



Gedruckte Rahmenkonstruktion für die Windschutzscheibe eines High-Speed-Bootes.

Additive Fertigung

Metallpulver – die Tinte zum Drucker

Das 3-D-Drucken ist seit Jahren in aller Munde und wird insbesondere von fachfremden Personen und Medien wiederholt seiner großen disruptiven Potenziale gerühmt. Schaut man jedoch auf die Umsatzzahlen additiv gefertigter Teile, so sind diese winzig im Vergleich zu etablierten Märkten wie z.B. der Gießerei-Industrie. Woran liegt diese große Diskrepanz zwischen Projektion und Realität?

VON HENNING FEHRMANN, RÜDIGER FRANKE UND DENNIS RIEDER, HAMBURG

Um abseits des Hypes um die Additive Fertigung ihre Chancen und Risiken für sich zu beurteilen, bedarf es einer differenzierten Analyse. Die Argumente für das 3-D-Drucken sollten den meisten bekannt sein:

> Es werden keine Modelle, Vorrichtungen oder Werkzeuge benötigt. Neue Bauteile lassen sich daher in konkurrenzlos kurzer Zeit produzieren, was die Durchlaufzeit maßgeblich reduziert.

> Die geringe Durchlaufzeit ermöglicht vollkommen neue Strategien zur Ersatzteilverhaltung. Anders formuliert, ermöglicht das 3-D-Drucken eine On-Demand-Fertigung, und zwar idealerweise dort, wo das Ersatzteil benötigt wird.

> Ohne Modelle, Vorrichtungen und Werkzeuge lassen sich Bauteile nicht nur schnell, sondern auch individuell herstellen. Dieser Individualisierungsvorteil ist der wesentliche Grund, warum das 3-D-Drucken in der Produktentwicklung (Rapid Prototyping) und in der Prothetik seit Jahren auf dem Vormarsch ist.

> Die Komplexität der Wertschöpfungs-

kette wird deutlich reduziert. Ein Beispiel aus der Praxis der Sandgießerei der Fehrmann Alloys GmbH & Co. KG zeigt, dass anstelle von elf nur noch fünf Prozessschritte benötigt werden, also eine Reduktion der Komplexität von mehr als 50 Prozent.

> Es entsteht ein bislang ungekannter Freiraum in der Konstruktion von Bauteilen und Modulen, z. B. in Form bionischer, sprich kraftflussoptimierter Konstruktionen.

> Es lassen sich Module, die aus mehreren Komponenten bestehen, in einem Schritt fertigen.

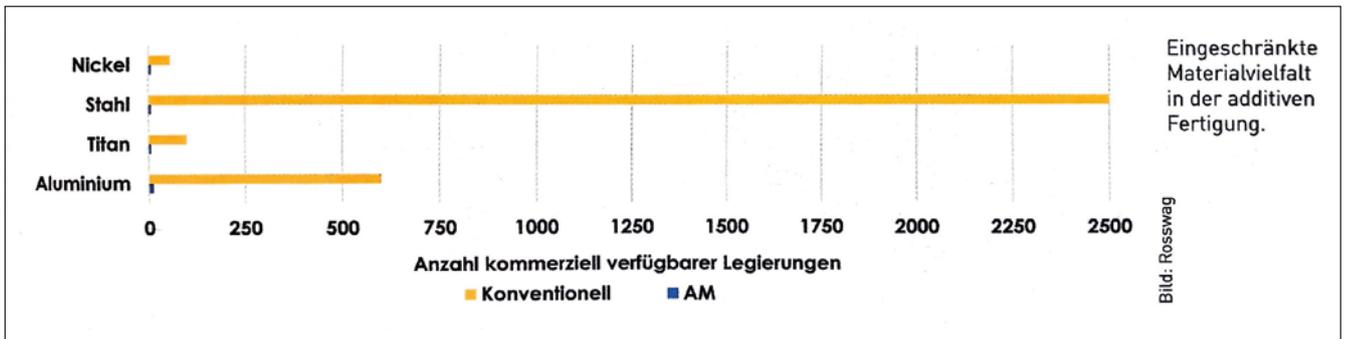
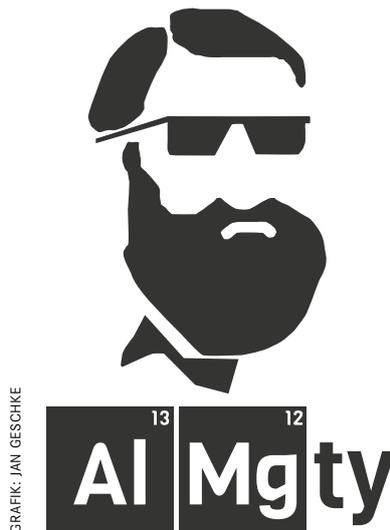


Bild 1: Anzahl verfügbarer Legierungen für konventionelle Produktionsverfahren und Additive Fertigung (AM).

