

Der Digitale Zwilling – Probleme und Lösungsansätze

Sven Winkler,
Marco Schumann,
René Apitzsch,
Franziska Klimant und
Philipp Klimant, Chemnitz

Der Digitale Zwilling wird bereits vielseitig in der Industrie eingesetzt, jedoch wird dessen Mehrwert oftmals nicht ausgeschöpft. Dieser Beitrag behandelt die im Rahmen verschiedener Forschungsprojekte und Industriekooperationen gesammelten Erfahrungen und Erkenntnisse zum Digitalen Zwilling. Dabei wird auf die Herausforderungen bezüglich Schnittstellen, Datenhaltung, Nutzerakzeptanz eingegangen und Handlungsempfehlungen gegeben, um den Mehrwert des Digitalen Zwillings besser nutzbar zu machen.

■ Motivation

Durch die voranschreitende Entwicklung von Industrie 4.0 in den letzten Jahren und der damit ansteigenden Vernetzung von Produkten, Maschinen und Fabriken erkannten Unternehmen, dass es für die Optimierung des Produktlebenszyklus erstrebenswert ist, entstehende Informationen zu sammeln, weiterzuverarbeiten und auszuwerten. Der dabei entstehende Digitale Zwilling begleitet den gesamten Produktlebenszyklus und spiegelt verschiedene Stationen dessens auf einer digitalen Abstraktionsebene wider. Dabei entstehen Wechselwirkungen zwischen realer und digitaler Welt. Um diese Wirkungen zu verstehen und eine optimale Einbindung des Zwillings in industrielle Wertschöpfungsprozesse zu erreichen, beschäftigen sich viele Forschungseinrichtungen seit einigen Jahren mit dem Digitalen Zwilling. Bei der Einführung bzw. dem Einsatz eines solchen Zwillings im Unternehmen müssen viele Aspekte im Vorfeld betrachtet werden. Dieser Beitrag befasst sich kritisch mit unterschiedlichen Gesichtspunkten und zeigt dabei auch problematische Handlungsfelder auf.

■ Systemgrenzen

Zusätzlich zum Begriff Digitaler Zwilling findet sich eine Vielzahl an weiteren Ansätzen, wie z.B. Digitaler Schatten [1], Virtueller Zwilling [2] oder Digitales Gegenstück [3]. Diese basieren im Kern alle auf der Idee, ein reales Produkt oder einen realen Prozess digital abzubilden. So werden beispielsweise Planungsdaten

aus der Produktentwicklung (z.B. CAD/CAM) und Realdaten aus Messungen während der Produktion im Digitalen Zwilling zusammengeführt und verwendet. Die theoretische Grundlage dazu findet sich zum Beispiel bei Grieves und Vickers [4]. Das unterscheidende Merkmal der verschiedenen Ansätze sind die Systemgrenzen, welche den Grad der Digitalisierung bestimmen. Aus diesem Grund sollten diese initial für den eigenen Anwendungsfall bestimmt werden.

Der Digitale Zwilling besitzt eigene Rahmenbedingungen, wie z.B. Kapazitäten bezüglich der Aufbewahrung von Daten. Diese müssen bei einem gewünschten Einsatz von Beginn an bekannt sein. Ein weiterer Faktor, um einen sinnvollen Einsatz zu gewährleisten, sind die unterschiedlichen Sichtweisen von „Produkt“. Als Werkzeugmaschinenhersteller ist das Produkt die Werkzeugmaschine selbst. Für ein Unternehmen, welches die oben genannte Maschine als Betriebsmittel benutzt, ist der das darauf produzierte Gut das relevante Produkt. Des Weiteren kann sich der Digitale Zwilling tatsächlich „nur“ auf ein bestimmtes Produkt beziehen oder aber eine Prozesskette oder gar eine gesamte Fabrik abbilden. Diese unterschiedlichen Betrachtungshorizonte haben natürlich entscheidenden Einfluss sowohl auf die im Digitalen Zwilling enthaltenen Daten, als auch auf den Einsatzzweck.

