



OTTO VON GUERICKE  
UNIVERSITÄT  
MAGDEBURG

MB

FAKULTÄT FÜR  
MASCHINENBAU

# Forschungsbericht 2021

Institut für Werkstoff- und Fügetechnik

# INSTITUT FÜR WERKSTOFF- UND FÜGETECHNIK

INSTITUT FÜR WERKSTOFF- UND FÜGETECHNIK

Universitätsplatz 2, 39106 Magdeburg

Tel. 49 (0)391 67-54541/-58613, Fax 49 (0)391 67-44569/-42037

iwf\_office@ovgu.de; iwf@ovgu.de

<http://www.iwf.ovgu.de/>

## 1. LEITUNG

Prof. Dr.-Ing. habil. Manja Krüger (Geschäftsführende Institutsleiterin)

Prof. Dr.-Ing. habil. Thorsten Halle

Prof. Dr.-Ing. Sven Jüttner

Prof. Dr. rer. nat. Michael Scheffler

## 2. HOCHSCHULLEHRER/INNEN

Prof. Dr.-Ing. habil. Thorsten Halle (Lehrstuhl Metallische Werkstoffe)

Prof. Dr.-Ing. Sven Jüttner (Lehrstuhl Fügetechnik)

Prof. Dr.-Ing. habil. Manja Krüger (Lehrstuhl Hochtemperaturwerkstoffe)

Prof. Dr. rer. nat. Michael Scheffler (Lehrstuhl Nichtmetallische Werkstoffe)

Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Kannengießer

apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Mook

Jun.-Prof. Dr.-Ing. Michael Rhode

Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Böllinghaus (Honorarprofessor)

## 3. FORSCHUNGSPROFIL

Werkstoffe und Maschinenbau haben an der Otto-von-Guericke-Universität in Magdeburg und in ihrem Umfeld eine lange Tradition, die vom Institut für Werkstoff- und Fügetechnik (IWF) mitgetragen wird. Als Einrichtung der Fakultät für Maschinenbau bilden wir mit unseren Arbeitsgruppen den Kernbereich des Forschungs- und Ausbildungsschwerpunktes Werkstoffe und Fügetechnik an unserer Universität. Dabei liegt der Fokus auf folgenden Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkten:

- Herstellung neuartiger metallischer Werkstoffe und Entwicklung neuartiger Verfahren zur Herstellung anorganisch-nichtmetallischer Multifunktionswerkstoffe
- Pulvermetallurgische Verfahren zur Herstellung metallischer und intermetallischer Struktur- und Funktionswerkstoffe
- Mikrostruktur, mechanische Eigenschaften und Wärmebehandlung metallischer Werkstoffe
- Schweißtechnologien und Schweißbeignung insbesondere metallischer Werkstoffe
- Korrosion und Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe
- Charakterisierung und zerstörungsfreie Prüfung von Werkstoffen und Fügeverbindungen.

Neben der Bearbeitung von grundlagen- und anwendungsorientierten Forschungsprojekten in unseren umfangreich ausgestatteten Laboren bringen wir unsere Erfahrungen auch als Dienstleister in Forschungsk Kooperationen mit Industrie und Akademia ein.

## 4. SERVICEANGEBOT

### Fügetechnik (Prof. Jüttner)

- Schweißen von Verbindungen und generatives Schweißen mittels Lichtbogen und Laserstrahl
  - Widerstandsschweißen von hochfesten und hochlegierten Stahlblechen und Aluminiumlegierungen
  - Prüfung auf verzögerte Kaltrisse an höchstfesten Stahlwerkstoffen
  - mechanisches Fügen und Kleben
  - Prozesskette zum Formhärten mit definierter Ofenatmosphäre und Temperaturverlauf, schweiß technische Verarbeitung formgehärteter Stähle
  - thermisches Trennen mittels Plasma- und Laserstrahlschneiden
  - Pulver-Flammspritzschichten und Charakterisierung von Spritzschichten
  - Schadensfalluntersuchungen und Beratung für Schweißtechnologien und -anwendungen
- Schweißtechnologie und -metallurgie (Dr. Zinke)
- Lichtbogenschweißen von hochfesten und hochlegierten Stählen, Ni-Basiswerkstoffen sowie Leichtmetalllegierungen
  - thermomechanische Gefügesimulation mittels Gleeble 3500
  - Analyse der Heißrissneigung von Werkstoffen beim Schweißen mittels PVR- und Gleeble-Test
  - Bestimmung der Gasgehalte (H, N, O, S, C) in Stählen und Nichteisenmetallen

### Werkstofftechnik - Nichtmetallische Werkstoffe (Prof. Scheffler)

- anorganisch-nichtmetallische zelluläre Werkstoffe für Energietechnik, Umweltkatalyse und Feuerfestanwendungen
  - Tauch- und Sprühbeschichtung auf metallischen und keramischen Substraten
- Oxidationsschutz- und Funktionsschichten und Schichtsysteme mit Selbstheilungsfunktion
- thermodynamische Modellierung von Hochtemperaturreaktionen
  - computertomographische Werkstoffcharakterisierung
  - neuartige Verbundwerkstoffe aus molekularen Vorstufen
  - Erzeugung und Charakterisierung magnetischer Funktionsschichten

### Werkstofftechnik - Metallische Werkstoffe (Prof. Halle)

- Gefüge-/Eigenschaftsbeziehungen metallischer Werkstoffe
- numerische Simulation von Fertigungsprozessen z. B. Wärmebehandlungen, Zerspanung
- Verarbeitung metallischer Werkstoffe insb. Karosseriewerkstoffe
- Wärmebehandlung metallischer Werkstoffe, Prozesskettenanalyse
- Werkstoffmodellierung, Modellbildung
- Mikrostruktur- und Schadensanalyse
- mechanisches Verhalten von metallischen Werkstoffen

### Werkstofftechnik - Korrosion (PD Dr.-Ing. Heyn. / Prof. Halle)

- Korrosionsverhalten und Korrosionsschutz von nichtrostenden Stählen, Ni-Basis-Legierungen, Al-Legierungen, Mg-Legierungen, verzinkten Stählen u. a. Überzugsmetallen
- Anwendung und Weiterentwicklung elektrochemischer Prüf- und Untersuchungsmethoden (elektrochemisches Rauschen, Polarisationsmethoden, kombinierte Methoden)
- Kurzzeit-Korrosionsprüfungen zum Parameter-Screening für die Entwicklung und Optimierung von Korrosionsschutzmethoden (Vorbehandlungen, Beschichtungen und Überzüge, Inhibitoren etc.)
- Instrumentierung von Versuchsanlagen für ein Corrosion Monitoring
- Aufklärung und Beratung zu Schadensfällen durch Korrosion

### Werkstofftechnik - Mikrostrukturcharakterisierung (Dr. Betke / M. Wilke)

- Stereologie und Topometrie
- lokale Texturuntersuchung mit Ruckstreuelektronenbeugung
- komplexe Schadensfallanalyse technischer Bauteile
- Mikrofraktographie
- Oberflächeneigenschaften mittels Rastersondenmikroskopie
- Qualitative und quantitative Phasenanalyse mittels Röntgendiffraktometrie (XRD)
- Strukturaufklärung unbekannter Phasen durch Röntgenbeugung

- Röntgenographische Eigenspannungs- und Texturanalyse
- Non-ambient XRD-Untersuchungen dynamischer Prozesse, Phasenumwandlungen, u. a. bis 1400 °C in inerte und reaktiver Atmosphäre
- Konfokal-Raman-Mikroskopie

#### **Werkstofftechnik - Hochtemperaturwerkstoffe (Prof. Krüger)**

- pulvermetallurgische Herstellung, Sintern und Analyse von Hochtemperaturwerkstoffen
- Gefüge-Eigenschafts-Beziehungen von isotropen und anisotropen Hochtemperaturwerkstoffen
- Legierungsentwicklung für biokompatible Werkstoffe auf Refraktärmetallbasis
- mechanische Werkstoffprüfung unter statischer und zyklischer Beanspruchung, auch bei erhöhter Temperatur
- Kriechverhalten von metallischen Hochtemperaturwerkstoffen/ Modellbildung
- Oxidationsverhalten von metallischen und intermetallischen Werkstoffen, z.T. mit Beschichtung

#### **Werkstofftechnik - Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung (Prof. Mook)**

- Randschichtprüfung von Aluminiumwerkstoffen
- Anomalien in Triebwerksscheiben aus Titan- und Nickellegierungen
- adaptive Werkstoffsysteme
- Structural Health Monitoring von CFK mittels Lambwellen
- Wirbelstromprüfung auf interkristalline Korrosion austenitischer Stähle
- Wirbelstromprüfung von CFK
- Eigenschaftsbestimmung von ADI-Guss
- Wirbelstromprüfsysteme und -verfahren

## **5. METHODIK**

Die Labore und Einrichtungen des IWF finden Sie unter:  
<http://www.iwf.ovgu.de/Kompetenzen.html>

## **6. KOOPERATIONEN**

- 8. Gesellschaft für Schweißtechnik International mbH, Niederlassung SLV Duisburg (SLV)
- Audi AG, Ingolstadt
- BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
- Bilfinger Piping Technologies GmbH, Essen
- Brown University, Materials Science and Engineering, USA
- Castolin GmbH, Krefeld
- citim Oerlikon
- Clemson University, USA, Prof. Raj Bordia
- Dr. Kochanek Entwicklungsgesellschaft, Neustadt a.d. Weinstraße
- Elektro-Thermit GmbH & Co KG, Halle/Saale
- EUROFLAMM GmbH Weißenborn, Weißenborn
- FDBR e.V. Fachverband Anlagenbau, Düsseldorf
- fem - Forschungsinstitut Edelmetalle & Metallchemie, Schwäbisch Gmünd
- FKUR Kunststoff GmbH, Willich
- Forschungsbereich Experimentelle Orthopädie der Orthopädischen Universitätsklinik in Magdeburg
- Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V. (FGW) Remscheid
- Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich, GER
- Fraunhofer-Institut für Lasertechnik, Aachen
- Fritz Stepper GmbH & Co.KG , Pforzheim
- Ganzlin Beschichtungspulver GmbH

- Gesellschaft für Schweißtechnik International mbH, Niederlassung SLV Duisburg (SLV)
- GTV mbH, Luckenbach
- H + E Produktentwicklung GmbH
- Helmholtz-Zentrum Geesthacht (HZG)
- Höfer Metall Technik GmbH & Co. KG, Hettstedt
- iLF - Institut für Lacke und Farben Magdeburg
- Innovent e.V., Industrieforschungseinrichtung, Jena
- Institut für Fertigungstechnik und Qualitätssicherung (IFQ) der Universität Magdeburg; Lehrstuhl für Zerspan- und Abtragtechnik
- Institut für Korrosions- und Schadensanalyse, Magdeburg
- Institut für Lacke und Farben Magdeburg gGmbH
- Institut für Werkzeugforschung, und Werkstoffe (IFW)
- IWB Werkstofftechnologie GmbH
- Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Angewandte Materialien
- Krüger, Manja, Prof. Dr.; RWTH Aachen
- LIN - Leibniz Institut für Neurobiologie Magdeburg
- Max-Planck-Institut für Eisenforschung GmbH (Düsseldorf)
- Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung
- Methodisch-Diagnostisches Zentrum Werkstoffprüfung e.V.
- Nadler Hartmetalle GmbH Odelzhausen
- NANOVAL GmbH & Co. KG, Berlin
- National Technical University of Ukraine „Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute“
- Nimak Schweißtechnik, Wissen
- Porsche Leipzig GmbH, Leipzig
- Prof. Dr. Dirk Enke, Universität Leipzig
- Prof. Dr. Michael Hoffmann Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Angewandte Materialien – Keramik im Maschinenbau
- rapid product manufacturing GmbH, Helmstedt
- Siemens AG, Berlin
- SM Calvörde Sondermaschinenbau GmbH & Co. KG
- Solvis GmbH & Co. KG, Braunschweig
- STEAG GmbH, Essen
- STM Schweißtechnik Magdeburg GmbH
- TPW Prüfzentrum GmbH
- TU Bergakademie Freiberg, Prof. Dr. Christos Aneziris
- TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Mannheim
- Universität Bayreuth
- Universität Bayreuth, Dr. Günter Motz
- Universität Leipzig, Fakultät für Chemie und Mineralogie, Dr. Dirk Enke
- Universität Leipzig, Fakultät für Mathematik und Informatik, LPZ E-BUSINESS
- Vallourec DEUTSCHLAND GmbH, Düsseldorf
- VDM Metals GmbH, Altena
- Viessmann AG
- Volkswagen AG, Wolfsburg
- Vorrichtungsbau Giggel GmbH, Bösdorf
- Westfalen Gas AG, Münster

## 7. FORSCHUNGSPROJEKTE

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. habil. Thorsten Halle  
**Projektbearbeitung:** M.Sc. Karsten Harnisch  
**Kooperationen:** Nadler Hartmetalle GmbH Odelzhausen  
**Förderer:** BMWi/AIF - 01.12.2021 - 30.11.2023

### **HardKamid: Entwicklung einer hartphasenverstärkten Eisen-Basis-Legierung (1300HV30) mit Hartphasenanteil von über 50 % und martensitischer Matrix und Entwicklung der Herstellungsverfahren für ein agrartechnologisches Werkzeug**

Ziel des Projekts ist die Entwicklung eines alternativen hartphasenverstärkten, pulvermetallurgisch hergestellten Werkzeugs durch die Entwicklung einer Eisen-Basis-Legierung mit Hartphasenanteil von über 50%, welcher sich aus einer schmelzflüssigen Phase bildet und in ein martensitisches Gefüge eingebettet ist. Dies wird realisiert durch die Entwicklung von mindestens drei Legierungstypen und durch thermodynamische Berechnungen die Bildung des Hartstoffpartikelanteils in der Schmelze simuliert. Es werden schmelzmetallurgische 25 g Proben (Schmelze) hergestellt, um das Potenzial für eine weitere technische Anwendung zu untersuchen. Das Pulver aus den neuartigen Legierungen wird auf einheitliche Partikelgröße fraktioniert und zu Grünling-Probekörper gepresst. Die Proben werden einem Bearbeitungsprozess (z.B. Zerspanen) unterzogen und in einem neu entwickelten Sinter- und Wärmebehandlungsverfahren nachbearbeitet. Gegenüber dem Stand der Technik werden die Härte der Legierung gesteigert, und gleichzeitig die Kosten gesenkt. Der angestrebte Markt für diese Entwicklung adressiert Werkzeuge und Produkte im agrartechnologischen Bereich mit ca. 1.000 potenziellen Abnehmerunternehmen.

---

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. habil. Thorsten Halle  
**Projektbearbeitung:** M.Sc. Norman Kauss  
**Förderer:** BMWi/AIF - 01.08.2021 - 01.01.2024

### **LaserKamid - Entwicklung von neuartigen, pulvermetallurgisch hergestellten Verschleißschutzschichten auf Eisenbasis mit Härtewerten von 450 HV bis 900 HV und einer Hitzebeständigkeit bis 1200°C**

Herkömmliche Verschleißschutzschichten werden üblicherweise auf der Basis von gehärteten, hochlegierten Stählen, mit den Legierungselementen Kohlenstoff, Wolfram und/oder Chrom hergestellt. Aufgrund der Basiselemente sind diese Schichten sehr teuer und lediglich bis circa 500 °C hitzebeständig. In diesem Projekt wird eine neuartige Legierung für eine Verschleißschutzschicht sowie der entsprechende Auftragsprozess entwickelt. Da die entwickelte Legierung eine Eisenbasis aufweist sind die Komponenten und damit auch das Produkt 30 % - 50 % günstiger als herkömmliche Materialien, bei einem Preis von 12,5 - 17,5 EUR/kg. Darüber hinaus wird eine deutlich höhere Hitzebeständigkeit bis zu 1200 °C angestrebt. Gleichzeitig bleibt die Härte, die zwischen 450 HV und 900 HV einstellbar ist, mit herkömmlichen Verschleißschutzschichten vergleichbar. Sämtlichen Dienstleistern im Bereich des Verschleißschutzes, worunter deutschlandweit über 450 Unternehmen zählen, bietet dieses Produkt die Möglichkeit ihr Portfolio zu erweitern. Diese Dienstleistungen nehmen unter anderem Unternehmen in der Abfallwirtschaft und in der Landwirtschaft wahr.

---

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. habil. Thorsten Halle  
**Projektbearbeitung:** M.Sc. Karsten Harnisch, Dipl.-Ing. Markus Wilke  
**Kooperationen:** H + E Produktentwicklung GmbH; Ganzlin Beschichtungspulver GmbH  
**Förderer:** BMWi/AIF - 01.08.2020 - 31.07.2022

### **PC4PM - Powder Coatings for Printed Materials**

Im Rahmen des FuE-Kooperationsprojekts "PC4PM - Powder Coatings for Printed Materials" soll erstmalig die Pulverlackbeschichtung als Verfahren zur Oberflächenbeschichtung an generativ gefertigten Materialien erprobt und etabliert werden. Die geplante Entwicklungsarbeit umfasst die Beschichtung von generativ gefertigten Kunststoffen und Metallen mit abrasionsbeständigen Pulverlacken. Dies reduziert die fertigungsbedingte

Oberflächenrauheit von generativ gefertigten Bauteilen und steigert deren Verschleißbeständigkeit signifikant, was in zahlreichen Anwendungen zu einer Verbesserung der Bauteileigenschaften beiträgt. Somit ist neben der Beeinflussung von Optik und Haptik auch eine Erhöhung der Abrieb- und Verschleißfestigkeit möglich. Zudem verfolgt das Vorhaben die Entwicklung niedrigschmelzender Pulverlacke mit niedrigen Vernetzungstemperaturen. Die Absenkung der Vernetzungstemperatur hätte eine Reduzierung der notwendigen Prozessenergie und somit eine signifikante Kosten- und Energieeinsparung im Beschichtungsprozess zur Folge. Außerdem würde sich der Anwendungsbereich für die Pulverlackbeschichtung von Kunststoffen deutlich erweitern, da durch die hohen Vernetzungstemperaturen von Pulverlacken Kunststoffe derzeit für eine derartige Beschichtung nicht in Frage kommen

---

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. habil. Thorsten Halle  
**Projektbearbeitung:** M.Sc. Sebastian Hütter  
**Förderer:** Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) - 01.01.2020 - 31.12.2021

### **Thermomechanisches Ringwalzen mit prädiktiver Eigenschaftsregelung**

Bedingt durch die Vielzahl der interagierenden materialphysikalischen Effekte ist es nicht bisher üblich, alle gewünschten Eigenschaften in einem Bearbeitungsschritt herzustellen. Es ist daher immer ein mehrstufiger Prozess aus Vorbehandlung, Walzen und anschließender Wärmebehandlung der Funktionsflächen notwendig. Aus energetischer Sicht wäre es wünschenswert, möglichst viele Eigenschaften bereits bei der Fertigung so Endzustandsnah wie möglich einzustellen, um so im Idealfall auf die Wärmebehandlung verzichten zu können. Maschinenseitig stehen dabei nur wenige Stellgrößen zur Verfügung, die jedoch eine interagierende und nichtlineare Auswirkung haben. Eine konventionelle Regelung ist daher nur schwer bis unmöglich umzusetzen. Eine prädiktive Prozessregelung kann hier bereits im Regelkreis die gewünschten Endeneigenschaften auf Basis eines halbanalytischen Modells vorhersagen und damit konkrete Regelvorgaben liefern.

