

Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation von Produktionssystemen zur Aus- und Weiterbildung

Hönig, J.; Schnierle, M.; Scheifele, C.; Spielmann, T.; Münster, C.; Roth, A.; Röck, S.; Verl, A.
atp magazin, atp 63 (6-7), Vulkan-Verlag, 2021

<https://doi.org/10.17560/atp.v63i6-7.2538>

Peer-Review: 20.01.2021

Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation

Von Produktionssystemen zur Aus- und Weiterbildung

Jana Hönig, VAL, Hochschule Esslingen; Marc Schnierle, VAL, Hochschule Esslingen; Christian Scheifele, ISG Industrielle Steuerungstechnik GmbH; Tobias Spielmann, ISW, Universität Stuttgart; Carlos Münster, Roth Steuerungstechnik GmbH; Armin Roth, Roth Steuerungstechnik GmbH; Sascha Röck, VAL, Hochschule Esslingen; Alexander Verl, ISW, Universität Stuttgart

Der X-in-the-Loop Entwicklungsprozess nimmt einen großen Stellenwert in der heutigen Entwicklung und Inbetriebnahme von Produktionssystemen im Maschinenbau ein. In Zukunft wird die Bedeutung der Aus- und Weiterbildung technischer Fachkräfte z.B. für den Betrieb der Anlagen weiter zunehmen. Zu diesem Zweck werden bislang im Engineering entstehende virtuelle Anlagenmodelle in Kombination mit modernen Visualisierungstechnologien nur vereinzelt eingesetzt. Dies ist neben dem großen Erstellungsaufwand auch auf die fehlende Konsistenz der Modelle zurückzuführen. Der Beitrag stellt dazu einen Lösungsansatz zur Verknüpfung von Hardware-in-the-Loop Simulationen mit modernen Visualisierungsmethoden zu einer Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation vor. Die Funktionsfähigkeit des Konzepts wird an einem ausgewählten Produktionssystem nachgewiesen.

#Mixed Reality #Hardware-in-the-Loop Simulation #Aus- und Weiterbildung

Mixed-Reality-in-the-Loop simulation of production systems

From production systems to vocational education and job training

The X-in-the-loop development process plays a major role in the development and commissioning of production systems in mechanical engineering. In the future, the importance of training and further education of technical specialists, e.g. for the operation of the systems, will continue to increase. Virtual plant models created in engineering are only occasionally used for this purpose in combination with modern visualization technologies. This is due not only to the great effort involved in creating them but also to the lack of consistency of the models. This article presents an approach for linking hardware-in-the-loop-simulations with modern visualisation methods to form a mixed-reality-in-the-loop simulation. The functionality of the concept is demonstrated for a selected production system.

#mixed reality #hardware-in-the-loop simulation #vocational education and training

1. Motivation

Der fachgerechte und sichere Umgang mit Automatisierungslösungen erfordert zunehmend umfangreichere Schulungen für das technische Fachpersonal, insbesondere aufgrund der steigenden Komplexität der Maschinen und Anlagen. Die erforderlichen Schulungen erfolgen im Regelfall an der realen Anlage auf Basis der zugehörigen Dokumentation und variieren in der inhaltlichen Tiefe über die Bedienung hin zur Programmierung und Instandhaltung. Aktuelle Schulungen weisen allerdings erhebliche didaktisch-methodische Nachteile auf: Beispielsweise ist nur ein eingeschränkter interaktiver Umgang mit der bereits im Betrieb befindlichen Anlage möglich, Verletzungsrisiken bestehen und die individuelle Interaktion mit dem Lernobjekt bei mehreren Schulungsteilnehmern ist nur bedingt möglich. Für die Zukunft bieten neuartige Schulungsformen wie Schulungen anhand digitaler Maschinenmodelle große Potentiale zur Behebung dieser Defizite.

Im Design, Aufbau und der Integration von Produktionsanlagen und -maschinen werden bereits heute spezialisierte

Simulationsmodelle eingesetzt. Im Engineeringprozess des Maschinenbaus kommen dabei häufig drei Simulationsmethoden zum Einsatz: Model-in-the-Loop (MiL), Software-in-the-Loop (SiL) und Hardware-in-the-Loop (HiL) Simulationen [1]. Bei der HiL wird die reale Steuerungshardware (z.B. CNC-Steuerungen) über reale Schnittstellen (z. B. Feldbus) an ein Echtzeit-Simulationsmodell angeschlossen, welches das Verhalten der realen Maschine nachbildet. Die HiL-Simulationsmodelle werden bereits teilweise in der Schulung eingesetzt, können jedoch die beschriebenen Nachteile realer Schulungen aufgrund der mangelnden Interaktivität nur partiell beheben. Zudem ist die Darstellung der dreidimensionalen Schulungsinhalte bislang auf eine exozentrische und zweidimensionale Projektion auf dem Computer-Monitor begrenzt. An dieser Stelle versprechen moderne Visualisierungsmethoden wie Augmented Reality (AR) und Virtual Reality (VR) Mehrwerte, indem den Schulungsteilnehmenden ein immersiver Umgang mit der virtuellen Anlage ermöglicht wird. Die Kombination einer HiL-Simulation mit modernen Visualisierungsmethoden

