

Digitale Abbilder als Basis Digitaler Zwillinge im Anlagenbau

Besonderheiten, Herausforderungen und Lösungsansätze

Bernhard Saske, Sebastian Schwoch, Kristin Paetzold, Technische Universität Dresden,
Max Layer, Sebastian Neubert, Siemens Energy Global GmbH & Co.KG,
Jonathan Leidich und Peter Robl, Siemens AG

Die Nutzung Digitaler Zwillinge birgt vielfältige Anwendungsfälle und Chancen zur Optimierung von Prozessen entlang des gesamten Lebenszyklus technischer Systeme. Jedoch trifft das Konzept im Anlagenbau auf spezifische Besonderheiten innerhalb der Entwicklung, der Errichtung sowie dem Betrieb der Anlagen. Dieser Beitrag erläutert diese Besonderheit und die daraus folgenden Herausforderungen für die Erstellung und die Anwendung Digitaler Zwillinge im Anlagenbau. Als Lösungsansatz wird das Digitale Abbild als Grundlage Digitaler Zwillinge sowie dessen Konzept, Voraussetzungen und Potenziale vorgestellt.

Das Konzept Digitaler Zwillinge (DZ) ist ein zentraler Ansatz zur Nutzung der Daten und Informationen real existierender, industrieller Systeme für Aufgaben entlang des gesamten Lebenszyklus. Dabei ist der Einsatz von DZ nicht auf eine spezielle Branche begrenzt und wird vom Maschinenbau über die Automobilindustrie bis zum Anlagenbau in Forschung und Entwicklung vorangetrieben. Hierbei unterscheiden sich die Einsatzgebiete von DZ stark und reichen von Monitoring-Aufgaben über Simulationen des Verhaltens der realen Systeme bis hin zur Anwendung von Methoden aus den Bereichen Big Data und Maschinellen Lernens.

Im Umfeld des Anlagenbaus existieren spezifische Randbedingungen, die die wirtschaftliche Entwicklung und Nutzung von DZ zur Herausforderung machen und angepasste Lösungskonzepte erfordern. Ausgangspunkt dafür ist ein tragfähiges Verständnis von DZ.

Definition Digitaler Zwillinge

Die Definitionen von DZ unterscheiden sich in Breite und Tiefe und sind Gegenstand vieler aktueller Forschungsvorhaben [1, 2]. VanDerHorn und Mahadevan [1] analysieren vor diesem Hintergrund 46 verschiedene Definitionen von DZ in der Literatur und

konsolidieren daraus die folgende Definition. Übersetzt ist der DZ demnach "eine virtuelle Repräsentation eines physischen Systems (und seiner zugehörigen Umgebung und Prozesse), die durch den Austausch von Informationen zwischen dem physischen und dem virtuellen System aktualisiert wird" [1].

Daraus ergeben sich drei zentrale Bestandteile von DZ: Eine virtuelle Repräsentation der Systeme, die Erfassung und Kommunikation von Daten der physischen Instanzen sowie die Verknüpfung von Modellen und Daten über Datenschnittstellen (Bild 1). Die eingesetzten Strukturen und Schnittstellen von DZ sind hierbei auf die jeweiligen Anwendungsfälle angepasst. Daraus ergibt sich eine große Vielfalt von Interpretationen des DZ.

Vorteile Digitaler Zwillinge

Durch die fortschreitende Entwicklung und Implementierung von DZ werden die Daten den physischen Prozessen zunehmend angenähert, was Potenziale in vielseitigen Anwendungsbereichen eröffnet. Datenbasierte Prognosen präzisieren sich, wodurch Unregelmäßigkeiten im Betrieb früher erkannt werden und vorbeugende Maßnahmen rechtzeitig eingeleitet

Digital Representations as Basis for Digital Twins in Plant Industry – Fundamentals, Particularities, Challenges and Possible Solutions

The use of Digital Twins offers a wide range of applications and opportunities for optimized processes along the entire life cycle of technical systems. However, this concept encounters specific characteristics in plant industry within the development, the construction and operation phase of plants. This article describes these special characteristics and the resulting challenges for the creation and operation of Digital Twins in plant industry. The concept of "Digital Representation" as a basis for Digital Twins is presented together with its prerequisites and potentials.