In einer Produktion, welche von unzähligen Softwaresystemen unterstützt wird, sammeln sich während der Laufzeit eine große Menge an Daten. Mithilfe dieser Daten können Rückschlüsse beispiels-

weise auf das Verhalten, die Eigenschaften der produzierenden Maschine [5] oder auf das Werkstück selbst [6] gezogen werden. Mit zunehmenden Datenmengen steigt auch die benötigte Rechenzeit bzw. Leistung, um diese Daten aufzubereiten und somit die Kosten für das Betreiben des Digitalen Zwillings. Vor diesem Hintergrund ist es notwendig, eine Analyse bezüglich des Kosten-Nutzen-Verhältnisses durchzuführen, die auch eine Aussage darüber zulässt, ob ein Digitaler Zwilling vollumfänglich sein muss oder ob eine reduzierte Variante (z.B. nur bezogen auf ein bestimmtes Produkt) für die spezifischen Anforderungen ausreichend ist.

■ Auswahl der zu erfassenden Daten

In den meisten Fällen ist eine pauschale Speicherung und Verarbeitung aller anfallenden Daten im Produktlebenszyklus nicht ratsam, vor allem aus Gründen des Platz- und Verwaltungsaufwandes dieser Datenmengen. Daher muss auf Grundlage einer vorangestellten Anforderungsanalyse festgelegt werden, welche Daten der Digitale Zwilling beinhalten soll. Um ein ausgewogenes Kosten-Nutzen-Verhältnis zu erreichen, sollte das Ziel dieser Analyse sein, so wenig Daten wie möglich und nur so viel wie nötig zu speichern. Trotz dessen, dass die Anforderungen an einen Digitalen Zwilling sehr stark variieren können, soll nachfolgend dargelegt werden, welche im Normalfall Daten erfasst werden sollen und wie diese erfasst werden können.



Bild 1. Fragestellungen zum Digitalen Zwilling

Zur Reduktion des Verwaltungsaufwandes sollten nur prozessrelevante Daten, beispielsweise Kräfte an Werkzeugen, gespeichert werden. Es besteht auch die Möglichkeit vor der Einführung eines Digitalen Zwillings (z. B. mithilfe von Machine Learning) zu untersuchen, ob es Korrelationen zu nicht offensichtlich prozessrelevanten Daten gibt. Falls das der Fall ist, können diese dann ebenfalls erfasst werden. Es sollten keine Daten erfasst werden, die sich aus bereits bekannten Daten errechnen lassen. Als Minimalbeispiel heißt das, wenn bereits Verfahrenswege und -zeiten einer Achse aufgezeichnet wurden, nicht zusätzlich noch deren Geschwindigkeit gespeichert werden muss. Des Weiteren sollten Daten erfasst werden, die haftungsrechtlichen Anforderungen unterliegen bzw. deren Erfassung vom Kunden vorgegeben ist, um zum Beispiel im Garantie- oder Reklamationsfall, lückenlos darlegen zu können, dass alle Tests und Qualitätsprüfungen positiv verliefen bzw. die geforderten Grenzwerte eingehalten wurden. Darüber hinaus sollte auch in Erwägung gezogen werden, anonymisierte Metadaten bezüglich der Interaktion der Nutzer mit dem Digitalen Zwilling zu erfassen. Diese können Daten sein, welches Endgerät wurde verwendet, wann wurden welche Informationen abgerufen, wie lange blieb ein Nutzer in welcher Ansicht, usw. Diese Daten dienen dazu, die grafische Benutzungsschnittstelle zu optimieren und somit die Interaktion mit dem Digitalen Zwilling zu erleichtern und somit die Benutzerakzeptanz zu erhöhen.

Zur Reduktion des Speicherbedarfs können unterschiedliche Verfahren ange-

wandt werden. Eines ist, die Aufzeichnungsrate eines Parameters an dessen Einfluss auf den Prozess zu koppeln. So muss zum Beispiel der Füllstand eines Behälters nicht im gleichen Takt erfasst werden wie die Achspositionen einer Werkzeugmaschine. Eine daran angelehnte Herangehensweise sieht eine variable Aufzeichnungsrate in Abhängigkeit der Nähe zu Grenzwerten vor, um auch im Fehlerfall eine bessere Grundlage für die Auswertung zu haben. Ein anderer Ansatz ist die Datenerfassung gemäß Push-Model. Das bedeutet, dass die Daten nicht in fixen oder variablen Zeitabständen abgefragt, sondern automatisch, zum Beispiel von der Werkzeugmaschinensteuerung, im Digitalen Zwilling gespeichert werden, wenn diese sich ändern. Dies verhindert Sequenzen von Zahlen mit gleichem Wert und somit Redundanz. Wann eine Änderung vorliegt, kann zudem, ähnlich des zweiten hier vorgestellten Ansatzes, mithilfe eines (variablen) Schwellwertes definiert werden. Es besteht auch die Möglichkeit, nach vorheriger Evaluation verschiedene Parameter in Kennwerten zusammenzufassen. Zudem können auch die zu speichernden Werte in ihrer Größe reduziert werden, indem sie vorher gerundet oder gekürzt werden.

