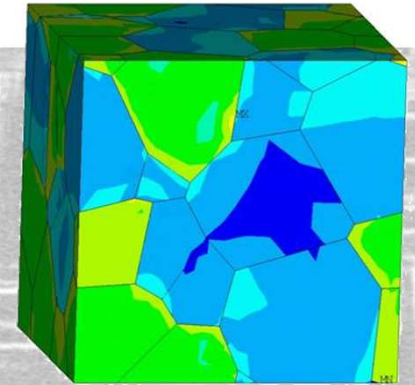


Hochtemperaturprozesse als Schwerpunkt eines Energieeffizienz-Netzwerkes

Gerhard Seifert

Fraunhofer-Zentrum für Hochtemperatur-Leichtbau HTL



The background of the slide is a photograph of a modern building with a distinctive facade of white, geometric, polygonal panels. A large window is visible on the upper part of the building. The sky is blue with white clouds. In the foreground, there are some green trees and wooden posts. A semi-transparent light blue box with a grid pattern is overlaid on the center of the image, containing text.

Fraunhofer-Zentrum für Hochtemperatur-Leichtbau HTL

- **Kurzvorstellung**
- **Forschungsschwerpunkt Energieeffizienz**
- **Idee eines Energieeffizienz-Netzwerkes mit Schwerpunkt Hochtemperaturprozesse**

Fraunhofer-Zentrum für Hochtemperatur-Leichtbau HTL



- **Gründung:** 01.2012
- **Mutterinstitut:** Fraunhofer ISC Würzburg
- **Mitarbeiter:** 80 (40 PJ)
- **Laborfläche:** 2000 m²
- **Haushalt 2015:** 5,18 Mio. €
 - davon 4,43 Mio. € Vertragsforschung
 - 0,75 Mio. € institutionelle Förderung