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, eine solche Regelung für die Integration in einen Realprozess zu entwerfen sowie die nötigen Modelle zu parametrieren. Dabei sollen mehrere Komponenten ineinander greifen: eine prädiktive Modellierung des Prozesses erlaubt es, optimale Steuervorgaben zu geben, während ein In-Process-Sensor auf Basis des Wirbelstromverfahrens Realdaten als Korrektor liefert.

---

**Projektleitung:** Prof. Dr. Michael Scheffler, Prof. Dr.-Ing. habil. Thorsten Halle  
**Förderer:** EU - ESF Sachsen-Anhalt - 01.09.2016 - 30.04.2022

### **MEMoRIAL-Module II: Materials Science**

**The availability of novel MATERIALS** is a key issue for technical innovations, e. g. in energy conversion, mobility or medical engineering. While the effort of R & D in developing new materials was immens over the last years, there is a lack in a detailed understanding of the materials' behaviour like in complex mechanical stress situations or when exposed to high temperature or radiation. This holds for compact as well for cellular materials.

In order to bridge this gap an integrated approach will focus on the combination of materials processing, materials design, complex stress situations in materials and mathematical modelling. While several of these categories are already combined to each other, R & D of holistic approaches is still in the beginning, and the challenge is to develop connected models which describe the process-microstructure-properties-relationships of materials of different porosity and porosity. Only such a combined approach will allow feedback between materials design and materials behavior.

PhD students in materials science and technology will have the opportunity within a four-year track to work with modern processing technologies and high-tech characterization methods such as state-of-the-art scanning electron microscopy, biaxial testing equipment and several in situ and combined methods. A four-year track is intended.

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. habil. Thorsten Halle  
**Projektbearbeitung:** M.Sc. Maria Crackau  
**Kooperationen:** Forschungsbereich Experimentelle Orthopädie der Orthopädischen Universitätsklinik in Magdeburg; Funktionskeramiken mit erhöhter spezifischer Oberfläche (MEMoRIAL-M2.5), Kathleen Dammler; MEMoRIAL-M2.4 | In-situ SEM methods to improve implant materials, Karsten Harnisch;; MEMoRIAL-M2.2 | Characterisation and simulation-based development of Engineering Materials, Rostyslav Nizinkovskyi; OVGU/FMB-Institut für Maschinenkonstruktion (IMK), Lehrstuhl für Maschinenelemente und Tribologie; MEMoRIAL-M2.10 | Preparation and testing of thermoelectric materials, Christian Künzel; Technische Universität (TU) Dresden, Institut für Fertigungstechnik, Professur für laserbasierte Methoden der großflächigen Oberflächenstrukturierung, Prof. Andrés Lasagni; Hochschule Magdeburg-Stendal, Institut für Maschinenbau; ABINEP M3-project 3: Investigation of biofilms during septical prosthesis relaxation, Ann-Kathrin Meinshausen; OVGU/FMB-Institut für Fertigungstechnik und Qualitätssicherung (IFQ)  
**Förderer:** EU - ESF Sachsen-Anhalt - 01.09.2017 - 31.01.2022

### **MEMoRIAL-M2.3 | Evaluation of force contributions to the damage evolution and failure analysis of metallic arthroplasty components**

The incidence of **total hip replacements** in OECD countries is  $>300/100.000$  inhabitants. Due to the demographic challenge, more than 400.000 total knee and hip arthroplasties are implanted each year (incidence 400/100.000 inhabitants) with numbers being expected to increase. About 5% of these patients are in need of revision surgery due to prosthesis loosening within 10 years.

One main factor contributing to **aseptic hip prosthesis loosening** is corrosion at the head-neck junction.

Wear and corrosion at this modular junction have been recognized to induce early failure of hip replacements. There have been a number of reports on the occurrence of taper **corrosion** and/or **fretting** with some of them conjecturing a link to the occurrence of adverse local tissue reaction specifically with respect to total hip replacement. Factors like manufacturing tolerances, surgical technique, non-axial alignment, material combination, high frictional torque, and high bending moment were identified to affect the failure process.

The objective of this PhD project is to elucidate the effects and contributions mentioned above, aiming for technical improvements to reduce the risk factors. Therefore, this study will mainly focus on the evaluation of the **tribological properties and contributing factors**.

Damage analysis of explants and simulation of worst case scenarios using test implants will be performed.

To improve the current standard, different material combinations will be investigated to understand relevant (e.g. crevice and bimetallic) corrosion processes. The investigation of **biological reactions** between tissue and wear particles generated by damaged implants makes up another important part of this sub-project.

This interaction will be analysed in cooperation with the laboratory for **experimental orthopedics**.

Several analytical methods (e.g. SEM, cell culture, hip simulator testing) will be applied to examine and clarify the **interplay of implant wear and human tissue**.

The incidence of **total hip replacements** in OECD countries is  $>300/100.000$  inhabitants. Due to the demographic challenge, more than 400.000 total knee and hip arthroplasties are implanted each year (incidence 400/100.000 inhabitants) with numbers being expected to increase. About 5% of these patients are in need of revision surgery due to prosthesis loosening within 10 years.

One main factor contributing to **aseptic hip prosthesis loosening** is corrosion at the head-neck junction.

Wear and corrosion at this modular junction have been recognized to induce early failure of hip replacements. There have been a number of reports on the occurrence of taper **corrosion** and/or **fretting** with some of them conjecturing a link to the occurrence of adverse local tissue reaction specifically with respect to total hip replacement. Factors like manufacturing tolerances, surgical technique, non-axial alignment, material combination, high frictional torque, and high bending moment were identified to affect the failure process.

The objective of this PhD project is to elucidate the effects and contributions mentioned above, aiming for technical improvements to reduce the risk factors. Therefore, this study will mainly focus on the evaluation of the **tribological properties and contributing factors**.

Damage analysis of explants and simulation of worst case scenarios using test implants will be performed.

To improve the current standard, different material combinations will be investigated to understand relevant (e.g. crevice and bimetallic) corrosion processes. The investigation of **biological reactions** between tissue and wear



particles generated by damaged implants makes up another important part of this sub-project. This interaction will be analysed in cooperation with the laboratory for **experimental orthopedics**. Several analytical methods (e.g. SEM, cell culture, hip simulator testing) will be applied to examine and clarify the **interplay of implant wear and human tissue**.

---

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. habil. Thorsten Halle  
**Projektbearbeitung:** M.Sc. Karsten Harnisch  
**Kooperationen:** Forschungsbereich Experimentelle Orthopädie der Orthopädischen Universitätsklinik in Magdeburg; MEMoRIAL-M2.1 | Optimisation of novel vanadium-based high temperature materials, Christopher Müller; Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) Berlin, Dr.-Ing. Paul Rosemann; MEMoRIAL-M2.3 | Evaluation of force contributions to the damage evolution and failure analysis of metallic arthroplasty components, Maria Crackau; OVGU/FMB-Institut für Fertigungstechnik und Qualitätssicherung (IFQ)  
**Förderer:** EU - ESF Sachsen-Anhalt - 01.02.2017 - 30.04.2021

## MEMoRIAL-M2.4 | In-situ SEM methods to improve implant materials

### Background

- »replacement of human joints (implants) becomes more important (demographic change)
- »materials for medical implants offer several challenges and potential for improvements

### Objective

- »to offer small-scale solutions for improvements by using *in-situ* methods to investigate and analyze materials and the related mechanisms for medical implants

### Methods

- »mechanical and thermal treatments
- »SEM-EDS (energy dispersive X-ray spectroscopy) / EBSD (electron backscatter diffraction) *in-situ* methods

### Results

- »clarification of phase transformation mechanisms of CoCrMo alloys (requirements, activation, process, consequences)
- »phase-related (microstructure) properties of CoCrMo alloys in various conditions

### Conclusions

- »materials science-based recommendations for possible improvements for medical implants with regard to possible changes of chemical composition and/or pre-treatments before implantation

### Originality

- »research at the intersection between mechanical engineering and medicine
- »unique combination of methods (*in-situ* SEM) and materials (biomedical implants) offers new informative and helpful insights into mechanisms in materials for medical implants

### Keywords

CoCrMo, *in-situ*, Scanning Electron Microscopy (SEM), phase transformation

---

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. Sven Jüttner  
**Projektbearbeitung:** Dipl.-Ing. Benjamin Schlosser  
**Kooperationen:** Projektausschuss  
**Förderer:** BMWi/AIF - 01.01.2021 - 30.06.2023

### **Entwicklung einer Technologie zum generativen MSG-Schweißen von Geometrien auf Aluminium-Druckgussbauteile "MSGGenerAI" AiF/IGF 21 541 BR**

Ziel des Forschungsantrags ist die Entwicklung einer Technologie zum generativen MSG-Schweißen (Additive Manufacturing) von Konturen auf Aluminium-Druckgussbauteilen. Der Prozess ist dabei so zu gestalten, dass die erforderlichen Bauteileigenschaften erreicht werden und der Prozess eine wirtschaftliche Alternative zu bestehenden Prozessvarianten für die skizzierten Beispielanwendungen darstellt. Die geplanten Werkstoffe, die dafür verwendeten Methoden und Anlagen entsprechen den typischen Ausstattungen in dem adressierten Industriebereich. Als Gusswerkstoffe werden aus dem System AISi die naturharte Legierung AISi9Mn sowie die aushärtbare AISi10MnMg-Legierung genutzt. Die Untersuchungen liefern den Zusammenhang zwischen dem Schweißzusatzwerkstoff und den erzielbaren Werkstoffanforderungen in Anlehnung an die des Druckguss-Substrats. Werkstoffabhängig muss ggf. eine nachfolgende Wärmebehandlung erfolgen, wie sie für das DG-Bauteil üblich ist. Um eine unzulässige thermische Degradierung der Gusseigenschaften zu vermeiden, werden die zulässigen Grenzen für Prozesstemperatur und -dauer im Gussteil sowie im aufgeschweißten Bereich ermittelt. Ein wichtiges Teilziel ist die Realisierung einer Technologie für die Gussteilkonditionierung zu Beginn des Auftragprozesses zur Vorbereitung und gleichzeitigen Vermeidung von Poren und Bindefehlern bei den ersten geschweißten Lagen. Diese Konditionierung soll durch Blindschweißungen mit dem WIG-Lichtbogen erfolgen, um das Bauteil im Bereich der Auftragschweißungen vorzuwärmen, die Oxid-schicht aufzubrechen und den Guss entgasen zu lassen. Auf dieser vorbehandelten Bauteilzone werden dem generativen MSG-Schweißprozess ein ungehinderter Start ermöglicht und Unregelmäßigkeiten wie Poren oder Bindefehler vermieden. Abschließend wird die Anwendbarkeit der neu entwickelten Technologie an einem bauteilähnlichen Probekörper verifiziert. Hierbei sollen Fehlerquellen identifiziert und die Praxistauglichkeit bewertet werden.

Teilziele:

- WIG-Gussteilkonditionierung zur Vorbereitung des Auftragprozesses und Vermeidung von Poren und Bindefehlern
- Temperaturmanagement des Schweißprozesses zur Vermeidung unzulässiger Wärmebeeinflussung des Druckgusses
- Schweißgut erfüllt Werkstoffanforderungen des Druckguss-Substrats auch nach Wärmebehandlung aushärtbarer Legierungen

---

**Projektleitung:** M.Sc. Benjamin Schade, Prof. Dr.-Ing. Sven Jüttner  
**Kooperationen:** Sondermaschinenbau Calvörde  
**Förderer:** BMWi/AIF - 01.12.2020 - 28.02.2023

### **Doppelpunkt-Widerstandsschweißen mit integrierter Prozessanalyse für den Schienenfahrzeug- und Busbau (DoWiPro) KK5069301FH0**

Ziel ist die Neuentwicklung einer Verfahrenserweiterung zum Widerstandspunktschweißen für Anwendungen großer Blechstrukturen z.B. im Schienenfahrzeugbau. Mit der Technologie des einseitigen Doppelpunktschweißen mit einer Kupfergegenlage werden dabei zwei Schweißpunkte gleichzeitig in einem Arbeitsgang erzeugt. Die Unterlage besteht aus zwei miteinander elektrisch verbundenen, im Abstand zueinander veränderlichen Elektroden. Zur Erreichung des Ziels werden vier Schwerpunkte bearbeitet: Erhöhung der Wirtschaftlichkeit, Erstellung eines neuartigen Anlagekonzeptes, Gewährleistung der Prozesssicherheit durch ein Inline-Prozessanalyse und Erzeugung eines Prozessmodells. Es wird eine Doppelpunkt-Widerstandsschweißanlage zum Schweißen von großen Blechstrukturen aufgebaut incl. der dazugehörigen elektromechanischen Auslegungen. Zur Prozessentwicklung erfolgt die Erprobung der gebauten Anlage und die Erforschung der Prozessdatenanalyse. Das Prozessmodell wird mittels FEM-Simulation abgeglichen und soll den Anlagenbau unterstützen.

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. Sven Jüttner  
**Projektbearbeitung:** Vincent Schreiber  
**Förderer:** BMWi/AIF - 01.11.2020 - 30.04.2023

### **Validierung von Methoden zur Vermeidung von Liquid Metal Embrittlement (LME) an realitätsnahen Prinzipsbauteilen (AiF-IGF 21 483 BG)**

Beim Widerstandspunktschweißen von verzinkten Stählen berichten zahlreiche Quellen von Risserscheinungen, die auf Liquid Metal Embrittlement (LME) zurückzuführen sind. Da als Folge von LME bedingten Rissen eine negative Beeinflussung der Schweißpunkt-Tragfähigkeit derzeit nicht in jedem Fall ausgeschlossen werden kann, liegen qualitativ hochwertige, rissfreie Punktschweißverbindungen im Interesse der gesamten metallverarbeitenden Industrie.

Die Zielsetzung des Forschungsvorhabens liegt in der Erforschung von LME an umgeformten, realitätsnahen Bauteilen. Dafür werden umfassende Widerstandspunktschweiß (WPS)-Versuche zunächst an Flachproben und dann an umgeformten Bauteilen durchgeführt und unter verschiedenen Bedingungen auf LME untersucht. Am IWF Magdeburg werden die eingesetzten Werkstoffe charakterisiert und die kritischen Bedingungen in Heißzug-Versuchen nachgestellt und isoliert untersucht. Die numerische Simulation (Fraunhofer IPK) wird als Brücke eingesetzt um "unsichtbare" kritische Bedingungen zu ermitteln und zwischen Gleeble- und WPS-Versuchen zu transferieren. Dabei sollen die vorherrschenden Mechanismen zur Bildung von LME an realitätsnahen Bauteilen verstanden und LME reproduzierbar hergestellt werden. Im nächsten Schritt werden Vermeidungsstrategien entwickelt und schlussendlich der Einfluss von verbleibenden LME Rissen auf die Verbindungsfestigkeit quantifiziert.

---

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. Sven Jüttner  
**Projektbearbeitung:** M.Sc. Pascal Nimtz  
**Förderer:** BMWi/AIF - 01.01.2020 - 31.12.2021

### **Methodik zur Bewertung eines Widerstandspunktschweißprozesses auf Grundlage der Elektrodenbewegung (AiF/IGF Nr. 20.841 BR)**

Das Widerstandspunktschweißen (WPS) ist eines der dominierenden Schweißverfahren in der automobilen Massenproduktion. Wird exemplarisch ein modernes Fahrzeug betrachtet, so sind durchschnittlich 2000 - 5000 Schweißpunkte vorhanden, bei denen Bleche aus unterschiedlichen Güten, Beschichtungen und Dicken gefügt werden. Hieraus ergeben sich stets neue Herausforderungen an das Widerstandspunktschweißen, wie beispielsweise dem Fügen von asymmetrischen Mehrblechverbindungen aus unterschiedlichen Fahrzeugkomponenten. Im Vergleich zu Zweiblechverbindungen kann es bei Mehrblechverbindungen zu einer vertikalen Verschiebung der Schweißlinse kommen, die mit einer ungenügenden Anbindung des dünnen Ausbleches einhergeht. Um dieser Problematik entgegenzuwirken, kann der Prozess des Widerstandspunktschweißens direkt durch die gewählten Schweißparameter, d. h. Schweißstrom, Schweißzeit und Elektrodenkraft beeinflusst werden. Aus diesem Grunde ist es von großer Bedeutung diese Parameter gezielt auf die jeweiligen Werkstoffe und deren Beschichtungen abzustimmen, um somit eine Steigerung der Prozessstabilität zu erzielen. Im Allgemeinen erfolgt die Prozessparametrisierung mithilfe von Schweißbereichsdiagrammen, dessen Parameterfindung primär auf der Erfahrung des Anwenders basiert und mit einem hohen Versuchsumfang einhergeht. Aufgrund der steigenden Ansprüche an Wirtschaftlichkeit und Qualität wird eine effiziente Methode zur Bewertung und Optimierung der vorgenommenen Parameteranpassungen in Sinne der Industrie 4.0 benötigt.