■ Datenerfassung

Sind die zu erfassenden Daten und die dazugehörigen Systemgrenzen definiert, besteht der nächste Schritt darin, diese im Digitalen Zwilling zu erfassen. Alle Informationen aus der Produktentwicklung

liegen im Idealfall in einem Produktdatenmanagement (PDM)-System vor und stehen somit zur Verfügung. Realdaten von Maschinen (wie z. B. Positionen, Geschwindigkeiten, Kräfte) hingegen werden in so einem System nicht erfasst. Hier ist es notwendig, vorhandene Schnittstellen zu nutzen oder bei Bedarf neue zu schaffen, um die benötigten Daten von der Steuerung auszulesen. Dies kann u. U. zu großen Herausforderungen führen. Gerade ältere Maschinen besitzen meist nur proprietäre Schnittstellen, die Programmierung gestaltet sich hierbei oft umständlich und lässt sich nur bedingt auf andere Maschinen übertragen. Der Aufwand ist somit entsprechend hoch. Moderne NC-Steuerungen unterstützen inzwischen oft den Industriestandard OPC Unified Architecture (OPC UA), welcher es ermöglicht über eine TCP/IP-Schnittstelle und ein im Standard definiertes XML-Format Daten auszulesen und zu schreiben [6]. Ob ein OPC-UA-Server für den angestrebten Einsatzzweck nutzbar ist, hängt von mehreren Faktoren ab. Die Grundvoraussetzung besteht zu allererst darin, dass der Steuerungshersteller für die genutzte Steuerung einen solchen Server anbietet. Des Weiteren gilt es die mögliche Abfragerate von diesem zu prüfen. Hierbei zeigen sich starke Performance-Unterschiede, zum Teil auch schon zwischen verschiedenen Versionen desselben Anbieters. Auch die verfügbaren Auslesemodi besitzen einen Einfluss auf die Performance des Systems [7]. Das Auslesen von Daten bedeutet auch einen Einfluss auf die Rechenlast der Steuerung. Dies muss im Gesamtkonzept entsprechend berücksichtigt werden, um den realen Fertigungsprozess nicht negativ zu beeinflussen. Zusammenfassend zeigt sich, dass moderne Steuerungen dazu geeignet sind, die für einen Digitalen Zwilling benötigten Daten abzufragen. Auch haben die Steuerungshersteller den Trend zur Datenauswertung erkannt und bieten entsprechend neue Tools für ihre Kunden an. Der zu stemmende Aufwand ist somit geringer im Vergleich zu älteren Werkzeugmaschinen, darf jedoch trotzdem nicht unterschätzt werden.

■ Datenverwaltung und -verwertung

Viele Unternehmen nutzen ein PDM für die Verwaltung von Produktdaten, wie z. B. den Konstruktionsdaten, über den gesamten Lebenszyklus des Produktes

hinweg. Es liegt daher nahe, die technische Umsetzung eines Digitalen Zwilling auf Basis eines PDM-Systems zu beginnen. Die Herausforderungen beim Digitalen Zwilling liegen bei den Echtzeitdaten, welche auf Grund der teils hohen Abstraten zu sehr großen Datenmengen führen können. So summiert sich zum Beispiel das Speichern eines einzelnen Fließkommawertes von 4 Byte bei einer Abstrate von 100 Hz auf 33 MB/Tag auf. Für 30 Messwerte steigert sich dies schon auf 990 MB/Tag. Diese Werte beziehen sich auf unkomprimierte Daten, zeigen jedoch deutlich das potenziell notwendige Speichervolumen, da die Daten nicht nur einen Tag, sondern über einen längeren Zeitraum vorgehalten werden sollen. Hier zeigt sich noch einmal stark die Notwendigkeit, im Vorfeld zu bestimmen, welche Echtzeit-Daten für den angestrebten Anwendungszweck überhaupt sinnvoll sind und welche Auflösung diese besitzen müssen.