> 3-D-Drucken schont Ressourcen. Optimierte Konstruktionen ermöglichen signifikante Einsparungen von Material und Gewicht. Weniger Gewicht wirkt insbesondere bei bewegten Produkten wie z. B. Autos multiplikativ, sprich ermöglicht weitere Gewichtseinsparungen und führt zudem zu geringerem Energieverbrauch.

Gegen das 3-D-Drucken stehen sachliche, aber auch faktische Argumente:

- > Im Vergleich zu etablierten, auf Menge ausgerichteten Produktionsverfahren, sind die reinen Stückkosten um Potenzen höher.
- > Der Bauraum bestehender (Metall)-Druckanlagen ist begrenzt und beschränkt dadurch den Einsatz.
- > Viele Endprodukte basieren auf Standard-Komponenten und Standardmaterialien. Dieser „Kompromiss-Ansatz“ ist konträr zur Philosophie der Additiven Fertigung.
- > Die Einführung des 3-D-Druckens macht nur dann Sinn, wenn zugleich die gesamte Wertschöpfungskette angepasst wird, angefangen bei der Neukonstruktion. Neben den notwendigen Investitionen in Anlagen und Know-how erfordert dies einen hohen Aufwand.
- > Die Normung zur Qualitätssicherung gedruckter Bauteile befindet sich erst im Aufbau.
- > Das 3-D-Drucken ist als Produktionstechnologie (noch) nicht überall bekannt. „Gesundes Halbwissen“ führt zu teilweise abenteuerlichen Behauptungen, was alles bzw. was alles nicht möglich ist.
- > Es gibt kaum geeignete Metalle für die Additive Fertigung.



GRAFIK: JAN GESCHKE

Firmengründer Kapitän Nicolai Petersen Fehrmann stand Pate für das Logo der eigenen Metallpulver.

3-D-Drucken als komplementäres Produktionsverfahren

Angesichts der einmaligen Vorteile ist die Additive Fertigungstechnologie auf dem Vormarsch. Große OEM und Tier-1-Unternehmen treiben die Etablierung, da sie die Potenziale erkannt haben. Dabei verfolgen sie aber nicht den Ersatz bestehender Produktionsverfahren, vielmehr etabliert sich das 3-D-Drucken in der Prototypen- und Kleinserienfertigung sowie in der Fertigung von Ersatzteilen und reiht sich damit als komplementäres Produktionsverfahren zum Gießen und Fräsen ein. Der Aufwand, die gesamte Wertschöpfungskette umzustellen und zugleich einen konsequenten Strategiewechsel von der Standardisierung zur

Individualisierung und Optimierung einzuläuten, scheint demnach auch den progressivsten und finanziell stärksten OEM deutlich zu hoch bzw. nicht attraktiv.

Für die Zulieferer ist diese Herangehensweise eine große Chance. Denn die Additive Fertigung komplementär zur bestehenden Produktion aufzubauen, substituiert nicht die eigenen Produkte, sondern ergänzt das Produktportfolio und stärkt die Kundenbeziehung. Jeder erfahrene OEM / Tier-1 weiß eine stabile Geschäftsbeziehung zu guten Gießereien zu schätzen. Diese zu nutzen, um ergänzend auch die Bedarfe für additiv gefertigte Bauteile zu decken, liegt für beide Seiten auf der Hand. Gleichwohl wird die Technologie weiter wachsen. Die Fertigung ganzer Module in einem Druckvorgang, die Typologie-Optimierungs-Programme, die sinkenden Produktionskosten durch neue Anlagen und günstigere Materialien einerseits sowie das Know-how junger Ingenieure und Anwender andererseits werden diesen Prozess beflügeln. Die Skalierbarkeit zu beherrschen, sprich zu bewerten, bis wann man druckt und ab wann man gießt und / oder fräst und dies in der Praxis umzusetzen, wird nicht nur notwendig werden, sondern ist zugleich eine einmalige Chance, der gesamten Wertschöpfungskette signifikanten Mehrwert zu bieten. Wer jetzt nicht beginnt, dieses Know-how aufzubauen, wird bald nicht mehr hinterherkommen.

