

Konzept KI-basierte Assistenzsysteme zum beschleunigten Einstieg in die virtuelle Inbetriebnahme

Kompensation fehlender Komponenten in der Simulation

E. Tinsel, A. Lechler, O. Riedel

Die virtuelle Inbetriebnahme erlaubt das digitale Vorabtesten bei der Entwicklung von Maschinen und Anlagen und spart Kosten durch eine frühzeitige Fehlererkennung. Die initiale Erstellung von Simulationsmodellen für diese Phase ist sehr aufwendig. Der Beitrag erläutert die Idee eines intelligenten Assistenzsystems, das fehlende Komponenten in einem Gesamtsimulationsmodell mittels KI-Verfahren durch Ersatzmodelle kompensiert.

AI-based assistance system to compensate for missing components in industrial simulation

Virtual commissioning allows for digital pre-testing during the development of machines and plants and saves costs through early fault detection. The initial creation of simulation models in this phase is very time-consuming. The article explains the idea of an intelligent assistance system that compensates for missing components in an overall simulation model by performing an AI-based search for suitable replacement models.

STICHWÖRTER

Simulation, Engineering, Fabrikplanung

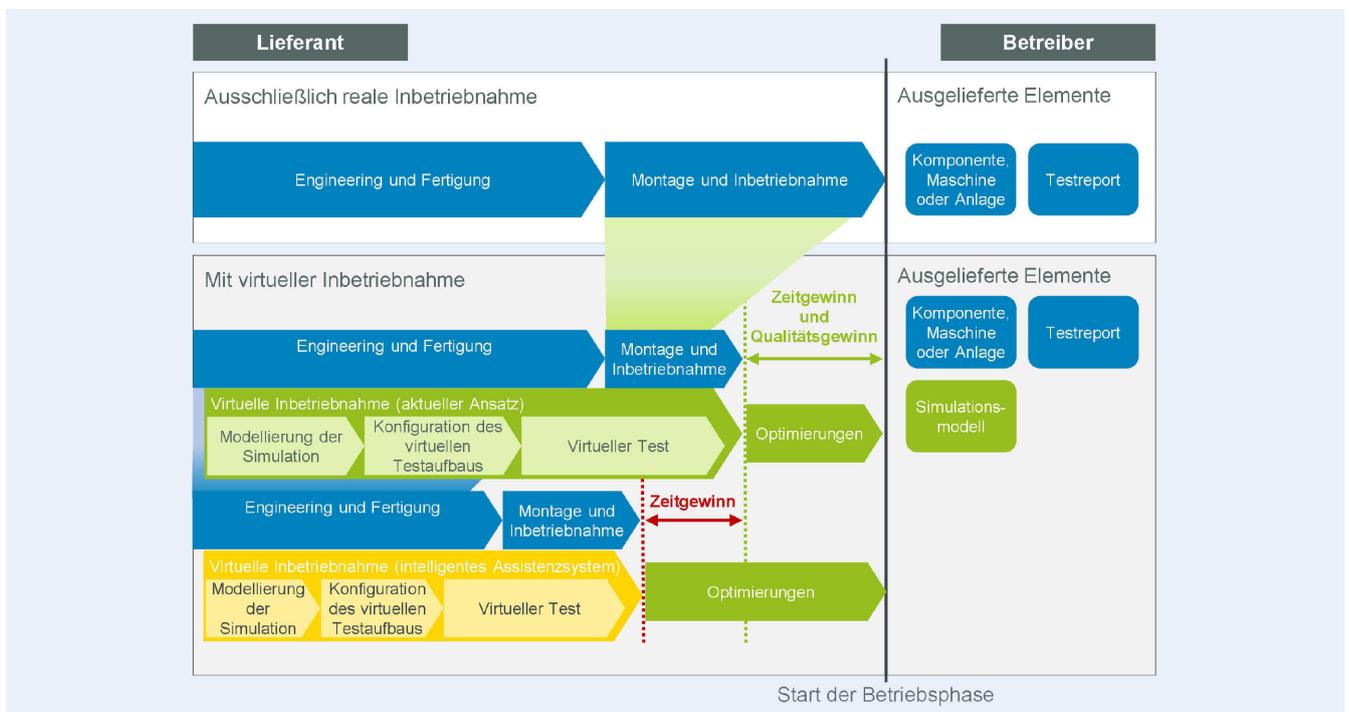


Bild 1. Einordnung des Assistenten im Gesamtprozess (gelb markiert). Durch das Konzept wird eine Verkürzung der Modellierungsdauer und somit ein Zeitgewinn bei der virtuellen Inbetriebnahme erwartet. Grafik: nach VDMA [2]

1 Einleitung

Der Einsatz digitaler Werkzeuge beim Testen von Industrieanlagen kann Zeit und somit Kosten sparen [1]. Der Entstehungsprozess einer Maschine oder Anlage gliedert sich grob in die Phasen der Planung, Konstruktion, Fertigung und Montage sowie der Inbetriebnahme (siehe Bild 1 nach VDMA [2]). Bei der virtuellen Inbetriebnahme werden Tests zur Fehleridentifikation

