
Feldaktiviertes Sintern (FAST) von keramischen Werkstoffen

J. Räthel, M. Herrmann Fraunhofer IKTS

H.U. Kessel, FCT Systeme GmbH



Fraunhofer Institut
Keramische Technologien
und Systeme

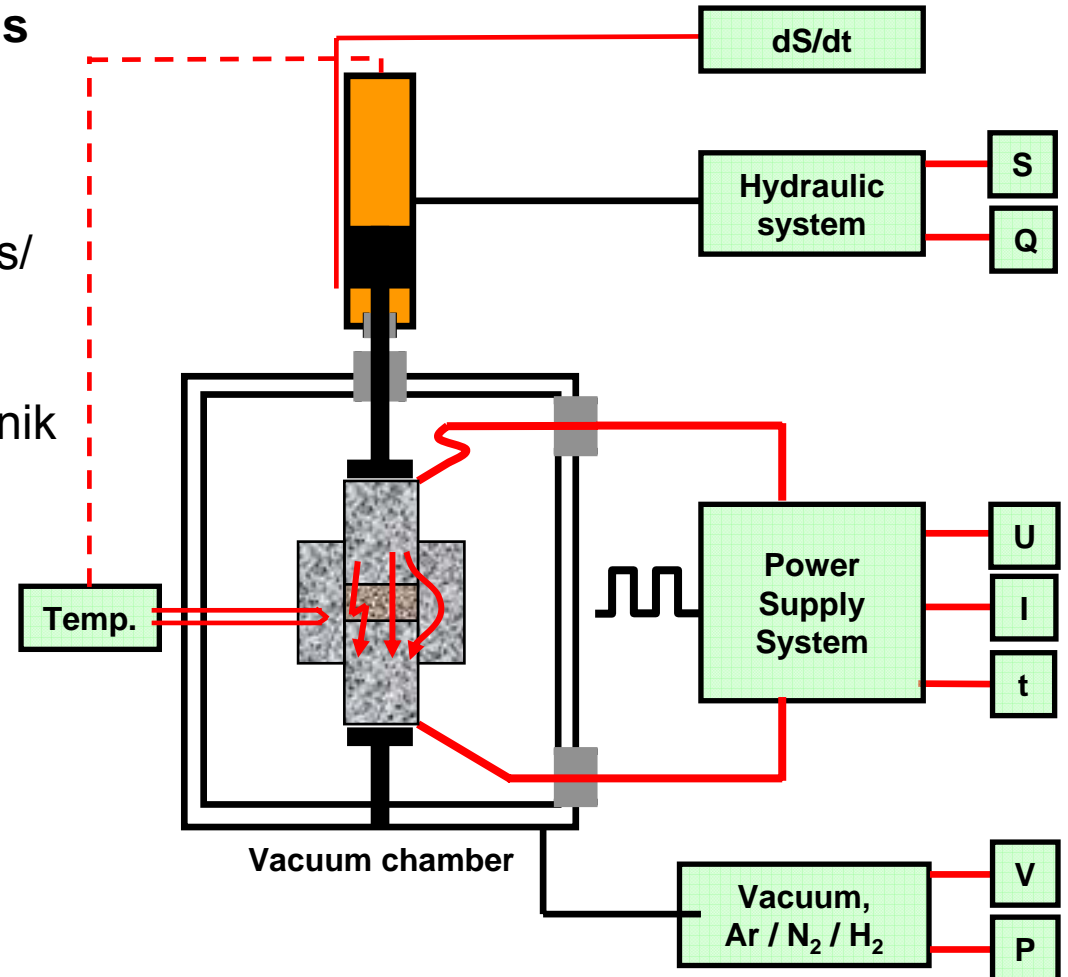
Inhalt

- **Einleitung, Historie**
- FAST/ SPS Temperaturmessung/ FEM Simulation
- FAST/ SPS Weiterentwicklungen und Möglichkeiten
- Zusammenfassung

Stand der Technik

Komponenten eines FAST/ SPS Systems

- Uniaxiales Presssystem
- Presswerkzeug (Isogرافit, CFC, Cermets/ Metalle, Oxide)
- Temperaturgesteuerte Leistungselektronik (variable pulsable Gleichstromquelle)
- Prozessraum (Vakuum, Ar, N₂, H₂)
- Auswertemöglichkeit (EDV gestützt)



Seite 3

Einleitung

Field Assisted Sintering Technology (FAST), Spark Plasma Sintering (SPS)

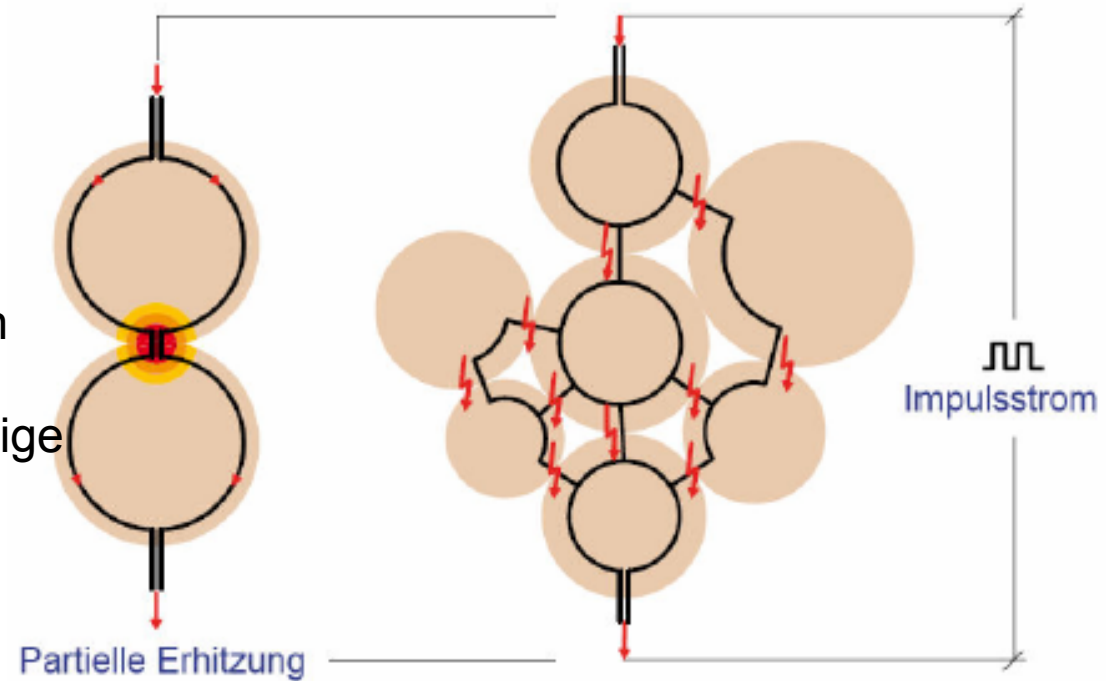
- Modifizierte Heißpresstechnologie, höhere Heizraten, schnellere Zykluszeiten
- Direkte elektrische Beheizung von Sintergut und/ oder Presswerkzeug
- Stark verringerte(s) Kornwachstum/ Diffusionsprozesse
- Neue Material- Eigenschaftskombinationen
 - Nanostrukturierte,
 - Funktional gradierte Werkstoffe,
 - Nichtgleichgewichtskomposite und
 - Transparente Keramiken
- Erweiterung des Eigenschaftsspektrum klassischer keramischer Werkstoffe



