



Veröffentlichungen am IKFF



Optimierter Energieeinsatz durch induktive Erwärmung von Spritzgießwerkzeugen

FEM unterstützte Auslegung von induktiven Werkzeugheizsystemen

M. Zülch
E. Burkard
W. Schinköthe

Vortragspräsentation
(ohne Filme) zum

20. Stuttgarter Kunststoffkolloquium

14.-15. März 2007
Stuttgart

© 2006 Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik



Optimierter Energieeinsatz durch induktive Erwärmung von Spritzgießwerkzeugen

FEM unterstützte Auslegung von induktiven Werkzeugheizsystemen

Dipl.-Ing. Michael Zülch

Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik
Universität Stuttgart

20. Stuttgarter Kunststoff-Kolloquium
14. März 2007



Gliederung

Dynamische Werkzeugtemperierung durch Induktion
Grundlagen

Simulation induktiver Temperierung

Elektromagnetische Grobauslegung des induktiven Systems
Thermische Feinauslegung des induktiven Systems

Simulationsgestützte Auslegung des induktiven Heizsystems

Grobentwurf des induktiven Systems
Feinentwurf des induktiven Systems

Zusammenfassung und Ausblick



Gliederung

Dynamische Werkzeugtemperierung durch Induktion Grundlagen

Simulation induktiver Temperierung

- Elektromagnetische Grobauslegung des induktiven Systems
- Thermische Feinauslegung des induktiven Systems

Simulationsgestützte Auslegung des induktiven Heizsystems

- Grobentwurf des induktiven Systems
- Feinentwurf des induktiven Systems

Zusammenfassung und Ausblick



Spritzgießen hochpräziser und komplexer Formteile

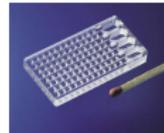
Beispiele

- Mikroformteile



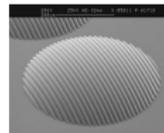
Mikrozahnrad
Rolla AG, CH

- Mikrostrukturierte Formteile



Mikrotiterplatte
Boehringer Ingelheim microParts GmbH, Dortmund

- Optische Formteile



Strukturierte Mikrolinse
Fraunhofer IOF, Jena



Spritzgießen hochpräziser und komplexer Formteile

Herausforderungen

- Hohe Fließweg/Wanddicken-Verhältnisse
- Sacklochgeometrien
- Hohe Anforderungen an die Formtreue

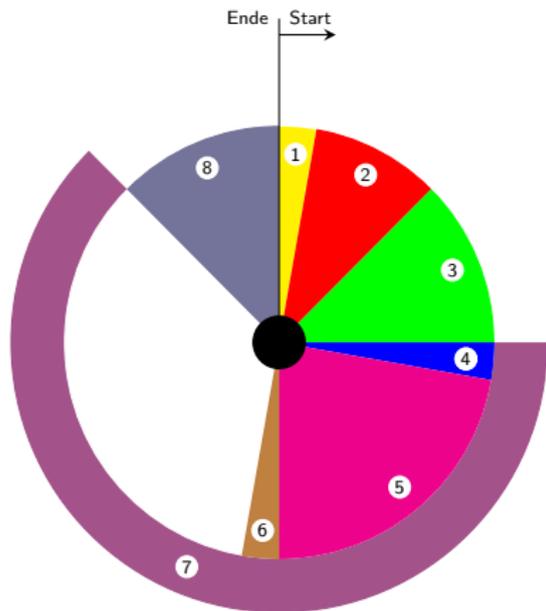


Kunststoffschmelze friert zu schnell
an der kalten Werkzeugoberfläche ein.



Dynamische Werkzeugtemperierung

Prinzip einer externen Temperierung

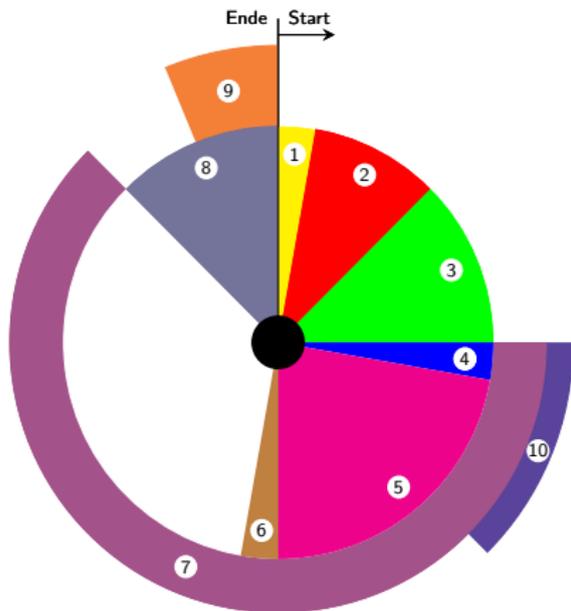


1. Plastifizieraggregat vor
2. Einspritzen
3. Nachdruck
4. Dosierverzögerung
5. Dosieren
6. Plastifizieraggregat zurück
7. Kühlen
8. Werkzeugbewegungen



