

Vom 3D-Printer  
zum

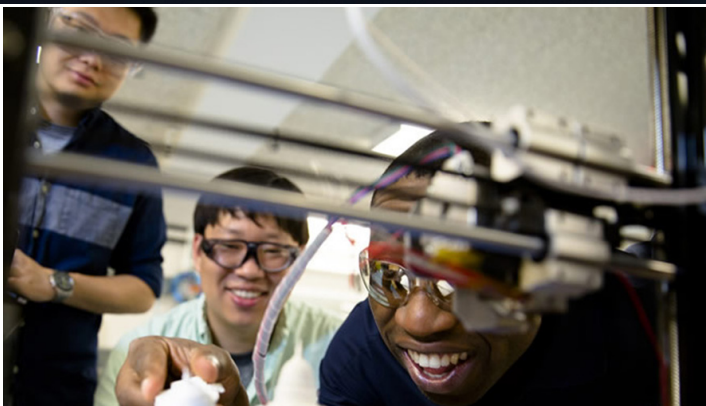
# 3D-Sprinter

Einzigartiger Algorithmus ermöglicht zweifache Geschwindigkeit beim dreidimensionalen Druck

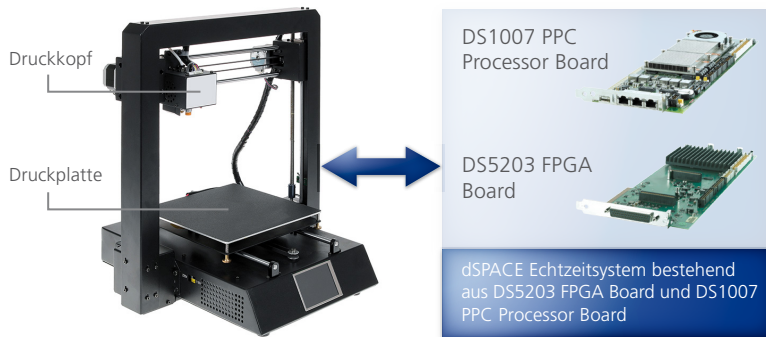
Forscher am College of Mechanical Engineering an der University of Michigan (S2A Lab) haben eine Methode entwickelt, um 3D-Objekte ohne Qualitätsverluste doppelt so schnell zu drucken wie mit den bisher üblichen Verfahren. Grundlage hierfür ist ein Software-Algorithmus, der die störenden Vibrationen des Druckers reduziert. Für die Realisierung kamen ein dSPACE DS1007 PPC Processor Board und ein DS5203 FPGA Board zum Einsatz.



Mittlerweile sind 3D-Drucker für den Schreibtisch weit verbreitet. Sie sind attraktiv, weil sie selbst komplexe dreidimensionale Objekte in einem Stück erstellen können. Bislang kann das mitunter jedoch Stunden dauern, selbst bei einfacheren Objekten. Um die Anschaffungskosten gering zu halten, sind die Drucker meist leicht und flexibel, und daher anfällig für Vibrationen durch die Schrittmotoren. Die Folge zu starker Vibrationen sind unebene Oberflächen der Druckerzeugnisse und eine fehlerhafte Schichtung in der Vertikalen (Abbildung 1b). Selbst bei größeren 3D-Druckern in der Industrie führen Vibrationen zu ähnlichen Einschränkungen. Eine weit verbreitete Lösung ist die Reduzierung der Bewegungsgeschwindigkeit oder Hinzufügen von Dämpfern. Allerdings führt Ersteres zu geringerer Produktivität, da langsamer gedruckt wird. Professor Chinedum Okwudire und sein Team aus Ingenieurstudenten am S2A Lab arbeiten daran, die vibrationsbedingten Störungen zu reduzieren. In einem Forschungsprojekt gelang es ihnen, die Druckgeschwindigkeit zu verdoppeln, ohne die Druckqualität zu beeinträchtigen. Die Basis dieses verbesserten Druckprozesses ist ein Software-Algorithmus, den Okwudire und sein Team entwickelt haben. Der Algorithmus generiert Bewegungsbefehle, um unerwünschte Vibrationen zu reduzieren oder sogar komplett zu vermeiden. >>



*Zusammen mit seinen Doktoranden Molong Duon (links) und Deokkyun Yoon (Mitte), untersucht Chinedum Okwudire, Professor an der University of Michigan, die Ergebnisse neuer, schnellerer 3D-Druck-Algorithmen.*



