



Anwendungsberichte über den industriellen Einsatz der Mixed Reality im Maschinen- und Anlagenbau

17

Ulf Sprung, Thomas Celofiga, Dario Goller, Jana Hönig, Marc Schnierle, Timm von Bergen und Sascha Röck

Zusammenfassung

Visualisierungs- und Interaktionsmethoden der Mixed Reality, wie beispielsweise Augmented Reality oder Virtual Reality, eröffnen neuartige Anwendungspotenziale im Maschinen- und Anlagenbau. In diesem Beitrag werden Mehrwerte der Mixed Reality sowie praxisnahe Anwendungsszenarien aus Perspektive von zwei Maschinenbau-Unternehmen präsentiert. Während die topex GmbH in diesem Beitrag den Entwicklungsprozess kundenindividueller Anlagen und die Schulung von Fachpersonal mittels Mixed Reality im Sondermaschinenbau fokussiert, präsentiert die Schuler Pressen GmbH Einsatzszenarien im Produktentstehungszyklus sowie im Betrieb von Werkzeugmaschinen.

U. Sprung (✉) · D. Goller
topex GmbH, Erkenbrechtsweiler, Deutschland
E-Mail: U.Sprung@topex.de

T. Celofiga
Schuler Pressen GmbH, Göppingen, Deutschland

J. Hönig · M. Schnierle · T. von Bergen · S. Röck
Virtual Automation Lab (VAL), Hochschule Esslingen, Esslingen, Deutschland

17.1 Einleitung

Der Maschinen- und Anlagenbau bildet in Deutschland eine wichtige industrielle Säule und ist im Rahmen des Technologietrends und Innovationstreibers Industrie 4.0 mit steigenden Anforderungen hinsichtlich Entwicklungszeit, Komplexität, Flexibilität und Vernetzung von Maschinen und Anlagen konfrontiert.

Die Querschnittstechnologie des Digitalen Zwillings kann in Verbindung mit modernen Visualisierungstechnologien einen Beitrag zu den aus diesen Anforderungen ableitbaren Herausforderungen leisten. Insbesondere die symbiotische Kombination von Digitalen Zwillingen mit Visualisierungs- und Interaktionsmethoden der Mixed Reality zur Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation (MRiLS) eröffnet vielfältige neue Anwendungspotenziale über den gesamten Lebenszyklus von Maschinen wie beispielsweise in der Gestaltung komplexer Planungsprozesse oder einer praxisorientierten Mitarbeiterqualifizierung.

Während die bislang im Entwicklungsprozess des Maschinen- und Anlagenbaus eingesetzten X-in-the-Loop Simulationen [1] auf konventionellen Computer-Monitoren ohne visuelle Integration der realen Anlagenumgebung basieren und eine Interaktion des Menschen über Maus und Tastatur fokussieren, ermöglicht die MRiLS eine vollständige Integration des Menschen in ein Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum. Die virtuellen Komponenten werden dem Nutzer dazu über Mixed Reality-Endgeräte wie Augmented Reality (AR)-Brillen oder Virtual Reality (VR)-Brillen bereitgestellt.

In diesem Beitrag wird ein praxisorientierter Anwendungsbericht aus Perspektive des mittelständischen Sondermaschinenbau-Unternehmens topex GmbH (Abschnitt 17.2) und aus der Perspektive des Werkzeugmaschinenbau-Unternehmens Schuler Pressen GmbH (Abschnitt 17.3) vorgestellt. Die Unternehmen skizzieren ausgewählte Digitalisierungspotenziale, die durch den Einsatz dieser modernen Technologien während der Entwicklungs- und Betriebsphase erreicht werden können. Die Umsetzungen werden anhand konkreter Szenarien aufgezeigt.

17.2 Mixed Reality im Sondermaschinenbau der topex GmbH

In diesem Abschnitt werden die Herausforderungen in der Domäne des Sondermaschinenbaus sowie die Einsatzmöglichkeiten der Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation und deren Mehrwerte aus Perspektive des mittelständischen Sondermaschinenbau-Unternehmens topex GmbH vorgestellt.