Historie, FAST Theorie, Stand der Technik

Theorie für eine elektrisch leitfähige Pulverschüttung (nach Tokita, 1993)

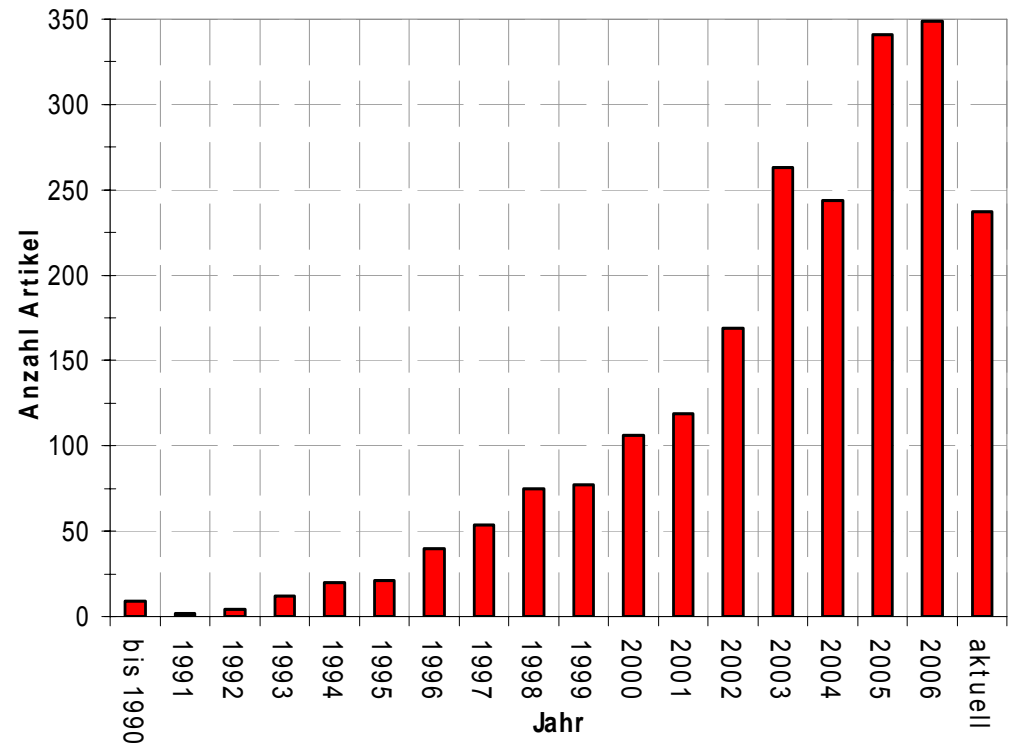
- Punktförmige Berührung + hohe Stromdichten → punktuelle Aufschmelzungen (Elektromigrationsprozesse)
- Bei vorhandener Oxidhülle
 - Ionisation der Gasteilchen der Umgebung
 - Mikroplasmaentladungen
 - Entfernung der Oberflächenschichten
- Bessere Sinterbarkeit für elektrisch leitfähige Werkstoffe
- Modell für elektr. leitfähige Materialien, Keramiken sind dies oft nicht!



Einleitung

Geschichte/ Gegenwart

- FCT – 12 Anlagen in Europa
- SPS Syntex Inc. 4 Anlagen in Europa und
- 300 Anlagen hauptsächlich in asiatischen Raum
- ca. 400 wissenschaftliche Publikationen werden 2007 erwartet



Taylor,Engle,
Cremer

Inoue, Boesel

Sumitomo

12 FCT Anlagen in
Europa bis Ø300mm

Hybridtechnologie

30er

60/70er

Mitte 90er

Heute

Zukunft

20. Jahrhundert

21. Jahrhundert

Seite 6

Inhalt

- Einleitung, Historie
- **FAST/ SPS Temperaturmessung/ FEM Simulation**
- FAST/ SPS Weiterentwicklungen und Möglichkeiten
- Zusammenfassung

