

Spritzgusswerkzeuge mit keramischen Formbereichen zur prozessintegrierten induktiven Erwärmung von Einlegeteilen



Dipl.-Ing. M. Maier ¹

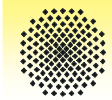
Dipl.-Ing. R. Landfried ²

Prof. Dr.-Ing. W. Schinköthe ¹

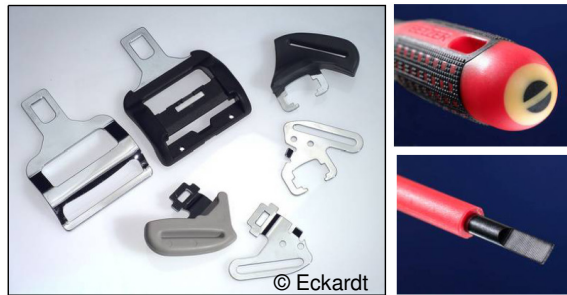
Prof. Dr. Dr. h.c. R. Gadow ²

¹ Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik (IKFF)

² Institut für Fertigungstechnologie keramischer Bauteile (IFKB)



Werkzeuginternes Vorheizen von stählernen Einlegeteilen mittels Induktionserwärmung



Hybrid-Bauteile

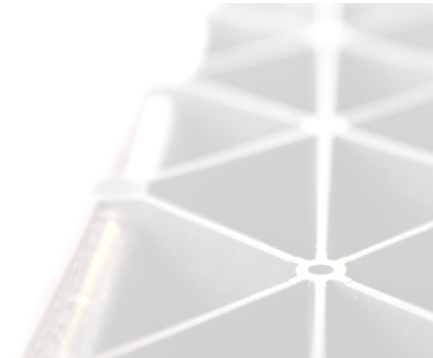
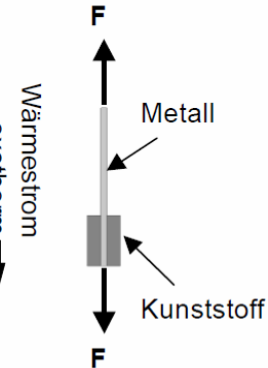
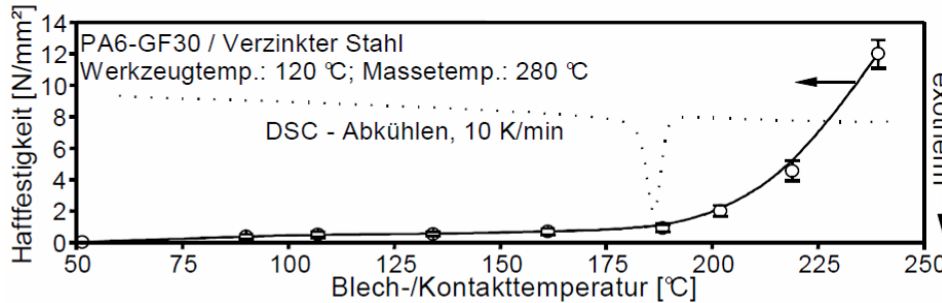


Zugscherversuch

Forschungsvorhaben:



Motivation



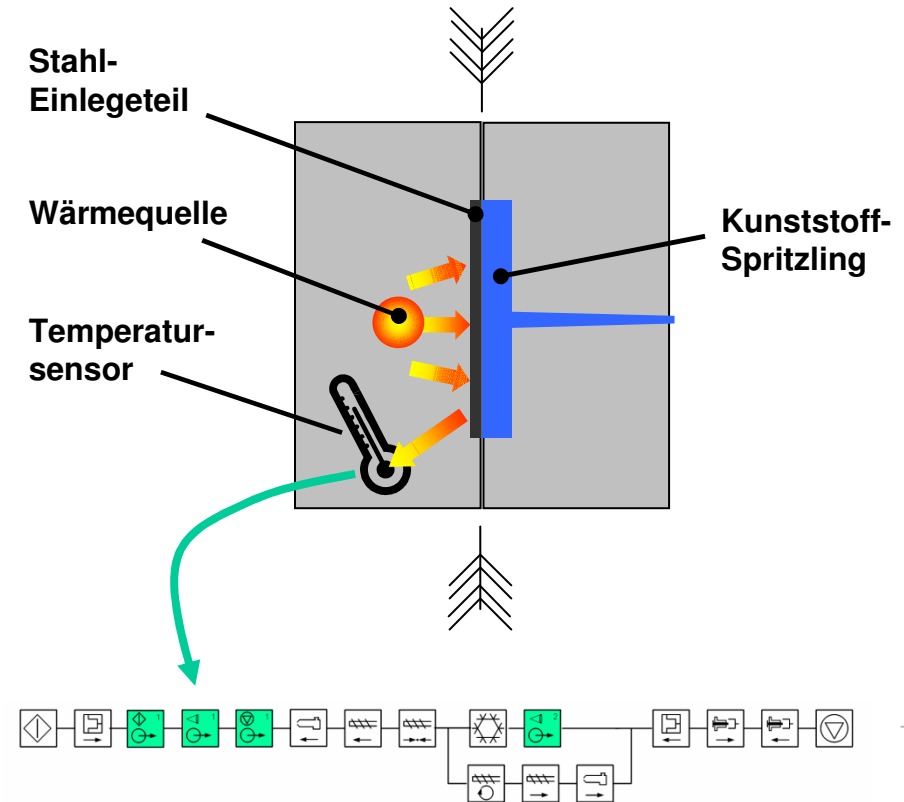
- Vorwärmen der Einlegeteile verbessert die Verbundhaftfestigkeit
- Für sicheren Prozess reproduzierbares Temperaturprofil essentiell

Ziel: Werkzeugintegriertes Heizsystem zur geregelten Erwärmung metallischer Einlegeteile im Spritzgießprozess