Anwendungsdomäne und Herausforderungen

Der Maschinen- und Anlagenbau ist durch den steigenden Automatisierungsgrad sowie die wachsende Vernetzung der Maschinen mit einer zunehmenden Maschinenkomplexität konfrontiert. Für den Teilsektor Sondermaschinenbau lassen sich im Vergleich zum Serienmaschinenbau zudem spezifische Merkmale identifizieren:

- **Hohe Variantenvielfalt:** Die Maschinen und Anlagen werden entsprechend individueller Kundenanforderungen entwickelt, wodurch eine hohe Variantenvielfalt bei geringen Losgrößen resultiert.
- **Aufwändige Planung:** Die Integration von Sondermaschinen in bestehende Produktionssysteme und die spezifischen Rahmenbedingungen des Kunden verursachen hohe Planungsaufwände und Kalkulationsunsicherheiten.
- **Dynamische Entwicklungsprozesse:** Aus den kundenindividuellen Projekten resultieren Entwicklungsprozesse mit kurzen Zykluszeiten und dynamischen Änderungsprozessen.

Als mittelständisches Sondermaschinenbau-Unternehmen beschäftigt sich die topex GmbH mit diesen Herausforderungen und bietet seinen Kunden individuelle Automatisierungslösungen zur Teilekennzeichnung und für komplexe Handhabungsprozesse. Das Leistungsspektrum reicht von automatisierten Etikettier-Systemen über Laserbeschriftungsanlagen zur lebenslangen Produktkennzeichnung und Rückverfolgbarkeit bis hin zu RFID-Systemen zur Erfassung von Produkten. Die Anlagen der topex GmbH zeichnen sich durch einen hohen Anteil an Robotik und eine hochintegrierte Bauweise aus (siehe Abb. 17.1).



Abb. 17.1 Exemplarische Sondermaschinen der topex GmbH zur automatisierten Bauteilkennzeichnung im Bereich RFID und Handhabung von biegeschlaffen Bauteilen wie Spacermaterialien und Isolationsfolien in der Batteriefertigung für Elektrofahrzeuge

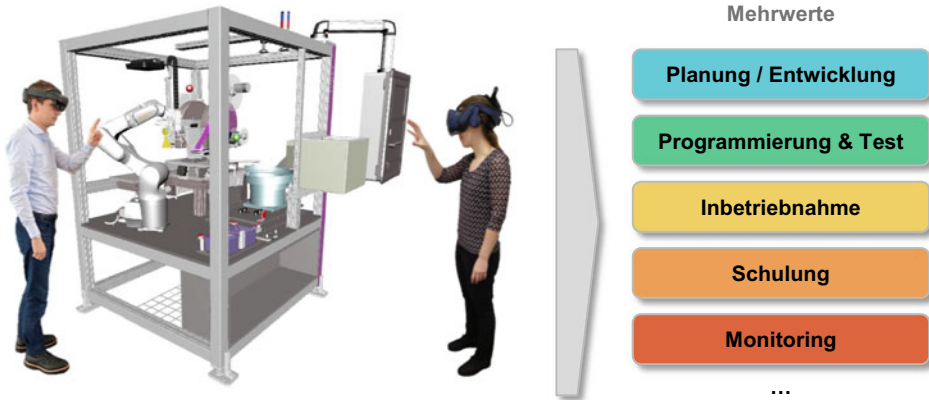


Abb. 17.2 Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation als Treiber für digitale Mehrwerte im Sondermaschinenbau

Mehrwerte des Digitalen Zwillinges und der Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation

Ein Baustein zur Bewältigung der steigenden Herausforderungen zunehmend komplexer werdender vernetzter Anlagen im Sondermaschinenbau sind Digitale Zwillinge, welche die reale Maschine mit deren Daten- und Verhaltensmodell virtuell abbilden. Die Digitalen Zwillinge werden in der Entwicklungsphase der Anlage erstellt und bieten bereits in dieser Phase Mehrwerte für das Unternehmen: So können beispielsweise Ingenieure die Simulationsmodelle bereits in der Planung für die Virtuellen Inbetriebnahme nutzen, um Anlagenabläufe und Steuerungsfunktionen zu optimieren.