Das Ziel des Projektes liegt in der Vernetzung der aufgezeichneten Prozessdaten mit der erzielten Schweißqualität. Zu diesem Zweck werden aus den aufgezeichneten Prozessgrößen signifikante Kennwerte abgeleitet, die eine systematische Optimierung und Beurteilung der Schweißparameter ermöglichen und somit den Versuchsumfang signifikant verringern. Insbesondere die Prozessgröße der "Elektrodenbewegung" wird verwendet, um den Widerstandsprozess zu interpretieren und zu bewerten. Infolgedessen soll eine effektive Prozessoptimierung entwickelt werden, die erhebliche Einsparungen in der Einrichtung von Prozessen sowie der serienbegleitenden Prüfung ermöglicht. Voraussetzung dazu ist das Verständnis zur Auswertung und Nutzung dieser bisher nicht betrachteten Prozessgröße der Elektrodenbewegung. Im Forschungsprojekt soll die Erprobung von Sensorsystemen, die Bereitstellung einer effektiven Methode zur Analyse von Prozessverläufen sowie die Bewertung von vorgenommenen Parameteranpassungen unabhängig von der genutzten Anlagentechnik ermöglicht werden. Abschließend soll ein Auswertewerkzeug bereitgestellt werden, mit der die Analyse und

Bewertung der Prozessdaten erfolgen kann.

---

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. Sven Jüttner  
**Förderer:** BMWi/AIF - 01.12.2018 - 30.11.2021

### **Modellentwicklung zur Vorauslegung von reibgeschweißten Aluminium-Stahl Hybridverbindungen durch ganzheitliche Abbildung der Verbindungsbildung mittels FEM (AiF-IGF. 20 890)**

Das Reibschweißen ist ein etabliertes Fügeverfahren, welches in vielen Bereichen des Maschinenbaus zur Herstellung von Hybridstrukturen aus Aluminium und Stahl genutzt wird. Entscheidend für die Gebrauchstauglichkeit von Hybridverbindungen ist vor allem die werkstoffadäquate Ausbildung der Verbindung. Aufgrund der Abhängigkeit der Schweißverbindung von der Ausprägung, Art und Kontinuität der intermetallischen Diffusionsschicht, des Gefüges und der stoffschlüssigen Anbindung, ist die Entwicklung einer reibgeschweißten Hybridstrukturen mit optimalen Eigenschaften häufig zeit- und kostenintensiv. Gerade für kmU ist es daher nahezu unmöglich solche Hybridstrukturen wirtschaftlich zu entwickeln. Erklärtes Ziel des Projektes ist der Aufbau und die Erprobung einer Simulation für die Auslegung reibgeschweißten Hybridverbindungen aus Aluminium und Stahl.

Zu diesem Zweck werden entsprechende Reibschweißversuche durchgeführt, wobei die Prozessparameter systematisch variiert werden. Diese Versuche liefern die Datenbasis für die experimentelle Analyse der Einflüsse auf die Tragfähigkeit der Struktur. Gleichzeitig dienen die Versuche als Validierungsgrundlage für die Simulation des Schweißprozesses selbst. Mit Hilfe der Prozesssimulation können die Auswirkungen der Prozessparameter auf die Prozessgrößen und somit auf die Werkstoff- und den Struktureigenschaften abgeleitet werden. Ausgehend davon werden entsprechende phänomenologische Modelle entwickelt, um die maßgeblichen Einflüsse abzubilden. Anschließend werden diese Ergebnisse als Ausgangsbedingung bei der Simulation der Tragfähigkeit (virtueller Zugversuch) der Hybridverbindung verwendet. Insbesondere für kmU wird mithilfe der Simulation die wirtschaftliche Möglichkeit geschaffen, die Verbindung prädiktiv in Abhängigkeit des gewählten Prozesses zu bewerten. Komplexe Reibschweißaufgaben lassen sich damit bereits im Vorfeld der Versuchsdurchführung analysieren und entsprechend optimieren.

---

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. Sven Jüttner  
**Projektbearbeitung:** Dipl.-Ing. Markus Körner  
**Förderer:** BMWi/AIF - 01.10.2019 - 30.06.2022

### **Simulativ gestützte Charakterisierung eines momentenreduzierten Rotationsreibschweißprozesses, AiF-IGF 20.809B**

Das Reibschweißen findet aufgrund seiner prozessbedingten Vorteile wie einer hohen Prozessstabilität sowie der zuverlässigen Verbindungsqualität in vielen Industriebereichen Einsatz. Dabei besteht der Fügeprozess hinsichtlich der Prozessparametrierung seit 50 Jahren annähernd unverändert. D

Reibschweißen ist ein robustes industriell häufig angewandtes Verfahren zum Fügen rotationssymmetrischer Bauteile, z.B. Antriebswellen.

Das Reibmoment als Reaktionsgröße erreicht im Prozeßablauf sowohl beim Anreiben als auch in der Bremsphase lokale Maxima. Diese machen es nötig, dass Bauteile mittels ausreichend hoher Kräfte durch die Spannmittel vorgespannt werden. Die damit verbundene massive konstruktive und somit kostenintensive Ausführung der Spannmittel, einhergehend mit dem Verschleiß im Falle von Bauteilschlupf, reduziert die Verfahrenswirtschaftlichkeit. Darüber hinaus verringern sich die übertragbaren Vorspannkräfte auf das Bauteil mit steigender Drehzahl in Folge wirkender Zentrifugalkräfte und somit der Verfahrensanwendungsbereich. Weiterhin ist zum jetzigen Zeitpunkt die Reibschweißtechnologie für dünnwandige Rohrbauteile nicht einsetzbar, da die notwendigen Vorspannkräfte aufgrund der geringen Steifigkeit zu einem Beulen dieser führen.

Ziel des Forschungsprojektes ist es daher, die notwendigen Vorspannkräfte durch Momentenreduktion unter Beibehalt der verbindungsbildenden Qualitätskriterien zu reduzieren, wodurch sich der Technologieanwendungsbereich auf dünnwandige Rohrbauteile erweitert. Als innovativen Ansatz verfolgt das Vorhaben dabei die prädiktive, simulative Prozessvorentwicklung. Die bestehenden Prozessparametrierungsvorschriften werden

als Ergebnis des Projektes derart erweitert, dass eine direkte Umsetzung für Maschinenhersteller als auch Anwender ermöglicht wird. Es ergibt sich somit neben der Wirtschaftlichkeitssteigerung in Folge niedrigeren Spannmittelverschleißes auch die Erweiterung des Anwendungsbereiches auf das Reibschweißen dünnwandiger Rohrbauteile, woraus sich im globalen Vergleich ein Wissens- und Technologievorsprung ableitet.

---

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. Sven Jüttner  
**Projektbearbeitung:** M.Sc. Iwan Schischin  
**Förderer:** Land (Sachsen-Anhalt) - 01.01.2019 - 31.12.2021

**Kompetenzzentrum eMobility - Forschungsbereich Gesamtfahrzeug: Teilprojekt : Vergleich fūgetechnischer Verfahren zur modularen Fertigung von E-Batterien**

Das Vorhaben Kompetenzzentrum eMobility greift die strukturbedingten Herausforderungen auf und entwickelt im Rahmen eines neu zu gründenden Kompetenzzentrums Lösungen in wichtigen Teilbereichen, welche die Kooperation zwischen KMU und universitärer Forschung und Lehre deutlich stärken. Das Wissen kann direkt in die betroffene Zulieferindustrie überführt werden und dort dazu beitragen, den Strukturwandel erfolgreich zu managen und neue wirtschaftliche Chancen zu nutzen. Neben der primären Zielsetzung des Aufbaus und Transfers von Kern-Know-How steht vor allem die langfristige Verankerung gewonnener Erkenntnisse in beschäftigungswirksamen wirtschaftlichen Strukturen im Vordergrund.

Das IAF verantwortet innerhalb des Vorhabens das Teilprojekt Gesamtfahrzeug. Im Focus der Forschung steht der Einsatzes neuartiger Antriebssysteme unter Realbedingungen. Als strategischer Forschungsansatz, getragen durch eine der Nachhaltigkeit verpflichteten Entwicklungsanspruch, steht die Langlebigkeit und damit Instandsetzungsfähigkeit elektromobiler Gesamtsysteme, hierbei speziell der Elektrospeichersysteme. Hierbei konzentrieren sich die Arbeiten auf die Entwicklung und Erprobung einer wartungsfreundlichen Energiespeichertechnologie in Modulbauweise, neue, einfache Systemarchitekturen für Fahrzeugsteuerungen und die systemische Gestaltung von Spezialanwendungen rund um die Batteriekonfektionierung.

Im Teilprojekt "Vergleich fūgetechnischer Verfahren zur modularen Fertigung von E-Batterien" getragen vom IWF und IMK steht folgendes Thema im Fokus:

Derzeitige Batteriesysteme sind gekennzeichnet von monolithischer Bauweise und einer Orientierung auf eine größtenteils stoffliche Verwertung nach begrenzten Lebensdauern. Das zu entwickelnde System soll einen modularen Aufbau besitzen und sich mit geringem Aufwand warten bzw. teilerneuieren lassen. So lässt sich im Falle eines Kapazitätsverlustes oder gar dem Ausfall einer Batteriezelle ein gezielter Austausch von Modulen erreichen. Im Rahmen dieses Teilprojektes wird ein konstruktiver, fertigungstechnischer und montageorientierter Abgleich fūgetechnischer Verfahren zur Fertigung einer wartungsfreundlichen E-Antriebsbatterie in Modulbauweise für die Serienfertigung durchgeführt. Neben dem Abgleich werden des Weiteren die Entwicklung und Prüfung exemplarischer Aufbauvarianten von Batteriemodulen unter Beachtung langlebiger Einsatzszenarien und Dauerhaltbarkeit werthaltiger E-Komponenten durchgeführt. Das Ziel dieses Teilprojektes ist die Konzeption einer langlebigen und wartungsfreundlichen Fahrtriebatterie in Modulbauweise unter der Beachtung einer zuverlässigen elektrischen Kontaktierung der Batteriezellen sowie einer crashsicheren Gehäusestruktur und eines aktiven Kühlkonzeptes.

Für den Demonstrations- und Transfercharakter des Gesamtvorhabens werden in Zusammenarbeit mit der sachsen-anhaltinischen Industrie Anwendungsszenarien in Technologieträger operationalisiert und konsequent weiterentwickelt und optimiert.

Die Arbeiten erfolgen innerhalb der institutsübergreifenden Forschergruppe für Elektromobilität Editha.

Leitung Kompetenzzentrum eMobility Forschungsbereich Gesamtfahrzeug: Dipl.-Ing. Gerd Wagenhaus

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. Sven Jüttner  
**Projektbearbeitung:** M.Sc. Olena Stamann  
**Förderer:** Land (Sachsen-Anhalt) - 01.01.2019 - 31.12.2021

### **Kompetenzzentrum eMobility - Forschungsbereich Antriebsstrang: Teilprojekt Stückzahlabhängige Füge-technologien für Kupferleiter bei Leichtbau-Elektromaschinen**

Das Vorhaben Kompetenzzentrum eMobility greift strukturbedingte Herausforderungen der Elektromobilität auf und entwickelt im Rahmen eines neu zu gründenden Kompetenzzentrums Lösungen in wichtigen Teilbereichen, welche die Kooperation zwischen KMU und universitärer Forschung und Lehre deutlich stärken. Das Wissen kann direkt in die betroffene Zulieferindustrie überführt werden und dort dazu beitragen, den Strukturwandel erfolgreich zu managen und neue wirtschaftliche Chancen zu nutzen. Neben der primären Zielsetzung des Aufbaus und Transfers von Kern-Know-How steht vor allem die langfristige Verankerung gewonnener Erkenntnisse in beschäftigungswirksamen wirtschaftlichen Strukturen im Vordergrund.

Das Ziel des Teilprojektes ist die Herstellung und das Kleben von mäanderförmig vorgefertigten Phasen der Kupferleiter für Elektroantriebe mit Luftspaltwicklung, die möglichst flach unter geringen Fertigungstoleranzen auf den Eisenrückschluss appliziert werden. Abhängig von der Fertigungstechnologie der mäanderförmigen Kupferleiter und von bestehenden Betriebsanforderungen an die elektrische Maschine wie mechanische Festigkeit, Durchschlagfestigkeit, Alterungsbeständigkeit, wird ein geeignetes Befestigungsverfahren der Kupfermäander auf dem Stator des Elektromotors konzipiert. Dabei liegen elektrische Leiter im Vergleich zum konventionellen Motorenbau nicht als einzelne Kupferdrähte, sondern als konfektionierbare Phasen-Leiter mit maßgeschneidertem Querschnitt vor. Von besonderer Bedeutung ist die Gestaltung einer isolierenden, temperaturbeständigen und wärmeleitenden Klebeverbindung mit hoch produktiven Klebstoffsystemen.

---

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. Sven Jüttner  
**Projektbearbeitung:** Dipl.-Ing. Benjamin Schlosser  
**Kooperationen:** Mansfeld Anlagenbau und Umwelttechnik AG  
**Förderer:** EU - EFRE Sachsen-Anhalt - 01.05.2019 - 31.07.2021

### **System zum mechanisierten Metall-Schutzgas-Schweißen mit adaptiver Einbrand-Regelungs- und Überwachungs-Technologie (S-MAUT 4.0)**

Beim Lichtbogenschweißen von Blechstärken = 10 mm mittels MAG- oder UP-Verfahren sind nach dem Stand der Technik umfangreiche technologische Vorkehrungen zu treffen, um gerade bei großen Nahtlängen ein gleichmäßiges Durchschweißen der Wurzellage sicherzustellen. Das Ziel ist hierfür der Einsatz eines MSG-Hochleistungsprozesses in automatisierter Ausführung mit hoher Wirtschaftlichkeit. Dabei kommt es aber häufig zu Schweißfehlern, die durch aufwendige Nacharbeit beseitigt werden müssen. Daher werden derzeit viele Anwendungen noch manuell geschweißt, wobei der Schweißer den Prozess entsprechend regeln kann. Der Einsatz mechanisierter Verfahren zum Schweißen der Wurzellage ist nur durch den Einsatz aufwendiger Schmelzbadsicherungen auf der Unterseite der Nähte möglich, die jedoch immer zu Lasten der Fertigungskosten gehen.

Die automatisierte wirtschaftliche Herstellung von schweren Stahlbaukomponenten erfordert eine wirksame Regelung der Schweißleistung zur Absicherung von homogener Einschweißtiefe und Nahtgeometrie. Eine besondere Herausforderung ist das Schweißen der Wurzellage. Das Spaltmaß zwischen den Bauteilhälften kann aufgrund der Toleranzen beim Materialzuschnitt nur begrenzt konstant gehalten werden. Zusätzlich kommt es durch den schweißbedingten Wärmeeintrag zu einem Verzug während des Schweißens. Daher muss die Lichtbogenleistung und damit die Streckenenergie in situ lokal und transient an die herstellungsbedingten geometrischen Toleranzen angepasst werden.

Das wissenschaftliche Ziel besteht in der Entwicklung eines sensorbasierten Regelsystems zur Realisierung eines automatisierten MSG-Hochleistungs-Schweißprozesses. Die Sensoren zur Geometrie- und Temperaturerkennung sind zwar einzeln in der Schweißtechnik im Einsatz, jedoch existieren keine kombinierten Regelsysteme. Die Herausforderung besteht im zeitlichen und örtlichen Abgleich und der Kombination der Sensorsignale zu einer auswertbaren Größe und einem daraus abgeleiteten Regelprozess.

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. habil. Manja Krüger, Prof. Dr. Michael Scheffler, Dr. Iurii Bogomol, Dr. Plinio Furtat  
**Förderer:** Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) - 01.04.2020 - 30.04.2022

### **Aktive Oxidationsschutzschichten für Mo-Si-B-Hochtemperaturwerkstoffe**

Hochtemperaturfeste Mo-Si-B-Werkstoffe werden als geeignete Substituenten für Nickelbasiswerkstoffe intensiv untersucht. Ein bekanntes Problem dieser Werkstoffe ist ihr Oxidationsverhalten. Vor allem die Mo-Mischkristallphase oxidiert in Abhängigkeit von der Temperatur katastrophal unter Bildung eines volatilen Mo-Oxids. Mit bisher bekannten Schutzschichtsystemen konnte dieses Problem bislang nicht zufriedenstellend gelöst werden. Ziel des Projekts ist die Entwicklung neuen Schutzsystems auf Basis füllstoffhaltiger präkeramischer Polymere mit hoher Oxidationsbeständigkeit.

Im Rahmen des Teilprojektes werden Oxidationsschutzschichtsysteme auf Basis präkeramischer Polymere vom Polysilazantyp mit sauerstoffaufnehmenden Füllstoffpartikeln (Si, B, Silicide) entwickelt und in anwendungsnahen Oxidationstests bezüglich ihrer Schutzwirkung getestet. Vielversprechende Zusammensetzungen enthalten neben einem Perhydropolysilazan 25 Vol. % Silicium und 15 Vol.-% Bor; beide Füllstoffe bilden unter Sauerstoffaufnahme ein niedrigviskoses Glas, das in der Lage ist, Mikrorisse im Schichtsystem und auf der zu schützenden Werkstoffoberfläche zu schließen. Modifizierungen der Schutzschichten werden gegenwärtig mit dem Füllstoff Bornitrid durchgeführt. Oxidationsuntersuchungen der bei 1000 °C in Stickstoff pyrolysierten, beschichteten Refraktärmetall-Legierungen zeigen einen sehr gut ausgeprägten Oxidationsschutz bei 800 °C, der über den Untersuchungszeitraum von 100 Stunden nach anfänglicher Massezunahme keine weiteren Masseänderungen aufwies und somit auf eine hohe Schutzwirkung hindeutet.

---

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. habil. Manja Krüger, Prof. Dr. Michael Scheffler, Dr. Iurii Bogomol, Dr. Plinio Furtat  
**Förderer:** Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) // Land Sachsen-Anhalt - 01.04.2020 - 31.03.2023

### **Kriechverhalten von gerichtet erstarrten Mo-Werkstoffen mit und ohne Beschichtung**

Die Arbeiten konzentrieren sich auf die Entwicklung und Charakterisierung neuartiger mehrphasiger Hochtemperaturmaterialien auf Basis einer Mo-Mischkristallphase (Moss), die mit intermetallischen Mo<sub>2</sub>ZrB<sub>2</sub>- und Mo<sub>2</sub>HfB<sub>2</sub>-Phasen mit hohen Schmelzpunkten verstärkt ist. Mo-Hf-B und Mo-Zr-B sind eine Klasse von Hochtemperaturwerkstoffen, die verschiedene Anwendungen finden können, z.B. in der Flugzeugindustrie aufgrund hohen Kriechfestigkeit bei den angestrebten Anwendungstemperaturen, die modernen Nickelbasis-Superlegierungen überlegen ist. Kritisch ist jedoch das Werkstoffverhalten im Bereich mittlerer Temperaturen; hier oxidiert das Molybdän, was einen Werkstoffschutz notwendig macht.