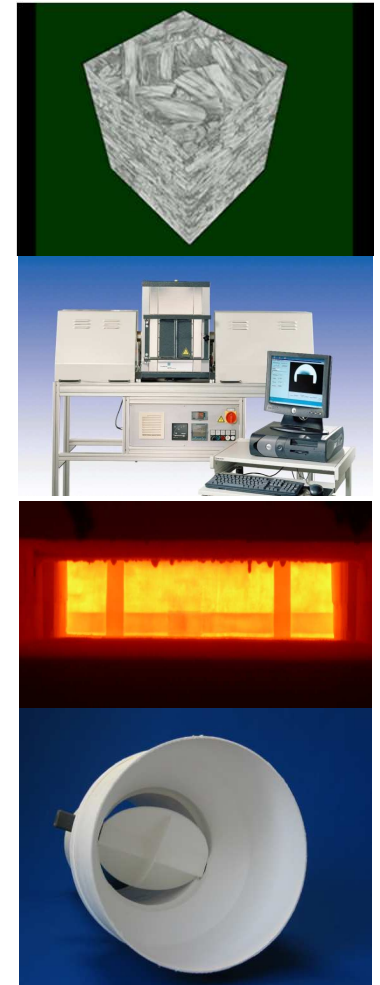
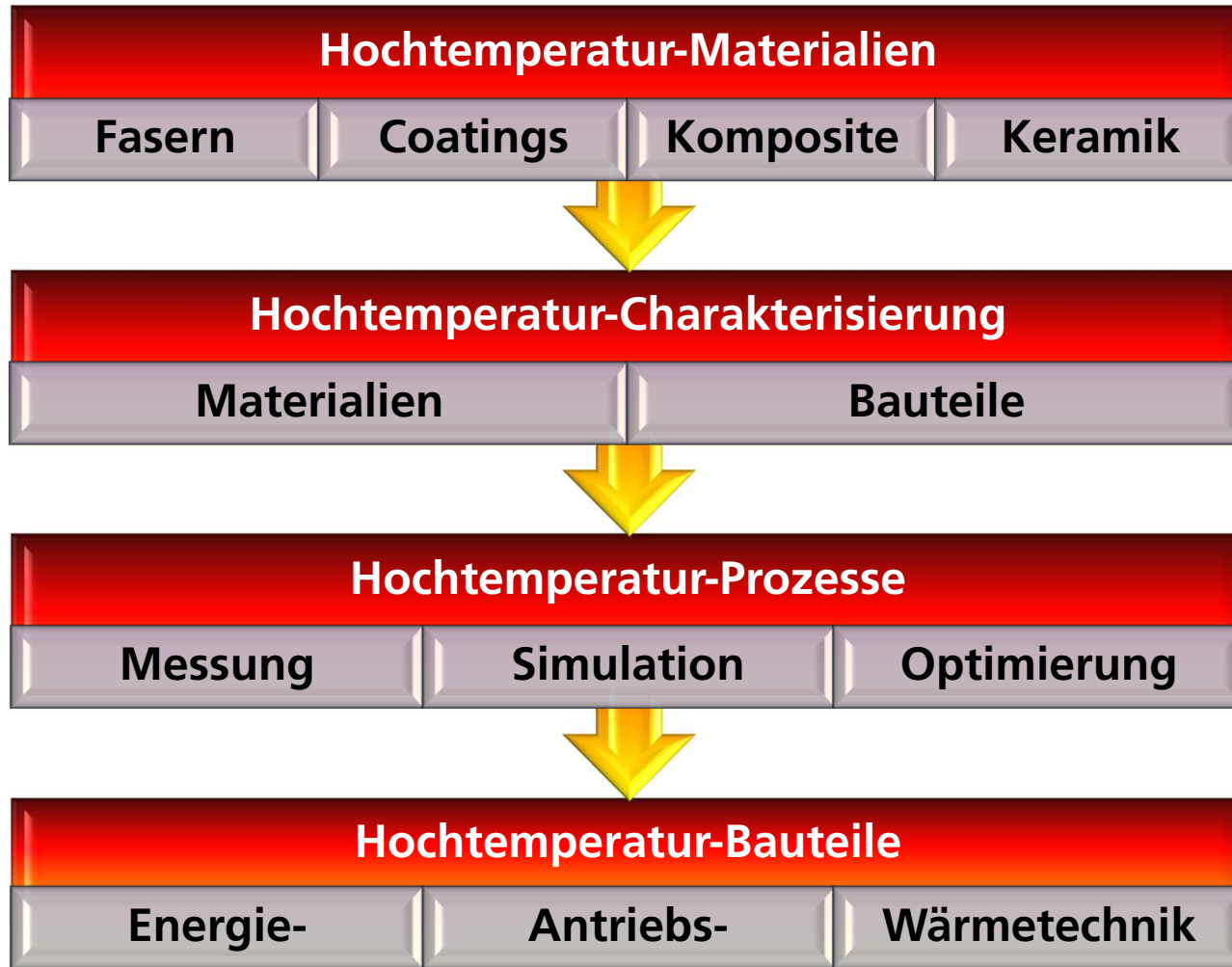
HTL-Neubau in Bayreuth



- Fläche 2600 m²
- davon Technikum: 1300 m²
- Arbeitsplätze 80
- Konferenzräume: 4 (150 TN)



Arbeitsgebiete des Zentrums HTL



The background image shows a modern building with a distinctive geometric, faceted facade made of light-colored panels. A large window is visible on the upper part of the building. The sky is blue with white clouds. In the foreground, there are some green trees and wooden posts. A semi-transparent light blue box with a grid pattern is overlaid on the right side of the image, containing text.