Eine MRiLS erweitert die bislang eingesetzten Digitalen Zwillinge um Visualisierungs- und Interaktionsmethoden der Mixed Reality und bildet als Querschnittstechnologie die Grundlage für vielfältige weitere digitale Mehrwerte über den kompletten Lebenszyklus einer Anlage hinweg. Beispielhafte Einsatzgebiete der MRiLS bei der topex GmbH sind in der Planung und Entwicklung, in der betrieblichen Aus- und Weiterbildung sowie bei der Überwachung der im Betrieb befindlichen Anlage (Monitoring) zu identifizieren (siehe Abb. 17.2).

Aus den dargestellten Merkmalen und Trends des Sondermaschinenbaus können insbesondere zwei Handlungsfelder abgeleitet werden, die im Vergleich zum Serienmaschinenbau durch die kundenindividuellen Maschinen und Anlagen geprägt sind und deren Mehrwerte durch den Einsatz der MRiLS nachfolgend an beispielhaften Szenarien detaillierter vorgestellt werden:

- Planung und Integration von kundenspezifischen Lösungen in bereits bestehende Fertigungslinien

- Schulung von Fachpersonal für die Bedienung und Instandhaltung der Sondermaschinen

Die Umsetzung der dargestellten MRiLS-Handlungsfelder erfolgt auf Basis der am Virtual Automation Lab (VAL) der Hochschule Esslingen entwickelten Digital Twin as a Service Plattform (VAL DTaaS) [2, 3]. Die VAL DTaaS ermöglicht die flexible Kopplung von verschiedenen Mixed Reality-Endgeräten, wie zum Beispiel AR/VR-Brillen, Tablets und Smartphones, mit industrieller Steuerungstechnik und Offline-Programmiersystemen. Die Digitalen Zwillinge können in der VAL DTaaS über eine webbasierte Engineering-Oberfläche erstellt werden und stehen über eine Cloud-Infrastruktur standort-, zeit- und endgeräteunabhängig zur Verfügung.

Einsatz des Digitalen Zwillings und der Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation zur Planung und Integration von kundenspezifischen Lösungen in bestehende Fertigungslinien

Eine wachsende Herausforderung für den Entwicklungsprozess im Sondermaschinenbau stellt die Integration von kundenspezifischen Sondermaschinen in bereits bestehende Fertigungslinien dar. Kritische Aspekte hinsichtlich räumlicher Vorgaben, Kollisionsvermeidung sowie Prozessabläufe im realen Umfeld sind zu beachten, um spätere kosten- und zeitintensive Anpassungen vermeiden zu können.

In vielen Entwicklungsprojekten stehen keine vollständigen beziehungsweise aktuellen Zeichnungen oder 3D-CAD-Daten der realen Umgebung am Kundenstandort zur Verfügung, wodurch große Unsicherheiten in der Planung verursacht werden. Derzeit beschränkt sich die Darstellung der Plandaten von Sondermaschinen in der Praxis im Wesentlichen auf konventionelle 3D-CAD-Systeme oder Layout-Visualisierungen ohne Einbeziehung der realen Produktionsumgebung vor Ort. Nachteilig an diesem Ansatz ist, dass die reale Umgebung in den solitären Softwaresystemen visuell nicht einbezogen werden kann und somit alle wichtigen Rahmenbedingungen manuell modelliert werden müssen (z. B. räumliche Gegebenheit, Arbeitsräume angrenzender Produktionssysteme). Die Informationskongruenz zwischen Realität und virtuellem Planungsstand kann daher nur unter großem Zeitaufwand geprüft werden.

Mit der Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation kann der Digitale Zwilling der geplanten Sondermaschine dagegen dreidimensional in Originalgröße im realen Anlagenumfeld visualisiert werden und in Kombination mit Bewegungsabläufen und Steuerungszyklen eine frühzeitige Planung mit gesichertem Informationsstand unterstützen (siehe Abb. 17.3).