Werkzeuginternes Vorheizen von Einlegeteilen

Idee

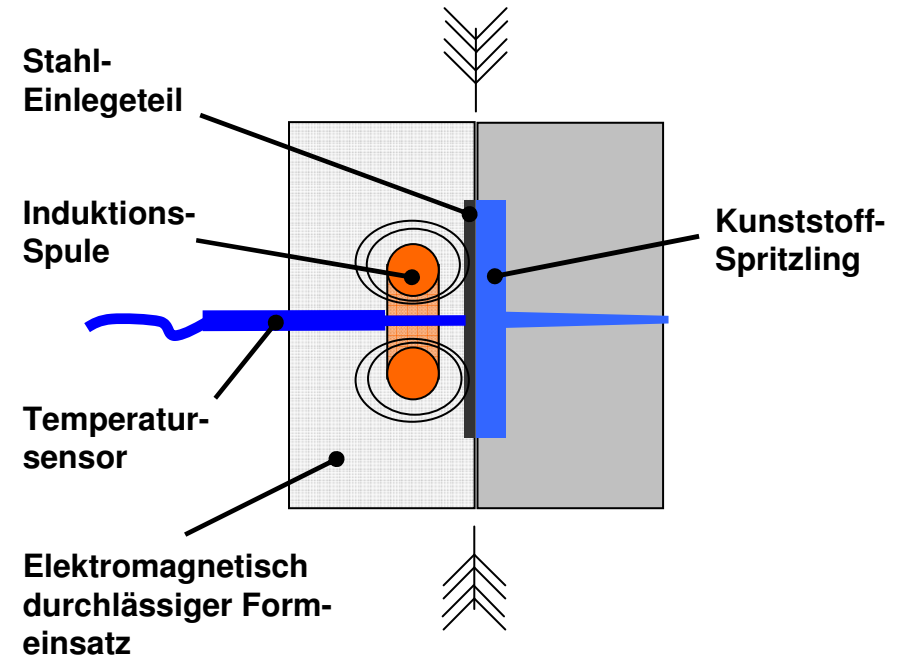
- Vorheizen des Einlegeteils bei geschlossenem Werkzeug
- Prozessregelung über die gemessene Einlegeteiltemperatur
- Direkte Einbindung in die Steuerung der Spritzgießmaschine
- Beschränkung der Erwärmung auf das Einlegeteil

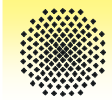


Werkzeuginternes Vorheizen von Einlegeteilen

Konzept

- Direktes Beheizen des Einlegeteils mittels Induktionserwärmung
- Taktile Temperatursensor zur Erfassung der Einlegertemperatur
- Vollständig integriertes Heizsystem erfordert elektromagnetisch durchlässigen Kavitätsbereich





Induktionserwärmung

Grundlagen

- Transformatorprinzip
- „Kurzschluss auf der Sekundärseite“
- Wirbelströme führen zu direkter Erwärmung der felddurchsetzten Oberfläche, ohmsche Verluste

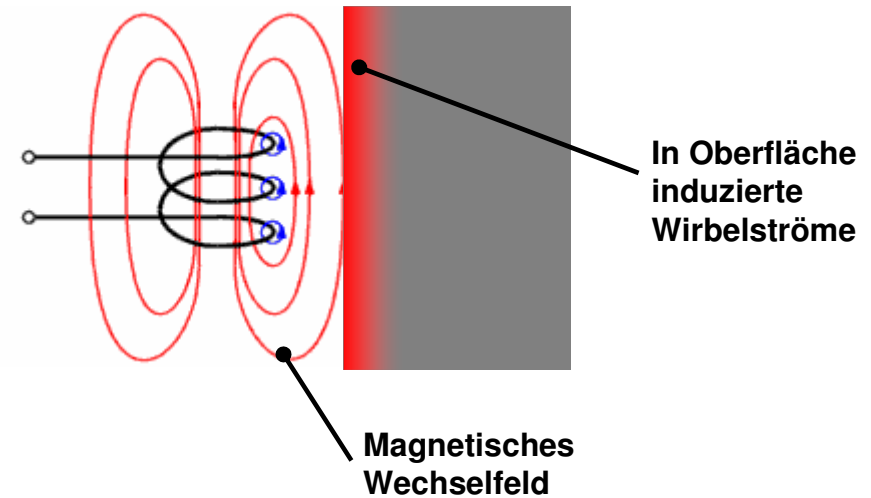
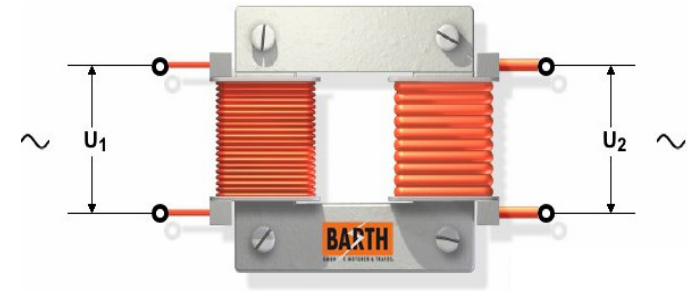


Bild: Barth Transformatoren



Werkstoffgruppen – Eigenschaften im Vergleich

Eigenschaften	Metalle	Kunststoffe	Keramiken
Elektrische Leitfähigkeit	↑	↓	↓
Magnetische Eigenschaften	↑ ↓	↓	↓
Mechanische Eigenschaften	↑	↓	↑ ↓
Härte	→	↓	↑
Bearbeitbarkeit	↑	↑	↑ ↓

