Bei diesem Beitrag handelt es sich um einen wissenschaftlich begutachteten und freigegebenen Fachaufsatz („reviewed paper").

doi.org/10.37544/1436–4980–2023–05–22

Erweiterung der Testautomatisierung um Methoden der Mixed-Reality-in-the-Loop-Simulation (MRiLS)

# Konzept zur Testfallgenerierung mittels Mixed Reality

*J. Hönig, D. Littfinski, M. Schnierle, S. Röck, A. Verl*

Dieser Beitrag stellt ein Konzept zur Testfallgenerierung bei der virtuellen Inbetriebnahme (VIBN) mittels Mixed-Reality-in-the-Loop-Simulation (MRiLS) vor. Ziel ist es, die bislang limitierte Interaktion bei der Testfallerstellung über Schalttafeln durch Methoden der Mixed Reality um eine intuitive dreidimensionale Interaktion zwischen Mensch und Simulationsmodell in einer immersiven räumlichen Umgebung zu erweitern. Dies eröffnet neue Möglichkeiten, um das praxisnahe Fachwissen unterschiedlicher Mitarbeitender (zum Beispiel Anlagenbediener) für die Testfallgenerierung zu nutzen und dadurch die Testtiefe erhöhen zu können.

STICHWÖRTER

Virtual Reality, Simulation, Mensch und Technik

## Concept for test case generation using Mixed Reality

This paper presents an approach for test case generation in virtual commissioning using Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation (MRiLS). The aim is to extend the currently limited interaction for test case generation via control panels by methods of mixed reality with an intuitive three-dimensional interaction between human and simulation model in an immersive 3D environment. This offers new ways of integrating and reusing the practical expertise of various employees (such as plant operators) for test case generation to increase the test depth.

## 1 Motivation

Durch den wachsenden Automatisierungs- und Komplexitätsgrad von Produktionssystemen in der Industrie steigt der Zeit- und Kostenaufwand für die Inbetriebnahme signifikant an [1]. Für die dadurch ebenfalls steigenden Anforderungen an die Entwicklung der Steuerungstechnik kommen computergestützte Werkzeuge zum Einsatz. Eine wichtige Methode der Softwareentwickler im Bereich der Steuerungsentwicklung ist die virtuelle Inbetriebnahme (VIBN) auf Basis von Simulationsmodellen des Produktionssystems.

Während ein realer Aufbau des Produktionssystems erst beim Kunden beziehungsweise vorab beim Hersteller in Betrieb genommen wird, kann die Steuerung durch den Einsatz der VIBN deutlich früher im Entwicklungsprozess und am Arbeitsplatz des Softwareentwicklers stattfinden [2]. Eine solche Entwicklungs- und Testumgebung wird im mechatronischen Engineeringprozess als X-in-the-Loop-Simulation (XiLS) bezeichnet, in der ein Testobjekt X gegen seine simulierte Umgebung getestet werden kann. So wird beispielsweise bei der Software-in-the-Loop-Simulation (SiLS) ausschließlich der Steuerungscode gegen die Simulation getestet. Dagegen wird bei der Hardware-in-the-Loop-Simulation (HiLS) die komplette Steuerungssoftware inklusive Steuerungshardware, Feldbus und Betriebssystem wie an der realen Anlage getestet.

### 1.1 Testautomatisierung

Das manuelle Testen mittels XiLS ist mit hohen Aufwänden verbunden. Daher wurden computergestützte Verfahren, Techniken und Werkzeuge für das Testen von Softwareprogrammen, das so genannte Computer Aided Software Testing (CAST), entwickelt. Methoden des CAST können den Prozess des Softwaretestens automatisieren und Softwaretests durchführen, die durch manuelles Testen nicht oder nur unter großem Aufwand möglich sind (zum Beispiel sich wiederholende Testfälle). Bislang manuelle Tätigkeiten wie Testausführung und Testauswertung können somit automatisiert ausgeführt werden [3, 4]. Dazu werden die Funktionstests in einer Testplattform über eine grafische Oberfläche in Form von Testfällen erstellt. Bei der Testfallgenerierung werden neben den Standardfunktionstests (beispielsweise Human-Machine-Interface (HMI)-Funktionstests) vor allem „negative" Testfälle betrachtet, die das Störverhalten einzelner mechatronischer Komponenten simulieren, um die Reaktion der Steuerung im Falle einer Störung zu testen [5]. Die verschiedenen Testfälle werden zu Testsequenzen zusammengestellt, welche automatisiert gegen das virtuelle Produktionssystem getestet werden.

Für die Testfallgenerierung stehen in einer Testplattform verschiedene Schnittstellen für die Kommunikation mit der XiLS zur Verfügung (**Bild 1**).

Das HMI wird einerseits zum Lesen von Maschinendaten verwendet, zum anderen werden die Funktionen der HMI genutzt, um die Steuerung in einen definierten Zustand zu versetzen (a).

