

# Interoperabilität als Erfolgsfaktor für die vernetzte, adaptive Produktion

Kollaboration von Enablern und Anwendern in sieben interdisziplinären Themenfeldern als Erfolgsfaktor für die Digitalisierung der Produktion

Raphael Kiesel,  
Mario Pothen,  
Kristian Arntz,  
Thomas Bergs und  
Robert H. Schmitt, Aachen

Das Wertschöpfungspotenzial der digitalisierten Produktion in Deutschland ist unumstritten. Um dieses Potenzial auszuschöpfen, ist die Interoperabilität aller Akteure elementar. Zum einen bedarf es einer organisatorischen Interoperabilität, welche die Rollen aller beteiligten Akteure definiert. Zum anderen ist eine semantische Interoperabilität notwendig, welche das Vokabular eindeutig festlegt. Ein Ansatz für eine erfolgreiche Interoperabilität wird in diesem Beitrag dargestellt.\*)

Das Potenzial der Digitalisierung und Vernetzung der Produktion ist unumstritten: Die Wertschöpfungssteigerung zwischen 2013 und 2025 wird allein im verarbeitenden Gewerbe in Deutschland auf 62 Mrd. Euro geschätzt. Diese jährliche Steigerung von ca. 2,1 Prozent resultiert insbesondere aus der zunehmenden Adaptivität der Wertschöpfungsketten [1]. Wertschöpfungsketten werden somit flexibler und anpassungsfähiger, was in steigender Effizienz resultiert [2].

Zur flexiblen und effizienten Gestaltung der Wertschöpfungsketten ist die Interoperabilität aller Akteure eine strategische Schlüsselkomponente. Erst ein hohes Maß an Interoperabilität, zu der sich alle Partner bekennen und gleichermaßen beitragen, gewährleistet die direkte operative und prozessuale Vernetzung über Unternehmens- und Branchengrenzen hinweg [3, 4]. Im Fall der Digitalisierung und Vernetzung der Produktion ist eine Interoperabilität zwischen dem verarbeitenden Gewerbe und den Unternehmen der Informations- und Kommuni-

nikationstechnik (IKT), denen zwischen 2013 und 2025 ein zusätzliches Wertschöpfungspotenzial von 14 Milliarden Euro (1,2 % pro Jahr bis 2025) vorausgesagt wird, von elementarer Bedeutung [1, 3, 4].

## Organisatorische Interoperabilität: Rollendefinition im digitalen Ökosystem

Da es sich sowohl beim verarbeitenden Gewerbe als auch der IKT um zwei sehr umfassende Branchen handelt, müssen im Sinne einer erfolgreichen organisato-

rischen Interoperabilität zunächst die Rollen aller beteiligten Akteure definiert werden, um die Basis für ein digitales Ökosystem zu schaffen [3, 5]. Daher wurden im Fraunhofer Leistungszentrum „Vernetzte, Adaptive Produktion“ und dem „International Center for Networked, Adaptive Production“ (ICNAP) in Zusammenarbeit mit Industriepartnern jene Rollen definiert, die für die erfolgreiche Realisierung der vernetzten, adaptiven Produktion notwendig sind. Bild 1 stellt diese Rollen dar, welche in folgende drei Hauptkategorien aufgeteilt sind:

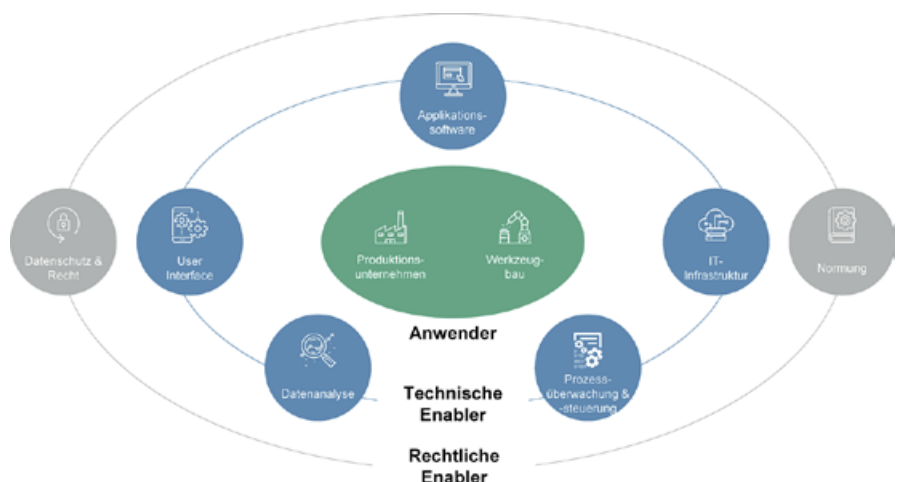


Bild 1. Beteiligte Akteure für eine erfolgreiche Realisierung der vernetzten, adaptiven Produktion

### \*) Danksagung

Die Autoren danken dem Ministerium für Kultur und Wissenschaft des Landes Nordrhein-Westfalen für die Förderung des Leistungszentrums „Vernetzte, Adaptive Produktion“.

- Anwender,
- Technische Enabler und
- Rechtliche Enabler.

Die „Anwender“ umfassen die Produktionsunternehmen sowie den Werkzeugbau. Diese setzen maßgeblich die Lösungen der IKT-Branche ein, um ihre Prozesse effizienter zu gestalten. Die Kategorie „Technische Enabler“ besteht aus fünf Unterkategorien: Applikationssoftware (z.B. CAD- oder MES-Anbieter), IT-Infrastruktur (z.B. Cloudanbieter), Prozessüberwachung und -steuerung (z.B. Sensorhersteller), Datenanalyse (z.B. Data-mining-Unternehmen) und User Interfaces (z.B. App-Anbieter). Neben den „Technischen Enablern“ bedarf es noch der „Rechtlichen Enabler“. Sie bilden die Hülle des Ökosystems und werden durch Unternehmen aus dem Bereich der Normung und Standardisierung, sowie Datenschutz und Recht repräsentiert. Insbesondere die rechtlichen Rahmenbedingungen sind notwendig, um die Basis für eine offene Zusammenarbeit in einem digitalen Ökosystem zu gewährleisten [6].

### Semantische Interoperabilität: Einheitliche Definition von sieben Themenfeldern

Neben der Definition der Rollen ist auch eine Definition der Themen von elementarer Bedeutung. Einerseits wird so ein einheitliches Verständnis für die Begrifflichkeiten im Zusammenhang mit der vernetzten, adaptiven Produktion geschaffen. Andererseits stellt dies die Basis für die Formulierung einer gemeinsamen Vision für die vernetzte, adaptive Produktion dar. Im Leistungszentrum „Vernetzte, Adaptive Produktion“ und dem ICNAP werden daher sieben aufeinander aufbauende Themenfeldern in den Fokus der Forschungsaktivitäten gestellt, durch die es gelingen soll, die Wertschöpfungsketten zur Herstellung komplexer und individualisierter Produkte deutlich flexibler und effizienter als bisher zu gestalten. Die sieben Themenfelder sind in Bild 2 dargestellt. Ihre Definition sowie aktuelle Forschungsaktivitäten werden in der Folge definiert.

#### Sensorsysteme und Datenerfassung

Der erste Schritt auf dem Weg zur vernetzten, adaptiven Produktion ist die Datenerfassung. Dafür muss zunächst geprüft werden, welche Daten direkt in der Steuerung der Produktionsmaschine und welche Daten nur anhand zusätzlicher