↑ ↓ abhängig von Werkstoffzusammensetzung

Werkstoffentwicklung: mechanische Eigenschaften ↑

Bearbeitbarkeit ↑

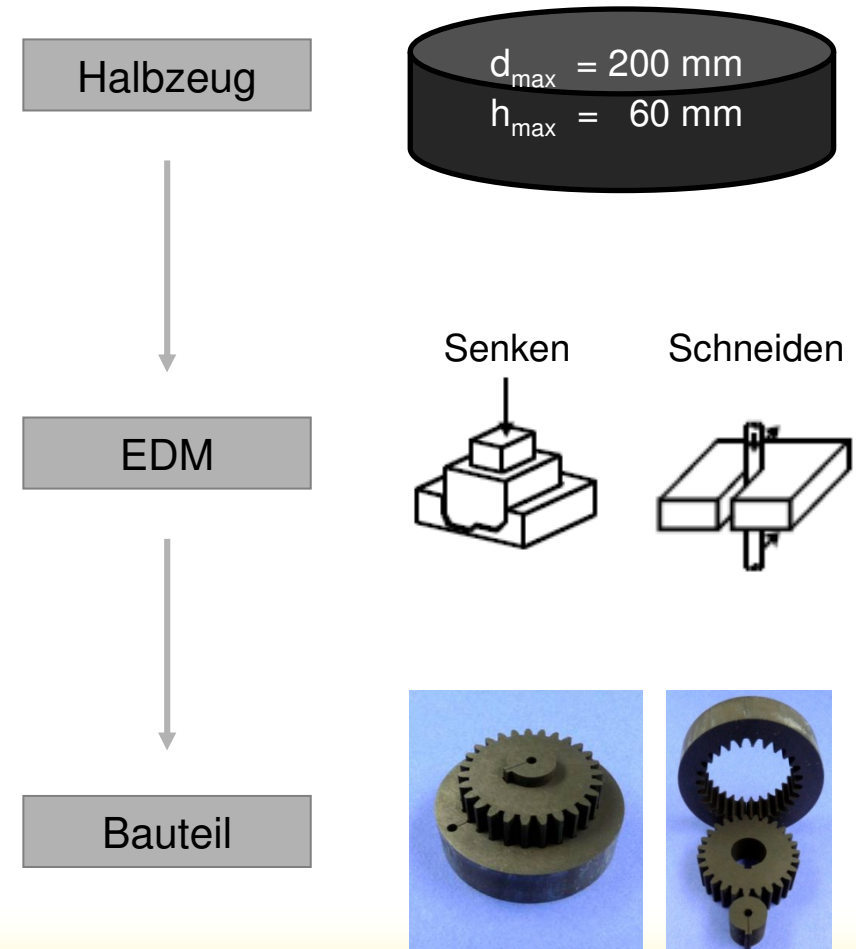


Herstellung keramischer Bauteile

konventionelle Keramiken



erodierbare Keramiken





Werkstoffentwicklung

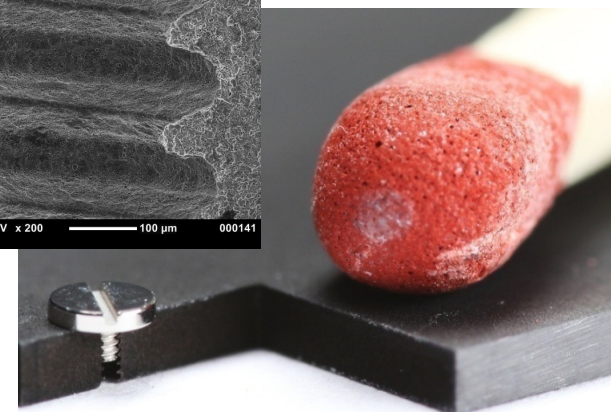
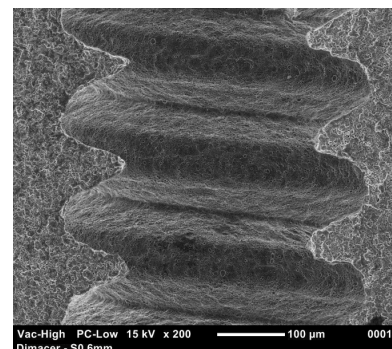
Eigenschaften der erodierbaren Keramik:

- Hohe mechanische Festigkeit
- Wärmeleitfähigkeit ähnlich wie Stahl
- hohe Wärmedehnung für Keramik

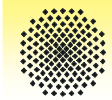
Bearbeitbarkeit der erodierbaren Keramik:

- Bahngenaugigkeit $\pm 2,5 \mu\text{m}$
- Oberflächenrauigkeit $R_a \sim 0,3 \mu\text{m}$
- Vorschub beim Drahtschneiden (Schruppen) $> 3 \text{ mm/min}$ (bei 10 mm Höhe)
- Feine Strukturen herstellbar

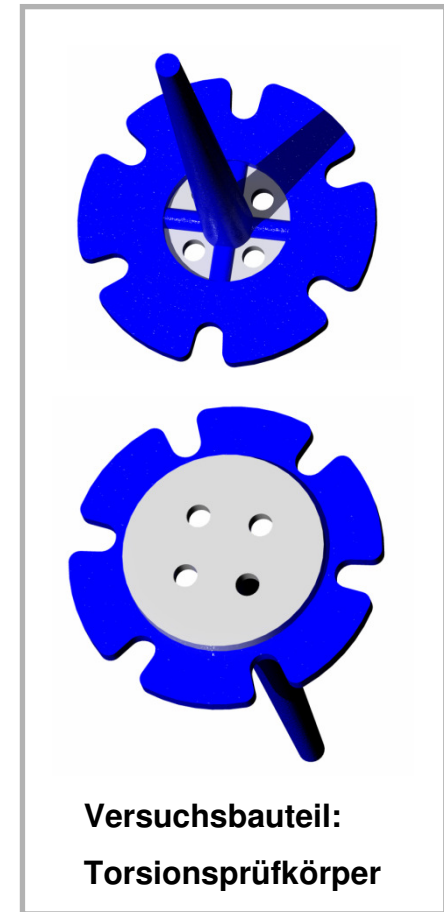
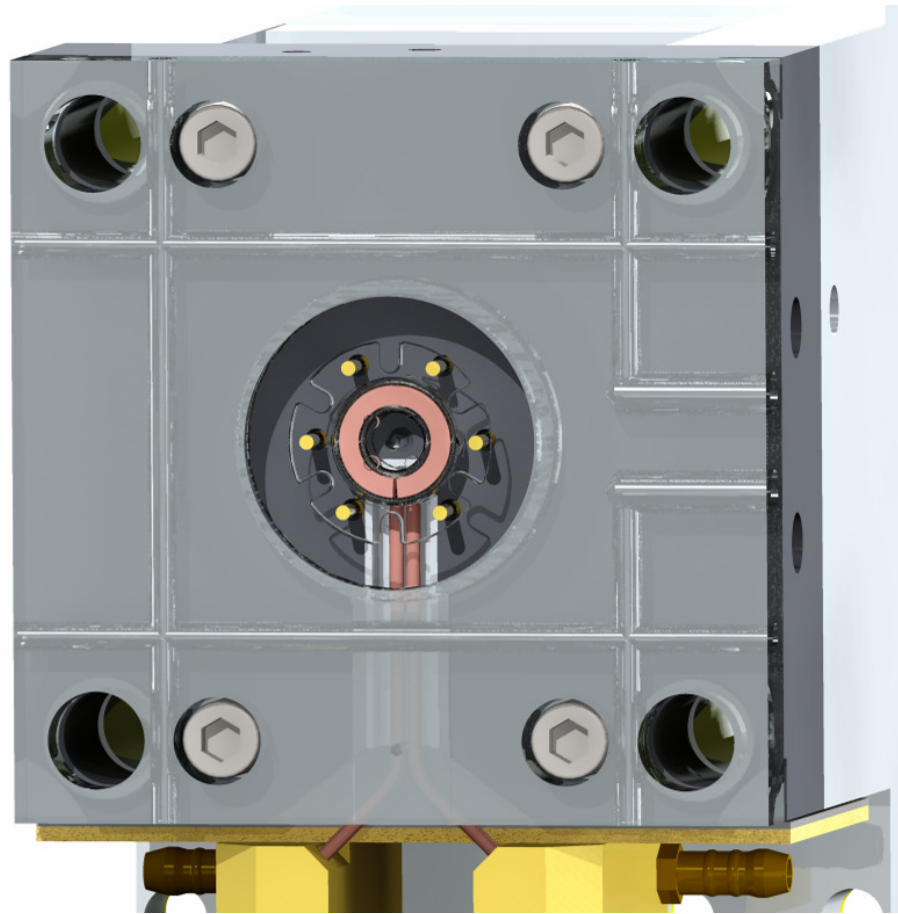
Eigenschaft	Einheit	Wert
Härte (Vickers)	HV10	1950
Biegefestigkeit	MPa	1050
Elastizitätsmodul	GPa	400
Thermische Dehnung	$\times 10^{-6}/\text{K}$	8,1
Wärmeleitfähigkeit (RT)	W/mK	18,5