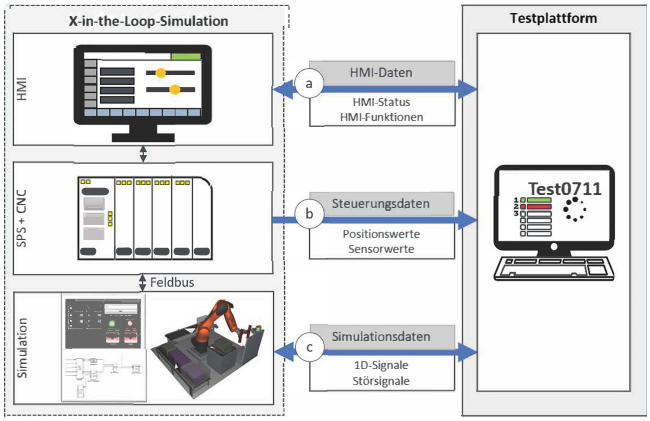



**Bild 1**. Testplattform mit Anbindung an eine X-in-the-Loop-Simulation (XiLS). *Grafik: ISW*

**Bild 2**. Beispielhafte Steuertafel für die Testfallerstellung. *Grafik: ISW*

Zudem ermöglicht eine Kommunikationsschnittstelle zwischen Steuerung und Plattform, die für die Erstellung der Testszenarien relevanten internen Daten aus der SPS (Speicherprogrammierbare Steuerung) und der CNC (Computerized Numerical Control, zum Beispiel Positionswerte) auszulesen. Über eine Steuertafel im Simulationswerkzeug kann zudem direkt mit der Simulationsumgebung interagiert werden (c). Dabei werden die Signale aus der Simulation für die Steuertafel in 1D-Signale (zum Beispiel Positionsänderung in einer Koordinatenachse) abstrahiert. Durch die Abstraktion entsteht ein großes Defizit bei der Testfallgenerierung, da die Produktionsanlage in der Simulation nur begrenzt über die 1D-Signale manipulierbar ist.

Um eine komplexe Startbedingung eines Testfalls zu generieren, müssen eine Vielzahl von Signalen in Form von abstrahierten Schaltern auf einem Bedienfeld in logischer Reihenfolge ausgeführt werden. Die Erzeugung der Zustände durch verschiedene Steuerungs- und Bedienfeldbefehle kann je nach Simulationsmodell sehr zeitaufwendig und komplex sein. Zudem wird bei größeren Anlagen oft mit unterschiedlichen Steuerungen gearbeitet, wodurch entsprechend viele Steuertafeln zur Beeinflussung der Simulation notwendig sind. Dies hat zur Folge, dass die Testerstellung in der Regel sehr aufwendig und nur von Experten durchführbar ist. **Bild 2** zeigt eine beispielhafte Steuertafel für die Testfallerstellung am Beispiel eines Roboters mit Materialfluss.

Als Startbedingung sind bei diesem Testszenario die Roboterposition sowie ein definierter Zustand des Materials auf dem Förderband notwendig. Durch abstrahierte 1D-Signale sind nur eingeschränkte Materialinteraktionen möglich, das heißt nur vorabdefinierte Materialflusselemente wie zum Beispiel ein Förderband können mit dem Material interagieren. Aufgrund des idealisierten Verhaltens in der Materialflusssimulation ist es zudem schwierig, Störsituationen in Testfälle zu implementieren, in denen sich das Material gerade nicht ideal verhalten soll.

Eine Herausforderung bei der Testfallerstellung besteht darin, die Generierung von Störsituationen im idealisierten Verhaltensmodell der XiLS durch Integration des Menschen in die Simulation und eine intuitive räumliche Interaktion mit dem Testszenario zu ermöglichen.

## 1.2 Mixed-Reality-in-the-Loop-Simulation (MRiLS)

Parallel zu den Methoden der virtuellen Inbetriebnahme und Testautomatisierung wird für die räumliche Interaktion, beispielsweise für die Schulung technischer Fachkräfte, der Einsatz von Visualisierungs- und Interaktionsmethoden der Mixed Reality (MR) erforscht [6–9]. Methoden der MR kombinieren reale und virtuelle Komponenten in einer gemeinsamen Umgebung und ermöglichen damit eine dreidimensionale und für den Betrachter immersive Visualisierung der virtuellen Komponenten sowie eine intuitive Interaktion zwischen dem Menschen und den computergenerierten Komponenten. Entsprechend dem Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum nach *Milgram* [10] können die verschiedenen Kombinationen von realen und virtuellen Komponenten in vier Hauptkategorien unterteilt werden (**Bild 3**).

Während die reale Umgebung (Real Environment, RE) ausschließlich reale Komponenten enthält, ist die virtuelle Umgebung (Virtual Reality, VR) vollständig computergeneriert. Zwischen diesen beiden Extremen gibt es zwei Ausprägungsstufen,