Fraunhofer-Zentrum für Hochtemperatur-Leichtbau HTL

- **Kurzvorstellung**
- **Forschungsschwerpunkt Energieeffizienz**
- **Idee eines Energieeffizienz-Netzwerkes mit
Schwerpunkt Hochtemperaturprozesse**

Optimierung Wärmebehandlung

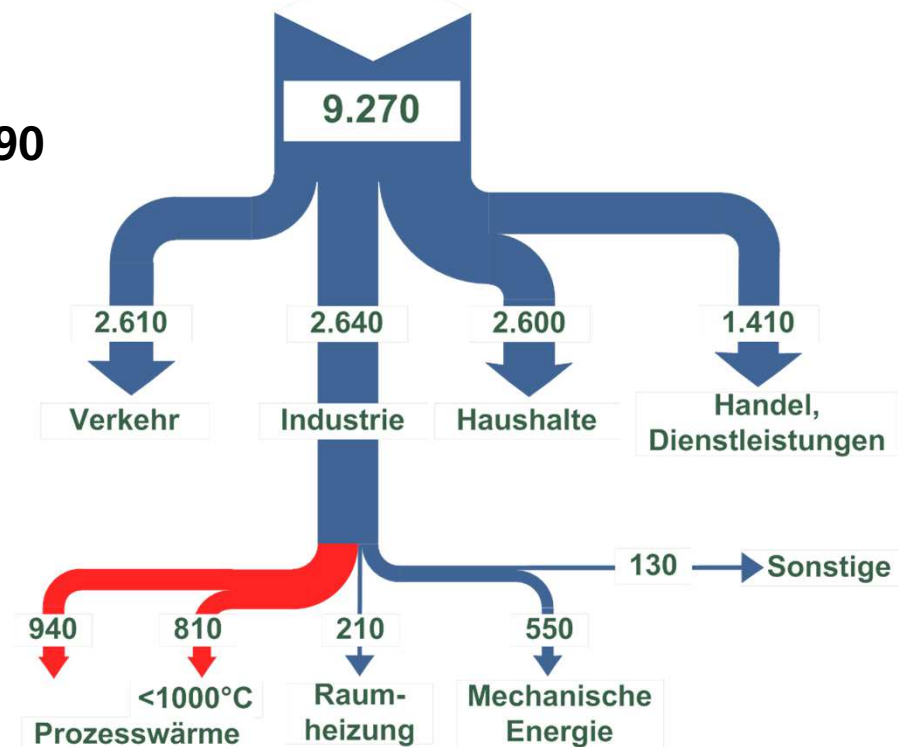
Politische Ziele Bundesregierung

- Absenkung Treibhausgasemissionen
 - 40% bis 2020 gegenüber 1990
 - 80 – 95% bis 2050 gegenüber 1990
- Verschärfung Emissionshandel

Industrielle Anforderungen

- Hohe Produktqualität
- Geringe Prozessstreuung
- Flexible Auslastung der Öfen
- Minimale Prozesskosten
- Hoher Durchsatz

Endenergieverbrauch Deutschland 2013
Einheit PJ=10¹⁵ J



Daten: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 2015

Wärmebehandlung: Vogel- versus Froschperspektive

Produktionsofen

- Energiebilanz
- Gasführung
- Ofentemperatur
- Temperaturverteilung



Kosten- und
Energieeffizienz

Erwärmungsgut

- Lokale Temperatur
- Lokale Atmosphäre
- Reaktionskinetik
- Gradienten im Bauteil



