



IM FOKUS



# Gießereitechnik

AKADEMISCHE INTERESSENGEMEINSCHAFT GIESSEREITECHNIK

# Ingenieurwissenschaften

JAHRESMAGAZIN

ISSN 1618-8357  
EUR 9,80

Herausgegeben vom Institut für Wissenschaftliche Veröffentlichungen





Sie erreichen die einzelnen Hochschulinstitute über die Website der [akaguss.de](http://akaguss.de)

#### Die Mitglieder der akaGuss

##### Gießerei-Institut, **RWTH Aachen**

■ Prof. Dr.-Ing. Andreas Bührig-Polaczek

##### Gießerei-Technologie Aalen – GTA, **Hochschule Aalen**

■ Prof. Dr.-Ing. Lothar Kallien

##### Institut für Metallurgie, Abteilung Gießereitechnik, **TU Clausthal**

■ Prof. Dr.-Ing. Babette Tonn

##### Department of Civil and Mechanical Engineering, **Technical University of Denmark**

■ Niels Skat Tiedje, Associate Professor

##### Gießereitechnik – GTK Kassel, **Universität Kassel**

■ Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Fehlbier

##### Institut für Produktion und Informatik – Technologietransferzentrum **Hochschule Kempten**

■ Prof. Dr.-Ing. Dierek Hartmann

##### Lehrstuhl für Gießereikunde, **Montanuniversität Leoben**

■ Prof. Dr.-Ing. Peter Schumacher

##### TUM UTG / Fraunhofer IGCV, **Gießereitechnik München**

■ Prof. Dr.-Ing. Wolfram Volk

**IM FOKUS**



# Gießereitechnik

AKADEMISCHE INTERESSENSGEMEINSCHAFT GIESSEREITECHNIK

**Ingenieur**  
wissenschaften  
**2024**





## Forschung und Entwicklung in einem herausfordernden Umfeld

**In einer komplexen und von Wandel geprägten Industrielandschaft muss sich die europäische Gießereibranche den Herausforderungen unserer Zeit stellen. Dem steigenden Kostendruck in einem Hochlohnland und dem internationalen Wettbewerb kann ohne Frage nur mit innovativen und nachhaltigen Prozessen entgegengetreten werden. In diesem Kontext setzen die Forschungsaktivitäten der akademischen und industriellen Akteure an, um Möglichkeiten für innovative Produkte und Prozesse auszuloten und weiterzuentwickeln. So profiliert sich die Branche gemeinsam mit der vorhandenen Gießereiexpertise und starken Produkten mit dem Ziel, im internationalen Wettbewerb zu bestehen.**

Die „akademische Interessensgemeinschaft Gießereitechnik“ (akaGuss) ist eine Arbeitsgemeinschaft von Professuren aus Deutschland, Österreich und Dänemark, die sich seit 2013 gemeinsam im Bereich der Gießereitechnik engagieren. So unterstützen wir die Industrie dabei, die Zukunft durch innovative Technologien und vorausschauenden Ideen aktiv zu gestalten. Es ist das ausdrückliche Ziel, durch weitere strategische Kooperationen Forschungs- und Entwicklungsprojekte zu generieren und damit die Geschäftsfelder der Unternehmen unserer Branche weiterzuentwickeln. Unserer festen Überzeugung nach wird diese kooperative Forschung und Entwicklung mit gemeinsamen Partnern aufgrund knapper finanzieller Ressourcen weiter an Bedeutung gewinnen.

Ein weiterer Schwerpunkt unserer Arbeit ist die Ausbildung des akademischen Nachwuchses, um den jungen Fachkräften ein Werkzeug für die Herausforderungen der Zukunft mitzugeben.

Eine Besonderheit in Deutschland ist die langjährig erprobte Zusammenarbeit in funktionierenden Netzwerken, im Rahmen von Fachgremien und in gemeinsamen Projekten. Unsere Industrie, Hochschulinstitute und Forschungsstellen zeichnen sich durch äußerst kompetente Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aus. Des Weiteren besitzen sie eine hervorragende Ausstattung mit modernen Anlagen. Diese vielfältigen Chancen sind anderswo in Europa und weltweit nur vereinzelt anzutreffen. Sie gilt es zu nutzen und in strategische und erfolgreiche Allianzen und Projekte umzusetzen.

Wir, die in der akaGuss organisierten Kolleginnen und Kollegen, freuen uns auf den Austausch mit Ihnen, liebe Leserinnen und Leser.

### Ihre akaGuss

**Prof. Dr.-Ing. Wolfram Volk**  
Sprecher akaGuss  
Lehrstuhl für Umformtechnik  
und Gießereiwesen der Technischen  
Universität München



# FONDIUM

Eisenguss neu denken

## Optimierung und Verfügbarkeit in der Schmelzerei bei FONDIUM Mettmann

Aufgabe der Schmelzerei ist es, den Form- & Gießanlagen spezifikationsgerechtes Eisen in der richtigen Menge, zum richtigen Zeitpunkt zur Verfügung zu stellen. Vereinfacht dargestellt wird Stahl, Koks und Silizium in den Ofen geworfen und heraus kommt Gusseisen.

Betrachten wir die Tatsache, dass mehr als die Hälfte des Umsatzes der beiden Standorte in den Schmelzerei-Bereichen stattfindet, bedeutet dies, dass die kleinste Änderung im Schmelzprozess unmittelbar Einfluss auf unser Ergebnis hat. Dabei sprechen wir nicht von einer fiktiven Ersparnis oder Schönrechnerei, sondern wissen am Ende des Tages, ob die erschmolzene Tonne Gusseisen mehr oder weniger gekostet hat. Um die Dimension zu verstehen, im Jahr 2023 wurden 285.000 Tonnen Material allein dem Mettmanner Kupolofen zugeführt.

Unser Kupolofen in Mettmann hat gegenüber Elektroöfen einen wesentlichen Vorteil. Anders als beim elektrisch-induktiven Schmelzen, bei dem das Material nur aufgeheizt wird, ist alles, was in den Kupolofen gegeben wird, sauerstoffangereichertem Wind ausgesetzt. Das führt dazu, dass einige Elemente verbrennen (verschlacken) und vom Eisen getrennt werden.

Aufgrund dieser Schlackenarbeit ergibt sich eine Vielzahl an Möglichkeiten. Unterschiedlichste Materialien werden als Substitute erprobt und bei Gutbefund in größerem Maßstab eingesetzt. Mit dem tiefen wirtschaftlichen Verständnis der Produktion und Instandhaltung, um die Notwendigkeit auf diese Weise konkurrenzfähig zu sein, existiert in Mettmann eine starke zielgerichtete Zusammenarbeit der betroffenen Bereiche. Gemeinsam wird der Schmelzprozess um jedes Substitut neu stabilisiert.

Diese gewachsene Mettmanner Philosophie, ist nach wie vor, unser großer Vorteil. Dinge werden gemacht, nicht weil es von außen diktiert wird, sondern weil es wirtschaftlich Sinn macht und damit unsere Arbeitsplätze sichert.



[www.fondium.eu](http://www.fondium.eu)



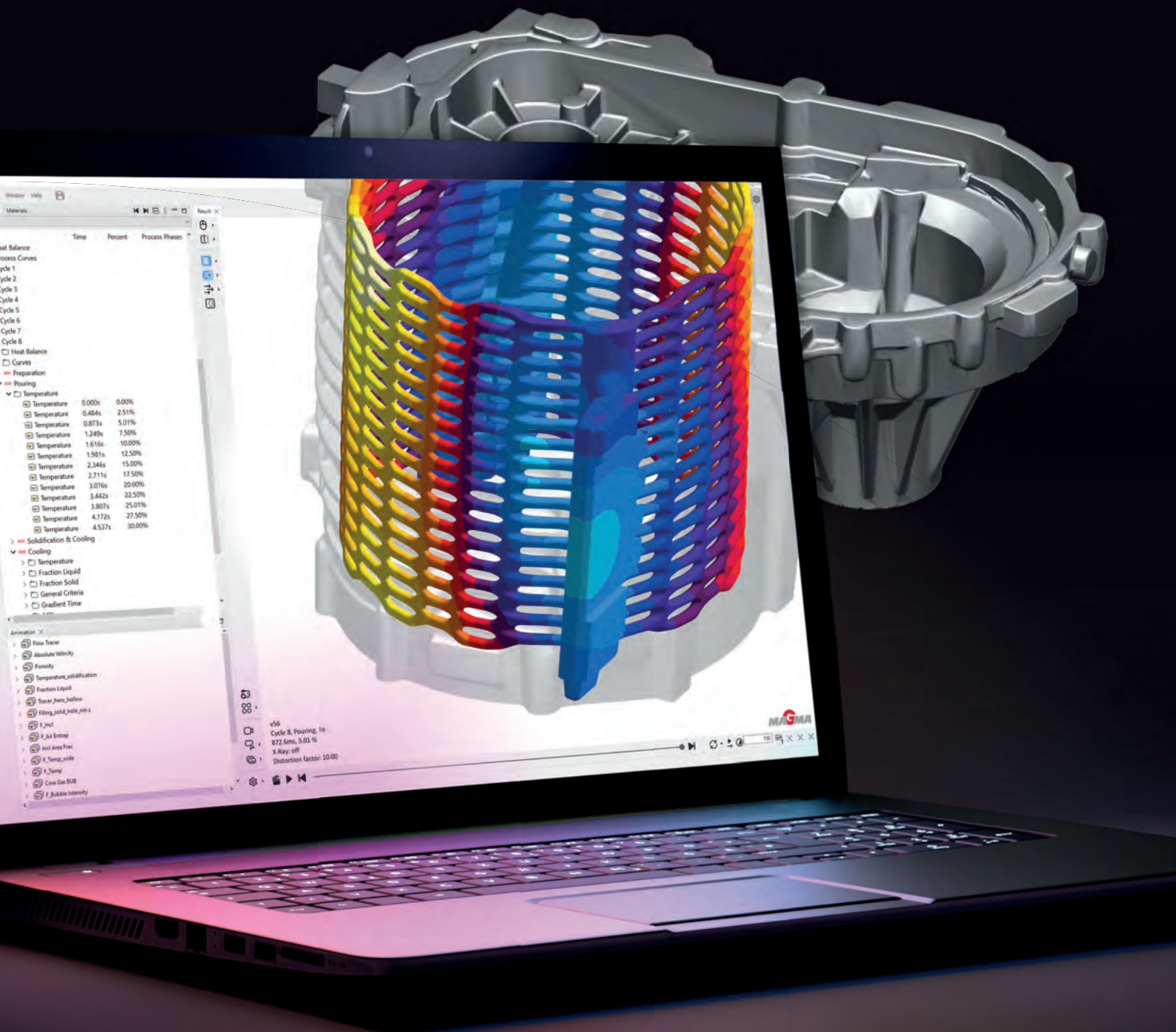
# Inhaltsübersicht

<b>Die Mitglieder der akaGuss</b> .....	<b>U2</b>
Sie erreichen die einzelnen Hochschulinstiute über die Website der akaguss.de	
<b>Forschung und Entwicklung in einem herausfordernden Umfeld   Vorwort</b> .....	<b>2</b>
<b>Prof. Dr.-Ing. Wolfram Volk</b>	
Sprecher akaGuss   Lehrstuhl für Umformtechnik und Gießereiwesen der Technischen Universität München	
<b>Das Gießerei-Institut der RWTH Aachen – Partner für Forschung und Industrie</b> .....	<b>12</b>
RWTH Aachen   Gießerei-Institut	
<b>Univ.-Prof. Dr.-Ing. Andreas Bührig-Polaczek</b>	
<b>Hochschule Aalen: Innovationen in Druckguss</b> .....	<b>22</b>
Hochschule Aalen   Gießerei Technologie Aalen – GTA	
<b>Prof. Dr.-Ing. Lothar Kallien</b>	
<b>Gießereitechnik an der TU Clausthal</b> .....	<b>32</b>
TU Clausthal   Institut für Metallurgie	
<b>Prof. Dr.-Ing. Babette Tonn</b>	
<b>Research in foundry technology and solidification at the Technical University of Denmark</b> .....	<b>42</b>
Technical University of Denmark   Department of Civil and Mechanical Engineering	
<b>Niels Skat Tiedje, Associate Professor, Ph.D.</b>	
<b>Fachgebiet Gießereitechnik an der Universität Kassel mit dem modernem Gießtechnikum Metakushalle</b> ....	<b>48</b>
Universität Kassel   Lehrstuhl für Gießereitechnik – GTK	
<b>Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Fehlbier</b>	
<b>Steigerung der Ressourceneffizienz von Gießereien durch ganzheitliche Digitalisierung</b> .....	<b>60</b>
Hochschule für angewandte Wissenschaften Kempten   Institut für Produktion und Informatik	
<b>Prof. Dr.-Ing. Dierk Hartmann</b>	
<b>Montanuniversität Leoben – Lehrstuhl für Gießereikunde</b> .....	<b>72</b>
Montanuniversität Leoben   Department für Metallurgie	
<b>Prof. Dr. Dipl.-Ing. Peter Schumacher</b>	
<b>Gießereitechnik München – Forschung durch zwei starke Partner</b> .....	<b>78</b>
Fraunhofer IGCV   TUM UTG	
<b>Prof. Dr.-Ing. Wolfram Volk</b>	
<b>Impressum</b> .....	<b>U3</b>



# Casting Knowledge. In a Software.

**MAGMA**  
Committed to Casting Excellence



Erfahren Sie mehr...



**MAGMASOFT**<sup>®</sup>  
autonomous engineering



# Maßhaltige Gussteile durch maßhaltige und stabile Sandkerne

**Gussteile müssen heute so dünnwandig, leicht und haltbar wie möglich sein. Sie zu gießen erfordert oft dünnwandige, zerbrechliche Kerne – die empfindlicher gegenüber Verformungen sind. Um die hohen Qualitätsanforderungen an Gussteile zu erfüllen, ist es jedoch unerlässlich, maßhaltige Kerne herzustellen. Schon der geringste Verzug beeinträchtigt die Qualität der fertigen Gussteile.**

## Autoren:

Dipl.-Ing. (FH) Jörg Zimmermann,  
MAGMA Gießereitechnologie  
GmbH, Aachen

## Kontakt

### MAGMA Gießereitechnologie GmbH

Kackertstraße 16-18

D-52072 Aachen

Tel.: +49 (0)241 88901-0

Fax: +49 (0)241 88901-119

info@magmasoft.de

[www.magmasoft.de](http://www.magmasoft.de)

Gleichzeitig wurden Sand-Binder-Systeme weiterentwickelt – mit Auswirkungen auf das thermische Verhalten, insbesondere auf die thermische Ausdehnung: Das Risiko für Kernverzug steigt.

Die Kenntnis über lokale Schwindung und Kernverzug während des Gießprozesses sind jedoch für den Werkzeugbauer in der Kernmacherei die Voraussetzung für ein optimales Kernkastendesign sowie robuste Fertigungsbedingungen.

Sowohl der Konstrukteur als auch der Endanwender von Gussteilen hat die folgenden Herausforderungen:

- Einhaltung enger Wandstärkentro-  
leranzen aufgrund dünnwandiger  
Gusskonstruktion
- Herstellung von komplexen, dünn-  
wandigen und fragilen und damit  
empfindlichen Kerngeometrien.
- Umweltfreundliche, anorganische  
Bindersysteme erhöhen die Ge-  
fahr von Kernverzug durch ihre  
höhere thermische Ausdehnung  
und Steifigkeit.

- Die Anforderungen an Kosten-  
und Fertigungseffizienz beim  
Gießen erhöhen die mechanische  
und thermische Belastung der  
Kerne mit der Folge von Verzug  
und Versagen.

Mit Hilfe von Gießprozess-Simulation können Werkzeugmacher und Gießer untersuchen, wie sich der Kern während des Gießens verformt und die endgültige Form des Gussteils beeinflusst. Gießprozess-Simulation ermöglicht es Unternehmen, den Kernverzug genau zu simulieren und so mögliche Probleme frühzeitig zu erkennen und zielgerichtete Maßnahmen zu ergreifen, anstatt sich auf traditionelles Trial-and-Error zu verlassen. Dies spart Zeit, reduziert Kosten und stellt sicher, dass ein robuster Prozess früher erreicht wird.

## Fallstudien

Zwei Beispiele zeigen, wie Verbesserungen in der Modellierung des Verhaltens von Sand-Binder-Systemen und Daten in MAGMASOFT® verwendet werden, um

- a. Kernverformung während der Formfüllung und Erstarrung zu quantifizieren und zu visualisieren

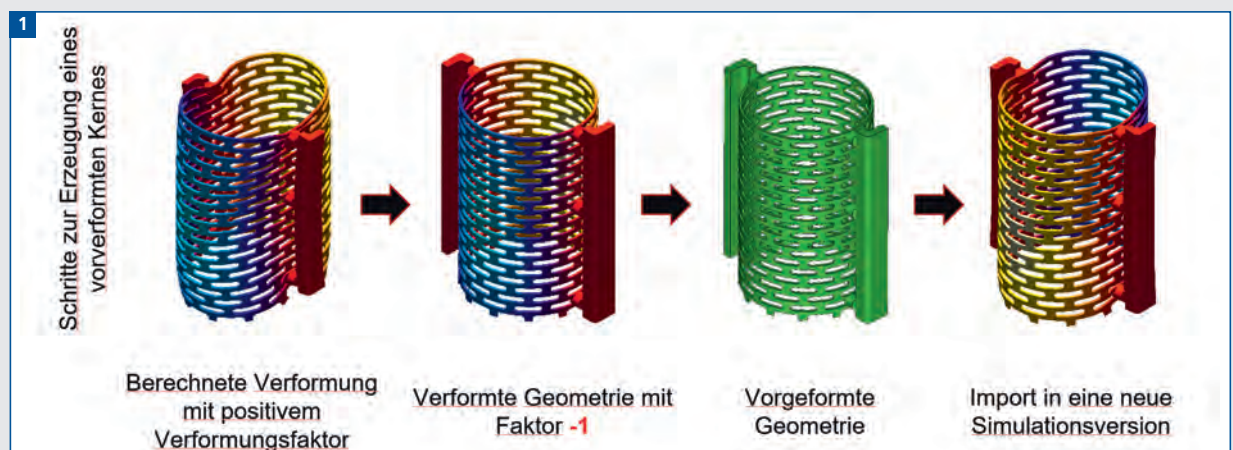


Abb. 1: Kern für ein Elektromotorgehäuse

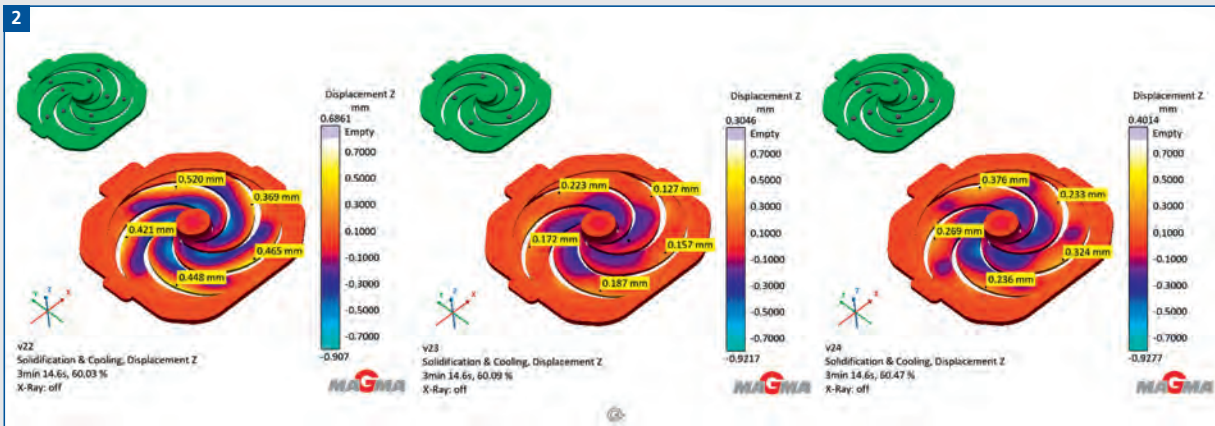


Abb. 2: Laufradkern

- b. Ursachen für die Verformung zu finden und geeignete Gegenmaßnahmen zu ergreifen
- c. dazu beizutragen, schnell und einfach Prozesse robust auszuliegen

**Kern für ein Elektromotorgehäuse (Bild 1)**

Das erste Beispiel untersucht einen Kern für ein Elektromotorgehäuse aus Aluminium. Um die Kühlkanäle des Gehäuses abzubilden, wird ein komplexer, dünnwandiger Kern benötigt. Der jedoch sensitiver auf thermische Ausdehnung reagiert. Ohne Simulation müsste ein realer Abguss zerstört werden, um zu prüfen, ob der Kern die geplante Geometrie abbildet.

Diese Studie zeigt, wie verschiedene Kernmaterialien den Kernverzug beeinflussen und, wie schnell ein geeignetes Sand-Binder-System gefunden werden kann.

Darüber hinaus zeigt die Studie, dass mit Hilfe der Gießprozess-Simulation der Kernverzug vorhergesagt werden kann und eine „vorverformte“ Geometrie die Maßabweichungen der endgültigen Gussgeometrie minimiert, um die geforderten Toleranzen einzuhalten.

Dieses Beispiel berücksichtigt den Kernverzug durch thermische Ausdehnung während der Formfüllung

und Erstarrung, zusätzlich zu den mechanischen Beschränkungen durch die Stahlkokille.

Der Vorteil: Während des gesamten Gießprozesses können die Kernausschussraten und der Kernverzug quantitativ ermittelt werden. Bereits während des Füllens wird sich der Kern verformen, während der Erstarrung behindert das erstarrende Metall den Kernverzug. Die weitere Verformung wird durch die Wechselwirkung mit dem abkühlenden Gussteil bestimmt.

**Laufradkern (Bild 2)**

Dünnwandige Kerne und Kerne mit fragiler Kernlagerung werden sich bereits bei der Formfüllung stark verformen. MAGMAstress ermöglicht die Berücksichtigung von Auftriebskräften beim Füllen und während der Erstarrung. Dies ermöglicht die Vorhersage von Verformungen durch die Dichteunterschiede zwischen der Schmelze und dem Kern.

Das zweite Beispiel veranschaulicht die Verwendung eines flachen Kerns beim Gießen eines Stahlgusslaufrads. Vor allem die dünnwandigen, großflächigen Bereiche derartiger Geometrien sind anfällig für Auftriebseffekte. In diesem Beispiel wird der Kern in der Mitte abgestützt und mit drei Kernmarken in der Form gelagert. Andere Bereiche des Kerns verformen sich jedoch bei thermischer Belastung. Der Kern bricht und Teile bewegen sich aufgrund des Auftriebs

in Richtung des Oberkastens – hohe Ausschussraten sind die Folge. Kernstützen minimieren das Risiko.

Das Beispiel untersucht und bewertet mit MAGMASOFT® zwei Szenarien – mit und ohne Kernstützen. Dabei berücksichtigt die Simulation des Kernverzugs nicht nur die durch thermische Ausdehnung, sondern auch die durch Auftriebskräfte in der Schmelze verursachten Verformungen. Gleichzeitig wird der Einfluss unterschiedlicher Kernlagerungen und Kernmarken berücksichtigt, um Kernbruch beim Gießen zu vermeiden.

Erfahren Sie mehr in unserem Vortrag am 25. April während der Großen Gießereitechnischen Tagung 2024.

Folgen Sie dem QR-Code, um mehr über MAGMAs Lösungen zu erfahren



# Inserentenverzeichnis

ANTROK ANLAGENTECHNIK GMBH .....	59
BEHRINGER GmbH .....	30
Mittelrheinische Metallgießerei Heinrich Beyer GmbH & Co. KG .....	71
Maschinenbau Böhmer GmbH .....	10
Casculate GmbH .....	11
Maschinenfabrik Gustav Eirich GmbH & Co KG .....	31
FONDIUM Group GmbH .....	3
Gontermann-Peipers GmbH   Werk Hain .....	21, U4
Hitachi High-Technologies Europe GmbH .....	9
Indutherm Erwärmungsanlagen GmbH .....	40
MAGMA GmbH .....	5
Saveway GmbH & Co. KG .....	10
Strobel Quarzsand GmbH .....	20
RUDOLF UHLEN GmbH .....	30



**HITACHI**  
Inspire the Next

**NO ONE  
IS MORE  
METAL  
THAN US**



**OE750 – NEXT LEVEL  
OES METALLANALYSE**

Der neue Hitachi OE750 macht leistungsstarke Metallanalyse dank bahnbrechender Technologie erschwinglich.

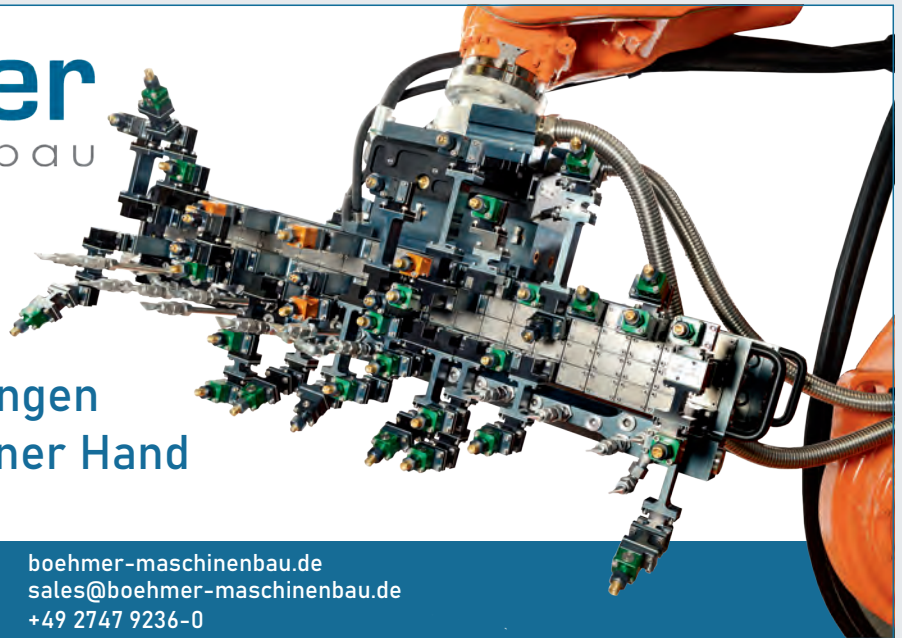
**Scannen und mehr erfahren**





# Böhmer

Maschinenbau



## Automatisierungslösungen für die Gießerei aus einer Hand

📍 Maschinenbau Böhmer GmbH  
Industriestraße 12-15  
57520 Steinebach

🌐 [boehmer-maschinenbau.de](http://boehmer-maschinenbau.de)  
✉ [sales@boehmer-maschinenbau.de](mailto:sales@boehmer-maschinenbau.de)  
☎ +49 2747 9236-0

## Vermeiden Sie Ofendurchbrüche

mit ihrem qualifizierten Partner für Ofensicherheit und  
Feuerfestüberwachung

Saveway GmbH & Co. KG

☎ +49 3677 8060-0

[www.saveway-germany.de](http://www.saveway-germany.de)



# Vom Datengrab zur Datenmine mit Casculate!

Casculate prägt eine transformative Ära in der Gießereiindustrie. Inmitten wachsender Herausforderungen wie dynamischen, externen Einflussfaktoren, steigenden Kundenanforderungen sowie intensivem Wettbewerbsdruck bietet Casculate eine innovative Lösung zur Prozessverbesserung. **Wir revolutionieren nicht nur die Aufwandskalkulation für unsere Kunden mittels datengetriebener Technologien in Verbindung mit tiefem Branchenverständnis, sondern machen auch selektiv verfügbares Expertenwissen mit Algorithmen nutzbar.**

Casculate revolutioniert die Gießereiindustrie, indem wir maßgeschneiderte künstliche Intelligenz einsetzen. Unser innovativer Ansatz kombiniert präzise Datenanalysen und moderne Methoden des maschinellen Lernens, beginnend mit einer umfassenden Strukturierung individueller historischer Daten. Durch sorgfältige Vorverarbeitung, Normalisierung und Optimierung entstehen maßgeschneiderte Algorithmen für präzise Kalkulationen.

Die Casculate-Anwendung analysiert nicht nur historische Daten, sondern identifiziert auch individuelle Muster, um präzise Echtzeitvorhersagen zu treffen. Diese Ergebnisse ermöglichen



sofortige und genaue Aufwandskalkulationen für verschiedene Fertigungsszenarien. Unsere Lösung entwickelt sich kontinuierlich weiter, aktualisiert Modelle mit neuen Daten und passt sich dynamisch an die sich wandelnden Bedingungen in der Fertigung an.

Casculate ermöglicht zudem die direkte Interaktion, um Informationen in Echtzeit an spezifische Kundenanforderungen anzupassen und Kostenoptimierungsvorschläge zu generieren. Der Prozess der virtuellen Optimierung hat das Potenzial, Ressourcennutzung und Profitabilität zu verbessern. Die erhebliche Zeiterparnis bei der Angebotskalkulation trägt dazu bei, den steigenden Anforderungen an Effizienz und Wirtschaftlichkeit sowie dem demografischen Wandel erfolgreich zu begegnen.

Unsere Geschichte reflektiert unsere Leidenschaft, die Gießereiwelt durch maßgeschneiderte und anwendungsorientierte künstliche Intelligenz zu

verbessern. Casculate ist nicht nur ein Lösungsanbieter für individuelle Softwareanwendungen; wir sind Pioniere einer zukunftsweisenden Fertigungsbranche.

Jeder unserer Kunden sitzt auf einem Schatz voller Daten – unser innovativer und maßgeschneiderter Ansatz ermöglicht die Nutzbarmachung für eine effizientere Zukunft.

**Autoren: Simon Geib (CEO);  
Niklas Eickworth (CSO)**

## Kontakt

**Casculate GmbH**  
Europaallee 10  
D-67657 Kaiserslautern  
Tel.: +49 (0)631 31761411  
marketing@casculate.com  
[www.casculate.com](http://www.casculate.com)



# CASCULATE

## AI-BASED INSTANT PRICING





Univ.-Prof. Dr.-Ing.  
Andreas Bührig-Polaczek

Institutsleitung und  
Lehrstuhl für Gießereiwesen

**Autoren:**

Andreas Bührig-Polaczek  
Mahan Firoozbakht  
Steffen Gimmler  
Maximilian Rudack  
Iris Raffeis







Foto: Peter Winandy

## Das Gießerei-Institut der RWTH Aachen – Partner für Forschung und Industrie



Know-how und Ausstattung des Gießerei-Institutes umfassen die für angewandte Projekte notwendige praxisrelevante Anlagentechnik, umfangreiche Analytik und Simulationsmöglichkeiten sowie die für anspruchsvolle Grundlagenuntersuchungen wichtigen Versuchseinrichtungen, Messverfahren und Modellierungsmethoden. Die zentralen Forschungsgebiete des Gießerei-Institutes liegen in den Bereichen Metallurgie, Erstarrung, Fertigungstechnik, Gusswerkstoffe, innovative und hybride Werkstoffe, Werkstoffe für die additive Fertigung, Gießverfahren, Pulverherstellung, Legierungsentwicklung, Bionik und Simulation. Adressiert werden in diesen Werkstoff- und Prozessschwerpunkten auch die aktuell sehr wichtigen Themen der Digitalisierung und die Erarbeitung von Lösungen für die zukünftige Klimaneutralität der Gießereibranche.

Technologietransfer und Kooperation mit der Industrie stehen in allen Themen gleichberechtigt neben einer ausgewiesenen Grundlagenforschung. Eine ingenieurwissenschaftliche Ausrichtung und die enge Verbindung von Theorie und Praxis ermöglichen einen kontinuierlichen Erkenntnis-

gewinn und -transfer. Das Gießerei-Institut wirkt sowohl in klassischen projektorientierten Kooperationen als auch in strategischen Plattformen mit, die gemeinsam mit der Industrie auch strategische und langjährige Forschungsverbünde ermöglichen. Gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Korrosion und Korrosionsschutz, dem Lehrstuhl für Grundlagen der Erstarrung und dem Lehrstuhl für Theorie und computergestützte Simulation von Energiematerialien bietet das Gießerei-Institut modernste Analysemethoden zur Prozess-, Werkstoff- und Bauteilcharakterisierung sowie Simulation und Modellierung an. Die folgende Aufstellung zeigt einen Ausschnitt unseres Portfolios. Seit einigen Jahren wurde zusätzlich die gesamte Prozesskette der additiven Fertigung für metallische Bauteile vom Pulver bis zum fertigen Bauteil etabliert.

### Gießerei

- Druckgieß-, Schwerkraft- und Vakuumgießanlagen für alle gängigen Gusswerkstoffe
- Sandguss, Kernfertigung, Gusseisenschmelzeinrichtung
- Thermische Analyse, Funkenspektrometrie
- Feinguss- und Formstofflabor, additive Fertigung
- Erstarrungs- und Gefügesimulation

### Korrosion und Korrosionsschutz

- Lochfraß- und Kontaktkorrosionsmessungen
- Klimawechseltests (inkl. Tiefkühlaggregat)
- Analyse interkristalliner- und Spannungsrisskorrosion

### Metallographie & Analytik

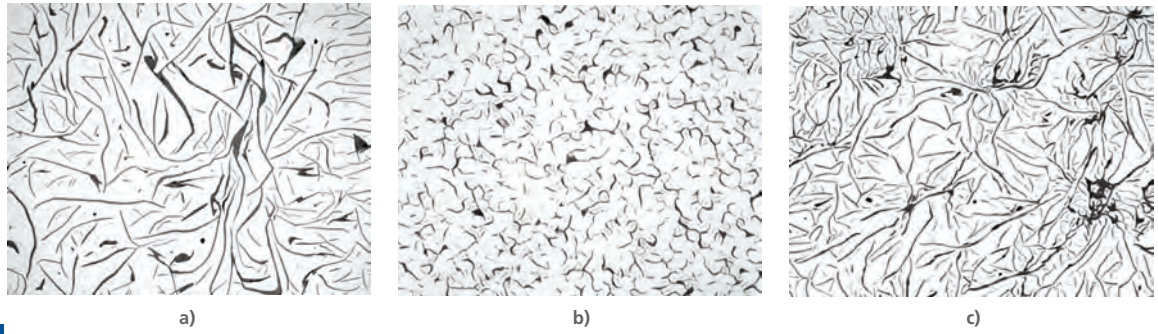
- Licht- und Rasterelektronenmikroskopie
- Digitale Bildanalyse
- Computertomographie
- Röntgendiffraktometrie

### Mechanische Werkstoffprüfung

- Hydraulische und elektromechanische Zerreißmaschinen

## Kontakt

Gießerei-Institut  
 Institutsleitung und Lehrstuhl für Gießereiwesen  
 Univ.-Prof. Dr.-Ing. Andreas Bührig-Polaczek  
 Intzestraße 5  
 D-52072 Aachen  
 Tel.: +49 (0)241 80-95880  
 Tel.: +49 (0)241 80-92276  
 sekretariat@gi.rwth-aachen.de  
 www.gi.rwth-aachen.de



**Abb. 1:** Gefügebilder von Gusseisen GJL.  
a) Schliffbild natürlich;  
b) Digitale Zwischenstufe synthetisch;  
c) finales Bild synthetisch

- Umlaufbiegeprüfung
- Optische 3D-Vermessung dynamischer Verformung

#### Grundlagen der Erstarrung

- Schwebeschmelzverfahren
- Sessile-Drop-Apparatur
- Virtuelles Materialdesign

#### Additive Fertigung

- Inertgas-Pulververdüsungsanlage mit Tiegelmodul für die Herstellung von Metallpulver
- Laser-Metall-Depositionsanlage
- pulverbettbasierte Selective Laser Melting-Anlage

## Lösungen für erweiterte Anwendungen von Werkstoffen und Prozessen in der Gießereitechnik

Im Fokus aktueller Forschungsprojekte des Gießerei-Institutes der RWTH-Aachen stehen Werkstoffe und Prozesse für die Anwendungsfelder Automotive, Energie- und Medizintechnik. Wichtige Werkstoffe sind dabei Gusswerkstoffe wie Gusseisen, Aluminium-, Magnesium-, Kupfer-, Titan- und Nickelbasislegierungen sowie hybride Verbundbauteile aus verschiedenen Metall-/Metall- und Metall /Kunststoffverbunden sowie Werkstoffe für die additive Fertigung und metallische Schwämme. Steigende Anforderungen verlangen verbesserte Gusswerkstoffe, die mit modernsten Methoden, wie thermodynamische Berechnungen und innovativer Gefügeanalytik, erforscht sowie experimentell und statistisch verifiziert werden. Neben der Grundlagenforschung stehen dabei gleichberechtigt anwendungsnahe Entwicklungsarbeiten, die gemeinsam mit der Industrie durchgeführt werden.

Weiterhin erfordern hervorragende und innovative Produkte nicht nur hochwertige Werkstoffe sondern auch die entsprechenden zukunftsweisenden Gießtechnologien zu deren Herstellung. Die zunehmende Klimaneutralität der Produktion und Produkte ist dabei eine zentrale und aktuelle Herausforderung. Die Eigenschaften moderner Werkstoffe für die Anwendung in innovativen Produkten werden nicht nur z.B. durch die chemische Zusammensetzung der metallischen Legierung bestimmt, sondern es besteht auch eine sehr hohe Korrelation zum Herstellungsprozess. Daher berücksichtigt eine moderne Werkstoffentwicklung auch den Einfluss des Fertigungsprozesses auf das Gefüge und die finalen Eigenschaften, oder hat sogar diese Korrelation zum Schwerpunkt. Neben den gewünschten Gefügeeigenschaften sind auch Defekte, Gradienten und uner-

wünschte Gefügemorphologien zu berücksichtigen, die in der Fertigung weitgehend vermieden werden müssen. Herausfordernde Fragestellungen der Digitalisierung wie Simulation und Modellierung, Machine Learning sowie Industrie 4.0 sind in diesen Arbeiten ebenfalls integriert.

Im Folgenden werden an einzelnen Beispielen grundlegende Arbeiten zur Mikrostruktur von Gusswerkstoffen und zur Prozessoptimierung von Gießprozessen vorgestellt und mit neuen Anwendungsmöglichkeiten und aktuellen Fragestellungen wie Industrie 4.0 verknüpft.

#### Gusseisen: moderner klassischer Werkstoff – mit Machine Learning (ML) Gussgefüge automatisch analysiert

Mit dem Fortschritt in der Technologie und im Zuge zunehmender Digitali-





**Abb. 2:** n-CT-Tomographie eines groben A-Graphit Netzwerks.

2

sierung steigen die Anforderungen an Bauteile und infolgedessen die Anforderungen an die Werkstoffe. Für die damit verbundenen geforderten verbesserten Eigenschaften eines Gusswerkstoffes ist eine zuverlässige und aussagekräftige quantitative Gefügebeschreibung des Produkts essentiell, da durch das Gefüge Informationen zu den Werkstoffeigenschaften ermittelt werden können. Die Eingrenzung der Größe und Morphologie einzelner Phasen hat hierbei eine wichtige Bedeutung. Jedoch zeigt sich, dass die Klassifizierung komplexer Gefüge, insbesondere bei Gusseisen mit Lamellengraphit (GJL), Schwächen in der Allgemeingültigkeit, Objektivität und Digitalisierung aufweist.

Um dem Gießer und dem Gussabnehmer eine gemeinsame Grundlage für Absprachen in Bezug auf die Qualitätssicherung zu bieten, ist eine reproduzierbare, allgemeingültige, objektive (Hard- & Software unabhängige) und automatisierte Auswertung des Gefüges unerlässlich. Darüber hinaus trägt dies auch zur Verbesserung von Werkstoffeigenschaften bei, da das Gefüge direkte Zusammenhänge zu den entsprechenden Eigenschaften mit Hilfe von Korrelationen ermöglicht. Aus diesem Grund soll in diesem Forschungsvorhaben ein allgemeingültiger und objektiver Anordnungs-klassifikator mittels Machine Learning (ML) auf der Grundlage der Ergebnisse des Vorgängerprojekts entwickelt wer-

den. Um dem zu entwickelnden ML-Algorithmus genügend Bilddaten zur Verfügung stellen zu können, wird Generative Adversarial Networks (GAN) verwendet. Auf diese Weise kann eine Vielzahl an synthetischen Bildern erzeugt werden (Abbildung 1).

Der ML-Algorithmus arbeitet auf Basis eines neuronalen Netzes und erkennt und klassifiziert lamellare Graphitanordnungen selbstständig. Zusätzlich wird der Algorithmus durch den Lernprozess zunehmend unempfindlicher gegenüber Änderungen in der Bildqualität, sodass auf dieser Grundlage die visuelle Bildanalyse weitestgehend ersetzt werden kann.