Im Rahmen eines Teilprojektes werden dafür selbstheilende Beschichtungssysteme entwickelt, charakterisiert und anwendungsnah getestet. Diese Beschichtungssysteme bestehen aus einem sauerstofffreien präkeramischen Polymer und sauerstoffbindenden Füllstoffpartikeln wie Si und B. Die Umwandlung in eine geschlossene keramische Schutzschicht erfolgt in inerter Atmosphäre im Temperaturbereich zwischen 800 °C und 1200 °C. Zyklische Oxidationsversuche belegen eine (noch zu verbessernde) Schutzwirkung der Schicht im Temperaturbereich zwischen 800 °C und 1000 °C; die Wirkung bei höheren Temperaturen wird gegenwärtig untersucht. Erste Ergebnisse röntgenographischer Untersuchungen zeigen, dass sich durch Zugabe von ZrO<sub>2</sub> als weiterem Füllstoff eine Zirkoniummolybdatphase bildet, d. h., die Legierungskomponenten Mo zu stabilen Phasen reagiert und in der Probe verbleibt; das Abdampfen von Mo-Oxiden wird weitgehend verhindert. Die Rolle der Schutzschicht in diesem Prozess ist noch nicht vollständig geklärt und ist Gegenstand weiterführender Untersuchungen.

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. habil. Manja Krüger  
**Projektbearbeitung:** M.Sc. Maximilian Regenber  
**Kooperationen:** Experimentelle Orthopädie, OVGU, Prof. Jessica Bertrand  
**Förderer:** Haushalt - 01.07.2021 - 30.06.2024

### **Entwicklung von neuartigen Multi-Komponenten-Werkstoffsystemen für biomedizinische Anwendungen**

Unter dem Begriff Multi-Komponenten-Werkstoffe werden Legierungssysteme zusammengefasst, die im Gegensatz zu herkömmlichen Legierungen (z.B. Fe-C, Al-Si, Ti-Al) nicht auf einer Hauptkomponente basieren, sondern aus einer Vielzahl von Legierungselementen in äquiatomaren oder variierenden Gehalten bestehen. Diese Systeme reichen von der Gruppe der High-Entropy Alloys (HEAs) über Medium-Entropy Alloys (MEAs) bis hin zu Compositionally Complex Alloys (CCAs). Die Besonderheit der Mehrkomponenten-Werkstoffe liegt in deren physikalischen und thermodynamischen Phänomenen (Hochentropieeffekt, Cocktail-Effekt, Effekt der langsamen Diffusion, etc.), welche zu herausragenden mechanischen Werkstoffeigenschaften führen. Besonders in der Entwicklung von Hochtemperaturwerkstoffen haben sich Refraktärmetalle wie Mo, Nb, Ta und Ti als essentielle Komponenten herauskristallisiert. Gleichzeitig sind die genannten Metalle biokompatibel. Diese Eigenschaft wird bei der Entwicklung von Mehrkomponenten-Legierungen für biomedizinische Anwendungen aufgegriffen. Im Zuge des Forschungsvorhabens werden am Lehrstuhl für Hochtemperaturwerkstoffe der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg Werkstoffkonzepte erarbeitet und Legierungen entwickelt, welche im Anschluss in Kooperation mit der Professur für experimentelle Orthopädie, Frau Prof. Dr. rer. nat. Bertrand, auf die Kompatibilität mit verschiedenen biologischen Zelltypen untersucht werden. Ziel des Vorhabens ist es, ein neuartiges Multi-Komponenten-System mit herausragenden mechanischen Eigenschaften bei gleichzeitiger Biokompatibilität für medizintechnische Anwendungen, wie Implantate, zu entwickeln.

---

**Projektleitung:** Dr. Georg Hasemann, Prof. Dr.-Ing. habil. Manja Krüger  
**Kooperationen:** Tohoku University Sendai (Japan)  
**Förderer:** Sonstige - 01.10.2019 - 31.12.2022

### **Mitwirkung im International Joint Graduate Program in Materials Science (GP-MS) der Tohoku University, Japan**

Das Internationale Graduiertenprogramm der Tohoku Universität in Sendai, Japan, wurde unter Beteiligung zahlreicher Fachkollegen und Fachkolleginnen aus Asien, Europa und den USA im Jahr 2018 eröffnet. Von Seiten der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg sind Frau Prof. Manja Krüger und Herr Dr. Georg Hasemann an dem Programm beteiligt (s. Foto). Wir entwickeln und analysieren gemeinsam mit den japanischen Kollegen Prof. Kyosuke Yoshimi, Ass. Prof. Shuntaro Ida und der Doktorandin Linye Zhu neue Werkstoffe und nutzen dafür die einzigartige Ausstattung in den Laboren der Tohoku Universität in Sendai und der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.

---

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. habil. Manja Krüger  
**Projektbearbeitung:** Janett Schmelzer  
**Förderer:** Haushalt - 01.05.2021 - 30.04.2022

### **Legierungsdesign für innovative Medizinwerkstoffe**

Die Anforderungen, welche an Medizinprodukte und Bauteile der Medizintechnik gestellt werden, sind stark von deren Gebrauch abhängig. Lange Zeit wurden biokompatible Materialien als chemisch und biologisch inert innerhalb des menschlichen Körpers angesehen, was inzwischen revidiert wurde, da immer eine Antwort des Körpers stattfindet.

Nanostrukturierte Biomaterialien, u.a. auf Refraktärmetallbasis, können für die Zukunft der biomedizinischen Industrie von hohem Interesse sein und stehen deshalb zunehmend im Fokus der aktuellen Forschung. Ihre grundlegend gute Verträglichkeit im menschlichen Körper zusammen mit hervorragenden mechanischen Eigenschaften sind dabei ausschlaggebend. Die Verwendung von Titan und Titan-Legierungen in der Chirurgie hat aufgrund deren guter Eigenschaftskombination im Vergleich zu anderen metallischen Implantatwerkstoffen,



wie Edelstahl und Kobalt-Chrom-Legierungen, stetig zugenommen. Biokompatible Titan und Titan-Basis-Legierungen zeichnen sich durch eine gute Dauerfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit und eine geringe Dichte aus, was ein hohes spezifisches Festigkeits-Gewichts-Verhältnis ergibt, das leichtere und stärkere Strukturen ermöglicht. Eine der beliebtesten Titanlegierungen, die heute in der Medizin verwendet wird, ist Ti-6Al-4V. Allerdings können auch zugelassene Medizinwerkstoffe noch hinsichtlich ihrer Akzeptanz im menschlichen Körper optimiert werden.

In diesem Projekt werden erste Zellpopulationsexperimente auf neuen, innovativen Werkstoffen mit mesenchymalen Stammzellen und Osteoblasten durchgeführt. Sie sind ein perfekter Indikator für Biokompatibilität und Zelleinwuchsverhalten für potenzielle Implantatwerkstoffe bzw. anderweitig einsetzbare Medizinwerkstoffe.

---

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. habil. Manja Krüger  
**Kooperationen:** National Technical University of Ukraine „Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute“  
**Förderer:** Bund - 01.10.2020 - 30.09.2022

### **OPOS: Optimierte pulvermetallurgische Lösungen für metallische Hochtemperaturwerkstoffe**

Das Ziel des Vorhabens **OPOS** liegt im Ausbau der bestehenden Kooperationen zwischen der Arbeitsgruppe von Prof. Krüger der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg und der Arbeitsgruppe von Priv.-Doz. Bogomol der Nationalen Technischen Universität der Ukraine "Igor Sikorsky KPI" (Ukraine). Zusätzlich soll eine neue Kooperation mit der Arbeitsgruppe von Prof. Smyrnov aus derselben ukrainischen Universität initiiert werden. Die geplanten Maßnahmen sollen die Kooperationspartner in die Lage versetzen, auf der Basis gemeinsamer Forschungs- und Innovationstätigkeit ein multilaterales Konsortium zu bilden.

Das Ziel der wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit ist die Herstellung einer neuartigen Mo-Basis-Legierung für den Hochtemperaturbereich von Gasturbinen mit einem optimierten pulvermetallurgischen Herstellungsverfahren. Das angestrebte Eigenschaftsprofil von Mo-Basis-Legierungen wird dadurch erreicht, dass die entwickelte Legierung eine feinkörnige Mikrostruktur mit einer plastisch verformbaren Matrixphase und hochfesten intermetallischen Einschlüssen aufweist.

---

**Projektleitung:** Dr. Georg Hasemann, Prof. Dr.-Ing. habil. Manja Krüger  
**Kooperationen:** University of Wisconsin-Madison, Prof. John Perepezko  
**Förderer:** Sonstige - 01.01.2020 - 30.06.2021

### **Oxidationsschutz für Vanadium und Vanadiumlegierungen durch Pulverpack-Beschichtung**

Vanadiumlegierungen haben aufgrund ihrer exzellenten mechanischen Eigenschaften das Potential, als zukünftige Strukturwerkstoffe eingesetzt zu werden. Bei erhöhten Temperaturen oxidieren Vanadiumwerkstoffe allerdings stark, wodurch deren Einsatzbereich aktuell auf typische Umgebungstemperaturen beschränkt ist.

In dem DFG-finanzierten Kooperationsprojekt "Oxidationsschutzschichten für Vanadiumwerkstoffe" (Projektnummer 39807701, Laufzeit bis 02/2019) wurden passende Oxidationsschutzschichten entwickelt. Diese wurden im Labor von Prof. J. Perepezko (University of Wisconsin-Madison, USA) mittels des speziellen Pulverpack-Verfahrens appliziert. Am IWF werden diese Schicht-Substrat-Verbunde eingehend mit verschiedenen mikroskopischen Methoden untersucht und deren Schutzwirkung überprüft.

---

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. habil. Manja Krüger  
**Projektbearbeitung:** Janett Schmelzer  
**Kooperationen:** Fraunhofer-Institut für Lasertechnik, Aachen  
**Förderer:** Haushalt - 01.07.2020 - 30.06.2021

### **Additiv gefertigte partikelverstärkte Vanadiumlegierungen**

Mehrphasige Vanadiumlegierungen stehen wegen ihrer hervorragenden mechanischen Eigenschaften im Fokus der aktuellen Forschung an neuen Hochtemperaturwerkstoffen. Durch die Kombination der duktilen Vanadium-Mischkristallphase mit hochfesten intermetallischen oder intermediären Phasen wird ein Werkstoff mit optimierten Eigenschaften entwickelt.

Im Projekt LextrA (<https://forschung-sachsen-anhalt.de/project/lextra-laserbasierte-additive-fertigung-20506>) wurden erstmals verschiedene Vanadiumwerkstoffe mittels des additiven Fertigungsverfahrens DED (Direct Energy Deposition) zu kompakten Probekörpern verarbeitet.

Mittels DED wurden am ILT Aachen Oxidpartikel in mehrphasige Vanadiumwerkstoffe eingebracht, um die mechanischen Eigenschaften zu optimieren. Die Forschungsaufgabe besteht darin, an der OVGU die neuen Werkstoffe bezüglich der homogenen Verteilung der Partikel im Gefüge zu untersuchen und deren Wirkungsweise zu beschreiben. Die festigkeitssteigernde Wirkung der eingebrachten Partikel wird im Vergleich zu einem partikelfreien Referenzwerkstoff quantitativ ausgewertet.

---

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. habil. Manja Krüger  
**Projektbearbeitung:** Dr. rer. nat. Rachid Stefan Touzani  
**Kooperationen:** National Technical University of Ukraine „Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute“;  
Prof. Dr. rer. nat. Michael Scheffler, OVGU  
**Förderer:** Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) - 01.03.2020 - 28.02.2023

### **HTMA-DS Mo: Kriechverhalten von gerichtet erstarrten mehrphasigen Mo-Legierungen mit und ohne Beschichtung**

Mo-Hf-B und Mo-Zr-B als neuartige Refraktärmetall-Legierungen sind potenzielle Kandidaten für Turbinenanwendungen. Aufgrund der hohen Schmelzpunkte der Konstituenten wird hohe Kriechfestigkeit bis zu Temperaturen um 1.400 °C erwartet; derartig hohe Einsatztemperaturen könnten zu höherer Turbineneffizienz und niedrigerem Primärenergieeinsatz führen. Vorteil der Herstellung über gerichtete Erstarrung mittels Zonenschmelzen ist eine niedrige Konzentration an Sauerstoffverunreinigungen (<50 ppm), was für die Vermeidung von Versprödung bei geringeren Temperaturen essenziell ist. Über Zonenschmelzen hergestellte Mo-Hf-B- und Mo-Zr-B-Legierungen weisen anisotrope Gefüge auf.

Ziel der Arbeiten ist es, einen Beitrag zur Qualifizierung dieser Legierungen als Hochtemperaturwerkstoffe zu leisten und das Hochtemperatur-Kriechverhalten unter Zugspannung und unter einsatznahen Bedingungen zu untersuchen; Kriechdaten unter Druckspannung, in inerter Atmosphäre liegen in der Literatur bereits vor. Dazu werden die experimentell orientierten Arbeiten in drei Bereiche unterteilt: i) Am Kiewer Polytechnischen Institut, KPI, werden Legierungen über ein dort entwickeltes Zonenschmelzverfahren gerichtet erstarrt hergestellt und dort sowie an der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, OVGU, hinsichtlich Phasenzusammensetzung und Mikrostruktur charakterisiert. ii) An der OVGU werden Kriechversuche sowohl unter Inertgas als auch unter einsatznahen Bedingungen in Laboratmosphäre durchgeführt. Für die Charakterisierung unter einsatznahen Bedingungen ist der Schutz dieser Legierungen vor Oxidation notwendig; Molybdän oxidiert, das Trioxid verdampft und führt zur schnellen Werkstoffdegradation. Deshalb wird iii) eine Beschichtungsstrategie auf Basis eines partikelgefüllten präkeramischen Polymers entwickelt, um die Legierungen auch unter einsatznahen (oxidierenden) Bedingungen im Zug-Kriechversuch untersuchen zu können. Aus den Ergebnissen wird a) ein Modell zum Kriechverhalten dieser neuartigen Werkstoffe und b) ein Modell zur Beschichtung für molybdänhaltige Refraktärmetall-Legierungen entwickelt.

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. habil. Manja Krüger  
**Projektbearbeitung:** M.Sc. Maximilian Regenber  
**Förderer:** Land (Sachsen-Anhalt) - 01.01.2020 - 31.12.2022

### **Refraktärmetallbasierte Hochentropielegierungen mit beachtenswerten mechanischen Eigenschaften**

Die sogenannten High Entropy Alloys (HEAs; dt. Hochentropielegierungen) oder auch Compositionally Complex Alloys (CCAs) stellen eine neue attraktive Werkstoffklasse dar, welche vielversprechende mechanische, physikalische und chemische Eigenschaften aufweisen. Sie bestehen im Gegensatz zu den konventionellen Legierungen auf der Basis eines bestimmten Metalls aus mindestens 5 verschiedenen Elementen in etwa gleichen atomaren Anteilen. Solche Legierungen haben beachtenswerte Eigenschaftenprofile, die sich deutlich von denen der jeweiligen Ausgangskomponenten unterscheiden. Als besonders interessant erscheinen refraktärmetallbasierte HEAs, sie bestehen typischerweise aus Komponenten mit Schmelztemperaturen jenseits von 2000°C. Diese refraktärmetallbasierten HEAs sind neue vielversprechende Werkstoffkandidaten für Hochtemperatur-Strukturwerkstoffe in verschiedenen Bereichen der Energietechnik, z.B. als Gasturbinenschaufel oder Solarreceiver. Darüber hinaus sind aber auch potentielle Anwendungen in der Medizintechnik aufgrund ihrer guten Biokompatibilität denkbar.

---

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. habil. Manja Krüger  
**Projektbearbeitung:** Dr. rer. nat. Rachid Stefan Touzani  
**Förderer:** Sonstige - 01.10.2019 - 31.03.2022

### **Dichtefunktionaltheoretische Rechnungen an metallischen und intermetallischen Verbindungen**

Viele Fragestellungen im Bereich der metallischen und intermetallischen Verbindungen können mit Hilfe der Dichtefunktionaltheorie (DFT) untersucht werden. Neben der Vorhersage der Kristallstruktur, können auch Lagepräferenzen innerhalb intermetallischer Verbindungen wie Boride und Silizide u.a. mit chemischer Bindungsanalyse untersucht und erklärt werden. Die Untersuchung der elektronischen und phononischen Eigenschaften spielt ebenfalls eine wichtige Rolle bei der Beurteilung der Stabilität einer metallischen und intermetallischen Verbindung. Ein weiteres Forschungsgebiet ist das Erstellen von qualitativen Existenzbereichen von Matrix-, Nebenphasen und Ausscheidungen in Abhängigkeit der Temperatur und/oder des Drucks mit Hilfe von voraussetzungsfreien thermodynamischen Rechnungen. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Vorhersage der mechanischen Eigenschaften wie der elastischen Moduln und Härte. Dichtefunktionaltheorie ist die Methode der Wahl für metallische und intermetallische Verbindungen, auf Grund ihrer hohen Genauigkeit und Geschwindigkeit in Bezug auf ihre Ergebnisse.

---

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. habil. Manja Krüger  
**Projektbearbeitung:** Janett Schmelzer, Dr. rer. nat. Caren Gatzen  
**Kooperationen:** Prof. Dr. rer. nat. Michael Scheffler, OVGU; Forschungszentrum Jülich GmbH  
**Förderer:** Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) - 01.07.2016 - 30.04.2022

### **Aktive Oxidationsschutzschichten für Mo-Si-B-Hochtemperaturwerkstoffe**

Hochtemperaturfeste Mo-Si-B-Werkstoffe werden als geeignete Substituenten für Nickelbasiswerkstoffe intensiv untersucht. Ein bislang ungelöstes Problem dieser Werkstoffe ist ihr Oxidationsverhalten. Vor allem die Mo-Mischkristallphase oxidiert in Abhängigkeit von der Temperatur katastrophal unter Bildung eines volatilen Mo-Oxids. Mit bisher bekannten Schutzschichtsystemen konnte dieses Problem bislang nicht zufriedenstellend gelöst werden. Ziel des Projekts ist daher die Entwicklung eines neuartigen, aktiven Schutzsystems auf Basis füllstoffhaltiger präkeramischer Polymere mit hoher Sauerstoffaufnahmekapazität in Kombination mit dem Hemmen der Sauerstoffdiffusion in Kooperation mit Prof. M. Scheffler (Lehrstuhl Nichtmetallische Werkstoffe).

