



IM FOKUS



Gießereitechnik
AKADEMISCHE INTERESSEN GEMEINSCHAFT GIESSEREITECHNIK

Ingenieur wissenschaften

JAHRESMAZIN

ISSN 1618-8357
EUR 9,80

Herausgegeben vom Institut für Wissenschaftliche Veröffentlichungen



Ermöglichen die Teile, die Sie heute produzieren, die Fahrzeuge von morgen?

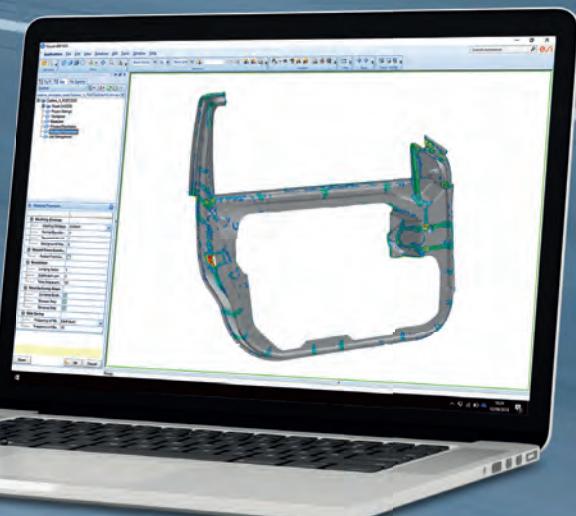
www.esi-group.com/products/casting

E-Mobilität eröffnet Gießereien neue Marktchancen

Die Gießtechnik im Automobilbau ist der Schlüssel für leichte Motoren, Antriebsstränge, elektrische Antriebssysteme und Fahrzeugstrukturen.

Die geometrische Komplexität und die hohen Stückzahlen, die erreicht werden können, machen sie zur bevorzugten Prozesstechnik für die Herstellung dünnwandiger, leichtgewichtiger und qualitativ hochwertiger Teile für die Automobilindustrie.

Die ESI ProCAST-Simulationslösung wurde mit dem alleinigen Ziel entwickelt, Gussteile in Premiumqualität zu liefern und ermöglicht es Ihnen, zuverlässig zu gießen und zu innovieren.



Copyright © ESI Group 2021

**Zero Tests, Zero Prototypes,
Zero Downtime**

esi | PROCAST

IM FOKUS



Gießereitechnik

AKADEMISCHE INTERESSEN GEMEINSCHAFT GIESSEREITECHNIK

Ingenieur
wissenschaften
2021



Forschung und Entwicklung in äußerst schwierigen und dynamischen Zeiten

Die aktuellen Herausforderungen für die Gießerei-Industrie sind mannigfaltig, aber die Gießereibranche in der Bundesrepublik ist im globalen Vergleich sehr gut aufgestellt so oder mit einem ähnlichen Satz hätte man vor einem Jahr noch einen Beitrag beginnen können, sei es zu Elektromobilität, Dieselskandal, Energiewandel, circular economy, Industrie 4.0 oder einem anderen für die Gießereibranche zentralen Thema.

Heute hingegen ist vieles ungewiss und Politik, Unternehmen und auch jeder Mitmensch erfinden sich fast täglich neu, um unter dynamischen Bedingungen die möglichen Varianten eines zukünftigen wirtschaftlichen, beruflichen und sozialen Alltags zu erarbeiten. Bekannte Grundsätze können nur bedingt angewendet werden. Wie kann unter diesen Zeiten Forschung und Entwicklung noch durchgeführt werden und wer hat die Ressourcen dazu, wenn oft das Überleben des eigenen Unternehmens auf dem Spiel steht?

„Die Akademische Interessengemeinschaft Gießereitechnik“ (aka-Guss) ist eine Arbeitsgemeinschaft von Professoren aus Deutschland, Österreich und Dänemark, die sich seit 2013 gemeinsam im Bereich der Gießereitechnik engagieren. Wir unterstützen die Industrie dabei, die Zukunft durch innovative Techniken und vorausschauenden Ideen aktiv zu gestalten. Es ist das ausdrückliche Ziel, durch strategische Kooperationen mehr Forschungs- und Entwicklungsprojekte zu generieren und damit die Geschäftsfelder und das Know-how der Unternehmen unserer Branche weiterzuentwickeln. Diese kooperative Forschung und Entwicklung mit mehreren Partnern

wird aufgrund knapper finanzieller Ressourcen sicher an Bedeutung gewinnen.

Eine Besonderheit in Deutschland ist die langjährig erprobte Zusammenarbeit in funktionierenden Netzwerken, im Rahmen von Fachgremien, in gemeinsamen Projekten und vieles mehr. Unsere Industrie, Hochschulinstitute und Forschungsstellen zeichnen sich durch äußerst kompetente Mitarbeiter/innen aus und sie besitzen 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 akaGuss organisierten Kolleginnen und Kollegen, freuen uns auf den Austausch mit Ihnen, liebe Leser*innen.

Ich wünsche Ihnen Gesundheit, für Sie persönlich und für Ihr Unternehmen,

**Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Andreas Bührig-Polaczek**
Sprecher akaGuss
Institutsleiter Gießerei-Institut
der RWTH Aachen University



Automatisierungslösungen für die Gießerei aus einer Hand



📍 Maschinenbau Böhmer GmbH
Industriestraße 12-15
57520 Steinebach

🌐 boehmer-maschinenbau.de
✉️ sales@boehmer-maschinenbau.de
📞 +49 2747 9236-0

STROBEL 



SPEZIALSANDE

Quarzsande vom Feinsten

Steigende Qualitätsansprüche an Gießereiprodukte bedingen gleichzeitig bestmöglich aufbereitete Neusande. Unsere moderne Aufbereitung ermöglicht die Lieferung nach Kundenspezifikation. Freihunger Quarzsande produzieren wir im Körnungsbereich von MK 0,09 mm - MK 0,30 mm. Für besondere Anwendungen oder zur gezielten Oberflächenverbesserung bieten wir Spezialsande bis AFS 250.

STROBEL QUARZSAND GMBH • Freihung • 92271 Freihung • Germany
Tel.: +49 (0) 96 46 / 92 01-0 • Fax: +49 (0) 96 46 / 12 57 • www.strobel-quarzsand.de

Inhaltsübersicht

Forschung und Entwicklung in äußerst schwierigen und dynamischen Zeiten Vorwort	2
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Andreas Bührig-Polaczek	
Sprecher akaGuss Institutsleiter Gießerei-Institut der RWTH Aachen University	
Die Mitglieder der akaGuss	12
Sie erreichen die einzelnen Hochschulinstitute über die Website der akaguss.de	
Das Gießerei-Institut der RWTH Aachen – Partner für Forschung und Industrie	16
RWTH Aachen Gießerei-Institut	
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Andreas Bührig-Polaczek	
Hochschule Aalen: Innovationen in Druckguss	30
Hochschule Aalen Gießerei Technologie Aalen – GTA	
Prof. Dr.-Ing. Lothar Kallien	
Gießereitechnik an der TU Clausthal	40
TU Clausthal Institut für Metallurgie	
Prof. Dr.-Ing. Babette Tonn	
Use of 3D and 4D imaging in foundry technology at the Technical University of Denmark	50
Technical University of Denmark Department of Mechanical Engineering	
Niels Skat Tiedje, Associate Professor, Ph.D.	
Lehrstuhl für Gießereitechnik an der Universität Kassel	56
Universität Kassel Lehrstuhl für Gießereitechnik – GTK	
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Fehlbier	
Digitale Lösungen für eine effiziente Rohstoffbeschaffung	66
Hochschule für angewandte Wissenschaften Kempten Labor für Werkstofftechnik und Betriebsfestigkeit	
Prof. Dr.-Ing. Dierk Hartmann	
Montanuniversität Leoben – Lehrstuhl für Gießereikunde	76
Montanuniversität Leoben Department für Metallurgie	
Prof. Dr. Dipl.-Ing. Peter Schumacher	
Gießereitechnik München – Forschung durch zwei starke Partner	88
Technische Universität München (TUM) Fraunhofer IGC	
Prof. Dr.-Ing. Wolfram Volk	
Impressum	U3

WinCast® expert

wird zum 4.0-Simulationstool

Präzise Vorhersage der mechanischen Eigenschaften in einem Gussteil – Das Ergebnis aus „Big Data“ und der RWP Analytics Software.

WinCast® expert ist die weltweit erste Gießsimulationssoftware, die seit 1984 auf dem Markt ist und von der RWP mit Sitz in Deutschland entwickelt wurde. FEM-basiert ermöglicht WinCast® expert die Erzeugung von hochpräzisen Simulationsergebnissen für die Gießerei- und Metallindustrie. RWP unterstützt Gießereien weltweit mit WinCast® expert und dem Firmen Know-how. Ziele sind hierbei Produktqualität, effektive Problemlösungen, wirtschaftliche innovative Prozesse zu erreichen und sicherzustellen. Dazu werden moderne Werkzeuge und im Rahmen von Industrie 4.0 NEU! RWP Analytics eingesetzt. Mechanische Eigenschaften – Industrie 4.0 – autonome Optimierung – Simulation – das passt zusammen!

Die umfängliche Erfassung von Prozessdaten ermöglicht die Transparenz eines Prozesses, einer Eigenschaft, die Entwicklung von virtuellen Szenarien mit dem Ziel zu regeln. Viele Daten lassen sich messtechnisch nicht erfassen, weil man an viele Bereiche eines Bauteils oder Gussteils nicht herankommt. Hier hilft die Simulation. Es gibt praktisch keine Grenzen, an welcher Position was ausgewertet werden kann. Ein Beispiel ist die Vorhersage bzw. Bestimmung der mechanischen Eigenschaften. Die Kombination aus gemessenen und simulierten Werten ermöglicht eine permanente Aktualisierung der Daten Cloud. Aus den Daten der Cloud werden Trends, Tendenzen und Arbeitsfenster ermittelt. Durch RWP Analytics wird z.B. ein Soll-Ist-Vergleich durchgeführt. Liegen die Ist-Werte nicht mehr im Arbeitsfenster, wird auf Basis der Trends und Tendenzen automatisch über Rückmeldung korrigiert.



Kontakt

RWP Gesellschaft beratender Ingenieure für Berechnung und rechnergestützte Simulation mbH
Bundesstraße 77
D-52159 Roetgen
Tel.: +49 (0)2471 1230-0
Fax: +49 (0)2471 1230-99
info@rwp-simtec.de
www.rwp-group.de



Strahlen, eine Wissenschaft für sich –

Simulation für die perfekte Oberfläche nach dem Gießen

In der Gießereibranche werden viele Prozesse anhand von Simulationen geplant. Auch nach dem eigentlichen Gießprozess erfolgen weitere, wertschöpfende Bearbeitungsschritte, wie beispielsweise die durch das Unternehmen Rösler angebotenen Strahl- und Gleitschliffverfahren. Bei diesen Verfahren werden Gussteile gereinigt und Oberflächeneigenschaften gezielt verändert.

Die Auslegung von Strahlsystemen und Strahlprozessen basiert oftmals auf Erfahrungswerten und jahrelangem Know-how. Auf der Suche diese Prozesse stetig weiter zu entwickeln und ihre Effizienz zu steigern hat Rösler Oberflächentechnik für sich verschiedene Simulationsssoftware etabliert. Durch diese modifizierte Software ist es möglich die Erreichbarkeit der Bauteilloberfläche darzustellen und neben einer Einzelteilbearbeitung, auch die Bearbeitung von beispielsweise Chargen als Schüttung zu simulieren. Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse geben direkten Aufschluss über die

Optimierung der Anordnung von Strahlmittelbeschleunigungssystemen, wie Turbinen oder Strahldüsen, in Bezug auf die zu strahlenden Bauteile. Dabei können Prozesse wie Reinigungsstrahlen, Oberflächenveredelungsstrahlen, Strahlspanen und Verfestigungsstrahlen abgebildet werden. Ebenfalls können Geometrien von Teiletransportsystemen simuliert und so beispielsweise die Durchmischung und strahltechnische Erreichbarkeit von Schüttungen optimiert werden. Praxisbeispiele umgesetzter Verfahren zeigen eine zwischen 20 % und 30 % bessere Ausnutzung der Strahlleistung, was sich direkt in einer Chargenzeitreduzierung und Energieeinsparung widerspiegelt. Seit über 80 Jahren ist die Rösler Oberflächentechnik GmbH als inhabergeführtes Unternehmen im Bereich der Oberflächenbearbeitung tätig. Als internationaler Marktführer bieten wir ein umfassendes Portfolio an Anlagen, Verfahrensmitteln und Dienstleistungen rund um die Gleitschliff- und Strahltechnik für unterschiedlichste Branchen. Auch die Auswahl aus ca. 15.000

Verfahrensmitteln, die speziell in unseren weltweiten Testzentren und Laboren entwickelt werden, folgt der spezifischen Kundenanforderung. Unter der Marke AM Solutions bieten wir zudem vielfältige Lösungen und Dienstleistungen speziell für das Thema 3D-Druck/Additive Fertigung an. Als zentrales Trainingscenter vermittelt die Rösler Academy praxisorientierte Seminare zu den Themen Gleitschliff- und Strahltechnik, Lean Management und Additive Manufacturing. Zur Rösler Gruppe gehören neben den deutschen Werken in Untermerzbach/Memmelsdorf und Bad Staffelstein/Hausen 15 Niederlassungen und ca. 150 Handelsvertreter weltweit.

Kontakt

Rösler Oberflächentechnik GmbH

Vorstadt 1
D-96190 Untermerzbach
Ansprechpartner: Daniel Hund
Tel.: +49 (0)9533 924-802
Fax: +49 (0)9533 924-300
d.hund@rosler.com
www.rosler.com



Gleitschlifftechnik | Strahltechnik | AM Solutions

Rösler Oberflächentechnik GmbH | Vorstadt 1 | 96190 Untermerzbach | Germany
Tel. +49 9533 / 924-0 | Fax +49 9533 / 924-300 | info@rosler.com | www.rosler.com

GUT Sandregeneriersysteme, Chromittrennung und Kaltharz-Formlinien

GUT ist der Branchenspezialist im Bereich Giessereianlagenbau rund um den chemisch gebundenen Giessereisand, von der Auspackstation über Sandregenerierung bis zur mechanisierten Formlinie.

GUT liefert **Systemlösungen aus einer Hand**, von der Projektidee über Beratung, sowie individuellem Engineering, bis hin zur **schlussfertigen Giessereianlage**. Wir sind als klassisches Ingenieurbüro mit erfahrenem Personal für Planung, Engineering, Bauleitung und Inbetriebnahme **auch für internationale Projekte** sehr gut aufgestellt. Unsere Maschinen und Anlagebausteine werden von ausgewählten, renommierten Fertigungspartnern hergestellt.

Wir bieten in zweiter Generation

- **mehr als 30 Jahre Erfahrung in Engineering und im Bau von mechanischen Sandregenerierungsanlagen,**
- von der Auspackstation über Kornvereinzelung,
- Kühlung,
- Entstaubung,
- sowie mechanische und pneumatische Intensivregeneratoren,
- Magnettrenntechnik bis hin zur
- pneumatischen Förderung und Lagerung von Giessereisand und ähnlichen Schüttgütern.

Bei **Chromitsandtrennanlagen** gehören wir zu den **Marktführern** und neben der klassischen **Furanharz-Sandrückgewinnung** sind auch unsere mechanischen Systeme zur **Binderhüllenabreinigung für die Kernsandregenerierung** auf dem Markt etabliert.

Unsere **After-Sales-Serviceaktivitäten** gehen weit über die reine Ersatzteilversorgung hinaus. Wir erarbeiten und betreiben mit unseren Kunden vorbeugende **Instandhaltungskonzepte** und bieten ausgewählte Lösungen für **Fernwartung** an.

Individueller Anlagenbau rund um den chemisch gebundenen Formstoff ist unsere Kernkompetenz und wir bieten ein nach ISO 9001:2018 zertifiziertes Qualitätsregime, sowohl für den Umbau oder die Ergänzung von Altanlagen, als auch für neue Giessereien auf der „grünen Wiese“.

Kontakt

G U T Giesserei Umwelt Technik GmbH

Obere Hommeswiese 2-4
D-57258 Freudenberg
info@gut-gmbh.de
www.gut-gmbh.de



Giesserei Umwelt Technik

Ihr Spezialist für Giessereianlagenbau

DESIGN YOUR SUCCESS.

- | | |
|-----------------------|----------------------|
| ■ Sandregenerierung | ■ Kaltharzformlinien |
| ■ Chromitsandtrennung | ■ pneumatische |
| ■ Auspackstationen | Fördertechnik |



Obere Hommeswiese 2-4
57258 Freudenberg, Deutschland
Fon +49 (0) 2734 - 28 09-0

www.gut-gmbh.de



Inserentenverzeichnis

Altair Engineering GmbH	10
Antrok Gießereiservice GmbH	64
BIAX Schmid & Wezel GmbH	26
Buderus Guss GmbH	25
Maschinenbau Böhmer GmbH	3
Bühler AG	29
ESI Engineering System International GmbH	U2
Flow Science Deutschland	14
GUT Giesserei Umwelt Technik GmbH	7
Gontermann-Peipers GmbH	48
HEINRICH WAGNER SINTO Maschinenfabrik GmbH	85
KLEIN Anlagenbau AG KLEIN Stoßwellentechnik GmbH	9
MAGMA GmbH	38
MARPOSS GmbH	75
Messe Düsseldorf	U4
mk Industrievertretungen GmbH	75
OHM&HÄNER Metallwerk GmbH & Co. KG	25
Peak Deutschland GmbH Gießereibindersysteme	49
REAL ALLOY GERMANY	28
ROBERT RÖNTGEN GMBH & CO. KG	13
Rösler Oberflächentechnik GmbH	6
RWP Gesellschaft beratender Ingenieure für Berechnung und rechnergestützte Simulation mbH	5
SPECTRO Analytical Instruments GmbH	65
STROBEL QUARZSAND GMBH	3
voestalpine High Performance Metals Deutschland GmbH	63
YXLON International GmbH	54
ZwickRoell GmbH & Co. KG	86

CLUSTREG® – Neues Regeneriererverfahren für anorganisch gebundene Gießereisande

Emissionsreduktion und Ressourceneffizienz sind längst keine modischen Worthülsen mehr, sondern integraler Bestandteil von Neuentwicklungen. Im Bereich der Bindertechnologie sind anorganisch gebundene Kerne bei der Herstellung und beim Abguss praktisch emissionsfrei. Die Regenerierung und umfassende Wiederverwendung von anorganisch gebundenen Altsanden ist jetzt mit dem CLUSTREG®-Verfahren der KLEIN Anlagenbau AG möglich.

Hervorragende Regenerierergebnisse, Energieeffizienz, einfache Anlagentechnik und ein gutes Preis-Leistungsverhältnis waren die Hauptentwicklungsziele für das neue CLUSTREG®-Verfahren der KLEIN Anlagenbau AG. In Zusammenarbeit mit namhaften Gießereien und Bindemittelherstellern wurde das CLUSTREG®-Verfahren auf Herz und Nieren geprüft. Die Ergebnisse können sich sehen lassen: Maßhaltigkeit und Oberflächengüte der Gussteile sind sehr gut, der zehnfache Sandumlauf mit Regenerat wurde bestätigt, Biegefestigkeit und Fließfähigkeit bleiben auf Neusand-Niveau. Weiterhin konnte der Energieverbrauch im Vergleich zur thermischen Regenerierung um den Faktor fünf reduziert werden. Und so funktioniert das innovative CLUSTREG® Verfahren: In einer ersten Stufe wird der Altsand mechanisch vorbehandelt und Binderreste und Additive werden vom Korn gelöst. In einem zweiten Schritt wird der schonend vorbehandelte Sand mit einem Trägerstoff und einem Haftvermittler vermischt und auf spezifische Weise bewegt. Dabei werden Binderreste und Additive vom Korn gelöst und haften an dem Trägerstoff. In einem letzten Schritt wird der Trägerstoff mit den Binderresten und den Additiven in einem einfachen Verfahren vom Korn getrennt. Im KLEIN-CLUSTREG®-Technikum regenerieren wir gerne auch Ihren Altsand und überzeugen Sie von der CLUSTREG®-Technologie. Detaillierte Wirtschaftlichkeitsberechnungen für Ihren konkreten Anwendungsfall runden unseren Service für Sie ab. Angesichts steigender Kosten für die Beschaffung von Neusand sowie die Entsorgung von Altsand und bedingt durch die Verschärfung von Umweltauflagen wird die Rückgewinnung,

Autoren: Dipl.-Ing. Martin Reichert,
Prokurist, Dr.-Ing. Enno Schulte, Forschung und Entwicklung

Kontakt

KLEIN Anlagenbau AG

Obere Hommeswiese 53-57
D-57258 Freudenberg
Tel.: +49 (0)2734 501-301
Fax: +49 (0)2734 501-327
info@klein-group.eu
www.klein-ag.de

Regenerierung und Wiederverwendung der eingesetzten Form- und Kernsande immer wichtiger. Die KLEIN Anlagenbau AG liefert natürlich auch für organisch gebundene Sande ein breites Spektrum an Anlagen und Anlagenkomponenten, wie z.B. Ausschlagroste, Vibrations-Knollenbrecher, Sandkühler, Entstaubungseinrichtungen, sowie die bewährte mechanische Regeneriereinheit ROTAREG.



Kernsandmischtechnik

für organische und anorganische Verfahren, schlüsselfertige Anlagen mit Sand-, Binder- und Additivdosierung und Kernsandverteilung

Pneumatische Fördertechnik

für trockene, rieselfähige, abrasive und abriebempfindliche Stoffe

Regeneriertechnik

Anlagen für Kaltharzsand- und Kernsand-Rückgewinnung, CLUSTREG® für anorganisch gebundene Kernsande



Stoßwellentechnik

CERABITE®
Saubere Gussteile

für sichere Restsand- und Schlichtentfernung bei anspruchsvollen Gussteilen



KLEIN Anlagenbau AG
KLEIN Stoßwellentechnik GmbH
a subsidiary of KLEIN Anlagenbau AG



Obere Hommeswiese 53-57 · 57258 Freudenberg | Germany
Phone +49 27 34 | 501 301 · info@klein-group.eu
www.klein-ag.de · www.stosswellentechnik.de

Guss, 3D-Druck & Hybrid: Warum die Gießerei-Industrie Topologieoptimierung braucht

Industrielle Gussteile und -prozesse unterliegen aufgrund gestiegener Zielvorgaben, wie z. B. Leichtbaukonstruktionen, einem starken Wandel. Simulationsgetriebenes Design und additive Fertigung sind zwei aktuelle Technologien, die den Leichtbau und den Druck komplexer Formen und Kerne vorantreiben. Dies führt zu einem neuen Ansatz, dem sogenannten „**Hybrid Casting**“-Prozess. Dieser Prozess umfasst die Strukturanalyse, die Topologieoptimierung des Bauteils und die Bewertung des Gießprozesses mittels Prozesssimulation. Dabei wird die Leistung des Bauteils beibehalten, gleichzeitig aber die Effizienz durch die Topologieoptimierung gesteigert und der Gießprozess mittels Prozesssimulation abgesichert.

Die Topologieoptimierung ist eine Technologie zur Entwicklung optimierter Strukturen unter Berücksichtigung von Randbedingungen wie erwarteten Lasten, verfügbarem Bauraum, Materialien und Kosten. Früh in den Entwurfsprozess eingebettet, ermöglicht sie die Erstellung von Konstruktionen mit minimaler Masse und maximaler Steifigkeit. Typische Aufgabenstellungen bei



Abb. 1: Optimierte Bauteile und beschleunigter Herstellungsprozess dank kombiniertem Einsatz von Gießtechnologie und 3D Druck im Binderjetverfahren.
Bildquelle: Altair



der Gussteilauslegung sind dabei die Bestimmung der Bauteildicke, die Definition des Angussystems, die Entformbarkeit und die Vermeidung von Hinterschneidungen.

Die Basis des simulationsgestützten Designs ist die Topologieoptimierung. Ein führendes Werkzeug in diesem Umfeld ist die Altair Inspire Plattform, mit deren Hilfe topologieoptimierte Bauteile entwickelt und traditionelle Gussverfahren mit additiver Fertigung kombiniert werden können. Inspire ermöglicht die frühzeitige Untersuchung der gewünschten Fertigungsverfahren – auch für Konstrukteure und Designer mit nur wenig oder ohne Simulationserfahrung.

Mit Simulation und Gusstechnik zum optimierten Design – Beispiele aus der Praxis

Der Landtechnik Hersteller Amazone konnte durch den kombinierten Einsatz der Topologieoptimierung und 3D gedruckten Sandformen eine zuvor geschweißte Fahrwerksschwinge als Gussbauteil fertigen und neben einer Gewichtsreduzierung auch eine höhere Lebensdauer erzielen. Mithilfe von Inspire entwickelte das Unternehmen eine optimale Struktur, die nicht nur um 8 % leichter ist als die Schweißkonstruktion, sondern darüber hinaus die Herstellungskosten um ein Drittel reduzierte.

Abb. 2: Evolution eines Fahrwerksschwingen-Designs: Schweißkonstruktion (links), Gussausführung (Mitte), Designstudie zur weiteren Gewichtsoptimierung (rechts)
Bildquelle: Amazone, voxeljet, ProGuss und Altair.

Der Feingussexperte BLANK konnte durch eine mittels Inspire abgesicherte Herstellbarkeit eines Hochleistungsbauteiles erhebliche Gewichtseinsparungen erzielen. Indem die Ingenieure einen kombinierten Fertigungsprozess aus 3D Druck und Feinguss entwickelten, konnten sie die Masse bei einem Radträger eines Rennsportwagens um 20 % reduzieren – bei gleichbleibender Steifigkeit.

In einem anderen Fall arbeiteten Altair und ExOne mit einem Automobilhersteller zusammen, um das Gewicht einer bestehenden Strukturkomponente zu reduzieren. Das neue Bauteil benötigte durch den kombinierten Einsatz von 3D gedruckten Sandformen und Guss weniger Fertigungsschritte zur Herstellung und war um mehr als 45 % leichter als das Original.

Vorteil Inspire für Gießer

Diese Beispiele aus der Praxis zeigen, wie die Topologieoptimierung mit Inspire Unternehmen dabei hilft, Verfahren wie Gießen und Drucken zu kombinieren und zur innovativen Entwicklung zu nutzen.



INTUITIVE GIESS-SIMULATION IN 5 SCHRITTEN

SCHNELL, EINFACH, PRÄZISE & KOSTENEFFIZIENT!

Altair Inspire Cast führt Guss-Experten und Konstrukteure in fünf einfachen Schritten durch den gesamten Gieß-Simulationsprozess – intuitiv und benutzerfreundlich.

Mit Inspire Casts intuitiver Nutzeroberfläche und den geführten Templates für Sand- und Kokillenguss, Feinguss, Druckguss und Niederdruckguss vermeiden Sie Gussfehler wie Porosität, Lufteinschlüsse und Kaltläufe und optimieren den gesamten Gießprozess.

Mehr erfahren Sie unter:
altair.de/inspire-cast/



Sie erreichen die einzelnen Hochschulinstitute über die Website der 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 Mechanical Engineering, Technical University of Denmark

■ Niels Skat Tiedje, Associate Professor

Gießereitechnik – GTK Kassel, Universität Kassel

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

Labor für Werkstofftechnik und Betriebsfestigkeit, Hochschule Kempten

■ Prof. Dr.-Ing. Dierk Hartmann

Lehrstuhl für Gießereikunde, Montanuniversität Leoben

■ Prof. Dr.-Ing. Peter Schumacher

TUM UTG / Fraunhofer IGCV, Gießereitechnik München

■ Prof. Dr.-Ing. Wolfram Volk

RÖNTGEN – BANDSAW BLADES FOR THE WORLD AND BEYOND!

RÖNTGEN – dieser Name steht seit der Gründung im Jahr 1899 auf der ganzen Welt für höchste Qualität, technischen Fortschritt und kompetente, individuelle Service-Kompetenz.

Die Robert Röntgen GmbH & Co. KG wurde im Jahr 1899 von Robert Röntgen in Remscheid gegründet. Von Anfang an befasst man sich mit der Herstellung und dem Vertrieb von Sägebändern und Sägeblättern zur Metallbe- und -verarbeitung. Die konsequente und kontinuierliche Weiterentwicklung und Verbesserung der Produkte lässt **RÖNTGEN** sehr schnell zu einem weltweit führenden Unternehmen im Bereich der Sägebänder – Bimetall und HM-bestückt –, werden. Diese Marktstellung steht im direkten Zusammenhang mit dem Anspruch, höchste Qualität zu fertigen. Seit Jahren dokumentiert durch die Zertifizierung nach DIN EN 9001. In den modernen Produktionsstätten werden die Voraussetzung geschaffen, die Spitzenstellung am Weltmarkt weiter auszubauen. Die Optimierung der Schnittqualität, der Schnittgeschwindigkeit und der Wirtschaftlichkeit sind dafür äußerst wichtige Parameter. **RÖNTGEN** Qualität bedeutet daher absolut genaue und kontinuierliche Produktprüfung in allen Herstellungsphasen, damit nur Produkte höchster Güte den Weg zum Kunden antreten. Die Produktpalette umfasst diverse Abmessungen und Zahnformen in den bewährten Bimetallgüten bi-alfa cobalt M42 und M51, bi-alfa PROFILE und PROFILE WS, bi-alfa Master, bi-alfa cobalt RP, Master Supreme sowie bi-alfa cobalt WS und Alu WS.

Weiterhin werden hartmetallbestückte Qualitäten **RÖNTGEN HM-Titan** und **RÖNTGEN Grit** (hartmetallbestreut) angeboten. Werkzeugstahlsägebänder RRR und RRR-Plus werden ebenso wie die Bimetall- und die Hartmetallgüten in verschiedenen Abmessungen für die vielfältigen Anforderungen der Kunden hergestellt. Über 100 Jahre Erfahrung in der Herstellung von Sägebändern und Sägeblättern und die Fähigkeit, höchste Qualität an unsere Kunden zu liefern, machen RÖNTGEN zu einem global agierenden Unternehmen der absoluten Spitzenklasse.

Kontakt

ROBERT RÖNTGEN GMBH & CO. KG
Auf dem Knapp 44
D-42855 Remscheid
Tel.: +49 (0)2191 373-01
Fax: +49 (0)2191 373-999
info@roentgen-saw.com
www.roentgen-saw.com

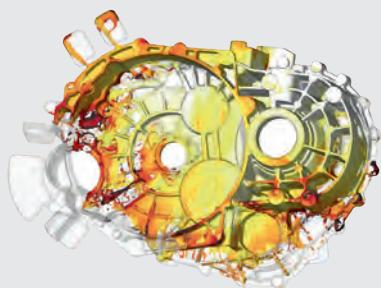


FLOW-3D CAST

Die Simulationssoftware für die Gießereitechnik

FLOW-3D CAST ist ein umfassendes und effizientes Simulationswerkzeug zur Unterstützung einer ökonomischen und qualitätsgerechten Fertigung von Gussbauteilen.

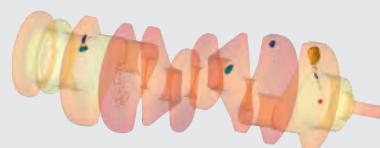
Flow Science stellt mit der aktuellen Version die neue Generation der Simulation von Prozessen der Gießereitechnik vor. Die Software basiert auf über **40 Jahren** Entwicklungsarbeit und hat sich weltweit als Werkzeug für eine anforderungs-, fertigungs- und werkstoffgerechte Bauteilentwicklung etabliert.



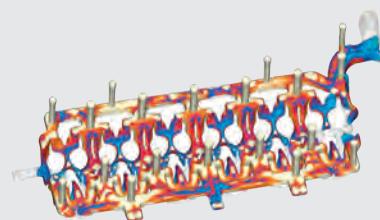
Mit **FLOW-3D CAST** können alle gängigen Gießverfahren und Werkstoffe hinsichtlich Gussteildesign und -qualität, Konzeption und Auslegung der Gießtechnik sowie das Ableiten von robusten Prozessparametern zielgerichtet optimiert werden. Zusätzlich lassen sich zahlreiche weitere Prozesse der Gießereitechnik untersuchen, wie z.B. die Herstellung und den Einsatz von Sand- und Salzkernen, Schmelztransport in Gießpfannen, Schmelzaufbereitung und -zuführung zum Gießsystem.

Die Anwender von **FLOW-3D CAST** schätzen die vielfältigen Möglichkeiten zur Berechnung von Formfüllung, Erstarrung und Abkühlung sowie die Vorhersage wichtiger Eigenschaften von Gussteil und Form. Die intuitive Benutzeroberfläche, eine automatisierte und effiziente Modellerstel-

lung sowie umfangreiche Materialdatenbanken garantieren schnelle und zielgerichtete Simulationen auf höchstem Qualitätsniveau.

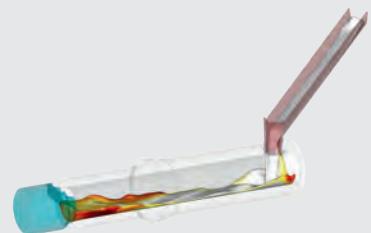


In der neuen Version von **FLOW-3D CAST** bestehen weiterführende Möglichkeiten zur Prognose und Analyse von Gussfehlern, z.B. durch die Lokalisierung und Verfolgung kleinsten Luftbläschen während der Formfüllung oder Hot-Spots während der Erstarrung. Zudem wurde das Erstarrungsmodell komplett überarbeitet und um zahlreiche Berechnungsmöglichkeiten ergänzt (Erstarrungsmorphologie, Mikrostruktur, mechanische Eigenschaften, thermisches Modul). Weitere Highlights der neuen Version sind unter anderem die realistische Simulation des Abbrennverhaltens von exothermen Speisern, komplette Modellierung der Kolbenbewegung über PQ²-Analysen, interaktive Steuerung der Simulation über Events, Zylinderkoordinaten zum Berechnen von Schleudergussprozessen sowie ein neuartiges Strahlungsmodell.



Der neue Post-Prozessor **FLOW-3D POST** bietet neben der interaktiven und automatisierten Auswertung unzählige Möglichkeiten zur effektiven

Analyse, Präsentation und Kommunikation der Simulationsergebnisse. So lassen sich z.B. anhand einer speziellen Porositätsanalyse Schwundlunker sicher vorhersagen und quantifizieren.



FLOW-3D CAST deckt die gesamte Prozesskette für die Herstellung von Gussbauteilen ab und ist somit **eine umfassende** Komplettlösung für eine wirtschaftliche Entwicklung, Fertigung und Qualitätssicherung von Gussprodukten. Beginnend im Konzeptstadium bis hin zum endgültigen Bauteildesign, in der Werkzeugkonstruktion sowie in der Prototypenphase bis hin zur Serienfertigung können mit dem Softwaretool effektiv umfassende Untersuchungen, Analysen und Optimierungen durchgeführt werden.

FLOW-3D and **TruVOF** are registered trademarks of Flow Science, Inc. in the USA and other countries.

FLOW-3D® CAST

Kontakt

Flow Science Deutschland

Tel.: +49 (0)7472 988688-0

Fax: +49 (0)123 45-10

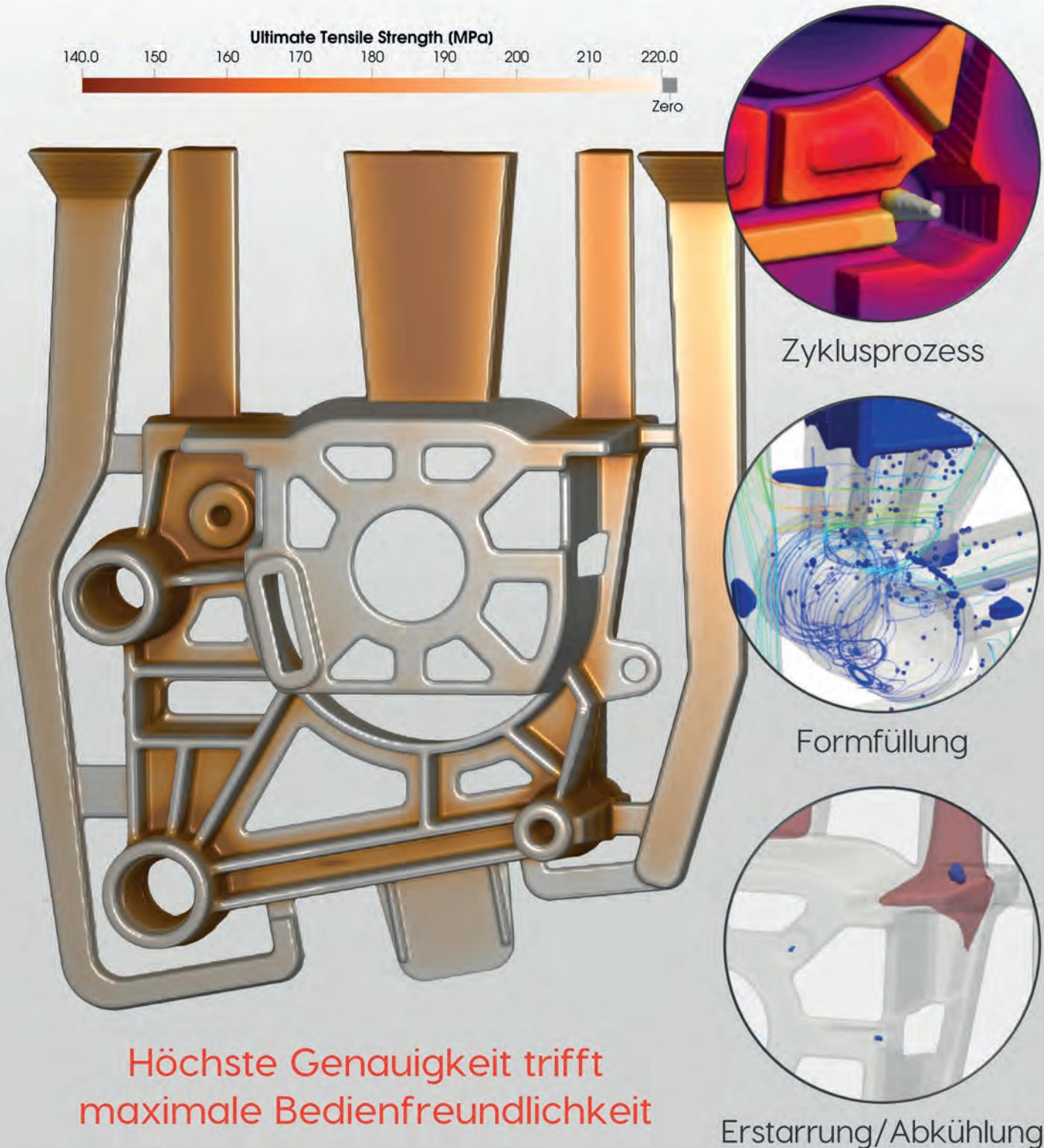
flow3d@flow3d.de

www.flow3d.de

www.flow3d.com/cast

FLOW-3D® CAST

Die Simulationssoftware für die Gießereitechnik





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

Institutsleitung und
Lehrstuhl für Gießereiwesen

Autoren:
Johannes Nellessen ¹
Steffen Gimmler ²
Florian Funken ³
Maximilian Rudack ⁴
Dr.-Ing. Iris Raffeis ⁵





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.

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 Erkenntnisgewinn 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 An-Institut Access e.V., dem Lehrstuhl für Korrosion und Korrosionsschutz sowie dem Lehrstuhl für Grundlagen der Erstarrung bietet das Gießerei-Institut modernste Analysemethoden zur Werkstoff- und Bauteilcharakterisierung an. Die folgende Aufstellung zeigt einen Ausschnitt unseres Portfolios. Im Aufbau ist aktuell zusätzlich die gesamte Prozesskette der additiven Fertigung für metallische Bauteile vom Pulver bis zum fertigen Bauteil.

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
- Umlaufbiegeprüfung
- Optische 3D-Vermessung dynamischer Verformung

Grundlagen der Erstarrung

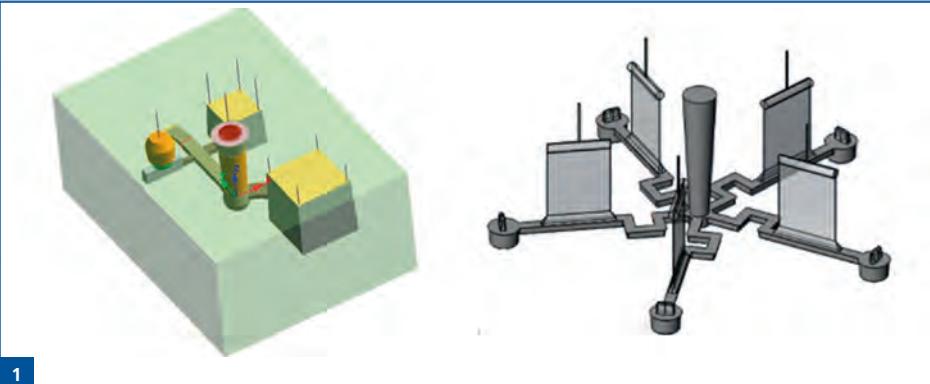
- Schwebeschmelzverfahren
- Sessile-Drop-Apparatur

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
sekretariat@gi.rwth-aachen.de
www.gi.rwth-aachen.de

Abb. 1: Verwendete Probengeometrie für Untersuchungen des Speisungsverhaltens (links) und des Formfüllvermögens sowie der Neigung zur Weißerstarung (rechts).