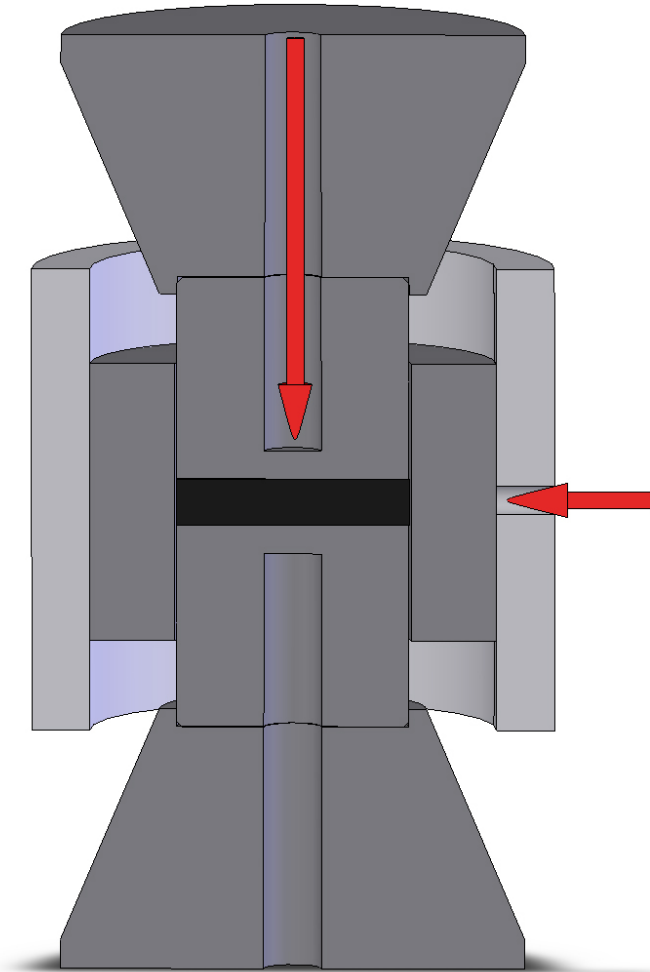
Temperaturmessung/ FEM Simulation

Werkzeugdesign

- Temperaturverteilung im Werkzeug wird bestimmt durch
 - Werkzeuggeometrie (Durchmesser, Querschnitte,...)
 - Kombination aus temperatur- (und druck-abhängigen) Werkzeugwerkstoffeigenschaften
 - Geringe „thermische Masse“
 - Strahlungsschutz

Temperaturmessung

- Axiales Steuerpyrometer bei FCT Anlagen (Pyrometer 1)
- Radiales Matrizenpyrometer (Pyrometer 2) für Syntex Anlagen



Seite 8

Temperaturmessung/ FEM Simulation

Temperaturmessung an Modellmaterialien

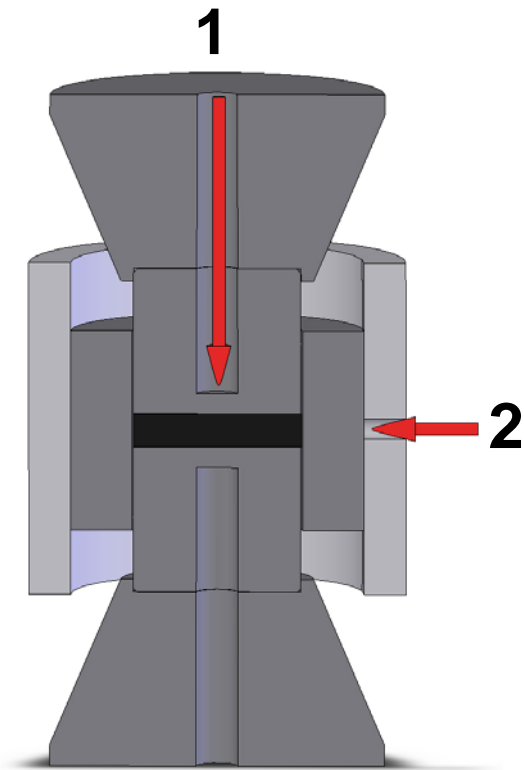
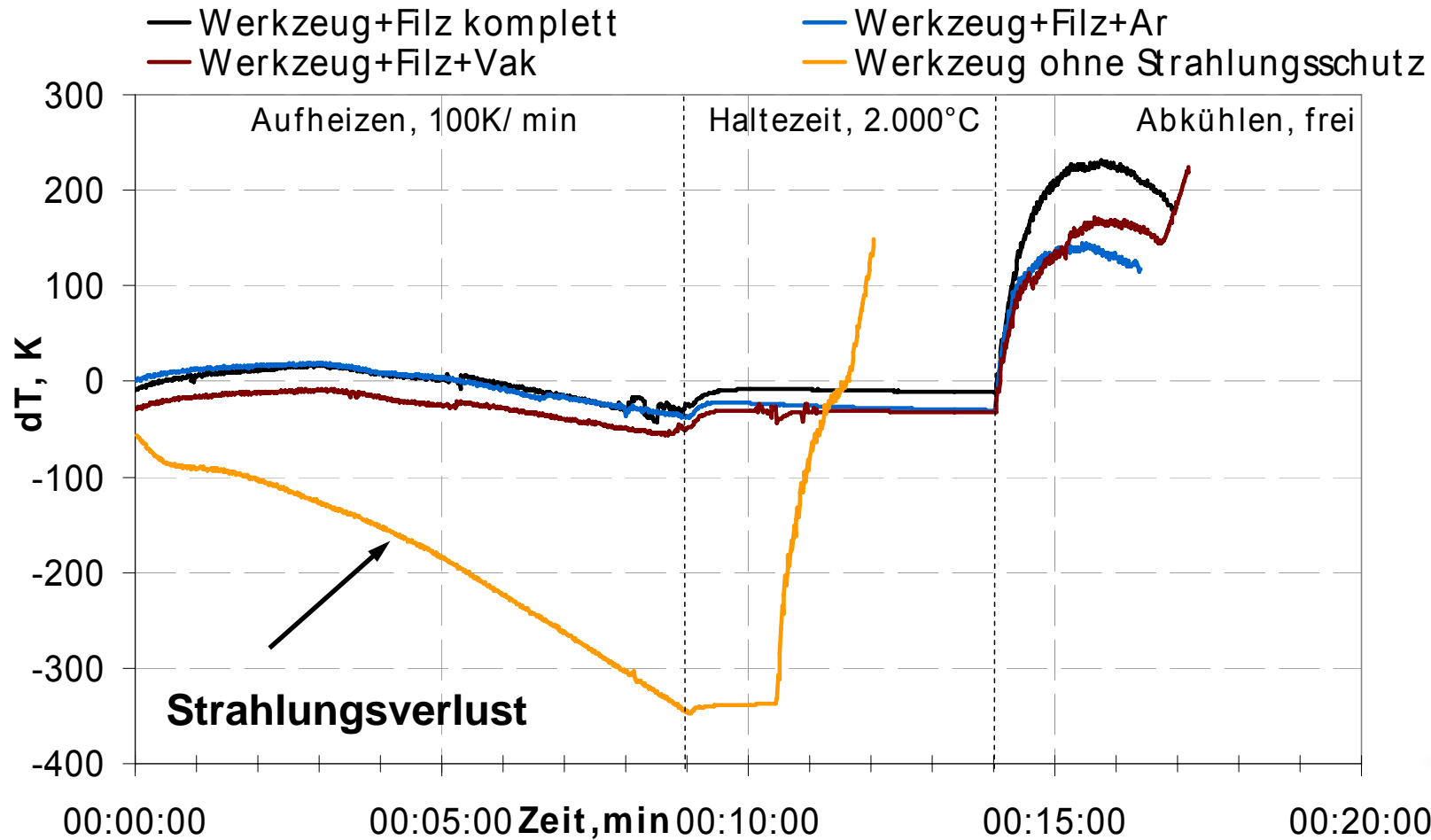
- elektrisch leitfähiger Werkstoff – Wolframcarbide (H.C. Starck, 99,9%)
- elektrisch nicht leitfähiger Werkstoff – Siliciumnitrid (Silzot® HQ, $2Y_2O_3$, $2Al_2O_3$)

mit Auswirkungen auf

- Temperaturverteilung in Werkzeuge und Sintergut
- Sinterverhalten
- Materialeigenschaften, Phasenbildung (z.B. α/β Gehalt Si_3N_4)