Keywords:

digital twin, digital representation, plant industry

Dr.-Ing. Bernhard Saske und Dipl.-Ing. Sebastian Schwoch arbeiten als wissenschaftliche Mitarbeiter an der Professur für Virtuelle Produktentwicklung der TU Dresden.

Prof. Dr.-Ing. Kristin Paetzold leitet die Professur für Virtuelle Produktentwicklung am Institut für Maschinenelement und Maschinenkonstruktion der Technischen Universität Dresden.

Max Layer, M. Sc. ist Doktorand bei New Energy Business der Siemens Energy Global GmbH & Co.KG in Erlangen.

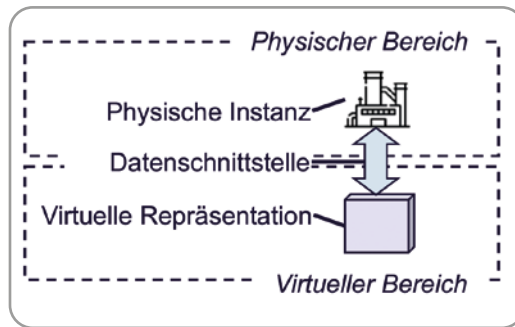
Dr.-Ing. Sebastian Neubert leitet strategische Projekte bei New Energy Business der Siemens Energy Global GmbH & Co.KG.

Jonathan Leidich, M. Sc. ist Doktorand im Forschungsbereich "Digital Manufacturing Technologies" der Siemens AG in München.

Dr.-Ing. Peter Robl leitet die Forschungsgruppe "Digital Manufacturing Technologies" der Siemens AG in München.

vpe@tu-dresden.de
<https://tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/imm/vpe>

Bild 1: Visualisierung des physischen und virtuellen Bereichs (in Anlehnung an VanDerHorn und Mahadevan [1]).



werden können [3]. Im Produktionskontext stellt der DZ ein Grundpfeiler Cyber-Physischer Produktionssysteme dar und steigert Transparenz sowie Reproduzierbarkeit der Produktion [4]. Überdies ermöglichen DZ weitreichende Analyse-möglichkeiten bspw. durch die Einbindung von Methoden des Maschinellen Lernens [5]. Zudem unterstützen DZ die Kommunikationsfähigkeit und interoperable Anwendbarkeit der zugehörigen Anlage innerhalb von IoT- bzw. Cloud-Plattformen [6].

Anwendung Digitaler Zwillinge im Anlagenbau

Innerhalb des Kraftwerk- und Anlagenbaus kommen bereits viele verschiedene Anwendungen von DZ zum Einsatz. Im Bereich Controlling von Anlagen werden DZ bereits genutzt, um bspw. Kühlkreisläufe zu steuern [7] oder defekte Komponenten zu identifizieren [8]. Darüber hinaus ermöglichen DZ für Gasturbinen einen physikbasierten Simulationsworkflow, der aero-thermisch-mechanische Simulationen sowie Fertigung, Erosion und Korrosion, Verschleiß und Degradation, Kosten und Lebensdauer berücksichtigt [9]. Weiterhin gibt es erste Ansätze für die ganzheitliche Bereitstellung von DZ für den gesamten Lebenszyklus der Anlage [10].

Besonderheiten des Anlagenbaus

Wie in Bild 1 dargestellt, entstehen DZ durch die Verknüpfung der Live-Daten und der digitalen Modelle der Anlagen [1, 2]. Damit sind die Existenz der Modelle sowie die entsprechende Erfassung und Kommunikation der Daten der Anlagen grundlegende Vorausset-

zungen zur Erstellung und Nutzung von DZ. Diesen Voraussetzungen stehen im Anlagenbau besondere Hürden entgegen, die sich aus dessen branchenspezifischen Besonderheiten ergeben. Diese beziehen sich auf grundlegende Eigenschaften der Prozesse, Methoden und Werkzeuge in der Entwicklung, während Produktion und Errichtung und im Betrieb der Anlagen (Bild 2).