Ein weiterer Ansatz zur Datenreduzierung besteht darin, nicht die Rohdaten abzuspeichern, sondern Kennwerte zu bilden. Dies stellt schon einen Verarbeitungsschritt der Messdaten dar und führt somit zu einem Smart-Data-Ansatz. Voraussetzung ist jedoch, dass überhaupt ein sinnvoll nutzbarer Kennwert gebildet werden kann und bereits eine ausreichende Datenmenge vorliegt. Des Weiteren sollte die aktuelle Entwicklung berücksichtigt und die Frage, welche Daten zukünftig sinnvoll sein können, beantwortet werden. So profitieren zum Beispiel statistische Auswertungsansätze von einer hinreichend langen Historie der Daten.

Die Daten des Digitalen Zwilling können nun als Basis für verschiedene Optimierungen dienen. Ein Digitaler Zwilling für Werkzeugmaschinen kann für Predictive Maintenance eingesetzt werden, um den Verschleiß relevanter Komponenten zu bestimmen und Wartungsintervalle festzulegen. Ebenso ist Condition Monitoring möglich, um Fehler in der Produktion frühzeitig zu erkennen und dadurch Ausschuss zu vermeiden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, in einer Prozesskette Informationen für ein Werkstück aus einem Prozessschritt in den nächsten zu übertragen und für Optimierungs- sowie Visualisierungszwecke zu nutzen [8]. Neben der Optimierung in der Fertigung können die Daten auch als Historie in Haftungsfällen

dienen oder aber als Grundlage für eine Analyse der Fertigungsrekonstruktion im Versagensfall von Produkten genutzt werden. Dieses Verhalten ist in der DIN ISO Norm 9001 [9] für das Qualitätsmanagement gefordert. Die genannten Beispiele zeigen den Mehrwert, welchen Digitale Zwillinge in der Produktion bieten können und wie die Digitalisierung somit den Wertschöpfungsprozess des Unternehmens verbessert. Die Entwicklung schreitet hierbei stetig voran, was sich in einer entsprechend hohen Innovationsdichte in diesem Bereich widerspiegelt.

■ Benutzerakzeptanz

Im Rahmen des digitalen Wandels ist es von immenser Bedeutung, dass bei der Einführung neuer Technologien und Prozesse der Endanwender im Mittelpunkt steht, denn nach allen theoretischen Überlegungen im Vorfeld und einer verhältnismäßig kurzen Implementierungsphase ist er derjenige, dessen Arbeitsalltag davon langfristig beeinflusst wird und von dem maßgeblich abhängt, wie erfolgreich der Einsatz ist.

Es gibt viele Beispiele, bei denen der Mehrwert, den eine neue Software mit sich bringen sollte, daran scheiterte, dass der Endanwender zum Beispiel auf Grund einer unzureichenden Benutzungsoberfläche oder Nutzererfahrung nicht gewillt war, diese einzusetzen [10].

Deswegen sollte bei der Etablierung eines Digitalen Zwilling in einem Unternehmen, ganz gleich auf welcher Ebene und in welchem Grad, am Anfang die Frage gestellt werden: „Wie kann der Nutzer intuitiv mit dem Digitalen Zwilling interagieren?“. Die Beantwortung dieser Frage sollte in jedem Anwendungsfall dazu führen, dass der Endanwender willens ist, den Digitalen Zwilling so zu nutzen, dass Synergie-Effekte entstehen und das Potenzial bestmöglich ausgeschöpft wird.

Das bedeutet, im Vorfeld sollten genügend Ressourcen bereitgestellt werden, um ein nutzerzentriertes Bedienkonzept zu entwickeln. Laut Apitzsch et al. [11] zeichnet sich dies durch einen jederzeitigen Zugang zu den Daten aus, um beispielsweise den aktuellen Status selbst überprüfen zu können und nicht auf Abschlussberichte warten zu müssen. Des Weiteren haben die Teilnehmer der Studie geäußert, dass ein anpassbares Profil wichtig ist, durch welches die darzustel-

lenden Informationen definiert werden, sodass diese je nach Nutzer, Produkt oder Situation variiert werden können, zwecks Übersichtlichkeit und Fokussierung auf die eigentliche Aufgabe. Darüber hinaus sollte in der Benutzungsschnittstelle eine dreidimensionale Visualisierung des Digitalen Zwilling vorgesehen sein, die eine Verortung von Messwerten oder auch Fehlermeldungen ermöglicht.