Keine Werkstoffe, kein Produkt

Nachdem in den letzten 10 bis 15 Jahren der Fokus auf der Entwicklung industriereifer 3-D-Druck-Anlagen lag, bedarf es

nun geeigneter Werkstoffe, denn ohne Material kein Druck. Doch das ist leichter gesagt als getan, denn das Verhalten des Werkstoffs im fertigen Bauteil, und nur darauf kommt es schlussendlich an, hängt nicht nur von der chemischen Zusammensetzung der Legierung, der Erstarrung und optional weiterer, meist thermischer Nachbehandlungen ab. Vielmehr wird die Performance des Bauteils ebenso vom Verdünnungsprozess und den Druckparametern beeinflusst. Die Vision ist so attraktiv wie herausfordernd. Mittels gezielter Steuerung der Druckparameter multifunktionale Bauteile aus demselben Werkstoff zu produzieren, die lokal heterogene Eigenschaften haben. So könnte das Bauteil z. B. in einem Bereich hochfest und in einem anderen Bereich duktil sein. Die Komplexität von Endprodukten und damit deren Herstellkosten würden exorbitant sinken.

Zurück zum jetzt. Auch ohne variable gezielte Druckparameter und ohne Berücksichtigung der Skalierbarkeit über mehrere Produktionsverfahren ist die Anzahl der kommerziell verfügbaren metallischen Werkstoffe in der Additiven Fertigung sehr überschaubar (Bild 1).

Fehlende Legierungen sind eines der wesentlichen Hindernisse für den Einsatz des Metalldrucks. Aktuell stehen 640 in etablierten Produktionsverfahren verfügbaren Aluminiumlegierungen ungefähr fünf industriereife und kommerziell verfügbare Aluminiumlegierungen für das 3-D-Drucken gegenüber. Vor dem Hintergrund, dass die Additive Fertigung die digitale Querschnitts-Produktionstechnologie ist und sich insofern komplementär in jede skalierbare Wertschöpfungskette einreihen kann, ist das eine gewaltige Lücke. Bei Eisen bzw. Stahl sieht es nicht besser aus. Bei Titan stellt sich die Situation zwar besser dar, jedoch sind Titanlegierungen trotz ihrer guten mechanischen Eigenschaften keine Alternative zu Aluminium, da Titanlegierungen ein höheres spezifisches Gewicht haben und preislich nicht wettbewerbsfähig sind. Daher beschränken sich ihre Einsatzbereiche auf wenige Industrien wie die Luft- und Raumfahrt oder die Medizintechnik, in denen hohe mechanische Eigenschaften und geringes resultierendes Gewicht die hohen Kosten rechtfertigen.

Zentraler Werkstoff Aluminium

Aluminium ist das Leichtmetall Nummer 1 der Welt. Das 3-D-Drucken als neuartige Produktionstechnologie mit bisher ungekannten Gestaltungsmöglichkeiten wiederum entfaltet sein Potenzial im Leicht-

Tabelle 1: Hochleistungs-Aluminium für flexible, skalierbare Produktion, vom 3-D-Druck bis zum Druckguss.

				
3D-Druck	AlMgty 80	355 MPa	220 MPa	19 %
Sandguss	F-AI 80	425 MPa	218 MPa	25 %
Kokillenguss	F-AI 80	400 MPa	202 MPa	25 %
Druckguss	F-AI 80	368 MPa	208 MPa	21 %

Tabelle 2: Neu entwickelte Legierungen AlMgty 80 und AlMgty 90 im Vergleich zur Standard-Aluminiumlegierung.

	R_m [MPa]	$R_{p0.2}$ [MPa]	A [%]	Dichte	Druckgeschwindigkeit	Korrosionsbeständig	Eloxierbarkeit (in Farbe)	Polierbar
AlMgty 90 (heat treated)	410	200	25					
AlMgty 80 (as built)	355	220	19					
AlSi10Mg (heat treated)	280	158	14					
AlSi10Mg (as built)	465	250	5					

Firmenprofil Fehrmann Alloys

Fehrmann Alloys blickt auf langjährige Erfahrungen in der Entwicklung von Aluminiumlegierungen zurück. Seit den 1970er Jahren entwickelt Fehrmann Alloys High-Performance-Legierungen auf AlMg-Basis und vergießt sie in der eigenen Sandgießerei. Der Sitz in Hamburg und die Nähe zur maritimen Industrie hat schon vor mehr als einhundert Jahren dazu geführt, den Fokus auf AlMg-Legierungen zu legen. Tatsächlich bietet dieses Legierungssystem Vorteile und Potenziale, die in den vergangenen Jahrzehnten kaum Beachtung fanden.

