Vom Digitalen zum Virtuellen Zwilling

Mehrwert der Digitalisierung in der Produktion

Sven Winkler,
Marco Schumann und
Philipp Klimant, Chemnitz

Die voranschreitende Digitalisierung in der Produktion ermöglicht es, große Datenmengen, welche im Prozess anfallen, aufzunehmen. Dabei stellt sich die Frage, wie diese Datenmengen sinnvoll ausgewertet und genutzt werden können, um einen Mehrwert daraus zu ziehen. Der vorliegende Beitrag stellt dazu das Konzept des Virtuellen Zwillings – eine Erweiterung des bekannten Digitalen Zwillings – vor, und verdeutlicht anhand von mehreren Anwendungsfällen, wo Nutzenpotenziale von diesem liegen. Dabei wird einer der Anwendungsfälle, mit Fokus auf einer Echtzeit-Schnittstelle zur Maschinensteuerung mit der Hilfe von OPC UA, detaillierter erläutert.*)

Motivation

Mit der voranschreitenden Vernetzung von Werkzeugen, Werkzeugmaschinen bis hin zu vollständigen Fabriken und der daraus resultierenden exponentiellen Erhöhung der Datenmengen in der Industrie-4.0-Ära, ergeben sich unter anderem die folgenden Fragestellungen: „Für was nutzen wir diese Datendichte und wie kann ein Vorteil während der Produktion entstehen? Wie muss ich mit diesen Daten umgehen, damit sinnvolle und hochwertige Anwendungen einen Mehrwert erfahren?“ Ziel der aktuellen Entwicklungen sollte es nicht sein, die Daten ausschließlich zu sammeln und irgendwo abzulegen, sondern die Daten aktiv einem oder mehreren Auswerteargorithmen zuzuführen und damit einen potenziellen Mehrwert vor, während und nach der Produktion zu liefern.

Zunächst gilt es festzuhalten, dass für den Begriff Digitaler Zwillings aktuell keine wissenschaftlich einheitliche Definition vorliegt. Stattdessen finden sich verschiedene Ansätze, was ein Digitaler

Zwillings ist und welche Eigenschaften dieser besitzt. So beschreiben Grieves und Vickers [1] den Digitalen Zwillings als „ein Konstrukt aus einer Reihe von virtuellen Informationen, die das potentielle oder schon gefertigte Produkt von der Mikro- bis zur Makroebene beschreibt“. Klostermeier et al. [2] fassen den Digitalen Zwillings als „das individuelle, virtuelle Abbild eines physischen Objektes oder Prozesses, welches die vom physischen Objekt bereitgestellten Daten intelligent für verschiedene Anwendungsfälle nutzbar macht“ zusammen. Die Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik (WGP) [3] bezeichnet einen ähnlichen Sachverhalt als Digitalen Schatten. Dabei wird von einem „hinreichend genaue[n] Abbild der Prozesse in der Produktion, der Entwicklung und angrenzenden Bereichen mit dem Zweck, eine echtzeitfähige Auswertungsbasis aller relevanten Daten“ gesprochen. Letztendlich bezeichnen diese Begriffe die Sammlung und teilweise Reduzierung der aufgenommenen Daten, während und nach der Produktion sowie in

der Entwicklungsphase eines Produktes. Diese Datensammlung unterscheidet sich erst dann von aktuellen PDM-Systemen, wenn komplexe Auswerteargorithmen einfließen und damit neue Erkenntnisse über den Zustand des Systems abgeleitet werden können.

Die an der Professur Werkzeugmaschinenkonstruktion und Umformtechnik der TU Chemnitz entwickelte Definition ergänzt den Digitalen Zwillings, indem eine eindeutige Verortung von Daten an einem virtuellen 3D-Modell ermöglicht wird. Dies schafft die Grundlage für den Virtuellen Zwillings, welcher somit immer an eine virtuelle Welt gekoppelt ist. Die genaue Verortung erfüllt den Wunsch der industriellen Partner nach einer sinnvollen Visualisierung eines Digitalen Zwillings, denn durch diese Darstellung ist es mit mithilfe moderner Virtual- und Augmented-Reality-Anwendungen möglich, die für den Menschen kaum fassbaren Datensätze individuell und spezifisch aufzubereiten sowie darzustellen und somit die Wahrnehmung von und die Arbeit mit den Daten zu verbessern.