Am Lehrstuhl von Prof. Krüger werden dazu geeignete aktive Füllstoffpartikel hergestellt, die anschließend über einen Schlicker mittels eines Tauchbeschichtungsprozesses auf die Substratmaterialien aufgetragen werden. Oxidationsuntersuchungen bei unterschiedlichen Temperaturen mit anschließender Analyse der Schicht

bzw. der Schicht-Substrat-Grenzfläche sollen zeigen, inwieweit das Oxidationsverhalten des Substrates durch die neuen Beschichtungssysteme beeinflusst wird.

---

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. habil. Manja Krüger  
**Projektbearbeitung:** M.Sc. Christopher Müller  
**Kooperationen:** Forschungszentrum Jülich GmbH; MEMoRIAL-M2.4 | In-situ SEM methods to improve implant materials, Karsten Harnisch; MEMoRIAL-M2.2 | Characterisation and simulation-based development of Engineering Materials, Rostyslav Nizinkovsky; OVGU, Dr.-Ing. Georg Hasemann  
**Förderer:** EU - ESF Sachsen-Anhalt - 01.08.2017 - 31.07.2021

## **MEMoRIAL-M2.1 | Optimisation of novel vanadium-based high temperature materials**

### **Background**

Due to the low density in combination with a high melting point, vanadium demonstrates a great lightweight potential for turbines in aircrafts or energy industry. Since vanadium as a structural material is in focus of research only recently, the effects of several alloying elements on the materials properties are not or insufficiently examined yet.

### **Objective**

The investigation of the microstructure-property relationship in binary, ternary and quaternary V-based alloys in order to use the findings to improve high-temperature alloys based on V-Si-B.

### **Methods**

By means of ingot metallurgy (arc-melting process), vanadium samples with different concentrations of alloying elements were manufactured. Resulting from this, single phase vanadium solid solutions (V<sub>ss</sub>), two-phase and three-phase alloys were produced. Microhardness measurements and compression tests were carried out to determine the mechanical properties in dependence on the alloying components. SEM (Scanning Electron Microscopy) and XRD (X-ray Diffraction) methods were used to examine the microstructure, to identify phases and to measure elements concentration in the respective phases.

### **Results**

The combination between mechanical characteristics and microstructural investigations enables conclusions concerning the materials behavior and the efficiency of solid solution strengthening and second phase strengthening.

### **Conclusions**

The elements Cr, Mo and Nb have a high potential for improving the microstructure property relationship in modern V-Si-B alloys.

### **Originality**

Basic research on the effects of various alloying elements in vanadium solid solution, as well as in promising ternary V-Si-B high temperature alloys.

### **Keywords**

Vanadium-based alloys, microstructure-property-relationship, intermetallics, V-Si-B-X, vanadium solid solution phase

---

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. habil. Manja Krüger  
**Projektbearbeitung:** M.Sc. Rostyslav Nizinkovskyi  
**Kooperationen:** Forschungszentrum Jülich GmbH; National Technical University of Ukraine/"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"; MEMoRIAL-M2.1 | Optimisation of novel vanadium-based high temperature materials, Christopher Müller  
**Förderer:** EU - ESF Sachsen-Anhalt - 01.08.2018 - 30.04.2022

### MEMoRIAL-M2.2 | Characterisation and simulation-based development of Engineering Materials

The sub-project is related to **Engineering Materials** to be used in a **wide temperature range** and under **complex mechanical loading**. The project will focus on the microstructure/properties relationship of **single and multi-phase metallic materials**. Theoretical considerations of microstructure evolution or phase stability/transition will be done by Phase-Field Simulation and/or DFT, MD, or other nanoscale-related numerical methods. **Mechanical properties** will be determined from (micro and nano) indentation, bending, compression as well as creep tests.

A simulation-supported approach shall be used to develop further these materials.

---

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. habil. Manja Krüger  
**Kooperationen:** Forschungszentrum Jülich GmbH; Universität Siegen, Frau Dr.Ing. habil. Bronislava Gorr; OVGU, Dr.-Ing. Georg Hasemann  
**Förderer:** Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) - 01.04.2019 - 31.03.2022

### Entwicklung und Charakterisierung von eutektischen V-Si-B-Legierungen mit verbesserten spezifischen mechanischen Eigenschaften für Hochtemperaturanwendungen

Nickelbasis-Superlegierungen sind aktuell die Materialklasse der Wahl für Hochtemperaturanwendungen im Turbinenbau. Vanadium-Silizid-Werkstoffe stellen eine potentielle Alternative dar, insbesondere aufgrund ihrer hervorragenden spezifischen mechanischen Eigenschaften. So bestehen beispielsweise V-Si-B-Legierungen aus dem vanadium-reichen Bereich des Dreistoffsystems aus einem duktilen Vanadium-Mischkristall (V-Mk) und den beiden intermetallischen Phasen  $V_3Si$  und  $V_5SiB_2$ . Dieses bislang nur wenig erforschte Legierungssystem birgt jedoch in Hinblick auf die Mikrostruktur einige erstaunliche Gemeinsamkeiten zum gut untersuchten Nachbarsystem Mo-Si-B. So konnten in ersten Vorversuchen an V-Si-B-Legierungen deutlich bessere spezifische Druckfestigkeiten im Temperaturbereich von 600 °C bis 900 °C gegenüber Ni-Basislegierungen erzielt werden. Jedoch ist der Mechanismus der Phasenentstehung sowie die Korrelation der Mikrostruktur-Eigenschaftsbeziehungen noch vollkommen unerforscht. Das primäre Ziel dieses Vorhabens ist die Entwicklung neuartiger V-Si-B-Legierungen für Hochtemperaturanwendungen. Hierbei wird die Entwicklung ternär-eutektischer Legierungen angestrebt. In einer Reihe von V-reichen binären und ternären Versuchslegierungen wird die Phasenbildung und -stabilität von der Schmelze bis zum homogenisierten Gefüge erforscht.

---

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. habil. Manja Krüger  
**Projektbearbeitung:** Dr.-Ing. Julia Becker  
**Förderer:** Haushalt - 01.10.2019 - 30.09.2022

### Neue Legierungsstrategien für Mo-basierte Hochtemperaturwerkstoffe

Hinsichtlich der Schonung von Ressourcen und der Verringerung von Umweltbelastungen ist die Steigerung des Wirkungsgrades von Turbinen im Kraftwerks- und Triebwerksbereich ein an Bedeutung zunehmender Forschungsschwerpunkt. Insbesondere ternäre Mo-Si-B Legierungen, deren Gefüge möglichst aus einer kontinuierlichen Mo-Mischkristallmatrix mit homogen verteilten intermetallischen Phasen bestehen, bieten eine ausgewogene Kombination der Hoch- und Raumtemperatureigenschaften. Da die mechanischen Eigenschaften der Mo-basierten Legierungen signifikant durch das Herstellungsverfahren beeinflusst werden, wird an pulvermetallurgischen, schmelzmetallurgischen und additiven Fertigungsverfahren geforscht. Die verhältnismäßig hohe Dichte ( $>9 \text{ g/cm}^3$ ) dieser Legierungsklasse stellt allerdings einen entscheidenden

Nachteil bei der potentiellen Anwendung als Turbinenschaufel dar. Ziel soll es sein, die Dichte dieser ternären Legierungen mit Hilfe von geeigneten Legierungsstrategien auf Werte unter  $8 \text{ g/cm}^3$  zu reduzieren, um die Konkurrenzfähigkeit dieser Werkstoffe zu erhöhen. Die Herausforderung besteht insbesondere darin, dass die wichtigen mechanischen Eigenschaften, wie die Risszähigkeit bei vergleichsweise tiefen Temperaturen und die Kriechbeständigkeit bei Temperaturen oberhalb von  $1000^\circ\text{C}$  nicht wesentlich beeinträchtigt werden.

---

**Projektleitung:** Dr. Georg Hasemann, Prof. Dr.-Ing. habil. Manja Krüger  
**Kooperationen:** Tohoku University  
**Förderer:** Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) - 01.10.2019 - 30.09.2022

### **Ermittlung von Phasengleichgewichten von V-Si-B-Cr-Legierungen bei hohen Temperaturen**

In Kooperation mit Prof. K. Yoshimi von der Tohoku University in Sendai, Japan, werden vanadiumbasierte Hochtemperaturwerkstoffe hergestellt und untersucht. Die Auswahl der Werkstoffe erfolgt auf Basis thermodynamischer Phasengleichgewichte. Die Herstellung erfolgt über ein schmelzmetallurgisches Verfahren mit anschließender Wärmebehandlung. Im Rahmen von gegenseitigen Besuchen werden Ergebnisse diskutiert und die Legierungsentwicklung weiter optimiert.

---

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Mook  
**Projektbearbeitung:** Dipl.-Ing. Yury Simonin  
**Kooperationen:** FOOKE GmbH, Borken; innotronic GmbH, Gronau; Westfälische Hochschule Bolcholt  
**Förderer:** BMWi/AIF - 01.10.2021 - 30.09.2023

### **Entwicklung eines hybriden Fräs- und Messwerkzeugs für die Aluminium-Großblechbearbeitung. Teilprojekt: Wirbelstrom-Sensorik und Signalverarbeitung**

Das Ziel ist die Entwicklung eines Fräswerkzeugs, das während der Bearbeitung die Wandstärke von Aluminiumblechen ermittelt und auf dieser Basis die Bearbeitungsparameter regelt. Durch die Integration eines Wanddickenmessensors in das rotierende Fräswerkzeug soll synchron das Aluminiumblech gefräst werden sowie "online" die Restwandstärke gemessen werden. Für den Fall, dass die Bearbeitung die Toleranzgrenzen zu verlassen droht, wird ein Signal an die Werkzeugmaschinensteuerung zur Korrektur der Z-Achsposition gegeben. So ist zu jeder Zeit sichergestellt, dass das Bauteil auf Sollmaß gefräst ist. Es sind keine nachgelagerten Messarbeiten nötig, so dass sowohl die Bearbeitungszeit des Aluminiumblechs deutlich reduziert und als auch Ausschuss vermieden werden kann.

---

**Projektleitung:** Prof. Dr. Michael Scheffler, Dr. Ulf Betke  
**Förderer:** Haushalt - 01.01.2020 - 31.12.2022

### **Sinterverhalten keramischer Replika-Schäume**

Zelluläre Keramiken haben in der metallverarbeitenden Industrie eine große Bedeutung als Filtermedium für Metallschmelzen in Gießereiprozessen. Stand der Technik für die Herstellung dieser keramischen Schäume ist das Schwartzwalder- oder auch Replika-Verfahren. Grundlage ist die Aufbringung einer keramischen Dispersion auf ein Polymerschäumtemplat, gefolgt vom Ausbrennen des Templats und dem Sintern des Grünkörpers. Die resultierenden keramischen Schäume sind charakterisiert durch Hohlräume im Stegmaterial, die aus dem Ausbrand der Templatstruktur herrühren sowie Längsrisse in den Stegen resultierend aus der unvollständigen Beschichtung des Templats. Diese Hohlräume und Risse bieten einerseits das Potential zur Funktionalisierung der zellulären Keramik, beispielsweise durch Beladung mit aktiven Spezies, limitieren andererseits aber auch die mechanische Stabilität der Struktur.

Für die Entstehung der Risse im Stegmaterial existieren vereinzelte, qualitative Beschreibungen in der Literatur, die Faktoren wie die Benetzung des Polymertemplats sowie die thermische Ausdehnung und Gasentwicklung

während des Templatausbrandes berücksichtigen. Eine systematische Untersuchung der Effekte, die auch die Schwindung des Stegmaterials beinhaltet, fehlt jedoch.

Das Ziel des Vorhabens ist die Untersuchung der Hohlstegstruktur - einerseits in vereinfachten Modellsystemen, andererseits in zellularen Strukturen - als Funktion der Sintertemperatur. Als Modellsystem finden Polymerstäbchen mit unterschiedlichem Querschnittsprofil Verwendung, welche sich über die Tauchbeschichtung sehr definiert mit keramischer Dispersion beschichten lassen. Modellwerkstoffe sind gängige Ingenieurskeramiken wie Alumina oder Zirconia. Die Untersuchung der Proben - Modellstege wie auch zelluläre Keramiken - erfolgt in erster Linie über die Mikro-Computertomographie. Diese Methode erlaubt die präzise Analyse von Materialstärke und Hohlräumen in den untersuchten Strukturen. Abschließendes Ziel des Vorhabens ist ein Modell, mit dessen Hilfe sich das Hohlstegvolumen einerseits, und die Häufigkeit und Dimension der Längsrisse im Stegmaterial andererseits, als Funktion der Sintertemperatur für ein keramisches Material bekannter Schwindung vorhersagen lässt. Dies erlaubt die Prozessoptimierung für die Herstellung von Replika-Schäumen - sowohl im Hinblick auf eine Festigkeitsverbesserung (Vermeidung von Rissen), als auch im Hinblick auf eine Hohlstegfunktionalisierung (Kontrolle der Hohlstegzugänglichkeit).

---

**Projektleitung:** Prof. Dr. Michael Scheffler, Dr. Ulf Betke  
**Förderer:** Haushalt - 01.01.2020 - 31.12.2022

### **Zellulare Keramiken aus Materialien mit adamantanoïder Kristallstruktur**

Adamantanartige Verbindungen beinhalten Materialien, deren Kristallstruktur sich vom Adamantgrundkörper, bzw. der Struktur von Diamant ableiten lässt. Beispiele sind Keramiken wie SiC, AlN aber auch ZnO, die alle in der Wurtz-Struktur, dem Diamantgitter für binäre Verbindungen, kristallisieren. Der Grundaufbau beinhaltet eine tetraedrische Umgebung, sowohl für Kationen, als auch Anionen. Aufgrund des einfachen Aufbaus weisen die adamantanartigen Verbindungen eine gute Phononenleitfähigkeit und daraus hervorgehend eine gute Wärmeleitfähigkeit auf. Aufgrund der großen kovalenten Bindungsanteile sind für das Sintern dieser Verbindungen üblicherweise hohe Temperaturen und/oder Sinterhilfsstoffe notwendig. Zelluläre Keramiken wurden ausgehend von diesen Materialien - mit Ausnahme von SiC - bisher kaum hergestellt.

Ziel des Vorhabens ist die Herstellung und Charakterisierung von zellulären Keramiken - in erster Linie aus den adamantanartigen Verbindungen AlN und ZnO. Dies beinhaltet die Entwicklung geeigneter Dispersionen für die Anwendung des Schwarzwälder-Verfahrens sowie die Auswahl geeigneter Sinteradditive und Sinterbedingungen. Die erhaltenen Schäume sollen dann in Hinblick auf ihre Mikrostruktur und Eigenschaften (Wärmeleitfähigkeit, mechanische Eigenschaften) charakterisiert werden.

Aufgrund der komplexen Zusammensetzung des keramischen Rohmaterials (Grundwerkstoff + Sinterhilfen) tritt häufig die Bildung diverser Sekundärphasen, beispielsweise Y-Al-O-Verbindungen im System AlN-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, auf. Diese Sekundärphasen beeinflussen die Eigenschaften des Grundmaterials maßgeblich. Die Phasenentwicklung im System AlN-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ist gut untersucht, während für das System ZnO-Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> häufig Phasen unbekannter Struktur auftreten. Daher bildet die Untersuchung der Phasenzusammensetzung im keramischen Stegmaterial der hergestellten Schäume mittels der Methode der Pulverdifraktometrie einen Schwerpunkt aus. Dies beinhaltet auch die strukturelle Charakterisierung unbekannter Phasen - sofern rein darstellbar - anhand erhaltener Daten aus der Pulverröntgenbeugung.

---

**Projektleitung:** Ph. D. Alina Sutygina, Prof. Dr. Michael Scheffler  
**Kooperationen:** Prof. Dr. Dirk Enke, Universität Leipzig  
**Förderer:** EU - ESF Sachsen-Anhalt - 01.01.2018 - 31.12.2021

### **Preparation and characterisation of cellular metals (MEMoRIAL-M2.6)**

Due to their outstanding properties **metallic cellular structures** are in the focus of research and development. A great number of potential applications has yet been addressed, major interest is in such fields like biomedical devices, support structures with high tortuosity für fluiddynamic applications and support structures for active components in heat transformation applications such as adsorption heat storage and adsorption heat pumps.

However, the **specific surface area** of those structures is commonly too small. Moreover, cellular

structures may cause **mechanical instabilities** of materials if critical heights or diameters are exceeded. To bridge this gap, a novel manufacturing strategy has been developed and transferred to aluminum and to copper open cell foams. In order to increase the porosity in these foams a **reticulation process** for foam manufacturing was combined with two **freeze processing** steps. This resulted in the formation of planar pores in the struts of the metallic foams and a significant increase of the total porosity. Despite of the higher porosity, both metallic foams are mechanically stable, and, the proof of principle showed, that the amount of active components - the novel-type aluminum foams were loaded with the zeolite SAPO-34, and the highly-porous copper foam was loaded with the MOF HKUST-I - is significantly higher compared to those foams processed without additional freezing steps.

---

**Projektleitung:** Dr.-Ing. Volodymyr Taran, Prof. Dr. Michael Scheffler  
**Förderer:** BMWi/AIF - 01.01.2018 - 30.04.2021

### **Entwicklung einer neuen Brennkammer für emissionsarme Hochtemperatur-Pelletverbrennungsanlagen aus einem neuen keramischen SiC-basierten Verbundwerkstoff sowie einer neuen Technologie zur Fertigung dieses Verbundwerkstoffes**

Der Einsatz nachwachsender Rohstoffe zur Erzeugung von Energie und Wärme gewinnt auch durch die zwingend notwendige Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes zunehmend an Bedeutung. Insbesondere der Bereich der Energie-gewinnung aus Biomasse u.a. durch die Pelletverbrennung verzeichnet große Wachstumsraten. Die gegenwärtige breite Anwendung der Biomasse zur Energieerzeugung durch Niedrigtemperaturverbrennung beinhaltet wesentliche Nachteile wie die Entstehung von CO, Dioxine und toxische Bestandteilen. Fehlende Möglichkeiten einer gesteuerten Verbrennung bei hohen Temperaturen verhindern bisher energieeffiziente Anlagen.

Projektziel ist die Entwicklung einer neuen Brennkammer für emissionsarme Hochtemperatur-Pelletverbrennungsanlagen aus einem neuen keramischen SiC-basierten Verbundwerkstoff sowie einer neuen Technologie zur Fertigung dieses Verbundwerkstoffes. Bei einer dynamisch gesteuerten Hochtemperaturverbrennung oberhalb von 1.350 °C in neu entwickelten Brennkammern ist damit eine schadstoffarme Verbrennung mit hohem Wirkungsgrad möglich. Der Materialpreis für SiC-basierte Erzeugnisse soll um 50 % sinken, die Wärmeleitfähigkeit der Brennkammern um mind. 300 % erhöht werden.

