TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ

Institut für Füge- und Montagetechnik
Professur Schweißtechnik
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Peter Mayr

PROFESSUR SCHWEISSTECHNIK

Prozesssimulation des WIG - Schweißens zur Entwicklung eines Automaten-/Roboterbrenners mit einer Heatpipe – Brennerkopfkühlung

PD Dr.-Ing. habil. Khaled Alaluss

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Peter Mayr

10. Anwendertreffen SAXSIM
(Saxon Simulation Meeting)
22. März 2018
Kongress- und Veranstaltungszentrum
Luxor, Chemnitz

Professur Montage- und Handhabungstechnik
Prof. Dr.-Ing. Maik Berger

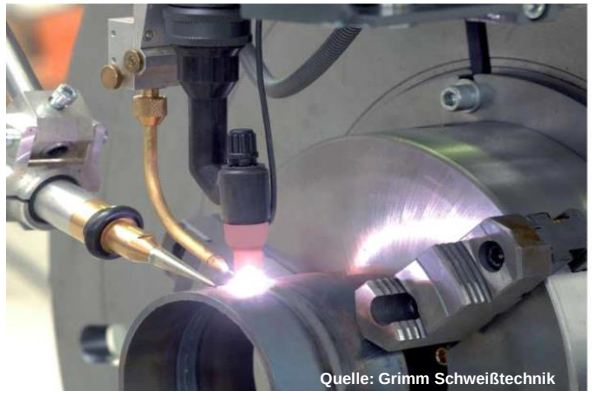
GMA-TEC e.V.

Gliederung

- **Roboter – WIG-Schweißen – Technischer Hintergrund**
- **Motivation – Zielstellung**
- **Modellierung/Simulation – WIG-Schweißprozess**
  - MHD-Modell – WIG-Schweißen
  - CAD-Modell
  - Prozessrandbedingungen und -parameter
- **Simulationsergebnisse**
- **Evaluierung des entwickelten Brennerkopfprototyps**
- **Zusammenfassung/Ausblick**

WIG-Schweißen – Verfahrensprinzip – Brenneraufbau

- Lichtbogen brennt zwischen einer nicht abschmelzenden Wolframelektrode und dem Werkstück.
- Als Schutzgas wird in der Regel ein inertes (ein Edelgas) verwendet.
- Zusatzwerkstoff wird stromlos zugeführt, entweder mit der Hand (Handschweißung) oder maschinell (Automatenschweißung).
- Schweißbar sind **Materialien ab 0,6 mm** Dicke.
- Schweißprozess wird mit Gleich- oder Wechselstrom ausgeführt:
  - **Wechselstrom** (AC): Schweißen von Leichtmetallen (wie Al)
  - **Gleichstrom** (DC): Schweißen von legierten Stählen und NE-Metallen.


Quelle: Grimm Schweißtechnik

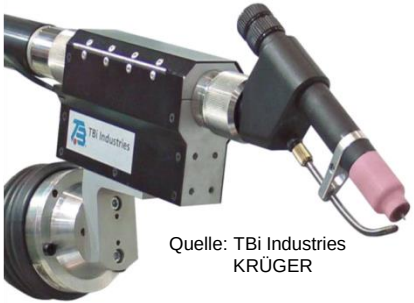
1 – Gasdüse, 2 – Wolframelektrode
3 – Spannhülse, 4 – Brennerkappe
5- Schutzgasdüse, 6 – Brennerschalter
7 – Schutzgaseinlass, 8 – Wasserzulauf
9 – Schweißstromleitung, 10 - Wasserrücklauf

Automaten-/Roboter-WIG-Schweißbrenner Anwendungsbeispiele

- Automaten-/Roboter-WIG-Schweißbrenner mit Wechselsystem werden in der Praxis nachfolgenden technischen Ausführungen aufgebaut:
  - die Kurzkopfbauweise mit Wolframelektrode in „Stick-Form“
  - die Langausführung (ähnlich Handbrenner) mit Wolframnadellängen bis 175 mm

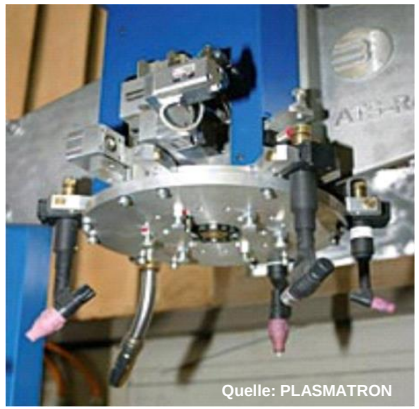
Quelle: TBi Industries

Stick-Ausführung



Quelle: TBi Industries
KRÜGER

Langausführung



MSG/WIG- Wechselstation

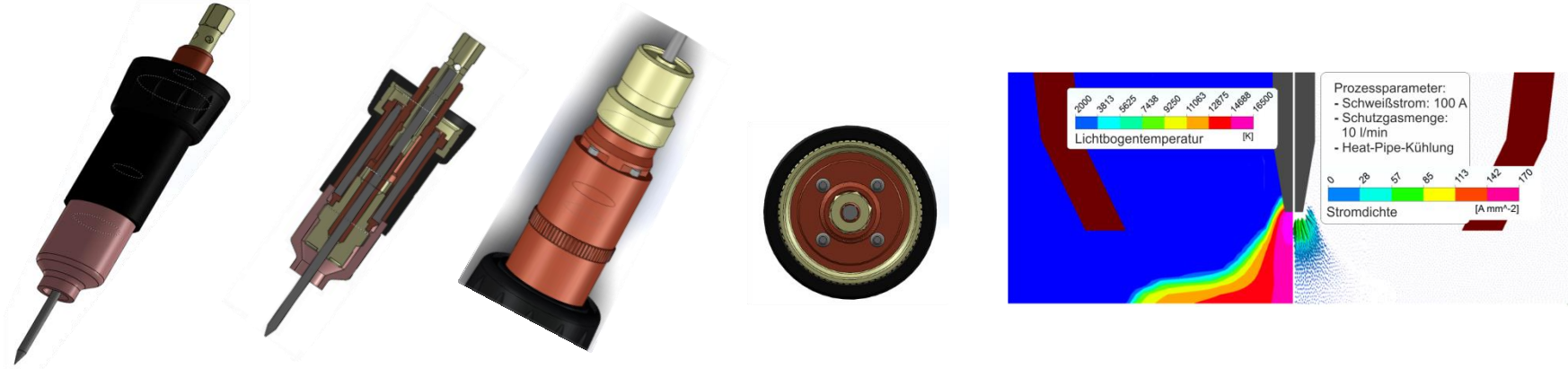
Automaten-/Roboter-WIG-Schweißbrenner
Probleme – Motivation

- Für eine exakte Lichtbogenpositionierung zum Schweißpunkt werden beim Roboter – WIG-Schweißprozess folgende technische Anforderungen am Brennerkopf und dessen Wechselsystem gestellt wie:
  - eine konstante Wärmeableitung im Brennerkopfbereich,
  - schnelle Wechsel von Verschleißteilen, insbesondere der Kathode,
  - reproduzierbare Wechseln der Schweißbrennerköpfe und
  - schnelle Koppelung der Prozessmedien (Schweißstrom, Schutzgas und Kühlung)

- Ziel: Entwicklung eines neuartigen WIG-Roboterschweißbrenners mit einem adaptiven Wechselsystem, welches das reproduzierbare Austauschen von WIG-Schweißbrenner-köpfen ermöglicht. Dadurch können folgende technische Vorteile erreicht werden:
  - Einfachheit der Wechselbaugruppe bzgl. reproduzierbarer Pass- und Austausch-barkeit, Zeitunterbrechung des Schweißprozesses, Positioniergenauigkeit von Schweißpunkt und Drahtzuführung,
  - Integration eines geschlossenen Wärmetransportsystems – Wärmeableitung – Heatpiperohr bei kleinstem Bauraum.

Technischer Lösungsansatz

- Ermittlung erforderlicher Kenntnisse über Prozessverhalten und dessen thermophysikalische – strömungsmechanische Effekte für einen funktionssicheren Brennerkopfaufbau
- Werkstoff- und konstruktionsgerechte Gestaltung der Brennerteilegeometrien
- Gestaltung eines optimalen Heatpipe – Brennerkopfkühlsystems mit starker Kühlleistung und besserer Trennung der Prozessmedien (Schutzgas/Kühlung) und des Schweißstroms,

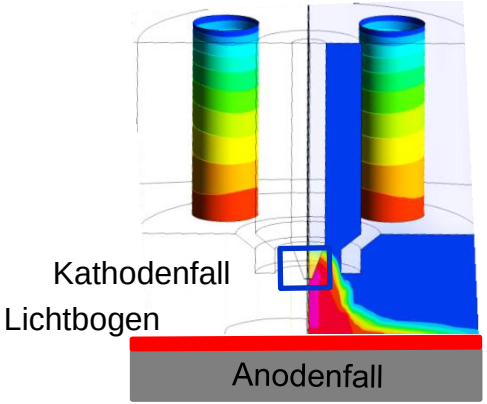


Konstruktionsmodell – Automaten-/Roboter-WIG-Schweißbrennerkopf

Modellierung/Aufbau eines strömungs-thermomechanischen/MHD – FE-Modells

Prozesssimulation – Modellierung – WIG-Schweißen

➢ Fallgebiete – Kathode – Anode – Lichtbogenbereich



Fluidmechanik
Hydrodynamik

Elektromagnetik
Elektrodynamik

Kontinuitätsgl.
Navier-Stokes Gl.
Energieerhaltungssatz

Schnittstellen:
Ohmsches Gesetzt
Wiederstandserwärm.

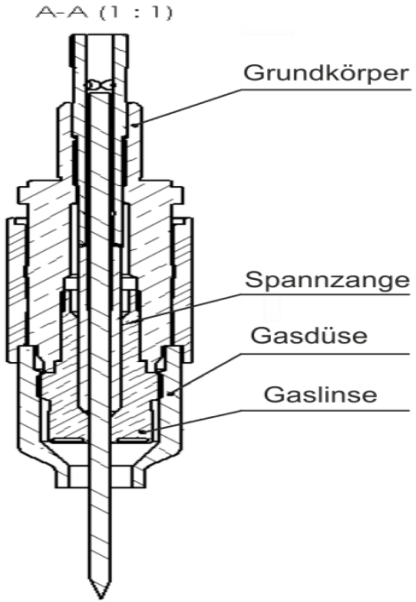
Maxwell-
Gleichungen

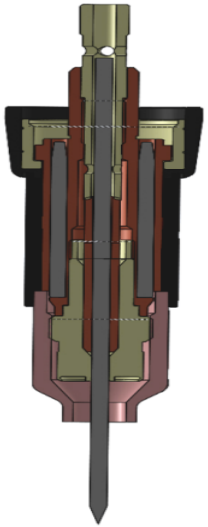
Magneto-Hydro-Dynamik (MHD) – Modell

- Allgemeine Wärmetransportgleichung
- Lokale Thermodynamischen Gleichgewicht (LTG),
- Richardson-Gleichung für thermische Emission,

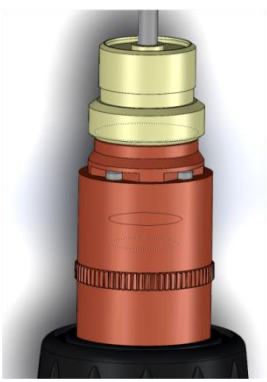
Prozesssimulation – Modellierung – CAD-Modell

Aufbau „Automaten – WIG-Schweißbrennerkopf“





WIG-Automatenbrennerkopf – Einspannstecker – Anschlussteile



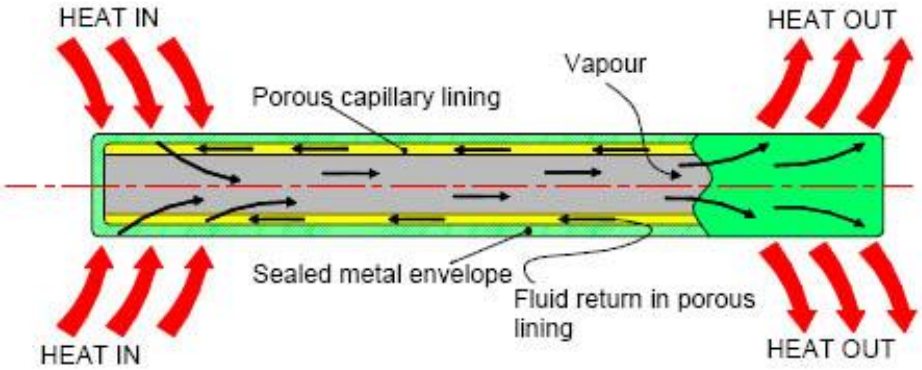
4-Stück – Heatpipe-Rohr

Anbringung – Heatpipe-Rohr für Brennerkühlung

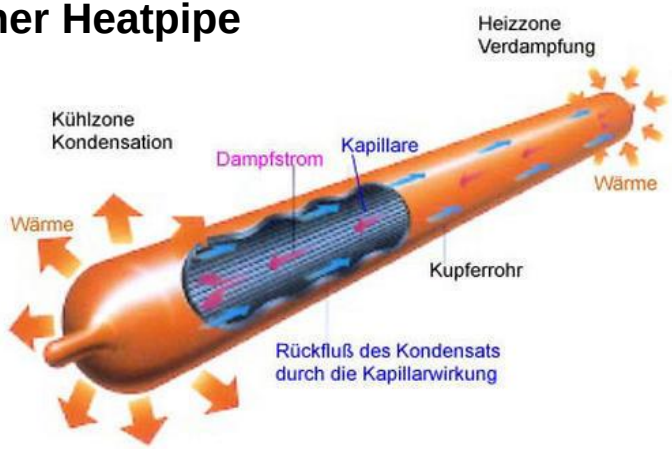
Heatpipe – Aufbau und physikalisches Prinzip

- Eine Heatpipe ist ein Bauteil, mit dem thermische Energie (= Wärme) sehr effizient von einem Ort zu einem anderen transportiert werden kann. Dabei wird der physikalische Effekt ausgenutzt, beim Verdampfen und Kondensieren von Flüssigkeiten enorm hohe Energiemengen umzusetzen

Funktion einer Heatpipe



Quelle: hardwareoverclock.com



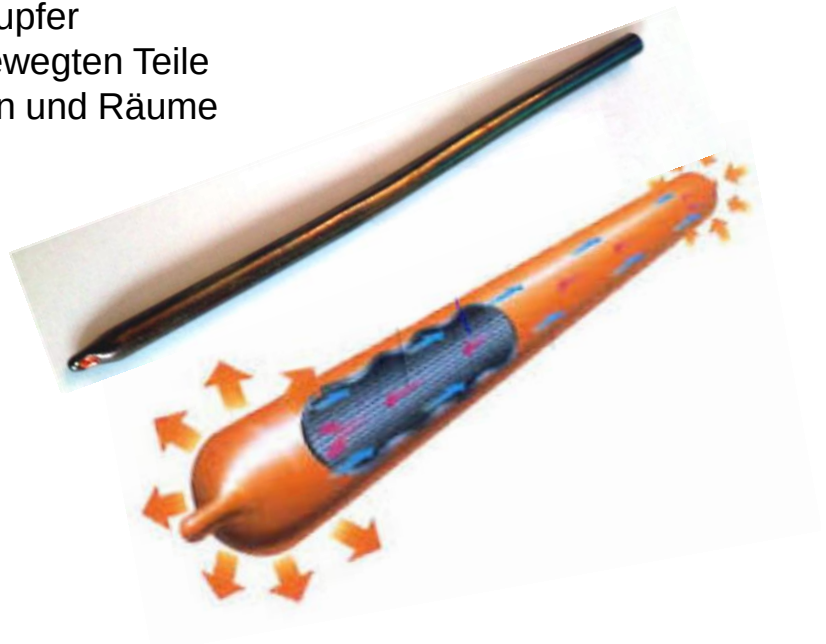
Quelle: archiv.hardwarelapes.de

Heatpipe (Wärmerohr) – Technologie

Heatpipe – Eigenschaften

- Nutzung der Verdampfungsenthalpie
- hohe Wärmetransportleistungen bei geringen Temperaturdifferenzen
- effektive Wärmeleitfähigkeiten des 100 - 10000 fachen von Kupfer
- vielfältige geometrische Gestaltung und keine mechanisch bewegten Teile
- Entkopplung Wärmequelle – Wärmesenke, isotherme Flächen und Räume
- geräuschlos, wartungs- und verschleißfrei

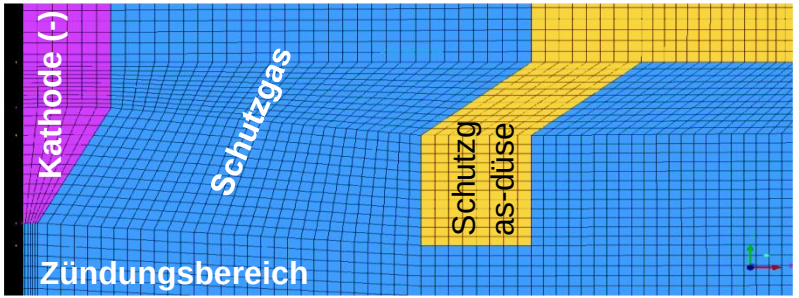
Arbeitstemperatur [°C]	Arbeitsmedium	Hüllmaterial
-299 bis -80	Flüssiger Stickstoff	Edelstahl
-70 bis 60	Ammoniak	Aluminium, Edelstahl
-45 bis 120	Methanol	Kupfer, Edelstahl
5 bis 300	Wasser	Kupfer
190 bis 550	Quecksilber	Edelstahl
400 bis 800	Kalium	Edelstahl
500 bis 900	Natrium	Edelstahl



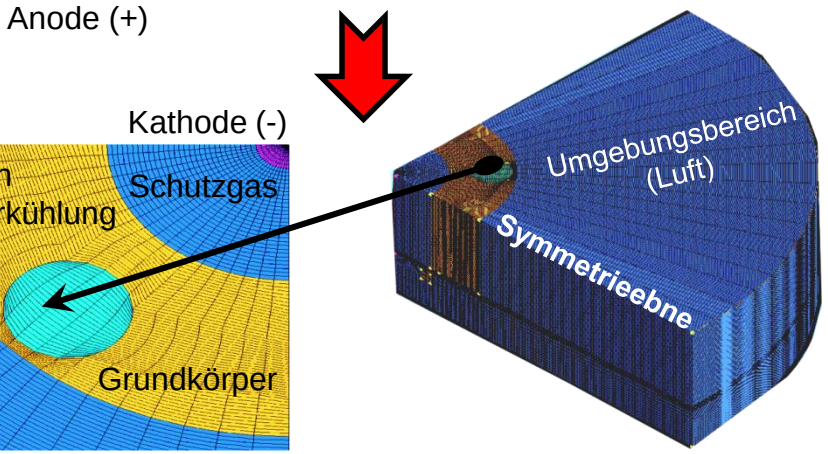
Prozesssimulation – FE-Modell – WIG-Schweißen

Geometrie, Prozessparameter – Brennerleistung: 200 A

- Geometrische Parameter:
  - Elektrodendurchmesser: 2,40 mm
  - Keglige Rohr: Ø 8,5 – 14,0 mm
  - Schutzdüse: Ø 32 mm
  - 4 x Heapipe-Rohr: Ø 2,6 x 60 mm



- Untersuchung der Brennkopfkonstruktion mittels Variation der Prozessparameter für Lichtbogen-Ausbildung und dessen physikalische Effekte:
  - Schweißstrom und -spannung I_s: 75 A und 150 A,
  - $\dot{V}_{Schutzgas}$: 12,0 l min^{-1}



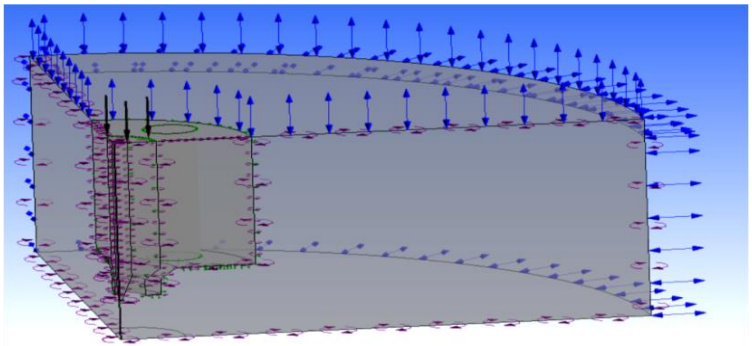
Prozesssimulation – FE-Modell – Randbedingungen

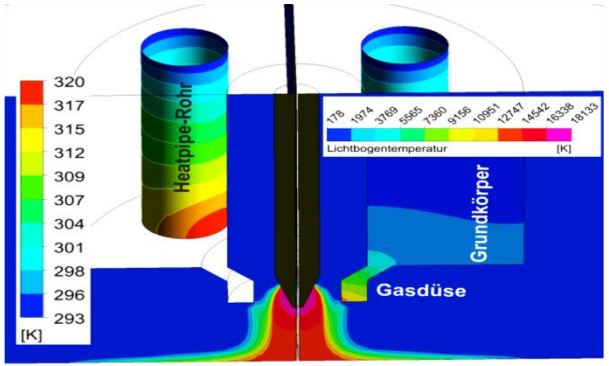
Bereiche
Inlet – Fluid-Schutzgas
Inlet – Wasserkühlung
Schutzgasdüse – Top
Kathode – Schnitt
Fluid – Kathode
Fluid – Schutzgasdüse
Fluid – Werkstück
Open-Atmosphäre
Werkstück unten
Werkstückwand

Art	T [K]	Schutzgas – rel. Druck	Elektrisches Potential	Magnetisches Potential	Ne mol m^{-3}
Inlet	300	$\dot{m}_{SG}$	$\frac{\partial \phi}{\partial n} = 0$	$\frac{\partial A_x}{\partial n} = \frac{\partial A_y}{\partial n} = \frac{\partial A_z}{\partial n} = 0$	0
Inlet	300	$\dot{m}_W$	-	$\frac{\partial A_x}{\partial n} = \frac{\partial A_y}{\partial n} = \frac{\partial A_z}{\partial n} = 0$	0
Wand	300	0	-	$\frac{\partial A_x}{\partial n} = \frac{\partial A_y}{\partial n} = \frac{\partial A_z}{\partial n} = 0$	-
Schnitt	1000	-	0 V	$\frac{\partial A_x}{\partial n} = \frac{\partial A_y}{\partial n} = \frac{\partial A_z}{\partial n} = 0$	-
Interface	Fluss	0	Fluss	Fluss	-
Interface	Fluss	0	$\frac{\partial \phi}{\partial n} = 0$	Fluss	-
Interface	Fluss	0	Fluss	Fluss	-
Open	300	P0	-	0	0
Interface	$\frac{\partial T}{\partial n} = 0$	0	0	$\frac{\partial A_x}{\partial n} = \frac{\partial A_y}{\partial n} = \frac{\partial A_z}{\partial n} = 0$	-
Wand	300 K	0	ϕ_S	$A_x = A_y = A_z = 0$	-

Prozesssimulation – FE-Modell – Randbedingungen

- **Weiterhin wurde folgendes definiert:**
  - Schutzgasdurchfluss als geradlinig/zeitabhängige Funktion mit konstanter Durchflussmenge,
  - Brennerkopfgeometrien als temperaturabhängige Größe für Wärmeübertragung/-transfer,
  - Adiabatische Randbedingung für Schnittstellen der Kontaktbereiche – Kathode und Gas.
  - LB-Zündungs-Modell:
    Modellierung einer künstlichen Energiequelle durch Manipulation der gaselektrischen Leitfähigkeit als Exponentialfunktion mit Normalverteilung im Bereich der Kathode/Anode

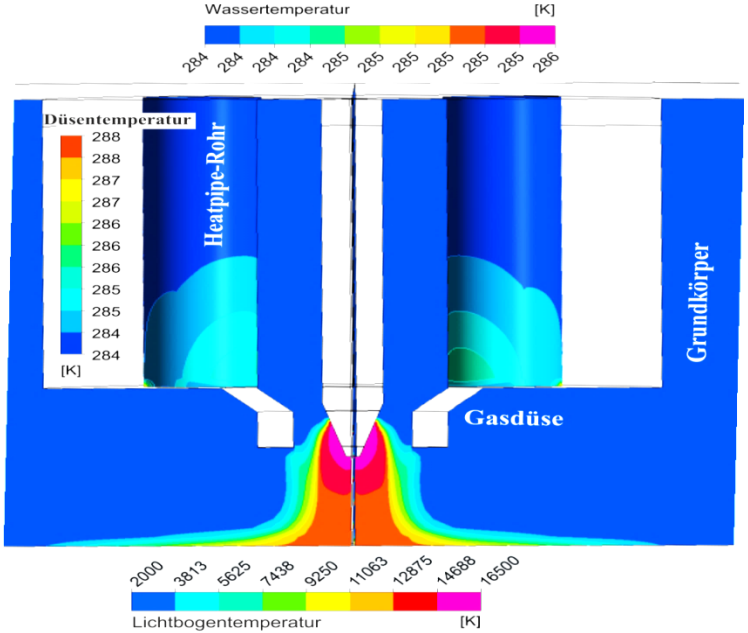




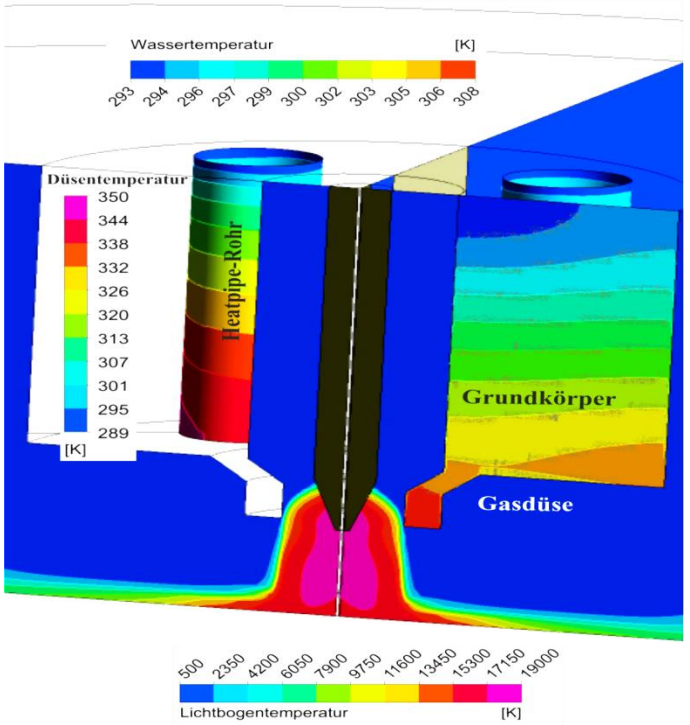
Damit ist eine Gasionisationstemperatur über **7.000 K** für Zündung des Lichtbogens erreichbar.

Einfluss der Schweißstromstärkenveränderung auf Lichtausbogenbildung und physikalische Effekte

I_s = 75 A, $\dot{V}_{Schutzgas}$ = 12 l min^{-1}

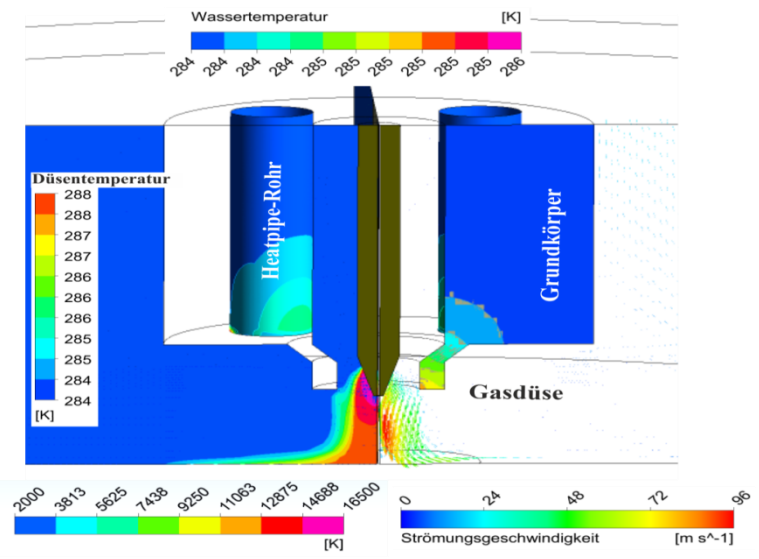


I_s = 150 A, $\dot{V}_{Schutzgas}$ = 12 l min^{-1}

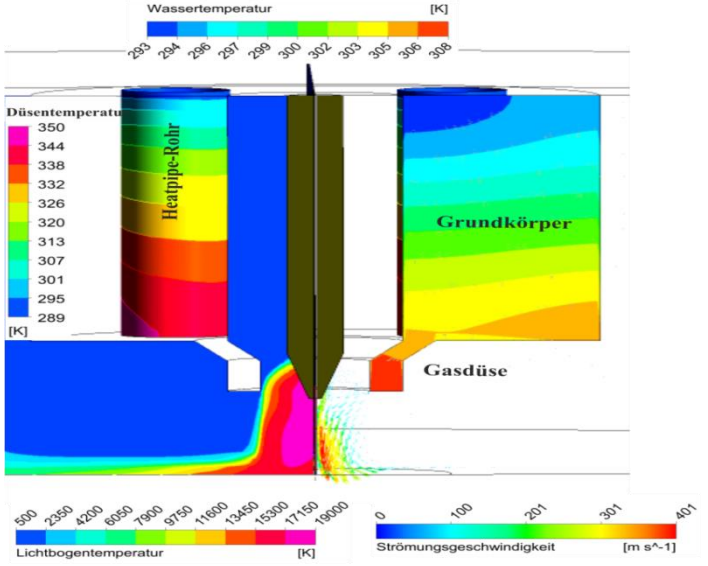


Einfluss der Schweißstromstärkenveränderung auf Lichtausbogenbildung und physikalische Effekte

I_s = 75 A, $\dot{V}_{Schutzgas}$ = 12 l min^{-1}



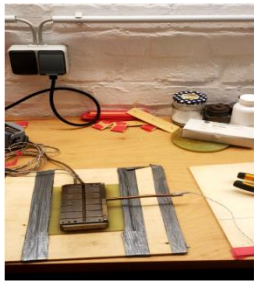
I_s = 150 A, $\dot{V}_{Schutzgas}$ = 12 l min^{-1}

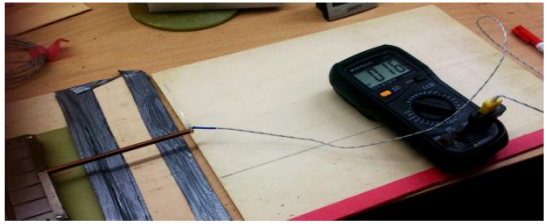


Stromstärke [A]	Max. Libo.-temperatur [K]	Max. Gasdüsen-temp. [K]	Max. Libo.-druck [Pa]	Max. Strömungsgeschwind. [m s^{-1}]
75	16.500	288	2.100	96
150	19.000	350	7.500	401

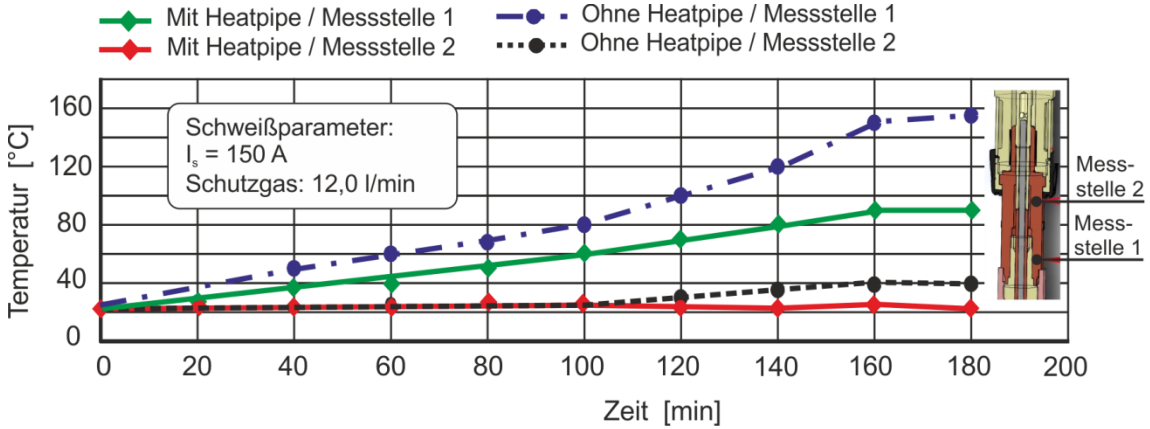
Automaten-/Roboter – WIG-Schweißbrenner
Verifikation des FE-Modells

- Vergleich zwischen berechneten und gemessenen Temperaturen an der Gasdüse
  Gute Übereinstimmung zwischen Berechnung und Messung (< 10 %)





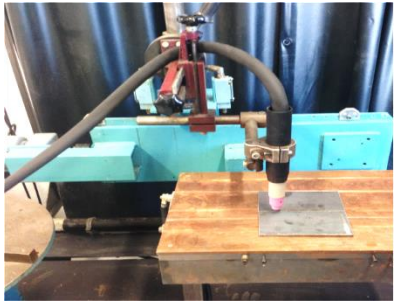
Direkte Messung der Temperaturableitung durch Heatpiperohr

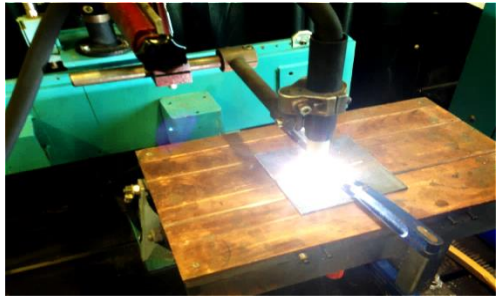


Messergebnisse der Temperaturableitung durch Heatpipe während des Schweißens mittels angebrachter Thermoelementen

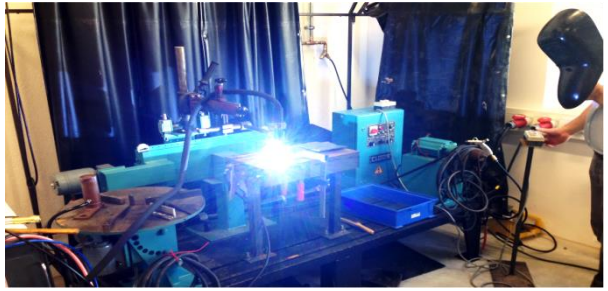
Evaluierung des entwickelten Automaten-/Roboter WIG-Schweißbrenners

Brennerkopfprototyp –
WIG-Automatschweißbrenner

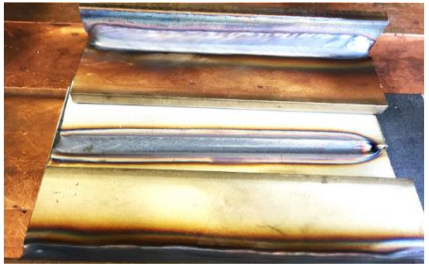




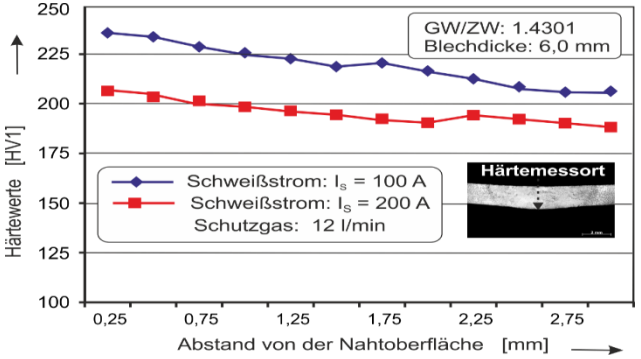
WIG – Automatschweißbrenner mit
Wechselkopfausführung und Heatpiperohr



Erprobung – WIG-Schweißprozess



Geschweißte I-Stoßnähte



Zusammenfassung – Ausblick

- Erfolgreicher Aufbau eines strömungs-mechanisches/MHD – Modells zur Untersuchung der Lichtbogenbildung und seine Verhalten beim Automaten – WIG-Schweißen.
- Entwicklung eines neuartigen physikalischen Wirkprinzips auf Basis der Wärmeableitung – Heatpiperohr zur Gestaltung einer optimierten Wärmebilanz und Brennerkopfkühlung.
- Beeinflussbar sind Lichtbogenausbildung, dessen Intensität, Verhalten sowie Temperatur- und Strömungsverhältnisse durch Prozessparameter.
- Der Vergleich zwischen Berechnung/Messungen – Gasdüsentemperatur (< 10 %.) zeigt das praktische Anwendungspotenzial des FE-Modells.
- Das untersuchten Brennerkühlsystem und die Gasdurchflussquerschnitte entsprachen den definierten Brennerkopfkonstruktionen.
- Mit der Herstellung von Bauteil-Stoßverbindungen wurde die Eignung des aufgebauten Automaten-/Roboter-WIG-Schweißbrenners mit seinem Wechselkopfsystem und Wärmeableitung – Heatpiperohr nachgewiesen.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

PD Dr.-Ing. habil. Khaled Alaluss
khaled.alaluss@mb.tu-chemnitz.de