Der Entstehungsprozess einer Maschine oder Anlage gliedert sich grob in die Phasen der Planung, Konstruktion, Fertigung und Montage sowie der Inbetriebnahme (siehe Bild 1 nach VDMA [2]). Bei der virtuellen Inbetriebnahme werden Tests zur Fehleridentifikation

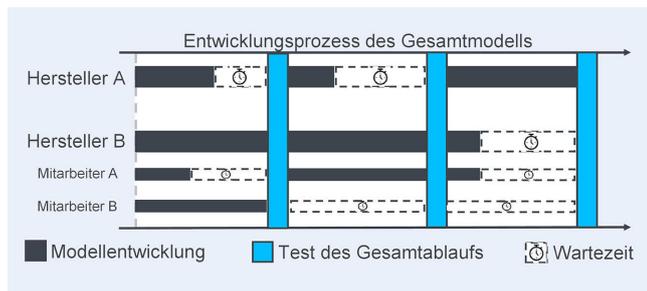


Bild 2. Problembeschreibung: Bei der Entwicklung von Gesamtmodellen kommt es zu Verzögerungen, wenn Hersteller oder Mitarbeitende auf Teilkomponenten von weiteren Entwicklern warten müssen.

Grafik: ISW Universität Stuttgart

bereits während der Konstruktion mit Simulationswerkzeugen durchgeführt. Ohne eine virtuelle Inbetriebnahme können Fehler, deren Ursache oft im Zusammenspiel mehrerer Komponenten liegt, erst nach dem Aufbau der gesamten realen Anlage identifiziert werden, was zu Zeitverzögerungen und hohen Kosten führt.

Die virtuelle Inbetriebnahme gliedert sich in drei Testkonfigurationen, die in aufeinander folgenden Phasen eingesetzt werden: 1) Model-in-the-Loop, 2) Software-in-the-Loop und 3) Hardware-in-the-Loop [3]. Diese drei Phasen unterscheiden sich vor allem durch den Detaillierungsgrad des vorliegenden Maschinen- oder Anlagenmodells: Während in der rudimentären Model-in-the-Loop-Phase zunächst erste Ablauf-, Durchsatz- oder Kollisionsprüfungen durchgeführt werden, können in einem späten Hardware-in-the-Loop-Test sämtliche physische Steuerungen auf Fehlverhalten getestet werden [4].

Um den Aufwand für die Neuentwicklung von Simulationsmodellen in den jeweiligen Konfigurationsphasen zu vermeiden, eignet sich ein uniformes Modell, das über die Dauer der Entwicklung hinweg mitwächst und zweckgebunden in vorherige Phasen umschaltbar ist [5]. Dabei besteht aber die grundsätzliche Hürde, dass ein solches Modell einen hohen Initialaufwand zur Erstellung erfordert, bevor es dynamisch angepasst werden kann.