Innengewinde: $d = 0,6 \text{ mm}$



Konstruktive Umsetzung: Versuchswerkzeug



Keramischer Formeinsatz: Dimacer ®



Vorderseite:

- Erodiertes Kavitätsbereich
- verrundete Kanten zur Festigkeitssteigerung

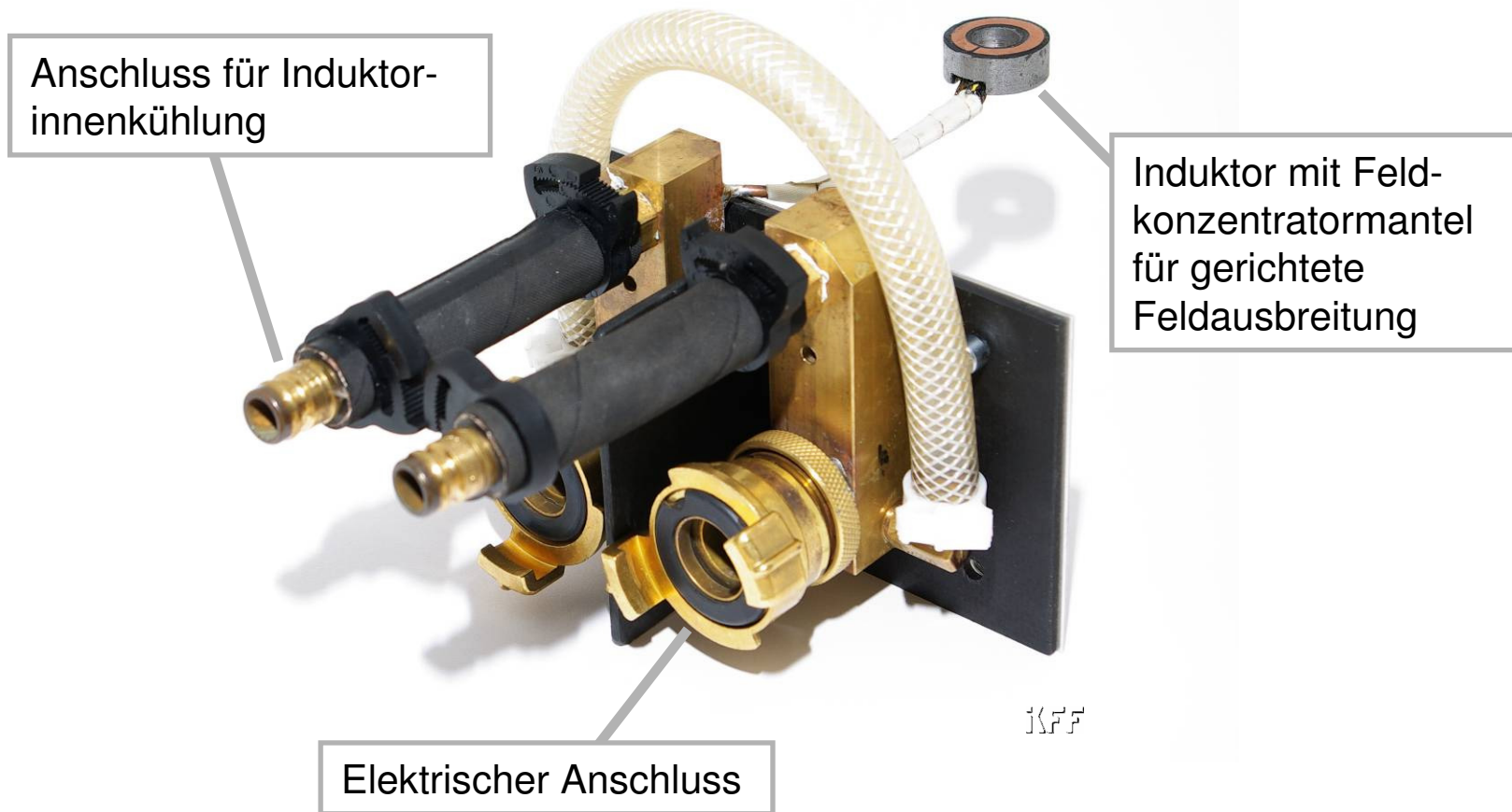
Rückseite:

- erodierter Induktorkanal
- verrundete Kanten



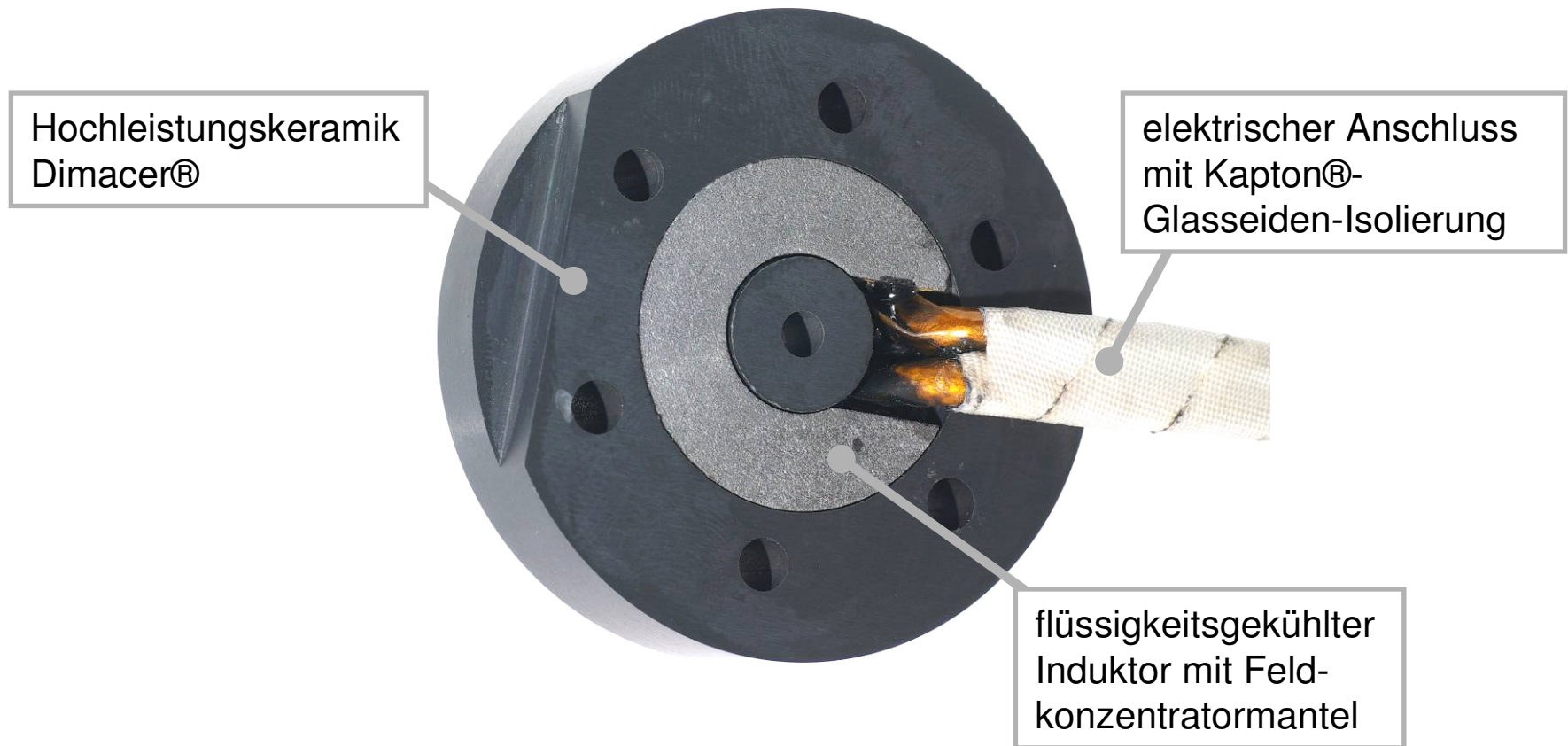


Induktoreinheit





Formeinsatz mit rückseitig integriertem Induktor





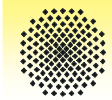
Induktionsgenerator: Kommerzielle Industrierausführung