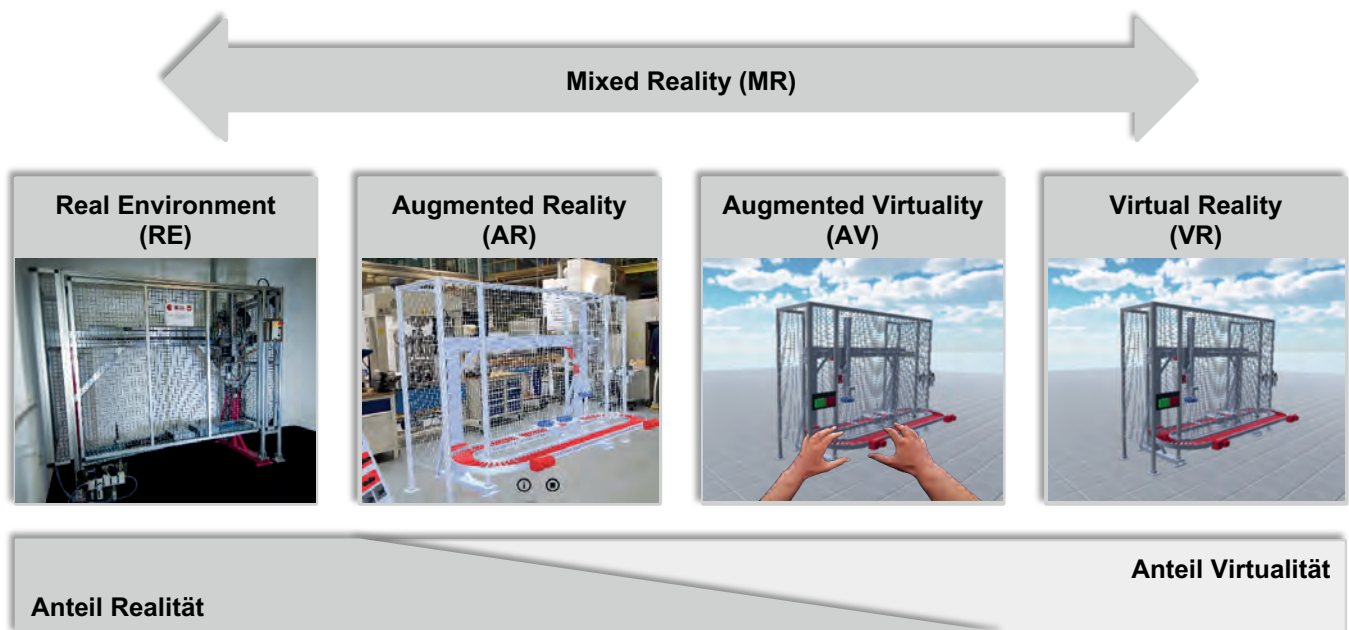


Abbildung 1: Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum am Beispiel eines Produktionssystems.

bietet ein hohes Potential für die qualitative Verbesserung der Schulungsmöglichkeiten bzw. -ergebnisse und wirkt zudem den Nachteilen aktueller realer Schulungen entgegen.

2. Stand der Wissenschaft und Technik

Nachfolgend werden derzeitige Aktivitäten im Bereich der Echtzeit-Simulationen im Maschinenbau und moderner Visualisierungsmethoden im Kontext der Schulung sowie deren Verknüpfung skizziert.

2.1 Hardware-in-the-Loop Simulation (HiLS)

Der Grundstein für die Echtzeit-HiL im Maschinenbau wurde 2004 in [2] gelegt. Unter Echtzeit versteht man die Anforderung, dass ein Rechensystem in einer definierten Zeitspanne korrekt reagiert [3]. Aktuelle Forschungsschwerpunkte in diesem Themenkomplex sind neben der Integration detaillierterer Prozesssimulationen durch (Echtzeit-) Co-Simulationen [4],[5] bspw. auch die automatisierte Modellgenerierung unter Einsatz eines mechatronischen Baukastenprinzips [6]. Der Einsatz der HiL Simulation erfolgt trotz des hohen Erstellungsaufwandes der Simulationsmodelle meist lokal für das Engineering und nur in Einzelfällen für die Schulung. Die dreidimensionalen Modelle werden dabei exozentrisch (benutzerunabhängig) auf zweidimensionale Monitore ohne immersive Anteile projiziert. Der Nutzer interagiert über Maus und Tastatur mit den virtuellen Inhalten.

Unternehmen, die in ihrem Entwicklungsprozess mittlerweile solche Simulationsmethoden einsetzen, suchen vermehrt nach Lösungen, um die in der VIBN entstandenen virtuellen Maschinen- und Anlagenmodelle an ihre Kunden für weitere Einsatzzwecke auszuliefern. Ein Ziel ist hierbei die Schulung des Betriebspersonals in einer virtuellen Lernumgebung.

2.2 Mixed Reality (MR)

Moderne Visualisierungsmethoden wie bspw. Mixed Reality (MR) greifen an dem Defizit der exozentrischen (benutzerunabhängig) und zweidimensional-projizierten Visualisierung an und ermöglichen eine egozentrische (benutzerabhängige) immersive Visualisierung.

Bereits 1994 beschreiben Milgram et al. in ihrem Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum die Mixed Reality (MR) als stufenlose Kombination virtueller und realer Komponenten [7]. Entsprechend dem Verhältnis virtueller und realer Komponenten werden vier Hauptgruppen unterschieden. Während die reale Welt (RE) ausschließlich reale physische Elemente enthält, wird in dem anderen Extremfall der Virtual Reality (VR) die komplette Umgebung computergeneriert. Zwischen diesen beiden Extremen wird entsprechend dem Verhältnis von virtuellen und realen Inhalten zwischen Augmented Reality (AR) und Augmented Virtuality (AV) klassifiziert (siehe Abbildung 1). Eine wichtige Kenngröße virtueller Umgebungen ist die Immersion, die das Gefühl des Eintauchens in eine virtuelle Welt beschreibt [8].

Im Kontext der Schulung beschäftigen sich verschiedene Forschungsarbeiten mit der immersiven egozentrischen Visualisierung und der intuitiven multimodalen Interaktion in Mixed Reality: [9],[10],[11],[12]. Das Verhalten des Modells wird dabei in einer Nicht-Echtzeit-Simulation ohne Integration der realen Steuerungshardware nachgebildet. Dies verhindert eine stufenlose Kombination von realen und virtuellen Komponenten wie bspw. den Einsatz eines realen Bedienpanels mit einem virtuellen Anlagenmodell in einem gemeinsamen Simulationskreislauf. Durch die fehlende Integration der realen Steuerungsalgorithmik resultiert zudem ein Konsistenzbruch zwischen Realität und Virtualität im Schulungsszenario. Darüber hinaus sind die Applikationen meist endgerätespezifisch entwickelt, was zu einem hohen Erstellungsaufwand und Adaptionaufwand führt.

