

Schiff & Hafen

FACHZEITSCHRIFT FÜR SCHIFFFAHRT, SCHIFFBAU & OFFSHORE-TECHNOLOGIE



the cylinder pressure people

Online combustion sensors for application on diesel-, gas-, and future fuel engines

HTT-06 • CPS-03 • SPS-01 • PCS-01

ready for
future fuels



Closed loop control on internal combustion engines

- extreme robust against high dp/dt
- designed life expectancy 16,000 h
- digital electronic with event storing
- very good thermodynamic performance
- protection class IP69
- hydrogen-, methanol- and ammonia approved
- Marine type approval from all significant international classification societies



MARITIM 4.0

SCHIFF&HAFEN | SHIP&OFFSHORE

9. SCHIFF&HAFEN-KONFERENZ

MUSTER



JETZT ANMELDEN



➔ MARITIM 4.0 AM 15. – 16. MAI 2024 IN HAMBURG

Digitalisierung als Enabler für verbesserte Effizienz, mehr Sicherheit und Umweltschutz

Erstmals: Der Maritim 4.0-Vorabend mit Vorträgen, Essen, Getränken und Gesprächen

Auch in diesem Jahr bietet die Maritim 4.0-Konferenz wieder ein umfassendes Programm zu den Bereichen Digitalisierung, Autonome Schifffahrt und automatisierte Systeme, Cyber Security sowie Daten und Standards. Zusätzlich zu den etablierten Themenblöcken widmen wir uns in diesem Jahr erstmals mit Kurzvorträgen den „Emerging Technologies“, also marktnahen Entwicklungen, deren (großflächige) Anwendbarkeit kurz bevorsteht.

Außerdem laden wir alle Teilnehmer, Speaker und Sponsoren zu einem exklusiven Vorabend-Event ein. Neben einem Vorgeschmack auf das Konferenzprogramm stehen hier das Netzwerken und der Austausch in nettem Ambiente im Fokus.

Die Redaktion von Schiff&Hafen freut sich, auch in diesem Jahr wieder gemeinsam mit Experten und Entscheidern aus Reedereien, von Zulieferunternehmen, Forschungseinrichtungen und innovativen Start-ups über Konzepte und den Einsatz von digitalen und automatisierten Anlagen zu diskutieren.

JETZT ANMELDEN UNTER: WWW.MARITIM40.DE

VERANSTALTER:

Schiff&Hafen

MEDIENPARTNER:

Ship&Offshore **THB**

KOOPERATIONSPARTNER:

VDR Verband
Deutscher
Reeder

VSM
VERBAND FÜR SCHIFFFAHRT UND MEERESTOURISMUS E.V.

GMT
Gesellschaft für Maritime Technologie

VDMA
Marine Equipment
and Systems

SPONSOREN:

bachmann.

data.respons

DNV

globaldatanet

MARLINK

SICK
Sensor Intelligence.



Kathrin Lau
Chefredakteurin
kathrin.lau@dvvmedia.com

Communicare necesse est

Es fällt dieser Tage schwer, ein Thema abseits der geopolitischen Konflikte zu kommentieren und einzuordnen. Insbesondere die dramatisch eskalierende Lage im Nahen Osten, wo ein Ende nicht in Sicht ist, nimmt viel Raum im täglichen Miteinander ein. Nicht zuletzt auch in der maritimen Wirtschaft, denn weiterhin ist die Gefahrensituation für die Handelsschiffe im Roten Meer hoch und bleibt mitunter unüberschaubar. So wichtig die internationalen Aufrufe zur Deeskalation jetzt sind, so wenig werden sie vermutlich das Geschehen beeinflussen können. Und doch bleiben Kommunikation und Diplomatie ein essenzielles Instrument – welches jedoch sinnlos ist, wenn es nur einseitig betrieben wird.

„Man kann nicht nicht kommunizieren“ ist ein in der Kommunikationswissenschaft bekanntes Axiom des österreichisch-US-amerikanischen Philosophen und Psychoanalytikers Paul Watzlawick. Kommunikation ist überall, wo Menschen sind. Kommunikation und die Kommunikationsmittel unterliegen dabei seit jeher einem ständigen Wandel. Die intelligente Vernetzung von Maschinen und Prozessen in der Industrie mithilfe von Informations- und Kommunikationstechnologie – seit der Hannover Messe 2011 auch als Vierte Industrielle Revolution bezeichnet – hat in den vergangenen Jahren unter anderem maßgeblich dazu beigetragen, neue und verbesserte Formen der Kooperationen zu ermöglichen: Neue (digitale) Technologien und Innovationen verbreiten sich deutlich schneller als zuvor; Daten können schneller und zuverlässiger gesammelt, ausgewertet und weitergeleitet werden. Im Ergebnis können Prozesse effizienter, kostengünstiger und sicherer gestaltet werden. Natürlich gibt es auch hier eine Kehrseite der Medaille: Die Gefahr von Cyber-Angriffen und Datenschutzverletzungen sowie die Notwendigkeit, Mitarbeiter entsprechend mitzunehmen und die Unternehmenskultur weiterzuentwickeln, bringen nicht unerhebliche Anforderungen mit sich.

Der Nutzen überwiegt jedoch und zeigt sich auch vielfältig in der maritimen Industrie – ob in der Produktion, in der jetzt immer häufiger an Verfahren der additiven Fertigung geforscht wird, oder im operativen Schiffsbetrieb, in dem automatisierte Systeme mittlerweile weit verbreitet sind. Und auch hier trägt die Anwendung digitaler (KI-gestützter) Technologien zur Optimierung der Kommunikation zwischen Schiffen untereinander oder von Schiffen an Land bei. Innerhalb eines aktuellen Forschungsprojekts des Fraunhofer-Center für Maritime Logistik und Dienstleistungen CML wird beispielsweise ein Spracherkennungssystem entwickelt, das künstliche Intelligenz nutzt, um den Sprechfunkverkehr in Textform umzuwandeln und in Echtzeit bereitzustellen. Das könnte das Verständnis und die Interpretation von Meldungen – insbesondere in herausfordernden Situationen und lauten Umgebungen – unterstützen und zur Erhöhung der Sicherheit beitragen.

Das Risiko von Missverständnissen, von Misskommunikation ist immer da: ob im Funkverkehr, in der Diplomatie oder im täglichen Miteinander. Moderne Medien und Technologien können dazu beitragen, Übertragungsqualität und auch Übersetzungen zu verbessern; das Mindset des Empfängers und des Senders und die Bereitschaft, zuzuhören und gegebenenfalls Kompromisse einzugehen, vermögen sie indes nicht zu gestalten.

MUSTER



Energy Transition Outlook 2023

MARITIME FORECAST TO 2050



Exploring all options to reach shipping's decarbonization goals

The 2020s has emerged as the decisive decade for the decarbonization of shipping. The action we take now will determine our future success.

This year's Maritime Forecast to 2050 explores selected energy efficiency technologies that support the industry to meet IMO's 2030 targets and others that can help alleviate future carbon-neutral fuel demands. It also provides guidance and a stepwise approach for establishing green shipping corridors.



Download your free copy now
dnv.com/maritime-forecast



28



44

Schiffbau & Schiffstechnik

Maritim 4.0

- 10 Generative Fertigung maritimer Komponenten
- 18 Flexibles AM ermöglicht wettbewerbsfähige Produktion
- 24 Automatisierungskonzept unterstützt haptische Rückmeldung

Future Fuels & Energy Solutions

- 26 Strategische Partnerschaft zur Einführung von Dual-Fuel-Motor auf chinesischen Markt
- 27 Brennstoffzellen-Generator erzeugt Strom emissionsarm

Aus der Industrie

- 28 Heimischer Auftrag für Frischwassersysteme
- 28 Bulker-Neubauten mit Dual-Fuel-Antrieb erweitern Flotte

Schiffbau & Schiffstechnik

Spezial: 125 Jahre STG

- 30 Wissensplattform der Schiffbauindustrie
- 33 Interview: Prof. Dr.-Ing. Stefan Krüger

Offshore & Meerestechnik

Offshore-Windenergie

- 36 Untersuchung des Tragverhaltens von Offshore-Grout-Verbindungen unter Wasser

Aus der Industrie

- 44 Maximale Effizienz mithilfe elektrischer IPS-Antriebsstränge
- 44 Österreichisches Unternehmen beliefert Offshore-Windpark in Taiwan
- 45 „Die Arbeit ist essenziell wichtig für die maritime Wirtschaft“

Schifffahrt & Häfen

Maritim 4.0

- 46 Digitaler Zwilling für die Optimierung des Schiffsbetriebs
- 50 Marine Grade PC-Technologie ermöglicht hochdigitalisierte Schiffe

Safety & Security

- 52 Dringender Handlungsbedarf zur Steigerung der maritimen Resilienz erforderlich

Deutsche Häfen

- 54 Geopolitische Herausforderungen und verhaltenes Konsumklima lassen Umschlag sinken
- 56 Ostseehafen vermeldet umschlagstärkstes Jahr
- 58 Positive Signale bei Automobilen, Windkraftkomponenten und flüssigen Massengütern

Complete Filters
Filter Elements
Spare Parts
Accessories
Centrifuges
Cleaning Agents
Repair
Installation



FIL-TEC RIXEN GmbH[®]

Osterrade 26 • D-21031 Hamburg • Phone: +49 (0)40 656 856-0 • Fax: +49 (0)40 656 57 31 • info@fil-tec-rixen.com • www.fil-tec-rixen.com

The Specialists for Filters in Marine and Industry

For over 35 years, the specialist **FIL-TEC RIXEN GmbH**[®] has been involved with improvement, manufacture, service and sales of filters and filter replacement parts **for marine and industrial applications.**

Thanks to our technically sophisticated management systems and flexibility when it comes to special orders, we can respond effectively and at short notice with customised solutions.





POSIDONIA
 3 - 7 June 2024
 Stand 1.423



Maritim 4.0

Von additiven Fertigungsverfahren bis hin zu digitalen Zwillingen: Die maritime Wirtschaft profitiert entlang ihrer gesamten Wertschöpfungskette von zunehmender Vernetzung und präziser Datenverarbeitung.

Einen idealen Rahmen für den fachlichen Austausch zu diesen Themen bildet die im Mai stattfindende und von der Schiff&Hafen | Ship&Offshore-Redaktion organisierte Fachkonferenz Maritim 4.0 in Hamburg. Begleitend dazu bieten die Fachbeiträge in dieser Ausgabe einen detaillierten Einblick in aktuelle Forschungs- und Entwicklungsarbeiten.

Themenschwerpunkt ab Seite 10 und ab Seite 46

Standards

- 3 Editorial
- 6 Magazin
- 35 New Ships
- 63 Terminal / Findex
- 65 Impressum
- 66 Damals

Dieser Ausgabe von Schiff&Hafen liegt eine Beilage von Vogel Communications Group GmbH & Co. KG, Würzburg, sowie die Beilage „New Ships“ der DVV Media Group, Hamburg bei





Schützen Sie die Umwelt und erhöhen Sie gleichzeitig Ihre Flexibilität mit dem REINTJES Hybridsystem

Weitere Informationen finden Sie hier: www.reintjes-gears.de



Foto: Maersk

MUSTER

Massengutreedereien fusionieren

Star Bulk Carriers | Die griechische Reederei Star Bulk Carriers und die US-amerikanische Eagle Bulk Shipping haben sich jetzt im Rahmen eines Aktientauschs offiziell zusammengeschlossen und dadurch nach eigenen Angaben die weltweit größte börsennotierte Bulkreederei geschaffen. Das fusionierte Unternehmen wird unter dem neuen Namen Star Bulk Carriers firmieren, seinen Hauptsitz in der griechischen Hauptstadt Athen haben und von Petros Pappas geleitet werden.