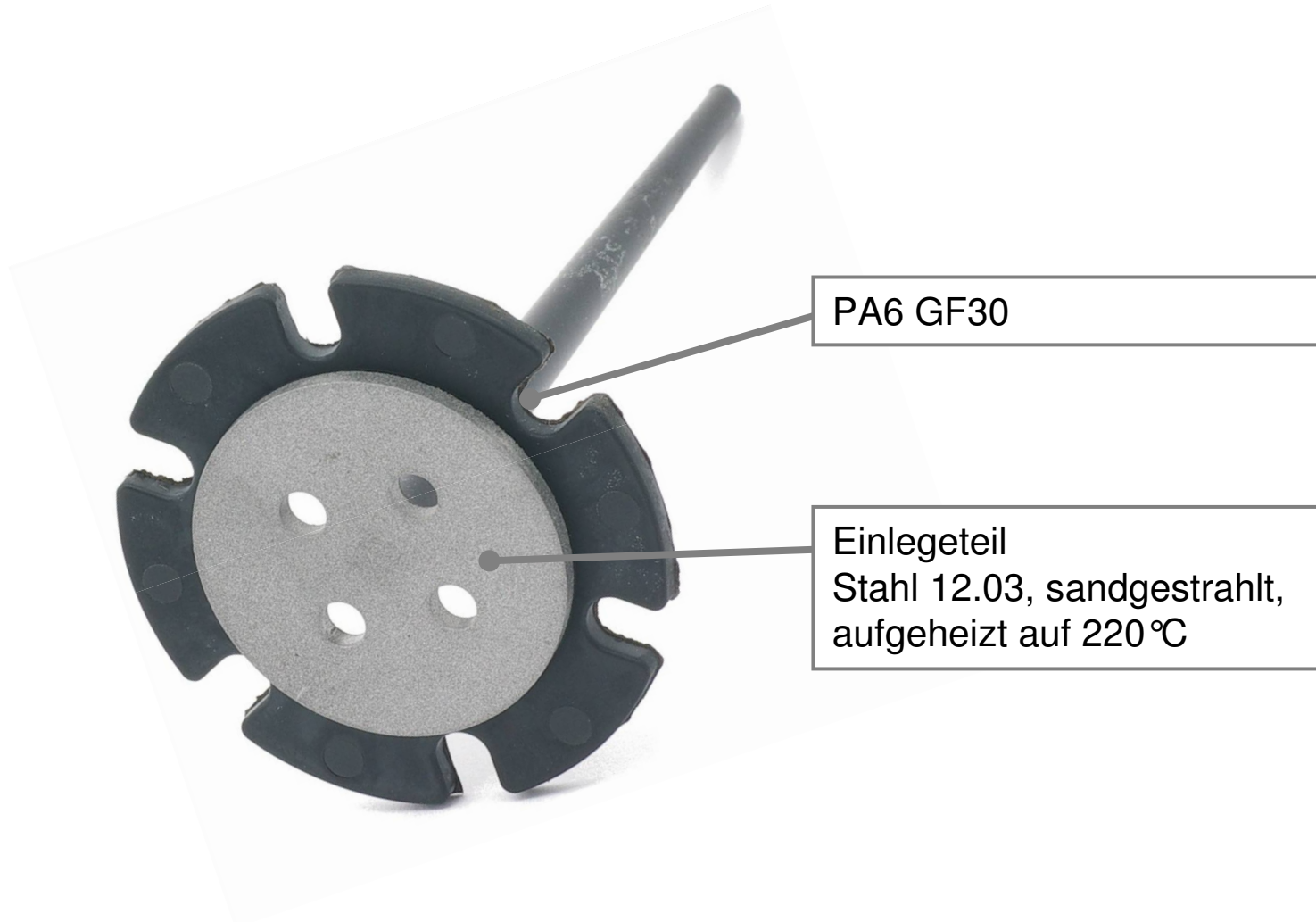
- Leistungsregelung über PWM / PPM
- Integrierte SPS
- Umfangreiche Überwachungsfunktionalitäten
- Zahlreiche Kommunikationsschnittstellen
- In weiten Leistungs- und Frequenzbereichen erhältlich
- Einhaltung geltender Normen und Standards



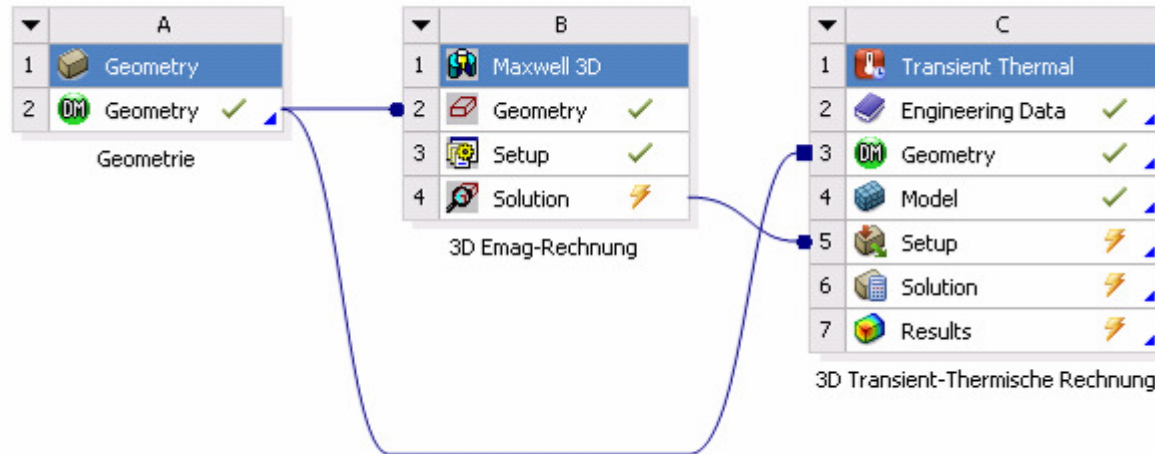
Verlässliche Lösung für
industrielle Anwendung,
für Forschungszwecke zu
großer Automationsgrad