2 Problem

Ein Hauptproblem in den frühen Phasen der virtuellen Inbetriebnahme ist, dass Modelle, die sich noch nicht in der Modellbibliothek des Herstellers befinden, von Grund auf neu modelliert werden müssen. Obwohl der Detaillierungsgrad der Modelle in den verschiedenen Konfigurationen stark variiert, unterscheidet sich der strukturelle Aufbau der Modelle nicht signifikant. In jedem Fall müssen Geometrie, Verhalten und Schnittstellen in den Modellen berücksichtigt werden. Der Fokus der Entwickler liegt daher früh auf der initialen Erstellung von CAD-Modellen, Verhaltensbeschreibungen und Schnittstellen, obwohl möglichst schnell ein vereinfachtes Modell zur Validierung des Gesamtablaufs benötigt wird. Eine Simulation des Gesamtablaufs kann erst durchgeführt werden, wenn alle Komponenten final modelliert sind.

Die frühzeitige Durchführung eines Gesamtablaufs stellt einen wichtigen Bestandteil der Simulation dar: Hier kann das Zusammenspiel aller Teilmodelle erstmals getestet werden. Stellt sich dabei heraus, dass einzelne Komponenten falsch modelliert wurden oder aufgrund der Simulationsergebnisse ersetzt werden müssen, kommt es zu erheblichen zeitlichen Verzögerungen. Dies

ist nicht ungewöhnlich, da sich in einem Simulationsmodell sehr oft Teilkomponenten unterschiedlicher Hersteller oder Teammitglieder befinden, zwischen denen eine Interoperabilität zunächst geprüft werden muss: Es entstehen mehrere Modelliterationen, in denen alle Beteiligten für ihre Komponententests auf die Fertigstellung des Gesamtmodells warten müssen (**Bild 2**).

Eine lückenlose Vorplanung ist somit Grundvoraussetzung für einen erfolgreichen Einstieg in die virtuelle Inbetriebnahme. Die hohen Aufwände zur Modellierung eines Model-in-the-Loop-Simulationsmodells sind ein Problem für die frühen Entwicklungsphasen, in denen möglichst schnell und aufwandsarm ein Gesamtablaufmodell getestet werden soll. Hier kann ein intelligenter Assistent zur Modellierung fehlender Komponenten einen Zeitgewinn für den frühen virtuellen Gesamttest erwirken (vergleiche Bild 1).

3 Stand der Technik

Virtuelle Assistenzsysteme haben im 21. Jahrhundert stark an Bedeutung gewonnen – viele intelligente Geräte nutzen diese Technologie, um die Interaktion zwischen Mensch und Maschine zu erleichtern. So ist ein stetig wachsendes Forschungsgebiet im Bereich der Mensch-Roboter-Interaktion (zum Beispiel Cobots [6]) zu beobachten. Ebenfalls stieg die Qualität von Chatbots in jüngster Zeit merklich an (siehe ChatGPT [7]).

Bevor das Konzept des KI-basierten Assistenten zur Kompensation fehlender Komponenten im Detail vorgestellt wird, wird an dieser Stelle ein kurzer Überblick über weitere Beispiele für Assistenzsysteme im industriellen Kontext gegeben.

Bereits 1992 stellten *Kloth et al.* [8] das Konzept eines Assistenten vor, der den Planer bei der Erstellung eines Fabriklayouts unterstützt. Dabei übernahm der Assistent die Validierung der Planungsergebnisse und berechnete deren Qualität auf Basis bewertbarer Parameter.

Die Forschungsergebnisse von *Zimmer et al.* [9] beschreiben eine Assistenz beim Ramp-Up von Anlagen, welche den Bediener durch die Bereitstellung von Kontextinformationen oder durch Hinweise auf Änderungen in Form eines Chatbots unterstützt. Das menschliche Fachwissen wird dabei während des Ramp-Ups in natürlicher Sprache über eine eigens entwickelte grafische Oberfläche erfasst und verarbeitet. Dadurch soll eine Verkürzung der Hochlaufzeit erreicht werden.

