



Die additive Fertigung von Großbauteilen überwachen

Laserlinienscanner regeln Fertigungsprozess

Um Großbauteile additiv zu fertigen, entwickelt ein Konsortium aus fünf Unternehmen einen neuen 3D-Drucker für XXL-Produkte. Zur Qualitätssicherung hat das IPH Hannover zwei Überwachungssysteme implementiert. Diese erfassen die Geometrie mittels dreier Laserlinienscanner und regeln den Fertigungsprozess während des Drucks.

Ake Kriwall, Niels Janson, Oliver Heineking, Benjamin Küster und Malte Stonis

Durch Additive Fertigung können Bauteile flexibel gefertigt werden. Gerade für Produkte mit Unikatcharakter ist dieser Fertigungsprozess geeignet. In der Fertigung von großen Bauteilen, die bisher im Guss gefertigt werden, bietet dies die Vorteile von größerer Flexibilität in der Konstruktion und den Verzicht auf den Bau von, bei Unikaten nur einmalig genutzten, Formen. Um Großbauteile additiv zu fertigen, entwickelt ein Konsortium aus fünf Unternehmen einen neuen 3D-Drucker für XXL-Produkte. Zur Qualitätssicherung hat das IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover zwei Überwa-

chungssysteme implementiert. Diese erfassen die Geometrie mittels dreier Laserlinienscanner und regeln den am Laser Zentrum Hannover e. V. (LZH) entwickelten Fertigungsprozess während des Drucks mit zwei unterschiedlichen Softwaresystemen.

Aufgebaut wurde der XXL-3D-Drucker in Hameln bei der Firma Reintjes GmbH. Reintjes ist Hersteller von Schiffsgtrieben. Dort soll der 3D-Drucker für die Herstellung von Schiffsgtriebegehäusen eingesetzt werden. Die Additive Fertigung soll zukünftig als bevorzugtes Fertigungsverfahren das Gießen für Unikate ersetzen. Ziel ist durch Materialeinsparung und den Ver-

zicht auf Gussformen im Gesamtprozess Energie einzusparen. Darüber hinaus soll die Fertigungsduer verkürzt werden.

Durch laserunterstütztes Lichtbogen-Draht-Auftragschweißen können tonnenschwere Bauteile mit den Maximalmaßen von $4,5\text{ m} \times 3\text{ m} \times 1,5\text{ m}$ in der Fertigungsanlage gedruckt werden. Die Anlage ist ein Dreiachsen-Portalsystem, an dem ein speziell entwickelter Fertigungskopf befestigt ist. Ein Modell ist in Bild 1 zu sehen. In rot dargestellt ist die Störkontur des Fertigungskopfs. Darunter befindet sich der Schweißtisch, auf dem gedruckt wird. Der Bauraum ist schematisch dargestellt.

Der Fertigungskopf ist drehbar, bildet die vierte Achse und besteht aus einer Schweißdüse, einem Laser zur Prozessunterstützung sowie zwei Laserliniensensoren zur Prozessüberwachung. Als Material kommt Stahldraht zum Einsatz. Dieser wird in der Schweißdüse aufgeschmolzen und schichtweise übereinandergelegt. Der Fertigungskopf wird so gedreht, dass der Laser zur Prozessunterstützung stets dem Prozess voranläuft und punktgenau zusätzliche Energie einbringt. Dies führt zu einer verbesserten Schweißnaht. Die beiden Laserliniensensoren am Fertigungskopf werden zur Überwachung der Schweißnahtgeometrie 10 mm vor und nach dem Materialauftrag eingesetzt. Gemeinsam mit der dazugehörigen Regelung bilden sie das erste der zwei Qualitätsüberwachungssysteme.

Inline-Regelung des Vorschubs

Die Laserliniencaner arbeiten nach dem Lasertriangulationsprinzip und zeichnen 2D-Höhenprofile auf. Diese werden geziert mit den Positionsdaten in eine Punktwolke eingespeist. Dafür werden die Positionsdaten der Anlage kontinuierlich als Stream an das Messsystem übertragen. Die Punktwolke wird in ein Voxel-Modell übertragen. Da nur Voxel mit einer vorher festgelegten Anzahl an Punkten als gültig bzw. gefüllt markiert werden, findet auf diese Weise auch eine Bereinigung von Messfehlern statt. Messfehler können u. a. durch Reflexionen an Spritzern entstehen.