1

Additive Fertigung (im Aufbau)

- 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 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 unerwünschte Gefügemorphologien zu berücksichtigen, die in der Fertigung weitgehend vermieden werden müssen.

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.

Klassischer Werkstoff neu optimiert – Erschließung des Leichtbaupotenzials von hochsiliziumhaltigem Gusseisen mit Kugelgraphit¹

Das Leichtbaupotenzial von hochsiliziumhaltigen GJS-Werkstoffen, mit einem Siliziumgehalt zwischen 3,3 % und 4,3 % fußt auf einer optimalen Kombination aus Dehnung, Festigkeit und Bearbeitbarkeit. Dies ist auf ein stark mischkristallverfestigtes ferritisches Gefüge zurückzuführen, welches eine relevante Wandstärkenreduzierung zulässt, ohne dabei die Belastbarkeit des Bauteils negativ zu beeinflussen. Dafür sind jedoch gießtechnologische Eigenschaften der hochsiliziumhaltigen GJS-Schmelze zu gewährleisten, die eine genaue Abbildung eines komplexen und dünnwandigen Formhohlraums garantieren. Unter dem Begriff der gießtechno-

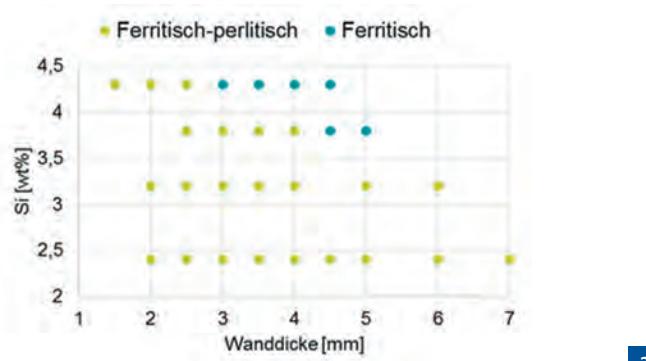


Abb. 2: Erreichtes Gefüge in Abhängigkeit von Wanddicke und Si-Gehalt bei einer Kombination aus Pfannen- und Formimpfung.

2

logischen Eigenschaften fallen hierbei drei Aspekte: (1) Die Fließfähigkeit und das Formfüllungsvermögen, mit denen beschrieben wird, bis zu welcher Distanz die Schmelze einen Formhohlraum ausfüllen und geometrisch exakt reproduzieren kann, (2) die geringe Neigung zur versprödenden Weißerstarrung, wodurch dünnere Wandstärken mit geringeren Erstarrungszeiten realisiert werden können und (3) das Speisungsverhalten während der Erstarrung. Alle drei Aspekte sind für die mischkristallverfestigten GJS-Werkstoffe bisher nicht in hinreichendem Umfang untersucht worden, obwohl sie essenziell für eine prozesssichere und kosteneffiziente Produktion dieser innovativen Werkstoffe sind. Erst der dezidierte Erkenntnisgewinn hinsichtlich der genannten gießtechnologischen Eigenschaften macht daher das volle Leichtbaupotenzial dieser Werkstoffklasse nutzbar.

Der methodische Ansatz der Untersuchungen besteht aus einer systematischen Analyse der Gieß- und Erstarrungseigenschaften der hochsiliziumhaltigen GJS-Werkstoffe unter Berücksichtigung der relevanten Prozessparameter wie Siliziumgehalt, Gießtemperatur, Formstoff und Impfzustand. Dabei ist das Ziel, das gesamte Leichtbaupotenzial dieser Werkstoffe zu erschließen und eine Optimierung des Speisungsaufwandes zu erreichen. Hierzu werden die zu untersuchenden Gieß- und Erstar-

rungseigenschaften erfasst, sodass der Einfluss der Prozessparameter auf diese Eigenschaften getrennt analysiert und quantifiziert werden kann. **Abbildung 1** zeigt zum einen die dafür verwendete Probengeometrie zur Quantifizierung des Speisungsverhaltens und zum anderen die Versuchsanordnung zur Untersuchung des Verhaltens der Werkstoffe bei dünnen Wanddicken von 1 – 5 mm im Sandguss, um die minimal realisierbare Wanddicke zu bestimmen. Ergänzend zu diesen Hauptversuchen werden Modellbildungs- und Simulationsarbeiten mit Hilfe thermodynamisch-kinetischer Werkstoffsimulation und Prozesssimulationen durchgeführt und mit grundlagenorientierten experimentellen Untersuchungen verglichen. Dies führt zu einem vertieften Verständnis der experimentellen Befunde und zu weiteren Optimierungsmöglichkeiten hinsichtlich der Gieß- und Erstarrungseigenschaften.

Die Ergebnisse zeigen unter anderem, dass die hochsiliziumhaltigen GJS-Werkstoffe bei einer kombinierten Pfannen- und Formimpfung bei Wandstärken bis zu 1,5 mm ohne versprödenden Zementit vorliegen können (*vgl. Abbildung 2*). Weiterhin konnte ein quantitativer Zusammenhang des Porositätsvolumens in Abhängigkeit der verwendeten Prozessparameter nachgewiesen werden. Somit konnte aus den Ergebnissen der Untersuchungen ebenfalls ein Prozessfenster zur Reduzierung des

Speisungsaufwandes für die untersuchten Gusseisensorten identifiziert werden.

Reibungslos – neue metallische Laufschichtwerkstoffe für mechanisch und thermisch hochbelastete hydrodynamische Gleitlager²

Konventionell eingesetzte Gleitlagermetalle für den Schnelllaufbetrieb stoßen bei modernen Anwendungsfällen zunehmend an die Grenzen ihrer mechanischen und thermischen Belastbarkeit. Zur Entwicklung alternativer Gleitlagerlegierungen fällt der Fokus zunehmend auf Legierungen des ternären Systems Zink-Aluminium-Kupfer. Legierungen dieses Systems zeichnen sich insbesondere durch deutlich gestiegerte Festigkeiten gegenüber herkömmlich eingesetzten Weißmetalllegierungen aus und sind zudem aus ökologischer und ökonomischer Sicht unbedenklich.

Zur gezielten Einstellung, der sich beim Guss ausbildenden Mikrostruktur, wurde ein Simulationsmodell entwickelt, welches die Abläufe der Gefügeausprägung von der Erstarrung bis zu den Festphasenumwandlungen abbildet. Die hierzu verwendeten Parameter wurden iterativ über Vergleiche mit experimentellen Abgüssen optimiert, sodass eine sehr gute Kongruenz der Mikrostrukturen zwischen Simulation und realen Gefügen erzielt werden konnte. Wie in **Abbildung 3** dargestellt, konnte selbst das Seige-

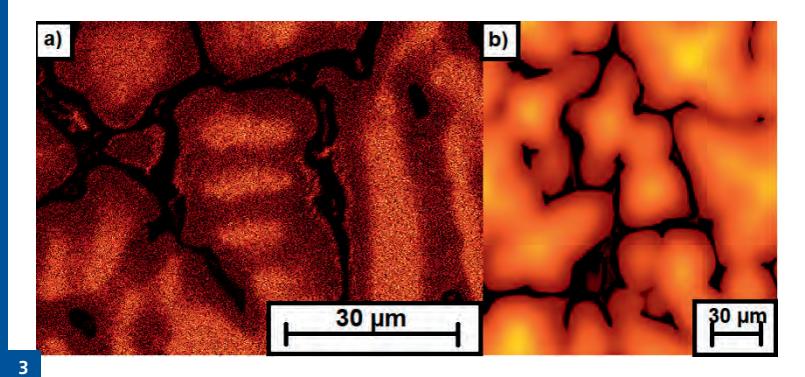


Abb. 3: Darstellung der Aluminiumkonzentration (rot) für a) ein reales Gussgefüge aus ZnAl20Cu0,7 mittels EDX und b) das Gefüge der gleichen Legierung auf Basis der Simulation.

rungsverhalten einzelner Elemente mit der Simulation gut abgebildet werden.

Über die Einstellung der Legierungs zusammensetzung und der damit verbundenen Variation der Anteile einzelner Phasen können zudem die mechanischen und tribologischen Eigenschaften der Legierungen präzise für einzelne Anwendungsfälle eingestellt werden. Eine Erhöhung der Anteile an α -Phase (kfz) durch die Zugabe von Aluminium führt beispielsweise wie aus Abbildung 4a ersichtlich, neben einer linearen Zunahme der Härte zu einem um-

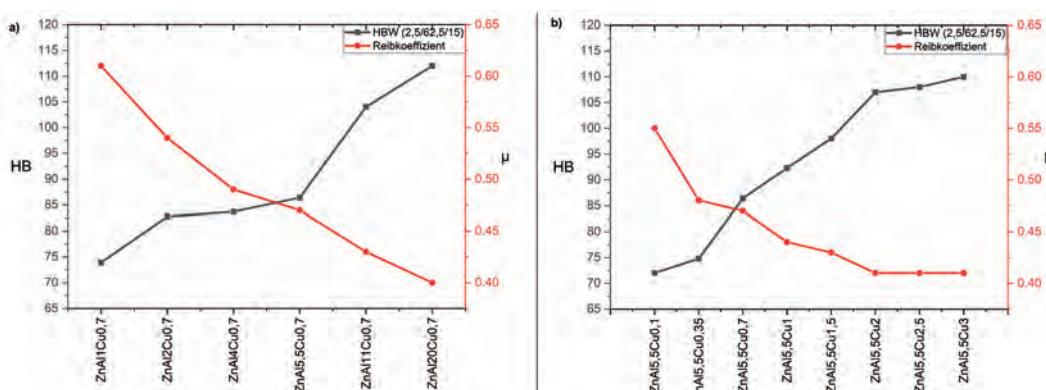
gekehrt proportionalen Absinken des Reibkoeffizienten bei tribologischer Belastung. Hingegen zeigte eine Erhöhung des Kupfergehaltes lediglich bis 2 Gew.-% einen positiven Effekt auf den Reibkoeffizienten. Über 2 Gew.-% Kupfer bildet sich verstärkt die intermetallische Phase Zn₄Cu, welche als abrasive Drittphase im tribologischen Kontakt den Reibkoeffizienten erhöht, Abbildung 4b.

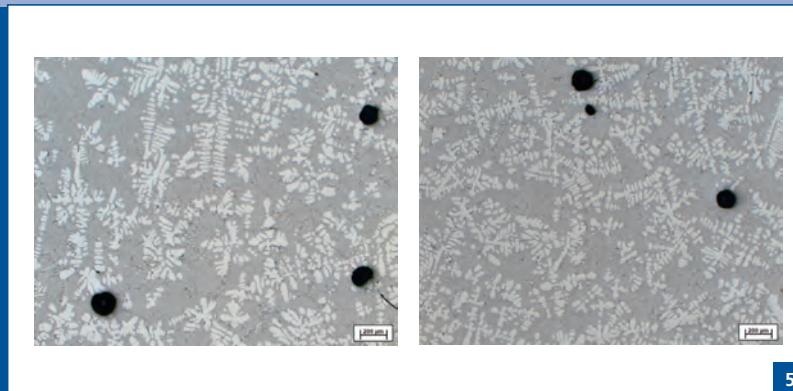
Neben der Einstellung von Härte und Reibeigenschaften konnte auch über Variation der Zusammensetzung und der Erstarrungsgeschwindigkeit die Druckfestigkeit, sowie die Kriechbeständigkeit der Legierungen, sowohl bei Raumtemperatur als auch bei erhöhten Temperaturen deutlich über die Werte konventionell eingesetzter Weißmetalllegierungen hinaus gesteigert werden.

Neue Potentiale für die Gussqualität – Optimierung des Porositätsprofils in Al-Si-Gusslegierungen ³

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 Schwindungsporosität durch homogen und feinverteilte runde Wasserstoffporosi-

Abb. 4: Einfluss der a) Aluminiumkonzentration und b) Kupferkonzentration auf die Härte und den Reibkoeffizienten von ZnAlCu-Legierungen.





5

Abb. 5: Schliffbilder einer aufgegasten AlSi11Mg ohne zusätzliche Keimbildner (DI = 10,2 %, links) und mit 2 g/kg Micro100 (DI = 10,9 %, rechts). Insgesamt ist in der „geimpften“ Probe eine breitere Größenverteilung der Wasserstoffporen zu beobachten.

tät zu ersetzen und damit die Ermüdungsfestigkeit zu steigern.

Hierzu sollen die Legierungsschmelzen AlSi11Mg und AlSi7Mg0,3 bei Variation der zentralen Einflussgrößen – Erstarrungsgeschwindigkeit, Wasserstoffgehalt und Keimhaushalt – auf die sich einstellenden Porositätsprofile untersucht werden. Die erfassten Zusammenhänge werden zur reproduzierbaren Herstellung von Zugstäben definierter Porenbilder eingesetzt und mit den resultierenden Ermüdungseigenschaften korreliert. In einer Vorversuchsreihe mit einer naheutekischen AlSi11Mg wurde mithilfe einer speziellen Versuchsgeometrie der Einfluss unterschiedlicher Wandstärken, Formwerkstoffe sowie verschiedener Wasserstoffgehalte und Keimbildnerbeladungen auf das sich einstellende Porositätsprofil untersucht. Die Auswertung der Probenschliffbilder zeigt die bekannten Zusammenhänge zwischen dem Wasserstoffgehalt und der Probenwandstärke mit den resultierenden Wasserstoffporen-durchmessern. Der Effekt der Zugabe von Micro100-Keimbildnern zeigt sich insbesondere bei stark erhöhten Wasserstoffkonzentrationen. Wie in Abbildung 5 veranschaulicht, wird eine breitere Größenverteilung an Wasserstoffporen erfasst, wodurch der Durchschnittswert der Wasserstoffporedurchmesser sinkt.

Zur weiteren Untersuchung der Porenkeimbildungsmechanismen wur-

den rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen an flach angeschnittenen Poren auf mögliche verbliebene Keimstellen durchgeführt. Für einige Poren wurden Oxide bzw. Spinelle als potenzielle Porenkeime identifiziert. In Abbildung 6 befindet sich eine Spinel-Haut ($MgAl_2O_4$), die auch durch alternative Untersuchungen nachgewiesen werden konnte, auf der Porenoberfläche.

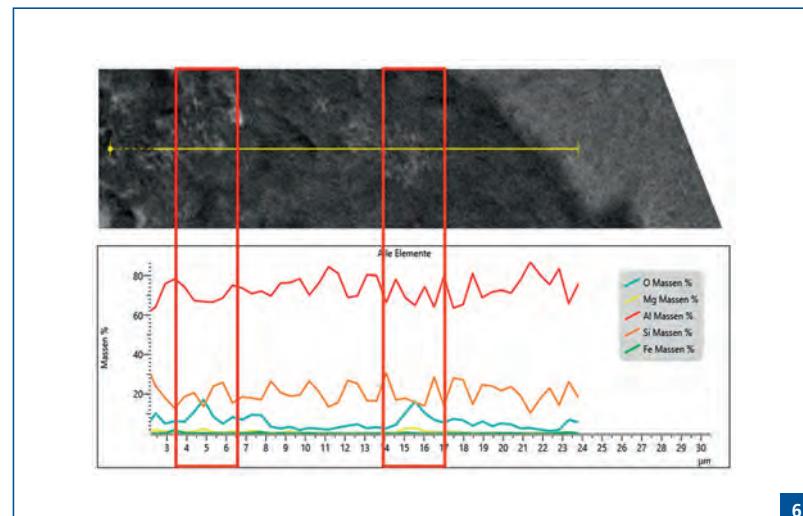
Für die Hauptversuchsreihen wurde ein neuer Versuchsaufbau konzipiert. Dieser besteht aus zwei temperierbaren und modular aufgebauten Kokillen mit identischem Eingießsystem und Stopfenziehvorrangung. So werden für denselben Schmelzezustand und das gleiche Strömungsprofil sowohl kugelförmige Geometrien als auch zylindrische Ermüdungsprüfkörper gegossen. Zudem werden zur

Charakterisierung der Erstarrungsbedingungen Temperatursensoren in die Kokille implementiert.

Druckguss – mit Industrie 4.0 innovativ weiterentwickelt⁴

Die Druckgießanlage Frech DAK450-40 des Gießerei-Institutes wurde 2018 mit der offenen OPC-UA Schnittstelle ausgestattet, die es erlaubt alle Signale der Zelle in Echtzeit zu extrahieren. In enger Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Informationsmanagement im Maschinenbau des Cybernetics Lab der RWTH

Abb. 6: Element-Linescan über einen vorher selektierten Bereich der Porenoberfläche. Erhöhte gemessene Sauerstoffintensitäten bei sich morphologisch abgrenzenden Phasen (rot markierte Bereiche). Gleichzeitig ansteigende Magnesiumintensitäten weisen hier auf ein Spineloxid hin.

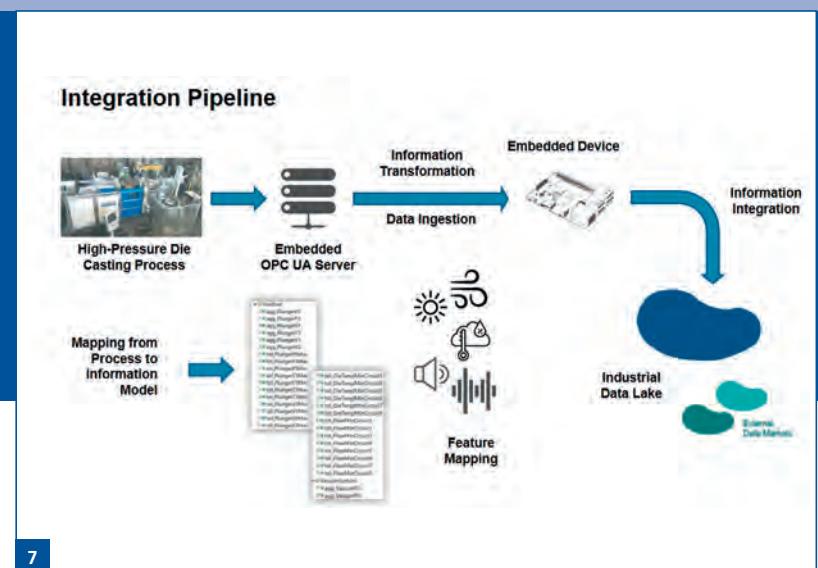


6

Abb. 7: Die Druckgießanlage des Gießerei-Institutes im Kontext der physikalischen Infrastruktur des Exzellenzclusters, Internet of Production' der RWTH Aachen.

Aachen University wird aktuell ein Data Lake aufgebaut, um alle Signale der Zelle sowie produktionsspezifische Qualitätsdaten zur weitergehenden Verarbeitung von Modellen für Partner im Exzellenzcluster Internet of Production (IoP) der RWTH bereitzustellen zu können. Das IoP verfolgt die Vision der Entwicklung eines digitalen Schattens der Produktion und der zugehörigen Referenzinfrastruktur. Hierbei ist es das Ziel multidimensionale anwendungsspezifische Produktionsdatensätze zu erfassen, sicher transfe-

Abb. 8: a) Pulververdüsungsanlage
b) Verdüsing einer Elektrode (EIGA)
c) Pulverpartikel
d) Pulverpartikel mit Pore und Satelliten
e) Pulverpartikel-Verteilungsprofile



rieren und verarbeiten zu können, um dann in Echtzeit Rückschlüsse auf den laufenden Produktionsprozess ziehen zu können und bei Bedarf in diesen Einzugreifen. Der horizontale Kaltkammer Druckgießprozess des Gießerei-Institutes ist einer der Demonstratoren des IoP, Abbildung 7.

Weiterhin folgt aktuell auch die zweite Kaltkammer Druckgießanlage des Gießerei-Instituts, eine Bühler HS 630 SC dem Weg hin zur vollständigen Digitalisierung. Neben der Anbindung an die bestehende Netzwerkinfrastruktur, liegt der Schwerpunkt hier in der umfänglichen Instrumentierung der

Anlage mit zusätzlicher Sensorik zur Prozessüberwachung und -steuerung. Die Möglichkeiten reichen hierbei von der Überwachung prozessbegleitender Peripherieanlagen bis hin zur Echtzeit-Erfassung von Temperaturen und Drücken in der Werkzeugkavität. Das Zusammenspiel aus Messdatenerfassung und unmittelbarer Verarbeitung resultiert in neuen Möglichkeiten der wechselwirkungsfreien Prozessdatenvariation, während gleichzeitig prozessübergreifende Datensätze generiert werden, welche in weiterführenden Projekten zu Themen wie z.B. Big Data oder Machine Learning verarbeitet werden können.

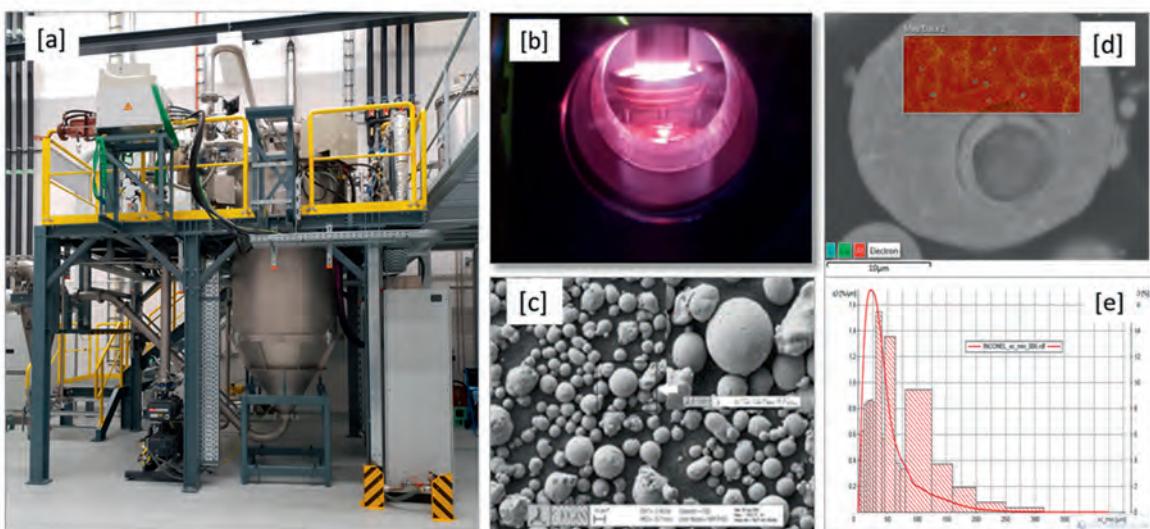




Abb. 9: a) LMD-System
(Foto: www.das-design-plus.de,
LUNOVU),
b) Pulverbettanlage
(LPBF- Laser powder bed fusion) und
c) Logo des Gießerei-Institutes, additiv
gefertigt.

9

Additive Fertigung – ein attraktives Forschungsstandbein im neuen Standort Campus Melaten⁵

Mit dem neuen Großforschungsbau der RWTH Aachen, der von Bund und Land gefördert wurde, erweitert das Gießerei-Institut sein traditionelles Forschungsgebiet des Urformens durch den Bereich der additiven Fertigung. Im Research Center for Digital Photonic Production (RCDPP) betreibt es eine Pulververdüsungsanlage, um Pulver für Legierungen für die additive Fertigung zu entwickeln. Die hybride Anlage, mit der Pulver sowohl aus dem Tiegel heraus mit dem VIGA-Verfahren (Vacuum Induction Melting Inert Gas Atomization) als auch tiegelfrei mit dem EIGA-Verfahren (Electrode Induction Melting Inert Gas Atomization) verdüst werden kann, ist für die Prozessgase Argon und Stickstoff ausgelegt ([Abbildung 8a-b](#)).

Zur unmittelbaren Weiterverarbeitung des Pulvers zu additiven Bauteilen stehen eine eigene Pulverbettanlage (LPBF, Laser Powder Bed Fusion) und eine LMD-Anlage (Laser Metal Deposition) zur Verfügung. Forschungsschwerpunkte sind dabei die Kopplung komplexer Bauteilstrukturen mit optimierten Legierungen und die spezielle Entwicklung neuer Werkstoffsysteme und günstiger Gefüge-

Mikrostrukturen für die additiven Laserfertigungsverfahren, [Abbildung 9a-c](#).

Beim LMD-Verfahren (Laser Metal Deposition) können mehrere Metallpulver mit einem Trägergas transportiert und mittels einer Düse auf einer Werkstückoberfläche fokussiert werden. Ein Laserstrahl schmilzt dort das Metallpulver auf, so dass ein Schmelzbad entsteht, das rasch wieder erstarrt. Ein Aufbau dreidimensionaler Metallstrukturen erfolgt durch die Bewegung des Schmelzbads lagenweise über die Werkstückoberfläche. Die hybride Anlage bietet durch eine Draht-Fördereinrichtung auch die Möglichkeit, Metalldrähte zu verwenden. Eine kontaminationsfreie Prozessführung wird durch eine hermetisch geschlossene Inertgas-Kammer (Glovebox) gewährleistet. In dieser Kammer befindet sich der in alle Raumrichtungen verfahrbare Bearbeitungskopf. Die Glovebox wird mit Argon durchspült, das durch eine Filtrationseinheit von Restsauerstoff befreit wird. Materialproben werden durch Vakuumschleusen in den Bearbeitungsraum eingebracht.

Die LPBF-Anlage ist zudem mit einem Pyrometer und einer High-Speed Thermokamera ausgestattet. Beide Anlagen verfügen über beheizbare

Bauplatten, die die Erstarrungsgeschwindigkeiten vermindern können. Die Bauplatte kann das Pulver durch Schwingungen verdichten. Durch die Wahl einer pulsierenden Lasereinstellung ist es zusätzlich möglich, die Mikrostruktur zu beeinflussen. In dem neuen und komplett ausgerüsteten Metallographielabor ist die Probenpräparation direkt möglich. Zusätzlich zur Charakterisierung der Pulvereigenschaften (siehe [Abbildung 8c-e](#)) stehen umfangreiche Analyseeinrichtungen, wie z.B. ein Mikro-CT und eine Trägerheißgasanlage zur Bestimmung von Sauerstoff, Stickstoff und Wasserstoff zur Verfügung. Spezielle Mikrostrukturuntersuchungen für die Grundlagenforschung können zusätzlich mit REM, EBSD, EDX und STEM im Gießerei-Institut durchgeführt werden. Auf diese Weise kann die gesamte additive Prozesskette für metallische Bauteile abgebildet und analysiert werden.

Unsere Ausbildung: modern, zukunftssicher, innovativ

Der Lehrstuhl für Gießereiweisen vertritt die unterschiedlichen Wissenschaftsgebiete der Gießereitechnik in der Lehre. Die Grundlagen der Gießereitechnik werden in verschiedenen Bachelor- und Masterstudiengängen als Pflicht- oder Wahlfach angeboten. Die speziellen Vertiefungen des Lehrstuhls erfolgen im Bachelor-/Masterprogramm „Werkstoffingenieurwesen“ bzw. „Wirtschaftsingenieurwesen Fachrichtung Prozess- und

Abb. 10: Teilnehmer der Pfingsttexkursion 2019 beim Besuch der Kimura Gießerei, Shizuoka, Japan.



Werkstofftechnik". Für englischsprachige Studierende wird zudem der Masterstudiengang „Metallurgical Engineering“ angeboten. 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 10](#). 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.



Leichtbau-Bremsscheiben von Buderus Guss

Ressourcenschonende Sicherheit durch innovative Werkstoffwahl und Konstruktion

Informieren Sie sich unter www.buderus-guss.de

Buderus
GUSS



PKW - TECHNOLOGIEN



SCHIENENFAHRZEUGE



MASCHINENBAU - TRADITION



Wir konstruieren und fertigen Gehäuse für die vollkommen emissionsfreie Brennstoffzelle (Bild: 21 kg, 800 x 300 x 600 mm) und Bauteile für die Elektromobilität wie Motorengehäuse, gekühlte, crashfeste Batteriegehäuse und Fahrwerksteile für den Leichtbau von Hybridfahrzeugen und reinen Elektroautos.

Nahverkehrszüge – Transportmittel für Mrd. von Mitmenschen auf der Erde. Wir liefern dazu hochentwickelte Sicherheitsbauteile und ultraleichte Brems scheiben aus speziellen ALU-Legierungen. Zu testen in der neuen U-Bahn Berlin U1-U4.

Wir gießen und bearbeiten u.a. Hydraulikkomponenten aus hochfestem Werkstoff Al Cu4 Ti. LIEBHERR-Bagger steuern mit zwei Joysticks und einem Bypass-Ölstrom extrem genau und feinfühlig.

www.ohmundhaener.de

Möglichkeiten und Grenzen des roboterbasierten Entgratens

Gießereien und Lohnfertiger in West- und Nordeuropa stehen seit jeher unter immensem Kostendruck: die generelle Erwartungshaltung der Kunden geht seit Jahren in Richtung Preisreduzierung, zusätzlichen Druck erzeugt der Wettbewerb aus Billiglohnländern. Großes Potential, um die eigene Produktion wettbewerbsfähiger zu machen, liegt dabei zweifellos in der Automatisierung der Produktionsprozesse. Und immer mehr Betriebe denken dabei auch an die Automatisierung des Entgratens, einer Tätigkeit, die als nicht wertschöpfend gilt, um die man aber bei den meisten Gußteilen nicht umhin kommt. Das roboterbasierte Entgraten ist dabei eine der am weitesten verbreiteten, weil sehr preiswerten Varianten des automatisierten Entgratens. Auf diese Nische hat sich das 1919 gegründete schwäbische Familienunternehmen Schmid & Wezel GmbH aus Maulbronn spezialisiert, dass unter der Marke BIAX Druckluftspindeln herstellt und vertreibt.

Autor: Filipp Pachomow, Leiter Vertrieb und Marketing bei BIAX

BIAX Schmid & Wezel GmbH
Maybachstraße 2
D-75433 Maulbronn
Tel.: +49 (0)7043 102-0
Fax: +49 (0)7043 102-78
biax-verkauf@biamx.de
www.biamx.de

Eines von vielen Beispielen für eine gelungene Prozessautomatisierung liefert die Firma IDS Casting Service GmbH aus Oggelsbeuren auf der schwäbischen Alb. IDS ist ein Lohnfertiger, der täglich mehrere tausend Aluminium-Druckgussteile der Albert Handtmann Metallgusswerke GmbH aus Biberach in vier Roboter-Entgratzellen bearbeitet. Noch vor einigen Jahren wurde manuell entgratet, bis Reinhard Maier, kaufmännischer Leiter bei IDS, die Automatisierung selbst in die Hand nahm. Seither arbeitet IDS dreimal schneller und zweimal günstiger, als von Hand. Hinzu kommt, dass es fast keinen Ausschuss mehr gibt und die Qualität des Arbeitsergebnisses konstant bleibt. Doch nicht jeder Betrieb verfügt über versierte Spezialisten und ausreichendes Know-how, um ein Automatisierungsprojekt aus einer Kraft zu stemmen. In diesem Fall bietet sich die Zusammenarbeit mit externen Systemintegratoren an. In jedem Fall ist es hilfreich, einige grundsätzliche Dinge über das roboterbasierte Entgraten zu wissen.

In der Entgratzelle

Meistens ist die Entgratzelle mit Roboter in eine automatisierte Transferstraße integriert. In der Entgratzelle greift der Roboter dann das Bauteil und führt es hin zu einer oder mehreren fest installierten Spindeln. Diese Variante ist zeitsparender und einfacher, als wenn der Roboter die Spindel zu den immer wieder neu zu fixierenden Bauteilen führen würde. Man spart sich also einen Arbeitsschritt, da das Bauteil nicht extra fixiert werden muss. Die Variante mit den am Roboter befestigten Spindeln hat jedoch bei sehr großen und schweren Bauteilen, die der Roboter nicht mehr heben kann, ihre Berechtigung.

Es werden bevorzugt druckluftbetriebene Spindeln eingesetzt, da sie im Vergleich zu Elektrospindeln deutlich preiswerter, vom Gewicht her leichter und kompakter sind. Auch lassen sich mit Druckluftspindeln viel höhere Geschwindigkeiten erzielen, als mit Elektrospindeln.

Werkzeuge und Spindeln

Grundsätzlich lassen sich, je nach Werkstück und gewünschtem Ergebnis, sehr unterschiedliche Bearbeitungswerkzeuge wie Frässtifte, Bürsten, Feilen, Senker und Schleifkörper einsetzen. Am häufigsten verbreitet ist sicherlich das Entgraten mit Frässtiften und Bürsten für feste bzw. lose Grate. Feilen kommen meist dann zum Einsatz, wenn nur ein sehr geringer Materialabtrag erlaubt ist. Senker werden zum Entgraten von Bohrungen verwendet.

Diese Werkzeuge lassen sich mit rotierenden oder oszillierenden Druckluftspindeln betreiben. Die Spindeln können starr sein oder mit einer radialen bzw. axialen Auslenkeinheit eingesetzt werden. Die Auslenkeinheit wird insbesondere dann erforderlich, wenn Bauteiltoleranzen



Abb. 1: Entgraten eines Bauteils mit einem BIAX-Druckluftfeiler. Dieser ist in den Ecken viel weniger aggressiv, als ein Frässtift.

und Ungenauigkeiten in der Positionierung des Werkstücks ausgeglichen werden müssen. Ersteres ist gerade für Gussteile typisch, egal ob aus Metall, Kunststoff oder Faserverbundwerkstoff, da diese im Gegensatz zu Graten von bearbeiteten (zerspanten) Teilen in der Regel sehr ungleichmäßig sind. Die Auslenkung wird pneumatisch oder über Federpakete erzeugt, die Auslenkkraft lässt sich über Druck bzw. Federvorspannkraft einstellen.

Möglichkeiten und Grenzen

Doch was können die Spindeln und wo stoßen sie an Grenzen? Martin Erle, Automatisierungsexperte bei BIAX, definiert das Optimum bei roboterbasiertem Entgraten wie folgt: „Eine gleichmäßige und gleichbleibende Entfernung des Grates bei sich wiederholenden Bauteilen.“ „Gleichmäßig“ bedeutet, durchgängig eine Fase von zum Beispiel 0,5 mm zu erzeugen. Und „gleichbleibend“ heißt, dass bei allen Bauteilen einer Serie die Fase gleich sein soll. „Die Genauigkeit des Ergebnisses ist dabei von Faktoren wie Werkzeugsystem, Bauteiletoleranz, Beschaffenheit des Grates, Roboter und seine Programmierung sowie Spannmittel bzw. Greifer, abhängig. Problematisch wird es, wenn sich die Bedingungen bei aufeinander folgenden Bauteilen ändern“, so Erle.

Vor der Wahl des passenden Werkzeugsystems ist die wichtigste Frage zu beantworten: Was ist verlangt? Grundsätzlich lassen sich drei verschiedene Anforderungen unterscheiden:

- Der „lose“ Grat muss entfernt werden oder
- Der Grat muss entfernt werden und es muss eine undefinierte Fase erzeugt werden oder
- Der Grat muss entfernt werden und es muss eine definierte Fase erzeugt werden (Sichtteile, Kan ten mit Funktion)

Der problematischste Fall ist sicherlich letzterer. Hierfür gibt es zwar einige Lösungsansätze, diese sind aber (noch) sehr aufwendig und heben den Produktivitätsgewinn der Automatisierung wieder auf. Denkbar wären etwa der Einsatz von Werkzeugen mit Festanschlag, das Fahren mehrerer Bearbeitungsschleifen oder eine exakte Vermessung (Scan) der Bauteillage/Bauteilmaße eines jeden Bauteils.

Eine Zusammenfassung der verschiedenen Anforderungen und Lösungsmöglichkeiten in Kombination mit verschiedenen Faktoren ist in der BIAX-Anwendungsmatrix dargestellt, die auf Anfrage bei BIAX erhältlich ist. Das „flexible System“ steht dabei für eine Spindel mit Auslenkung.

Das RSC Modular System – nur zahlen, was man braucht

Als Reaktion auf die unterschiedlichsten Anforderungen hat BIAX nach jahrelanger Entwicklungarbeit mit dem RSC Modular System ein einzigartiges Entgratsystem nach dem Baukastenprinzip auf den Markt gebracht: hier kann man sich in Abhängigkeit von der Anwendung seine individuelle Lösung zusammenstellen. Man zahlt also nur für das, was man gerade braucht und kann später kostengünstig nach- bzw. umrüsten. Es gibt diverse gerade und gewinkelte Druckluftspindeleinsätze mit Geschwindigkeiten von 10.000 bis 100.000 Umdrehungen pro Minute, sowie eine oszillierende Spindel für Feilen. Diese werden immer in ein Kupplungsteil eingesetzt. Optional stehen eine radiale und eine axiale Auslenkung zur Verfügung. Sollten sich die Anforderungen an den Entgratprozess ändern, weil zum Beispiel das Bauteil ausgelaufen ist und durch ein anderes ersetzt wurde, kann das System problemlos an ein neues Entgratprojekt adaptiert werden. Hierfür reicht es, einfach nur einen neuen Spindeleinsatz zu kaufen und nicht das komplette System, wie bei allen vergleichbaren Produkten auf dem

Markt. Auch die Lagerkosten verringern sich, da man nur die Spindeleinsätze für den Notfall vorhalten muss.

Da BIAX über ein firmeneigenes Testzentrum mit Roboter verfügt, bieten die Maulbronner einen kostenlosen Service an, der auf rege Nachfrage stößt: Interessenten können Ihre Bauteile einsenden und erhalten von BIAX eine optimalen Lösungsvorschlag.



Abb. 2: An einem Roboter können problemlos mehrere Druckluftspindeln befestigt werden.



Abb. 3: Entgraten mit dem RSC Modular System.



Abb. 4: Hier führt der Roboter das Bauteil, die Druckluftspindel ist fest installiert. Das spart Zeit, da das Bauteil nicht extra positioniert werden muss.

STUDIENHANDBÜCHER**Die Studienhandbücher 2021**

Die Studienhandbücher erscheinen jeweils 1x jährlich, derzeit mit den Ausgaben Bauingenieurwesen, Elektrotechnik, Informatik und Maschinenbau.



Anfragen zur kostenfreien Übersendung von Belegexemplaren, zwecks redaktioneller Mitarbeit oder zur Schaltung Ihrer Anzeigen richten Sie bitte an

Alpha Informationsgesellschaft mbH

Finkenstraße 10 • D-68623 Lampertheim

magazine@alphapublic.de • www.alphapublic.de

REAL ALLOY

HEAVY METAL WAR GESTERN!

Gestatten, REAL ALLOY! Unsere Leidenschaft: Light Metal. In weltweit 23 Produktionsstätten recyceln wir Aluminium und Magnesium auf umweltschonende Weise zu wiederverwendbarem Metall. Jeder einzelne unserer Mitarbeiter trägt durch die kontinuierliche Optimierung von Produkten und Prozessen dazu bei, dass jährlich hunderttausende Tonnen CO₂ eingespart werden können.

Wenn Sie ein Teamplayer sind und Lust auf anspruchsvolle Aufgaben haben, dann lassen Sie uns reden! Wir respektieren, entwickeln und befähigen unsere Mitarbeiter. Die Qualität unserer Arbeit, unsere Leidenschaft für Exzellenz und unser Fokus auf Sicherheit und Nachhaltigkeit sind zentrale Werte, die wir Tag für Tag leben. Kann es eine spannendere Aufgabe geben?



BESUCHEN SIE UNSERE WEBSITE UND NEHMEN SIE KONTAKT ZU UNS AUF!

WWW.REALALLOY.COM

Bühler – Partner für die Druckgussindustrie

Über Bühler

Bühler ist Technologiepartner für alle Bedürfnisse im Bereich Druckguss und unterstützt seine Kunden in allen Investitionsphasen. Das Schweizer Unternehmen liefert optimierte Druckguss-Zellenlösungen, vollständig integrierte Prozesssteuerungen, Know-how im Bereich Anlagenplanung sowie weltweiten Kundendienst. Mit einem starken globalen Dienstleistungsnetz, modernen Anwendungszentren und eigener Produktion, Maschinenrevision und Technologiestandorten in Europa, Asien und Nordamerika unterstützt Bühler seine Kunden.

Gerüstet für die Zukunft

Bühler bietet Druckgiessanlagen von 3500 bis 61000 kN Schliesskraft. Die Fusion- und Carat-Baureihen sind für die Herstellung hochwertiger Aluminium und Magnesium Teile ausgelegt. Mit dem geschlossenen Regelkreis und der Fähigkeit im Industrie 4.0 Umfeld zu bestehen, sind die Maschinen eine flexible Lösung mit aussergewöhnlichem OEE. Lösungen mit hoher Leistung und bereit für das digitale Zeitalter, sind die Grundlage für Bühlers Vision der Digitalen Zelle.

Um einen Quantensprung im Druckguss zu schaffen und die Industrie

langfristig effizienter und profitabler zu gestalten, steht das Druckgussystem als Ganzes im Fokus. Hieran arbeitet Bühler mit der Vision der Digitalen Zelle – diese umfasst 0 % Ausschuss, 40 % weniger Zykluszeit und 24/7 Verfügbarkeit und ist der Treiber für zukünftige Entwicklungen bei Bühler.

