

# INFER3D

## INNOVATIVE FORSCHUNGSANLAGE MIT VIEL POTENTIAL

Seit Anfang September 2021 ist die integrierte Fertigungszelle im CIMTT einsatzbereit. Zwei Teams des Fachbereichs Maschinenwesen erforschen nun Grundlagen, um bessere Herstellungsverfahren und Produkte für die Industrie zu ermöglichen.

Die Freude ist Prof. Dr.-Ing. Jana Schloesser vom Institut für Werkstoffe und Oberflächen und Prof. Dr.-Ing. Alexander Mattes vom Institut für Produktionstechnik anzumerken: Endlich können sie mit der integrierten Fertigungszelle arbeiten. Auch die Teams der Professores Eisele (Institut für Mechatronik) und Weyhardt (Institut für Konstruktionstechnik) stehen in den Startlöchern, um mit der vom Bundesforschungsministerium mit 2,3 Millionen Euro geförderten Anlage loszulegen, die seit Anfang September 2021 einsatzbereit ist. Durch die Kombination aus additiven und spanenden Verfahren entstehen an der FH Kiel künftig aus neuartigen Materialkombinationen innovative Werkstücke, die Industrie- und Forschungspartnern wirtschaftliche Fertigungsverfahren und bessere Produkte ermöglichen und Studierende noch besser auf ihre künftigen Berufe in der High-Tech-Industrie vorbereiten.

### **Aufbau mit vereinten Kräften**

Die Beschaffung der ‚Integrierten Fertigungszelle zum innovativen 3D-Laser-Pulvermetall-Auftragsschmelzen‘

(InFer3D) während der Corona-Pandemie stellte insbesondere die Anlagenhersteller vor große Herausforderungen und brachte den ambitionierten Zeitplan des Teams durcheinander, das die Fertigungszelle bereits im Frühjahr 2021 betreiben wollte. Doch eine hochmoderne Anlage, die höchsten Ansprüchen genügen muss, ist eben keine Einbauküche aus dem Katalog. Das Technologie-Transfer-Zentrum für Computer Integrated Manufacturing (CIMTT) der FH Kiel nutzte die Wartezeit bestmöglich für die Vorbereitung: So wurde das CIMTT mit Unterstützung der Zentralverwaltung der Hochschule aufwändig umgestaltet. In einem baulich abgetrennten Bereich mit modernster Sicherheitstechnik entstand ein Raum für die Lasertechnik, in dem zudem verschiedene Ausgangsmaterialien gelagert sind, aus denen die Anlage zum 3D-Laser-Pulvermetall-Auftragsschmelzen neue Werkstoffe herstellen kann. Mit dem Aufstellen der schließlich gelieferten Maschinen waren die Vorbereitungen jedoch nicht abgeschlossen. Viel Vorarbeit floss in die digitale Vernetzung der Einzelkomponenten zu einer Fertigungszelle, in der die Abläufe schließlich automatisch erfolgen können.

### **Eine Zelle aus vielen Komponenten**

Die gesamte Fertigungszelle InFer3D besteht aus mehreren miteinander verbundenen Anlagen. Zunächst werden feinste Pulver aus Stahl, Nickel, Kupfer und anderen Materialien in die additive Fertigungsanlage eingefüllt. Unter einer Schutzgas-Atmosphäre schmilzt ein Laserstrahl

dieses beliebig miteinander kombinierbare Ausgangsmaterial auf. Eine um drei Achsen bewegliche Düse trägt die glühende Metallmischung auf eine dreh- und schwenkbare Arbeitsfläche auf. Wie aus einer Tortenspritze entsteht so, Schicht um Schicht, ein Werkstück aus metallischem Material. Nach der Fertigstellung hebt ein Roboter das Bauteil aus dem Arbeitsraum der Maschine und stellt es zur Abholung bereit. Ein fahrerloses Transportsystem, ein etwa hüfthoher, selbst fahrender Roboter, bringt den Rohling zum fünfachsigem Fräs-Bearbeitungszentrum. Hier nimmt ein anderer Roboter das Werkstück entgegen und platziert es korrekt in der Maschine. Nach der Bearbeitung mit spanenden Verfahren wird das Teil schließlich vom Roboterarm erneut an das Transportsystem übergeben, das das fertige Produkt abholt und auslagert. In zahlreichen Schritten, die automatisch ablaufen, werden so aus Metallpulvern komplex geformte Werkstücke aus neuartigen Materialien, die sich mit konventionellen Verfahren nicht herstellen ließen.