Schließlich stellen *Jwo et al.* [10] einen Ansatz vor, bei dem industrielle Dashboards durch eine Interaktion mit einem Assistenzsystem gesteuert werden können.

Da die Idee eines intelligenten Assistenzsystems zur Kompensation fehlender Komponenten in einem Gesamtsimulationsmodell auf der Generierung und intelligenten Auswahl, sowie Verknüpfung von Simulationsmodellen aus einem Baukasten basiert, werden im Folgenden zwei Beispiele für die Modellgenerierung von Simulationskomponenten vorgestellt.

Kuo et al. [11] zeigen anhand der Körperbewegung von Menschmodellen, dass eine Generierung von Kinematik in der Simulation durch natürlichsprachliche Anweisungen möglich ist. Eingaben wie „Jeff betätigt mit der rechten Hand den Druckluftschlüssel A an der Schraube B“ wurden dabei vom System durch die Verwendung natürlicher Sprachverarbeitung analysiert und über einen regelbasierten Entscheidungsbaum in eine entsprechende Kinematik überführt. So soll die Benutzerfreundlichkeit bei der Arbeit mit der Simulationssoftware verbessert werden.

Neyrinck et al. [12, 13] stellen einen morphologischen Ansatz zur Generierung von Anlagenvarianten vor. Dabei wird die semantische Anlagenbeschreibung aus einem Baukasten mit einem Variantenassistenten in unterschiedliche Simulationsmodelle transformiert. Die Beschreibungsform gliedert sich in Fähigkeiten und deren Parameter. Es kann sowohl in ein Projektierungs- als auch in ein Simulationswerkzeug überführt werden, wobei zusätzlich aus der Problembeschreibung ein Zustandsgraph generiert wurde. Ebenso wurde eine Analyse zum Vergleich der Varianten generiert, welche aus den Parametern der Simulationskomponenten berechnet wurde.

4 Konzept

Als begleitendes Anwendungsbeispiel (mit  gekennzeichnet) dient im Folgenden ein einfaches Szenario: Ein fahrerloses Transportsystem soll ein Produkt von einer Fräsmaschine zu einer Abholstation befördern. Teammitglied A verfügt bereits über das Modell der Fräsmaschine und der Abholstation, das fahrerlose Transportsystem von Teammitglied B muss jedoch erst erstellt werden.

4.1 Idee

Ziel ist es, den Einstieg in eine frühzeitige Simulation des Gesamtmodells zu beschleunigen und zu vereinfachen, indem ein intelligentes Assistenzsystem die fehlende Komponente kompensiert. Dabei entsteht ein (temporärer) Baustein, der von Anfang an das Verhalten der Zielkomponente im Gesamtablauf möglichst genau nachbildet – eine Simulation der Gesamtanlage wird somit realisierbar. Als Grundlage dient eine bereits vorhandene Prozessbeschreibung der Teilkomponenten, die automatisch in erste Simulationsmodelle überführt werden kann [14].  Das fahrerlose Transportsystem liegt Teammitglied A also noch nicht als Simulationsmodell vor, ist aber bereits formal beschrieben (etwa Geschwindigkeit, Abmessungen). Das Assistenzsystem soll nun KI-basiert, unter Berücksichtigung der Prozessbeschreibung und des Gesamtmodells, Verhaltensvorschläge an der nicht modellierten Stelle geben und eigene Unsicherheiten durch gezielte Dialoge beseitigen.

Ein Dialog mit einem virtuellen Assistenten besteht in der Regel aus der Vervollständigung von Informationen durch das Stellen mehrerer Fragen, der Formulierung von Klärungsfragen zur Einordnung missverständlicher Benutzereingaben und aus Metadialogen, wie etwa der Wiederholung von Aussagen oder der Erklärung von Systemfunktionen [15].