Abmusterung: Erfolgreiche Anhaftung



Gekoppelte 3D-FEM-Simulation: ANSYS® Workbench



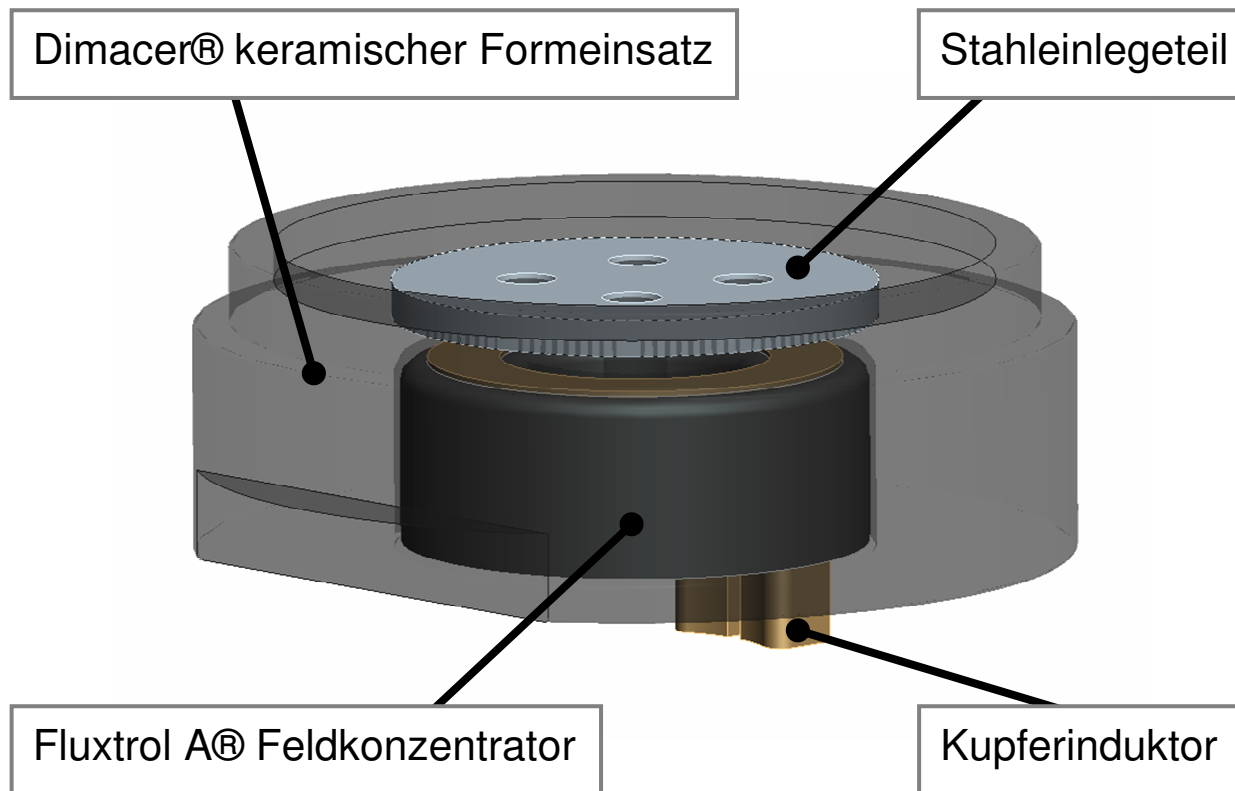
Vorgehensweise

- Vorgeschnittene elektromagnetisch-harmonische 3D-FEM-Analyse zur Ermittlung der eingekoppelten Leistung und der Impedanz
- Übertragen der eingekoppelten Ohm'schen Erwärmungsleistung in transient-thermische 3D-FEM-Simulation zur Bestimmung des Aufheizverhaltens