Beschleunigung	1 m/s <sup>2</sup>	3 m/s <sup>2</sup>	5 m/s <sup>2</sup>	10 m/s <sup>2</sup>	30 m/s <sup>2</sup>
Druckzeit	3:59 h	2:42 h	2:21 h	2:06 h	1:50 h
Herkömmliches Druckverfahren					N/A
Druck mit FBS-Algorithmus					

Abbildung 1a (oben): Der 3D-Drucker wird vom dSPACE System angesteuert. Abbildung 1b (unten): Durch den Software-Algorithmus kann die Druckzeit bei gleichbleibender Qualität halbiert werden. Bild: Evan Dougherty, University of Michigan

### Reduzierung unerwünschter Vibrationen

Vor seiner Professur war Okwudire im Werkzeugmaschinenbau tätig. Ihm fiel auf, dass Maschinenmotoren im Zuge der Vermeidung vibrationsbedingter Fehler oftmals deutlich langsamer betrieben werden als es ihnen möglich wäre. „Ich war überzeugt, dass sich die Vibrationen mit dem richtigen Algorithmus durch Software kompensieren lassen könnten. Die Folge wären höhere Geschwindigkeiten und Beschleunigungen, und das ohne Einbußen bei der Genauigkeit oder höhere Hardware-

Kosten in Kauf nehmen zu müssen“, so Okwudire. „Allerdings ist eine der Haupteinschränkungen bei Werkzeugmaschinen, dass ihre Regler üblicherweise nicht verändert werden können. Das erschwert den Einsatz neuer Regelalgorithmen.“ Diese Einschränkung brachte Professor Okwudire dazu, die Algorithmen an 3D-Druckern zu testen. Sie unterliegen ebenfalls der Vibrationsproblematik, die Geschwindigkeit und Beschleunigung beschränkt. Allerdings sind ihre Regler offen zugänglich. Der Software-Algorithmus, den Professor Okwudire und sein

Team entwickelten, kann vibrationsbedingte Fehler reduzieren, ohne an Produktivität einzubüßen. Der Algorithmus basiert auf der Vibrationskompensierungstechnik Filtered B-Splines (FBS). „Der FBS-Algorithmus antizipiert und dämpft Vibrationen. So minimiert er Fehler, die durch die kinematischen Einschränkungen der Maschine hervorgerufen werden, ohne weitere Zeitverzögerungen einzuführen“, so Professor Okwudire.

### Bewegungsbefehle optimieren

Das eingesetzte Verfahren berücksichtigt und regelt aktiv sowohl die Schrittmotoren des Druckkopfes (x-Achse) als auch die der Konstruktionsplattform (y-Achse). Gerade das Beschleunigen der Konstruktionsplattform hat zur Folge, dass die Trägheitslasten das Haltemoment der Schrittmotoren überschreiten, die dadurch dann Schritte überspringen und so ihre Positionierung verlieren. Um die Vibrationsrate zu steuern, ist der 3D-Drucker mit einem Echtzeitsystem verbunden, das die Nachverfolgung auf einem vordefinierten, konstanten Level hält (FBS-Ansatz mit begrenzter Vorschau). Der Algorithmus kann somit vorausschauend Parameter berechnen, um Einstellungen vorzunehmen und optimierte Bewegungsbefehle auszugeben.

### Schneller hochwertige Druckergebnisse

Um den Algorithmus zu testen, führten Professor Okwudire und sein Forschungsteam eine Fallstudie durch. Dabei ging es darum, ein skaliertes 3D-Modell des U.S. Capitols in Wash-



„dSPACE stellte eine intuitive und zuverlässige Plattform für das Prototyping unserer Algorithmen bereit.“

Chinedum Okwudire, Associate Professor Mechanical Engineering, University of Michigan