Gary Weston, Direktor von Eagle Bulk, ist dem Vorstand von Star Bulk und Bo Westergaard, Chief Commercial Officer (CCO), dem neuen Führungsteam von Star Bulk beigetreten. Star Bulk Carriers verfügt jetzt über eine Flotte von 163 eigenen Schiffen mit einer Gesamtkapazität von 15,6 Mio tdw.

Das mit Methanol betriebene Containerschiff „Astrid Maersk“ wurde in Yokohama, Japan, getauft

„Astrid Maersk“ in Japan getauft

Methanolfähiges Großcontainerschiff | Die dänische Reederei Maersk hat am Daikoku Pier Cruise Terminal in Yokohama, Japan, ihr zweites methanolfähiges Großcontainerschiff getauft. Die „Astrid Maersk“ gehört zu einer Neubau-Serie des Unternehmens, zu der 18 Schiffe zählen, die zwischen 2024 und 2025 abgeliefert werden sollen. Maersk hat sich für das Jahr 2040 ein Netto-Null-Treibhausgasemissionsziel für das ganze Unternehmen gesetzt. Die Reederei wird 25 Containerschiffe ihrer Flotte mit Dual-Fuel-Motoren ausstatten, die mit grünem Methanol betrieben werden können. Zu diesen Schiffen gehören das Feederschiff

„Laura Maersk“, das seit September 2023 im innereuropäischen Verkehr eingesetzt wird, und das 16 000-TEU Containerschiff „Ane Maersk“, das seit Januar zwischen Asien und Europa verkehrt. Laut Vincent Clerc, Vorstandsvorsitzender von A.P. Moller – Maersk, unternehme die Reederei mit der „Astrid Maersk“ und ihren Schwesterschiffen wichtige Schritte auf dem Weg zur Energiewende im Seeverkehr. Um grüne Lieferketten zu ermöglichen und die Entwicklung der Schifffahrt in Richtung Netto-Null-Emissionen zu beschleunigen, seien kontinuierliche, mutige Maßnahmen von engagierten Kunden, Branchenkollegen und Zulieferern erforderlich.



Die Damen Shipyards Group ist für Retrofit-Arbeiten an rund 100 CMA CGM-Schiffen verantwortlich Foto: Damen

Modernisierungen geplant

Kraftstoffeinsparung | Die französische Reedereigruppe CMA CGM und das niederländische Schiffbauunternehmen Damen Shipyards Group planen, in den kommenden Jahren Modernisierungen an rund 100 Schiffen von CMA CGM durchzuführen. Hauptaugenmerk der Modernisierungen ist der Austausch der Wulstbüge. Darüber

hinaus prüft CMA CGM weitere Nachrüstooptionen, die einen Beitrag zur Effizienz ihrer Schiffe leisten können. Für dieses Jahr sind neun Retrofits an CMA CGM-Schiffen geplant. Den Auftakt machen dabei das mit LNG betriebene Container-Feederschiff „Polar“, die 170 m lange „Arctic“ und die 170 m lange „Aurora“.

Fassmer baut Flaggschiff für deutsche Generalzolldirektion

LNG-Neubau | Die Fr. Fassmer GmbH & Co. KG hat den Auftrag für den Bau des zukünftigen Flaggschiffs der deutschen Generalzolldirektion erhalten. Das 67 m lange Mehrwachenschiff wird mit einem LNG-Antrieb, zwei 7500 kW leistungsstarken MTU-Hauptmotoren und zwei MTU-Hilfsaggregaten ausgestattet. Die Maximalgeschwindigkeit des Neubaus

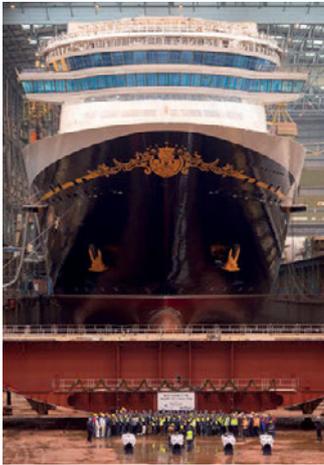
wird mit 23 kn angegeben. Darüber hinaus wird das Schiff über genügend Raum für Crew und Ausrüstung verfügen, so Fassmer. Zusätzliche Einsatzboote in den Davits auf dem Achterdeck, die ebenfalls von Fassmer hergestellt werden, sollen die Flexibilität für Boarding-Manöver und Kontrollfahrten steigern. Die Ablieferung ist für Ende des Jahres geplant.



Der 67 m lange LNG-Neubau soll das Flaggschiff der deutschen Generalzolldirektion werden Quelle: Fr. Fassmer GmbH & Co. KG

„Disney Destiny“ auf Kiel gelegt

Wish-Klasse | Die Meyer Werft hat zusammen mit dem US-Kreuzfahrtunternehmen



Die „Disney Destiny“ bei der Kiellegung auf der Papenburger Meyer Werft Foto: Meyer Gruppe

Disney Cruise Line in Papenburg das Kreuzfahrtschiff „Disney Destiny“ auf Kiel gelegt. Der 144 000 BRZ-Neubau, der über rund 1250 Kabinen verfügen wird, ist das dritte Schiff der Wish-Klasse und soll 2025 abgeliefert werden. Die „Disney Destiny“ wird ebenso wie ihre Schwesterschiffe, die 2022 fertiggestellte „Disney Wish“ und die „Disney Treasure“, die voraussichtlich in diesem Jahr abgeliefert wird, über einen LNG-Antrieb verfügen.

„Mit der Kiellegung haben wir einen weiteren Meilenstein in unserer Partnerschaft mit Disney Cruise Line erreicht“, sagt Thomas Weigend, Chief Sales Officer der Meyer Gruppe und Geschäftsführer der Meyer Werft.



Quelle: APM Terminals

Rijeka Gateway soll im zweiten Quartal 2025 in Betrieb gehen

100 Mio. Euro für Rijeka Gateway

Elektrifizierung | Der Hafentreiber APM Terminals, Tochterunternehmen von Maersk, hat angekündigt, rund 100 Mio. Euro in die Elektrifizierung des neuen Hafenterminals Rijeka Gateway in Kroatien zu investieren. Rijeka Gateway, ein Joint Venture von APM Terminals und Enna Logic, wird voraussichtlich im zweiten Quartal 2025 voll betriebsfähig sein und

zunächst über eine Jahreskapazität von rund 650 000 TEU verfügen; für eine spätere Phase ist eine Jahreskapazität von 1 055 000 TEU geplant. Es sollen u.a. 63 elektrische Containerumschlaggeräte angeschafft werden: vier Ship-to-Shore-Krane, 15 gummiereifte und zwei schienengebundene Portalkrane, 14 Elektrofahrzeuge sowie 28 elektrische Terminaltraktoren.

Damen liefert ASD-Schlepper 2811 an Brodospas

„Hrabi“ | Die niederländische Schiffbaugruppe Damen Shipyards hat einen ASD-Schlepper 2811 an den kroatischen Schiffsbetreiber Brodospas abgeliefert. Mit einer Pfahlzugkraft von 60 t soll die „Hrabi“ in den Häfen von Split und Ploče an der dalmatinischen Küste eingesetzt werden.

Der auf der Damen Song Cam-Werft in Vietnam gebaute ASD-Schlepper 2811 verfügt über ein bündig abfallendes Vorderdeck, das für verschiedene Schleppar-

ten optimiert ist. Zudem besitzt das Schiff ein Feuerlöschsystem und einen Schlepphaken.

„Wir freuen uns, die Ablieferung der ‚Hrabi‘ an unseren geschätzten Partner Brodospas zu feiern. Diese Meilensteinablieferung ist ein weiteres wichtiges Kapitel in der dauerhaften Partnerschaft zwischen Damen Shipyards und Brodospas, die auf Zusammenarbeit und gegenseitigem Vertrauen beruht“, sagt Antonio Marte, Global Sales & Marketing Advisor bei Damen.



Der ASD-Schlepper 2811 „Hrabi“ soll in den Häfen von Split und Ploče an der dalmatinischen Küste eingesetzt werden Foto: Damen



Illustration des wasserstoffbetriebenen SOVs

Quelle: LDA

Louis Dreyfus plant wasserstoffbetriebenes SOV

Konzeptionsphase | Die französische Reederei Louis Dreyfus Armateurs (LDA) hat ein Konzept für ein mit Flüssigwasserstoff betriebenes Service Operation Vessel (SOV) vorgestellt. Das Design befindet sich aktuell in der Konzeptionsphase und wird in Zusammenarbeit mit dem norwegischen Schiffbauunternehmen Salt Ship Design sowie mit Zulieferern,

Klassifikationsgesellschaften, Flaggenbehörden und Kraftstoffanbietern entwickelt. Während des regulären Betriebs soll das SOV den Angaben zufolge nahezu emissionsfrei operieren können. Dadurch sollen rund 4000 t Emissionen pro Jahr vermieden werden. Das Design bietet Platz für bis zu 90 Techniker an Bord und kann bis zu 14 Tage auf See bleiben.

Elektrisches Verstellsystem für Ocean Wings



Die vier OceanWings wurden im August 2023 auf der „Canopée“ installiert
Foto: Jifmar Group Library / Tom Van Oossanen

„Canopée“ | Das Technologieunternehmen Liebherr hat den Auftrag erhalten, vier OceanWings des französischen Start-ups Ayro mit einem elektrischen

Verstellsystem auszustatten. Die 73 m hohen Segel mit einer Fläche von jeweils 363 m² wurden im August 2023 auf dem hybriden RoRo-Schiff „Ca-

nopée“ installiert. Mithilfe des automatisierten, absenkbaren und vertikalen Windzusatzantriebs soll der jährliche Kraftstoffverbrauch des 121 m langen und 22 m breiten Schiffs um ca. 30 Prozent gesenkt werden. Dem Charterer (ArianeGroup) zufolge ist die „Canopée“, die über zwei jeweils 3480 kW leistungsstarke Dieselmotoren verfügt, das erste hybride, windangetriebene Industriefrachtschiff. Das elektrische Verstellsystem von Liebherr besteht aus einem Verstellmodul, der Steuerung und der Leistungselektronik. Jedes Verstellmodul enthält ein spezielles Großwälzlager, Getriebe, Elektromotoren und Bremsen zur vollautomatischen Bedienung der Großsegel.

HPA und Port of Argentinia planen Handelskorridor

Grüner Wasserstoff | Die Hamburg Port Authority (HPA) und der Port of Argentinia in der kanadischen Provinz Neufundland planen beim Ex- und Import von grünem Wasserstoff von Kanada nach Deutschland zusammenzuarbeiten. Ziel der strategischen Partnerschaft ist es, einen Handelskorridor für grünen Wasserstoff zwischen beiden Ländern aufzubauen. Die Partnerschaft beinhaltet u.a. die Unterstützung von Initiativen in den jeweiligen Hafengebieten, die dazu beitragen, eine robuste Lieferkette für grüne Wasserstoffderivate zwischen den beiden Standorten aufzubauen.

Neues Start-up entwickelt KI-basierte Informationsplattform

Flagship Founders | Das Berliner Venture Studio Flagship Founders hat mit Sealenic die Ausgründung seines fünften Start-ups bekanntgeben. Das Technologie-Start-up entwickelt aktuell eine KI-basierte Plattform für Informationsabfrage und -management in der Schifffahrt.

Mithilfe der Software soll das Auffinden von Informationen zu Themen wie HSEQ (Health, Safety, Environment,

Quality), Sicherheit und Nautik so einfach wie eine Google-Suche sein, erklärt Sealenic-Gründer und Managing Director Billel Ridelle. Dafür arbeitet das Start-up u.a. mit KI-Technologie und Large Language Models (LLMs) wie OpenAI. Das System basiert zum einen auf öffentlich zugänglichem Wissen (z.B. BIMCO-, IMO-, EU- und Staatsrecht-Daten) und kann auch private Unternehmensdaten integrieren, die in den Antworten auf Informationsabfragen priorisiert werden. Darüber hinaus werden alle Unternehmensrichtlinien berücksichtigt, so Sealenic. Die Markteinführung ist für diesen Sommer geplant. Derzeit wird das System von zahlreichen Reedereien im laufenden Betrieb getestet, darunter F. Laeisz, Fairplay Towage Group und Harren Ship Management.