Kontakt

Bühler AG

die-casting@buhlergroup.com
www.buhlergroup.com/druckguss





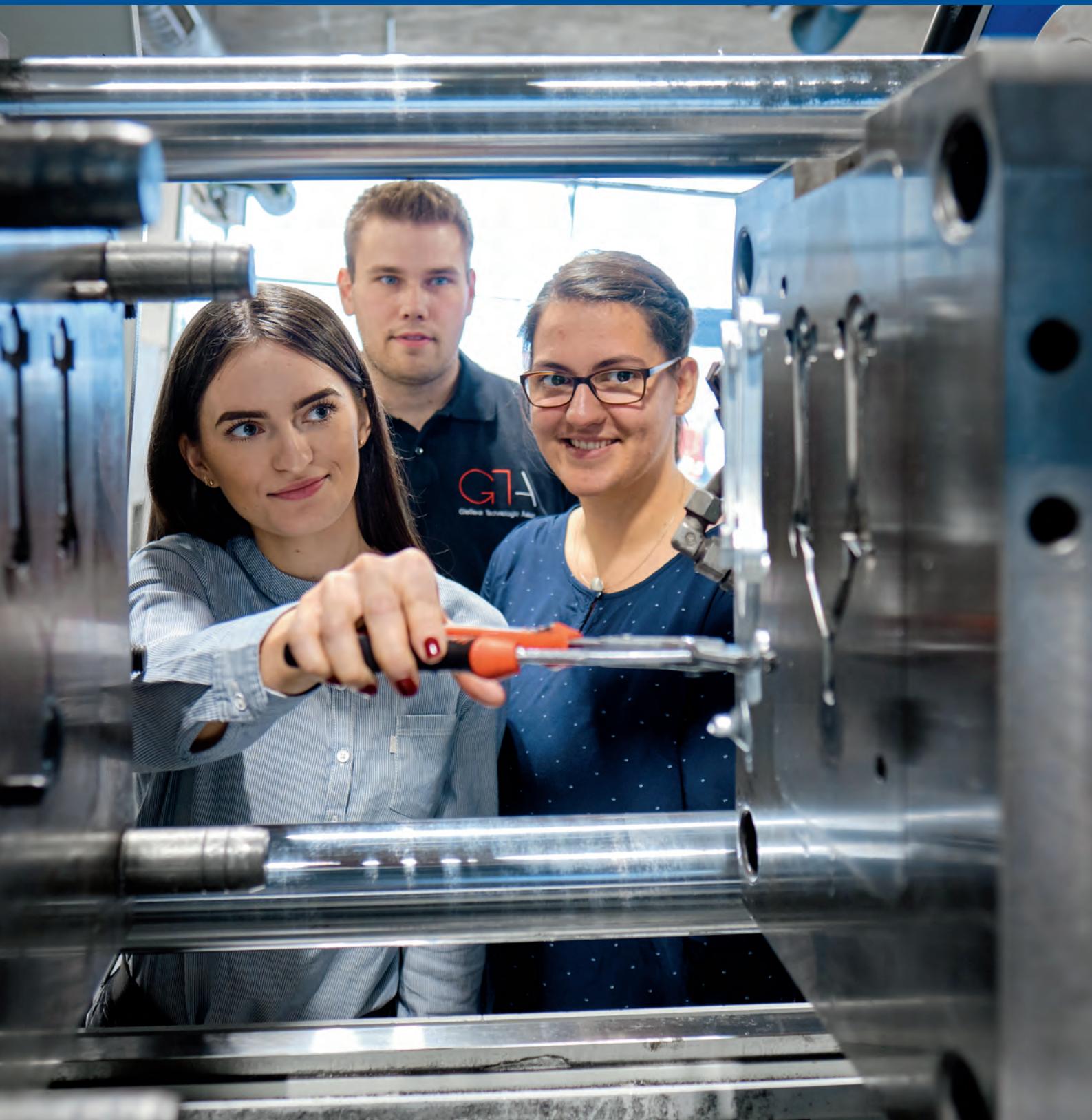
Prof. Dr.-Ing. Lothar Kallien

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

Hochschule Aalen: Innovationen in Druckguss



Die Forschungs- und Transferaktivitäten an der Hochschule Aalen entwickeln sich weiterhin dynamisch. In 2020 standen mehr als 15 Mio. Euro Drittmittel für Forschungszwecke zur Verfügung.

Ein Höhepunkt im Jahr 2020 war die Fertigstellung und der Bezug von 2 neuen Forschungsgebäuden, dem Zentrum innovativer Materialien und Technologien für effiziente elektrische Energiewandler-Maschinen (ZiMATE) sowie dem Zentrum Technik für Nachhaltigkeit (ZTN). Mit einem Invest von mehr als 26 Mio. Euro stehen hier zukünftig rund 3000 qm modern ausgestattete Forschungsflächen zur Verfügung.

Das im BMBF-Wettbewerb FH-Impuls eingeworbene Projekt „Smarte Materialien und intelligente Produktions-technologien für energieeffiziente Produkte der Zukunft“ (SmartPro) wurde kürzlich erfolgreich evaluiert und wird ab 2021 für 4 weitere Jahre mit rund 5 Mio. Euro Bundesmitteln und knapp 1 Mio. Euro aus der Wirtschaft finanziell unterstützt. Ziele von SmartPro sind der schonende Umgang mit limitierten Ressourcen wie Materialien und Rohstoffen sowie die nachhaltige und klimaverträgliche Nutzung von Energie. Auch in

der zweiten Förderperiode werden hier neuartige Magnet-, Batterie- und Leichtbaumaterialien und -technologien mit einem Fokus auf Anwendungen im Bereich E-Mobilität adressiert. Zusätzlich werden zukünftig als Querschnittstechnologien die Additive Fertigung und Methoden des Maschinellen Lernens stärker in die Teilprojekte integriert. In diesem Rahmen ist das Gießereilabor federführend am Teilprojekt Smart-LIGHT beteiligt.

Herstellung einteiliger Elektromotorgehäuse mit integriertem Kühlkanal durch Gasinjektionstechnologie im Druckguss

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.

Während der Erstarrung des Gussteils im Druckgießwerkzeug wird Stickstoff prozesssicher über einen Gasinjektor in das Gussteil eingeleitet. Dabei wird die Restschmelze in eine sich öffnende Nebenkavität verdrängt. Dadurch wird ein definierter Hohlkanal im Gussteil erzeugt (Abb. 1). Nach dem Ausformen des Gussteils lässt sich das

in die Nebenkavität verdrängte Gießmetall wirtschaftlich Entfernen.

Durch die Anwendung der Gasinjektionstechnologie könnten im Druckguss neue Freiheitsgrade bezüglich des Produktdesigns erreicht werden: komplexe Geometrien bei Hohlbauteilen wären ohne das Einlegen von Rohren oder verlorenen Kernen realisierbar. Im Gießereilabor der Hochschule Aalen wurde bereits die Herstellung unterschiedlicher Prinzipgeometrien und Demonstratorbauteile durch die Anwendung der Gasinjektionstechnologie im Druckguss systematisch untersucht und nachgewiesen. Im Automobilsektor sind die Erreichung von Umweltzielen

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

GTA
Gießerei Technologie Aalen

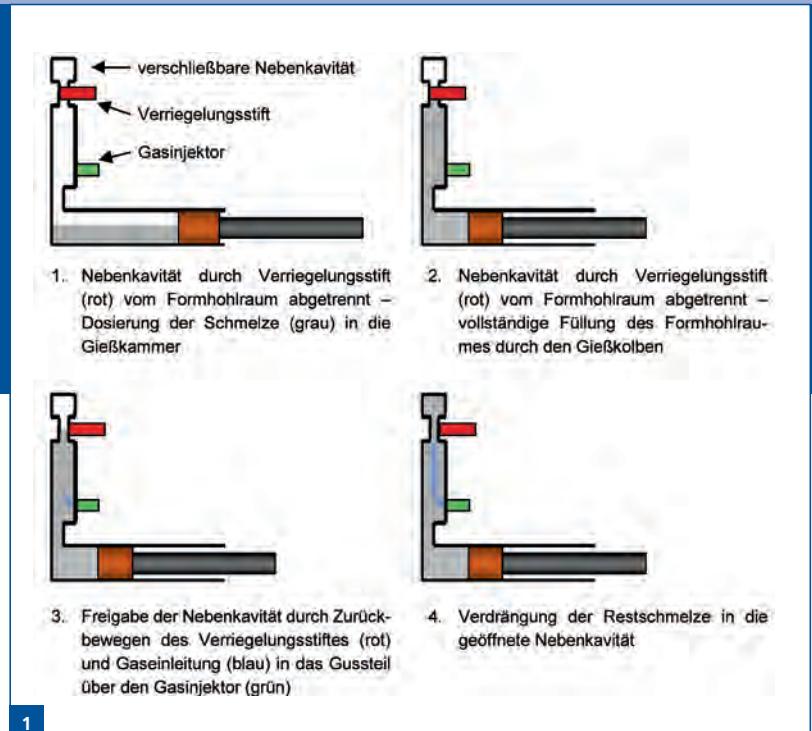
Abb. 1: Schematische Darstellung zum Ablauf des Gasinjektionsprozesses im Druckguss mit verschließbarer Nebenkavität (Böhnlein 2014, S. 37)

sowie die Einhaltung von Emissionsgrenzwerten maßgebliche Treiber des Leichtbaudenkens sowie der zunehmenden Elektrifizierung des Automobils. Die Realisierung des Kühlkanals in konventionellen Elektromotorgehäusen wird meist durch eine zweiteilige Konstruktion des Gehäuses erreicht. Dadurch sind Zusatzprozesse wie eine aufwändige mechanische Bearbeitung, Verschweißen und Abdichten erforderlich.

Die Gasinjektionstechnologie im Druckguss ermöglicht hingegen die Herstellung des Kühlkanals unmittelbar im Gießprozess ohne aufwändige Zusatzprozesse. In einem gemeinsamen Industrieprojekt mit der Nemak Europe GmbH wurde die Integration des Kühlkanals durch die GIT in ein einteiliges Elektromotorgehäuse im Aluminiumdruckguss erfolgreich nachgewiesen (Abb. 2).

Durch die Gasinjektionstechnologie lassen sich glatte Kanaloberflächen und gleichmäßige Wandstärken über die gesamte Kanallänge von 235 cm erzeugen (Abb. 3).

Vorteile des Verfahrens ergeben sich einerseits durch die neuen Möglichkeiten des Bauteildesigns durch Funktionsintegration und Teilesubstitution, die Verringerung der Bauteilkosten durch Materialeinsparung sowie durch das Entfallen aufwändiger vor- und nachgelagerter Prozesse. Im März 2020 erhielt das Gießerei-



1

labor der Hochschule Aalen, unter der Leitung von Prof. Dr. Lothar Kallien, gemeinsam mit drei weiteren Projekt-partnern die Zusage zur Förderung des Fast Track to Innovation (FTI) Projektvorhabens MAGIT (H2020-EIC-FTI-2018-2020 Grant Agreement Number: 950866) mit förderfähigen Kosten in Höhe von circa 4,1 Mio. Euro durch die Europäische Union. Das Projektkonsortium vereint neben der langjährigen Forschungserfahrung der Hochschule Aalen sowie der TiK – Technologie in Kunststoff GmbH im Bereich der Gasinjektionstechnologie im Druckguss die Kompetenzen aus dem innovativen Seriendruckguss der Aluwag AG (Schweiz) und aus dem Werkzeugbau für Druckgießwerkzeuge der Surtechno nv (Belgien). Innerhalb der 36-monatigen Projektlaufzeit liegt der Fokus auf der Markteinführung von MAGIT als großserientaugliches Verfahren zur Herstellung hohl dargestellter Leichtbaukomponenten sowie medienführender Druckgussbauteile.

Dazu wird die im Rahmen eines öffentlich geförderten Projektes entwickelte Gasinjektionsanlagentechnik

(Förderkennzeichen: AiF ZF4113803 K06 (ZIM)) optimiert und als giebereitaugliches, flexibles und bedienerfreundliches MAGIT-Powermodul für jede Kalt- und Warmkammerdruckgießmaschine für den Druckgießer angeboten werden. Weiterführende Informationen erhalten Sie auf der MAGIT-Webseite www.magit-hpdc.com.

Einfluss von Alterungs-, Herstellungs- und Nachbehandlungsprozessen 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. Das Forschungsvorhaben „Einfluss von Alterungs-, Herstellungs- und Nachbehandlungsprozessen auf die galvanische Beschichtbarkeit von Zinkdruckguss“ wurde von den Forschungsstellen Hochschule

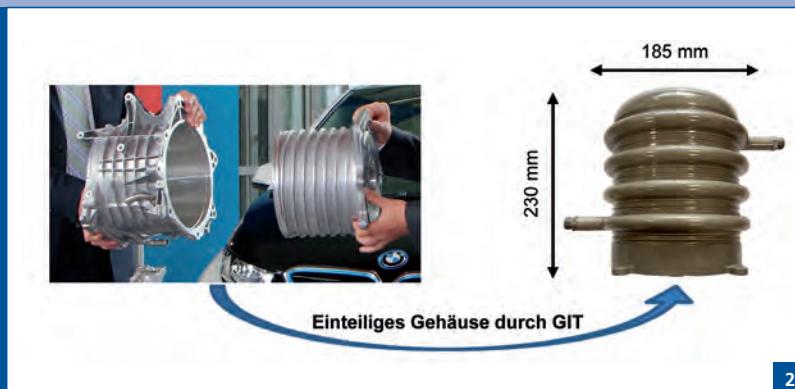


Abb. 2: Zweiteiliges Elektromotorgehäuse (li, (Hochschule Aalen 2014)), Einteiliges Elektromotorgehäuse mit integriertem Kühlkanal im Druckgießverfahren durch Gasinjektionstechnologie (GIT) hergestellt (re, Bildnachweis: Hochschule Aalen mit freundlicher Freigabe der Nemak Europe GmbH)

Aalen GTA und dem Forschungslaboratorium für Edelmetalle und Metallchemie in Schwäbisch Gmünd gemeinsam durchgeführt. Untersucht wurden die Einflussfaktoren auf die galvanische Beschichtbarkeit von Zinkdruckgussproben. Dabei konnte gezeigt werden, dass insbesondere das Eindringen von Wasserstoff während der Vorbehandlungs- und Beschichtungsprozesse Ursache für die Blasenbildung von galvanisiertem Zinkdruckguss sein kann. Das Angebot an Wasserstoff während der Herstellung und Beschichtung verursacht die Abhebungen an der Gusshaut und die Aufblähungen im Inneren des Bauteils (Abb. 4). Dabei deuten sich Unterschiede in Abhängigkeit von der Gusshaut-Struktur und deren Zusammensetzung an. Zur näheren Untersuchung wurden Querschliffe an betroffenen Stellen angefertigt und am REM betrachtet. Hierbei zeigt sich, dass die Beschichtung, bestehend aus einer roten Kupferschicht und einer grauen Nickelschicht, fest mit der Gusshaut verbunden ist. Die Probe wurde demnach von innen heraus aufgeblättert, sodass die Gusshaut mit Beschichtung vom Grundmaterial getrennt wurde. Diese Beobachtung deutet darauf hin, dass Wasserstoff, der bei den Vorbehandlungs- und Beschichtungsprozessen entsteht, elementar in das Bauteil eindringt und unterhalb der Gusshaut zu H₂-Molekülen rekombiniert. Dabei kommt es zu einer sprunghaften Volumenzunahme, der Druck im Inneren

steigt. Durch erhöhte Temperaturen, wie sie beim Thermoschoktest auftreten, kommt es zur Verringerung der mechanischen Eigenschaften des Materials, sodass sich Blasen bilden können.

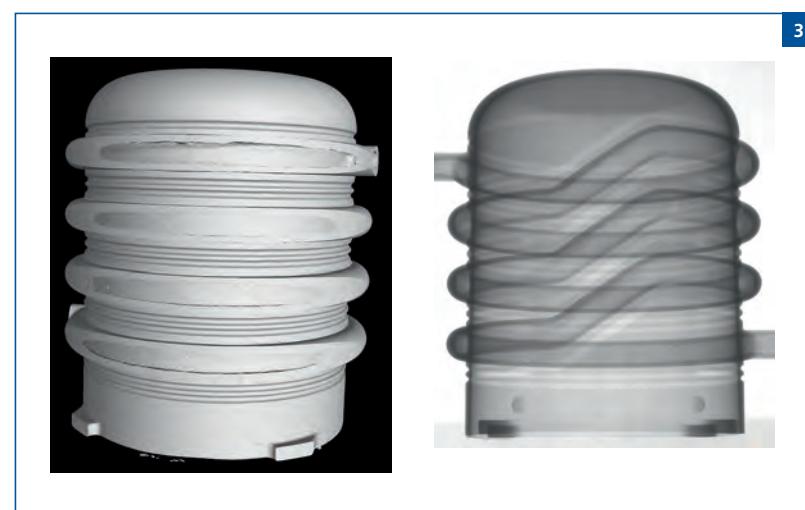
Die systematische Untersuchung der Rolle des Wasserstoffs, die bisher nicht im Fokus der F&E-Aktivitäten stand, soll daher in einem beantragten Folgeprojekt untersucht werden. IGF-Vorhaben Nr. 19483 N.

Hohle Aluminium-Strukturauteile im Druckgießprozess durch die Verwendung von Salzkernen

Das Forschungsvorhaben „Hohle Aluminium-Strukturauteile im Druckgießprozess“ im Rahmen des Forschungscusters „AMAP“ (Advanced Metals and Processes) wurde von mehreren Projektpartnern durch-

geführt. Im Projektkonsortium waren die NEMAK Europe GmbH, die MAGMA Gießereitechnologie GmbH, das Gießereiinstitut sowie das Institut für Schweiß- und Fügetechnik der RWTH Aachen, die Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen und die Hochschule Aalen vertreten. Die Gesamtmotivation dieses über drei Jahre angelegten Projekts war die Substitution eines geschweißten Blechbauteils in Schalenbauweise durch ein druckgegossenes hohles Aluminium-Strukturateil, welches

Abb. 3: Computertomographische Schnittansicht der durch Gasinjektionstechnologie (GIT) hergestellten Innenoberfläche des Kühlkanals (li), Röntgenansicht des einteiligen Elektromotorgehäuses mit einer Kühlkanallänge von 235 cm (re), (Bildnachweise: Hochschule Aalen mit freundlicher Freigabe der Nemak Europe GmbH)



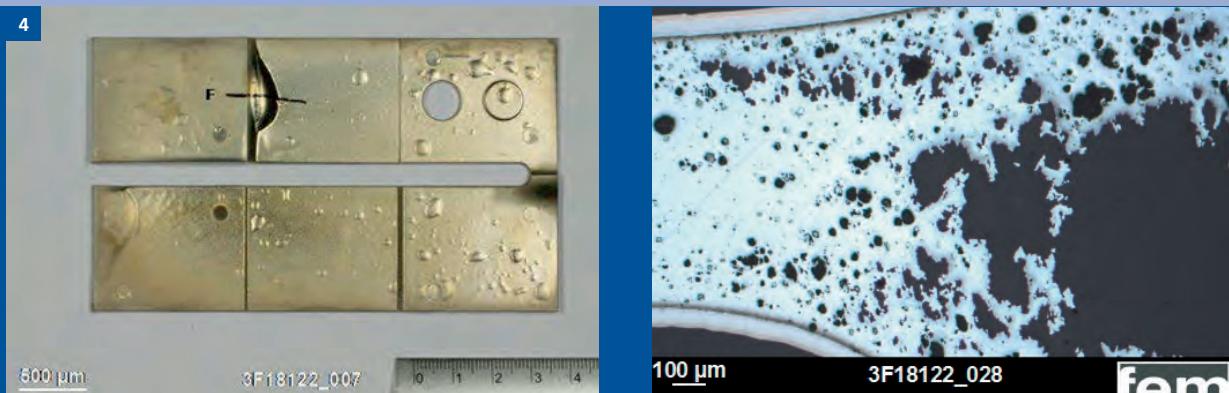


Abb. 4: Übersichtsaufnahme und Querschliff einer beschichteten Probe (Trennmittel 1, gealtert, Kunststoff-gestrahlt, cyanidischer Kupferelektrolyt), Schliffebene mit "F" gekennzeichnet

eine erhöhte Steifigkeit und Funktionsintegration bei gleichzeitig geringerem Gesamtgewicht im Vergleich zur konventionellen Stahllösung aufweist. Hohle Aluminiumstrukturbauenteile mit komplexen inneren Strukturen können im Druckgießverfahren durch konventionelle Schiebertechnologie nicht abgebildet werden. Daher war es das Ziel dieses Forschungsvorhabens ein Kernmaterial aus geschmolzenen Salzen zu entwickeln, aus dem Kerne im Druckgießprozess

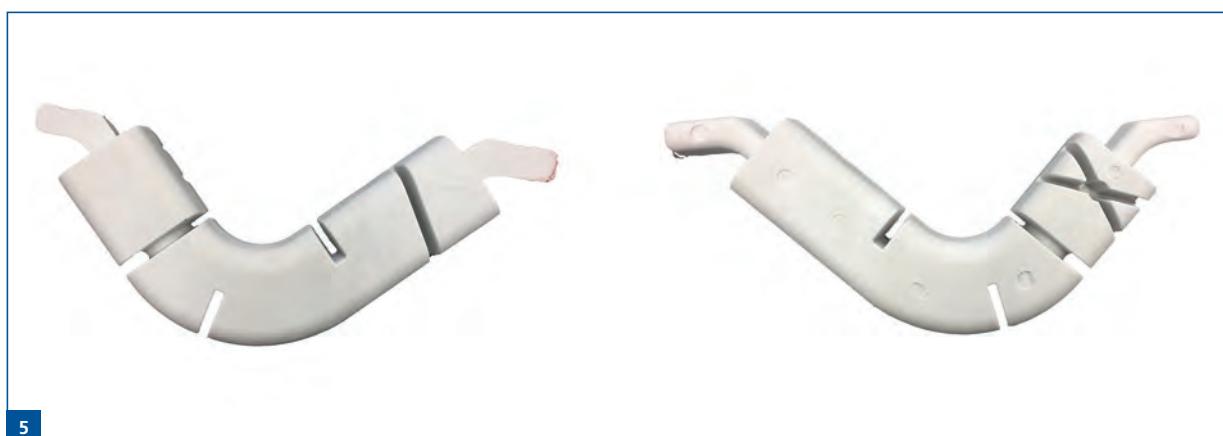
hergestellt werden können. Aufgrund der niedrigen Wärmeleitfähigkeit der Salze wird das Aluminiumgussgefüge bei der Verwendung von Salzkernen im Druckguss beeinflusst. Durch Untersuchungen mit einem modularen Druckgießwerkzeug war es möglich, konventionell hergestellte Referenzgussteile, mit Gussteilen deren Erstarrung durch eingelegte Salzkern beeinflusst wurde, zu vergleichen. Ein gröberes Gussgefüge durch die reduzierte Abkühlgeschwindigkeit und daraus resultierende geringere mechanische Eigenschaften konnten durch die Verwendung von Salzkernen im Druckgießverfahren nachgewiesen werden, was bei der topologischen Bauteilauslegung für hohle Aluminiumstrukturbauenteile im Druckguss zukünftig berücksichtigt werden muss.

Eine weitere Kernaufgabe in dem Forschungsvorhaben bestand darin,

Gestaltungs- und Konstruktionsrichtlinien für die Verwendung von Salzkernen im Druckgießverfahren zu entwickeln. Komplexe Rippenstrukturen wurden an einem Demonstratorsalzkern untersucht. Dieser ist in **Abb. 5** abgebildet. Dabei wurden die Grenzen des Verfahrens durch unterschiedliche Rippengeometrien analysiert und die Schwindung und der Verzug der Salzkerne ermittelt, um Konstruktionsrichtlinien für Salzkerne erarbeiten zu können.

Zusätzlich wurden unterschiedliche Salzkernformen, die im Druckgießverfahren hergestellt wurden untersucht, um auch das Schwindungsverhalten der Salzkerne in Abhängigkeit der Geometrie zu untersuchen. Während der Erstarrung von Salzkernen treten Risse und Poren als Defekte auf. Bei oberflächennahen Defekten besteht die Gefahr, dass während des Umgießprozesses der Salzkern mit

Abb. 5: Demonstratorsalzkern mit komplexer Rippenstruktur





6

Aluminiumschmelze infiltriert wird. Prozessparameter bei der Herstellung der Salzkerne beeinflussen das Erstarrungsverhalten der Salzschmelze signifikant, sodass die Ausbildung von Schwindungslunker und Porosität in Abhängigkeit von den Prozessparametern anhand statistischer Methoden analysiert werden konnte. Mit Hilfe der 3D-Computertomographie konnten Defekte im Inneren der Salzkerne sichtbar gemacht und quantifiziert werden.

Ein Demonstratorsalzkern für eine untere A-Säule, dargestellt in Abb. 6, wurde im Druckguss umgossen, um auch die eingestellten Prozessparameter des Druckgießprozesses für den Umgießprozess als Versagenskriterium der Salzkerne zu untersuchen.

So konnte ermittelt werden, welchen Einfluss innere Defekte des Salzkerns sowie die Kräfte der ein-

strömenden metallischen Schmelze auf den Umgießprozess und die Versagenswahrscheinlichkeit der Salzkerne nehmen. Zum Abschluss des Forschungsvorhabens konnten durch diese Untersuchungen hohle Aluminiumstrukturauteile durch Salzkerne im Druckgießverfahren hergestellt werden.

<http://www.amap.de/projekte/projekt-10/>

MagWeb – Magnesiumdruckguss mit Gewebeverstärkung

Hinsichtlich des stofflichen und konstruktiven Leichtbaus bilden Bauteile aus Kompositwerkstoffen eine Produktgruppe mit enormem Leichtbaupotential. Zum einen wird durch gering belastete, dafür ausgesparte Bauteilbereiche die Masse erheblich reduziert und zum anderen können durch eine gezielte Auswahl von Matrix- und Verstärkungswerkstoff stärker beanspruchte Bauteilbereiche

Abb. 6: Hohles Aluminiumstrukturauteil links, Röntgenbild mitte, Salzkern rechts

in den finalen Bauteileigenschaften entscheidend beeinflusst werden. Die Vorteile von Druckgussteilen liegen in der Darstellbarkeit geometrisch hochkomplexer Strukturen in Kombination mit vergleichsweise hohen Festigkeiten. Die eingeschränkten mechanischen Eigenschaften von Magnesium-Druckgusslegierungen in Bezug auf ihre Anwendung für noch höhere Belastungen sollen durch eine eingegossene Gewebeverstärkung kompensiert werden.

Im Rahmen des von der AiF geförderten Forschungsvorhabens „Magnesiumdruckguss mit Gewebeverstärkung; Prozessentwicklung zur Herstellung von Magnesiumdruckgussbauteilen mit Gewebeverstärkung (MagWeb)“ sollen Gewebe entwickelt werden, die zum einen dem Gießvorgang mit Magnesiumschmelze Stand halten und zum anderen den entstehenden Kompositwerkstoff verstärken. Darüber hinaus werden die geeigneten Prozessgrößen zur Herstellung von Leichtmetallbauteilen entwickelt.



7

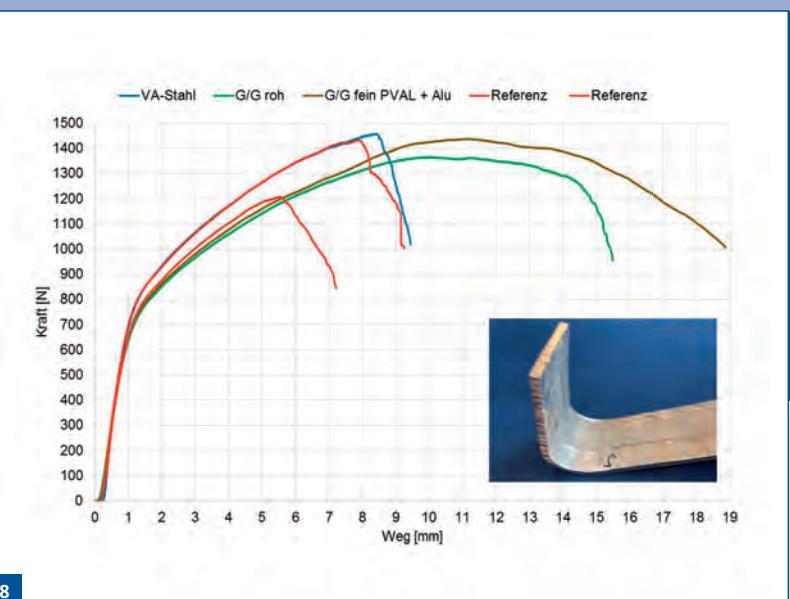
Abb. 7: Druckgießform mit eingelegtem Gewebe; Druckgussteile Vorder-, und Rückseite

Abb. 8: Ergebnis 3 Punktbiegeversuch

Zu Beginn der Arbeiten wurden Glas und Basalt als wesentliches Faser- und Garnmaterial festgelegt. Daraus wurden 7 Variationen von Gewebeart und Gewebematrix entwickelt. Aufgrund der hohen thermischen Beanspruchung der Matrix beim Umgießen mit Schmelze wurden PVAL, Polypropylen und ein duroplastisches Bindersystem ausgewählt. Für sämtliche Gießversuche wurde die Magnesiumlegierung AM50 verarbeitet.

Für umfangreiche Druckgießversuche wurde ein Demonstratorwerkzeug

Abb. 9: Hybrides Leichtbau-Batteriegehäuse zur Darstellung der untersuchten Fügeverfahren, adhäsives Fügen, thermisches Direktfügen und Druckumgießen



8

konstruiert und gebaut, Abb. 7. Zusätzlich zu den bewährten Glas- oder Basaltgewebetypen wurden auch Edelstahlnetze umgossen.

Zur Überprüfung der mechanischen Eigenschaften wurden an ausgewählten Verbundgussproben Zug- und 3 Punktbiegeversuche durchgeführt.

Sämtliche Proben mit Gewebeverstärkung zeigen im Vergleich zu den Referenzproben eine wesentlich höhere Energieaufnahme, Abb. 8. Während die Probe mit eingegossenem Stahlgewebe nur einen geringen

Anstieg der Kraft aufzeigt, nehmen die Proben mit eingegossenem Glasgewebe eine außerordentlich hohe Verformbarkeit auf. Das Gewebe verzögert hier eine von der Oberfläche ausgehende Risseinleitung. Dieser Sachverhalt wird noch mit einer größeren Anzahl an Proben untersucht, denn dabei spielt auch die Lage des Gewebes in der Probe zur Belastungsrichtung eine Rolle. ZIM Kooperationsprojekt (ZF) FKZ: ZF4113814DE8.

Innovative Fügeverfahren und beanspruchungsgerechte Designkonzepte für hybride Leichtbau CFK-Multimaterialverbunde: Entwicklung eines hybriden Leichtbau-Batteriegehäuses

Im Rahmen des SmartPro Impulsprojektes InDiMat hat das Gießereilabor der Hochschule Aalen gezeigt, dass es möglich ist, kohlefaser verstärkten Kunststoff (CFK) mit Aluminium (AlSi10Mg) und Magnesium (AM50) mittels unterschiedlicher Fügeverfahren miteinander zu verbinden. Konventionelle Fügeverfahren wie zum Beispiel Schraub- oder Nietverbindungen können dadurch durch das Druckumgießen ersetzt werden und bieten demzufolge völlig neue Möglichkeiten bei der Konstruktion hybrider Druckgussbauteile. Die hierdurch entstehenden

9



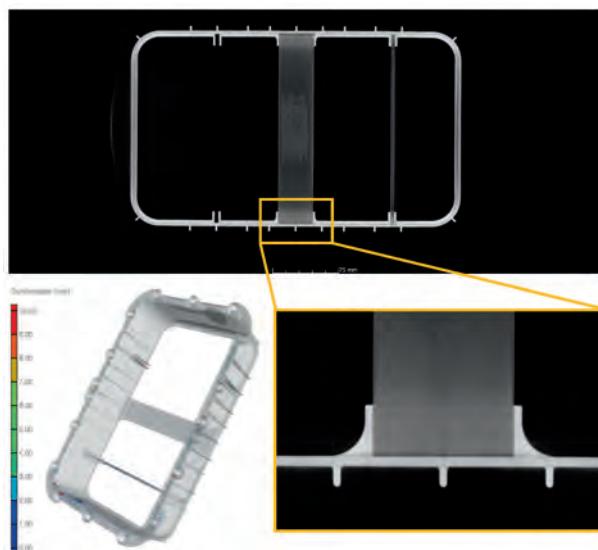


Abb. 10: 3D-Röntgen-Computertomographieaufnahmen der Fügestellen mit marginaler Porenbildung

10

Festigkeitssteigerungen sowie die Gewichtsreduzierung der gefügten Gesamtkomponente werden bei zukünftigen PKW-Karosserieentwicklungen, insbesondere bei emissionsfreien Antriebskonzepten, zu funktionsintegriertem Leichtbau führen. Zudem können die Fügeverbindungen in den druckgussüblichen kurzen Prozesszyklen schnell, reproduzierbar und mit Verbindungsfestigkeiten von über 25 kN hergestellt werden.

Die im Zuge des vom BMBF geförderten Vorhabens erforschten Fügetechnologien, Adhäsives Fügen, Thermisches Direktfügen und Druckumgießen, wurden nun anhand eines anwendungsnahen hybriden Leichtbau-Batteriegehäuses demonstriert, Abb. 9. Während des Druckgießprozesses werden hierbei zwei duroplastische CFK-Lamine in die Druckgießform eingelegt, fixiert und mit einer Wandstärke von 2,5 mm umgossen. Zusätzlich werden, neben der Rippenstruktur zur Erhöhung der Bauteilstifigkeit, Aussparungen für das spätere Anbringen adhäsiv gefügter und thermisch direktgefügter CFK-Lamine hergestellt.

Bei der Konstruktion des Druckgießwerkzeugs wurde auf ein komplexes Form-Temperierkonzept wie bei-

spielsweise eine konturnahe Wasserkühlung der Auflageflächen der CFK-Lamine geachtet. Dies führt zu deutlich geringeren Erstarrungszeiten an den Fügestellen zwischen CFK und Aluminium- beziehungsweise Magnesiumschmelze. Aufgrund dessen kann die thermische Beeinflussung der CFK-Lamine während dem Umgießen mit Aluminium beziehungsweise Magnesium in diesem Bereich reduziert werden. Die Untersuchung des thermischen Schädigungsverhaltens im hybriden Batteriegehäuse

erfolgt mittels Schliffbildern, 3D-Röntgen-Computertomographie und Ultraschallmikroskopie. Speziell im Übergangsbereich zwischen CFK-Laminat und Aluminium können mit Hilfe dieser Prüfverfahren nur minimalste Porenbildungen nachgewiesen werden, Abb. 10.

Der entwickelte Demonstrator kann als CFK-Aluminium- und CFK-Magnesiumhybridbauteil hergestellt werden. Zudem wurden bereits Vorversuche im Rheocasting-Druckgießverfahren durchgeführt. Die bei diesem Verfahren geringeren Gießtemperaturen des Aluminiums reduzieren zusätzlich den Wärmeeintrag in die CFK-Lamine.



Kernverzug frühzeitig vermeiden!



Interviewpartner:
Jesper Thorborg, MAGMA GmbH

Ein besseres Verständnis für den Heißverzug von Sandkernen: Im Herbst 2012 hatten sich MAGMA, die Firma Nemak und das Gießerei-Institut der RWTH Aachen zusammengetan, um im Open-Innovation-Cluster AMAP „Advanced Metals and Processes“ ein F+E-Vorhaben zu diesem Thema durchzuführen. Im AMAP-Cluster verfolgen Hochschule und Industrie, Forschung und Entwicklung gemeinsam Projekte zur Metallerzeugung, Verarbeitung und Herstellung von Produkten aus metallischen Werkstoffen. Im Interview spricht Dr. Jesper Thorborg, Projektleiter der MAGMA, über das gemeinsame Projekt.

Was war das Ziel des Projekts?

Im Fokus standen die Quantifizierung, Korrelation und Modellierung des hoch dynamischen Verzugs von Cold-Box-, Warm-Box- und anorganischen Kernen während des Gießprozesses. Hierfür wurde ein Messaufbau entwickelt, um den Heißverzug der Sandkerne in-situ zu messen und die wichtigsten Parameter, die die Verformung beim Abguss beeinflussen, zu bewerten. Darüber hinaus wurden die mechanischen und phy-

sikalischen Eigenschaften der Kernwerkstoffe bei erhöhter Temperatur in großem Umfang bestimmt. Die Ergebnisse konnten zur Beschreibung der Heißverformung von Sandkernen benutzt werden. Seitens MAGMA wurden Modelle in unsere Software MAGMASOFT® implementiert, um die Kräfte auf den Kern beim Gießen sowie sein zeit- und temperaturabhängiges Werkstoffverhalten zu modellieren. Anschließend wurden die Berechnungsergebnisse mit gemessenen Daten für einen Wassermantelkern eines Motors validiert. Es war das Interesse aller Projektpartner, am Ende des Projekts ein virtuelles Werkzeug zur Verfügung zu haben, um bereits bei der Auslegung der Kernbüchsen möglichen Verzug berücksichtigen zu können.

Welche Herausforderungen kamen auf Sie zu?

Die Maßhaltigkeit von Gussteilen wird wesentlich durch den Verzug der Sandkerne während des Gießens beeinflusst. Dieser bisher nur wenig beachtete Teil des Gießprozesses gewinnt vor allem durch die zunehmende Anwendung anorganischer Bindersysteme und die damit verbundene Prozessumstellung an Bedeutung. Die größte Herausforderung im Projekt war es, die Mechanismen sowie die wesentlichen Größen für den Verzug von Sandkernen und die Maßhaltigkeit des Bauteils zu verstehen, zu messen und mittels Simulation vorhersagbar zu machen. Denn die Toleranzanforderungen mit immer dünnwandigeren Gussteilen und entsprechend komplexen und schlanken Kernen steigen stetig. Dadurch wird der Kern empfindlicher gegenüber kritischen Belastungen und die Gefahr von unerwünschter Verformung oder Kernbruch steigt. Die Konsequenz: Probleme mit der Maßhaltigkeit des Gussteils oder sogar Ausschuss.

Sind Sie zufrieden mit dem Ergebnis?

Die Zusammenarbeit mit dem Gießerei-Institut und unserem Industriepartner Nemak war hervorragend. Nach Abschluss des Projekts haben wir mit beiden Partnern weiter an der Implementierung der neuen Möglichkeiten gearbeitet. Die Funktionalität ist heute für Bindersysteme und zahlreiche industrielle Anwendungen überprüft. Dadurch konnten wir die Vorhersage des Heißverzugs von Kernen in der neuen Version von MAGMASOFT® als integrierten Bestandteil des Spannungsmoduls verfügbar machen. Mit den neuen Möglichkeiten können Bauteilentwickler, Werkzeugbauer und die Kernmacherei frühzeitig Probleme mit einem Kern voraussehen und vermeiden. Ich möchte mich an dieser Stelle bei unseren Projektpartnern Nemak und dem Gießerei-Institut bedanken. Das Engagement beider Partner war unverzichtbar für den Erfolg dieses F+E-Projekts.

Weitere Informationen zum Projekt finden Sie auf der MAGMA Website unter:



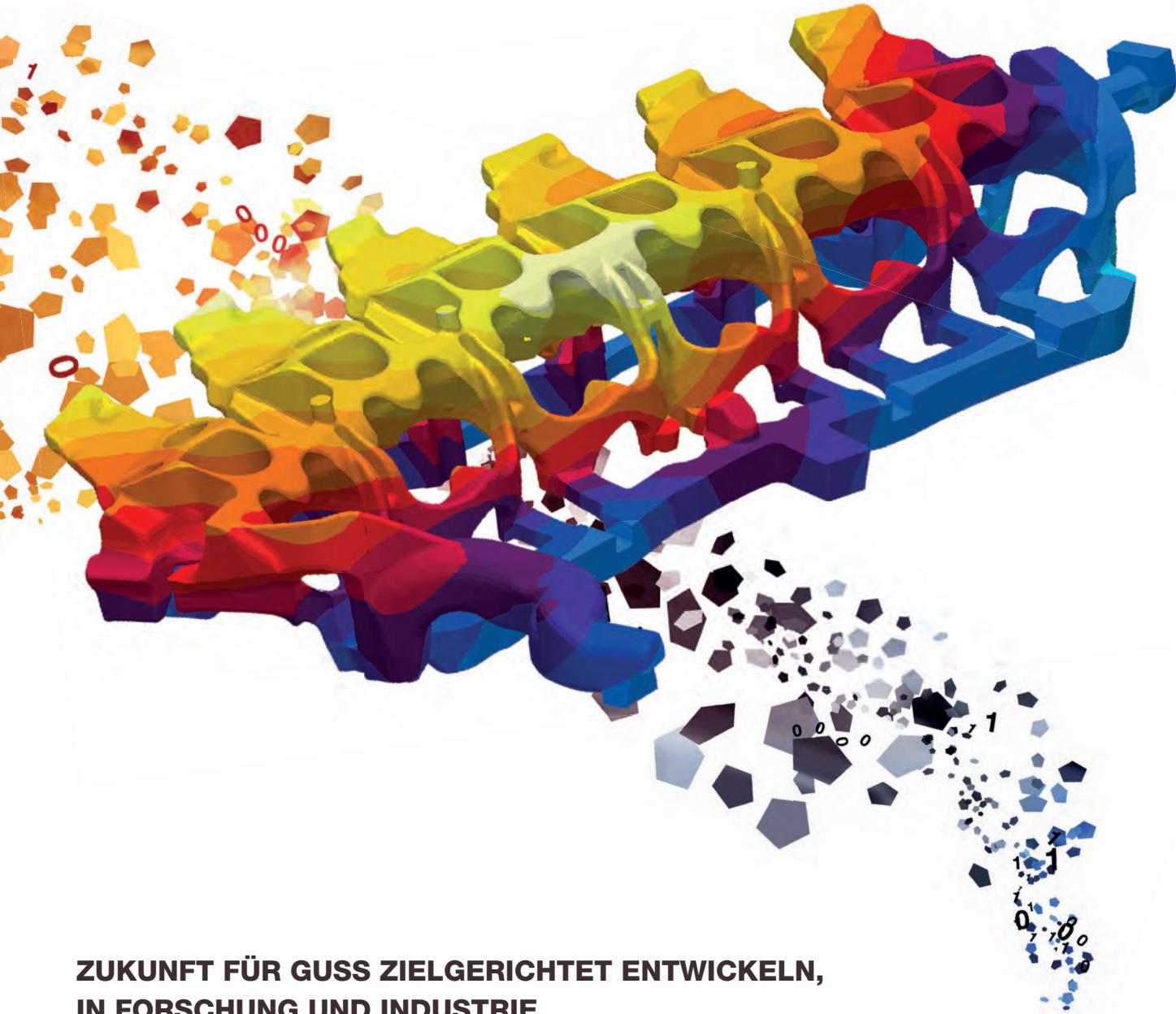
<https://www.magmasoft.de/de/unternehmen/presse/pressemeldungen-und-news/MAGMA-in-Open-Innovation-Forschungscluster-AMAP-engagiert/>

und auf der AMAP Projektseite:



<https://www.amap.de/en/projects/project-6>

DER KRUMME KERN



ZUKUNFT FÜR GUSS ZIELGERICHTET ENTWICKELN,
IN FORSCHUNG UND INDUSTRIE.