---

**Projektleitung:** Prof. Dr. Michael Scheffler  
**Projektbearbeitung:** M.Sc. Kathleen Dammler  
**Kooperationen:** Prof. Dr. Dirk Enke, Universität Leipzig; Dr. Michael Schwidder, Inst. für Chemie, Otto-von-Guericke Universität Magdeburg  
**Förderer:** EU - ESF Sachsen-Anhalt - 01.02.2017 - 30.04.2021

### **Funktionskeramiken mit erhöhter spezifischer Oberfläche (MEMoRIAL-M2.5)**

Offenzellige keramische Schäume können durch verschiedene Prozesse hergestellt werden; Schäume für industrielle Anwendungen werden überwiegend nach dem Replika-Verfahren erzeugt. Dabei wird ein offenporiges Schaumtemplat mit keramischem Schlicker beschichtet, in einem Pyrolyseschritt ausgebrannt und anschließend einem Sinterprozess zur mechanischen Konsolidierung der porösen Keramik unterzogen.

Prozessbedingt bleibt an den Stellen, die vormalig das Polymertemplat einnahm, eine Struktur aus hohlen Stegen zurück. Einerseits führt dies als Kombination aus Spannungsüberhöhung an spitzen Kanten und Rissen und der resultierenden "Hohlstruktur" zu deutlich reduzierten mechanischen Festigkeiten; andererseits kann die zusätzliche innere Oberfläche genutzt werden, um Aktivkomponenten zu beherbergen.

Im Rahmen dieses Projekts soll in einem ersten Schritt die große innere Oberfläche der Hohlstege zugänglich gemacht werden, indem die Stege mit Zugangsporen ausgestattet werden. In einem zweiten Schritt soll die dann zugängliche innere Oberfläche der Schaumstege mit Aktivkomponenten beladen werden.

Erste Ergebnisse von Untersuchungen der Mikrostruktur von aus hoch porösen Ausgangsstoffen hergestellten Schäumen zeigen, dass die Stegporosität maßgeblich von solchen Prozessparametern wie Sinter-temperatur und -dauer beeinflusst wird. Abbildung 1. zeigt beispielhaft die Mikrostruktur eines aus hoch porösem Aluminiumoxid hergestellten Keramikschaums.



**Projektleitung:** Jun.-Prof. Dr.-Ing. Michael Rhode  
**Förderer:** BMWi/AIF - 01.05.2021 - 30.09.2023

### **Vermeidung von Kaltrissen in UP-Dickblechschweißungen aus hochfesten Stählen**

Bisher wird gefüge- und legierungsspez. Diffusionsverhalten und der Einfluss unterschiedlicher Wärmeleitung auf die verzögerte Kaltrissbildung in UP-geschweißten Grobblechen nur bedingt berücksichtigt. Aufgrund der hohen Aufschmelzung beim UP-Schweißen verändert sich die lokale chemische Zusammensetzung beim Zusammentreffen unterschiedlicher Legierungskonzepte von Grundwerkstoff und Schweißgut (SG). Dies beeinflusst die Wasserstoffdiffusion und das mechanische Verhalten von WEZ und SG. Zusätzlich ist die Interaktion des Wasserstoffs mit einem risskritischen Gefüge unter erhöhter mehraxialer mechanischer Beanspruchung (durch die behinderte Bauteilschrumpfung bei großen Blechdicken) für hochfeste UP-geschweißte Stähle wie S690 nahezu unbekannt. Für die Industrie und insbesondere KMU ergibt im deshalb die Notwendigkeit der Sicherstellung der schweißtechnischen Verarbeitung der Werkstoffe in den notwendigen Dicken. Bei dickwandigen und daher sehr steifen Konstruktionen aus hochfesten UP-geschweißten Grobblechen ist mit erhöhter Kaltrissgefahr zu rechnen. Diese vor dem UP-Schweißen auszuschließen, ist wesentliches Projektziel. Dies wird erreicht durch Empfehlungen zur Wärmeleitung beim UP Schweißen von metallurgisch günstigen Grundwerkstoff-Schweißzusatz-Kombinationen zur Erreichung einer hohen Kaltrissbeständigkeit. Basierend auf gefüge-, chemie- und temperaturabhängigen Diffusionskoeffizienten sowie Wasserstofffreisetzungstemperaturen werden. Nachwärmtemperaturen bzw. -haltezeiten zur Wasserstoffreduktion ermittelt, in Hydrogen-Removal-Heat-Treatment (HRHT) Diagrammen zusammengefasst und den Anwendern als Richtlinien zur Verfügung gestellt. Bauteilschweißungen unter äußerer definierter Schrumpfbegrenzung ermöglichen die Verifizierung der HRHT-Prozeduren an unterschiedlichen Grundwerkstoff-Schweißzusatz-Kombinationen unter realen Steifigkeitsverhältnissen und somit die direkte Bauteilübertragbarkeit.

---

**Projektleitung:** Jun.-Prof. Dr.-Ing. Michael Rhode  
**Projektbearbeitung:** M.Sc. Tim Richter  
**Kooperationen:** Ruhr-Universität Bochum, Jun.-Prof. Dr. Guillaume Laplanche; BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung  
**Förderer:** Bund - 01.10.2019 - 30.09.2022

### **SURDIA - Oberflächendegradation innovativer Legierungen**

Die neuartige und schnelle Entwicklung von "Compositionally Complex Alloys" (CCA's) bietet Materialien mit hervorragenden strukturellen Eigenschaften, die sie zu Kandidaten für zukünftige Anwendungen bei niedrigen, mittleren und hohen Temperaturen machen. Die Komplexität dieser Legierungen und die atomaren Wechselwirkungen in dieser Legierungsklasse sind kaum verstanden worden, was zu Unsicherheiten in ihrem Verhalten unter verschiedenen Faktoren führt. Das Oxidationsverhalten und die Metallbearbeitungsprozesse haben jedoch einen starken Einfluss auf die Lebensdauer und die Sicherheit von Komponenten in strukturellen und Hochtemperatur-anwendungen. Diese Anwendungen gehen meist mit dem Vorhandensein rauer Umgebungsbedingungen einher, die die Werkstoffoberflächen durch Korrosion degradieren. Bisher sind fast keine Studien über die Oberflächendegradation durch füge- oder trenntechnische Verarbeitung oder Korrosion über CCA's bekannt. Das Projekt kombiniert daher durch seinen interdisziplinären Verständnis von Oberflächendegradationsphänomenen, die durch heiße Gase oder thermische (Schweißen) und mechanische (Fräsen) Einflüsse hervorgerufen werden, durch die Kombination mit einer speziellen Oberflächenanalytik zu kombinieren. Unsere Ziele innerhalb von SURDIA sind:

- (A) Identifizierung von Degradationsmechanismen und Verifizierung von Randparametern für die Bildung von korrosionsbeständigen und schützenden Oxidschichten auf CCA's der Systeme Al-Cr-Fe-Co-Ni und Co-Cr-Fe-Mn-Ni unter mehrfacher chemischer Belastung.
- (B) Entwicklung einer zerstörungsfreien röntgenbasierten Analysemethode (imaging grazing exit X-ray fluorescence - GEXRF) zur in-situ Beobachtung von Oberflächenveränderungen, die durch heiße, reaktive Gase induziert werden.

(C) Bestimmung, Charakterisierung und Bewertung der Materialdegradation durch thermische und mechanische Einflüsse während der Komponentenherstellung (spanende Bearbeitung bzw. Schweißen) unter besonderer Berücksichtigung metallurgischer Veränderungen und Eigenspannungen.

---

**Projektleitung:** Jun.-Prof. Dr.-Ing. Michael Rhode  
**Kooperationen:** BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung  
**Förderer:** BMWi/AIF - 01.07.2019 - 30.06.2022

### **Entwicklung von Wärmenachbehandlungskonzepten zur Vermeidung von Spannungsrelaxationsrissen an Bauteilen aus hochwarmfesten Stählen**

Komponenten aus hochwarmfesten Stählen werden zunehmend in der regenerativen Energieerzeugung (Solarthermie, Dampfspeicher) eingesetzt. Der Anspruch an die schweißtechnische Verarbeitung dieser Stähle steigt stetig. Dabei muss zwingend die notwendige Wärmenachbehandlung der Schweißnaht (PWHT) sicher beherrscht werden. Durch die Wärmeeinwirkung der PWHT tritt wiederholt Bauteilversagen infolge der Spannungsrelaxationsrissbildung (SRR) auf. Bislang erfolgt die Beurteilung der SRR-Neigung in Abhängigkeit der PWHT primär über Ersatzgrößen (temperaturbedingte Änderung Härte und Duktilität). Die Wirkung der konstruktiven Schrumpfbehinderung einer Schweißnaht auf die SRR ist bislang völlig unbekannt. Forschungsziel ist daher die Gewinnung und Optimierung der Parameter für die PWHT unter realitätsnahen Bauteilbedingungen (definierte Einspannbedingungen) zur sicheren Vermeidung von SRR. Es werden optimierte Wärmenachbehandlungskonzepte zur Vermeidung von SRR entwickelt. Dazu wird ferner das Ausscheidungsverhalten hochwarmfester Werkstoffe unter realitätsnahen Einspannbedingungen in zusätzlicher Abhängigkeit des Gefügezustandes (Schweißgut und Wärmeeinflusszone) berücksichtigt. Somit wird erstmals eine Bauteilübertragbarkeit ermöglicht und eine Transfergröße geschaffen, welche die Bauteilbewertung hinsichtlich SRR-Neigung umfasst. Aus dem erarbeiteten Wissen zur SRR-Vermeidung, werden präventive Maßnahmen zu deren Vermeidung abgeleitet. Darüber hinaus werden die Resultate zur Verkürzung der PWHT-Dauer durch Anpassung der Aufheizraten oder Variation der Haltezeit dienen.

---

**Projektleitung:** Dr. Georg Hasemann  
**Kooperationen:** Prof. Dr.-Ing. habil. Manja Krüger, OVGU; Dr.-Ing. habil. Bronislava Gorr, Universität Siegen; Forschungszentrum Jülich GmbH  
**Förderer:** Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) - 01.04.2019 - 31.03.2022

### **Entwicklung und Charakterisierung von eutektischen V-Si-B-Legierungen mit verbesserten spezifischen mechanischen Eigenschaften für Hochtemperaturanwendungen**

Nickelbasis-Superlegierungen sind aktuell die Materialklasse der Wahl für Hochtemperaturanwendungen im Turbinenbau. Vanadium-Silizid-Werkstoffe stellen eine potentielle Alternative dar, insbesondere aufgrund ihrer hervorragenden spezifischen mechanischen Eigenschaften. So bestehen beispielsweise V-Si-B-Legierungen aus dem Vanadium-reichen Bereich des Dreistoffsystems aus einem duktilen Vanadium-Mischkristall (V-Mk) und den beiden intermetallischen Phasen  $V_3Si$  und  $V_5SiB_2$ . Dieses bislang nur wenig erforschte Legierungssystem birgt jedoch in Hinblick auf die Mikrostruktur einige erstaunliche Gemeinsamkeiten zum gut untersuchten Nachbarsystem Mo-Si-B. So konnten in ersten Vorversuchen an V-Si-B-Legierungen deutlich bessere spezifische Druckfestigkeiten im Temperaturbereich von 600 °C bis 900 °C gegenüber Ni-Basislegierungen erzielt werden. Jedoch ist der Mechanismus der Phasentstehung sowie die Korrelation der Mikrostruktur-Eigenschaftsbeziehungen noch vollkommen unerforscht. Das primäre Ziel dieses Vorhabens ist die Entwicklung neuartiger V-Si-B-Legierungen für Hochtemperaturanwendungen. Hierbei wird die Entwicklung ternär-eutektischer Legierungen angestrebt. In einer Reihe von V-reichen binären und ternären Versuchslegierungen wird die Phasenbildung und -stabilität von der Schmelze bis zum homogenisierten Gefüge erforscht.

---

**Projektleitung:** Dr. Georg Hasemann  
**Kooperationen:** Prof. Dr.-Ing. habil. Manja Krüger, OVGU  
**Förderer:** Haushalt - 01.10.2019 - 31.10.2022

### **Entwicklung eutektischer Refraktärmetalllegierungen für Anwendungen unter extremen Bedingungen**

Der Schwerpunkt des Projektes ist es, ein umfassendes Verständnis von refraktärmetallbasierten RM-Si-B-Systemen zu gewinnen. Dies beinhaltet die Phasenentstehung und -umwandlung während der Erstarrung, sowie die Phasenstabilität und Umwandlungen im Gleichgewichtszustand. Dabei wird gezielt nach ternären Eutektika in den metallreichen Teil der RM-Si-B-Systeme geforscht. Hierzu werden die chemischen Zusammensetzungen der beteiligten Phasen mittels thermodynamischer Berechnungen identifiziert und experimentell validiert (z.B. mittels WDX- oder Mikrosondenmessungen). Als vorteilhaft werden ternäre Eutektika hinsichtlich ihrer für den Legierungsbereich niedrigsten Schmelzpunktes sowie die mit der Mikrostruktur im Zusammenhang stehenden besonderen mechanischen Eigenschaften erachtet. Des Weiteren lässt sich über die (prozessabhängigen) Abkühlbedingungen die eutektische Mikrostruktur gut kontrollieren und damit gezielt Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften solcher Legierungen nehmen. Das kann beispielweise über gerichtete Erstarrung solcher RM-basierter eutektischer Systeme erreicht werden. Ziel ist es, RM-Si-B-Legierung zu entwickeln, welche gegenüber Ni-Basis verbesserte spezifische Festigkeitseigenschaften bei Temperaturen zwischen 600 °C und 1500 °C (mögliche Einsatzfenster eutektischer RM-Si-B-Systeme) aufweist. Dabei stehen besonders Mo- und V-basierte Legierungssysteme im Fokus der wissenschaftlichen Arbeit.

Ähnlich wie bei Mo-Si-B-Werkstoffen ist eine technische Anwendung von beispielsweise Vanadium-Silizid-Legierungen mit etwa 30 bis 70% V(MK)-Phase und komplementären Silizidphasen am aussichtsreichsten und wahrscheinlichsten. Ein genaues Verständnis der Mikrostruktur-Eigenschaftsbeziehungen in Kombination mit der Thermodynamik RM-reicher RM-Si-B-Systeme ist daher essenziell und es wird ein möglichst ganzheitlicher Materialentwicklungsansatz verfolgt. Dieser umfasst die Legierungsauswahl und Werkstoffsynthese (Lichtbogenofen, gerichtete Erstarrung, Wärmebehandlungen), die Charakterisierung der Mikrostrukturentwicklung und mechanischer Eigenschaften (temperaturabhängige Druck- und Kriechversuche) sowie die Entwicklung wirksamer Oxidationsschutzmechanismen (über präkeramische Polymere und Packzementieren) für die RM-Si-V-Legierungssysteme.

---

**Projektleitung:** Dr.-Ing. Andreas Heyn  
**Kooperationen:** BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung; iLF - Institut für Lacke und Farben Magdeburg; Methodisch-Diagnostisches Zentrum Werkstoffprüfung e.V.  
**Förderer:** Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) - 01.03.2017 - 31.05.2021

### **Gel-Elektrolyte auf Agar-Basis für die Korrosionsdiagnostik**

Gele auf Agar-Basis können schon bei geringem Polymeranteil große Mengen an wässrigen Elektrolyten aufnehmen und immobilisieren, ohne dabei an Stabilität zu verlieren. Dabei tritt ein geringer Synerase-Effekt auf, der zur Bildung dünner Elektrolytfilme bei Kontakt mit Festkörpern führt. Diese Effekte machen Agar-Gele zu einem interessanten und alternativen Elektrolyten für die Korrosionsdiagnostik mit elektrochemischen Methoden. In dem Vorhaben sollen unterschiedliche Gel-Elektrolyt-Variationen untersucht werden, mit denen sich neue sensorische Konzepte zur Untersuchung und Prüfung der Korrosionsschutzwirkung von Metallen, metallischen Überzügen und schützenden Deckschichten realisieren lassen. Dabei ist vor allem der sich bildende Elektrolytfilm von Interesse, dessen Korrosivität sich einstellen und elektrochemisch manipulieren lassen soll, indem z.B. durch anodische Polarisation der zu untersuchenden Elektrode hydratisierte Anionen durch das Gelnetzwerk in den Elektrolytfilm transportiert werden. Damit ist neben einer minimal-invasiven elektrochemischen Kennwertermittlung auch das Nachstellen und die Untersuchung realer korrosiver Bedingungen viel besser möglich als mit herkömmlichen Methoden. Aktuell werden Gel- und Bulk-Elektrolyte an unterschiedlichen Systemen mit theoretischer als auch praktischer Relevanz verglichen. Darüber hinaus stellt momentan die Sensorentwicklung einen Schwerpunkt im Vorhaben dar.

**Projektleitung:** Dr.-Ing. Paul Rosemann  
**Kooperationen:** Methodisch-Diagnostisches Zentrum Werkstoffprüfung e.V.; Energietechnik Essen GmbH; Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V. (FGW) Remscheid  
**Förderer:** Haushalt - 01.02.2019 - 31.01.2022

### **Korrosionsbeständigkeit nichtrostender Stähle - Einflussgrößen und Effekte**

Die Korrosionsbeständigkeit nichtrostender Stähle ist von zahlreichen Einflussgrößen und Effekten abhängig. Dieses Projekt soll die Forschungserkenntnisse der letzten Jahre zu nichtrostenden Stählen am Institut für Werkstoff- und Füge-technik im Rahmen einer Habilitation zusammenfassen. Dabei werden zunächst die Grundlagen zur Metallurgie, den Gefügeklassen und deren Wärmebehandlung beschrieben und anschließend durch zahlreiche neue Forschungsergebnisse erweitert. Durch innovative Prüf- und Untersuchungsmethoden, wie das EPR-Verfahren und die KorroPad-Prüfung, kann eine neuartige Visualisierung der wichtigsten Effekte erfolgen und ein tieferes Verständnis für die zugrundeliegenden Mechanismen erreicht werden. Dazu werden zunächst die Effekte bei Oberflächenbearbeitung und Passivierung aus Sicht der Forschung und aus Sicht der industriellen Anwendung dargestellt. Anschließend wird der Einfluss der Legierungs- und Begleitelemente (Cr, Ni, Mo, N, Mn, Cu, C und N) an selbst hergestellten Referenzlegierungen umfassend dargestellt. Abschließend wird gezeigt, wie mit dem EPR-Verfahren und der KorroPad-Prüfung korrosionsanfällige Gefügestände bei verschiedenen Gefügeklassen (Ferrite, Austenit, Duplexstähle und Martensite) nachgewiesen werden können. Damit soll dieses Projekt einen wesentlichen Beitrag zur Erweiterung des Wissens zu nichtrostenden Stählen erreichen.