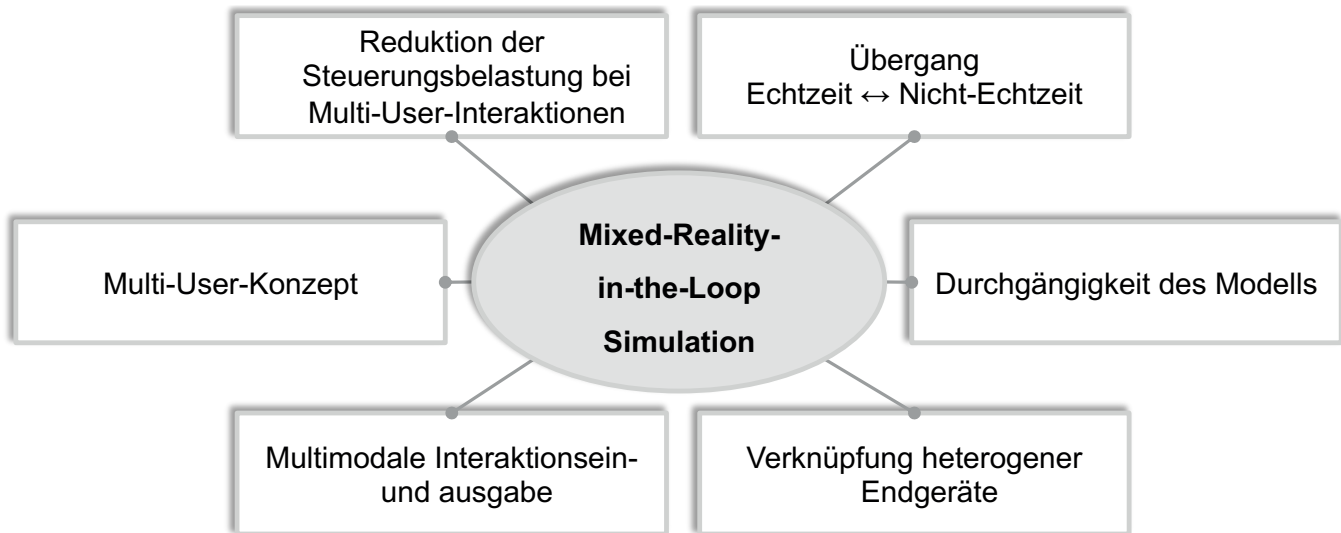


Abbildung 2: Anforderungen an die Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation.

2.3 Mixed Reality und Echtzeit

Zwischen den Bereichen der Echtzeit-Simulation und der Immersion gibt es einzelne Arbeiten, die moderne Visualisierungsmethoden mit realen Steuerungen bzw. Simulations-Tools koppeln: [13],[14],[15],[16],[17]. Bei diesen Ansätzen erfolgt die Kinematisierung der virtuellen Komponenten meist über reale Maschinen- und Anlagendaten. Die Ansätze sind für einen Single-User konzipiert, während bei einer Schulung in Mixed Reality die Verknüpfung mehrerer Teilnehmer in einer gemeinsamen Welt von zentraler Bedeutung ist. In diesem Kontext sind auch große technologische Herausforderungen z.B. durch die steigende Kommunikationslast der Steuerungshardware zu identifizieren. Die Implementierung dieser Lösungen erfolgt darüber hinaus meist applikations- und endgerätespezifisch. Die Adaption auf andere Anwendungen ist daher nur mit einem hohen Aufwand möglich.

2.4 Bisherige Defizite

Zusammengefasst lässt sich für die bestehenden Ansätze und Forschungsarbeiten feststellen, dass bislang eine Trennung zwischen der Interaktion und Visualisierung von Anlagenmodellen in der Mixed Reality und der Abbildung des Echtzeit-Verhaltens von Maschinen und Anlagen in HiL-Simulatoren vorliegt. Dies führt zu einer fehlenden Durchgängigkeit dieser beiden Domänen. Eine Schulung mit Abbildung des realen Anlagenverhaltens in Echtzeit in Kombination mit intuitiver und immersiver Multi-User-Interaktion mit dem Schulungsobjekt in Mixed Reality ist bislang somit nicht möglich.

3. Lösungsansatz Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation (MRiLS)

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten KMU-innovativ Förderprogramms „Mensch-Technik-Interaktion“ befassen sich die Autoren als Lösung für die fehlende Durchgängigkeit im Forschungsprojekt Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation (MRiLS) mit einem

hybriden Interaktionskonzept für Schulungen mittels Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation. Das Ziel ist ein durchgängiges Simulationsmodell von dem Engineering bis hin zur Schulung parallel zur Betriebsphase des Produktionssystems.

3.1 Anforderungen

Für die Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation (MRiLS) ist es notwendig, die Grenze zwischen der Echtzeit der Steuerungstechnik und der Nicht-Echtzeit der modernen Visualisierungsmethoden aufzulösen, sodass bilaterale Interaktionen zwischen Mixed Reality Usern und der Steuerung sowie den Anlagenkomponenten in Echtzeit möglich sind. Dies bedarf einer domänenübergreifenden Vernetzung der unterschiedlichen Teilnehmer von der Steuerung über das Echtzeit-Simulationsmodell bis hin zum mobilen Endgerät.

Darüber hinaus ist für die Durchgängigkeit des Modells eine einfache, schnelle und flexible Bereitstellung des MRiLS Simulationsmodells zu gewährleisten. Änderungen müssen dabei ohne hohen Adaptionaufwand möglich sein. Zudem sollten die kundenindividuellen Schulungsszenarien auf die neuen Schulungsmethoden angepasst und auf Basis der bestehenden Engineering-Daten automatisch generiert werden können, um die Durchgängigkeit des gesamten Systems sicherzustellen.

Neben der Bereitstellung und Durchgängigkeit des Modells sowie der individuellen Interaktion eines Nutzers ist auch die Verknüpfung mehrerer Mixed Reality User in einer gemeinsamen Welt von zentraler Bedeutung. Die Endgerätewelt sowie die verschiedenen multimodalen Interaktionsein- und ausgaben sind durch heterogene Strukturen geprägt. Um hierbei einen hohen Erstellungs- und Adaptionaufwand zu vermeiden, ist eine Trennung zwischen Gerätetechnik und Simulationsmodell erforderlich. Darüber hinaus sollen durch den Einsatz der MRiLS mehrere Nutzer standortunabhängig und zeitsynchron mit dem Schulungsmodell interagieren können. Hieraus resultiert eine große Anzahl an Interaktionen, die die Steuerungshardware belasten können. Um diese Belastung zu minimieren, bedarf es