Dies führte im Jahr 2010 zur Gründung eines internen Kompetenzzentrums für Legierungsentwicklung und zum Aufbau von Kooperationen mit exzellenten wissenschaftlichen Einrichtungen wie z. B. dem Helmholtz-Zentrum für Materialforschung (HZG), dem Fraunhofer-Institut für Angewandte Produktionstechnologie (IAPT), dem Deutschen Elektronen-Synchrotron (DESY) sowie dem Institut für Laseranwendungssysteme der Technischen Universität Hamburg (TUHH iLAS). Die genannten Einrichtungen sind zum Teil im norddeutschen Material-Exzellenz-Cluster vertreten.

bau, weshalb Aluminium hier eine besondere Bedeutung zukommt. Der Entwicklungsleiter einer Sportwagenschmiede formulierte es so: „Das 3-D-Drucken wird sich nur mit hochfesten Aluminiumlegierungen etablieren.“ Zugleich muss bedacht werden, dass es sich, wie bereits ausgeführt, bei der Additiven Fertigung um ein komplementäres Verfahren handelt. Es bedarf also sog. High-Performance-Aluminiumlegierungen, die nicht

nur im 3-D-Drucker einsetzbar sind, sondern auch in dem sich in der Großserie anschließenden Sand-, Kokillen- und/oder Druckguss.

Wie bei allen Werkstoffgruppen in der Additiven Fertigung gilt auch für Aluminiumlegierungen, dass wenige Low-Performance-Legierungen (AlSi10Mg, AlSi7Mg0,6, mit großem Abstand AlSi9Cu3) den Großteil des aktuellen 3-D-Druckmarktes beherrschen, wohingegen Legie-