Quelle: Meyer Floating Solutions

Die schwimmende Eventlocation soll bis 2025 realisiert werden

Meyer Floating Solutions entwickelt schwimmende Eventlocation

„Oceaya“ | Meyer Floating Solutions, ein Pionierunternehmen der Meyer-Gruppe, hat angekündigt, bis 2025 in Zusammenarbeit mit dem US-amerikanischen Unternehmen Oceaya LLC eine innovative Plattform für eine schwimmende Eventlocation zu realisieren. Unter dem Namen „Oceaya“ soll die Plattform der erste adaptive, schwimmende Veranstaltungsort der Welt sein. Meyer Floating Solutions zeichnet dabei für die Kon-

struktion und Baudienstleistung des Projekts verantwortlich.

Das Design der Plattform ermöglicht es, deren Größe und Form von 370 m² auf mehr als 1115 m² zu skalieren. Dadurch soll eine Vielzahl an Angeboten auf der „Oceaya“ Platz finden können, darunter Nachtclubs, Gourmet-Restaurants und Kinos. Für die Umsetzung nutzt Meyer Floating Solutions u.a. das Fachwissen von Wasserstudio.NL und Prospect Design International.



Sealenic-Gründer Billel Ridelle



Vertragsunterzeichnung für den Bau der U-Boote Foto: Naval Group

Indonesische Marine ordert U-Boote

Scorpène® | Die indonesische Marine hat die in Frankreich ansässige Naval Group mit dem Bau von zwei Scorpène® Evolved Full Lithium-Ion Battery U-Booten beauftragt. Die Neubauten sollen durch einen Technologietransfer auf der PT PAL-Werft in Indonesien entstehen. Die indonesischen Scorpène®-U-Boote sind den Angaben der Naval Group zufolge für den Einsatz in flachen Gewässern konzipiert. Als Mehrzweck-U-Boote seien sie dazu in der Lage, Missionen wie beispielsweise die Bekämpfung von Über- und

Unterseebooten, Spezialoperationen und die Sammlung von Informationen zu absolvieren. Zudem verfügen sie über einen hohen Automatisierungsgrad, wodurch eine geringe Anzahl von Besatzungsmitgliedern für die Steuerung vonnöten sei, so die Naval Group. Die U-Boote werden mit einem Energiesystem ausgestattet, das auf einer vollständigen Lithium-Ionen-Konfiguration basiert und dadurch eine hohe Reichweite der Nutzenergie, eine optimale Indiskretionsrate sowie kürzere Ladezeit ermöglicht.

Zementfrachter erhält Rotor Sail

„Cemcommander“ | Der neue Zementfrachter „Cemcommander“ der Hamburger Baltrader Capital GmbH & Co. KG soll im Sommer mit einem 24 m x 4 m großen Norsepower Rotor Sail der finnischen Norsepower Oy Ltd. ausgestattet werden. Dazu haben die beiden Unternehmen kürzlich einen Vertrag unterzeichnet. Mithilfe der Nachrüstung soll die Energieeffizienz verbessert und der Kraftstoffverbrauch des Schiffs um bis zu

14 Prozent gesenkt werden. Das Vorhaben wird vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr mit Mitteln der Förderrichtlinie „Nachhaltige Modernisierung von Küstenschiffen“ (NaMkü) unterstützt. Das Schiff wurde vor Kurzem von der Jiangsu Zhenjiang Shipyard (Group) Co. Ltd. abgeliefert; der energieeffiziente Schiffsentwurf stammt von SDC Ship Design & Consultants GmbH, Hamburg.



Quelle: Norsepower Oy Ltd.

Die „Cemcommander“ soll mit einem Rotor Sail nachgerüstet werden

„NACHHALTIGKEIT UND SICHERHEIT SIND UNSER KOMPASS. GESTALTEN SIE MIT UNS DIE NÄCHSTE GENERATION DER MARITIMEN WELT.“

STEFAN HÖNER
DIRECTOR OPERATIONS
GERMANY

Generative Fertigung maritimer Komponenten

MARKOMP In dem Forschungsprojekt MarkKomp werden additive Fertigungsverfahren für die Produktion maritimer Komponenten, wie zum Beispiel Propeller, weiterentwickelt und angewendet

Dr.-Ing. Lars Greitsch, Christian Klötzer-Freese, Tobias Kruse, Mohamad Khalil, Prof. Dr.-Ing. Wilko Flügge, Alexander Jentsch, Philipp Andreatza, Klara Pejic, Prof. Dr.-Ing. habil. Olaf Keßler, Dr.-Ing. Hannes Fröck

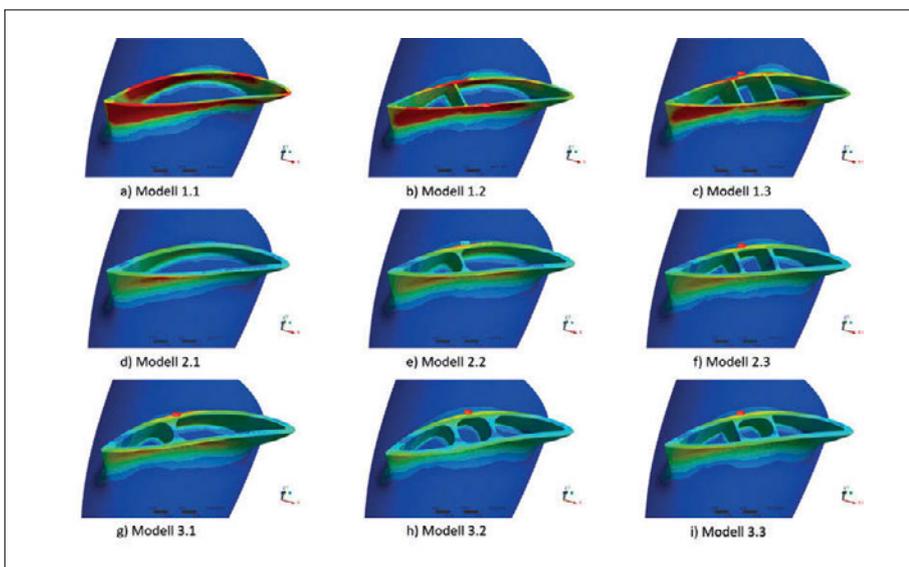


Abb. 1: Festigkeitsüberprüfung verschiedener Querschnittsflächen bezogen auf den zulässigen Grenzwert der Vergleichsspannung, rot: Überschreitung der maximal zulässigen Spannung
Quelle für alle Abbildungen: MarkKomp Konsortium

Bauteile maritimer Systeme, die Salzwasser ausgesetzt sind, werden häufig aus korrosionsresistenten Bronze-Legierungen gefertigt. Gerade für die Komponenten der Antriebsanlage, wie zum Beispiel Propeller, werden üblicherweise aufgrund der Bauteilgröße und Komplexität Gießverfahren eingesetzt. Der Gießrohling wird mechanisch zum fertigen Produkt weiterverarbeitet. Mit der Entwicklung additiver Fertigungsverfahren (additive manufacturing – AM) erweitern sich die Möglichkeiten der Herstellung solcher Bauteile.

In dem Vorhaben wurden additive Fertigungsverfahren für die Fertigung maritimer Komponenten, wie zum Beispiel Propeller, weiterentwickelt und angewendet. Hierzu wurde der Konstruktionsprozess für solche Bauteile so erweitert, dass auch Hohlstrukturen abgebildet werden können. Für die verwendeten Werkstoffe sind das Verhalten und die Materialkennwerte

bei Geschweißten festzustellen. Hierfür wurden umfangreiche Werkstoffuntersuchungen durchgeführt und Schweißprozesse erarbeitet. Mithilfe einer im Vorhaben entwickelten robotergestützten Versuchsanlage für das WAAM-Verfahren (Wire Arc Additive Manufacturing) wurden darauf aufbauend Propellerflügel aus unterschiedlichen Legierungen als Demonstratoren additiv gefertigt. Das geschaffene Fertigungsverfahren wurde bzgl. Qualität und Wirtschaftlichkeit bewertet.

Produktentwicklung und Geschäftsmodelle für additiv gefertigte Komponenten

Die Mecklenburger Metallguss GmbH (MMG) beschäftigte sich im Rahmen der Produktentwicklung mit der Ausführung eines Hohlpropellers mit innerer Stützstruktur. Insbesondere für die Festlegung der technischen und wirtschaftlichen

Randbedingungen wurden bei der MMG gefertigte Propeller im Größenbereich von 500 mm bis 5000 mm Durchmesser betrachtet. Im Fokus der Untersuchungen standen die Kosten und Aufwände für die Fertigung im konventionellen Sandgussverfahren und eine Gegenüberstellung der Arbeitsschritte für die gießtechnische sowie additive Prozesskette. Neben der Umsetzung verschiedener AM-Potenziale für maritime Komponenten ist ein neuartiger Produktentwicklungsprozess mit definierten Schnittstellen erforderlich. So konnten unter der Berücksichtigung verschiedener Design-Restriktionen mehrere Prozeduren für die Konstruktion additiv gefertigter Bauteile im CAD-System erarbeitet werden. Darüber hinaus wurden die bestehenden FEM-Routinen angepasst und die Auslegung maritimer Komponenten sowie die Verifikation durch Festigkeitsnachweise angeglichen. Konkret wurden verschiedene Konstruktionen eines Propellerflügels strukturell mithilfe der FEM-Methodik untersucht (siehe Abbildung 1).

Die Effizienz der verschiedenen Strukturen wurde anhand eines Verhältnisses von Materialerhöhung zu Festigkeitserhöhung in Bezug auf den Hohlpropeller definiert. Jedoch ist auch die Umsetzung einer Hohlstruktur stark abhängig von der lokalen Blattschnittdicke. Im Flügelspitzenbereich ist selten eine hohle Struktur umsetzbar.

Innerhalb des Forschungsvorhabens wurden die Entwicklungen an mehreren Demonstratoren untersucht, die eine Vielzahl an geometrischen Besonderheiten aufweisen. Dazu zählen beispielsweise unterschiedliche Wandstärken, die Ausführung des Bauteils als Vollmaterial oder Hohlstruktur, mit und ohne Stütz- und Versteifungsstrukturen sowie variierende Radien und Überhänge. Abbildung 2 stellt einen ausgewählten Propeller im Superyacht-

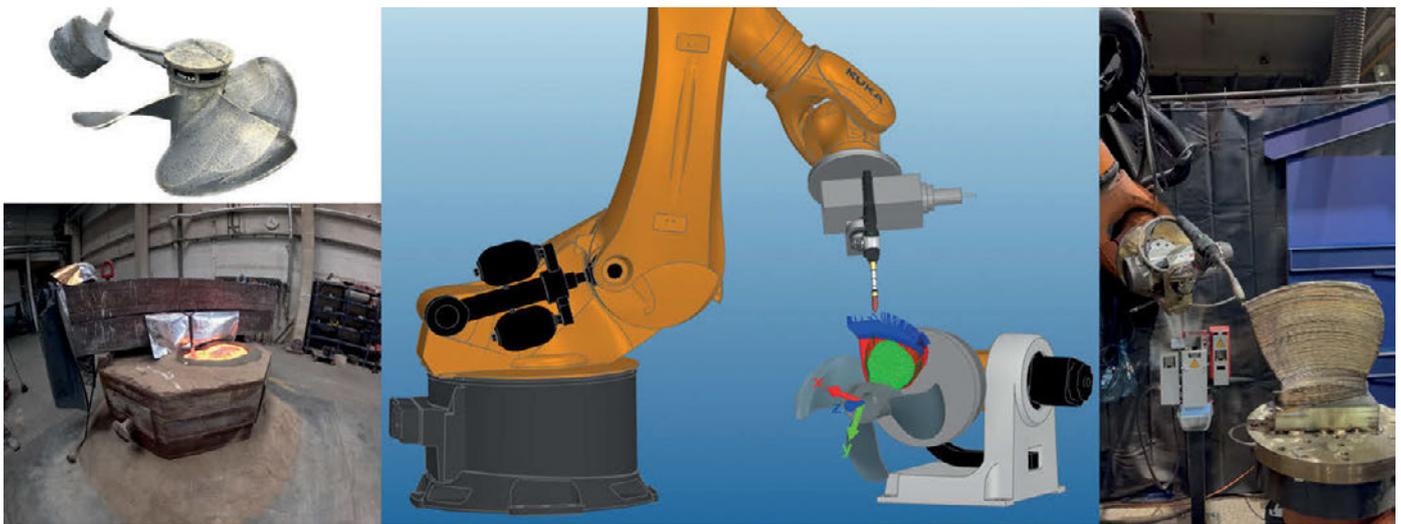


Abb. 2: links: Gussrohling und Abguss im konventionellen Sandgussverfahren; Mitte: Simulation der Werkzeugbahnen für das Auftragschweißen eines additiv gefertigten Propellers; rechts: WAAM eines Einzelflügels im Versuchsaufbau

bereich dar. Mit einem Durchmesser von ca. 1200 mm und vier Flügeln wurde dieser zum einen im konventionellen Sandgussverfahren und zum anderen hybrid mittels einer gegossenen Nabe und im WAAM-Verfahren gefertigte Flügel hergestellt.