Die Mehrzahl der Anlagen wird kundenindividuell entwickelt und errichtet. Die Anlage wird dazu in verschiedenen Disziplinen (Prozesstechnik, Maschinenbau, Automatisierungstechnik etc.) und von unterschiedlichen Unternehmen ausdetailliert und für die Errichtung vorbereitet. Aktuell erfolgt dieser aufwändige Vorgang für jede Anlage einzeln. Daraus folgt eine hohe Variantenvielfalt bei gleichzeitig geringen Stückzahlen bis Losgröße 1. Die Potenziale standardisierter Anlagenteile zu deren Nutzung in mehreren Anlagen werden nicht im vollen Maße genutzt. Dadurch wird die Wiederverwendbarkeit von Entwicklungsaufwänden sowie den damit verbundenen Informationen und Daten erschwert. Zudem ist die Verflechtung der Entwicklungsdisziplinen und der beteiligten Unternehmen auf IT-Ebene und die Harmonisierung der verwendeten Engineering-Programme gering ausgeprägt. Als Folge entstehen parallel verwaltete, sich überschneidende Teilmodelle der Anlage, die nicht zu einem Gesamtmodell zusammengeführt werden. Damit existieren aktuell keine disziplinübergreifenden, digitalen Modelle der Anlagen.

Die Produktion und Errichtung der Anlagen erfolgen zu großen Teilen nicht in einer Fabrik mit definiertem Umfeld, IT-Anbindung, Prüfständen und eigenen Mitarbeitern. Ein großer Wertschöpfungsanteil wird auf der Baustelle von Zulieferern (Stahlbau, Verrohrung, Verkabelung) in Eigenverantwortung erbracht. Häufig kommt es hierbei zu spontanen Anpassungen der verbauten Komponenten an die konkreten Gegebenheiten der Baustelle, wodurch Abweichungen zwischen geplanter – (Should-build) und errichteter Struktur (As-built) der Anlagen entstehen. Dies erschwert die daten-

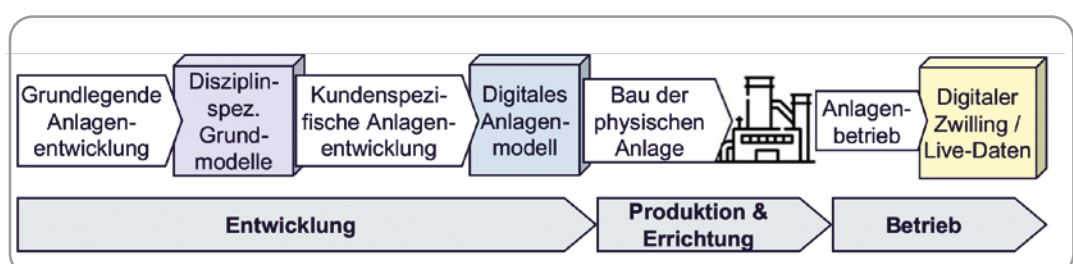


Bild 2: Lebenszyklus der Anlagendaten (nach eigener Darstellung).

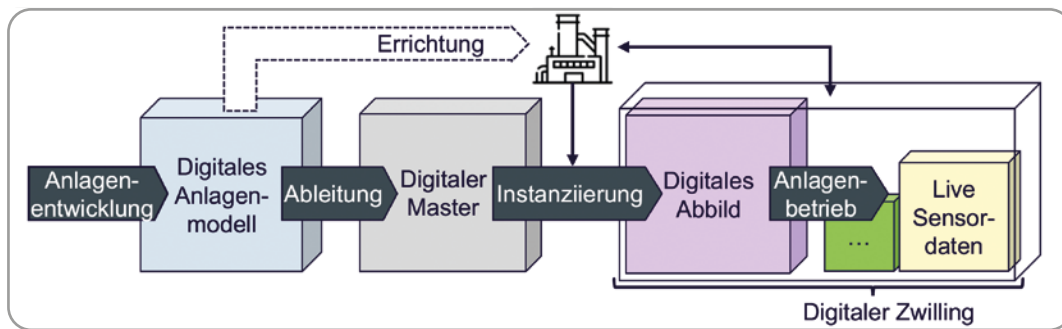


Bild 3: Methodik zur Implementierung eines Digitalen Abbilds (nach eigener Darstellung).

technische Unterstützung und Synchronisation der Prozesse, z. B. durch ein Manufacturing-Execution-System.