*) Förderhinweis

Das Projekt „HEIGHT - Entwicklung einer hochintegrativen Prozesskette zur generativen Fertigung von metallischen Hochleistungsbauteilen samt dazugehörigem Virtuellen Zwillings“ wird aus Mitteln des Freistaates Sachsen und der Europäischen Union gefördert

Europäische Union

Europa fördert Sachsen.

Europäischer Sozialfonds

Diese Maßnahme wird mitfinanziert durch Steuermittel auf der Grundlage des vom Sächsischen Landtag beschlossenen Haushaltes.

Ausgangslage des Virtuellen Zwillings der TU Chemnitz

Im Rahmen des Projekts InnoTeam HEIGHT (Hochintegrative Prozesskette zur generativen Fertigung von metallischen Hochleistungsbauteilen) wird ein durch selektives Laserschmelzen entstandenes Werkstück mithilfe eines

Fräs- und Glattwalzprozesses verbessert. Dabei dient der Virtuelle Zwilling als Verknüpfungsglied zwischen einzelnen Prozessschritten. Somit kann die Prozesskette beginnend mit einer generativen Fertigung der hochkomplexen Struktur und anschließender kombinierter Endbearbeitung (Fräs- und Glattwalzprozess auf einer Werkzeugmaschine) datentechnisch miteinander Verknüpft werden. Das Ziel dieser Verknüpfung ist, die Bauteileigenschaften und die Produktivität gegenüber der klassischen Herstellung erheblich zu steigern und zu optimieren [4].

Anwendungsfälle des Virtuellen Zwillings

Der Virtuelle Zwilling ermöglicht eine durchgängige Datenübertragung zwischen den einzelnen Prozessen und begleitet somit die Prozesskette, indem wichtige Parameter und Resultate der einzelnen Prozesseigenschaften, die zum Beispiel beim 3D-Druck entstehen, in den nachgelagerten Fräsprozess übernommen werden können. Der anschließende Glattwalzprozess profitiert wiederum von den Informationen der beiden vorgelagerten Prozesse, welche beispielsweise Auskunft über Bauteilverzüge oder Veränderungen der Oberflächen geben, und kann somit die Stärken des eigenen Prozesses optimal ausnutzen bzw. Defizite durch Anpassungen minimieren.

Bereits ab dem ersten produzierten Werkstück können mithilfe des Virtuellen Zwillings wichtige Informationen über den realen Verlauf des Prozesses gesammelt werden und dienen somit als Datenbasis für alle folgenden Werkstücke. Im Projekt InnoTeam HEIGHT sollen beispielsweise die aufgenommenen thermischen Effekte beim 3D-Druck als Grundlage für die Simulation des nachgelagerten Fräs- und Glattwalzprozesses dienen. Beim Einbringen von thermischer Energie in das Werkstück und anschließendem Abkühlungsprozess kommt es durch entstandene Hotspots zu Spannungen und Verzügen im Werkstück. Durch das Erfassen und Darstellen dieser Hotspots ist es möglich, im nachfolgenden Prozess wichtige Parameter, z.B. die aufzubringende Kraft durch das Werkzeug auf die Oberfläche, anzupassen oder eine Änderung der Bearbeitungsstrategie vorzunehmen.

Bild 1. Verwendete Werkzeugmaschine für die Entwicklung des Prototypen

Bei der dritten möglichen Verwendungsart dient der Virtuelle Zwilling u.a. als Instrument für die Live-Visualisierung. Damit ist es möglich ein Condition Monitoring mithilfe von 3D-Daten in Echtzeit durchzuführen und dabei auf eine personalisierte Benutzervisualisierung zurückzugreifen. Weiterhin ist es möglich, die Bewegung der Spindel einer Werkzeugmaschine zu erfassen, die für den Werker nicht direkt sichtbar ist. So kann dieses System bei der ersten Inbetriebnahme oder bei einer Vor-Serienfertigung mögliche Probleme im Prozess aufzeigen. Somit wird verhindert, dass eine Produktion anläuft und es zu Fehlproduktionen kommt. Die damit eingesparte Maschinenzeit ist maßgeblich für eine Kostenreduzierung von Anfang an. Für diesen Anwendungsfall werden im Folgenden der Aufbau und die prototypische Funktionsweise detaillierter beschrieben.