Während der Untersuchung unterschiedlicher Parametersätze für das Schweißen sowie für das Fräsen wurden Prozesszeiten und resultierende Kosten ermittelt. Eine anschließende Kategorisierung unterschiedlicher Schweißjobs in Abhängigkeit der Auftragsrate und unterschiedliche Fräswerkzeuge für die Bearbeitung verschiedener Bauteilbereiche konnten den einzelnen Prozessschritten zugeteilt werden. Ferner ist nun eine kosten- und zeitoptimierte Auswahl an Bearbeitungsschritten für die Herstellung unterschiedlicher Bauteilgeometrien möglich. Mit der Demonstratorfertigung konnten abschließend die Aufwände einzelner Prozessschritte bei der additiven und der konventionellen Fertigung im Sandguss einander gegenübergestellt werden. Auch wurden für die Validierung des Demonstrators die spezifischen Materialeigenschaften und die Fertigungsmöglichkeit aufgrund unterschiedlicher Schweiß- sowie Fräsparametersätze in den Designprozess zurückgeführt.

Entwicklung unterschiedlicher Anlagenkonzepte und Umsetzung im Versuchsaufbau

Durch die Betrachtung der einzelnen Prozessschritte in einer additiven Prozesskette und dem Abgleich der parametrischen Prozesseigenschaften mit den angestrebten Produkteigenschaften wurden mögliche

Fertigungstechnologien identifiziert und die Anforderungen an die einzelnen Anlagenkomponenten und herzustellenden Produkte abgeleitet. Die Prozessanforderungen an das Gesamtsystem umfassen den Werkstoff des Bauteils, die Art des Fertigungsverfahrens, die Geometrie der additiv gefertigten Bauteile, die Prozesssicherheit und Reproduzierbarkeit sowie die Fertigungszeit. Die Systemanforderungen umfassen die Automatisierung, die Funktionssicherheit und Verfügbarkeit, die Flexibilität hinsichtlich des Bauteilspektrums und die Integrationsmöglichkeiten in die Fertigungsumgebung der Gießerei. Aus der Produktionsphase ergeben sich u.a. folgende Anforderungen: Auswahl der Software, Auswahl des Industrieroboters, zusätzliche Freiheitsgrade (z.B. Dreh-Kipp-Positioniertisch), Anlagengröße, notwendige Sensorik, Auswahl der Schweißart und der Schweißausrüstung. Diese Anforderungen



Abb. 3: Erprobung unterschiedlicher Werkzeugbahnen zum Auftragschweißen in der Versuchsanlage bei der MMG

wurden auch bei der Entwicklung eines Anlagenkonzepts berücksichtigt. Insgesamt wurden drei Konzepte erarbeitet und in einem Entwurf finalisiert.

Innerhalb des Projektzeitraums wurde eine Versuchsanlage zur additiven Fertigung durch WAAM umgesetzt. Die ausgewählten Anlagenkomponenten sind ein Knickarmroboter KR500 der Firma KUKA, eine MSG-Schweißausrüstung der Firma Fronius mit einem Standard-PULS-MIG-Lichtbogen und einer Lichtbogenkamera ArcView2, ein DKP-400 der Firma KUKA, ein Laser-Profil-Scanner LLT2960-100/BL der Firma Micro-Epsilon Messtechnik und ein ARAMIS-System der Firma GOM. Abbildung 3 stellt einen Ausschnitt der Bearbeitungszelle im Rahmen einer Untersuchung von unterschiedlichen Werkzeugbahnen an Einzelflügeln dar.

Additive Prozesskette

Bei der additiven Fertigung von großformatigen Bauteilen ist eine Anpassung bzw. eine Erweiterung der klassischen Prozesskette notwendig. Die additive Prozesskette umfasst drei Phasen: die Entwicklungsphase (Preprocessing), die Produktionsphase (Production) und die Nachbearbeitungsphase (Postprocessing). Die erste Phase, die Entwicklungsphase, besteht aus der CAD-Konstruktion, CAE-Simulation und dem Datenaustausch. Die CAD-Konstruktion und Simulation mit CAE-Werkzeugen sind ein iterativer Prozess, der insbesondere bei der additiven Fertigung aufgrund des hohen Optimierungspotenzials mehrere Wiederholungen durchläuft. Am Ende der Entwicklungsphase steht der Datenaus-

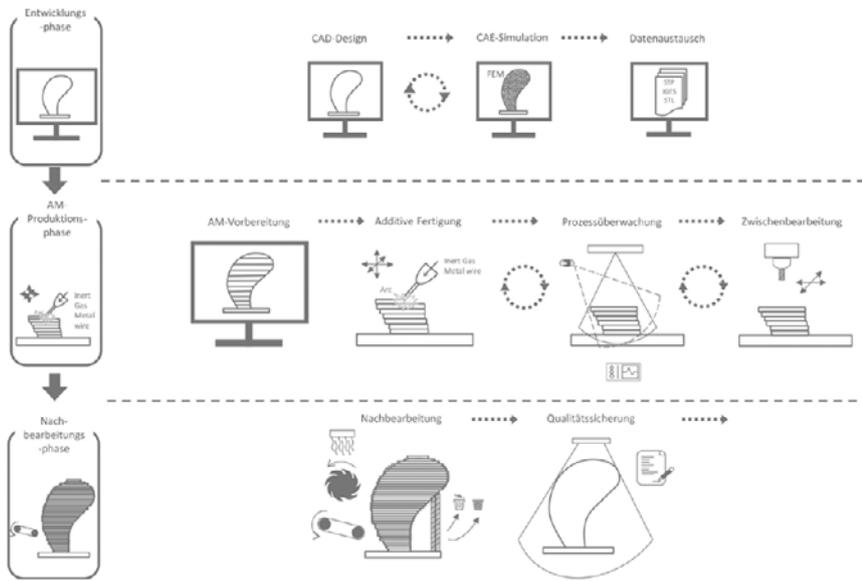


Abb. 4: Angepasste hybride Prozesskette zum Auftragsschweißen von Schiffspropellern

tausch in Form von CAD-Formaten (STEP, IGES, STL), die in den nachfolgenden Prozessschritten weiterverarbeitet werden können. Die zweite Phase, die Produktionsphase, umfasst die Vorbereitung für den WAAM-Prozess, die Prozessüberwachung und die Zwischenbearbeitung. Die Vorbereitung beschreibt die Erstellung des Roboterprogramms durch Offline-Programmierung. In diesem Schritt findet auch der aus dem 3D-Druck bekannte Slicing-Prozess statt. Dabei werden die in der Produktion zu verarbeitenden Schichten entsprechend den produkt-, material- und prozessspezifischen Anforderungen erzeugt. Es folgen die additive Fertigung und die Prozessüberwachung, bei der der Prozess zur Sicherstellung einer fehlerfreien Produktion überwacht wird. Abhängig von der Geometrie und den Werkstoffparametern des Schweißprozesses ist eine mechanische Bearbeitung der Zwischenlagen erforder-

lich. Der Überwachungsprozess garantiert, dass diese so gering wie möglich ausfallen. In der Nachbearbeitungsphase erfolgt die mechanische Endbearbeitung durch Schleifen, Fräsen und Entfernen von Hilfsstrukturen. Abschließend erfolgt die Qualitätssicherung, die die Dokumentation des fertigen Bauteils so durchführt, dass das fertige Bauteil mit allen Produktunterlagen ausgeliefert werden kann. Die additive Prozesskette ist in Abbildung 4 dargestellt.

Viele Prozessschritte wurden innerhalb des Vorhabens durch umfangreiche Untersuchungen verschiedener Bauteilbereiche des Schiffspropellers validiert. Beginnend mit der Aufbereitung der CAD-Daten nach der Simulation, konnten eine Vielzahl an Bearbeitungsstrategien für das Auftragschweißen und Fräsen mit diversen Werkzeugen als Zwischenbearbeitungsprozess erprobt werden. Durch die Fertigung mehrerer Versuchskörper mit repräsentativen

Bauteileigenschaften und einer anschließenden Vermessung mittels 3D-Scanner wurden diese bewertet.

Verfahrensentwicklung des Auftragsschweißens und Qualitätsmanagement

Im Rahmen des Verbundprojektes wurden durch das Fraunhofer-Institut IGP und die MMG die Schweißzusätze CuAl8Ni2Fe2Mn2, CuAl9Ni5Fe3Mn2 und CuMn13Al8Fe3Ni2 für die additive Fertigung von Schiffspropellern untersucht. Es wurden zwei verschiedene Lichtbogenmodifikationen von Fronius untersucht. Dabei handelt es sich zum einen um den Pulse-Multi Control (PMC), einen Pulsprozess mit minimalem Kurzschlussstrom im Tropfenübergang. Zum anderen wurde der Cold Metal Transfer (CMT) genutzt, ein Kurzlichtbogen, welcher sich durch eine aktive, mechanische Rückbewegung des Schweißdrahtes während der Kurzschlussphase auszeichnet und somit den Energieeintrag in das Bauteil verringert.

Die Tabelle 1 gibt die Massenanteile der Hauptlegierungselemente der untersuchten Kupferbronzen in Prozent wieder sowie deren Zusammensetzung laut entsprechender Normung. Die chemische Zusammensetzung wurde mittels optischer Emissionsspektroskopie (OES) ermittelt.

Im Rahmen der Prozessoptimierung wurden unterschiedliche Schweißstrategien für den Nahtanfang, das Nahtende, für Nahtkreuzungspunkte und Bahnführungsbewegungen (linear, pendelnd, alternierend) untersucht. Hierbei standen die Aufbaurate, die Nahtgeometrien und daraus resultierende innere Schweißnahtunregelmäßigkeiten im Fokus.

Zur Ermittlung der mechanisch-technologischen Eigenschaften wurden Wandstrukturen für die drei Schweißzusätze mittels PMC- und CMT-Verfahren hergestellt. Pro Schweißlage wurden zwei Schweißraupen nebeneinander gesetzt und die Schweißfolge alterniert. Um eine Richtungsabhängigkeit der Eigenschaften bestimmen zu können, wurden Flachzugproben in vier verschiedenen Orientierungen aus der Struktur entnommen. Zusätzlich zur statischen Festigkeit und Duktilität wurde die absorbierte Kerbschlagarbeit in zwei Orientierungen geprüft. Für Proben, welche mittels CMT-Lichtbogen mit identischen Schweißparametern und Zwischenlagentemperaturen geschweißt wurden, konnten folgende Ergebnisse festgehalten werden.