Ziel des Vorgangs ist es, dass

1. ein möglichst passendes 3D-Ersatzmodell dargestellt wird ( zum Beispiel strukturähnliches Modell oder identisch dimensionierter Quader als Ersatz),
 2. das Verhalten abgebildet wird ( horizontale Translation) und
 3. eine logische Verknüpfung zwischen den beteiligten Modellen hergestellt wird ( Produktaufnahme und -übergabe sind Verknüpfungspunkte, deren Steuerung vom fahrerlosen Transportsystem abhängt).
- Da sich zu Beginn der virtuellen Inbetriebnahme Anforderungen häufig ändern, muss das System darüber hinaus
4. mit einem Update-Mechanismus Komponentenwechsel intelligent verarbeiten ( das fahrerlose Transportsystem erfüllt die

Kundenanforderungen nicht und wird durch ein neues Transportmittel, zum Beispiel ein Förderband, ersetzt).

4.2 Lösungsweg

Das Assistenzsystem wird zunächst auf Basis vorhandener Simulationsmodelle aus einer Modellbibliothek trainiert. Dazu wird eine Auswahl von Modellen auf geeignete Parameter untersucht, die sich als Trainingsdaten eignen. Dabei wird der Fokus insbesondere auf korrelierende Parameter zwischen den Teilkomponenten gelegt, sodass der Assistent lernt,

- a. welche Komponenten am wahrscheinlichsten miteinander kombiniert werden (zum Beispiel wird häufig eine Abholstation mit einem Transportmittel kombiniert) und
- b. wie diese Komponenten zusammengesetzt sind (zum Beispiel besteht ein Roboter aus einem Grundgestell, einem Arm und einem Greifer).

Bei der Erstellung eines neuen Simulationsmodells liefert das Assistenzsystem zum einen intelligente Vorschläge für die (Teil-)Zusammensetzung der einzelnen Komponenten und zum anderen eine Auswahl möglicher Umgebungskomponenten.

Mithilfe der Prozessbeschreibung und der bereits vorhandenen Simulationskomponenten als Eingabeparameter kann das Assistenzsystem einen Lösungsraum bereitstellen. Um diesen Lösungsraum weiter einzuschränken, sollen modellbezogene Dialoge den Entwickler an das angestrebte Ziel heranführen. So könnte beispielsweise die Frage des Assistenten „Welches Gewicht soll mit der Komponente des Prozessschrittes Transportieren befördert werden?“ als Entscheidungsfindung zwischen den Lösungen fahrerloses Transportsystem und Kransystem dienen. Findet das Assistenzsystem für Teile der Prozesse keine passende Lösung, werden für diese Lücken intelligent Ersatzmodelle vorgeschlagen. Fehlt beispielsweise das fertige Modell des fahrerlosen Transportsystems, kann aus der Prozessbeschreibung ein Platzhaltermodell für den Prozessschritt „Transportieren“ abgeleitet werden, das auf Basis der definierten Parameter wie Geschwindigkeit, Bremsweg und Beschleunigung eine simulierte Bewegung zwischen den peripheren Prozessmodellen ausführt. Arbeitsraumgrößen und Abmessungen des Platzhalters entsprechen dabei bereits dem realen Abbild, sodass beispielsweise frühe Kollisionsprüfungen möglich werden.

Um das intelligent zusammengesetzte Modell zwischen den Teilkomponenten operabel zu machen, bedarf es einer Abstraktion des Verhaltens zur Steuerung des Gesamtablaufs: Aus der Analyse vorhandener 3D-Modelle, Verhaltensmodelle und Schnittstellen ergibt sich eine grundlegende Wissensbasis für gängige Bewegungsabläufe in der Anlagensimulation. Dieses Wissen wird genutzt, um Bewegungsabläufe und Bewegungsmuster zu abstrahieren und sodann eine verallgemeinerte Beschreibung von Schritten zu erhalten, die eine Ersatzsteuerung erzeugen muss. Dabei werden unter anderem Bewegungen (zum Beispiel drehen, verschieben, transportieren), logische Elemente (zum Beispiel if, else, while) und Zustände (zum Beispiel warten) beschrieben. Anschließend ist zu entscheiden, mit welcher Methodik das Wissen technisch aufbereitet und verarbeitet werden soll. Dazu bietet sich beispielsweise eine visuelle Programmiersprache an. Denn durch die Vorgabe einzelner Elemente, aus denen sich die Abläufe zusammensetzen, ist sichergestellt, dass keine syntaktischen Programmierfehler entstehen. Zudem ist die Lösung sowohl für ein