Ein Mitarbeiter – egal ob in der Fertigung, Entwicklung, Beschaffung oder sonst einer Abteilung – versorgt bei der Interaktion mit einem Virtuellen Zwilling diesen direkt oder indirekt mit Daten, nutzt im Gegenzug aber auch dessen Daten für die Entscheidungsfindung. Hieraus ergeben sich zwei potentielle Probleme, von deren Vermeidung bzw. Lösung die Benutzerakzeptanz entscheidend abhängt.

Der Einsatz eines Digitalen Zwilling und eine auf dessen Daten basierte automatisierte Ableitung von Handlungsempfehlungen bieten die Chance bei der aktuellen Arbeitsmarktsituation auch niedriger qualifiziertes Personal einstellen zu können. Dem gegenüber steht aber das Risiko bzw. das Problem, dass langjährige, erfahrene und somit teurere Mitarbeiter Bedenken haben, dadurch gleichermaßen obsolet zu werden. Diese Bedenken wurden auch in einer Studie [11] geäußert. In dieser wurde von den Teilnehmern sogar gefordert, dass der Digitale Zwilling keine automatisierten Entscheidungen treffen dürfe, selbst wenn dies bedeutet, dass der Funktionsumfang des Digitalen Zwilling hinter seinen Möglichkeiten bliebe und der Nutzer als Verantwortlicher immer die letzte Entscheidung treffen sollte.

Das zweite Problem betrifft die möglichen Bedenken seitens der Mitarbeiter, ob nicht trotz der Einhaltung aller arbeits- und datenschutzrechtlichen Anforderungen von ihnen selbst indirekt ein Digitaler Zwilling erstellt wird. Unabhängig von der erwähnten gewissen Technophobie sollten in diesem Zusammenhang auch die generellen Hemmnisse bei der Umstellung von über Jahre etablierten Prozessen erwähnt werden.

Auf Grundlage dieser Tatsachen kann eine Abneigung gegenüber dem Digitalen Zwilling entstehen. Das bedeutet, dass bei der Einführung eines Digitalen Zwilling in der Mitarbeiterschulung nicht nur auf technische Aspekte eingegangen werden muss, sondern auch auf

die damit zusammenhängende Veränderung des Arbeitsalltags. Im Mittelpunkt sollte die Frage stehen: „Welchen Mehrwert hat der Nutzer von einem Digitalen Zwilling?“, um den Bedenken der Endanwender entgegen zu wirken, sodass diese gewillt sind, den Digitalen Zwilling vollumfänglich zu nutzen und auch den Nutzen für sich sehen.

Zusammenfassung

Der Digitale Zwilling kann ein leistungsfähiges Instrument sein, um verschiedene neue Herausforderungen zu meistern und einen Mehrwert gegenüber einfacher Datenhaltung darstellen, indem eine aktive Datenauswertung stattfindet. Er kann vollständig in den Lebenszyklus von Produkten eingebunden werden und verschiedene Herausforderungen, wie z. B. die Nachverfolgbarkeit, lösen. Damit aber eine Umsetzung in einem produktiven Umfeld gelingt, müssen verschiedene Punkte, wie z. B. die Benutzerakzeptanz oder technische Einschränkungen, beachtet werden. Beim Aufbau eines Digitalen Zwillings ist es zwingend notwendig, diese Grenzen der zu digitalisierenden Systeme und Prozesse zu kennen. Der Digitale Zwilling muss mit den Realdaten verbunden sein. Die Erfassung und Auswertung dieser Informationen stellt mitunter eines der größeren Probleme dar. Beispielsweise kann bei einem Einsatz in einem altersmäßig gemischten Maschinenpark, bei unzureichender Standardisierung von Schnittstellen oder einem großen Aufkommen von Datenmengen der Digitale Zwilling ein komplexes Konstrukt werden. Es empfiehlt sich daher, vor der Einführung eines solchen, Experten aus allen Unternehmensbereichen zu befragen, um eine ganzheitliche Sicht auf die mögliche Umsetzung zu bekommen. Weiterhin hilft es, mit Spezialisten aus der Forschungslandschaft eine ausgiebige Diskussionsrunde zu führen, um für zukünftige Entwicklungen und Trends gewappnet zu sein. Einer dieser Trends und die daraus folgenden nächsten Schritte sind der Einsatz von Künstlicher Intelligenz. Das System des Digitalen Zwillings wird sich in den nächsten Jahren weiter etablieren und sich zu einem leistungsstarken Werkzeug entwickeln. Es empfiehlt sich, einen flächendeckenden Einsatz im Unternehmen trotz aller gezeigten Herausforderungen anzustreben.