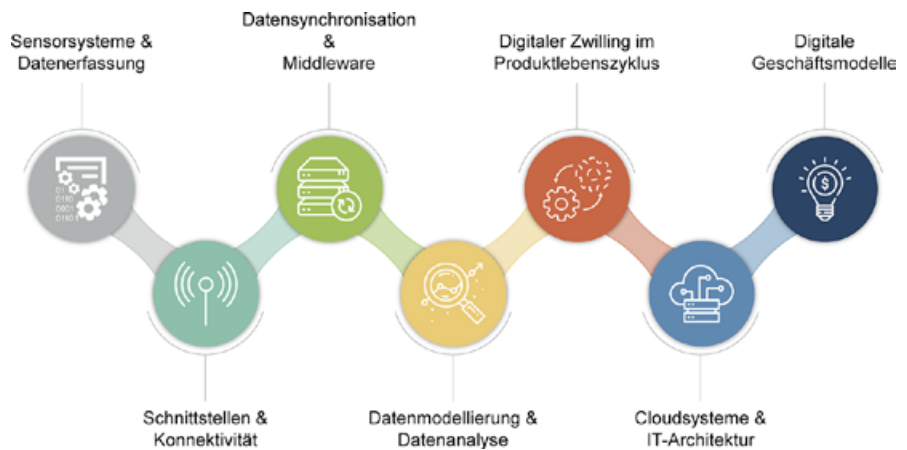


Bild 2. Themenfelder der vernetzten, adaptiven Produktion

Sensoren erhoben werden können. Herkömmliche Produktionsmaschinen haben bereits vielfältige interne Sensoren verbaut, die zum Beispiel zur internen Lageregelung einer Achse oder zur Statuserfassung dienen. In einem ersten Schritt können die über diese Sensoren aufgenommenen Daten mittels Schnittstellen nach außen geführt werden. Über spezielle Protokolle können die erfassten Daten anschließend an weiterverarbeitende Systeme übertragen werden. Für manche Zustands- und Prozessdaten müssen zusätzliche Sensoren integriert werden. Dabei ist genau auf die Zielsetzung der Datennutzung zu achten und dementsprechend der Sensor auszuwählen. Dies können beispielsweise eine Echtzeitregelung des Prozesses, die Erfassung der Bauteilqualität oder Predictive Maintenance einer Maschinenachse sein. Ein zusätzlicher Sensor kann zum Beispiel ein Beschleunigungssensor am Werkstück oder ein direkt in eine Spindelaufnahme integrierter Körperschallsensor sein. Diese Sensoren werden häufig als Smarte Sensoren ausgeführt. Dies bedeutet, dass eine in den Sensoren integrierte Elektronik eine Datenvorverarbeitung ermöglicht, womit eine Datenreduzierung oder eine Kalibrierung direkt am Sensor durchgeführt werden kann. Mittels Transceiver ist auch eine direkte Datenübertragung zum Beispiel an ein 5G-Netzwerk möglich.

#### Schnittstellen und Konnektivität

Ist die Erhebung der Daten realisiert, so gilt es, diese Daten nutzergerecht zur Verfügung zu stellen. Dafür bedarf es eines zuverlässigen und sicheren Kommunikationssystems in der Produktion. So muss fallabhängig analysiert werden,

welchen Ansprüchen das Kommunikationssystem für die Produktion genügen muss, beispielsweise hinsichtlich IT-Sicherheit, Datenrate, Latenz, Jitter oder Quality of Service. Insbesondere bei qualitätskritischen Überwachungs- und Kontrollprozessen, wie z.B. in der Luftfahrtindustrie, spielt eine verlässliche, echtzeitnahe Kommunikation eine wichtige Rolle. Neue Technologien, wie beispielsweise der zukünftige Telekommunikationsstandard 5G, können dabei bisher unbekannte Potenziale in der Produktion freisetzen. So betreibt das Fraunhofer IPT in Kooperation mit Ericsson eine einzigartige, produktionsnahe Testumgebung für den zukünftigen Mobilfunkstandard 5G. Innerhalb des ICNAP werden hier industrielle Anwendungsszenarien auf Basis des drahtlosen Übertragungsstandards getestet und weiterentwickelt, um so das Potenzial der Technologie für die Produktion abzuleiten und zu bewerten [7].