Mit MAGMASOFT® verstehen Sie Kernverzug
und vermeiden Maßabweichungen im Guss.

Systematisch und effizient.



MEHR
ERFAHREN!

5

MAGMASOFT®
autonomous engineering



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

Gießereitechnik an der TU Clausthal
Institut für Metallurgie

Postdoktorandin:
Dr.-Ing. Stephanie Duwe





Gießereitechnik an der TU Clausthal

Gussbauteile sind qualitativ hochwertig, llokal in ihren Eigenschaften auf Belastungen im Einsatz abgestimmt, erfüllen über ihr anspruchsvolles Design alle Leichtbaukriterien, sind vollständig recyclingfähig und vergleichsweise kostengünstig. An diesem Bild arbeiten wir in der Gießereitechnik der Technischen Universität Clausthal. Die Forschungsarbeiten umfassen Grundlagenuntersuchungen zu Wachstumsmechanismen verschiedener Phasen, Gusswerkstoff- und Prozessentwicklungen bis hin zu Entwicklungen von Werkstoffverbunden. Interdisziplinäre Zusammenarbeit ist für uns dabei ein wesentlicher Faktor für Innovationen und Technologie-transfer.

Forschungsgebiete

Gusswerkstoffe verstehen und entwickeln

Wie erreicht man das perfekte Grafitkugelwachstum während der Erstarrung? Welche Spurenelemente beeinflussen das Wachstum von Graphitausscheidungen in Gusseisen? Mit welchen Mitteln lassen sich die Einsatzgrenzen von ADI-Bauteilen erweitern? Diese und viele andere

Fragen werden in grundlagenorientierten sowie industriebegleiteten Projekten beantwortet. Ein wesentlicher Schwerpunkt der Forschungsarbeiten liegt dabei in der Entwicklung von hoch- und warmfesten Gusslegierungen, die bei guten gießtechnologischen Eigenschaften im Automobil-, Kraftwerksanlagenbau und in weiteren Bereichen des Maschinenbaus ihren Einsatz finden.

Entwicklung von Verbundguss

Ist eine Gusslegierung allein nicht mehr geeignet, alle geforderten Eigenschaften zu erfüllen, wird sie mit anderen Werkstoffen im Verbundguss kombiniert. An der Grenze zwischen den beiden Legierungen bilden sich form- oder stoffschlüssige Verbundschichten, an die hinsichtlich ihrer Eigenschaften hohe Anforderungen gestellt werden. Insbesondere die stoffschlüssigen Verbunde sind Schwerpunkt unserer Forschung. Verbundschichten bestehen oft aus mehreren Phasen, die unterschiedliche Eigenschaften aufweisen. Hierbei ist es wichtig, die Dicke der Verbundschichten sowie die Phasen so einzustellen, dass ausreichend hohe mechanische Eigenschaften auch im Verbund bestehen. Die Einstellung eines optimierten Prozesses zur Verbundgusserzeugung gelingt

zeit- und kosteneffizient mit Hilfe der Modellierung und Simulation. Hier arbeiten wir daran, die Mechanismen der Verbundschichtbildung besser zu verstehen und die richtigen Prozessparameter hinsichtlich optimaler Eigenschaften zu bestimmen.

Die Mitarbeiter und Doktoranden der Gießereitechnik an der TU Clausthal bearbeiten sowohl Themen zur Grundlagenforschung als auch Entwicklungsthemen mit hohem Praxisbezug gemeinsam mit Unternehmen der Gießereibranche. Unsere Motivation ist es, Gusswerkstoffe und Gießprozesse auf höchstem technischen Niveau abilden zu können. Suchen auch Sie nach innovativen Lösungen? Kommen Sie gerne mit Ihren Herausforderungen auf uns zu.

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

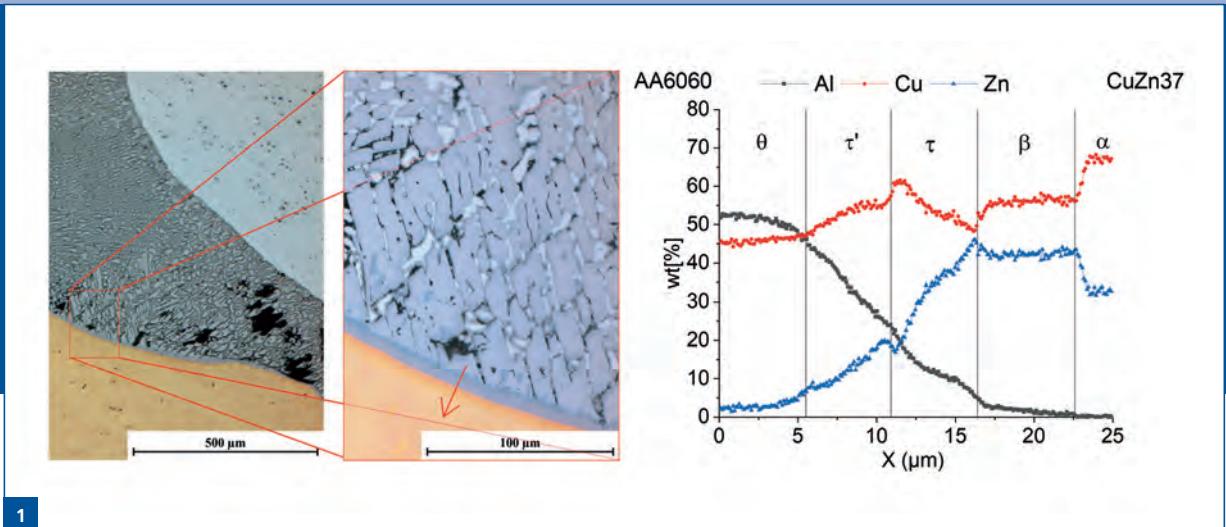


Abb. 1: links – stoffschlüssige Verbindung zwischen AA6060 und CuZn37, rechts – Grenzflächenzusammensetzung aus einem Fest-Flüssig-Diffusionspaar-Experiment, bei dem die Verbundpartner 10 s bei 650 °C gehalten und anschließend abgeschreckt wurden.

sollten, damit das endgültige Bauteil die gewünschten technischen Eigenschaften aufweist.

Am Institut für Metallurgie (IMET) der TU Clausthal wird in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Umformtechnik und Gießereiwesen (utg) der Technischen Universität München ein von der DFG finanziertes Projekt zum Thema Verbundguss durchgeführt. In diesem Projekt wird ein vertikaler Stranggussprozess zur Herstellung von achsensymmetrischen Messing-Aluminium-Bauteilen entwickelt. Am IMET arbeiten wir an der metallurgischen Charakterisierung der Grenzfläche, unterstützt durch REM- und EDX-Analyse. Ein Beispiel für die Ergebnisse eines EDX-Linienscans, der die Verteilung der Elemente an der Grenzfläche und die möglichen Phasen zeigt, ist in **Abbildung 1** dargestellt. Wir beschreiben den Mechanismus der intermetallischen Phasenbildung, um die Beziehung zwischen Prozessparametern und Grenzflächenbeschaffenheit besser zu verstehen und dadurch die Verbindungsqualität optimal gestalten zu können. Die komplexe Wechselwirkung zwischen Al-Legierungen und Messing wird mit Hilfe von Fest-Flüssig-Diffusionspaaren untersucht, die es uns ermöglichen, die Diffusions- und Reaktionseffekte an der

Grenzfläche zu isolieren und besser zu untersuchen. Dadurch erhalten wir eine klare Aussage über den Einfluss von Grenzflächentemperatur und Haltezeit auf die Grenzflächenmikrostrukturen, die Schlüsselvariablen für die Optimierung der Prozessparameter des Verbundgusses sind.

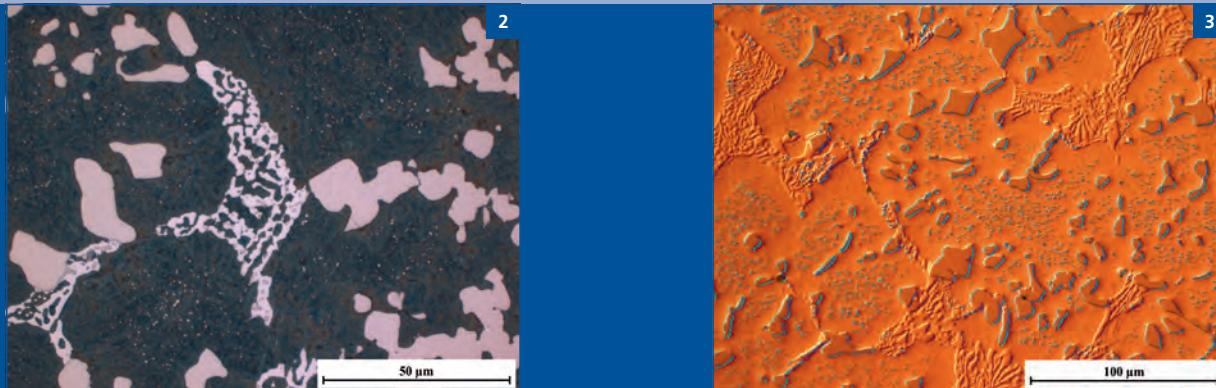
Um die Interpretation der Ergebnisse zu unterstützen und die Vorhersage des Grenzflächengefüges zu erleichtern, werden thermodynamische Berechnungen mit Pandat unter Nutzung der Datenbank PanAluminium durchgeführt. Wir visualisieren den Diffusionsweg über die isothermen Abschnitte und analysieren das Diffusionsverhalten im ternären System. Damit können wir alle thermodynamischen und kinetischen Faktoren identifizieren, die die Mechanismen der Grenzflächenbildung beeinflussen, was uns erlaubt, die Legierungszusammensetzung zu taylorisieren, um die gewünschte Grenzfläche zu erreichen.

Die Dicke der verschiedenen intermetallischen Phasen wird mit der endgültigen Bauteilfestigkeit mit Hilfe von Push-out-Tests und Nano-indentierung im utg korreliert. Durch Optimierung der Prozessparameter soll eine ideale Diffusions-Reaktionszone an der Grenzfläche erreicht werden, um eine bessere mechanische

Aktuelle Themen

Optimierung von Grenzflächen beim Verbundstrangguss

Mit dem Fortschritt der industriellen Technik wächst der Bedarf an Gussteilen mit speziellen Eigenschaften. Die Eigenschaften eines einzelnen Werkstoffes sind jedoch allein nicht immer ausreichend, alle Anforderungen an eine funktionelle Komponente zu erfüllen. Die Möglichkeit, Materialien mit unterschiedlichen Eigenschaften in einem Bauteil zu verbinden, kann dieses Problem lösen. An der Grenzfläche zwischen den Werkstoffen entsteht als Ergebnis von Diffusion und Reaktion eine stoffschlüssige Verbindung, in der intermetallische Phasen entstehen, die sich in Form von planaren Schichten ausscheiden. Diese Grenzschichten sind im Vergleich zu den Grundwerkstoffen oft sehr spröde, so dass ihre Bildung und ihr Wachstum kontrolliert werden



Performance zu gewährleisten. Zur Optimierung der Prozessparameter wird ein numerisches Modell zur Vorhersage der Grenzflächenbildung im komplexen System Al-Cu-Zn während des vertikalen Stranggusses entwickelt. Das Modell berücksichtigt das Erstarrungsverhalten der Al-Legierung sowie die Interdiffusions- und Reaktionsprozesse an der Grenzfläche.

Entwicklung eines Kosten-optimierten High-Speed-Stahls

In diesem Projekt wird gemeinsam mit der Walzengiesserei & Hartgusswerk Quedlinburg GmbH ein Kosten-optimierter High-Speed-Stahl entwickelt. Dies geschieht durch die Reduzierung und Substitution wirtschaftsstrategischer, kritischer Rohstoffe, so dass eine größere Unabhängigkeit von der Volatilität der Legierungspreise erreicht wird. Zugleich wird das sensible Zusammenspiel der Legierungselemente bei der Ausbildung eines komplexen, widerstandsfähigen Verschleißgefüges für Walzwerkswalzen untersucht. Es soll die Aufstellung der Wirkungskette „Element-Mikrostruktur-Werkstoffbeständigkeit“ gelingen und ein Optimum zwischen realisierbaren mechanischen Kennwerten und Herstellungskosten gefunden werden.

High-Speed-Steels/HS-Stähle sind Eisen-basierte Legierungen des Fe-C-X Mehrstoffsystems, wobei X für eine Gruppe Legierungselemente steht, zu denen herkömmlicherweise Chrom, Wolfram, Molybdän, Vanadium und

Cobalt gehören. Diese Stähle finden Anwendung in der Herstellung von Werkzeugen, Walzwerkswalzen oder anderen Gebieten, in denen auch bei erhöhten Einsatztemperaturen noch eine hohe Festigkeit, Härte und Zähigkeit sowie ein hoher Verschleißwiderstand gefordert sind.

Die Besonderheit dieser Stahlgruppe liegt in ihrer vergleichsweise aufwändigen Herstellung. Bereits nach dem Vergießen besitzen sie eine derart hohe Härte, dass eine mechanische Bearbeitung erst nach dem Weichglühen möglich ist. Anschließend werden sie erneut einer mehrstufigen Wärmebehandlung unterzogen: dem Diffusionsglühen bei 1000 °C – 1200 °C zum Austenitisieren und Homogenisieren der Matrix und dem partiellen Auflösen von Primärcarbiden. Dies ist gefolgt von einem zügigen Abschrecken und anschließendem mehrmaligem Anlassen bei 500 °C – 700 °C zur Umwandlung des Restaustenits in Martensit sowie der Ausbildung von fein verteilten Sekundärcarbiden, die für die finale Härte des Werkstoffs verantwortlich sind. Die Primärcarbide dagegen bilden zusammen mit dem Martensit den Verschleißwiderstand des Materials.

Doch auch wenn die bisher erfolgreichen HSS-Legierungen erhebliche Lebensdauervorteile gegenüber perlitischen oder azukular-bainitischen Eisenguss-Legierungen besitzen, besteht dringend der Bedarf nach

Abb. 2: Helle Primär- und Sekundärcarbide im Gefüge der Referenzlegierung (Auflicht, geätzt mit Beraha I).

Abb. 3: Verschleißcarbide in der Referenzlegierung (Auflicht, Differential-Interferenz-Kontrastbild, poliert).

Kostenoptimierung: Die wachsende Konkurrenz des asiatischen Marktes und die Volatilität der Rohstoffpreise verlangen nach einer Weiterentwicklung. Insbesondere die sehr teuren Legierungselemente Cobalt, Molybdän, Vanadium und Wolfram stehen auf dem Prüfstand.

Cobalt, Wolfram und Vanadium wurden von der Europäischen Kommission bereits 2011 (Co, W) bzw. 2017 (V) als kritische Rohstoffe eingestuft. Das bedeutet, dass sie einerseits von hoher (V) bzw. sehr hoher (W, Co) wirtschaftlicher Bedeutung sind und andererseits ein gesteigertes Versorgungsrisiko besteht. So ist die Volatilität der Einkaufspreise sehr hoch, was bei der Festlegung der Preise bei Kunden mit einkalkuliert werden muss.

Das Projektziel ist die systematische Weiterentwicklung einer bestehenden und bewährten HSS-Legierung. Die Kosten sollen reduziert werden, um die Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten. Dazu soll der Anteil an kostenintensiven Legierungselementen reduziert und nach Möglichkeit auf den

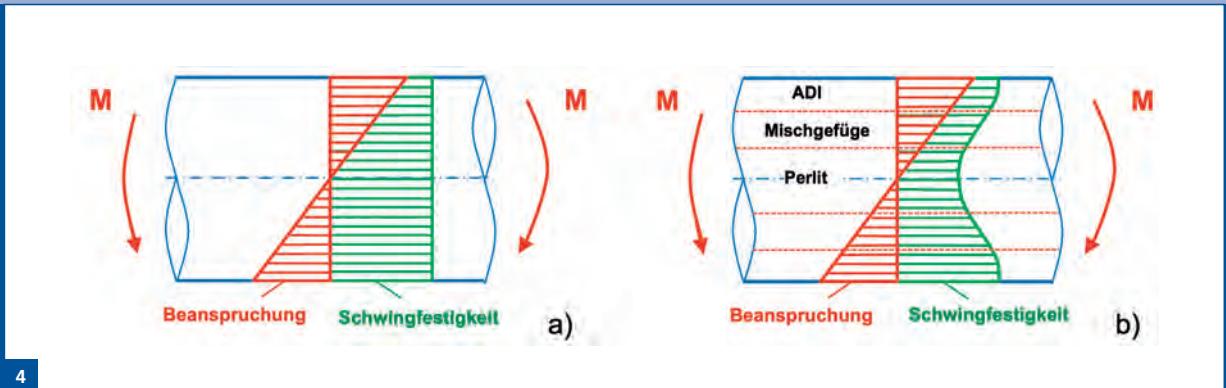


Abb. 4: Bauteilbeanspruchung durch Biegung, a) homogene Schwingfestigkeit über Bauteilquerschnitt, b) Schwingfestigkeit abhängig vom Gefüge.

Einsatz von Cobalt als teuerstes und preis-volatiles Element verzichtet werden. Basis der Entwicklung ist eine bestehende Referenzlegierung, die bereits im ZIM-Projekt „VEGUWA“ (FKZ KF3370001) legierungstechnisch optimiert wurde und eine ausreichend hohe Härte und Verschleißfestigkeit aufweist. Das Gefüge der Referenzlegierung ist in den Abbildungen 2 und 3 dargestellt.

Es wird eine Reduktion wirtschaftsstrategischer Metalle (in der Referenzlegierung z.B. 7,5 Gew.-% W, 6,0 Gew.-% V, 4,0 Gew.-% Co) bei gleichbleibender Güte des Werkstoffs angestrebt. Es sollen die Gehalte der Carbidbildner Wolfram und Vanadium so optimiert werden, dass sie lediglich auf einem Level liegen, das ausreichend für die Verschleißbeständigkeit ist, aber so gering wie möglich liegt. Zudem wird das Element Cobalt deutlich reduziert oder idealerweise eliminiert. Die Molybdängehalte werden auf 0,5 Gew.-% bis 1,0 Gew.-% gesenkt, ebenso wie Wolfram und Vanadium auf 3,0 Gew.-% bis 5,0 Gew.-%. Im Gegensatz dazu soll der Chromgehalt auf bis zu 15 Gew.-% erhöht werden; Chrom kann einerseits einen Teil des Molybdäns substituieren und hat andererseits den syn-

ergistischen Effekt der gesteigerten Sekundärhärting in Anwesenheit anderer carbidbildender Elemente. Angestrebt wird in diesem Projekt eine Kostenreduktion von 20 bis 40 % pro Walze (2150 kg).

Um die neue Legierung präzise zu entwerfen, werden mittels statistischer Versuchsplanung gezielt die Gehalte von Molybdän, Wolfram, Vanadium und Chrom variiert. Es ergibt sich ein Set von 19 Legierungen, die vergossen und charakterisiert werden. Die Ergebnisse werden in mehreren mathematischen Modellen erfasst. Eine Kombination dieser Modelle führt, zusammen mit der Forderung der Erhaltung der entsprechenden Kennwerte der Referenzlegierung und den gesenkten Herstellungskosten, zu einer preisoptimierten Legierung ohne Einbuße der mechanischen Kennwerte.

Die Legierung muss trotz der ange strebten Kostensenkung durch Reduktion bzw. Substitution der Legierungselemente mindestens die

- Anlassbeständigkeit,
- Verschleißfestigkeit,
- Härte,
- Langzeitfestigkeit,
- Festigkeit und Bruchdehnung bei Raum- und Einsatztemperatur
- der Referenzlegierung erfüllen.

Abschließend soll die neue, optimierte Legierung im Prozess die gleiche

Laufleistung wie die Referenzlegierung erbringen. Eine Erfolgskontrolle geschieht über den Einsatz im Walzwerk. Gefördert durch: BMWi – Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand Förderkennzeichen ZF4506902SU9.

Erweiterung des Anwendungsspektrums von ADI

Zusammen mit dem Institut für Betriebsfestigkeit der TU Clausthal wird im Rahmen eines 2021 gestarteten ADI-Projekts an einem innovativen Festigkeitsnachweis für den Einsatz von Bauteilen aus ADI zu gearbeitet, bei dem die aus Geometrie und äußeren Lasten ermittelten lokalen wirkenden Beanspruchungen den lokalen im Bauteil vorhandenen Festigkeiten gegenübergestellt und in einer Schädigungsrechnung bewertet werden. Dazu sollen insbesondere dickwandige Bauteile aus ADI umfassend hinsichtlich ihrer Gefüge und quasi-statischen und zyklischen Eigenschaften charakterisiert werden. Über die Wahl geeigneter Gefügeparameter soll ein Werkstoffmodell erstellt werden, über das eine Vorhersage der lokalen Schwingfestigkeitseigenschaften im Bauteil getroffen werden kann und somit im Ergebnis auch unvollständig ausferritierte Bauteile mit inhomogenen Gefügen hinsichtlich ihrer Schwingfestigkeit bewertet werden können, Abbildung 4. Diese Ergebnisse werden mit dem Postprozessor zur Lebensdauerabschätzung verknüpft. Über das Konzept und die dazu er-



stellten Tools werden Unternehmen insbesondere bei Einzelfertigungen und Kleinserien ohne experimentellen Aufwand in die Lage versetzt, Bauteile trotz inhomogener Gefüge in Bezug auf die Schwingfestigkeit zu bewerten. Durch das Lebensdauerkonzept können Zeit- und Kostenaufwand für die Bauteilentwicklung deutlich reduziert sowie Geometrien zielgerichtet hinsichtlich Leichtbauweise optimiert werden. Über die mögliche Verringerung des Einsatzes von teuren Legierungselementen wie Nickel oder Molybdän insbesondere bei der Herstellung von dickwandigen Bauteilen können nicht nur Materialkosten eingespart, sondern auch durch beispielsweise Molybdän verursachte Seigerungen vermieden und damit verbesserte mechanische Eigenschaften erzielt werden. Die Wettbewerbsfähigkeit von Bauteilen aus ADI wird damit gegenüber seinen Alternativen erhöht, wodurch bestehende Geschäftsfelder ausgebaut werden können.

Untersuchung des Einflusses der Austenitstabilität in ADI auf die erzielbaren mechanischen Eigenschaften

Durch eine Wärmebehandlung, die Ausferritisierung, können die mechanischen Eigenschaften von Guss-eisen mit Kugelgraphit (GJS) weiter verbessert werden. Dadurch entsteht ein neuer Werkstoff, ausferritisches GJS (ADI – Austempered Ductile Iron) mit genormten Zugfestigkeiten von

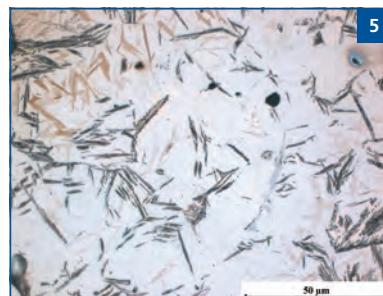


Abb. 5: Ausschnitt eines ADI mit großen Anteilen stabilisierten Restaustenits neben einigen Ferritnadeln und Martensit.

800 bis 1400 MPa und Bruchdehnungen bis zu 10 %. Die Matrix dieses Werkstoffs besteht vornehmlich aus Ferritnadeln und stabilisiertem Restaustenit, Abbildung 5. In einer Forschungsarbeit werden die erzielbaren Auswirkungen des stabilisierten Restaustenits auf die mechanischen Eigenschaften untersucht. Dabei sollen durch eine exakte Einstellung des Verformungsverhaltens die erzielbare Bruchdehnung sowie das Verfestigungsvermögen stark gesteigert werden. Dies birgt das Potential für die Ausweitung der Anwendungsbereiche von ADI-Bauteilen, beispielsweise im Automobilbereich. In Anlehnung an bainitische Stähle werden Legierungselemente und Wärmebehandlungsparameter variiert. Dabei steht die Erzeugung maximaler Austenitgehalte, die durch die gezielte Einstellung definierter thermodynamischer Stabilität während mechanischer Belastung spannungs- und dehnungsinduziert in Martensit umwandeln, im Vordergrund. Dieser als umwandlungsinduzierte Plastifizierung (TRIP – transformation induced plasticity)

Abb. 6: Mechanismen und Einflussfaktoren der zum TRIP-Effekten führenden Austenitumwandlung, vom Anwendungsfall abhängige Variablen in Orange.

bezeichnete und in speziellen Stählen angewandte Vorgang ist mit einer großen Dehnbarkeit und Verfestigung des Werkstoffs verbunden.

Neben einem besseren Verständnis der thermodynamischen und mechanischen Stabilität des Austenits und dessen Beeinflussbarkeit während der Ausferritisierung ist das Ziel, einen Werkstoff mit optimaler Ausnutzung des mechanischen Potentials von stabilisiertem Austenit herzustellen. Zur Erfassung der Werkstoffeigenschaften wird dafür eine Reihe in dieser Weise in ADI bisher nicht kombiniert angewandter Analysemethoden verwendet. Der Zustand des Austenits wird durch eine Vielzahl an Parametern charakterisiert, um so eine zielgerichtete Einstellung und Prognose seines mechanischen Verhaltens zu erreichen. Insbesondere wird erstmals die Stapelfehlerenergie berücksichtigt, die in TRIP- und TWIP-Stählen einen großen Einfluss auf das Verformungsverhalten ausübt und zu dessen genauer Einstellung herangezogen werden kann, Abbildung 6.

Abb. 7: Chunky-Graphit in Gusseisen mit Kugelgraphit (Hellfeld, geätzt mit Nital).

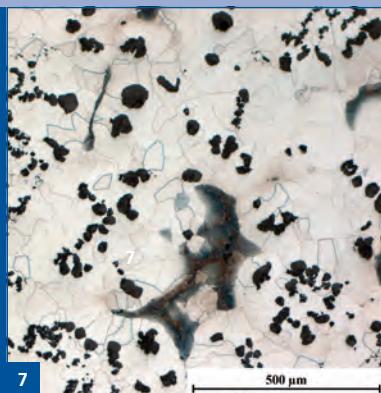
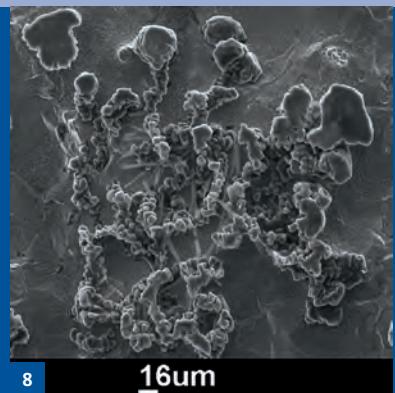


Abb. 8: Chunky-Graphit in Gusseisen mit Kugelgraphit (REM, Tiefenätzung).



Bewertung verschiedener Graphitentartungen in Gusseisen mit Kugelgraphit hinsichtlich ihrer Einflüsse auf die statischen und zyklischen Festigkeitseigenschaften

Gusseisen mit Kugelgraphit (GJS) gehört zu einer der innovativsten Gusswerkstoffgruppen. Die vielseitigen Einsatzmöglichkeiten und geringen Produktionskosten sprechen für die Attraktivität dieses Werkstoffes. So werden jährlich ca. 1,7 Mio. Tonnen Gussteile aus GJS produziert. Dabei erreicht der Werkstoff Zugfestigkeiten von 400 MPa bis 900 MPa und Bruchdehnungen von 22 % bis 2 %, je nach chemischer Zusammensetzung. Die positiven Eigenschaften des Materials werden jedoch durch Wanddickenabhängigkeit sowie von der Graphitmorphologie-Sensitivität der mechanischen Eigenschaften stark beeinflusst. Vor allem auftretende Graphitentartungen (*s. Abbildungen 7 und 8*) verschlechtern die guten mechanischen Eigenschaften erheblich und führen zu Ausschuss in der Produktion.

Das Verständnis über den Einfluss von Art und Anteil der auftretenden Graphitentartungen auf die quasi-statischen und zyklischen mechanischen Eigenschaften ist bislang noch nicht ausreichend bestimmt worden, um die Einsatzmöglichkeiten von Gussbauteilen mit geringem Graphitentartungsanteil hinreichend abschätzen zu können. In diesem von der AiF-For-

schungsvereinigung geförderten Projekt soll durch die Aufstellung eines Vorhersagemodells der Einfluss von Graphitentartung auf die Festigkeitseigenschaften von GJS quantitativ bestimmt bzw. vorhergesagt werden. Anschließend kategorisieren aufgestellte Bewertungskriterien, basierend auf dem Vorhersagemodell, die Einsatzmöglichkeiten der Bauteile. Damit der Aufbau eines solchen Modells gelingt, bedarf es der Erstellung und Integrierung einer Graphitentartungs-Richtreihe zur Charakterisierung der Graphitmorphologie in den Modellerschaffungsprozess. Zudem werden zur Bestimmung der Korrelation von Graphitentartung und mechanischen Eigenschaften Zug- sowie Zug-Druck-Versuche durchgeführt. Aus den gesammelten Daten ist anschließend das empirisch-mathematische Modell zu erstellen. Ziel ist es, basierend auf dem Modell, anhand metallographischer Werkstoffanalysen und der Zuordnung in die Richtreihe, statische und zyklische Festigkeitseigenschaftsprognosen darzustellen und Bewertungskriterien für den Bauteileinsatz mit Graphitentartung ermitteln zu können.

Untersuchungen zum Einfluss verschiedener Legierungs- und Spurenelemente auf das Graphitwachstum in GJS und das zyklische Werkstoffverhalten dickwandiger Bauteile

Ein gerade im Großguss auftretendes Problem sind Graphitdegenerationen.

Langsame Erstarrung insbesondere in Kombination mit höheren Siliziumgehalten und/oder das Vorhandensein von Störelementen im Einsatzmaterial führen zu Graphitentartungen. Diese setzen die mechanischen Eigenschaften stark herab und führen somit zum Ausschuss. Das vom BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie – geförderte Kooperationsprojekt mit dem Kurznamen „DeGra“ (Förderkennzeichen: 03EE2019B) befasst sich mit diesem Problem. Es wird gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit in Darmstadt und mehreren Industrieunternehmen durchgeführt. In einem ersten Schritt werden gezielt Graphitentartungen durch den Zusatz von Cer (Chunkygraphitbildner, *Abbildung 9*) oder Antimon (fördernt interzellularen Lamellengraphit) erzeugt. Diese Versuche werden mit drei unterschiedlichen Sphärogusswerkstoffen mit höheren Siliziumgehalten und für unterschiedliche Erstarrungszeiten umgesetzt. Somit soll eine von der chemischen Zusammensetzung und der Erstarrungszeit abhängige Vorhersage über das Auftreten von Graphitentartungen getroffen werden können.

Im nächsten Schritt werden die Störelemente Cer und Antimon, in Hinsicht auf die Abschwächung beziehungsweise Vermeidung der Graphitdegenerationen, kombiniert untersucht. Hier werden ebenfalls unterschiedliche Siliziumgehalte und

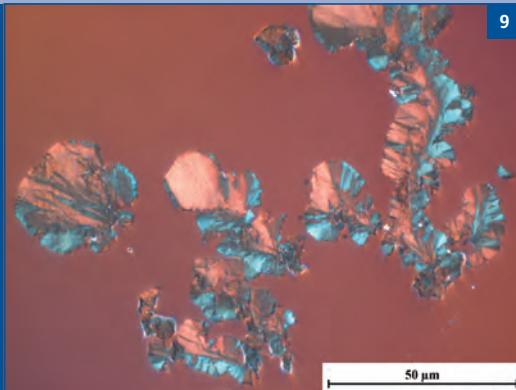


Abb. 9: Chunkygraphit in GJS, lichtmikroskopische Aufnahme unter polarisiertem Licht.

Erstarrungszeiten betrachtet. Im Ergebnis soll es möglich sein, durch die Zusammensetzung die für ein konkretes Bauteil vorhergesagte Graphitdegenerationen metallurgisch zu verhindern. Im weiteren Verlauf des Projektes wird am Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit der Einfluss von Graphitdegenerationen auf die quasistatischen und zyklischen Werkstoffverhalten untersucht. Die hier untersuchten Zug- und Schwingproben werden hinsichtlich der die Festigkeit beschreibenden Parameter untersucht und es werden Charakterisierungsmerkmale gesucht, die den Einfluss auf die zyklische Beanspruchung wiedergeben. Die Gefüge werden mittels korrelativer Mikroskopie analysiert. So können Bereiche degenerierten Graphits, die unter dem Lichtmikroskop identifiziert wurden, gezielt mit dem Rasterelektronenmikroskop (REM) angefahren und ausgewertet werden. Bruchflächen werden ebenfalls mit Hilfe des REMs untersucht, um Rückschlüsse auf den Versagensmechanismus zu ziehen. Am Ende soll es möglich sein, degenerierten Graphit in Abhängigkeit von Prozess-, Werkstoff- und Bauteilparametern lokal zu prognostizieren. Ebenso sollen konkrete Handlungsempfehlungen gegeben werden können, wie die Ausbildung degenerierten Graphits bei der Erstarrung einer Störelemente enthaltenen Schmelze durch metallurgische Maßnahmen verhindert werden kann.

Nutzung von Künstlicher Intelligenz zur Vorhersage von Graphitentartungen

Geringe Erstarrungsgeschwindigkeiten und verschiedene Elemente oberhalb ihrer kritischen Konzentrationen führen in Gusseisen mit Kugelgraphit zu entartetem Wachstum der Graphitkugeln. Die Angaben zu den kritischen Gehalten der Spurenelemente schwanken in der Literatur. Darüber hinaus können die Gehalte der Spurenelemente insbesondere bei geringen, aber bereits schädigenden Konzentrationen oft nicht ausreichend genau durch die üblich eingesetzte Spektralanalyse bestimmt werden.

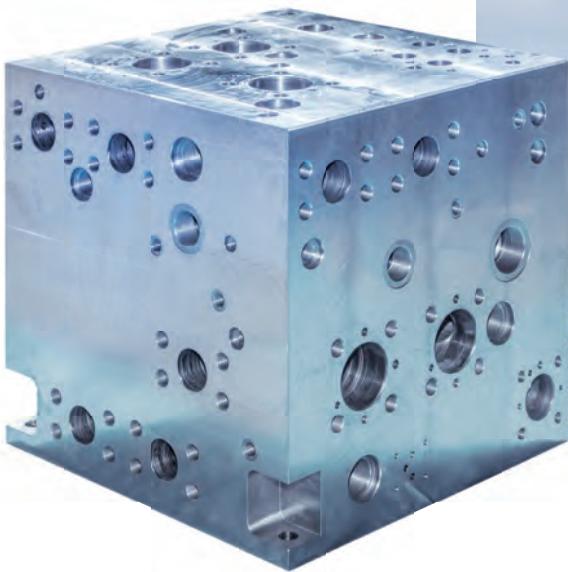
Durch das Vorhandensein von gegenläufig wirkenden Spurenelementen in der Schmelze kann durch die Bildung von Verbindungen das Wachstum von entartetem Graphit unterbunden werden. Sind die Gehalte der Elemente jedoch nicht exakt aufeinander abgestimmt, tritt Graphitentartung auf. Ebenso sind die Wechselwirkungen zwischen den Elementen nicht ausreichend genau bekannt. Dazu existieren nur wenige systematische Untersuchungen zu metallurgischen Maßnahmen, um die Störelemente in Gusseisen zu eliminieren. Aus diesen Gründen ist es bislang schwierig, eine Vorhersage zur Graphitentartung auf Basis der analysierten Zusammensetzung zu treffen, bzw. sie in naher Zukunft in allen Fällen prozesssicher zu vermeiden. Neben der Erarbeitung physikalischer Modelle zur Vorhersage

von Graphitentartungen auf der Basis chemischer Zusammensetzungen und Erstarrungsgeschwindigkeiten soll mithilfe großer Datensätze ein Computermodell so trainiert werden, dass dieses Vorhersagen über mögliche Graphitentartungen treffen kann, ohne die chemisch-physikalischen Zusammenhänge zwischen verschiedenen Legierungs- und Spurenelementen und dem Graphitwachstum zu kennen. In einem ersten Ansatz wurde für das Training eines Modells der Algorithmus kNN (k-Nearest-Neighbour) gewählt und mit bislang 90 verschiedenen Datensätzen mit je 30 Eingangsparametern (chemische Zusammensetzung und Wanddicke) trainiert. Im Ergebnis lassen sich das Vorhandensein von Chunkygraphit oder Spiky-Graphit mit einer Genauigkeit von über 80 % vorhersagen. Daten, welche sich gravierend von den bereits gesehenen Daten unterscheiden, können jedoch aufgrund der geringen Datenmenge in den meisten Fällen noch nicht korrekt zugeordnet werden. Hier trägt eine große Vielfalt an Daten deutlich zur Verbesserung der Vorhersagbarkeit bei. Außerdem ist es mithilfe eines größeren Datenvolumens möglich, in Zukunft ein neuronales Netz zu trainieren, welches über das bloße Vergleichen hinaus echte Zusammenhänge im Sachverhalt erkennen kann, um selbst „exotische“ Daten korrekt zuzuordnen und auch Hinweise auf physikalisch basierte Zusammenhänge liefern zu können.



Ein Hochleistungswerkstoff GOPAG C 500 F® aus Strangguss von Gontermann-Peipers jetzt auch für Offshore-Anwendungen

Offshore- Hydraulik



Erweiterte Einsatzmöglichkeiten für Guss von Gontermann-Peipers

Konstrukteure und Anwender von Hydraulikblöcken vertrauen seit vielen Jahren dem bewährten duktilen Eisen-gusswerkstoff **GOPAG C 500 F®**. Durch sein feines, rein ferritisches Gefüge ergibt sich eine schnelle und hochpräzise mechanische Bearbeitbarkeit. Zusammen mit der geringeren Dichte von Gusseisen gegenüber Stahl ist eine Kosten-

senkung und Gewichtseinsparung schon bisher realisierbar. Der Einsatz duktiler Gusseisenwerkstoffe in Offshore-Anwendungen, wie z.B. Windenergie, Marine, Öl und Gas, ist jedoch durch besonders strenge Anforderungen an die Sicherheitsbeiwerte für die Designauslegung im konstruktiven Bereich limitiert.

Als Spezialist für Hochleistungsgusseisen ist es Gontermann-Peipers gelungen, eine Qualifizierung von Strangguss für den Einsatz im Offshore-Bereich zu erhalten. Der Werkstoff **GOPAG C 500 F®**, die Markenbezeichnung von Gontermann-Peipers für EN-GJS-500-14C, wurde von der renommierten Klassifizierungsgesellschaft DNV-GL qualifiziert und kann auf Wunsch mit dieser Zusatzeigenschaft bezogen werden.

Der Kern der Sache – Anorganische Kerne für den Eisenguss

Die Herstellung von anorganisch gebundenen Kernen für den Eisenguss und insbesondere für die Anwendung in Kunden-gießereien mit häufig wechselnden Sortimenten stellt augen-blicklich eine der wichtigsten zu lösenden Aufgaben der Gie-Bereibranche dar. Die wesentlichen Eigenschaften eines für den Eisenguss geeigneten Verfahrens werden hier vorgestellt.