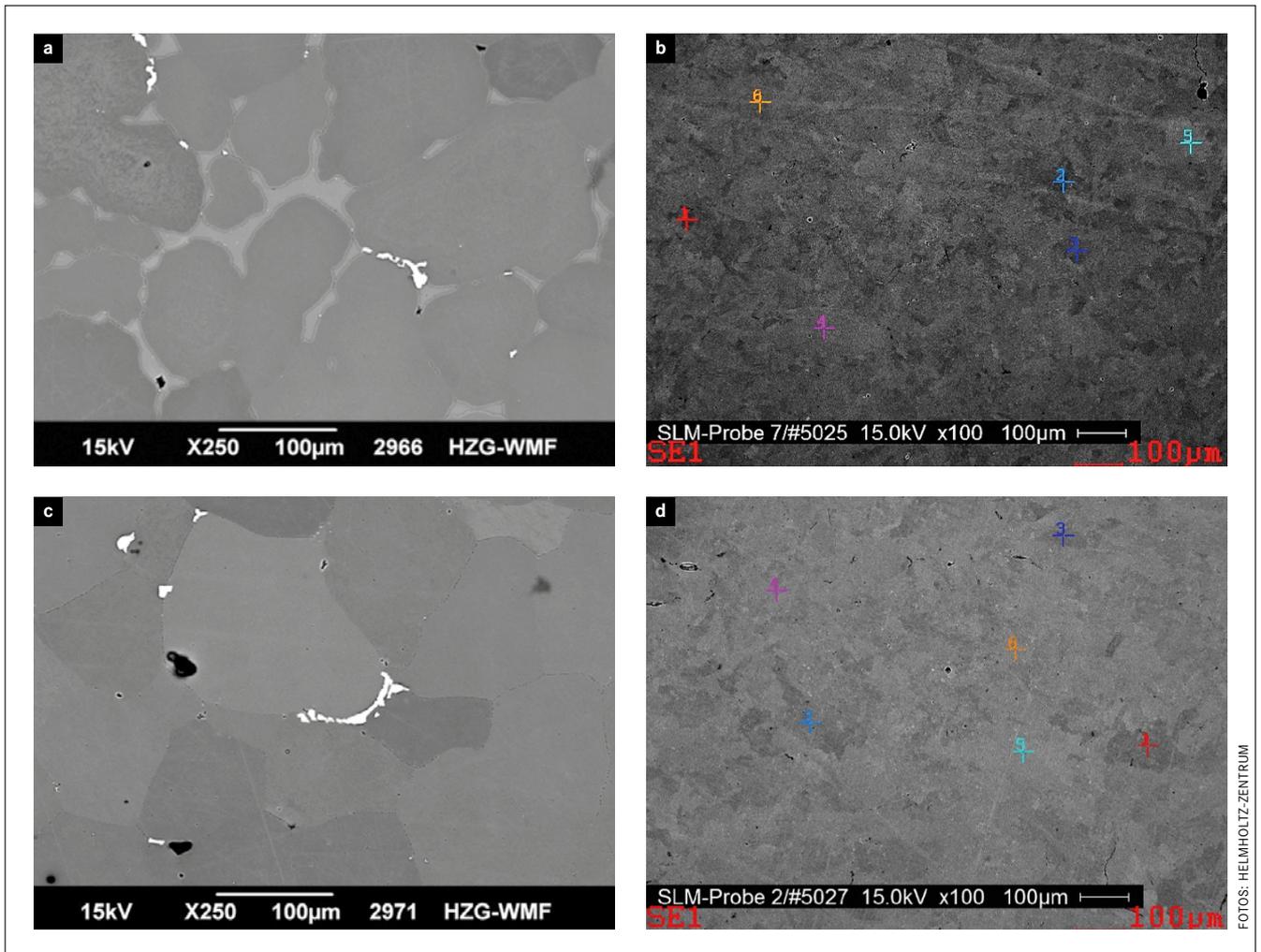


Bild 3: REM-Mikroskopie unterschiedlicher Proben, angefertigt am Helmholtz-Zentrum für Materialforschung, Geesthacht: a) unbehandelte Gussprobe, b) unbehandelte SLM-Probe, c) wärmebehandelte Gussprobe, wärmebehandelte SLM-Probe.

rungen aus den 2000er, 5000er, 6000er und 7000er-Legierungssystemen nur langsam auf den Markt gebracht werden und teilweise noch erhebliche Herausforderungen im Prozess mit sich bringen. Dezidiert für das Pulverbettverfahren entwickelte, neue Werkstoffe erfahren aus unterschiedlichen Gründen (Preis, chemische Zusammensetzung, komplizierte Wärmebehandlungen) nicht die Akzeptanz in der Industrie. Es mangelt also nicht nur an der gewohnten Vielfalt von Standard-Aluminiumlegierungen, sondern vor allem an Hochleistungs-Legierungen, die sowohl im 3-D-Druck als auch im Guss einsetzbar sind und, das ist entscheidend, ein vergleichbares Verhalten im Bauteil garantieren.

High-Performance-Aluminium

Diesem Mangel verschafft die Fehrmann Alloys GmbH & Co. KG Abhilfe. Nach dem Leitspruch „1 Werkstoff, 1 Konstruktion, 1 bis 1 000 000 Teile“ hat die Tochtergesellschaft der Fehrmann Tech Group und der Peter Cremer Holding eine Familie von

Aluminiumlegierungen entwickelt (**Tabelle 1**), die sich nicht nur durch einmalige mechanische Eigenschaften auszeichnet, sondern sowohl in der Additiven Fertigung als auch im Sand-, Kokillen- und Druckgießen eingesetzt wird. Die Industrietauglichkeit und -reife wurde mit Unternehmen aus dem großen norddeutschen Netzwerk (s. Infobox) für 3-D-Metalldruck erarbeitet. Neben der Prozessstabilität für die 3-D-Druck-Technologien Selective-Laser-Melting und Laser-Metal-Deposition, die bei AlMg-Legierungen an sich herausfordernd ist, wurden generische Druck-Parameter für die Verarbeitung der unter dem Namen AlMgty firmierten Legierung (**Bild 2**) entwickelt und im Hinblick auf eine hohe Dichte $\geq 99,0\%$ und hohe Druckgeschwindigkeiten optimiert (**Tabelle 2**).