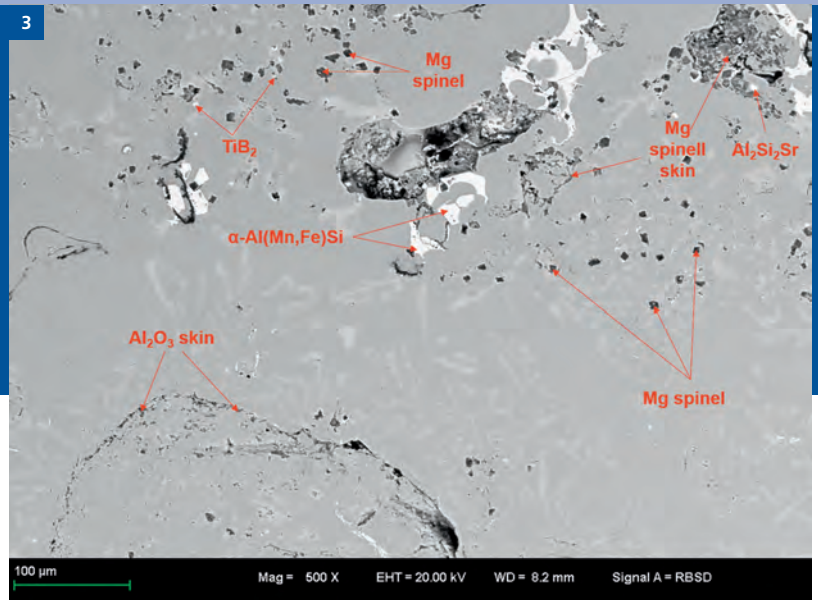
Eine weitere Problemstellung stellt die zweidimensionale quantitative Gefügebeurteilung dar. GJL ist aufgrund seiner Graphitstruktur ein Werkstoff, der ein im Dreidimensionalen stark verzweigtes Gefügenetzwerk hat. Obwohl dieses Wissen bekannt ist, beschränkt sich die Gefügeuntersuchung bei GJL aus Kosten- und Zeitgründen auf das Zweidimensionale. Allerdings kann ein einzelner zweidimensionaler Schnitt im Gefüge nicht das tatsächliche dreidimensionale Netzwerk beschreiben. Aus diesem Grund wird in diesem Forschungsvorhaben auch eine quantitative dreidimensionale Gefügeuntersuchung durchgeführt. Da hier das Potential und das Maß an möglichen Informationen, die aus dem 3D-Gefüge erarbeitet werden können, sehr hoch

ist, soll in diesem Projekt eine umfangreiche statistische Untersuchung mittels Korrelationen und multiplen linearen Regressionsgleichungen zwischen 2D- und 3D-Parametern erfolgen, um 3D-Parameter (z.B. Volumenanteil, Oberfläche und spezifische Oberfläche) vollständig durch 2D-Parameter (z.B. Graphitflächenanteil, Lamellenlänge) beschreiben und substituieren zu können. Dadurch ergeben sich erweiterte Nutzungsmöglichkeiten der 2D-Analyse des Gefüges bei nahezu gleichbleibendem Aufwand und Kosten.

### **Neue Potentiale für die Gussqualität – Optimierung des Porositätsprofils in Al-Si-Gusslegierungen**

Poren in Gussteilen reduzieren in Abhängigkeit ihrer Ausprägung, Position und Größenverteilung die lokalen statischen und zyklischen mechanischen Eigenschaften. Insbesondere kantige und zerklüftete Schwindungsporen bzw. Schwindungsporencluster führen zu lokalen Spannungserhöhungen und bei zyklischer Bauteilbeanspruchung zur Rissinitiierung, wodurch sich die Ermüdungsfestigkeit signifikant verringert. Im Rahmen eines aktuellen Forschungsprojektes gemeinsam mit der Industrie sollen die Keimbildungsbedingungen von Wasserstoffporen erforscht und anschließend gezielt instrumentalisiert werden, um zerklüftete Schwindungsporesporosität durch homogen und feinverteilte runde Wasserstoffporosität zu ersetzen und damit die Ermüdungsfestigkeit zu steigern.

**Abb. 3:** Mittels EDX identifizierte Einschlüsse in einer untersuchten PoDFA-Probe.



Hierzu sollen die Legierungsschmelzen  $\text{AlSi11Mg}$  und  $\text{AlSi7Mg0,3}$  bei Variation der zentralen Einflussgrößen – Erstarrungsgeschwindigkeit, Wasserstoffgehalt und Keimhaushalt – auf die sich einstellenden Porositätsprofile untersucht werden.

Um die Beladung der Schmelze mit Keimen, welche die Ausbildung von Wasserstoffporen fördern genauer zu untersuchen wurden PoDFA Proben gegossen und metallographisch untersucht. Mittels Rasterelektronenmikroskop und einem an diesem integrierten EDX-Detektor konnten unterschiedliche Klassen an Einschlüssen identifiziert werden, welche als Keimstellen für die Porenbildung fungieren können. Ein Überblick hierzu ist folgend in **Abbildung 3** gegeben.

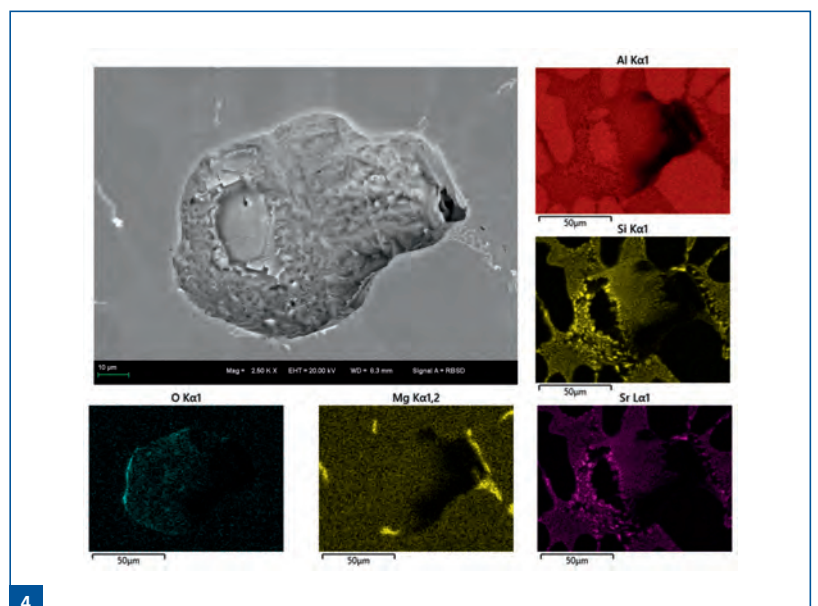
Eine genauere Untersuchung der für Schwingfestigkeitsprüfungen hergestellten Zylinderproben lässt einen starken Einfluss dieser Einschlüsse auf die Bildung von Gasporen in den Gefügen erkennen. Um den Keimbildungsmechanismus besser beschreiben zu können wurden in gezielt ausgesuchten Probenkörpern für alle Poren in definierten Bildausschnitten angrenzende Keimstellen und Fremdpartikel untersucht, **Abbildung 4**.

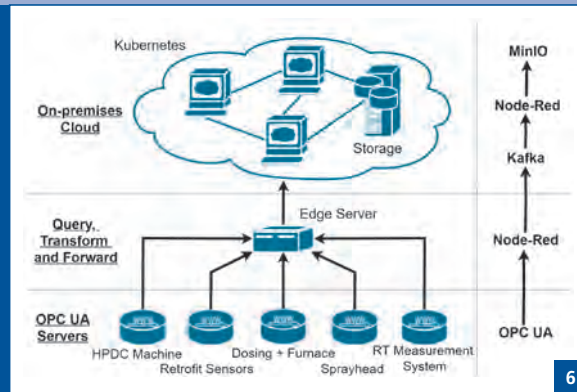
**Abb. 4:** Untersuchung der chemischen Zusammensetzung von porenbildend wirkenden Partikeln.

Anhand der ausgewerteten chemischen Zusammensetzungen kann eine Wahrscheinlichkeitsverteilung erstellt werden, welche angibt, welche Partikel tendenziell für die Bildung und Ausprägung von Gasporen verantwortlich sind. Die Ergebnislage nach diesem Auswerteschema ist folgend exemplarisch für eine mit 1,5 g/kg Keimbildner versetzte  $\text{AlSi11Mg}$  Legierung dargestellt, **Tabelle 1**. Über die dargestellte Klassifikation kann die Wirkung einzelner Einschlussarten als möglicher Keimbildner für Gasporen eingestuft werden.

Das angewandte Schema soll in einem nächsten Schritt zudem an industriellen Realbauteilen validiert werden. Über die dargestellte Klassifikation kann die Wirkung einzelner Einschlussarten als möglicher Keimbildner für Gasporen eingestuft werden. Das angewandte Schema soll in einem nächsten Schritt zudem an industriellen Realbauteilen validiert werden.

In einem weiteren Forschungsansatz soll die gezielte Einbringung von Wasserstoffporen für die Steigerung





des Recyclinganteils bei Aluminiumgusslegierungen erreicht werden. Das Verbundforschungsprojekt „ReGuSand“ widmet sich daher drei zentralen Herausforderungen beim Aluminiumsandguss, nämlich der Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks, der Minimierung von Produktionsabfällen und der Optimierung des Wasserstoffporositätsprofils. Die konventionelle Verwendung von Primäraluminiumlegierungen trägt erheblich zu den Umweltauswirkungen der Branche bei. Das Projekt zielt darauf ab, die Nachhaltigkeit des Prozesses, einschließlich der Erhöhung der Recyclinganteile, zu verbessern, um anfallende Emissionen zu verringern. Ziel ist es nicht nur, die Emissionen zu reduzieren, sondern auch die Effizienz des Gießens zu erhöhen. Dies soll erreicht werden, indem der Produktionsabfall durch die Verkleinerung der Gieß- und Speisersysteme minimiert wird und Schrumpfungsporiösität gezielt durch feine Wasserstoffporen substituiert wird, [Abbildung 5](#). Darüber hinaus werden potenzielle Synergien und Kenndaten zwischen der Erhöhung der Recyclinganteile und der Wasserstoffporositätsstrategie sowie der dazu notwendigen Prozesstechnik ermittelt.

#### Druckguss – mit Industrie 4.0 innovativ weiterentwickelt

Die Druckgießzelle der Frech DAK450-40 des Gießerei-Institutes verfügt über 7 OPC UA Server, die Daten von unterschiedlichen Zellkomponenten

bereitstellen können. Die Messwerte der Druckgießmaschine, des Ofen- und Dosiersystems, des Sprühroboters sowie zusätzlicher Sensoren und des Spritzgießaggregates können somit zusammengeführt und in einer cloud-basierten Infrastruktur bereitgestellt werden. Hierzu werden die Daten zuerst auf einem leistungsfähigen x86 basiertem Edge Server mit 12 Rechenkernen physisch nahe der Zelle verarbeitet und mit geringer Latenz an ein Kubernetes basierten Cluster am Rechenzentrum der RWTH Aachen versendet. Apache Kafka wird hierbei als Messagebroker verwendet und die Daten werden anschließend in einem Object Store gespeichert. Die Daten sind somit direkt global über das Internet zum Abruf verfügbar. Die am Gießerei-Institut eingesetzte Infrastruktur ist in [Abbildung 6](#) dargestellt. Die Nutzung von etablierten Big Data Frameworks wie Apache Kafka in Kombination mit nutzerfreundlicher browserbasierter grafischen Programmiertools wie Node-Red ermöglicht hierbei kurzfristige Anpassungen und

**Abb. 5:** Gezielte Einstellung von Wasserstoffporosität zur Verkleinerung des Speisersysteme. Zusammenhängende und zerklüftete Poren (links oben) werden durch Wasserstoffzugabe eingerundet und weitgehend isoliert (unten rechts)

**Abb. 5:** Die am Gießerei-Institut im Rahmen des Internets der Produktion implementierte Datapipeline und Infrastruktur zur Datenextraktion der Frech DAK450-40 Druckgießzelle

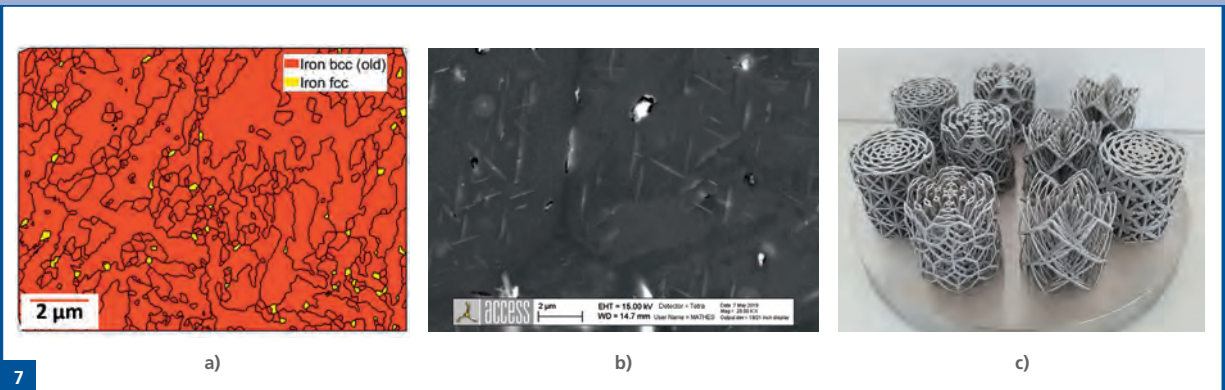
Erweiterungen hinsichtlich der Implementierung zusätzlicher Datenquellen oder der Vorverarbeitung von Daten.

Aktuell wird daran gearbeitet die Daten auf der Edge und in der Cloud effizient vorzuverarbeiten, um den unterschiedlichen Frequenzen und Formaten der Informationen gerecht zu werden sowie eine schnelle Auf-

**Tabelle 1:** Anteil der in Gaspartikeln identifizierten Partikel.

	Anzahl (-)	Prozentualer Anteil (%)
Keimbildner, Intermetallische Phasen (TiB <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> Sr, AlFeSi, ...)	86	49,4
Spinell-Haut	24	13,8
kleine Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Haut	13	7,5
grobe Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Haut	45	25,9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Partikel	1	0,6
Karbide und C-Phasen	5	2,9





**Abb. 7:** a) 1.2343 as-built, tempered at 550 °C, 4 h Martensit, Restaustenit (RA)~0.3 % (Doi.org/10.3390/jmmp6030063), b) T1-Ausscheidungen in der AlCu-Li-Legierung AA2099 (DOI:10.3390/ma13225188), c) AlSi10Mg-Geometrien

bereitung für den Anwender zuzulassen. Hierzu wird getestet den Object Store durch eine Zeitreihendatenbank sowie eine relationale Datenbank zu ergänzen, um dem Datennutzer den bestmöglichen Zugriff zur folgenden Datenanalyse zu gewährleisten.

### Additive Fertigung – ein attraktives Forschungsstandbein im neuen Standort Campus Melaten

Für die Herstellung von Metallpulverlegierungen steht dem Gießerei-Institut im Research Center for Digital Photonic Production (RCDPP) eine hybride Inertgas-Pulververdüsungsanlage mit Tiegel- und Elektrodenmodul zur Verfügung. Die additive Weiterverarbeitung und Bauteilherstellung erfolgt, je nach Pulvermaterialeigenschaften und Anforderung des Anwendungsfalls, entweder mit einer Laser-Material-Depositionsanlage (LMD-Anlage) oder einer pulverbettbasierten Laser Powder Bed Fusion - (LPBF)-Anlage.

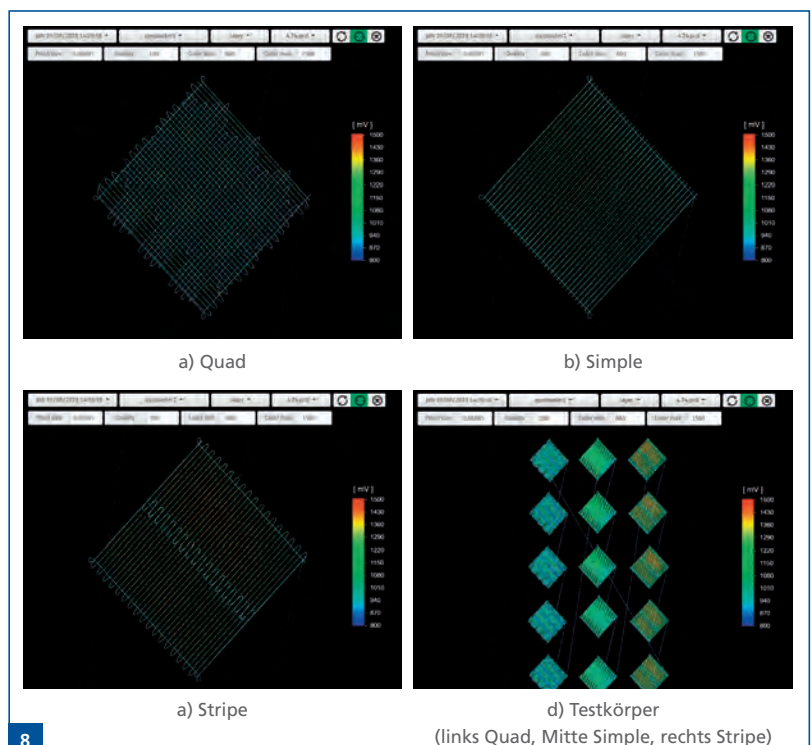
**Abb. 8:** a) bis c) Pyrometermessungen für eine Lage der sog. Schraffurmuster Quad, Simple und Stripe und korrespondierende Testkörper.

Beide Anlagen sind mit einer Heizplatte, bzw. Vorheizung ausgestattet, so dass durch die Veränderung von Abkühlbedingungen Einfluss auf die Werkstoffeigenschaften genommen werden kann. So können erfolgreich die unterschiedlichsten Werkstoffe verarbeitet und untersucht werden, was zu umfassenden Erfahrungen im Bereich der Werkstoffe im Bereich der additiven Fertigung führt.

Beispielsweise kann der Einsatz einer Heizplatte eine Verminderung des unerwünschten Restaustenitgehalts (RA) im martensitischen Warmarbeitsstahl

1.2343 von ursprünglich 18% auf ~0.3% im sog. „as-built“-Zustand bewirken, (Abbildung 7a). Ebenfalls kann durch die Beeinflussung der thermischen Vorgänge gezielt Risse vermieden (bes. bei Nickellegierungen) und das Ausscheidungsverhalten spezieller Aluminiumknetlegierungen (Abbildung 7b) gesteuert werden. Abbildung 6c zeigt Gitterstrukturen der Aluminiumgusslegierung AlSi10Mg.

Weitere Methoden zur Beeinflussung der Mikrostruktur und damit den mechanischen Eigenschaften ist die Anwendung unterschiedlicher Scan-





**Abb. 9:** Teilnehmer der Pfingstexkursion 2023 beim Besuch der Druckgießerei CanMetal, Bursa, Türkei.



strategien (Abbildung 8), um beispielsweise die Dehnung bei Duplexstählen zu maximieren.

#### **Unsere Ausbildung: modern, zukunftsicher, innovativ**

Der Lehrstuhl für Gießereiwesen vertritt die unterschiedlichen Wissenschaftsgebiete der Gießertechnik in der Lehre. Die Grundlagen der Gießertechnik werden in verschiedenen Bachelor- und Masterstudiengängen als Pflicht- oder Wahlfach angeboten. Die speziellen Vertiefungen des Lehrstuhls erfolgt im Bachelor-/ Masterprogramm „Werkstoffingenieurwesen“ bzw. „Wirtschaftsingenieurwesen Fachrichtung Prozess- und Werkstofftechnik“. Für englischsprachige Studierende wird zudem der Masterstudiengang „Materials Engineering“ angeboten, der inzwischen mit der Anzahl der Studierenden den deutschsprachigen Studiengang überholt hat. Der Bachelor ist ein berufsqualifizierendes Studium mit einer Regelstudienzeit von sechs Semestern. Aufbauend auf den Bachelor können Studierende im Rahmen des viersemestrigen Masterstudiengangs ihre wissenschaftlichen Kenntnisse vertiefen. Der Master bietet ihnen dabei die Möglichkeit, zwischen einem inhaltlich breit gefächerten und einem hoch spezialisierten Studium zu wählen.

Ein Highlight in der Ausbildung sind die jährlich stattfindenden Exkursionen, die im Wechsel in Deutschland und innerhalb oder außerhalb von

Europa stattfinden. Internationale Highlights waren die Exkursionen 2014 nach China und 2016 in die USA sowie 2019 nach Japan, **Abbildung 9**. In 2023 fand eine Exkursion in die Türkei statt. Für die Studierenden ist es wichtig, einerseits sowohl die nationale Stärke der deutschen Gießereibranche zu erleben, andererseits aber auch die globale Verflechtung unserer Branche. Weiterhin lernen sie dadurch das jeweilige Land, die lokale Lebens- und Arbeitsweise sowie verschiedene Unternehmenskulturen kennen. Unterstützt werden diese Exkursionen durch zahlreiche nationale und internationale Firmen der Gießereibranche. Für die Exkursion in die Türkei danken wir insbesondere MAGMA Turkey für die Hilfe bei der Kontaktaufnahme zu den Gießereien, die Betreuung durch die Mitarbeitenden vor Ort und das gemeinsame Abendessen.

#### **Literatur.**

[1] Rafféis, I.; Adjei-Kyeremeh, F.; Ewald, S.; Schleifenbaum, J.H.; Bührig-Polaczek, A. ‚A Combination of Alloy Modification and Heat Treatment Strategies toward Enhancing the Properties of LPBF Processed Hot Working Tool Steels (HWTS)‘. *J. Manuf. Mater. Process.* 2022, 6, 63. <https://doi.org/10.3390/jmmp6030063>

[2] Rafféis I, Adjei-Kyeremeh F, Vroomen U, Richter S, Bührig-Polaczek A. ‚Characterising the Microstructure of an Additively Built Al-Cu-Li Alloy‘. *Materials (Basel)*. 2020 Nov 17;13(22):5188. doi: 10.3390/ma13225188. PMID: 33212906; PMCID: PMC7698369

STROBEL  
QUARZSAND 



## QUARZSAND

Ein unentbehrlicher Rohstoff



Strobel Quarzsand GmbH ist ein leistungsstarkes Unternehmen zur Gewinnung, Aufbereitung und Veredelung des mineralischen Rohstoffes Quarzsand. Unser hoher Qualitätsstandard ist die Basis und der Garant einer erfolgreichen Zusammenarbeit mit unseren Kunden aus den Produktionsparten Gießerei, Bauchemie, der Glasproduktion bis hin zum Einsatz im Bereich Sport, Spiel und Freizeit.

### STROBEL QUARZSAND GMBH

Freihungsand  
92271 Freihung  
[www.strobel-quarzsand.de](http://www.strobel-quarzsand.de)

IM FOKUS



# Gießereitechnik

AKADEMISCHE INTERESSENSGEMEINSCHAFT GIESSEREITECHNIK

## Ingenieurwissenschaften

Anfragen zur kostenfreien Übersendung von Belegexemplaren oder zwecks redaktioneller Mitarbeit richten Sie bitte an

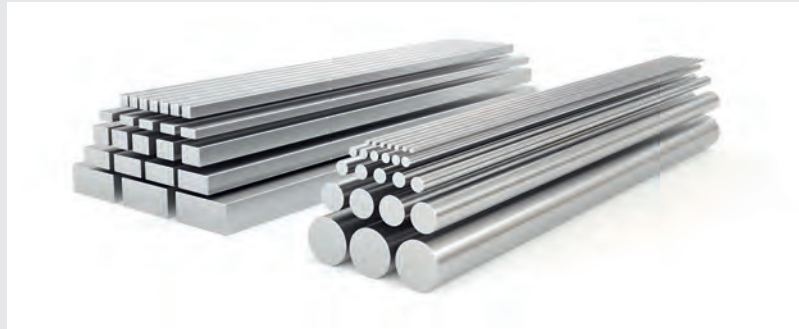
Institut für Wissenschaftliche Veröffentlichungen (IWV)  
Finkenstraße 10 · 68623 Lampertheim · Telefon 06206 939-0  
[info@alphapublic.de](mailto:info@alphapublic.de) · [www.institut-wv.de](http://www.institut-wv.de)



# Alleskönner: Strangguss

## Kostensenker in Zeiten von Preisdruck

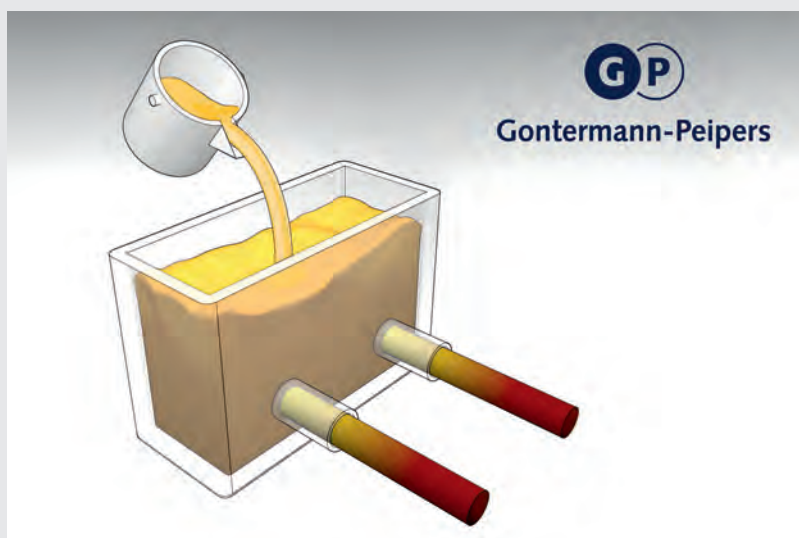
**Hohe Produktqualität, stetige Kostensenkungen und eine kontinuierliche Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit sind die allgegenwärtigen Forderungen im industriellen Umfeld.**



Da die Materialeigenschaften große Auswirkungen auf die Prozesssicherheit sowie die Standzeiten der Bearbeitungswerkzeuge haben, kommen Zulieferer nicht umhin, hohe Anforderungen an die Produkteigenschaften zu stellen. Das darin liegende Kostensenkungspotenzial ist enorm, wirken sich doch Qualitätsschwankungen bei Gusswerkstoffen zwangsläufig negativ im Produktionsablauf aus. So kommt also der Qualität des verwendeten Werkstoffs neben dem Einfluss von Werkzeugen und Bearbeitungsmaschinen eine strategische Bedeutung zu und setzt großes Einsparpotenzial trotz höherer Beschaffungskosten frei.

Strangguss von Gontermann-Peipers mit seinem dichten und feinkörnigen Gefüge bietet qualitätsstabile homogene und isotrope Werkstoffeigenschaften und erreicht ein herausragendes Qualitätsniveau auf Basis jahrzehntelanger Erfahrung und ständiger Weiterentwicklung unserer Prozesse. Die gezielte Wärmebehandlung von Strangguss steigert zudem die Festigkeit und den Verschleißwiderstand des fertigen Produktes. Lassen Sie sich zu den umfangreichen Vorteilen von Strangguss wie die deutlich effizientere Bearbeitung gegenüber Stahl, die hohe Maßhaltigkeit und die Chargentreue von unseren Experten beraten. Zu-

sammen mit Ihnen erarbeiten wir maßgeschneiderte Lösungen nach Ihren Anforderungen. Sie wählen die Bearbeitungstiefe: von roh, gesägt über vorbearbeitet bis hin zu fertig bearbeitet. Reservieren und bestellen Sie direkt im GP-Online-Shop Ihre gewünschten Produkte: [www.gp-onlineshop.de](http://www.gp-onlineshop.de)



**Autor: Andreas Teutenberg**  
 Leiter Auftragszentrum  
 Gussprodukte

### Kontakt

**Gontermann-Peipers GmbH |**  
**Werk Hain**  
 Marienborner Straße 49  
 D-57074 Siegen  
 Tel.: +49 (0)271 60881  
[ateutenberg@gontermann-peipers.de](mailto:ateutenberg@gontermann-peipers.de)  
[www.gontermann-peipers.de](http://www.gontermann-peipers.de)





Prof. Dr.-Ing. Lothar Kallien

Hochschule Aalen  
Fakultät für Maschinenbau und  
Werkstofftechnik

**Ansprechpartner Gießereitechnik**

Prof. Dr.-Ing. Lothar Kallien  
Tel.: +49 (0)7361 576-2252

Frau Nadine Schmid

Tel.: +49 (0)7361 576-2543  
Fax: +49 (0)7361 576-2270







## Hochschule Aalen: Innovationen in Druckguss

Die Forschungsaktivitäten der Hochschule Aalen entwickeln sich weiter dynamisch und auf hohem Niveau. Zwischenzeitlich hat sich die Hochschule bundesweit im Bereich anwendungsorientierter Forschung im Vorderfeld der Hochschulen für angewandte Wissenschaften positioniert. Die Spitzenposition unter den baden-württembergischen HAW auf Basis Drittmittel und Publikationsleistung pro Professor konnte im letzten Jahr erfolgreich zum siebzehnten Mal in Folge verteidigt werden.

Im letzten Jahr wurden an der Hochschule über 170 Forschungsprojekte durchgeführt. Hierfür standen insgesamt rund 15 Mio. EUR zur Verfügung. Die bereits hervorragende Forschungsinfrastruktur konnte in den Bereichen Energiespeicher und Photonik durch Geräteinwerbungen bei DFG und BMBF im Umfang von >2 Mio. EUR erneut verbessert werden. Die Forschungsaktivitäten reichten dabei von eher grundlagenorientierten Projekten mit DFG-Förderung (mehr als 10 Professoren der Hochschule mit Förderung durch eine DFG-Sachbeihilfe) bis hin zu eher transferorientierten Projekten, darunter insgesamt rund 40 Projekte im Bundesprogramm „Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand“ und

im Landesprogramm „Invest BW“. In 2023 starteten darüber hinaus zahlreiche neue Projekte mit Fokus auf Künstliche Intelligenz wie die KI-Werkstatt Mittelstand (Laufzeit 5 Jahre, Umfang 4,5 Mio. EUR) oder auf Nachhaltigkeit/Kreislaufwirtschaft für Elektromobilität und Erneuerbare Energien sowie Kunststoffrecycling (Laufzeit jeweils 4 Jahre, Gesamtumfang 3 Mio. EUR).

Von den 134 wissenschaftlichen Mitarbeitenden schlossen im Jahr 2023 15 erfolgreich eine Promotion ab. Hervorzuheben ist dabei, dass die Hochschule Aalen am neu eingerichteten Promotionsverband HAW in Baden-Württemberg beteiligt ist. Mehr als 30 Professoren der Hochschule sind Mitglied im Promotionszentrum des Verbandes und können dort Promovierende eigenständig zur Promotion führen. Die mit Bundesmitteln geförderte Research Academy (Promotionskolleg und Schreibwerkstatt) an der Hochschule unterstützt dabei die Qualifizierung des wissenschaftlichen Nachwuchses und baut ihr Angebot kontinuierlich aus.

Nachfolgend sind die Forschungsthemen des Gießereilabors der Hochschule angeführt.

### Entwicklung mehrschichtiger Sandkerne für den Druckguss

Durch Erhöhung des Bindergehalts lassen sich anorganisch gebundene Sandkerne mit hoher Festigkeit und Packungsdichte herstellen, die den Bedingungen im Druckguss genügen. Nachteil ist, dass die Binderbrücken lediglich in den äußeren Bereichen des Kernquerschnittes zerfallen. Die inneren Bereiche bleiben nach wie vor hochfest, die Kerne lassen sich nur mit hohem Aufwand aus dem Gussbauteil entfernen.

Ziel des Projektvorhabens „Entwicklung mehrschichtiger Sandkerne für den Druckguss“, gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG - 505145110) ist es, hybride Sandkerne in einem zweischichtigen

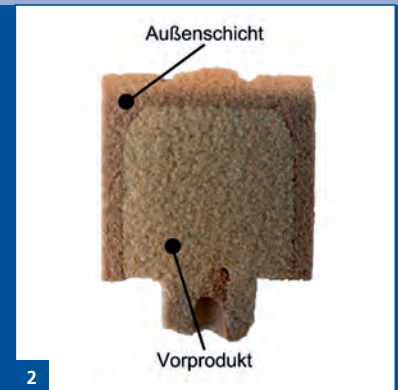
## Kontakt

Hochschule Aalen – Technik und Wirtschaft  
 Gießerei Technologie Aalen – GTA  
 Prof. Dr.-Ing. Lothar Kallien  
 Beethovenstraße 1  
 D-73430 Aalen  
 Tel.: +49 (0)7361 576-2252  
 gta@hs-aalen.de  
 www.hs-aalen.de/gta



**Abb. 1:** Prüfstand zu Ermittlung der Kernbelastung unter Druckgussbedingungen

**Abb. 2:** Hybrider Sandkern hergestellt im zweistufigen Kernschießprozess



Kernschießprozess herzustellen und den Zerfall unter Druckgussbedingungen zu untersuchen. Das Forschungsvorhaben wird in Kooperation zwischen dem Lehrstuhl für Umformtechnik und Gießereiwesen der Technischen Universität München und dem Gießereilabor der Hochschule Aalen bearbeitet.

Ziel ist es den Zerfall des Sandkerns in der Druckgussform zu filmen um Randbedingungen für die Simulation zu erhalten (Abb. 1).

Das Innere des hybriden Kerns, bestehend aus einer weniger festen Sand-Binder-Mischung, wird in einem zweiten Kernschießprozess mit einer hochfesten Sand-Binder-Mischung umschlossen. Die hochfeste äußere Schicht soll das Penetrationsverhalten unterbinden. Hybride Sandkerne (Abb. 2) erlauben die Lösung des Ziel-

konflikts zwischen Kernfestigkeit und Zerfallseigenschaft.

#### Druckgießen von holzbasierten Materialsystemen im Aluminium- und Magnesiumdruckgießverfahren

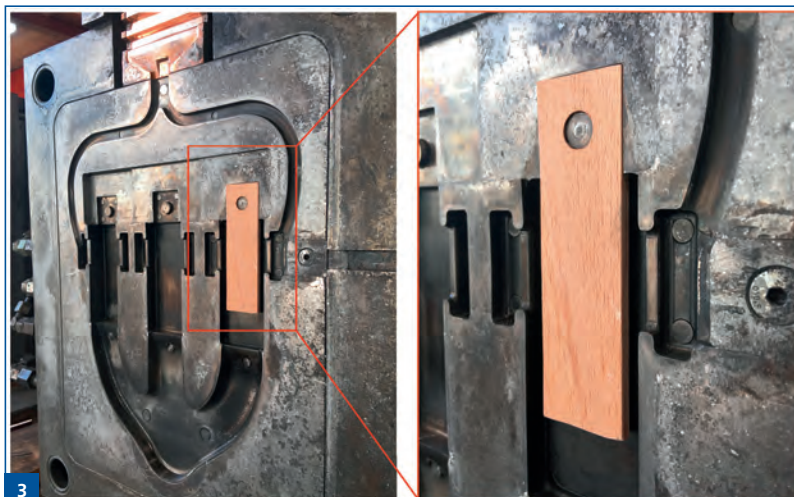
Der Einsatz nachwachsender Rohstoffe ist ein vielversprechender Ansatz bei der Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen. In diesem Zusammenhang bietet der Werkstoff Holz ein sehr hohes Potential, da er zum einen ein Naturwerkstoff ist, der während des Wachstums CO<sub>2</sub> bindet und zum anderen hervorragende spezifische Eigenschaften aufweist die mit typischen technischen Werkstoffen wie Aluminium vergleichbar sind. Eine zentrale Herausforderung stellt dabei die Integration innovativer Holzstrukturen in bereits bestehende Fahrzeugstrukturen dar. Untersucht wurde die thermische Beeinflussung

der Holzeinlegeileteile beim Umgießen mit Aluminium- und Magnesium. Das Umgießen der Holzeinlegeileteile erfolgte in einem bestehenden Druckgießwerkzeug. Das Holzeinlegeileteil wurde mit einer Wandstärke von 2 mm mit Aluminium- und Magnesiumdruckgusslegierungen umgossen (Abb 3).

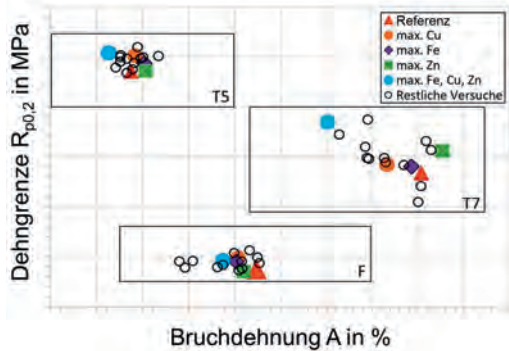
#### Einfluss eines erhöhten Recyclinganteils einer AlSi10MnMg-Legierung

Um die globalen Klimaziele zu erreichen und den CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu reduzieren, gewinnen sekundäre Aluminiumlegierungen zunehmend an Bedeutung. Der Wechsel von Primär- zu Sekundäraluminium bringt erhebliche Vorteile für die Umwelt mit sich, da im Vergleich zur Verwendung von Primäraluminium bis zu 85 % CO<sub>2</sub> und 95 % Energie eingespart werden können [1].

Ziel ist es, in Sekundärlegierungen Eigenschaften zu erreichen, die mit denen der Primärlegierungen vergleichbar sind. Zusammen mit der Firma Albert Handmann Metallgusswerk GmbH & Co. KG wurde der Einfluss unterschiedlicher Gehalte an Eisen, Kupfer und Zink auf die mechanischen Eigenschaften, die Wärmeleitfähigkeit und die Korrosionsbeständigkeit untersucht (Abb. 4).



**Abb. 3:** Fixiertes Holzeinlegeileteil in der Druckgießform.



4

**Abb. 4:** Mechanische Eigenschaften von Primärlegierung und Sekundärlegierungen in verschiedenen Wärmebehandlungszuständen.

### Herstellung hohler Kanäle durch Gasinjektionstechnologie

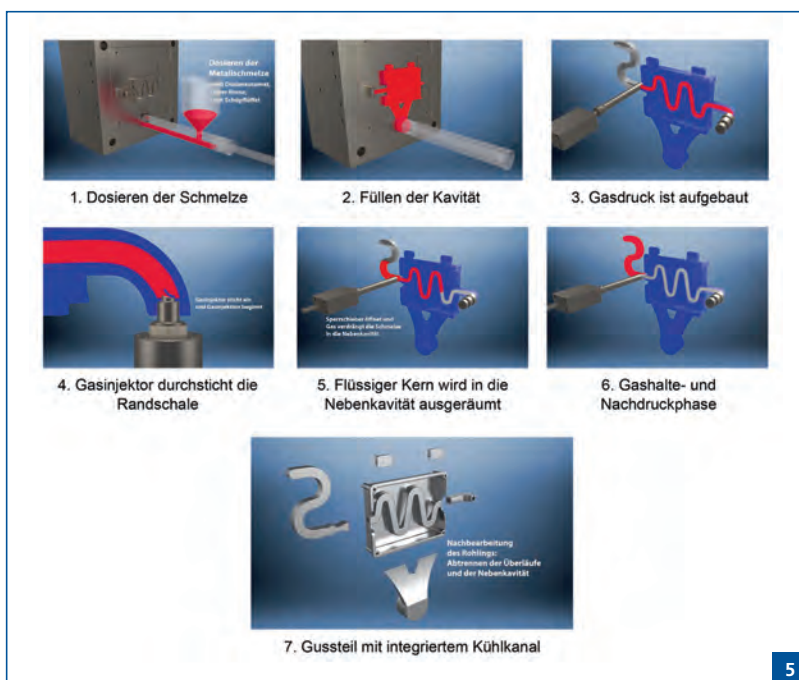
Durch die Gasinjektionstechnologie im Druckguss ist die Herstellung komplexer Hohlstrukturen im Gussteil unmittelbar im Gießprozess realisierbar. Mehrteilige Baugruppen lassen sich durch ein Druckgussbauteil mit integriertem Hohlkanal substituieren.

des Gussteils eingeleitet. Die Restschmelze wird in eine sich öffnende Nebenkavität verdrängt. Dadurch wird ein definierter Hohlkanal im Gussteil erzeugt (Abb. 5). Durch die bisherigen Forschungserkenntnisse wurde bereits erfolgreich ein großes Anwendungsfeld für dieses innovative Verfahren aufgezeigt. Die Aktivitäten

Neben der in der Abb. 6 dargestellten Kühlgehäusegeometrie wurden bereits Untersuchungen an weiteren Demonstratorbauteilen und Gießversuche mit Gussteilen aus dem industriellen Umfeld durchgeführt.

Bei AlSi-Druckgusslegierungen wurde mit zunehmendem Erstarrungsintervall eine größere Abhängigkeit der Oberflächenqualität von dem injizierten Gasdruck festgestellt (Abb. 7). Raue und ungleichmäßige Oberflächenstrukturen treten bei einem geringen Gasdruck auf. Besonders bei AlSi-Druckgusslegierungen mit großem Erstarrungsintervall reicht der geringe Gasdruck nicht aus, um die teilerstarrten Bereiche vollständig aus dem Hohlkanal zu verdrängen. Eine glatte und gleichmäßige Oberfläche wird mit einem hohen Gasdruck erreicht.