Temperaturmessung/ FEM Simulation

Temperaturdifferenz zwischen Pyrometer 2 und Pyrometer 1 für Wolframcarbid

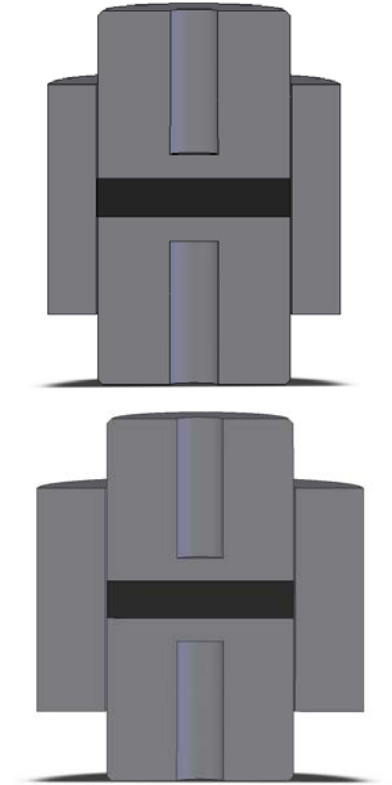
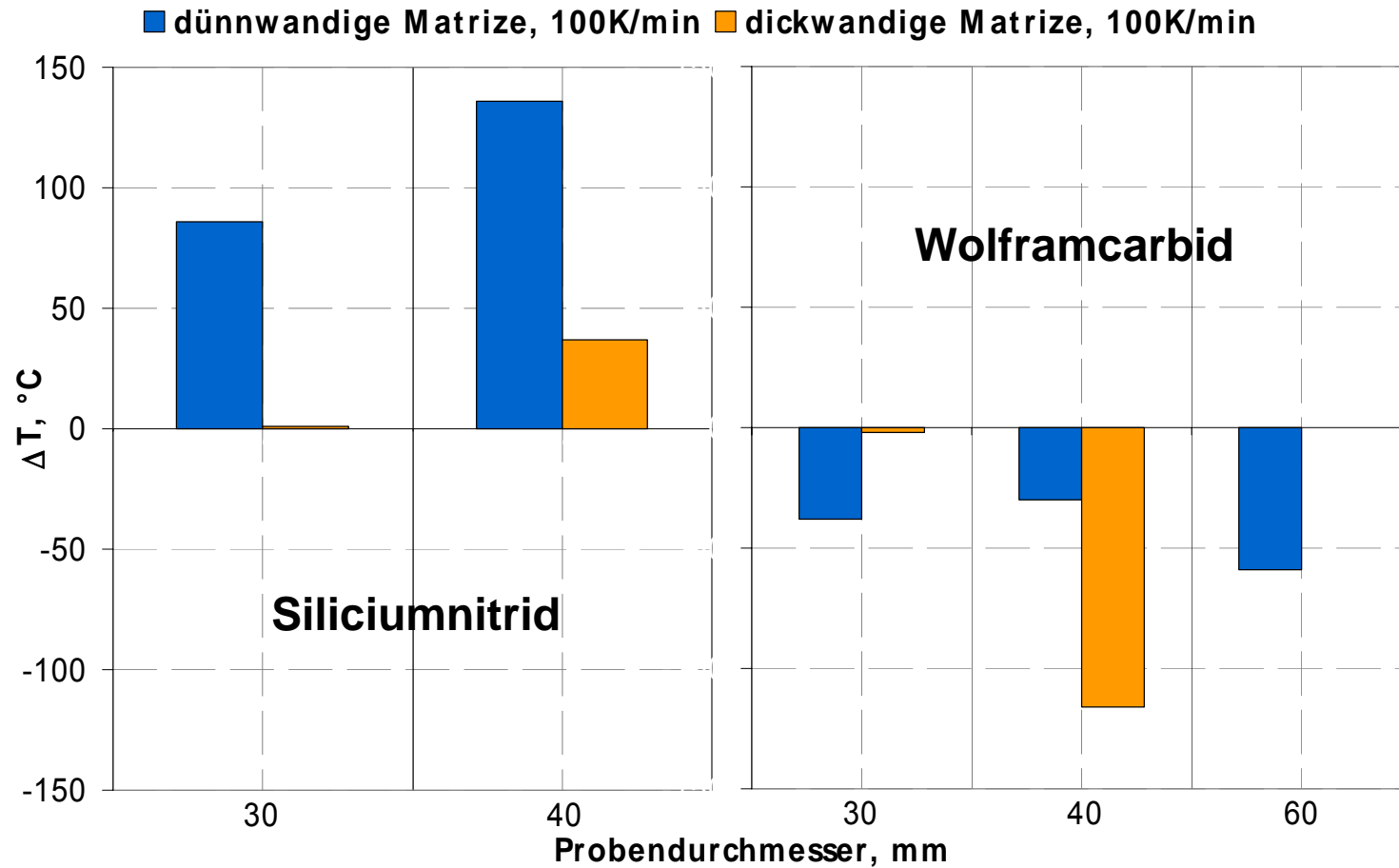


Archivierungsangaben

Seite 10

Temperaturmessung/ FEM Simulation

Temperaturdifferenz zwischen Pyrometer 2 und Pyrometer 1 während der isothermen Haltezeit bei 1.750 (Si_3N_4) und 2.000°C (WC)