In einem aktuellen Forschungsprojekt werden weitere Legierungsvarianten entwickelt und unterschiedli-

che thermische Behandlungen untersucht. Dies liegt weniger daran, dass die gedruckten und gegossenen Bauteile identischen Wärmebehandlungen unterzogen werden, sondern dass es im Gegenteil unterschiedlicher thermischer Behandlungen bedarf, da die Gefüge nach dem Laserschmelzen und nach dem Gießen wesentliche Unterschiede aufweisen (**Bild 3**). Von dem Forschungsvorhaben erwarten die Partner mehr Erkenntnisse zum Verhalten gedruckter Gefüge unter unterschiedlichen thermischen Bedingungen. Auch zeigen sich bereits jetzt interessante Ergebnisse in Bezug auf die Variation der Druckparameter. Denn will man in Zukunft durch Änderung der Druckparameter während des Druckvor-

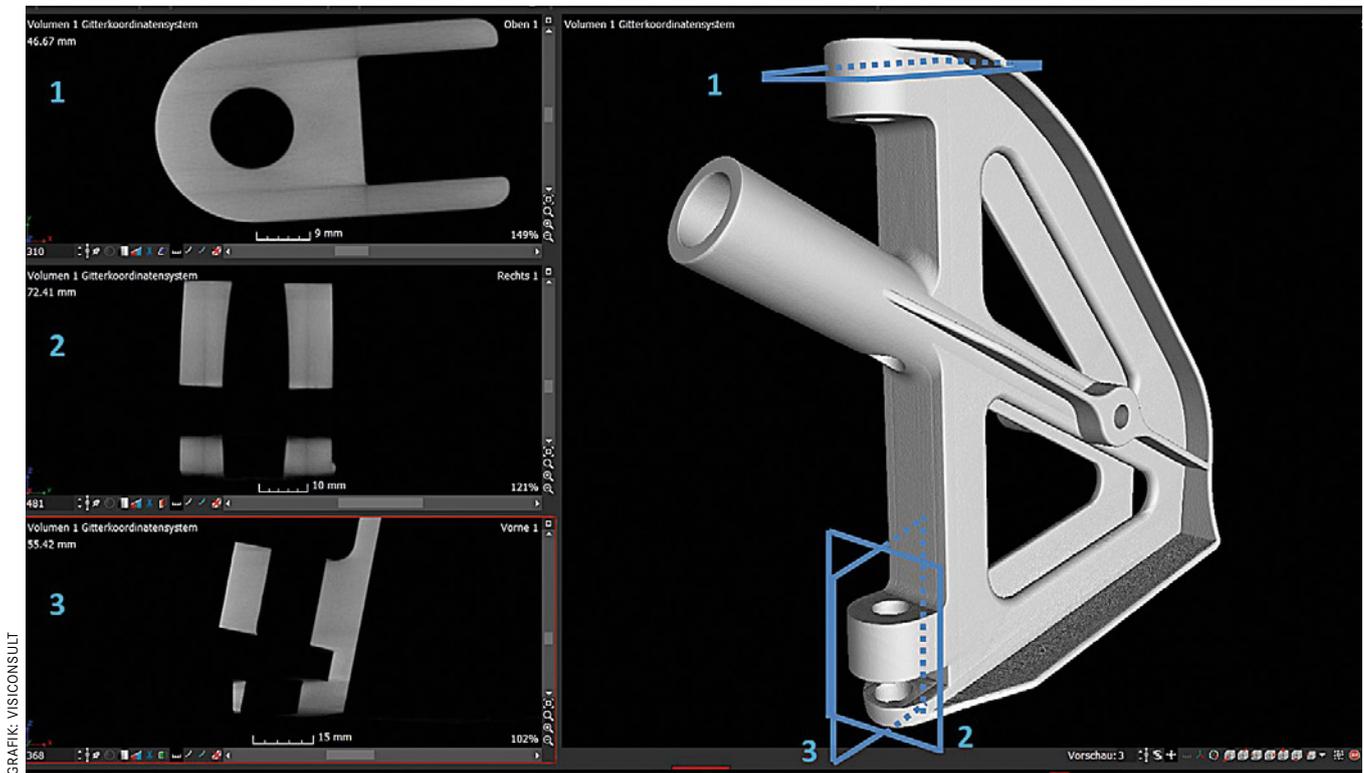


Bild 4: Analyse des gedruckten Bauteils mittels Computertomografie.

gangs die Eigenschaften im Bauteil steuern, muss der Einfluss der Wärmebehandlungen auf die Gefüge bekannt sein.