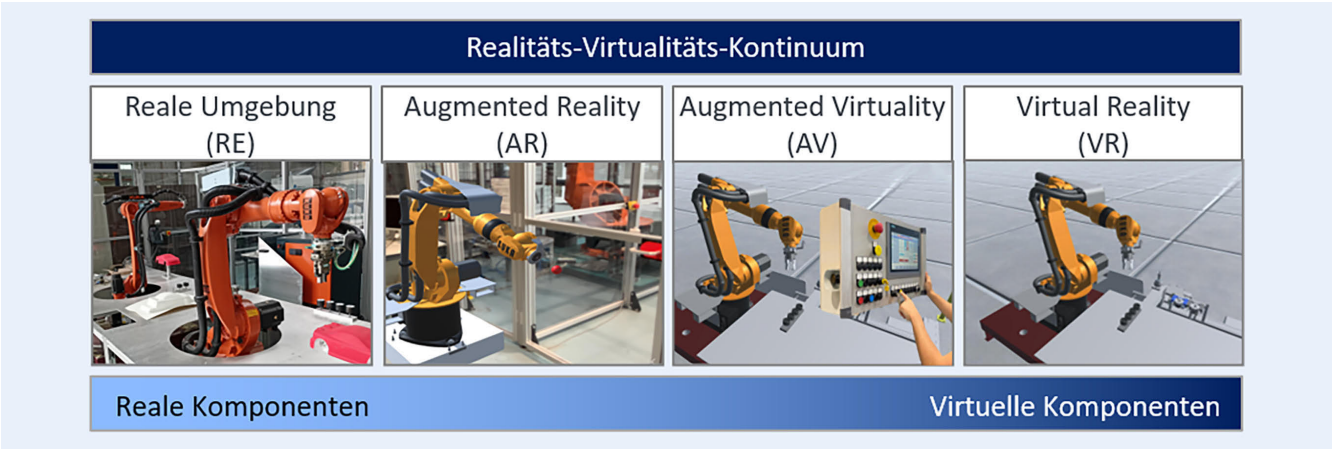



**Bild 3**. Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum nach [10]. *Grafik: VAL*

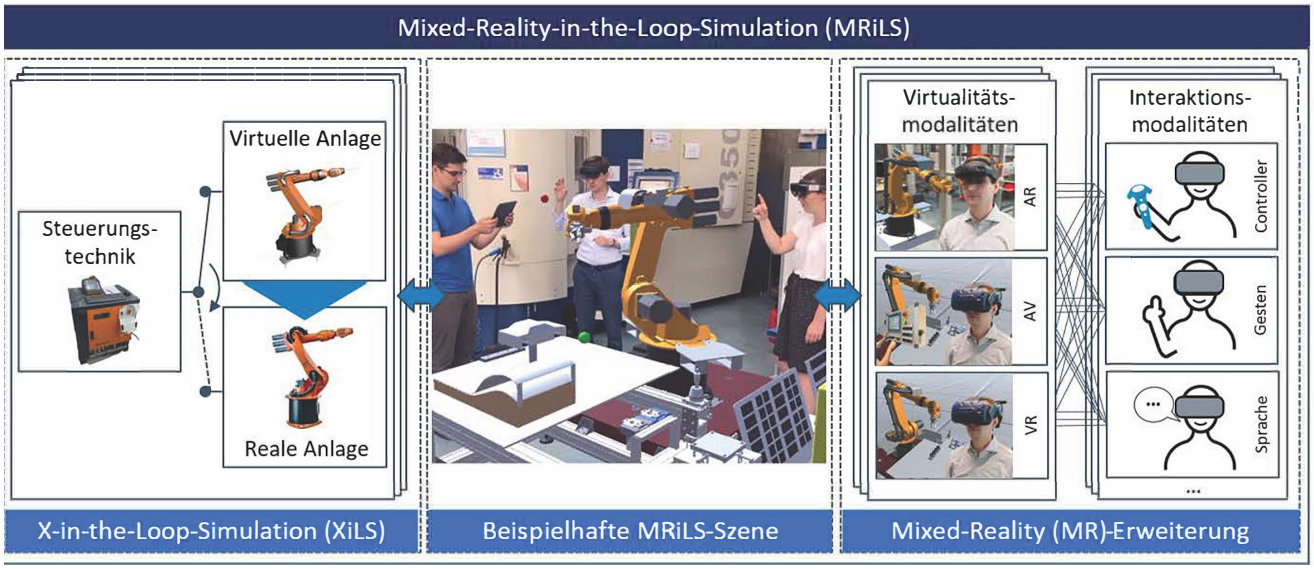



**Bild 4**. Aufbau einer Mixed-Reality-in-the-Loop-Simulation (MRiLS) für die Schulung technischer Fachkräfte im Maschinen- und Anlagenbau. *Grafik: VAL*

die reale und virtuelle Inhalte in einer gemeinsamen Umgebung kombinieren. Besteht das System überwiegend aus realen Inhalten (zum Beispiel Roboter virtuell, Anlagenperipherie real), wird es der Augmented Reality (AR) zugeordnet. Ein System mit umgekehrtem Verhältnis (beispielsweise Hände und HMI real, Rest virtuell) gehört zur Augmented Virtuality (AV).

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Forschungsprojekts „Mixed-Reality-in-the-Loop-Simulation (MRiLS)“ wird die Kopplung von XiLS-Modellen mit Visualisierungs- und Interaktionsmethoden der MR für die Schulung technischer Fachkräfte im Maschinen- und Anlagenbau erforscht (**Bild 4**, [9]).

Während durch die detailgetreuen XiLS-Modelle eine hohe Schulungstiefe erreicht werden kann, ermöglichen die Methoden der MR eine egozentrische (von der Benutzerposition abhängige) Visualisierung sowie eine intuitive Mensch-Modell-Interaktion. Dabei kann jeder Nutzende eine Virtualitätsmodalität (zum Beispiel AR, AV oder VR) mit einer oder mehreren Interaktionsmodalitäten (zum Beispiel Controller, Gesten oder Sprache) kombinieren. Ziel ist es, den Menschen und dessen Verhalten vollständig in den Simulationskreislauf zu integrieren und dadurch einen hohen Immersionsgrad sowie ein starkes Präsenzgefühl bei dem Nutzenden hervorzurufen.

Die Forschungsergebnisse und Erkenntnisse aus dem Projekt MRiLS zeigen weiteres Nutzungspotenzial zur intuitiven Testfallgenerierung für die Testautomatisierung auf Basis einer XiLS in Kombination mit Methoden der MR.

## 2 Vision der Testfallgenerierung mittels Mixed-Reality-in-the-Loop-Simulation

Durch die Kombination der Testautomatisierung mit Visualisierungs- und Interaktionsmethoden der Mixed Reality sollen die zuvor aufgezeigten Defizite bei der Testfallgenerierung für die Testautomatisierung gelöst werden. An die Stelle der limitierten Interaktion über Maus und Tastatur soll eine intuitive räumliche Interaktion zwischen Mensch und Simulationsmodell treten. So soll die bisherige Manipulation der Simulation bei der Testfallerstellung über abstrahierte 1D-Signale in einer auf 2D-Computermonitoren projizierten 3D-Umgebung auf eine 3D-Interaktion in einer immersiven 3D-Umgebung erweitert werden (**Bild 5**).

Ziel der Kombination von Testautomatisierung und MRiLS ist, das praxisnahe Fachwissen von Mitarbeitenden aus unterschiedlichen Funktionsebenen und Bereichen (zum Beispiel Anlagenbedienende, Schichtleitung) für die Testfallgenerierung zu nutzen und somit die Testtiefe zu erhöhen. Die Mitarbeitenden sollen durch die Methoden der MR befähigt werden, die Testfälle intuitiv zu erstellen, sodass das praxisnahe Fachwissen der unterschiedlichen Fachkräfte konserviert und direkt genutzt werden kann. Auf Basis der Interaktion des Menschen mit dem Testobjekt sollen die Testfälle über Algorithmen in einer Testplattform abstrahiert, in ausgewählten Parametern verändert und in einer Testsequenz hinterlegt werden.

Ziel ist es, durch Anpassung der Testfallparameter eine hohe Testabdeckung zu erreichen. So kann beispielsweise bei Einlegeprozessen von Werkstücken in die Anlage die Geschwindigkeit parametrisch variiert werden. Der Mensch führt somit die Vielzahl verschiedener Testfälle in MR nicht manuell aus, sondern initiiert diese einmalig durch sein Kontextwissen in der Testplattform. Für eine hohe Varianz beim Testen werden zudem verschiedene Testsequenzen kombiniert. Neben der Testsequenzgenerierung und -ausführung sollen in der Testplattform auch Möglichkeiten der Validierung der durchgeführten Tests (zum Beispiel erreichte Testtiefe) zur Verfügung stehen. Zur Optimierung der bisherigen Testvalidierung soll die immersive MR-Visualisierung genutzt werden, um zum Beispiel einen Fehler in der Produktionsanlage schneller zu lokalisieren.

**Bild 6** zeigt mögliche Einsatzszenarien der Testfallgenerierung mittels Mixed-Reality-in-the-Loop-Simulation für die Modell- und Materialinteraktion. Durch die Testfallgenerierung in MR können Testfälle im Vergleich zur Steuertafel nicht nur intuitiver und schneller generiert werden, sondern es können auch neue Testformen simulativ durchgeführt werden, die sonst nur in der Inbetriebnahme getestet werden.

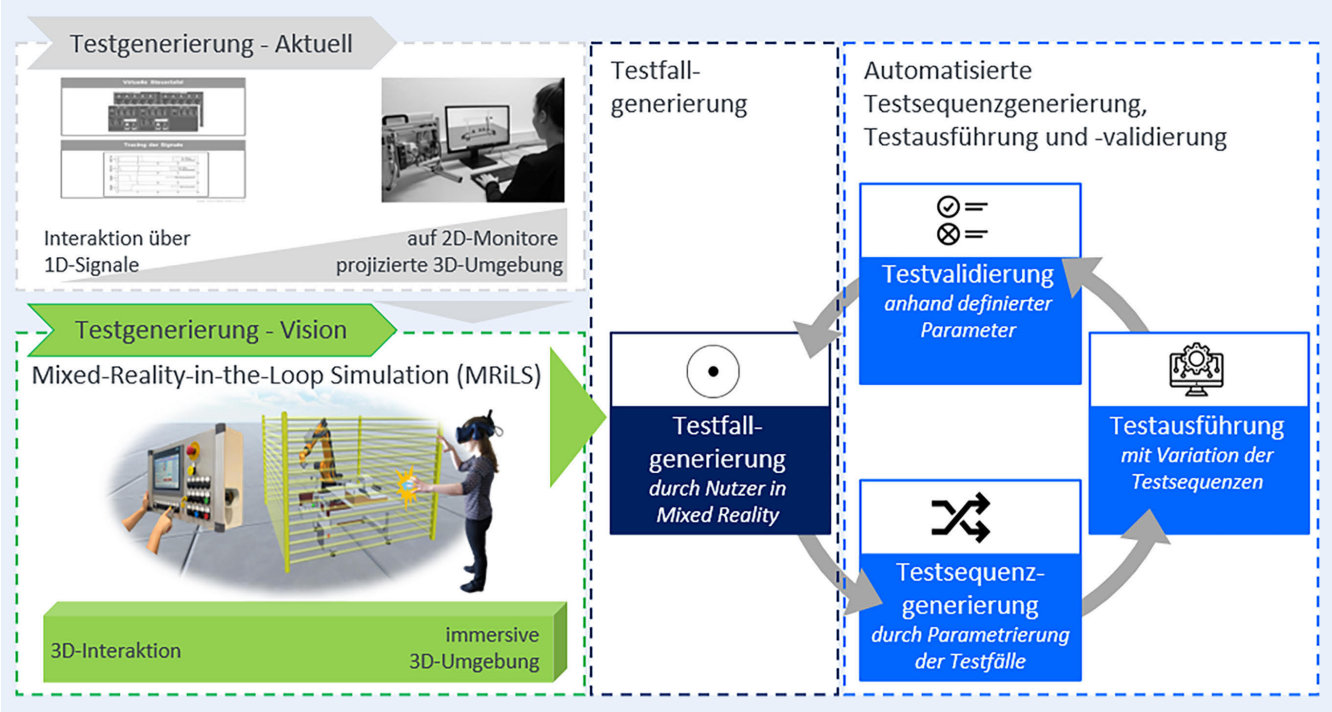



**Bild 5**. Testfallgenerierung mittels Mixed-Reality-in-the-Loop-Simulation. *Grafik: VAL*

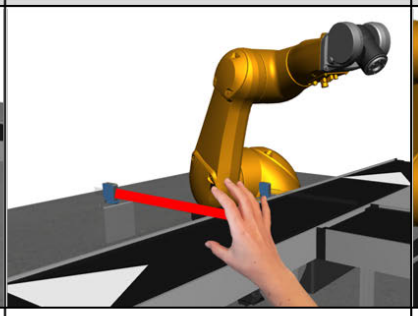
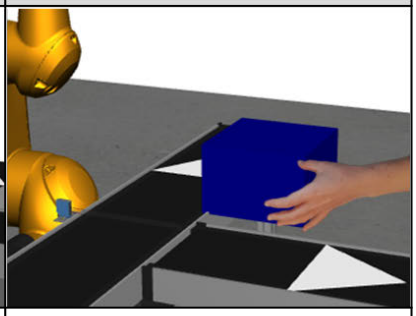
| Interaktionsart | I | II | III |
|---|---|---|---|
| | Modellinteraktion | | Materialinteraktion |
| | HMI-basierte Interaktionen | 3D-Interaktionen | 3D-Interaktionen |
| Beispielszene | |  |  |
| Einsatzmöglichkeiten | ▪ Starten der Anlage<br>▪ Stoppen der Anlage<br>▪ Bedienfehler (z.B. Türverriegelung)<br>▪ Datenhaltung (z.B. Werkstück) | ▪ Teachen von Anfangs- und Endbedingungen<br>▪ Bedienfehler (z.B. Schutztür nicht geschlossen)<br>▪ Manipulation des Verhaltensmodells (z.B. Lichtschranke) | ▪ Fehlerinjektion (z.B. Dopplung des Materials)<br>▪ Einlegen des Materials<br>▪ Entnahme des Materials (z.B. Sichtprüfung) |

**Bild 6**. Beispielhafte Einsatzszenarien der Testfallgenerierung mittels MRiLS. *Grafik: ISW und VAL*

## 3 Anforderungen an Testfallgenerierung mit Mixed-Reality-in-the-Loop-Simulation

Die Kopplung der automatisierten Testfallgenerierung mit Methoden der MRiLS zur Testfallgenerierung erfordert die Lösung folgender Anforderungen:

1. Durchgängiges Datenmodell: Die Testfallgenerierung mittels MRiLS erfordert ein durchgängiges Datenmodell (zum Beispiel Geometrie- und Verhaltensmodell) zwischen XiLS und MR-Umgebung.
2. Physikbasiertes Interaktionsmodell: In der MR-Umgebung müssen alle für das Testszenario notwendigen Objekte interaktiv gestaltet sein. Die Interaktionsmöglichkeiten müssen