### Eine Fertigungszelle, zwei Teams

Jetzt, wo alles so weit ist und die Hürde der Aufbau-phase genommen ist, erforschen die Teams von Jana Schloesser und Alexander Mattes, welche Möglichkeiten die Fertigungszelle bietet. Während sich Schloesser und Maschinenbau-Ingenieur Artjom Roth mit ‚Grundlagen von gradierten Materialien‘ (GradMat3D) an InFer3D auseinandersetzen, beschäftigen sich Mattes und Maschinenbau-Ingenieur Thore Gericke mit ‚Thermisch optimierten Spritzgusswerkzeugen‘.

### Team Schloesser

Die Arbeit von Jana Schloesser und Artjom Roth im Projekt ‚GradMat3D‘ ist in mehrfacher Hinsicht grundlegend, wie die Professorin erklärt: „Gradierte Materialien bestehen aus zwei oder mehr Ausgangsstoffen, die wir in unterschiedlichen Anteilen miteinander verbinden. Anders als Verbundwerkstoffe oder Legierungen wie Bronze, das aus Zinn und Kupfer besteht, sind gradierte Materialien wesentlich komplexer aufgebaut. Wir sorgen mit unserer Arbeit für einen gleichmäßigen Übergang zwischen zwei unterschiedlichen Materialien. Beispielsweise verbinden wir Elemente aus Stahl und Nickel durch einen gradierten Übergangsbereich, in der die jeweiligen Anteile zu- und abnehmen. Bildlich gesprochen erschaffen wir zwischen Schwarz und Weiß eine Grauzone mit zahlreichen Schattierungen.“

Solche gradierten Werkstoffe sind in der Lage, punktuell und nach Bedarf positive Eigenschaften zweier Materialien miteinander zu kombinieren, beispielsweise die Steifigkeit von Stahl und die (Wärme-)Leitfähigkeit von Kupfer. Das ist besonders interessant für Disziplinen wie die Leistungselektronik, in der Prof. Dr. rer. nat. Ronald Eisele an der Fachhochschule forscht. Durch die gradierte Kombination von Stahl und Nickel entstehen indes Stoffe, die sehr zäh aber gleichzeitig gut gegen Korrosion und Verschleiß gewappnet sind. „Herkömmliche Metallverbindungen haben eine Achillesverse“, erklärt Artjom Roth. „Die Grenzflächen der jeweiligen Ausgangsstoffe sind ge-



Prof. Dr.-Ing. Jana Schloesser und Maschinenbau-Ingenieur Artjom Roth setzen sich an InFer3D mit ‚Grundlagen von gradierten Materialien‘ (GradMat3D) auseinander.

fürchtete Sollbruchstellen. Dieses Problem haben Bauteile aus gradierten Werkstoffen nicht. Durch die gemischten Übergänge sind die gradierten Werkstoffe schließlich viel besser in der Lage, thermischen und mechanischen Beanspruchungen Stand zu halten. Wir erhalten das Beste aus beiden Welten.“

Doch bis zu dieser Perfektion ist es ein langer von vielen Variablen gesäumter Weg. Daher sollte man viel Fachwissen, Geduld und Frustrationstoleranz im Rucksack haben. So gilt es zunächst, die richtigen Ausgangsmaterialien zu finden, denn es gibt nicht nur ein Nickelpulver, sondern viele verschiedene, die sich unter anderem in ihren Eigenschaften wie der Fließgeschwindigkeit und der chemischen Zusammensetzung geringfügig unterscheiden. Da bei gradierten Werkstoffen meist zwei Pulver, so fein wie Haushaltszucker, zum Einsatz kommen, braucht es viel Geduld und viele Testläufe, die beste Kombination zu finden. Hinzu kommt, dass der Umgang mit dem Laser eine Wissenschaft für sich ist. „Uns stehen zwei unterschiedliche Laser in InFer3D zur Verfügung. So können wir Wandstärken und Auftragsmengen regulieren“, erklärt Roth. „Doch nicht nur der Laser zum Schmelzen des Pulvers, auch die Geschwindigkeit, mit der die Düse das Material aufträgt, hat Einfluss auf die Qualität des Ergebnisses“, führt Roth weiter aus, während er auf ein Testbauteil deutet. Die Enden des länglichen Metallklotzes haben unterschiedliche Farben, die sich in der Mitte einander annähern. Er zeigt auf kaum sichtbare Risse in dem Testbauteil: „So etwas müssen wir schließlich durch eine Optimierung der Prozessvariablen vermeiden, aber es spielen viele unterschiedliche Parameter, besonders bei der Materialauswahl der Metallpulver mit hinein.“ Es ist eben ein langer Weg zur Perfektion.