Im Rahmen des Projektvorhabens MAGIT wurde die Gasinjektionsanlagentechnik optimiert. Das MAGIT-Powermodul (Abb. 8) lässt sich als industrietaugliches Peripheriegerät an Kalt- und Warmkammerdruckgießmaschinen adaptieren. ([www.magit-hpdc.com](http://www.magit-hpdc.com))



5

**Abb. 5:** Schematische Darstellung zum Ablauf des Gasinjektionsprozesses im Druckgießverfahren

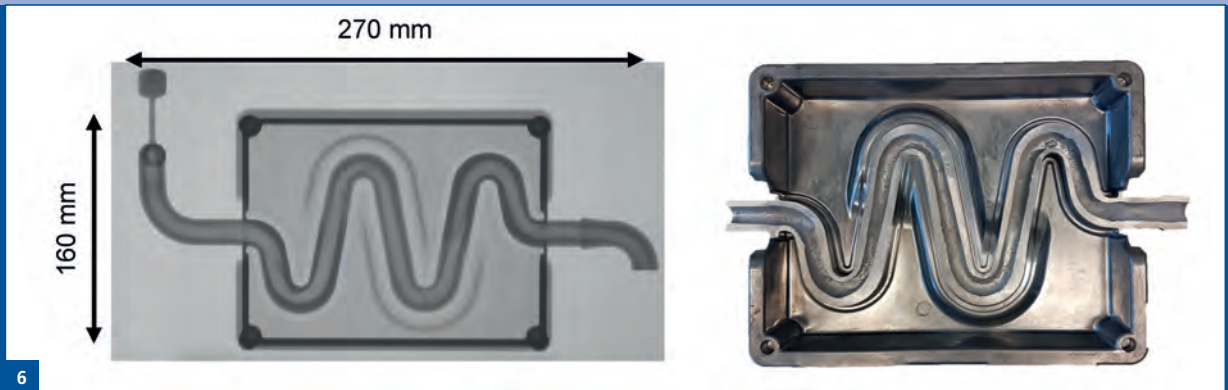
Sobald während der Erstarrung des Gussteils eine ausreichend stark ausgeprägte Gussteilrandschale vorliegt, durchsticht ein Gasinjektor die erstarrte Gussteilrandschale. Dadurch wird das Prozessgas Stickstoff mit einem Druck von bis zu 500 bar in den flüssigen Restschmelzebereich

im Rahmen des Projektvorhabens MAGIT beziehen sich weniger auf Forschungsaktivitäten im Labormaßstab, sondern vielmehr auf die Weiterentwicklung des MAGIT-Prozesses zur prozesssicheren Grobseriengießbarkeit im industriellen Gießereiumfeld.

### Neue Werkstoffe, Herstellverfahren und Anwendungen zur Herstellung von Druckgussbauteilen mit Leichtbaupotential für die Elektromobilität

Leichtbaustrukturen aus Guss spielen eine entscheidende Rolle in der Entwicklung, Konstruktion und Produk-





**Abb. 6:** Kühlgehäusegeometrie mit einem durch Gasinjektionstechnologie hergestellten Hohlkanal: (Kanaldurchmesser 10 mm, Kanallänge 420 mm): Röntgenaufnahme (links), Ansicht im Frässchnitt (rechts)

tion von Fahrzeugkomponenten. Das Projekt InDrutec-E (Innovationsführerschaft bei Druckgusstechnologien für die Elektromobilität – neue Werkstoffe, Herstellverfahren und Anwendungen) zielt darauf ab, durch innovative Entwicklungen die Technologieführerschaft im Bereich des Druckgusses von Leichtmetalllegierungen für die Elektromobilität zu erlangen. Für die geänderten Anforderungsprofile des elektrischen Antriebsstrangs werden neue, optimierte Werkstoff- und Herstellprozessinnovationen entwickelt. Im Fokus dieses Forschungsvorhabens stehen Aluminium- und Magnesiumlegierungen mit hohen mechanischen Kennwerten, die durch Reduktion der Wandstärke hohes Einsparpotential

des Gewichts und der CO<sub>2</sub>-Emissionen erwarten lassen.

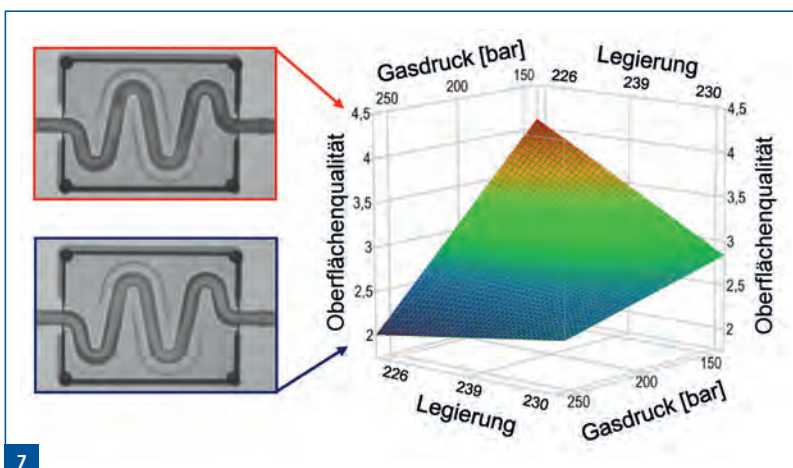
Die Weiterentwicklung des Vacural®-Druckgießverfahrens ist ein zentraler Forschungsschwerpunkt der Hochschule Aalen. Gemeinsam mit dem Projektpartner Oskar Frech GmbH wurden die kritischen Punkte des Verfahrens identifiziert. Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde das Demonstratorbauteil – ein Getriebedeckel – mit einer optimalen Auslegung und Gestaltung entwickelt. Dabei kam eine innovative, kraftflussoptimierte Konstruktionsmethode zum Einsatz, die das Bauteil gegenüber einem Referenzmodell deutlich erleichtert. Dabei legte das Institut für Fahrzeugkonzepte (FK) des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) wert darauf, dass bei gleichbleibender Wandstärkenverteilung und optimierter Rippen höchste Kräfte des Getriebes übertragen werden.

Die Herstellung der Gussprototypen erfolgt mit Aluminium- und Magnesiumlegierungen, wofür zwei verschiedene Werkzeugeinsätze in Kooperation mit der Firma Oskar Frech GmbH entwickelt werden.

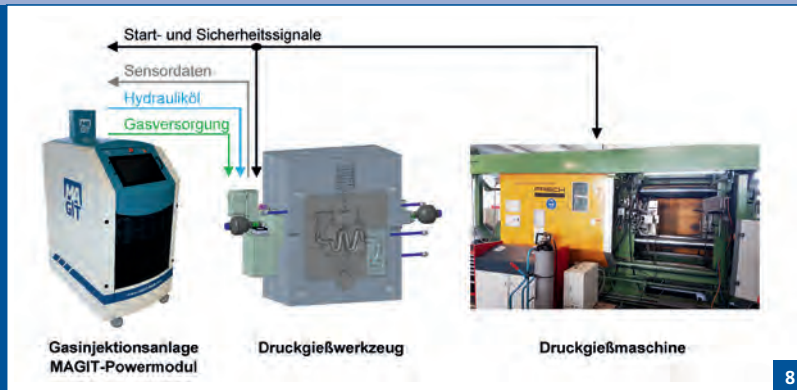
Dank der Optimierung im Design konnte das Gewicht des Getriebedeckels um etwa 25 Prozent verringert werden. Das Vorhaben wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) mit dem Förderkennzeichen 03LB2004F gefördert. Im Projekt arbeiten die Unternehmen Robert Bosch GmbH, Oskar Frech GmbH und Co. KG und die Gühning KG gemeinsam mit dem DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte und dem Gießereilabor der Hochschule Aalen an den technologischen Entwicklungen.

### Zynk-Guss

Zink-Druckgusslegierungen werden heute in verschiedenen Industriezweigen aufgrund ihrer hohen Oberflächen- und Bauteilqualität für quasi-statische oder niederzyklische Anwendungen verwendet. Das Warmkammer-Druckgießverfahren spielt dabei aufgrund seiner kurzen Zykluszeiten und hohen Produktivität eine wichtige Rolle. Allerdings werden Zink-Druckgusslegierungen aufgrund



**Abb. 7:** Oberflächenqualität des Hohlkanals in Abhängigkeit von der verwendeten AlSi-Druckgusslegierung und des injizierten Gasdrucks



**Abb. 8:** Neuentwickeltes MAGIT-Powermodul zur Bereitstellung der Versorgungsmedien, Prozesssteuerung und -regelung sowie Prozessdatenerfassung und -visualisierung



**Abb. 9:** Optimiertes Druckgussbauteil abgegossen in einer hochfesten Aluminium-Recyclinglegierung [2]

fehlender Kennwerte und Bemessungsmethoden für die Beschreibung des zyklischen Werkstoffverhaltens selten für zyklisch hochbelastete Bauteile eingesetzt. Ziel des Projektes „Analyse des quasi-statischen und zyklischen Werkstoffverhaltens von modernen Zinkdruckgusslegierungen zur Feststellung der Werkstoffeignung für zyklisch beanspruchte Bauteile unter Berücksichtigung spannungsmechanischer, technologischer und statistischer Größeneinflüsse (AIF/IGF Vorhaben Nr.: 21900N)“ ist die Beschreibung des zyklischen Werkstoffverhaltens der Zink-Druckgusslegierungen Z400, Z410 und Z430 sowie der aluminiumreicheren Legierungen ZEP1510 durch spannungs- und dehnungsgeregelte Schwingfestigkeitsversuche unter Berücksichtigung von geometrischen, statistischen und technologischen Größeneinflüssen

**Abb. 10:** (links) Servohydraulische Schwingprüfanlage Fa. Dyna-Mess; (rechts) Probengeometrie für ungekerbte und mild gekerbte Flachproben

sowie der Werkstoffalterung. Um eine Grundlage zur Abschätzung des Bauteilverhaltens unter zyklischer Beanspruchung zu schaffen, wurde das zyklische Werkstoffverhalten für verschiedene Zinklegierungen ermittelt und mit der lokalen Mikrostruktur abgeglichen. Den größten Einfluss auf die Schwingfestigkeit scheinen durch den Druckgießprozess induzierte oberflächennahe Fehlstellen zu haben; diese entstehen vor allem bei niedrigeren Werkzeugtemperaturen.

Für die Untersuchungen wurden endkonturnahe Flachproben (Abb. 10) mit unterschiedlichen Gefügestrukturen unter Variation der Wandstärke, Werkzeugtemperatur und Schnittgeschwindigkeit abgegossen. Das zyklische Werkstoffverhalten wurde anhand spannungs-

geregelter Schwingfestigkeitsversuche ermittelt.

Die Ergebnisse der zyklischen Materialuntersuchungen in Abhängigkeit der Wandstärke, der Werkzeugtemperatur und der Schnittgeschwindigkeit sind in Abb. 11 dargestellt.

Die Darstellung der Schwingfestigkeit über der Wandstärke der Proben verdeutlicht, dass die Werte der ertragbaren Spannungsamplitude der Proben mit  $t = 0,8 \text{ mm}$  über einen deutlich größeren Bereich verteilt sind als bei Proben mit  $t = 3 \text{ mm}$ . Der Unterschied zwischen der höchsten und niedrigsten ertragbaren Spannungsamplitude beträgt 37 %. Ansonsten scheint die Wandstärke keinen signifikanten Effekt auf die Schwingfestigkeit zu haben.



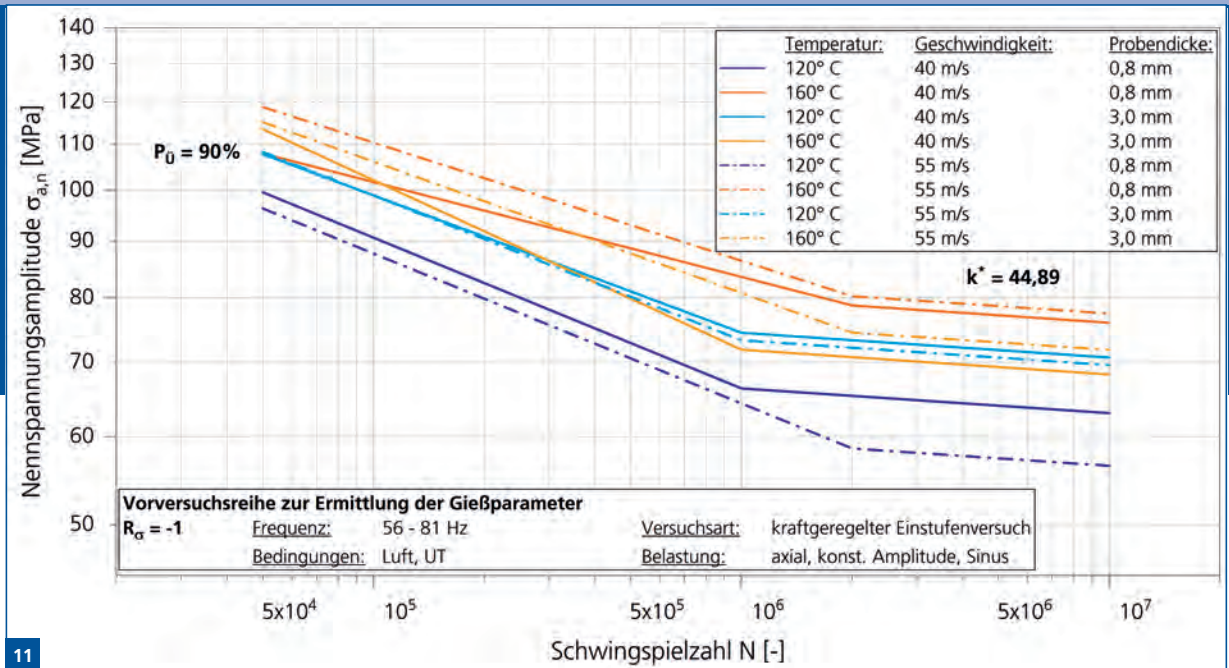


Abb. 11: Wöhlerlinien für eine Überlebenswahrscheinlichkeit von  $P\ddot{U} = 90\%$ .

Für die Variation der Werkzeugtemperatur lässt sich eine Zunahme der ertragbaren Spannung beobachten. Dieser Effekt ist allerdings nur bei Proben mit einer Wandstärke von  $t = 0,8$  mm ausgeprägt. Die An schnittgeschwindigkeit scheint keinen signifikanten Effekt auf die Schwingfestigkeit zu haben. Auch die Ergebnisse der metallographischen Untersuchungen bestätigen die Annahme, dass das Versagen der Proben unter zyklischer Belastung hauptsächlich durch oberflächennahe Gussfehler eingeleitet wird.

Das IGF-Vorhaben 21900N wird unter der Leitung des Fraunhofer LBF, zusammen mit der Hochschule Aalen, dem Lehrstuhl und Institut für Werkstoffanwendungen im Maschinenbau (IWM) der RWTH Aachen University, Legierungs- und Maschinenherstellern sowie Gießereien und Anwendern durchgeführt.

### ZiBe3: Einfluss des Wasserstoff-Eintrags auf die galvanische Beschichtbarkeit von Zinkdruckguss

Über 50 % der im Druckgießverfahren hergestellten Zinkbauteile werden galvanisch beschichtet. Die Beschichtung dient je nach Art als Korrosionsschutz oder als dekorative Oberfläche. Der Ausschuss durch unbrauchbaren, galvanisierten Zinkdruckguss kann bis zu 50 % betragen und tritt erst am Ende einer langen Wertschöpfungskette in Erscheinung.

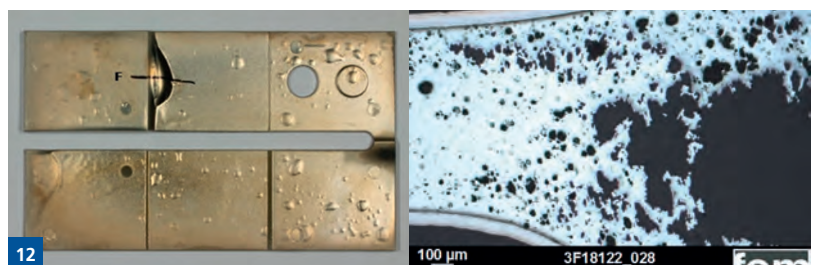
Eine wesentliche Erkenntnis aus dem Vorhaben ZiBe1 (AiF/IGF-Vorhaben-Nr. 19483 N) war überraschenderweise, dass Wasserstoff für eine Vielzahl von Problemen bei der Beschichtung von Zinkdruckgusserzeugnissen verantwortlich gemacht werden kann. Dabei konnte gezeigt werden, dass insbesondere das Eindringen von Wasserstoff

während der Vorbehandlungs- und Beschichtungsprozesse Ursache für die Blasenbildung von galvanisiertem Zinkdruckguss sein kann (Abb. 12). Dabei deuten sich Unterschiede in Abhängigkeit von der Gusshaut-Struktur und deren Zusammensetzung an.

Die systematische Untersuchung der Rolle des Wasserstoffs, die bisher nicht im Fokus der F&E-Aktivitäten stand, wird im Rahmen des Folgeprojektes ZiBe3 „Einfluss des Wasserstoff-Eintrags auf die galvanische Beschichtbarkeit von Zinkdruckguss und Entwicklung von Maßnahmen zur Vermeidung“ (AiF/IGF-Vorhaben-Nr. 22574 N/2) zusammen mit dem Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie (fem) untersucht.

Bislang ist die Löslichkeit und Speicherung von Wasserstoff in

Abb. 12: Übersichtsaufnahme und Querschliff einer beschichteten Probe (Trennmittel 1, gealtert, Kunststoff-gestrahlt, cyanidischer Kupferelektrolyt), Schliffebene mit "F" gekennzeichnet







**Abb. 13:** (links) Heißgaßextraktions-Messgerät; (rechts) Versuchsproben zur Bestimmung des diffusibelen Wasserstoffanteils an jeder Reinigungs- und Beschichtungsfolge

Zinkdruckgusslegierungen kaum erforscht. Da gängige Zinkdruckgusslegierungen einen erheblichen Anteil an Legierungselementen aufweisen können, ist dort von einer gewissen Wasserstofflöslichkeit in Abhängigkeit von den Legierungselementen auszugehen.

Anhand von ersten Heißgaßextraktionsanalysen (Abb. 13) konnte bereits nachgewiesen werden, dass der Anteil an Wasserstoff, der in einer Probe gespeichert werden kann, in Abhängigkeit vom Fließweg der Schmelze deutlich ansteigt. Vor allem in den angussfernen Bereichen einer Probe

steigt der gemessene Wasserstoffaustritt an, was vermutlich auf eine höhere Wahrscheinlichkeit an Gussfehlern zurückzuführen ist.

Aus diesen Ergebnissen sollen am Ende Prozessempfehlungen abgeleitet werden, die dem Hersteller von Druckgussteilen die Herstellung von Bauteilen ermöglicht, die „unempfindlich“ gegenüber der Wasserstoffaufnahme sind und damit besser beschichtbar sind.

Das IGF-Vorhaben 22574 N/2 wird über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Indust-

riellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert und vom Projektbegleitenden Ausschuss durch Sach- und Beratungsleistungen unterstützt.

#### Literatur

- [1] RECYCLING magazin – Trends, Analysen, Meinungen und Fakten zur Kreislaufwirtschaft 02/2022
- [2] DLR, Vortrag Dr. Beeh, Euroguss 2024



**BEHRINGER**

FÜR MASCHINENBAU UND INDUSTRIE

**Gussteile aus Grauguss (EN-GJL)  
und Sphäroguss (EN-GJS)**



BEHRINGER GmbH | Maschinenfabrik & Eisengießerei | Industriestraße 23 | 74912 Kirchartd

[www.behringer.net](http://www.behringer.net)

## RUDOLF UHLEN GmbH

Arbeitsschutzartikel für Gießereien

Am Höfgen 13 - 42781 Haan  
[www.aschua-uhlen.de](http://www.aschua-uhlen.de)

Tel.: 02129-1444  
[info@aschua-uhlen.de](mailto:info@aschua-uhlen.de)



Die Rudolf Uhlen GmbH ist ein Hersteller von Persönlicher Schutzausrüstung (PSA). Besonders für Gießereien und die Stahlindustrie bieten wir spezielle Lösungen im Bereich des Hitzeschutzes an, zum Beispiel:

- Helmhalterungen
- Bochumer Brillen
- Drahtschirme
- PC-Schutzscheiben
- Goldbedampfte Scheiben
- Klappbrillen am Helm



# Formsandaufbereitung nach Maß

Eirich ist ihr Experte für Maschinen und Anlagen zur Aufbereitung von Formstoffen und arbeitet seit Jahrzehnten mit den besten Gießereien, Formanlagenherstellern und Forschungseinrichtungen zusammen.

Eirich-Aufbereitungsanlagen gewährleisten eine hohe Energieeffizienz, schonen Ressourcen und optimieren Prozesse bis hin zur autonomen Formstoffaufbereitung. Viele, weltweit installierten Sandaufbereitungsanlagen für Grau-, Stahl- und NE-Guss versorgen Formanlagen aller bedeutenden Hersteller und sind Benchmark in Qualität, Durchsatz und Wirtschaftlichkeit.

Das EVACTHERM®-Verfahren stellt trotz schwankender Bedingungen

eine konstante, reproduzierbare Formstoffqualität sicher. Hierbei findet Homogenisierung, Kühlung und Aktivierung in nur einem Mischer statt.

Für mehr Ressourceneffizienz und Umweltschutz wurde auch ein modulares Formstoffprüfgerät mit intelligenten Steuerungsmöglichkeiten entwickelt. Die Möglichkeiten reichen von der einfachen Qualitätseinstufung bis hin zum präventiven Formstoffmanagement, das automatisierte Prozesse ermöglicht. Auf der GIFA 2023 stellt Eirich besonders die Nachhaltigkeit und Effizienz seiner Lösungen in den Mittelpunkt der modernen und digitalen Ausstellung. Fachbesucher können in Düsseldorf

die Eirich-Welt entdecken und erleben. Zudem kann das erweiterte Formstoffprüfgerät QualiMaster AT1 live am Stand besichtigt werden.

## Autoren:

**Maria-Luise Liepe,**  
**Maximilian Dunkel**

## Kontakt

**Maschinenfabrik Gustav Eirich GmbH & Co KG**  
Walldürner Str. 50  
74736 Hardheim  
Tel.: +49 (0)6283 510  
sales@eirich.de  
[www.eirich.de](http://www.eirich.de)

## Eirich QualiMaster AT1



## Schritt für Schritt zur idealen Formstoffqualität

Die neueste Generation des führenden Inline-Qualitätssystems.

Verdichtbarkeit, Scherfestigkeit, Verformbarkeit, Springback, Gasdurchlässigkeit, Temperatur – Die wichtigsten Kennzahlen für eine gesteigerte Gussteilqualität und automatisierte Prozesse.





**Prof. Dr.-Ing. Babette Tonn**  
Professorin für Gießereitechnik

Gießereitechnik an der TU Clausthal  
Institut für Metallurgie

**Autoren:**

M.Sc. Felix Mori  
M.Sc. Vanessa Glück Nardi  
M.Sc. Patrick Lachart  
M.Sc. Sohail Mansoor  
M.Sc. Chukwuemeka Lucky Ihemaguba  
M.Sc. Felix Stieler



Sustainable research in the world of foundry technology. Stay informed about current research topics in the field of foundry technology and follow us on

**LinkedIn**





## Gießereitechnik an der Technischen Universität Clausthal



**Gussbauteile sind qualitativ hochwertig, lokal in ihren Eigenschaften auf die Belastungen im Einsatz abgestimmt und erfüllen über ihr anspruchsvolles Design alle Leichtbaukriterien. Darüber hinaus sind sie energie- und materialeffizient hergestellt und vollständig recyclingfähig. Mit diesem Anspruch arbeiten wir kontinuierlich in der Gießereitechnik der Technischen Universität Clausthal.**

Unsere Forschung zeichnet sich durch eine enge interdisziplinäre Zusammenarbeit aus. Gießereingenieure, Materialwissenschaftler, Physiker und Maschinenbauer arbeiten gemeinsam an Lösungen für komplexe Herausforderungen in der Gießereiindustrie, wodurch innovative Ansätze entwickelt werden. Unsere Erkenntnisse und Innovationen werden aktiv in die Industrie übertragen. Durch Partnerschaften mit Unternehmen und die Bereitstellung von Schulungen und Beratungsdiensten trägt die Universität dazu bei, die Wettbewerbsfähigkeit der Gießereiindustrie zu stärken und den technologischen Fortschritt voranzutreiben.

### **Unsere Forschungsthemen ADI für Anwendungen in dickwandigen Bauteilen**

Ausferritisches Gusseisen mit Kugelgraphit (ADI) ist ein moderner Gusswerkstoff mit ausgezeichneten Span-

nungs- und Dehnungseigenschaften. Im Vergleich zu Stahl und Aluminiumlegierungen ist er eine hervorragende Werkstoffalternative für hochbeanspruchte Bauteile, da er Leichtbau und exzellente mechanische Eigenschaften miteinander vereint. Dünnwandige ADI-Bauteile können so wärmebehandelt werden, dass sich vollständig eine ausferritische Matrix einstellt. Bei dickwandigen ADI-Bauteilen gelingt dies jedoch nicht immer. Der Grund dafür ist das begrenzte Prozessfenster der Ausferritisierung und/oder die unzureichende Abschreckrate im Salzbad. Dies führt dazu, dass ADI-Bauteile an ihren oberflächennahen Bereichen ausschließlich Ausferrit und im Inneren Perlitgefüge ausbilden. Daher müssen dickwandige ADI-Bauteile höhere Mengen an teuren Legierungselementen wie Mn, Mo, Cu und Ni enthalten, um eine vollständig ausferritische Matrix zu gewährleisten. Für Bauteile mit vollständig ausferritischem Gefüge und maximal vertretbaren Legierungsgehalten sind verlässliche Aussagen über Werkstoffeigenschaften und Lebensdauer bekannt. Ziel des Projekts war, den Einfluss von Perlit im ADI auf die mechanischen Eigenschaften lokal zu vernetzen, sodass eine Vorhersage bezüglich des lokalen Gefüges und der lokalen mechanischen Kennwerte möglich wird.

Das AiF- Projekt „ADI für dickwandige Bauteile“ konnte nun in Zusammen-

arbeit mit dem Institut für maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit der TU Clausthal und Industriepartnern erfolgreich abgeschlossen werden. Der Abschlussbericht wird in Kompaktform in einer Sommerausgabe der Gießerei 2024 veröffentlicht. Zudem wurden im Zuge des Projektes zwei Veröffentlichungen erstellt, welche sich mit den Beziehungen zwischen Mischgefüge und Festigkeiten beschäftigen [1], sowie mit der Herstellung von Mischgefügeproben im Labormaßstab, ohne Bauteile abgießen zu müssen [2].

### **Steigerung der Leistungsfähigkeit von ADI-Bauteilen**

Das Projekt „All4ADI“ ist ein Gemeinschaftsprojekt in Zusammenarbeit mit dem utg der Technischen Universität München und dem Fraunhofer Institut LBF Darmstadt sowie mehreren

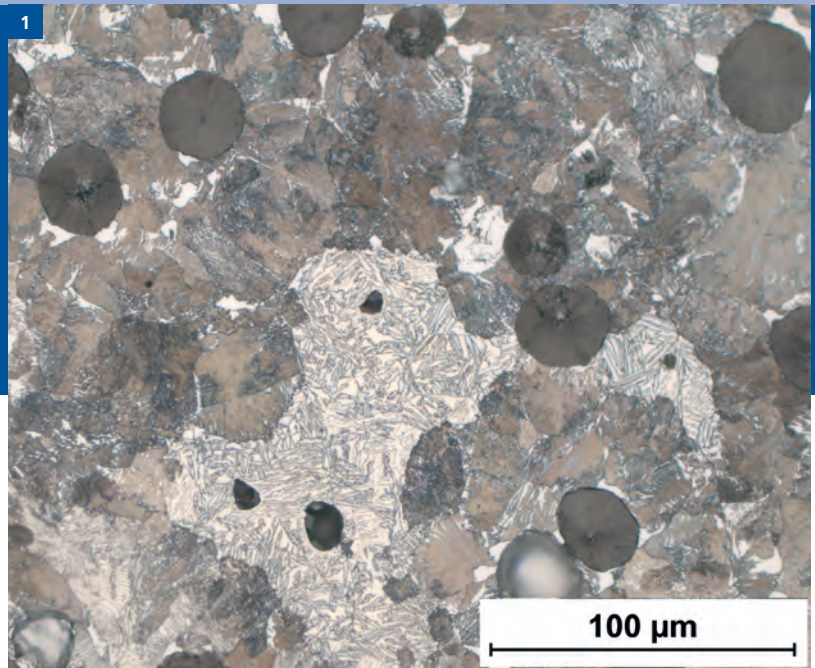
## Kontakt

**Institut für Metallurgie**  
Prof. Dr.-Ing. Babette Tonn  
Robert-Koch-Straße 42  
D-38678 Clausthal-Zellerfeld  
Tel.: +49 (0)5323 722014  
Fax: +49 (0)5323 723527  
Giessereitechnik@tu-clausthal.de  
[www.imet.tu-clausthal.de/abteilungen](http://www.imet.tu-clausthal.de/abteilungen)



**Abb. 1:** GJS mit ausferritischer und perlitischer Matrix, lichtmikroskopische Aufnahme.

Industriepartnern und wird vom BMWK gefördert. Gemeinsam verfolgen wir das Ziel, die Leistungsfähigkeit von ADI-Bauteilen unter Berücksichtigung einer energie- und materialeffizienten Herstellung und damit einer größtmöglichen Ressourcenschonung zu steigern. Hierzu wird ein ganzheitlicher Ansatz gewählt, der den gesamten Herstellungsprozess des ausferritischen Gusseisens beginnend mit der Legierungsauswahl für das Gussteil über den Gieß- und Erstarrungsprozess und die anschließende Wärmebehandlung bis hin zur Bauteillebensdauerbewertung und Simulation berücksichtigt. Die ganzheitliche Betrachtung der Wirkungskette erfolgt in drei Schritten. Zunächst werden im Schritt „Analyse und Modellierung“ unter Einbringung des Erfahrungswissens der industriellen Projektpartner wesentliche Kenngrößen im gesamten Herstellungsprozess ermittelt. Nach der Strukturierung dieses Wissens erfolgt die Überführung in geeignete Modellansätze. Im Schritt „Simulation und Eigenschaftsvorhersage“ werden die ausgewählten Modellansätze zur Verknüpfung von Gießsimulation und mechanischen Eigenschaften verwendet und zur Vorhersage der Gefügeausbildung sowie der Umwandlungskinetik der Eisenmatrix eingesetzt. Damit wird eine fundierte Grundlage geschaffen, um sowohl die Legierungszusammensetzung als auch den

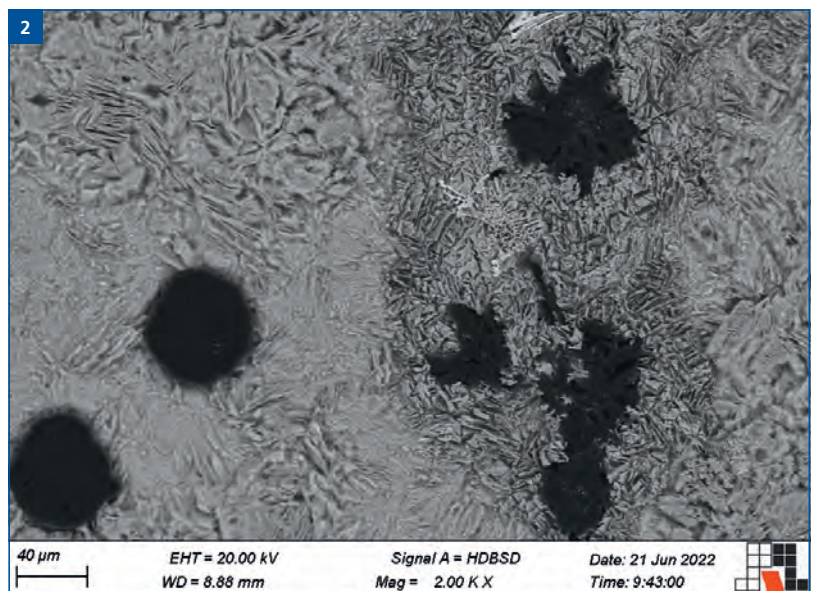


Wärmebehandlungsprozess an die individuellen Anforderungen und Einsatzszenarien anzupassen. Über zu ermittelnde Vertrauensintervalle der Simulationethodik soll festgestellt werden, in welchen Prozessfenstern die Simulation validierte Ergebnisse liefert und wie sich Unsicherheiten während des realen Prozesses auf die Aussagekraft der Simulationsergebnisse auswirken. Im letzten Schritt soll ein „Auslegungskonzept“ für ADI-Bauteile auf Basis lokaler Gefügeeigenschaften bereitgestellt werden, um die hohe Festigkeit der Werkstoffe

für hochbelastete Bauteile optimal nutzen zu können. Damit wird der Konstrukteur in die Lage versetzt, ADI mit Hilfe der Projektergebnisse gezielt für unterschiedliche Anwendungen bei gleichbleibend hoher Qualität einzusetzen.

#### **Untersuchung der dehnungsinduzierten Martensitbildung und Stapelfehlerenergie in ADI zur Nutzung des TRIP-Effekts**

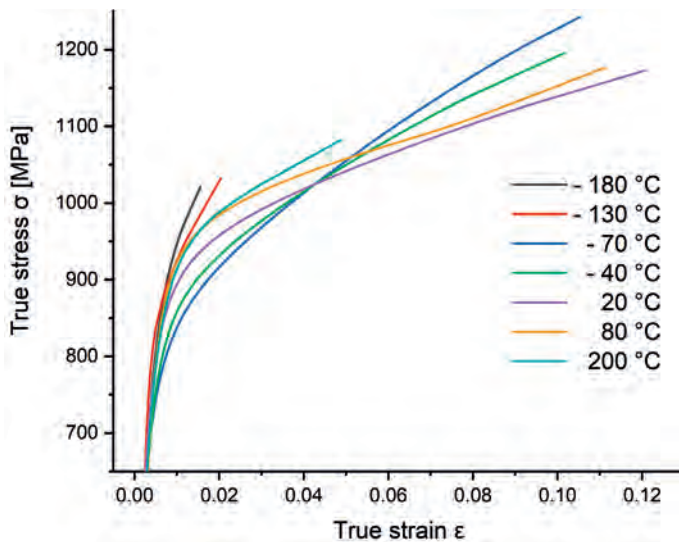
Aus Gusseisen mit Kugelgraphit (GJS) kann durch eine ausferrisierende Wärmebehandlung ADI (*Austempered*



**Abb. 2:** GJS mit ausferritischer und perlitischer Matrix, REM-Aufnahme.



3



**Abb. 3:** Spannungs-Dehnungskurven von ADI bei unterschiedlichen Belastungstemperaturen. Zwischen  $-70\text{ °C}$  und  $20\text{ °C}$  tritt dehnungsinduzierte Martensitbildung mit Steigerung der Bruchdehnung (TRIP) auf [3].

Ductile Iron) mit Zugfestigkeiten von bis zu 1400 MPa und Bruchdehnungen bis zu 10 % erzeugt werden. Dieser Werkstoff besteht vornehmlich aus Ferritnadeln und stabilisiertem Austenit. Durch gezielte Einstellung der Stabilität des Austenits ist dieser unter externer mechanischer Spannung zur Martensitbildung fähig. Die Spannung wird dadurch abgebaut und das Gefüge zudem für anschließende weitere Verformung verfestigt. Dieser als umwandlungsinduzierte Plastifizierung (TRIP – transformation induced plasticity) bezeichnete und in speziellen Stählen angewandte Vorgang erlaubt durch große Steigerung der Dehnung und Verfestigung eine bessere Ausnutzung von Bauteilquerschnitten. Eine exakte Einstellung des Verformungsverhaltens von ADI zur Nutzung des TRIP-Effekts birgt das Potential für die Ausweitung der Anwendungsbereiche von ADI-Bauteilen, beispielsweise im Automobilbereich. In einem Forschungsprojekt haben wir die Wärmebehandlungsparameter bei Austenitisierung und Ausferritisierung variiert und die Proben bei unterschiedlichen Temperaturen geprüft. Ziel ist die Erzeugung maximaler Austenitgehalte, die durch die gezielte Einstellung definierter thermodynamischer Stabilität während mechanischer Belastung dehnungsinduziert in Martensit umwandeln.

Der Zustand des Austenits wurde durch mechanische Prüfung und

Röntgendiffraktometrie charakterisiert. Dabei konnten wir erstmals die Stapelfehlerenergie von Austenit in ADI messen und mit der dehnungsinduzierten Martensitbildung verknüpfen. Die Stapelfehlerenergie übt in TRIP- und TWIP-Stählen einen großen Einfluss auf das Verformungsverhalten aus. Für den untersuchten ADI (3,4 %C; 2,5 %Si; 0,2 %Mn, Austenitisierung bei  $875\text{ °C}$ , Ausferritisierung bei  $375\text{ °C}$  für 90 Minuten) konnten wir dabei zeigen, dass zwischen  $-70\text{ °C}$  und  $20\text{ °C}$  die Duktilität stark erhöht ist und eine deutliche Verfestigung auftritt. Dies lässt sich an den entsprechenden Spannungs-Dehnungskurven ablesen, die schon bei niedrigeren Spannungen in eine plastische Verformung übergehen, jedoch höhere Bruchfestigkeiten erreichen als die Kurve bei Raum- oder noch höheren Temperaturen. Bei diesen Temperaturen wandelt zudem viel Austenit dehnungsinduziert in Martensit um, und zudem ist die Stapelfehlerenergie erniedrigt.

Ausführlich sind die Untersuchungsergebnisse in einer Veröffentlichung im International Journal of Metalcasting [3] dargestellt. Aufbauend auf den bereits erzielten Ergebnissen wird von uns nun der kombinierte Einfluss von Legierungselementen und Wärmebehandlungsparametern in einem statistischen Versuchsplan weiter untersucht.

### Objektive Quantifizierung von Graphitentartungen in Gusseisen mit Kugelgraphit und deren Auswirkungen auf die mechanischen Eigenschaften

Graphitentartungen, wie z.B. Chunkygraphit, gehören aufgrund des komplexen Zusammenwirkens von chemischer Zusammensetzung, Impfzustand sowie Temperaturhaushalt zu den noch nicht vollständig verstandenen Phasenmorphologien in Gusseisen mit Kugelgraphit (GJS). Gemeinsam mit Projektpartnern aus Industrie und Forschung ist die Abteilung Gießereitechnik am IMET bestrebt, erweiterte Analysemethoden für Graphitentartungen zu entwickeln, deren Entstehung aufzuklären und den Einfluss auf die resultierenden mechanischen Eigenschaften zu beschreiben.

Zur erweiterten morphologischen Beschreibung entarteter Graphitpartikel im Schlibbild werden mathematisch-statistische Ansätze zuzüglich zu den bestehenden Klassifizierungen in Form I bis VI verfolgt. Mit der Abteilung für Statistik und Datenanalyse der Universität Bielefeld arbeitet das IMET daran, die automatisierte Graphitanalyse von Graphitentartungen im Schlibbild über Regressionsalgorithmen zu ermöglichen. Dabei sollen erfolgversprechende erste Ergebnisse zum Projekt bereits in Kürze veröffentlicht werden. Im 2023 abgeschlossenen AiF-Projekt „Graphitentartung“ wurde der Einfluss spezifischer Anteile an Chunky- und interzellularem Graphit auf die resultierenden quasi-statischen sowie zyklischen

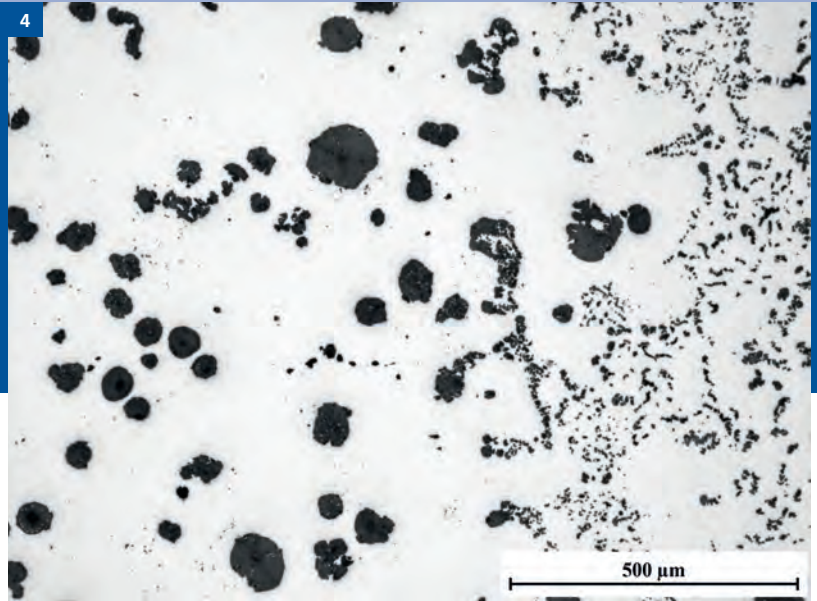
**Abb. 4:** Chunkygraphit in GJS, lichtmikroskopische Aufnahme.

lischen mechanischen Eigenschaften von GJS untersucht. Die Ergebnisse des Projektes wurden in zwei wissenschaftlichen Beiträgen in der GIESSEREI [4] und [5] veröffentlicht. Zudem kann der Abschlussbericht des Projekts beim BDG angefordert werden.