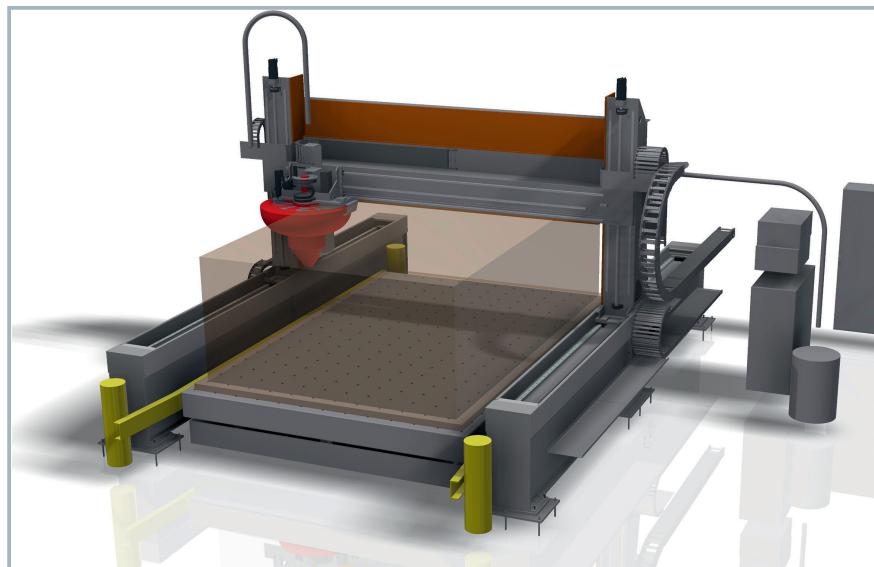


Bild 1. Modell der Fertigungsanlage mit einem Bauraum von $4,5 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}$. © EILHAUER Maschinenbau GmbH

Auf Basis der Bahnplanung wird das erstellte Voxel-Modell orthogonal zur Schweißbahn geschnitten und auf diese Weise ein Voxel-Profil der Schweißbahn erzeugt. Die Kurve des Voxel-Profil wird interpoliert und der Flächeninhalt des Querschnitts berechnet. Durch Vergleich der errechneten Flächeninhalte sowie den Abgleich mit dem aus dem CAD-Modell errechneten Flächeninhalt des Querschnitts können Abweichungen vom geplanten Materialauftrag unmittelbar erkannt werden. Auf Basis der ermittelten Abweichungen kann die entwickelte Software ein Override-Signal ausgeben und damit

den Vorschub steuern. Ist der Querschnitt kleiner als geplant, wird der Vorschub verringert und damit der Auftrag erhöht; ist der Querschnitt größer als geplant, wird der Vorschub erhöht und damit weniger Material aufgetragen. Zur Ermittlung der Parameter werden Versuche mit unterschiedlichen Vorschubgeschwindigkeiten durch das LZH gefahren. gefahren. Dabei wird jeweils die aufgetragene Menge nach dem oben erläuterten Prinzip berechnet. In Bild 2 sind die Scans von fünf vom LZH gedruckten Schichten abgebildet. In der ersten Zeile sind die aufgenommenen Daten zu sehen. In der zweiten Zeile ist der berechnete

»»