Schloesser und Roth lernen aus den Experimenten konsequent, wie die Variablen zusammenspielen und schließlich auch, was gut funktioniert. Eine bestandene Sichtprüfung reicht dem Team jedoch noch nicht. Es folgen chemische und metallographische Analysen sowie mechanische

Prüfungen, ob das gradierte Material auch tatsächlich die gewünschten Eigenschaften hat. Es wird aufgetrennt, geschliffen und unter dem Mikroskop genau inspiziert, bevor ein Material endgültig bestanden hat und von den Kolleginnen und Kollegen in anderen Projekten verwendet werden kann.

Abkühlens in der Form schrumpft das Material und kann sich dabei verziehen. Eine gute Form sorgt unter anderem dafür, dass der Kunststoff schnell und gleichmäßig abkühlt, eine beständige Qualität und eine hervorragende Oberfläche hat.

Die Herstellung solcher leistungsfähigen Spritzgusswerkzeuge erforschen Thore Gericke und Alexander Mattes innerhalb eines größeren Forschungsverbundes, wie Gericke ausführt: „Am Verbund sind die im Bereich Kunststoffbauteile renommierte Hochschule Wismar, sowie als Industriepartner die auf die Simulation von Spritzgussprozessen spezialisierte hessische Plastics Engineering Group und der Formenbauexperte Wefoba aus Baden-Württemberg beteiligt. Bekannte Optimierungspotentiale werden durch die großen geometrischen Freiheitsgrade der additiven Fertigung mit den neuen Möglichkeiten der innovativen Anlagentechnik kombiniert.“

### **Team-Team-Work**

Bislang war es üblich, das Abkühlverhalten sowohl aktiv durch Kühlung als auch passiv durch die Dicke der Form zu beeinflussen. Denn große Wandstärken der Gussform geben die Wärme schneller ab als dünne Wände, so dass sich dicke und dünne Teile des Werkstücks gleichmäßig abkühlen können. Durch die Zusammenarbeit von Team Mattes und Team Schloesser eröffnet sich jedoch eine attraktive Alternative zu diesen konventionellen Verfahren. „Durch den Einsatz von gradierten Materialien bei der Produktion der Spritzgusswerkzeuge, können wir das Abkühlverhalten zu unseren Gunsten manipulieren“, erklärt Prof. Schloesser. „Anstatt für dickere Wandstärken zusätzliches Material zu verschwenden, setzen wir an den benötigten Stellen auf Multi-Materialien aus der Laserpulverauftragsanlage, die sowohl die Steifigkeit der Form gewährleisten kann, als auch eine bessere Abgabe oder Speicherung der Wärme.“ In diesem Zusammenspiel der beiden Projekte kann die Fertigungszelle ihr volles Potenzial entfalten und schließlich Formen herstellen, die eine wirtschaftlichere serielle Produktion von anspruchsvollen Bauteilen ermöglichen.

### **Reparieren statt neu kaufen**

Doch nicht nur für die Produktion anspruchsvoller Werkstücke verspricht die Forschung der beiden Teams Großes. Die Kombination aus additiven und spanenden Verfahren der Fertigungszelle lässt sich auch für Reparatur und Wartung einsetzen. „Bei einem defekten Bauteil ist die Reparatur unter Umständen günstiger als die Anfertigung eines individuellen Ersatzteils“, weiß Schloesser. „Ist beispielsweise die Schaufel einer Turbine aus einer Nickelbasislegierung defekt, ließe sich die defekte Kante zunächst im fünfschichtigen Fräs-Bearbeitungszentrum sauber abräsen und so eine definierte Oberfläche herstellen. Anschließend ließe sich mit der Laserpulverauftragsanlage der defekte Bereich wieder aufbauen und danach die Oberfläche wieder spanend bearbeiten.“ Ganz wie bei der Behandlung eines abgebrochenen Zahns, bei der zunächst abgeschliffen, ein Aufbau gefertigt und schließlich wieder poliert wird.