Werkstoff	Analyse / Normung	Legierungselemente in Masse %				
		Al	Fe	Ni	Mn	Cu
CuAl10Ni5Fe5	OES	9,67	4,99	4,77	1,36	78,86
	DIN EN 1982	8,5 - 10,5	4,0 - 5,5	4,0 - 6,0	≤ 3,0	76,0 - 83,0
CuMn13Al8Fe3Ni2	OES	7,1	2,3	2,3	11,9	
	DIN EN ISO 24373	7,0 - 8,5	2,0 - 4,0	1,5 - 3,0	11,0 - 14,0	Rest
CuAl9Ni5Fe3Mn2	OES	9,0	3,4	5,0	1,0	
	DIN EN ISO 24373	8,5 - 9,5	3,0 - 5,0	4,0 - 5,5	0,6 - 3,0	Rest
CuAl8Ni2Fe2Mn2	OES	8,2	1,7	2,0	1,8	
	DIN EN ISO 24373	7,0 - 9,5	0,5 - 2,5	0,5 - 3,0	0,5 - 2,5	Rest

Tabelle 1: Massenanteile der Legierungselemente der untersuchten Legierungen in Prozent

Die Zugfestigkeit von Proben aus CuMn13Al8Fe3Ni2, die quer zur Aufbau- richtung entnommen wurden, weist tendenziell höhere Werte auf als Zugproben, die in Schweißrichtung entnommen wurden. Die Bruchdehnungen verhalten sich entsprechend umgekehrt, sodass in Längsrichtung entnommene Proben die bessere Duktilität aufweisen. Bei auftragsgeschweißten Strukturen aus CuAl8Ni2Fe2Mn2 sind nur marginale Unterschiede im Festigkeitsverhalten der verschiedenen Entnahmerichtungen zu beobachten, wobei das Festigkeitsniveau im Vergleich zu den anderen Schweißzusatzwerkstoffen deutlich niedriger ist. Allerdings sind Einflüsse auf die Duktilität zu erkennen, sodass quer entnommene Zugproben die größere Verformbarkeit aufweisen. Unter Berücksichtigung der vorliegenden Streuung der Messwerte kann für die geschweißte Struktur mit CuAl9Ni5Fe3Mn2 keine Richtungsabhängigkeit festgestellt werden. Zur Analyse der Schwingfestigkeit auftragsgeschweißter Strukturen wurden je Schweißzusatz zwei verschiedene Probengeometrien in zwei Orientierungen im Wöhlerversuch geprüft.

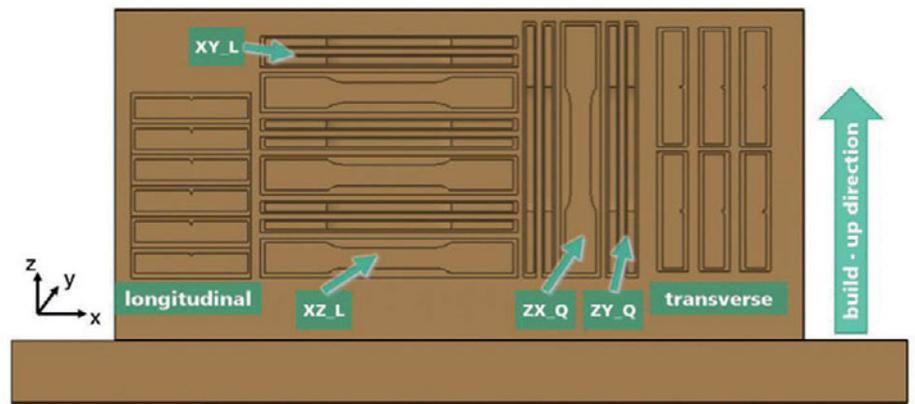


Abb. 5: Probenentnahmeplan für Zugversuchsproben und V-Kerbschlagproben aus der Wandstruktur

Die beim Auftragsschweißen lokal eingebrachte Wärmeenergie führt beim Abkühlen zum Verzug und zu verbleibenden Eigenspannungen im Bauteil. Durch den Aufbau eines Prüfstands konnte der Verzug und das sich ergebende Eigenspannungsprofil analysiert und zwischen den Schweißzusätzen und Schweißstrategien verglichen werden. Es zeigte sich, dass die Mangan-

bronze tendenziell höhere Verzugskräfte als die Aluminiumbronze hervorbringt. Zusätzlich dazu wurden bei der Fertigung von Wandstrukturen die auftretenden Deformationen mit einem GOM ARAMIS 6M-Kamerasystem erfasst und mittels GOM ATOS Triple-Scan validiert.

Da der Einsatz maritimer Strukturen in korrosiven Umgebungen wie Meer- >

the power to control

Die Zukunft sichern – mit dem Blick nach vorne

Unsere Kompetenz. Unsere Verantwortung.

Autonome Schifffahrt
Alles unter Kontrolle für die optimale Route

Smart Maintenance
Wartungen effizient gestalten und Verfügbarkeit messen

Umweltfreundlich
Redundant, sicher und nachhaltig

OpenBridge, MTP
Standards für mehr Sicherheit und reibungslose Inbetriebnahme

www.bachmann.info

bachmann.

Unser neues M100-I/O-System

Unser bewährtes M200-Steuerungssystem

reddot winner 2024 industrial design

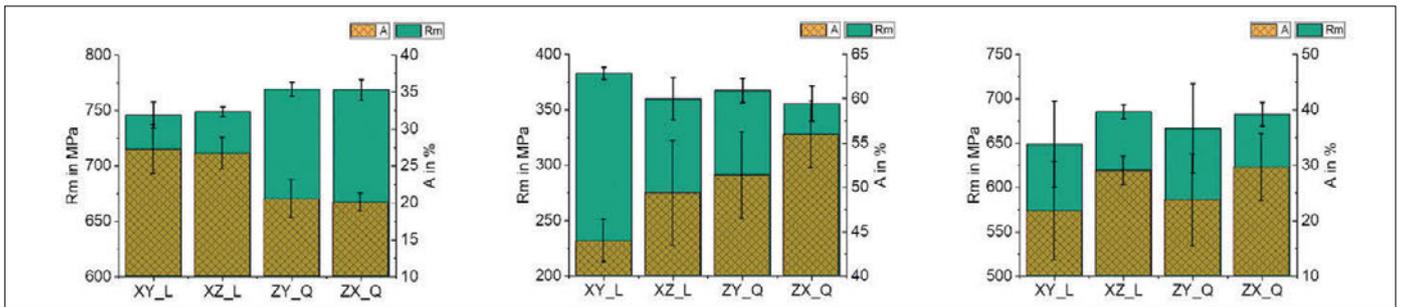


Abb. 6: Zugfestigkeit und Bruchdehnung der einzelnen Probenorientierungen; links: CuMn13Al8Fe3Ni2; Mitte: CuAl8Ni2Fe2Mn2; rechts: CuAl9Ni5Fe3Mn2

wasser vorgesehen ist, wurde das Korrosionsverhalten der Schweißzusätze in Abhängigkeit von den Lichtbogenmodifikationen mittels Dauertauchversuchen untersucht. Die auftragsgeschweißten Probekörper wurden künstlichem Meerwasser ausgesetzt. Prinzipiell sind Unterschiede zwischen den Schweißzusätzen zu erkennen. So zeigt sich, dass die beiden Mehrstoffbronzen mit einem Aluminiumgehalt von 8 Gew.-% einen deutlich höheren Materialverlust aufweisen als der Schweißzusatzwerkstoff mit einem höheren Aluminiumgehalt von 9 Gew.-%. Es ist kein systematischer Einfluss der Lichtbogenmodifikation zwischen CMT und PMC zu erkennen.

Die hohe, periodische Energieeinbringung ist ein limitierender Faktor bezüglich der Produktivität des WAAM-Verfahrens, da die Zwischenlagentemperatur nicht beliebig hoch gewählt werden darf. Dies hätte sowohl technologische Gründe wie z.B. Geometrieabweichungen und Beeinflussungen des Mikrogefüges zur Folge. Aus diesem Grund wurden aktive Kühlstrategien untersucht. Thermische Simulationen wurden begleitend in ANSYS Mechanical berechnet. Es wurden Schweißversuche im umwälzgekühlten Wasserbad durchgeführt, bei welchen der Wasserpegel auf unter-

schiedlichen Höhen relativ zum Schmelzbad lag. Die Abkühlzeit auf eine Zwischenlagentemperatur auf 150°C konnte um etwa 10 Min. reduziert werden. Zusätzlich bewirkt der Einsatz der Kühlung ein gleichmäßigeres Nahtaussehen.

Die geometrische Form eines Propellerblattes ist in allen drei Dimensionen definiert und stellt somit hohe Anforderungen an die schweißtechnische Fertigung. Aus diesem Grund wurden Versuche durchgeführt, um die Schweißbarkeit von gekippten Strukturen zu untersuchen. Es zeigte sich, dass der Brennerwinkel einen entscheidenden Einfluss auf das resultierende Nahtprofil hat. So führt beispielsweise die Neigung des Brenners analog zum Winkel der Wandstruktur zu einem gleichmäßigeren Nahtprofil als die senkrechte Wannenposition. Des Weiteren weist die zur Substratplatte hin geneigte Seite eine deutlich größere Welligkeit auf als die Oberseite. Eine Schrägstellung des Brenners führt somit zu einem größeren tragenden Querschnitt.

Charakterisierung der Ausscheidungsvorgänge sowie Mikro- & Nanostrukturanalytik

Für die in-situ Charakterisierung der Ausscheidungsvorgänge während unterschied-

licher Wärmebehandlungen wurde die Differential Scanning Calorimetry (DSC) mit verschiedenen Abkühlraten genutzt. Nach dem Lösungsglühen wurde linear mit variierenden Raten abgekühlt. Es wurden zwei Hochtemperaturkalorimeter verwendet, das Setaram Multi HTC sowie das Setaram LabSys Evo DSC. Im weiteren Verlauf wird sich auf die Legierung CuAl10Ni5Fe5 als Vertreter der Gusslegierung, sowie CuMn13Al8Fe3Ni2 für den WAAM-Prozess konzentriert.

Abbildung 7 zeigt die DSC-Abkühlkurven der beiden Legierungen nach dem Lösungsglühen. Die Abkühlkurven müssen von hohen zu geringen Temperaturen, also von rechts nach links, gelesen werden. Es wird deutlich, dass bei beiden Legierungen eine Vielzahl verschiedener sich überlappender Ausscheidungsreaktionen gemessen werden. Bei der Legierung CuAl10Ni5Fe5 (Abbildung 7A) zeigt sich während der Abkühlung mit einer Rate von 0,01 K/s die erste Reaktion bei etwa 980°C. Anschließend erscheint ein sehr scharfer Peak mit einer Spitzentemperatur bei etwa 920°C. Danach überlagern sich bis etwa 210°C mehrere exotherme Peaks, wobei der Großteil der Ausscheidungen zwischen 980°C und ca. 600°C gebildet werden.

Abbildung 7B zeigt die Abkühlkurven der Legierung CuMn13Al8Fe3Ni2. Charakteristisch für diese Legierung ist der sehr scharfe exotherme Peak bei ca. 870 - 850°C, gefolgt von einer weiteren Abfolge von sich überlappenden exothermen Ausscheidungspeaks. Der scharfe exotherme Peak zeigt wahrscheinlich den Umwandlungsbeginn von der Hochtemperaturphase β-Cu in die α-Cu-Phase. Weiterhin zeigt sich, dass die einzelnen Peaks mit steigender Abkühlrate zu geringeren Temperaturen verschoben werden und die Peakintensität abnimmt. Dies legt nahe, dass der Volumenanteil der Ausscheidungen mit steigender Abkühlrate abnimmt.