#### **Künstliche Intelligenz für qualitätsgerechte und ressourceneffiziente Bauteilherstellung**

Seit Oktober 2023 verfolgt das IMET im ZIM-Projekt KIGUSS in Zusammenarbeit mit Partnern aus Industrie und Forschung die Implementierung der Künstlichen Intelligenz (KI) zur Vorhersage schwer zu erhebender Daten (z.B. mechanische Kennwerte) von unterschiedlich komplexen GJS-Bauteilen. Dabei wird die KI mittels Trainingsätzen aus großen Datenbanken von Forschung und Industrie angelernt und die Vorhersage durch Demonstrationsdatensätze im späteren Verlauf validiert. Die Datenbank wird aus Datensätzen der chemischen Zusammensetzung, metallographischen Schliffbildern, Temperaturkurven während der Erstarrung und Abkühlung sowie mechanischen Kennwerten der GJS-Legierungen aufgebaut. Ziel ist es, verbesserte Kenntnisse über eine optimale Kombination von chemischer Zusammensetzung und Prozessparametern für die qualitätsgerechte sowie ressourceneffiziente Bauteilherstellung zu gewinnen.

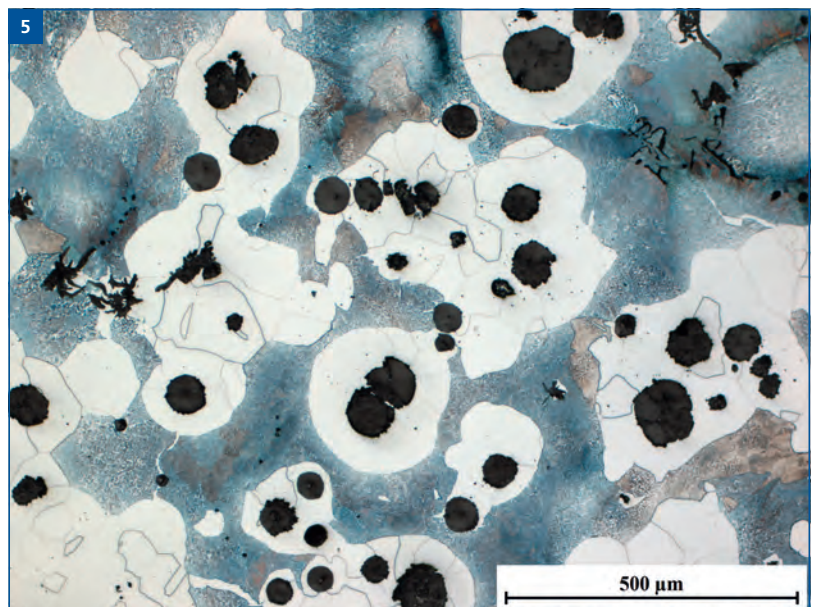
**Abb. 5:** Spikygraphit in GJS, lichtmikroskopische Aufnahme



#### **Entwicklung von zusammensetzungstolerantem mischkristallverfestigtem ferritischem Sphäroguss (SSFDI) mittels Design of Experiments (DoE)**

Mischkristallverfestigter ferritischer Sphäroguss (im Folgenden als SSFDI bezeichnet) ist weithin bekannt für seine hervorragende Kombination aus Festigkeit und Duktilität, die durch den mischkristallverfestigenden Effekt von Silizium in der duktilen ferritischen Matrix erreicht wird. Die mischkristallverfestigende Wirkung von Silizium ist jedoch auf eine Zugabemenge von 4,3 Gew.-% beschränkt, bei deren Überschreitung eine Matrix-

versprödung zu einem drastischen Rückgang der mechanischen Eigenschaften führt. Daher ist es zwingend erforderlich, die mischkristallverfestigende Wirkung anderer vielversprechender Legierungselemente zu untersuchen, die den hohen Siliziumgehalt in diesen Sorten teilweise ersetzen könnten. In einem ZIM-geförderten Projekt mit dem Industriepartner Jürgens Gießerei GmbH & Co. KG wurden experimentelle Untersuchungen zur Analyse des Einflusses von Si, Ni und Cu auf die mikrostrukturellen und mechanischen Eigenschaften durchgeführt, um einen Werkstoff zu entwickeln,





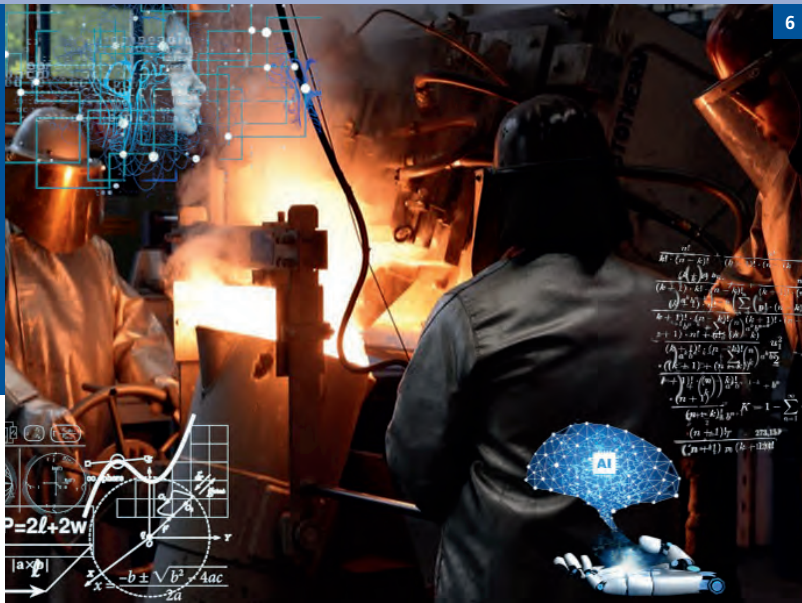


Abb. 6: Künstliche Intelligenz für eine ressourceneffiziente und qualitätsge- rechte Bauteilherstellung.

dessen Eigenschaften einem EN-GJS-500-14 entsprechen, jedoch bei geringerem Siliziumgehalt. Gemäß der chemischen Zusammensetzung der oben erwähnten genormten SSFDI-Sorte ist ein Siliziumgehalt von 3,8 Gew.-% erforderlich, um die entsprechenden mechanischen Eigenschaften zu erreichen. In dieser Forschungsarbeit wurde ein Ansatz zur teilweisen Substitution angewandt, um den hohen Siliziumgehalt durch andere Legierungselemente mittels statistischer Versuchsplanung teilweise zu ersetzen. Die statistische Analyse hat ergeben, dass der hohe Siliziumgehalt erfolgreich durch die

kontrollierte Zugabe von Nickel und Kupfer teilweise ersetzt werden kann, um die gewünschten Eigenschaften zu erreichen (wie im beigefügten Sweet-Spot-Diagramm dargestellt, wobei der Grün ausgefüllte Bereich den optimalen Bereich darstellt). Diese Ergebnisse bergen ein enormes Potenzial für die Gießereiindustrie, die mit den Problemen der Materialversprödung aufgrund des hohen Siliziumgehalts konfrontiert ist.

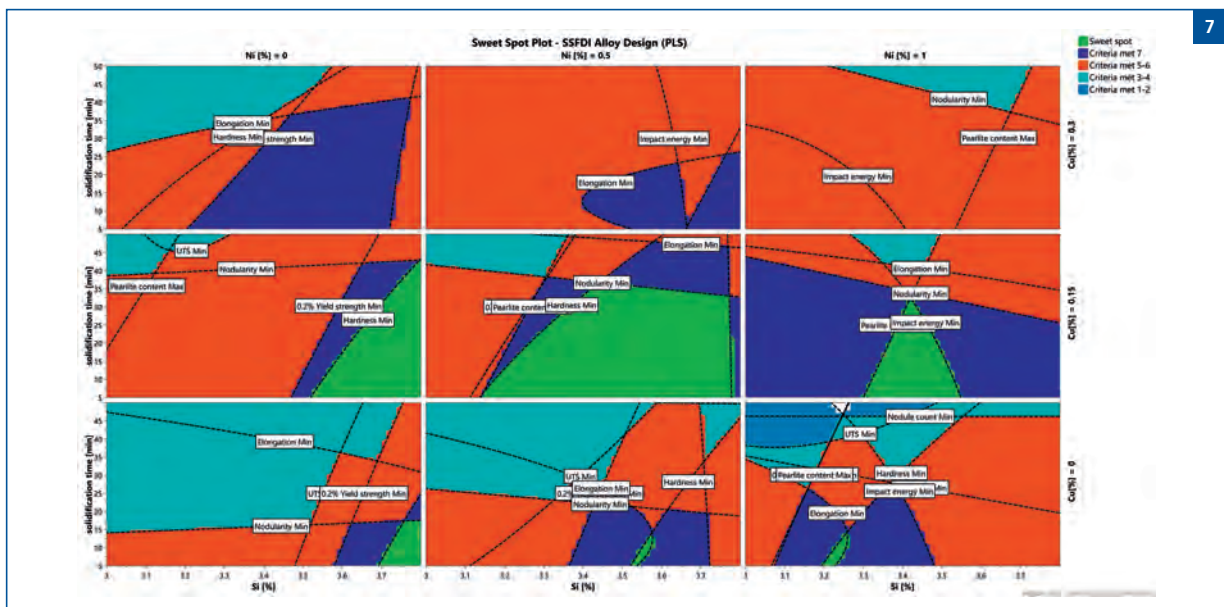
**Al-Cu basierte Hybridwerkstoffe mittels Verbundguss**

Komponenten mit verbesserten Eigenschaften sind entscheidend,

um technologischen und industriellen Fortschritt zu erzielen. Die Kombination verschiedener Metalle mit unterschiedlichen chemischen, physikalischen und mechanischen Eigenschaften ist der Schlüssel zur Erreichung verbesserter Hybridkomponenten, die Anforderungen erfüllen, die mit einer einzigen Legierung nicht erreicht werden können. Dadurch können teure Materialien eingespart und das Gewicht von Bauteilen reduziert werden.

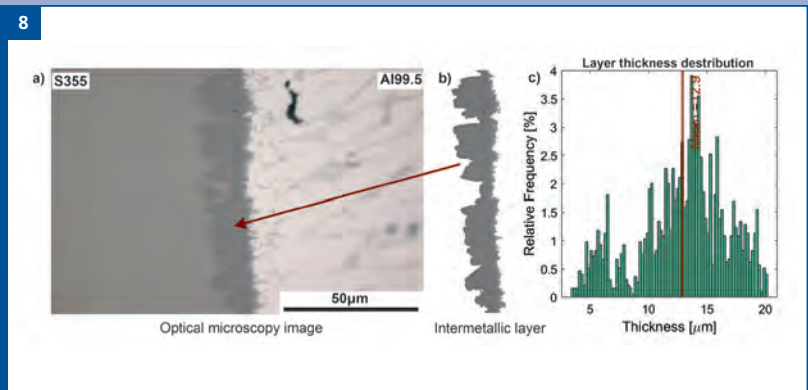
Der Verbundguss ist ein geeigneter Prozess, um zwei oder mehr Metalle

Abb. 7: Design of Experiments für eine optimierte chemische Zusammensetzung von GJS





**Abb. 8:** Beschreibung der intermetallischen Schicht, die beim Verbundgießen eines Aluminium/Stahl-Hybrids entsteht: a) Verbundguss Al und Fe, roter Pfeil kennzeichnet die intermetallische Schicht, b) extrahierte intermetallische Schicht und c) die grafische Darstellung der Dicke der intermetallischen Schicht.



in einem Bauteil oder einem Halbfertigprodukt zu kombinieren. Der Prozess besteht im Grunde darin, eine Legierung über ein festes Metall zu gießen. Die Herausforderung bei der Herstellung solcher Komponenten liegt darin, eine solide Verbindung zwischen den Metallen zu erreichen. Bei hohen Temperaturen treten an der Kontaktstelle Auflösung, Diffusion und Reaktion auf, und es können sich intermetallische Verbindungsschichten bilden. Diese Schichten sind in der Regel sehr spröde im Vergleich zu den Basismetallen und ändern auch lokale Eigenschaften an der Schnittstelle, wie z.B. die thermische Leitfähigkeit. Daher ist das Verständnis und die Kontrolle ihrer Bildungs- und Wachstumsmechanismen entscheidend für die Entwicklung neuer Hybridkomponenten. Unter den Parametern, die die Bildungs- und Wachstumsmechanismen der Grenzschicht beeinflussen, wird die Temperatur an der Kontaktstelle hervorgehoben, die durch Anpassungen im Verbundgussprozess gesteuert werden kann. Daher wurden zur Untersuchung der Auswirkungen der Temperatur und zum Verständnis der Bildungs- und Wachstumsmechanismen der intermetallischen Schichten zwischen Messing und Aluminium Fest-Flüssig-Interdiffusionsexperimente im Labormaßstab durchgeführt. Die resultierende Schnittstelle wird mit Hilfe von Metallographie, Rasterelektronenmikroskopie (REM) und energiedispersiver Röntgenspektroskopie (EDX) analysiert. Diese Techniken liefern Informationen über die Morphologie, Zusammensetzung und Dicke der an der

Bindungsstelle gebildeten intermetallischen Schichten. Insgesamt besteht die Übergangszone aus zwei unterschiedlichen Bereichen. Ein Bereich ist durch eine planare Reaktionszone gekennzeichnet, die anfänglich aus drei intermetallischen Schichten besteht, und der andere Bereich ist die Al-reiche Zone, die sich durch die Auflösung von Cu und Zn in das Aluminiumschmelzgut entwickelt, was die Mikrostruktur drastisch ändert und eine Region mit komplexen Strukturen erzeugt. Die Analyse zeigt, dass die in den frühen Stadien gebildeten intermetallischen Schichten während des Verbundgussprozesses Phasenumwandlungen durchlaufen können, insbesondere wenn die Abkühlraten an der Schnittstelle niedriger sind, da andere intermetallische Verbindungen bei niedrigeren Temperaturen stabiler sind. Daher wurde der Begriff primäre intermetallische Schichten eingeführt, um die bei höheren Temperaturen früh gebildeten Schichten zu beschreiben, wie in [6] veröffentlicht. Die detaillierte thermodynamisch-kinetische Untersuchung der Schnittstelle zwischen Aluminium und CuZn-Legierung wird in einem laufenden DFG-Projekt untersucht. In Zusammenarbeit mit der Abteilung Festkörperkinetik an der Technischen Universität Clausthal und dem Zentrum für Simulationswissenschaften Clausthal-Göttingen (SWZ) werden die Ergebnisse dieses Projekts direkt zur weiteren Entwicklung des Reaktions-Diffusions-Modells zur Vorhersage der Dicke intermetallischer Schichten zwischen unterschiedlichen Legierungen beitragen.

### Mikromechanische Charakterisierung und Mikrostrukturmodellierung von gegossenen Schichtverbundwerkstoffen aus Aluminium/Stahl-Hybriden

Das seit Januar 2024 laufende DFG-geförderte Projekt wird an unserem Institut in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Umformtechnik und Gießereiwesen der Technischen Universität München durchgeführt. Die steigende Nachfrage nach ressourceneffizienten, hochfesten und leichten Konstruktionen und die damit verbundenen Herausforderungen bei der Verarbeitung solcher Werkstoffe machen die Entwicklung und Erforschung neuer innovativer Werkstoffe mit überlegenen Eigenschaften unumgänglich. Stahl ist bekannt für seine hohe Festigkeit und Zähigkeit und ist das weltweit am häufigsten verwendete Metall, insbesondere im Bauwesen und im Transportwesen. Aluminium hingegen verfügt über besondere Eigenschaften, wie z.B. geringe Dichte (etwa dreimal leichter als Stahl, aber höheres Verhältnis von Festigkeit zu Gewicht), hervorragende Korrosionsbeständigkeit und hohe Wärmeleitfähigkeit.

Durch die Kombination von Aluminium und Stahl können die besonderen Eigenschaften der einzelnen Komponenten genutzt werden, so dass ein einziges Bauteil mit hoher Festigkeit, geringem Gewicht und guter Korrosionsbeständigkeit entsteht. Dies führt zu ressourceneffizienter und nachhaltiger Nutzung. Es hat sich beispielsweise in der Fahrzeugtechnik gezeigt, dass eine Verringerung des

Fahrzeuggewichts (durch teilweisen Ersatz von Stahl) um 10 % zu einer entsprechenden Verbesserung des Kraftstoffverbrauchs um etwa 8 – 10 % führt.

Im Rahmen des Forschungsprojekts wird eine Methodik zur erstmaligen grundlegenden mechanischen Charakterisierung und simulativen Beschreibung der Grenzflächenentwicklung von gießtechnisch hergestellten rotationssymmetrischen Aluminium-Stahl-Werkstoffverbunden entwickelt. Dies ermöglicht eine schnelle, energie- und ressourceneffiziente Herstellung von Verbundgussbauteilen.

Wir verfolgen in der Materialforschung einen kombinierten Ansatz, der sowohl Experimente und eine fortschrittliche Materialcharakterisierung als auch die Modellierung umfasst. Ziel ist es, intermetallische Schichten, die sich beim Verbundguss von Aluminium und Stahl bilden, wissenschaftlich zu untersuchen und zu charakterisieren sowie optimale

Parameter zu ermitteln, um eine maximale Bindung und beste mechanische Eigenschaften bei möglichst kurzer Haltezeit beim Verbundguss zu erreichen. Darüber hinaus entwickeln und validieren wir Modelle zur Vorhersage der Wachstumskinetik dieser Schichten, die dann für andere Komponentensysteme verallgemeinert werden können. Darüber hinaus werden thermodynamische Berechnungen mit CALPHAD durchgeführt, um die experimentellen Ergebnisse zu untermauern und die Stabilität der Phasen zu untersuchen, die sich in der Verbindungszone bei unterschiedlichen Temperaturen und Zusammensetzungen der Legierungen bilden.

#### Literatur

- [1] Lachart, P., Stolz, E., Tonn, B., Masendorf, R., Esderts, A., 03.2023, "Investigation of the microstructure of ADI in thick-walled components and its influence on local mechanical properties.", Darmstadt, Tagungsband InCeight Casting, Fraunhofer Verlag, ISBN 978-3-8396-1892-9
- [2] Lachart, P., Stolz, E., Tonn, B., Masendorf, R., Esderts, A., "Prediction of Cross-Section-Dependent ADI Microstructures by Experimental Heat Treatment Simulation." 01.2024, DOI: 10.1007/s40962-023-01246-9, International Journal of Metalcasting, Springer Verlag, Clausthal-Zellerfeld
- [3] Stieler, F., Tonn, B.: XRD-Analysis of the Relation of Stacking Fault Formation and the TRIP-Effect in ADI. Inter Metalcast (2023). <https://doi.org/10.1007/s40962-023-01221-4>
- [4] Mori, F., Glück Nardi, V., Tonn, B., Einfluss von Antimon auf das Gefüge und die mechanischen Eigenschaften, Giesserei, 02, 2024, p. 50-56.
- [5] Mori, F., Glück Nardi, V., Tonn, B., Einfluss von Cer auf das Gefüge und die mechanischen Eigenschaften, Giesserei, 03, 2024, p. 48-55.
- [6] Glück Nardi, V. et al. „Fast reactive interdiffusion between solid brass and liquid aluminium.“ Results in Materials 20 (2023): 100471.

# Kompetenz aus der Forschung in Gießtechnik und in alternativen Verfahren

Die Indutherm Erwärmungsanlagen GmbH aus der Technologieregion Karlsruhe startete vor 28 Jahren mit der Entwicklung von induktiv beheizten Gießanlagen für den Feinguss und für Strangguss. Das Unternehmen, das heute gemeinsam mit der Schwesterfirma BLUE POWER zur Hofmann Holding gehört, begann schon kurz nach der Gründung sich an nationalen und bald darauf auch an internationalen Forschungsprojekten zu beteiligen, um gießtechnische Verfahren zu verbessern und Anwendungslösungen zu entwickeln.

**Indutherm fokussierte sich schon bald auf Projekte, die sich mit der Frage beschäftigten: wie können Bauteile aus Metall noch schneller, ressourcenschonender und zielgerichteter produziert werden, wie könnten Alternativen zur Gießtechnik funktionieren?**

**Abb. 1:** Das Indutherm F&E-Team



Zu der Zeit, als Indutherm mit der Suche nach alternativen Verfahren begann, also in der ersten Hälfte der 10er Jahre, steckten die Technologien der additiven Fertigung noch in sehr kleinen Kinderschuhen, wurden von vielen als nicht wirtschaftlich einsetzbare und damit nicht ernstzunehmende Visionen belächelt.

Indutherm mit seinem für das Unternehmen typischen Innovationsgeist und Mut glaubte hingegen an eine neue Zukunftschance und befasste sich ernsthaft mit der Thematik, suchte nach Möglichkeiten, die vorhandene Induktionstechnologie für den 3D-Metalldruck nutzbar zu machen. Nein, eine Gießanlage, die ähnlich wie ein heute üblicher 3D-Wachsdruker mit Metalltröpfchen Modelle druckt, kam dabei nicht heraus, war aber tatsächlich ein frühes Denkmodell.

Die Entwicklungsarbeit mündete in der Erkenntnis, dass dem für additive Verfahren benötigten Ausgangsmaterial eine entscheidende Bedeutung zukommt, nämlich dem exakt abgestimmten Metallpulver.

## Vom Forschungsprojekt zu einem kompletten Produktportfolio

Und so startete im Jahr 2014 in einem gemeinsamen Forschungsprojekt mit dem IWT der Universität Bremen die Entwicklung der ersten Verdüsungsanlage für die Herstellung von spezialisiertem, hochreinem Metallpulver, das auch in kleinen Chargen wirtschaftlich produziert werden kann. In der Folge erwies sich dieser Schritt als absolut richtige Entscheidung, denn mittlerweile ist Indutherm mit einer ganzen Modellpalette unterschiedlicher Anlagen für die Metallpulverproduktion erfolgreich auf dem Markt vertreten. Das Angebot reicht vom kompakten Ultraschall-Atomiser über die große Familie der Gasverdüsungsanlagen, die je nach Ausführung Schmelztemperaturen von mehr als 2.100° C erreichen, bis hin zu Windsichter-Anlagen für die präzise Klassierung von Metallpulver nach Partikelgrößen. Das jüngste Projekt ist eine Wasserverdüsungsanlage, mit der anders als bei diesem Prinzip üblich, auch Pulver in nahezu sphärischer Partikelform produziert werden kann.

## Kontakt

**Indutherm**  
**Erwärmungsanlagen GmbH**  
 Brettener Str. 32  
 D-75045 Walzbachtal  
 Tel.: +49 (0)7203 92180  
 info@indutherm.de  
 www.indutherm.de



Auch bei der Weiterentwicklung der Verdüsungstechnologie spielte die Teilnahme an gemeinschaftlichen Forschungsprojekten eine entscheidende Rolle. Indutherm ist im Bereich der Pulvermetallurgie ein mittlerweile sehr gefragter Entwicklungspartner und kann in Kooperationen sowohl die Hardware als auch tiefgehendes Prozess- und Werkstoff-Know-how einbringen. Dabei geht es längst nicht mehr nur um Prozesse der additiven Fertigung: viele Entwicklungsprojekte sind in den Bereichen Energietechnologie (z.B. Wasserstoffproduktion), Klimaschutz oder Medizintechnik angesiedelt, um nur einige zu nennen.

**Bereichsübergreifende  
Beratungskompetenz**

Trotz der umfangreichen Entwicklungsarbeit im Pulverbereich wurde das Segment der Gießtechnik nicht

vernachlässigt. Auch hier gibt es kontinuierliche Weiterentwicklungen und neue Lösungen wie z.B. die jüngst präsentierte Platingießanlage, die nicht nach dem anfälligen Schleudergussverfahren arbeitet, sondern ein Kippprinzip mit ausgeklügelter Überdruckregelung kombiniert. Auch im Bereich der Gießtechnik verfügt Indutherm über umfassendes metallurgisches und prozesstechnisches Knowhow aus zahlreichen gemeinschaftlichen Forschungsprojekten.

Da Indutherm und Blue Power in der Welt der „neuen“ Technologien ebenso zuhause sind wie in der Gießtechnik, sind die beiden Unternehmen prädestiniert, Kunden aus der Gießereibranche hinsichtlich Angebotserweiterungen durch pulverbasierte Verfahren, kompetent zu beraten.



**Abb. 2:** Gas-Verdüsung

**Offen für neue F&E-Projekte**

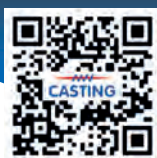
Dr. Jörg Fischer-Bühner, Leiter Forschung und Entwicklung bei Indutherm und Blue Power, erklärt: „Wir sind derzeit in viele verschiedene gemeinsame Forschungsprojekte mit Partnern aus Industrie und Forschung eingebunden, dennoch sind wir immer offen für neue Forschungsprojekte und neue Forschungspartnerschaften.“

**AUS DER FORSCHUNG IN DIE SERIE**

In jeder unserer Gießanlagen, in jeder Anlage zur Pulverproduktion steckt das Knowhow aus über 25 Jahren engagierter Forschungsarbeit. Dadurch können sich unsere Kunden auf hohe Beratungskompetenz, eine große Einsatzbreite und Vielseitigkeit unserer Anlagen, höchste Prozesssicherheit und Nachhaltigkeit verlassen.



*Erfahren Sie mehr  
über unsere Gießanlagen >*



*< Alles über unsere  
Pulverproduktionsanlagen!*

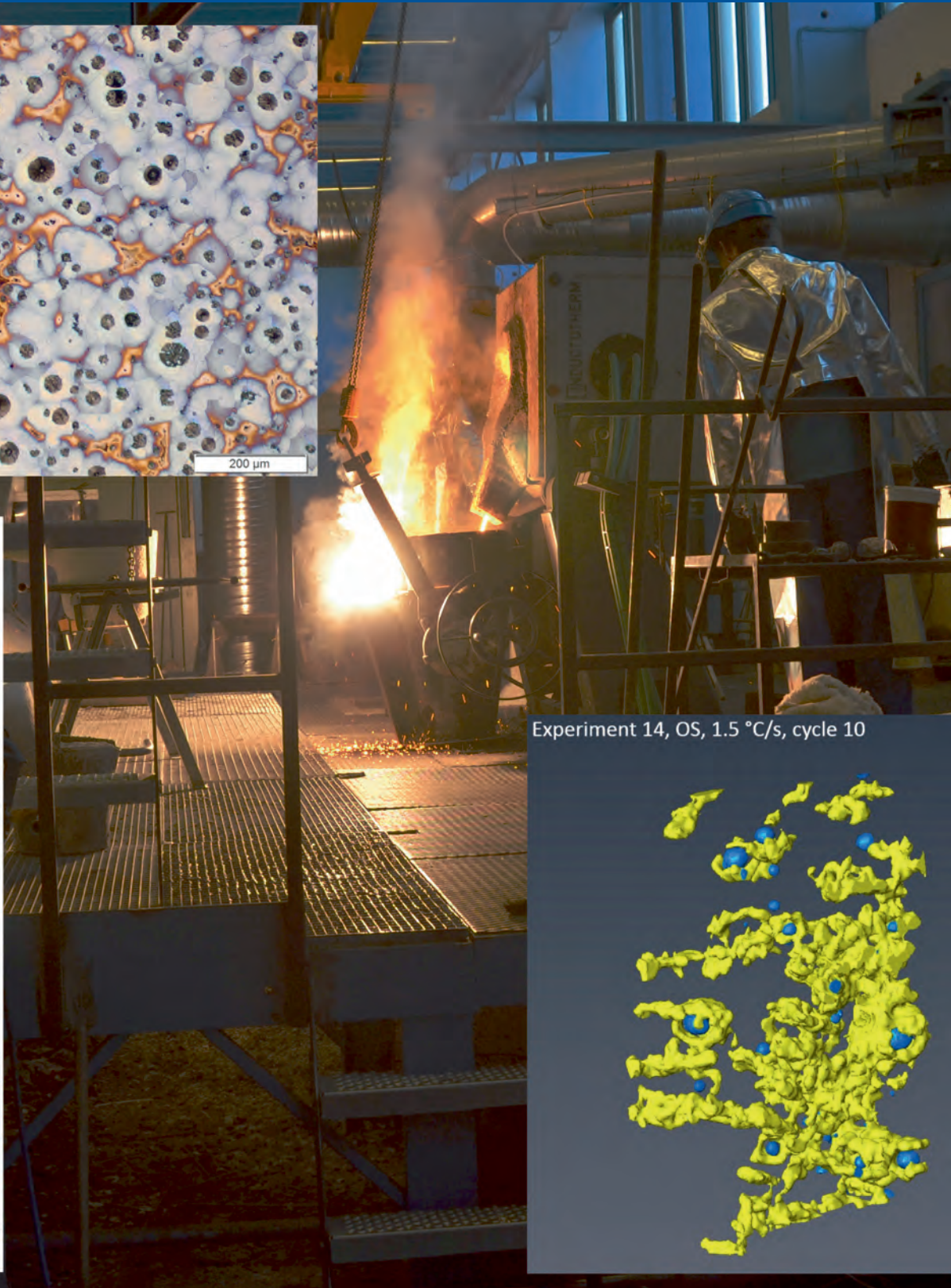
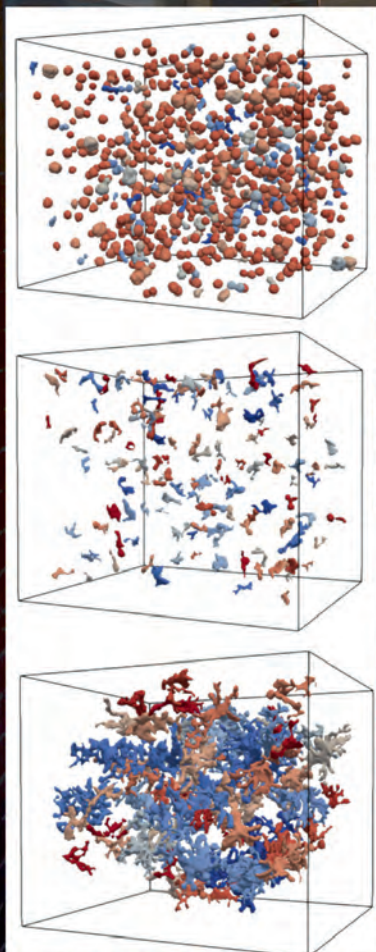
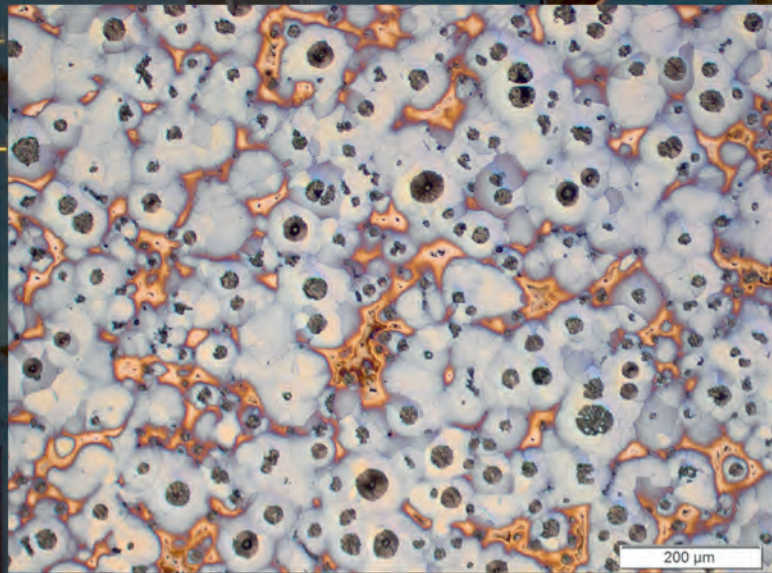




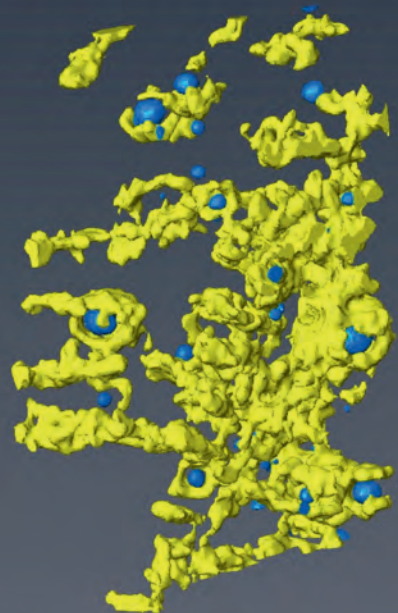


Niels Skat Tiedje  
Associate Professor, Ph.D.  
Technical University of Denmark

**Post Docs:**  
Tito Andriollo  
Chaoling Xu  
Mathias Bjerre  
Kamran Mohaghegh



Experiment 14, OS, 1.5 °C/s, cycle 10





Technical University  
of Denmark

The Technical University of Denmark (DTU) has a long-standing tradition for research and education in foundry technology. We take a multidisciplinary approach to the field of Foundry Technology, combining process studies with metallurgical investigations and modelling of processes and material properties. We use 3D and 4D metrology methods to characterise microstructures in castings and to analyse effects of varying process parameters on the precision of moulds and castings. These methods have proven to be efficient tools to analyse casting processes and to be extremely useful to reveal the inner secrets of materials. In combination with materials- and process modelling tools they give us new, detailed insight into the processes and materials we work with. These investigations are today being used as basis for developing complete through-process models that is the heart of the intelligent solutions in Industry 4.0 digital twins.

#### 4D investigation of solidification

The mechanical properties of cast iron components are largely determined by the microstructure in terms of the size, shape, and distribution of

graphite particles in the matrix. Being able to predict the microstructure at room temperature is an important basis for achieving an optimal component design.

Synchrotron facilities provide X-ray sources with a very high intensity enabling fast imaging of metals and their microstructure. In combination with an environmental cell, this enables in situ imaging of dynamic processes such as solidification or deformation of semi-solid samples shedding light on the basic mechanisms and phenomena of solidification science and provides a strong basis for formulating and validating models in this context.

Such observations provide a unique basis for detailed quantitative studies of spheroidal graphite growth. We can show the effect of the local arrangement of graphite, liquid and austenite on the individual graphite growth patterns and study large ensembles of particles to illuminate both the average and the extreme nodule growth behaviours, see the opening figure.

With the increased use of synchrotron X-rays for in situ experiments on casting-related phenomena we can expect a large improvement in

our understanding which provides a much firmer basis for models and predictions of microstructure formation. [1, 2]

#### Visualisation of the evolution of compact graphite during solidification

Compact graphite iron (CGI) has been known for more than 40 years and is widely used in the automotive industry. It has its use as engineering material due to its outstanding combination of mechanical and thermal properties. Considering that the size and morphology of graphite in CGI play a key role in determining its properties, it is surprising that very little is known about the evolution process of Compact graphite during the course of solidification.

## Research in foundry technology and solidification at the Technical University of Denmark.

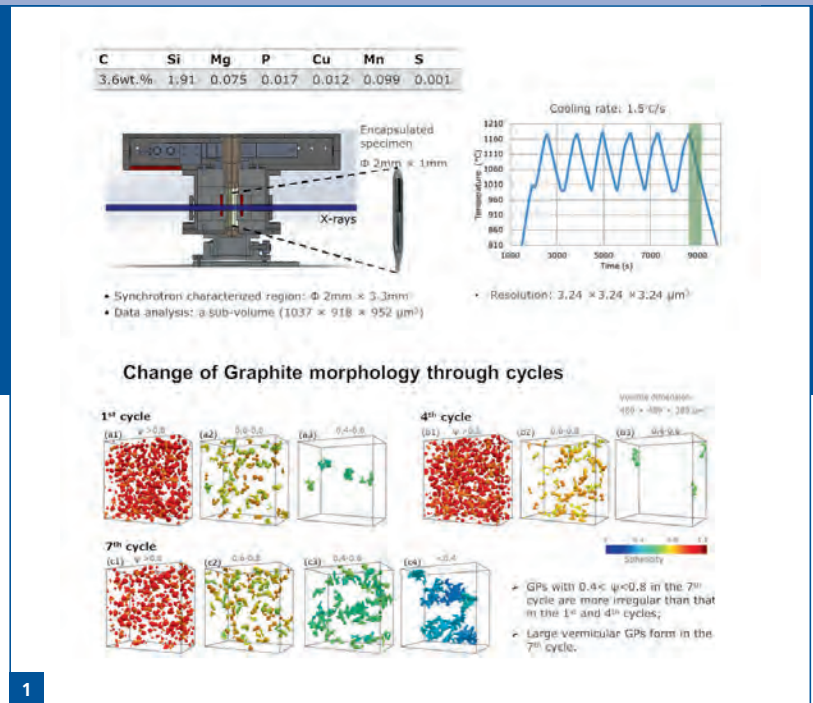
### Kontakt

Technical University of Denmark  
Department of Civil and Mechanical Engineering  
Niels Skat Tiedje, Associate Professor, Ph.D.  
Building 425, room 223  
D-2800 Kgs. Lyngby, Denmark  
Tel.: +45 (0)5141 8785  
nsti@dtu.dk  
www.construct.dtu.dk



**Figure 1:** (top) Experimental setup in synchrotron.[1] (bottom) Final distribution of graphite particles segmented by shape, after cyclic remelting. [3]

Growth of graphite is determined by the rejection of solute elements to the liquid, primarily carbon, at the austenite interface. Therefore, the local variations at these interfaces are expected to play an important role in graphite growth. Previous detailed x-ray analysis on the melted cast iron demonstrated that undissolved graphite or carbon-rich clusters exist and diffuse in the melt. [1] Understanding the nucleation and growth processes of graphite during the course of solidification requires in depth dynamic data at local scale. To study this, we conducted high resolution Synchrotron X-Ray investigations where formation of graphite during solidification was studied in real time can be used to investigate the evolution of graphite particles. [3] In an experiment where, a ductile iron sample was subjected to a series of cyclic solidification experiments with repeated melting and solidification it is possible to see gradual degeneration of graphite. During each solidification cycle, 3D images of graphite were recorded so that it is possible to study graphite growth. From one cycle to the next, we could see gradual fading of the Mg treatment and there was gradual formation of compact graphite (and other degenerate forms of graphite). **Figure 1** shows an example of graphite particles in cycles 1, 4 and 7. It is clear that with continued heating, the shape of graphite particles change. However, more detailed studies of the graphite shows that nucleation is



impeded so that the graphite forms at lower temperature and less graphite particles are able to nucleate in the melt. The austenite, on the other hand, nucleates and grows easily creating channel of carbon rich liquid between the dendrites. It is in this carbon rich liquid that graphite grows, as it is shown in **Figure 2**. Since nucleation is difficult due to fading, the graphite grows from already existing graphite particles. The austenite dendrites makes it difficult for the particles to grow as spheres. The result is that small, near nodular particles form irregular branches that take shape after the interdendritic space.

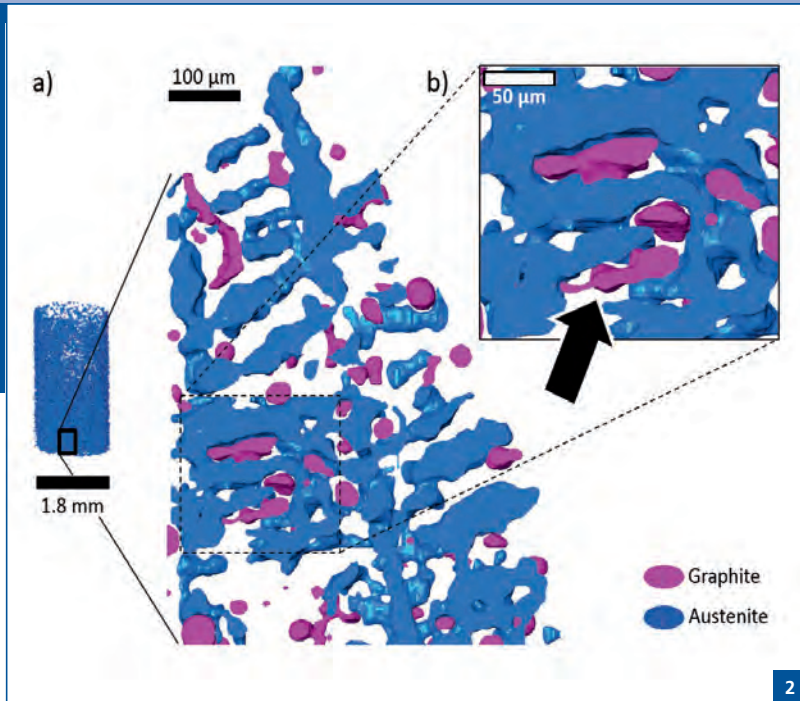
### 3D Experimental and numerical analysis of the graphite-matrix thermo-mechanical interaction during manufacture of ductile iron

It is well known that ductile iron parts may contain residual stresses, which arise due to the presence of constraints that hinder the free thermal contraction of the material during cooling.