Die topex GmbH hat die MRiLS erfolgreich in einem Kundenprojekt eingesetzt, in dem Fahrzeug-Rohkarosserien mit RFID-OnMetalTags versehen werden. Die RFID-Technologie ermöglicht eine schnelle und zuverlässige Identifikation von Produkten entlang der kompletten Fertigungs- und Wertschöpfungskette, in diesem Anwendungsfall zur Fahrzeugidentifikation.

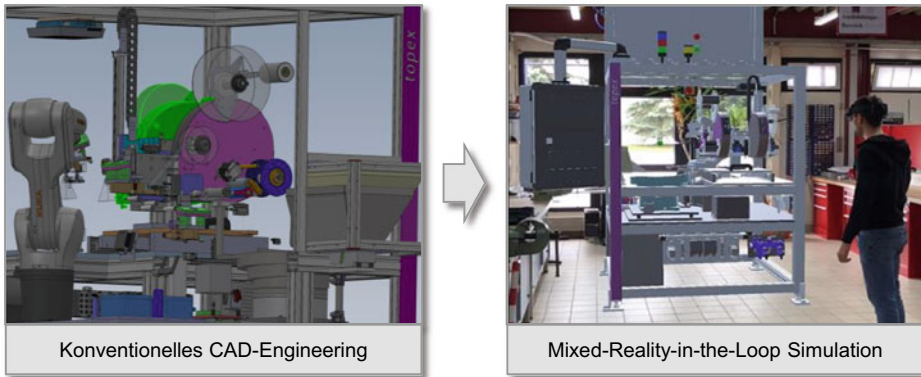


Abb. 17.3 Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation zur dreidimensionalen Visualisierung einer Sondermaschine in der realen Umgebung

Die Sondermaschine der topex GmbH umfasst den Standarddrucker topex 7000, der durch den Einbau einer RFID Schreib-/Leseinheit zu einem RFID fähigen Komplettsystem konfigurierbar ist. Die für diesen Zweck konzipierte Maschinenzelle ist zudem mit einem Handlingroboter ausgestattet, der sowohl das Teilehandling innerhalb der Zelle als auch die Applizierung des RFID-OnMetalTags direkt an der Fahrzeugkarosserie übernimmt.

Aufgrund der beschränkten räumlichen Platzverhältnisse sollen bereits in einem frühen Stadium des Projektes die grundlegende Machbarkeit und Kollisionspotenziale beim Anfahren sowie beim Erreichen einzelner Roboterpositionen an der Karosserie geprüft, und damit eine Entscheidungsgrundlage für die Auswahl eines Robotersystems geschaffen werden.

Zu diesem Zweck wurden verschiedene Robotersysteme virtuell erprobt und sämtliche Bewegungsabläufe sowie die Teilesimulation mit der MRiLS hinsichtlich Kollisionsvermeidung sowie Zykluszeit getestet. In dem Anwendungsszenario werden hauptsächlich zwei Modi der MRiLS verwendet:

- **Intuitive Roboterinteraktion zur Positionierkontrolle**

Der Bediener kann die Pose eines virtuellen Handlingroboters durch Verschieben des Endeffektors manipulieren. Hierzu greift der Bediener den virtuellen Endeffektor und bewegt diesen zu den Zielkoordinaten. Auf Basis der Koordinaten wird mithilfe einer Rückwärtstransformation die Pose des Roboters berechnet und dem Bediener mittels Mixed Reality visualisiert. Über diese intuitive Manipulation kann der Bediener einfach und schnell überprüfen, ob alle relevanten Positionen im realen Umfeld erreicht werden können. Die dreidimensionale Visualisierung sowie die intuitive Interaktion mit dem Digitalen Zwilling der Anlage bietet zugleich die Grundlage für einen schnellen

fachbereichsübergreifenden Austausch von Informationen. Auftretende Probleme können dabei direkt am Modell besprochen und für alle Teilnehmenden dreidimensional in der realen Umgebung visualisiert werden.