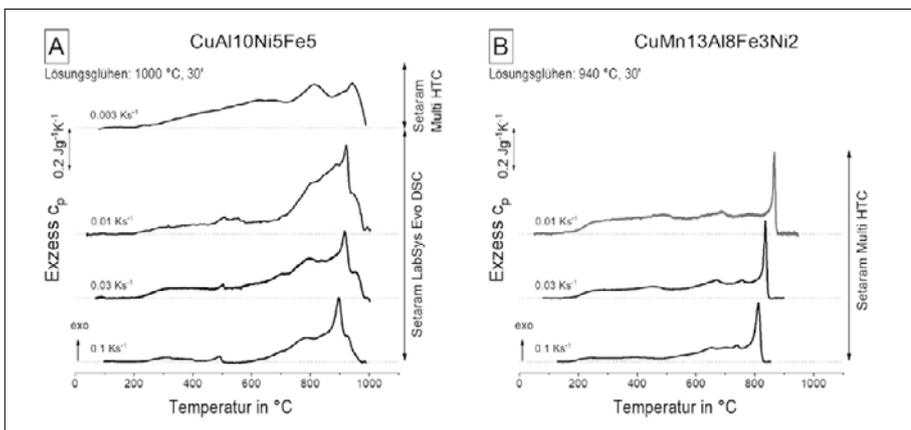


Abb. 7: DSC-Abkühlkurven der Legierungen A: CuAl10Ni5Fe5 nach einem Lösungsglühen bei 1000°C für 30 Min. und B: CuMn13Al8Fe3Ni2 nach einem Lösungsglühen bei 940°C für 30 Min.

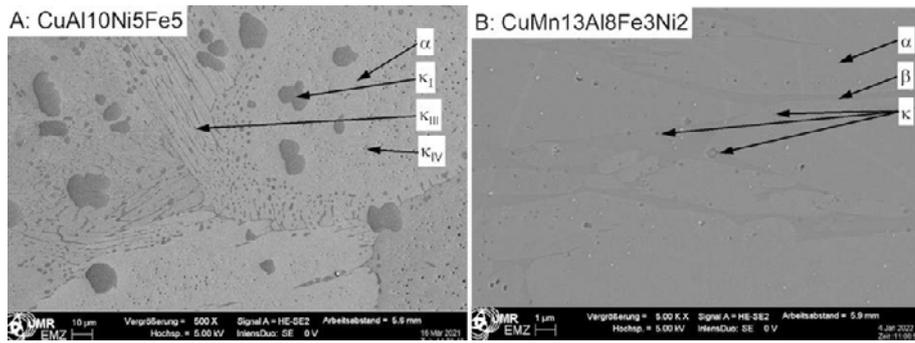


Abb. 8: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen A) der Legierung CuAl10Ni5Fe5 im gegossenen Zustand; B) CuMn13Al8Fe3Ni2 im WAAM gefertigten Zustand

Mikroskopie

Bei der Legierung CuAl10Ni5Fe5 im gegossenen Zustand wird deutlich, dass das Gefüge aus der α -Cu-Matrix mit unterschiedlichen κ -Ausscheidungen besteht. Besonders deutlich sind die großen, unregelmäßig geformten κ_1 -Ausscheidungen mit Abmessungen bis $30\ \mu\text{m}$ zu erkennen. Weiterhin wird ein lamellares Gefüge mit κ_{III} -Ausscheidungen an den Korngrenzen sowie kleine globulare κ_{IV} -Ausscheidungen werden im Kornzentrum sichtbar. Die Bezeichnung der Ausscheidungen erfolgt nach [2]. Abbildung 8B zeigt das Gefüge der Legierung CuMn13Al8Fe3Ni2 im WAAM-gefertigten Zustand. Das Gefüge besteht hauptsächlich aus nadeligen α -Cu-Körnern, die von einer β -Cu-Matrix umgeben sind. Die κ -Ausscheidungen sind mit maximal $0,5\ \mu\text{m}$ deutlich kleiner als die Ausscheidungen in der CuAl10Ni5Fe5 (unterschiedliche Vergrößerung beachten). Die unterschiedlichen κ -Ausscheidungen der Legierung sind in [4] näher beschrieben.

Untersuchung des mechanischen Verhaltens

Die DSC-Messungen haben gezeigt, dass die Ausscheidungen von der Abkühlge-

schwindigkeit beeinflusst werden. Dadurch werden auch die mechanischen Eigenschaften der Legierungen beeinflusst, wie die Härteverläufe in Abbildung 9 beispielhaft zeigen. Für diese Untersuchungen wurden Proben entweder im DSC ($0,01 - 0,1\ \text{K/s}$) oder im Abschreckdilatometer Bähr 805 A/D [6] ($0,3 - 100\ \text{K/s}$) linear abgekühlt. Es wird deutlich, dass die Härte bei beiden Legierungen mit steigender Abkühlrate zunimmt. Bei der Legierung CuAl10Ni5Fe5 lässt sich die Härte von $160\ \text{HV1}$ bei $0,01\ \text{K/s}$ auf $344\ \text{HV1}$ bei $100\ \text{K/s}$ mehr als verdoppeln. Auch bei der Legierung CuMn13Al8Fe3Ni2 steigt die Härte von $135\ \text{HV1}$ bei $0,01\ \text{K/s}$ auf $225\ \text{HV1}$ bei $100\ \text{K/s}$ deutlich an. Die Härte des WAAM-gefertigten Zustandes wird auch durch die hohen Abkühlraten nicht erreicht.

Zugversuche wurden ebenfalls in einem Abschreck- und Umformdilatometer mit einer angepassten Zugprobegeometrie durchgeführt. Der Versuchsaufbau ist in [7] detailliert beschrieben. Abbildung 10 zeigt die Ergebnisse von Warmzugversuchen der Legierung CuAl10Ni5Fe5 bei unterschiedlichen Temperaturen. Dafür wurden die Proben mit $0,03\ \text{K/s}$ auf eine Temperatur \gg

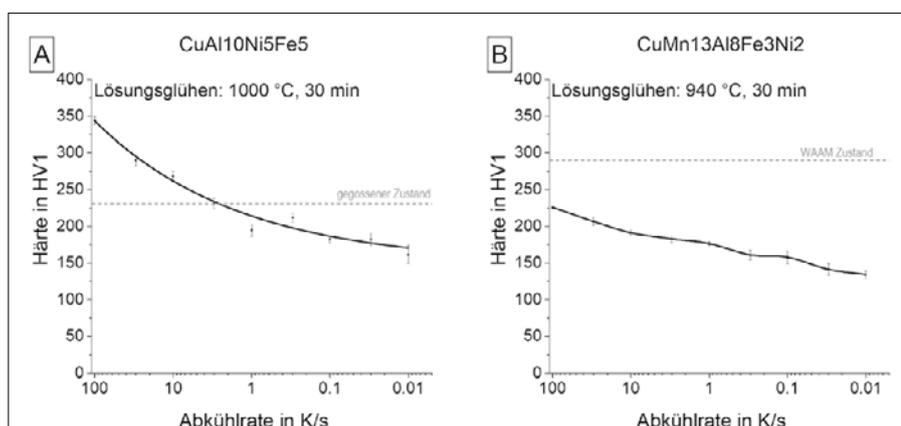


Abb. 9: Härteentwicklung in Abhängigkeit der Abkühlrate nach einem Lösungsglühen, A) der Legierung CuAl10Ni5Fe5 und B) CuMn13Al8Fe3Ni2

75 years

Successful research, development and manufacturing of marine propellers.

Focus on sustainability and efficiency

We are committed to sustainable and efficient propeller solution to minimize CO² emissions and maximize performance.

Since 2013, our re-design program has already saved about 14 million tons of CO².






FOLLOW US!
 mecklenburgermetallguss.com

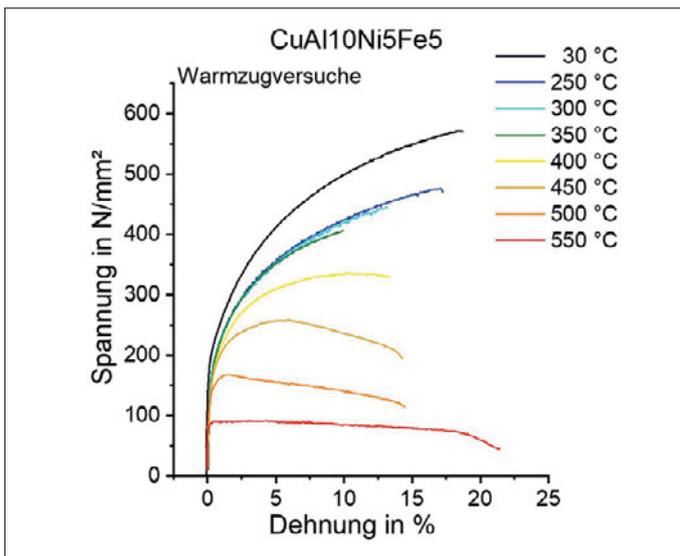


Abb. 10: Spannungs-Dehnungskurven der Legierung CuAl10Ni5Fe5 auf unterschiedlichen Temperaturen

erwärmt und dort gezogen. Es wird deutlich, dass die Festigkeiten mit steigender Temperatur abnehmen. Weiterhin wird deutlich, dass auch die Bruchdehnung mit steigender Temperatur abnimmt und erst ab ca. 400°C wieder ansteigt. Dies muss bei einer nachgelagerten Wärmebehandlung beachtet werden.

Untersuchung zur nachgelagerten Wärmebehandlung

Eine nachgelagerte Wärmebehandlung der Bauteile kann die mechanischen Eigenschaften weiter verbessern. Abbildung 11 zeigt den Härteverlauf der Legierung CuAl10Ni5Fe5 nach einem Lösungsglühen mit anschließender Wasserabschreckung während der Warmauslagerung bei unterschiedlichen Temperaturen. Es wird deutlich, dass eine Warmauslagerung bei 200°C zu einer langsamen Härtezunahme auf 440 HV1 nach 24 h führt. Eine Auslagerung bei 300°C führt zu einer deutlich schnelleren Härtezunahme. Die Härte bleibt dann für mehrere Stunden auf einem hohen Niveau. Die Auslagerung bei 400°C resultiert in einer schnellen Härtesteigerung auf ca. 450 HV1 mit einer anschließenden langsamen Härteabnahme. Die Auslagerung bei 500°C führt schon durch die Erwärmung zu einer sehr hohen Härte (483 HV1 beim Erreichen von 500°C). Anschließend kommt es zu einer Überalterung, wodurch die Härte schnell auf ca. 300 HV1 sinkt.

Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen des Verbundprojekts konnte umfassendes Wissen im Bereich additiver

Fertigung mit WAAM bzw. DED-ARC sowie über das Erhalten unterschiedlicher Kupferbronzen im maritimen Bereich generiert werden. Die gewonnenen Erkenntnisse tragen langfristig dazu bei, das Fertigungsverfahren am Markt zu etablieren. Darüber hinaus lieferten die Untersuchungen zum Werkstoffverhalten einen wichtigen Beitrag zum Verständnis der Gefügezusammensetzung. Über das Vorhaben hinaus kann dies beispielsweise im Bereich der Propellerreparatur und der hybriden Fertigung durch Kombination von Gussrohlingen mit Verbindungsschweißungen genutzt werden. Die additive Fertigung im Zusammenspiel mit der Digitalisierung der Produktentwicklung und Produktion kann für zukünftige Anwendungen im maritimen Bereich ein großes Potenzial darstellen. Die im Projektverlauf erreichten Ergebnisse stellen für die einzelnen Projektpartner die Basis für weiterführende Entwicklungsaktivitäten dar.