Abb.: Anorganisch gebundene Kerne 2 % Binder, Masse ca. 6 kg, geschlichtet

Bei dem eingesetzten Bindersystem handelt es sich um ein Binde-mittel auf Alkalisilikat- bzw. Wasserglasbasis, welches mit einer ganzen Reihe von Oxiden modifiziert wurde und keinerlei organische Bestandteile enthält. Die Verfestigung des Formstoffs erfolgt hierbei ausschließlich durch eine Begasung mit ca. 160 °C warmer Luft. Das Bindemittel ist ein Einkomponentenbinder, welcher ohne zusätzliche Additive in Bereichen von weniger als 2,5 %, in vielen Fällen unter 2 % dosiert werden kann. Mit dem System werden

Festigkeiten erreicht, die mit denen der am Markt bekannten an-organischen Bindersysteme vergleichbar sind. Durch den Einsatz deutlich geringerer Binderzugaben werden geringe Restfestigkeiten nach thermischer Belastung sowie ein sehr gutes Zerfalls- und damit Entkernverhalten sichergestellt. Im Hinblick auf die in der Regel im Bereich des Eisengusses genutzte Formherstellung mit bentonit-gebundenen Formstoffen kann festgestellt werden, dass das vorgestellte anorganische Bindersystem in üblichen Zulauf-mengen keine Schädigung des Umlaufformstoffsystems bewirkt. Das „begasungshärtende“ anorganische Formstoffbindersystem stellt eine im Eisenguss anwendbare umweltfreundliche Alternative zur Kernherstellung zum bisher hauptsächlich eingesetzten PUR-Cold-Box-Verfahren dar. Die wesentlichen bei einer beabsichtigten Anwendung des Verfahrens notwendigen Voraussetzungen (Bereit-stellung der benötigten Heißluft und geeignete Kernkästen) sind realisierbar.

Autoren:

Prof. Dr.-Ing. habil. Hartmut Polzin, Dr.-Ing. Theo Kooyers

Kontakt

Peak Deutschland GmbH Gießereibindersysteme

Dresdner Straße 58, D-01683 Nossen

Tel.: +49 (0)35242 656595, Fax: +49 (0)35242 656596

peakde@t-online.de

www.peak-giesserei.de



Umwelt- und arbeitsplatzfreundliche Herstellung von Formen und Kernen

Cast Clean® anorganisches Bindersystem auf Silikatbasis für alle Gusswerkstoffe

Verfestigungsmöglichkeiten durch

- Begasung mit Kohlendioxid
- Kaltselbsthärtung
- Warm-Box bzw. Trocknung
- kombinierte Verfahren



Peak Deutschland GmbH Dresdner Straße 58 01683 Nossen

Tel.: +49(0)35242 / 656595 Fax: +49(0)35242 / 656596 eMail:peakde@t-online.de www.peak-giesserei.de



Niels Skat Tiedje
Associate Professor, Ph.D.

Technical University of Denmark

Mitarbeiter:
Tito Andriollo
Chaoling Xu
Mathias Bjerre
Kamran Mohaghegh

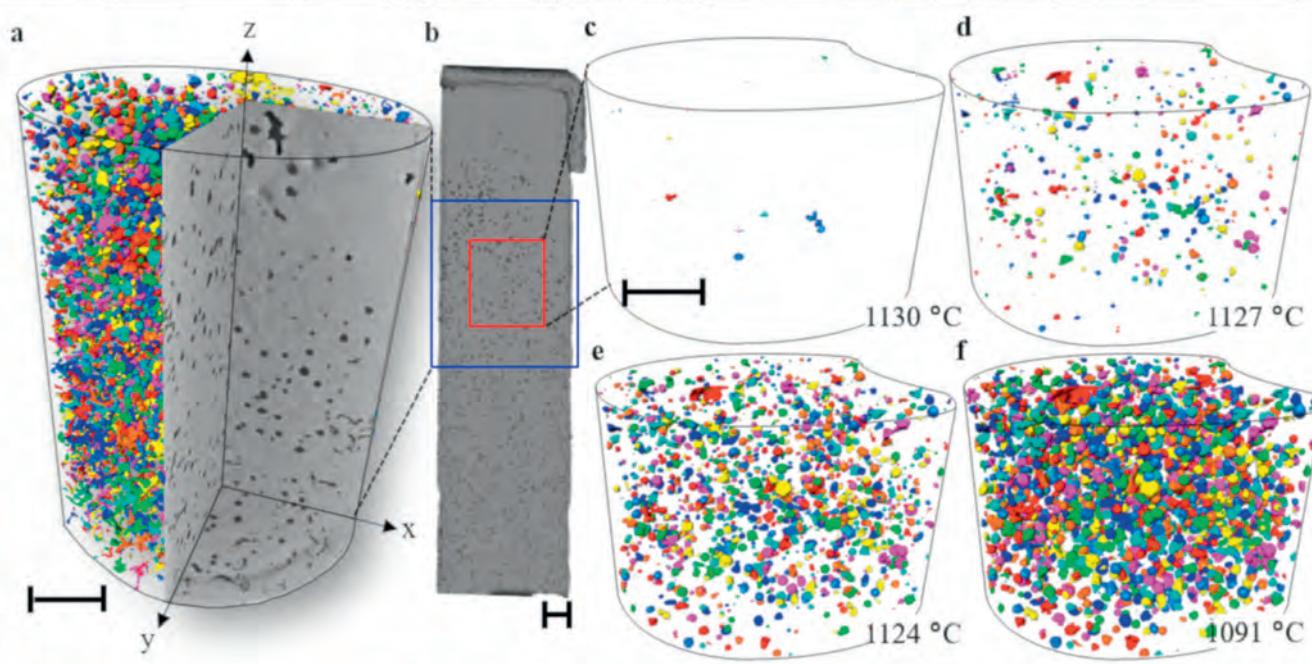
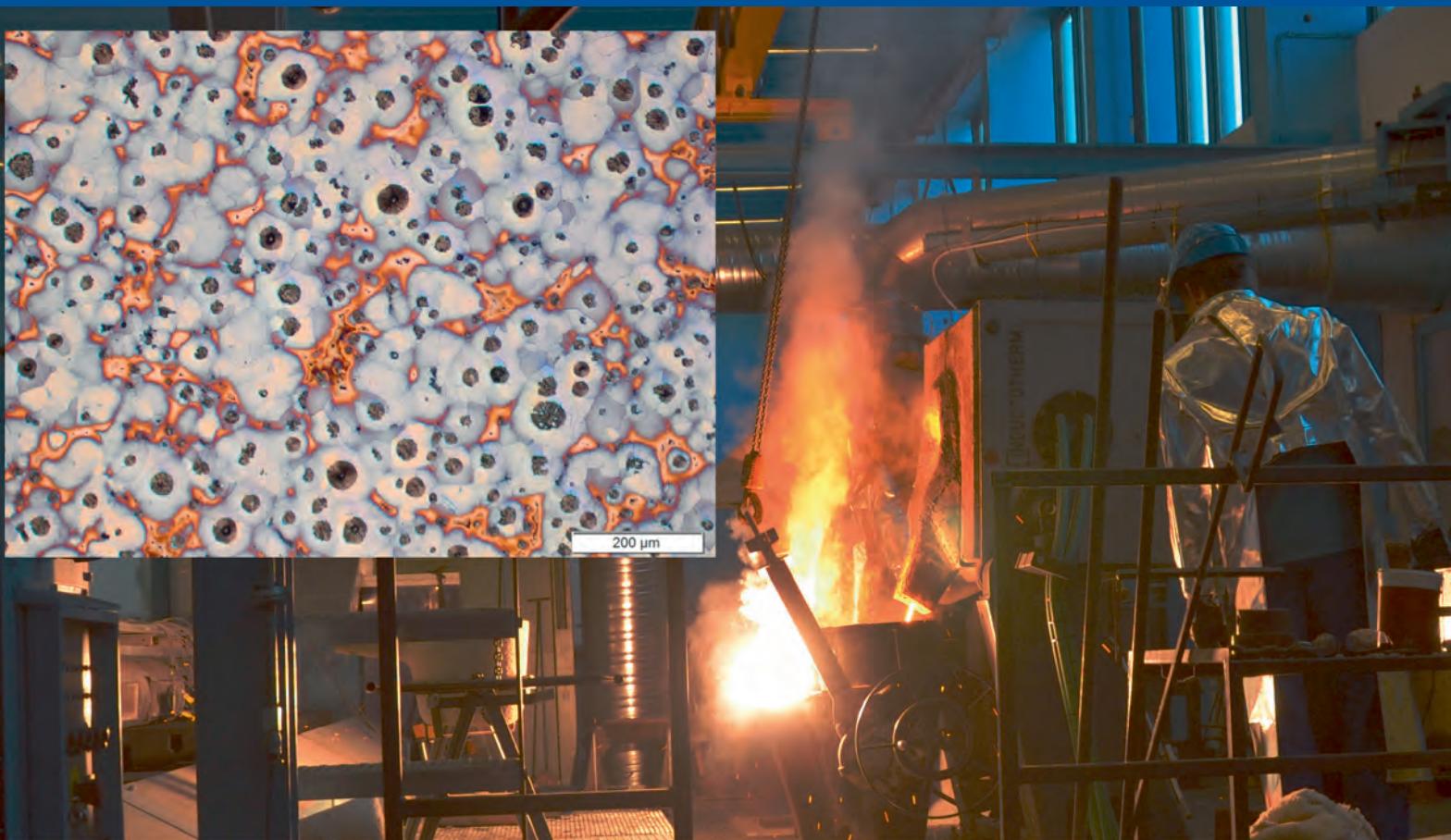
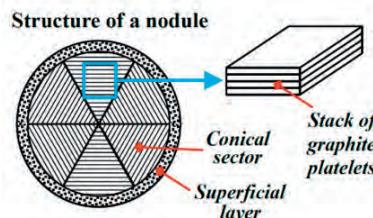
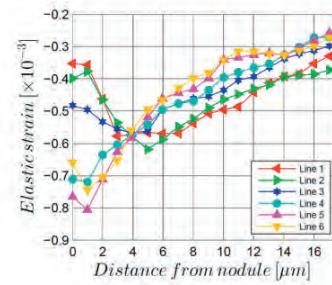


Figure. 1: (a) Internal structure of a nodule. (b) Elastic strain measured close to a nodule.



a



b

Use of 3D and 4D imaging in foundry technology at the Technical University of Denmark.



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.

4D investigation of solidification

The mechanical properties of a cast iron component 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, and we can show the effect of the local arrangement of graphite, liquid and austenite on the individual graphite nodule growth patterns and study large ensembles of particles to illuminate both the average and the extreme nodule growth behaviours, see the opening figure on the left.

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]

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. 1a. 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

Kontakt

Technical University of Denmark

Department of Mechanical Engineering

Niels Skat Tiedje, Associate Professor, Ph.D.

Building 425, room 223

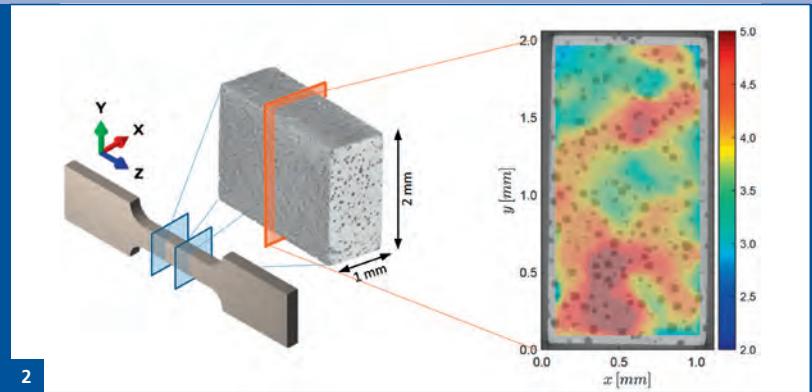
D-2800 Kgs. Lyngby, Denmark

Tel.: +45 (0)4525 4719

nsti@mek.dtu.dk

www.mek.dtu.dk

Figure. 2: 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 [5].



a driving force for the formation of local stresses due to the "squeezing" action of the matrix during cooling. [3]

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. 1b). 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 \approx 5-6 microns.

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 2). 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 [4]. 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 3, 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.

Precision in casting – Feature Based Recognition

Casting moulds are made of a number of sub-elements such as the two

mould halves and often several cores. Although the moulds and cores are mechanically relatively strong elements, the as-cast part may show dimensional deviation from the mould geometry. A complete measurement of the dimensions is possible via optical scanning and comparing the results with the nominal geometry. However, this usual way of dimensional control does not easily allow the casting engineer to understand the origins of the dimensional errors that may be found. [7]

Using the so-called Feature Based Recognition each part of the mould, cope, drag and cores, are given an individual coordinate system that relates to the coordinate system of the CAD model. If the mould assembly is perfect, all these coordinate systems align perfectly too. However if a core has been misaligned relative to the cope, the surfaces created by the two components will also be misaligned. It is then possible to analyse variations in geometry and directly relate it to specific parts of the mould making process and relate geometrical defects to errors during mould assembly and wear of patterns and core boxes, see Figure 4. The feature-based fitting of functional surfaces (related to individual moulds) is a method to classify the dimensional deviations into two error classes:

1. The error of the movement of a functional surface

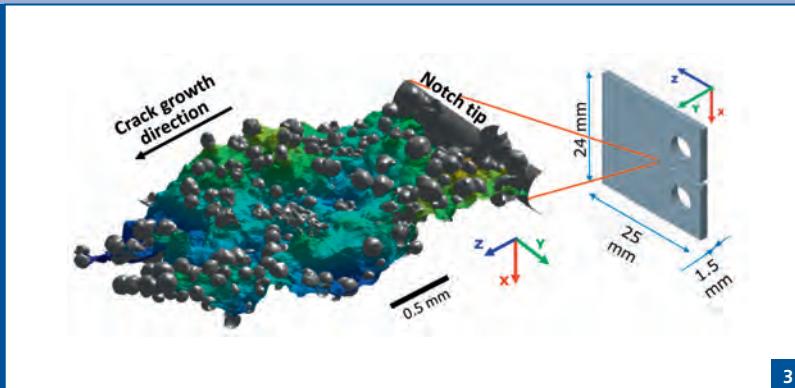


Figure 3: DVC-based reconstruction of a fatigue crack that grows by linking the graphite particles (in gray) in a compact tension specimen. The crack color is proportional to the distance from the ideal crack propagation plane that is perpendicular to the X-axis. Adapted from [6].

2. The deformation error of a functional surface

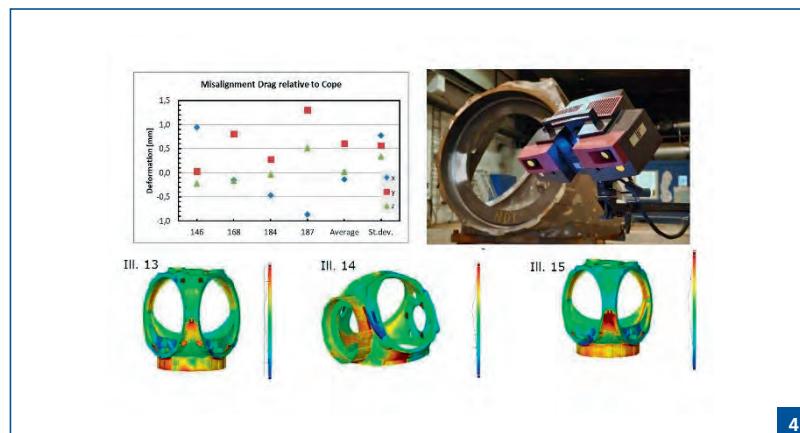
The two classes have different root-cause analysis and the separation process facilitates tracking the causes for errors. The dominant error of movement of a functional surface is initiated during manufacture of the mould and cores and in mould assembly.

At DTU we take part in research projects that focus on analysing how specific steps in the manufacturing chain in foundries act to influence precision in castings. We co-operate closely with foundries and use data from measurements obtained during production to do statistically sound analyses of dimensional variations. This gives detailed insight into the individual process steps and also a good overview of the total manufacturing chain.

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. doi: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). doi:10.1002/mdp2.212.
- [3] 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. doi:10.1016/j.actamat.2019.01.038.
- [4] 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. doi:10.1016/j.scriptamat.2019.12.018.
- [5] 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. doi:10.1016/j.jmps.2019.01.021.
- [6] 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. doi:<https://doi.org/10.1016/j.actamat.2020.02.026>.
- [7] 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.

Figure 4: 3D optical scanning of a large casting. The scan data is used to analyse misalignment of cores relative to the mould cope.



4

DR und CT – Präzise Gussteilanalysen ohne Spezialwissen einfach und schnell

Seit Jahrzehnten wird die Gießereiindustrie sowohl in der Produktion als auch in Forschung und Entwicklung von der Röntgentechnologie begleitet. Röntgen ist die einzige Technologie, die in Prüfteile hineinschauen und typische Gussfehler wie Porositäten, Brüche und Materialeinschlüsse verlässlich erkennen kann. Besonders bei sicherheitsrelevanten Bauteilen für die Luftfahrt und Automobilindustrie sind Röntgenprüfungen nicht nur vorgeschrieben, sondern unterliegen auch entsprechenden Normen und Standards. Digitale Röntgensysteme werden in oder an der Produktionslinie eingesetzt, um die Produktqualität zu gewährleisten. Moderne Computertomografie bildet die inneren Strukturen eines Prüfteils dreidimensional ab und kann vorhandene Anomalien präzise lokalisieren, vermessen und definierte Toleranzen darstellen.

Autorin: Gina Naujokat

Kontakt

YXLON International GmbH
 Essener Bogen 15
 D-22419 Hamburg
 Tel.: +49 (0)40 52729-0
 Fax: +49 (0)40 52729-170
 yxlon@hbg.yxlon.com
www.yxlon.de



Das Mitte 2020 in den Markt eingeführte universelle Röntgen- und CT-System YXLON UX20 wurde speziell für die Anforderungen in Gießereien entwickelt. Sein robustes und kompaktes Design ist für den Einsatz in rauer Umgebung konzipiert, und der große Prüfraum eignet sich für Teile von bis zu 800 mm im Durchmesser und 1100 mm Höhe. Dadurch bietet das System eine enorme Flexibilität für die unterschiedlichsten Prüfteile.

Da die Arbeit in der Industrie jedes Jahr komplexer und schnellerlebiger wird, stand bei der Entwicklung des Systems neben der Qualität und der Zuverlässigkeit der Prüfergebnisse die einfache Bedienung im Vordergrund. Wo im Labor früher monatelange Einarbeitungen für eine neue Maschine an der Tagesordnung war, müssen heute weitaus umfangreichere Systeme in kürzester Zeit gemeistert werden. Dabei hat sich die Prüfung von Produkten längst aus den Laboren heraus und hinein in die Produktion bewegt. Sie dient nicht nur der Qualitätssicherung, sondern gibt gleichzeitig Aufschluss über die Qualität der Fertigungsprozesse. Die Bedieneinheit des UX20 ist deshalb auf die nötigsten Komponenten

reduziert und erlaubt eine intuitive Bedienung mit Joysticks und Tastern. Basis für die einfache Bedienung ist die mit dem German Innovation Award 2018 ausgezeichnete Softwareplattform YXLON Geminy, die alle benötigten Programme in sich vereint. Grafische Elemente und eine Auswahl verschiedener Voreinstellungen und Assistenten führen den Bediener durch seine Prüfaufgabe, so dass er auch ohne Fachkenntnisse in der Röntgentechnologie sicher und schnell gute Ergebnisse im manuellen Prüfprozess erzielt. Definierte Bedienerrollen unterstützen den ungeübten Bediener genauso wie den Experten in seinen speziellen Anforderungen. Der direkte Wechsel zwischen zweidimensionaler Radioskopie und dreidimensionaler Computertomografie sorgt für zusätzliche Effizienz. Dabei hat das UX20 etliche CT-Modi von den Laborsystemen übernommen: Kegelstrahl-CT mit QuickScan und QualityScan, eine virtuelle Rotationsachse und verschiedene Erweiterungen des Scan-Bereichs, um selbst die größten Gussteile im System dreidimensional erfassen zu können. Die Erstellung von Prüfprogrammen für die halbautomatische Inspektion von

Kleinserien ist dabei genauso einfach wie das Prüfen selbst: Mit Hilfe einer knappen Menüführung können einzelne Sequenzen inklusive Filtern, Referenzbildern und Markierungen abgespeichert und jederzeit abgerufen werden. Der Prüfbericht wird automatisch im Hintergrund zusammen mit allen Bildern und Einstellungsparametern abgespeichert und kann nach Bedarf angezeigt werden.

Zusätzlich sind alle Aspekte des ergonomischen Arbeitens bedacht. Die Bedieneinheit ist direkt am System befestigt und höhenverstellbar, um das bequeme Arbeiten sowohl im Sitzen als auch im Stehen zu ermöglichen. Besonders bei schweren Prüfteilen ist der neue Teilemanipulator hilfreich. Er verfährt bei Schließen der Beladetür automatisch in die korrekte Prüfposition und nach der Prüfung



mit Öffnen der Tür wieder zurück in die Beladeposition am Kabinenrand. Das bedeutet nicht nur eine körperliche Erleichterung für den Anwender, sondern spart Zeit.

Genauso intelligent und ökonomisch sind die Systemkomponenten Generator, Hochspannungskabel und Kühler in die Kabine integriert – ge-

schützt und trotzdem für Wartungsarbeiten leicht zugänglich. So müssen zum Beispiel nur zwei Schrauben gelöst werden, um den Kühler bei Bedarf leichtgängig auf einem Schienenpaar in ergonomischer Höhe aus der Kabine herauszuziehen. Mit zahlreichen Optionen und Upgrade-Möglichkeiten ist das YXLON UX20 System für die Zukunft gerüstet und wächst mit den Anforderungen des Anwenders. Ursprünglich als Basisystem in der Standardkonfiguration angeschafft, kann es durch eine Auswahl an Detektoren, den optionalen 600 mm Drehteller und den universellen Prüfteilhalter aus Carbon, den Yxlon Rubinkugelprüfkörper zur Überprüfung der Messungenauigkeit, die separate CT-Analyse-Station sowie Rekonstruktions-PCs in drei unterschiedlichen Leistungsstufen zum Spezialsystem aufgerüstet werden.

YXLON
PRESENTS

UX20

THE EASY INSPECTION

YXLON'S UX20 SYSTEM WITH ITS GEMINI SOFTWARE PLATFORM IS THE START OF THIS NEW INSPECTION EXPERIENCE. EXPLOIT THE **FULL POTENTIAL OF BOTH X-RAY AND CT INSPECTIONS** TO MEET YOUR INDIVIDUAL QUALITY ASSURANCE NEEDS TODAY AND TOMORROW.

WWW.YXLON.COM/PREMIERE



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

Fachgebetsleiter / Ordinarius



Foto: Steffen Böttcher

**Abb.: Metakushalle –
Gießtechnikum des GTK in Baunatal,
Foto: Studio Blafield.**



Zentrum für Gussleichtbau und Konstruktion

Lehrstuhl für Gießereitechnik an der Universität Kassel

**Am Lehrstuhl für Gießereitechnik
GTK der Universität Kassel
wird die praxisnahe Forschung
und Lehre auch in Corona-Zeiten
großgeschrieben.**

Nun ist es schon bald ein Jahr her, dass die Universitäten und Hochschulen ihre Pforten für Studierende geschlossen haben und die wissenschaftliche Lehre überwiegend via Web-Konferenzen, entweder live oder mittels Aufzeichnungen, stattfindet. Dies ist ganz sicher betrüblich, denn der persönliche Austausch face-to-face, die universitäre Lernatmosphäre zwischen Lehrenden und Studierenden, der lebendige Campus mit viel Lachen und vielen Gesprächen bis hin zu gemeinsamen Mahlzeiten in der Mensa – all das gehört schon lange der Vergangenheit an und ist grundsätzlich durch nichts zu ersetzen. Und dennoch, wer mal genau hinschaut wird vielleicht erstaunt sein, mit welcher Kreativität nicht zuletzt auch die Gießereilehrstühle versucht haben, aus der Not eine Tugend zu machen und neue Lehr- und Kommunikationsformate entwickelt haben, um nicht nur den Lernstoff zu vermitteln, sondern auch ein Mindestmaß an Austausch mit den Studierenden zu ermöglichen. Prof. Dr.-Ing. Martin Fehlbier, Inhaber des Lehrstuhls für

Gießereitechnik GTK an der Universität Kassel hatte sich erst einmal dafür entschieden, seine Vorlesungszeiten während der Woche beizubehalten, um somit den Studierenden einen zeitlichen Rahmen vorzugeben, der ihnen eine gute Planung ihres Tagesablaufes ermöglicht. Per Webex-Videovorlesung konnten sich die 36 Studierenden der Gießereitechnik I Vorlesung einloggen, live den Aufführungen ihres Dozenten folgen und ihn dabei auch sehen. Dabei konnten auch spontane Fragen gestellt werden, was sehr gut funktioniert hat. Da es den Studierenden freigestellt war, den eigenen Bildschirm freizugeben, waren natürlich nicht alle Studierenden zu sehen, was für den Dozenten sicherlich einen kleinen Wehrmutstropfen darstellt, aber in dieser Situation eben auszuhalten gilt.

Das GTK bietet semesterübergreifend aktuell 11 Veranstaltungen aus dem Bereich Gießereitechnik aber auch der Konstruktion an, die zum großen Teil mit praktischen Bestandteilen aufwarten können, was in den letzten Jahren für ein großes Interesse sorgte. Dazu gehören unter anderem die Vorlesungen „Gussgerechtes Konstruieren und virtuelle Produkt- und Prozessentwicklung“, „Numerische Simulation gießtechnologischer

Prozesse für Leichtbauanwendungen“ und zwei Praktika, welche normalerweise im Simulationslabor auf dem Campus der Universität Kassel stattfinden.

Obwohl die Anwesenheit der Studierenden im Simulationslabor in diesem Jahr coronabedingt nicht möglich war, wurden die Veranstaltungen dennoch nicht abgesagt, sondern konnten durch den Einsatz von Fernzugriffsssoftware unter Anwesenheit des Dozenten im Raum ohne Qualitätsabstriche angeboten werden. In Bild 1 ist beispielhaft einmal der Simulationsraum am GTK mit einzelnen Laptops zu sehen, was sich auf der gegenüberliegenden Seite des Raumes fortsetzt.

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. 1: Technischer Aufbau zur Durchführung der Praktika in einem Computerraum des GTK.



Jeder Student konnte sich von extern auf einen Rechner aufwählen und seine Simulations- und Konstruktionsarbeiten vor den Augen des Dozenten ausführen. Bei Problemen oder Fragen konnte der anwesende Dozent direkt sehen, an welcher Stelle der Student gerade arbeitet und direkt darauf eingehen. Es war also gerade so, als wären die Studenten im Raum anwesend. Auch dies hat, abgesehen von der ein oder anderen temporär auch mal schwächernden Internetverbindung, sehr gut funktioniert.

Die Experimente aus den Praktika wurden teilweise von Mitarbeitern durchgeführt und mit Kameras aufgenommen. So konnte den Studenten zur Bearbeitung der Aufgabenpakete die Video-Aufzeichnungen zur Verfügung gestellt werden.

Auch die klassischen Vorlesungen, wie „Fertigungstechnik“, „Automobil- und Fahrzeugguss (Gussleichtbau)“ und „Maschinen- und Anlagenguss“ konnten mit Hilfe von Online-Angeboten abgehalten werden. Hinsichtlich der zusätzlichen aktuellen Herausforderungen bezüglich Digitalisierung und Industrie 4.0 wurde am GTK in Zusammenarbeit mit der Fa. Oskar Frech, Herr Dr. Erhard, die neue Gastvorlesung „Moderne (Warmkammer-)Druckgießen im Kontext von Industrie 4.0, Smart Technologies und Digitalisierung mit praktischer Anwendung“ etabliert. Neben theoretischen Aspekten wer-

den den Studierenden die Bedienung der Warmkammer-Druckgießzelle, die Fertigung von Gusskomponenten und die Einbindung in die digitale Umgebung vermittelt. Auch weitere Gastdozenten von Volkswagen konnten ihre Beiträge erfolgreich via Web einbringen. Und dennoch: eine Universität lebt von jungen Menschen und ihrem Lerncampus und so bleibt zu hoffen, dass hier möglichst bald wieder Normalität einzieht. Und noch ein positiver Aspekt: viele Studierende sind bekanntlich auf einen Nebenjob angewiesen, um so zu ihren Lebenshaltungskosten beizutragen. Im Gegensatz zu anderen Fachgebieten an der Universität musste keinem Gießereistudenten am GTK der Hiwi-Job aufgekündigt werden – im Gegenteil es sind sogar noch zwei weitere hinzugekommen und das trotz auch hier erschwerten Bedingungen. Dafür hat sich Prof. Fehlbier persönlich eingesetzt und darauf sind wir auch stolz.

Am GTK der Universität Kassel wurde das wissenschaftliche Arbeiten in den letzten Monaten wo immer möglich ins Homeoffice verlegt. Die Anwesenheit derjenigen, die an praktischen Experimenten arbeiten, wurde unter strenger Einhaltung der bekannten Hygienevorschriften jedoch ein größtmöglicher Spielraum im Gießtechnikum Metakushalle eingeräumt, was ebenfalls sehr gut funktioniert hat. Auch studentische Abschlussvorträge und Kolloquien wurden über Web-

Konferenzen abgehalten. Wie überall mussten Firmenbesuche und Dienstreisen bis hin zu Exkursionen jedoch nahezu vollständig eingestellt werden – und auch hier erhoffen wir einen nahenden Frühling.

Strategie und neue Ausstattung am Lehrstuhl für Gießereitechnik GTK der Universität Kassel

Der Lehrstuhl für Gießereitechnik GTK an der Universität Kassel unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Martin Fehlbier versteht sich mit aktuell 19 Mitarbeitern als „Zentrum für innovativen Gussleichtbau und Konstruktion“ und verfügt über eine industriennahe, hochmoderne Labor- und Anlagenausstattung. Die wissenschaftliche Ausrichtung in Forschung und Lehre liegt neben grundlegenden Untersuchungen der Zusammenhänge Prozess-Gefüge-Eigenschaften in den Bereichen der konstruktiven Bauteilauslegung, Prozesssimulation, der Verarbeitung von Leichtmetallwerkstoffen bis hin zur gezielten Legierungsentwicklung, Gradientenausbildung bzw. hybriden Prozess- und Bauteilauslegung unter energie- und ressourceneffizienten Aspekten.

Durch die enge Kooperation zwischen dem GTK und industriellen Partnern soll der Standort Kassel vor dem Hintergrund des aktuellen industriellen und gesellschaftlichen Wandels sukzessive ausgebaut werden. Hierbei nehmen die Durchführung von Grundlagen- und industrie-



Abb. 2: Die im November 2020 gelieferte Yizumi UN1250MGII Thixomolding-Maschine

2

nahen Forschungsprojekten sowie die akademische Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses herausragende Schlüsselrollen ein.

Gerade in der Praxis besteht eine enge Kooperation mit den unterschiedlichsten Partnern aus der Industrie. Hierzu zählen nicht nur große Automobilhersteller und NE- sowie FE-Gießereien, sondern auch weitere Partner aus der Zulieferer-industrie, Anlagen- und Bindemittelhersteller, Werkzeugbauer sowie Aluminium- und Werkzeugstahlproduzenten bis hin zu Konstrukteuren und Simulationssoftware-Entwicklern. Zur Bündelung der Interessen und des Know-hows wurde zur Durchführung von

Gemeinschaftsforschungsprojekten, zum weiteren Institutsaufbau und zur wissenschaftlichen Nachwuchsförderung am GTK der „Industrie-Förderkreis Gießereitechnik – Innovativer Gussleichtbau“ etabliert, dem inzwischen über 25 Firmen angehören. Die Konferenzen des Industrieförderkreises mussten im vergangenen und vermutlich auch in diesem Jahr zwar online abgehalten werden, dem Interesse und den fundierten Diskussionsrunden tat dies jedoch keinen Abbruch.

Den besonderen Umständen zum Trotz wurde die Ausstattung des Lehrstuhls weiterentwickelt und damit das Forschungsprofil des GTK weiter

geschärft. Auf einige Beispiele soll nachfolgend eingegangen werden.

Neue 1.250 t Yizumi Thixomolding-Anlage am GTK – Erforschung und Erprobung von Semisolid-Gießverfahren anhand aktuellster Technik

Zur Untersuchung von Bauteilen und Prozessvarianten im Kalt- und Warmkammerdruckguss steht neben der schmelzflüssigen auch die teilstoffflüssige Verarbeitung von Aluminium-Werkstoffen mittels SSR-Rheocasting am GTK im Fokus. Zur Vervollständigung der gießtechnischen Ausstattung erfolgte im November 2020 zusammen mit der Fa. Yizumi Deutschland GmbH die Aufstellung einer Mg-Thixomoldingmaschine im GTK Gießtechnikum Metakushalle der Universität Kassel, **Bild 2**. Die Maschine verfügt über eine Schließkraft von 1.250 t, einen Schneckendurchmesser von 100 mm und ein Schussgewicht von bis zu 3 kg. Darüber hinaus erfolgt zu Jahresbeginn eine vollständige Automatisierung inklusive Teilekontrolle durch die Fa. SAR Elektronik GmbH, **Bild 3**. Sie ergänzt die bestehende hochinnovative, modulare und vollautomatisierte Bühler Carat 140 Al-/Mg-Vakuum-Kaltkammer-

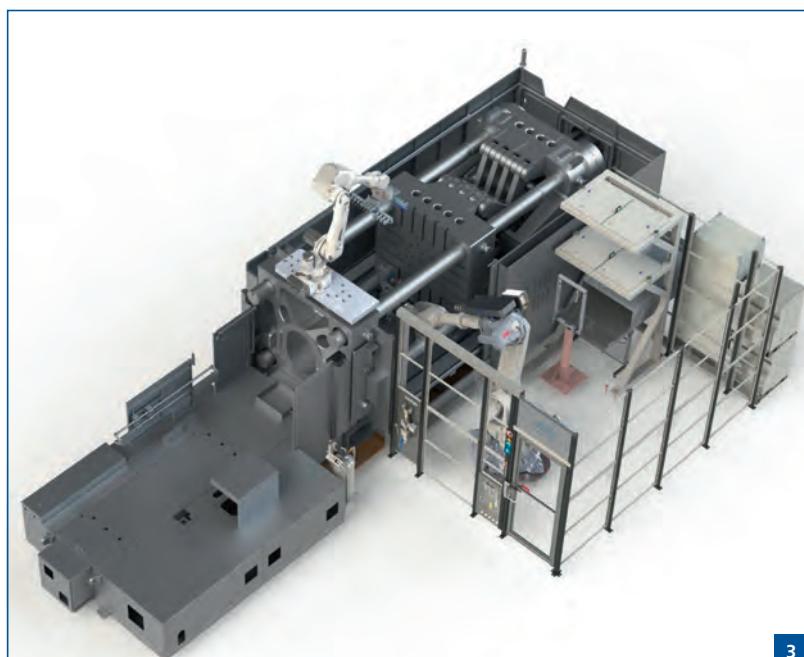


Abb. 3: Rendering der vollständigen Automatisierung inklusive Teilekontrolle durch die Fa. SAR Elektronik GmbH an der Yizumi Thixomolding-Maschine.

3

Abb. 4: Entnahme eines Federbeindoms aus dem Dreiplattenwerkzeug von Mercedes-Benz, Foto: Studio Blafield.



druckgießmaschine mit Zweiplatten-Technologie, modernster Messtechnik und einer Schließkraft von 1.400 t, die in der deutschen Forschungslandschaft einzigartig ist. Seit letztem Jahr verfügt das GTK zudem über eine Dauerleihgabe von Mercedes-Benz in Form eines Dreiplattenwerkzeugs für Federbeindome, mit dem z.B. Legierungsuntersuchungen oder auch Rheogussuntersuchungen an den Strukturkomponenten vorgenommen werden können, **Bild 4**.

Auch die generalüberholte Mg-Warmkammerdruckgießzelle DAM500F von Frech mit einer Schließkraft von 580 t und beheiztem Gießzylinder bleibt wichtiger Bestandteil des GTK Gießtechnikums mit vielen neuen Forschungsprojekten.

Das Thixomolding-Verfahren basiert auf dem Extruderprinzip, das ebenfalls im Kunststoffspritzguss angewendet wird. Das verwendete Mg-Granulat wird durch eine externe Beheizung unter Schereinwirkung im Schneckenzyylinder der Maschine erwärmt. Der Aufbau der Maschine erlaubt die Herstellung von teilflüssiger, thixotroper Schmelze bei Arbeitstemperaturen zwischen Liquidus- und Solidustemperatur der Mg-Legierung. Die Schmelze liegt dabei in einem hochviskosen Zustand mit einem variablen Feststoffgehalt in flüssiger Restschmelze vor. Durch die Einwirkung der Scherkräfte bleibt aufgrund

der rheologischen Eigenschaften der teilflüssigen Schmelze das Fließvermögen erhalten. Durch die Scherwirkung der Schnecke werden dendritische Vorerstarrungen zerstört und die Bruchstücke als Keime homogen im Vormaterial verteilt, sodass sich eine globulitische Gefügestruktur einstellt. Die Feststoffanteile führen zusätzlich zu einer quasi-laminaren Formfüllung und dadurch zu einer geringeren Gas- und Erstarrungsporosität, was zu einer Verbesserung der mechanischen Eigenschaften beiträgt.

Zudem wird die Vorhaltung überhitzer Schmelze in offenen Warmhalteöfen überflüssig, sodass durch das geschlossene Extrudersystem der Einsatz von Schutzgasen optional entfallen kann, was die Umweltfreundlichkeit sowie die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens steigert.

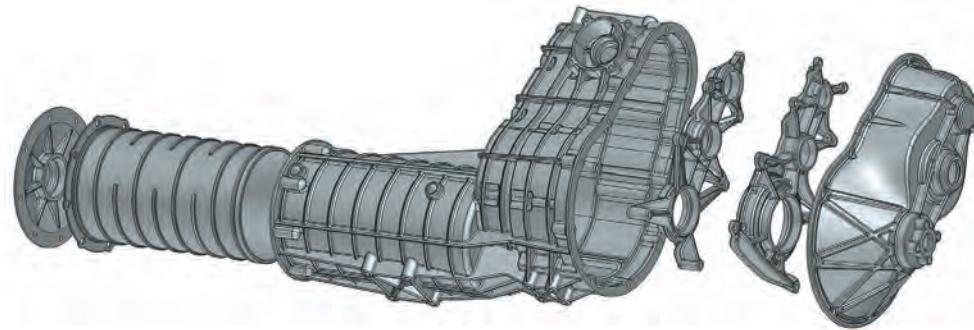
Der aktuelle Leichtbautrend zu größeren Mg-Komponenten im Automotive-Sektor (z.B. Instrumententräger oder auch Steuergehäuse) mit erhöhten Schließkräften oder Mehrfachkavitäten sowie neue Mobilitätskonzepte (Fahrräder, Scooter, etc.) bei gleichzeitig steigenden Qualitätsanforderungen befördern aktuell die Nachfrage nach Mg-Leichtbaulösungen. Mit Partnern aus Forschung und industrieller Praxis werden mit dem Thixomolding-Verfahren am GTK aktuell verschiedene Untersuchungen und Projekte vorbereitet, die insbesondere auf die Hebung der

ungenutzt Leistungspotentiale des Verfahrens abzielen.

Aktuell erfolgt die Entwicklung einer sensorbasierten Versuchsform zum Abguss von Mustergeometrien zur Legierungs- und Prozesscharakterisierung nach dem Schema „Prozess-Gefüge-Eigenschaften“, Durchführung von Parameterstudien sowie zum Abgleich Simulation/Experiment mit SIGMAsoft. Mit weiteren Partnern sind bereits öffentlich geförderte Projekte in der Beantragung.

LOEWE-Projekt „HyGear“

Im Rahmen des öffentlich geförderten hessischen LOEWE-Projektes „HyGear“, welches gemeinsam mit dem vom GTK ausgegründeten Kasseler Start-Up Unternehmen „Revolute GmbH“ durchgeführt wird, wird ein völlig neues Hybridgetriebe zunächst für Kleinfahrzeuge im überwiegend urbanen Umfeld entwickelt. Durch die Kombination eines Elektromotors als Hauptantriebsaggregat mit einem wesentlich kleineren Verbrennungsmotor (Benzin/Diesel) soll neben einer signifikanten Effizienzsteigerung auch die Reichweite des E-Fahrzeugs gesteigert werden. In diesem Projekt entwickelt das GTK ein innovatives Aluminium-Leichtbaugehäuse, das das patentierte Planetengetriebekonzept der „Revolute GmbH“ beinhaltet. Für den ersten Prototyp des Gehäuses, siehe **Bild 5**, wurden mittels Topologieoptimierungs-Software die groben Bauteil-



5

formen vorgegeben und nachkonstruiert, Bild 6. Die Belastungen, die von der Verzahnung hervorgerufen werden und auf das Gehäuse einwirken, wurden mittels der Software der KISSsoft AG für verschiedene Lastfälle berechnet. Die nachkonstruierten Bauteile wurden dann wiederum durch verschiedene FEM-Berechnungen und Gießsimulationen nach dem Durchlaufen von mehreren Schleifen validiert und zur Prototypenfertigung freigegeben. Weiterhin wurde mittels CFD-Simulation eine Wasserkühlung durch einen mit dem Stator des Elektromotors gefügten Kühlmantel berechnet und ausgelegt. Im Anschluss an die eher theoretische Entwicklung und Gießsimulationen am Computer konnten die fünf zugehörigen Gussgehäusebauteile in enger Zusammenarbeit mit der HA-Group (Hüttenes Albertus) mittels 3D-gedruckten Sandformen in deren „Center of Competence“ abgegossen werden.

