

Industrie 4.0 mit dem „Digitalen Zwilling“ gestalten

Eine methodische Unterstützung bei der Auswahl der Anwendungen

Claas Steffen Gundlach und Alexander Fay, Helmut-Schmidt-Universität Hamburg

Der Beitrag stellt eine Methode zur systematischen Auswahl von Anwendungen eines „Digitalen Zwillings“ für ein Produkt eines Herstellers vor. Ausgehend von einer von diesem Produkt unabhängigen Recherche von Realisierungen „Digitaler Zwillinge“ werden Anwendungsfälle für das Produkt spezifiziert und ausgewählt. Die Recherche ist Grundlage der Methode, die unterteilt in drei Phasen eine detaillierte Modellierung dieser Anwendungen ermöglicht. Ergebnis dieser Modellierung ist ein tiefgehendes Verständnis der Anwendungsfälle selbst und ihrer Anforderungen, speziell Informationsforderungen, an den „Digitalen Zwilling“ des Produkts. Diese Erkenntnisse ermöglichen im Weiteren eine effiziente Konzeptionierung und Implementierung des virtuellen Abbilds des Produkts und können Grundlage der Optimierung der bestehenden Wertschöpfungskette sein.

Die Transformation und Evolution der industriellen Wertschöpfung der Unternehmen nach dem Leitbild der Industrie 4.0 verändern durch die zunehmende Digitalisierung und Vernetzung die bekannten Geschäftsprozesse. Die effiziente und effektive Nutzung der Produkt- und Produktionsdaten ist dabei von zentraler Bedeutung für eine erfolgreiche Unternehmensentwicklung. Der „Digitale Zwilling“ eines Produkts kann bei der durchgängigen Nutzung von Daten, Informationen und Wissen zu einem Produkt über den gesamten Lebenszyklus eine zentrale Rolle einnehmen. Die bisher hierzu realisierten Anwendungen sind allerdings ausschließlich unternehmens- und produktspezifisch und für weitere Anwendungen nur bedingt beispielgebend [1].

Es stellt sich daher für viele Unternehmen die Frage: Was kann ein „Digitaler Zwilling“ meines Produkts leisten und wie kann ich ihn sinnvoll einsetzen?

Dieser Beitrag soll bei der Identifikation von Anwendungen für den „Digitalen Zwilling“ eines spezifischen Produkts unterstützen. Es soll eine Methode dargestellt werden, die es ermöglicht, Anwendungen zu finden und systematisch eine geeignete Auswahl zu treffen. Diese Auswahl von Anwendungen definiert im weiteren Lebenszyklus des Produkts das Einsatzspektrum und den dafür notwendigen Informationsumfang, der durch den „Digitalen Zwilling“ gewährleistet werden muss.

Heterogenes Verständnis des „Digitalen Zwillings“

Die Entstehung des Begriffs eines „Digitalen Zwillings“ wird auf Dr. Michael Grieves 2002 an der University of Michigan und die US-Raumfahrtbehörde NASA 2011 zurückgeführt. Umfasste der „Digitale Zwilling“ zunächst noch im Wesentlichen Simulationen für die Repräsentation des abgebildeten Systems, entwickelte sich das Verständnis weiter. Heute wird unter dem „Digitalen Zwilling“ die „digitale Repräsentation eines [...] Produktes [...] innerhalb eines einzelnen oder über verschiedene Lebenszyklen hinweg anhand von Modellen, Informationen und Daten“ [2] verstanden. Diese Definition der Plattform Industrie 4.0 ist allgemein akzeptiert und bildet die Grundlage dieses Beitrages.

Es ist es nachvollziehbar, dass die spezifischen Anwendungen für die digitale Repräsentanz eines Produktes die individuelle Gestalt, die Eigenschaften und die Fähigkeiten prägen und bereits bei der Konzeptionierung zu berücksichtigen sind [2, 3]. Diese produktspezifischen Anwendungen jedes „Digitalen Zwillings“ bedingen eine heterogene Sicht auf die Gestalt, die Eigenschaften und die Fähigkeiten dieser Abbilder und erschweren einen durchgängigen industriellen Einsatz. So konnten sich bisher auch keine Me-

How to Design Industry 4.0 by the “Digital Twin”

The paper presents a method for the systematic selection of “Digital Twin” applications of products. Based on a product-independent search of implementations, potential use cases for the product’s “Digital Twin” are specified and selected. This selection of applications forms the basis of the method, which allows a detailed modeling in two phases. The result of this modeling is an in-depth understanding of the use cases themselves and their requirements, especially information requirements, on the “Digital Twin” of the product. Furthermore, these findings enable an efficient conception and implementation of the virtual image of the product and can be the basis for optimizing the existing value chain.