Voraussetzung für die Echtzeitvisualisierung des Virtuellen Zwillings

Um das Potenzial des letzten genannten Anwendungsfalls vollständig zu nutzen, müssen verschiedene Voraussetzungen erfüllt werden. So ist es zwingend erforderlich, dass die Visualisierung in Echtzeit erfolgt. Echtzeit bezieht sich in diesem Rahmen auf eine für den Betrachter flüssige Darstellung. Des Weiteren müs-

sen verschiedene Interaktionsmöglichkeiten unterstützt werden, wie z.B. die freie Bewegung im 3D-Raum. Neben den zu visualisierenden 3D-Modellen, wie z.B. Werkzeugmaschine und Werkstück, ist es notwendig, grafische Metaphern für die darzustellenden notwendigen Daten zu entwickeln. Gerade dieser Schritt stellt einen großen Mehrwert der Anwendung dar, um so die unüberschaubare Menge an Daten für den Nutzer verständlich aufbereiten zu können.

Einen weiteren essenziellen Bestandteil stellt die Anbindung der Datenquellen dar. Um u.a. die Ist-Positionen der Maschinenachsen zu erhalten, wird eine Kopplung an die NC-Steuerung der Maschine benötigt. An diese stellt sich ebenfalls die Forderung der Echtzeitfähigkeit, da die Daten als Basis für die Echtzeit-Visualisierung dienen. Die nutzbaren Kommunikationsschnittstellen sind durch den Steuerungshersteller vorgegeben. Während hier bisher proprietäre APIs (Application Programming Interface) vorherrschten, zeigt sich inzwischen ein Wandel hin zu dem Standard OPC UA (Open Platform Architecture Unified Architecture) [5]. Dieser wird von der OPC Foundation verwaltet und ist somit unabhängig von einem einzelnen Steuerungsanbieter. OPC UA ermöglicht es, verschiedenste Parameter von der Steuerung auszulesen, aber auch zu schreiben. Die Schnittstelle ist somit bidirektional.

Bild 2. Schematische Darstellung der Einbindung der OPC-UA-Schnittstelle im Virtuellen Zwilling

Prototyp

Der realisierte Prototyp basiert auf der Game-Engine Unity [6] in der Version 2017.3, welche es u. a. ermöglicht, 3D-Szenen in Echtzeit zu rendern und Kollisionsprüfungen durchzuführen. Über Scripte ist es möglich, zur Laufzeit die Szene zu beeinflussen und zum Beispiel vorhandene Objekte zu verschieben, Materialien zu beeinflussen, um die visuelle Erscheinung zu verändern oder auch neue Objekte zu erzeugen und in die Szene einzufügen. Die Programmierung erfolgt dabei in der Programmiersprache C#.

Die Anbindung des Prototyps erfolgte an eine 3-Achs-Werkzeugmaschine der Firma DMG Mori ausgestattet mit der NC-Steuerung Siemens 840D sl (Bild 1).

Diese Steuerung bietet verschiedene Schnittstellen, u. a. auch einen OPC-UA-Server, welcher für die Umsetzung genutzt wurde. Die allgemeine Funktionsweise der Schnittstelle ist in Bild 2 dargestellt. Für die Client-Seite empfiehlt es sich, auf ein vorhandenes Framework aufzubauen (z. B. FreeOpcUa [7]). OPC UA bietet drei verschiedene Möglichkeiten an, Daten vom Server abzufragen [8]. Es kann ein einzelnes Datum (oder auch Daten in einem zusammenhängenden Array) abgefragt werden (Read), zudem ist es möglich ein zyklisches Lesen für gewünschte Werte zu registrieren (Subscription). Die letzte Option besteht in einem Registered Read. Bei diesem registriert sich der Client beim Server für ausgewählte Daten, welche dieser zyklisch in hoher Frequenz abfragen möchte. Der Server kann darauf hin diese Abfragen optimieren. Der Standard trifft an dieser Stelle jedoch nur vage Aussagen, weswegen mögliche Performancegewinne herstellerabhängig sind.

Die OPC-UA-Abfragearten besitzen einen großen Einfluss auf die Performance des Gesamtsystems. Werden Daten einzeln mit dem einfachen Read angefordert, erfolgt dies sequenziell und hat zur Folge, dass die Daten nicht zum selben Zeitpunkt erhoben sind. Bezogen auf den Anwendungsfall bedeutet dies, dass die Achswerte zeitlich versetzt mit einem

hohen Versatz übermittelt werden (im beschriebenen Versuchsaufbau > 200 ms zwischen jeder Abfrage). Dies wirkt sich stark negativ auf die Echtzeitfähigkeit aus. Zeitlich zusammenhängend sind dagegen immer Werte in einem Array. Diese sollten daher nie einzeln abgefragt werden. Generell empfiehlt es sich für Echtzeitsysteme, Daten mit der Registered-Read-Funktion auszulesen, da diese laut Standard die beste Performance verspricht. Siemens gibt hierbei einen Performancegewinn von ungefähr Faktor 10 an. Bei Nutzung von strukturierten Daten gegenüber Einzelzugriff liegt der Performanceeinfluss bei Faktor 10 bis 100 [8].