Anwendungsbeispiel Segelboot

Norddeutschlands 3-D-Druck-Netzwerk spielt im Metalldruck weltweit ganz vorn mit. Dies liegt nicht nur an bekannten Pionieren wie Airbus, SLM Solutions, Implantcast oder dem Fraunhofer IAPT, sondern an einem aktiven Netzwerk von mehr als 300 Unternehmen und wissenschaftlichen Einrichtungen allein in der Metropolregion Hamburg. Die Regionen um Bremen, Hannover und Wolfsburg ergänzen mit eigenen Schwerpunkten und international bekannten Unternehmen und Instituten den für Metalldruck hervorragenden Standort Norddeutschland. Der Kontakt zur maritimen Industrie führte zu einer Anwendung, die beispielhaft dafür ist, wie komplex die Anforderungen an den Werkstoff sind. Für die Bootswerft Ziegelmayer, weltweit führend in der Herstellung von Segelbooten der Olympiateilnehmer in der 470er-Klasse, wurden Ruderblattaufhängungen mit der neuen AlMgty-Legierung gedruckt. Der Kunde entschied sich für diese Variante, da er eine gute Festigkeit mit hoher Duktilität und Korrosionsbeständigkeit benötigte. Da Ziegelmayer die Ruderblattaufhängungen nicht nur als Prototypen, sondern nach der Testphase in Serie benötigte, gehörte die Eignung des Werkstoffs so-

wohl im 3-D-Druck als auch im Sandguss zum Anforderungskatalog. Dass der Werkstoff dieselben mechanischen Eigenschaften sowohl im gedruckten als auch im gegossenen Bauteil aufweisen muss, ist dabei eine wesentliche Voraussetzung für die schnelle Produktentwicklung und Testphase mit 3-D-gedruckten Bauteilen (Bild 4). Tests an Booten in verschiedenen Meeren rund um den Globus haben die hervorragende Korrosionsbeständigkeit und die mechanische Belastbarkeit bewiesen, sodass aktuell an einem Nachfolgeprojekt im Segelsport gearbeitet wird. Fehrmann Alloys tritt als weltweit agierender kompletter One-Stop-Shop auf. Neben AlMgty umfasst das Produktsortiment sämtliche Standardpulver, die alle inhouse qualifiziert sind. Die 67 Vertriebsgesellschaften des Joint-Venture-Partners Peter Cremer Holding ermöglichen eine weltweite Belieferung und Vor-Ort-Betreuung.

Fazit

Die Additive Fertigung ist weiter auf dem Vormarsch. Angesichts vergleichsweise hoher Kosten für gedruckte Teile disruptiert das 3-D-Drucken weniger, sondern ergänzt die bestehenden Produktionsverfahren. Nichtsdestotrotz sind die Möglichkeiten einmalig. Verbunden mit produktiveren Anlagen, mehr Werkstoffen, ausgereifterer Software und mehr Anwendungsfällen, wird sich die Additive Ferti-

gung als die wesentliche digitale Produktionstechnologie branchenübergreifend weiter etablieren. Zugleich ist der Aufbau als Komplementär zu den bestehenden Produktionsverfahren ein komplexes Unterfangen. Dies gilt jedoch für alle gleichermaßen, sodass diejenigen, die sich im 3-D-Druck Know-how aufbauen, ein starkes Alleinstellungsmerkmal gegenüber dem Wettbewerb haben.

Geeignete Werkstoffe sind die Tinte zum Drucker. Um die Potenziale des 3-D-Druckens konsequent zu heben, bedarf es neuer Hochleistungs-Legierungen, die industriereif sind, sprich zuverlässige Produktqualität liefern und zugleich die Skalierbarkeit der Produktion in die Serien-Gießverfahren zulassen. Der Auswahl des richtigen Werkstoffs von Beginn an kommt eine zentrale Bedeutung zu, um das 3-D-Drucken effektiv einzusetzen und nicht später in einer Sackgasse zu landen. Das Ziel bei Fehrmann Alloys ist es, das Material-Know-how in den Dienst des 3-D-Druckens zu stellen und die benötigten Werkstoffe, seien es Standardpulver oder High-Performance-Legierungen wie die AlMgty, zu liefern, um von Beginn an Industriereife zu garantieren.

www.alloys.tech; www.almgty.tech

Dipl.-Ing. Henning Fehrmann, Vorsitzender der Geschäftsführung, Dipl.-Ing. EMBA Rüdiger Franke, Head of Metal Technology, Dennis Rieder, Head of Sales, Fehrmann Alloys GmbH & Co. KG, Hamburg