---

**Projektleitung:** Dipl.-Phys. Andreas Krombholz, Dr.-Ing. Olaf Schwedler  
**Projektbearbeitung:** Sandy Klengel  
**Kooperationen:** Fraunhofer IMWS, Halle  
**Förderer:** EU - EFRE Sachsen-Anhalt - 15.12.2019 - 31.12.2021

### **Technologie- und Materialentwicklung zur additiven Fertigung komplexer, hochwärmeleitfähiger Cu-Bauteile**

In dem Entwicklungsprojekt wird eine risikobehaftete Technologie- und Materialforschung für die additive Fertigung komplexer, hochwärmeleitfähiger Cu-Bauteile durchgeführt. Durch die Projektpartner werden folgende wissenschaftliche und technische Ziele angestrebt:

#### *Wissenschaftliche Ziele*

- Erforschung der Struktur-Eigenschafts-Beziehungen von Kupfer-/Kupferlegierungspulver zum gedruckten Bauteil nach Maß mittels additiver Fertigung,
- Prüfung der Kompatibilität unterschiedlicher Polymersysteme (PLA, PA) mit Kupfersystemen,
- Verifikation des realen Verhaltens von Halbzeugen mit Wärme fluss simulation (FEM) an komplexen innenstrukturierten (Wabe, Dreieck etc.) Geometrien.

#### *Technische Ziele*

Pulverentwicklung und Charakterisierung für hochwärmeleitfähige Systeme mit einem Kupferanteil von größer 95%,

- Entwicklung Inline-SLM für eindimensionale Materialcharakterisierung zum High Throughput -Screening,
- Entwicklung Cu-Polymer-Compound (extra AP),
- Entwicklung Cu-Polymer-Filament aus Compound (extra AP),
- Prüfung Druckbarkeit Cu-Filament mittels FDM (extra AP),
- Aufbau und Prüfung von Demonstratorbauteilen mit hochkomplexer Struktur (Fingerkühlkörper).

Am Ende des Projekts soll eine komplexe geometrische Struktur (z.B. Hochleistungskühlkörper aus Kupfer, konventionell vernickelt und sandgestrahlt), gefertigt in einem additiven Herstellverfahren als exemplarischer Prototyp vorliegen. Mit dieser geometrischen Struktur ist es möglich die Machbarkeit der Ablösung von konventionellen Technologien wie Sintern, Schmieden und Fließpressen zu bewerten.

**Projektleitung:** Dr.-Ing. Manuela Zinke  
**Projektbearbeitung:** Christian Judex  
**Förderer:** BMWi/AIF - 01.09.2020 - 28.02.2023

### **Steigerung der Korrosionsbeständigkeit von Schweißplattierungen durch Einsatz von MSG-Zweidrahtprozessen mit nicht artgleichen Drahtelektroden**

Das Forschungsprojekt verfolgt das Ziel, bislang genutzte Ni-Basis-Legierungssysteme zum Schweißplattieren von Komponenten in Müllverbrennungsanlagen, Biomasseanlagen, Kohle- und Gaskesseln, Wirbelschichtkesseln und Chemieanlagen über die Nutzung der Button-Melt-Technik weiterzuentwickeln und über den Einsatz von MSG-Zweidrahtprozessen praktisch umzusetzen. um die Hochtemperaturkorrosionsbeständigkeit von Schweißplattierungen bei gleichzeitigem Erfüllen der Anforderungen an die innere und äußere Nahtqualität zu verbessern. Diese Vorgehensweise wird gewählt, da Legierungsentwicklungen im Bereich von Ni-Basiswerkstoffen sehr aufwendig und kostenintensiv sind und die Schweißzusätze zumeist aus derselben Schmelze wie die Grundwerkstoffe gefertigt werden. In der Regel werden etwa 10 Jahre benötigt, um eine Hochtemperaturlegierung zu entwickeln und zu qualifizieren. Das Projekt schafft somit Basiswissen für die Entwicklung neuer Produkte, Verfahren und Dienstleistungen. Zudem bildet die Nutzung von Heißdraht-unterstützten MSG-Prozessvarianten einen vielversprechenden Ansatz nicht nur Abschmelzleistung und Schweißgeschwindigkeit beim Plattieren oder additiven Schweißen mit Ni-Basis-Schweißzusatzwerkstoffen zu maximieren. Ferner können über den Zusatzdraht die Schweißguteigenschaften gezielt metallurgisch beeinflusst werden.

---

**Projektleitung:** M.Sc. Matthias Kuhlmann, Dr.-Ing. Manuela Zinke, M.Sc. Benjamin Wittig  
**Förderer:** BMWi/AIF - 01.07.2019 - 31.12.2021

### **Erweiterung des Konstitutionsschaubildes für hoch Mn-haltige Stähle in Mischschweiß-verbinding durch Gefährdungsbereiche**

Im Forschungsantrag geht es um vorwettbewerbliche, anwendungsorientierte Grundlagenuntersuchungen zur Verbesserung der schweißtechnischen Verarbeitung von hoch Mn-haltigen Stählen in Mischverbindung. In Deutschland stehen derzeit mehrere hoch Mn-haltige Legierungskonzepte als Stähle bzw. Schweißzusatzwerkstoffe entweder kommerziell zur Verfügung bzw. kurz vor der Markteinführung. Die Herausforderung für die thermische Füge-technik liegt in der Integration der FeMn-Stähle in bereits bestehende Konstruktionen aus bewährten hochfesten ferritischen bzw. martensitischen Karosseriestählen. In Abhängigkeit von Fügepartner, Schweißprozess, Zusatzwerkstoff und Aufmischung kann es zu unerwünschten Erscheinungen, wie Martensitbildung, hohe Härte bzw. hohe Härtegradienten als auch schweißbedingter Rissbildung, im Mischschweißgut kommen. Um diese Gefährdungen im Voraus abschätzen und möglichst vermeiden zu können, besteht das Ziel des Vorhabens darin, das im FOSTA-Projekt P1108 entwickelte Konstitutionsschaubild für MSG-Mischschweißverbindungen hoch Mn-haltiger Stähle durch Bereiche zu erweitern, in denen mit für das Schweißgut kritischen Gefügen und Erscheinungen zu rechnen ist. Mit der Angabe dieser Gefährdungsbereiche soll den Anwendern ein hinreichendes Mittel zur Bewertung der Schweißeignung der betreffenden Legierungen und zur Herstellung eines möglichst gefährdungsaarmen Schweißgutes bereitgestellt werden (ähnlich dem Schaeffler-Diagramm). Dies erleichtert u. a. die Auswahl und Entwicklung angepasster Zusatzwerkstoffe und Schweißtechnologien für die Verarbeitung der FeMn-Stähle in Mischschweißverbindung. Nutznießer der Ergebnisse sind kmU aus dem Bereich der Zuliefererindustrie der Fahrzeugbranche, die im Rahmen der Prototypenfertigung, aber auch im Serienprozess immer häufiger mit neu entwickelten hochfesten Stählen konfrontiert werden, sowie der Schweißzusatzwerkstoffentwicklung und -herstellung.

---

**Projektleitung:** Dr.-Ing. Manuela Zinke  
**Projektbearbeitung:** MSc Juliane Stützer  
**Förderer:** BMWi/AIF - 01.02.2018 - 31.01.2021

### **Entwicklung einer wirtschaftlicheren Prozessführung für das UP-Schweißen ferritisch-austenitischer Legierungen unter Berücksichtigung der metallurgischen Besonderheiten**

Die Zielsetzung des Forschungsvorhabens besteht in der Ermittlung einer Prozessführung für ein wirtschaftlicheres UP-Schweißen von drei industriell relevanten Vertretern ferritisch-austenitischer Legierungen mit zusätzlicher Drahtzufuhr bei Gewährleistung der im Normenwerk geforderten werkstoffspezifischen Kennwerte. Die aktuell verfügbaren Lean- und Standardduplexstähle gelten bei Beachtung der Verarbeitungshinweise allgemein als gut schweißgeeignet. Mit zunehmenden Legierungsanteilen (Superduplexstahl) und einem hohen Wärmeeinbringen (UP-Schweißen) nimmt die Gefahr der Bildung von unerwünschten intermetallischen Phasen, 475°-Versprödung und Sekundäraustenit in den Schweißnähten signifikant zu. Dies führt zu Nicht-Erreichen von geforderten Kennwerte für mechanisch-technologische Eigenschaften und Korrosionsbeständigkeit. Zum Erzielen dem Regelwerk konformer Gütwerte, sollen daher die metallurgischen Potentiale einer zusätzlichen Drahtzufuhr beim UP-Schweißen von ferritisch-austenitischen Stählen untersucht und genutzt werden. Die angestrebte Generierung der geforderten Kennwerte direkt aus dem UP-Schweißprozess mit zusätzlicher Drahtzufuhr heraus, kann darüber hinaus die Einsparung von zeit- und kostenaufwendigen Wärmenachbehandlungen bei der Herstellung dickwandiger Rohre ermöglichen, was ebenso enorme Zeit- und Kostenersparnisse bringt, da der Glühprozess der geschwindigkeitsbestimmende Schritt der Fertigungskette ist. Die wirtschaftliche Bedeutung der Projektergebnisse für KMU begründet sich vor allem auf Zeit- und Kostenersparnissen bei geringem notwendigen Invest. Die Erhöhung der Abschmelzleistung führt zu schnelleren Schweißgeschwindigkeiten und/oder zu einer Verringerung der Lagenanzahl. Daraus resultieren wiederum die Reduktion der Fertigungszeiten und somit der Maschinenbelegungszeiten.

---

**Projektleitung:** Dr.-Ing. Manuela Zinke  
**Projektbearbeitung:** M.Sc. Stefan Burger  
**Förderer:** BMWi/AIF - 01.03.2019 - 31.12.2021

### **Beeinflussung von Mikrostruktur und Eigenschaften beim additiven Lichtbogenschweißen von Nickelbasis-Superlegierungen**

Ziel des Forschungsvorhabens ist das Bestimmen werkstoffspezifischer Eigenschaften additiv gefertigter fertigungsnaher Strukturen mit dem MSG-Schweißen (CMT) aus vier industriell weit verbreiteten Ni-Basis-Schweißzusätzen (S Ni 7718, S Ni 6617, S Ni 6625, S Haynes 282). Das Projekt schafft Basiswissen für die Entwicklung neuer Produkte, Verfahren und Dienstleistungen. Neben der Klärung der Auswirkungen verschiedener Prozessspezifika auf Nahtunregelmäßigkeiten, Gefüge, mechanische Eigenschaften bei Raum- und erhöhter Temperatur sowie korrosiver Kennwerte soll das Potential weiterentwickelter Legierungskonzepte von handelsüblichen Schweißzusätzen für das WAAM untersucht werden. Ebenso wird der Einfluss vorhandener PWHT-Prozeduren auf Nahteigenschaften und ein mögliches Strain-Age Cracking erforscht. Das Additive Manufacturing erfolgt derzeit bevorzugt mit pulverbettbasierten Strahlschweißverfahren bzw. dem Laser Metal Deposition (LMD) mit Pulver. Die Nutzung des drahtbasierten MSG-Schweißverfahrens bietet grundsätzlich die Möglichkeit, großvolumige Bauteile mit hohen Aufbauratensind zu fertigen.

---

**Projektleitung:** Dr.-Ing. Manuela Zinke  
**Projektbearbeitung:** M.Sc. Juliane Stützer, M.Sc. Benjamin Wittig  
**Förderer:** BMWi/AIF - 01.01.2019 - 31.07.2021

### **Erzielung werkstoffspezifischer Eigenschaften beim generativen Schutzgasschweißen fertigungsnaher Strukturen aus Duplexstahl**

Die Zielsetzung des Forschungsvorhabens besteht im Erreichen eines werkstoffspezifischen Eigenschaftsprofils beim generativen Schutzgasschweißen fertigungsnaher Strukturen aus Standard- und Superduplexstahl. Zur

Gewährleistung der im Normenwerk geforderten werkstoffspezifischen Kennwerte ist sowohl eine Technologieanpassung als auch eine Weiterentwicklung der Legierungskonzepte handelsüblicher Schweißzusätze erforderlich. Hierfür erfolgt die systematische Untersuchung der Einflüsse von Schweißdrahtanalyse und Prozessparametern auf die metallurgischen, mechanisch-technologischen und korrosiven Kennwerte des Schweißgutes, um somit die Anwendbarkeit dieser Technologie auch für Duplexstähle sicher zu stellen.

Ein Bedarf für additiv gefertigte Bauteile aus Duplexstahl existiert u. a. für Sonderanfertigungen im Apparate- und Anlagenbau aber auch für korrosionsbelastete Komponenten in Industrieanlagen. Gerade für Duplexstähle stellt die Möglichkeit des Aufschweißens von Stutzen an Behälter oder von Flanschen an Rohrleitungen einen Vorteil für KMU dar, da sie somit von Zulieferfirmen und folglich auch von deren Lieferfristen sowie -qualitäten unabhängig wären.

---

**Projektleitung:** M.Sc. Sebastian Hütter  
**Förderer:** Sonstige - 01.07.2020 - 31.12.2021

### **Thermodynamische Berechnungen auf Basis atomistischer Simulationen**

Zur Bestimmung der Phasenstabilität in metallischen Legierungen ist eine große Anzahl experimenteller Untersuchungen notwendig. Experimentelle Unsicherheiten führen gerade bei komplexen Systemen dazu, dass möglicherweise nicht alle Features ausreichend genau beschrieben werden können. Prädiktive Modelle basierend auf rein theoretischen Ansätzen verschieben den Aufwand zu großen Rechenzeiten. Ziel des Projektes ist es, ein konsistentes Framework zur Berechnung beliebiger Legierungssysteme auf basis atomistischer Simulationen zu formulieren. Dabei werden Ensemble-Betrachtungen vergleichbar der statistischen Physik mit anderen Methoden der Festkörperphysik und Thermodynamik kombiniert.

## **8. EIGENE KONGRESSE, WISSENSCHAFTLICHE TAGUNGEN UND EXPONATE AUF MESSEN**

30. Schweißtechnische Fachtagung am 07.10.2021 in Barleben  
15. Sitzung des Fachausschusses Zellulare Werkstoffe der DGM, 18.06.2021  
Forschungsseminar des MDZWP, 23.09.2021  
Intermetallics 2021, 04.-08.10.2021, Bad Staffelstein

## 9. VERÖFFENTLICHUNGEN

### BEGUTACHTETE ZEITSCHRIFTENAUFsätze

**Becker, Julia; Schmigalla, Sven; Schultze, Sabine; Rittinghaus, Silja-Katharina; Weisheit, Andreas; Schmelzer, Janett; Krüger, Manja**

High temperature oxidation performance of an additively manufactured Mo<sub>9</sub>Si<sub>8</sub>B alloy  
Oxidation of metals - Dordrecht [u.a.]: Springer Science + Business Media B.V . - 2021, insges. 15 S.;  
[Imp.fact.: 1.938]

**Betke, Ulf**

Missing piece in the crystal chemistry of ZnSb secondary phases in ZnOSb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> varistor ceramics: orthorhombic  $\beta$ -Zn<sub>7</sub>Sb<sub>2</sub>O<sub>12</sub> - an experimental and theoretical study of the crystal structure and its thermal and vibrational spectroscopic characterization  
Inorganic chemistry - Washington, DC: American Chemical Society, Bd. 60 (2021), 12, S. 8640-8650;  
[Imp.fact.: 5.165]

**Betke, Ulf; Schrake, Daniel; Scheffler, Michael**

Reticulated ceramic foams from alumina-chromia solid solutions - a feasibility study  
International journal of applied ceramic technology - Westerville, Ohio: Wiley-Blackwell . - 2021, insges. 12 S.;  
[Imp.fact.: 1.762]

**Burger, Stefan; Zinke, Manuela; Jüttner, Sven**

Hot cracking tendency of flux-cored arc welding with flux-cored wires of types Ni 6625  
Welding in the world - Berlin : Springer, Bd. 65 (2021), S. 381-392  
[Imp.fact.: 2.103]

**Dammler, Kathleen; Schelm, Katja; Betke, Ulf; Fey, Tobias; Scheffler, Michael**

Open-cellular alumina foams with hierarchical strut porosity by ice templating - a thickening agent study  
Materials - Basel: MDPI, Volume 14(2021), issue 5, article 1060, 14 Seiten;  
[Imp.fact.: 3.057]

**Dieckmann, Martin; Mitzschke, Niels; Schreiber, Vincent; Jüttner, Sven**

Entwicklungen und Untersuchungen von Qualitätskriterien beim Kurzzeitwiderstandsschweißen  
Schweißen und Schneiden: Fachzeitschrift für Schweißen und verwandte Verfahren - Düsseldorf: DVS-Media GmbH, Bd. 73 (2021), 6, S. 388-392

**Fichtner, D.; Schmelzer, Janett; Yang, W.; Heinze, C.; Krüger, Manja**

Additive manufacturing of a near-eutectic MoSiB alloy - processing and resulting properties  
Intermetallics - Amsterdam [u.a.]: Elsevier Science, 128 (2021), Artikel 107025;  
[Imp.fact.: 3.398]

**Gatzen, Caren; Smokovych, Iryna; Scheffler, Michael; Krüger, Manja**

Oxidation-resistant environmental barrier coatings for Mo-based alloys - a review  
Advanced engineering materials - Weinheim: Wiley-VCH Verl., Bd. 23 (2021), 4;  
[Imp.fact.: 3.217]

**Gießelmann, Elias; Touzani, Rachid S.; Morgenstern, Bernd; Janka, Oliver**

Synthesis, crystal and electronic structure of CaNi<sub>2</sub>Al<sub>8</sub>  
Zeitschrift für Naturforschung / B - Berlin: De Gruyter . - 2021;  
[Imp.fact.: 1.047]