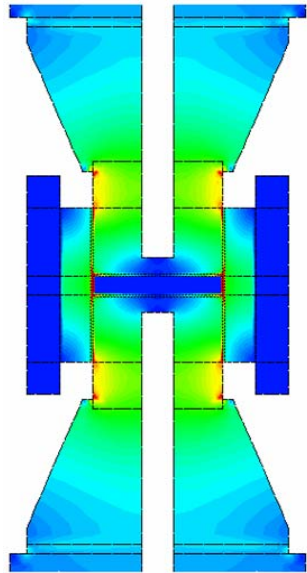


Temperaturmessung/ FEM Simulation

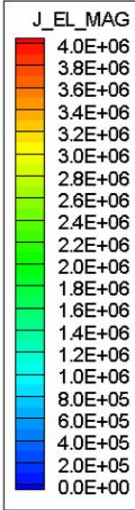
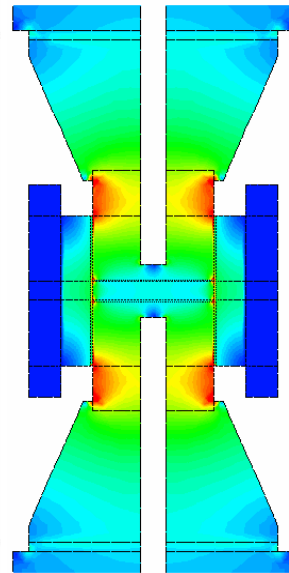
FEM Modellierung

- wichtiges Hilfsmittel zum Design eines FAST, SPS Werkzeugs
- Verständnis der Strukturbildung/ Gradienten im Werkstoff

