



Prof. Thomas Graf vom IFSW justiert den Laserstrahl.

Mobilität im 3D-Druck

TEXT: Andrea Mayer-Grenu
FOTOS: Max Kovalenko

Sprunginnovationen und neue Technologien sollen das Autoland Baden-Württemberg zum Schaufenster einer modernen und nachhaltigen Mobilität machen. Hierfür haben sich die Universität Stuttgart und das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) im Innovationscampus „Mobilität der Zukunft – Forschung für die nachhaltige Mobilität für übermorgen“ (ICM) zusammengeschlossen.

„Im Wesentlichen fahren wir heute noch Auto wie dereinst Bertha Benz“, bringt der Stuttgarter Geschäftsführer des ICM, Dr. Max Hoßfeld, die Problematik des heutigen Mobilitätsverhaltens auf den Punkt. Die Automobilpionierin saß bei der ersten erfolgreichen Fernfahrt mit einer Droschke höchstpersönlich am Steuer und fuhr von Mannheim ins Zentrum ihrer Geburtsstadt Pforzheim. „Das will heute im Grunde kein Städteplaner mehr“, sagt Hoßfeld. Denn der Individualverkehr beansprucht bekanntermaßen viel Platz, produziert Abgase und Lärm. Ihn einzudämmen ist gleichwohl auch ein Problem in einem Land, dessen Schlüsselindustrien davon leben, dass die Menschen alle paar Jahre ein neues Auto kaufen. →

Feine Auflösung und hohe
Oberflächengüte beim
Stereolithografiedruck



→Doch schon vor und erst recht in der Corona-Krise ist der Fahrzeugabsatz ins Stottern geraten, mit drastischen Folgen für die Gewinne und den Arbeitsmarkt. „Das herkömmliche Geschäftsmodell der Automobilindustrie trägt höchstens noch für ein bis zwei Fahrzeuggenerationen“, beschreibt Hoßfeld die Herausforderungen, „dann brauchen wir andere Antworten.“ Gefragt ist eine Transformation der Mobilität und ihrer Produkte und Geschäftsmodelle, aber auch der heute weltweit zersplitterten Wertschöpfungsketten. „Um globale Abhängigkeiten zu reduzieren, müssen wir die Wertschöpfung nach Mitteleuropa zurückbringen. Dafür muss unsere Produktion flexibler und effizienter werden.“

Advanced Manufacturing heißt das Stichwort. Um dieses auf eine neue Stufe zu heben, treibt die Forschenden des ICM die Vision einer universellen Produktionstechnik, quasi einer „Universalmaschine“. Sie vereint heute getrennt ablaufende serielle Fertigungsprozesse in einer einzigen Anlagentechnik. Einmal aufgebaut, kann die flexible Allzweckwaffe direkt mit CAD-Daten gespeist werden und produziert dann vor Ort bedarfsgerecht praktisch jedes beliebige Bauteil – und das schon ab Losgröße 1. Eine Schlüsseltechnologie ist dabei die additive Fertigung – gemeinhin bekannt als 3D-Druck. Mit ihr lassen sich nicht nur hochwertige (Leicht-)Bauteile herstellen, sondern auch Bauteile mit neuartigen integrierten Funktionen.

SCHLÜSSELROLLE LASER

„Der Großteil additiver Fertigungsverfahren ist laserbasiert“, erklärt Volker Onuseit vom Institut für Strahlwerkzeuge (IFSW) der Universität Stuttgart, das an verschiedenen Projekten des ICM beteiligt ist. Dabei werden Metalldrähte oder Pulver mithilfe des Lasers aufgeschmolzen und so das Werkstück und seine Konturen Schicht für Schicht aufgebaut. Das Problem dabei: Die Oberflächen der so gefertigten Teile sind relativ rau und nicht präzise genug, um sie mit anderen Teilen passgenau zu montieren oder Funktionen wie Haftung oder Reibung zu gewährleisten. Vor der weiteren Verarbeitung müssen sie daher nachgearbeitet werden, indem ein Teil des Materials wieder abgetragen wird. „Damit geht eine Vielzahl an Fragen einher“, erklärt Onuseit: „Wie viel mehr Material muss ich aufbauen, damit die Nachbearbeitung zu dem gewünschten Ergebnis führt? Wie und mit welchem Werkzeug kann das Teil produziert werden? Wie können die Prozesse geregelt werden?“ Solche Fragen lassen sich nur interdisziplinär beantworten. Deshalb arbeiten im ICM Forschende aus den Gebieten Fahrzeugtechnik, Produktentwicklung, Produktionstechnik, Chemie, Werkstoffe, Elektrotechnik, Flugzeugbau und Werkzeugmaschinen zusammen. Die Themen werden in Tandems aus Stuttgarter und Karlsruher Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern bearbeitet. „Das klappt außerordentlich gut“, meint Hoßfeld, der auch die operative Zusammenarbeit der beiden Standorte verantwortet. „So ergänzen sich etwa die komplementären Kompetenzen sowohl in Grundlagenforschung als auch Technologietransfer perfekt.“

