

Multidirektionale Additive Fertigung: Herausforderungen bei der Umsetzung eines restriktionsfreien Prozesses

Multidirectional Additive Manufacturing: Challenges in the Implementation of a Restriction-Free Process

Jan Wiartalla*, Markus Schmitz*, Max Mierzwa**, Burkhard Corves*, Mathias Hüsing*

* RWTH Aachen University, Institut für Getriebetechnik, Maschinendynamik und Robotik, 52062 Aachen, Deutschland, {wiartalla, schmitzm, corves, huesing}@igmr.rwth-aachen.de

** RWTH Aachen University, Institut für Schweißtechnik und Fügetechnik, 52062 Aachen, Deutschland, max.mierzwa@isf.rwth-aachen.de

Kurzfassung

Additive Fertigungsverfahren bieten aufgrund ihrer Flexibilität hinsichtlich des Bauteildesigns viele Vorteile gegenüber konventionellen, subtraktiven Fertigungsverfahren [1]. Bis in den Privatgebrauch hinein bekannt sind dabei kunststoffverarbeitende Verfahren wie beispielsweise das Fused Deposition Modeling (FDM). Im industriellen Umfeld werden jedoch zumeist die Materialeigenschaften metallischer Bauteile benötigt. Ein Verfahren, welches sich aufgrund hoher Materialauftragsraten gut für das Herstellen großformatiger Bauteile eignet, ist das Lichtbogenauftragsschweißen (engl. Wire Arc Additive Manufacturing, kurz WAAM). Klassische Umsetzungen additiver Verfahren fallen in die Kategorie der 2,5D-Prozesse. Diese sind dadurch charakterisiert, dass der Materialauftrag stets in parallelen Schichten auf einem sogenannten Druckbett geschieht. Dieses dient dazu, eine Kontaktfläche zwischen dem zu druckenden Objekt und der Maschine bereitzustellen und wird in der Regel gar nicht oder nur rein translatorisch bewegt. Die globale Orientierung des Druckbetts bleibt dabei unverändert. Durch Softwarewerkzeuge wie Topologieoptimierungen und generatives Design entstehen belastungsgerechte, teils organisch anmutende Strukturen, die mit konventionellen Methoden entweder nur äußerst aufwendig und damit teuer oder gar nicht herstellbar sind [2]. Normalerweise werden für diese komplex geformten Bauteile sogenannte Stützstrukturen benötigt, um auch Überhänge mit weiterhin hoher Oberflächen- und Materialqualität fertigen zu können [3]. Da leichtbaugetriebene Bauteiloptimierungen häufig mit einer speziellen Materialauswahl (z. B. Titan- / Nickellegierungen) einhergehen, sind im Rahmen des WAAM auch spezielle Schweißverfahren wie das Plasmaschweißen (engl. Plasma Arc Welding, kurz PAW) interessant. Durch seine exzentrische Drahtzuführung impliziert das PAW im Vergleich zum gängigeren Metall-Schutzgas-Schweißen (engl. Gas Metal Arc Welding, kurz GMAW) jedoch zusätzliche kinematische Randbedingungen, da der Schweißprozess nicht mehr richtungsunabhängig ist.

Am Institut für Getriebetechnik, Maschinendynamik und Robotik (IGMR) wird zusammen mit dem Institut für Schweiß- und Fügetechnik (ISF) der RWTH Aachen University an der Umsetzung der gesamten Prozesskette der multidirektionalen additiven Fertigung (engl. Multidirectional Additive Manufacturing, kurz MDAM) mittels PAW und reiner Objektmanipulation geforscht. Das "Druckbett" (im Folgenden für den vorgestellten Prozess als "Substratplatte" bezeichnet) wird durch einen Manipulator frei unter einem feststehenden Schweißbrenner bewegt. Dabei werden alle sechs räumlichen Freiheitsgrade der Substratplatte aktiv genutzt. Dieser Aufbau bietet das Potential, Stützstrukturen vollständig zu vermeiden und gleichzeitig dauerhaft in der für einen Schweißprozess optimalen Wannenlage arbeiten zu können. Der aktuelle Versuchsaufbau am IGMR mit einem klassischen 6-Achs-Industrieroboter als Manipulator zur Erzeugung der Objektbewegung ist in **Abbildung 1** (a) dargestellt. Beim Fertigen von Schichten, die nicht mehr parallel zum