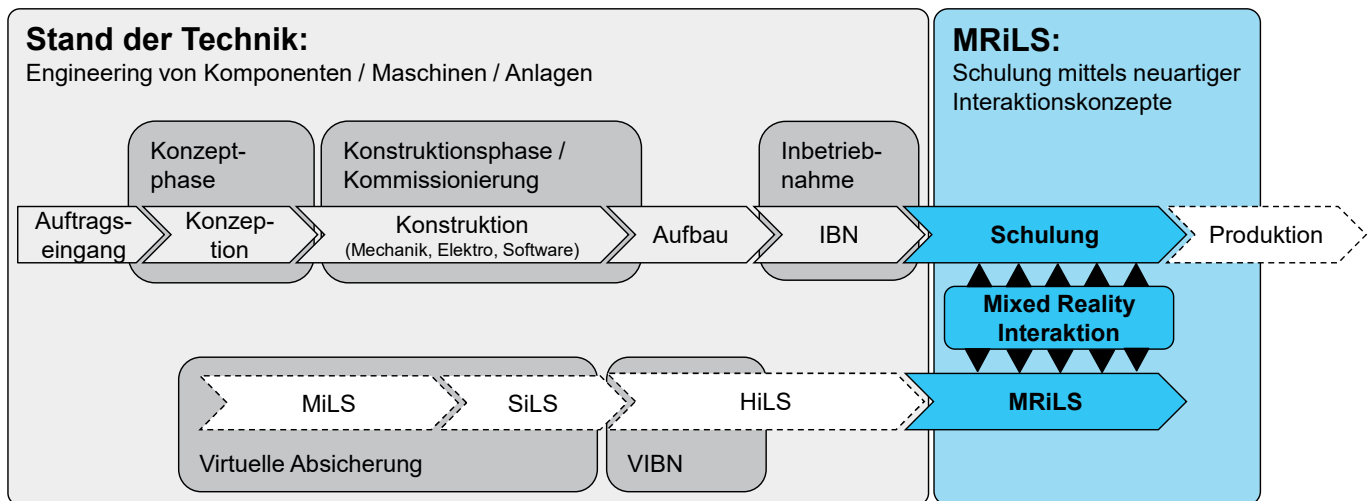


Abbildung 3: Anknüpfung der Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation an den X-in-the-Loop Entwicklungsprozess

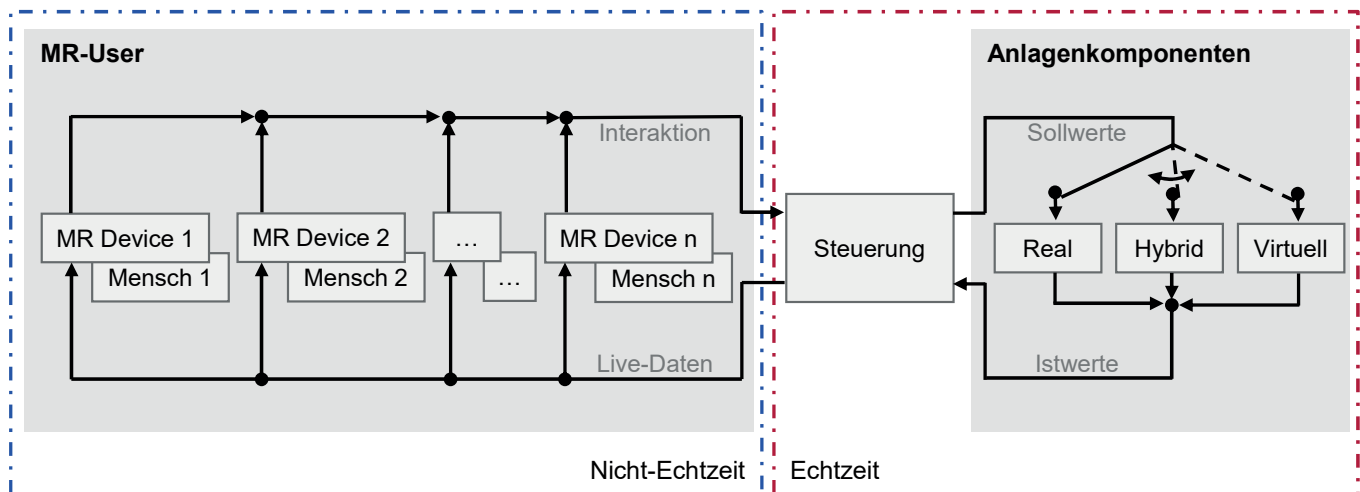


Abbildung 4: Aufbau der Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation.

einer Methode zur asynchronen Sammlung der Interaktionsdaten und belastungsarmen Weiterleitung der Modelldaten. Zudem muss die Interaktionsfreigabe der einzelnen Objekte für die einzelnen Nutzer methodisch definiert sein, um eine Mehrfachinteraktion und die hierdurch entstehende fehlende Konsistenz im System zu verhindern. In Abbildung 2 sind die Anforderungen an die MRiLS zusammengefasst.

3.2 Erweiterung des X-in-the-Loop Prozesses

Um die zuvor aufgeführten Herausforderungen zu überwinden, soll in dem hier beschriebenen Ansatz die etablierte X-in-the-Loop Methodenreihe, bestehend aus der Model-in-the-Loop-, Software-in-the-Loop- und Hardware-in-the-Loop Simulation, automatisch um ein neuartiges, weiteres Simulationsmodell erweitert werden: die Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation. Die kunden-individuellen Mixed-Reality-in-the-Loop Simulationsmodelle samt individueller Schulungsunterlagen und -szenarien sollen dabei automatisch aus den bereits im Engineering vorhandenen

(Komponentenbasierten) Simulationsmodellen der virtuellen Inbetriebnahme erstellt werden (Abbildung 3).

3.3 Aufbau der MRiLS

Die Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation kennzeichnet sich durch die Verknüpfung realer Anlagenkomponenten und Steuerungen mit virtuellen Anlagenkomponenten unter Einbeziehung des Menschen und dessen Interaktion sowie einer immersiven egozentrischen Visualisierung und intuitiven multi-modalen Interaktion in Mixed Reality. Das System ist dabei nicht auf einen Nutzer begrenzt, sondern es sollen mehrere Nutzer mit dem gleichen MRIL Simulationsmodell interagieren können (Abbildung 4).