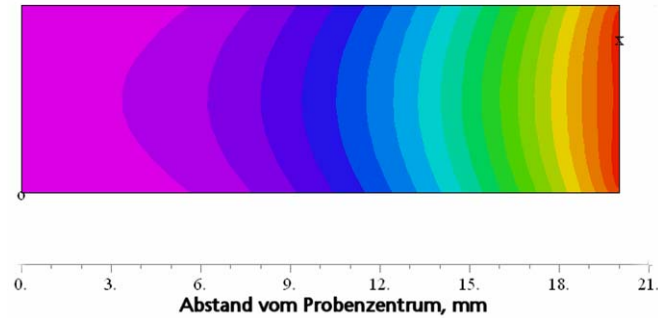
Siliciumnitrid



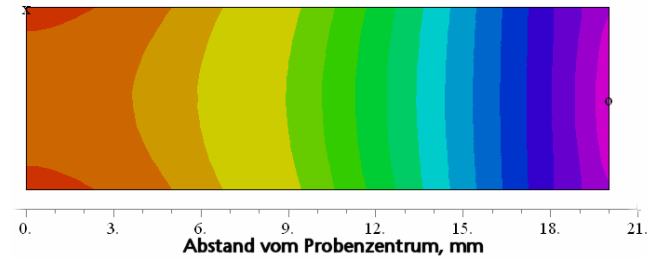
Wolframcarbid



Siliciumnitrid

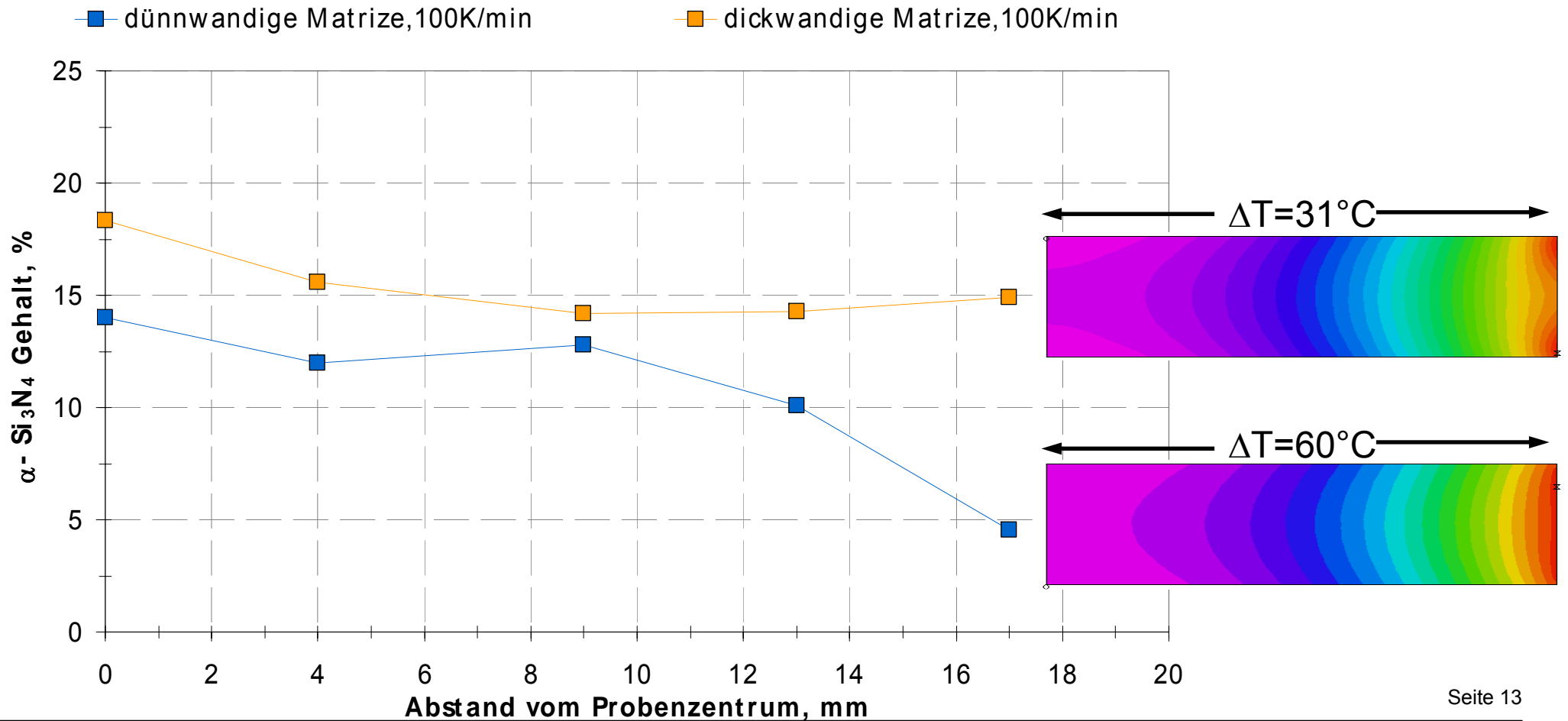


Wolframcarbid



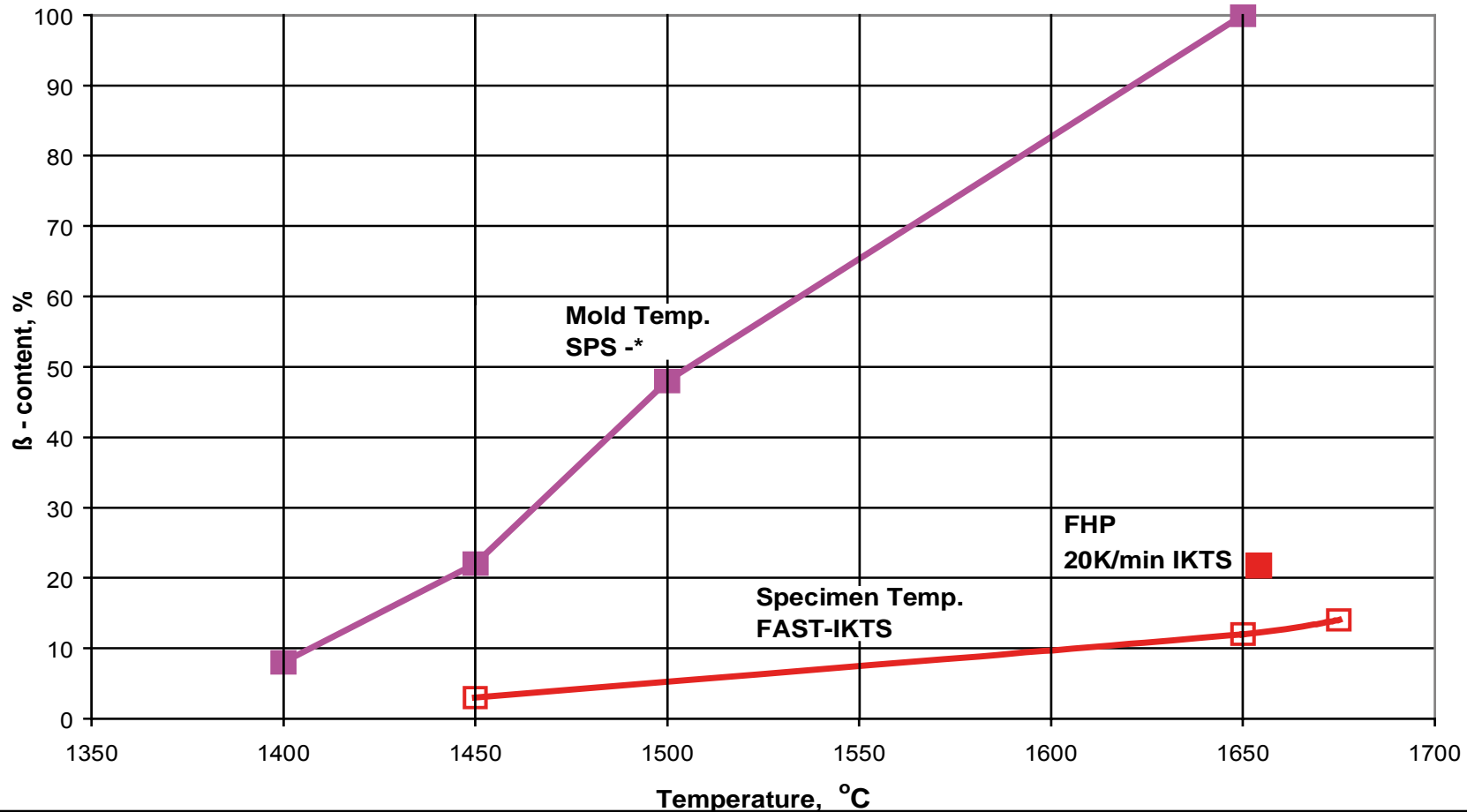
Temperaturmessung/ FEM Simulation

α - Siliciumnitridgehaltes als Funktion der Matrizenwandstärke



Temperaturmessung/ FEM Simulation

β - Siliciumnitridgehalt an identischen Si_3N_4 - Versätzen in FCT und Syntex SPS Anlagen gesintert

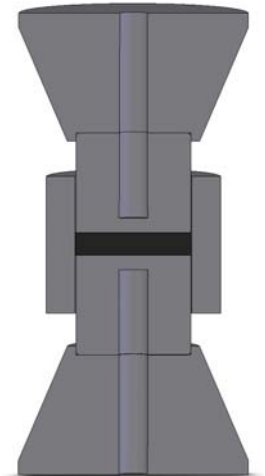
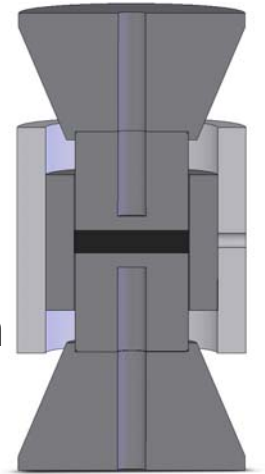


* Zhijian Shen
Department of Inorganic
Chemistry, Arrhenius
Laboratory,
Stockholm University, S-106
91 Stockholm, Sweden

Temperaturmessung/ FEM Simulation

Vergleichbarkeit von Literaturdaten

- verschiedene Temperaturmessstellen verweisen auf unterschiedlich hohe Sintertemperaturen
- unterschiedlich und unzureichend beschriebene Werkzeugaufbauten führen zu
 - örtlichen Stromdichtenunterschieden im Werkzeug
- Größe des Werkzeugs bestimmt Leistung und die zu heizende „thermische Masse“
- Strahlungsschutz (Grafitfilz)