#### Datensynchronisation und Middleware

Nachdem die Kommunikation innerhalb der Produktion hergestellt ist, müssen die Daten aus unterschiedlichen Quellen zeitlich synchron und mit unterschiedlichen Aufnahmefrequenzen normiert abgelegt werden. Zur infrastrukturellen Unterstützung dieser Aufgaben werden Entwicklungen aus dem Bereich der Informatik genutzt und erweitert. Ein typisches Werkzeug dabei ist die „Middleware“. Die Middleware kann als eine Softwareschicht zwischen dem Betriebssystem und diversen Anwendungsprogrammen definiert werden, die eine gemeinsame Abstraktion der Programmierung in einem verteilten System ermöglicht. Diese Schicht versucht in erster Linie die

Komplexität der zugrundeliegenden Netzwerkumgebung zu verbergen, indem sie spezielle Übertragungsprotokolle, Schnittstellen und Netzwerkkomponenten vor dem Benutzer kaschiert. Darüber hinaus maskiert die Middleware die Heterogenität von Computerarchitekturen, Betriebssystemen, Programmiersprachen und Netzwerktechnologien, um die Programmierung und Verwaltung von Anwendungen zu erleichtern. Die Middleware stellt zudem die bereits beschriebene Synchronisierung von Daten aus verschiedenen Datenquellen mit teilweise unterschiedlichen Aufnahmefrequenzen sicher. Dies ist eine unbedingte Voraussetzung vor der weiteren Analyse der Daten. Während der Synchronisierung wird zusätzlich eine Vereinheitlichung im Hinblick auf Einheiten und Formate geschaffen.

#### Datenmodellierung und Datenanalyse

Um aus den aufgenommenen Daten Informationen und Wissen zu generieren, muss der betrachtete Prozess modelliert und schließlich analysiert werden. Gerade die Datenanalyse mithilfe von maschinellem Lernen (ML) steht hier im Fokus der Forschung und verspricht ein enormes Potenzial. Projekte, welche die Vorteile der Anwendung von ML in der Produktion nutzen, wurden bereits erfolgreich realisiert. Eine grundlegende Hürde für die Skalierung von ML-basierten Projekten im Produktionsumfeld ist jedoch der nach wie vor große Bedarf an Expertenwissen – sowohl aus der Fertigung als auch den Datenwissenschaften. Ein möglicher Lösungsansatz für dieses Problem ist das sogenannte „AutoML“, welches die Automatisierung von gewissen Vorgängen der ML-Pipeline beschreibt. Für die Automatisierung geeignete Vorgänge sind die Datenintegration (data integration), Datenaufbereitung (data preparation), Modellierung (modelling) und die Bereitstellung (deployment) [8, 9].

Die meisten der verfügbaren AutoML-Ansätze berücksichtigen jedoch nicht die domänenspezifischen Anforderungen, die zur erfolgreichen Durchführung von ML-Projekten notwendig sind. Um diese produktionspezifischen Anforderungen zu berücksichtigen, hat das Fraunhofer IPT eine AutoML-Pipeline für die Produktion entwickelt, welche innerhalb des Leistungszentrums und ICNAP Anwendung findet. Die Besonderheit bei dieser Pipeline ist, dass im Sinne der Interoperabilität genau definiert wurde, an wel-

cher Stelle der ML-Pipeline das Expertenwissen aus der Fertigung und jenes aus der Datenwissenschaft bereitgestellt werden muss, um so den Prozess bestmöglich skalieren zu können [8, 9].