Abhängig von der Ausprägung der Simulationstopologie können reale Anlagenkomponenten, von einzelnen Feldbuskomponenten bis hin zu kompletten mechatronischen Baugruppen, in den Aufbau integriert sein. Der Mensch interagiert über die Steuerung sowohl mit den realen als auch den virtuellen Anlagenkomponenten, deren Verhalten durch zugehörige Komponentenmodelle nachgebildet und

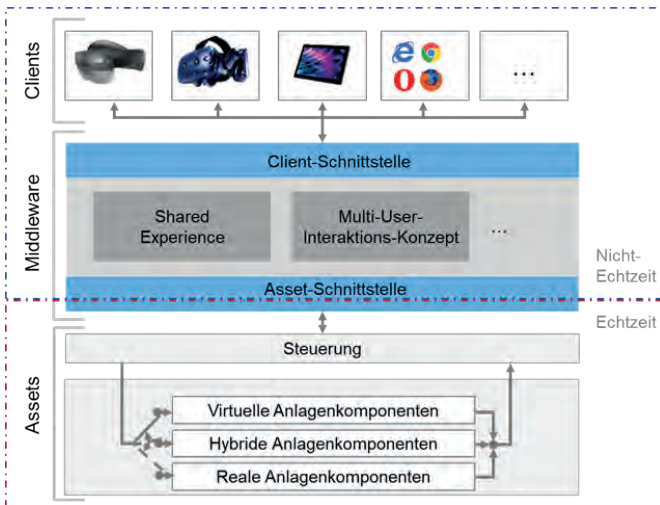


Abbildung 5: Vorgeschlagene Plattform-Architektur für die Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation.

über die Echtzeit-Simulation bereitgestellt wird. Die Antwort auf die Interaktion (das Anlagen-/Maschinenverhalten) erhält der Mensch über die Visualisierung der MRiLS mittels Mixed Reality Methoden. Dabei entspricht das Verhalten der Echtzeit-Simulation aus Sicht des Menschen dem realen Maschinenverhalten. Die Interaktion des Menschen im späteren Arbeitsalltag an der realen Anlage/Maschine bleibt somit erhalten.

3.4 Plattform für die MRiLS

Das Grundkonzept der Plattform für die Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation ist in Abbildung 5 dargestellt. Um die Anzahl der Nutzer und deren Interaktionseingaben von den realen Komponenten zu entkoppeln, wird das Konzept der Middleware vorgeschlagen. Die Middleware verbindet dabei unabhängig von dem verwendeten Kommunikationsprotokoll die Steuerungshardware sowie die angekoppelten Anlagenkomponenten mit den webfähigen Endgeräten (Tablet, Smartphone, Laptop) und AR / VR-Brillen.

Die Steuerung mit den angekoppelten virtuellen und realen Anlagenkomponenten (sogenannte „Assets“) wird über die Asset-Schnittstelle an die Middleware angebunden. Über die Client-Schnittstelle können sich beliebige webfähige Endgeräte mit der Middleware verbinden und die Prozesse instanzieren. Auf dem Endgerät selbst erfolgt lediglich das Rendering der Szene sowie die Verarbeitung der Interaktionseingaben. Die Interaktion wird entsprechend [18] abstrahiert, so dass verschiedene Ein- und Ausgabegeräte auf Basis einer gemeinsamen Interaktionsmodellierung eingesetzt werden können.

In der Middleware erfolgt die Ausführung der endgeräteübergreifenden Shared Experience zur Kollaboration von mehreren Nutzern in einer gemeinsamen MRiLS sowie des Multi-User-Interaktions-Konzeptes. Im Kontext der Shared Experience werden die Positions-Daten der einzelnen Clients zyklisch von dem jeweiligen Client an die Middleware gesendet, dort verarbeitet und anschließend an die anderen Clients ausgeliefert. Das Multi-User-Interaktions-Konzept koordiniert die bilateralen Interaktionen zwischen Mixed

Reality Usern und der Steuerung sowie den Anlagenkomponenten. Hierzu ist es zum einen notwendig, die Interaktionsfreigabe für die einzelnen Clients festzulegen und zum anderen die Grenze zwischen der Echtzeit und der Nicht-Echtzeit aufzulösen. Die Benutzereingaben werden von jedem Client eventbasiert asynchron an die Middleware übermittelt, dort verarbeitet und zusammengeführt, um so eine Belastung der Steuerung durch das individuelle Senden der Interaktionseingaben durch die einzelnen Nutzer zu verhindern. Die Übermittlung der gebündelten Interaktionsanweisungen an die Assets erfolgt über die Asset-Schnittstelle. Nach entsprechender Auswertung der Interaktionsanweisungen in den Assets, wird die Reaktion des Systems den angebotenen Clients über die Middleware zur Verfügung gestellt.

4. Anwendungsbeispiel

Das in Kapitel 3 vorgestellte Konzept für die MRiLS wurde prototypisch umgesetzt. Bild 6 zeigt den Aufbau der MRiLS für das ausgewählte Anwendungsbeispiel des Schulungsladers der Firma Roth Steuerungstechnik.

Bei dem Schulungslader handelt es sich um ein Linienportal, das über zwei translatorische Achsen und einen pneumatischen Greifer verfügt. Der Lader führt einfache Pick&Place Aufgaben an zwei vereinfacht ausgeführten Bearbeitungsstationen aus, deren Verhalten durch Simulationsmodelle abgebildet werden. Durch eine rücklaufende Schwerkraftrollenbahn wird ein umlaufender Materialfluss realisiert.

Im Bedarfsfall kann die Applikation virtuell um erforderliche Komponenten auf Basis der realen Steuerungstechnik zu einem hybriden Aufbau erweitert werden. Eine virtuelle Förderstrecke mit Antriebstechnik und Sensorik wurde bereits umgesetzt. Denkbar ist die Einbindung weiterer Komponenten und Arbeitsstationen.

Mit der Umsetzung des MRiLS Konzeptes am Schulungslader kann der Mensch sowohl mit den realen als auch den virtuellen Komponenten immersiv und multimodal interagieren.

4.1 Realisierung

Die Hardware-in-the-Loop Simulation wird in diesem Anwendungsbeispiel unter Verwendung eines Industrie-PCs der Firma Beckhoff und des Echtzeit-Betriebssystems TwinCAT mit der Simulationssoftware ISG-virtuos in Echtzeit umgesetzt. Die verwendete Architektur ist in Abbildung 7 dargestellt.

Die Übertragung des auf dem Simulationsrechner in ISG-virtuos modellierten Simulationsmodells auf die echtzeitfähige Steuerung erfolgt durch Instanziierung des Solvers. Der Solver läuft dabei in Echtzeit auf der Steuerung. Für den Datenaustausch zwischen Simulationsrechner und IPC wird die Automation Device Specification (ADS) von Beckhoff verwendet. Die Übertragung der über den ISG-virtuos Solver auf dem IPC berechneten Maschinenzustände an die VAL - Digital Twin as a Service (DTaaS)-Plattform erfolgt über TwinCAT OPC UA Methoden. Der reale Schulungslader ist über PROFINET an den IPC angebunden.

Damit der Digitale Zwilling trotz der heterogenen Endgerätewelt sowie den vielfältigen multimodalen Interaktionsein- und ausgaben gemeinsam genutzt werden kann, erfolgt die

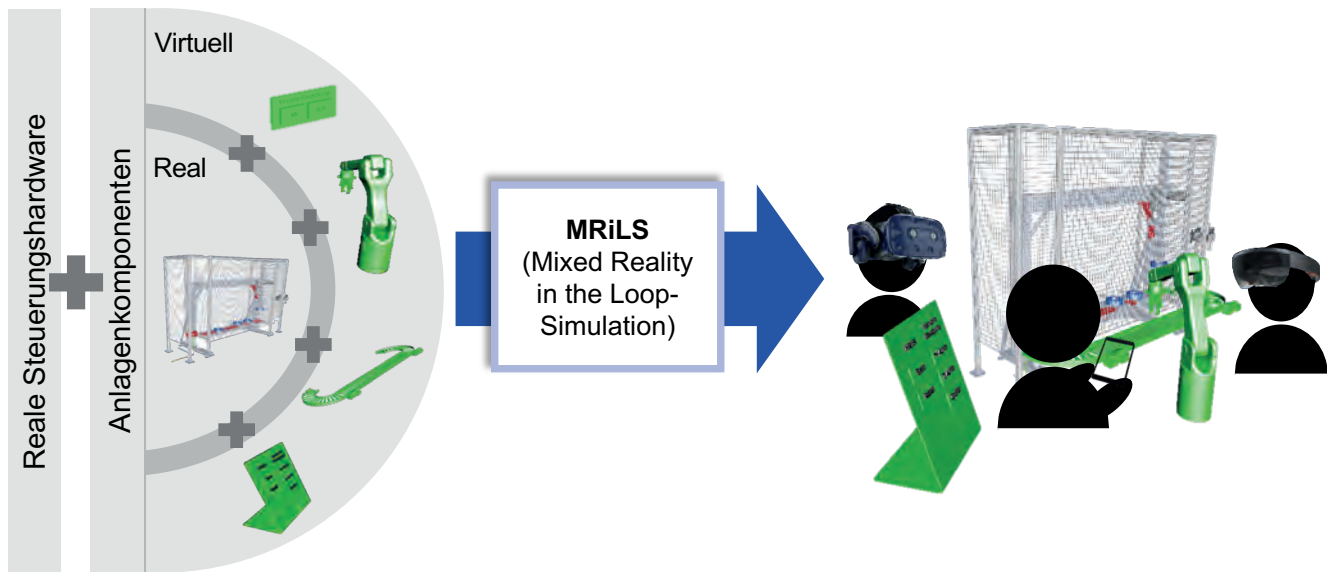


Abbildung 6: Aufbau der MRiLS am Anwendungsbeispiel Schulungslader.

Bereitstellung der virtuellen Anlagenkomponenten für die MR Endgeräte endgeräteunabhängig und abstrahiert auf Grundlage einer gemeinsamen Datenbasis. Dabei werden die Interaktionen der einzelnen MR User entsprechend Kapitel 3.4 in der Client-Schnittstelle abstrahiert, asynchron in der DTaaS-Plattform ausgewertet und an die Steuerung weitergeleitet. Die Berechnung der Maschinenzustände erfolgt auf Basis des erstellten Simulationsmodells unter Berücksichtigung der Interaktionseingaben der MR User auf dem IPC. Die Reaktion der virtuellen Anlagenkomponenten wird dem MR User visuell über das jeweilige Endgerät zurückgemeldet. Hierauf reagiert der MR User gegebenenfalls durch eine weitere Interaktionseingabe.

Der Nutzer ist mit der MRiLS in der Lage das reale Umfeld visuell, um die virtuellen Anlagenkomponenten auf Basis einer Echtzeit-Simulation zu erweitern, sowie mit den virtuellen Komponenten über den Digitalen Zwilling in Form eines Hologramms zu interagieren. In Abbildung 8 ist ein beispielhafter Einsatz der MRiLS des Schulungsladers dargestellt.

5. Vorteile und Potentiale der MRiLS

Der Einsatz der Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation in der Aus- und Weiterbildung bietet die Möglichkeit, dass technische Fachkräfte mit realer Steuerungshardware als auch dem virtuellen Echtzeit-Simulationsmodell immersiv interagieren und die „reale“ Reaktion der virtuellen Produktionsanlage/-maschine mittels neuartigen Mixed-Reality-Verfahren „erleben“. Hierbei können reale Anlagenkomponenten visuell einbezogen werden, sodass keine Modellierung aller realen Anlagenkomponenten notwendig ist.

Die MRiLS ermöglicht zudem ein zeitunabhängiges sowie ein gemeinsames kollaboratives Lernen über Standorte hinweg. Durch die Skalierbarkeit des MRiLS Simulationsmodells ist es darüber hinaus möglich, dass die Lernenden individuell und immersiv an dem Schulungssystem lernen, ohne dass es einen Stillstand der Produktionsanlage und somit einen Ausfall von Produktionskapazitäten bedarf. Die Kopplung

von virtuellen Anlagenkomponenten mit der Echtzeit-Simulation ermöglicht zudem das Trainieren des Verhaltens in Gefahrensituationen ohne Gefährdung des Lernenden und der Maschine anhand des realen Anlagenverhaltens. Des Weiteren sind explorative Lernformen und interaktive Lernprozesse durch die Gefahrenminimierung bei virtuellen Anlagenkomponenten möglich. Die immersive, egozentrische und multimodale Darstellung des Schulungsszenarios in Mixed Reality bietet zudem die Möglichkeit der verbesserten Vermittlung komplexer Zusammenhänge durch neuartige Interaktionsmethoden wie bspw. den Blick in den Innenraum der Maschine oder die Fertigung in Zeitlupe.