Literatur

1. Klostermeier, R.; Haag, S.; Benlian, A.: Digitale Zwillinge – Eine explorative Fallstudie zur Untersuchung von Geschäftsmodellen. HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik 55 (2018) 2, S. 297–311
DOI: 10.1365/s40702-018-0406-x
2. Brade, J.; Posdchich, M.; Klimant, P.: Prozessübergreifende Fertigung von metallischen Hochleistungsbauteilen. ZWF 112 (2017) 3, S. 122–125,
DOI: 10.3139/104.111672
3. Huber, W.: Industrie 4.0 kompakt – Wie Technologien unsere Wirtschaft und unsere Unternehmen verändern. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2018
DOI: 10.1007/978-3-658-20799-1
4. 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. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2017, S. 85–113
DOI: 10.1007/978-3-319-38756-7_4
5. Cai, Y.; Starly, B.; Cohen, P.; Lee, Y.-S.: Sensor Data and Information Fusion to Construct Digital-twins Virtual Machine Tools for Cyber-physical Manufacturing. Procedia Manufacturing 10 (2017), S. 1031–1042
DOI: 10.1016/j.promfg.2017.07.094
6. Winkler, S.; Schumann, M.; Klimant, P.: Vom Digitalen zum Virtuellen Zwilling. ZWF 114 (2019) 10, S. 669–672
DOI: 10.3139/104.112170
7. Dejan, T.: OPC-UA Kommunikation ed. Digitalization Days 2017: Siemens AG 2017, 2017, S. 32
8. Klimant, P.; Klimant, F.; Allmacher, C.; Putz, M.: Trends der virtuellen und erweiterten Realität mit dem Fokus auf virtueller Inbetriebnahme. VAR² 2019 – Realität erweitern, 2019
9. DIN EN ISO: DIN EN ISO 9001 Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen (ISO 9001:2015). Beuth Verlag, Berlin 2015
10. Stone, D.; Jarrett, C.; Woodroffe, M.; Minocha, S.: User Interface Design and Evaluation. Morgan Kaufmann, Los Altos, CA, 2005
11. Apitzsch, R.; Brade, J.; Winkler, S.; Cassing, K.; Klimant, P.: Anforderungen an den Virtuellen Zwilling aus Nutzersicht. ZWF 113 (2018) 1/2, S. 67–70
DOI: 10.3139/104.111859

Die Autoren dieses Beitrags

M.Sc. Sven Winkler studierte zunächst Print und 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.

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.

Dipl.-Ing. René Apitzsch studierte Maschinenbau an der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg. Als Wissenschaftlicher Mitarbeiter ist er seit 2013 am Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozesse an der TU Chemnitz tätig und beschäftigt sich im Projekt AMARETO mit der Entwicklung des Virtuellen Zwillings.

Franziska Klimant studierte an der Technischen Universität Chemnitz Wirtschaftsingenieurwesen mit der Vertiefungsrichtung Maschinenbau. Seit September 2008 ist sie wissenschaftliche Mitarbeiterin im Bereich Virtueller Technologien an der Professur Werkzeugmaschinenkonstruktion und Umformtechnik an der TU Chemnitz. Dort leitet sie seit April 2019 die Abteilung Prozessinformatik und Virtuelle Produktentwicklung. Ihre Forschungsschwerpunkte liegen in der Anwendung von Virtual und Augmented Reality für ergonomische und sicherheitstechnische Fragestellungen sowie für Schulungs- und Trainingsszenarien.

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“ (eniPROD). 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 Geschäftsführer der Obergeringenieur der Professur Werkzeugmaschinenkonstruktion und Umformtechnik und Hauptabteilungsleiter Smarte Fabrik – Digitalisierung und Automatisierung am Fraunhofer IWU.

Bibliography

DOI 10.3139/104.112328

ZWF 115 (2020) Special; page 121–124

© Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG
ISSN 0947–0085