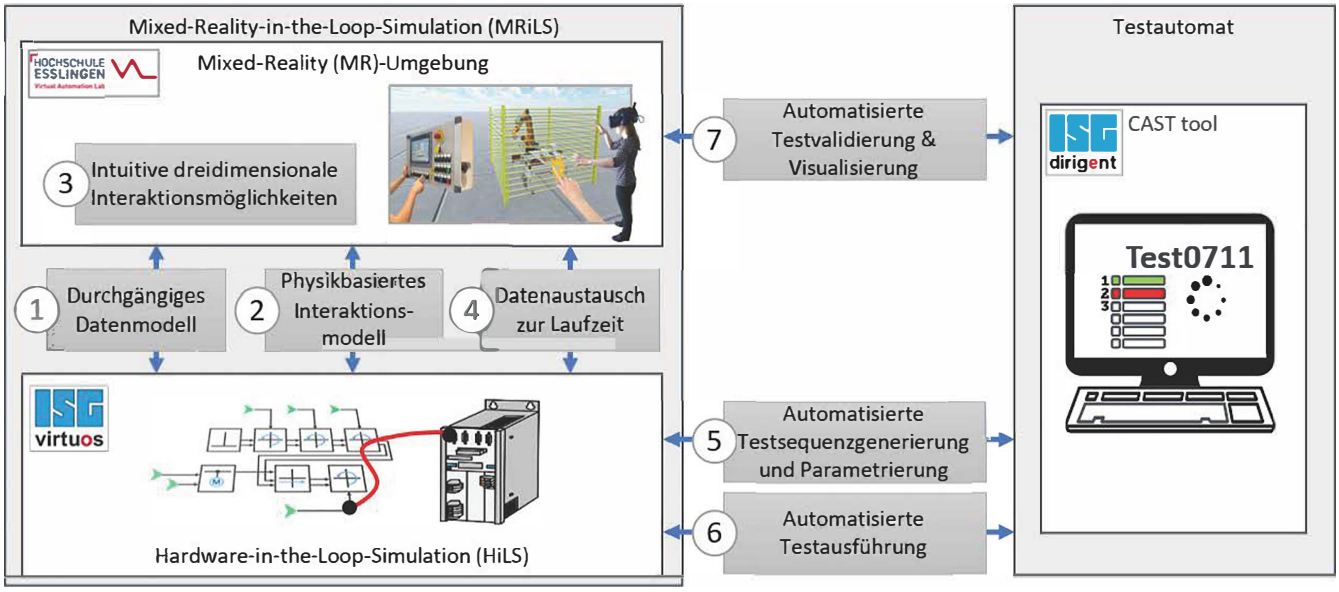



**Bild 7.** Forschungskonzept für die Testfallgenerierung mittels Mixed-Reality-in-the-Loop-Simulation. *Grafik: ISW und VAL*

sowohl Modell- und Materialinteraktionen als auch die nötigen physikalischen Objekteigenschaften für die Testinitiierung (zum Beispiel Umkippen, Verklemmen) umfassen.

3. Intuitive dreidimensionale Interaktionsmöglichkeiten: Die Testfallgenerierung in MR erfordert die vollständige Integration des Menschen in den Simulationskreislauf. Dies umfasst neben der visuellen Ausgabe des Maschinenzustands und der Interaktionsfähigkeit des Modells auch intuitive dreidimensionale Interaktionsmöglichkeiten mit realen und virtuellen Objekten in der MR-Umgebung.
4. Datenaustausch zur Laufzeit: Neben dem durchgängigen Datenmodell ist während der Laufzeit ein latenzarmer bidirektionaler Datenaustausch zwischen XiLS, MR-Umgebung und Testplattform erforderlich.
5. Automatisierte Testsequenzgenerierung und Parametrierung: Die Testsequenzen müssen basierend auf der Testfallgenerierung durch den Menschen in MR unter Beachtung „industrieller Echtzeit“ und Reproduzierbarkeit automatisiert und durch geeignete Parametrierung mit einer ausreichenden Testvarianz generiert werden.
6. Automatisierte Testausführung: Die Testfallsequenzen müssen in einer ausreichend hohen Varianz von möglichen Fehlerfällen in unterschiedlichen Fehlerkonstellationen automatisiert ausgeführt werden.
7. Automatisierte Testvalidierung: Nach abgeschlossener Testausführung müssen die Testfälle anhand definierter Kriterien (zum Beispiel Testtiefe) validiert werden.

## 4 Konzept für die Testfallgenerierung mit Mixed-Reality-in-the-Loop-Simulation

**Bild** 7 zeigt den Aufbau des Forschungskonzepts für die Testfallgenerierung mittels MRiLS.

Angelehnt an das Forschungsprojekt MRiLS wird in diesem Konzeptentwurf für das Verhaltensmodell die Echtzeitsimulationssoftware „ISG-virtuos“ eingesetzt. Die Bereitstellung der MRiLS erfolgt in der am Virtual Automation Lab (VAL) der Hochschule Esslingen entwickelten Digital-Twin-as-a-Service Plattform (DTaaSP). Die DTaaSP ermöglicht neben der standort- und endgeräteunabhängigen Bereitstellung der MRiLS auch eine flexible Kopplung von MR-Endgeräten mit Simulations- und Realdaten der angebundenen Steuerungstechnik und Simulationssoftware [11]. Für die Kopplung der beiden Softwaretools soll auf die bereits bestehende Schnittstelle über industrielle Kommunikationsstandards wie OPC UA aufgebaut werden. Über diese Schnittstelle können essenzielle Simulationsdaten (zum Beispiel Maschinenzustand, Positions- und Orientierungsänderungen von Material) ausgetauscht und in der MR-Umgebung visualisiert werden. Für die Testplattform soll das bereits in früheren Arbeiten [12] eingesetzte Softwaretool „ISG-dirigent“ verwendet werden, das verschiedene Schnittstellen für die Kommunikation mit der Steuerung, HMI sowie der Simulation bietet. Aufbauend auf diesem Konzeptentwurf sollen in Zukunft die zuvor beschriebenen Anforderungen erforscht werden.

Die Testfallgenerierung mittels MRiLS erfordert neben einem durchgängigen Datenmodell (Geometrie- und Verhaltensmodell) zwischen ISG-virtuos und DTaaSP (Bild 7, (1)) auch die Erweiterung des Verhaltensmodells um ein physikbasiertes Interaktionsmodell (2), das sowohl Modell- als auch Materialinteraktionen umfasst. Das Interaktionsmodell muss für alle Objekte Interaktionsmöglichkeiten bereitstellen, die für die Testfallgenerierung nötig sind. Aufgrund der Vielzahl an möglichen Interaktionen sollte die Interaktionsfähigkeit des Modells ohne Vorabkonfiguration ermöglicht werden. Zur Reduktion des damit verbundenen Rechenaufwands kann die Integration von Multiskalenmodelle für die Kollisionsberechnung notwendig sein, um nur die für das aktuelle Szenario notwendigen Kollisionen zu berechnen.

Für die Testfallgenerierung wird der Mensch durch MR-Methoden in den Simulationskreislauf integriert. Damit der Nutzende mit allen für die Testfallgenerierung notwendigen Anlagen- und Materialkomponenten intuitiv und mit hohem Immersionsgrad interagieren kann, sind verschiedene Interaktionsformen zu erforschen (3). Dafür sollen bereits existierende Interaktionsformen der MRiLS untersucht und erweitert werden. Beispielsweise sind haptische Interaktionsformen mit Datenhandschuhen in einer MR-Umgebung für Tests an einer virtuellen Anlage

bislang nur sehr eingeschränkt nutzbar. Gründe dafür sind die aufwendige Nachmodellierung von Bedienkomponenten (beispielsweise HMI einer Maschinensteuerung) und die empfindliche haptische Wahrnehmung des Menschen. Schon kleinste zeitliche Latenzen oder Fehler im haptischen Feedback reduzieren die Immersion und damit das Präsenzgefühl des Nutzenden.

Gerade bei Testszenarien im industriellen Umfeld ist jedoch eine sehr präzise Abbildung der Mensch-Modell-Interaktionen erforderlich. Um diesem Defizit entgegenzuwirken, soll eine Augmented-Virtuality-Methode (siehe Bild 3) für die virtuelle Inbetriebnahme und den Test von Produktionssystemen erforscht werden. Dabei werden in eine Virtual-Reality-Umgebung kritische Interaktionselemente, wie zum Beispiel die Hände des Nutzenden und das Bedienpanel einer Anlage, als reale Objekte integriert. Dies erfordert ein sehr präzises Handtracking und setzt voraus, dass das reale Bedienpanel für die Testautomatisierung zur Verfügung steht.

Für den Datenaustausch während der Testfallgenerierung in MR bedarf es einer bidirektionalen Kommunikation zwischen ISG-virtuos, DTaaSP und ISG-dirigent (4). Die Kommunikation erlaubt neben der Übermittlung des aktuellen Maschinenzustands aus dem Verhaltensmodell an alle angebundenen Teilnehmer auch die Übertragung der Interaktionen des Nutzenden aus der MR.

Zudem sind Möglichkeiten zur Generierung des Initialzustands für die Testfallinitiierung des Menschen (zum Beispiel über Lookup-Tabellen) zu erforschen. Die bereits bestehende Kommunikationsschnittstelle muss dafür mit dem zu erforschenden Interaktionsmodell sowie den Interaktionsmöglichkeiten in MR gekoppelt werden und um Möglichkeiten der Generierung des Initialzustands für die Testfallinitiierung erweitert werden. Bei dieser Kopplung sind Datenkonsistenz und Synchronität beim Übergang von der Echtzeit-Umgebung (zum Beispiel HiLS) in die Nicht-Echtzeit-Umgebung (zum Beispiel Mixed-Reality-Umgebung) sicherzustellen und die aus dem verteilten System resultierenden Latenzen zu minimieren. Aufbauend auf der Testfallgenerierung durch den Menschen mittels MR müssen die Testfälle zur Erreichung einer hohen Testvarianz automatisiert parametrisiert werden (5). Dafür werden die vom Nutzenden initiierten Testfälle aufgezeichnet und in der Testplattform abgespeichert. Die aufgezeichneten Tests können mit unterschiedlichen Parametern modifiziert und mehrfach verwendet werden. Die Testfälle werden in verschiedenen Testsequenzen kombiniert. Bei der Testsequenzgenerierung muss neben der „industriellen Echtzeit“ auch die Reproduzierbarkeit der Fehlerfälle durch deterministisch simulierbare Testszenarien sichergestellt werden.