Produktqualität

Optimierung von Hochtemperatur-Prozessen

Wärmebehandlungen

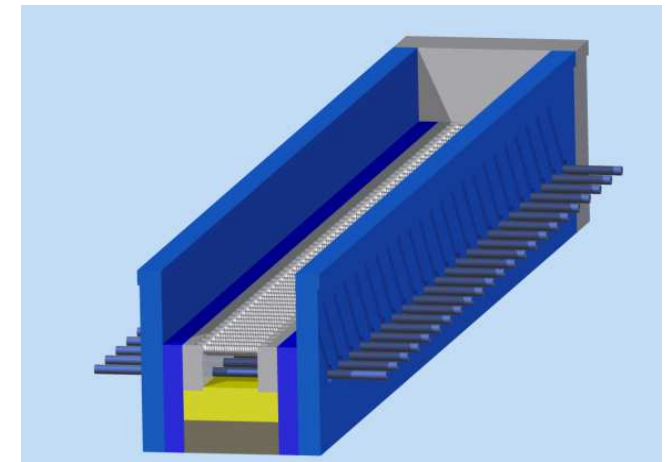
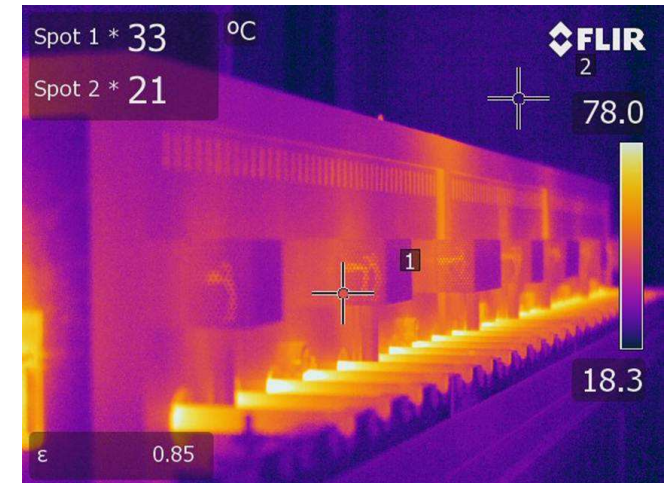
- Trocknung, Dehydratation
- Binderausbrand
- Pyrolyse
- Sinterung
- Schmelzinfiltration

Experimentelle Methoden

- Mobiler Messstand für Produktionsöfen
- HT-Charakterisierung Ofenmaterialien
- In-Situ-Messung Erwärmungsgut