Foto: Patrick Knittler

*Maschinenbau-Ingenieur Thore Gericke und Prof. Dr.-Ing. Alexander Mattes beschäftigen sich an InFer3D mit ‚Thermisch optimierten Spritzgusswerkzeugen‘.*

### **Team Mattes**

Das Forschungsprojekt von Alexander Mattes und Thore Gericke, ‚Thermisch optimierte Spritzgusswerkzeuge‘, ist eng mit der Grundlagenarbeit von Schloesser und Roth verzahnt. „Viele Bauteile aus Kunststoff, die in der Industrie verwendet werden, entstehen in Spritzguss-Verfahren“, erklärt Mattes. „Dabei wird bis zu 400 Grad heißer Kunststoff, oft mit bis zu 1.000 bar Druck, in eine Form gefüllt. Nach dem Abkühlen fällt dann das nahezu fertige Bauteil aus der Form heraus. Das geht viel schneller, nachhaltiger und ist vor allem günstiger als andere Herstellungsverfahren, wie beispielsweise Fräsen, bei dem viele Abfälle entstehen oder der langsamere 3D-Druck. Allerdings ist eine Spritzgussform ein anspruchsvolles Bauteil, das Hochleistung bringen muss.“ Mit der Laser-Pulverauftragsanlage der Fertigungszelle können Mattes und Gericke Einsätze für Spritzgussformen herstellen und dabei auch komplexe Anforderungen bedienen. Zudem erlaubt das Fräs-Bearbeitungszentrum der Fertigungszelle eine höchstpräzise Nachbearbeitung, so dass die Bauteile aus den Gussformen später nicht nur eine glatte Oberfläche besitzen, sondern auch einwandfrei mit anderen zusammenpassen.

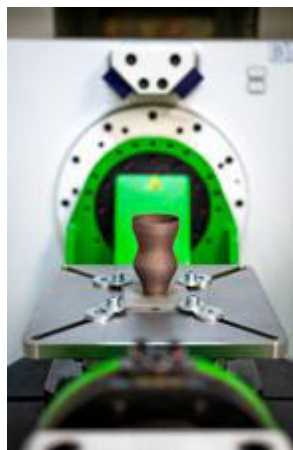
Hört sich die Herstellung von Teilen im Spritzgussverfahren so trivial wie das Hantieren mit flüssigem Teig und der Pförtchenpfanne an, entpuppt es sich durch die weiteren Ausführungen des Professors als äußerst knifflige Angelegenheit. „Nicht nur die Komplexität der Bauteile, für die unsere Forschungspartner nicht minder komplexe Formen erstellen, auch das Abkühlverhalten der eingefüllten Kunststoffe stellen uns vor Herausforderungen.“ Während des

Ein weiteres anschauliches Beispiel für die Anwendung von Reparaturtechnologien bemüht Schloesser aus dem Schiffbau: „Da Schiffe sehr langlebige Maschinen sind, müssen Werften Ersatzteile wie beispielsweise Pumpen oder Hydraulikventile auf viele Jahre vorhalten. Stellen Sie sich den Aufwand gerade für kleine und mittelständische Unternehmen vor, auf hunderten Regalmetern dutzende identische Ersatzteile über Jahrzehnte bereit zu halten. Repariert man stattdessen lediglich die beschädigten Bereiche defekter Teile, kann auf die Lagerhaltung von Ersatzteilen verzichtet werden. Damit werden nicht zuletzt auch Ressourcen geschont, da sich die Nutzungsdauer eines Bauteils deutlich verlängert.“ Neben der Reparatur von Bauteilen ist der Einsatz der Anlage auch attraktiv bei defekten Formwerkzeugen, die sich ebenfalls wieder in ihren ursprünglichen Neuzustand zurückversetzen lassen. „Nicht das fertige Bauteil, sondern die Spritzgussform mit der es hergestellt wird, mit all der Zeit und dem Wissen, das in seine Entwicklung geflossen ist, ist das eigentlich Wertvolle“, erklärt Mattes.