## Der Algorithmus im Detail

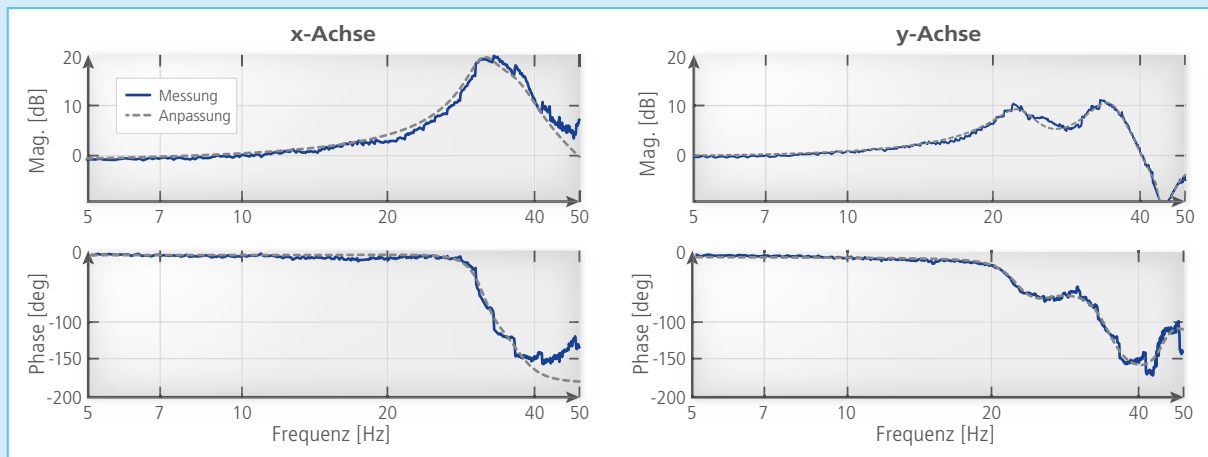


Abbildung 2: Frequenzantwortfunktionen der x- und y-Achse des 3D-Druckers. Um die Dynamik der Achsenpositionierung zu identifizieren, wurde die Kurvenanpassung mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate angewandt.

Abbildung 2 zeigt die gemessene und angepasste x- und y-Achse der frequenzabhängigen Übertragungsfunktion (FRFs) des 3D-Druckers. Die FRFs werden durch Anlegen eines das Frequenzband durchlaufenden Sinussignals an die Schrittmotoren des Druckers gemessen. Zudem wird die relative Beschleunigung von Konstruktionsplattform und Druckkopf mit einem Beschleunigungsmesser erfasst.

Das Modell der Kurvenanpassung wird mit der Funktion `invfreqs` in MATLAB® generiert. Um die Filtered B-Splines (FBS)-Methode zu implementieren, wird der Bewegungsregler des Druckers umgangen. Stattdessen sendet das dSPACE Echtzeitsystem (bestehend aus DS1007 PPC

Processor Board und DS5203 FPGA Board) die Bewegungsbefehle für die Achsen mit einer Frequenz von 1 kHz an die Schrittmotorantriebe (Pololu DRV8825). Das dSPACE System lädt G-Code-Textdateien, interpretiert (parst) die Daten und führt den FBS-Algorithmus zur Vibrationskompensierung in Echtzeit aus. Damit optimiert es die Bewegungstrajektorien und minimiert somit die vibrationsbedingten Fehler. Zudem wurde das dSPACE System eingesetzt, um die optimierten Bewegungstrajektorien in Schritt- und Richtungspulse zu konvertieren und die Impulsfolgen über digitale Kanäle mit einer Pulsweite von 0,075 ms an die Schrittantriebe zu übertragen.

ington zu drucken. Die ersten Versuche führten sie ohne den FBS-Algorithmus durch. Dabei zeigte sich, dass eine herkömmliche Beschleunigung des Druckprozesses derart gravierende vibrationsbedingte Messfehler nach sich zog, dass die gedruckten 3D-Objekte allesamt unbrauchbar wurden. Bei der zweiten Druckreihe wurde hingegen die FBS-Algorithmus-Methode angewandt. Schnell zeigte sich, dass sich Messfehler damit sehr zuverlässig vermeiden ließen. In der

Folge lieferte die FBS-Algorithmus-Methode qualitativ hochwertige Druckergebnisse, die (verglichen mit dem Ausgangsszenario) auch bereits deutlich schneller zur Verfügung standen. Durch die Implementierung der FBS-Algorithmus-Methode konnte das U-M Engineering Team die 3D-Druckzeit um die Hälfte (mit Sicherheitsfaktor 3 von vier auf zwei Stunden) reduzieren und dabei ein qualitativ gutes Ergebnis erzielen. Die Fallstudie zeigte darüber hinaus,

dass die FBS-Algorithmus-Methode auch die Firmware vorhandener 3D-Drucker optimieren kann. Somit lässt sich auch mit bereits ausgelieferten Geräten ein deutlich schnelleres 3D-Drucken ohne zusätzliche Kosten realisieren. ■

*Mit freundlicher Genehmigung der University of Michigan*



Weitere Informationen zum Algorithmus im Video:  
[www.dspace.com/goldMag\\_20191\\_UM](http://www.dspace.com/goldMag_20191_UM)