Der entwickelte Virtuelle Zwilling liest die idealen Tool-Center-Point-Werte (TCP-Werte) und andere beliebige Parameter aus der Steuerung aus und verortet diese an der zuvor importierten Werkstückgeometrie. Das System empfängt kontinuierlich Daten von der Schnittstelle und berechnet daraus die Position der anzuzeigenden Punkte im virtuellen Raum. Eine Beachtung der Nullpunktverschiebung zwischen dem Maschinen- und Werkstücknullpunkt sowie der unterschiedlichen Koordinatensysteme erfolgt bei jedem Datensatz in Echtzeit. Außerdem ist es möglich, weitere ausgewählte Parameter mit dem TCP zu verknüpfen und diese in die Visualisierung einzubeziehen (Bild 3).

Dies wurde im Prototypen für die im Projekt entwickelte Kraftsteuerung [9] der Werkzeugmaschine realisiert. Somit

können bereits während der Bearbeitung zu jedem einzelnen Punkt erweiterte Informationen abgerufen werden. Durch einen virtuellen Klick auf die erstellte Punktwolke können zusätzlich Informationen angezeigt werden.

Ist die Bearbeitung abgeschlossen, werden alle gesammelten Daten automatisch gespeichert. Diese Daten werden mithilfe einer Dateisystemüberwachung erkannt und in ein vordefiniertes PLM-System mit eigener gesonderter Struktur des Virtuellen Zwillings hochgeladen. Für eine nachträgliche Kontrolle im Rahmen des Qualitätsmanagement, kann dieses Protokoll jeder Zeit wieder in die Visualisierungsebene des Virtuellen Zwillings übertragen werden.

Zusammenfassung

Die Vernetzung von Maschinen und Fabriken bis hin zum Werkstück ermöglicht es, große Datenmengen prozessbegleitend aufzuzeichnen und auszuwerten. Die Konzepte, welche sich daraus ergeben, führen zum Ansatz des Digitalen Zwillings. Dabei existiert nicht eine feste Definition, sondern verschiedene, welche Inhalte und Methoden des Digitalen Zwillings beschreiben

Die Professur Werkzeugmaschinenkonstruktion und Umformtechnik der TU Chemnitz entwickelte basierend auf dem Digitalen Zwilling einen erweiterten Ansatz, welcher zusätzlich zu den bisher erfassten Daten eine Verortung dieser Daten an einem virtuellen Modell vorsieht. Dieser Virtuelle Zwilling ermöglicht dadurch neue Anwendungsfälle für die gesammelten Daten.

Ein möglicher Einsatz des Virtuellen Zwillings besteht in der Kopplung von diesem zur NC-Steuerung einer Werkzeugmaschine, um die Ist-Positionen der Achsen sowie weitere Parameter in Echt-

Bild 3. Screenshot der Visualisierung: Tool-Center-Points (Farbverlauf) verortet an einer virtuellen 3D-Geometrie mit Diagramm des Kraftverlaufes

zeit auszulesen und in einem virtuellen Modell zu visualisieren. Es empfiehlt sich dabei, auf standardisierte Schnittstellen zurückzugreifen und somit herstellerunabhängig zu sein. Immer mehr etabliert sich dabei der Standard OPC UA, welcher von etablierten Herstellern unterstützt wird. Der vorgestellte Prototyp zeigt die Vorteile der Verortung der Daten anhand eines kraftgesteuerten Prozesses. So kann ein Anwender in Echtzeit im virtuellen Modell verfolgen, wie sich der aktuelle TCP in Abhängigkeit von der erweiterten Regelung verhält. Anschließend lassen sich alle genutzten Daten in einer Datenbank für spätere Auswertungen und zur Protokollierung ablegen.