A theoretical model was developed where the internal subdivision of

the nodule into conical sectors was reproduced in detail, see **Fig. 3a**. The model was used to estimate the average thermal contraction of the particle during solid-state cooling. It was found that the nodule contraction is likely 3 to 4 times smaller compared to that of the surrounding matrix, hence confirming the existence of a driving force for the formation of local stresses due to the “squeezing” action of the matrix during cooling. [5]

To investigate the existence of residual stresses at the microscale level, the elastic strain in the ferrite matrix surrounding a few nodules lying beneath the surface of a thin sample was measured using a novel 3D X-ray diffraction technique (**Fig. 3b**). The measurements revealed that local stresses up to approximately half the macroscopic yield strength of ductile iron remain in the microstructure after manufacturing. In addition, numerical simulations allowed clarifying that the conical sectors making up the nodules create residual stress concentrations in the matrix, which correspond to the elastic strain fluctuations seen in **Fig. 1b** when the distance from the nodule is less than ≈ 5-6 microns.



**Figure 2:** Segmentation of dendrites and graphite showing how graphite grows between dendrites during solidification. [4]

**Local deformation of ductile cast iron during loading**

The potential of X-ray CT scanning has been enhanced greatly by the advent of Digital Volume Correlation (DVC). DVC allows mapping local strain between two CT scans: one taken before and one taken after mechanical loading. The displacement function is determined by tracking the movement of a characteristic pattern that, for DI, corresponds to the GP distribution. The displacement can be used to derive the strain, meaning that the combination of X-ray CT and DVC provides access to local micro-mechanical information relating to the type of loading/deformation the material is subjected to (see Figure 4). The possibility to couple X-ray CT and DVC with post-mortem metallographic examinations was explored, and used to reveal the connection between the plastic shear bands forming during tensile loading and the complex morphology of the first-to-solidify regions [6].

The displacement and strain fields reconstructed with DVC can be used to validate the models at the level of the microstructure, which is highly

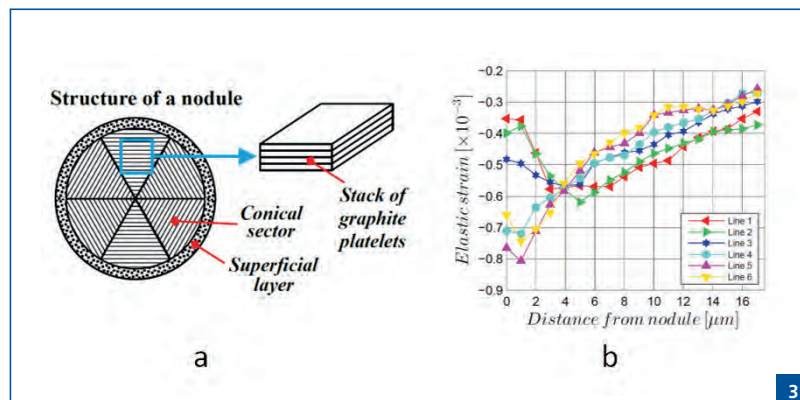
valuable since the X-ray CT data allows setting up models where the real microstructure can be fully resolved. These two facts mean that it is possible to setup numerical models with superior accuracy and predictive power compared to the idealized unit cell models that have traditionally been used to study the micro-mechanics of DI in the past. An example of this is given in Figure 5 where the 3D reconstruction of a fatigue crack that grows by linking the GPs is depicted. The reconstruction, obtained by segmenting the DVC data, was used to setup a finite element model that unveiled a correlation between the local crack growth direction – which controls the crack roughness – and

the predicted micro-mechanical fields developing in between the GPs.

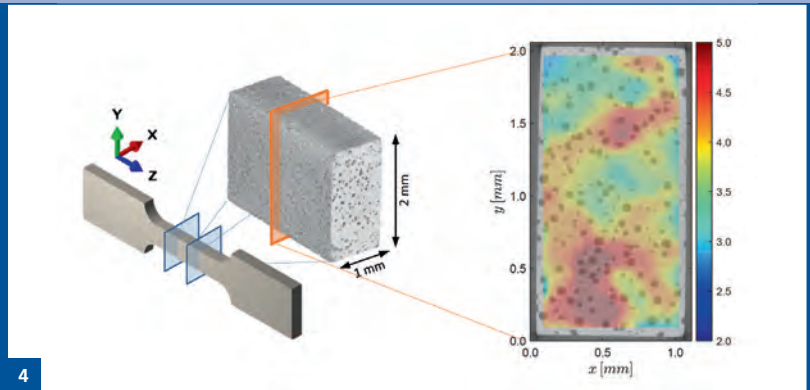
**Design of metal powders for 3D printing – from scrap to resource, REPOWDER**

The introduction of additive manufacturing (AM) in the form of 3D printing for fast net-shape production of metallic components has revolutionized and revitalized metals research during recent years. However, far too little focus has been devoted to the powders, which are the raw material in the printing process; this in spite of its critical importance for the properties and performance of the printed components. Two essential issues that are addressed in the REPOWDER project are:

**Figure 3:** (a) Internal structure of a nodule. (b) Elastic strain measured close to a nodule.



**Figure 4:** Example of combined use of X-ray CT and DVC. Equivalent strain (in %) over the central cross-section of a tensile DI specimen subjected to 4% macroscopic deformation, superimposed onto the CT scan of the microstructure. Adapted from. [7]



4

- AM uses powders designed for conventional processing and not targeted for the fast heating and cooling rates that are inherent to AM. Therefore, the printed parts are prone to cracking, have anisotropic properties depending on print direction and may contain undesired phases.
- The powders for AM are produced from virgin material drawing unnecessarily on our limited natural resources such as metal ores and energy and keeping production costs high.

The project's first aim is to develop new powders with improved perfor-

mance resulting in printed parts with more uniform and predictive properties, less residual stress and lower susceptibility to cracking than the existing ones. Focus will be on optimizing powder specifications; including chemical composition of one of the most commonly used materials: stainless steel, type 316L.

The second main aim is to quantify available stainless steel scrap resources and establish how they can best be made available for AM, including modifying and optimizing their composition. We will use this information to classify available scrap with regard to quality and quantity and document that high quality powders can be made from recycled steel.

For the project, we have built a gas atomising unit that is able to produce laboratory size batches of powders of custom-made alloys. We have also renovated our laboratories and made a new section specially designed for

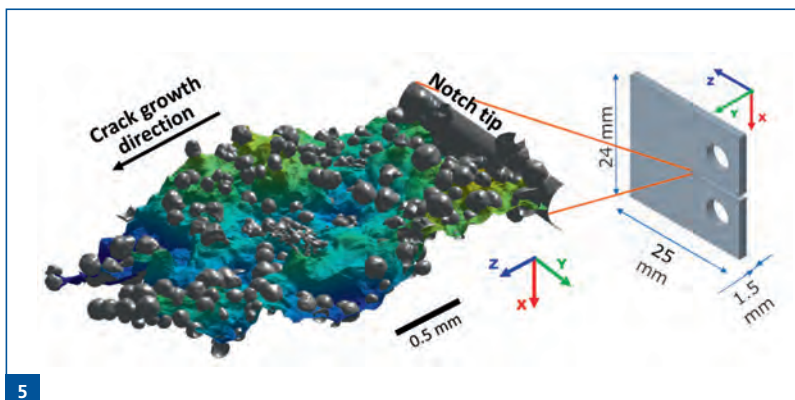
characterisation and handling of metal powders.

Figure 6 shows an example of powder particles and size distribution of 316L stainless steel used in the Laser Powder Bed Fusion process. The figure also shows the gas atomisation process by which the powders are made in our laboratory.

## References

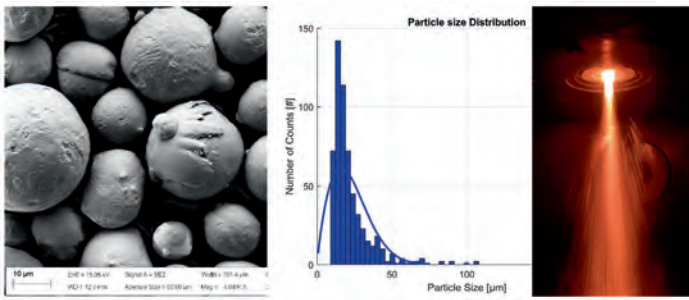
- [1] M.A. Azeem, M.K. Bjerre, R.C. Atwood, N. Tiedje, P.D. Lee, Synchrotron quantification of graphite nodule evolution during the solidification of cast iron, *Acta Mater.* 155 (2018) 393–401. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2018.06.007>.
- [2] T. Andriollo, C. Xu, Y. Zhang, N.S. Tiedje, J. Hattel, Recent trends in X ray based characterization of nodular cast iron, *Mater. Des. Process. Commun.* (2020). <https://doi.org/10.1002/mdp2.212>.
- [3] C. Xu, T. Wigger, M.A. Azeem, T. Andriollo, S. Fæster, S.J. Clark, Z. Gong, R. Atwood, J.-C. Grivel, J.H. Hattel, P.D. Lee, N.S. Tiedje, Unraveling compacted graphite evolution during solidification of cast iron using in-situ synchrotron X-ray tomography, *Carbon* N. Y. 184 (2021) 799–810. <https://doi.org/10.1016/J.CARBON.2021.08.069>.
- [4] N.S. Tiedje, C.L. Xu, T. Andriollo, T. Wigger, M. Azeem, J.H. Hat-

**Figure 5:** DVC-based reconstruction of a fatigue crack that grows by linking the graphite particles (in gray) in a compact tension specimen. The crack color is proportional to the distance from the ideal crack propagation plane that is perpendicular to the X-axis. Adapted from. [8]



5





6

**Figure 6:** (left) Powder particles of 316L stainless steel. (Centre) a size distribution for powders used in the LPBF-process. (right) Gas atomisation of 316L stainless steel in our laboratory gas atomiser.

- tel, P.D. Lee, An in-situ study of formation of compact graphite during solidification of cast iron using X ray tomography and radiography, in: 12th Int. Symp. Sci. Process. Cast Iron, Muroran city in Hokkaido, 2021.
- [5] Y.B. Zhang, T. Andriollo, S. Fæster, R. Barabash, R. Xu, N. Tiedje, J. Thorborg, J. Hattel, D. Juul Jensen, N. Hansen, Microstructure and residual elastic strain at graphite nodules in ductile cast iron analyzed by synchrotron X-ray microdiffraction, *Acta Mater.* 167 (2019) 221–230. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2019.01.038>.
- [6] C.L. Xu, T. Andriollo, Y.B. Zhang, J.C. Hernando, J. Hattel, N. Tiedje, Micromechanical impact of solidification regions in ductile iron revealed via a 3D strain partitioning analysis method, *Scr. Mater.* 178 (2020) 463–467. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2019.12.018>.
- [7] T. Andriollo, Y.B. Zhang, S. Fæster, J. Thorborg, J. Hattel, Impact of micro-scale residual stress on in-situ tensile testing of ductile cast iron: Digital volume correlation vs. model with fully resolved microstructure vs. periodic unit cell, *J. Mech. Phys. Solids.* 125 (2019) 714–735. <https://doi.org/10.1016/J.JMPS.2019.01.021>.
- [8] T. Andriollo, Y. Zhang, S. Fæster, V. Kouznetsova, Analysis of the correlation between micro-mechanical fields and fatigue crack propagation path in nodular cast iron, *Acta Mater.* 188 (2020) 302–314. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.actamat.2020.02.026>.
- [9] K. Mohaghegh, S. Yazdanbakhsh, N. Tiedje, L. De Chiffre, Traceability of optical length measurements on sand surfaces, in: Proc. 16th Int. Conf. Eur. Soc. Precis. Eng. Nanotechnology, EUSPEN 2016, 2016.



Univ.-Prof. Dr.-Ing.  
Martin Fehlbier

Universität Kassel  
Fachbereich Maschinenbau  
Institut für Produktionstechnik und Logistik  
Lehrstuhl/Fachgebiet Gießereitechnik – GTK





Abb. 1: Gießtechnikum Metakushalle des GTK am Standort Baunatal.



## Fachgebiet Gießereitechnik an der Universität Kassel mit dem modernem Gießtechnikum Metakushalle

**Der Lehrstuhl für Gießereitechnik an der Universität Kassel – GTK steht für anwendungsnahe (Grundlagen-) Forschung und versteht sich als Bindeglied zwischen Universität und industrieller Praxis. Im Fachbereich Maschinenbau erhalten die Studenten eine breitangelegte technische Grundausbildung mit Schwerpunkten in nachhaltiger Fertigungs- und Energietechnik, Mechanik, konstruktiver Bauteilauslegung und Materialwissenschaften. Im Wahlbereich Gießereitechnik erfolgt im Anschluss die zielgerichtete Weiterbildung in den Grundlagen der Gießereitechnik Gießen-Erstarren-Gefügebildung-Eigenschaften, Gussimulation/-konstruktion, Formstoffe, Gusswerkstoffe und -verfahren.**

Aktuelle Forschungsschwerpunkte am GTK liegen in der Entwicklung neuer Leichtbauanwendungen und -verfahren (u.a. Druckguss/Rheoguss/Thixomolding), energieeffiziente Fertigungs- und Werkzeugkonzepte, anorganischer 3D-Formstoffdruck/ Kerne bis hin zu KI-Anwendungen und nachhaltiger Prozessauslegung. Das GTK verfügt in seinem Gießtechnikum Metakushalle am Standort Baunatal über eine hochmoderne

Anlagenausstattung, vielfältige Simulationssoftware und modernes Equipment zur Werkstoffcharakterisierung. Damit erhalten die Studenten eine fundierte Ingenieurausbildung in Theorie und Praxis, welche durch zahlreiche Exkursionen, Messebesuche sowie Industriekooperationen abgerundet und in wissenschaftlichen Abschlussarbeiten vertieft wird. Zuweilen erhalten Studierende sogar einen Preis für ihre Abschlussarbeit, so jüngst der GTK-Masterand Herr Danny Rohde für den mit 1.500 € dotierten ersten Platz beim diesjährigen internationalen Euroguss Talent Award für sein Thema „Charakterisierung der Leistungsfähigkeit des Formkühlsystems Cool-Spray“ – herzlichen Glückwunsch! Im Anschluss werden Ihnen verschiedene aktuelle Tätigkeiten und neu eingeworbene Projekte am GTK vorgestellt.

### **Mountainbike Rahmen aus dem anorganik 3D-Drucker – Wie die additive Fertigung von Formen und Kernen die Entwicklungszeiten von Gussteilen deutlich reduzieren kann**

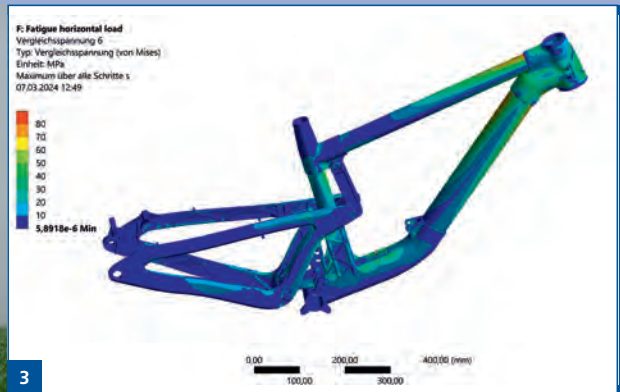
Die Idee hinter dem Guss Mountainbike, siehe Titelbild, begann mit einer einfachen Frage: „Wie könnte man eigentlich einen Mountainbike Rahmen gießtechnisch herstellen?“.

Die Umsetzung hingegen war dann wie so oft nicht ganz so trivial. Das Gießen als Fertigungsverfahren spielt in dem Bereich Mountainbike aktuell gar keine Rolle. Fast alle Rahmen werden entweder aus hydrogeformten Rohren und gefrästen Anbindungen verschweißt oder in einem Stück aus Carbon gefertigt. Die mechanischen Belastungen, die ein moderner Rahmen im abfahrtsorientierten Bereich (Enduro & Downhill) erfährt sind dabei enorm. Ein entsprechender Rahmen muss daher so konstruiert und ausgelegt sein, dass er über seine ganze Lebensdauer meterhohe Sprünge, hohe Geschwindigkeiten im ruppigen Gelände und auch den ein oder anderen Crash unbeschadet übersteht.

## Kontakt

Universität Kassel  
Lehrstuhl für Gießereitechnik – GTK  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Fehlbier  
Kurt-Wolters-Straße 3  
D-34125 Kassel  
Tel.: +49 (0)561 804-7596  
sekretariat-gtk@uni-kassel.de  
www.gtk.uni-kassel.de





**Abb. 2:** Fertiges Fahrrad.

**Abb. 3:** Die Festigkeit des Guss-Rahmens wurde mittels FE-Simulation in 8 verschiedenen Lastfällen überprüft.

Das aber bei einem Gewicht, das mit den konventionellen Aluminium- und Carbon-Rahmen mithalten kann. Da zunächst die gießtechnische Fertigung des Alu-Gussrahmens im Vordergrund stand, wurde die Geometrie und Kinematik an bestehende Rahmen angelehnt. Bei der Wahl eines passenden Konzeptes wurde allerdings bereits darauf geachtet, dass dieses vollständig mit Gussteilen umsetzbar und der nachträgliche Bearbeitungsaufwand für Lagersitze und Gewindebohrungen überschaubar bleibt. Damit die erforderlichen Formen und Kerne nicht zu groß werden, wurde für den Hauptrahmen ein Aufbau aus drei Gussknoten gewählt, die untereinander mittels Carbonrohre verklebt sind. Der Hinterbau besteht dabei aus zwei separaten Hälften und den zwei Umlenkkippen. Die Bowdenzüge für Schaltung und absenkbarere Sattelstütze sowie die Bremsleitung sollen dabei wie marktüblich im inneren des Rahmens geführt werden.

**Abb. 4:** Additiv gefertigte Form für den Gussknoten des Sitzrohrs. Hergestellt auf der ExOne S-Max Pro anorganik des Fachgebiets.

### In 3 Wochen vom Entwurf zum fertigen Prototypen

Der Konstruktionsprozess im CAD wurde von Anfang an simulationsbegleitend durchgeführt. Da die für Fahrräder gültige Norm „DIN EN ISO 4210-1“ nur die allgemeine Kategorie Geländefahrrad beinhaltet und die dort zu findenden Prüflasten nicht dem angedachten Einsatzzweck entsprechen, mussten eigene Lastfälle für die FE-Simulation festgelegt werden. Dabei wurde sich an den Lastfällen der Rahmenhersteller und der spezialisierten Prüfinstitute orientiert, wobei die Informationen dazu schwer zu finden sind. Insgesamt wurden sechs Ermüdungslastfälle und zwei Maximal- bzw. Überlastlastfälle definiert, die die verschiedenen Fahrsituationen abbilden. Die Inbetriebnahme des ExOne S-Max Pro anorganik 3D-Formstoffdrucker\* am Fachgebiet für Gießereitechnik ermöglicht bei der Gestaltung der Gussteile eine enorme

Designfreiheit. Die Gussteile konnten so optimal auf eine hohe Festigkeit und zusätzlich mittels Gussimulation auf eine porenarme Gießbarkeit hin optimiert werden ohne, dass die spätere Fertigung der Formen und Kerne zu einem unlösbaren Problem wird. Durch diesen Ansatz konnte sich zu Beginn des Entwicklungsprozesses voll auf die mechanischen Eigenschaften der Bauteile konzentriert werden. Die Sicherstellung der Gießbarkeit ist erst anschließend in einem zweiten Schritt erfolgt und erforderte nur wenige kleinere Anpassungen. Ein weiterer Vorteil der additiven Herstellung der Formen liegt in den sehr kurzen Fertigungszeiten von Prototypengussteilen. Nach Abschluss der Entwicklungsarbeit im CAD und den Simulationen wurden die Formen und Kerne innerhalb von wenigen Tagen gedruckt und abgegossen. Aufgrund der sehr komplexen Trennebenen und Kerngeometrien be-





standen die Formen teilweise aus bis zu sieben Teilen. Der erste Prototyp des Rahmens wurde bereits auf der GIFA 2023 und der Euroguss 2024 ausgestellt und erfreute sich bei dem Fachpublikum großer Beliebtheit. Da dieser nur als Technology-Demonstrator dient, wurde keine Wärmebehandlung der Gussteile durchgeführt. Eine Testfahrt wurde daher nur im ebenen Gelände durchgeführt. Aktuell befindet sich ein zweiter Prototyp im Aufbau, sodass eine Testfahrt im angedachten Einsatzzweck im Laufe des Jahres stattfinden kann. Der anorganische 3D-Formstoffdruck stellt somit ein ideales Entwicklungstool zur kreativen Herstellung und Erprobung gegossener Fahrradkomponenten dar.

\* Dieses Projekt wird aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung als Teil der Reaktion der Union auf die COVID-19-Pandemie finanziert.



#### **DBU-Projekt „Luftschleiersysteme für die effektive Erfassung von Emissionen an Druckgießmaschinen zur Steigerung der Nachhaltigkeit und Energieeffizienz von Gießereien“**

Seit Dezember 2023 entwickelt und untersucht das Fachgebiet Gießereitechnik der Universität Kassel

gemeinsam mit der KMA Umwelttechnik GmbH mit Sitz in Königswinter, im Rahmen eines durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Projekts, neuartige Raucherfassungssysteme für Druckgießzellen. Das Ziel des Projekts ist die Entwicklung eines kompakten und skalierbaren Raucherfassungssystems für Druckgießmaschinen auf Basis einer Luftschleierteknologie, das in unterschiedlichen marktrelevanten Maschinengrößen eingesetzt werden kann. Der Einsatz der Luftschleierteknologie soll dazu dienen, den während des Gießprozesses entstehenden Rauch effizient zu erfassen und zu filtern, ohne auf die üblich genutzten Erfassungshauben angewiesen zu sein. Das zu entwickelnde Raucherfassungssystem soll sowohl in kleinen und mittleren Anlagen mit geringem Bauraum als auch in Großanlagen und Megacastinganlagen wirksam und wirtschaftlich integrierbar sein.

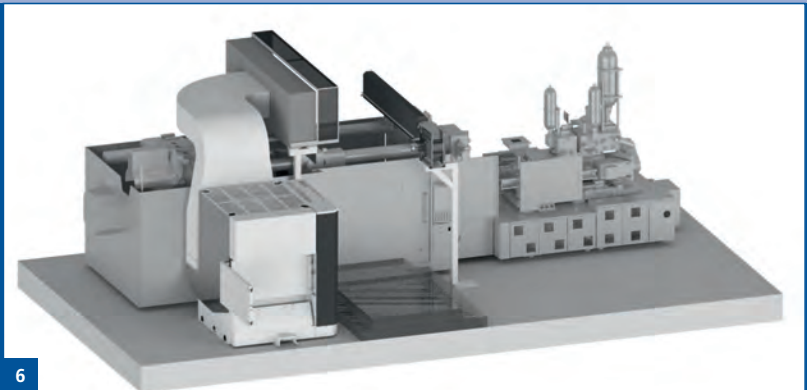
Beim Betrieb von Druckgießmaschinen (DGM) entstehen während der Produktion zyklisch auftretende Rauchemissionen. Sie treten insbesondere nach Öffnen der Form zur Entnahme des Gussteiles und beim anschließenden Einsprühen der Form mit Trennmitteln bzw. mit einem Gemisch aus Trennmittel und Wasser auf. Aufgrund der hohen Temperatur der Form verdampft die Flüssigkeit und erzeugt unter Umständen starke Rauchemissionen mit zum Teil schädlichen Substanzen.

**Abb. 5:** Kaltkammerdruckgießzelle mit Raucherfassungshaube (markiert des Fachgebiets Gießereitechnik (links). Entstehender Sprühnebel bzw. Rauch während des Sprühprozesses im Druckgießprozess (rechts) (Quelle: GTK)

Die **Abbildung 5** (rechts) zeigt die Rauchentwicklung, welche gemeinhin als Sprühnebel bezeichnet wird, innerhalb einer Druckgießmaschine des Fachgebiets Gießereitechnik während eines beispielhaften Sprühprozesses. Ohne eine lokale Raucherfassung würde dieses ölige Rauchgemisch ungehindert in die Hallenatmosphäre emittiert. Der Sprühprozess wird bei jedem Gießzyklus, je nach Prozessparametern etwa alle 50 – 120 s, wiederholt und tritt zyklisch auf.

Viele industrielle Druckgießmaschinen (DGM) verfügen derzeit über keine lokalen Raucherfassungssysteme und die prozessbedingten und unvermeidbaren Emissionen werden nicht erfasst. Die am Markt etablierten Raucherfassungssysteme bedürfen zum einen eines ausreichend großen freien Bauraums zur Platzierung einer Haube (siehe **Abbildung 5**). Zum anderen stellen die aktuell notwendigen Erfassungshauben bei sehr großen Maschinengrößen wie Megacasting, aufgrund der notwendigen Größe und des daraus resultierenden hohen Gewichts sowohl in der Fertigung als auch im Transport und bei der Installation eine Herausforderung dar. Aus

**Abb. 6:** : Entwurfslayout für das Luftschleiersystem mit angeschlossenen Abluftfilter (Quelle: KMA)



6

Mangel an Alternativen zur Erfassungshaube verzichten viele Gießereien daher gänzlich auf eine lokale Raucherfassung.

Im Rahmen des Projekts soll ein zuverlässiges Auslegungs- und Simulationsmodell (Luftströmung etc.) für die wirksame und bedarfsgerechte Gestaltung eines Raucherfassungssystems auf Basis der Luftschleiertechologie für Druckgießmaschinen unterschiedlicher Größen entwickelt werden. Auf der Grundlage dieser Auslegung soll eine technische Umsetzung in Form eines Prototyps erfolgen und in eine Yizumi Thixomolding-Gießzelle mit einer Schließkraft von 1.250 t des Fachgebiets Gießereitechnik integriert werden. Ein Entwurfslayout der Luft-

**Abb. 7:** Auf der vollautomatischen Thixomolding-Druckgießzelle mit einer Schließkraft von 12.500 kN soll ein neuartiges Raucherfassungssystem integriert und erprobt werden (Quelle: GTK)



7

schleiertechologie auf genannter Gießzelle ist in **Abbildung 6** dargestellt. Durch praktische Gießversuche auf der in **Abbildung 7** gezeigten vollautomatisierten Thixomolding-Gießzelle sollen sowohl das Auslegungs- und Simulationsmodell als auch die technische Umsetzung validiert, die Leistungsfähigkeit des entwickelten Systems charakterisiert und optimiert werden.

Das innovative Projekt zielt darauf ab, eine Lücke im technischen Lösungsangebot für Gießereien zu schließen, die aus verschiedenen Gründen keine lokale Erfassung der Produktionsabluft mittels Raucherfassungshauben realisieren können. Mit dem erarbeiteten Auslegungs- und Wirkungsmodell kann erstmals ex-ante berechnet werden, welche Dimensionierung des Luftschleiersystems sowie des angeschlossenen Abluftfiltersystems bei bestimmten Produktionsbedingungen erforderlich ist.

In Verbindung mit den praktischen Versuchsreihen soll auf diese Weise eine zuverlässige Prognose über den Wirkungsgrad der Raucherfassung getroffen werden können. Dadurch soll die Unsicherheit für die an einer Lösungskonzeption beteiligten Parteien (Gießerei, Druckgießmaschinen-Hersteller und oft auch Generalunternehmer sowie Hersteller der Umwelttechnik) bedeutend reduziert werden und der Weg für eine weltweite praktische Anwendung des Lösungsansatzes ermöglicht werden. Das Projekt trägt zur Verbesserung der Energieeffizienz und Nachhaltigkeit in der Gießereibranche bei. Durch eine lokale Erfassung der Emissionen am Entstehungsort und den Einsatz hocheffizienter Abluftfiltersysteme kann der Energiebedarf, die Betriebskosten und die CO<sub>2</sub>-Emissionen erheblich reduziert werden. Demnach kann der Energiebedarf durch lokale Emissionserfassung und Abluftreinigung im Umluftbetrieb im Vergleich zu Hallenlüftungen ohne Wärmerückgewinnung um bis zu 90 % gesenkt werden. Basierend auf den Projektergebnissen besteht aus Sicht des Anlagenherstellers das Potential jährlich Luftschleieranlagen zu installieren, die dazu beitragen, 4.000 bis 10.000 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr einzusparen. In zehn Jahren könnte ein Anlagenbestand entstehen, der jährlich 40.000 bis 100.000 Tonnen CO<sub>2</sub> einspart. Kumuliert über den Zeitraum von zehn Jahren könnte dies zu einer Einsparung von 220.000 bis 550.000 Tonnen CO<sub>2</sub> führen.





8

Die Zusammenarbeit zwischen KMA als erfahrenen Hersteller von Umwelttechnik und dem Fachgebiet Gießereitechnik der Universität Kassel schafft einzigartige Voraussetzungen und Synergien für die wissenschaftliche Untersuchung von Wirkungszusammenhängen sowie die praktische Erprobung im Maschinenpark des GTK.

gefördert durch



Deutsche  
Bundesstiftung Umwelt

[www.dbu.de](http://www.dbu.de)

### **BMWK Verbund-Projekt: ReGAIN – „Resiliente Auto- motive-Gießereien durch Einsatz AI-gestützter Assistenten für nachhaltige Prozesse“**

Das Förderprogramm KoPa 35c des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klima (BWMK) soll die Fahrzeughersteller und Zulieferindustrie in Deutschland im Transformationsprozess bei folgenden Herausforderungen und Zukunftsinvestitionen unterstützen:

- Investitionen im Bereich der Digitalisierung
- Industrie 4.0
- Entwicklung neuer Technologien und Produkte
- Qualifizierung der Beschäftigten

### **Gesamtziel des Vorhabens**

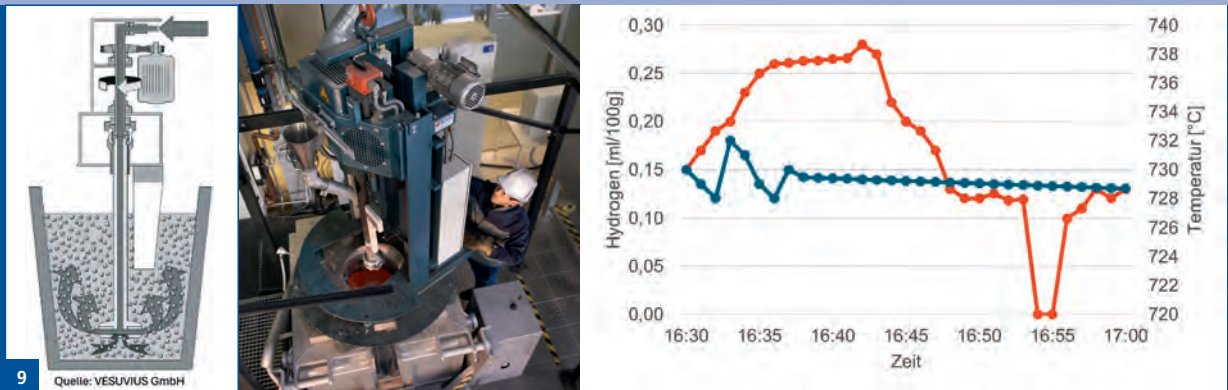
Im KoPa35c BMWK Verbund-Forschungsprojekt ReGAIN wird der Ansatz verfolgt, die Gießereiproduktionssysteme durch die digitale Verknüpfung auf CATENA-X-Basis zu optimieren. Der Verbund setzt sich aus 26 Unternehmen und Forschungseinrichtungen aus den Bereichen „Anwender und Zulieferer“, „Digitale Interoperabilität und CATENA-X“, „KI-Assistenz-Apps“ und „Standardisierung und Transfer“ zusammen, siehe **Abbildung 8**. Das übergeordnete Ziel besteht darin, diese komplexen Produktionssysteme in ein umfassend vernetztes Wertschöpfungssystem zu integrieren. Dies soll durch die Schaffung digitaler Transparenz ermöglicht werden, um neue digitale Fertigungskonzepte umzusetzen. Nur so können die steigenden Anforderungen an Resilienz und Nachhaltigkeit in der Produktion erfüllt werden, ohne die Fertigungsflexibilität und Interoperabilität zu beeinträchtigen. Als Folge dieses ganzheitlichen digitalen Lösungsansatzes können bislang ungenutzte Potenziale zur Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz erschlossen werden, was eine ökologisch nachhaltige Entwicklung der Gießereiindustrie gemäß des aktualisierten „European Green Deal“ von 2021 unterstützt. ReGAIN soll die Grundlagen schaffen, um zukünftig für jedes Gießereiprodukt einen einheitlich definierten digitalen Produktpass in CATENA-X verfügbar zu machen. Zur Realisierung dieser Ziele

**Abb. 8:** Projekt Konsortium BMWK Verbundprojekt ReGAIN. (Quelle Bild rechts: GIESSEREI 110 12/2023)

werden im Projekt standardisierte konzeptionelle und logische Datenmodelle entwickelt sowie KI- und Simulationsansätze zur Optimierung verschiedener Zielgrößen eingesetzt. Zudem wird ein KI-App-Ökosystem zur förderierten maschinellen Lern- und Datenanalytik entwickelt und die Ergebnisse in eine branchenweite Standardisierung und den Technologietransfer integriert.

### **Teilvorhaben des Fachgebiets Gießereitechnik Kassel - GTK**

Das Teilprojekt des Fachgebiets Gießereitechnik der Universität Kassel im Verbundprojekt ReGAIN konzentriert sich auf die Integration von Künstlicher Intelligenz (KI) in die Prozesse der Schmelzaufbereitung sowie des Trennstoffauftrags im Aluminium-Druckgießverfahren. Diese Prozesse beeinflussen direkt oder indirekt den Energie- und Ressourcenbedarf sowie die Qualität der Druckgießteile erheblich. Aktuell erfolgt die Einstellung der Parameter in beiden Prozessen auf der Basis von Annahmen und Erfahrungen, ohne eine Datenakquise. Aufgrund dieser fehlenden ganzheitlichen sensorischen Erfassung sind datengetriebene Optimierungen derzeit nicht möglich. Zu Beginn des Teilprojekts werden gemeinsam mit den Projektpartnern die druckgusspezifi-



**Abb. 9:** Schematische Darstellung des Impellerprozesses, Insitu-Messung des Wasserstoffgehalts während des Impellerns und KI-Regelung der Impellerparameter. Projekt ReGAIN.

fischen Anforderungen an den Datenaustausch sowie die systemrelevanten Daten des Prozesses ermittelt. Zur Optimierung der Schmelzbereitstellung wird der Prozess der Schmelzerreinigung durch Rotorentgasung mittels eines Impellers sensorisch erfasst und digitalisiert, um eine automatisierte Parameterregelung mittels KI zu ermöglichen. In Zusammenarbeit mit den Projektpartnern wird eine kontinuierliche in-situ Qualitätskontrolle der Aluminiumschmelze durch einen Wasserstoff-Analysator realisiert. Mithilfe dieser kontinuierlich erhobenen Qualitätsdaten sollen die Parameter des Impellerprozesses wie beispielsweise die Rotordrehzahl oder die Eintauchtiefe mittels KI automatisiert und datenbasiert eingestellt werden, um den gewünschten Wasserstoffgehalt der Aluminiumschmelze effizient einstellen zu können. Die Entwicklung der entsprechenden KI erfolgt in Kooperation mit den Projektpartnern. Vorab untersucht das GTK durch CFD-Simulationen die Relevanz der Parameter des Impellerprozesses in Verbindung mit der Rotorgeometrie, dessen Position und Drehzahl sowie der Schmelzmenge und -temperatur auf die Strömungsverhältnisse im Schmelzaufbereitungsprozess. Eben-

so werden geeignete Messmethoden der Prozessparameter entwickelt und in das Gesamtsystem integriert.

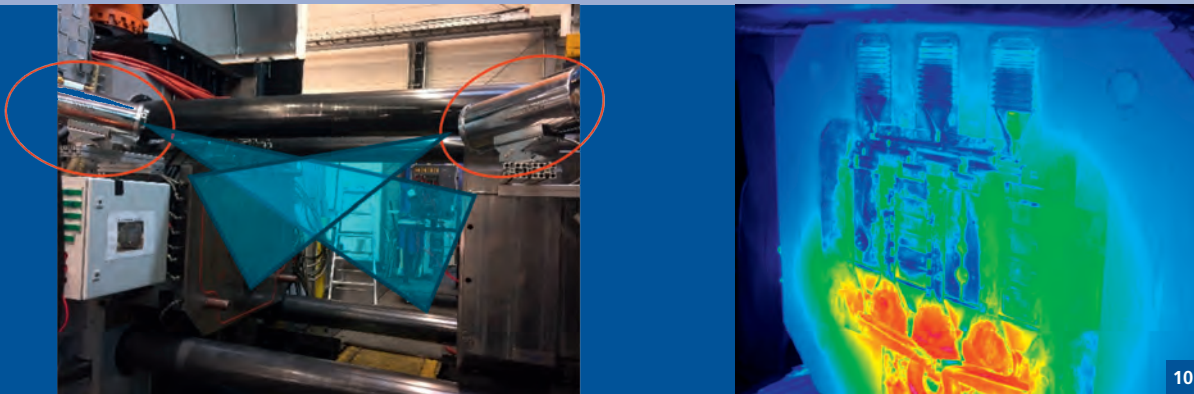
Darüber hinaus wird die Integration der visualisierten Live-Daten des Impellerprozesses in Plattformen wie CATENA-X angestrebt. In Kooperation mit den Projektpartnern wird eine Benutzeroberfläche für die Visualisierung des Impellerprozesses (Frontend), über die Gießler in Echtzeit Daten zur Schmelzequalität und zu den Prozessparametern des Impellers erhalten, entwickelt. (Abbildung 9)

Die Gießerei-Industrie zeigt ein starkes Interesse an der Implementierung eines KI-gesteuerten Verfahrens zur Prüfung und Einstellung der Aluminiumschmelzequalität. Die entwickelte KI soll herstellerunabhängig auf jeder Impeller-Anlage angewendet werden können und somit flächendeckend in allen Gießereien in bestehende Impellerprozesse integriert werden können.

Weiteres Optimierungspotenzial bietet sich beim Trennstoffauftrag sowie bei der Erfassung der Werkzeugoberflächentemperaturen im Druckgießprozess. Die Qualität von Druckgießteilen hängt in hohem Maße von der Werkzeugoberflächentemperatur ab. Aufgrund der Prozessabläufe und der Anforderungen an das Werkzeug im Druckgießverfahren ist es derzeit vielerorts häufig nicht oder nur eingeschränkt möglich, die globalen

Oberflächentemperaturen der Kavität zuverlässig zu erfassen. Hierfür bietet die Infrarot-Thermographie-Kameratechnologie jedoch weiterführende Potentiale. Aktuell ist es aufgrund der zur Verfügung stehenden ROIs (regions of interest), und der häufig verwinkelten Werkzeugoberflächen sowie der druckgusspezifischen Störgrößen oftmals nicht möglich die exakten Oberflächentemperaturen zu messen. Hier setzt das Teilvorhaben des GTK an. Mittels modernster IR-Thermographie-Technologie werden die Auswirkungen der Störgrößen auf das Messergebnis ermittelt und Lösungsmethoden im realen Druckgussbetrieb eruiert.

Dafür wurde am GTK bereits ein erster Prüfstand zur Untersuchung der IR-Kameratechnologie für den Einsatz im Druckgießprozess entwickelt. Für den gezielten Einsatz dieser Technologie müssen lokale Emissionskoeffizienten ermittelt und potenzielle Störgrößen wie Oberflächenbeschaffenheit, Winkelabhängigkeiten, Reflexionen und Trennmiteinsatz analysiert werden. Basierend auf den Prüfstandsergebnissen werden sodann Strategien zur zuverlässigen IR-Temperaturmessung im Druckgießprozess entwickelt und Emissionskoeffizienten mit ROIs des IR-Bildes verbunden. Diese Untersuchungen bilden die Grundlage für den erfolgreichen Einsatz der IR-Kameratechnologie im Druckgießprozess und die Entwicklung eines auf weitere



Gießereien übertragbaren KI-Modells zur Regelung eines bedarfsgerechten Sprühprozesses zur gezielten Einstellung von Werkzeugoberflächentemperaturen.

Am GTK wird das IR-Kamerasystem sowohl an die bewegliche als auch an die feste Aufspannplatte der GTK-Druckgießzelle adaptiert. Das System erstellt nach jedem Gießzyklus ein Bild der beiden Werkzeughälften vor und nach dem Trennmittelauftrag. Dafür werden Entnahme- und Sprühroboter entsprechend programmiert, Störgrößen eliminiert und das IR-Kamerasystem in den Ablauf des Druckgießprozesses integriert. Zusätzlich wird in das vorhandene Versuchswerkzeug des GTK Temperatursmesstechnik an definierten Messpositionen integriert, um das IR-Bild zu validieren.