Literatur

- [1] P. Andreatza, A. Gericke, C. Klötzer-Freese und K.-M. Henkel, „Investigations on WAAM using copper-based alloys for ship propeller manufacturing,“ in The 33rd International Ocean and Polar Engineering Conference, Ottawa, Canada, 2023.
- [2] F. Hasan, A. Jahanafrooz, G. Lorimer und N. Ridley, „The morphology, crystallography, and chemistry of phases in as-cast nickel-aluminum bronze,“ Metallurgical Transactions A, Nr. 13, pp. 1337-1345, 1982.
- [3] C. Schick und V. Mathot, Fast Scanning Calorimetry, Cham: Springer, 2016.
- [4] H. Meigh, Cast and Wrought Aluminium Bronzes - Properties, Processes and Structure, London: CRC Press, 2000.
- [5] J. Osten, B. Milkereit, C. Schick und O. Kessler, „Dissolution and Precipitation Behaviour during Continuous Heating of Al-Mg-Si Alloys in a Wide Range of Heating Rates,“ Materials, Bd. 8, Nr. 5, pp. 2380-2848, 2015.
- [6] M. Reich, J. Osten, N. Kozlov und O. Kessler, „Thermo-mechanical simulation of laser beam assisted clinching for

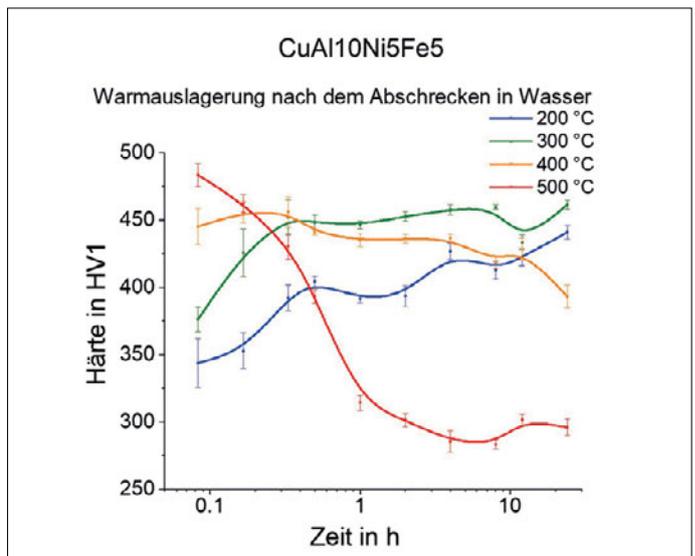


Abb. 11: Härteverlauf der Legierung CuAl10Ni5Fe5 nach einem Lösungsglühen mit anschließender Wasserabschreckung während der Warmauslagerung

high-strength steel,“ in 5th International Conference on Thermal Process Modeling and Computer Simulation American Society for Metals, Orlando, FL, USA, 2014.

[7] J. Osten, P. Söllig, M. Reich und O. Kessler, „Softening of High-Strength Steel for Laser Assisted Clinching,“ Advanced Materials Research, Nr. 996-967, pp. 617-627, 2014.

[8] C. Rowolt, B. Milkereit, J. Broer, A. Springer und O. Kessler, „Continuous Heating Dissolution and Continuous Cooling Precipitation Diagrams of a Nickel-Titanium Shape Memory Alloy,“ Shape Memory and Superelasticity, Nr. 7, pp. 541-549, 2021.

Dieser Beitrag basiert auf einer Veröffentlichung im Tagungsband des Projektträgers Jülich (PtJ) zur 20. Statustagung „Maritime Technologien“ im Dezember 2023.

Die Autoren

Dr.-Ing. Lars Greitsch, Christian Klötzer-Freese, Tobias Kruse, Mohamad Khalil, Mecklenburger Metallguss GmbH; Prof. Dr.-Ing. Wilko Flügge, Großstrukturen in der Produktionstechnik IGP, Universität Rostock, Lehrstuhl Fertigungstechnik; Alexander Jentsch, Philipp Andreatza, Klara Pejic, Fraunhofer-Institut für Großstrukturen in der Produktionstechnik IGP; Prof. Dr.-Ing. habil. Olaf Keßler, Dr.-Ing. Hannes Fröck, Universität Rostock, Lehrstuhl Werkstofftechnik

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

MUSTER

Rhein-Reise:

Der GEFO Mineralöl-Tanker „Bohemia II“ vor der mittleren Rheinbrücke in Basel/Schweiz.

Eine Skulptur von Andy Picci über der mittleren Rheinbrücke im Rahmen der ARTour Basel.



Flexibles AM ermöglicht wettbewerbsfähige Produktion

FLEXIMAN Das Projekt FlexiMan zielt darauf ab, die bestehenden Fertigungsketten für nautische Anwendungen neu zu gestalten, ihre Produktfunktionalität zu verbessern sowie Vorlaufzeit und Kosten deutlich zu reduzieren

Vinzenz Müller, Janek Fasselt, Christian Klötzer-Freese, Tobias Kruse, Florian Wagner

Additive Manufacturing (AM) ist der Schlüssel zum Wandel der europäischen Industrie hin zu zukunftsorientierten, digital integrierten, wettbewerbsfähigen und nachhaltigen Produktionsprozessen. Das Projekt FlexiMan befasst sich mit der Entwicklung und Verbesserung einer flexiblen additiven Fertigung auf Basis des Laser-Pulver-Auftragschweißens (LPA), welches eine Untergruppe der Directed-Energy-Deposition-Verfahren (DED) darstellt. Diese haben unter den AM-Methoden bei Weitem die größten Möglichkeiten für maritime Anwendungen. Durch die flexible Prozessführung unter lokaler Inertgasatmosphäre in Verbindung mit sehr hohen Aufbauraten können auch große Bauteile wie Propeller oder Pumpengehäuse bearbeitet werden. Ebenso sind diese Verfahren ideal für Multimaterialanwendungen, wie z.B. das Auftragen von Verschleißschichten. Ein weiterer Vorteil von DED-Verfahren ist die vielversprechende Kombination mit konventionellen Fertigungstechniken wie dem Gießen. Dieses sogenannte Hybrid Manufacturing (HM) stellt eine disruptive Erneuerung alter Denkkonzepte aus der Produktion dar und ist ein Schlüsselaspekt dieses Projekts. Das Projekt FlexiMan zielt darauf ab, die bestehenden Fertigungsketten für drei konkrete nautische Anwendungen neu zu gestalten, ihre Produktfunktionalität zu verbessern sowie Vorlaufzeit und Kosten um 40 Prozent zu senken. Zu diesem Zweck haben sich führende Unternehmen und Institute aus dem maritimen und AM-Sektor aus Norwegen und Deutschland zu einer Allianz zusammengeschlossen. Der starke Projektfokus auf Prozess- und Produktqualifizierung garantiert eine erfolgreiche industrielle Umsetzung. Dabei wurden insbesondere die maritimen Anforderungen und Rahmenbedingungen berücksichtigt, werkstofftechnische Fragestellungen beantwortet und neue Ansätze für eine nachhaltigere maritime Industrie gefunden. Außerdem wurde das Recycling von Metallabfällen zu wertvollem AM-

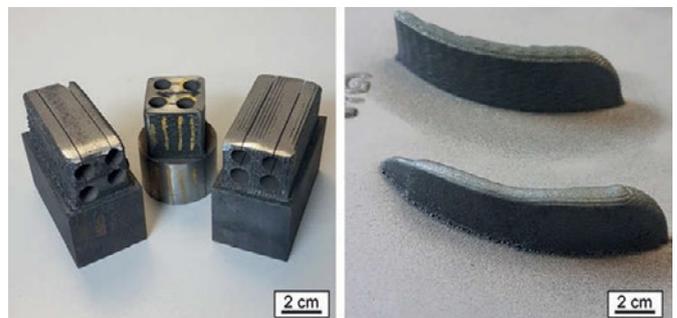


Abb. 1: Blöcke für Zugversuche (links) und additiven Pumpenflügeln (rechts)

Rohstoff-Pulver untersucht, um die Effizienz der maritimen Kreislaufwirtschaft zu verbessern.

Auf nationaler Ebene wurden im FlexiMan-Projekt zwei Demonstratoren aus maritimen Anwendungen betrachtet, die jeweils unterschiedliche Fragestellungen aufwarfen. Zum einen wurde die LPA-Hybrid-Fertigung eines Pumpenlaufrads untersucht, bei dem die Pumpenflügel additiv auf konventionell gefertigte Grundkörper geschweißt wurden. Zum anderen wurde ein Prozess für die Herstellung von hohlen Flügeln eines Schiffspellers entwickelt. Hierbei lag der Fokus neben der LPA-Prozessentwicklung auch auf dem verwendeten Material. Bei der Fertigung von Propellern fallen bei der mechanischen Bearbeitung große Mengen an Schleifspänen der verwendeten Nickel-Aluminium-Bronze CuAl10NiFe an. Im Rahmen des Vorhabens wurden Verfahrensschritte erarbeitet und evaluiert, um diese Abfälle aufzubereiten und dem LPA-Prozess zur Verfügung zu stellen. So können nachweislich die Materialkosten innerhalb des additiven Fertigungsprozesses sowie die Umwelteinwirkungen des AM-Prozesses reduziert werden.

Kennwert	Gefordert	Longitudinal (X-Richtung)	Transversal (Y-Richtung)	Hybrid, IN625 auf S355 (Z-Richtung)	iO/niO
Dehngrenze in MPa	400 (IN625)	450± 10	430± 8	–	iO
	350 (S355)	–	–	340 ±5	
Zugfestigkeit in MPa	600 (IN625)	850± 10	840± 9	–	iO
	500 (S355)	–	–	540± 4	
Bruchdehnung in %	20	35± 5	27± 5	27± 2	iO

Tabelle 1: Ergebnisse der Zugversuche zeigen, dass die mechanischen Anforderungen an die additiven und hybriden Proben erfüllt wurden

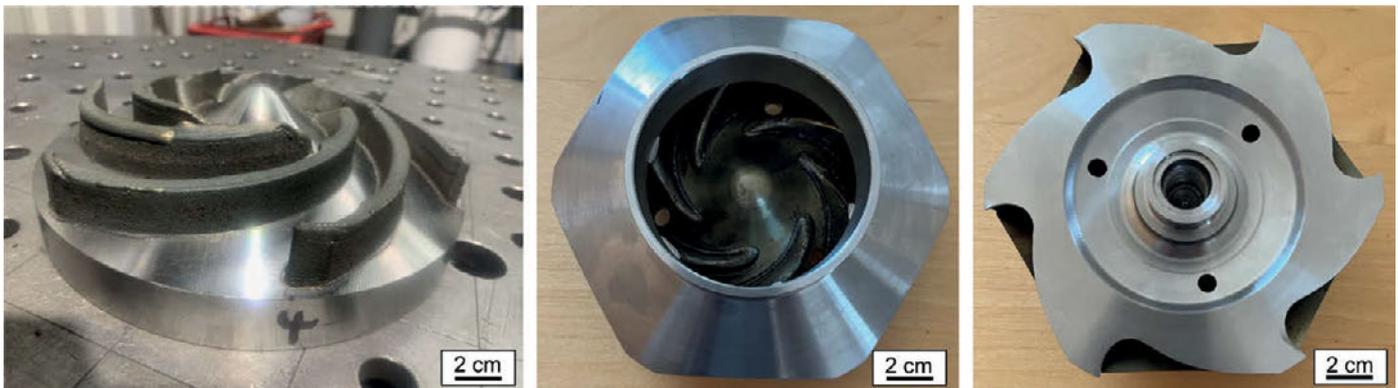


Abb. 2: Fertigungsschritte des Pumpen-Laufrads: Aufgeschweißte Flügel auf Grundplatte (links), aufgesetzte, geschweißte und nachbearbeitete Deckelplatte (Mitte) und nachbearbeitete Grundplatte (rechts)

Quelle für alle Abbildungen: FlexiMan Konsortium

Hybrides Pumpen-Laufrad

Die DED-Technologie ermöglicht die hybride Herstellung von Bauteilen aus mehreren Werkstoffen. Dabei werden Werkstoffe mit verbesserten Eigenschaften (z.B. die Nickel-Basis-Legierung Inconel 625) mit kostengünstigem Material (z.B. Stahl) kombiniert. Der Einsatz von beständigen Werkstoffen in beanspruchten Bauteilbereichen führt nicht nur zu einer deutlichen Erhöhung der Lebensdauer in kritischen Umgebungen, sondern auch zu Material- und Kosteneinsparungen. Diese betragen bis zu 30 Prozent im Vergleich zu Komponenten, die nur aus den teureren, beständigeren Werkstoffen wie etwa Nickel-Basis gefertigt werden.