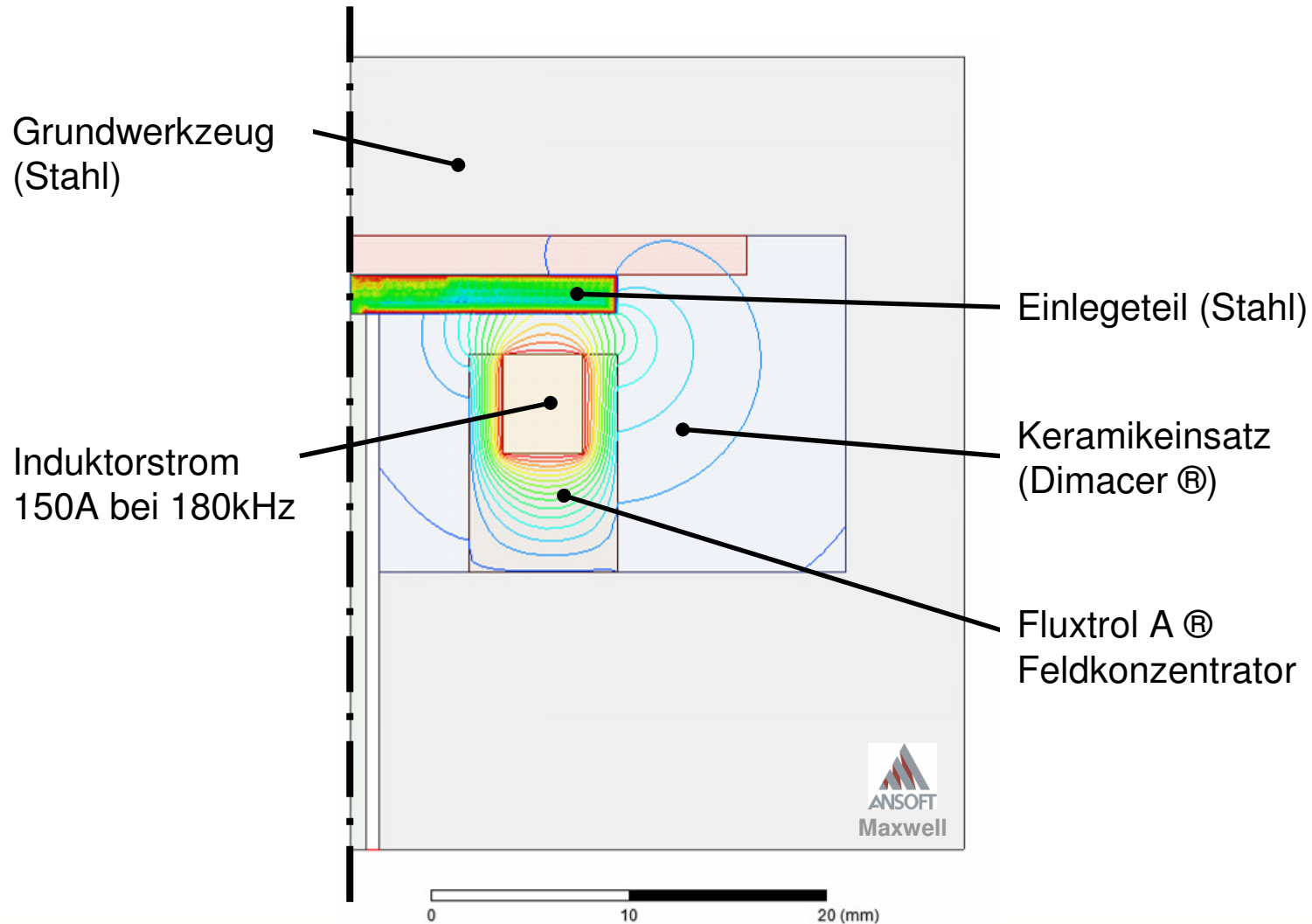
3D-Simulationsmodell

für die elektromagnetische und thermische Analyse





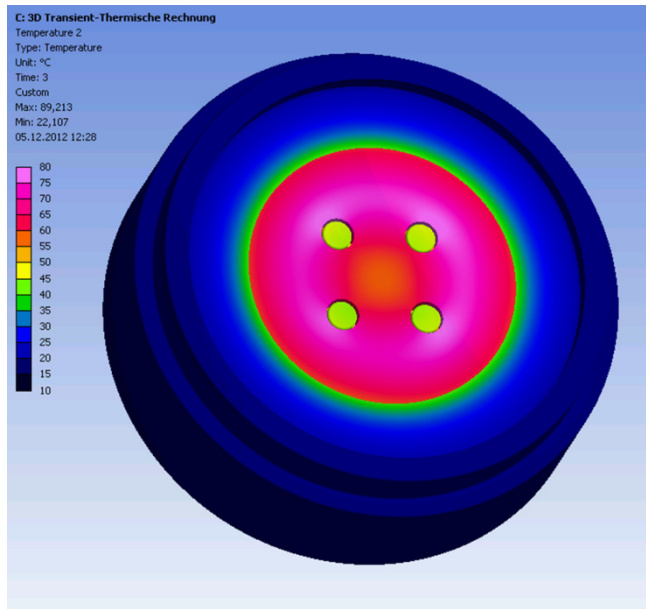
Elektromagnetische 2D-FEM-Simulation



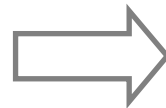
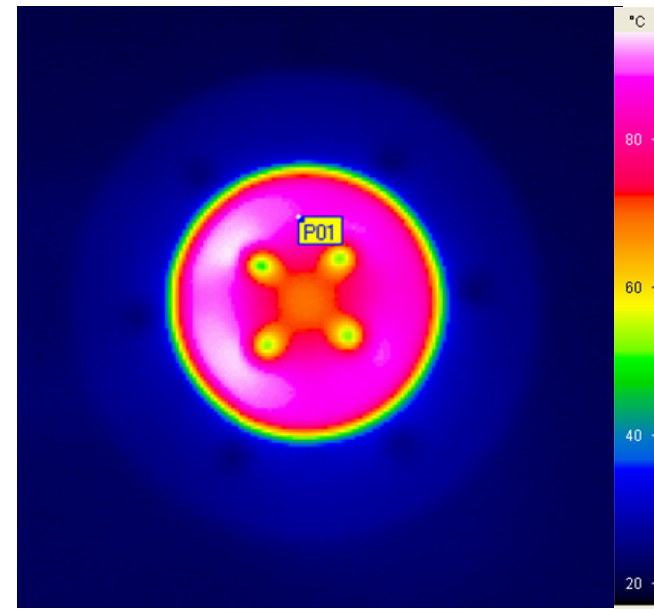
Verifikation des Erwärmungsverhaltens

am Beispiel eines drei Sekunden dauernden Heizvorgangs

Simulation

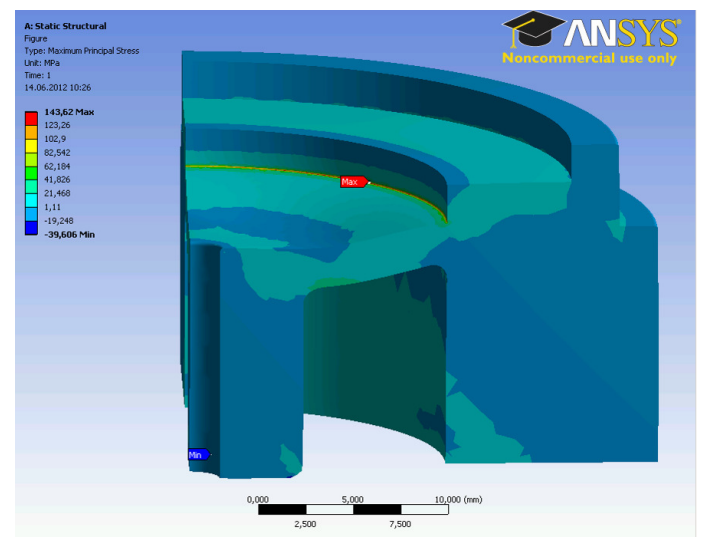
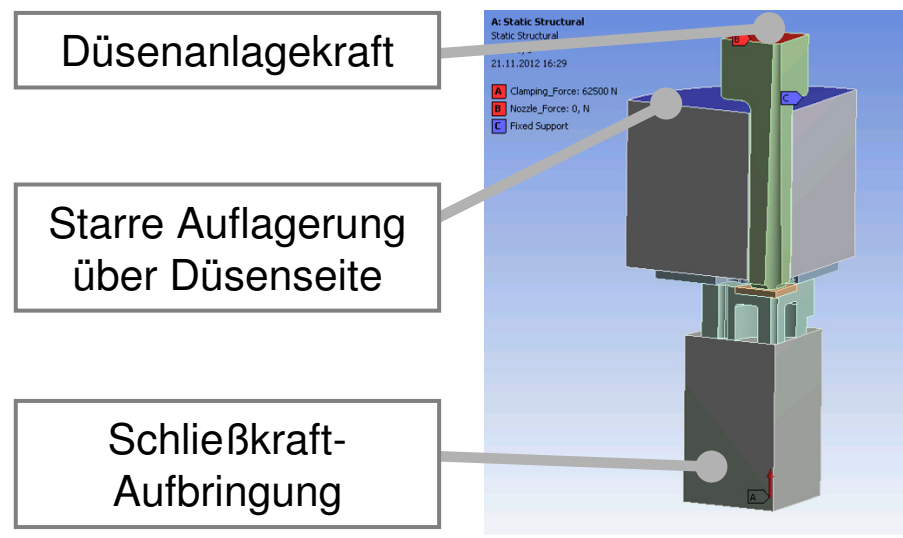


Thermografische Messung



Qualitativ wie quantitativ sehr
gute Übereinstimmung

Strukturmechanische FEM-Simulation bei Schließ- und Düsenanlagekraft

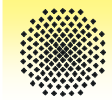




Fazit

- Prozessintegration in Maschinensteuerung erfolgreich
- Aufheizen der Einlegeteile mit hoher Energieeffizienz und Wiederholgenauigkeit
- Vollständig integrierte und damit gekapselte Induktorspule
- Vollkeramischer Kavitätseinsatz, ermöglicht durch erodierbare Hochleistungskeramik
- Ausblick: Umfangreiche Versuchsreihen zur systematischen Untersuchung der Adhäsion





Danksagung

Unser Dank gilt der AIF für die Förderung dieses Projekts
sowie unseren Partnern
Bernhard Fischer GmbH, Waiblingen
und Graveurbetrieb Leonhard, Hochdorf

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages