering samt Auswahl Ofentypen + Größe auf Basis des Fertigungsumfeldes und Stückzahl
- Passende Ofentypen und -Größen auswählen
- Bereitstellen bestellfähiger Angebote für Besatzaufbauten
- Definieren von Temperatur-Zeitprofilen
- Optimierungspotenziale für Großserienfertigung, Unterstützung bei Scale-Up für Großserienfertigung



# THERMCONCEPT Kompetenzfelder

## Prototypen / Musterbau



### Beispiel für die Auslegung eines Musterbaues

#### Prämissen:

- Elektrische SOFC-Leistung: 10 kW
- Anzahl Zellen je 10 kW SOFC-Stack: 300..400
- Kapazität des Musterbaus: 1 Stack / Arbeitstag
- Flächenbedarf ("Footprint") für Öfen und Hilfsmittel: Minimal



#### Benötigte Ofenanlage

Prozess	Ofentyp	T max (°C)	Volumen (l)	Anzahl
Trocknen / Entbindern mit Nachverbrennung	Umluft	500	800	2
Kalzination Stack gasdicht	Umluft	700	800	2
Oxidation	Kammerofen	1.000	600	2
Sintern	Kammerofen	1.150	600	2
Entbindern / Sintern kombiniert mit Nachverbrennung	Kammerofen	1.150	600	2

Auslegungsvarianten und auch Platzverhältnisse können den Einsatz anderer Ofentypen, wie z. B. Bottom-Loader und / oder Herdwagenöfen erforderlich machen. THERMCONCEPT liefert ein breites Spektrum unterschiedlicher Ofentypen für eine Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten.



# THERMCONCEPT Kompetenzfelder

## Ofensysteme für die thermische Prozesskette



### Überblick

Für die thermischen Prozesse in der Herstellungsprozesskette der SOFC's liefert THERMCONCEPT diskontinuierliche Ofenanlagen. Der Fokus beim Design der Ofenanlagen liegt auf der Reduzierung der benötigten elektrischen Energie zum Betrieb der Öfen je kW gefertigte SOFC-Leistung.

THERMCONCEPT – Ofenanlagen arbeiten in einem Temperaturspektrum von 100 °C bis 1600 °C.

Das Sortiment umfasst Kammeröfen sowie Herdwagenöfen oder auch Bottom-Loader (Haubenöfen). Die unterschiedlichen Bauformen sind die Voraussetzung für eine bestmögliche Anpassung der Ofensysteme an den Prozess.

Das Design der Brennhilfsmittel und ihre Anpassung an die jeweilige Ofengeometrie ist eine weitere entscheidende Voraussetzung für eine effiziente technische Umsetzung und Automatisierbarkeit der thermische Prozesskette



## THERMCONCEPT Kompetenzfelder

Ofensysteme für die thermische Prozesskette

## Umluft-Kammeröfen KU

Mit horizontaler Umluft – T max. 850 °C



### SOFC-Prozess

- Trocknen, ggf. nach EN 1539
- Kalzinieren katalytischer Schichten
- Baking von Dichtungsmaterial



### Ofenausführung

- Doppelwandiges Gehäuse
- Hitzebeständiger Luftleitkasten
- Hochwertige Heizelemente
- Leistungsstarke Luftumwälzung für eine Temperaturverteilung bis zu +/- 3 K

### Optionen

- Sicherheitspakete für Binder- oder Lösemittelaustrag
- Automatische Zu- und Abluftklappen
- Automatische Kühlsysteme
- Hubtür mit Antrieb
- Thermische oder katalytische Abluftreinigungsanlagen



# THERMCONCEPT Kompetenzfelder

Ofensysteme für die thermische Prozesskette

# Kammeröfen KK

T max 1200 °C



## SOFC-Prozess

- Oxidation von thermisch induzierten Zellaufteilern
- Entbindern & Sintern funktionaler Dünnschichten



## Ofenausführung

- Doppelwandiges Gehäuse
- Schwenktür
- 5-seitige Beheizung
- Zu- und Abluftklappen für Ofenentlüftung

## Optionen

- Mehrzonige Regelung
- Sicherheitspakete für Binder- oder Lösemittelaustrag
- Automatische Zu- und Abluftklappen
- Automatische Kühlsysteme
- Hubtür mit Antrieb
- Thermische oder katalytische Abluftreinigungsanlagen



# THERMCONCEPT Kompetenzfelder

Ofensysteme für die thermische Prozesskette

# Hochtemperatur-Kammeröfen HTK

T max 1600 °C



## SOFC-Prozess

- Entbindern
- Vorsintern
- Sintern
- Kombiprozess „Entbindern & Sintern“

## Ofenausführung

- Doppelwandiges Gehäuse
- Parallel-Schwenktür
- Mehrseitige Beheizung
- Abluftklappen für Ofenentlüftung

## Optionen

- Sicherheitspakete für Binder- oder Lösemittelaustrag
- Automatische Zu- und Abluftklappen
- Automatische Kühlsysteme
- Hubtür mit Antrieb
- Thermische oder katalytische Abluftreinigungsanlagen



# THERMCONCEPT Kompetenzfelder

## Brennhilfsmittel und Trägersysteme



### **Ofenauswahl allein reicht nicht aus:**

Design und Werkstoffe des Besatzaufbaus sind entscheidend für einen stabilen und wirtschaftlichen Prozess.