LPA-Prozessentwicklung

Als Ausgangsparameter für das LPA-Verfahren wurde ein standardisierter Parametersatz gewählt, der für die Wiederaufbereitung von Stahlteilen aus Stählen der Klasse 5.2 verwendet wird. Dieser Parametersatz zielt auf eine Plattierungsdicke von 1-2 mm ab, während in diesem Projekt eine Flügelhöhe von 15-20 mm angestrebt wurde. Um eine Überhitzung des Grundmaterials zu vermeiden und das Verzugspotenzial gering zu halten, wurde die Laserleistung leicht reduziert, um den Energieeintrag pro Längeneinheit zu verringern. Außerdem wurde die Pulverzufuhrrate erhöht, was zu einem kleineren Schmelzbad führte.

Nach kleinmaßstäblichen (20 x 80 mm) drei- bis fünfblättrigen Testfeldern auf 10 mm dickem Basismaterial wurde ein Parametersatz ermittelt, der sich für die Herstellung sowohl dünner Wände als Pumpenradschaufeln als auch von Hybridblöcken von 35 x 35 x 65 mm auf Stahlgrundkörpern mit den Abmessungen 40 x 40 x 70 mm für Tests zur mechanischen Charakterisierung eignet (siehe Abbildung 1). Nach der Implementierung einer Slicing-Software zur CAD/CAM-Planung wurden gekrümmte Geometrien auf flachen Stahlplatten additiv hergestellt. Zugversuche wurden an den in Abbildung 1 dargestellten Hybridproben durchgeführt. Die Ergebnisse der Zugversuchsmessungen zeigen, dass die Anforderungen sowohl für die rein additiven als auch für die hybriden Proben erfüllt werden konnten (siehe Tabelle 1).

Hybride additive Fertigung

Als hybrides Demonstrator-Bauteil wurde ein geschlossenes Pumpenlaufrad ausgewählt und entworfen. Das Bauteil hat einen Durchmesser von 180 mm, eine finale Höhe von 66 mm und bestand aus drei Hauptteilen: Die sechs Pumpenflügel aus Inconel 625 wurden auf eine gedrehte Grundplatte (S355) aufgeschweißt, nachbearbeitet und mittels zerstörungsfreier Prüfung

auf Risse und Fehlstellen geprüft. Anschließend wurde eine mit Aussparungen versehene Deckelplatte (ebenfalls S355) aufgesetzt und mit den Flügeln durch Laserschweißen verbunden (Slotted Welding). Als letzter Bearbeitungsschritt wurde die gesamte Außenkontur des Pumpenlaufrades mittels konventioneller mechanischer Bearbeitungsmethoden fertig bearbeitet.

Im Rahmen des FlexiMan-Projekts konnte die einzigartige Fähigkeit der DED-Fertigung demonstriert werden, bei der kostengünstige Materialien mit hochfesten, hochbeständigen Werkstoffen in den Bereichen mit kritischer Belastung verstärkt werden können. Diese Eigenschaften können auf andere Komponenten wie Wellen, Gehäuse, Kolben usw. ausgeweitet werden. Besonders für große Bauteile mit lokal kritischen Belastungen bietet dieser Ansatz große Vorteile. Die Instandsetzung durch ungleiche Werkstoffkombinationen zur Verbesserung lokaler Schwachstellen hat sich bereits gut bewährt. Basierend auf den in FlexiMan vorgestellten Projektergebnissen wird ein weiterer Schritt in Richtung Multimaterialkombinationen für Neuteile realisiert.

Aufbereitung von Schleifspänen aus der Nachbearbeitung von Schiffspropellern

Bei der Nacharbeit von gegossenen Schiffspropellern, wie sie bspw. von der Mecklenburger Metallguss GmbH, Waren (MMG), hergestellt werden, fallen große Mengen an Schleifspänen aus Nickel-Aluminium-Bronze (CuAl10Fe5Ni5) an. Im FlexiMan-Projekt wurde das Ziel verfolgt, diese Materialreste durch gezielte Aufbereitungsschritte zu recyceln und daraus Zusatzwerkstoff für die additive Fertigung, im Speziellen für das LPA-Verfahren zu produzieren. Die Schleifspäne beinhalten neben der Aluminiumbronze Verunreinigungen aus den Schleifmitteln in Form von keramischen Partikeln aus Zirkonium- und Aluminiumoxid, Siliziumkarbid sowie Fasern und Harzrückständen von den Schleifbändern. Außerdem stellen auch die Größe und die Form der Späne eine Herausforderung für die Verwendung als Zusatzwerkstoff dar. Bei Pulvern für das LPA-Verfahren sind die Homogenität, Rundheit und Fließfähigkeit entscheidend für einen stabilen Schweißprozess und gute Materialeigenschaften. Die Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme (REM) in Abbildung 3 von gesiebten Schleifspänen zeigt deutlich, wie sehr die langen und scharfkantigen Späne von sphärischen Partikeln, wie sie im AM-Bereich üblicherweise eingesetzt werden, abweichen. Im Projekt wurden daher unterschiedliche Verfahren und Methoden untersucht, um die Schleifspäne von Verunreinigungen

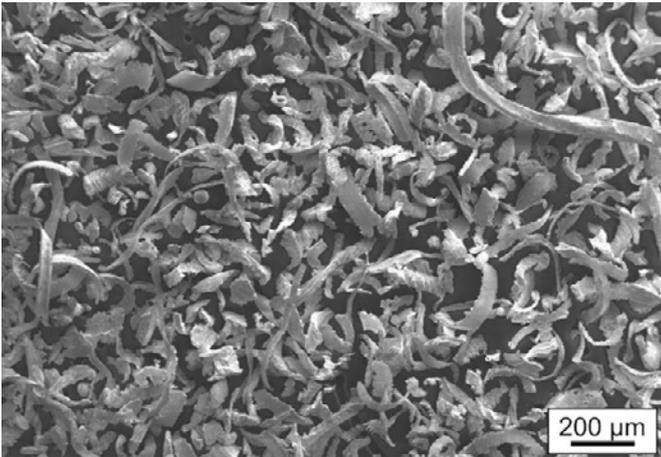


Abb. 3: Rasterelektronenaufnahme der Schleifspäne, gesiebt mittels Analysesieb (Lochdurchmesser 125 µm)



Abb. 4: Im Projekt durch die MMG entwickelte mehrstufige Siebanlage zur Separation von Schleifspänen nach Partikelgröße

zu trennen, ihre Partikelgrößenverteilung anzupassen und die Partikelrundheit zu erhöhen.

Separations- und Aufbereitungsverfahren

Im Verlauf des Verbundvorhabens wurden unterschiedliche Separationsmethoden untersucht und kombiniert. Das schwach magnetische Verhalten von Nickel-Aluminium-Bronze wurde für den primären Separationsschritt mittels magnetischer Abscheidung genutzt. Weiterhin wurden der Einfluss statischer Elektrofelder und die Möglichkeit der mechanischen Trennung nach Partikelgröße mittels einer Siebanlage (siehe Abbildung 4) untersucht.

Als weiteres Aufbereitungsverfahren wurde Ultraschallatomisierung eingesetzt. Bei diesem Verfahren tropft aufgeschmolzenes Metall auf eine Sonotrode. Durch die Vibration werden feine Partikel ausgeworfen, die in der umgebenden Schutzgasatmosphäre als runde Kugeln erstarren. Des Weiteren wurden Schleifspäne durch Mahlen mit einer Kugelmühle sowie einer Prallströmmühle aufbereitet.

Zur Charakterisierung der unterschiedlichen Span-Pulver wurden Pulveranalysen nach VDI 3405 Blatt 2.3 durchgeführt. Es wurden die chemische Zusammensetzung, die Partikelgrößenverteilung, die Morphologie sowie die Fließfähigkeit u.a. anhand der Klopf- und Schüttdichte ermittelt und mit Standard AM-Pulver aus CuAl9.5Fe verglichen.

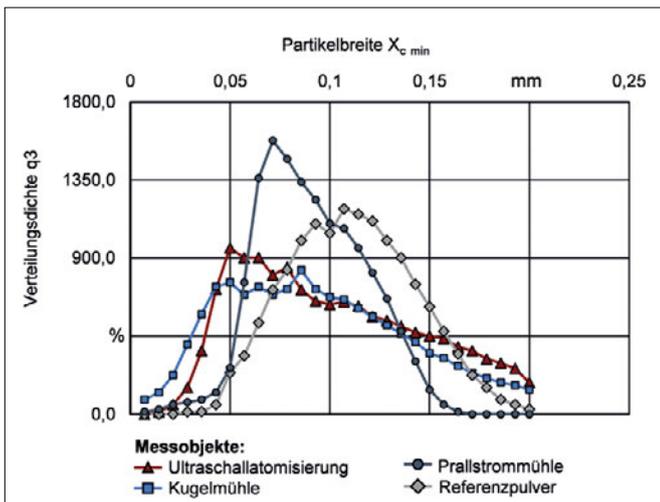


Abb. 5: Partikelgrößenverteilungen

Partikelgrößenverteilung

Die Ermittlung der Partikelgrößenverteilung sowie weiterer statistischer Größen sind anhand der ISO 13322-2 mittels dynamischer Bildanalyse erfolgt. Analysiert wurden die Partikelbreite X_c min und die Partikellänge X_{Fe} max. Die Partikelgrößenverteilung (PSD) der mittels Ultraschallatomisierung, Kugelmühle und Prallströmmühle hergestellten Pulver sowie die Partikelgrößenverteilung des Referenzpulvers sind in Abbildung 5 dargestellt. Das gasverdüstete Referenzpulver ist durch eine schmalere PSD

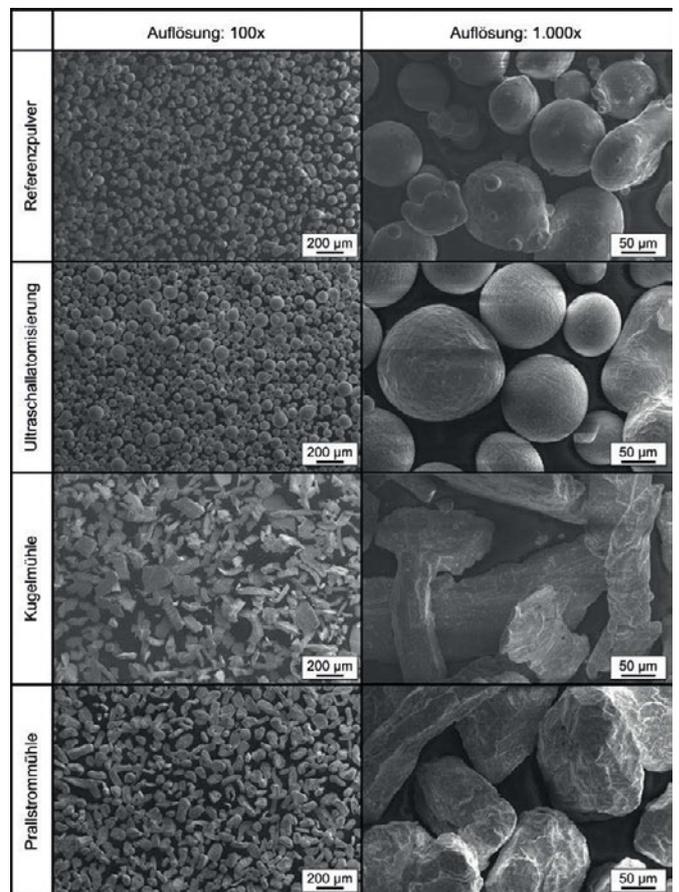


Abb. 6: REM-Aufnahmen der aufbereiteten Späne und des Referenzpulvers