Durch die Infrarot (IR)-Messung der realen Werkzeugoberflächentemperatur werden Hotspots und Temperatursenken auf der Form lokalisiert. Das Ziel des KI-Modells ist es einen bedarfsgerechten Formsprühprozess zur gezielten Einstellung der Werkzeugoberflächentemperatur im Seriengießprozess zu ermöglichen. Erste grundlegende Voruntersuchungen hierzu sind bereits erfolgreich am GTK durchgeführt worden.

Die Entwicklung der entsprechenden KI zur Regulierung des Sprühprozesses sowie zur Visualisierung der Live-

Daten der Werkzeugtemperierung wird gemeinsam mit den Projektpartnern durchgeführt. Die Visualisierung soll dem Gießpersonal die aktuellen Oberflächentemperaturen der Kavität sowie die Temperaturen und Volumenströme in den Temperierkanälen des Werkzeugs zur Verfügung stellen (Abbildung 10).

Das übergeordnete Ziel des IR-Kamerasystems ist die Verbesserung der Energie- und Ressourceneffizienz im Bereich der Werkzeugtemperierung. Zum einen ermöglicht der bedarfsgerechte Formsprühprozess eine gezieltere Regelung des Temperaturhaushalts des Werkzeugs, um Übertemperierung zu vermeiden und die Energieeffizienz der Temperiergeräte zu steigern. Zum anderen trägt dies zur Ressourceneffizienz im Druckgießprozess bei, indem der Trennmittelverbrauch auf das Notwendigste beschränkt wird.

Im Rahmen des ReGAIN Projektes beteiligt sich das GTK gemeinsam mit den Projektpartnern an weiteren Arbeiten, darunter die modellbasierte Optimierung von Gießsimulationen, die Erstellung eines Fehlerkatalogs sowie eines Lasten- und Pflichtenhefts für Gussteile und grundlegende Arbeiten zur dynamischen Energiesimulation für Gießprozesse. Die Fortschritte und Ergebnisse des Projekts werden in Zusammenarbeit mit dem Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie (BDG e. V.) auf Fach-

**Abb. 10:** Vorversuche zur Messung der Formoberflächentemperaturen mittels Thermographietechnologie der Firma Marposs. Projekt ReGAIN.

tagungen, in Veröffentlichungen, auf Messen sowie in universitären Kolloquien mit industriellen Teilnehmern veröffentlicht.



### Magnesium – Technologieschulung 2023

Bereits zum zweiten Mal wurde am Fachgebiet Gießereitechnik der Universität Kassel erfolgreich eine viertägige Magnesium-Technologieschulung für industrielle Partner durchgeführt. Die grundlegende Idee für eine regelmäßige Schulung zur Qualifizierung im Umgang mit dem Leichtbauwerkstoff Magnesium kam bereits im Jahr 2021 aus dem Hause Bosch. Die Entscheidung für das GTK als Schulungspartner war schnell getroffen, denn die Anlagenausstat-





11

**Abb. 11:** Mg-Schulung mit wechselnden Schulungselementen zwischen Theorie und Praxis (hier Druckguss Frech und Bühler).

tung, das Know-How sowie die neutrale Forschungs- und Entwicklungsumgebung machen das GTK zum idealen Partner und Austragungsort für praxisnahe Technologieschulungen. War die Schulung in 2021 noch für einen Bosch-internen Kreis bestimmt, so wurde das Konzept in 2023 für Zulieferer erweitert. Im Fokus der Mg-Technologieschulung stehen neben den werkstoff- und metallkundlichen Grundlagen und der Simulationsspezifika, die zur Herstellung von Magnesiumgussteilen möglichen Gießverfahren: Kaltkammerdruckguss, Warmkammerdruckguss und Thixomolding. Alle drei Verfahren sind im Anlagenpark des GTK vorhanden und wurden im Rahmen der Schulung für den theoretischen und praktischen Teil genutzt.

Den Magnesium-Grundlagen und der Einführung in die Gießsimulation sowie jedem einzelnen Verfahren wurde ein gesonderter Schulungstag gewidmet. So wurde sichergestellt, dass ausreichend Raum für Fragen, Diskussionen und praktische Gusserlebnisse zur Verfügung stand. Um die Schulung auf das höchstmögliche Qualitätsniveau zu heben konnten Gussexperten der Anlagenhersteller Bühler (Kaltkammer), Frech (Warm-

kammer) und Yizumi (Thixomolding) sowie Magma (Simulation) gewonnen werden, um der Theorie und Praxis die notwendige Tiefe zu verleihen. So konnte jeder Hersteller die Vor- und Nachteile sowie Besonderheiten der Prozesse und seiner Anlagen darstellen und die Schulungsteilnehmer konnten diese direkt miteinander vergleichen. Die theoretischen Inhalte umfassten neben dem maschinellen Aufbau und der Übersicht der Anlagenkomponenten, die Prozessspezifika, Richtlinien zur Werkzeugkonstruktion und Gussteilauslegung, die Definition von Prozessfenstern und Gießkurven, die Einstellung und Bedienung der Gießanlagen und Peripheriegeräte, Identifikation von Gussfehlern sowie Qualitätskriterien.

Durch den Einsatz moderner Medien konnten die Schulungsinhalte direkt an den Anlagen und im laufenden Gießprozess dargestellt und erläutert werden. Daher verfügt die Schulung über kein klassisches und starres Konzept aus Theorie und Praxis. Die Inhalte gehen vielmehr ineinander über und theoretisch vermitteltes Wissen kann direkt im laufenden Gießprozess überprüft oder erlebt werden. Die werkstoffspezifischen Grundlagen sowie die aktuelle Thematik des Carbon-Footprinting wurde durch Prof. Fehlbier und weitere Referenten des GTK erläutert und mit aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen komplettiert. Diese Eigenheiten machen die Mg-Technologieschulung am GTK

zu einer interaktiven, modernen und qualitativ hochwertigen Schulung, welche sich an Magnesium-Gießer, Simulationsexperten, Einkäufer, Konstrukteure, Produktbetreuer oder jeden Magnesium-Enthusiasten richtet. Dies spiegelt sich auch in dem Feedback der Industriepartner wider. So konnte die GTK – Mg-Technologieschulung 2023 das höchstmögliche Qualitäts-Scoring seitens der Schulungsteilnehmer (100 %) erreichen. Dafür möchten wir, das GTK, uns ganz herzlich bei allen Referenten der Firmen Bühler (Frank Hoffmann), Oskar Frech (Martin Schlotterbeck), Yizumi Germany (Dr. Yuxiao Zhang) und Magma (Dr. Horst Bramann) sowie den Schulungsteilnehmern bedanken. Die Hochachtung und das große Potential des nachhaltigen Fertigungsverfahrens Gießen ist bei den Teilnehmern erkennbar gestiegen.

#### **Studienexkursion zur Gießerei von Martinrea Honsel**

Im Zuge des Praktikums für das Modul „Gießereitechnik I: Automobil- und Fahrzeugguss (Gussleichtbau)“ unternahm Herr Prof. Fehlbier mit den Kassler Studenten wie üblich eine Exkursion in eine Gießerei. Dieses Jahr ging es zur Martinrea Honsel Germany GmbH in Meschede. Der international tätige Automobilzulieferer mit weltweit ca. 4000 Mitarbeitern ermöglichte den knapp 20 Teilnehmern einen spannenden Einblick in die gießtechnische Verarbeitung von Aluminium. Empfangen wurde die



12



13

Exkursionsgruppe vor Ort von Herrn Michael Gödeke, der das Unternehmen zunächst kurz vorstellte und anschließend die Führung durch das Werk leitete. Die erste Station war einer der beiden Werksbereiche für Niederdruckkokillenguss, wo die Gruppe unterschiedliche Prozessschritte hautnah erleben konnten. Von der Schmelzaufbereitung in den Warmhalteöfen über das Einlegen von Sandkernen in die Gussform und dem Gießprozess bis hin zum Entfernen des Kernmaterials, dem Wärmebehandlungsprozess und der Qualitätsprüfung des fertigen Gussteils wurden die einzelnen Stationen des Prozesses, durch informative Erläuterungen von Herrn Gödeke sowie dem verantwortlichen Produktmanager Lightweight Structures Herrn Dr.-Ing. Frank Schmidt begleitet, durchlaufen. Besonderen Eindruck hinterließ der gleichzeitige Abguss von drei großen ND-Gussteilen in einer Form und das damit einhergehende Temperaturmanagement. Anschließend ging es in den Druckgussbereich des Werks, wo die Studenten die für den Druckgussprozess typische hohe Produktivität an einer Reihe von vollautomatisierten Druckgießzellen mit bis zu 4.300t Schließkraft, z.B. für Batteriekästen, begutachten konnten. Die imposanten Anlagen mit Schussgewichten von bis zu 50 kg Aluminium produzierten unterschiedliche Automobilkomponenten in rasantem Tempo, die vor den Augen der Studenten nach einer finalen Sichtprüfungen und

kurzen händischen Nachbearbeitung verstaut und chargenweise abtransportiert wurden. Bevor es weiter ging, wurde der Exkursionsgruppe in einem angrenzenden Bereich noch ein kurzer Einblick in unterschiedliche Instandhaltungsarbeiten an Druckgießwerkzeugen ermöglicht. Als letzte Station der Werksführung wurde der zweite Niederdruckkokillengussbereich besichtigt, wo neben weiteren Gießanlagen insbesondere die Kernfertigung und der Zusammenbau von komplexen Kernpaketen für großes Interesse sorgten. Abschließend wurden die Exkursionsteilnehmer in der Werkskantine verköstigt und konnten das Erlebte in gemütlicher Runde Revue passieren lassen. Das GTK bedankt sich recht herzlich bei Martinrea Honsel, Herrn Gödeke und Herrn Dr. Fuchs sowie allen weiteren beteiligten Mitarbeitern für die erstklassige Werksbesichtigung, die es den Studenten ermöglichte das in Vorlesung und Praktikum erlernte Wissen anhand der Begutachtung einer industriellen Serienfertigung zu vertiefen. Die vielen Fragen der Studenten während der Führung spiegelten dabei das große Interesse an der praxisbezogenen Lerneinheit und den gezeigten Prozessabläufen wider.

Anknüpfend an den Besuch der Gießerei fand zu guter Letzt nach alter Tradition eine Brauerreibesichtigung statt. Dieses Mal war das Ziel die Warsteiner Brauerei in dem gleichnamigen kleinen Örtchen, das nur

**Abb. 12:** Eingangsbereich von Martinrea Honsel in Meschede (Quelle: Martinrea Honsel Germany GmbH).

**Abb. 13:** Exkursionsgruppe des Praktikums für Gießereitechnik (links auf der Treppe) mit Herrn Prof. Martin Fehlber (Mitte) und Herrn Michael Gödeke (rechts) bei der Martinrea Honsel Germany GmbH in Meschede.

wenige Kilometer von Meschede entfernt liegt. Nach einer informativen Filmvorführung in dem Multimedia-Theater der „Warsteiner Welt“ rund um das Thema Bierbrauen und die Geschichte des Unternehmens wurde die Brauerei mit der Besucherbahn besichtigt. Am Ende der Tour konnte die Exkursionsgruppe natürlich noch die Produktvielfalt im Gastronomiebereich des Besucherzentrums einer individuellen Qualitätskontrolle (praktische Gießversuche) unterziehen, bevor es wieder zurück nach Kassel ging und sich eine weitere gelungene Studienexkursion des Fachgebiets Gießereitechnik dem Ende neigte.



Anfragen zur kostenfreien Übersendung von Belegexemplaren oder zwecks redaktioneller Mitarbeit richten Sie bitte an



**Institut für Wissenschaftliche Veröffentlichungen (IWW)**

Finkenstraße 10 • D-68623 Lampertheim

[www.institut-wv.de](http://www.institut-wv.de)

Telefon 06206 939-0 • [info@alphapublic.de](mailto:info@alphapublic.de)



# ANTROK GIESSEREISERVICE GMBH

## EFFIZIENZGEWINN DURCH INTELLIGENTE DIENSTLEISTUNG

Die Antrok Gruppe bestehend aus der Antrok Gießereiservice, Antrok Anlagentechnik, Antrok Maschinenbau und Antrok Supply Chain bündelt seit mehr als 30 Jahren vier Spezialisten für den Erfolg unserer Kunden. Unser Anspruch sind intelligente Optimierungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Das Nach- und Umrüsten bestehender, gesamter Druckgießzellen und Entgratpressen ist seit vielen Jahren eine Kernkompetenz.

Als langfristiger Partner begleiten wir die gesamte Gießereiwelt über das RetroFit hinaus mit einem spezialisierten Dienstleistungsangebot in allen vor- und nachgelagerten Leistungsbereichen, die mit der Optimierung der Produktion und der Steigerung der OEE verbunden sind. Mit dem RetroFit-Programm für Druckgießmaschinen legt Antrok den Fokus auf die

Modernisierung bestehender Anlagen. Durch den Austausch veralteter Komponenten, das Einbetten in moderne IT-Umgebungen oder die Nachrüstung von Automatisierungstechnik bringen wir Ihre Druckgießzelle wieder auf den neuesten Stand in Bezug auf Produktionsvolumen und -qualität. Als Fachunternehmen im Gießereiservice sind wir erfahren darin, gesamte Produktionslinien zu optimieren. Neben den Anlagen selbst zählen dazu die Planung individueller, angepasster Versorgungssysteme sowie die gesamte Layoutplanung von Gießzellen und Sonderkonstruktionen in der Anlagenperipherie. Absolute Präzision zählt zu unseren Qualitätsansprüchen, denn je besser Ihre Anlage ausgerichtet ist, desto hochwertiger ist das erreichte Produktionsergebnis am Ende der Bearbeitung. Hierfür arbeiten wir im Bereich der Maschineninspektion und Vermessung mit modernster Messtechnologie.

Antrok Gießereiservice ist weltweit Ihr Ansprechpartner für die individuelle Lösung komplexer Projektvorhaben mit Technologie- und Prozesskompetenz auch in der Weiterverarbeitung von Produkten aus Leichtmetall Guss.



*„Wir freuen uns auf einen persönlichen Kontakt.“*

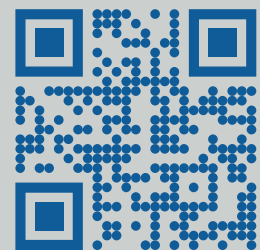
**Antrok Gießereiservice GmbH**  
**Denis Steikelt**  
**Geschäftsbereichsleiter | Prokurist**  
 Am Fieseler Werk 3+5  
 34253 Lohfelden  
 +49 (0) 561 47562-0  
 +49 (0) 152 22514992  
 giessereiservice@antrok.de  
[www.antrok.de](http://www.antrok.de)

### KOMPLETTSERVICE FÜR DIE GIESSEREIWELT



Als langfristiger Partner begleiten wir Gießereien über das RetroFit hinaus mit einem spezialisierten Dienstleistungsangebot in allen vor- und nachgelagerten Leistungsbereichen, die mit der Optimierung Ihrer Produktion und der Steigerung Ihrer Produktivität verbunden sind. Insbesondere die Instandhaltung und präventive Wartung von Druckguss Equipment, Formen und Stanzwerkzeug runden unser Portfolio ab.

Unsere 24/7 Rufbereitschaftsnummer +49 (0) 172 56 09 545





**Prof. Dr.-Ing. Dierk Hartmann**

Hochschule Kempten,  
Institut für Produktion und Informatik

**Mitarbeiter:**

Florian Huber  
Hochschule Kempten, Institut für  
Produktion und Informatik

Michael Windl, Jean-Pierre Hacquin,  
Kemptener Eisengießerei  
Adam Hönig AG







## Steigerung der Ressourceneffizienz von Gießereien durch ganzheitliche Digitalisierung

**Gießen ist ein energieaufwendiges Fertigungsverfahren. Die deutsche Gießereiindustrie sieht sich vor die Aufgabe gestellt, einen Beitrag zur Eindämmung des menschengemachten Klimawandels zu leisten. Das Potenzial hierzu ist aufgrund der sehr energieintensiven Prozesse, die diesen Industriezweig kennzeichnen, erheblich. In der gegenwärtigen, von industriellem Wandel geprägten Weltwirtschaftslage steht diese mittelständisch geprägte Branche auch großen ökonomischen Herausforderungen gegenüber. Die Struktur der spezifischen Zulieferer- und Abnehmermärkte, hohe Energiepreise und geringe Umsatzrenditen zwingen Gießereien, die Effizienz ihrer Produktionsprozesse fortlaufend zu vervollkommen. Ressourcensparende Produktion und verantwortungsvoller Einsatz von Energie sind Antworten auf beide Anforderungen: die Verbesserung der Umweltbilanz und die ökonomische Optimierung. Für die Kemptener Eisengießerei gehören sie zu den zentralen Unternehmenszielen.**

Vom REFFpro-Vorhaben sollten in diesem Sinne neue Impulse ausgehen. Ziel war es, die Umweltverträglichkeit

der Produktion kleiner und mittelständischer Gießereien zu optimieren und einen Beitrag zur Verbesserung der Nachhaltigkeit zu leisten. Das Projektvorhaben sah sowohl ökologische als auch ökonomische Potenziale, die mit einer umweltschonenderen Herstellung von Gussteilen einhergeht.

Neben bestehenden und neuen politischen Direktiven (wie beispielsweise dem European Green Deal) nahmen weltwirtschaftliche sowie politische Entwicklungen immensen Einfluss auf die Gießereibranche und folglich auch auf die Kemptener Eisengießerei. Die Corona-Krise und der Krieg in der Ukraine hatten „existenzbedrohende“ Auswirkungen auf Energie- sowie Rohstoffpreise [1, 2]. Eine ökologisch und ökonomische Optimierung bestehender Produktionsverfahren ist für Gießereien zu einem zentralen Faktor geworden.

Die Inhalte des REFFpro-Projektes adressierten diese angeführten Ziele und erzeugten aufgrund ihrer (internationalen) Aktualität respektive Brisanz neben großem Zuspruch auch mediales Interesse (beispielsweise von der Süddeutschen Zeitung oder Bayern Innovativ [3, 4, 5]). Durch das Vorhaben wurden energierelevante

Prozessdaten erfasst, dokumentiert, analysiert und mithilfe modernster Data Science Ansätze sowie Künstlicher Intelligenz optimiert. Das Ergebnis stellen webbasierte Assistenzsysteme dar, welche die Mitarbeitenden der Kemptener Eisengießerei dazu befähigen, prozessbezogen und situativ energieoptimierte Entscheidungen zu treffen. Insgesamt konnte das Unternehmen seine CO<sub>2</sub>-Emissionen um durchschnittlich 1.138.200,00 kg reduzieren (verglichen zum Jahr 2019). Diese Einsparungen sind im Wesentlichen auf die Projektergebnisse zurückzuführen. Die Konsortialpartner bewerten die

## Kontakt

Hochschule für angewandte Wissenschaften  
Kempten

Institut für Produktion und Informatik

Prof. Dr. Inf. Dierk Hartmann

Mittagstrasse 28a

D-87527 Sonthofen

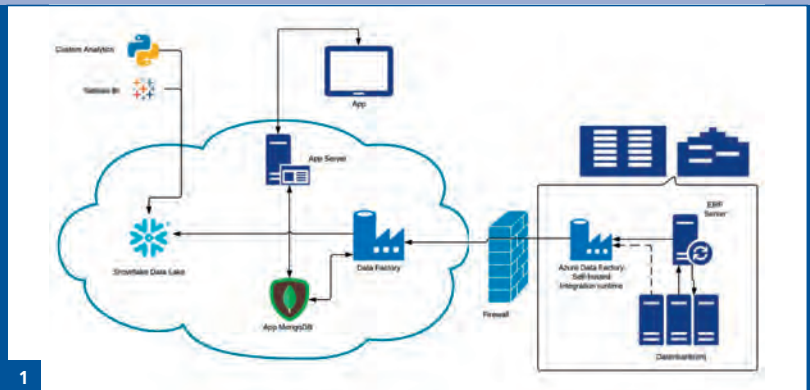
Tel.: +49 (0)151 52565750

dierk.hartmann@hs-kempten.de

www.hs-kempten.de/jpi



**Abb. 1:** Architektur für die Zentralisierung prozessrelevanter Daten.



REFFpro-Projektresultate daher als beachtlichen und nachhaltigen Erfolg.

### Einleitung

Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz wurden bei der Kemptener Eisengießerei bislang größtenteils im Bereich der Anlagenmodernisierung vollzogen. Bisherige Digitalisierungsansätze und Methodenentwicklungen zur datengetriebenen Optimierung der Prozesse fokussierten sich vor allem mit Grundlagenfragen zu einem umfassenden Datenmanagement und auf die technologische Optimierung einzelner Teilprozesse. REFFpro sah vor, betriebliche Prozesse innerhalb von Gießereien ganzheitlich digital zu erfassen und zu analysieren. Im Gegensatz zur Einzelbetrachtung von Anlagen und Teilabläufen können so auch Wechselwirkungen innerhalb von Prozessketten berücksichtigt werden, welche sich mit konventionellen Methoden nicht abbilden lassen. Eine Bewertung und Optimierung des Energie- und Ressourcenverbrauchs sollte anhand gesammelter und aggregierter Prozessdaten erfolgen.

### IT-Systemlandschaft und Informationsschnittstellen

Nach eigenen Angaben waren zu Projektbeginn rund 270 unterschiedliche Messstellen und eine große Anzahl bestehender Softwaresysteme (beispielsweise das ERP-System) in verschiedenen Netzwerken bei der Kemptener Eisengießerei vorhanden.

Eine Speicherung erfolgte auf unterschiedlichen Servern und Datenbanken in einem heterogenen Format. Aufgrund fehlender Schnittstellen waren diese für die IT-Administration des Unternehmens teils nicht zugänglich (dies galt beispielsweise für das Energiemanagementsystem ECON). Eine Dokumentation der tausenden Datenbanktabellen und den darin enthaltenen Prozessparametern lag nicht vor. Zudem war nicht verifizierbar, welchem Produktionsschritt diese zuzuordnen sind und bei welchen Kennzahlen es sich um energierelevante Haupteinflussgrößen handelt.

Für die Projektpartner galt es in einem ersten Schritt alle Prozessschritte zu spezifizieren, die Einfluss auf das Energieprofil eines Gussteils nehmen.

Identifiziert wurden:

- Kernherstellung
- Formen
- Gattierung
- Schmelzen
- Gießen
- Putzen
- Grundieren
- Sandaufbereitung
- Mischen

Unabhängig der großen Menge vorhandener Messstellen und Softwaresystemen gab es einige Einflussgrößen, die bei der Kemptener Eisengießerei bis dato nicht digital erfasst werden konnten. Die Einflussgrößen ließen sich nicht sensorisch

messen. Daher sind sie nicht in Datenbanktabellen enthalten.

Zu nennen ist beispielsweise die Erfassung der nicht vergossenen, planungsbedingten Resteisenermenge pro Schmelztiegel. Für eine energie- und ressourcenschonende Produktion ist diese jedoch relevant. Zwar lässt sich das Eisen erneut verwenden, jedoch ist die im Schmelzprozess aufgewendete Energie verloren. Diese wirkt sich wiederum negativ auf den Carbonfootprint des Unternehmens aus. Die Konsortialpartner spezifizierten eine Liste nicht sensorisch oder digital (beispielsweise durch das ERP-System) verfügbarer Parameter. Besagte Übersicht sollte im folgenden Arbeitspaket für die Planung und Entwicklung einer mobilen App dienen. Diese stellt eine kostengünstige und effektive Möglichkeit für die Erfassung relevanter Haupteinflussgrößen dar.

Die multiplen Speicherstellen und Heterogenität machte eine prozessspezifische, aber auch -übergreifende Analyse energierelevanter Daten unmöglich. Die Zentralisierung und Zurverfügungstellung dieser Einflussgrößen galt daher als entscheidendes Projektziel. Die Wahl der technologischen Basis fiel auf eine Microsoft Azure Cloud. Sie ermöglicht einen sicheren und unternehmensübergreifenden Zugriff für alle Projektpartner.

Abb. 1 zeigt exemplarisch die erstellte Architektur für die Erreichung dieses

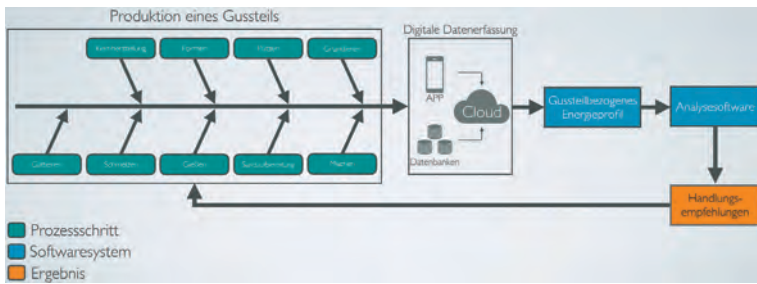


Abb. 2: Bereitstellung und Analyse eines gussteilbezogenen Energieprofils.

2

Projektziels. Auf der rechten Seite sind die Server und Datenbanken der Kemptener Eisengießerei skizziert. Durch die Installation sogenannter „Azure Data Factory Self-hosted integration runtime“ auf den jeweiligen Servern lassen sich alle Prozessparameter in die Microsoft Azure Cloud überführen. Eine Integration der in einer separaten Datenbank gespeicherten App-Daten findet automatisiert statt.

Energieprofils möglich. Dieses liefert für individuelle Gussteile eine Übersicht aufgewendeter Energie pro Prozessschritt. Mithilfe moderner Data Science Anwendungen und Künstlicher Intelligenz sind diese Ergebnisse analysierbar. Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse lassen sich Handlungsempfehlungen generieren, die prozessspezifisch bei der Reduktion benötigter Energiemengen unterstützen sollen.

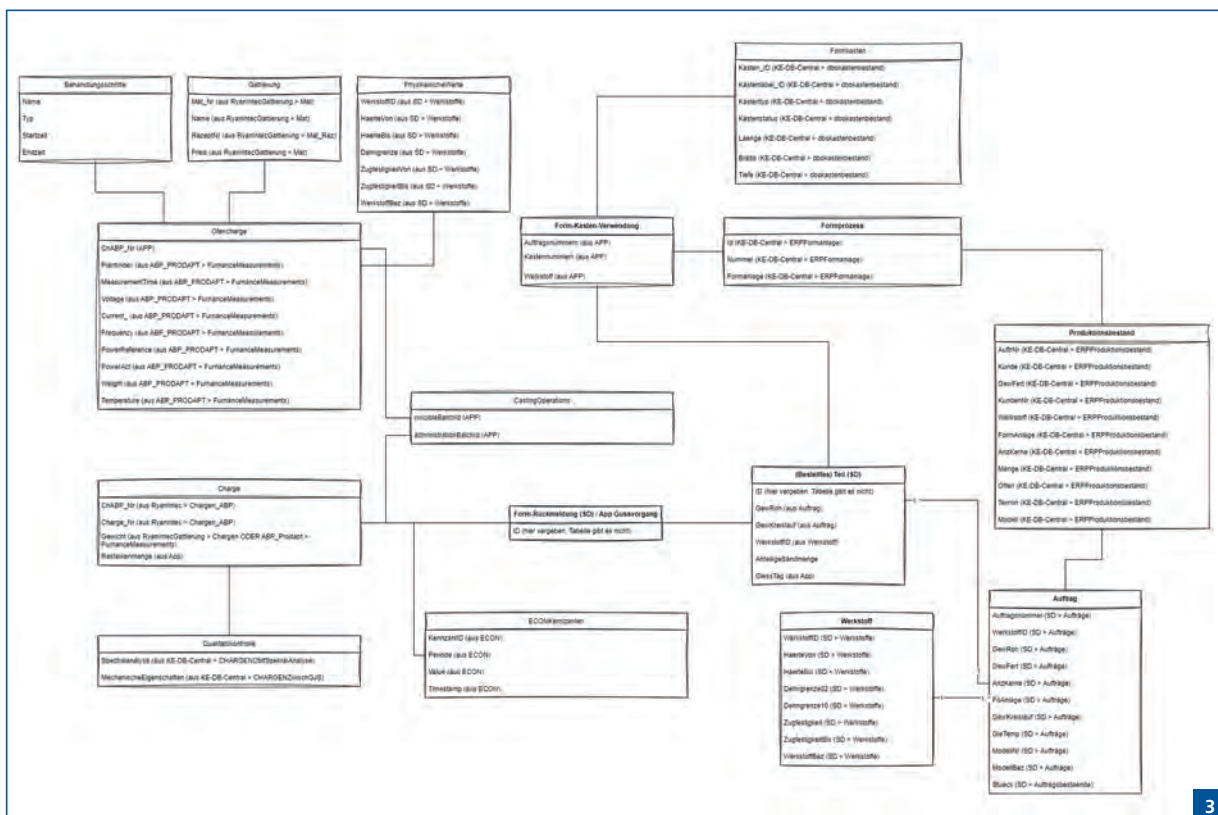
sammen und stellt mit seinen Inhalten einen elementaren Ausgangspunkt für das Projektvorhaben dar.

Nicht alle in den tausenden Datenbanktabellen enthaltenen Prozessparameter stellen Haupteinflussgrößen für den Energieverbrauch eines Gussteils dar. Durch die Projektpartner musste dahingehend eine umfassende

Nach der Zusammenführung ist die Berechnung eines gussteilbezogenen

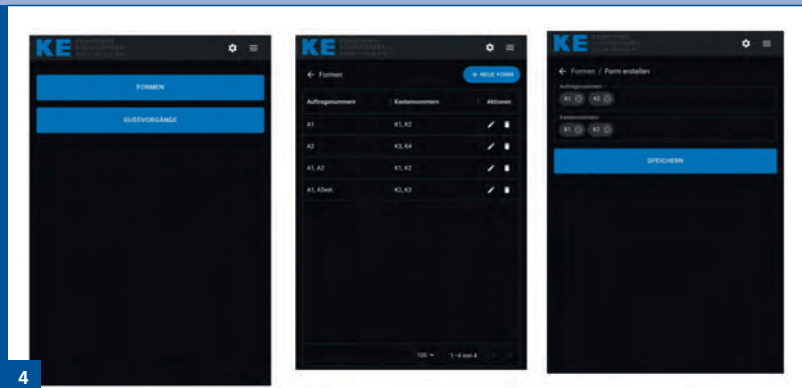
Abb. 2 fasst das in diesem Abschnitt beschriebene Vorgehen grafisch zu-

Abb. 3: Übersicht Energiemodell



3

**Abb. 4:** Prozess „Formen“ in der mobilen App.



sende Übersicht geschaffen werden. Ein erstes Diagramm entstand in den ersten Monaten des Projektes und wurde schrittweise verfeinert respektive adaptiert. Visualisiert ist die finale Version in [Abb. 3](#).

Zu sehen sind unterschiedliche, eigens zu erstellende Datenbanktabellen, die sich aus den heterogenen Daten unterschiedlichster Quellsysteme zusammensetzen. Durch eine Kombination all dieser Informationen ist eine Berechnung des gussteilbezogenen Energieprofils möglich.

### Datenmanagement und Umsetzung

Dieses Arbeitspaket fokussierte die technische Realisierung der in [Abb. 2](#) dargestellten Struktur. In einem ersten Schritt sind dafür die Daten aus den jeweiligen Quellsystemen zu akquirieren gewesen. Während der Projektlaufzeit zeigte sich zunehmend, dass der Prozess trotz Automatisierung kontinuierlich zu begleiten und zu erweitern ist. Für eine flächendeckende sensorische Erfassung messbarer Haupteinflussgrößen erweiterte die Kemptener Eisengießerei die Anzahl ihrer Messstellen.

Ein zentraler Meilenstein des Arbeitspakets war die Planung und Realisierung einer Microsoft Azure Cloud, mit deren Hilfe sich alle relevanten Prozessparameter erfassen, zusammenführen und bereitstellen lassen. Wie zuvor erwähnt, installierten die Pro-

jektpartner eine Softwarelösung auf den diversen Quellsystemen, um eine automatisierte, konstante und sichere Übertragung der Daten in die Cloud zu ermöglichen. Die Konzepthaus Web Solutions GmbH wird nach Abschluss des Projektes die Betreuung und Wartung dieser Softwarelösungen übernehmen und dafür sorgen, dass die Ergebnisse der Projektarbeiten für die Kemptener Eisengießerei auch künftig nutzbar und technisch auf dem neuesten Stand sind.

Jedoch ist eine Erfassung aller relevanten Parameter durch Sensorik nicht möglich. Das mittelständisch orientierte Unternehmen setzt in einigen Bereichen auf manuelle Arbeitsschritte. Dies gilt beispielsweise für die Erfassung der Resteisenmengen. Diese ergeben sich planungsbedingt und sind nicht vollständig vermeidbar. Da sie im Rahmen des Projektes durch die Mitarbeitenden dokumentiert werden mussten, kam es laut Gießereileitung auch ohne gezielte Maßnahmen zu einer deutlichen Verringerung der Resteiensmenge. Die Einsparung ergab sich durch eine offene Kommunikation mit den verantwortlichen Mitarbeitern der Kemptener Eisengießerei und durch die Notwendigkeit möglichst sparsam mit Energie und Rohstoffen umzugehen. Zur Dokumentation nicht messbarer Kennwerte konzipierten und implementierten die Konsortialpartner eine mobile App. Sie ermöglicht eine lückenlose Dokumentation energierelevanter Prozesse.

Für die Speicherung eingetragener Prozessparameter dient eine Datenbank, deren Inhalte in die Prozessdatenbank übertragen werden. Gemeinsam mit der Gießereileitung, der IT-Leitung und einigen Prozessexperten erfolgte eine Evaluation und kontinuierliche Weiterentwicklung der App.

[Abb. 4](#) und [5](#) bieten einen Einblick in die Benutzeroberfläche. Um den Produktionsablauf nicht durch langwierige und komplexe Eingaben zu verzögern, ist diese bewusst einfach gestaltet. Die zuerst genannte Grafik zeigt, wie innerhalb der App Aufträge zu vorhandenen Formkästen zugeordnet werden können. In einem Kasten können sich ein bis beliebig viele Aufträge befinden (entsprechend der produktionsbedingten Beschränkungen). Zusätzlich finden diverse produkt- sowie qualitätsrelevante Prüfungen statt. So ist es beispielsweise nicht möglich, Aufträge mit unterschiedlichem Werkstoff in einem Formkasten miteinander zu kombinieren. Diese Funktion schützt vor Fehlern im Planungsprozess und vermeidet somit aktiv vor einem Produktionsausschuss, die wiederum zu unnötigen CO<sub>2</sub>-Emissionen führt (und eine Nachproduktion erfordert).

[Abb. 5](#) hingegen zeigt, wie Gussvorgänge mithilfe der Benutzeroberfläche dokumentierbar sind. Die zuvor angelegten und mit Aufträgen verknüpften Formen sind hier auswähl-



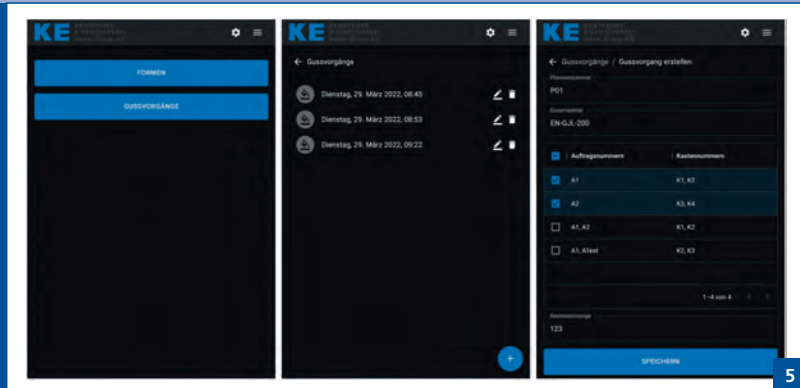


Abb. 5: Prozess „Gussvorgänge“ in der mobilen App.

bar. Anschließend leitet die App in eine Eingabemaske weiter. Hier ist die Pfannenummer einzutragen. Der zu gießende Werkstoff wird entsprechend der im Kasten befindlichen Aufträge angezeigt. Zusätzlich können die Mitarbeitenden der Kemptener Eisengießerei die Resteisenmenge in der Pfanne sowie zwei Chargennummern eingeben. Die Gießerei hat bis dato zwei solcher Identifikationsnummern. Einmal aus dem ERP-System und einmal aus der Ofensteuerung. Eine maschinelle Verknüpfung und somit eine lückenlose Nachverfolgbarkeit der Gussteile war aus diesem Grund bisher nicht möglich.

Eine Analyse und Verknüpfung aller Haupteinflussgrößen war in dem für Arbeitspaket 2 angegebenen Zeitraum noch nicht möglich. Die individuellen Quellsysteme ließen sich nur iterativ und teils nur nach Erweiterung um benötigte Schnittstellen anbinden. Da dieser Meilenstein maßgebend für die Generierung des gussteilbezogenen Energieprofils ist und somit ein, wenn nicht das zentrale Projektergebnis darstellt, haben die Projektpartner die Anbindung und Zusammenführung der Daten kontinuierlich verfolgt. Schrittweise ließ sich das in Abb. 2 gezeigte Energiemodell entwickeln.

Die zuvor identifizierten Prozessschritte, die es bei der Herstellung eines Gussteils notwendig sind, lassen sich energetisch unterschiedlich granular abbilden. Für das Gießen selbst sind

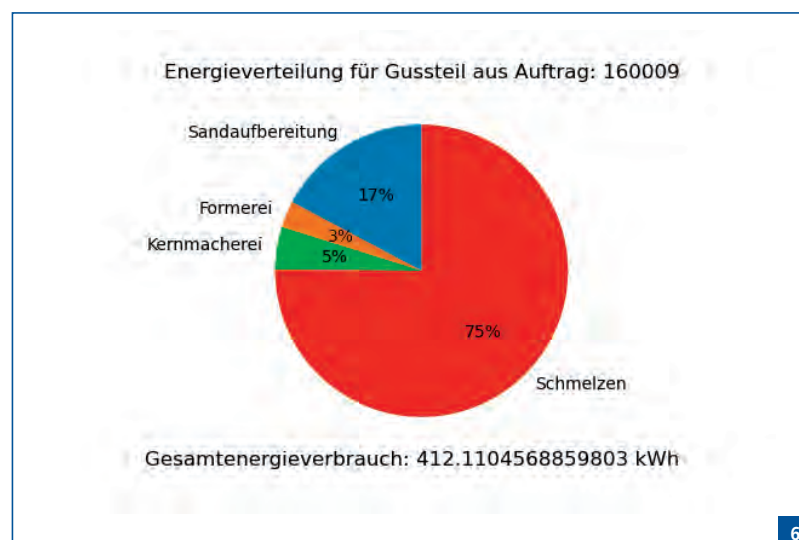
keine nennbaren Energieverbräuche vorhanden. Sowohl in der Kernmacherei als auch in der Formerei ist keine gussteilspezifische Nachverfolgung möglich (da beispielsweise die Kerne nicht markiert sind). Die Stromverbräuche eingesetzter Maschinen können tagesaktuell und anteilig berücksichtigt werden. Die benötigte Energie der Sandmischer ist nur im Verbund mit weiteren Maschinen für die Formstoffaufbereitung nachvollziehbar. Beim Putzen und Grundieren sind auch für eine anteilige Bestimmung des Energieverbrauchs nicht genügend Messstellen vorhanden. Pro Gussteil sind die folgenden Prozessschritte gut nachvollziehbar:

- Kernherstellung
- Formen
- Schmelzen
- Sandaufbereitung

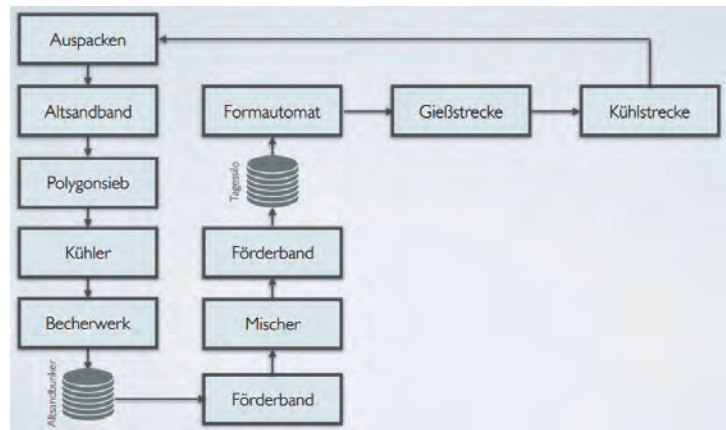
Anhand der Daten der Schmelzöfen konnte bei der Kemptener Eisengießerei ein durchschnittlicher Energieverbrauch von 0,58 kWh pro geschmolzenem Kilogramm Eisen ermittelt werden. Die Gießereileitung hat diese Kennzahl nachvollzogen und für korrekt befunden. Wie zu erwarten, nimmt der Schmelzprozess energetisch den größten prozentualen Anteil im Gesamtenergieprofil eines Gussteils ein. Abb. 6 verdeutlicht dies an einem exemplarisch selektierten Auftrag. Das Rohgewicht (Eisen) des Gussteils liegt bei 400 kg.