Dynamische Werkzeugtemperierung

Prinzip einer externen Temperierung

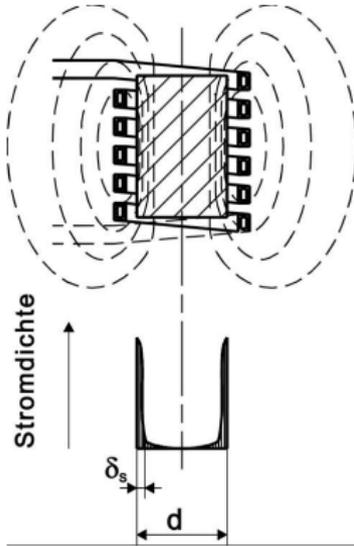


1. Plastifizieraggregat vor
2. Einspritzen
3. Nachdruck
4. Dosierverzögerung
5. Dosieren
6. Plastifizieraggregat zurück
7. Kühlen
8. Werkzeugbewegungen
9. Zusatzheizung
10. Zusatzkühlung



Induktive Werkzeugtemperierung

Prinzip



Prinzip

- Hochfrequentes Wechselfeld durch Wechselstrom
- Induktion eines Wirbelstroms im Werkstück
- Stromverdrängung an die Randschicht durch Selbstinduktion ($\delta_s \approx 20..30\mu m$)

Vorteile

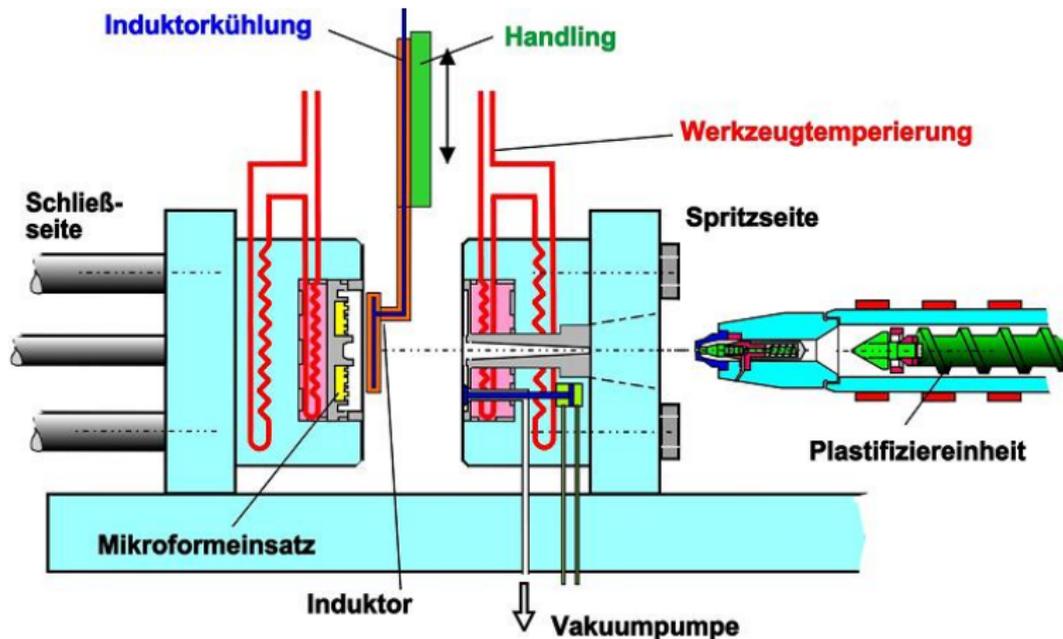
- Hohe erreichbare Wärmeübertragungsraten
- Direkte Erwärmung der Kavität möglich
- Keine heißen Öl- oder Wasserkreisläufe