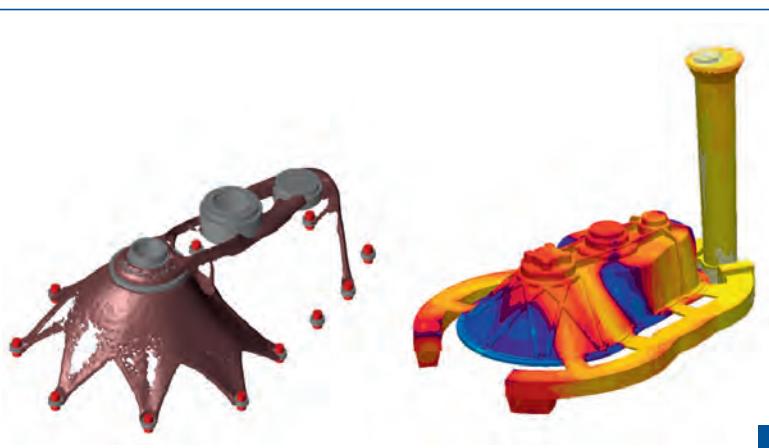
Im nächsten Schritt wird im Zusammenspiel mit den ebenfalls eigens angefertigten Getriebebauteilen ein Prototyp des neuen Getriebes auf einem neu entwickelten Prüfstand aufgebaut und getestet.

Neue Messinstrumente am GTK zur Thermoanalyse von Feststoffen und Gasen mittels Wärmeleitfähigkeits- (LFA) und Wärmekapazitäts- & thermogravimetrischer Messungen (STA)

Zur Bestimmung der spezifischen Wärmeleitfähigkeit werden in der Praxis vornehmlich Laserflash/Hyperflash-Analysegeräte (LFA) eingesetzt. Besonders für spezielle Legierungs zusammensetzungen (neue Gusswerkstoffe / Recyclingwerkstoffe), für graduierte Materialien, wie sie in der Werkstofftechnik häufig anzutreffen sind, aber auch zur Ermittlung richtungsabhängiger Eigenschaften fehlt es häufig an entsprechend belastba-

Abb. 5: Explosionsdarstellung der entwickelten 5 Guss-Gehäusekomponenten für den neuen HyGear-Antrieb für Hybrid-Fahrzeuge.

ren Kennwerten. Für Sandformen und Sandkerne werden ebenfalls fundierte Informationen zur Wärmeleitfähigkeit benötigt. Insbesondere zu 3D-gedruckten Sandgussformen und Bau teilen fehlen aktuell grundlegende Daten. Zudem existieren zurzeit nur sehr einfache Materialmodelle, welche am Lehrstuhl für Gießereitechnik in Kassel zukünftig deutlich verbessert werden sollen. Hierfür werden spezielle Geräte benötigt, welche für die Bestimmung der Kennwerte von (flüssigen) Metallen, Sandgussformen oder anderen Werkstoffen, wie Beton oder Feuerfestmassen, für den Hoch temperaturbereich geeignet sind. Besonders für die am GTK laufenden Forschungsvorhaben, die sich u.a. mit der Funktionsweise von exothermen Speisereinsätzen im Eisenguss oder der Kurzzeitwärmbehandlung von Aluminiumlegierungen beschäftigen, ist ein solches Gerät von hohem Interesse. In Bild 7 das am GTK neu beschaffte System aus Laserflash/ Hyperflash-Analysegerät (LFA) in Kombination mit einem STA-Analyse-



6

Abb. 6: Designvorschlag aus der Topologie optimierung mit Altair Inspire (links) und Erstarrungssimulation mit MAGMAsoft für den Getriebedeckel (rechts).

Abb. 7: LFA- und STA-Anlage im Werkstofftechnischen Labor des GTK.



7

Abb. 8: Untersuchung zum Korrosionsverhalten verschiedener Mg-Legierungen und Mg-Schutzgase, Foto: Studio Blafield.

gerät abgebildet. Simultane STA-Analysegeräte verbinden die dynamische Differenzkalorimetrie (DSC) zur Bestimmung der Wärmekapazität mit der thermogravimetrischen Analyse (TGA) einer Probe, also der Massenänderung während des Aufheizvorgangs. Am GTK wird sich in einer Vielzahl von Forschungsprojekten sowie in der studentischen Ausbildung mit der Entwicklung, Charakterisierung und Verarbeitung moderner Werkstoffe sowie deren Oxidationsverhalten bei Temperaturen bis und über Liquidus befasst. Für Grundlagenuntersuchungen bestanden bisher an der Universität Kassel nur eingeschränkte Möglichkeiten, die Wärmekapazität metallischer, häufig auch hochschmelzender und reaktiver Proben in ausreichender Genauigkeit zu bestimmen. Mit dem neuen Gerät können auch Messungen in korrosiver Umgebung durchgeführt werden. Zur Validierung von Simulationsergebnissen für CFD-Simulationen bei

metallischen Werkstoffen sowie zur Berechnung der Energiegleichungen beim Schmelzen von Metallen führen nur korrekte Eingangswerte zu genauen Ergebnissen. In bisherigen Forschungsprojekten wurden die benötigten Wärmekapazitäten häufig durch Literaturangaben oder JMatPro-Berechnungen ermittelt. Die Möglichkeit zur DSC-Messung an Aluminium- und Magnesiumlegierungen sowie Stählen und Gusseisen bis zu Temperaturen von 1400 °C stellt eine weitere wichtige Säule der Werkstoffanalytik am GTK dar und erhöht damit die angestrebte Präzision in CFD- und FEM-Simulationen.

An der Universität Kassel war bislang kein Analysegerät vorhanden, welches eine thermogravimetrische Analyse von Metallproben unter Verwendung korrosiver Gase zulässt, z.B. Magnesiumproben unter Schutzgasatmosphäre. In der internationalen Fachliteratur wird das Oxidationsver-

halten von Magnesiumproben stets mittels einer korrosionsbeständigen DSC/TGA & LFA untersucht. Die Analyse gibt Aufschluss über die Wirkung unterschiedlicher Mg-Schutzgase sowie der Korrosionsneigung der untersuchten Legierungen und stellt hohe Anforderungen an die verwendete Messtechnik. Die aktuell eingesetzten Mg-Schutzgase sind entweder schwefel- oder fluorhaltig, in jedem Fall aber korrosiv. Da die eingesetzten Schutzgase zudem entweder toxisch oder umweltschädlich sind, gibt es aktuell starke Forschungsbestrebungen die Effektivität der Mg-Schutzwirkung zu optimieren, um den Verbrauch des eingesetzten Gases zu reduzieren oder neuartige, CO₂-neutrale und nichtgiftige Mg-Schutzgase zu entwickeln und zu analysieren. Da am Fachgebiet für Gießereitechnik sowie diversen anderen Fachgebieten der Universität ein Forschungsschwerpunkt auf die Funktionsintegration von Leichtbaukomponenten für elektrifizierte Antriebe gelegt wurde, ist die grundlegende Untersuchung von Leichtmetallwerkstoffen, wie z.B. Magnesium essenziell, Bild 8.



8

Das beschaffte System „STA 449 F3 Jupiter“ der Fa. NETZSCH-Gerätebau GmbH ermöglicht die simultane hochgenaue DSC-Analyse mit einem Messfehler von nur noch +-2% und einer TGA welche für die genannten korrosiven Gase unempfindlich ist.

Druckguss im Wandel – Komplexe Bauteile erfordern neue Werkzeugkonzepte

Der Wandel in der Automobilindustrie hin zu alternativen Antriebskonzepten führt zu einer Vielzahl neu gestalteter Teilefamilien mit hoher Komplexität bei zunehmender Funktionsintegration. Um eine stabile Prozessführung und Bauteilqualität zu gewährleisten bedarf es neuer Werkzeugkonzepte, die auch in zunehmendem Maß Umweltaspekten Rechnung tragen.

Hierbei beschreitet die voestalpine AG als Technologiekonzern neue Wege: Lokal werden über additive und thermische Verfahren Werkstoffe mit anwendungsbezogener Leis-

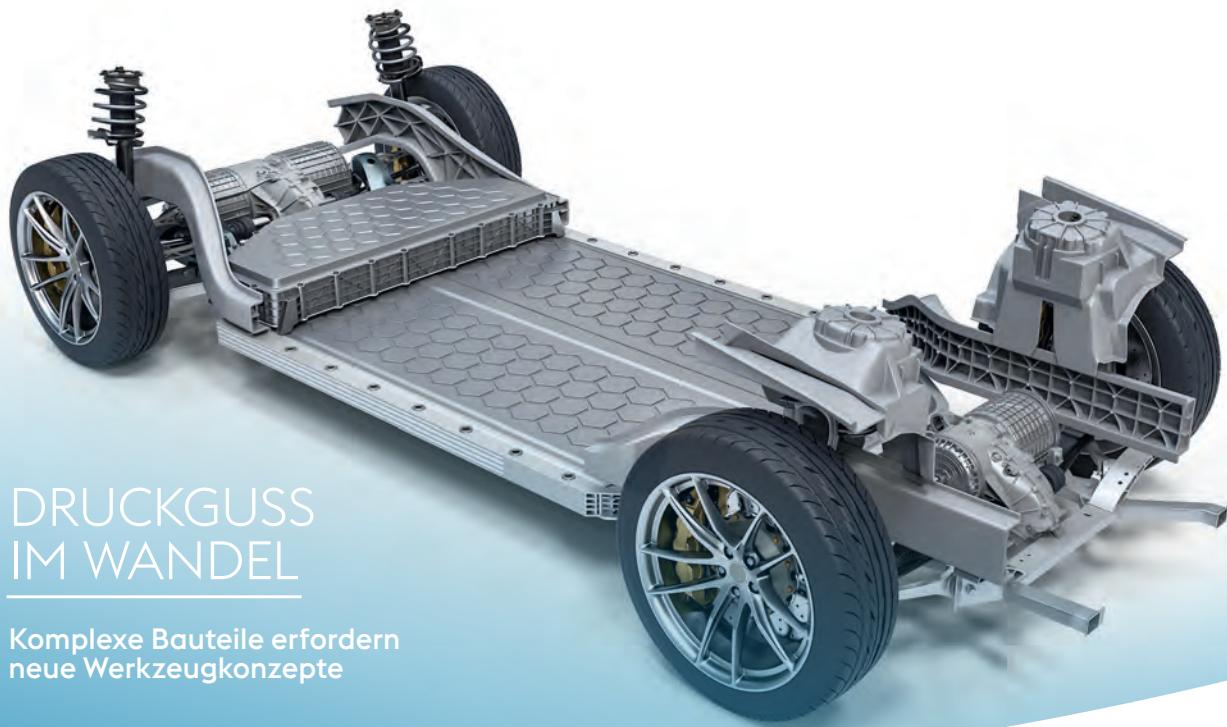
tungscharakteristik in Formeinsätze eingebracht. Insbesondere durch thermische Verfahren ist eine Skalierbarkeit von Teileinsätzen zu Formeinsätzen gegeben. In Verbindung mit formfolgenden oder kapazitiven Temperiersystemen können hierbei gezielt Wärmegradienten eingestellt werden. In Kombination mit funktionalisierten Oberflächen führt dies zu definiertem Fließ- und Füllverhalten in der Kavität, vermindert thermische Spannungen in Formbereichen mit hohen Querschnittssprüngen und reduziert die Thermoschockbeanspruchung durch ein intelligentes Thermomanagement. Somit sinkt der Gussteilausschuß signifikant, die

Formlebensdauer steigt und die CO₂-Bilanz des Gesamtprozesses verbessert sich erheblich.

Autor: Dr. Alexander Sieger

Kontakt

voestalpine High Performance Metals Deutschland GmbH
Hansaallee 321, D-40549 Düsseldorf
Tel.: +49 (0)211 522-0
highperformancemetals-deutschland@voestalpine.com
www.voestalpine.com/hpm/deutschland



Komplettservice für die Gießereiwelt

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

Als langfristiger Partner begleiten wir die gesamte Gießereiwelt über das RetroFit hinaus mit einem spezialisier-ten Dienstleistungsangebot in allen vor- und nachgelagerten Leistungsbereichen, die mit der Optimierung der Produktion und der Steigerung

der Rentabilität 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 Druckgießmaschinen 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 zur unseren Qualitätsan-

sprüchen, 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.

Kontakt

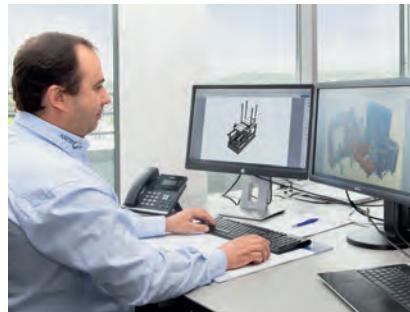
Antrok Gießereiservice GmbH
Am Fieseler Werk 3 + 5
D-34253 Lohfelden
Tel.: +49 (0)561 47562-0
giessereiservice@antrok.de
www.antrok.de



EFFIZIENZGEWINN DURCH INTELLIGENTE DIENSTLEISTUNG

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.

WWW.ANTROK.DE



High-End-OES-Analysator für die Prozesskontrolle und Forschung in der Metallanalyse

Das leistungsstarke Funkenspektrometer SPECTROLAB S stellt eine echte Revolution in der High-End-OES-Metallanalyse dar: Dank SPECTROs proprietärer CMOS+T Technologie besticht das Gerät durch schnellste Messungen, niedrigste Nachweisgrenzen, höchstmögliche Verfügbarkeit und zukunftssicherste Flexibilität in seiner Klasse.

Viele Anwender von stationären High-End-Metallanalysatoren haben die Aufgabe, alle Elemente in Materialien im Wareneingang, in der Produktion und im Materialausgang – mit außergewöhnlich hoher Genauigkeit und Präzision – zu identifizieren und zu messen. Dies kann auch die Erforschung neuer Materialien beinhalten. Das neue SPECTROLAB S ist das leistungsstärkste Spektrometer für Primärmetallerzeuger – und eine ebenso exzellente Lösung für Sekundärmetallhersteller, Automobil- und Luft- und Raumfahrthersteller sowie für Hersteller von Fertigprodukten und Halbfabrikaten, Elektronik, Halbleitern und anderen Endprodukten.

Das SPECTROLAB S erfüllt die Anforderungen des Metallmarktes hinsichtlich einer außergewöhnlich hohen Messgeschwindigkeit und des Probendurchsatzes. Beispiel: Bei der Analyse von niedriglegiertem Stahl kann es hochgenaue Messungen in weniger als 20 Sekunden liefern.

Das SPECTROLAB S verfügt über das weltweit erste CMOS-basierte Detektorsystem, das für die High-End-Metallanalyse perfektioniert wurde – dank SPECTROs proprietärer CMOS+T Technologie. Von Spurenelementen bis hin zu Multi-Matrix-Anwendungen bietet es eine schnelle, hochpräzise Analyse und die niedrigsten Nachweisgrenzen seiner Klasse – Grenzen, die bisher nur mit PMT-Detektoren erreichbar waren. Bei einigen Schlüsselementen übertrifft die CMOS+T Technologie des SPECTROLAB S die PMT-Leistung.

Kontakt

SPECTRO Analytical Instruments GmbH

Boschstraße 10, D– 47533 Kleve

Tel.: +49 (0)2821 892-0

Fax: +49 (0)2821 892-2200

spectro.info@ametek.com

www.spectro.de/lab-s



Eine echte Revolution in der High-End-Metallanalyse



Das neue SPECTROLAB S ist eine Klasse für sich. Es wurde entwickelt, um schnellstmögliche Messungen, niedrigste Nachweisgrenzen, höchstmögliche Verfügbarkeit und größtmögliche Zukunftssicherheit zu gewährleisten.

Es verfügt über das **weltweit erste CMOS-basierte Detektorsystem**, das für die High-End-Metallanalyse perfektioniert wurde – dank SPECTROs proprietärer CMOS+T Technologie. Von Spurenelementen bis hin zu Multi-Matrix-Anwendungen bietet es eine extrem schnelle, hochpräzise und äußerst flexible Analyse.

www.spectro.de/lab-s



Prof. Dr.-Ing. Dierk Hartmann

Hochschule für
angewandte Wissenschaften Kempten
Labor für Werkstofftechnik
und Betriebsfestigkeit

Autoren:

Prof. Dr. rer. nat. Johannes Gottschling
Annika Tonnus
Caroline Biedermann, Duisburg

Prof. Dr.-Ing. Dierk Hartmann
Tim Kaufmann, Kempten

A close-up, slightly blurred photograph of a computer monitor showing a terminal window with Python code. The code appears to be part of a script named 'EidoProcessorRegSupervisor.py'. It includes imports from 'Enums', 'EidoProcessorUtils', 'Models', 'ensembles', 'sklearn', and 'ensembles'. The code is color-coded, with keywords in blue and variable names in black. The background of the slide features a dark blue gradient.



Die Steigerung von Material- und Energieeffizienz sowie die Reduktion von CO₂-Emmissionen gehören zu den wesentlichen Zielsetzungen von Kreislaufwirtschaft. Die Verwendung von langlebigen Materialien möglichst ohne Verluste und unter geringem Energieeinsatz ist ein Konzept für eine ressourcenschonende Kreislaufwirtschaft. Die Stahl-, NE-Metall und gerade auch die Gießerei-Industrie erfüllen weitgehend die Forderung nach geschlossenen Material-Kreisläufen. Dabei spielt die Verwendung von Schrotten eine ganz wesentliche Rolle. Schrotte sind jedoch ein knappes Gut und so stellen sich immer drängender Fragen, inwiefern deren Beschaffung und Einsatz im Hinblick auf ökologische und ökonomische Effizienz optimiert werden kann. Dieser Beitrag beschreibt eine Möglichkeit, wie dies mit innovativen Digitalisierungsmethoden gelingen kann.

In Schmelzbetrieben, die durch metallurgische Prozesse die Zielzusammensetzung ihrer Schmelzen selbst erzeugen, werden die Schmelzcharge aus verfügbaren Schrotten der Recyclingindustrie, aus Zukäufen primärer Legierungselemente und

Digitale Lösungen für eine effiziente Rohstoffbeschaffung

Vorlegierungen sowie aus internem Kreislaufmaterial zusammengestellt. Die Erhöhung des Anteils an Recyclingmaterial leistet einen wesentlichen Beitrag, wenn eine ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft sichergestellt und der Zukauf teurer Primärmetalle minimiert werden soll [1]. Unmittelbare Material- und Energieeffizienz wird möglich, wenn auf dem Markt verfügbare Schrottmaterialien zielgenau entsprechend der geforderten Endanalyse, der Verfügbarkeit internen Kreislaufes und der individuellen Schmelzmetallurgie bei minimalem Einsatz von Vorlegierungen oder Primärmetallen zu konditioniert werden können. Vorstellbare positive Nebenaspekte liegen in der Möglichkeit, die Abhängigkeit von Rohstoffimporten aus dem Ausland zu reduzieren und in Bezug auf die Lebenszyklusperspektive effektiv und nachhaltig Ressourcen einzusparen [2]. Um diese Ziele zu erreichen, müssen die Schmelzbetriebe allerdings ganzheitliche Informationen über die angebotenen Schrotte erhalten. Je genauer ein Schmelzbetrieb über technische, chemisch-physikalische und wirtschaftliche Eigenschaften seiner Einsatzmaterialien informiert ist, desto umfangreicher und effektiver kann Recyclingmaterial eingesetzt sowie Primärmaterial eingespart werden.

Zu diesen Informationen gehören sowohl das verfügbare Volumen als auch dessen präzise chemische und physikalische Analyse. Nur so können Schmelzbetriebe eine optimierte Gattierung für eine Ziellegierung bestimmen. Erschwert wird die zielgenaue Analyseneinstellung durch spezifische Zu- und Abbrände, die abhängig sind von der Art des Einsatzmaterials und

Kontakt

**Hochschule für angewandte Wissenschaften Kempten
Labor für Werkstofftechnik und Betriebsfestigkeit**
Prof. Dr.-Ing. Dierk Hartmann
Bahnhofstraße 61
D-87435 Kempten
Tel.: +49 (0)831-2523-195
dierk.hartmann@hs-kempten.de
www.wp-kempten.de

**Institut für Technologien der Metalle, Lehrstuhl
Mathematik für Ingenieure, Universität Duisburg-Essen**
Prof. Dr. rer. nat. Johannes Gottschling
Friedrich Ebert Str. 12
D-47119 Duisburg
Tel.: +49 (0)203 379-3459
johannes.gottschling@uni-due.de
www.uni-due.de/mfi

Abb. 1: Konzept zur integrierten digitalen Prozessoptimierung mit cloudbasierten Rohstoffhandel

der betriebstypischen Führung des Schmelzprozesses. Klassische mathematische Modelle stoßen deshalb bei der Gattierungsrechnung schnell an ihre Grenzen. Weiterhin sind bei dieser Optimierungsaufgabe aus Unternehmenssicht ökonomische Aspekte in Form einer Total-Cost-Betrachtung für das Finden einer passenden Lösung unbedingt zu berücksichtigen. Der Beitrag beschreibt den Aufbau eines digitalen Systems, das den Schmelzbetrieben die Möglichkeit bietet, vollständige Informationen (z.B. Analytik, Mengen, Attribute, Energieeinsatz, Preise) über verfügbare und prozessrelevante Rohstoffe der Recyclingindustrie zu erhalten und auf dieser Basis technisch und wirtschaftlich anforderungsgerechte Einsatzstoffe für die jeweilige Schmelze zu beschaffen und zusammenzustellen (Abb. 1), [3]. Grundlage dafür sind seitens der Recyclingwirtschaft bereitgestellte Daten, die mittels geeigneter maschineller Lernverfahren zu betriebsindividuellen datengetriebenen Optimierungstools verarbeitet werden. Damit soll es den Schmelzbetrieben ermöglicht werden, unter Einsatz eines entsprechend entwickelten Softwarenetzwerkes, die Gattierung ihrer Aggregate unter Berücksichtigung von Einflussgrößen wie z.B. Schmelzeführung, Ofenzustand oder Abbrandverhalten, Preise der benötigten Rohstoffe oder Lieferkosten, kundenspezifisch für eine gewünschte Zielegierung optimal zusammenzustellen.



Eine Lösung ist die Entwicklung einer cloudbasierten Handelsplattform, über die den Schmelzbetrieben nicht nur verfügbare Schrotte angeboten werden. Sie können auch optimierte Gattierungen aus den angebotenen Rohstoffen mithilfe eines zu entwickelnden datengetriebenen Optimierungstools bestimmen, das Methoden des maschinellen Lernens nutzt.

Die cloudbasierte Handelsplattform

Eine solche cloudbasierte Handelsplattform bietet teilnehmenden Rohstoffhändlern die Möglichkeit, ausgewählte Lagerbestände in einem digitalen Netzwerksystem anzubieten und deren Preise festzulegen. Teilnehmende Schmelzbetriebe erhalten somit hinreichend vollständige Informationen (z.B. Analytik, Mengen, Energieeinsatz oder Preise) über verfügbare Produkte der Recyclingindustrie, auf deren Basis bedarfsgerechte Rohstoffe für ihre Schmelzen beschafft werden können. Als weiterer Bestandteil dieses digitalen Systems wird ein datengetriebenes Optimierungstool auf Basis maschineller Lernalgorithmen für die Gattierungsrechnung zur Verfügung gestellt, das auf die freigegebenen Lagerbestände der Händler zugreift und diese für einen verbesserten Schmelzprozess in

Gießereien und Stahlwerken nutzt, um deren Ressourceneffizienz zu steigern. Beispielsweise besteht der in Deutschland erzeugte Rohstahl zu 45 % aus Stahlschrott, der Europäische Durchschnitt liegt bei 56 %. (Abb. 2). Daraus lässt sich unmittelbar ein mögliches Optimierungspotenzial für deutsche Branchenunternehmen ableiten.

Cloudcomputing

Allgemein bedeutet Cloudcomputing, dass mehrere Nutzer über ein Netzwerk auf einen „Pool von Ressourcen“ [4] zugreifen können, dazu gehört unter anderem auch Speicherplatz. Die Clouds verschiedener Anbieter für die Speicherung von Fotos und Kontaktdaten im Bereich der Mobiltelefone sind ein Beispiel dafür. E-Mail-Dienste, die über einen Browser geöffnet werden können, gehören im erweiterten Sinne ebenfalls zu den Cloud-Diensten, da die E-Mails auf einem Server und nicht lokal auf den Rechnern der Nutzer gespeichert werden. Auch Rechenkapazität zählt zu den nutzbaren Ressourcen. Benutzer einer Cloud können Berechnungen über die Cloud schneller ausführen, da diese über eine leistungsfähigere Hardware verfügt als der lokale PC. Des Weiteren sind Cloud-Anwendungen skalierbar; greifen mehr Personen

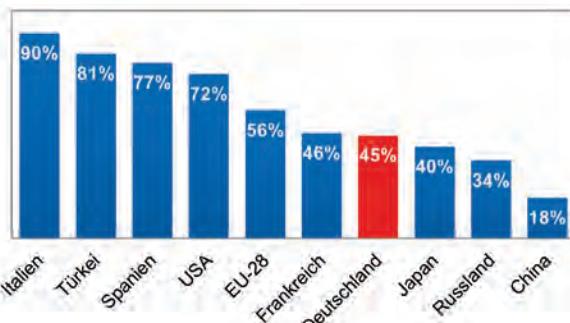


Abb. 2: Prozentualer Anteil von Stahlschrott je Tonne Rohstahlerzeugung [3], BILD: BDSV

2

auf die Cloud zu als geplant, lassen sich Rechenkapazitäten flexibel hinzufügen, um allen Nutzern einen störungsfreien Zugriff auf die Dienste zu ermöglichen. [5]

Die Umsetzung der Plattform als cloudbasierte „Software as a Service“ (SaaS) bietet im Gegensatz zu klassischen Installationsprogrammen mehrere Vorteile. Beispielsweise werden bei den Nutzern Rechenressourcen gespart, da das Optimierungstool nicht lokal auf dem zugreifenden PC ausgeführt wird, sondern in der Cloud. Dies macht sich insbesondere bei den rechenintensiven Lernprozessen bemerkbar. Die Neuan schaffung von leistungsstarken Geräten ist für die teilnehmenden Schmelzbetriebe, die das Optimierungstool nutzen möchten, somit nicht erforderlich. Ferner sollen die Bestände zum Verkauf stehender Schrotte in nahezu Echtzeit aktualisiert und den Nutzern sichtbar gemacht werden, sodass das Optimierungstool immer die (tages-) aktuell verfügbaren Schrottmengen mit den zugehörigen Analysen berücksichtigen kann. Dieses Ziel wird durch den verkürzten Informationsaustausch über die Cloud im Gegensatz zu einer lokalen Software umgesetzt.

Aufbau der Handelsplattform

Handelsplattform und Optimierungstool können nur mit Zugriff auf eine große Menge von aktuellen Daten ihre Funktion erfüllen. Die mit den

Daten verbundenen Informationen müssen ein möglichst vollständiges Abbild der Recyclingsstoffeigenschaften liefern, damit der Nutzer, i.e. Schmelzbetrieb diese Informationen in seinem eigenen Optimierungstool zielgenau verarbeiten kann. Es existiert eine Vielzahl an dafür notwendigen Attributen wie z.B. Materialanalyse, verfügbare Menge, Preise, Stückigkeit etc. Diese Daten werden in einer zentralen Prozessdatenbank gespeichert, die von den teilnehmenden Rohstoffhändlern und Schmelzbetrieben kontinuierlich aktualisiert wird. Die Konsistenz der Daten muss selbst bei vielen Zugriffen und Änderungen gewährleistet werden: Erhält beispielsweise ein Schmelzbetrieb den Zuschlag für den Kauf einer gewissen Menge eines Rohstoffes, so muss die verfügbare Menge dieses Rohstoffes sofort herabgesetzt werden, sodass ein doppelter Verkauf verhindert wird. Ebenso verhält es sich mit Schrotten, die von den Rohstoffhändlern hinzugefügt und für den Verkauf freigegeben werden. Je schneller diese in der Datenbank hinterlegt werden, desto früher werden die Schrotte vom Optimierungstool für potentielle Verkäufe berücksichtigt. Neben den allgemeinen Rohstoffdaten wird die Prozessdatenbank auch sensible Daten wie beispielsweise zur Fahrweise der Schmelzaggregate der teilnehmenden Schmelzbetriebe enthalten. Daher ist es unerlässlich, ein stringentes Sicherheitskonzept zum Schutz dieser Daten zu erstellen und zu implemen-

tieren. Nur so kann das Vertrauen der Schmelzbetriebe in eine cloudbasierte Lösung gestärkt werden. In Abb. 3 ist der Aufbau der Cloud mit den vorhandenen Informationswegen schematisch dargestellt. Um allen Anbietern die Möglichkeit zu geben, unkompliziert ihre freigegebenen Bestände an die Plattform zu übermitteln, wird ein XML (Extensible Markup Language) – Konvertierungs tool zur Verfügung gestellt. Daten aus ERP (Enterprise-Ressource-Planning) – Systemen oder Tabellenkalkulationen können damit in XML-Dateien umgewandelt werden, die von einem Schnittstellenprogramm ausgelesen und direkt in der zentralen Datenbank gespeichert werden. Das Optimierungstool greift, wie bereits erwähnt, auf diese Prozessdatenbank zu und erhält somit immer die aktuell verfügbaren Rohstoffbestände.

Wenn ein Schmelzbetrieb einen Kaufauftrag erstellt hat, wird dieser über die Cloud an den oder die Anbieter weitergeleitet. Erfolgt, nach einer Überprüfung, die Bestätigung des Auftrags, werden die Bestände in der Datenbank dementsprechend modifiziert. Die Händler und Schmelzbetriebe sollen dadurch die volle Kontrolle über ihre Ein- und Verkäufe behalten. Eine endgültige Überprüfung durch eine Fachperson ist immer erforderlich und notwendig. Nicht nur Rohstoffhändler, sondern auch andere Betriebe, bei denen legierte Schrotte als Abfallprodukt, etwa bei der me-

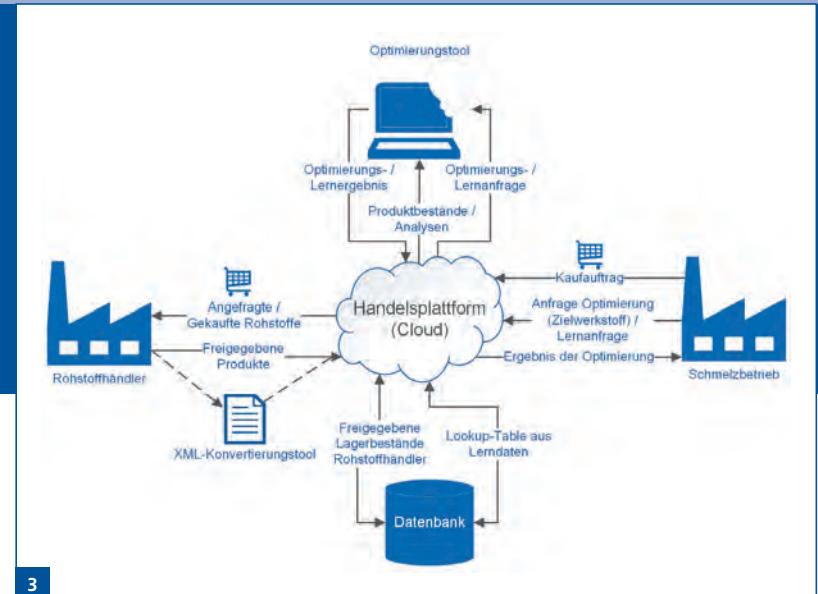
Abb. 3: chematischer Aufbau der cloudbasierten Handelsplattform.

chanischen Bearbeitung, entstehen, können diese in der Handelsplattform anbieten.

Die Analyse der Sekundärrohstoffe

Auf der Grundlage dieser Daten werden mittels geeigneter maschineller Lernverfahren betriebsindividuelle Prozessmodellen berechnet, die wiederum Prognosen bspw. zu Kosten und Analyse einer Gattierung errechnen. Damit soll es den Schmelzbetrieben ermöglicht werden, unter Einsatz eines entsprechend entwickelten Softwarenetzwerkes, die Gattierung ihrer Aggregate automatisiert so zu optimieren, dass sie für den Schmelzprozess unter den ökonomisch und ökologisch günstigsten Bedingungen betrieben werden können.

Um eine hohe Prognosegenauigkeit mit Methoden des maschinellen Lernens erreichen zu können, muss das Erfassen charakteristischer Merkmale der Schrotte, die Basis für das maschinelle Lernen sind, einem hohen Qualitätsstandard entsprechen. Der Erfolg datengetriebener Modelle hängt von einer solchen Datenbasis ab („garbage in, garbage out“ – eine Redewendung aus der Informatik, die besagt, dass schlechte Eingaben auch schlechte Ausgabe erzeugen). Folglich müssen die Analysen der vorhandenen Sekundärrohstoffe, die in der Cloud angeboten werden, möglichst genau sein, um die Ergebnisse des maschinellen Lernens nicht zu verzerr-



ren. Im Rahmen einer Abschlussarbeit am Lehrstuhl Mathematik für Ingenieure der Universität Duisburg-Essen wurden mit Hilfe einer Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse (FMEA) die Prozesse im Betrieb des am Projekt teilnehmenden Rohstoffhändlers RHM untersucht [6]. Mit Fokus auf die Teilprozesse Probenahme, Probenvorbereitung und Probenanalyse wurden Fehlermöglichkeiten aufgedeckt und Lösungen erarbeitet. Die Empfehlung, ein Labor-Informations-Managementsystem (LIMS) einzuführen, wurde bereits umgesetzt.

Vorgehensweise

Die Analyse der Sekundärrohstoffe beginnt mit der Probenahme. Aus einer Vielzahl von Stücken muss eine repräsentative, statistisch signifikante Auswahl an Proben entnommen werden. Wie in Abb. 4 zu sehen ist, sind Sekundärschrotte häufig inhomogen, was die Auswahl repräsentativer Teile zur Charakterisierung der entsprechenden Merkmale erschwert. Somit stellt die Probenahme eine sehr große Herausforderung an den Rohstoffhändler. Sie ist fehleranfällig, da dieser Prozess ausschließlich manuell durchgeführt wird, häufig variieren Methode und Art je nach Mitarbeiter. Aus diesem Grunde nimmt die Probenahme eine Schlüsselrolle in Bezug auf die Genauigkeit der erzielten Analyse ein. Paradoxe Weise existieren im Schrotthandel keine gesetzlichen Richtlinien oder Handlungsempfehlungen hierzu. Insgesamt haben also viele Faktoren einen Einfluss auf die spätere Analyse. Der Prozess vom Wareneingang bis zur vollständigen chemischen und physikalischen Analyse wird beim Projektpartner hauptsächlich noch schriftlich dokumentiert und soll im Rahmen des Projekts vollständig digitalisiert werden. Für die Weiterverwendung der Sekundärrohstoffe in den Schmelzbetrieben spielt die genaue Quantifizierung der chemischen Bestandteile die größte Rolle. Daneben werden noch weitere wichtige Parameter, wie z.B. Menge, Stückigkeit, Schüttdichte, Feuchte, Abbrand, Beschichtung und Homogenität, ermittelt. Wie bereits erwähnt, werden einige dieser Daten nach heutigem Stand nicht ermittelt. Jedoch haben erfahrungsgemäß z.B. Stückigkeit und Schüttdichte Einfluss auf Schmelzkosten, Schmelzzeit und Abbrand von Legierungselementen. Eine Möglichkeit, die aktuell getestet wird, ist die optische Bilderkennung von Schrotten mithilfe von „Computer Vision“ (Abb. 5). Ziel ist es zu überprüfen, ob eine automatisierte Erkennung der Geometrie, Menge und Anzahl von Schrotten möglich



Abb. 4: Inhomogener Schrotthaufen,
BILD: RHM

Abb. 5: Anwendung der optischen
Bilderkennung zur Bestimmung von
Stückigkeit und Schüttichte von
Stückschrotten

ist. Hieraus ließen sich möglicherweise Eigenschaften wie z.B. die Schütt-dichte, welche einen Einfluss auf den Energieverbrauch beim Schmelzen im Induktionsofen hat, automatisiert ermitteln. Diese Daten sollen direkt an die Cloud übermittelt werden und zeitnah für die Schmelzbetriebe abrufbar sein.

Optimierte Gattierung mittels maschinellen Lernens

Mit dem überwachten maschinellen Lernen können auf Basis von Trainingsdaten Prognosefunktionen erstellt werden, die durch Eingabe von Einflussgrößen eine oder auch mehrere Zielgrößen prognostizieren. Ist die Datenqualität hinreichend gut, können Methoden des maschinellen Lernens nach der Lernphase die Prognosen verallgemeinern. Das bedeutet, dass die Algorithmen die Beispiele nicht auswendig lernen, sondern Gesetzmäßigkeiten in den Trainingsdaten „erkennen“ und somit auch unbekannte Eingabedaten beurteilen können. Ob die Algorithmen in der Lage sind zu generalisieren, wird durch Testdaten, die der Datenmenge vor der Lernphase entnommen werden, den Algorithmen beim Training also nicht zur Verfügung stehen, überprüft.

Grundlagen des maschinellen Lernens

Das überwachte maschinelle Lernen funktioniert einfach skizziert wie folgt. Basis des Lernens ist eine Menge

gleichartiger Datensätze. Ein Datensatz ist dabei eine Gruppe inhaltlich zusammenhängender Datenfelder [7] wie z.B. die Gießtemperatur T , der Kohlenstoffgehalt C , der Siliziumgehalt Si , der Magnesiumgehalt Mg und die Bruchdehnung A . Werden die Datensätze in einer Tabelle verwaltet, so ist ein Datensatz eine Zeile dieser Tabelle und die Datenfelder sind die Überschriften der Spalten. Die Felder eines solchen Datensatzes werden unterschieden in funktional unabhängige Felder (Einflussgrößen) und funktional abhängige Felder (Zielgrößen). In Tabelle 1 sind T , C , Si und Mg die Einflussgrößen und A ist die Zielgröße. Eine Ausgabe kann auch aus mehreren Zielgrößen bestehen, dann spricht man von einem Ausgabevektor. Ziel des überwachten maschinellen Lernens ist, Zielgrößen aus den Einflussgrößen auf der Basis von Trainingsdaten mithilfe einer Funktion zu prognostizieren. Für das gewählte Beispiel wird somit eine Prognosefunktion F gesucht, mit

$$A = F(T, C, Si, Mg) \quad (1)$$

Innerhalb der Trainings- und Testdaten sind die Werte der Zielgröße bekannt. Die auf Basis der Trainingsdaten erzeugte Prognosefunktion wird auf die Testdaten angewandt, um die Prognosequalität zu überprüfen. Es gibt einige solcher Algorithmen des maschinellen Lernens wie beispielsweise *Künstliche Neuronale Netze*, *Bayessche Netze*, *Gradient*

Boosted Trees oder *Support Vector Machines*. Alle diese Methoden haben ihre spezifischen Vor- und Nachteile bezüglich der Datenauswertung, der Robustheit gegenüber Datenmengen mit unausgewogenem Verhältnis von IO- und NIO-Teilen und dem Problem fehlender, d. h. nicht erfasster Einflussgrößen. Deshalb ist es nicht sinnvoll, z.B. *Neuronale Netze* pauschal auf alle in Frage kommenden Prozessdaten anzuwenden. Bei der im Projekt OptiRoDig eingesetzten Software werden daher die Vorhersagen mehrerer Methoden des maschinellen Lernens zu einer finalen Prognose fusioniert. Durch eine solche Fusion und eine übergeordnete Bewertung dieser Methoden, ebenfalls mittels maschinellen Lernens, soll eine Erhöhung der Prognosesicherheit gewährleistet werden, was insbesondere für die *Rückwärtsanalyse*, die im weiteren Verlauf noch beschrieben wird, bedeutsam ist.

Im Kontext des Rohstoffhandels und der Schmelzbetriebe ergeben sich besondere Herausforderungen, die den Einsatz maschineller Lernmethoden erschweren. Dazu gehören beispielsweise:

- schwierige Messumgebungen, die den Einsatz genügend genauer Analysegeräte erschweren und die Datengüte negativ beeinflussen können,
- Einflussgrößen, die keiner direkten Messung zugänglich sind,

Tabelle 1: Beispiel für einen Datensatz als Grundlage des maschinellen Lernens

T in °C	C in %	Si in %	Mg in %	A in %
1381,23	3,59	2,71	0,052	20,0
1385,33	3,56	2,72	0,041	20,3
1381,40	3,61	2,63	0,042	7,6
1385,40	3,62	2,68	0,049	19,3
1379,00	3,63	2,66	0,054	20,0
1380,00	3,62	2,63	0,053	19,3
1379,50	3,72	2,78	0,048	20,0
...
1379,20	3,67	2,72	0,055	15,9

- fehlende Messgrößen und unerkannte Einflussfaktoren,
- die Notwendigkeit der Verknüpfung von Prognosen mit vorhandenem Expertenwissen.