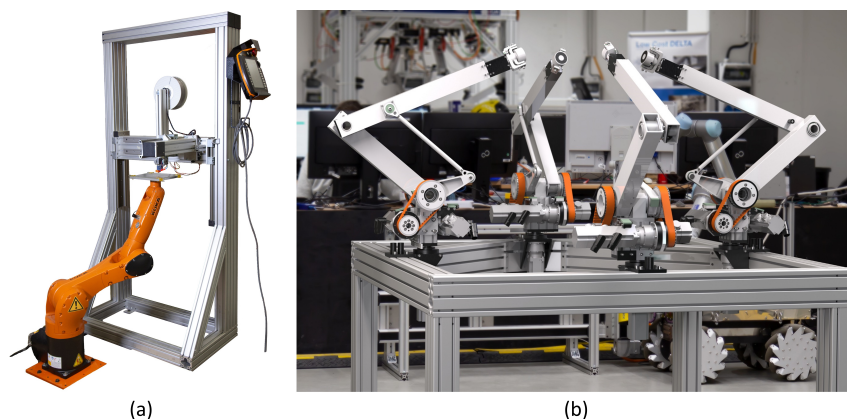


Bild 1 Foto des MDAM-Versuchsaufbaus am IGMR mit Industrieroboter (a) und Rendering des PARAGRIP (b)

DOI: 10.17185/dupublico/77394



Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz.

Druckbett orientiert sind, kommt dieser Aufbau hinsichtlich der Beweglichkeit des Roboters jedoch schnell an seine Grenzen. Die durch die Pose der Substratplatte implizierte Roboterstellung ist bei größerer Abweichung der Orientierung der Substratplatte aus der Horizontalen kinematisch meist nicht mehr realisierbar.

Bei der Umsetzung des vorausgehend beschriebenen Prozesses mit dem am IGMR entwickelten und gebauten objektintegrativen Handhabungssystem PARAGRIP [4] gilt es einige Herausforderungen zu lösen. Der PARAGRIP besteht aus vier einzelnen, unabhängigen Armen mit jeweils drei aktiven Freiheitsgraden sowie rein passiv ausgeführten sphärischen Handgelenken mit drei weiteren Freiheitsgraden (s. Abb. 1 (b)). Die Handgelenke werden mit Kontaktelementen ausgestattet, die das Andocken an ein Greifobjekt - im Kontext der MDAM die Substratplatte - ermöglichen. Dieses wird dadurch aktiv in die Struktur des Handhabungssystems eingebunden. Wie von Nefzi [5] beschrieben, sind für das eindeutige Positionieren des Objekts drei der vier Arme notwendig. Der vierte Arm des PARAGRIP kann z. B. zum Umgreifen verwendet werden. Dies ermöglicht dann bei optimaler Auslegung eine restriktionsfreie Objektbeweglichkeit ohne rotatorische Einschränkungen, was für die MDAM mittels PAW und reiner Objektmanipulation einen großen Vorteil im Hinblick auf die Ausführbarkeit bietet. Zu berücksichtigende Aspekte sind dabei unter anderem:

- Simulation und Darstellung geschlossener kinematischer Ketten im Framework ROS2
- Integration der Kalibrierdaten des PARAGRIPs in das Simulationsmodell und die Bewegungsplanung
- Vermeiden von sich fortpflanzenden Positionierungsfehlern in der Objektmanipulation durch Ungenauigkeiten im Arm-Objekt-Kontakt
- Optimieren der geometrischen Anordnung der Greifpunkte hinsichtlich der Ausführbarkeit multidirektionaler Trajektorien
- Umsetzen einer sensorbasierten Prozessregelung zur Online-Anpassung von Schweißparametern und Bewegung

Im Rahmen dieses Beitrags werden die oben genannten Themen kurz erläutert und detaillierter auf die spezifischen Herausforderungen der Simulation geschlossener kinematischer Ketten in ROS2 sowie die Parametrierung der Kinematik eingegangen. Die vorgestellten Lösungsansätze sollen im weiteren Projektverlauf umgesetzt und erprobt werden.