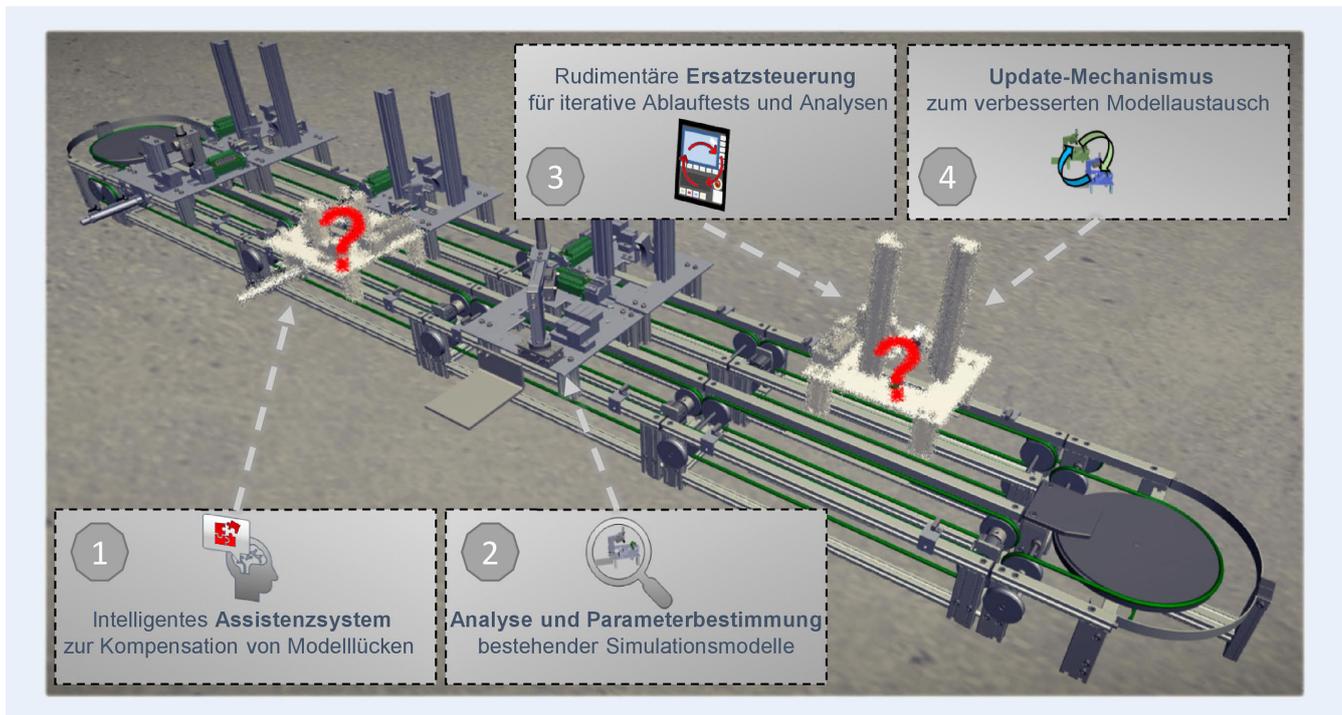


Bild 3. Die vier Kernelemente des intelligenten Assistenzsystems zur Kompensation fehlender Komponenten. *Grafik: ISW Universität Stuttgart*

intelligentes Assistenzsystem als auch für den Anwender einfach und schnell anwendbar.