### Intelligent und flexibel

Schließlich ist es Prof. Mattes wichtig zu betonen, was häufig übersehen wird: „Die Fertigungszelle ermöglicht uns und anderen Teams an der Fachhochschule eine flexibel verkettete Automatisierung. Wir haben hier keine Einbahnstraße aufgebaut, sondern können auf Werkstücke in beliebiger Reihenfolge mit dem Laser Pulvermaterial auftragen und mit Bohr- und Fräswerkzeugen spanend entfernen – auch mehrmals hintereinander.“ Die Automatisierung durch die beiden Roboter und das fahrerlose Transportsystem runden für Mattes die Fertigungszelle sehr gut ab. Ein hüfthoher Wagen bewegt sich frei im CIMTT umher und orientiert sich dabei, ähnlich wie ein Staubsaugerroboter, mit Hilfe einer digitalen Karte. Das Transportsystem wurde so programmiert, dass es Türen öffnen und schließen kann und so beispielsweise vom Raum mit der Laserpulver-Auftragsanlage in die Halle fährt, wo das Fräsbearbeitungszentrum steht. „Damit können wir ein Konzept für den Bauteiltransport vorführen, wie es sich gerade in der Automobilindustrie etabliert. Dabei ist das Zusammenspiel der Komponenten das wichtigste und aufwändigste, damit Roboter und selbst fahrendes Transportsystem sowie scheinbar nebensächliche Bestandteile, wie automatisch öffnende Türen, nahtlos ineinandergreifen“, erklärt Mattes. „Beim Wiedereinführen des Werkstücks in eine der beiden Maschinen, muss es exakt platziert werden, damit die weitere Bearbeitung funktionieren kann. Da gibt es keinen Millimeter Luft, alles muss genau an der richtigen Stelle sitzen, damit ein Arbeitsschritt auf den nächsten folgen kann. Nur dann funktioniert die Automatisierung.“

Dass die eingesetzten Maschinentechologien grundsätzlich funktionieren, haben die Forscherteams mittlerweile bewiesen. Aber das ist erst der Anfang, denn nun geht es darum, die vielfältigen Möglichkeiten auszuloten, die die Fertigungszelle bietet. „Es geht uns dabei nicht nur um Endprodukte, wie bestimmte Komponenten oder Ersatzteile“, schließt Schloesser. „Wir interessieren uns für die



*Multi-Materialien aus der Laserpulverauftragsanlage, können sowohl die Steifigkeit der Form gewährleisten, als auch eine bessere Abgabe oder Speicherung der Wärme.*



Fotos: Patrick Knittler

grundsätzliche Machbarkeit. Für das, was sich alles mit dieser fantastischen Technik anstellen lässt. So schaffen wir Lösungen für unsere Industrie- und Forschungspartner und bieten unseren Studierenden die Möglichkeit, sich in der Bedienung neuester Verfahren zu erproben, um sie bestmöglich auszubilden.“

### Eine Forschungszelle für alle

Sind Anfang 2022 nur die beiden Teams mit der Fertigungszelle beschäftigt, soll diese grundsätzlich auch anderen zur Verfügung stehen, erklärt Mattes. „InFer3D ist ein transdisziplinäres Projekt, das die Forschung und Lehre in vielen Instituten und Fachbereichen beflügeln wird.“ Für die Zukunft planen die FH-Forscherinnen und -Forscher aber auch Kooperationen mit Wissenschafts- und Forschungseinrichtungen sowohl in Schleswig-Holstein als auch deutschland- und europaweit. Angestrebt sind Forschungs- und Entwicklungsprojekte mit Unternehmen in den Bereichen der Leistungselektronik, der Medizintechnik, der maritimen Technik und dem Maschinenbau. Wenn man auf die Zukunft der Fertigungszelle InFer3D gespannt sein darf, ist jedoch für Mattes klar, dass schon jetzt viel erreicht ist. „Die Größe des Projekts, das Zusammenspiel von modernsten komplexen Komponenten und schließlich auch der innovative Charakter der Fertigungszelle sind schon außergewöhnlich. Alleine durch die Förderung des Bundes hätten wir InFer3D daher nicht realisieren können. Ohne die große Unterstützung, die wir vom Präsidium und der Verwaltung der Hochschule erfahren haben, stünden wir nicht da, wo wir heute stehen.“

Joachim Kläschen