Zudem ist der maschinelle Lernprozess komplexer Programme vor allem für Anwender in kleinen und mittelständischen Unternehmen ohne eigene IT-Abteilung in der Regel schwer nachvollziehbar. Daher ist es wichtig, Unterstützung bei der Interpretation und Nutzung von Lernergebnissen für Prozessoptimierung und Prozesssteuerung direkt in die Analysesoftware zu integrieren. Es werden Methoden benötigt, die zusätzlich zu den erforderlichen Prognose von Zielgrößen die Bestimmung sogenannter *Haupteinflussfaktoren* ermöglichen.

In der zu entwickelnden Software sollen Algorithmen für eine solche *Sensitivitätsanalyse* implementiert werden. Aufgrund der unsicheren Messgüte der Daten, die in der Prozessindustrie und auch im Rohstoffhandel anfallen, ist es außerdem notwendig, die Datenqualität vor dem Einsatz maschineller Lernmethoden zu überprüfen und gegebenenfalls zu verbessern. Gerade im Bereich der Steuerung von Anlagen kann so die Robustheit der Verfahren sichergestellt werden, die nicht nur die Anwendung etablierter und sicherer Lernmethoden, sondern auch die Zuverlässigkeit der verwendeten Daten voraussetzt. Schließlich wer-

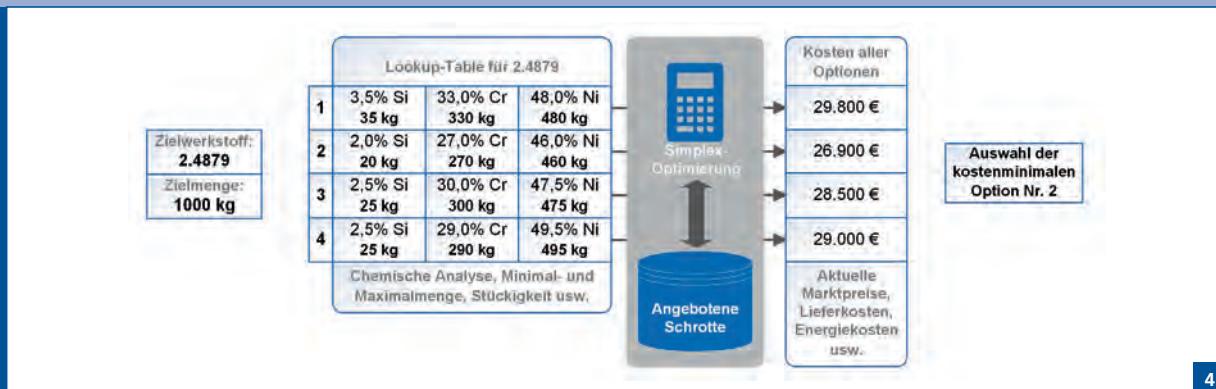
den für eine schnelle Optimierung von Prozessparametern performante Algorithmen benötigt, die zu einem vorgegebenen Wert einer Zielgröße mithilfe trainierter Prognosefunktionen geeignete Werte der signifikanten Einflussgrößen bestimmen. So sollen im oben beschriebenen Beispiel etwa zu einer vorgegebenen Bruchdehnung A von 20 % mögliche Kombinationen der Einflussgrößen T, C, Si und Mg bestimmt werden, die einen Prognosewert für A „nahe“ 20 % liefern. Insbesondere in Hinblick auf die deutlich komplexeren Abläufe in der Praxis, die eine große Anzahl an Attributen erfordern, ist eine Performancesteigerung notwendig. Das leistet die im Folgenden beschriebene Rückwärtsanalyse.

Die Rückwärtsanalyse

Die sogenannte Rückwärtsanalyse dient dazu, Wertebereiche der Einflussgrößen zu bestimmen, für die gegebene Qualitätsmerkmale (Zielgrößen) einen vorgegebenen Wert annehmen. Die Rückwärtsanalyse liefert demnach eine „Umkehrfunktion“ einer Prognosefunktion, mit der optimierte Prozessfenster gefunden werden können. Zu diesem Zweck könnten auf Basis einer gut trainierten Prognosefunktion unterschiedliche mathematische Optimierungsmethoden implementiert werden. Um die in der Prozesssteuerung benötigte Präzision und Sicherheit zu gewährleisten, erfordern klassische Methoden allerdings einen sehr hohen Rechen-

aufwand und sind somit für Echtzeitanwendungen nicht geeignet. Daher soll folgender Ansatz implementiert werden: Zu einer gegebenen Prognosefunktion wird eine „dichte Menge“ an möglichen Variationen der Prozessparameter, also der Einflussgrößen, generiert. Anschließend werden die zugehörigen Zielgrößen auf dieser Menge prognostiziert. Auch dieses Verfahren kann sehr rechenintensiv und damit zeitaufwendig sein, allerdings müssen die Berechnungen nur offline und nicht im laufenden Prozess durchgeführt werden. Die so erzeugte „Prognosemenge“ wird in einer Lookup-Table gespeichert. Im laufenden Produktionsprozess können mithilfe dieser Table zeitnah diejenigen Werte für die Einflussgrößen bestimmt werden, mit denen das geforderte Qualitätsmerkmal laut Prognose am besten approximiert wird. Danach kann diese Auswahl z.B. hinsichtlich Kosten oder Energieeffizienz weiter optimiert werden.

Abb. 6 zeigt stark vereinfacht eine Lookup-Table, in der auf Basis eines Zielwerkstoffes die benötigten chemischen Elemente, welche für eine optimierte Schmelze in den Schrotten vorhanden sein müssen, aufgelistet sind. Die Kosten der einzelnen Optionen werden mithilfe der in der Datenbank abgespeicherten Informationen zu den Rohstoffbeständen berechnet. Die Lookup-Tables werden in der Realität viel komplexer und umfangreicher sein und neben der chemischen



4

Analyse eine Vielzahl weiterer auch physikalischer Attribute beinhalten, die die vorhandenen Rohstoffe beschreiben. Ziel des datengetriebenen Optimierungstools ist, mithilfe der vorgestellten Methoden für Schmelzbetriebe eine passende Gattierung für ein vorgegebenes Zielmaterial zusammenzustellen. Gesucht ist also eine Prognosefunktion F , die auf Basis einer komplexen Datenmenge mit noch zu ermittelnden n Spalten s_1, \dots, s_n und vielen Zeilen trainiert wird, um die chemische Zusammensetzung der Ziellegierung zu prognostizieren:

$$\text{chemische Zusammensetzung} \\ \text{Ziellegierung} = F(s_1, s_2, s_3, \dots, s_n). \quad (2)$$

Ein solches datengetriebenes Tool muss, um ofenspezifische Optimierungen auszugeben, zuerst angelernt werden. Hierfür sind Schmelzversuche zur Ermittlung von Basisdaten der Schmelzführung wie Gattierungsabfolge, Zeit-Energie-Temperaturrampen, Abbrandverhalten und Ausbringung an Legierungselementen für verschiedene Schrottprodukte und -formen (z.B. Shredder, Pakete, Brikett) eingeplant. Dann muss untersucht werden, inwieweit die Daten dieser Versuche vom Ofenzustand und -typ abhängig und auf beliebige Öfen übertragbar sind. So werden wertvolle Informationen gewonnen:

- Haupteinflussfaktoren eines solchen Schmelzprozesses,

- Prognosequalität der Algorithmen des maschinellen Lernens hinsichtlich Zielanalytik,
- Prognosequalität der Kombination (Fusion) von Algorithmen,
- Unterschiede (Daten, Prognosequalität) zu einem produktiven Ofen in einem Schmelzbetrieb.

Voraussetzungen für datengetriebene Modelle

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, gestaltet sich die Bestimmung einer solchen passenden Gattierung aufgrund der Spezifika der Öfen, der Schmelzführung und der Schrotte selbst als schwierig und analytische Modelle stoßen schnell an ihre Grenzen. Basis für das zu entwickelnde datengetriebene Optimierungstool ist die beschriebene zentrale Prozessdatenbank. Sie beinhaltet neben detaillierten Rohstoffdaten wie Herkunft, chemische Analyse und Stückigkeit, auch die spezifischen Daten eines jeden Ofens in jedem involvierten Schmelzbetrieb sowie die der entsprechenden Schmelzführung.

Aus dieser großen Anzahl an Faktoren müssen für jeden Ofen und jeden Schmelzbetrieb genau die gefundenen werden, die einen wesentlichen Einfluss auf die Ziellegierung haben. Historische Daten werden mit neu erhobenen Daten ergänzt, um die Prognosequalität stetig zu verbessern. Mit einem wachsenden Bestand an Trainingsdaten und sich wiederholenden Lernphasen in Kombination mit

Abb. 6: Ablauf der Optimierung mithilfe einer Lookup-Table.

Sensitivitätsanalysen sollen schließlich diese Faktoren gefunden werden. Nur mit einer hinreichend guten Prognosesicherheit kann dann die Rückwärtsanalyse erfolgen, mit der die bereits erwähnte Lookup-Table erstellt und ebenfalls in der Prozessdatenbank gespeichert wird. Im Optimierungsprozess werden dann die gewünschten Elemente aus der Lookup-Table mit den Bestandsinformationen aus der Prozessdatenbank verknüpft. Durch die kurzen Informationswege innerhalb der Cloud ist diese Verknüpfung immer aktuell. Die Zugangsberechtigung zu einer spezifischen Lookup-Table mit den entsprechenden relevanten Daten hat nur der zugehörige Schmelzbetrieb, um die Gattierungsoptimierung für einen speziellen Ofen durchzuführen.

Bei einer Optimierung wird dann wie folgt vorgegangen: Mit einer grafischen Benutzeroberfläche wird für einen Ofen, der über eine hinreichend gut trainierte Prognosefunktion in dem cloudbasierten Optimierungstool verfügt, das Zielmaterial eingestellt. Mittels der Rückwärtsanalyse werden dann die Wertebereiche der Einflussgrößen bestimmt, für die die Legierungseigenschaften des Zielmaterials angenommen werden. Mit Methoden der linearen Optimierung (z.B. einem Simplex-Verfahren) wird danach aus

der zentralen Prozessdatenbank diejenige Gattierung zusammengestellt, die neben der chemischen Analyse weitere im Einzelnen festlegbare Nebenbedingungen erfüllt; z.B. Stückigkeit, Kostenoptimierung, Material- und Energieeffizienz.

Fazit

Jeder Schmelzbetrieb, der diese cloud-basierte datengetriebene Optimierung der Gattierung einsetzen möchte, muss die oben beschriebene Daten-generierung für seine Öfen durchführen. Nur bei einer hinreichend guten Datenbasis sind solche datengetriebenen Modelle erfolgreich. Auf der anderen Seite lernen solche Modelle das in den Daten implizit verborgene Wissen, das durch analytische Modelle schwer oder gar nicht abgebildet werden kann. Da solche Datenmengen für datengetriebene Modelle zunächst zeitaufwendig und auch nicht einfach zu erstellen sind, kann die cloudbasierte Rohstoffdatenbank ebenfalls ohne die oben beschriebene datengetriebene Optimierung genutzt werden. Die gewünschte Gattierung wird in diesem Fall durch Methoden der linearen Optimierung und mit analytischen Modellen zusammengestellt.

Literatur:

- [1] Rennings, T., Hin zu einer ressourcenschonenden, klimaneutralen Kreislaufwirtschaft, BDG report, H. 3, 2020, S. 18 – 21
- [2] Deike, R., Bedeutung der Gießerei-Industrie in einer Circular Economy, Giesserei 107, H. 1, 2020
- [3] Zukunft Stahlschrott. Ergebnisse der Fraunhofer Umsicht-Studie zur Zukunft des Stahlschrottes, S. 4. BDSV, 2018.
- [4] Reinheimer, S.: Cloud Computing: Die Infrastruktur Der Digitalisierung, S. 5. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2018.
- [5] Sehgal, N. K., Bhatt, P. C. P.: Cloud Computing: Concepts and Practices, pp. 3 – 4. Cham: Springer International, 2018.
- [6] Biedermann, C.: Fehlermöglichkeiten- und Einflussanalyse (FMEA) bei der Sekundärrohstoffbewertung im Projekt „OPTIRODIG“. Bachelorarbeit, Universität Duisburg-Essen, Mathematik für Ingenieure, 2019.
- [7] Mertens, P., u. a.: Grundzüge der Wirtschaftsinformatik. 11. Aufl. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2012, S. 39.

Inhalte des vorliegenden Beitrags wurden erstmals in der Zeitschrift Giesserei 107, H. 7 – 8, 2020 veröffentlicht.

Die vorgestellten Arbeiten erfolgen im Rahmen des Projekts „Optimierung der Rohstoffproduktivität in der Gießerei- und Stahlindustrie aus Produkten der Recyclingwirtschaft durch Nutzung moderner mathematischer Verfahren, Vernetzung und Digitalisierung“ (OptiRoDig).

Das Vorhaben wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Förderaufrufs „Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Innovative Produktkreisläufe (ReziProk)“ gefördert.



**TOTAL
THERMAL
VISION**

THE FUTURE IN FOUNDRY

**TEMPERATURÜBERWACHUNG
FÜR
DRUCKGUSSFORMEN**

MARPOSS
www.marposs.com

FactoryNET® 4.0

PRODUKTION PROZESS RESSOURCEN QUALITÄT INSTANDHALTUNG

VON DER VISION ZUR FUNKTIONIERENDEN REALITÄT:
MARPOSS IHR PARTNER FÜR INDUSTRIE 4.0

Kennen Sie die Qualität Ihrer **Alu-Schmelze?**

1 – 3VT plus
Stationäres Unterdruckdichte-Gerät zur Erstellung einer Atmosphärenprobe und einer Vakuumprobe bei 80 mbar

2 – MK 3000
Stationäre elektronische Dichte-Index Waage zum Auswiegen der Atmosphären- und Vakuumprobe

3 – ALSP plus
Mobile Komplettlösung für die Dichte-Index Ermittlung

Gerne vereinbaren wir mit Ihnen einen Termin zur Produktvorführung.*
Sprechen Sie uns einfach an!

*Kostenfrei innerhalb Deutschlands!

mk Industrievertretungen GmbH
AL-SCHMELZE-MESSTECHNIK
56459 Stahlhofen a. W. • Röderhahn 1b
+49 2863 8210 • information@mk-gmbh.de
www.mk-gmbh.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
Schmelzereinheit
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 Gießereiinstitut (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. Dabei 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 entwicklungsnahen Gießereitechniken am Österreichischen Gießereiinstitut 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 Industriepraxis 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 abzugeßen und schließlich mittels Computertomographie zu untersuchen und deren mechanische Eigenschaften zu testen.

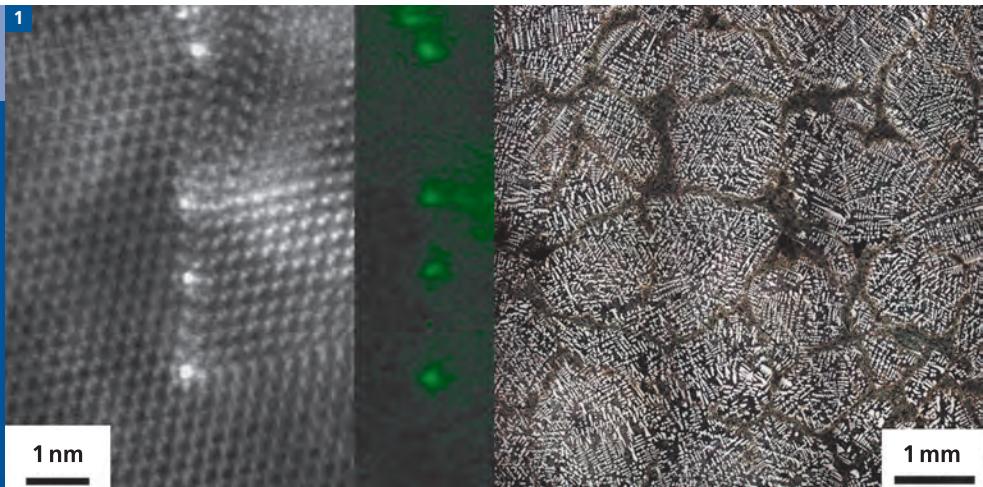
In Kooperation mit dem ÖGI arbeiten insgesamt 15 wissenschaftliche Mit-

arbeiter 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
- Mischkristallverfestigtes Gusseisen GJS-Si
- 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



Montanuniversität Leoben – Kompetenz durch Kooperation

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 verpflichteten Industriapraxis 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 entwicklungsnahen 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 bedeuten-

Abb. 1: Veredelungsatome auf Zwillingsebenen und Eutektische Körner.

den Gießverfahren des Sand-, Kokillen- 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 verfahrensoptimierten Mikrostruktur- und Legierungsentwicklung. Die aktuellen Themenstellungen sind im Folgenden kurz beschrieben und auf weiterführende Literatur wird hingewiesen.

Eutektische Kornfeinung

Al-Si Legierungen sind die bevorzugten Legierungen, wenn es darum geht, komplexe 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 eingeförmmt, d.h. veredelt, und es werden bessere mechanische Eigenschaften erzielt. In Grundlagenuntersuchungen im Raster-Transmissions-Elektronen-Mikroskop konnte gezeigt werden, dass das Strontium

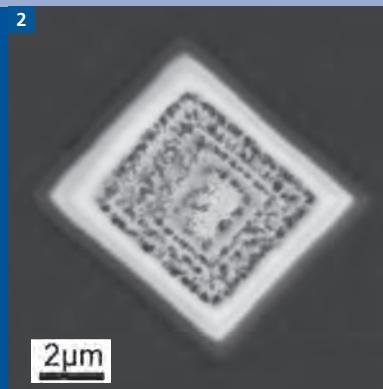
an bestimmten Positionen im Siliziumkristall durch Zwillingsbildung hilft, den Kristall einzurunden. Trotzdem kann es in bestimmten Bereichen zu unerwünschten Ungleichmäßigkeiten kommen. Dies beruht zum einen auf unerwünschten Anreicherungen (Seigerungen) von Veredelungselementen und zum anderen auf 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, siehe Abb. 1. 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 eingerundet 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-Cu Legierungen

Im Leichtbau mit Gussteilen werden dünnwandige Strukturen benötigt, in denen jedoch die einfließende Schmelze schnell erstarren kann. Um dünnwandige Gussbauteile trotzdem noch mit halb-flüssiger Schmelze füllen zu können, müssen die Kristalle möglichst fein sein, um als Massenfluss von feinen Kristallen und Schmelze fließen zu können. Dabei stößt die Kornfeinung von Al Legierungen durch Zugabe von Keimbildnern wie TiB₂ Partikeln auf Grenzen, die zum einen durch die Legierungszusammensetzung und deren Wachstumsbehinderung und zum anderen durch die Partikelgrößenverteilung der Boride hervorgerufen wird. Insbesondere die Partikelverteilung herkömmlicher Kornfeinungsmittel erlaubt es nicht, dass alle Partikel gleichzeitig aktiv Keime wachsen lassen. Nur rund 1% der Partikel ist aktiv.

Jedoch können mit der Zugabe einer Kombination von Zirkon und Scandium Korngrößen unterhalb von 60 µm erzielt werden. Die detaillierte Wirkungsweise dieser beiden Legierungselemente konnte mit hochauflösenden Gefügeuntersuchungen charakterisiert werden. Es zeigen sich wie in Abb. 2 typische kubische Ausscheidungen vom Typ Al₃Zr, die schichtartig umhüllt werden von Aluminium und Al₃Sc. Das sich primär gebildete Al₃Zr erzeugt dabei

Abb. 2: Kubisches Al₃Zr-Partikel mit Schichtstrukturen im Zentrum eines Aluminiumkorns.



über eine peritektische Reaktion eine erste umhüllende Schicht aus Aluminium, welche sich nachfolgend für die eutektische Reaktion mit der Al₃Sc-Phase als Keim anbietet [3]. Darauffolgend bilden sich aufbauende Schichten auf Aluminium und Al₃Sc aufeinander auf. Da nicht genügend eutektisches Volumen für ein gekoppeltes Wachstum vorliegt, wachsen die alternierenden Schichten bis die Keimbildung von Aluminium einsetzt. Die eigentliche Keimbildung von Aluminium vollzieht sich dann, wenn der kritische Keimradius für das unterkühlte Al die gleiche Größe hat wie diese Schichtstruktur. Interessanterweise zeigen alle kubischen Al₃Zr-Partikel diese Struktur und liegen in der Mitte von feinen Aluminiumkörnern, was als Indiz einer effektiven heterogenen Keimbildung gilt. Damit können in der Kornfeinung mit Zirkon- und Scandium-Zugabe wesentlich mehr heterogene Keime aktiv werden als bei Kornfeinung mit Titan

Abb. 3: Korngefeinete und ungefeinete Reinkupfer.



und Bor. Mit dem zu erwartenden sinkenden Preis von Scandium durch den verstärkten Abbau von diesem Element in Australien wird damit auch ein Einsatz außerhalb der Luftfahrtindustrie für hochwertige Gussprodukte interessant.

Kornfeinung von Kupferlegierungen

Ein Forschungsschwerpunkt des Lehrstuhls ist Kornfeinung von primären Phasen von Magnesium-, Zink-, Aluminium- und Silber-Legierungen. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse können transferiert werden auf Kupferlegierungen. Ziel ist es, durch Zugabe von Spurenelementen und Keimbildungsteilchen eine Kornfeinung und damit verbesserte Vergießbarkeit mit feiner Struktur und verminderter Ungänzen für Kupferlegierungen zu schaffen. Wesentlich für die Kornfeinung ist eine Wachstumsbehinderung durch sich aufstauende Legierungselemente vor der Wachstumsfront der Kristalle wie auch präsente Teilchen, die als Keimbildungszentren agieren können. Durch thermodynamische

Berechnungen des Festanteils über die Temperatur kann der Wachstumsbehinderungsfaktor als Steigung dieser Kurve am Schmelzpunkt bestimmt und erfolgreich mit Versuchen unter kontrollierten Bedingungen bestätigt werden [4, 5]. Jedoch sind die Zugabemengen dieser wachstumsbehindernden Elemente (wie: Zr, P, Fe etc.) stark abhängig vom metallurgischen Zustand der zu kornfeinenden Schmelze. Der im flüssigen Kupfer lösliche Sauerstoff spielt eine Schlüsselrolle inwieweit welche Legierungselemente als Wachstumsbehinderung wirken können, da er selbst als Wachstumsbehinderung agiert bzw. Oxidverbindungen ein geht und damit die Behinderung erniedrigt. Im Gegensatz zu Magnesium- und Aluminiumschmelzen besteht eine hohe Löslichkeit von Partikeln in Kupferschmelzen. Durch thermodynamische Berechnungen kann vorhergesagt werden, in welchen Konzentrations- und Temperaturbereichen Partikel stabil in der Kupferschmelze vorliegen. Zudem müssen die Partikel kristallographisch geeignet sein, epitaktische, d.h. Verbindungen mit niedriger Gitterfehlpassung zum Kupfer einzugehen, damit diese als heterogene Keime wirken können. Durch das „Edge-to-Edge Model“ der Gitterberührungs punkte zwischen Kupfer und den heterogenen Keimen können hier Vorhersagen zu günstigen Gitterfehlpassungen getroffen werden, die jedoch gleichzeitig die Stabilität

Abb. 4: 3-dimensionale Atomsondenabbildung von Gd-haltigen Ausscheidungen im Mg.

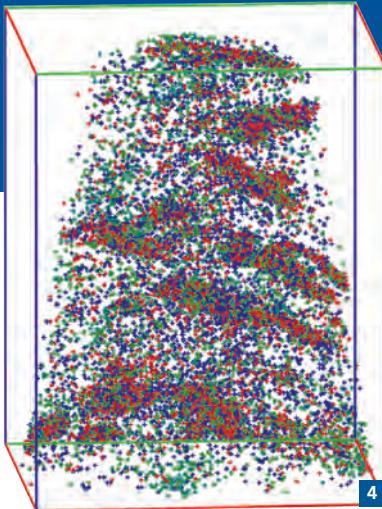


Abb. 5: Druckgusszelle des Lehrstuhls für Gießereikunde am ÖGI.



der Teilchen in der Kupferschmelze mit berücksichtigen müssen. Durch die Vielzahl an Legierungsgruppen in der Kupfermetallurgie müssen daher Kornfeinungskonzepte für die jeweilige Legierungsgruppe und Schmelzmetallurgie angepasst werden. Mit geeigneten Konzepten ist dann wie in der Abb. 3 eine erfolgreiche Kornfeinung von Kupferlegierungen möglich.

Hochfeste Mg-Zn-Gd Legierungen

Leichtbau für die Automobilindustrie zur Energieeinsparung kann zum einen über die Minimierung von giebbaren Wandstärken erfolgen, aber auch durch den Einsatz von leichten Werkstoffen wie Magnesium, dessen Dichte geringer als die von Aluminium ist. Der großflächige Einsatz von Magnesium wird jedoch zum einen begrenzt durch dessen vergleichsweise niedrigen mechanischen Eigenschaften und zum anderen durch Kosten von Legierungselementen wie seltene Erden, die jedoch die mechanischen Eigenschaften erhöhen. Eine gezielte Legierungsentwicklung in dem System Mg-Zn-Gd verbindet gute Gießeigenschaften mit vergleichsweise niedrigen Legierungs-

kosten durch minimierte Gadoliniumzugaben (Gd). Durch das Verständnis auf atomarer Ebene durch hochauflösende Verfahren, wie in den Atomprobeaufnahmen in Abb. 4 ersichtlichen der Ausscheidungsvorgänge, können mit gezielten Wärmebehandlungen optimierte Eigenschaften eingestellt werden [6].

Temperatur und Gefügekontrolle im Druckguss

Mit zunehmender Komplexität und Größe von Druckgussteilen gestaltet sich die gelenkte Wärmeabfuhr und gezielte Druckaufgabe immer schwieriger. Diesem Trend kann durch lokale Kühlungen und „Squeeze Pins“ entgegengewirkt werden. Entscheidend für den Einsatz dieser Technologien ist jedoch eine Beschreibung dieser durch eine Simulation der lokalen Wärmeabfuhr und Verdichtung im Gesamtbild des Gießprozesses. Hierfür müssen jedoch der mögliche Wärmefluss und Wärmeübergang durch verschiedene Kühltechnologien bestimmt werden [5]. In Kooperation mit dem Österreichischen Gießerei-Institut konnten durch den Aufbau eines Teststands diese Parameter von verschiedenen Kühlnormalien und

-verfahren bestimmt werden und in eine Gesamt-Simulation über das Bauteil und Dauerform eingepflegt werden. Auch die im Halbflüssigen durch Squeeze-Pins verursachte lokale Verformung wurde systematisch untersucht, um den Einfluss von Druck, Eindringgeschwindigkeit, und Druckauslösungszeit auf die lokale Mikroporosität zu bestimmen [7].

Kugelgestrahltes Gusseisen mit Si Mischkristallhärtung

Die Mischkristallhärtung von Guss-eisen mit Kugelgraphit durch Silizium kann entscheidende Vorteile, z.B. in der Verarbeitung und bei statischen mechanischen Kennwerten, insbesondere der Rp-Grenze, bieten. Damit kann dieser Werkstoff auch eingesetzt werden für hochbelastete dünnwandige Leichtbaustrukturen mit hochfesten Materialverhalten, auch wenn die Dichte höher ist als die von Magnesium oder Aluminium. Nicht alle mechanische Kenndaten sind von diesem relativ neuen Werkstoff bekannt insbesondere bei höheren Temperaturen und höheren Si-Gehalten. Durch gezielte Kaltverformungen können Druckeigenspannungen mit Ku-

gelstrahlen (siehe Abb. 6) eingebracht werden und lokale Eigenschaftsverbesserungen erzielt werden. Ziel der Untersuchungen ist es gemeinsam mit dem ÖGI auch die Grenzen diesen neuen Werkstoffs aufzuzeigen um eine artgerechte Anwendung des Werkstoffs aufzuzeigen [8].

Kerntechnologie als Schlüsseltechnologie

Das Alleinstellungsmerkmal des Gießens ist die Möglichkeit des Abbildens von komplexen Hinterschneidungen und Hohlräumen, die mit keinem anderen Produktionsverfahren hergestellt werden können. Hierfür werden in der Gießereiindustrie Kerne aus granularen Materialien mit Bindern und Zusatzstoffen eingesetzt. Empirisch ist die Kernherstellung wie auch die Eigenschaften der Kerne ausreichend beschrieben, es fehlt jedoch ein grundlegendes Verständnis des Materialverhaltens von Formstoffen und Kernen unter mechani-

Abb. 6: Oberflächendarstellung für den Gusszustand und nach dem Kugelstrahlen.

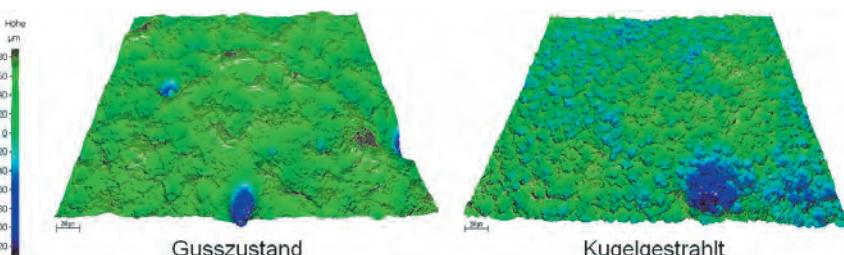
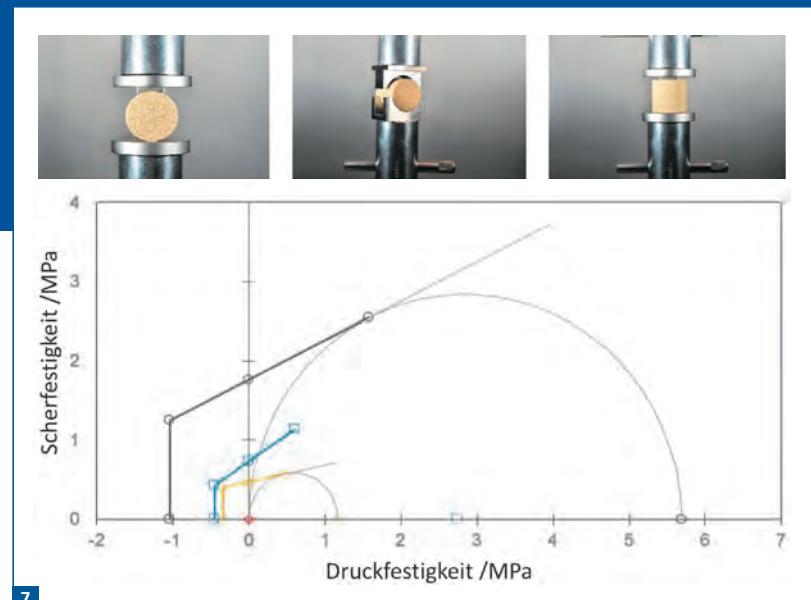


Abb. 7: Schematischer Mohr'scher Spannungskreis für die Druckprüfung von Kernen die nach einer Temperaturbelastung bei Raumtemperatur geprüft wurden (rot: Raumtemperatur, blau: nach 200°C, gelb: nach 300°C, rot: nach 400°C).



schen und mechanisch-thermischen Belastungen während des Gießens und besonders für den Kernzerfall nach dem Gießen. Hierfür wurden am ÖGI neue Messmethoden für die Bestimmung mechanischer Kennwerte entwickelt mit denen am Lehrstuhl für Gießereikunde Materialgesetze für Kerne unter verschiedenen Belastungen ermittelt werden.

Mit den Ergebnissen aus Spaltversuchen für Zugkräfte, Doppelschererversuch und Druckversuch kann in einem Scher- versus Spannungsdia gramm der Mohr'sche Spannungskreis und Versagenskriterien, wie z.B. nach Coulomb für ein Kernmaterial in Abb. 7 dargestellt, aufgetragen werden. Hierbei versteht man unter

einem Kernmaterial einen Kern mit definierten Herstellbedingungen, Binderanteil, Sandverteilung und u.a. Temperatur- und Lagerungs-Vorgeschichte. Bei ansonsten identen Kernen äußert sich eine Temperaturbelastung in verringerten mechanischen Kennwerten, wobei die innere Reibung, d.h. die Steigung der Mohr-Coulomb-Geraden, eher unbeeinflusst bleibt. Interessanterweise können die Randbedingungen der Temperaturbelastung, je nachdem ob diese unter Luftsauerstoff oder unter eher reduzierenden Bedingungen durchgeführt wurde, starke Auswirkungen haben für verschiedene Bindertypen. Da granulare Materialien, wie Sand, Wärme nur bedingt leiten, stellt sich ein Temperaturgradient im Kern ein, der über Isothermen angenähert werden kann, so dass die mechanische Kennwerte für eine bestimmte Temperaturbelastung in der erweiterten Sandprüfung ermittelt werden können. Die Betrachtung von Sandkernen mit lokalen Eigenschaften in Abhängigkeit der thermischen Vorgeschichte ist ein neuer Aspekt, mit dem über Festigkeitssimulationen

Abb. 8: Querschliff eines Verbundgusses zwischen Rein-Aluminium und einer 7075 Legierung und Simulation der Temperaturen oberhalb bzw. unterhalb der Liquidus-Temperatur für die jeweilige Legierung.

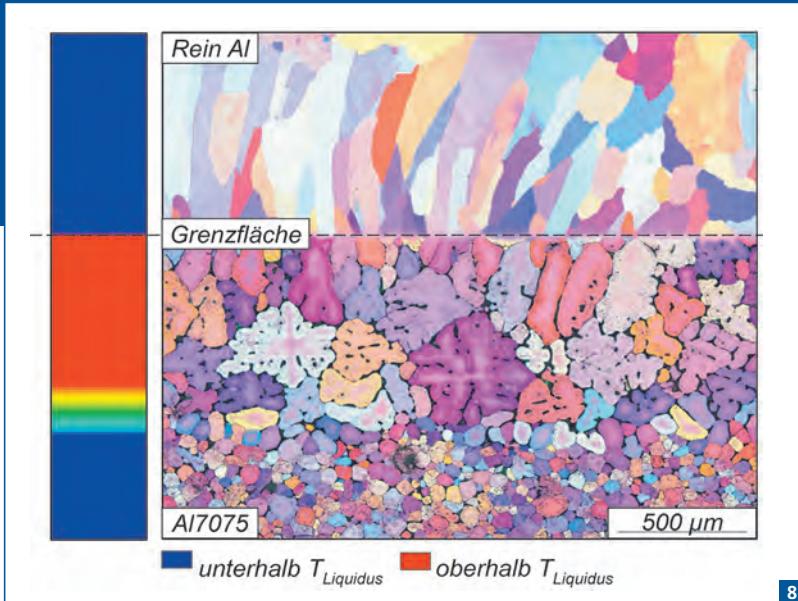


Abb. 9: Schematische Darstellung eines CFK Verbundes mit Guss.



mit bekannten Versagenskriterien und mechanischen Kenndaten der Kernzerfall [9, 10] zukünftig besser beschrieben werden kann. Zusätzlich können durch hochaufgelöste Messdaten aus dem Biegeversuch die Energieanteile der elastischen und plastischen Energien für unterschiedliche Kernmaterialien ermittelt und mit deren gießtechnologischen Eigenschaften korreliert werden [11]. Mit diesen Daten wird es langfristig möglich sein, das mechanische Verhalten von Kernen im Wechselspiel zum erstarrenden Gussstück und dessen Eigenspannungen besser zu verstehen.

Metallische Verbunde

Mit der zunehmenden Bedeutung von Leichtbaustrukturen werden auch metallische Verbunde in Lösungskonzepte eingebunden. Metallische Verbunde bieten eine Vielzahl von Möglichkeiten, neue Funktionsmaterialien oder Strukturmaterialien zu gewinnen. Gleichzeitig ist es auch möglich Kosten einzusparen, wenn durch die metallischen Verbunde der Zusammenbau von Komponenten ver-

einfacht wird. In Zusammenarbeit mit dem ÖGI wurden die metallurgischen Vorgänge bei einem Verbund unterschiedlicher Aluminiumlegierungen simuliert und in einem Versuchsstand kontrolliert abgebildet. So kann z.B. eine korrosionsbeständige Reinst-Aluminiumschicht auf eine hochfeste aber korrosionsempfindliche 7075 Aluminiumlegierung aufgebracht werden. Schlüssel für eine erfolgreiche Verbundbildung ist es, die beiden Legierungen flüssig zusammenzufügen. Hierfür muss der Wärmehaushalt der festen Substratlegierung und der flüssigen Aufgusslegierung so gewählt werden, dass die Substratlegierung lokal aufschmelzen kann, um eine stoffschlüssige Verbindung zu erhalten. Abhängig von den lokalen Temperaturfeldern kommt es zu Rückerstarrungen von der Grenzfläche oder den noch festen Anteilen der Legierungen. Die typischen Erstarungsgefüge können in farbgeätzten Schliffbildern in Abb. 8 sichtbar gemacht und mit den Temperaturverläufen der Simulation verglichen werden [12]. Die deutliche Übereinstimmung zwischen dem Gefüge und der Simu-

lation bestätigt den Ansatz, der in den Simulationen getätigter wurde und ermöglicht eine Übertragung auf andere Legierungen und Geometrien.

Die gezielte Kontrolle des Wärmehaushalts kann auch genutzt werden, um niedrig und hoch schmelzende Materialien zu verbinden. Trotz der hohen Unterschiede in den Schmelztemperaturen von Kunststoffen und Metallen ist es möglich auch hier durch Gießen Verbunde zu schaffen. Hier können zwar keine stoffschlüssigen Verbunde erzielt werden, jedoch ist es möglich kraftschlüssige Verbindungen über Schrumpfungen zu erzielen. Dies kann besonders für den gezielten Leichtbau von Komponenten aus unterschiedlichen Materialien von großem Interesse sein. Durch geschickt gewählte Kühlkonzepte ist es damit möglich, Al-Legierungen mit kohlenfaserverstärktem Kunststoff durch das Verbundgießen zu verbinden [13]. Dabei muss besonders auf die Temperatureinwirkungen auf den kohlenfaserverstärkten Kunststoff geachtet werden, um etwaige Degenerierungen der Polymere zu vermeiden.

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 Gießerei-Industrie aufzustellen, mit denen virtuelle Zwillinge über Modellbildung und Simulation und schlussendlich eine totale Prozesskontrolle wirklich werden. Dafür muss ein Brückenschlag zwischen Grundlagen-naher 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.

Weiterführende 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. Heugenhauser, P. Schumacher, Simultaneously refining eutectic grain and modifying eutectic Si in Al-10Si-0.3Mg alloys by Sr and CrB₂ additions, *International Journal of Cast Metals Research*, 29 (2015) 158–173.
- [3] J. Li, M. Wiessner, M. Albu, S. Wurster, B. Sartory, F. Hofer, P. Schumacher, Correlative characterization of primary Al₃ (Sc, Zr) phase in an Al-Zn-Mg based alloy, *Materials Characterization*, 102 (2015) 62–70.
- [4] A. Cziegler, P. Schumacher, Investigation of the correlation between growth restriction and grain size in Cu alloys, *International Journal of Cast Metals Research*, 30 (2017) 251–255.
- [5] A. Cziegler, O. Geraseva, P. Schumacher, Numerical and Experimental Investigation of the Influence of Growth Restriction on Grain Size in Binary Cu Alloys, *Metals*, 7 (2017), DOI: 10.3390/met7090383.
- [6] J.Li, M. Albu, Y. J. Wu, L. M. Peng, M. Dienstleder, G. Kothleitner, F. Hofer, P. Schumacher, Precipitation of long-period stacking ordered structure in Mg-Gd-Zn-Mn alloy, *Advanced Engineering Materials*, 19 (2017) 1600705.
- [7] D. Künstner, Untersuchung der Wirkung von lokalem Nachverdichten im Druckgießverfahren und Entwicklung einer geeigneten Versuchsform zur Bestimmung optimaler Nachverdichtungsparameter, Masterarbeit, Montanuniversität Leoben (2013).
- [8] R. Danesh-Marnani, Untersuchung der maßgebenden Einflüsse auf das Biegewechselverhalten moderner mischkristallverfestigter Sphärogusswerkstoffe, Masterarbeit, Montanuniversität Leoben (2016).
- [9] M. Berbic, Untersuchungen zur Thermischen Degradation von ausgewählten Kernformstoffen, Masterarbeit, Montanuniversität Leoben (2017).
- [10] B. J. Stauder, H. Harmuth, P. Schumacher, De-agglomeration rate of silicate bonded sand cores during core removal, *Journal of Materials Processing Tech.*, 252 (2018) 652–658
- [11] B. J. Stauder, H. Kerber, P. Schumacher, Enhanced Three-Point-Bending-Test evaluation of foundry sand cores, *Journal of Materials Processing Tech.*, 237 (2016) 188–196.
- [12] S. Heugenhauser, Simulationsgestützte Entwicklung eines Gießverfahrens zur Herstellung von Schichtverbünden aus Aluminiumlegierungen, Dissertation, Montanuniversität Leoben (2018), eingereicht.
- [13] R. Kleinhans, Machbarkeitsstudie zur Herstellung von CFK-Aluminium Verbundstrukturen im Sandgussverfahren, Masterarbeit, Montanuniversität Leoben (2015).