Um dem modularen Charakter des Anlagenlayouts und einem stetig wachsenden Simulationsmodell gerecht zu werden, muss vorgesehen werden, dass Steuerungen einzelner Anlagenmodule miteinander verknüpft werden können. Dies ist beispielsweise bei benachbarten Fertigungszellen der Fall, die über einen Materialfluss (Förderband oder fahrerloses Transportsystem) miteinander verbunden sind: Die Zellen können einzeln programmiert werden, während später eine Abhängigkeit zwischen den beiden Steuerungen hergestellt werden muss.

Das Ergebnis ist ein intelligentes Assistenzsystem für Simulationswerkzeuge der virtuellen Inbetriebnahme von Anlagen. Es generiert mithilfe einer Prozessbeschreibung und bereits bestehender Teilkomponenten ein Gesamtanlagenmodell und führt dialogbasiert an das geplante Modell heran, sodass die Teilkomponenten bereits im Gesamtprozess getestet und korrekt eingebettet werden können.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Das vorgestellte intelligente Assistenzsystem ermöglicht die Kompensation fehlender Komponenten in einem Gesamtsimulationsmodell, indem KI-basiert im Dialog mit dem Modellentwickler Ersatzmodelle als Lösung gefunden werden oder das Verhalten der fehlenden Komponente in Form eines Platzhalters intelligent nachgebildet wird (**Bild 3** Block 1).

Für das maschinelle Lernen werden dazu Parameter vorhandener Simulationsmodelle aus einer Modellbibliothek verwendet, während als Eingangsdaten für die Modellsuche eine Prozessbeschreibung sowie die bereits vorhandenen peripheren Teilkomponenten dienen (**Bild 3** Block 2). Die eingesetzten Komponenten können dann mithilfe einer Ersatzsteuerung an das bestehende

Simulationsmodell angebunden werden (**Bild 3** Block 3). Da es in der frühen Phase der Modellerstellung häufig zum Austausch einzelner Komponenten im Gesamtmodell kommt, soll zudem ein Updatemechanismus das Verhalten einer ausgetauschten Komponente intelligent auf eine neu eingesetzte Komponente übertragen (**Bild 3** Block 4).

Der Erfolg des vorgestellten intelligenten Assistenzsystems zur Modellkompensation kann nur dann zielführend sein, wenn alle an einem Simulationsprojekt beteiligten Hersteller ihre Simulationsmodelle zum Training der KI zur Verfügung stellen. Um den Know-how-Schutz zu gewährleisten und damit Vertrauen und Akzeptanz bei den beteiligten Unternehmen zu fördern, müssen die Modelle an kritischen Stellen langfristig abstrahiert werden. Damit wird eine generelle Nutzung zwar möglich, das Detailwissen über die Modelle verbleibt aber immer beim Hersteller.

Auch können die Vorschläge, die das Assistenzsystem an die Entwickler weitergibt, nie mit vollständiger Sicherheit korrekt und dem Kontext des Modells angepasst sein. Dieser technische Umstand führt zu zwei Risiken: Zum einen besteht die Gefahr, dass die Entwickler die Nutzung des Systems prinzipiell ablehnen, zum anderen steht dem diametral entgegen, dass sie die Ergebnisse des Systems ungeprüft übernehmen. Daher müssen zunächst Studien zum Nutzerverhalten auf prototypischen Umsetzungen durchgeführt werden, um Verhaltensmuster zu erkennen und das Assistenzsystem auf die Zielgruppe anzupassen.

Durch weiterführende Forschung des Instituts für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen der Universität Stuttgart soll das Konzept eines KI-basierten Assistenzsystems zum beschleunigten Einstieg in die virtuelle Inbetriebnahme prototypisch realisiert und mit dem bestehenden Vorgehen zur Modellerstellung früher Ablaufsimulationen verglichen werden.