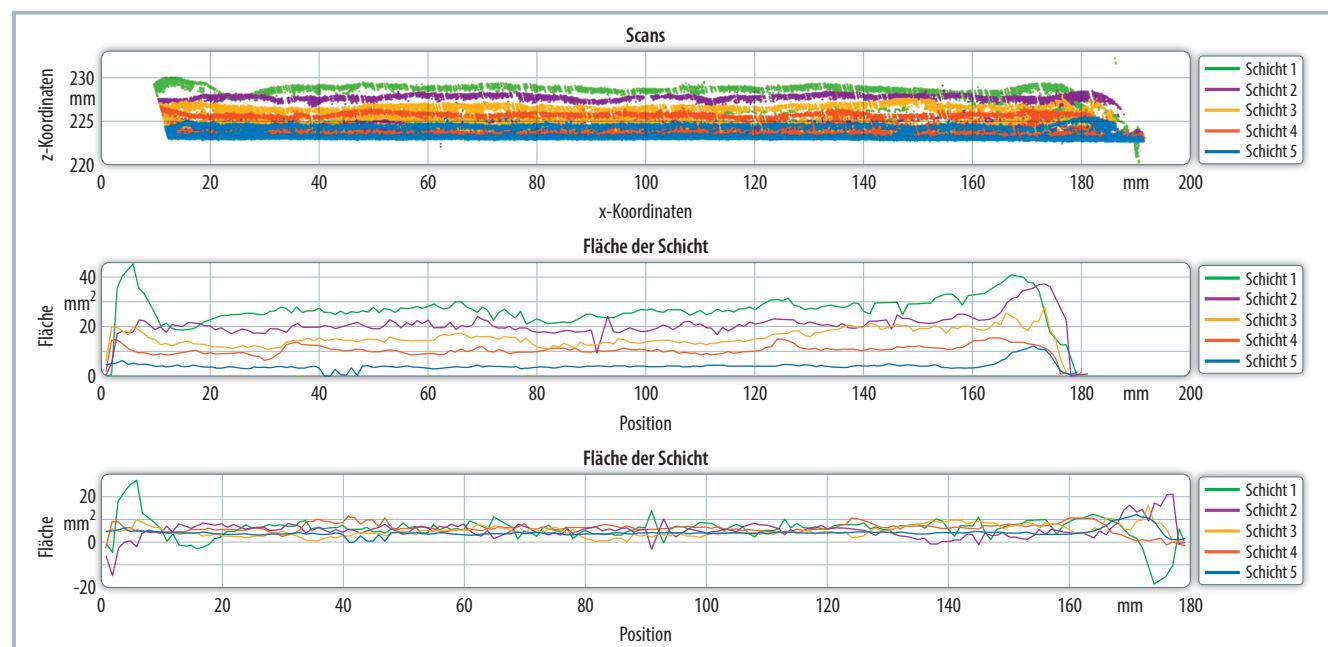


Bild 2. Flächeninhalte verschiedener Schweißbahnen. Quelle: IPH Hannover © Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG

Flächeninhalt im gesamten Messbereich über die Länge der Schweißbahn dargestellt. Die dritte Zeile zeigt den berechneten Flächeninhalt je Schicht über die Länge der Schweißbahn. Ein weitgehend konstanter Materialauftrag über die Länge ist deutlich erkennbar.

Gleichzeitig dient dieses System dazu, größere Fehler unmittelbar zu erkennen. Bei einem Materialabriß kann die Maschine mit minimaler Verzögerung gestoppt und nach Beseitigung der Ursache manuell wieder in Betrieb genommen werden.

CAD-Manipulation zur Qualitätsverbesserung

Das zweite Qualitätsüberwachungssystem der Anlage dient dazu das gesamte Bauteil über den Fertigungsprozess zu überwachen. Damit können Fehler erfasst werden,

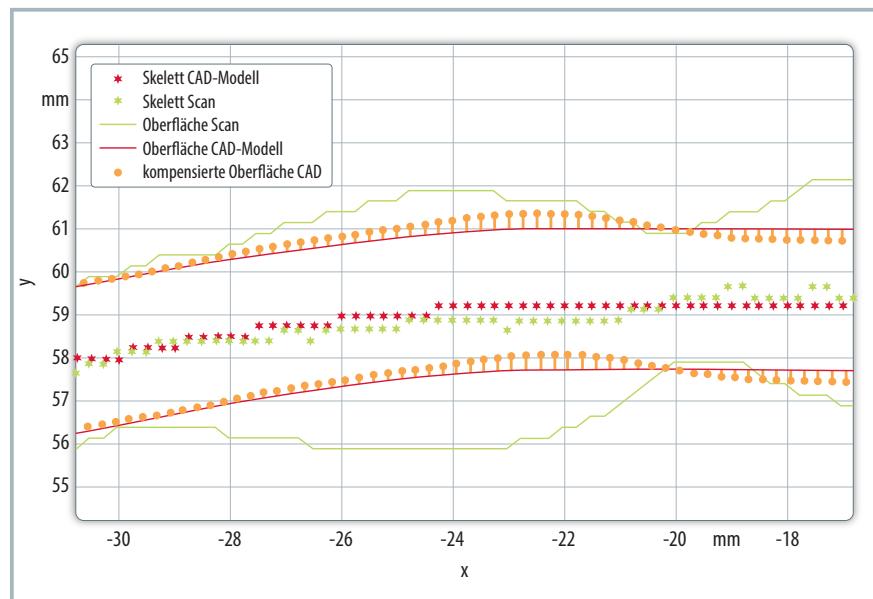


Bild 3. Draufsicht eines Schnitts einer Wand mit Korrekturvektoren in der CAD-Manipulation. Quelle: IPH Hannover © Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG

INFORMATION & SERVICE

AUTOR

Dipl.-Ing. Ake Kriwall ist Projektgenieur am IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH.