### **Thermische Belastungen beherrschen:**

Temperaturgradienten verursachen thermische Spannungen, daher bestehen hohe Anforderungen an Thermoschockbeständigkeit der Brennhilfsmittel.

### **Optimierte Prozessführung:**

Sorgfältige Auslegung von Design und Werkstoffen ermöglicht

- kürzere Ofenzyklen
- geringere Fertigungskosten

### **Stoffliche Verträglichkeit sicherstellen:**

Zwischen Produkt und Trägerplatten dürfen keine thermochemischen Reaktionen stattfinden.

### **Praxisnahe Beratung & Planung:**

Frühzeitige, individuelle Beratung bei Auslegung und Spezifikation der Brennhilfsmittel, in Zusammenarbeit mit Lieferanten.

### **Sichere Inbetriebnahme:**

Öfen und Brennhilfsmittel mit abgestimmten Lieferzeiten.

### **Besondere Anforderungen bei SOFC:**

Zweidimensionale dünne Zellen erfordern leistungsfähige Chargier-Systeme für optimierte Bestückung und komplexe thermische Prozesse





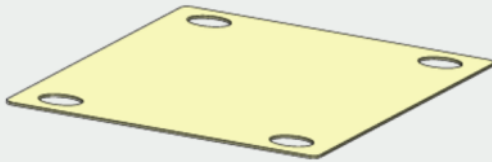
### Geeignete Werkstoffkonzepte:

Monolithische Hochleistungswerkstoffe  
(z. B. für Trägerplatten)

Keramischer Verbundwerkstoffe (OCMC – Oxid  
Ceramic Matrix Composites) mit hoher  
Schadenstoleranz.

### Rack-Design für effiziente Ofenbeschickung:

Grundrahmen (Rack) ermöglichen eine einfache und  
sichere Beschickung, z. B. frontseitig in Kammeröfen  
mittels Hubhilfen.



Beispiel: Trägerplatte (monolithisch)



Besatzaufbau/OCMC

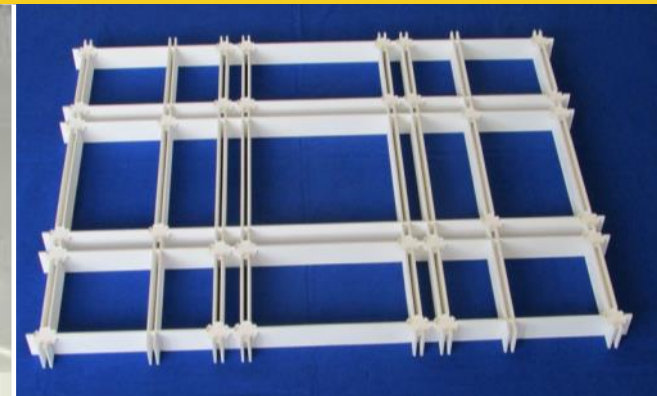
### Tragfunktion des Systems:

Racks tragen die kompletten Aufbauten

- Trägerplatten
- ggf. Beschwerungen
- Produkt

### Hohe mechanische und thermische Belastbarkeit:

Gesamtmassen bis zu **500 kg** pro System, dauerhafte  
Beständigkeit gegenüber **thermomechanischen**  
**Belastungen bis 1.100 °C.**



Unterbau-Rack



Festoxidzellen (SOC) gehören zu den vielversprechendsten Technologien für eine effiziente und klimaneutrale Wasserstoffnutzung. Die keramischen Hochtemperaturzellen erreichen höchste Wirkungsgrade und überzeugen durch Wartungsarmut – zugleich stellen sie hohe Anforderungen an Materialien und Fertigungsprozesse.

THERMCONCEPT deckt die gesamte Kompetenzkette ab: von der präzisen Dimensionierung über den maßgeschneiderten Ofenbau bis hin zum optimalen Design der Brennhilfsmittel. Mit unseren diskontinuierlichen Ofenanlagen reduzieren wir gezielt den Energiebedarf pro gefertigter SOFC-Leistung und setzen Maßstäbe für nachhaltige Produktion.



Wir freuen uns darauf, mit Ihnen gemeinsam effiziente und zukunftsweisende Lösungen zu realisieren.

### Hier finden Sie uns

THERMCONCEPT GmbH  
Friedrich-List-Straße 13a  
28309 Bremen (Germany)

### So erreichen Sie uns

Telefon: +49 (421) 4 09 700  
E-Mail: [info@thermconcept.com](mailto:info@thermconcept.com)

Einen Überblick über unser gesamtes Produktspektrum finden Sie auf unserer Website [www.thermconcept.com](http://www.thermconcept.com).