Literatur

- [1] Zäh, M. F.; Wünsch, G.; Hensel, T. et al.: Nutzen der virtuellen Inbetriebnahme: Ein Experiment. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 101 (2006) 10, S. 595–599
- [2] Rauen, H.; Mosch, C.; Axmann, E.: Leitfaden Virtuelle Inbetriebnahme. Handlungsempfehlungen zum wirtschaftlichen Einstieg. Stand: 2020. Internet: attachments.vdma.org/attachments/MkedbyJ494FZ885uEYxG. Zugriff am 04.04.2023
- [3] VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V.: VDI/VDE 3693 Blatt 1. Virtuelle Inbetriebnahme – Modellarten und Glossar. Berlin: Beuth Verlag 2016–08
- [4] VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V.: VDI/VDE 3693–2. Virtuelle Inbetriebnahme – Einführung der virtuellen Inbetriebnahme in Unternehmen. Berlin: Beuth Verlag 2018–12
- [5] Tinsel, E.-F.; Verl, I. A.: A simulation model extension to enable continuous control tests during the Virtual Commissioning. Procedia CIRP 112 (2022), pp. 97–102
- [6] Peshkin, M. A.; Colgate, J. E.; Wannasuphprasit, W. et al.: Cobot architecture. IEEE Transactions on Robotics and Automation 17 (2001) 4, pp. 377–390
- [7] OpenAI: ChatGPT: Optimizing Language Models for Dialogue. Stand: 2022. Internet: openai.casa/blog/chatgpt/. Zugriff am 04.04.2023
- [8] Kloth, M.; Land, I.; Herrmann, J.: Ein wissensbasiertes Assistenzsystem für die Fabriklayoutplanung. In: Görke, W. (Hrsg.): Information als Produktionsfaktor. 22. GI-Jahrestagung Karlsruhe, 28.9.–2.10.1992. Berlin: Springer-Verlag 1992, S. 657–666
- [9] Zimmer, M.; Al-Yacoub, A.; Ferreira, P. et al.: Towards Human-Chatbot Interaction: A Virtual Assistant for the Ramp-up Process. Proceedings of the 2020 UKRAS20 Conference: “Robots into the real world”, pp.108–110, doi.org/10.31256/Qx5Dt5V
- [10] Jwo, J.-S.; Lin, C.-S.; Lee, C.-H.: An Interactive Dashboard Using a Virtual Assistant for Visualizing Smart Manufacturing. Mobile Information Systems 2021 (2021), pp. 1–9
- [11] Kuo, C.-F.; Wang, M.-J. J.: Motion generation and virtual simulation in a digital environment. International Journal of Production Research 50 (2012) 22, pp. 6519–6529
- [12] Neyrinck, A.; Lechler, A.; Verl, A.: Automatic Variant Configuration and Generation of Simulation Models for Comparison of Plant and Machinery Variants. Procedia CIRP 29 (2015), pp. 62–67
- [13] Jaensch, F.; Neyrinck, A.; Lechler, A. et al.: Variantenreiche Fabrikplanung. Automatische Variantenerzeugung für den simulationsbasierten Vergleich von Anlagenprojektierungen. wt Werkstatttechnik online 107 (2017) 9, S. 640–646. Internet: www.werkstatttechnik.de. Düsseldorf: Springer-VDI-Verlag
- [14] Tinsel, E.-F.; Riedel, O.: A Virtual Assistant System for the Requirements Elicitation and Initial Simulation Model Variant Generation of Modular Industrial Plants. 28th International conference on mechatronics and machine vision in practice (M2VIP) Nanjing/China, 2022, pp. 1–4, doi.org/10.1109/M2VIP55626.2022.10041099
- [15] Carstensen, K.-U.; Ebert, C.; Ebert, C. et al.: Computerlinguistik und Sprachtechnologie. Eine Einführung. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag 2010



Erik-Felix Tinsel, M.Sc.
Foto: ISW Universität Stuttgart

Dr. Armin Lechler

Prof. Dr.-Ing. **Oliver Riedel**

Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen
und Fertigungseinrichtungen (ISW)
Universität Stuttgart
Seidenstr. 36, 70174 Stuttgart
Tel. +49 711 / 685-84510
erik-felix.tinsel@isw.uni-stuttgart.de
www.isw.uni-stuttgart.de

LIZENZ

Dieser Fachaufsatz steht unter der Lizenz Creative Commons
Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0)