- **Anbindung von Steuerungsdaten zur virtuellen Programm-Inbetriebnahme**

Der Digitale Zwilling des Roboters ist an die industrielle Steuerung angebunden und wird über diese gesteuert. Zusätzlich sind in diesem Szenario Bewegungsabläufe von weiteren Komponenten (z. B. Einzelachsen) sowie ein Teilefluss integriert. Durch die Kopplung des Digitalen Zwillings und der industriellen Steuerung kann das Programm der speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) mithilfe der MRiLS dreidimensional in der realen Umgebung visualisiert und getestet werden. Der Benutzer kann sich dabei um die virtuelle Anlage bewegen und mögliche Programmfehler und Kollisionen detektieren. Das optimierte Programm kann anschließend ohne Adaptionaufwand in die Maschinensteuerung geladen und auf dieser ausgeführt werden.

Unter Verwendung dieser beiden Modi der MRiLS wurden für den Anwendungsfall verschiedene Robotermodelle des Herstellers Kuka AG in der virtuellen Maschinenzelle bezüglich den Anforderungen des beschränkten Platzverhältnisses sowie des Erreichens aller relevanten Positionen getestet (siehe Abb. 17.4). Durch die intuitiven Interaktionsmöglichkeiten zur Manipulation der Endeffektor-Position in Mixed Reality können mögliche Kollisionspotenziale frühzeitig aufgedeckt werden.

Im weiteren Projektverlauf wurde die MRiLS der Maschinenzelle in die reale Fertigungslinie des Automobilherstellers integriert, um die Wechselwirkungen mit der realen Anlagenumgebung zu prüfen. Neben der Erreichbarkeit der Applizierposition des RFID-OnMetalTags an der Fahrzeugkarosserie durch den Handlingroboter standen auch die Kopplung der weiteren Komponenten der Maschinenzelle mit der Fertigungsumgebung sowie die Handhabung des Bedienpanels im Fokus.

Der Einsatz der MRiLS hat bei diesem Anwendungsbeispiel in einer frühen Projektphase die Auswahl und Konfiguration der Robotersysteme erleichtert und im realen Umfeld nicht erreichbare Applizierpositionen sowie Kollisionspotenziale innerhalb und außerhalb der Maschinenzelle aufgedeckt. Neben dem beschriebenen Einsatz zur Konstruktionsunterstützung und zur Vorabinbetriebnahme kann der erstellte Digitale Zwilling im weiteren Projektverlauf über den gesamten Lebenszyklus der Anlage hinweg, beispielsweise zum Maschinenmonitoring oder der Schulung, eingesetzt werden.

Einsatz des Digitalen Zwillings und der Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation zur Schulung von Fachpersonal

Neben der Entwicklung und Herstellung der Sondermaschinen kommt der Schulung des Fachpersonals für Bedienung und Instandhaltung eine immer größer werdende Bedeutung zu. Aus dem Serienmaschinenbau bekannte Konzepte wie Schulungszentren oder separate Schulungsmaschinen, die vorab zur Einweisung der Mitarbeitenden genutzt werden