Das Robot Operating System 2 (ROS2) [6] bietet durch sein integriertes Universal Robot Description Format (URDF) zur kinematischen Beschreibung von Roboterstrukturen lediglich die Möglichkeit, serielle kinematische Ketten abzubilden. Wie in Abbildung 1 (b) zu erkennen ist, beinhaltet jeder Arm des PARAGRIPs jedoch eine geschlossene kinematische Teilkette. Um dennoch realistische Simulationen des Roboters in der Simulationsumgebung Gazebo [7] zu ermöglichen, wird ein Lösungskonzept vorgeschlagen. Dieses bedient sich des Simulation Description Formats (SDF) [8], in welchem auch geschlossene Ketten aus Körpern und Gelenken modelliert werden können. Um die Kompatibilität der SDF-Modellierung zu ROS2 beizubehalten, kann durch die Erweiterung des von Bihlmaier entwickelten Parsers "pysdf" [9] um unter anderem ein optionales Aufschneiden einer geschlossenen Kette an einer durch den Anwender definierbaren Stelle eine automatisierbare Konvertierung in das URDF umgesetzt werden. Somit kann für die Simulation und Darstellung geschlossener kinematischer Ketten das Prinzip der "Single Source of Truth" beibehalten werden.

Literatur

- [1] Sciaky: *Schnellere und billigere Fertigung von Metallwerkstücken wie nie zuvor mittels elektronenstrahlbasierter additiver Fertigung (EBAM)*. <https://www.sciaky.com/de/additive-fertigung/elektronenstrahlbasierteadditive-fertigungstechnik> (zuletzt geprüft am 29.11.2022).
- [2] Form+Werkzeug: *Rapid Manufacturing*. <https://www.form-werkzeug.de/themen/fw-wiki/produktionsprozess/additive-fertigung/artikel/rapid-manufacturing-987608.html> (zuletzt geprüft am 29.11.2022).
- [3] Livesu, M.; Ellero, S.; Martínez, J.; Lefebvre, S.; Attene, M.: *From 3D Models to 3D Prints*. In: Eurographics, 2017, S. 537-564.
- [4] Riedel, M.: *Flexible bauteilhandhabung auf Basis einer rekonfigurierbaren parallelkinematischen Struktur*. Aachen: Shaker, 2014, ISBN 978-3-8440-2534-7.
- [5] Nefzi, M.; Riedel, M.; Corves, B.: *Development and Design of a Multi-Fingered Gripper for Dexterous Manipulation*. In: IFAC Proceedings, Vol. 39, 2006, pp.133-138, DOI 10.3182/20060912-3-DE-2911.00026
- [6] Macenski, S.; Foote, T.; Gerkey, B.; Lalancette, C.; Doodall, W.: *Robot Operating System 2: Design, architecture, and uses in the wild*. In: Science Robotics, Vol. 7, 2022, DOI 10.1126/scirobotics.abm6074.
- [7] Koenig, N.; Howard, A.: *Design and use paradigms for Gazebo, an open-source multi-robot simulator*. In: International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Sendai, Japan, 2004, DOI 10.1109/IROS.2004.1389727
- [8] Open Source Robotics Foundation: *SDF format*. <http://sdformat.org/> (zuletzt geprüft am 10.02.2023)
- [9] Bihlmaier, A.: *pysdf* <https://github.com/andreasBihlmaier/pysdf> (zuletzt geprüft am 13.02.2023)

DuEPublico

Duisburg-Essen Publications online

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken

ub

universitäts
bibliothek

In: Neunte IFToMM D-A-CH Konferenz 2023

Dieser Text wird via DuEPublico, dem Dokumenten- und Publikationsserver der Universität Duisburg-Essen, zur Verfügung gestellt. Die hier veröffentlichte Version der E-Publikation kann von einer eventuell ebenfalls veröffentlichten Verlagsversion abweichen.

DOI: 10.17185/duepublico/77394

URN: urn:nbn:de:hbz:465-20230314-155357-3



Dieses Werk kann unter einer Creative Commons Namensnennung
- Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 Lizenz (CC BY-SA
4.0) genutzt werden.