WECHSELWIRKUNGEN BESSER VERSTEHEN

In einem Pilotprojekt untersuchen daher das Institut für Werkzeugmaschinen (IfW), das IFSW, das Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW) sowie das Institut für Materialprüfung, Werkstoffkunde und Festigkeitslehre (IMWF) gemeinsam die endkonturoptimierte Produktion sowie die Optimierung der Eigenschaften additiv gefertigter Bauteile. Seitens des KIT ist das Institut für Produktionstechnik (wbk) beteiligt. Eine besondere Herausforderung bei der Optimierung der Endkonturen sind die Wechselwirkungen zwischen der additiven Fertigung und der Nachbearbeitung. „Das Aufschmelzen von Pulver oder Metall beeinflusst die Materialeigenschaften im Inneren des Bauteils, zum Beispiel die Eigenspannung“, erklärt der Direktor des IfW, Prof. Hans-Christian Möhring. Durch das Abtragen von Material bei der Nachbearbeitung verändern sich diese Verhältnisse erneut. „Diese komplexe Wirkkette wollen wir verstehen und die Eigenschaften der Bauteile modellhaft abbilden.“ →



Oben: Dr. Dina Becker prüft die Formgenauigkeit des zylindrischen Testbauteils.

Rechts: Plan-drehen eines additiv hergestellten Testbauteils



Links: Dr. Becker und der wissenschaftliche Mitarbeiter Steffen Boley begutachten ein Testbauteil.

Unten: Prof. Hans-Christian Möhring, Dr. Max Hoßfeld und Prof. Thomas Graf

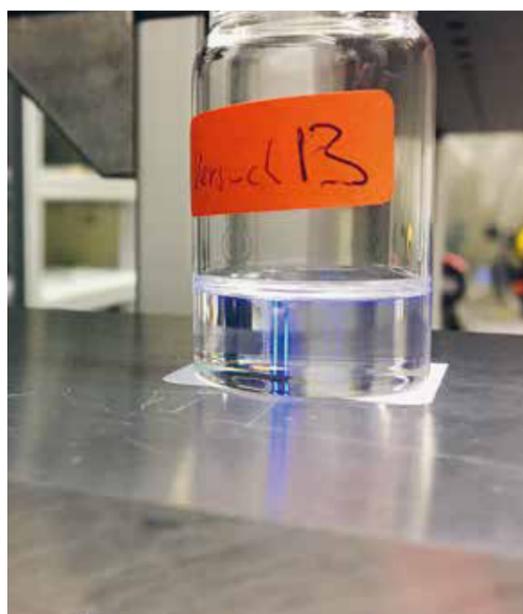


→ Als ersten Schritt lässt Dr. Dina Becker, akademische Mitarbeiterin des IfW, am IFSW mit der Technik des Laserauftragsschweißens kleine Zylinder aus Aluminiumdraht herstellen. Sie will herausfinden, wie viele Bahnen eines Drahts ausgelegt werden müssen, um eine bestimmte Materialstärke zu erzielen, wie breit das Schmelzband wird und welche Auswirkungen dies auf die Formgenauigkeit der Bauteile hat. „Bei unseren Versuchen am IFSW konnten wir bereits eine minimale Wandstärke festlegen, aber die Genauigkeit und Oberflächenqualität der Zylinder waren zunächst nicht optimal. Wir brauchen eine Wandstärke, die homogen ist“, erklärt die Wissenschaftlerin. Daher variiert Becker im nächsten Schritt die Parameter der Nachbearbeitung und analysiert, wie sich diese auf die Materialeigenschaften auswirken. Was an vergleichsweise einfachen Teilen wie den Zylindern erforscht wird, soll später auf komplexe Bauteilgeometrien übertragen werden. „Unsere Vision ist es, den gesamten Prozess der additiv-subtraktiven Fertigung so zu verstehen, dass wir auch bei komplexen Teilen die Prozesse einzeln einstellen und bewusst bestimmte Eigenschaften erreichen können“, erklärt Möhring.

DEN 3D-DRUCK EFFEKTIVER MACHEN

Einen Nachteil hat die additive Fertigung allerdings: Der 3D-Druck ist langsam und teuer. In einem anderen Projekt, in dem das Institut für Flugzeugbau (IFB), das Institut für Polymerchemie (IPOC), das IFSW sowie von Karlsruher Seite ebenfalls das wbk zusammenarbeiten, geht es daher um die Erhöhung der Produktivität. Eine Stellschraube ist dabei die Herstellungsgeschwindigkeit: „Bei harzbasierten additiven Fertigungsverfahren wollen wir mithilfe ultrakurzgepulster Laserstrahlen die Herstellung hochpräziser Bauteile von derzeit wenigen Kubikmillimetern pro Sekunde auf Kubikzentimeter pro Sekunde erhöhen, um relevante Produktionsvolumina für zukünftige Mobilitätsanwendungen zu erreichen“, erklärt Tristan Schlotthauer, wissenschaftlicher Mitarbeiter am IFB. Basierend auf der Zwei-Photonen-Polymerisation untersuchen die Forschenden hierfür, wie durch dynamische Formung des Laserstrahls eine Entkopplung des Produktionsprozesses von der bisherigen Fertigung in Schichten erfolgen kann.