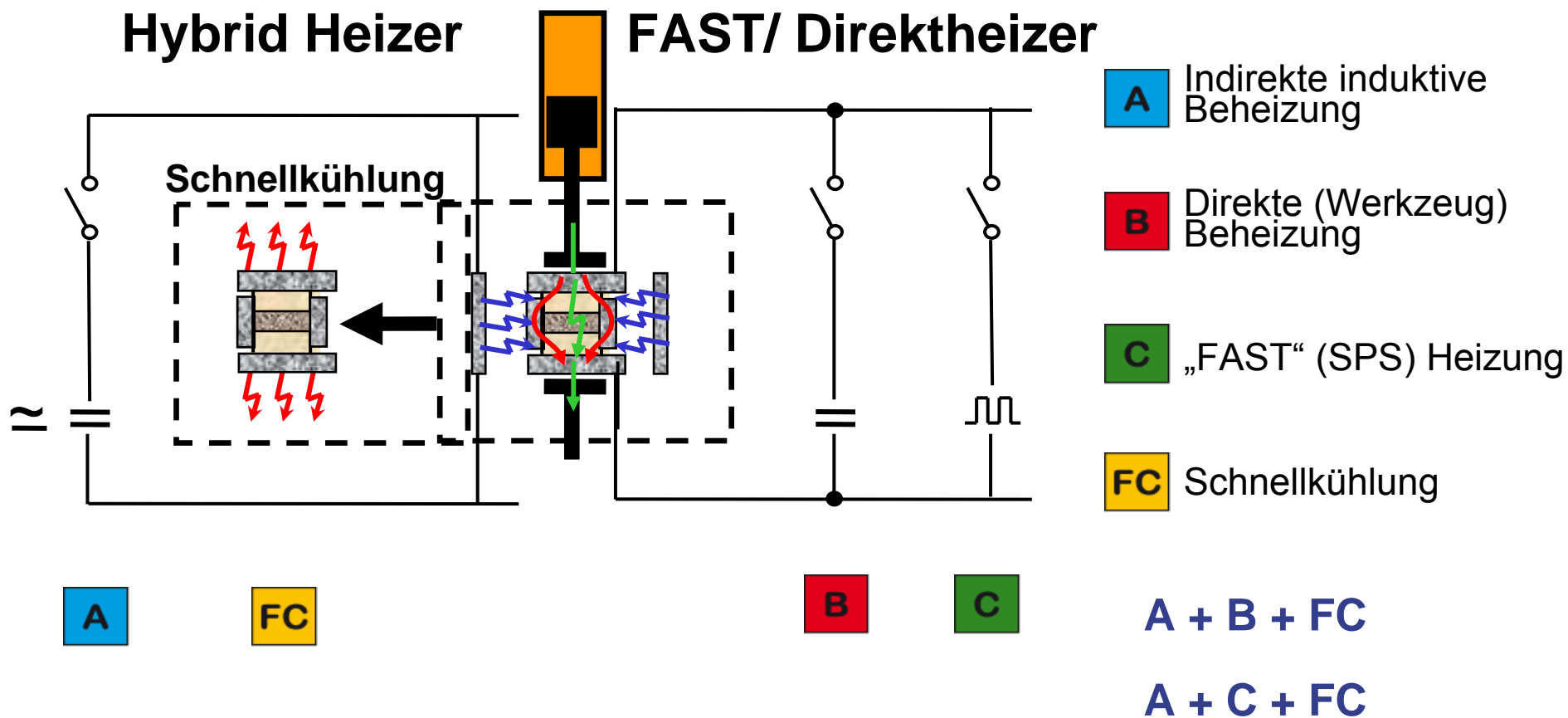
Seite 15

Inhalt

- Einleitung, Historie
- **FAST/ SPS Temperaturmessung/ FEM Simulation**
- FAST/ SPS Weiterentwicklungen und Möglichkeiten
- Zusammenfassung

FAST/SPS Weiterentwicklungen und Möglichkeiten

Hybrid- Heiz- Technologie



Archivierungsangaben

FAST/SPS Weiterentwicklungen und Möglichkeiten

Hybrid System HHPD 600 (under Construction)



Max. Durchmesser	Ø500 mm
Presskraft	60...6000 kN
Stempelweg	0...300 mm
Stempelgeschwindigkeit	0...4 mm/s
Temperatur	RT...2200°C
Gasdruck	$5 \cdot 10^{-2}$...1100 mbar
Pulsspannung	0...20 V
Pulsstrom	0...60.000 A
SPS Leistung	800 kW
Hybridheizer	200 kW
Pulslänge	1...1000 ms
Pausenzeit	0...1000 ms

Seite 18

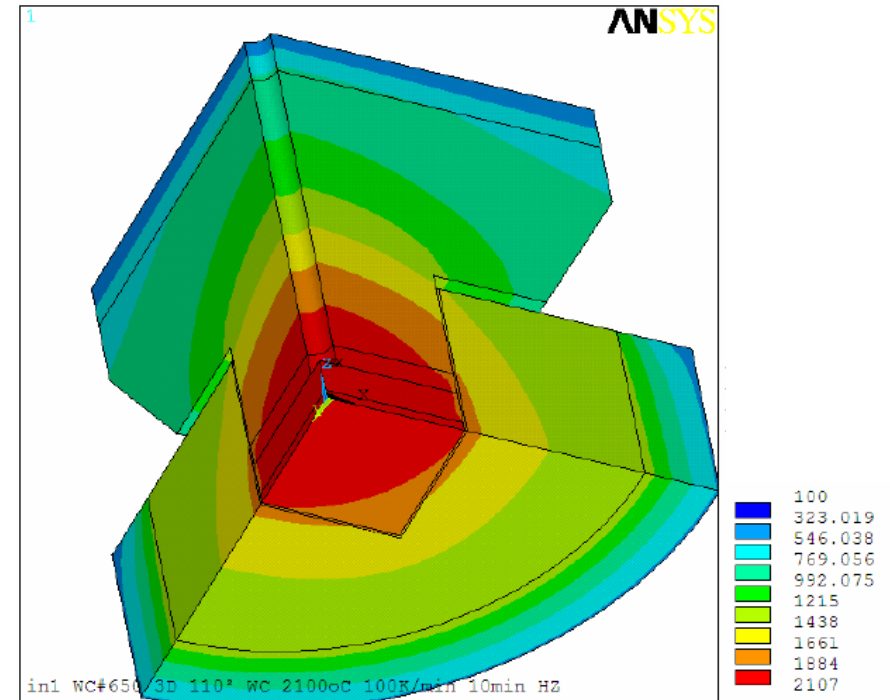
FAST/SPS Weiterentwicklungen und Möglichkeiten