Nach erfolgreicher Testerstellung werden die Testsequenzen automatisiert ausgeführt (6). Dazu werden die verschiedenen Testsequenzen kombiniert und parallelisiert, sodass eine Vielzahl möglicher Fehlerfälle in verschiedenen Konstellationen getestet werden kann. Bei der Kombination unterschiedlicher Testsequenzen ist ebenfalls die Reproduzierbarkeit der Fehlerfälle durch deterministisch abspielbare Testszenarien sicherzustellen. Nach erfolgreicher Testausführung erfolgt die Testvalidierung zur Überprüfung der erreichten Testtiefe sowie dem Ausschluss von selbsterfüllenden Vorhersagen („self-fulfilling prophecies“) (7). Für die Auswertung der Testberichte wird die Visualisierung der MR genutzt, wodurch Fehlerursachen im Testbericht durch entsprechende Visualisierungselemente schneller identifiziert werden können.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wird ein Konzept zur Testfallgenerierung für die virtuelle Inbetriebnahme (VIBN) von Maschinen- und Anlagensteuerungen mittels Mixed-Reality-in-the-Loop-Simulation (MRiLS) vorgestellt. In diesem Zusammenhang wird beschrieben, wie den eingeschränkten Interaktionsmöglichkeiten bei der Erstellung von Testfällen durch den Einsatz von Visualisierungs- und Interaktionsmethoden der Mixed Reality entgegengewirkt werden könnte. Ziel des vorgestellten Konzeptes ist es, die Vorteile der intuitiven dreidimensionalen Interaktionsmöglichkeiten der Mixed Reality (MR) zur effizienteren Definition und Generierung neuer Testfälle für die Testautomatisierung zu nutzen.

Für die Realisierung des Konzepts werden die notwendigen Anforderungen und Schnittstellen definiert. Aufbauend auf diesem Forschungskonzept soll in Zukunft an den in diesem Beitrag beteiligten Forschungseinrichtungen erforscht werden, wie die analysierten Anforderungen an die Testfallgenerierung mittels MRiLS gelöst werden können.

FÖRDERHINWEIS

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben „Hybrides Schulungskonzept für Schulungen mittels Mixed Reality in the Loop Simulation – MRiLS“ wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter den Förderkennzeichen 16SV8347 und 16SV8348 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt liegt bei den Autoren.

**Literatur**

[1] Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA): Leitfaden Virtuelle Inbetriebnahme: Handlungsempfehlungen zum wirtschaftlichen Einstieg. Frankfurt: VDMA Verlag GmbH 2020, S. 5

[2] VDI/VDE 3693 Blatt 1: 2016–08: Virtuelle Inbetriebnahme – Modellarten und Glossar. Berlin: Beuth Verlag 2016

[3] Kübler, K. et al.: Approach for Manufacturer Independent Automated Machine Tool Control Software Test. In: Wulfsberg, J. P. (Hrsg.): WGP Congress 2015. Applied Mechanics and Materials. Pfaffikon: Trans Tech Publications Inc 2015, pp. 347–354

[4] Kübler, K.; Verl, A.: Testautomatisierung im Kontext der virtuellen Inbetriebnahme von Werkzeugmaschinen. In: Krüger, J., Uhlmann, E., Verl, A. et al. (Hrsg.): Industrie 4.0 – Visionen der Steuerungstechnik. Fortschritt-Berichte VDI Reihe 2, Fertigungstechnik. Düsseldorf: VDI Verlag 2016, S. 16–27

[5] Kübler, K. et al.: Test case generation for production systems with model-implemented fault injection consideration. Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, CIRP 2018, Naples, 2019, pp. 268–273

[6] Gonzalez-Franco, M., Pizarro, R.; Cermeron, J. et al.: Immersive Mixed Reality for Manufacturing Training. Frontiers in Robotics and AI 4 (2017), doi.org/10.3389/frobt.2017.00003

[7] Muszynska, M., Szybicki, D., Gierlak, P. et al.: 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 568 (2019), doi.org/10.1007/978–3–030–28464–0_52

[8] Roldán Gómez, J.; Crespo, E; Martín-Barrio, A. et al.: A training system for Industry 4.0 operators in complex assemblies based on virtual reality and process mining. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 59 (2019), pp. 305–316, doi.org/10.1016/j.rcim.2019.05.004

**[9]** Hönig, J.; Schnierle, M.; Scheifele, C. et al.: Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation von Produktionssystemen zur Aus- und Weiterbildung. atp magazin atp 63 (2021) 6–7, doi.org/10.17560/atp.v63i6–7.2538
**[10]** Milgram, P.; Takemura, H.; Utsumi, A. et al.: Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. Telemanipulator and Telepresence Technologies. Proceedings Volume 2351 (1995), doi.org/10.1117/12.197321
**[11]** Schnierle, M. et al.: Mensch-Roboter-Interaktion mit Mixed Reality auf Basis einer „Digital Twin as a Service"-Plattform. atp magazin 61 (2019) 5, doi.org/10.17560/atp.v61i5.2415
**[12]** Kübler, K.: Methodik für eine ganzheitliche Testautomatisierung beim Systemtest von automatisierten Fertigungssystemen. Dissertation, Universität Stuttgart, 2021

*Foto: Autorin*

**Jana Hönig**, M. Eng.

**Marc Schnierle**, M. Sc.

Prof. Dr.-Ing. **Sascha Röck**

Virtual Automation Lab (VAL)
Hochschule Esslingen
Kanalstr. 33, 73728 Esslingen
Tel. +49 711 397-3590
jana.hoenig@hs-esslingen.de
www.virtual-automation-lab.de

**Daniel Littfinski**, M. Sc.

Prof. Dr.-Ing. **Alexander Verl**

Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW)
Universität Stuttgart
Seidenstr. 36, 70174 Stuttgart
Tel. +49 711 / 685-82533
daniel.littfinski@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)