Keywords:

industry 4.0, digitalization, digital twin



M. Sc. Claas Steffen Gundlach arbeitet seit 2018 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Automatisierungstechnik der Helmut-Schmidt-Universität Hamburg.



Prof. Dr.-Ing. Alexander Fay ist Leiter des Instituts für Automatisierungstechnik der Helmut-Schmidt-Universität Hamburg und Mitglied im wissenschaftlichen Beirat der Plattform Industrie 4.0 und Vorstandsmitglied der VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA).

CSGundlach@hsu-hh.de
www.hsu-hh.de/aut



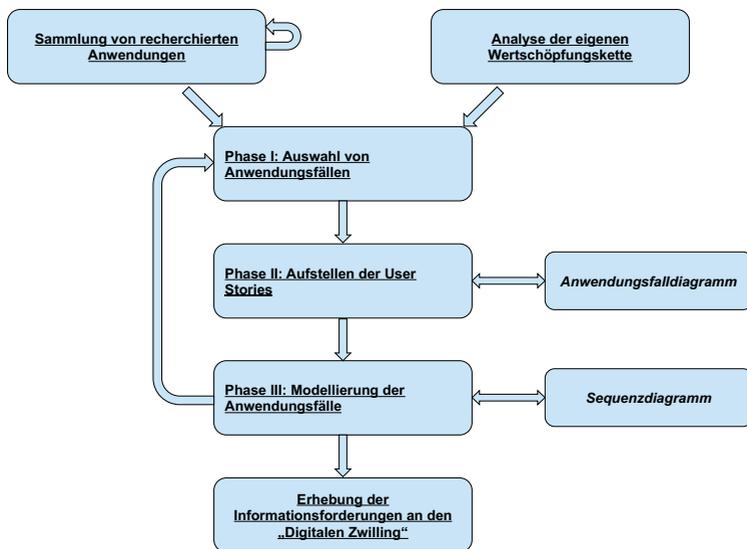


Bild 1: Vorgehensweise zur Auswahl unternehmensspezifischer Anwendungsfälle des „Digitalen Zwillings“.

Methoden zur allgemeinen Konzeptionierung und Nutzung eines „Digitalen Zwillings“ etablieren.

Methodische Auswahl von unternehmensspezifischen Anwendungen

Im Folgenden wird eine Vorgehensweise vorgestellt, die es ermöglicht, unternehmensspezifische Anwendungsfälle des „Digitalen Zwillings“ für das eigene Produkt auszuwählen, dargestellt in Bild 1. Die frühzeitige Auswahl begünstigt eine zielorientierte Konzeption des Produktzwillings und schafft die Voraussetzung durch die anschließende Modellierung der Anwendungen ein tiefgehendes Systemverständnis zu erhalten.

Das Vorgehen ist in drei Phasen unterteilt und iterativ aufgebaut, um stufenweise die gewünschte Detaillierung und Genauigkeit zu erarbeiten. Voraussetzung ist eine früher recherchierte Sammlung von produktspezifischen Anwendungsfällen des „Digitalen Zwillings“. Die Vorbereitung der Methode wird durch die Analyse der eigenen Wertschöpfungskette ergänzt, um die Stärken und Schwächen des Produkts zu identifizieren. Dieses Vorgehen orientiert sich an dem Modellierungswerkzeug SYMOD des modellbasierten System Engineerings (MBSE) und wird herangezogen, um die Anwendungen zunächst detailliert zu beschreiben und im Weiteren die Informationsflüsse und ihre Schnittstellen zu erfassen, die Grundlage der Architektur des „Digitalen Zwillings“ sind. [4] In der ersten Phase werden die möglichen Anwendungsfälle des „Digitalen Zwillings“ in den Produktlebenszyklus eingeordnet. Dies ermöglicht eine unternehmensspezifische Bewertung der gesammelten Fälle. Auf dieser Basis erfolgt eine Auswahl der attraktivsten möglichen Anwendungen. In der zweiten Phase werden aus den Beschreibungen der ausgewählten Anwendungsfälle die eigenen Erwartungen abgeleitet,

indem in Form von User Stories die Anwender und ihr Nutzen beschrieben werden. Diese User Stories sind die Grundlage für eine Modellierung der Anwendungsfälle in der dritten Phase, um die Strukturen und Abhängigkeiten zwischen den Nutzerrollen offenzulegen. Die Vorgehensweise wird im Folgenden detaillierter erläutert.

Zur Vorbereitung der Methode ist es erforderlich, einmalig eine Recherche von konkreten Anwendungen „Digitaler Zwillinge“ durchzuführen. In dieser Recherche werden realisierte Anwendungen von digitalen Abbildern beliebiger Produkte, Betriebsmittel oder Systeme gesammelt, um einen Überblick über Möglichkeiten der Technologie „Digitaler Zwilling“ zu erhalten. Diese Anwendungen sind dabei im Allgemeinen produkt- und branchenfremd. Die recherchierten Anwendungen werden daher vom ursprünglichen Produkt für das eigene Produkt neu spezifiziert, um sie als Grundlage für eine Auswahl von Anwendungen in der Methode nutzen zu können. Quellen dieser Recherche sind z. B. Berichte im Internet oder Beiträge in der Fachliteratur. Es können aber auch eigene Ideen für Anwendungen eines „Digitalen Zwillings“ des eigenen Produkts in die Sammlung aufgenommen werden. So entsteht eine Sammlung möglicher produktspezifischer Anwendungsfälle für den „Digitalen Zwilling“.

Phase I: Auswahl von Anwendungsfällen

Um eine zielorientierte Auswahl an Fällen zu erhalten, werden die Anwendungsfälle in den Lebenszyklus des Produkts eingeordnet, um den quantitativen Einfluss im Sinne einer Nutzungsdauer aufzuzeigen. Es schließt sich eine qualitative Bewertung an, in der der Mehrbeitrag der einzelnen Anwendungsfälle sowie des „Digitalen Zwillings“ für die Wertschöpfung des Produkts herausgestellt wird. Kriterien für diese quantitativ-qualitative Bewertung sind auf allen unternehmerischen Planungsebenen (normativ, strategisch und operativ nach [5]) zu finden und bedingen sich auch gegenseitig, z. B. der zusätzliche Wertschöpfungsbeitrag, die Kundennachfrage oder der erreichbare Wettbewerbsvorteil. Die Bewertung der Anwendungsfälle hinsichtlich dieser und weiterer unternehmensspezifischer Kriterien, z. B. durchgeführt in Workshops oder anhand gängiger qualitativer, quantitativer oder empirischer Entscheidungsmethoden (z. B. Nutzwertanalyse oder Entscheidungsbaum), ermöglicht eine Reihung der Anwendungsfälle. Unter Berücksichtigung der eigenen personellen und materiellen Ressourcen können die Anwendungsfälle ausgewählt werden, die im weiteren Verlauf der Methode tiefgehend betrachtet werden, um die Voraussetzungen für die Ent-

wicklung und Implementierung eines passenden „Digitalen Zwillings“ zu schaffen.

Die erste Phase der Methode soll exemplarisch anhand eines fiktiven Beispiels einer Förderpumpe, wie sie als Komponente in verfahrenstechnischen Anlagen eingesetzt wird, dargestellt werden. Der Hersteller der Pumpe ist dabei der Anwender der Methode und er möchte durch die Bereitstellung eines „Digitalen Zwillings“ seiner Pumpe dem Kunden und sich selbst einen Mehrwert bieten. Der Kunde soll einen höheren Nutzen, z. B. durch weitere oder verbesserte Servicedienstleistungen, erhalten. Er selbst hat zum Ziel seinen unternehmerischen Gewinn zu steigern, z. B. in Form von Produktionsverbesserungen oder einem steigenden Marktanteil. Zugrunde gelegt wird die Sammlung von möglichen Anwendungsfällen von digitalen Abbildern der Pumpe, die vorher durchgeführt wurde. Die Fälle dieser Sammlung können im ersten Schritt dem Lebenszyklus des Produkts zugeordnet werden. Für die Darlegung wird folgender vereinfachter Lebenszyklus der Pumpe angenommen, dem ausgewählte Anwendungsfälle zugeordnet wurden:

- Entwicklung: ‚3D-CAD-Modell‘ für die Designentwicklung; ‚verhaltensorientierte Gerätesimulation‘ für die Komponentenentwicklung
- Betrieb: ‚Condition Monitoring‘ zur Betriebsüberwachung; ‚Mixed Reality‘ zur Gerätebedienung mittels Augmented Reality
- Wartung/Instandsetzung: ‚Predictive Maintenance‘ zur vorrausschauenden Serviceplanung; ‚Upgrade-Simulation‘ zur Vorab-Evaluation von Produktaktualisierungen

Diese wären nun zu bewerten und zu priorisieren. In diesem Beitrag wird der Anwendungsfall ‚Mixed Reality‘ näher betrachtet und anhand dessen die zweite Phase der Methode dargestellt.

Phase II: Aufstellen der User Stories

Ein Modell wird immer für einen bestimmten Zweck erstellt. Die erfolgte Auswahl der spezifischen Anwendungsfälle für den „Digitalen Zwilling“ des eigenen Produkts hat einen maßgeblichen Einfluss auf die Gestalt, die Eigenschaften und die benötigten Fähigkeiten des „Digitalen Zwillings“. So werden basierend auf den Funktionalitäten der gewählten Anwendungsfälle in der zweiten Phase der Methode systematisch die Informationsforderungen an den „Digitalen Zwilling“ erhoben. Diese Informationen sind Forderungen der Anwendungsfälle selbst und sind die Grundlage für die in diesen Fällen erzeugten und genutzten individuelle Produktmodelle, z. B. für Berechnungen oder Simulationen, als virtuelles Abbild des Produkts.

Die Erfassung der Funktionalitäten eines Anwendungsfalls erfolgt über die Modellierung der User Stories. Nach [4] ermöglichen User Stories eine funktionale Beschreibung eines Anwendungsfalls und verdeutlichen die Anwender und dessen Nutzen. Zur Ermittlung der User Stories ist es daher erforderlich, jeden vorher ausgewählten Anwendungsfall des „Digitalen Zwillings“ des Produkts detailliert zu beschreiben und die einzelnen Akteure, ihre Aktionen und den jeweiligen Nutzen zu identifizieren. Dies ermöglicht die Formulierung der User Stories für alle Akteure eines Anwendungsfalls in der Form: „Als [Akteur] möchte ich eine [Aktion] durchführen, um einen bestimmten [Nutzen] zu erzielen.“ Eine Übersicht über die Sammlung der User Stories eines Akteurs gibt dabei das Anwendungsfalldiagramm in Bild 2.

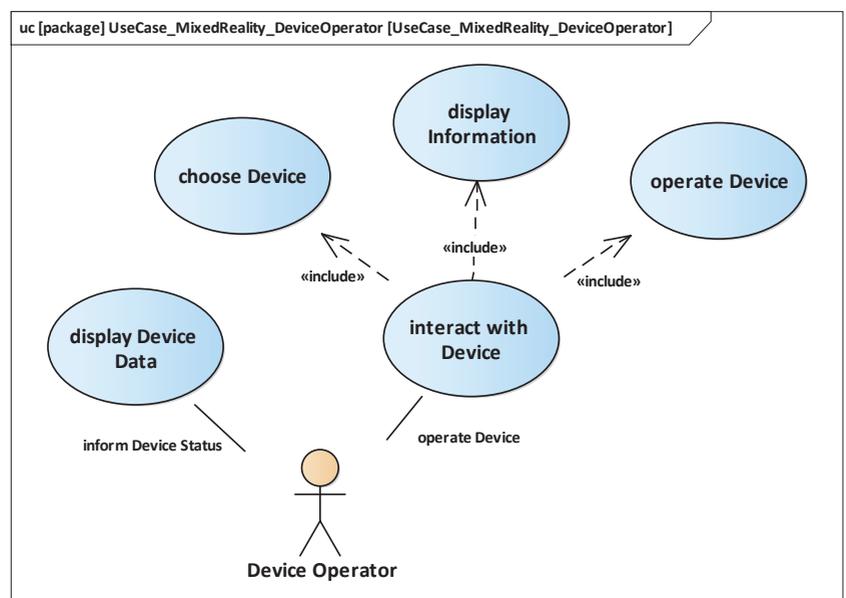
Für das Beispiel des Anwendungsfalls ‚Mixed Reality‘ wird folgende Anwendungsfallbeschreibung zugrunde gelegt:

Es soll dem Gerätebediener und dem Servicepersonal ein Modell der Pumpe als unterstützende Simulation (Augmented Reality) angeboten werden, welches die reale Bedienung und den Umgang mit dem Gerät ermöglicht. Es sollen Betriebsparameter angezeigt werden und innerhalb der virtuellen Realität mittels Gestik Einfluss auf die Pumpe und deren Funktionen genommen werden können. Auf Störungen der Pumpe soll das Servicepersonal gesondert hingewiesen werden, und Hilfestellung zur Behebung soll gegeben werden.

Als User Stories ergeben sich:

- Als Gerätebediener/Servicepersonal möchte ich die Betriebsdaten der Pumpe angezeigt bekommen, um mich über den Gerätezustand informieren zu können.

Bild 2: Anwendungsfalldiagramm ‚Mixed Reality‘ für den Gerätebediener.



Literatur

- [1] Abramovici, M.; Gebus, P.; Savarino, P.: Engineering smarter Produkte und Services. München 2018.
- [2] Hirsch-Kreinsen, H.; Kubach, U.; Stark, R.; Wichert, G. von; Hornung, S.; Hubrecht, L.; Sedlmeir, J.; Steglich, S.: Themenfelder Industrie 4.0. Forschungs- und Entwicklungsbedarfe zur erfolgreichen Umsetzung von Industrie 4.0. München 2019.
- [3] Stark, R.; Damerau, T.: Digital Twin. In: Laperrière, L.; Reinhart, G. (Hrsg): CIRP Encyclopedia of Production Engineering. Berlin Heidelberg 2014.
- [4] Weilkiens, T.: Systems Engineering mit SysML/UML. Anforderungen, Analyse, Architektur, 3. Auflage. Heidelberg 2014.
- [5] Rüegg-Stürm, J.; Grand, S.: Das St. Galler Management-Modell. Management in einer komplexen Welt, 1. Auflage. Bern 2019.
- [6] Hildebrandt, C.; Törsleff, S.; Bandyszak, T.; Caesar, B.; Ludewig, A.; Fay, A.: Ontology Engineering for Collaborative Embedded Systems. Requirements and Initial Approach. In: Schäfer, I.; Karagiannis, D. (Hrsg): Fachtagung Modellierung 2018. Braunschweig 2018.

- Als Gerätebediener/Servicepersonal möchte ich mittels Gestik Eingaben vornehmen können, um die Pumpe vor Ort bedienen zu können.
- Als Servicepersonal möchte ich über Störungen informiert werden, um angeleitet eine Störungsbeseitigung durchführen zu können.

Das Anwendungsfalldiagramm für den Gerätebediener ist in Bild 2 dargestellt, für die User Story der ‚Gerätebedienung‘ ist zusätzlich auch eine erste Detaillierungsstufe modelliert.

Phase III: Modellierung der Anwendungsfälle

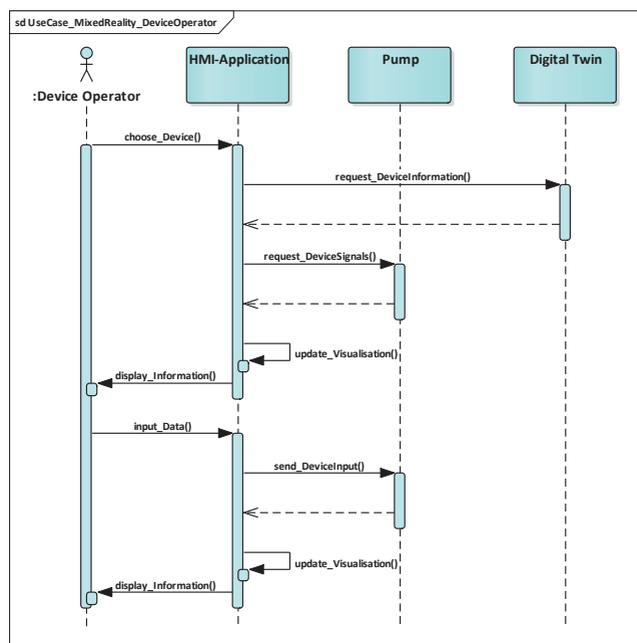
Die im Anwendungsfalldiagramm gesammelten User Stories werden weitergehend modelliert, um die erforderlichen Funktionalitäten zu identifizieren, die Informationsflüsse zu erfassen sowie den Informationsbedarf zu ermitteln. Es werden daher zunächst (vergleichbar zur Detaillierung des Anwendungsfalldiagramms) die Aktionen auf ihre Funktionen und Verbindungen untereinander zurückgeführt. So setzt sich z. B. eine alltägliche Aktion ‚Starten eines Autos‘ aus mehreren Funktionen wie ‚Zündschlüssel einstecken‘, ‚Kupplung betätigen‘ und ‚Zündung einschalten‘ zusammen. Ebenso werden die an dieser Aktion beteiligten Systempartner - beim Starten des Autos sind dies der ‚Mensch‘ und das ‚Auto‘ - ebenfalls ermittelt, da sie Initiator und Empfänger der Funktionen sind. Die Funktionen, ihre Verbindungen sowie die beteiligten Systempartner lassen sich übersichtlich im Sequenzdiagramm in Bild 3 zusammenfassen. Im Kontext der Modellierung eines Anwendungsfalls nimmt der ‚Digitale Zwilling‘ selbst eine Rolle als Systempartner ein und wird in die funktionale Struktur eingebunden.