Altsandregenerierung statt Deponierung

Entsorgen Sie noch? In Zeiten stetig steigender Kosten für die Altsandentsorgung, Deponierung und Neusandbeschaffung rückt die Altsandregenerierung zur Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit immer mehr in den Fokus der Grünsand-Gießereien. Gerade auch die sich anbahnende Verknappung der Deponien und Änderungen der Deponieverordnungen erschweren die Entsorgung der anfallenden Sandmengen. Dabei existiert bereits eine Alternative in Form der Regenerierung von Altsand.

Die Deponierung von Gießereialtsanden ist kein zukunftsfähiges Modell für den Umgang mit der wertvollen Ressource Sand. Diese Entwicklung kann bereits heute die Wirtschaftlichkeit eines Standortes bedrohen. In vielen Grünsand-Gießereien ist die Thematik der Regenerierung von Altsand zur Wiederverwendung des Sandanteils und Reduzierung der Entsorgungsmengen daher bereits angekommen. HWS bietet mit dem eigenen mechanischen Regenerierverfahren und Regeneriertestcenter einen volumänglichen Service zur Unterstützung. Die Altsandregenerierung als Prozess, um Additive und Bindemittel von den Gießereisanden zu entfernen, wird immer mehr ein fester Bestandteil des Gießereialltages. Die Frage ist nicht, ob wir regenerieren können und wollen, sondern wann wir beginnen. Die Antwort liefern zwei namhafte Grünsand-Gießereien, die sich in diesem noch jungen Jahr 2021 trotz oder vielleicht auch wegen der aktuellen, anspruchsvollen Situation fast zeitgleich für eine Sandregenerierungsanlage von HWS entschieden haben. Am Ende schließt die Regenerierung in Grünsand-Gießereien eine der letzten offenen Flanken im sonst hocheffizienten Materialkreislauf. Die Wiederverwendung der Ressourcen ist immer eine Kernkompetenz unserer Gießereien gewesen. Dabei ist die Nutzung von Altsand als Wertstoff eine Möglichkeit zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und Schonung der natürlichen Ressourcen. Weiterhin kann die Nachhaltigkeit durch Steigerung der Recyclingquote, Reduzierung des Transportaufkommens und die erweiterte Verwendung von Material im innerbetrieblichen Kreislaufsystem verbessert werden. Klar ist, die Altsandregenerierung leistet einen Beitrag zur langfristigen Standortsicherung.

RESSOURCENSCHONEND IN DIE ZUKUNFT –

HWS Anlagen zur Sandregenerierung.

- Hocheffizientes, flexibles Verfahren
- Individualisierte Konzepte
- Automatisierte Gesamtlösungen
- Keine Umweltauflagen für die Regeneriereinheit
- Eigenes Regeneriertestcenter verfügbar



Vor der Regenerierung



Nach der Regenerierung



New Harmony >> New Solutions™



www.sinto.com
sinto FOUNDRY INTEGRATION

**HEINRICH WAGNER SINTO
Maschinenfabrik GmbH**
SINTOKOGIO GROUP

Bahnhofstr.101 · 57334 Bad Laasphe, Germany
Phone +49 2752/907 0 · Fax +49 2752/907 280
www.wagner-sinto.de

Kontakt

HEINRICH WAGNER SINTO Maschinenfabrik GmbH
Bahnhofstraße 101, D-57334 Bad Laasphe
Tel.: +49 (0)2752 907-0, Fax: +49 (0)2752 907-280
info@wagner-sinto.de
www.wagner-sinto.de

Automatische Bestimmung der Bruchdehnung von metallischen Proben

Zugversuche zählen zu den zentralen mechanischen Werkstoffprüfungen bei der optimalen Auslegung von Bauteilen. Zur Untersuchung von metallischen Proben bei Raumtemperatur werden hauptsächlich die DIN EN ISO 6892-1 und die ASTM E 8 zugrunde gelegt. Die Normen schreiben unter anderem vor, die Dehngeschwindigkeit unter Nutzung des Extensometersignals in den vorgegebenen Toleranzgrenzen zu halten. Um eine genaue Bestimmung des Bruchpunktes und der Bruchdehnung zu erreichen, ist der Einsatz von Längenänderungsaufnehmern (Extensometern) sowie spezieller Auswertealgorithmen notwendig.



Abb.: Extensometer laserXtens 7-220 HP von ZwickRoell

Autor: Dr. Peter Stipp, awikom

Kontakt

ZwickRoell GmbH & Co. KG
August-Nagel-Straße 11
D-89079 Ulm
Tel.: +49 (0)7305 10 0
www.zwickroell.com

Um relevante Werkstoffkennwerte wie Zugfestigkeit, Streckgrenze bzw. Dehngrenze und Bruchdehnung zur Auslegung von Bauteilen zu bestimmen, ist der Zugversuch die wichtigste Prüfung. Bei Raumtemperatur basiert er auf der DIN EN ISO 6892-1 und der ASTM E 8. Ziel dieser Normen ist, das Standardverfahren Zugversuch in der Werkstoffprüfung so zu beschreiben und festzulegen, dass die zu ermittelnden Kennwerte selbst bei Einsatz unterschiedlicher Prüfsysteme sicher und reproduzierbar bestimmt werden können. Damit kommen Prüfmaschinen, speziellen Längenänderungsaufnehmern (Extensometern) sowie Auswertealgorithmen eine besondere Bedeutung zu. Unter bestimmten Voraussetzungen erlauben diese eine genaue Analyse der Spannungs-Dehnungs-Kurve zur präzisen Bestimmung von Bruchpunkt und Bruchdehnung. Das Produktpotfolio von ZwickRoell, einem der weltweit führenden Anbieter von Prüfmaschinen für die Werkstoffprüfung, erfüllt auch die vor vier Jahren überarbeitete Ausgabe der Norm DIN EN ISO 6892-1, unter anderem die automatische Regelung der Dehngeschwindigkeit unter Nutzung des Extensometer-signals.

Regelung der Dehngeschwindigkeit
Die letzte Änderung der DIN EN ISO 6892-1 für den Metallzugversuch bei Raumtemperatur beinhaltet im Wesentlichen einen normativen Anhang zur Bestimmung des Elastizitätsmoduls im Zugversuch sowie eine optimierte Beschreibung zur Einstellung normgerechter Prüfgeschwindigkeiten nach den Methoden A und B. Während die Methode B ein spannungsgeschwindigkeitsbasiertes Verfahren nutzt und nicht geändert

wurde, schreibt die Methode A vor, die Dehngeschwindigkeit oder die Dehnrate in den vorgegebenen Toleranzgrenzen zu halten. Hier gibt es zwei mögliche Regelungsarten: Methode A1 steht für eine automatische Regelung unter Nutzung des Extensometersignals (geschlossener Regelkreis, „closed loop“); Methode A2 für eine manuelle Steuerung der Dehngeschwindigkeit über die parallele Länge auf Basis der gewählten Traversengeschwindigkeit (offener Regelkreis, „open loop“).

Die Empfehlung, um die Traversengeschwindigkeit automatisch in der vorgegebenen Toleranz für die Dehnrate zu halten, liegt eindeutig bei der automatischen Regelung mit Methode A1. Es setzt zwar ein regelungstechnisch sehr präzise abgestimmtes Prüfsystem voraus, vereinfacht jedoch ganz erheblich den Testbetrieb und eliminiert zudem Einstellfehler bei der Traversengeschwindigkeit. Die Vorteile von berührungslosen Längenänderungsaufnehmern zeigen sich unter anderem bei der Bestimmung der Bruchdehnung und Bruchlage.

Bestimmung von Bruchdehnung und Bruchlage

Die Bruchdehnung ist ein Maß für die Duktilität eines Werkstoffes und sagt etwas über die plastische Verformung der Probe aus, bevor sie bricht bzw. reißt. So beschreibt beispielsweise die totale Bruchdehnung die bleibende Dehnung der Probe bei Bruch zuzüglich des elastischen Anteils. Diese Dehnung lässt sich aber nur messen, wenn ein Dehnungsmesser die Verlängerung der Probe entlang der parallelen Länge bis zum Bruch präzise aufzeichnet. Die korrekte Bestimmung des Bruchpunktes und auch der

Bruchlage ist daher von entscheidender Bedeutung. Unterstützt wird der Anwender hierbei deshalb durch Algorithmen, welche die Spannungs-Dehnungs-Kurve automatisch analysieren. Liegt der Bruch der Probe außerhalb der Anfangsmesslänge von taktilen Längenänderungsaufnehmern, kann die plastische Verformung während der Einschnürung und das darauffolgende Versagen nicht genau bestimmt werden. Mit optischen, berührungslosen Längenänderungsaufnehmern hingegen, welche die gesamte parallele Länge der Probe erfassen, lässt sich die Lage des Bruches exakt bestimmen – auch außerhalb der ursprünglichen Anfangsmesslänge. Vorausgesetzt, es wurden entsprechend ausreichend viele Messmarken während des Versuches betrachtet und gemessen. Diese Aufgabe lässt sich sehr präzise mit den optischen und berührungs-

losen Längenänderungsaufnehmern laserXtens Array und videoXtens Array von ZwickRoell lösen. Damit sind Bruchdehnungen bei 100 % der Proben automatisch sicher und genau bestimmbar.

Berührungslose Extensometer

Die berührungslosen Video-Extensometer sind für nahezu alle Prüfaufgaben ausgelegt. Von der automatischen Bruchlagenerkennung an Metallen über die Bestimmung der Poissonzahl an Faserverbundwerkstoffen in der Temperierkammer bis hin zu Zugversuchen an hochdehnbbaren Elastomeren. Der videoXtens 2-120 HP beinhaltet beispielsweise zwei Kameras deren überlappende Gesichtsfelder durch die ZwickRoell Array-Technologie zu einem großen Sichtfeld zusammengefasst werden. Eine Markierung, die das Sichtfeld einer Kamera verlässt, wird so auto-

matisch zum Sichtfeld der nächsten Kamera weitergereicht. Dadurch steht ein größeres Gesichtsfeld mit uneingeschränkt hoher Auflösung zur Verfügung. Berührungslos und hochgenau messen – ganz ohne Messmarken – ermöglicht beispielsweise der laserXtens 2-220 HP. Er besteht aus zwei Messköpfen mit digitalen Kameras und Laserlichtquellen, die ein Speckle-Muster als virtuelle Messmarken auf der Probenoberfläche erzeugen. Diese werden mit Hilfe eines hochentwickelten Korrelationsalgorithmus verfolgt (Speckle Tracking) und aus der Verschiebung von zwei hintereinander aufgenommenen Bildern Dehnungen berechnet. Dieses Verfahren misst Dehnungen auf der Probe mit höchster Präzision und bietet vielfältige Auswertemöglichkeiten; da keine Probenmarkierungen erforderlich sind, wird zudem viel Zeit bei der Probenvorbereitung eingespart.

Intelligent Testing Für Ihre großen Herausforderungen

Zwick / Roell

www.zwickroell.com

Prüfmaschinen bis 2.500 kN

Für die allergrößten Herausforderungen bietet ZwickRoell standardmäßig Prüfmaschinen bis zu 2.500 kN an. Egal ob Zug-, Druck- oder Biegeversuche, mit unseren Großlast-Prüfmaschinen sind Sie auf der sicheren Seite.





Prof. Dr.-Ing. Wolfram Volk

Technische Universität München
Lehrstuhl für Umformtechnik und
Gießereiwesen (utg)

Autoren:
Simon Kammerloher
Manuel Pintore
Patricia Erhard





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 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 urformenden 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 Studenten am utg somit einen tiefen Einblick in aktuelle Themen der Gießereibranche.

Fraunhofer-Institut für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik

Die Erweiterung der gießereitechnischen Themen am Standort München erfolgte 2016 mit der Gründung des Fraunhofer IGCV. Die Schwerpunkte der Hauptabteilung Gießereitechnik liegen in den Themenbereichen anorganische Formstoffe, indirekte additive Fertigung, Werkstoff- und Verfahrensentwicklung, Bauteilauslegung, Prozesssimulation sowie Digitalisierung.

Mit dem Bezug des neuen Technikums im Sommer 2021 können die genannten Themen mit der neuen und bereits vorhandenen Infrastruktur noch besser vorangetrieben werden.

Formstoffe und Entkernung

Die Forschung an und mit anorganisch gebundenen Formstoffen ist getrieben durch strengere gesetzliche Vorgaben und dem Wunsch nach

einer gesundheitlich unbedenklichen und umweltverträglichen Produktion. Im Gegensatz zu organisch gebundenen Kernen entstehen während des Abgusses erheblich weniger schädliche Emissionen. Ein Nachteil ist allerdings, dass der Entkernprozess deutlich aufwändiger und belastender für das Bauteil ist.

Wir betrachten diese Thematik simulativ aus zwei Blickwinkeln: Auf mikroskopischer Ebene wird ein Simulationsmodell entwickelt, das es ermöglicht, den initialen Kernbruch während des Entkernens zu berechnen.

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

Abb. 1: Mechanische Simulation eines Wassermantelkerns, ©gtm.

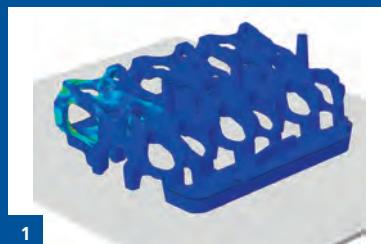


Abb. 2: Additiv gefertigtes Kernpaket, ©Fraunhofer IGCV, Andreas Heddergott.



Für die industrielle Anwendung wurde ein phänomenologisches Materialmodell entwickelt, welches die Entstehung und Ausprägung des Kernbruchs prognostiziert. Dadurch kann der Entkernprozess so optimiert werden, dass er weniger belastend für das Bauteil ist.

Additive Fertigung

Ein weiterer Themenbereich, der zunehmend an Bedeutung gewinnt, sind additive Fertigungsverfahren.

Systematische und automatische Kompensation

Im additiven Bereich treten, wie bei jedem Fertigungsverfahren, gewisse Maßabweichungen zwischen Soll- und Ist-Geometrie auf. Deterministische Maßabweichungen können

dabei vorgehalten werden. Nach dem aktuellen Stand der Technik geschieht diese Kompensation in der additiven Fertigung häufig manuell und erfahrungsbasiert.

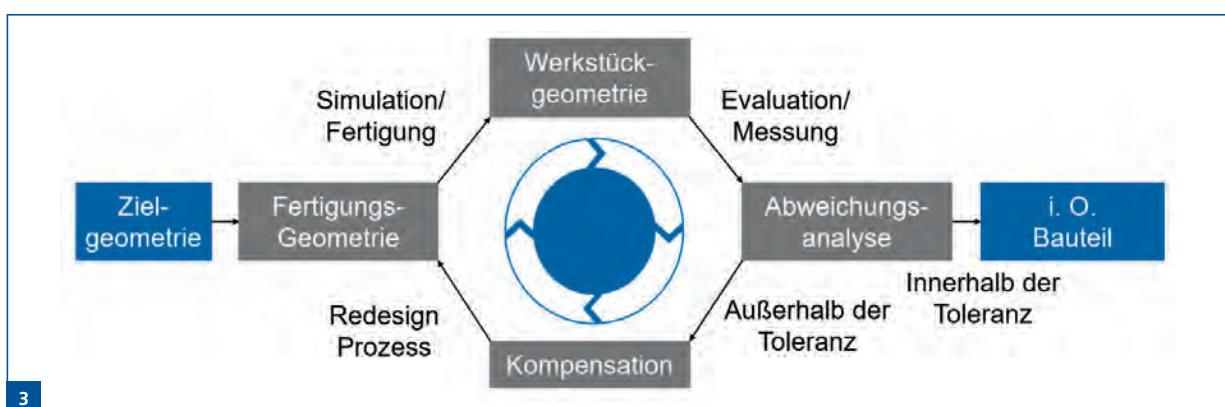
In der additiven Serienfertigung werden üblicherweise mehrere – teilweise über 100 – Gleichteile in einem Bauprozess auf einer Plattform hergestellt. Da die thermischen Bedingungen im Bauraum unterschiedlich ausfallen, treten Maßabweichungen ebenfalls abhängig von der Position im Baufeld auf. Eine manuelle Kompensation für jede Position im Baufeld geht mit hohem Aufwand einher. In einem Forschungsprojekt wird deshalb eine systematische und automatische Kompensationsmethode entwickelt und anhand unterschiedlicher additiver Verfahren umgesetzt.

Abb. 3: Vorgehen zur Kompensation von Abweichungen in der additiven Fertigung, ©gtm.

Kerne stehen neben der Weiterentwicklung der Prozesstechnik und der Prozessautomation die Binder- und Formstoffentwicklung im Fokus.

3D gedruckte Strukturen bieten auf Grund der schichtweisen Arbeitsweise des 3D-Druckverfahrens die Möglichkeit beliebig komplexe Kerne mit Hinterschnitten zu erzeugen. Diese Formfreiheit ist bei der konventionellen Produktion über Kernschießen nicht gegeben. Des Weiteren können mit einem Formstoffdrucker komplette Kernpakete in einem Stück hergestellt werden. Die Toleranzen der jeweiligen Lage hängen nur von der Genauigkeit des Druckers ab. Der größte Nachteil des 3D-Druckens gegenüber dem Kernschießen ist die Kostenstruktur.

Die aktuelle Druckgeschwindigkeit und Automation erlauben es bereits jetzt, aufgrund des Wegfalls der Werkzeuginvestitionskosten, kleine und mittlere Serien für komplexe





4



5

Abb. 4: Inkrementell gegossenes TUM-Logo aus AlSi12, ©gtm.

Abb. 5: Topologieoptimierter Kragbalken unter Berücksichtigung der lokalen Erstarrungszeiten im Niederdruck-Gießverfahren, ©gtm.

Kerne und Formen wettbewerbsfähig zu produzieren. Der volle Vorteil wird erst erreicht, wenn die Bauteilfunktion Formen erfordert, welche mit einem Kernschieß- bzw. Formprozess nicht herstellbar sind. Dies kann einerseits bei einer hochkomplexen Geometrie oder der Substitution von mehreren Bauteilen der Fall sein.

Inkrementelles Gießen

„Inkrementelles Gießen“ ist der Eigenname eines additiven Fertigungsprozesses, bei dem das Baumaterial (z.B. eine Aluminiumlegierung) in einem Druckkopf geschmolzen und tropfchenweise auf eine Bauplattform gedruckt wird.

Durch eine Erweiterung des Druckprozesses auf die Verarbeitung von Salzen wird es ermöglicht, wasserlösliche Stützstrukturen zu drucken, die die Nacharbeit am gedruckten Bauteil verringern. Neben einer thermischen Betrachtung des Prozesses ist die Auswahl eines geeigneten Salzes für das Verfahren von entscheidender Bedeutung.

Zudem laufen Untersuchungen zum inkrementellen Gießen von Reinkupfer und Bronze. Mit einem neu entwickelten Druckkopf werden Studien durchgeführt, um den Einfluss prozessspezifischer Parameter auf die mechanischen Eigenschaften der Bauteile zu ermitteln. Zudem wird der Prozess virtuell abgebildet, um die Prozessentwicklung zu unterstützen.

Prozessanalyse und Digitalisierung

Immer komplexere Bauteilstrukturen stellen immer höhere Anforderungen an die Topologieoptimierung. Die Integration von Prozesswissen in die Optimierung ist hier von entscheidendem Vorteil. Zur Reduzierung des gigantischen Rechenaufwands bei Gießsimulationen werden geometrische Analyseverfahren verwendet, um Aussagen über die gerichtete Erstarrung sowie die Formfüllung zu treffen.

Elektromotoren

Ein weiteres zukunftsweisendes Thema ist die Wirkungsgradsteigerung von Asynchronmotoren. Nachdem am Lehrstuhl utg bereits der Einfluss des Schneidvorganges von Elektroblechen für die Fertigung von Asynchronmotoren betrachtet wurde, wird aktuell der gießtechnische Fertigungsschritt untersucht. Hierfür werden alternative Gießverfahren zur Fertigung der Rotoren herangezogen und deren Einfluss auf die magnetischen Eigenschaften der Rotoren untersucht.

Darauf basierend wird ein virtuelles Modell erstellt, welches eine Prognose der magnetischen Eigenschaften der Rotoren nach dem Gießen ermöglicht.

Sensorik

Vor dem Hintergrund der intelligent vernetzten Produktion kommt der Prozessdatenaufnahme und -verarbeitung eine große Bedeutung zu. Im Mittelpunkt stehen dabei Sensor- und Messtechniklösungen, die den robusten Bedingungen in Gießereien standhalten.

Der Einsatz von Faser-Bragg-Gittern (FBG) in der Produktion von Aluminiumgussbauteilen ist eines unserer Projekte, um ein fundiertes Verständnis des Materialverhaltens zu schaffen. FBG eignen sich insbesondere für den Einsatz bei hohen Temperaturen bis ca. 800 °C. Mit Hilfe von eingebetteten FBGs ist die in situ-Ermittlung von Dehnungen möglich, ohne das Bauteil in seinem inneren Spannungszustand zu beeinflussen und erlaubt so Rückschlüsse auf das Bauteilverhalten.

Bei der Datenanalyse geht es neben der Datenqualität auch um die Entwicklung von Algorithmen zur Nutzung der Daten. Mit dem Er-



6

Abb. 6: Versuchsgeometrie zur Messung der Ummagnetisierungsverluste an einem umgossenen Elektroblechpaket, ©gtm.

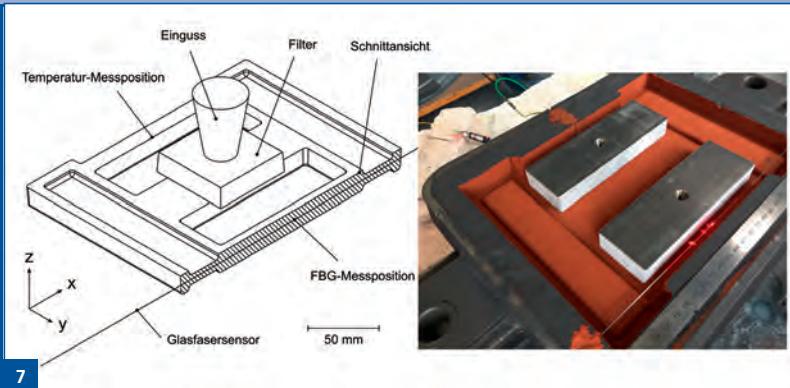


Abb. 7: Spannungsgitter mit optischer FBG-Dehnungsmessung, ©gtm.

kennen und Visualisieren von Prozessschwankungen besteht mit der Verknüpfung von Qualitätsdaten die Möglichkeit zur direkten Einflussnahme auf den Prozess.

Strang-und Verbundgießen

Ein in der Historie gewachsenes Themengebiet ist der Strang- und Verbundguss. Aktuell wird ein Verfahren zum Verbundstranggießen von Kupfer/Aluminium-Halbzeugen entwickelt. Zunächst wird ausgehend von Kokillengießversuchen der Grenzflächencharakter bestimmt. Anschließend erfolgt der Übertrag auf einen mehrstufigen halbkontinuierlichen Verbundgießprozess. Den Abschluss bildet das einstufige vertikale Verbundstranggießen. Ergänzend werden Untersuchungen zur thermomechanischen Weiterverarbeitung unternommen.

Analyse der Bindungsmechanismen beim Verbundgießen von Eisen- und Kupferbasiswerkstoffen

Durch die Verwendung von Werkstoffverbunden lassen sich lokal die Bauteileigenschaften gezielt den Anforderungen anpassen. Eine industriell vergleichsweise häufig eingesetzte Werkstoffpaarung stellen Eisen- und Kupferbasiswerkstoffe dar. Hierbei werden die hohe Festigkeit und der

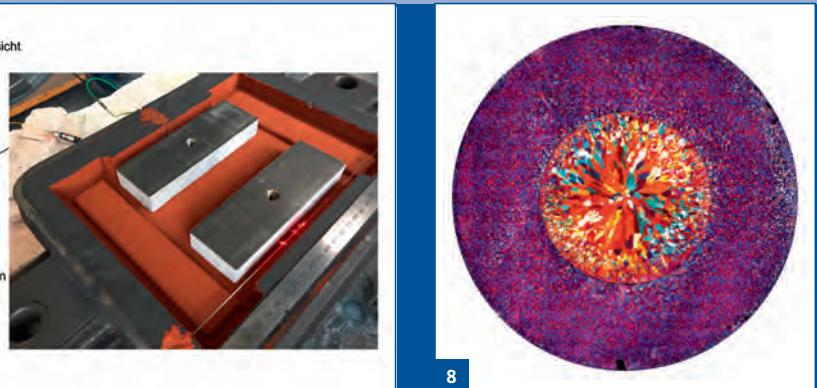


Abb. 8: Geätztes Gefüge einer verbundgossenen Messing-Aluminium-Probe, ©gtm.

geringe Preis von Gusseisen oder Stahl mit der guten thermischen und elektrischen Leitfähigkeit von Kupfer vereinigt. Typische Anwendungsfälle liegen in Kontakt elementen der Elektro- und Elektronikindustrie, sowie in fluidführenden Bauteilen von Wärmetauschern.

Das Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung eines Modells zur Vorhersage der Bindefestigkeit und metallurgischer Eigenschaften der Bindezone von gegossenen Eisen-Kupfer-Hybridprodukten in Abhängigkeit der werkstoffkundlichen und prozesstechnischen Randbedingungen. Der Werkstoffverbund wird in einer Dauerform hergestellt, indem ein Kupferbasiswerkstoff an einen festen Eisenbasis-Substratkörper angegossen wird. Durch eine Variation der Versuchspараметer werden Ursache-Wirkungs-Ketten aus Prozesseingangsgrößen, den verbundbildenden Mechanismen und der resultierenden Verbundbeschaffenheit abgeleitet.

Im Zuge des Projekts wurde ein Spiegelofen weiterentwickelt, der

bisher am Lehrstuhl im Einsatz war. Ursprünglich entworfen wurde dieser, um Auswirkungen der Wärmebehandlung von Gusseisen im Neutronenstrahl sichtbar zu machen. Erste Schmelzvorgänge wurden im Spiegelofen für die Herstellung von Kupfer-Kupfer Verbunden durchgeführt. Schrittweise erfolgte eine Erweiterung des Funktions- und Temperaturumfangs. So sind nun Temperaturen bis maximal 1200 °C möglich. Zudem erlaubt es der Aufbau mit kleiner Probengröße und aktiver Kühlung nahezu beliebige Temperaturprofile zu realisieren. Insbesondere können somit auch die Erstarrungs- und Abkühlbedingungen in unterschiedlichen Bauteilbereichen nachgestellt werden. Im einfachsten Fall handelt es sich hierbei um eine Temperatur, die mittels Regler angefahren und für eine definierte Zeit gehalten wird. Somit lassen sich prinzipielle Einflüsse auf die Verbundbildung wie z.B. Diffusionseffekte charakterisieren, die auch über die Grenzen hinausgehen, wie sie in den klassischen Gießverfahren dargestellt werden können. Die freie Gestaltung von Temperatur-Zeit-Profilen ermöglicht eine detaillierte

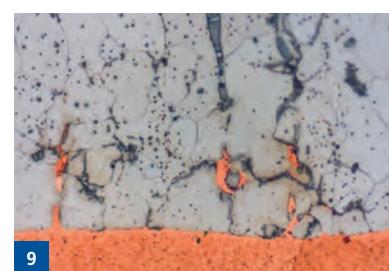


Abb. 9: Schliffbild: Verbundzone Kupfer-Stahl, ©gtm.



Abb. 10: Spiegelofen zur geregelten Temperaturführung von Proben im Labormaßstab bis in den schmelzflüssigen Bereich, ©gtm, Tobias Hase.

Abb. 11: Torsionsprüfstand zum Testen der Spiegelofenproben, ©gtm.

Aluminium-Nickel oder Aluminium-Calcium) dienen als Basis zur Entwicklung hochwarmfester Leichtbauwerkstoffe, wobei eine anwendungsnahe Verarbeitung sichergestellt wird.

Anhand eines innovativen Legierungsscreenings mittels thermodynamischer Simulation und additiver Fertigungsverfahren (Rapid Alloy Development) konnten vielversprechende Ausgangslegierungen seitens der Partnerinstitute bestimmt werden. Auf dieser Basis wird die Legierungsentwicklung weiter fokussiert. Zielstellung ist unter anderem eine Legierung, welche sowohl additiv als auch gießtechnisch prozesssicher verarbeitet werden kann.

Am Fraunhofer IGCV werden umfangreiche Schmelz- und Gießversuche zur Qualifizierung der gießtechnischen Verarbeitbarkeit durchgeführt, deren Ergebnisse fortlaufend in die weitere Legierungsentwicklung einfließen. Dabei werden neben den mechanischen Eigenschaften und der Gefügezusammensetzung insbesondere die gießtechnischen Eigenschaften wie Fließfähigkeit, Formabbildungsvermögen und Lunkerneigung analysiert, welche für die prozesssichere Verarbeitung essentiell sind. Neben den experimentellen Untersuchungen werden numerische Modelle zur Gießprozesssimulation der neuartigen Legierungen entwickelt, mittels derer die thermischen und fluiddynamischen Prozessbedin-

Betrachtung durch eine Trennung der einzelnen ablaufenden Prozesse. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, eine vorgegebene Temperaturkurve nachzufahren. Diese kann sowohl aus Messdaten am realen Prozess, wie beispielsweise Strang-, Kokillen- oder Sandgießen, als auch aus den Ergebnissen einer Gießsimulation entnommen werden. Somit wird es möglich, Gefügebeschaffenheit und mechanische Kennwerte für charakteristische Bauteilbereiche mit geringem Testaufwand zu verifizieren.

Für die mechanische Charakterisierung, insbesondere der Verbundproben, wurde eine Torsionsprüfeinheit entwickelt. Diese setzt mittels Zahnpfanne und -rad die translatorische Bewegung einer Zug-Druck-Prüfmaschine in eine rotatorische Bewegung um. Hierbei ist eine Seite der Probe in einer Spannzange an der Welle der Prüfeinheit befestigt. Das entgegenwirkende Moment wird mittels eines Formschlusses mit dem Gehäuse aufgebracht. Drehmoment und Verdrehwinkel berechnen sich schließlich anhand des Wälzkreisdurchmessers aus den Messwerten der Zug-Druck-Prüfmaschine. Hieraus lassen sich u. a. Aussagen bezüglich Festigkeit und Sprödheit der Verbundzone treffen. Zudem erfolgen optische Unter-

suchungen der Gefügeausprägung beispielsweise am Auflichtmikroskop. Mittels Nanoindentation ist es möglich, Härtewerte und E-Modul der einzelnen Phasen zu ermitteln und somit Materialkennwerte für simuliertes Versagen der Grenzfläche aufgrund einer Überlastung zu gewinnen.

Abschließend werden die Zusammenhänge für das Schwerkraftgießen validiert, indem ein Referenzbauteil abgegossen wird. Somit ermöglichen die Untersuchungen die Auslegung eines belastungsoptimierten Verbundbauteils anhand thermischer Daten der zugehörigen Gießsimulation.

Entwicklung neuartiger Aluminiumlegierungen für die Verarbeitung im Urformen

In diesem Forschungsvorhaben, welches gemeinsam mit dem Fraunhofer ILT, Aachen und dem Fraunhofer IWM, Freiburg durchgeführt wird, steht die Entwicklung neuartiger Aluminiumlegierungen für die urformtechnische Verarbeitung im Fokus. Dabei soll sowohl eine additive als auch eine gießtechnische Verarbeitung ermöglicht werden, um den größtmöglichen Freiheitsgrad für die Fertigung zu erhalten. Legierungskompositionen mit unkonventionellen Hauptlegierungselementen (z.B.

Abb. 12: Füllsimulation für einen Stufenkeil, ©Fraunhofer IGCV.

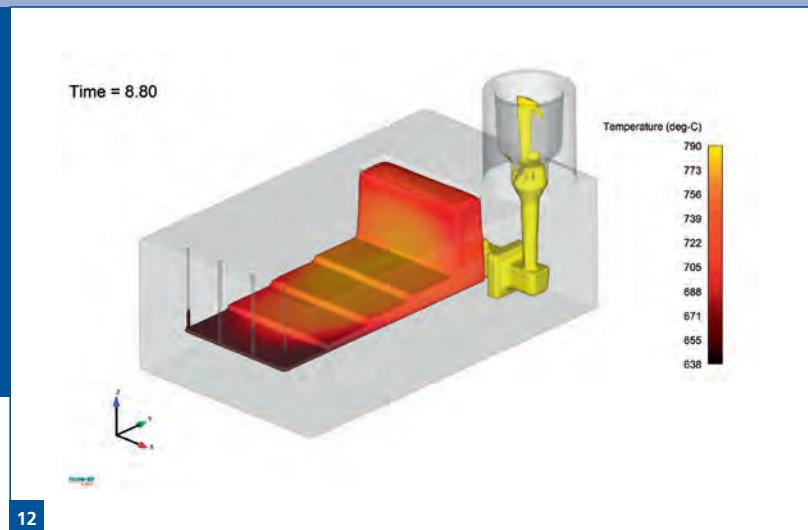
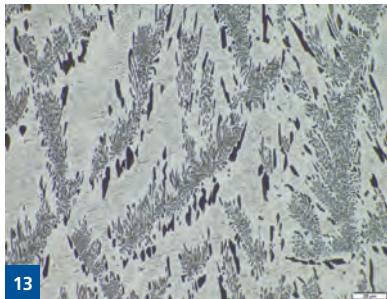


Abb. 13: Metallographische Aufnahme einer AlNiMgSi-Legierung, ©Fraunhofer IGCV.



gungen im Gießversuch abgebildet werden. Abgerundet wird das Projekt durch die Anfertigung von Demonstratorbauteilen mittels additiver und gießtechnischer Fertigung, anhand derer das Potential der Legierungen ersichtlich wird. Die zuvor entwickelten numerischen Simulationsmodelle ermöglichen die prozessorientierte Konstruktion und Auslegung der Gussformen, wodurch letztlich auch die anwendungsnahe Verarbeitbarkeit verifiziert wird.

Schlickerbasierte Additive Fertigung von Gießkernen

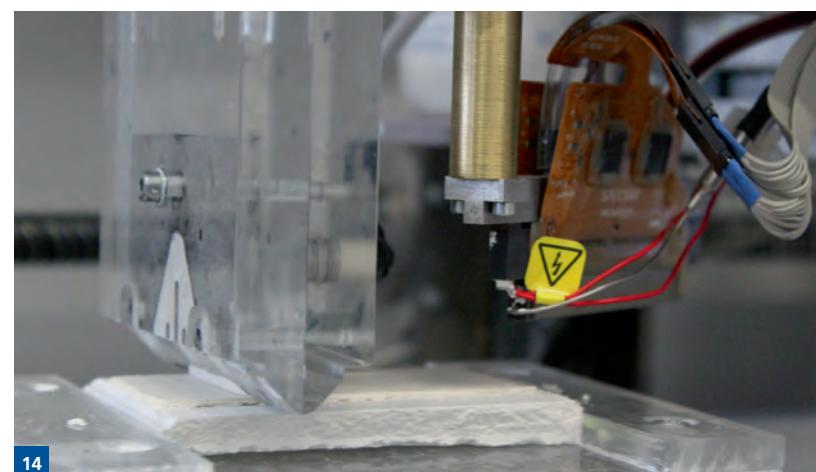
Das Binderjetting-Verfahren ermöglicht die effiziente Herstellung komplexer Gießkerne. Der Gestaltung innenliegender Konturen in Gussbauteilen sind jedoch über die geringe Festigkeit von 3D-gedruckten Sandkernen Grenzen gesetzt. Der schlickerbasierte 3D-Druck ermöglicht die Fertigung mechanisch stabiler, hoch-

temperaturbeständiger und filigraner Gießkerne hoher Oberflächengüte. In einem vom BMWi geförderten ZIM-Projekt entwickelte das Fraunhofer IGCV mit den Partnern Fraunhofer-Zentrum HTL, Voxeljet und NRU eine innovative Prozesskette für die schlickerbasierte Herstellung hochfester 3D-gedruckter Gießkerne für die Zielanwendung konturnaher Kühlsysteme z.B. von Elektromotoren.

Anstelle von fließfähigen trockenen Quarzsandpulvern, welche konventionell im 3D-Druck von Gießkernen eingesetzt werden, wurde ein sedimentationsstabiler Quarzschnitzer aus sehr feinem Quarzmehl entwickelt. In einem Teststand sowie einem industriellen Prototypen-3D-Drucker

können nun dünne Schichten aus Quarzschnitzer über einen Slurry-Coater homogen auf das Baufeld aufgetragen, getrocknet und schichtweise mittels Inkjet-Technologie mit Binder bedruckt werden. Ergebnis ist ein in einen dicht gepackten Pulverkuchen eingebetteter Grünkörper von sinterfähig Dichte, der nach dem 3D-Druck im Ultraschallbad ausgelöst werden kann. In einem nachfolgenden Entbinderungs- und Sinterprozess können die mechanischen Eigenschaften des Gießkerns eingestellt werden.

Abb. 14: Fertigung von 50 µm-Schichten aus keramischem Schnitzer, ©gtm.



14

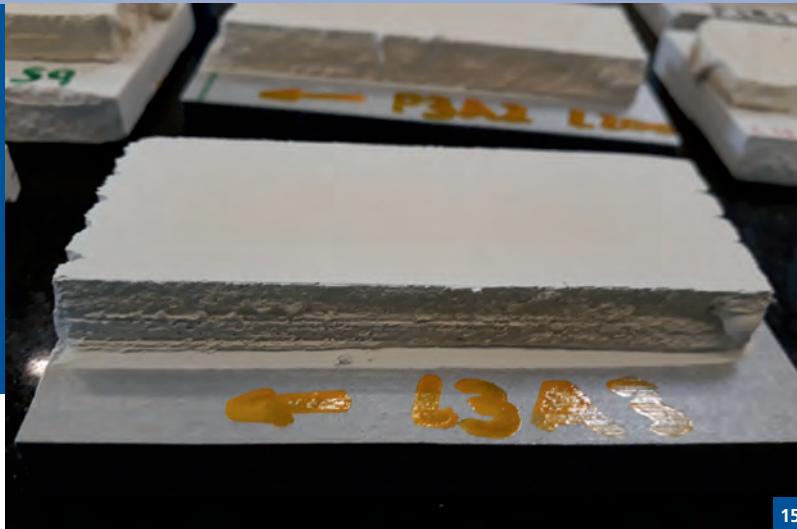


Abb. 15: Konsolidierter Pulverkuchen aus 50 µm-Schichten, ©Fraunhofer IGCV.

15

Am Fraunhofer IGCV wurde im Rahmen des Projekts der Teststand für die 3D-Druck-Prozessentwicklung des neuen Materialsystems entwickelt. Über simulative Untersuchungen, die die experimentelle Prozessentwicklung begleiteten, wurde eine für einen homogenen Schichtauftrag optimierte Coatergeometrie entworfen und erprobt. Eine rissfreie Trocknung der Schichten wird über die in den Teststand integrierte sensorgestützte Regelung der Trocknungsparameter erreicht. Neben dem Auftrag von Schlickerschichten

wurde ein Modell zur Simulation des Bindereintrags entwickelt. Über ein dem Schlickermaterial angepasstes Temperaturprogramm können nahezu schwindungsfreie Gießkerne von feingussgeeigneter Oberflächenbeschaffenheit erzeugt werden.

Ein Abgleich von Schlickerzusammensetzung und Sinterkurve ermöglicht es nun, je nach Bedarf die Eigenschaften des Gießkerns einzustellen. Für die Zielanwendung wurde ein Sinterprozess gewählt, über welchen Biegefestigkeiten von 8 – 12 MPa

erreicht werden, sodass nun filigrane Hohlkerne mit Wandstärken < 2 mm realisierbar sind.

Die schlickerbasierte additive Fertigung von Gießkernen bietet enorme Potentiale für die Fertigung von funktionsintegrierten Hochleistungs Gussteilen, da eine endkonturnahe Fertigung filigraner Innenstrukturen hoher Oberflächengüte möglich wird. Über das im Rahmen des Projektes vertiefte Prozessverständnis und eine begleitende Modellierung kann nun auf eine vereinfachte Parameterfindung für suspensionsbasierte 3D-Druckverfahren und Sinterprozesse zurückgegriffen werden.





Ingenieur wissenschaften 2021

Idee, Konzeption und redaktionelle Koordination:
Institut für Wissenschaftliche Veröffentlichungen (IWF)



Redaktionelle Leitung: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Andreas Bührig-Polaczek
Bildnachweis: Das jeweilige Institut; Einblendung Titel: ©nasimi – 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. Zu widerhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechts.

Lampertheim, März 2021
© ALPHA Informationsgesellschaft mbH und die Autoren für ihre Beiträge

ISSN: 1618-8357
Projekt-Nr. 096-571

GIFA



METEC



**THERM
PROCESS**



NEWCAST



TECHNOLOGIES

PROCESSES

APPLICATIONS

PRODUCTS



eco Metals

EFFICIENT PROCESS SOLUTIONS

www.tbwom.com

The Bright World of Metals

12-16 JUNE 2023

DÜSSELDORF/GERMANY



See you in
Düsseldorf!



Messe Düsseldorf GmbH
P.O. Box 10 10 06 - 40001 Düsseldorf - Germany

Tel. +49 211 4560 01 - Fax +49 211 4560 668

www.messe-duesseldorf.de



Messe
Düsseldorf