

Numerische Simulation des ChopArc-Prozesses mit CFX-5

Andreas Spille-Kohoff

CFX Berlin Software GmbH

andreas.spille@cfx-berlin.de

Ergebnispräsentation, 16.9.2004

- Einleitung
- Erweiterungen von CFX-5
- Anwendungen:
 - Kurzschlussphase
 - Schweißlichtbogen ohne Fallgebiete
 - Schweißlichtbogen mit Fallgebieten
- Zusammenfassung und Ausblick

- Gründung Oktober 1997 als CFD Research & Consulting
- Seit 2001: CFX Berlin Software GmbH
- 12 Mitarbeiter
- in Berlin-Friedrichshain



- Strömungsberechnung
 - Vertrieb der CFX-Software
 - Kundensupport
 - Auftragsarbeiten
 - Software-Entwicklung
- Schulung
 - CFX-Software
 - Numerische Methoden
 - Grundlagen der Strömungsmechanik
- Experimentelle Strömungsuntersuchung
- Thermische Simulation mit SINDA/G



**Computational Fluid
Dynamix**

CFX International

- größtes CFD-Unternehmen Europas
- 210 Mitarbeiter
- 10 Niederlassungen
- weltweite Vertriebspartner
- seit März 2003 zu ANSYS, vorher AEAT



Einleitung

CFX-Anwendungsgebiete



- Turbinen, Pumpen
- Verdichter, Gebläse
- Automobilbau
- Schienenfahrzeuge
- Flugzeugbau
- Kraftwerkstechnik
- Brennkammern
- Dampferzeuger
- Wärmetauscher
- Kühlsysteme
- Gebäudeumströmung
- Innenraumströmungen
- Sicherheitstechnik
- Feuerausbreitung
- Chemische Industrie
- Verfahrenstechnik
- Hydraulik, Pneumatik
- Medizintechnik
- Mikrofluidik
- Pharmazeutische Industrie
- ... und vieles mehr!

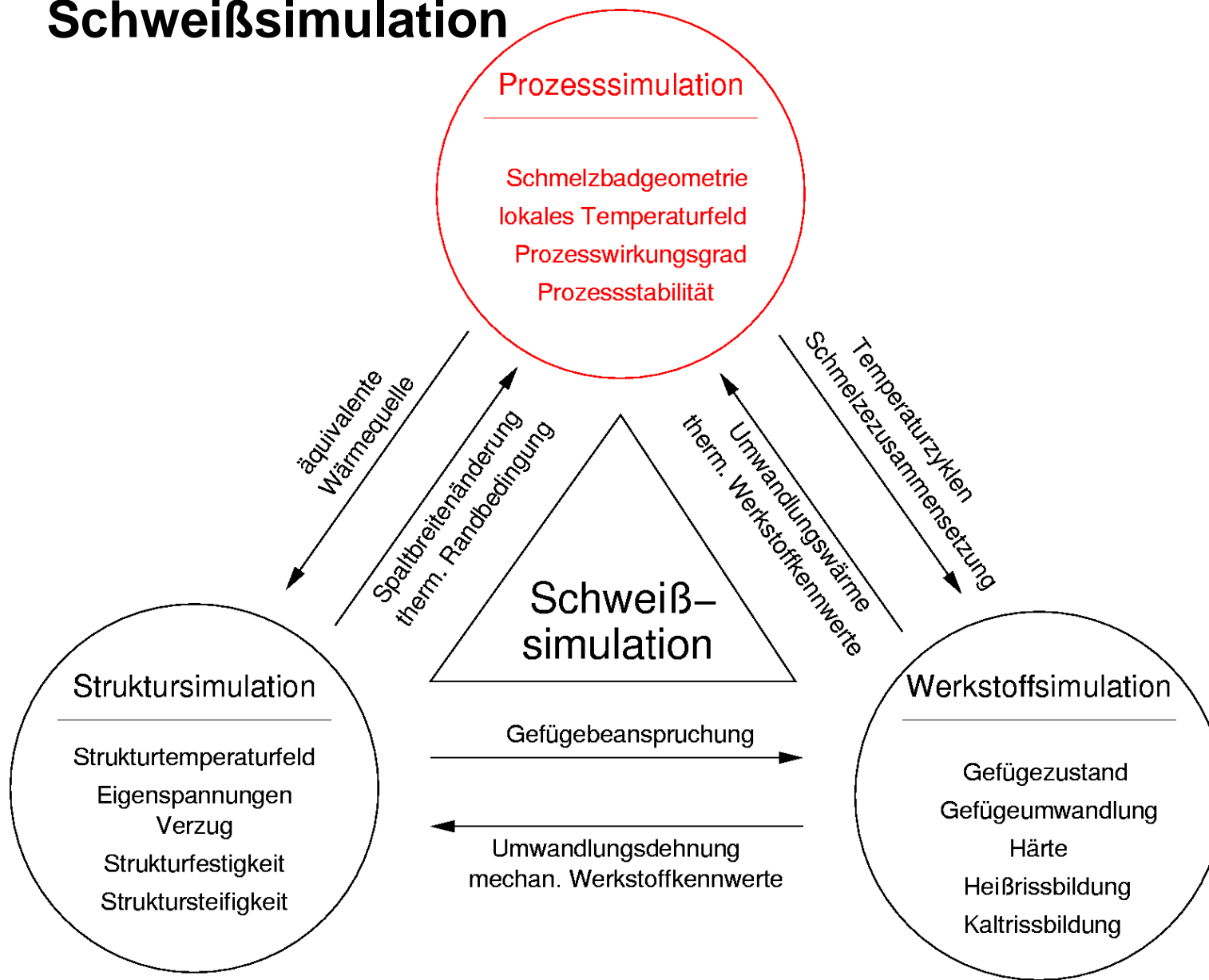
- zeitlich und räumlich hochaufgelöste Werte für alle wesentlichen Größen
- Einblick in Bedeutung einzelner physikalischer Effekte
- Variation von Stoffdaten einfach möglich

⇒ besseres physikalisches Verständnis

Einleitung

Schweißsimulation

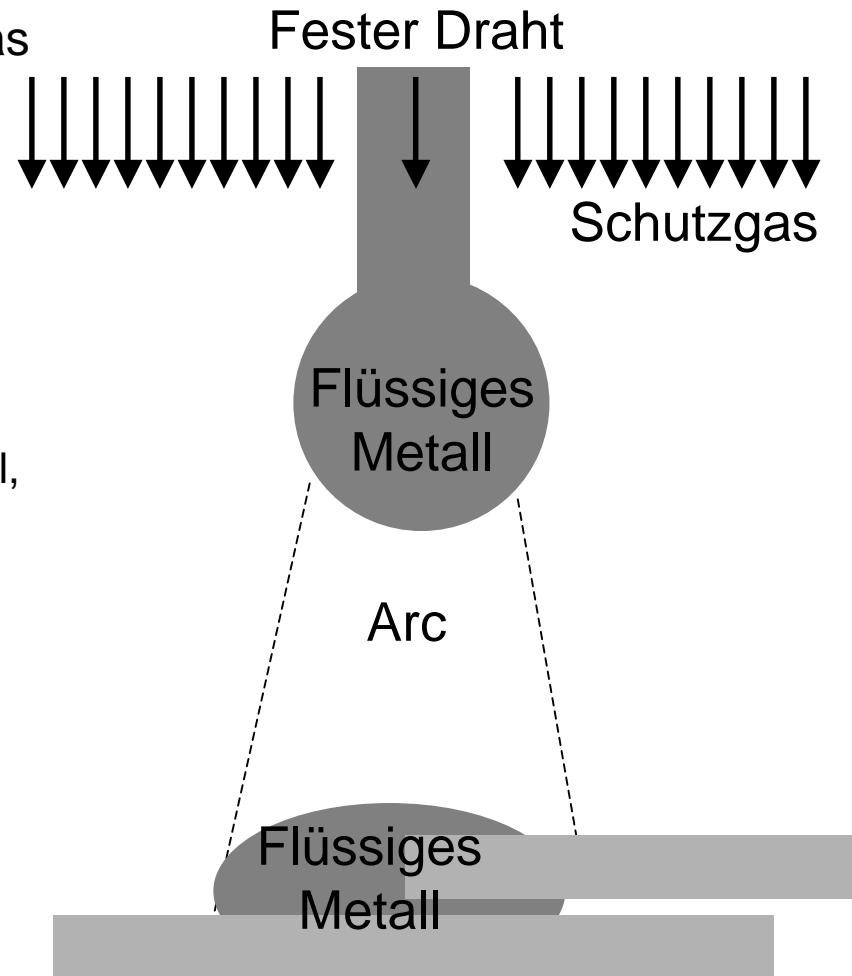
nach
Radaj
1999



Erweiterungen von CFX-5

Physikalische Effekte

- Mehrphasenströmung Metall/Schutzgas mit freier Oberfläche
- Mehrkomponentengas und -metall
- Wärmeleitung und Wärmetransport
- Oberflächeneffekte
- Schmelzen / Erstarren
- Elektro-magnetische Effekte
 - Berechnung von elektrischem Potential, Stromdichte, Magnetfeld
 - Lorentzkraft
 - Widerstandserwärmung
- Lichtbogenphysik
 - LTG in der Plasmasäule
 - Fallgebietsmodelle
- Strahlung
- Verdampfung / Kondensation

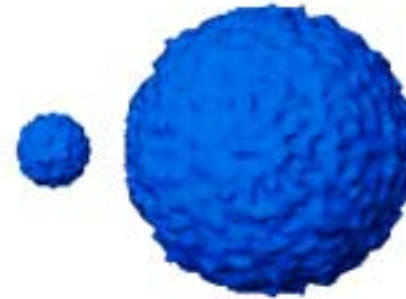


Erweiterungen von CFX-5

Oberflächeneffekte

Oberflächenspannung: Minimierung der Oberfläche

Adhäsion: Kontaktwinkel der Oberfläche zu anderen Flächen

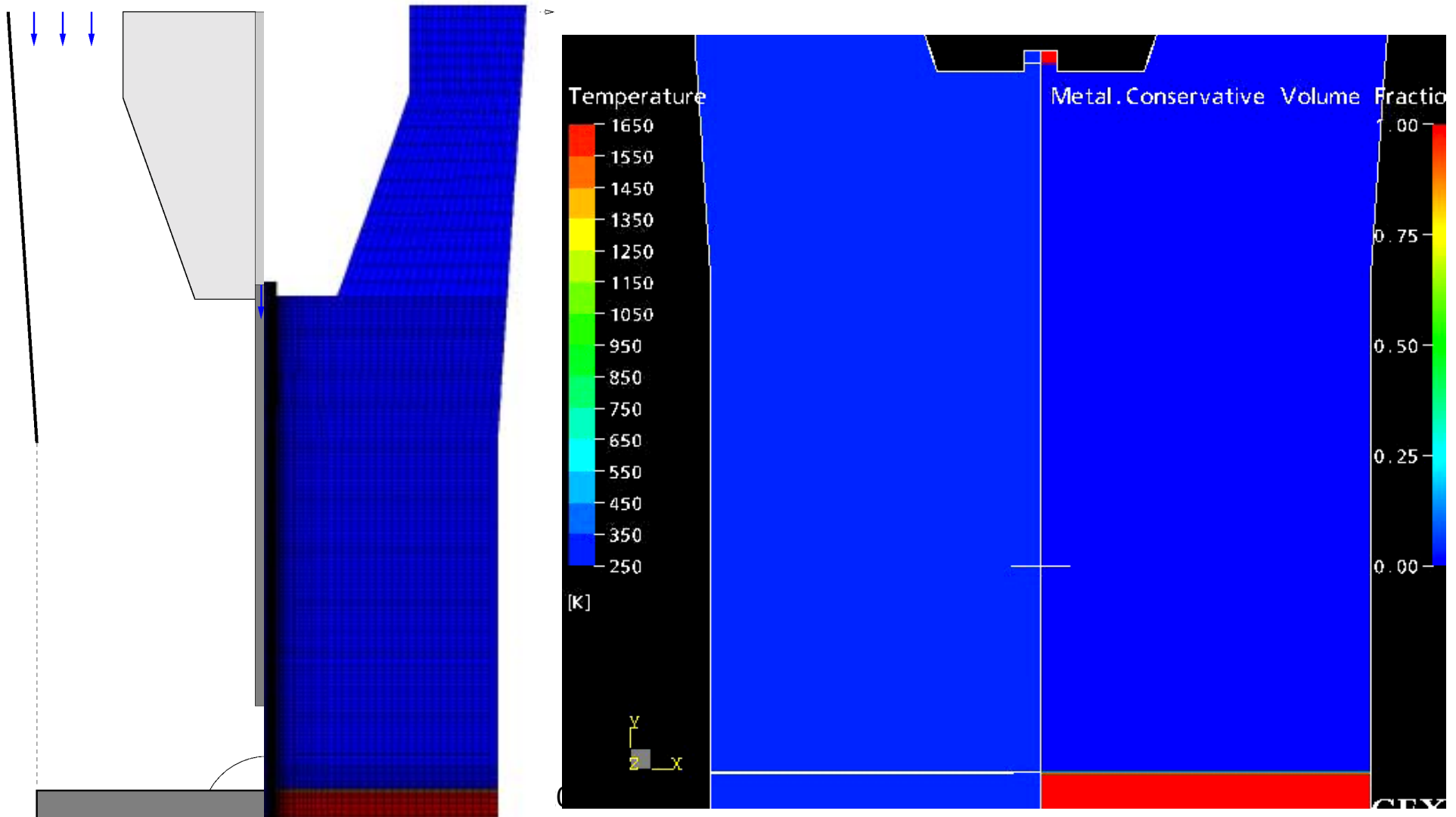


Marangonikonvektion:

Bewegung von Bereichen mit hoher zu solchen mit niedriger Grenzflächenspannung, z.B. heiß zu kalt

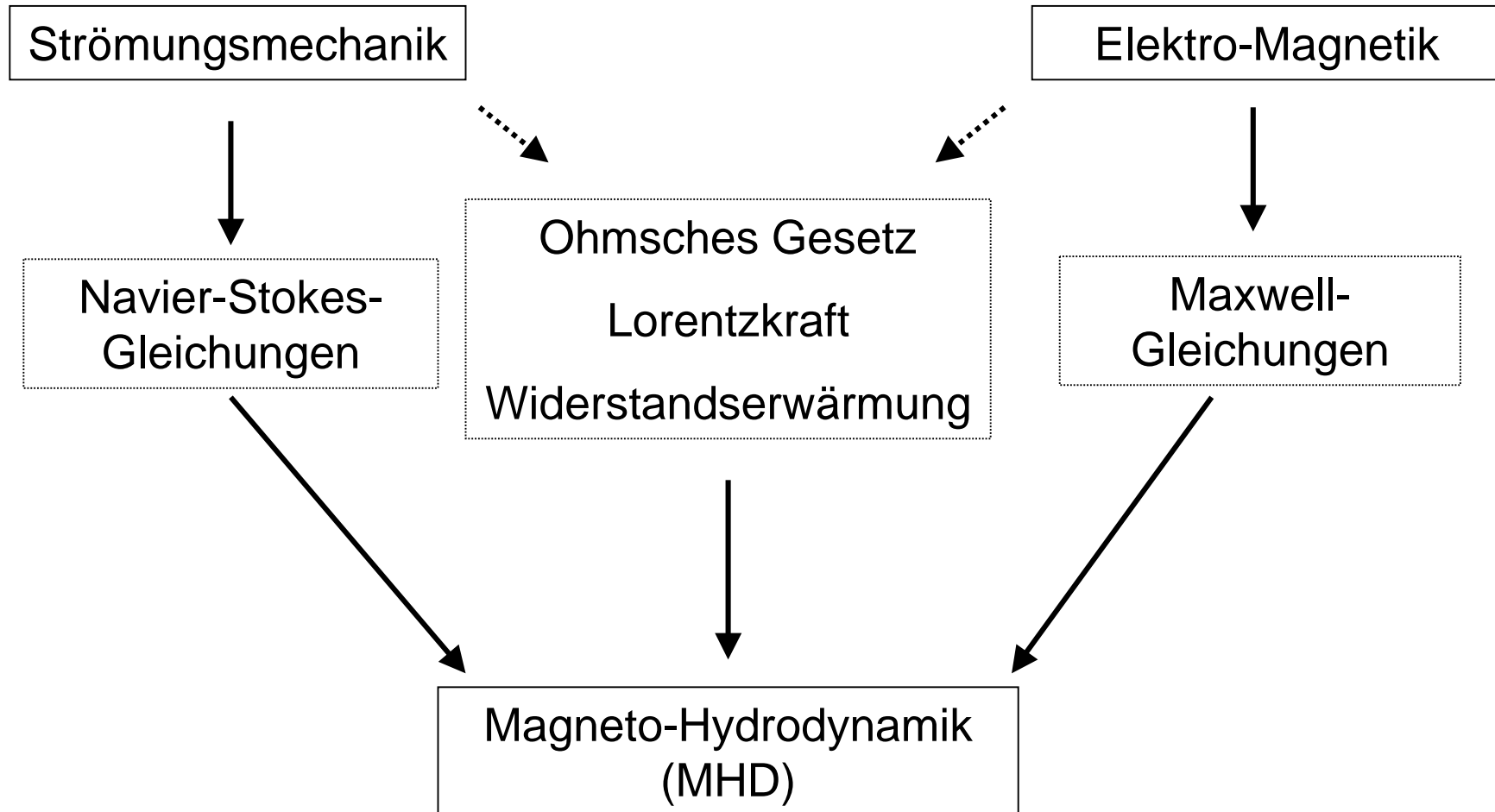
Erweiterungen von CFX-5

Schmelzen/Verfestigen



Erweiterungen von CFX-5

Elektromagnetische Effekte



Erweiterungen von CFX-5

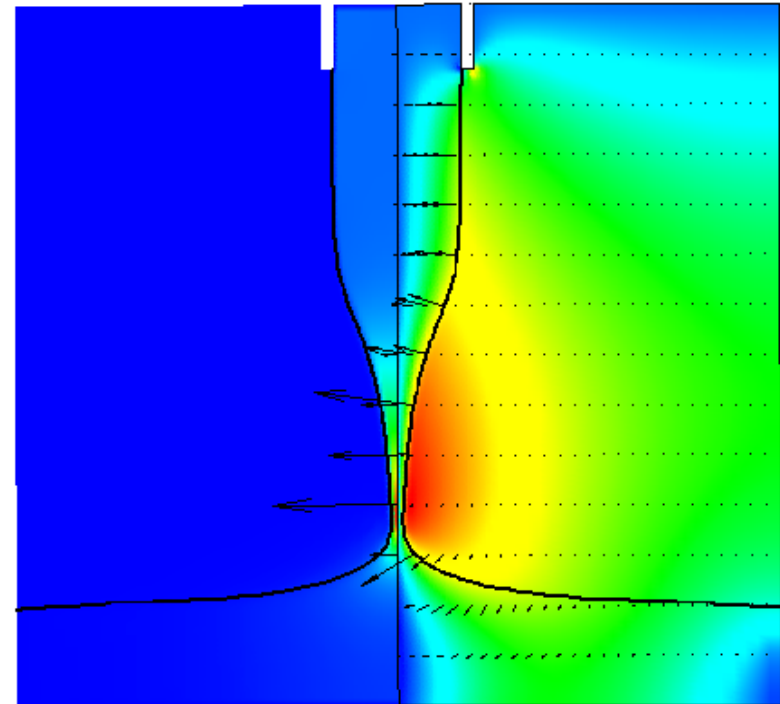
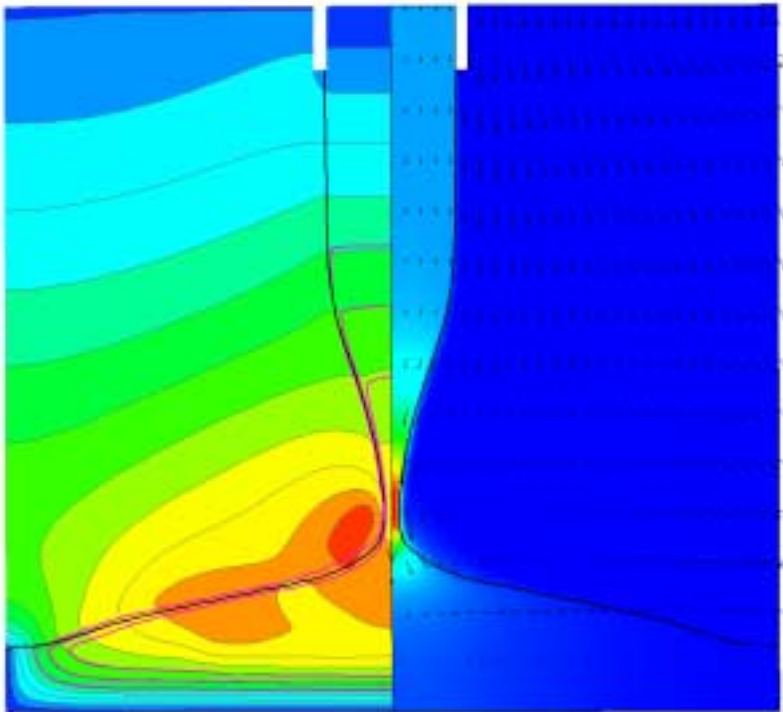
Elektromagnetische Effekte

Farblich: Temperatur

Stromdichte

Stromdichte

Magnetfeld



Vektoren: Geschwindigkeiten

Lorentzkraft

Erweiterungen von CFX-5

Lichtbogenmodellierung ohne Fallgebiete

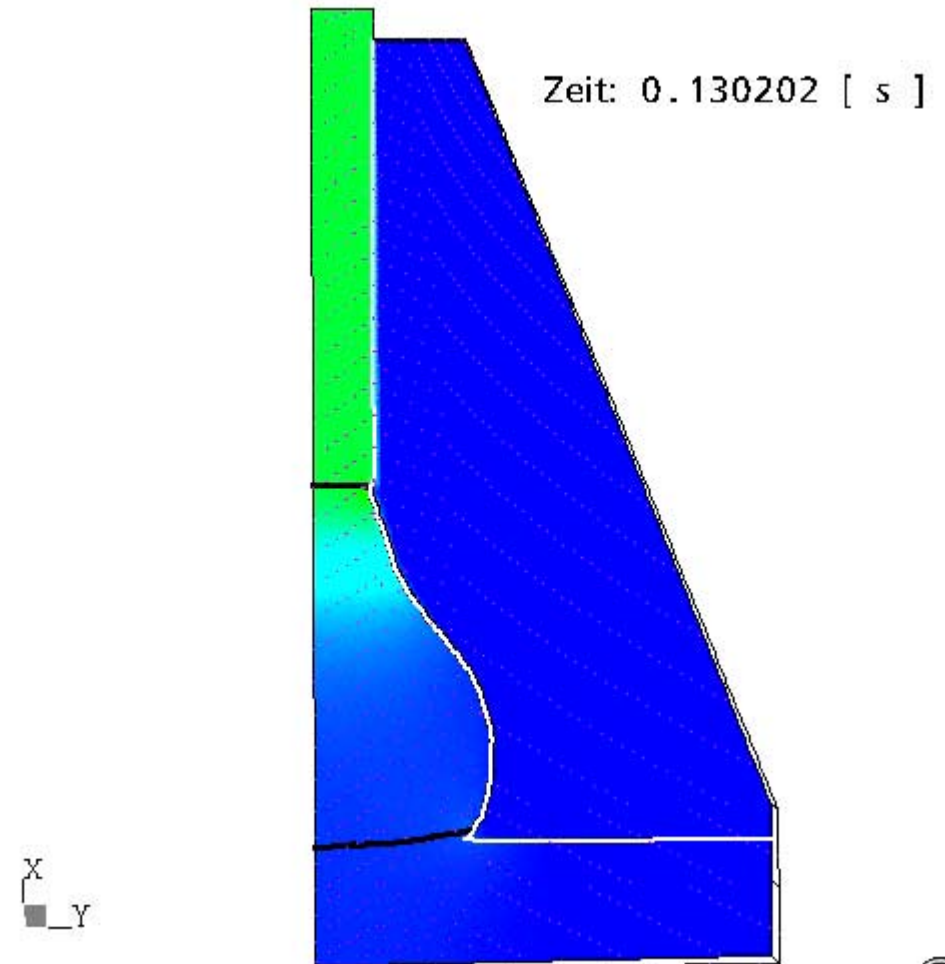
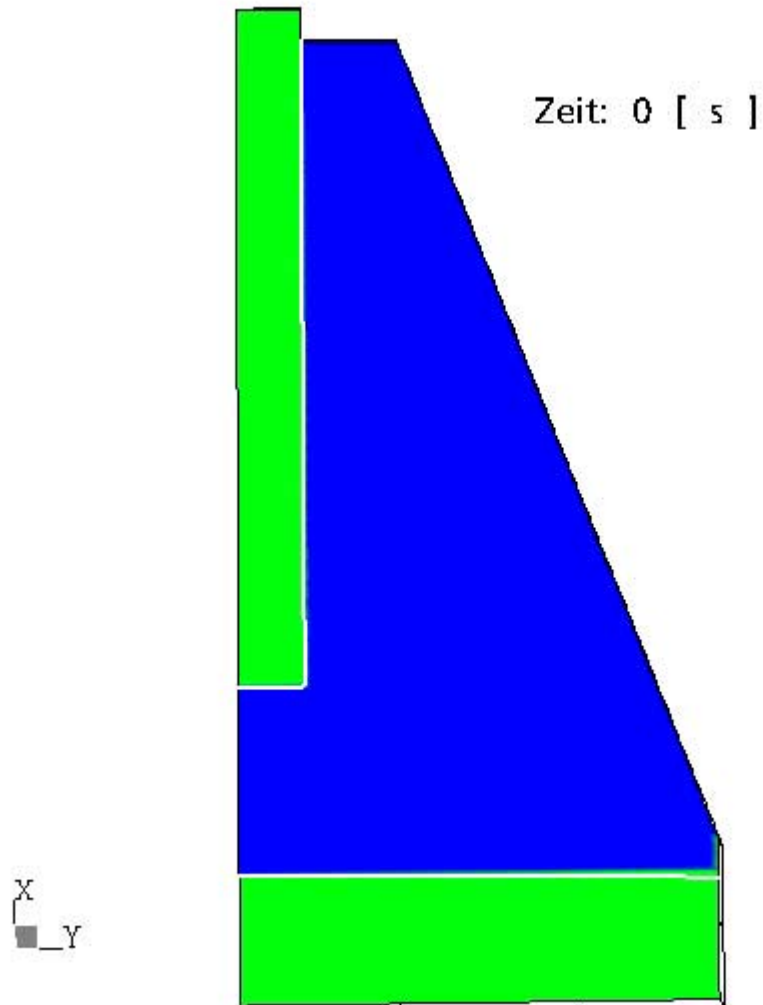


- temperaturabhängige Funktionen für Argoneigenschaften im LTG von Murphy, CSIRO
- Strahlung durch temperaturabhängige Nettoemission nach Bauder
- stationäre und transiente Simulationen mit Gleichungen für Geschwindigkeit, Druck, Temperatur, elektrisches und magnetisches Feld

- Diffusionsgleichung für Elektronendichte:
 - ambipolare Diffusion
 - Ionisation, Rekombination
- Stromdichte mit Diffusionsstrom
- elektrische Leitfähigkeit:
 - Berechnung aus Stoßquerschnitten
- Anode/Kathode: Erwärmung/Kühlung durch Elektronenabsorption/-emission
- Kathode: Erwärmung durch Ionenabsorption

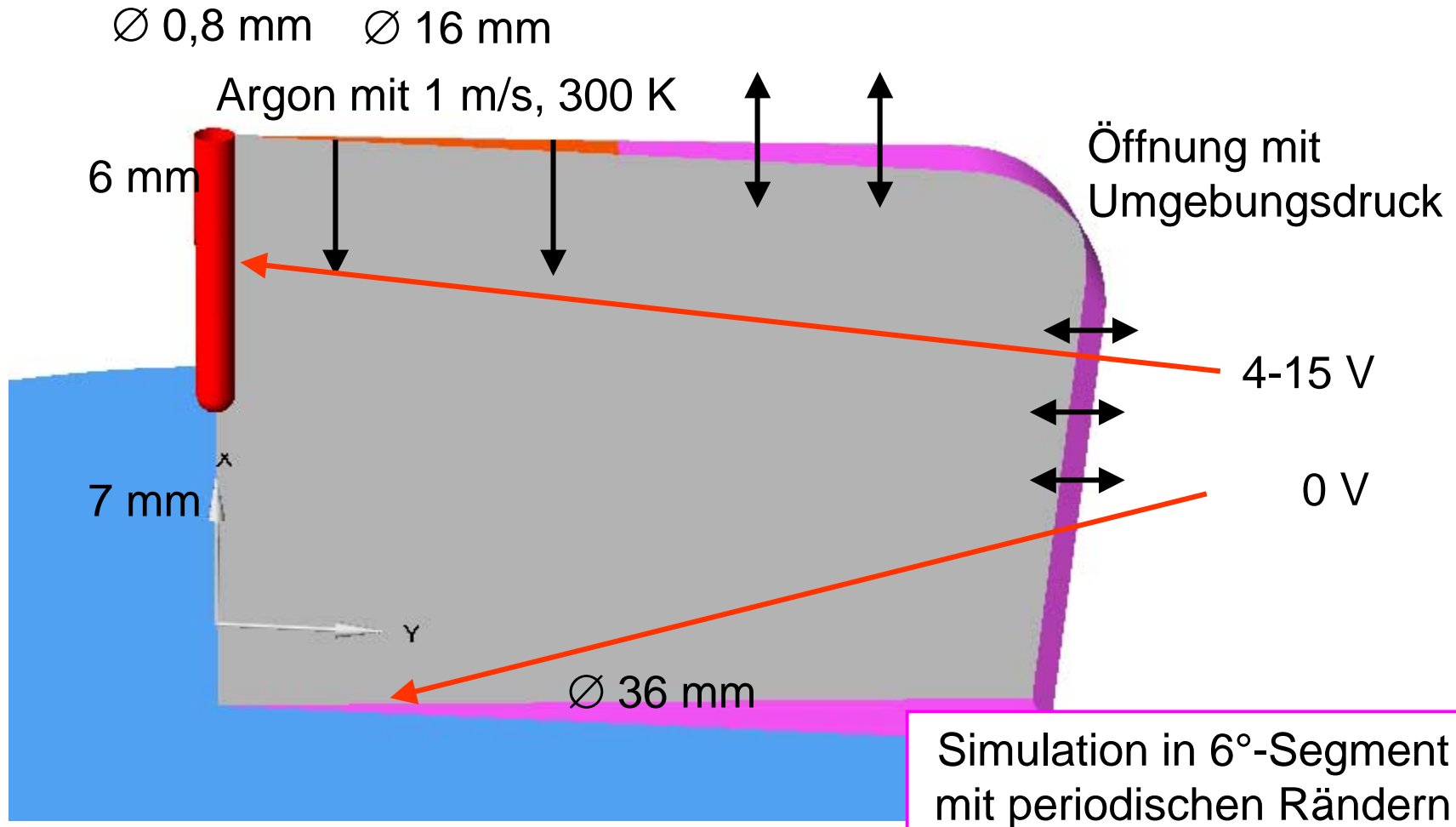
Kurzschlussphase

ca. 100 A Kurzschlussstrom



Schweißlichtbogen ohne Fallgebiete

Geometrie



Elektroden thermisch isoliert

Schweißlichtbogen ohne Fallgebiete

Erklärung der Darstellung

Potentiallinien
zu 2 V, 4 V,...

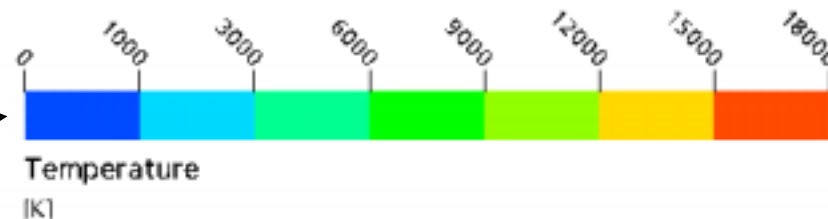
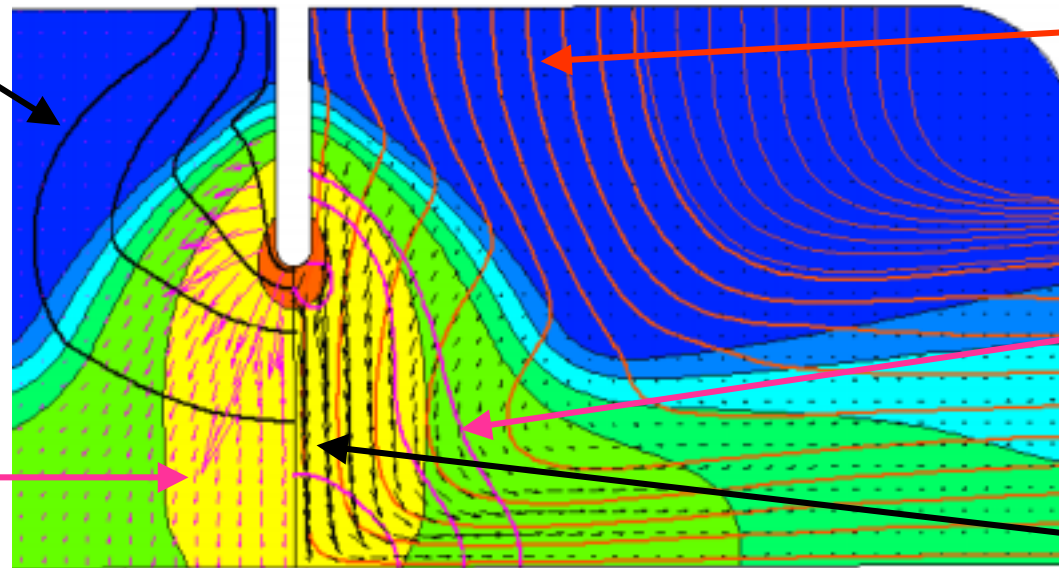
Stromlinien

Isobaren

Stromdichte-
vektoren

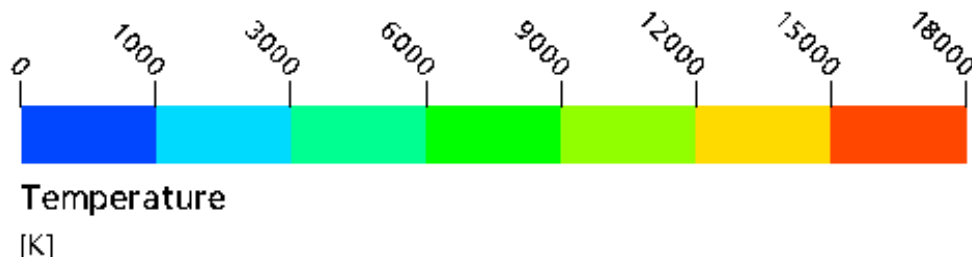
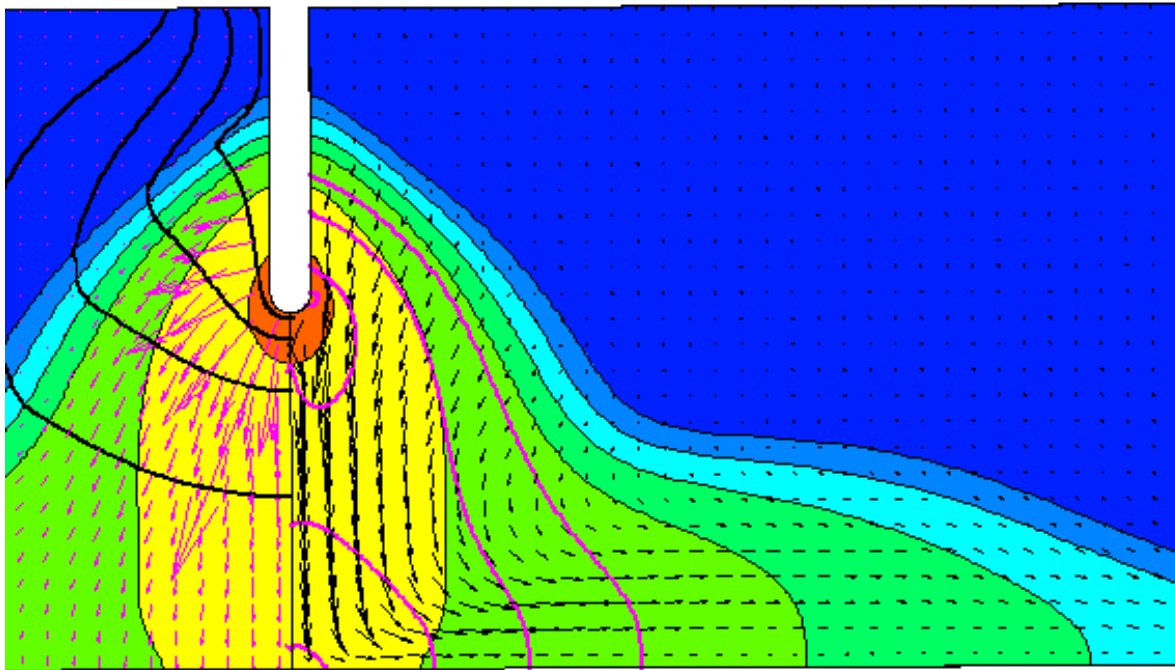
Geschwindig-
keitsvektoren

Temperatur als
farbiger
Konturplot



Schweißlichtbogen ohne Fallgebiete

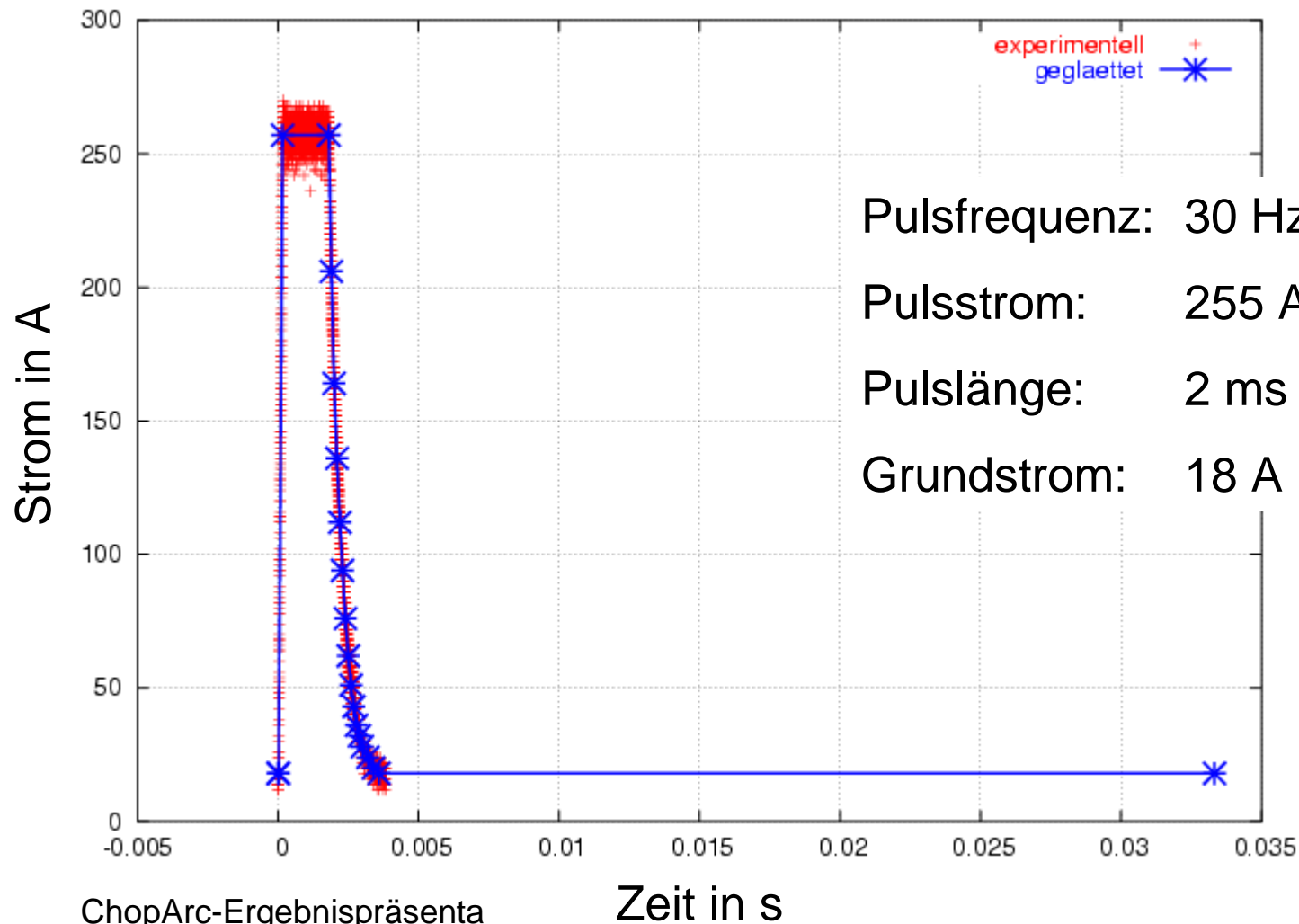
Stationär bei 255 A



Spannung $U = 9 \text{ V}$
Strom $I = 255 \text{ A}$
Leistung $P = 2300 \text{ W}$
Geschw. $u \leq 115 \text{ m/s}$
Druck $p \leq 213 \text{ Pa}$
Temperatur $T \leq 17.526 \text{ K}$

Schweißlichtbogen ohne Fallgebiete

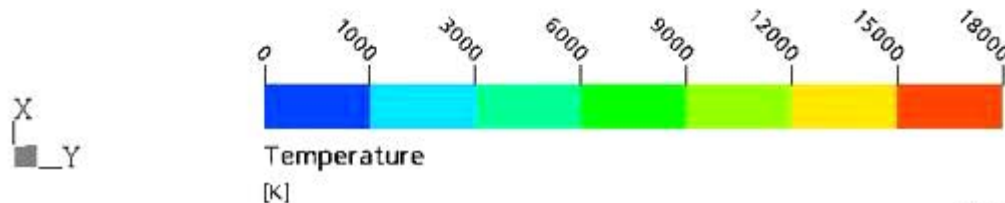
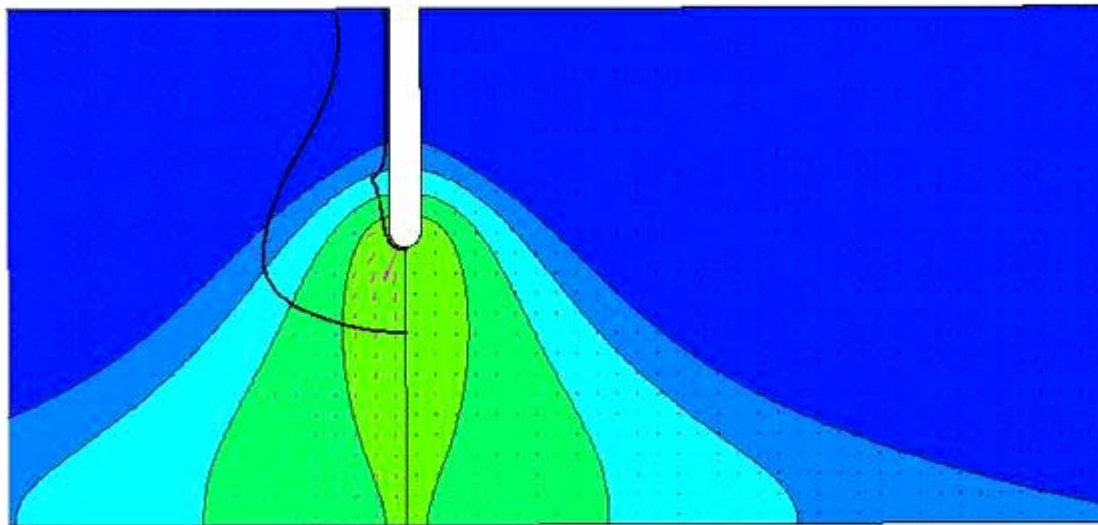
Impulsschweißen: Stromvorgabe



Schweißlichtbogen ohne Fallgebiete

Impulsschweißen: Film

Time = 0.02 [s]



Pulsfrequenz: 30 Hz (33 ms)

Pulsstrom: 255 A

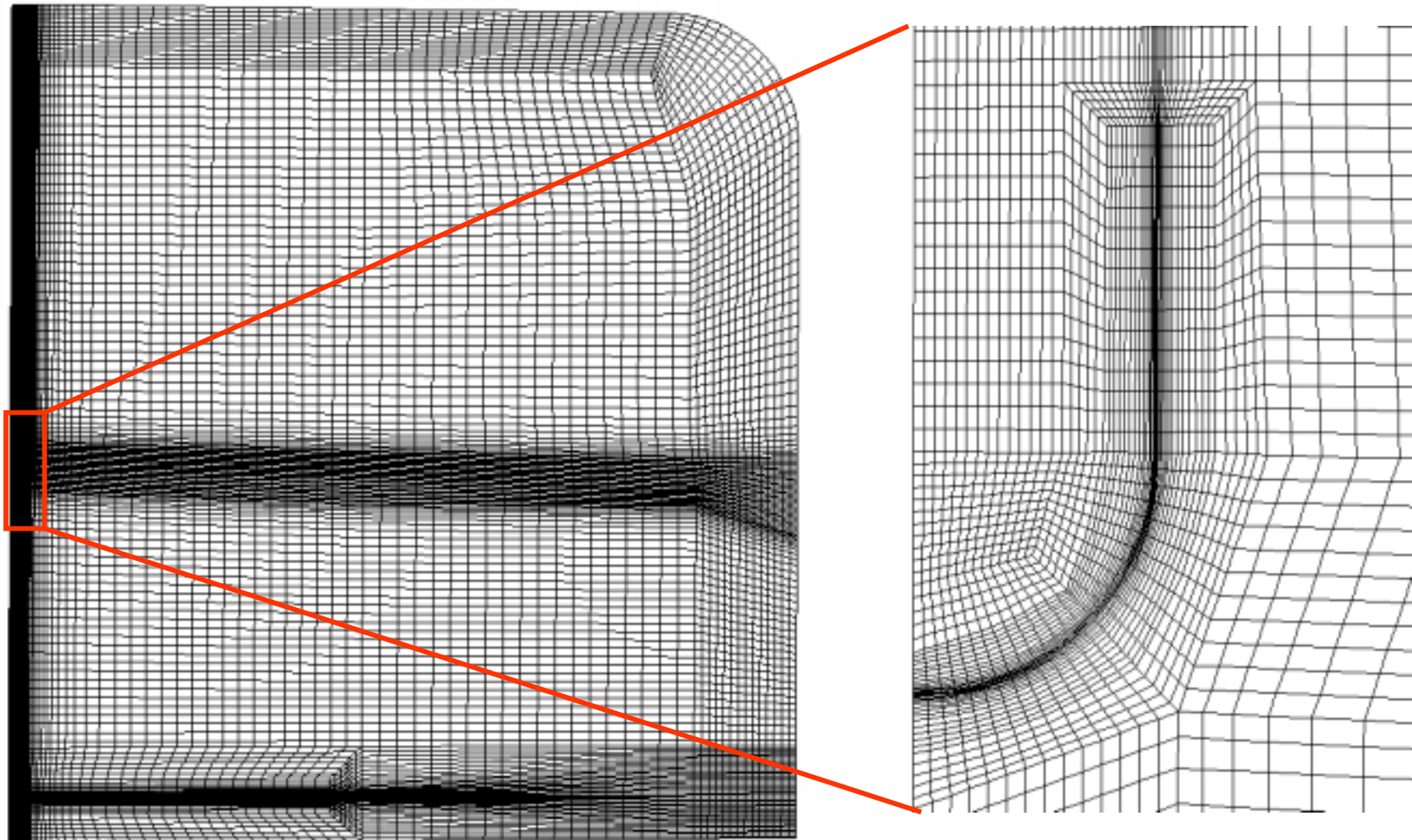
Pulslänge: 2 ms

Grundstrom: 18 A

Bildabstand: 0,01 - 0,2 ms

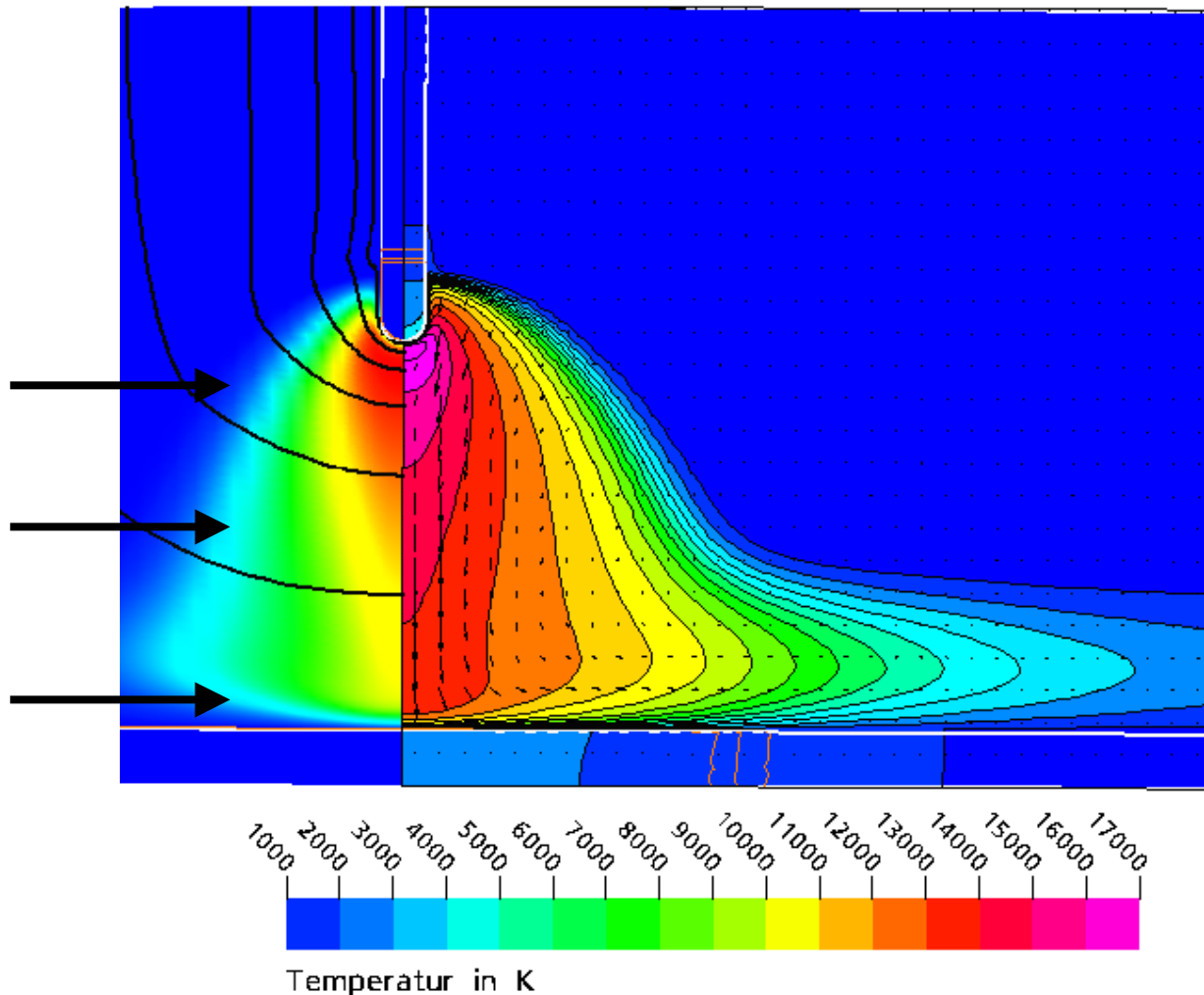
Schweißlichtbogen mit Fallgebieten

Gitterauflösung der Fallgebiete



Schweißlichtbogen mit Fallgebieten

Stationär bei 255 A



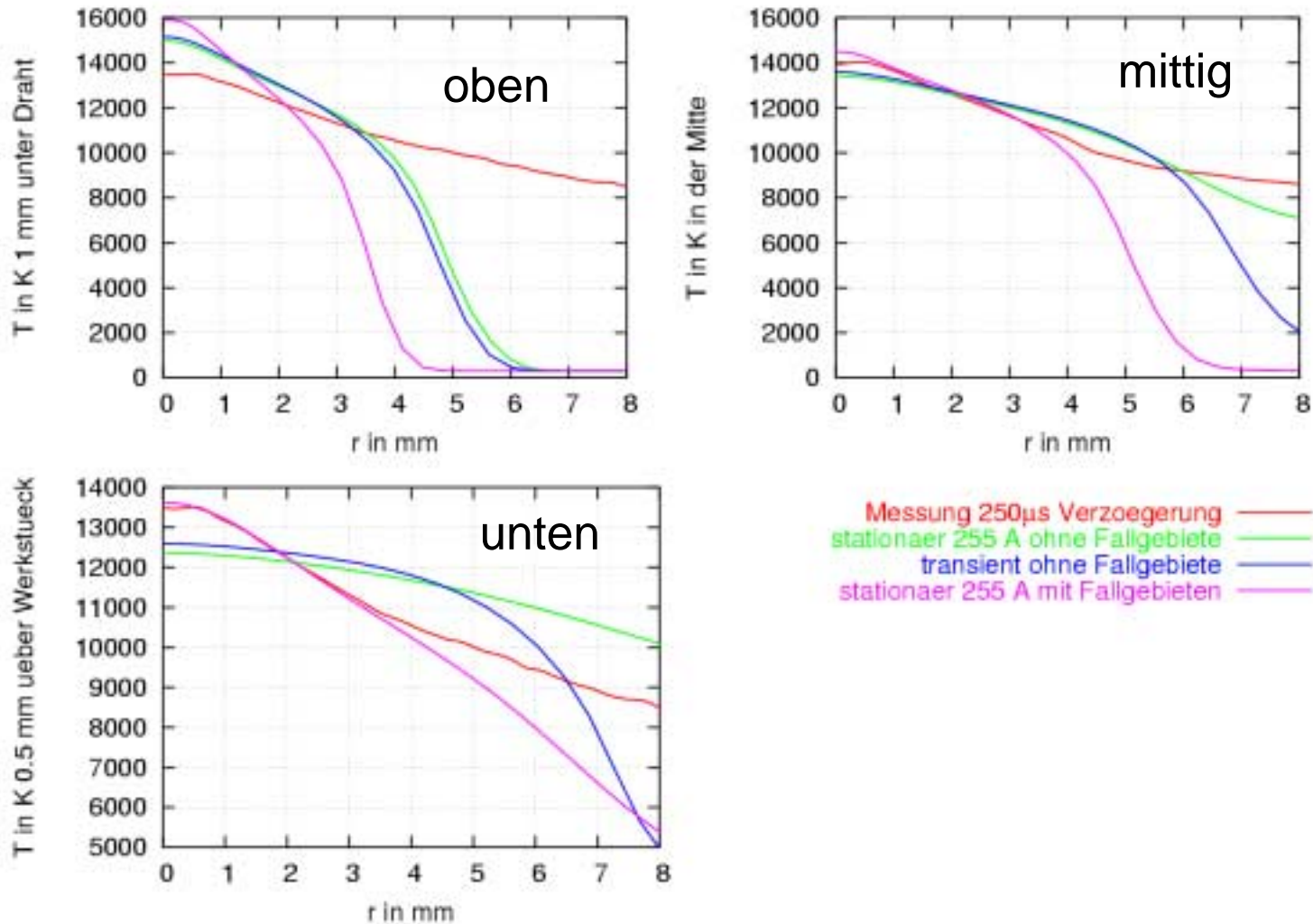
Spannung $U = 12,6 \text{ V}$
Leistung $P = 3200 \text{ W}$
Geschw. $u \leq 410 \text{ m/s}$
Druck $p \leq 2740 \text{ Pa}$
Temperatur $T \leq 17.510 \text{ K}$
Verdampfung: 70%

Ohne Fallgebiete:

Spannung $U = 9 \text{ V}$
Leistung $P = 2300 \text{ W}$
Geschw. $u \leq 115 \text{ m/s}$
Druck $p \leq 213 \text{ Pa}$
Temperatur $T \leq 17.526 \text{ K}$

Schweißlichtbogen

Vergleich mit Messungen am INP



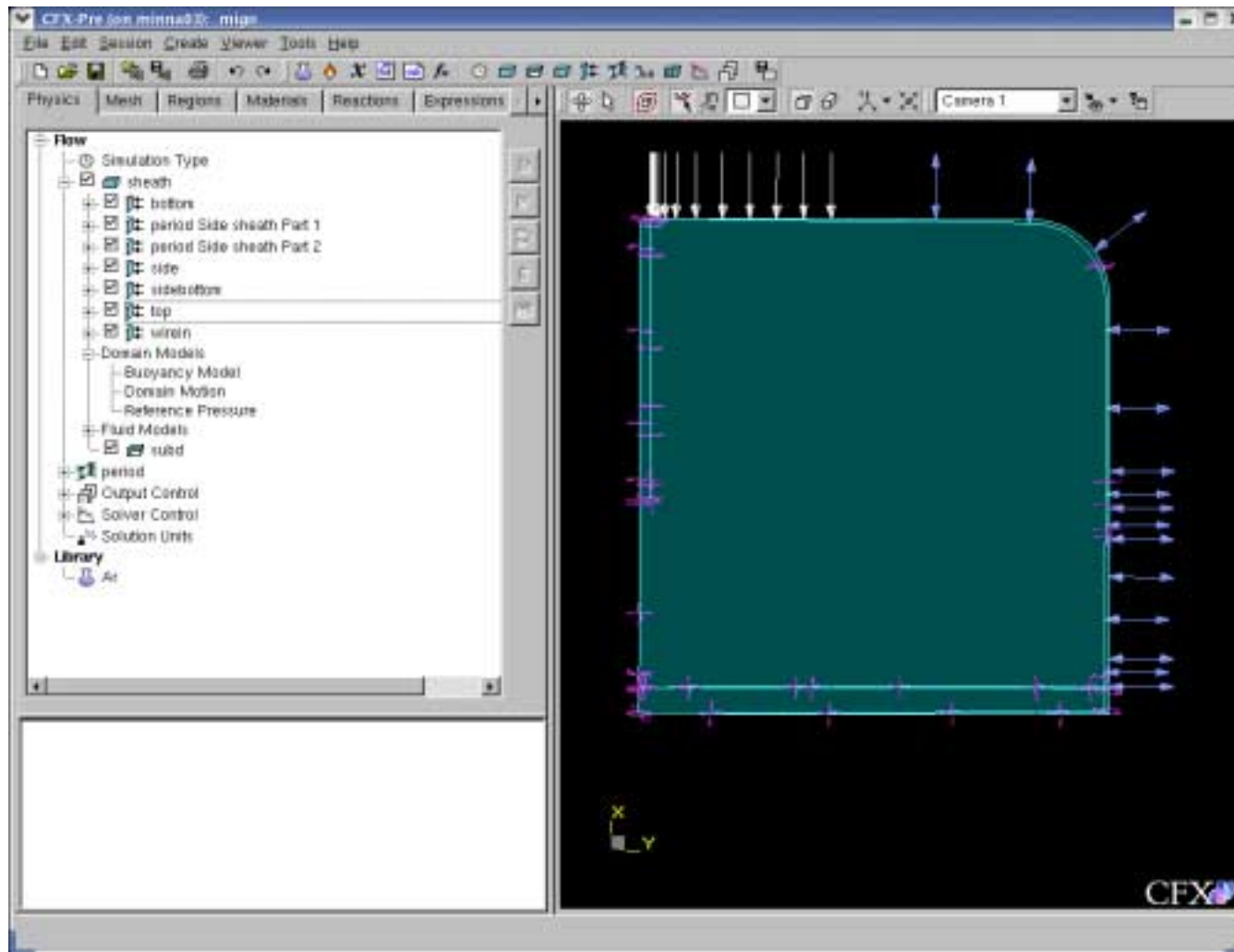
- Vorstellung von CFX-5
- Implementierung von Erweiterungen in CFX-5
- Simulation des ChopArc-Prozesses:
 - Kurzschlussphase
 - Lichtbogenphase ohne Fallgebiete
 - Lichtbogenphase mit Fallgebieten
- weitere Anwendungen:
 - Plasmawerkzeuge (TU Dresden)
 - Schaltlichtbögen (RWTH Aachen)

- verbessertes Strahlungsmodell
- Berücksichtigung des Metaldampfes
- Berücksichtigung des aktiven Schutzgases
- Verbesserung des Fallgebietsmodells
- Datenbank mit Materialeigenschaften

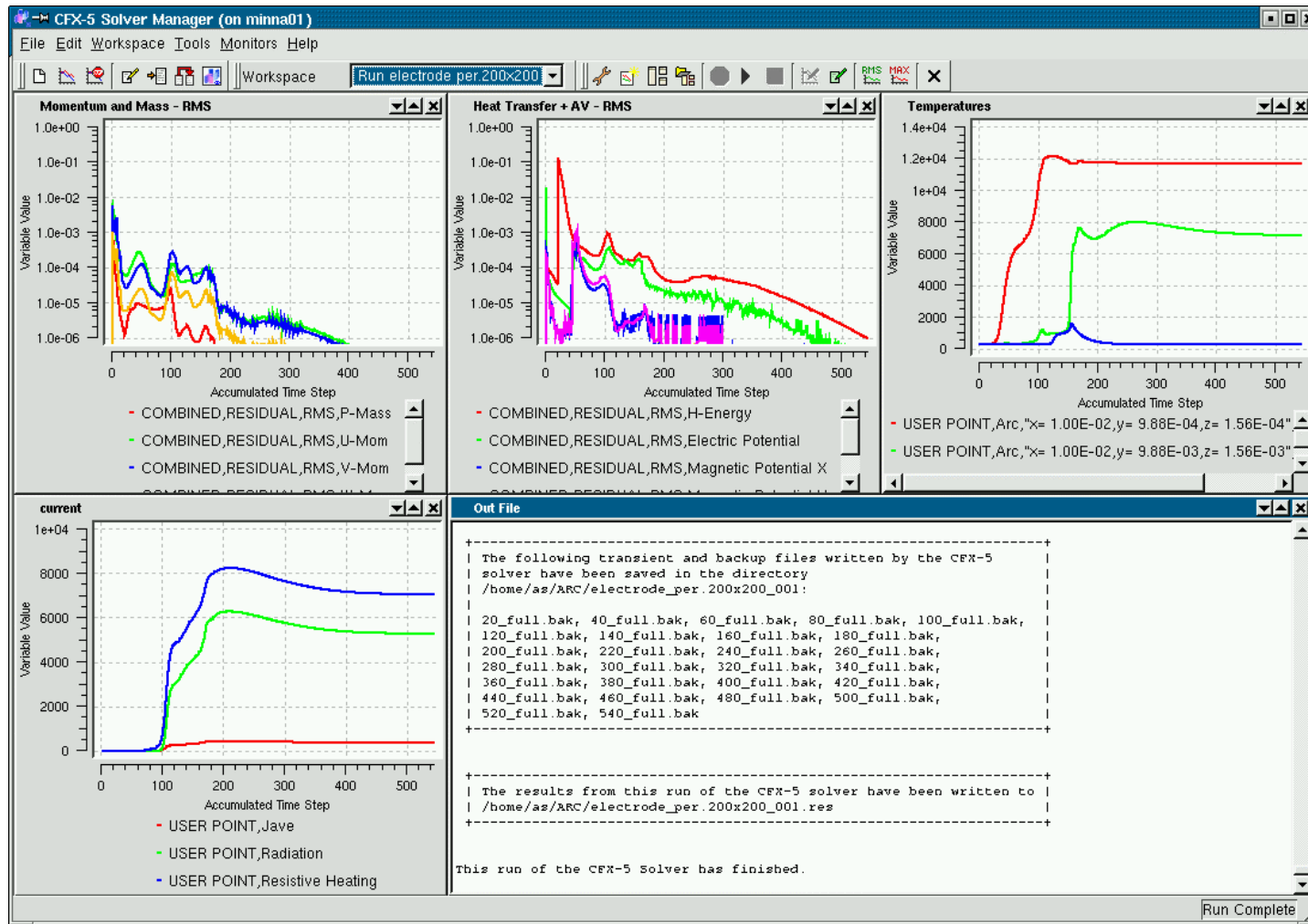
⇒ Simulation des Gesamtprozesses

Vermarktung

Einleitung CFX-Pre



Einleitung CFX-SolverManager



Einleitung CFX-Post