ist in Bild 3 das Sequenzdiagramm als Ergebnis der Methode dargestellt. Das Diagramm zeigt den Gerätebediener, eine Applikation als HMI-Schnittstelle, die Pumpe und den ‚Digitalen Zwilling‘ der Pumpe. Die dargestellten Funktionen ermöglichen eine Auswahl der Pumpe durch den Bediener innerhalb der Applikation und folgend die Abfrage aktueller Informationen der Pumpe (z. B. Signale) und des Digitalen Zwillings (z. B. Typdaten). Diese werden durch die Applikation angezeigt, und der Gerätebediener kann Eingaben vornehmen.

Anhand dieser Darstellung lässt sich somit einerseits der Informationsbedarf und andererseits die Informationsverarbeitung innerhalb des Anwendungsfalls erkennen. Durch die besondere Hervorhebung des ‚Digitalen Zwillings‘ des Produkts lässt dies Rückschlüsse auf die Informationsforderungen an diesen sowie auf die zu bedienenden Schnittstellen zu.

Die mithilfe der Methode erarbeiteten Detailkenntnisse der Anwendungsfälle sind die Grundlage für die weitere Integration des ‚Digitalen Zwillings‘ in die Wertschöpfung des Produkts. Auch werden durch die Methode die Potenziale eines erweiterten Serviceangebots zu dem Produkt aufgezeigt und Ideen für die Erweiterung des bestehenden Geschäftsmodells gefördert. Die Methode kann insgesamt iterativ wiederholt werden, um den Detaillierungsgrad für einen Anwendungsfall zu steigern oder um weitere Anwendungsfälle zu ergänzen. Mit jedem Durchlauf kann auf diese Weise das Verständnis für den ‚Digitalen Zwilling‘ geschärft werden.

Bild 3: Sequenzdiagramm der User Story ‚Mixed Reality-Gerätebedienung‘.



Durch eine weitergehende Betrachtung dieser funktionalen Einbindung lässt sich auf die Informationsflüsse und damit auf die Informationsforderungen an den ‚Digitalen Zwilling‘ des Produkts schließen [4, 6].

Für die bereits in Bild 2 detailliert dargestellte User Story ‚Mixed Reality-Gerätebedienung‘

Zusammenfassung

Dieser Beitrag stellt eine Methode zur systematischen Auswahl von produktspezifischen Anwendungsfällen des ‚Digitalen Zwillings‘ dar. Dazu werden aus einer Sammlung Anwendungsfälle ausgewählt und in den drei Phasen der Methode systematisch modelliert. Die speziell im Sequenzdiagramm erhaltenen Einblicke ermöglichen eine klare Anforderungsdefinition an die Informationsbereitstellung und -verarbeitung. Sie sind zugleich Grundlage für die weitere Konzeptionierung und Implementierung des digitalen Abbilds des Produkts. Die Methode wurde in diesem Beitrag anhand des ausgewählten Anwendungsfalls ‚Mixed Reality‘ für den ‚Digitalen Zwilling‘ einer Förderpumpe vorgestellt.

Schlüsselwörter:
Industrie 4.0, Digitalisierung, Digitaler Zwilling