Die nicht konsistente Dokumentation der As-built-Struktur hemmt die Planung und Durchführung nachfolgender Prozesse in der Betriebsphase wie z. B. Maintenance. Solche Prozesse bedingen wiederum Änderungen an der Anlage z. B. durch Komponentenaustausch oder die Umstrukturierung größerer Anlagenteile. Erfolgreiche Änderungen sollten in die Modelle und Strukturen der Anlagenentwicklung zurückgespeist werden, da entstehende Inkonsistenzen zwischen digitalem Modell und physischer Instanz der Anlage in der Konsequenz zum vollständigen Verlust der Funktionalität des DZ führen.

Alle genannten Besonderheiten und Herausforderungen wirken sich mittelbar und unmittelbar auf den Aufwand zur Erstellung von DZ sowie deren Konsistenz und Qualität während ihrer Nutzung aus.

Herausforderungen Digitaler Zwillinge im Anlagenbau

Es bedarf einer Anpassung aktueller Prozesse, Methoden und Modelle sowie der zugehörigen Datenverwaltung von der Entwicklung bis zum Ende der Betriebsphase, um die Voraussetzungen zur Erstellung und durchgängigen Nutzung von DZ im Anlagenbau zu schaffen.

Ziel innerhalb der Entwicklung ist die Erstellung eines digitalen Modells der Anlage, das nachfolgend zur Ableitung von DZ genutzt werden kann. Dies erfordert die Bildung einer konsistenten und zugänglichen Datenbasis für alle an der Anlagenentwicklung beteiligten Disziplinen und Unternehmen. Dazu gehört neben der konstruktiven Standardisierung und damit verbundenen Modularisierung des Anlagendesigns die lebenszyklusübergreifende Verwaltung der zugehörigen Daten.

Während der Produktion und Errichtung werden Methoden zur umfassenden digitalen Dokumen-

tation der Anlagenstruktur und der verbauten Komponenten benötigt. Diese müssen neben dem planmäßigen Bau nach Vorgabe durch die Entwicklung auch spontane Anpassungen während des Baus berücksichtigen und in das digitale Modell der Anlage zurückspeisen. Dazu sind Methoden zur Erfassung und Verknüpfung der physischen Komponenten mit ihrer virtuellen Repräsentation bereitzustellen. Mit der Produktion und Errichtung der Anlage besteht eine erste Möglichkeit DZ zu bilden.

Die im Betrieb befindlichen DZ sehen sich im Anlagenbau einem dynamischen Umfeld gegenüber in dem sich Komponenten, Strukturen und Betriebsarten der Anlagen ändern. Aktuell existieren keine Methoden, die ein Einpflegen der Änderungen in die digitalen Modelle der Anlage ermöglichen und Inkonsistenzen zwischen diesen und der physischen Instanz der Anlage ausschließen.

Dafür wird eine spezielle Informationsstruktur zwischen digitalem Modell und der physischen Instanz benötigt. Die Autoren schlagen das Konzept des Digitalen Abbilds vor, das flexibel auf sich ändernde Strukturen und Komponenten der physischen Anlage reagiert und die Konsistenz zwischen digitalem Modell und physischer Instanz gewährleisten soll.

Lösungsansatz

Basis des vorgeschlagenen Konzepts des Digitalen Abbilds ist ein Digitales Anlagenmodell, aus dem das Digitale Abbild in einer zu definierenden Methodik erstellt wird (Bild 3). Das digitale Anlagenmodell dient zur Planung der Errichtung der physischen Anlage und beinhaltet alle dafür notwendigen Informationen. Im Hinblick auf den DZ werden jedoch nicht alle dieser Informationen benötigt. Es muss eine Reduktion auf die für den DZ relevanten Informationen erfolgen. Diese erfolgt über den Digitalen Master, der eine Vorlage für das Digitale Abbild darstellt.

Die Instanziierung erfolgt mit der Produktion und Errichtung der physischen Anlage und er-