$$\delta_s = \frac{1}{\sqrt{\pi f \kappa \mu}}$$



Komponenten eines induktiven Werkzeugheizsystems

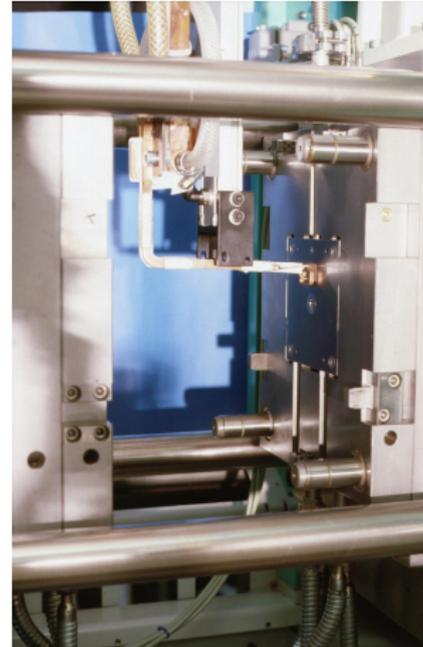
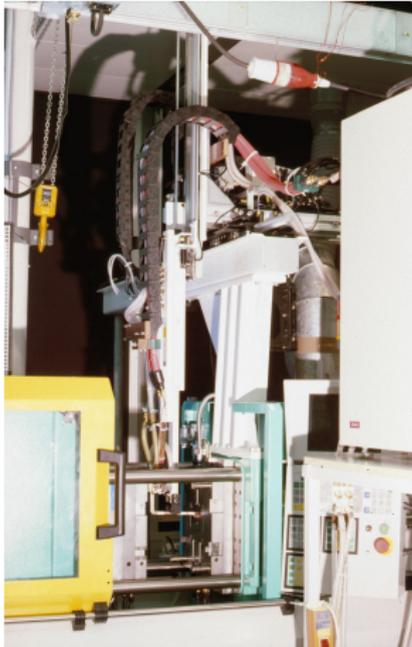
Externes Induktionssystem





Induktive Werkzeugtemperierung

Realisation





Induktive Werkzeugtemperierung

Zentrale Herausforderungen

- Optimierung der Induktorgeometrie
- Auswahl eines geeigneten Induktionsgenerators
- Verhinderung thermischer Überlastung
- Verkürzung der Anlaufphase



Gliederung

Dynamische Werkzeugtemperierung durch Induktion
Grundlagen

Simulation induktiver Temperierung

Elektromagnetische Grobauslegung des induktiven Systems
Thermische Feinauslegung des induktiven Systems

Simulationsgestützte Auslegung des induktiven Heizsystems

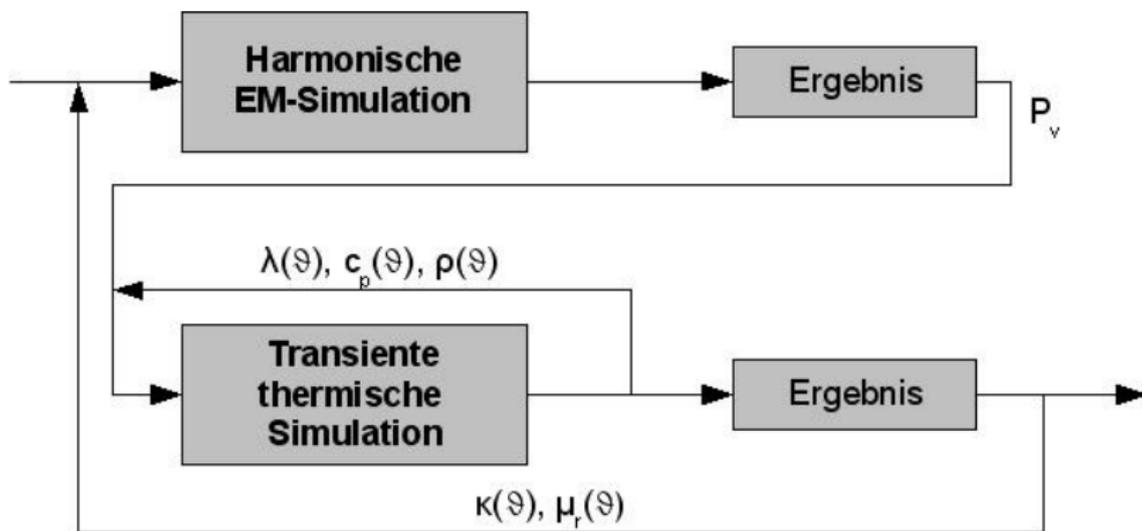
Grobentwurf des induktiven Systems
Feinentwurf des induktiven Systems