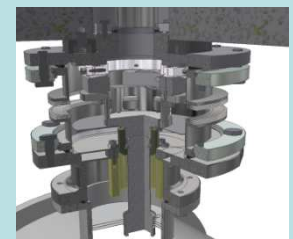
FE-Simulation

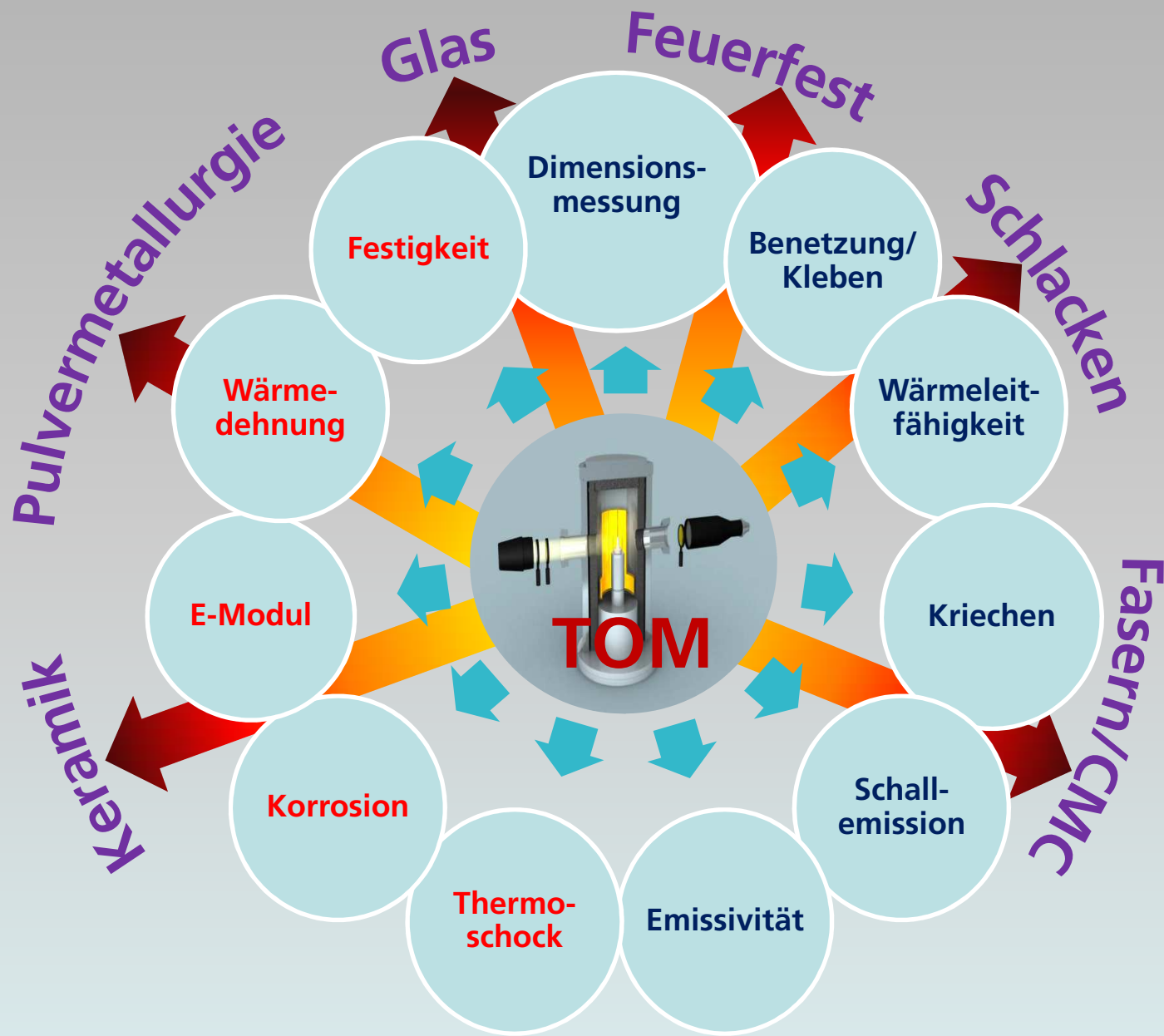
- Produktionsöfen
- Brennstapel
- Erwärmungsgut



Markenzeichen TOM-Anlagen

- 20 Jahre Erfahrung in optischer Hochtemperaturmesstechnik
- Weltweite Spitzenposition bei Dimensionsmessung bei hohen Temperaturen
- Erweiterungen auf Korrosion, Pyrolyse, mechanisches Verhalten:
TOM_chem, TOM_pyr, TOM_wave, TOM_mech
- Erweiterung Industrieofenatmosphären:
Wasserstoff, Überdruck, Gasbefeuerung
TOM_metal, TOM_chem, TOM_gas
- Übertragung der Messergebnisse auf Industrieöfen