Literatur

- [1] VanDerHorn, E.; Mahadevan, S.: Digital Twin: Generalization, characterization and implementation. In: Decision Support Systems 145 (2021). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dss.2021.113524>
- [2] Stark, R.; Anderl, R.; Thoben, K.-D.; Wartack, S.; Krause, F.-L.; Grässler, I.; Pottebaum, J.; Schleich, B.; Stelzer, R.; Hick, H.; Klein, P.; Saske, B.; Gerhard, D.; Czwick, C.; Gogineni, S.; Klimmeck, L.; Bajzek, M.; Jacobs, G.; Berroth, J.; Zimmermann, T.; Kranabill, P.; Kirchner, E.; Göckel, N.: WiGeP-Positionspapier: „Digitaler Zwilling“. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 115 (2020). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-64235950-7_16870-1
- [3] Melesse, T.Y.; Di Pasquale, V.; Riemma, S.: Digital Twin models in industrial operations: State-of-the-art and future research directions. In: IET collob. intell. manuf. 3 (2021) 1. S. 37 – 47. DOI: <https://doi.org/10.1049/cim.2.12010>
- [4] Uhlemann, T.H.-J.; Lehmann, C.; Steinhilper, R.: The Digital Twin: Realizing the Cyber-Physical Production System for Industry 4.0. In: Procedia CIRP 61 (2017). S. 335 – 340. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.152>

zeugt über die Anreicherung des Digitalen Masters mit den spezifischen Informationen zu verbauten Komponenten (z. B. Seriennummern) das Digitale Abbild. Dieses ist Teil des DZ und enthält im Kern verschiedene Strukturinformationen, die für dessen Betrieb benötigt werden. Auf die einzelnen Bestandteile wird im Folgenden näher eingegangen.

Die in der Anlagenentwicklung entstehenden, Disziplin-spezifischen Grundmodelle der Anlage bilden zusammen mit systematisch und standardisiert aufgenommenen Kundenanforderungen die Basis zur Generierung eines kundenindividuellen Digitalen Anlagenmodells. Bei der Bildung des Digitalen Anlagenmodells soll eine Standardisierung und Modularisierung des Anlagendesigns forciert werden. Das Digitale Anlagenmodell dient als definierte Datenstruktur der Anlage, um „Should-build“-Informationen abzuleiten, die zur Fertigung, Vormontage und physischen Errichtung der Anlage genutzt werden.

Der Digitale Master kann als Werkzeug gesehen werden, durch welches definiert wird, welche Informationen im Digitalen Abbild erfasst werden. Die Ableitung des Digitalen Masters führt die Modularisierungsansätze des Digitalen Anlagenmodells fort. Diese müssen nach einer festgelegten Systematik definiert werden. Ziel ist die Reduktion des Digitalen Anlagenmodells auf die Informationen die von den DZ der realen Anlage benötigt werden. Diese Vorgehensweise senkt die Komplexität der Datenverwaltung auf ein notwendiges Minimum. Der Digitale Master ist damit die Basis des Digitalen Abbilds und fungiert als ein zweckgebundener „Ausschnitt“ des Digitalen Anlagenmodells.

Bei der Instanziierung werden parallel zur Produktion und Beschaffung der Bauteile und Baugruppen sowie bei der Errichtung und Inbetriebnahme der Anlage die physischen Komponenten ihrem Gegenstück im Digitalen Master zugeordnet. Neben der Erfassung von Komponenten durch bspw. Seriennummern werden bei diesem Prozess weitere Informationen, wie Steuerungssoftware, Qualitätsdaten, Prüfbescheinigungen sowie weitere dokumentationsrelevante Aspekte dem Digitalen Abbild angehängt. Hierfür ist es entscheidend, dass verschiedene interne und externe, an der Errichtung beteiligte Gewerke bei diesem Prozess aktiv mitwirken können. Dazu müssen diesen Datenschnittstellen zum Erfassen verschiede-

ner Informationen bereitgestellt werden. Der Prozess des Instanzierens kann bereits während der Planung vorbereitet und eingeleitet werden.

Das durch die Instanziierung entstandene Digitale Abbild bildet in Kombination mit weiteren Daten wie bspw. den Live-Sensordaten der physischen Anlage, die Grundlage von DZ. Das Digitale Abbild speichert und verwaltet Strukturinformationen und wesentliche Parameter der verbauten Komponenten der physischen Anlage. Die im Digitalen Abbild gespeicherten Informationen dienen der effizienten Bildung verschiedener DZ. Über das Digitale Abbild werden Änderungen der Strukturen und Komponenten der Anlage zum Beispiel bei Um- oder Rückbau festgehalten und stehen damit den DZ zur Verfügung. Dies gewährleistet die Konsistenz zur physischen Anlage und damit die Funktionsfähigkeit der DZ.