**Hasemann, Georg; Betke, Ulf; Krüger, Manja; Walles, Heike; Scheffler, Michael**

Refractory metal coated alumina foams as support material for stem cell and fibroblasts cultivation  
Materials - Basel: MDPI, Bd. 14 (2021), 11; <http://dx.doi.org/10.3390/ma14112813> 10.25673/36901  
[Imp.fact.: 3.057]



**Hasemann, Georg; Zhu, Linye; Hauschildt, Katja; Blankenburg, Malte; Ida, Schuntaro; Pyczak, Florian; Yoshimi, Kyosuke; Krüger, Manja**

In situ observation of ternary eutectic growth in a directionally solidified MoSiB alloy using highenergy synchrotron Xrays

Advanced engineering materials - Weinheim: Wiley-VCH Verl. . - 2021;

[Imp.fact.: 3.217]

**Herbster, Maria; Harnisch, Karsten; Haberland, Eva; Kriegel, Paulina; Döbberthin, Christin; Heyn, Andreas; Döring, Joachim; Lohmann, Christoph H.; Bertrand, Jessica; Halle, Thorsten**

Effect of deep rolling on subsurface conditions of CoCr28Mo6 wrought alloy to improve the wear resistance of endoprostheses

Journal of the mechanical behavior of biomedical materials - Amsterdam [u.a.]: Elsevier, Bd. 118 (2021);

[Imp.fact.: 3.902]

**Herbster, Maria; Nizinkovskyi, Rostyslav; Bollmann, Miriam; Bartel, Dirk; Lohmann, Christoph H.; Krüger, Manja; Halle, Thorsten; Bertrand, Jessica**

Synthesis of a lubricant to mimic the biorheological behavior of osteoarthritic and revision synovial fluid

Lubricants - Basel: MDPI, 2013, Bd. 9 (2021), 9, insges. 20 S.;

**Härtel, Markus; Wilke, Alisa; Dieck, Sebastian; Landgraf, Pierre; Grund, Thomas; Lampke, Thomas; Neukirchner, Heiko; Halle, Thorsten; Wappler, Sebastian**

On the Q&P potential of a commercial spring steel

Metals - Basel: MDPI, Bd. 11 (2021), insges. 10 S.;

[Imp.fact.: 2.351]

**Hütter, Sebastian; Lafarge, Rémi; Simonin, Jouri; Mook, Gerhard; Brosius, Alexander; Halle, Thorsten**

Determination of microstructure changes by eddy-current methods for cold and warm forming applications

Advances in industrial and manufacturing engineering - [Amsterdam]: Elsevier ScienceDirect, Bd. 2 (2021);

**Kauss, Norman; Heyn, Andreas; Michael, Oliver; Schymura, Michael; Rosemann, Paul**

Application limits and sensitisation behaviour of the manganese and nitrogenalloyed austenitic stainless steel P2000 (X13CrMnMoN18143)

Materials and corrosion: Organ der Arbeitsgemeinschaft Korrosion, des Auskunftsdienstes Werkstoffberatung der DECHEMA und der Europäischen Föderation Korrosion - Weinheim [u.a.]: Wiley-VCH . - 2021, insges. 12 S.;

[Imp.fact.: 1.533]

**Kauss, Olha; Obert, Susanne; Bogomol, Iurii; Wablat, Thomas; Siemensmeyer, Nils; Naumenko, Konstantin; Krüger, Manja**

Temperature resistance of Mo<sub>3</sub>Si - phase stability, microhardness, and creep properties

Metals - Basel: MDPI, Bd. 11 (2021), 4, insges. 17 S.;

[Imp.fact.: 2.117]

**Kazemi, Omid; Hasemann, Georg; Krüger, Manja; Halle, Thorsten**

Microstructure evolution and sequence of phase transition reactions through the solidification of Mo-Si-B alloy - a phase-field study

Computational materials science - Amsterdam [u.a.]: Elsevier Science, Bd. 193 (2021), S. 1-7;

[Imp.fact.: 2.863]

**König, Hannes; Halle, Thorsten; Ambos, Eberhard; Gabbert, Ulrich**

Die Gewinnung interessierter und begabter Nachwuchskräfte - eine höchst aktuelle Aufgabe der Zukunftssicherung Gießerei-Rundschau: Fachzeitschrift des Vereins Proguss austria - [Wien]: Proguss austria, Bd. 68 (2021), 1, S. 6-11

**Lafarge, Rémi; Hütter, Sebastian; Tulke, Marc; Halle, Thorsten; Brosius, Alexander**

Data based model predictive control for ring rolling

Production engineering: research and development - Berlin: Springer . - 2021, S. 1-11;

**Meinshausen, Ann-Kathrin; Herbster, Maria; Zwahr, Christoph; Soldara, Marcos; Müller, Andreas Johann; Halle, Thorsten; Lasagni, Andrés Fabián; Bertrand, Jessica**

Aspect ratio of nano/microstructures determines Staphylococcus aureus adhesion on PET and titanium surfaces  
Journal of applied microbiology - Oxford [u.a.]: Wiley-Blackwell, 1997, Bd. 131 (2021), 3, S. 1498-1514;  
[Imp.fact.: 3.772]

**Meyerdierks, Martin; Zinke, Manuela; Jüttner, Sven; Biro, Elliot**

Determination of LME sensitivity of zinc-coated steels based on the programmable deformation cracking test  
Welding in the world - Berlin: Springer . - 2021, insges. 14 S. ;  
[Imp.fact.: 2.103]

**Perepezko, J. H.; Krüger, Manja; Heilmaier, M.**

Mo-silicide alloys for high-temperature structural applications  
Materials Performance and Characterization - West Conshohocken, Pa.: ASTM International, Bd. 10 (2021), 2, S. 122-145;

**Regenberg, Maximilian; Schmelzer, Janett; Hasemann, Georg; Bertrand, Jessica; Krüger, Manja**

A novel alloy development approach - biomedical equiatomic Ta-Nb-Ti alloy  
Metals - Basel: MDPI, Bd. 11 (2021), 11, insges. 12 S. ;  
[Imp.fact.: 2.351]

**Rhode, Michael; Richter, Tim; Mente, Tobias; Mayr, Peter; Nitsche, Alexander**

Thickness and microstructure effect on hydrogen diffusion in creep-resistant 9% Cr P92 steel and P91 weld metal  
Welding in the world - Berlin: Springer . - 2021, insges. 16 S. ;  
[Imp.fact.: 2.103]

**Rhode, Michael; Richter, Tim; Schroepfer, Dirk; Manzoni, Anna Maria; Schneider, Mike; Laplanche, Guillaume**

Welding of high-entropy alloys and compositionally complex alloys - an overview  
Welding in the world - Berlin: Springer . - 2021 ;  
[Imp.fact.: 1.589]

**Richter, Tim; Schroepfer, Dirk; Rhode, Michael; Boerner, Andreas; Neumann, Romeo Saliwan; Schneider, Mike; Laplanche, Guillaume**

Influence of machining on the surface integrity of high- and medium-entropy alloys  
Materials chemistry and physics - New York, NY [u.a.]: Elsevier . - 2021 ;  
[Imp.fact.: 4.094]

**Schmelzer, Janett; Rittinghaus, Silja-Katharina; Wilms, Markus B.; Michael, Oliver; Krüger, Manja**

Strengthening of additively manufactured Me-Si-B (Me = Mo, V) by Y2O3 particles  
International journal of refractory metals & hard materials - Amsterdam [u.a.]: Elsevier Science, Bd. 101 (2021);  
[Imp.fact.: 3.871]

**Schroepfer, D.; Kromm, A.; Lausch, T.; Rhode, Michael; Wimpory, R. C.; Kannengießer, Thomas**

Influence of welding stresses on relief cracking during heat treatment of a creep-resistant 13CrMoV steel Part III: assessment of residual stresses from small-scale to real component welds  
Welding in the world - Berlin: Springer . - 2021 ;  
[Imp.fact.: 1.589]

**Sutygina, Alina; Betke, Ulf; Scheffler, Michael**

Hierarchical porous copper foams by a combination of sponge replication and freezing techniques  
Advanced engineering materials - Weinheim: Wiley-VCH Verl. . - 2021, insges. 12 S. ;  
[Imp.fact.: 3.217]

**Wilhelm, Eugen; Mente, Tobias; Rhode, Michael**

Waiting time before NDT of welded offshore steel grades under consideration of delayed hydrogen-assisted cracking  
Welding in the world - Berlin: Springer . - 2021 ;  
[Imp.fact.: 1.589]

**Zhu, Linye; Ida, Shuntaro; Hasemann, Georg; Krüger, Manja; Yoshimi, Kyosuke**

Microstructural characterization of arc-melted and directionally solidified near-eutectic molybdenum-silicon-boron alloys

Intermetallics - Amsterdam [u.a.]: Elsevier Science, 132 (2021), Artikel 107131, insgesamt 9 Seiten;

**Zinke, Manuela; Burger, Stefan; Arnhold, Julius; Jüttner, Sven**

Effect of different variants of filler metal S Ni 6625 on properties and microstructure by additive layer manufactured using CMT process

Welding in the world - Berlin: Springer, Bd. 65 (2021), S. 1553-1569;

[Imp.fact.: 2.103]

## **BEGUTACHTETE BUCHBEITRÄGE**

**Böllinghaus, Thomas; Rhode, Michael; Falkenreck, Thora**

Corrosion and corrosion resistance

Springer handbook of mechanical engineering - New York: Springer; Grote, Karl-Heinrich . - 2021, S. 185-213;

**Rhode, Michael; Kannengießer, Thomas**

Füge-technik in Wasserstofftechnologien - Forschungsbedarf für die Branche

DVS Congress 2021 - Düsseldorf: DVS Media GmbH . - 2021, S. 612-624 - (DVS Berichte; Band 371)

**Rhode, Michael; Kannengießer, Thomas; Schaupp, Thomas**

Wasserstoffunterstützte Kaltrissbildung in Schweißnähten hochfester Stahlgüten - Anforderungen an die Prüfung Werkstoffe und Bauteile auf dem Prüfstand - Düsseldorf: Stahlinstitut VDEh; Brockmann, Stefanie . - 2021, S. 15-20

**Rhode, Michael; Nietzke, Jonathan; Mente, Tobias; Kannengießer, Thomas**

Diffusionsmessungen in UP-Mehrlagenschweißgut als effektives Tool gegen verzögerte Kaltrissbildung in Dickblechschweißungen

DVS Congress 2021 - Düsseldorf: DVS Media GmbH . - 2021, S. 448-459 - (DVS Berichte; Band 371)

**Röbler, Christoph; Schmicker, David; Sherepenko, Oleksii; Halle, Thorsten; Körner, Markus; Jüttner, Sven; Woschke, Elmar**

Identification of the flow properties of a 0.54% carbon steel during continuous cooling

Numerical modelling and simulation of metal processing / Editor: Christof Sommitsch - Basel: MDPI; Sommitsch, Christof . - 2021, S. 49-59

**Schlosser, Benjamin; Fischer, D.; Jüttner, Sven**

Zerstörungsfreie Qualitätsprüfung von MSG-geschweißten Kehlnähten mithilfe von Geometrie- und Temperatursensoren

Jahrbuch Schweißtechnik 2022 - Düsseldorf: DVS Media GmbH . - 2021, S. 349-358

## **WISSENSCHAFTLICHE MONOGRAFIEN**

**Kannengießer, Thomas; Rhode, Michael**

DVS Studie Füge-technik für die neue Wasserstoffökonomie - - Werkstoffe, Schweißtechnologien, Perspektiven - : Studie im Auftrag der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS

Düsseldorf: DVS Media GmbH, 2021, Printed as manuscript., IV, 59 Seiten, Illustrationen - (DVS Berichte; Band 373)

## HERAUSGEBERSCHAFTEN

### **Krüger, Manja**

Intermetallics 2021 - International Conference, 4th till 8th October 2021 : Educational Center Kloster Banz, Germany : programme and abstracts  
Jena, Germany: Conventus Congressmanagement & Marketing GmbH, 2021, 1 Online-Ressource (206 Seiten);  
Kongress: Intermetallics 5 (Bad Staffelstein : 2021.10.04-08)

## NICHT BEGUTACHTETE BUCHBEITRÄGE

### **Richter, Tim; Schröpfer, Dirk; Rhode, Michael; Börner, Andreas**

Rührreibschweißen von Hoch- und Mittelentropie-Legierungen  
Tagungsband 4. Symposium Materialtechnik/ Clausthaler Zentrum für Materialtechnik - Düren: Shaker Verlag; Clausthaler Zentrum für Materialtechnik . - 2021, insges. 9 S. - (Fortschrittsberichte der Materialforschung und Werkstofftechnik; 10)

### **Riedel, Eric; Meyerdieks, Martin**

Gleeble® : Numerische Simulation mit FLOW-3D und experimentelle Gegenüberstellung  
FLOW-3D Nutzertreffen 2021 - Flow Science Deutschland GmbH . - 2021, insges. 16 S.

## ABSTRACTS

### **Hasemann, Georg; Zhu, Linye; Hauschildt, Katja; Blankenburg, Malte; Ida, Shuntaro; Pyczak, Florian; Yoshimi, Kyosuke; Krüger, Manja**

High-energy synchrotron X-ray in situ observation of ternary eutectic growth in a directionally solidified Mo-Si-B alloy  
Intermetallics 2021 - International Conference, 4th till 8th October 2021 : Educational Center Kloster Banz, Germany : programme and abstracts - Jena, Germany: Conventus Congressmanagement & Marketing GmbH, 2021; Krüger, Manja . - 2021, S. 55-56;

### **Regenberg, Maximilian; Schmelzer, Janett; Hasemann, Georg; Krüger, Manja**

A novel alloy development approach - biomedical high-entropy alloys  
Intermetallics 2021 - International Conference, 4th till 8th October 2021 : Educational Center Kloster Banz, Germany : programme and abstracts - Jena, Germany: Conventus Congressmanagement & Marketing GmbH, 2021; Krüger, Manja . - 2021, S. 109-110;

### **Schmelzer, Janett; Hasemann, Georg; Regenberg, Maximilian; Betke, Ulf; Krüger, Manja; Walles, Heike; Scheffler, Michael**

Biocompatibility of pure refractory metals and their combination as high entropy alloys  
Intermetallics 2021 - International Conference, 4th till 8th October 2021 : Educational Center Kloster Banz, Germany : programme and abstracts - Jena, Germany: Conventus Congressmanagement & Marketing GmbH, 2021; Krüger, Manja . - 2021, S. 172-173;

### **Schmelzer, Janett; Rittinghaus, Silja-Katharina; Wilms, Markus B.; Michael, Oliver; Krüger, Manja**

Particle strengthening of additively manufactured Me-SiB (Me = Mo, V) alloys  
Intermetallics 2021 - International Conference, 4th till 8th October 2021 : Educational Center Kloster Banz, Germany : programme and abstracts - Jena, Germany: Conventus Congressmanagement & Marketing GmbH, 2021; Krüger, Manja . - 2021, S. 59-60;

### **Stangl, Christoph; Krüger, Manja; Saage, Holger**

Microstructure and mechanical properties of a  $\gamma$ -TiAl alloy with a nano-grained surface layer  
Intermetallics 2021 - International Conference, 4th till 8th October 2021 : Educational Center Kloster Banz, Germany : programme and abstracts - Jena, Germany: Conventus Congressmanagement & Marketing GmbH, 2021; Krüger, Manja . - 2021, S. 90-91;

**Touzani, Rachid Stefan; Krüger, Manja**

First principles density functional theory prediction of the crystal structure and the elastic properties of Mo<sub>2</sub>ZrB<sub>2</sub> and Mo<sub>2</sub>HfB<sub>2</sub>

Intermetallics 2021 - International Conference, 4th till 8th October 2021 : Educational Center Kloster Banz, Germany : programme and abstracts - Jena, Germany: Conventus Congressmanagement & Marketing GmbH, 2021; Krüger, Manja . - 2021, S. 94-95;

**Yang, Weiguang; Hasemann, Georg; Yazlak, Mustafa; Gorr, Bronislava; Schwaiger, Ruth; Krüger, Manja**

Ternary V<sub>ss</sub>-V<sub>3</sub>Si-V<sub>5</sub>SiB<sub>2</sub> eutectic reaction in V-SiB system

Intermetallics 2021 - International Conference, 4th till 8th October 2021 : Educational Center Kloster Banz, Germany : programme and abstracts - Jena, Germany: Conventus Congressmanagement & Marketing GmbH, 2021; Krüger, Manja . - 2021, S. 165-166;

## ANDERE MATERIALIEN

**Hieke, Sebastian; Schlosser, Benjamin; Imkhaimer, René; Jüttner, Sven; Leidhold, Roberto**

Sensorfusion beim adaptiven MSG-Schweißen im Stahlbau

DVS Congress 2021/ Deutscher Verband für Schweißen und Verwandte Verfahren - Düsseldorf: DVS Media GmbH, 2021 . - 2021

## DISSERTATIONEN

**Boateng, Francis Twumasi; Kannengießer, Thomas [AkademischeR BetreuerIn]**

Real-time radiography for observation of crack growth during welding

Magdeburg, 2021, xi, 112 Blätter, Illustrationen, Diagramme, 30 cm

**Dammler, Kathleen; Scheffler, Michael [AkademischeR BetreuerIn]; Scheffler, Franziska [AkademischeR BetreuerIn]**

Keramikschaume mit hoher Stegporosität

Magdeburg: Universitätsbibliothek, 2021, 1 Online-Ressource (XVIII, 257 Seiten, 111,81 MB), Illustrationen;

**Kazemi, Omid; Halle, Thorsten [AkademischeR BetreuerIn]; Juhre, Daniel [AkademischeR BetreuerIn]; Krüger, Manja [AkademischeR BetreuerIn]**

Phase field based study of microstructure evolution in solidification of Mo-rich Mo-Si-B alloys

Magdeburg, 2021, XV, 99 Seiten, Illustrationen, Diagramme, 30 cm

**Röhler, Andreas; Böllinghaus, Thomas [AkademischeR BetreuerIn]**

Hydrogen effects in austenitic stainless steel microstructures validated by ToF-SIMS and EBSD

Magdeburg: Universitätsbibliothek, 2021, 1 Online-Ressource (155, xlii Seiten, 92,26 MB), Illustrationen;

**Wittig, Benjamin; Jüttner, Sven [AkademischeR BetreuerIn]**

Die Konstitution von Mischschweißgütern hoch Mn-haltiger Stähle

Düren: Shaker, 2021, 1. Auflage, IV, 130 Seiten, 74 Illustrationen, 21 cm x 14.8 cm, 210 g - (Schriftenreihe Füge-technik Magdeburg; 2021,1)