Niels Janson, B.Sc., ist Hard- und Softwareentwickler im IPH.

Oliver Heineking ist Masterand am IPH.

Dr.-Ing. Benjamin Küster ist Abteilungsleiter Produktionsautomatisierung am IPH.

Dr.-Ing. Malte Stonis ist Geschäftsführer am IPH.

PROJEKT UND FÖRDERHINWEIS

An dem Forschungsprojekt sind neben dem Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH vier weitere Unternehmen und Institute beteiligt. Die Leitung des Projekts liegt bei der REINTJES GmbH, bei der der überdimensionale Drucker zum Einsatz kommt. Die EILHAUER Maschinenbau GmbH baut den XXL-3D-Drucker, das Laser Zentrum Hannover e.V. (LZH) arbeitet am laserunterstützten Lichtbogen-schweißen und die TEWISS GmbH ist für den Bau des Druckkopfes und die Entwicklung der Anlagensteuerung zuständig. Gefördert wird das Projekt „Energie- und ressourceneffiziente Herstellung großskaliger Produkte durch Additive Fertigung am Beispiel von Schiffsgtriebegehäuse (XXL3D)“ vom BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz.
www.xxl3d.iph-hannover.de

KONTAKT

IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gemeinnützige GmbH
T 0511 27976–235
www.iph-hannover.de

die nicht unmittelbar im Fertigungsprozess entstehen. Bei Bauteilen dieser Größe und der damit verbundenen eingebrachten Energie, ist Verzug zu beachten. Schon bei der Erstellung des Bauteils wird mit Hilfe von Simulationen möglicher Verzug eingeplant. Um diesen zu überwachen und, wenn notwendig, Korrekturen im laufenden Druck vornehmen zu können, wird das Bauteil in regelmäßigen Abständen, derzeit alle zehn Schichten, schichtweise mit einem weiteren am Portal befindlichen Sensor gescannt. Dabei arbeitet der Sensor zwischen zwei zu druckenden Schichten. Der Sensor nimmt mit größerem Abstand einen größeren Teil des Bauteils auf einmal auf. Die Fertigung pausiert für die Aufnahmefahrt. Die Scanpunkte werden ebenfalls mit den Koordinaten fusioniert und in eine Punktwolke übertragen. Daraus wird ein weiteres Voxel-Modell aufgebaut. Das Voxel-Modell und das ursprüngliche CAD-Modell werden in der zu betrachtenden Schicht geschnitten. Diese zweidimensionalen Bilder werden verglichen und die Mittellinien der Wände herausgefiltert. Mittels Vektoren zwischen gemessenen und geplanten Punkten auf der Mittellinie wird die Verschiebung zwischen den Modellen berechnet. Durch Spiegelung an der Mittellinie werden Korrekturvektoren errechnet. Bild 3 zeigt einen Ausschnitt aus einem Scan und dem dazugehörigen CAD-Modell. Als rote Linien sind die gemessenen Daten zu sehen. Die roten Punkte bilden die

Mittellinie des Scans. Die blauen Linien sind die Ränder der Wand des ursprünglichen CAD-Modells. Die blauen Punkte bilden die Mittellinie des ursprünglichen CAD-Modells. Die Korrekturvektoren sind in gelb entlang der Ränder des CAD-Modells zu sehen. Um keine zu starken Korrekturen vorzunehmen, wird der Verlauf der Korrekturvektoren geglättet.

Mit diesen Korrekturvektoren wird für die noch zu druckenden Schichten das ursprüngliche CAD-Modell manipuliert und ein neues Modell erstellt. Dieses manipulierte CAD-Modell kann für die noch zu druckenden Schichten für die Bahnplanung genutzt werden. Die Bahnplanung in der CAM-Software ist derzeit noch ein manuell auszuführender Schritt und soll in zukünftigen Projekten automatisiert werden.

Zwei Systeme – ganzheitliche Qualitätsüberwachung

Sowohl Fertigungsfehler im Prozess als auch Verzug können durch das Zusammenspiel der beiden Systeme festgestellt und korrigiert werden. Fehler in der Höhe werden durch das erste System korrigiert, Fehler in der Fläche werden durch das zweite System korrigiert. Qualitätsmängel und Ausschuss sollen auf diese Weise verringert werden. Das Forschungsprojekt wird in den kommenden Monaten beendet. Die Gesamtanlage befindet sich derzeit in der Erprobung. ■