Zusammenfassung und Ausblick



Simulation des induktiven Systems

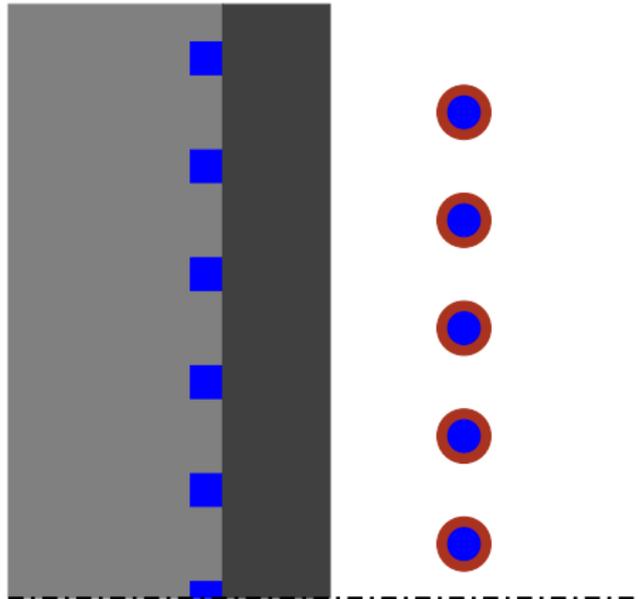
Ablaufschema





Modellierung des induktiven Systems

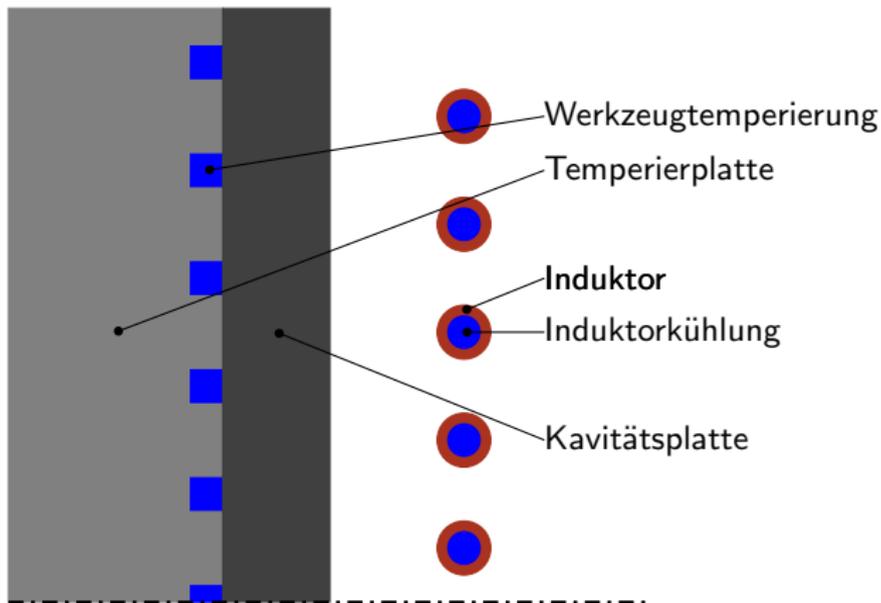
2D-Modell eines externen induktiven Systems





Modellierung des induktiven Systems

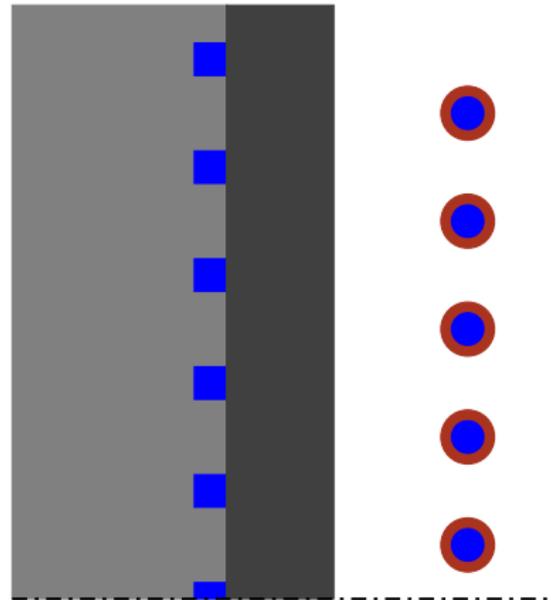
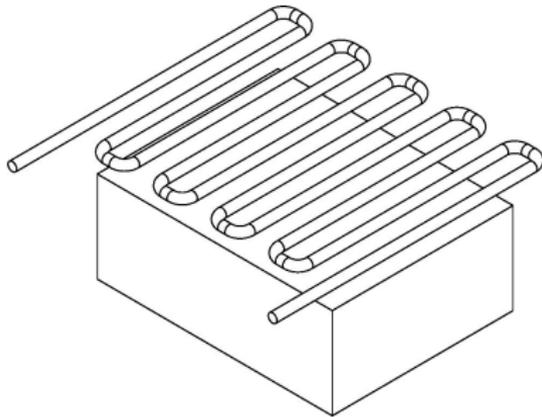
2D-Modell eines externen induktiven Systems





Simulation unterschiedlicher Induktorgeometrien

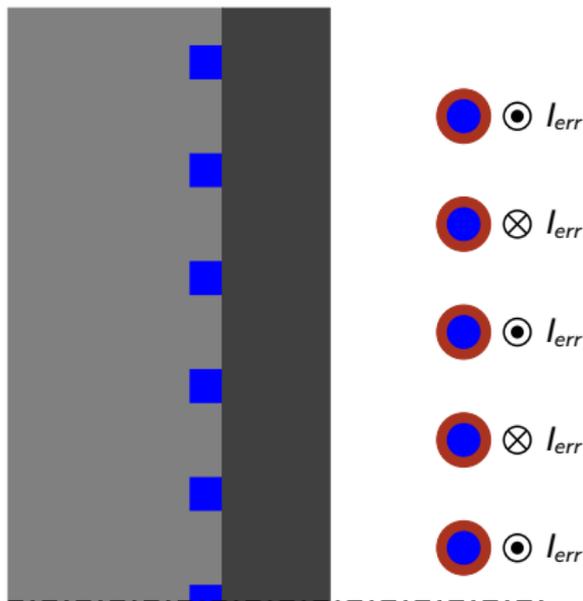
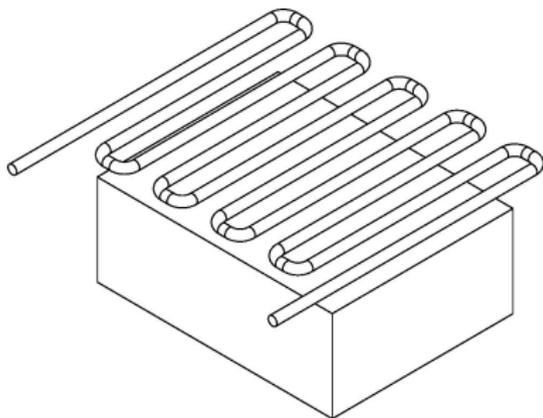
Mäander-Geometrie





Simulation unterschiedlicher Induktorgeometrien

Mäander-Geometrie

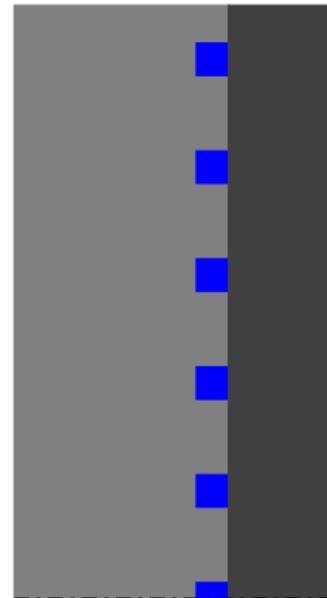
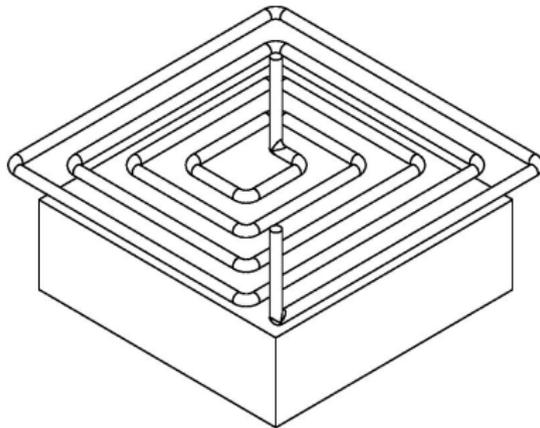


Anti-Symmetrie



Simulation unterschiedlicher Induktorgeometrien

Planarspulen-Geometrie



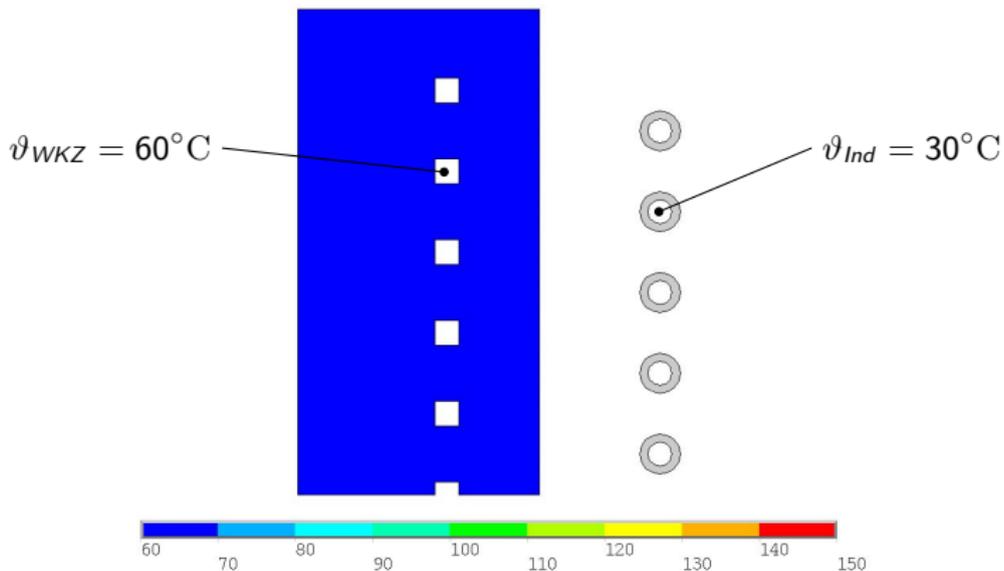
Anti-Symmetrie



Simulation unterschiedlicher Induktorgeometrien

Planarspulen-Geometrie

ANSYS
PLOT NO. 1

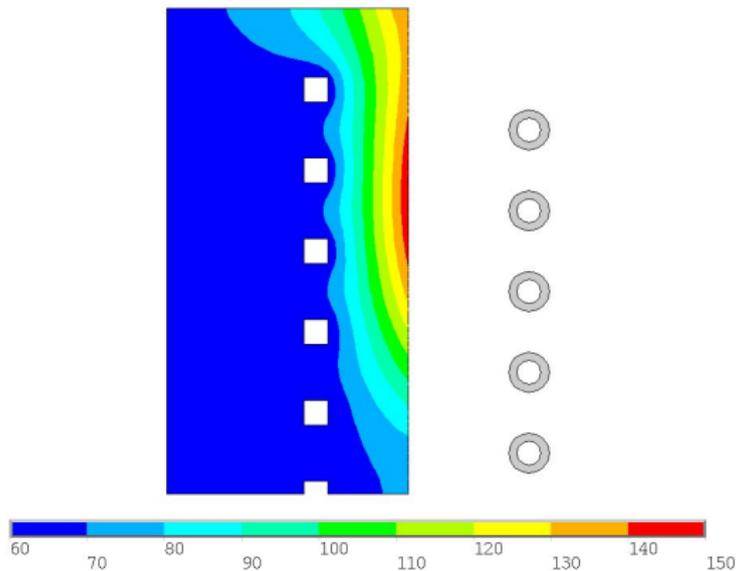




Simulation unterschiedlicher Induktorgeometrien

Planarspulen-Geometrie

ANSYS
PLOT NO. 1

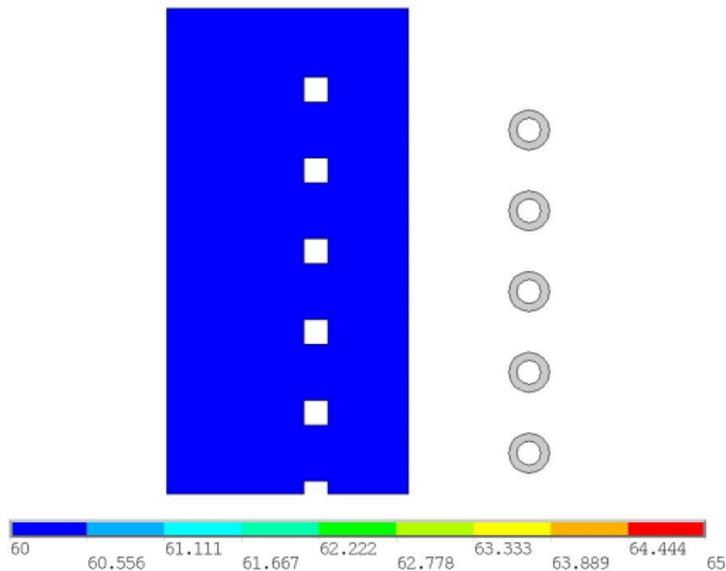




Simulation unterschiedlicher Induktorgeometrien

Mäander-Geometrie

ANSYS
PLOT NO. 1

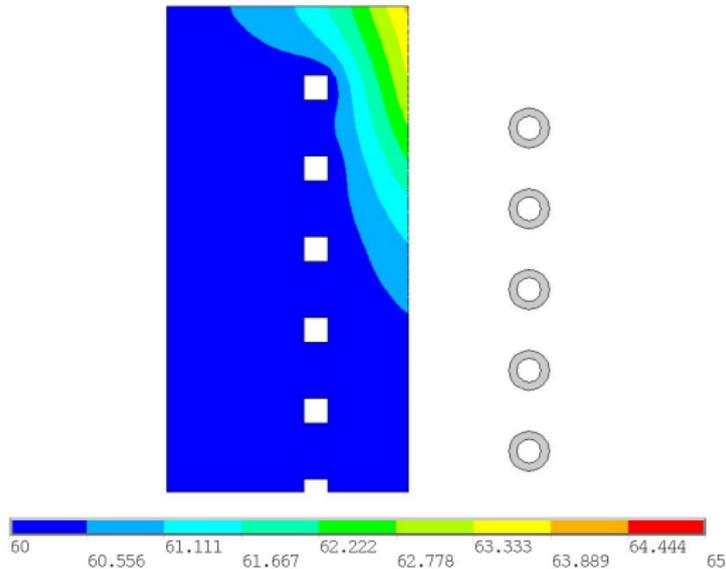




Simulation unterschiedlicher Induktorgeometrien

Mäander-Geometrie

ANSYS
PLOT NO. 1





Gliederung

Dynamische Werkzeugtemperierung durch Induktion
Grundlagen

Simulation induktiver Temperierung

Elektromagnetische Grobauslegung des induktiven Systems
Thermische Feinauslegung des induktiven Systems

Simulationsgestützte Auslegung des induktiven Heizsystems

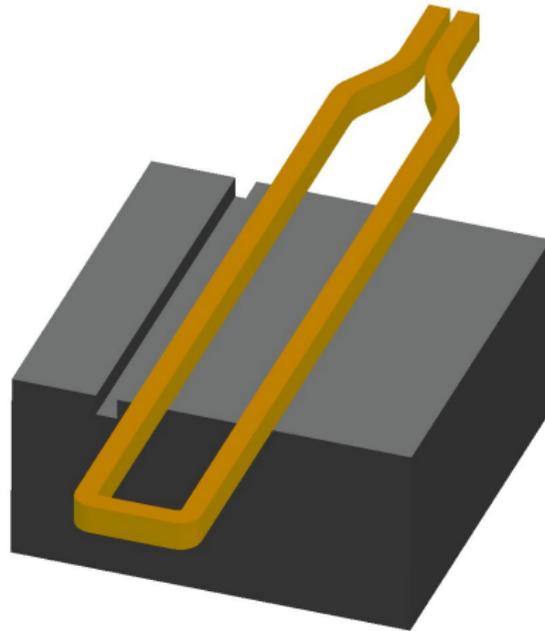
Grobentwurf des induktiven Systems
Feinentwurf des induktiven Systems

Zusammenfassung und Ausblick



Dreidimensionale Modellierung

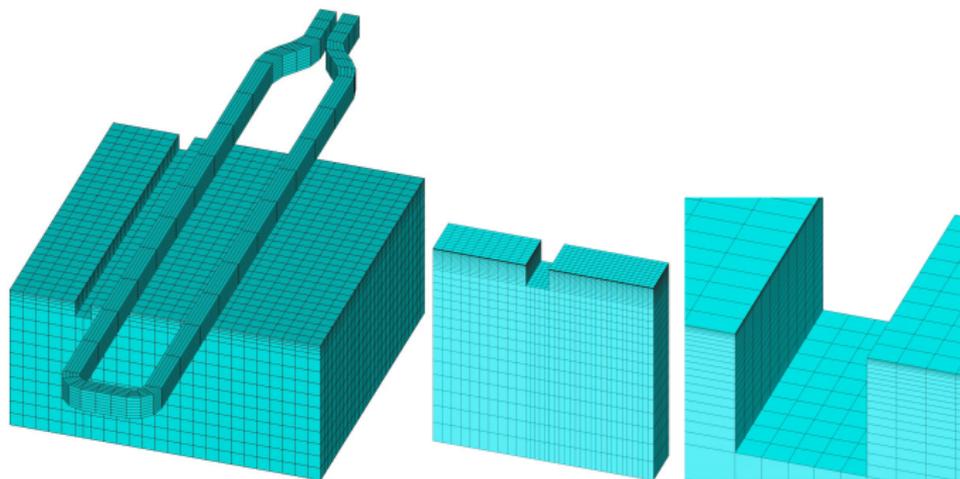
Grobmodellierung





Submodelltechnik

Gezielte Feinvernetzung kritischer Strukturen





Gliederung

Dynamische Werkzeugtemperierung durch Induktion
Grundlagen

Simulation induktiver Temperierung

Elektromagnetische Grobauslegung des induktiven Systems
Thermische Feinauslegung des induktiven Systems

Simulationsgestützte Auslegung des induktiven Heizsystems

Grobentwurf des induktiven Systems
Feinentwurf des induktiven Systems

Zusammenfassung und Ausblick



Optimierung anhand der 2D-Simulation

Randbedingungen

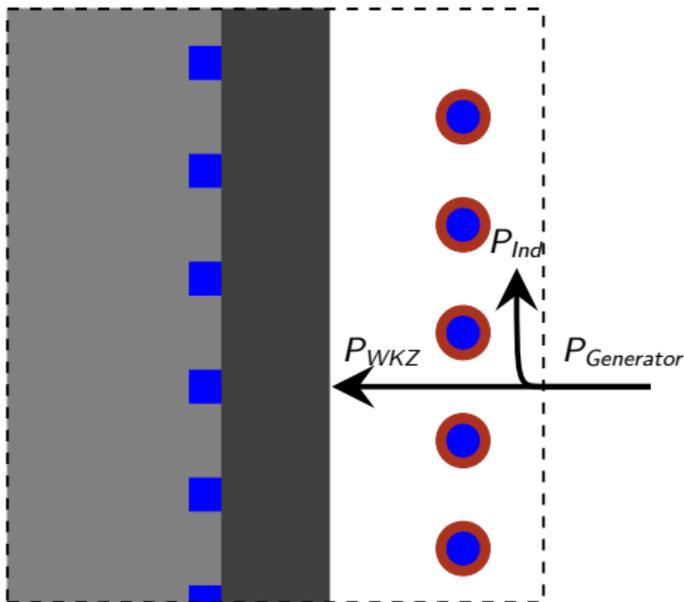
- Gewünschte Temperaturverteilung
- Maximal erlaubte Oberflächentemperatur
- Gewünschte Aufheizzeit
- Maximal zur Verfügung stehende Generatorleistung
- ...

Parameterraum

- Induktorform
- Induktorabstand zur Kavität
- Induktorstrom
- Werkzeugmaterial
- ...



Ermittlung der erforderlichen Generatorleistung



- $P_{\text{Generator}} = P_{\text{WKZ}} + P_{\text{Ind}}$
- $P_{\text{Ind}} = I_{\text{err}}^2 R_{\text{Ind}}$
- $P_{\text{Generator}} = P_{\text{WKZ}} + \frac{I_{\text{err}}^2}{\kappa} \frac{l_{\text{Ind}}}{A_{\text{red}}(f_{\text{err}})}$



Gliederung

Dynamische Werkzeugtemperierung durch Induktion
Grundlagen

Simulation induktiver Temperierung

Elektromagnetische Grobauslegung des induktiven Systems
Thermische Feinauslegung des induktiven Systems

Simulationsgestützte Auslegung des induktiven Heizsystems

Grobentwurf des induktiven Systems
Feinentwurf des induktiven Systems

Zusammenfassung und Ausblick



Zusammenfassung

Die FEM-gestützte Auslegung des induktiven Heizsystems nach dem vorgeschlagenen Algorithmus...

- erlaubt eine schnelle Optimierung des Induktors und der benötigten Induktionsleistung
- erlaubt die Identifikation möglicher Problemzonen wie thermische Hot-Spots
- hilft bei der Auswahl möglicher Messpunkte zur Prozessregelung
- ermöglicht so einen korrigierenden Eingriff bereits in der Planungs- und Entwurfsphase
- hilft somit Fehlinvestitionen und lange Versuchszyklen zu verhindern



Ausblick

- Weitere Untersuchungen vor allem der internen induktiven Temperierung
- Sicherung der Datenbasis
 - Elektromagnetische Kennwerte
 - Wärmeübergänge im Werkzeug und zur Umgebung
- Detaillierung des Auslegungsalgorithmus
- Weitere Verifikation des Auslegungsalgorithmus

Die Weiterentwicklung dieses Algorithmus wird neben anderem durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft im Rahmen des Projektes

”Temperierung von Spritzgusswerkzeugen durch vollständig integrierte induktive Beheizung”

gefördert



Literatur



A. Tewald.

Entwicklung und Untersuchung eines schnellen Verfahrens zur variothermen Werkzeugtemperierung mittels induktiver Erwärmung.
Dissertation, Universität Stuttgart, 1997.



T. Walther.

Geräte- und Verfahrenstechnik zur induktiven Werkzeugtemperierung beim Mikrospritzgießen.
Dissertation, Universität Stuttgart, 2003.



E. Burkard, W. Schinköthe.

Induktive Beheizung von Spritzgießwerkzeugen - eine Übersicht.
SKZ Fachtagung "Spritzgießen von Elastomeren", 8. - 9. März 2006,
Würzburg.



Grundlagen
○○○○○○○○

Simulation
○○○○○○○○○○○○
○○○

Auslegung
○○○
○○○

Zusammenfassung
○○○●



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

<http://www.uni-stuttgart.de/ikff>