Allgemeine Strategie

Nachstellen der Wärmebehandlung im Labormessofen

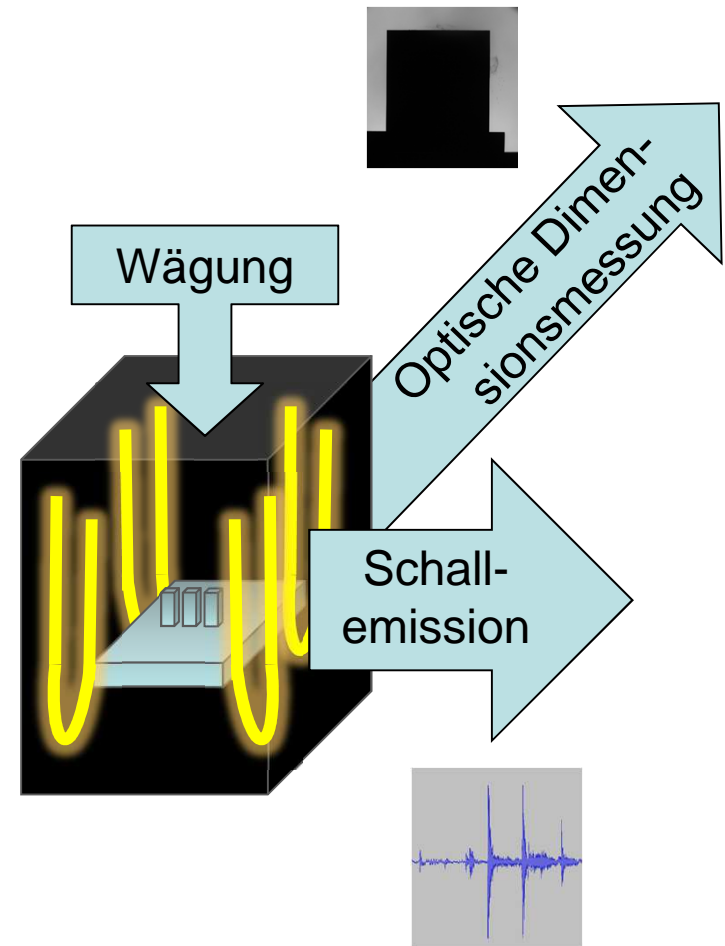
- Ofenatmosphäre exakt reproduzieren
- Temperaturen abgleichen

In-Situ-Messung Materialeigenschaften

- Sinterschwindung
- Masseverlust beim Entbindern
- Schallemission bei Rissbildung ...

Simulation

- Reaktionskinetik
- Wechselwirkung Brenngut – Ofen
- Spannungen...



Multiskalenoptimierung - Sintern

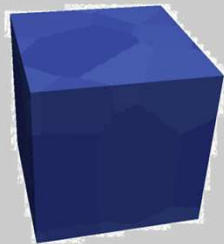
Mikrostruktur

REM/CT

Varianz
Grenzflächenenergie



Mikrostrukturmodell



Homogenität
Zuverlässigkeit

Bauteil

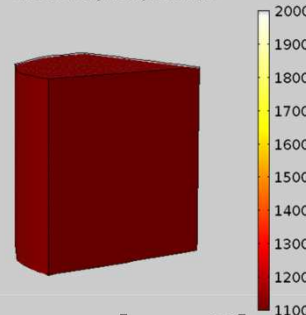
TOM

Schwindung, Kriechen,
Wärmetransport



Thermomechanisches
FE-Modell

Sinterverzug, Temperatur [K]



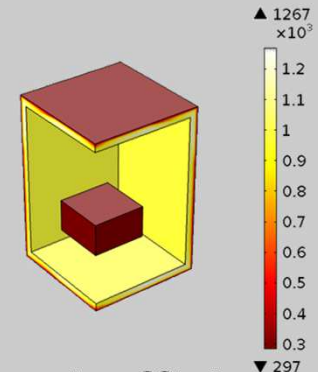
Endformnahes Sintern
Dichtetoleranz

Ofen

Mobiler Messstand
Temperaturverteilung
Gasströmung



Ofenmodell

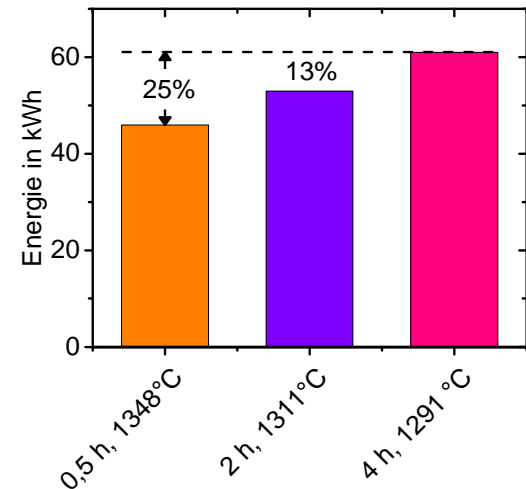
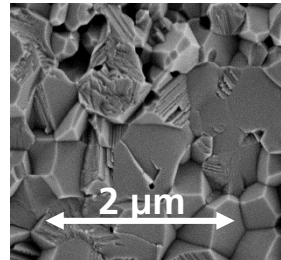
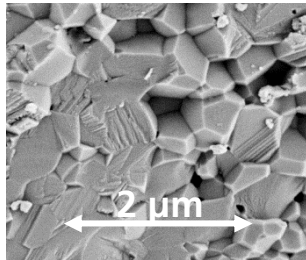
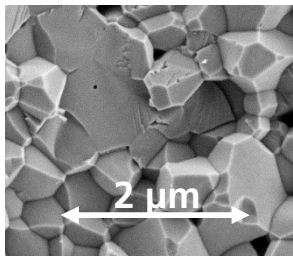


Energieeffizienz
Durchsatz

Beispiel 1: Optimiertes Sintern – Temperatur versus Zeit

Ergebnis:

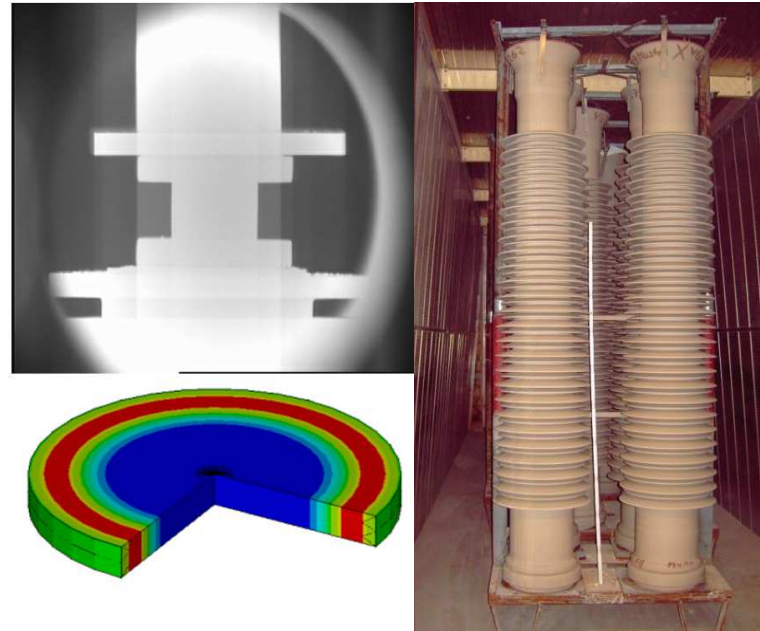
- Einheitliche Enddichte von 99%
- Gefüge zeigen keine Unterschiede
- Hohe Haltetemperatur energetisch optimal, d.h. Wärmekapazität weniger relevant als Wandverluste
- Energieeinsparung: 25 %
- Zeiteinsparung: 25 % (kalt – kalt)



Beispiel 2: Optimierung der Brennkurve von Hochspannungsisolatoren

Lösungsweg

- In-Situ-Messung von Sinterkinetik, Kriecheigenschaften und Wärmeleitfähigkeit, Dehydration und Phasenumwandlung
- FE-Berechnung aller Spannungen beim Wärmeprozess
- Optimierung des Temperaturzyklus



Ergebnis

- Verkürzung der Brenndauer um mehr als 40%
- Isolatoren (Strunkdurchmesser ca. 0,3 m, Höhe 2 m) zeigen keine Festigkeitseinbußen!
- Deutliche Einsparung bei den Brennkosten

The background of the slide is a photograph of a modern building with a distinctive geometric, faceted facade. The building is light-colored with dark window frames. A tree with green leaves is visible on the right side. The sky is blue with some white clouds. A semi-transparent light blue box with a grid pattern is overlaid on the center of the image, containing the text.

Fraunhofer-Zentrum für Hochtemperatur-Leichtbau HTL

- **Kurzvorstellung**
- **Forschungsschwerpunkt Energieeffizienz**
- **Idee eines Energieeffizienz-Netzwerkes mit
Schwerpunkt Hochtemperaturprozesse**

Idee: Energieeffizienz-Netzwerk mit Schwerpunkt Hochtemperaturprozesse

- **Potenzielle Teilnehmer: Alle produzierenden Unternehmen, die (mindestens) einen energieintensiven Ofenprozess einsetzen**
- **Fraunhofer HTL übernimmt im EEN die Beratung spezifisch für die Hochtemperaturprozesse**
- **ggf. weiterer Dienstleister für allgemeine Energieberatung**
- **Fraunhofer HTL führt bei jedem Netzwerk-Teilnehmer eine Potenzialanalyse für den energieintensivsten Ofen durch (Vor-Ort-Termin, mobiler Messstand)**
- **Ergebnis als Übersichtsdarstellung der Energieströme und -verluste (Sankey-Diagramm)**
- **optional: tiefergehende Analysen und Prozess-Optimierungen nach individueller Vereinbarung**

Potentialanalyse Industrieöfen durch Fraunhofer HTL

Mobiler Ofenmessstand

- Wärmeflussmessung Außenhaut
- Temperaturverteilung Innenraum
- Gaszusammensetzung, Gasfluss
- Identifikation von Wärmelecks (Wärmebildkamera)



Simulationsmethoden

- FE-Simulation Wärmefluss (Wärmeleitung, -konvektion, -strahlung)
- HT-Messung thermische Materialeigenschaften (Wärmeleitfähigkeit, Emissivität, Wärmekapazität)
- Multiskalensimulation



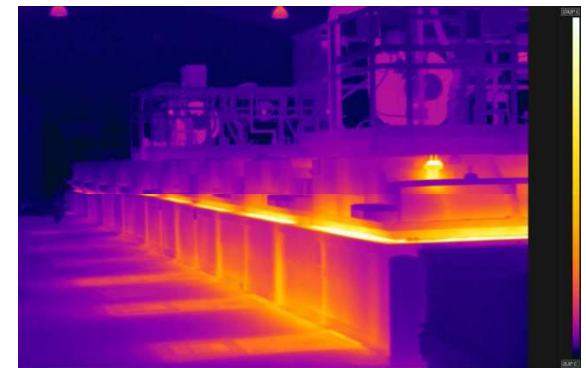
Optional: Optimierung von Wärmeprozessen

Wärmeprozesse

- Trocknung, Entbinderung, Dehydratation
- Schmelzinfiltration, Sinterung
- Vergütungsprozesse

Schritte zur Optimierung

- In-Situ-Messung Erwärmungsgut in TOM-Öfen
- Berechnung optimierter Prozessparameter
 - Maximierung Durchsatz
 - Minimierung Energieverbrauch
 - Minimierung Ausschussraten
- Rückübertragung auf Industrieofen



Idee: Energieeffizienz-Netzwerk mit Schwerpunkt Hochtemperaturprozesse

- Ansprechpartner beim Fraunhofer HTL, Bayreuth:

Dr. Gerhard Seifert
Gottlieb-Keim-Straße 62
95448 Bayreuth
0921/78510-350
gerhard.seifert@isc.fraunhofer.de

A large group of approximately 30 people, including men and women of various ages, are posing for a group photo in front of a modern building. The building features a prominent facade of white, geometric, faceted panels interspersed with dark-framed windows. The group is arranged in several rows on a paved area. A semi-transparent blue banner with a fine grid pattern is overlaid across the middle of the image, containing the text 'Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!' in a bold, red, sans-serif font. To the right of the group, a man with long hair and a beard, wearing a green polo shirt and dark shorts, stands on a dark, perforated metal grate. A young tree with green leaves is visible on the right side of the frame.

**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!**