Aus der Durchgängigkeit des Ansatzes und der hieraus resultierenden direkten Ableitung des MRiLS Simulationsmodells aus dem Engineeringprozess folgt zudem eine

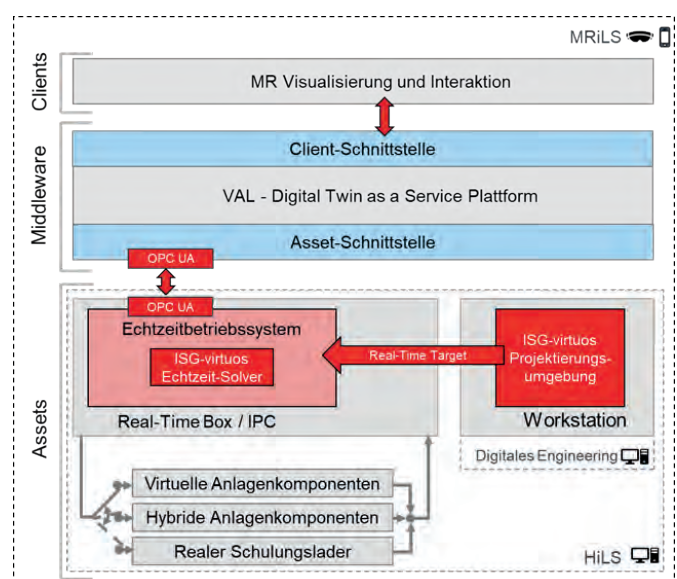


Abbildung 7: Architekturüberblick der MRiLS am Beispiel des Schulungsladers.

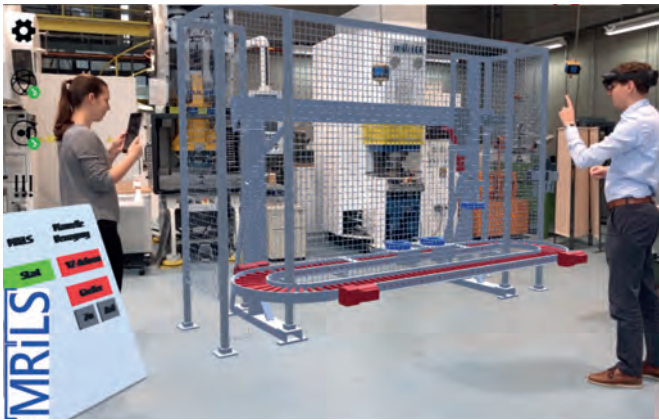


Abbildung 8: Beispielhafter Einsatz der MRiLS des Schulungsladers.

erhöhte Konsistenz, sowie eine einfache Adaption an Änderungen und somit eine erhöhte Flexibilität des Systems. Darüber hinaus können die kundenindividuellen Schulungsszenarien aus bestehenden Engineering-Daten abgeleitet werden und eine aufwändige Erstellung zusätzlicher Modelle ist nicht mehr notwendig.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Zur Schulung technischer Fachkräfte werden bislang nur vereinzelt im Engineering entstehende virtuelle Anlagenmodelle eingesetzt. Dies ist neben dem großen Erstellungsaufwand auch auf die fehlende Konsistenz der Modelle zurückzuführen. Als Lösungsansatz wird in diesem Beitrag die Verknüpfung der aus dem Engineeringprozess bereits vorhandenen Hardware-in-the-Loop Simulationen mit modernen Visualisierungsmethoden zu einer Mixed-Reality in-the-Loop Simulation (MRiLS) vorgestellt. Der Ansatz zeichnet sich unter anderem durch eine Middleware zur Entlastung der Steuerung bei Multi-User-Interaktionen, eine Interaktions-Abstraktion zur Verknüpfung verschiedener Endgeräte auf einer gemeinsamen Datenbasis

Referenzen

- [1] VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik: Virtuelle Inbetriebnahme - Modellarten und Glossar, VDI/VDE 3693 Blatt 1, 2016
- [2] Röck, S.: Echtzeitsimulation von Produktionsanlagen mit realen Steuerungssystemen. Jost-Jetter Verlag Heimsheim. 2007
- [3] International Organization for Standardization: Information technology – Vocabulary. ISO/IEC 2382:2015
- [4] Scheifele, C., Verl, A., Riedel, O.: Real-time co-simulation for the virtual commissioning of production systems. In: Procedia CIRP 79, 397-402. 2019
- [5] Scheifele, C., Verl, A., Riedel, O.: Echtzeit-co-simulation für die virtuelle Inbetriebnahme. atp magazin, 60 (11-12), 44-55. 2018
- [6] Scheifele, S.: Generierung des Digitalen Zwillings für den Sondermaschinenbau mit Losgröße 1. Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung, Band 107. Fraunhofer Verlag. 2020
- [7] Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., Kishino, F.: Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. Telem manipulator and Telepresence Technologies. 1994
- [8] Kruse Brandão, T., Wolfram, G.: Praxisbeispiele entlang der Customer und

sowie durch eine Multi-User-Interaktionsmethode zur Verbindung mehrerer Teilnehmer in einer gemeinsamen konsistenten virtuellen Welt aus. Die prototypische Realisierung des Anwendungsbeispiels eines mechatronischen Systems weist die Funktionsfähigkeit dieses Ansatzes nach.

In weiterführenden Arbeiten werden unter anderem die automatische Generierung des MRiL Simulationsmodells aus dem Engineeringprozess sowie die Anreicherung der HiL Modelle der Schulungsanlagen mit Trainingsszenarien, zugeschnitten auf die jeweiligen, individuellen Schulungsanforderungen, untersucht. Ein weiterer Fokus liegt auf der Erforschung der intuitiven und multimodalen Multi-User-Interaktion in Mixed Reality Umgebungen sowie der Kompensation von Latenz- und Abtasteffekten in MRiL Simulationen. Ausgehend von der technischen Umsetzung soll zudem der didaktische Aspekt vertieft und bislang eingesetzte Schulungskonzepte an die neuen Anforderungen angepasst werden. Die Evaluation der Konzepte erfolgt sowohl in der betrieblichen und beruflichen Bildung als auch in der Hochschulbildung.