#### Digitale Zwillings im Produktlebenszyklus

Um die aufgenommenen Informationen und das gewonnene Wissen entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu speichern und nutzen zu können, müssen die relevanten Daten zusammengeführt und miteinander in Beziehung gesetzt werden. Hierfür eignet sich das Konzept des „Digitalen Zwillings“. Ein wesentliches Merkmal des im Leistungszentrum und ICNAP entwickelten Konzepts des „Digitalen Zwillings“ ist die Datenerfassung über den gesamten Lebenszyklus des physischen Gegenstücks – von der Entwicklung, über die Produktion, den Betrieb bis hin zum Recycling. Basis für den Digitalen Zwilling sind der Soll-Zwilling und der Digitale Schatten. Der Soll-Zwilling umfasst definierte Soll-Daten, wie z. B. technische Spezifikationen und CAX-Daten. Der Digitale Schatten enthält hingegen ausschließlich reale Daten, die während des gesamten Lebenszyklus des physischen Gegenstücks entstehen [11]. Dies sind zum Beispiel Positions- oder Temperaturdaten. Der Digitale Zwilling führt anschließend den Soll-Zwilling mit den Realdaten zusammen. Als Ergebnis entsteht ein digitales, individuelles Abbild jedes realen Prozesses im Produktlebenszyklus, mit dem es gelingen kann, die Prozesse zielgerichtet und anwendergerecht zu visualisieren, zum Beispiel hinsichtlich qualitätskritischer Parameter. Neben der Visualisierung lassen sich aus dem gewonnenen Wissen zudem Handlungsempfehlungen und Feedbackstrategien für die Produktion ableiten.

#### Cloud-Systeme und IT-Architektur

Um die beschriebenen digitalen Werkzeuge erfolgreich zu implementieren und die Adaptivität der Produktion zu realisieren, bedarf es neben flexiblen Prozessen auch modulare und flexible Softwarelösungen. Cloud-Systeme haben das Potenzial, diese flexiblen Softwarelösungen zu betreiben. Cloud-Systeme lassen sich dabei in drei Kategorien aufteilen: Public-, Private- und Hybrid-Cloud. Die Public-Cloud wird von externen Dienstleistern gehostet und bietet Zugang zu abstrahierten IT-Infrastrukturen. Häufig umfassen diese Clouds bereits gewisse Services, sind stets auf dem

neuesten Standard und werden extern gewartet, wodurch sich der administrative Aufwand auf Seiten der Anwender reduziert. Gerade für KMU, die nicht über große IT-Abteilungen verfügen, ist dies ein großer Vorteil. Das größte Hindernis bzw. das größte Bedenken bei der Public-Cloud ist die Sicherheit: Obwohl die großen Cloud-Anbieter mittlerweile strenge Sicherheitsstandards erfüllen, sind diese teilweise nicht von den Unternehmen akzeptiert. Die Private-Cloud wird ausschließlich für eine Organisation betrieben, häufig im firmeneigenen Rechenzentrum. Ein Beispiel ist das Virtual Fort Knox, welches eine von Fraunhofer entwickelte offene Cloud-IT-Infrastruktur ist. Größten Wert wurde in der Entwicklung auf Sicherheitsaspekte gelegt. So werden die im Forschungsumfeld entwickelten Applikationen direkt im Institut gehostet und betrieben. Der modulare Aufbau des Virtual Fort Knox sorgt für ein mit den Anforderungen wachsendes System. Durch die Nutzung von Standard-Cloud-Mechanismen wird jederzeit die Übertragbarkeit auf andere Cloud-Systeme sichergestellt. Die Hybrid-Cloud bietet einen kombinierten Zugang zu einer Public- bzw. Private-Cloud. Geheimhaltungsbedürftige Daten können beispielsweise in der Private-Cloud verarbeitet werden, nicht personenbezogene Daten dagegen in der Public-Cloud. Die Public-Cloud bietet außerdem eine größere Flexibilität im Falle von Bearbeitungsspitzen, sodass sie zur Lastunterstützung der Private-Cloud herangezogen werden kann [10].