Ausblick

Der Digitale Zwilling ist eines der maßgeblichen technischen Konzepte der letzten Jahre [11, 12]. Trotzdem bedarf es weiterer Entwicklungen, um die beschriebenen Potenziale des DZ im Anlagenbau vollumfänglich zu nutzen. Um dies zu erreichen, werden die in diesem Beitrag skizzierten Lösungsansätze weiter vorangetrieben. Ziel ist es, über den gesamten Lebenszyklus einer Anlage eine nahtlose Basis für die Anwendung von DZ zu schaffen (Bild 3).

Im Maschinenbau und anderen Branchen hat sich zur lebenszyklusübergreifenden Verwaltung von Produkt- und weiterer zugehöriger Daten das Product-Lifecycle-Management entwickelt und etabliert. Zur Erreichung oben genannter Ziele, wird ein Plant-Lifecycle-Management (Plant-LM) benötigt, das die Datenbasis für DZ bereitstellt. Dieser Begriff ist in der Literatur bereits als Plant-Lifecycle-Management [13] oder im Zusammenhang mit Information Management [14] aufgeführt und muss in Zukunft allgemein definiert werden. Hierbei sollte aus Sicht der Autoren der Fokus auf standardisierten, generischen Lösungen liegen. Das Digitale Abbild bildet dabei zukünftig eine einheitliche Basis zur Ableitung, Verwaltung und Nutzung anwendungsbezogener Digitaler Zwillinge.

Schlüsselwörter:
Digitaler Zwilling, Digitales Abbild, Anlagenbau

- [5] Rasheed, A.; San, O.; Kvamsdal, T.: Digital Twin: Values, Challenges and Enablers From a Modeling Perspective. In: IEEE Access 8 (2020). S. 21980 – 22012. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2970143>
- [6] Güntner, G.; Hoher, S.: Digital Twins im Anlagen-Lebenszyklus. White Paper. Digital Transfer Zentrum–Salzburg (2020). URL: <https://www.salzburgresearch.at/publikation/digital-twins-im-anlagen-lebenszyklus/>
- [7] Alves de Araujo Junior, C.A.; Mauricio Villanueva, J.M.; Almeida, R.J.S. de; Azevedo de Medeiros, I.E.: Digital Twins of the Water Cooling System in a Power Plant Based on Fuzzy Logic. In: Sensors (Basel, Switzerland) 21 (2021). DOI: <https://doi.org/10.3390/s21206737>
- [8] Lu, Q.; Xie, X.; Parlikad, A.K.; Schooling, J.M.: Digital twin-enabled anomaly detection for built asset monitoring in operation and maintenance. In: Automation in Construction 118 (2020). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103277>
- [9] Dawes, W.N.; Meah, N.; Kudryavtsev, A.; Evans, R.; Hunt, M.; Tiller, P.: Digital Geometry to Support a Gas Turbine Digital Twin. In: AIAA SciTech 2019 Forum (2019). DOI: <https://doi.org/10.2514/6.2019-1715>
- [10] Wagner, C.; Grothoff, J.; Epple, U.; Drath, R.; Malakuti, S.; Gruner, S.; Hoffmeister, M.; Zimmermann, P.: The role of the Industry 4.0 asset administration shell and the digital twin during the life cycle of a plant. In: 2017 22nd IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory (2017). DOI: <https://doi.org/10.1109/ET-FA.2017.8247583>
- [11] Bergs, T.; Gierlings, S.; Augspurger, T.: Mit dem Digitalen Zwilling Prozessgrenzen überwinden. In: Internet of Production - Turning Data into Value: Statusberichte der Produktionstechnik (2020). S. 81 – 113. DOI: <https://doi.org/10.24406/ipt-n-589615>
- [12] Pettey, C.: Prepare for the impact of digital twins. Gartner (2017). URL: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/prepare-for-the-impact-of-digital-twins>, Abrufdatum 17.08.2022
- [13] Siltanen, P.; Karhela, T.; Woodward, C.; Savioja, P.: Augmented Reality for Plant Life cycle Management. In: 2007 IEEE International Technology Management Conference (ICE) (2007). S. 1 – 8.
- [14] Siltanen, P.; Pärnänen, A.: Comparison of data models for plant lifecycle information management. In: Leading the Web in Concurrent Engineering (2006). S. 346 – 353.