Literatur

1. Grieves, M.; Vickers, J.: Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. In: Kahlen, F.-J.; Flumerfelt, S.; Alves, A. (Hrsg.): Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems – New Findings and Approaches. Springer International Publishing, Switzerland 2017, S. 85–113
DOI: 10.1007/978-3-319-38756-7_4
2. Klostermeier, R.; Haag, S.; Benlian, A.: Digitale Zwillinge – Eine explorative Fallstudie zur Untersuchung von Geschäftsmodellen. HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik (2018) 2, S. 297–311
DOI: 10.1365/s40702-018-0406-x
3. Bauernhansl, T.; Krüger, J.; Reinhart, G.; Schuh, G.: WGP-Standpunkt Industrie 4.0. Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik WGP e. V., 2016
4. Brade, J.; Posdich, M.; Klimant, P.: Prozessübergreifende Fertigung von metallischen Hochleistungsbauteilen. ZWF 112 (2017) 3, S. 122–125
DOI: 10.3139/104.111672
5. Enste, U.; Mahnke, W.: OPC Unified Architecture. at – Automatisierungstechnik 59 (2011), S. 397–404
DOI: 10.1524/auto.2011.0934
6. Seifert, C.; Wislaug, J.: Spiele entwickeln mit Unity 3D-Games mit Unity und C# für Desktop, Web & Mobile. 3. Aufl., Carl Hanser Verlag, München, Wien 2017
DOI: 10.3139/9783446453685
7. Vacek, F.: GitHub - FreeOpcUa/freeopcua: Open Source C++ OPC-UA Server and Client Library. 27.08.2019. Online unter <https://github.com/FreeOpcUa/freeopcua> [Zugriff am 27.08.2019]
8. Dejan, T.: OPC-UA Kommunikation. ed. Digitalization Days 2017: Siemens AG 2017, 2017, S. 32
9. Posdich, M.; Schöberlein, C.; Quellmalz, J.; Putz, M.: Burnishing of Prismatic Workpieces on Three-axis Machine Enabled by Closed Loop Force Control. Procedia CIRP 81 (2019), S. 1028–1033
DOI: 10.1016/j.procir.2019.03.246

Die Autoren dieses Beitrags

M.Sc. Marco Schumann, geb. 1984, studierte Informatik an der Westsächsischen Hochschule Zwickau mit dem Schwerpunkt Systeminformatik und ist seit 2009 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozesse der Technischen Universität Chemnitz. Seine Arbeitsbereiche umfassen u. a. den Einsatz von Virtual Reality im Maschinenbau und die Echtzeitkollisionsvermeidung bei Werkzeugmaschinen. Des Weiteren untersucht er den Einsatz von Augmented-Reality-Technologien in der Produktion im Kontext von Industrie 4.0 sowie die Thematik der Datenerfassung von Werkzeugmaschinen.

M.Sc. Sven Winkler studierte zunächst Print and Media Technology und anschließend Mikrotechnik/Mechatronik an der TU Chemnitz und übernahm das HEIGHT-Projekt als Wissenschaftlicher Mitarbeiter seit 2018 am Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozesse an der TU Chemnitz und widmet sich der Entwicklung

des Virtuellen Zwillings. Weitere Forschungsfelder sind die Virtual und Augmented Reality.

Dr.-Ing. Philipp Klimant studierte Elektrotechnik an der Hochschule Mittweida. Seit 2007 ist er Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozesse der TU Chemnitz. Von 2011 bis 2019 leitete er die Abteilung Prozessinformatik und Virtuelle Produktentwicklung. Von 2013 bis 2015 leitete er zudem die Zentrale Koordinierungsstelle des Chemnitzer Spitzentechnologieclusters „Energieeffiziente Produkt- und Prozessinnovationen in der Produktionstechnik“ (eni-PROD). 2013 promovierte er über Virtuelle Inbetriebnahme/Maschinensimulation mittels Virtual Reality. Von Februar 2016 bis Januar 2019 leitete er zudem die Gruppe Digitale Produktionssysteme und Virtual Reality am Fraunhofer IWU. Seit Anfang 2019 ist er in Personalunion Geschäftsführender Oberingenieur der Professur Werkzeugmaschinenkonstruktion und Umformtechnik und Hauptabteilungsleiter Smarte Fabrik – Digitalisierung und Automatisierung am Fraunhofer IWU.

Summary

From Digital to Virtual Twin: Benefit of Digitalization in Production. The ongoing digitalization enables gathering big amounts of process data. The question thereby is how such huge amounts of data can be meaningfully processed and used to obtain additional value. This article introduces the concept of the Virtual Twin, which extends the well-known Digital Twin and demonstrates the usefulness based on three use cases. One of the use cases is described in detail with focus on a real-time interface to the CNC with the help of OPC UA.

Bibliography

DOI 10.3139/104.112170

ZWF 114 (2019) 10; page 669–672

© Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG
ISSN 0032–678X