Es wird deutlich, dass der Schmelzprozess 75 % des Energieverbrauchs

Abb. 6: Gussteilbezogenes Energieprofil für einen selektierten Auftrag



**Abb. 7:** Grafische Darstellung aller Schritte für die Formstoffaufbereitung (Formautomat).



7

ausmacht. Der energetische Aufwand für die Formerei (mit 3 %) und die Kernmacherei (mit 5 %) sind hingegen vergleichsweise gering. Überraschend hingegen sind die hohen Energiekosten bei der Sandaufbereitung. Sie machen 17 % des Gesamtenergieverbrauchs für das Gussteil dieses Auftrags aus. Insgesamt sind ca. 412 kWh notwendig, um ein solches Teil zu fertigen.

Diese gussteilbezogenen Energieprofile lassen sich für alle Aufträge der Kemptener Eisengießerei erstellen. Für die Prozessexperten ist somit nachvollziehbar, wie viel Energie in einem Gussteil steckt und wo die größten Potenziale für Optimierungsansätze stecken. Umfassende Datenanalysen sind planmäßig im folgenden Arbeitspaket vorgesehen.

#### Aufgetretene Herausforderungen

Dieses Arbeitspaket stellte sich als größte Herausforderung des Projektvorhabens heraus. Die technische Umsetzung respektive Anbindung der Quellsysteme ließ sich aufgrund einer vorausschauenden Planung gut umsetzen. Die Zusammenführung der energierelevanten Prozessparameter im Sinne von Abb. 3 kostete hingegen deutlich mehr Zeit als ursprünglich geplant. Nachdem die Identifikation der Haupteinflussgrößen in den tausenden Datenbanktabellen abgeschlossen war, galt es diese zusammenzuführen. Die Datenbanken sind ursprünglich nicht darauf

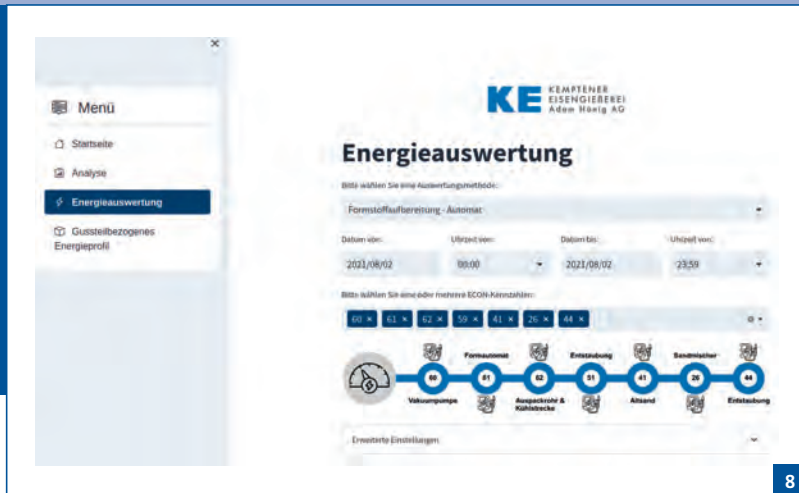
ausgelegt gewesen, eine prozessübergreifende Datenanalyse zu ermöglichen. So gibt es in der Kemptener Eisengießerei beispielsweise zwei unterschiedliche Chargennummern, die einmal durch das ERP-System durch die Arbeitsvorbereitung und einmal durch die Ofensteuerung von ABP vergeben werden. Obwohl es sich um denselben Auftrag handelt, ließen sich diese bis dato digital nicht zusammenführen. Diese Verknüpfung findet in der entwickelten Prozessdatenbank mithilfe in der App erfassten Eingaben statt. Andernfalls wäre keinerlei Zuordnung der energieintensiven Ofendaten mit allen weiteren Prozessdaten möglich.

Weiterhin sind einige Einflussgrößen einem Gussteil nicht unmittelbar und individuell zuordenbar. Insbesondere ist hier die Formstoffaufbereitung zu nennen. Der beim Ausleeren eines Formkastens angefallene Formsand wird über verschiedene Förder-, Zerkleinerungs-, Kühl- und Entstaubungseinrichtungen in Vorratsbunker transportiert. Formkästen werden über den Tag und in der Nacht laufend entleert. Die entsprechend anfallenden Formstoffmengen vermischen sich in diesem Prozessablauf sehr schnell und so ist es nicht möglich, auf das einzelne Gussteil individuelle Kennzahlen zu erheben. Für verwendete Sandkerne können zwar die Energiedaten der

Kernproduktion erfasst werden, jedoch fließt der Kernsand beim Ausleeren in den allgemeinen Formstoffkreislauf ein. So ist auch hier eine individuelle Aufschlüsselung nicht möglich. Da es sich bei der Formstoffaufbereitung jedoch um einen bedeutend energieintensiven Prozess handelt, wird für die erforderlichen Einflussgrößen wochenaktuell ein statistischer Mittelwert errechnet, welcher dann über einen weiteren Rechenschritt unter Berücksichtigung der von der Arbeitsvorbereitung errechneten für das Gussteil notwendigen Sandmenge dem jeweiligen Gussteil zugeordnet wird.

Die mobile App stellt einen zentralen Bestandteil des Projektes dar und ist zwingend notwendig, um eine lückenlose Verknüpfung und Dokumentation energierelevanter Haupteinflussgrößen zu realisieren. Zu Beginn standen einige sehr handwerklich orientierte Mitarbeiter mit langjähriger Erfahrung dieser Neuentwicklung überaus skeptisch gegenüber. Gerade die jungen Mitarbeitenden ließen sich jedoch schnell von der Idee überzeugen und halfen durch Verwendung der App einen Mehrwert aufzuzeigen und Akzeptanz zu schaffen.

Die Projektergebnisse zeigen, dass alle Herausforderungen durch Zusammenarbeit der Projektpartner über-



**Abb. 8:** Energieauswertung für die Formstoffaufbereitung (Formautomat).

wunden und das Arbeitspaket erfolgreich abgeschlossen werden konnte.

### Datenanalyse und -auswertung Energiemodell für die Formstoffaufbereitung

Ein weiterer zentraler Aspekt des Arbeitspakets stellt die Erstellung eines Energiemodells für die Formstoffaufbereitung der Kemptener Eisengießerei dar. Sowohl bei der Auswertung des gussteilbezogenen Energieprofils als auch bei der Optimierung der Belegungsplanung der Formanlage fiel auf, dass die Formstoffaufbereitung einen nicht unerheblichen Anteil des Gesamtenergieverbrauchs eines Gussteils ausmacht. **Abb. 6** verdeutlicht dies anhand eines realen Auftrags.

Bei der Kemptener Eisengießerei gibt es zwei Aufbereitungskreisläufe, die einmal den Handformguss und zum anderen den Maschinenformguss versorgen. Beide Sandkreisläufe wurden dokumentiert und sind in einer Grafik festgehalten. Die folgende Erläuterung fokussiert sich auf die Sandaufbereitung für den Formautomaten. Alle Untersuchungen erfolgten auch für den Handformguss, sind jedoch hier nicht explizit beschrieben, um Wiederholungen zu vermeiden.

**Abb. 7** stellt alle Verarbeitungsschritte respektive Maschinen für die Aufbe-

ereitung des Formstoffs für den Formautomaten dar. Mithilfe des Energiemanagements der Gießerei ließen sich diese mit vorhandenen Energiemessstellen verknüpfen. Da nicht jeder Verarbeitungsschritt durch eine individuelle Messstelle erfassbar ist, werden die Energieverbräuche mehrerer Maschinen teils durch einen gemeinsamen Sensor aufgenommen.

Um den Mitarbeitenden der Kemptener Eisengießerei den Zugang zu den erfolgten Analysen zu erleichtern und sie zu befähigen, eigene Untersuchungen durchzuführen, haben die Projektpartner die für die Analyse des gussteilbezogenen Energieprofils entwickelte Webanwendung erweitert. Ein Ausschnitt ist in **Abb. 8** dargestellt. Die Auswertungsmethode (Automatenguss oder Handformguss) ist genau wie ein beliebiger Zeitraum (sofern Energiedaten für diesen vorliegen) wählbar. Die mit diesen Prozessen verknüpfen Messstellen werden automatisiert hinzugefügt.

Anhand diverser automatisiert erzeugter Grafiken können die Mitarbeitenden die Energieverbräuche der einzelnen Maschinen individuell und im Vergleich untersuchen.

**Abb. 9** stellt dies exemplarisch dar. Abgebildet ist ein Pie-Chart, das einen prozentualen Vergleich von

Energieverbräuchen pro Messstelle (in einem Zeitraum von 24 Stunden) darstellt. Die Zahlen innerhalb der Legende referenzieren spezifische Messstellen, deren Bezeichnungen in **Abb. 8** einsehbar sind (so verweist beispielsweise Messstelle 26 auf den Sandmischer). Die Kemptener Eisengießerei erhält somit eine Übersicht und Sortierung relevanter Messstellen. Die Mitarbeitenden prüfen nun, welche Maßnahmen zu ergreifen sind, um prozess- bzw. maschinen-spezifisch Energie einzusparen. In Bezug auf die zuvor genannte Messstelle 26 wird beispielsweise untersucht, ob sich die Zeit für das Mischen des Sandes reduzieren lässt.

### Belegungsplanung Formanlage

Die Kemptener Eisengießerei besitzt eine alte Formanlage. Eine Datenerhebung mithilfe von Sensorik respektive durch die Maschinensteuerung ist aufgrund des Alters der Anlage nicht möglich. **Abb. 10** zeigt die Anlage in Form einer Skizze.

Auf der linken Seite befinden sich die Modellplatten für den aktuellen und den nächsten Auftrag. Die mit Nummer 2 gekennzeichnete Platte fährt vor und zurück. Mithilfe eines Drehtellers wird die Platte manuell geschwenkt und durch Mitarbeitende händisch mit Kernen bestückt. Nach Eindrehen der Platte erzeugt der Formautomat einen Kasten und schießt Formstoff in diesen. Durch ein Förderband werden sie befördert und



**Abb. 9:** Pie-Chart für die Energieauswertung der Formstoffaufbereitung (Formautomat).



kühlen unterdessen ab. Am Ende der Strecke werden die Gussteile ausgepackt und mithilfe eines Rüttlers von Sand befreit. Die Gießstrecke befindet sich auf der (in [Abb. 10](#)) untersten Bahn entgegen der Flussrichtung des Förderbands. Das flüssige Eisen wird in einer Pfanne an die Formanlage befördert. Ihr Fassungsvermögen beträgt 600 kg. Die Mitarbeitenden der Kemptener Eisengießerei befüllen nach und nach die Ballen mit flüssigem Eisen. Es ist nicht ersichtlich, wie viel Eisen sich zu einem bestimmten Zeitpunkt genau in der Pfanne befindet. Weiterhin ist unklar, wie viel Eisen genau in einen Ballen zu gießen ist. Neigt sich der Pfanneninhalt nach einigen Gussvorgängen dem Ende, ist durch den Mitarbeitenden eine Entscheidung zu treffen. Ist die Eisenmenge nicht ausreichen, entsteht Ausschuss. Üblicherweise wird Resteisen vermässelt oder direkt in der Pfanne zurück in den Schmelzbetrieb transportiert. Das abgekühlte und erstarrte Resteisen lässt sich selbstverständlich wieder weiterverarbeiten und neu einschmelzen. Die investierte Energie geht jedoch unweigerlich verloren.

Ein wichtiges Ziel für die Prozessexperten der Gießerei war es daher, diese Resteisenmengen zu reduzieren. Die Idee der Projektpartnern umfasste eine digitale Planung der Aufträge des Formautomats für eine Woche. Durch eine geschickte Kombination dieser ließe sich Energie einsparen. Für die Planung gibt es eine Vielzahl

von Entscheidungskriterien respektive Restriktionen. So sind verständlicherweise nur Aufträge zu selektieren, die in dieser Produktionswoche fertigzustellen sind. Sofern zeitlich möglich, dürfen auch Aufträge aus der kommenden Wochen einbezogen werden. Weiterhin müssen einige Aufträge, abhängig von Eisenmenge und vor allem Geometrie, über Nacht auf der untersten Bahn des Förderbands abkühlen. Fährt man diese darüber hinaus, würde das noch flüssige Eisen aus den Kästen herauslaufen und das Gussteil wäre nicht mehr brauchbar und somit Ausschuss. Da es eine große Menge weiterer Einflussparameter und Restriktionen gibt, gestaltet sich die Wochenplanung für den Formautomaten als zeitaufwendig und überaus komplex. Die Planung basiert teils auf Daten der Arbeitsvorbereitung, häufig jedoch auch auf nicht quantifizierbarem Erfahrungswissen von Mitarbeitenden.

Gemeinsam haben die Projektpartner eine moderne Webanwendung entwickelt, mit deren Hilfe sich diese Herausforderung angehen lässt. Als Grundlage dient eine Liste zu fertigen Aufträgen aus dem ERP-System der Kemptener Eisengießerei. Ein komplexes und selbst entwickeltes Verfahrensmodell ist in der Lage, das vorliegende Optimierungsproblem unter den gegebenen Umgebungsvariablen zu lösen. Nach Fertigstellung der Webanwendung und Evaluation mit den Prozessexperten der Gießerei

wurde festgestellt, dass eine geschickte Kombination von Aufträgen zur Reduktion von Resteisenmengen nicht die optimale Lösung darstellt, um Energie einzusparen. Es fiel auf, dass bei jedem Tausch der Modellplatte (links unten in [Abb. 10](#)) zwei Leerballen entstehen. Auch wenn diese nicht mit Eisen zu befüllen sind, wird Formstoff in die Kästen geschossen. Wie schon im vorherigen Arbeitspaket beschrieben, ist die Sandaufbereitung bei der Kemptener Eisengießerei vergleichsweise teuer. Pro Leerballen entstehen 5 kWh für die anschließende Formstoffaufbereitung. Bei zwei Leerballen pro Auftragswechsel und 0,58 kWh für das erneute Einschmelzen eines Kilogramms Resteisen. Es lohnt sich daher nicht in allen Fällen, den Auftrag zu wechseln.

Die Projektpartner stellten daher ein zweites Planungsverfahren bereit, das hinsichtlich dieser Erkenntnis optimiert.

[Abb. 11](#) zeigt eine solche Planung entsprechend der gegebenen Umweltrestriktionen für einen bestimmten Produktionstag mithilfe eines Gantt-Charts. Auf der linken Seite sind die Identifikatoren eingeplanter Aufträge zu sehen. In der untersten Spalte sind die Zeitpunkte der Modellplattenwechsel (siehe links unten in [Abb. 10](#)) einsehbar. Die Aufträge sind nach Werkstoffen aneinandergereiht. Es ist bei der Planung von zentraler Bedeutung, die Aufträge so zu organisieren, dass

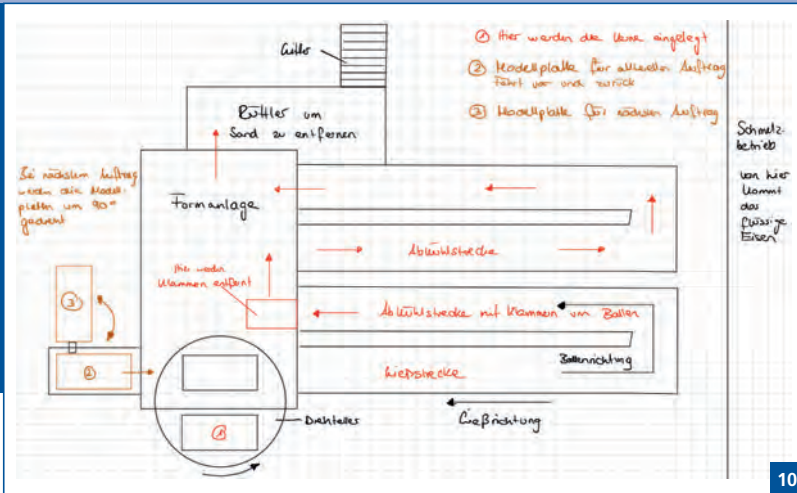


Abb. 10: Skizze des Formautomats.

die gesamt benötigte Eisenmenge rechnerisch exakt drei oder ein Vielfaches dieser Zahl darstellt. Die Kemptener Eisengießerei besitzt vier Schmelztiegel mit einem Volumen von drei Tonnen oder sechs Tonnen. Die Zusammensetzung geplanter Aufträge muss folglich immer dem Volumen eines oder mehrerer Schmelztiegel entsprechen, damit keine Resteisenmengen entstehen (die Aufträge der Handformerei werden unabhängig geplant und können hier nicht berücksichtigt werden). Die Auftragsplanung berücksichtigt das Lieferdatum der Gussteile und favorisiert jene, die früher auszuliefern sind. Zuletzt sind Aufträge geplant, die nicht über die unterste Bahn des Förderbands hinausfahren dürfen. Die Anzahl der Plätze ist hierbei beschränkt, was durch die automatisierte Planung zu berücksichtigt ist.

**Einsparung von CO<sub>2</sub>**

Allgemein wirken sich Energie- sowie Rohstoffeinsparungen auf die Ökonomie der Gießerei aus. Im Fokus steht jedoch auch die Auswirkung des Projektes auf die ökologischen Aspekte. **Abb.12** zeigt den vom Energiemanagement errechneten CO<sub>2</sub>-Ausstoß der Kemptener Eisengießerei zwischen den Jahren 2019 und 2022. Das REFFpro-Projekt startete im Jahr 2020. Im Vergleich zum Jahr 2019 konnten 973.665,00 kg CO<sub>2</sub> eingespart werden. Dies ist als großer Erfolg zu bewerten und übertrifft die im Projektantrag geschätzte Einsparungsmenge um 849,655 t. Gegenüber dem Vergleichsjahr 2019 konnte in den Folgejahren der CO<sub>2</sub>-Ausstoß maßgeblich reduziert werden. 2022 war dieser um 1.385.822,00 t geringer als im Vergleichsjahr. Weiterhin

sind in Abb. 13 die CO<sub>2</sub>-Emissionen (in to) pro Tonne guter Guss dargestellt. Im Jahr 2020 liegen diese aufgrund der durch die Corona-Pandemie verursachten geringeren Produktionsmengen minimal höher als im Vorjahr. Es wird jedoch deutlich, dass im Jahr 2021 und 2022 merkliche Einsparungen erzielt werden konnten. Die Projektpartner sehen diese massiven Einsparungen als vollen Erfolg an.

Die Gießereileitung der Kemptener Eisengießerei ist sich sicher, dass REFFpro Maßnahmen entscheidend zu den CO<sub>2</sub>-Einsparungen beigetragen und darüber hinaus viel Bewusstheit für eine umweltfreundlichere Produktion geschaffen hat. Viele Optimie-

Abb. 11: Planung für den Formautomaten

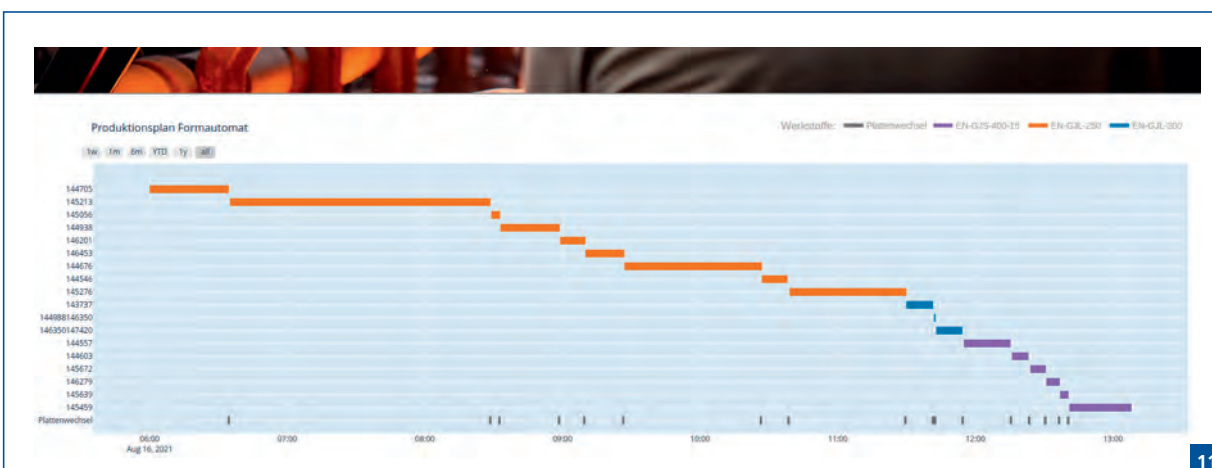
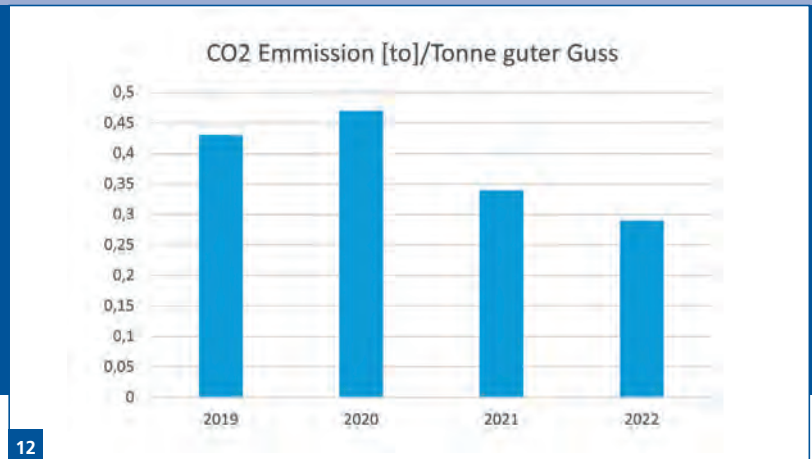


Abb. 12: CO<sub>2</sub>-Ausstoß zwischen 2019 und 2022.



rungs- und Einsparungsmaßnahmen sind auch nach Abschluss des Projektes weiterhin im Einsatz und neue in Vorbereitung (bspw. die Untersuchung der Formstoffaufbereitung). Somit ist also auch in den Folgejahren mit weiteren Einsparungen durch das Projektvorhaben zu rechnen.

#### Fazit

Das Forschungsprojekt REFFpro hatte zum Ziel, die Umweltverträglichkeit kleiner und mittelständischer Gießereien zu optimieren und einen Beitrag zur Verbesserung der Nachhaltigkeit zu leisten. Aufgrund aktueller politischer und weltwirtschaftlicher Entwicklungen, welche die deutsche Gießereiindustrie stark beeinflussen, erreichte das Projekt großen Zuspruch und auch mediales Interesse.

Durch unterschiedliche Maßnahmen hat das Projektkonsortium energierelevante Prozessdaten identifiziert, zentralisiert und gespeichert. Mithilfe eigens entwickelter Assistenzsysteme, die auf modernen Data Science Ansätzen sowie Algorithmen der Künstlichen Intelligenz basieren, lassen sich die Energieverbräuche von Gussteilen identifizieren und auch analysieren. Die Assistenzsysteme unterstützen die Mitarbeitenden der Kemptener Eisengießerei dabei, prozessoptimale Entscheidungen zur Reduktion von Energie- und Ressourcenverbräuchen zu treffen. Weitere Assistenzsysteme für die Klassifikation und Vorhersage des Schmelztiegelverschleißes sowie für

die Optimierung der Belegungsplanung am Formautomaten stellen mit ihren Handlungsempfehlungen weitere Einsparungsmaßnahmen dar. Aus ökologischer Perspektive konnte die Kemptener Eisengießerei ihre CO<sub>2</sub>-Emissionen um durchschnittlich 1.138.200,00 kg reduzieren (verglichen zum Jahr 2019). Diese Einsparungen sind (neben weiteren Aspekten) auf die Projektergebnisse zurückzuführen. Die Konsortialpartner bewerten REFpro daher als beachtlichen und nachhaltigen Erfolg. Die bereitgestellten Projektergebnisse finden mittlerweile Anwendung in der Gießerei und tragen auch künftig zu prozessoptimalen Entscheidungen bei. Auch über die Laufzeit hinaus gibt es weitere Untersuchungen und Projekte, welche die Kemptener Eisengießerei aufgrund der in REFFpro gewonnen Erkenntnisse kontinuierlich und ohne Unterbrechung weiterführen möchte.

#### Literatur

- [1] Die Gießerei-Industrie in Deutschland, bdguss, <https://www.guss.de/organisation/bdg/branche>, aufgerufen am: 09.01.2024
- [2] Energiekosten werden zur Gefahr für den Erhalt der Unternehmen, bdguss, <https://www.guss.de/organisation/presseinformation/ukraine-umfrage>, aufgerufen am: 09.01.2024
- [3] Wie künstliche Intelligenz beim Energiesparen hilft (Interview und

Veröffentlichung). Süddeutsche Zeitung. September 2022. <https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/ki-energie-sparen-deutschland-industrie-1.5650707>

- [4] Mit Digitalisierung die Produktion nachhaltiger gestalten (Fachartikel). Eine Brücke zwischen Wissenschaft und Industrie – Aus der Forschung in die Praxis. Bayern Innovativ. Februar 2022. (Zusammenfassung einsehbar unter: <https://www.bayern-innovativ.de/de/veranstaltung/aus-der-forschung-in-die-praxis#!rueckblick>)
- [5] Roadmap zur Vision: 2045 - Zur klimaneutralen Produktion mit Digitalisierung (als Diskussionsgrundlage mit Branchenvertretern und dem Bayerischen Staatsministerium). Bayern Innovativ. März 2022. <https://www.bayern-innovativ.de/de/seite/roadmap-vision-2045>

Das Projekt wurde gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt.



Die Bildrechte liegen bei den Projektpartnern:  
 – Kemptener Eisengießerei Adam Hönig AG  
 – Konzepthaus Web Solutions GmbH  
 – ABP Induction Systems GmbH  
 – Hochschule für angewandte Wissenschaften Kempten



# Mit BEYER Metall in die Zukunft der bleifreien Kupfer- und Aluminiumwerkstoffe

Seit 1928 steht das Familienunternehmen BEYER Metall für höchste Produkt- und Service-Qualität, fairen Handel und nachhaltiges Engagement. Dies leben wir seit jeher und wird auch in Zukunft konsequent weiterverfolgt.

Am Standort Andernach/Rhein nimmt dies Gestalt an durch den Neubau unserer innovativen Logistikhalle mit automatisiertem Lagersystem, angeschlossenen Verwaltungsgebäude und energetischer Eigenversorgung mittels moderner Photovoltaik Anlage. Außerdem entstehen im Herzen unserer Gießerei zukunftsweisende Lösungen für den

Maschinen- und Anlagenbau, wie zum Beispiel bleifreie Kupferguss-Werkstoffe.

Hierbei bieten besonders die BEYERbleifrei7 und BEYERbleifrei12 einen „1:1“ Ersatz zu den am Markt üblichen bleihaltigen Legierungen Rg7 (CC493K) und CuSn12 (CC484K). Und dies nicht nur im Hinblick auf die mechanischen Eigenschaften, sondern auch bei Langlebigkeit und den Bearbeitungseigenschaften.

Diese Legierungen erfüllen vollumfänglich die Anforderungen der Regelwerke nach REACH, ROHS und der CLP Verordnung!

Bitte sprechen Sie hierzu und zu den weiteren Möglichkeiten unsere Mitarbeiter:innen an **Stand 5D71 in Halle 5** an.

Wir freuen uns auf Sie!

**Mittelrheinische Metallgießerei  
Heinrich Beyer GmbH & Co. KG**

Koblenzer Straße 69  
D-56626 Andernach  
info@mmhb.de  
[www.mmhb.de](http://www.mmhb.de)

**BEYERMETALL**  
GIESSEREI · HANDEL · BEARBEITUNG

Besuchen Sie uns - Stand 5D71  
Halle 5

**CastForge**  
Fachmesse für Guss- und  
Schmiedeteile mit Bearbeitung  
4. – 6. Juni 2024 Messe Stuttgart

[www.mmhb.de](http://www.mmhb.de)

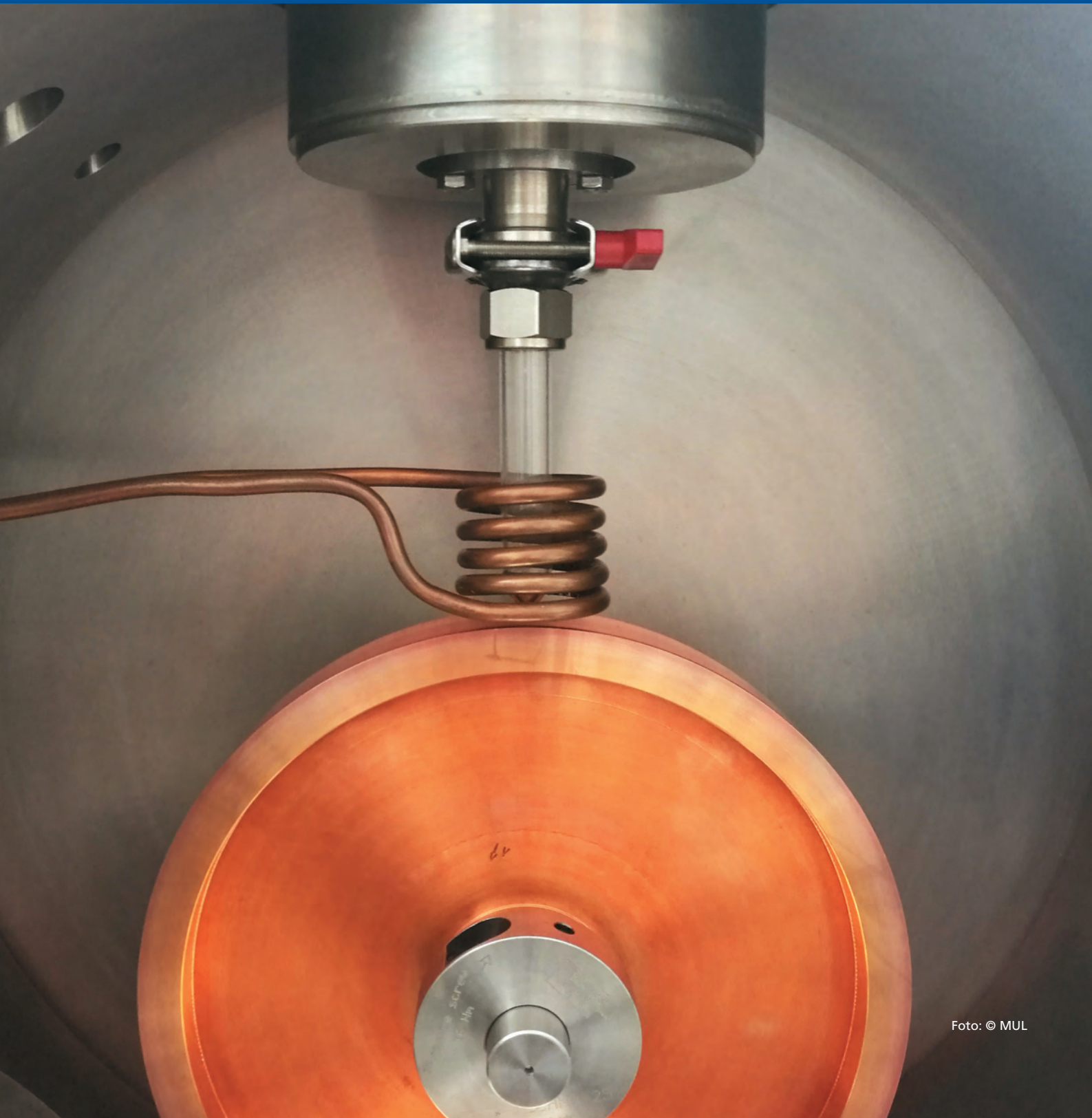


**Prof. Dr. Dipl.-Ing. Peter Schumacher**  
Institutsleitung

Department für Metallurgie  
Lehrstuhl für Gießereikunde

**Ansprechpartner:**

Prof. Dr. Dipl.-Ing. Peter Schumacher  
Frau Tanja Moser, DW-3301





**Forschungsgebiete**

Schmelzmetallurgie  
Veredelung  
Kornfeinung Al, Mg, Cu  
Schmelzeinheit  
Legierungsentwicklung  
Thermodynamische Simulation



## Montanuniversität Leoben – Lehrstuhl für Gießereikunde

Der Lehrstuhl für Gießereikunde an der Montanuniversität Leoben betreibt Forschung mit dem Schwerpunkt auf dem grundlegenden Verständnis der metallurgischen Vorgänge in der Gießereitechnik. Gemeinsam mit dem Österreichischen Gießereiiinstitut (ÖGI) spannen die Forschungsgebiete einen großen Bogen über die Themengebiete der Gießereitechnik vom Atom bis zum Gussteil. Im Mittelpunkt der Forschungstätigkeit des Lehrstuhls für Gießereikunde steht die verfahrensoptimierte Mikrostruktur und Legierungsentwicklung mit den Schwerpunkten Veredelung und Kornfeinung. Da bei stehen dem Lehrstuhl Kleinschmelzöfen unter kontrollierten Laborbedingungen bis hin zu hochauflösenden Mikroskopen und Messmethoden zur Verfügung. Die Forschungsgebiete des Lehrstuhls für Gießereikunde werden durch Themengebiete im Bereich der entwicklungsnahe Gießereitechniken am Österreichischen Gießereiiinstitut ergänzt. In den Laboren des ÖGI stehen hierbei modernste Anlagen im Bereich der mechanischen Prüfung, der Computertomographie, der thermophysikalischen Messung sowie der analytischen Chemie und Metallographie zur Verfügung.

Des Weiteren gehört es zur Aufgabe des Lehrstuhls für Gießereikunde die Fortbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses zu fördern. Innerhalb des Studiums der Metallurgie an der Montanuniversität Leoben bietet der Schwerpunkt Gießereikunde die Möglichkeit die gesamte Gießereitechnik, von den Gießverfahren, bis hin zu den metallphysikalischen Grundlagen der Materialwissenschaft abzudecken. Einzigartig ist hierbei die Möglichkeit, sich neben der Gießereitechnik auch im Bereich der Eisen- und Stahlmetallurgie, der Nichteisenmetallurgie sowie der Umformtechnik und Simulation weiterzubilden. Neben der wissenschaftlichen Ausbildung wird in Rahmen der verpflichtenden Industriepaxis und zahlreicher praktischer Übungen großer Wert auf die praktische Ausbildung gelegt. Studierende der Gießereitechnik wird hierbei ermöglicht, topologisch optimierte Gussteile zu simulieren, Modelle mittels 3D-Druck selbst herzustellen und am Lehrstuhl bzw. in Kooperation mit dem ÖGI in verschiedenen Gießverfahren abzugießen und schließlich mittels Computertomographie zu untersuchen und deren mechanische Eigenschaften zu testen. In Kooperation mit dem ÖGI arbeiten insgesamt 15 wissenschaftliche Mitarbeiter am Lehrstuhl gemeinsam mit

Technikern und allgemeinem Personal erfolgreich in den Bereichen:

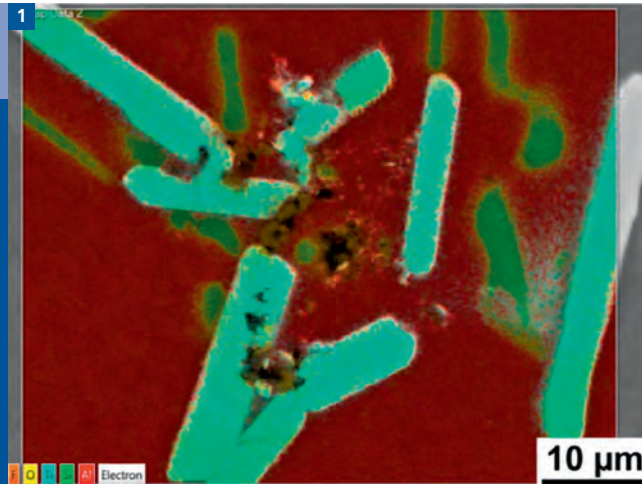
- Eutektische Kornfeinung
- Kornfeinung von Al-Si-Legierungen
- Kornfeinung von Kupferlegierungen
- Wärmebehandlung von Aluminiumlegierungen
- Hochfeste Mg-Zn-Gd Legierungen
- Temperatur und Gefügekontrolle im Druckguss
- Prozesstechnik im Gießereiwesen
- Kerntechnologie

## Kontakt

Montanuniversität Leoben  
Department für Metallurgie  
Lehrstuhl für Gießereikunde  
Prof. Dr. Dipl.-Ing. Peter Schumacher  
Franz-Josef-Straße 18  
A-8700 Leoben, Österreich  
Tel.: +43 (0)3842 402-3301  
Tel.: +43 (0)3842 402-3302  
giesskd@unileoben.ac.at  
www.unileoben.ac.at



Abb. 1: EDX-Mapping  
eines Agglomerats



## Montanuniversität Leoben

Die Themengebiete Mineralien, Metalle und Materialien und damit die energie- und umweltschonende Gewinnung von Ressourcen stehen im Focus der Montanuniversität in Leoben. Die Montanuniversität Leoben ist die drittmittelstärkste und forschungsaktivste Universität in Österreich. Immer wieder belegt die Montanuniversität bei Studentenumfragen den ersten Platz, wenn Einstellungsfähigkeit und spätere Karrierechance sowie Kontakte der Hochschule zur Wirtschaft, oder die Reputation der Hochschule bei Arbeitgebern betrachtet werden. Derzeit nutzen über 4500 Studenten in Leoben diesen goldenen Weg in die Wirtschaft und Forschung.

### Der Lehrstuhl Gießereikunde an der Montanuniversität Leoben

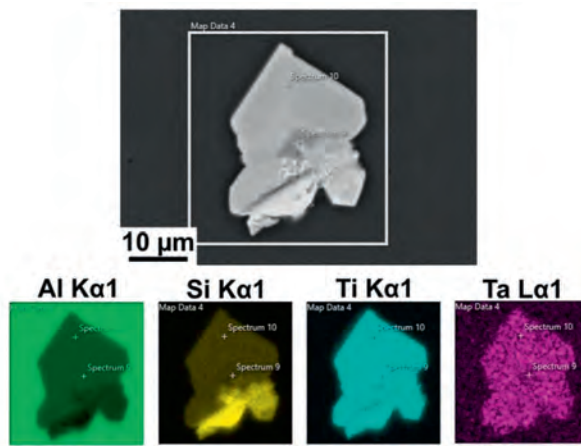
Die gesamte Gießereitechnik von den automatisierten Gießverfahren bis hin zu den metallphysikalischen Grundlagen der Materialwissenschaft wird innerhalb des Bachelorstudiums der Metallurgie (BSc) von dem Lehrstuhl für Gießereikunde abgedeckt. Das anschließende Masterstudium schließt einzigartig im deutschsprachigen Raum mit einem Diplomingenieur (Dipl. Ing.) und Master of Science (MSc) ab und beinhaltet die Möglichkeit, sich neben der Gießereitechnik auch der Eisen- und Nichteisenmetallurgie wie auch der Umformtechnik zu widmen. Ziel ist es, aufbauend auf den naturwissenschaftlichen Grundlagen, die Metallurgie und damit die Gießtechnik tiefgehend zu beherrschen, wobei auch ergänzende Fächer der Betriebswissenschaften und Umwelttechnik die Ausbildung abrunden. Anschließend besteht die Möglichkeit eines Doktorates für wissenschaftlich vertiefende Fragestellungen der Gießereitechnik.

An der Montanuniversität wird großer Wert auf die praktische Ausbildung gelegt, die innerhalb des Bachelorstudiums mit einem Semester der verpflichtenden Industriepaxis und zahlreichen praktischen Übungen erfolgt.

Studierenden der Gießereitechnik wird dadurch ermöglicht, von einem durch Bionic und Topologie optimierten Design dessen Gießtechnik zu simulieren und diese selbst als Modell im 3-D Druck herzustellen und in Kooperation mit dem Österreichischen Gießerei-Institut diese in verschiedenen Gießverfahren abzugießen, mit der Computertomographie zu untersuchen sowie ihre mechanischen Eigenschaften zu optimieren.

### Die Kooperation mit dem Österreichischen Gießerei-Institut, ÖGI

Der Schwerpunkt des Lehrstuhls für Gießereikunde liegt auf dem grundlegenden Verständnis der metallurgischen Vorgänge in der Gießereitechnik, während der Fokus des Österreichischen Gießerei-Instituts ÖGI auf der entwicklungsnahe Gießereitechnik liegt. Damit ergänzen sich die Themengebiete der Gießereitechnik innerhalb der Kooperation über die ganze Bandbreite vom Atom bis hin zum Gussteil. Die Ausstattungen für die Lehre und Grundlagenforschung am Lehrstuhl erstreckt sich von Kleinschmelzöfen unter kontrollierten Bedingungen bis hin zu hochauflösenden Elektronen-Mikroskopen und Messmethoden. Diese werden am ÖGI ergänzt durch modernste Gießereianlagen, die alle bedeutenden Gießverfahren des Sand-, Kokil-



**Abb. 2:** EDX-Mapping tau1 Phase mit homogener Tantalverteilung [4]

len- und Druckgusses abdecken und in Kooperation mit dem Lehrstuhl betrieben werden. Zudem haben die Studenten mit ihren Forschungsarbeiten Zugang zu den modernen Laboren des ÖGI in den Bereichen der mechanischen Prüfung, Computertomographie, thermophysikalischen Messungen sowie der analytischen Chemie und Metallographie. Die Forschungsbereiche des Lehrstuhls für Gießereikunde haben ihren Schwerpunkt auf dem Gebiet der verfahrens-optimierten Mikrostruktur- und Legierungsentwicklung. Die aktuellen Themenstellungen sind im Folgenden kurz beschrieben und auf weiterführende Literatur wird hingewiesen.