Eine zweite Stellschraube besteht darin, nicht nur einzelne Bauteile zu drucken, sondern komplette Baugruppen, sodass auf anschließende Montagearbeiten verzichtet werden kann. →



Links: Blaues Licht aufgrund des Zwei-Photonen-Polymerisations-Effekts im Harzbad am Institut für Flugzeugbau.

Rechts: Gute Form, dünne Wände – die Oberflächenqualität kann am IfW gesteigert werden.



Prof. Nejila Parspour setzt auf Weichmagneten aus dem 3D-Druck.

„Unsere Forschung eröffnet den Weg zu neuartigen Motoren, von denen wir sehr viel höhere Wirkungsgrade erwarten.“

→ Zudem können verschiedene Funktionen beim Drucken zusätzlich in die Bauteile integriert werden; zum Beispiel metallische Einleger für besonders beanspruchte Stellen oder mechanische Komponenten, die Sensor- und Aktorfunktionen übernehmen. „Dies war bisher nicht oder nur mit sehr großem Aufwand realisierbar“, sagt Volker Onuseit vom IFSW.

UNGEAHNTE FREIHEITSGRADE

Dabei können auch neuartige Teile entstehen, die den Konstrukteuren im Mobilitätsbereich ungeahnte Freiheitsgrade verschaffen. Davon wird gerade auch die Elektromobilität profitieren, glaubt Prof. Nejila Parspour am Institut für Elektrische Energiewandlung. Gemeinsam mit dem IFSW sowie den Karlsruher Instituten für Produktentwicklung (IPEK) und für Fahrzeugsystemtechnik (FAST) sucht sie nach Möglichkeiten, um mit additiv gefertigten Bauteilen ein Grundproblem der Elektromobilität besser zu lösen: „Elektromotoren müssen leicht und kompakt sein und gleichzeitig im Stadtverkehr wie auf der Autobahn, also in sehr verschiedenen Drehzahlbereichen, sehr hohe Wirkungsgrade erzielen“, erklärt Parspour. Eine Schlüsselrolle spielt dabei ein Magnetfeld, durch das Strom in Geschwindigkeit gewandelt wird. Um diesen Wandlungsprozess zu optimieren, gibt es drei Einflussgrößen: das Design, bestehend aus mathematischen Algorithmen, die Regelung sowie die „Zutaten“, wie Hart- und Weichmagnete.

Fast per Zufall stießen Parspour und ihr Team auf Chemikerinnen und Chemiker an der Fachhochschule Aalen, die solche Magnete im 3D-Druck herstellten – und waren begeistert. Und das nicht nur, weil im 3D-Druck Magnete in großer Stückzahl und mit besonderen Strukturen hergestellt werden können. „Der eigentliche Durchbruch besteht darin, dass beim 3D-Druck ähnlich wie beim Stricken jede Schicht anders gestaltet werden kann“, erklärt die Wissenschaftlerin. „Man kann in die Schichten der Weichmagneten zum Beispiel Luft oder ein anderes Material einbringen.“ Das ist deshalb spannend, weil das Magnetfeld stets den Weg des geringsten Widerstandes geht: Es wird zu gut leitenden Bereichen hingezogen und meidet Luftfelder. Gelingt es also, in Weichmagneten Bereiche mit unterschiedlicher Leitfähigkeit zu integrieren, kann der magnetische Fluss gezielt in die gewünschte Richtung gesteuert werden. „Dies eröffnet den Weg zu neuartigen Motoren, von denen wir sehr viel höhere Wirkungsgrade erwarten“, schwärmt Parspour.

Aber auch Hartmagnete lassen sich im 3D-Druck differenzierter herstellen. Diese enthalten zur Stabilisierung des Temperaturverhaltens seltene Erden, die derzeit teuer sind und zudem oft unter fragwürdigen Bedingungen gewonnen werden. „Durch den 3D-Druck können wir seltene Erden ganz gezielt in Bauteile einbringen, also dort, wo es warm wird, mehr und anderswo weniger“, erklärt Parspour. Dies kommt dann nicht nur der Mobilität der Zukunft, sondern dem Umweltschutz insgesamt zugute. →

KONTAKT

DR. MAX HOSSFELD Mail: max.hossfeld@ifsw.uni-stuttgart.de
Telefon: +49 711 685 60947