#### Digitale Geschäftsmodelle

Vernetzte, adaptive Systeme verbessern die Produktion nicht nur durch zusätzliches Wissen, sondern ermöglichen durch die Datenverfügbarkeit neue Formen der Wertschöpfung. So können die Daten genutzt werden, um die physischen Produkte um sogenannte datengetriebene Modelle zu erweitern. Datengetriebene Geschäftsmodelle wie „Subskriptionsmodelle“ und „Pay-per-Use“ bieten die Möglichkeit, nachhaltige Wettbewerbsvorteile zu erzielen. Um solche Modelle zu realisieren, sind drei Herausforderungen zu lösen: die Extraktion, die Veredelung und die effektive Nutzung der Daten. Zunächst muss sichergestellt werden, dass die gewünschten Daten für ein datengetriebenes Geschäftsmodell überhaupt gewonnen werden können. Ist dies sichergestellt, sind die Daten zu veredeln, das heißt es muss die richtige Ar-



Themenfeld	Kernfrage
Sensorsysteme & Datenerfassung	Wie werden alle relevanten Daten entlang der Prozesskette erfasst?
Schnittstellen & Konnektivität	Wie kommunizieren die beteiligten Akteure und Systeme in der Produktion miteinander?
Datensynchronisation & Middleware	Wie werden die Rohdaten zeitlich synchronisiert und mit Informationen angereichert?
Datenmodellierung & Data Analytics	Wie werden die relevanten Daten ausgewählt und mit welchen Methoden wird Wissen aus ihnen generiert?
Digitale Zwillings im Produktlebenszyklus	Wie werden Informationen und Wissen entlang des Produktlebenszyklus digital zusammengeführt und visualisiert?
Cloudsysteme & IT-Architektur	Wie wird die geeignete Infrastruktur ausgewählt und die vorhandenen Systeme an diese angebunden?
Digitale Geschäftsmodelle	Wie werden digitale Geschäftsmodelle entwickelt und in das traditionelle Leistungsportfolio integriert?

Tabelle 1. Themenfelder und Kernfragen für die Interoperabilität in der vernetzten, adaptiven Produktion

chitektur entwickelt werden, damit ein zusätzlicher Wert geschaffen wird. Als drittes müssen diese Daten auch effektiv genutzt werden, um so das eigentliche Geschäftsmodell zu nutzen.

### Fazit: Definierte Rollen und Themenfelder als Basis für die Interoperabilität

Der Beitrag zeigt, dass die Interoperabilität zwischen den an der Digitalisierung beteiligten Partnern von elementarer Bedeutung ist. Neben der klaren Rollendefinition aller beteiligten Akteure ist das gemeinsame Themenverständnis entscheidend. Dafür wurden sieben Themenfelder definiert. Tabelle 1 fasst die Themenfelder, sowie die zu beantwortende Kernfrage des jeweiligen Themenfeldes zusammen. Erfolgreiche Projekte und Demonstratoren innerhalb des Fraunhofer Leistungszentrum „Vernetzte, Adaptive Produktion“, sowie dem International Center for Networked Adaptive Production (ICNAP) zeigen die Bedeutung der Rollen und Themen.

### Literatur

- Bauer, W.; Horváth, P.: Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland. Controlling 27 (2015) 8/9, S. 515–517  
DOI: 10.15358/0935-0381-2015-8-9-515
- Klocke, F.; Bergs, T.; Bobeck, T.; Huwer, T.; Liu, G.; Pothen, M.; Staasmeyer, J.-H.; Winands, K.: Vernetzte adaptive Produktion. In: Brecher, C.; Klocke, F.; Schmitt, R.H. (Hrsh.): Internet of Production für agile Unternehmen – AWK Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium 2017, Vol. 18. Apprimus Verlag, Aachen 2017, S. 263–285
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Leitbild 2030 für Industrie 4.0 – Digitale Ökosysteme global gestalten. Druck- und Verlagshaus Zarbock GmbH & Co. KG, Frankfurt a.M. 2019

- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Interoperabilität – Unsere Vision für Industrie 4.0: Maschinen sprechen in vernetzten digitalen Ökosystemen interoperabel miteinander (Positionspapier). BMWi, München 2019
- Kagermann, H.; Anderl, R.; Gausemeier, J.; Schuh, G.; Wahlster, W.: Industrie 4.0 im globalen Kontext: Strategien der Zusammenarbeit mit internationalen Partnern. Herbert Utz Verlag, München 2016
- Reusch, P.: Beim Internet der Dinge gibt es viele rechtliche Hürden. Markt und Mittelstand, Ausgabe Oktober 2018. Online unter <https://www.marktundmittelstand.de/recht-steuern/beim-internet-der-dinge-gibt-es-viele-rechtliche-huerden-1279131/>
- Kiesel, R.; Massonet, A.; Zhou, B.; Heutmann, T.; Schmitt, R.H.: Industrie 4.0 – Kommunikationssystem für die Produktion der Zukunft. Digital Manufacturing, 10. Mai 2019
- Krauß J.; Frye M.; Beck, G.T.D.; Schmitt R.H.: Selection and Application of Machine Learning – Algorithms in Production Quality. In: Beyerer, J.; Kühnert, C.; Niggemann, O. (Hrsg.): Machine Learning for Cyber Physical Systems. Technologien für die intelligente Automation (Technologies for Intelligent Automation), vol 9. Springer-Vieweg-Verlag, Wiesbaden 2019.  
DOI: 10.1007/978-3-662-58485-9\_6
- Krauß J.; Dorißen J.; Mende H.; Frye M.; Schmitt R.H.: Machine Learning and Artificial Intelligence in Production: Application Areas and Publicly Available Data Sets. In: Wulfsberg, J.; Hintze, W.; Behrens, B.A. (Hrsg.): Production at the Leading Edge of Technology. Springer-Vieweg-Verlag, Wiesbaden 2019  
DOI: 10.1007/978-3-662-60417-5\_49
- Goyal, S.: Public vs Private vs Hybrid vs Community – Cloud Computing: A Critical Review. International Journal of Computer Network and Information Security 6 (2014) 3, S. 20–29  
DOI: 10.5815/ijcnis.2014.03.03
- Massonet, A.; Kiesel, R.; Schmitt, R.H.: Der Digitale Zwillings über den Produktlebenszyklus. ZWF 115 (2020) Special, S. 97–100  
DOI: 10.3139/104.112324

### Die Autoren dieses Beitrags

Raphael Kiesel, geb. 1991, ist seit Mai 2018 Leiter der Gruppe Vernetzte Produktions-IT am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie und Manager der Community des „International Center for Networked, Adaptive Production“.

Dr.-Ing. Mario Pothen, geb. 1983, ist seit Januar 2018 Kompetenzfeldleiter für Digitalisierung und Vernetzung am Fraunhofer IPT, sowie Leiter des Fraunhofer Leistungszentrums für „Vernetzte, Adaptive Produktion“.

Dr.-Ing. Kristian Arntz, geb. 1978, ist seit April 2019 Leiter der Abteilung „Nichtkonventionelle Fertigungsverfahren und Technologieintegration“ am Fraunhofer IPT.

Prof. Dr.-Ing. Thomas Bergs, geb. 1967, ist seit Juni 2018 Inhaber des Lehrstuhls für Technologie der Fertigungsverfahren am Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen und Leiter des Bereichs Prozesstechnologie am Fraunhofer IPT.

Prof. Dr.-Ing. Robert H. Schmitt, geb. 1961, ist seit Juli 2004 Inhaber des Lehrstuhls für Fertigungsmesstechnik und Qualitätsmanagement am Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen und Leiter des Bereichs Produktionsqualität und Messtechnik am Fraunhofer IPT.

### Summary

Interoperability as a Factor of Success for Networked, Adaptive Production. The potential of digitised production in Germany is undisputed. In order to exploit this potential, the interoperability of all actors is elementary. On the one hand, there is a need for organisational interoperability that defines the roles of all actors involved. On the other hand, semantic interoperability, which clearly defines the vocabulary, is necessary. An approach for successful interoperability is presented in this article.

### Bibliography

DOI 10.3139/104.112280

ZWF 115 (2020) 5; page 344–347

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