### Eutektische Kornfeinung

Aluminiumgussteile mit dünnen Wandstärken, wie Zylinderköpfe, herzustellen. Um optimale Materialeigenschaften einzustellen, werden die Al-Si Legierungen mit Spurenelementen von Strontium oder Natrium behandelt. Mit dieser Zugabe werden die Siliziumkristalle von störenden Platten in runde Fasern eingeformt, d.h. veredelt, und es werden bessere mechanische Eigenschaften erzielt. In Grundlagenuntersuchungen im Raster-Transmissions-Elektronen-Mikroskop konnte gezeigt werden, dass das Strontium an bestimmten Positionen im Siliziumkristall durch Zwillingsbildung hilft, den Kristall einzurunden. Trotzdem kann es in bestimmten Bereichen zu unerwünschten Ungleichmäßigkeiten kommen.

Dies beruht zum einen auf unerwünschten Anreicherungen (Seigerungen) von Veredelungselementen und zum anderen auf Wechselwirkungen der Veredelungselemente mit Keimbildnern für den Siliziumkristall. Es kommt zu einer unvorteilhaften Grobkornbildung des Al-Si Eutektikums, dessen Korn mehrere Millimeter einnehmen kann. Um die Wechselwirkung der Spurenelemente zur Veredelung besser verstehen zu können, müssen die Vorgänge auf einer Größenskala vom Atom bis hin zur Wandstärke untersucht werden. Insbesondere das Spurenelement Europium hat eine Schlüsselrolle im Verständnis der Veredelung des Aluminium-Silizium Eutektikums [1]. Sein hoher Kontrast in hochauflösender Elektronen-Mikroskopie erlaubt es, einzelne Atome des Veredelungselements im Silizium darzustellen und seine Rolle als Zwillingsbildner im Silizium aufzuzeigen. Durch die Zwillingsbildung können die Siliziumkristalle makroskopisch eingeformt wachsen. Jedoch bestehen auch andere Wechselwirkungen, wie z.B. zum Phosphor, so dass eine Keimbildung des Eutektikums erschwert wird und sich auffällig grobe Eutektische Körner bilden, wie sie auch für Zugaben von Na oder Sr beobachtet worden sind [2].

### Kornfeinung von primären Aluminium in Al-Si Legierungen

Der bei Aluminium sehr weit verbreitete Kornfeiner  $TiB_2$  verliert bei dem

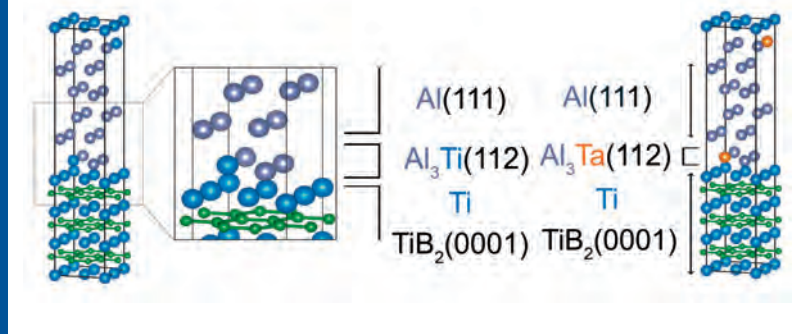
Einsatz in Aluminium-Silizium Legierungen sehr schnell an Wirkung, dies wird durch Vergiftungserscheinungen die an der Grenzfläche des Keimbildenden Partikels verursacht. Dies ist dadurch bedingt, dass bei überstöchiometrischen Verhältnissen verfügbare freie Titan über eine peritektische Reaktion  $Al_3Ti$  an der Grenzfläche bilden würde und ein gutes Substrat für das Wachstum von Primäraluminium darstellt. Jedoch wird ab einem Gehalt von 3.5 % Si die Formierung von Ti-Siliciden,  $Ti_7Al_5Si_{14}$  der  $\tau_1$  Phase, begünstigt. Dieses Verhalten wurde von Gröbner et al. angenommen und modelliert. [3]

Für ein besseres Verständnis dieses Vorganges und die vorbereitenden Maßnahmen zur Manipulation dessen wurden in einer 10 % Si-Legierung vergiftete Partikel gezüchtet und mit Hilfe der Porous Disc Filtration Analyse (PoDFA) angereichert und deren Morphologie im Rasterelektronenmikroskop untersucht. In **Abbildung 1** sind diese nadelartigen Ti-Silicide sichtbar. [4]

Die Idee besteht nun darin, das für Silizium anfällige peritektische  $Al_3Ti$  durch die Zugabe von Tantal zu ersetzen. Thermodynamisch gesehen liegt die  $Al_3Ta$  Phase knapp über der  $Al_3Ti$  und besitzt den Vorteil, dass sie keine Silicide bildet. In einer Versuchsreihe wurde nun Tantal einer Schmelze mit bereits vergifteten Kornfeiner in geringen Mengen, 0.05 % Ta, zugesetzt

3

**Abb. 3:** Untersuchungen bezüglich der Vergießbarkeit dieser modifizierten Legierung zeigten in Bezug auf Fließlänge und Warmrissanfälligkeit durchaus positive Effekte die durch die verbesserte Kornfeinung begründet werden können. [6]



und die Auswirkung auf die Kornfeinung studiert. Dabei wurde beobachtet, dass Tantal mit dem noch freien Titan eine homogene Sicht um die Partikel bildet, welche als Substrat für den Aluminiumprimärkristall wirksam bleiben. In **Abbildung 2** ist dieses einhüllende Peritktikum sichtbar. [4]

Es konnte gezeigt werden, dass durch die Zugabe von Tantal dieser Effekt umkehren lässt. Es kommt nun zu einer Ausbildung einer  $\text{Al}_3\text{Ta}$  Schicht über dem  $\text{TiB}_2$  Partikel, welche wieder als wirksame Keimstellen für den Primäraluminiumkristall fungieren. Bei den TP1 Tests konnte die Korngröße von Anfangs  $638 \mu\text{m}$  auf  $289 \mu\text{m}$  nach der Behandlung reduziert werden. [4] Es wurden weiterführende Untersuchungen am Lehrstuhl angeordnet und die Möglichen Konfigurationen mit Hilfe von Density Functional Theory Simulationen abgebildet. Dabei zeigte sich, dass die Oberflächenenergie zwischen der Grenzfläche  $\text{TiB}_2$  und  $\text{Al}_3\text{Ti}$  sowie  $\text{TiB}_2$  und  $\text{Al}_3\text{Ta}$  nahezu identisch ist und einen weiteren Indikator zur vollständigen Ersetzbarkeit von freiem Titan durch Tantal an der Grenzfläche möglich ist, deren Sandwichstruktur am Übergang in **Abbildung 3** dargestellt ist. [5]

### Kornfeinung von Magnesium AZ Legierungen

Unter den Magnesiumlegierungen ist die Familie der Aluminium-Zink-Legierungen eine der am weitesten verbreiteten. Sie zeichnet sich durch ihre

guten mechanischen Eigenschaften aus. Sie besitzt jedoch den Nachteil, dass sie sich schwer kornfein lässt. Die bei anderen Legierungen sehr wirksame Kornfeinung durch die Zugabe von Zirkon, erweist sich hier als wenig effektiv, da sich intermetallische Al-Zr Phasen ausbilden und somit das Zirkon unwirksam machen. Aus diesem Grund wurden in dieser Arbeit der Weg über eingebrachte Partikel, Magnesiumnitrid, als Keimstelle für die Primärkristalle verwendet. Wie bei allen Partikelgestützten Kornfeinern ist es notwendig für eine ausreichende Benetzung zu sorgen. Dies konnte über zwei Wege erreicht werden, wobei auch die industriell mögliche Umsetzung gezeigt wurde. [7] Der damit hergestellte kann wie jeder Kornfeiner in der Industrie der Schmelze als Vorlegierung zugegeben werden. Im Kokillenguss konnte dadurch die Korngröße von  $1134 \mu\text{m}$  auf  $169.9 \mu\text{m}$  reduziert werden.

Weiters zeigte sich, dass der Kornfeiner auch auf die eutektische Korngröße reduzierend wirkt. In einer zweiten Versuchsserie konnte die Zeitbeständigkeit der Partikel nachgewiesen werden. Dafür wurde eine Messreihe mit dem TP-1 Test absolviert und nach einer Aktivierungszeit von 30 min bis zum Ende der Reihe von 90 min eine stabile Korngröße von  $150 \mu\text{m}$  gehalten werden. Dabei wurde die Gleichmaßdehnung von  $2.61 \%$  auf  $5.99 \%$  und die Zugfestigkeit von  $160 \text{MPa}$  auf  $205 \text{MPa}$  gesteigert werden. [8]

### Synopsis

Die hier vorgestellten Beispiele der Forschungsschwerpunkte des Lehrstuhls für Gießereikunde zeigen deutlich Bereiche, in denen das Verständnis der Gießerei-Industrie noch nicht vollständig ausgereift ist und weiterer Forschungsbedarf besteht. Erst durch das Verständnis auch von Randthemen wird es möglich sein, Modelle in der Gießereiindustrie aufzustellen, mit denen virtuelle Zwillinge über Modellbildung und Simulation und schlussendlich eine totale Prozesskontrolle wirklich werden. Dafür muss ein Brückenschlag zwischen Grundlagennaher und Gießerei-naher Forschung und Entwicklung, wie sie zwischen dem Österreichischen Gießerei-Institut und dem Lehrstuhl für Gießereikunde an der Montanuniversität Leoben praktiziert wird, erfolgen.

### Literatur

- [1] J. Li, F. Hage, M. Wiessner, L. Romaner, D. Scheiber, B. Sartory, Q. Ramasse, P. Schumacher, The roles of Eu during the growth of eutectic Si in Al-Si alloys, Scientific Reports, 5 (2015) Artikel Nr.13802.
- [2] J.H. Li, Y.G. Yang, S. Sönmez, J.A. Taylor, B. Oberdorfer, D. Habe, S. Heugenhauer, P. Schumacher, Simultaneously refining eutectic grain and modifying eutectic Si in Al-10Si-0.3Mg alloys by Sr and CrB<sub>2</sub> additions, International Journal of Cast Metals Research, 29 (2015) 158–173.



4

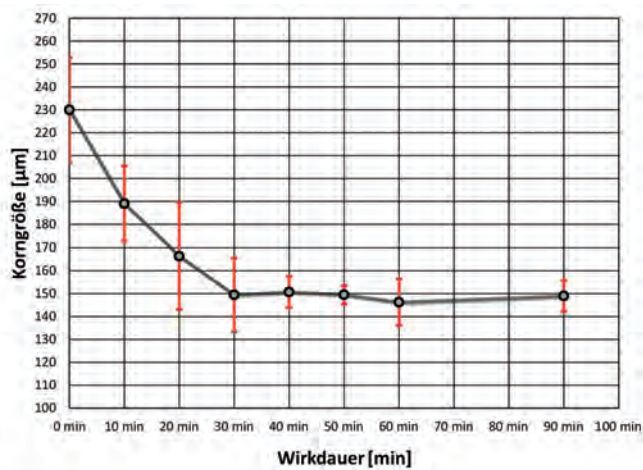


Abb. 4: Wirkdauer Magnesiumnitrid AZ80 [8]

- [3] J. Gröbner, D. Mirković, R. Schmid-Fetzer, *Materials Science and Engineering: A* 395 (2005) 10–21.
- [4] M. Pammer, *Siliziumvergiftung und der Einfluss von Tantal auf die Kornfeinung von AlSi-Legierungen*, Masterarbeit (2022)
- [5] I. Spacil, D. Holec, P. Schumacher, J. Li, *Effect of Solute Ta on Grain Refinement of Al-7Si-0.3Mg Based Alloys*, *Solid State Phenomena*, ISSN: 1662-9779, Vol. 327, pp 54-64
- [6] L. Lang, *Einfluss von Ta auf die Vergießbarkeit von AlCu und AlSi Legierungen*, Bachelorarbeit (2022)
- [7] J. Li, M. Pammer, E. Neunteufl, P. Schumacher. *Effect of the Mg<sub>3</sub>N<sub>2</sub> nanoparticle on the grain refinement of AZ80 alloy*, S2P (2021)
- [8] T. Hösele, *Untersuchung der Wirkdauer von Magnesiumnitrid als Kornfeiner für AZ-Legierungen*, Bachelorarbeit (2022)



**Prof. Dr.-Ing. Wolfram Volk**

Technische Universität München  
Lehrstuhl für Umformtechnik und  
Gießereiwesen (utg)

**Ansprechpersonen:**

Simon Kammerloher, M. Sc.  
Dr.-Ing. Steffen Klan  
Dipl.-Chem. Stefanie Prauser





Bürogebäude mit integrierter Gießerei-  
halle des Fraunhofer IGCV in Garching.  
Foto: Fraunhofer IGCV / Oliver Heissner)



## Gießereitechnik München – Forschung durch zwei starke Partner

Die Gießereitechnik München ist das Bindeglied zwischen dem eher grundlagenorientierten TUM Lehrstuhl für Umformtechnik und Gießereiwesen (utg) und der industrienäheren Ausrichtung des Fraunhofer-Instituts für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV. Unter dem gemeinsamen Namen wird die Bandbreite der Forschung und Entwicklung in der Gießereitechnik am Standort München gebündelt. Insgesamt forschen über 20 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter an interdisziplinären und zukunftsorientierten Themen im Bereich der Gießereiindustrie.

### Lehrstuhl für Umformtechnik und Gießereiwesen der TUM

Seit seiner Gründung im Jahre 1968 steht der Lehrstuhl für Umformtechnik und Gießereiwesen (utg) der Technischen Universität München (TUM) für Forschung und Innovation im Bereich der umformenden und umformenden Fertigung.

Die Kombination der Schwerpunkte Schneiden, Umformen und Gießen ermöglicht dabei eine umfangreiche Betrachtung komplexer Fertigungsprozesse. Speziell im Forschungsgebiet der Gießereitechnik wird neben

einer engen Zusammenarbeit mit der Industrie grundlagennahe Forschung betrieben, um den Grundstein für die Lösung kommender Themen in der Industrie legen zu können. Durch eine ausgewogene Balance zwischen Forschung und Lehre erhalten Studierende am utg einen tiefen Einblick in aktuelle Themen der Gießereibranche.

### Fraunhofer-Institut für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV

Der Wissenschaftsbereich Gießereitechnik des Fraunhofer IGCV konzentriert sich auf die komplette Wertschöpfung innerhalb der Gießerei. Dabei stehen u. a. die Themen indirekte Additive Fertigung, anorganische Formstoffe, Legierungsentwicklung, Entwicklung von Gießverfahren, Verbundguss, Recycling, Automatisierung und Digitalisierung im Vordergrund.

Im Sommer 2021 wurde das neue Technikum am Standort Garching bezogen. Durch die stetige und zielgerichtete Erweiterung der Ausstattung wird eine innovative Forschung an anwendungsnahen Problemstellungen der Industrie ermöglicht.

### Liquid Metal Jetting

Am Lehrstuhl utg wird seit einigen Jahren das Liquid Metal Jetting (LMJ)

erforscht. Beim LMJ handelt es sich um ein additives Fertigungsverfahren für Metalle, bei dem ein drahtförmiges Ausgangsmaterial in einem Druckkopf aufgeschmolzen und tropfenweise abgegeben wird. Die Tropfen werden gezielt auf einer Bauplattform abgelegt und erstarren dort. Durch das sukzessive Hinzufügen von Tropfen können Bauteile mit komplexer Geometrie hergestellt werden.

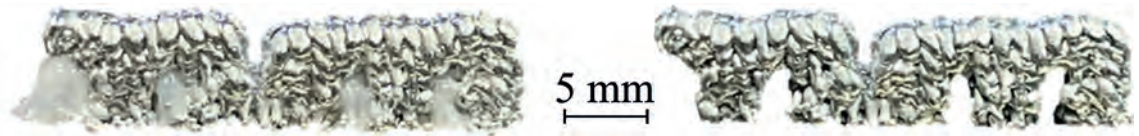
### Multimaterialbauteile

Bisherige Forschungsprojekte untersuchten die Herstellung von Monomaterialbauteilen aus Aluminium- oder Kupferwerkstoffen mittels LMJ. In einem derzeit laufenden Projekt soll die Herstellbarkeit von Multimaterialbauteilen erforscht werden.

## Kontakt

Gießereitechnik München  
Prof. Dr.-Ing. Wolfram Volk  
Walther-Meißner-Straße 4  
D-85748 Garching  
Tel.: +49 (0)89 289-13791  
info@utg.de  
www.giessereitechnik-muenchen.de





1

**Abb. 1:** Im Verfahren Liquid Metal Jetting (LMJ) hergestelltes Logo der Technischen Universität München (TUM) aus Aluminium mit Salzstützstruktur (links) sowie selbiges Bauteil nach Entfernung der Stützstruktur.

Mittels eines Doppeldruckkopfs sollen während eines Druckvorgangs zwei verschiedene Kupferwerkstoffe (Reinkupfer und Bronze) gleichzeitig verarbeitet werden. Durch den Werkstoffwechsel können Eigenschaften wie die thermische Leitfähigkeit oder die mechanische Festigkeit innerhalb eines Bauteils lokal variiert werden.

#### Wasserlösliche Stützstrukturen

Zur Herstellung von komplexen, überhängenden Bauteilen mittels LMJ sind Stützstrukturen notwendig, welche nach dem Druckvorgang in der Regel entfernt werden müssen. Im Rahmen eines laufenden Projektes werden Stützstrukturen aus Salz für Aluminium LMJ untersucht. Der Vorteil der Salzstützstrukturen ist dabei die einfache Entfernbarkeit nach dem Druckvorgang durch Lösung in Wasser. Aluminium und Salz werden in einem Doppeldruckkopf aufgeschmolzen und in Form von Tropfen ausgegeben. **Abbildung 1** zeigt ein Bauteil vor sowie nach Entfernung der Stützstruktur.

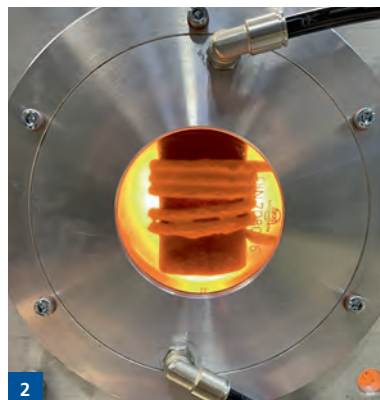
**Abb. 2:** Analyseofen mit Induktionsspule, Graphittiegel und Tiegelhalter, Foto: utg/Weidner

#### Materialuntersuchungen und Verbundgießen im Analyseofen

Der am utg neu entwickelte Analyseofen deckt einen weiten Bereich der in der Gießereiforschung relevanten Randbedingungen bei der Probenherstellung und deren Charakterisierung ab. Der Grundgedanke ist die Reduzierung der Komplexität, wie sie durch Bewegung und Interaktion von Schmelze mit Form und Einsätzen und deren Erstarrung in Wechselwirkung mit Prozessparametern und -schwankungen im Gießprozess vorhanden ist. Die Proben werden direkt für die Untersuchung im Analyseofen hergestellt und nicht aus größeren Gussteilen herausgetrennt. Durch diese konsequente Reduzierung der Abmessungen und Einflussgrößen auf den Versuch, wird es möglich, einzelne Ursache-Wirkungsketten zu separieren.

#### Konstruktion des Analyseofens

Der Analyseofen besteht aus einem instrumentierten Aluminiumwürfel



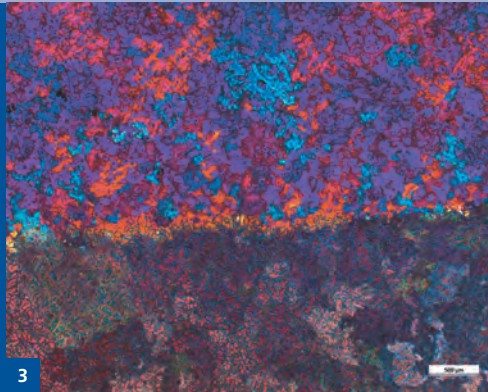
2

mit einer Kantenlänge von ca. 20 cm. Modifikationen der Atmosphäre sind mittels Schutzgas und Vakuum möglich. Die Temperierung der Probe erfolgt je nach Anwendung über ein oder zwei Induktionsspulen. Somit ist es möglich, nahezu beliebige Temperaturprofile aufzuprägen und so beispielsweise Erstarrungszeiten aus Abguss oder Simulation an kritischen Bauteilpositionen nachzustellen und deren Materialeigenschaften zu ermitteln.

Die folgenden beiden Beispiele zeigen die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten des neuen Analyseofens.

#### Ausferritisches Gusseisen mit Kugelgraphit (ADI)

Mit steigenden Preisen für Energie und Zurückhaltung der Konsumenten stehen Verbraucher und Unternehmen aktuell vor den größten Herausforderungen der letzten Jahre. Diesen muss mit neuen Lösungen begegnet werden. Im Bereich der Eisen-Gusswerkstoffe kann dazu ausferritisches Gusseisen mit Kugelgraphit (ADI) gezählt werden. Der Werkstoff kombiniert die – für Gusseisen typischen – exzellenten gießtechnischen Eigenschaften mit den mechanischen Kennwerten von Stählen. Dies erlaubt die endkonturnahe Produktion von Bauteilen mit hochkomplexer Geometrie, die aufgrund der geringeren Werkstoffdichte im Vergleich zu solchen aus Stahl um 10 % leichter sind.



**Abb. 3:** „Tailored Properties“ – Einstellende Grenzschicht im Multi-Material-Injector-Casting. Oben: AlSi9Cu3, unten: AlSi12. Foto: utg.

### Wärmebehandlung im Labormaßstab

Aktuell ist jedoch sowohl die Herstellung von ADI-Bauteilen als auch die Bemessung dieser mit vielen Unsicherheiten verbunden. In unserem Analyseofen wird der zur ADI-Herstellung nötige Wärmebehandlungsprozess von Gusseisen mit Kugelgraphit (GJS) im Labormaßstab untersucht. Mit dem Prüfstand können die Temperaturen, Haltezeiten und Abkühlraten des Wärmebehandlungszyklus bei verschiedenen Legierungszusammensetzungen variiert werden. Durch eine entsprechende Ätzbehandlung werden daraufhin die entstandenen Gefüge sichtbar gemacht und untersucht.

### Einsatz von Machine Learning

Hierfür soll ein Machine Learning Algorithmus entwickelt werden, der die einzelnen Phasenanteile automatisiert erkennen und benennen kann. Somit kann der Einfluss der verschiedenen Wärmebehandlungsparameter auf das Endprodukt bestimmt werden. Ergänzend dazu sollen die wärmebehandelten Proben auch einem Zugversuch unterzogen werden, um die mechanischen Eigenschaften zu bestimmen. So entsteht ein Bemessungskonzept für Konstrukteure von ADI-Bauteilen mit dessen Hilfe diese basierend auf den Produktanforderungen die richtigen Wärmebehandlungsparameter, Legierungselemente und eine geeignete Bauteilgeometrie bestimmen können.

### Multi-Material-Injector-Casting

Herkömmliche Gießverfahren im Schwerkraft-, Sand- und Kokillenprozess bieten nur bedingt Möglichkeiten, lokale Bauteileigenschaften während des Gießprozesses innerhalb eines Bauteils anzupassen. Um die Vorteile von Tailored Properties, also dem optimalen Material am richtigen Ort im Bauteil, in Schwerkraftgießverfahren zu nutzen, wird das innovative Injector-Casting Verfahren am utg weiterentwickelt. Im Injector-Casting Verfahren wird die Schmelze von oben über ein Keramikbauteil (Injector) in die Form geleitet und mit zunehmendem Füllstand der Schmelze aus der Form gezogen. Dies löst bestehende Probleme wie Oxidhäute im Gussteil und birgt Entwicklungspotenzial. Im aktuellen Forschungsprojekt wird dieser Prozess für zwei Schmelzen in einem Abguss untersucht, um dadurch die reproduzierbare Herstellung von Multi-Material-Gussteilen mit lokalen Werkstoffeigenschaften aus zwei Legierungen zu ermöglichen.

Für die Untersuchungen wurde am Lehrstuhl ein Prüfstand entwickelt. Dieser ermöglicht das automatisierte Gießen mittels zwei Schmelzeöfen mit Stopfensystem. Durch eine Zuleitung wird die Schmelze über den Injector in die Form gegossen. Die Form wird während des Versuchs kontrolliert abgesenkt. Die Interaktion der Schmelzen erlaubt die flexible Einstellbarkeit der Grenzschicht zwischen

den Werkstoffen, um den optimalen Werkstoff am richtigen Ort im Bauteil bereitzustellen. Die Herausforderung der Durchmischung aufgrund von Dichteunterschieden erfordert umfangreiche Simulationen, deren Ergebnisse durch Wassermodellversuche mit einem Stereo-Kamerasystem validiert werden.

### Funktional gradierte Materialien: Stranggießen und Umformen von elektrischen Kupferleitern

Eine zunehmende Elektrifizierung technischer Produkte ist seit einigen Jahren erkennbar. Hinsichtlich der Forderung nach erweiterter Lebensdauer und Leistungssteigerung ist das technologische Potential monolithischer Metalle weitestgehend ausgeschöpft. Aus diesem Grund entstanden am utg wichtige akademische und industrielle Aktivitäten, die die Entwicklung hybrider Metallstrukturen für elektrische Anwendung zum Gegenstand haben. Nicht nur die Herstellung hybrider Materialien selbst ist eine wissenschaftliche und technologische Herausforderung. Es erfordert zudem ein prozessübergreifendes Verständnis der Entwicklung von Materialeigenschaften und technologischen Zusammenhänge. Das Projekt zielt auf die wissenschaftliche Untersuchung der Prozessroute zur Herstellung von elektrischen Kupferleitern. Der Fokus des Projekts liegt insbesondere auf der Entwicklung von funktional gradierten Materialien, die ein auf die speziellen Anforderungen elektrischer

**Abb. 4:** Querschnitt der gegossenen Seriengeometrie mittig durch die Stäbe des Kurzschlusskäfigs, links: druckgegossen, rechts: niederdruckgegossen, Foto: utg



4

Leiter lokal angepasstes metallurgisches Eigenschaftsprofil aufweisen. Die Prozessroute des initialen Stranggießens, anschließenden Strangpressens und finalen Drahtziehens stellt eine wirtschaftliche Produktionssequenz zur Herstellung von Kupferleitern dar, welche einerseits eine ausgezeichnete elektrische Leitfähigkeit und andererseits eine vergleichsweise hohe Festigkeit aufweisen. Dieses komplexe Eigenschaftsprofil wird durch einen Materialgradienten über dem Querschnitt des metallischen Produkts erzeugt. Der Übergang von einem Reinkupfer-Grundwerkstoff im peripheren Bereich und einem Kupfer-Zink-legiertem Bereich im Inneren des Produkts ist kontinuierlich, wodurch keinerlei makroskopische Grenzflächen zwischen den unterschiedlichen Werkstoffbereichen auftreten.

#### Niederdruckgießen von Asynchronrotoren

In Integralbauweise gefertigte Rotoren von Asynchronmotoren werden zum Großteil im Druckgießverfahren hergestellt. Dabei kann beispielsweise durch den Gießdruck sowie durch Gießfehler der Wirkungsgrad der Rotoren beeinflusst bzw. beeinträchtigt werden. In einem von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) am utg geförderten Projekt wurde das Niederdruckgießverfahren zum Gießen von Asynchronrotoren betrachtet. Herausforderungen stellen dabei die geringen Querschnitte in den Rotorstäben und die großen Querschnittsübergänge

von den Stäben zu den Kurzschlussringen dar. Aus diesem Grund wurde am Institut eine Forschungs-Niederdruckgießanlage konstruiert und aufgebaut, welche auf das Gießen von Asynchronrotoren ausgelegt wurde. Bezüglich der Rotoren wurden zwei verschiedene Geometrien verwendet, von denen eine für die Durchführung von magnetischen Messungen konzipiert war. Dadurch konnte der Einfluss des Gießprozesses auf die magnetischen Eigenschaften der umgossenen Elektrobleche untersucht werden. Die zweite Geometrie stellte einen von AMK Motion zur Verfügung gestellten Serienrotor dar, welcher aktuell im Druckgießverfahren gefertigt wird. Die Geometrie erlaubt somit einen direkten Vergleich zwischen den beiden Gießverfahren.

Bezüglich der magnetischen Eigenschaften der Elektrobleche konnte für das verwendete Material keine negative Beeinträchtigung durch den Gießprozess festgestellt werden. Gleichzeitig konnte der Anteil der Fehlstellen der Rotoren im Vergleich zum druckgegossenen Serienrotor von durchschnittlich 13 % auf 1 % reduziert werden. Der Großteil der Fehlstellen im niederdruckgegossenen Rotor sind dabei eingeschwemmte Oxide, die auf das Fehlen eines Filters im Gießsystem zurückzuführen sind. Durch die Verwendung des alternativen Gießverfahrens ist somit eine signifikante Reduzierung der Fehlstellen der Rotoren möglich.

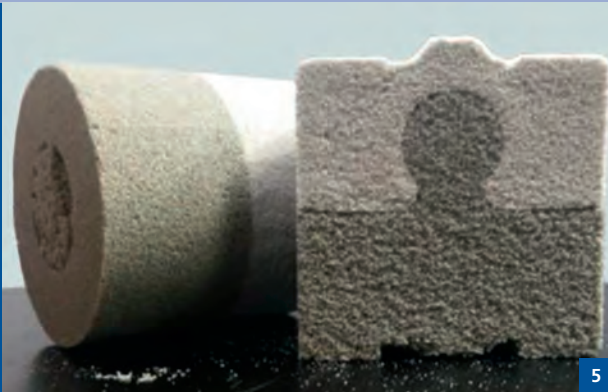
#### Mehrschichtige Sandkerne im Druckguss

Der Lehrstuhl utg forscht seit einigen Jahren zu anorganisch gebundenen Formstoffen und verfügt dazu über eine seriennahe Kernschießmaschine von Loramendi. Aktuell läuft ein DFG-gefördertes Projekt zur Entwicklung von mehrschichtigen Sandkernen für den Druckguss. Diese Kerne sollen den im Druckguss auftretenden Zielkonflikten Kernfestigkeit, mechanische Entkernbarkeit und Widerstand gegen Schmelzpenetration entgegenstehen. Der Vorteil mehrschichtiger Kerne ist der Einsatz unterschiedlicher Sand-Binder-Mischungen, die auf die genannten Ziele angepasst werden können.

Für den Innenkern kann beispielsweise eine grobe mit geringer Bindermenge versetzte Sandmischung genutzt werden, um die mechanische Entkernbarkeit zu erleichtern. Der umschlossene Außenkern hingegen kann aus einem sieblinienangepassten Sand mit erhöhtem Bindergehalt bestehen, der erhöhte Festigkeitswerte bedingt. Gleichzeitig kann das Penetrationsverhalten durch geeigneten anorganischen Schlichteauftrag optimiert werden.

Die Herstellung dieser anorganischen, mehrschichtigen Sandkerne erfolgt in einem zweistufigen Warm-Box-Prozess. Zunächst wird der Innenkern mit entsprechender Sand-Binder-Mischung in ein beheiztes Kernschieß-





**Abb. 5:** Mehrschichtige Sandkerne mit unterschiedlich eingestellten Sand-Binder-Mischungen

werkzeug geschossen. Daraufhin wird dieser Innenkern in eine weitere Kavität eingelegt und mit der zweiten Sand-Binder-Mischung umschossen. Abbildung 5 zeigt solch einen hergestellten zweischichtigen Kern in der Schnittansicht.

**Steuerung der lokalen Binderkonzentration im Binder Jetting**

Im Binder Jetting werden schichtweise Bilder in ein Pulver gedruckt. Der Prozess ist limitiert durch die Schichtstärke, die sowohl die Oberflächengüte als auch die Prozessgeschwindigkeit bestimmt. In einem neuen Verfahren werden graustufige Druckbilder verwendet, um sowohl Prozessgeschwindigkeiten als auch Oberflächenqualität zu steigern.

Wie jedes additive Fertigungsverfahren muss sich auch das Binder Jetting der Herausforderung stellen, wirtschaftlich mit konventionellen Prozessen zu konkurrieren. Eine der maßgeblichen Stellgrößen ist die Geschwindigkeit, die wieder wesentlich von der Schichtstärke des Prozesses abhängt. Mit größeren Schichtstärken können Bauteile schneller her-

gestellt werden, da für die gleiche Bauhöhe weniger Schichten benötigt werden. Mit zunehmender Schichtstärke nimmt allerdings die Oberflächenqualität der Bauteile ab. Hauptverantwortlich ist hier der sogenannte Treppenstufen-Effekt, der nicht nur die Optik, sondern auch die Performance der Bauteile beeinflusst.

**Neue Graustufentechnik**

Mit der neuartigen Graustufentechnik können nun zusätzliche Informationen an die Maschine übergeben werden, sodass diese auf einem Druckraster von 63,75 Mikrometer punktgenau die benötigte Bindermenge steuern kann. Anstatt konventioneller Treppenstufen wird also der reale Übergang von Schicht zu Schicht abgebildet. Dies ermöglicht es, bisher unerreichte Oberflächengüten bei Binder-Jetting-Bauteilen zu erzeugen. Zusätzlich ist die maximale Schichtstärke, die benötigt wird, um Treppenstufen zu reduzieren, deutlich größer. Der Widerspruch zwischen hoher Oberflächengüte und gleichzeitig hoher Prozessgeschwindigkeit ist damit aufgelöst.



**Abb. 7:** Abb. 5: Schwerkraftgießen mit Aluminium Schmelze, Foto: Fraunhofer IGCV / Andreas Heddergott

**Sekundär-Aluminium im Formguss**

Um die Zukunft des Aluminiums als Gusswerkstoff für hochwertige Bauteile zu sichern, muss die energieintensive Primärmetallgewinnung um ein zirkuläres Modell erweitert werden. Ein Versuch zeigt, dass sortenreine Trennung das Erreichen einer hohen Gussqualität ermöglicht. Im Jahr 2019 wurden in Deutschland im Formgussbereich 996.100 t Aluminium verarbeitet. Allein die Herstellung des anteiligen Primärmetalls (43 Prozent) entspricht dem Stromverbrauch von 1,3 Millionen Privathaushalten.



**Abb. 6:** Behebung des Treppenstufeneffektes durch geometrieabhängige Binderverteilung, Foto: Fraunhofer IGCV

5

7

6

**Abb. 8:** Recycling: Schema zur Sekundär-Aluminium Gewinnung, Foto: Fraunhofer IGCV



8

### Datenbankgestützte Sortierverfahren

Energie- und Rohstoffmärkte können auf globale Ereignisse sehr volatil reagieren. Daher ist es unabdingbar, die Weichen für ein Materialrecycling zu stellen und im Formgussbereich zu etablieren. Resiliente Stoffkreisläufe werden mit energie- und ressourcenschonenden Methoden abgestimmt. Ein „cradle-to-cradle“-Ansatz verfolgt das Ziel, Schrotte mit geeigneten Zerlege- und Sortierverfahren einer neuerlichen Anwendung direkt zugänglich zu machen. Dabei wird der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck um bis zu 95 Prozent reduziert und toxische Prozessprodukte werden komplett vermieden. Die etablierten Sortierverfahren werden um bildverarbeitende und datenbankgestützte Systeme erweitert. Versuche haben gezeigt, dass durch die so erreichte Sortierqualität die Eigenschaften im Vergleich mit einer Primärlegierung nahezu identisch sind. Somit ist es problemlos möglich, den Recyclinganteil bei der Herstellung von Gusslegierungen deutlich zu erhöhen.

### Mit Automatisierung und Digitalisierung dem Fachkräftemangel entgegenwirken

Durch die teilweise noch vielen händischen Tätigkeiten ist Mitarbeiter-Knowhow gefragt. Aufgrund des anstehenden Fachkräftemangels ist eine Unterstützung durch ein smartes Prozessmonitoring anzustreben. Besonders im Bereich der Bewertung der Schlichtequalität im Kokillenguss können Fehlinterpretationen zu geringerer Standzeit und Ausschuss führen. Untersuchungen haben gezeigt, dass die Oberflächenrauigkeit der Schlichte einen direkten Zusammenhang mit der Schichtdicke aufweist. Da sich die Messung an einer 350 °C heißen Kokillenoberfläche als schwierig erweist, wurde die Rauigkeit der Gussteiloberfläche für die Bewertung herangezogen. Um eine schnelle In-line-Messung zu ermöglichen, wurde ein Algorithmus entwickelt, der innerhalb weniger Sekunden eine Grauwertanalyse der optischen Aufnahme durchführt und so eine Aussage zur Oberflächenrauigkeit und

somit zur Schlichtedicke treffen kann. Durch die daraus abgeleitete Handlungsempfehlung kann zum richtigen Zeitpunkt die notwendige Tätigkeit erfolgen.

### Gussputzen neu gedacht

Ein weiteres Themenfeld ist die Reduzierung der schweren körperlichen Tätigkeit im Bereich des Gussputzens von Kleinstserien. Neben Lärm und Staub sind die Mitarbeiter in diesem Bereich auch Vibrationen durch die handgesteuerten Bearbeitungsmaschinen ausgesetzt. Dieses trägt weder zur Attraktivität des Arbeitsplatzes noch zur Gesundheitsförderung der Mitarbeiter bei. Ein neuer Ansatz ist ein Putzroboter, der durch ein Motion-Tracking-System von vorhandenen Mitarbeitern intuitiv – ohne Programmierkenntnisse – angelernt wird und im Anschluss eigenständig die Putzoperationen durchführt. Darüber hinaus kann in Verbindung mit Augmented Reality das Anlernen des Roboters in ein virtuelles Szenario verlegt werden.



# Ingenieur wissenschaften 2024

**Idee, Konzeption und redaktionelle Koordination:**

Institut für Wissenschaftliche Veröffentlichungen (IWW)

**Redaktionelle Leitung:** Prof. Dr.-Ing. Wolfram Volk

**Bildnachweis:** Das jeweilige Institut; Einblendung Titel: ©Stavros – stock.adobe.com

**Anzeigenverwaltung und Herstellung:**

ALPHA Informationsgesellschaft mbH

Finkenstraße 10

68623 Lampertheim

Tel.: 06206 939-0

Fax: 06206 939-232

info@alphapublic.de

www.alphapublic.de

Die Informationen in diesem Magazin sind sorgfältig geprüft worden, dennoch kann keine Garantie übernommen werden. Eine Haftung für Personen-, Sach- und Vermögensschäden ist ausgeschlossen. Die einzelnen Bildquellen sind über das Institut für Wissenschaftliche Veröffentlichungen erfragbar. Die Auskunft ist kostenfrei und kann per E-Mail erfragt werden. Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, des Vortrags, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwendung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung des Werkes oder von Teilen des Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechts der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils gültigen Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechts.

Lampertheim, April 2024

© ALPHA Informationsgesellschaft mbH und die Autoren für ihre Beiträge

ISSN: 1618-8357

Projekt-Nr. 096-753





Gontermann-Peipers

YES, WE CAST

## UNSERE DNA

Wir sind ein Gießerei-Unternehmen mit einer starken Mannschaft und außergewöhnlichen Produkten. Unsere Leidenschaft für Metall hat uns zu einer der führenden Gießereien der Welt gemacht.

Unsere Kernkompetenzen sind Gusskomponenten für den Maschinenbau, Behälter-Körper für die zivile Nukleartechnik und Walzen für die Stahl- und Aluminiumindustrie. Gemeinsam mit unseren Kunden entwickeln wir maßgeschneiderte Lösungen. Fordern Sie uns heraus!

Der Erfolg unseres Unternehmens beruht auf der richtigen Mischung aus langjähriger Erfahrung und dem Mut, eigenständig neue Wege zu gehen.

Wir denken in Generationen, nicht in Quartalen und streben nach langfristigen Zielen. Hier in Siegen liegen unsere Wurzeln. Seit den Anfängen im Jahr 1825 lebt unsere Firmengeschichte von den Menschen, die bei uns arbeiten.

Die rund 100.000 Einwohner zählenden Universitätsstadt Siegen bietet neben einer Top-Infrastruktur ein vielfältiges kulturelles und sportliches Angebot.

Umgeben von großartiger Natur erleben wir hier tagtäglich einen hohen Freizeitwert.

Wollen Sie Teil unserer starken Mannschaft sein und sich fachlich und persönlich weiterentwickeln? Dann sind Sie bei uns herzlich willkommen.

Wann lernen wir uns kennen?



Gontermann-Peipers GmbH | Siegen  
[www.gontermann-peipers.de](http://www.gontermann-peipers.de)