Danksagung

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 16SV8344 bis 16SV8348 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.



- Consumer Journey. In: Digital Connection. Springer Gabler, Wiesbaden. 2018 doi: 10.1007/978-3-658-18759-0_9
- [9] Gonzalez-Franco, M., Pizarro, R., Cermemon, J., Li, K., Thorn, J., Hutabarat, W., Tiwari, A., Bermell-Garcia, P.: Immersive Mixed Reality for Manufacturing Training. Frontiers in Robotics and AI, Volume 4. 2017
- [10] Muszyńska, M., Szybicki, D., Gierlak, P., Kurc, K., Burghardt, A., Uliasz, M.: Application of Virtual Reality in the Training of Operators and Servicing of Robotic Stations. In: Camarinha-Matos L., Afsarmanesh H., Antonelli D. (eds) Collaborative Networks and Digital Transformation. PRO-VE 2019. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 568. Springer, Cham. 2019 doi: 10.1007/978-3-030-28464-0_52
- [11] Roldán Gómez, J., Crespo, E., Martín-Barrío, A., Peña-Tapia, E., Barrientos, A.: A training system for Industry 4.0 operators in complex assemblies based on virtual reality and process mining. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 59. 305-316. 2019 doi: 10.1016/j.rcim.2019.05.004

- [12] Shamsuzzoha, A., Toshev, R., Vu Tuan, V., Kankaanpaa, T., Helo, P.: Digital factory – virtual reality environments for industrial training and maintenance. Interactive learning environments. 2019 doi: 10.1080/10494820.2019.1628072
- [13] Dominka, S.: Hybride Inbetriebnahme von Produktionsanlagen - von der virtuellen zur realen Inbetriebnahme. Sierke Verlag. 2007
- [14] Kuts, V., Tauno, O., Toivo, T., Yevhen, B.: Digital twin based synchronised control and simulation of the industrial robotic cell using virtual reality. In: Journal of Machine Engineering. 19. 128-144. 2019 doi: 10.5604/01.3001.0013.0464
- [15] Hormaza, L., Mohammed, W. M., Ramis, B., Bejarano, R., Martinez Lastra, J. L.: On-line Training and Monitoring of Robot Tasks through Virtual Reality. IEEE 17th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), Helsinki, Finland, 841-846. 2019 doi: 10.1109/INDIN41052.2019.8971967
- [16] Pérez, L., Diez, E., Usamentiaga, R., Garcia, F. D.: Industrial robot control and operator training using virtual reality interfaces. Computers in Industry. 109. 114-120. 2019 doi: 10.1016/j.compind.2019.05.001
- [17] Böhme, T., Kennel, M., Schumann, M., Winge, A.: Automatisierte Erstellung domänenübergreifender Modelle und echtzeitfähige Kopplung von Simulation, Visualisierung und realen Steuerungen. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung, 155-172. 2009
- [18] Schnierle, M., Röck, S.: Plattform für die Mixed-Reality-in-the-Loop-Simulation – Ein Beitrag zur Mixed-Reality-in-the-Loop-Simulation als Erweiterung der X-in-the-Loop-Methodenreihe. wt-online. Springer-VDI-Verlag. 2018

AUTOREN

Jana Hönig, M.Eng. (geb. 1994) ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Virtual Automation Lab der Hochschule Esslingen. Ihr Forschungsschwerpunkt liegt auf der intuitiven und multimodalen Multi-User-Interaktion in Mixed Reality Umgebungen sowie deren Modellierung.

Kontakt

Virtual Automation Lab (VAL)
Hochschule Esslingen
Kanalstraße 33
73728 Esslingen
☎ +49 711 397-3590
@ Jana.Hoenig@hs-esslingen.de

Marc Schnierle, M.Sc. (geb. 1992) ist wissenschaftlicher Mitarbeiter und Gruppenleiter am Virtual Automation Lab der Hochschule Esslingen. Sein Forschungsschwerpunkt liegt auf der `Mixed Reality in the Loop´ - Simulation von Produktionssystemen und der Kompensation von Latenz- und Abtasteffekten.

Dr.-Ing. Christian Scheifele (geb. 1989) leitet seit 2019 den Forschungs- und Entwicklungsbereich Simulationstechnik der ISG Industrielle Steuerungstechnik GmbH. Er ist Fachmann im Bereich der Echtzeitsimulation von Maschinen und Anlagen und promovierte im Jahr 2019 am ISW, Universität Stuttgart mit seiner wissenschaftlichen Arbeit „Plattform zur Echtzeit-Co-Simulation für die virtuelle Inbetriebnahme“.

Tobias Spielmann, M.Sc. (geb. 1992) ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Steuerungstechnik der

Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen an der Universität Stuttgart. Sein Forschungsschwerpunkt liegt auf der Mensch-Technik-Interaktion sowie der Überführung von Technologien der I4.0 in Lehr- und Lernräume.

Carlos Münster, M.Sc. (geb. 1990) ist bei der Roth Steuerungstechnik GmbH im digitalen Engineering tätig. Seine Schwerpunkte liegen auf der Modellierung und Simulation komplexer Automatisierungsanlagen sowie der Forschung und Entwicklung im Bereich der Simulationstechnik.

Dipl.-Ing. (FH) Armin Roth, MBA (geb. 1985) ist geschäftsführender Gesellschafter der Roth Steuerungstechnik GmbH – Lieferant und Dienstleister innovativer und kompletter Automatisierungslösungen mit höchsten Qualitätsansprüchen.

Prof. Dr.-Ing. Sascha Röck (geb. 1970) ist Professor und Leiter des Forschungsbereichs Virtual Automation Lab an der Hochschule Esslingen. Seine fachlichen Schwerpunkte liegen in den Bereichen der Echtzeit-Simulation, Smart Factory Data und Simulation, virtuelle Inbetriebnahme, Einsatz von Mixed Reality Methoden in der Produktion, Edge-Cloud Computing und Indoor-Flugrobotik.

Prof. Dr.-Ing. Alexander Verl (geb. 1966) ist ordentlicher Professor und Leiter des Instituts für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen an der Universität Stuttgart. Seine fachlichen Schwerpunkte liegen in den Bereichen industrielle Steuerungstechnik, Mechatronik, Robotik und Produktions-IT.