Verwendung der FAST/ SPS als schneller Heizer

- Benutzung des Presswerkzeuges als Schnellsinterraum für komplex geformte Teile

Vielfachwerkzeuge, komplexe Geometrien

- Entwicklungsaufwand enorm
- reale 3D Simulation notwendig
- Materialkombinationen (CFC, Isografite) notwendig

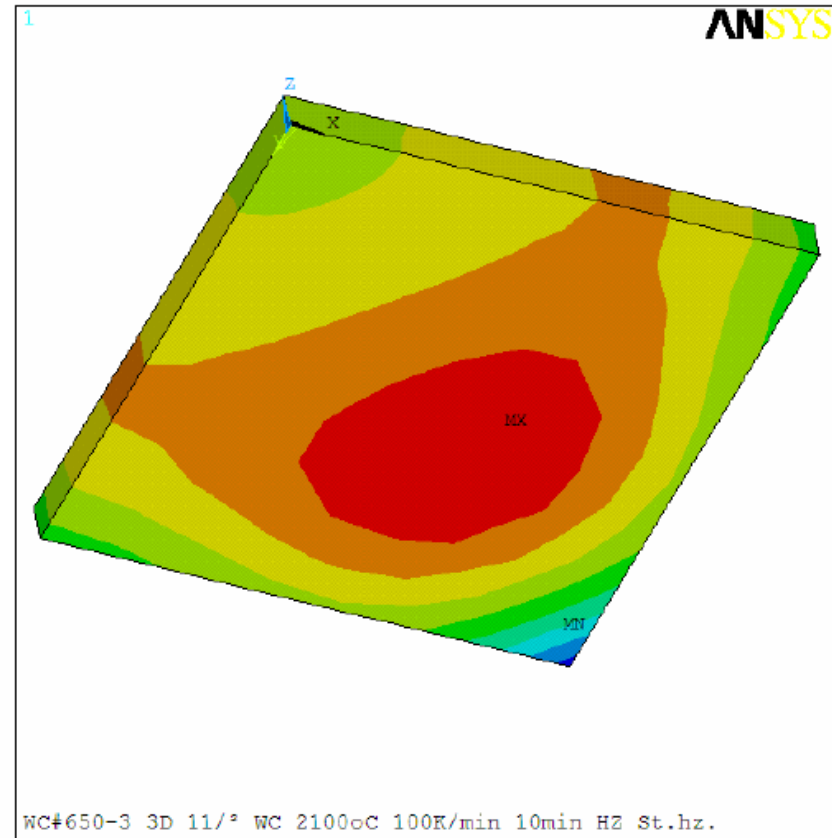
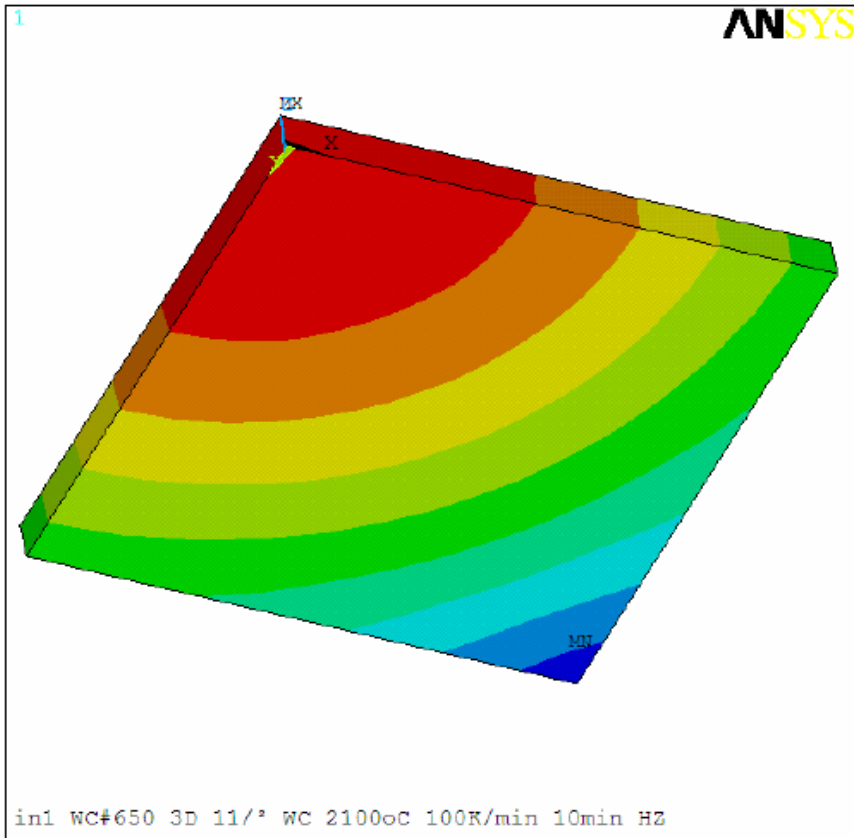


© FCT Systeme GmbH

Seite 19

FAST/SPS Weiterentwicklungen und Möglichkeiten

FEM Simulation quaderförmiges Bauteil, Variation Werkzeuggeometrie, Werkzeugmaterialien



2.075°C

2.178°C

© FCT Systeme GmbH

© FCT Systeme GmbH

Seite 20

Archivierungsangaben

Inhalt

- Einleitung, Historie
- Stand der Technik
 - FAST Theorie
 - Ergebnisse zur Temperaturmessung
 - Heutige Anlagentechnik
- FAST/SPS Weiterentwicklungen und Möglichkeiten
- **Zusammenfassung**

Zusammenfassung

FAST/ SPS Technologie

- Verkürzte Taktzeiten, höhere Produktivität
- sehr variable einsetzbar (FAST/ SPS, Hybridsystem, druckfreies Schnellsintern)
- bei elektrisch leitfähigen Materialien sehr große Bauteile realisierbar (bis $\varnothing 500\text{mm}$)
- Temperaturhomogenität bei elektrisch nichtleitfähigen Werkstoffen?

FAST/ SPS Erzeugnisse

- Neue Materialsysteme und Eigenschaften herstellbar → Erweiterung des Eigenschaftsspektrum keramischer Werkstoffe
- rotationssymmetrische und reelle 3D- Geometrien herstellbar (Quader)

niedrigere Produktionskosten – verbesserte Materialeigenschaften – neue Anwendungen

Seite 22

Herzlicher Dank gebührt

J. Hennicke

Danke für Ihre Aufmerksamkeit