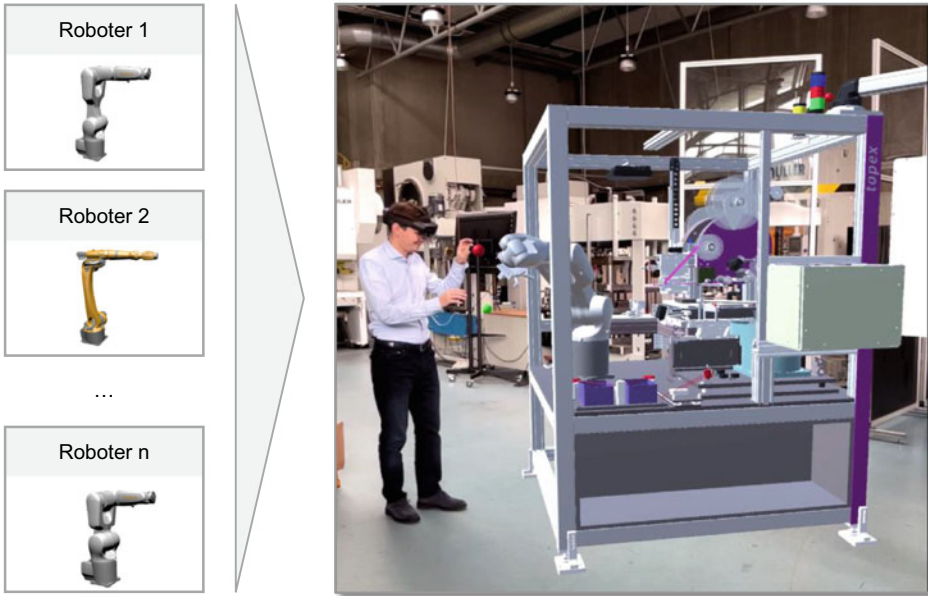


Abb. 17.4 Integration verschiedener Roboter-Modelle in die Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation der Maschinenzelle

können, sind aufgrund der hohen Variantenvielfalt der Maschinen nur bedingt in den Sondermaschinenbau übertragbar. Bislang werden Schulungen im Sondermaschinenbau im Allgemeinen an der realen Maschine durchgeführt, nachdem die Maschine beim Kunden installiert und in die entsprechenden übergeordneten Fertigungssysteme integriert wurde. Die kurzen Entwicklungszeiten, die heterogene Steuerungslandschaft und nicht zuletzt der steigende Automatisierungsgrad sowie die geforderte Flexibilität der Anlagen sorgen dabei für wachsende Anforderungen an die Maschinenschulungen im Sondermaschinenbau. Die Schulung an der realen Anlage ist jedoch durch eine fehlende Skalierbarkeit des Lerngegenstandes, mangelnde Flexibilität bezüglich des Lernortes und der Lernzeit sowie durch eine mögliche Gefährdung von Mensch und Maschine bei Fehlbedienungen geprägt. Demgegenüber kann der Schulungsteilnehmer bei der Schulung mittels MRiLS mit dem Digitalen Zwilling der Sondermaschine orts- und zeitunabhängig ohne Gefährdungspotenzial mit einer hohen Schaltungstiefe immersiv und intuitiv interagieren. Hierzu ist der Digitale Zwilling an eine Ausprägung der Steuerungstechnik angekoppelt und bildet definierte Eigenschaften der realen Anlage ab.

Bei der topex GmbH wurde im Rahmen einer Technikerarbeit für eine ausgewählte Sondermaschine zur Kennzeichnung von Steuerungsgehäusen der Fahrzeugelektronik die MRiLS für eine Mitarbeiterschulung umgesetzt und erstmals auf der Internationalen

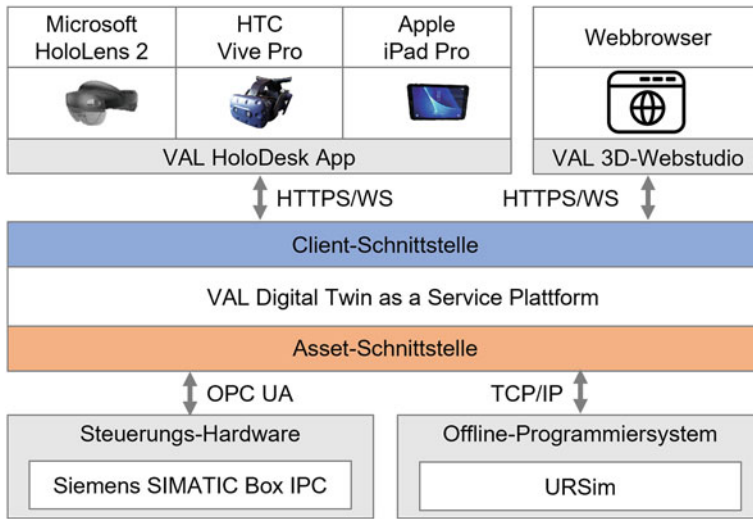


Abb. 17.5 Architektur der MRiLS des Kennzeichnungssystems mit Anbindung an Steuerungs-Hardware der Siemens AG und an das Offline-Programmiersystem URSim von Universal Robots

Fachmesse für Produktions- und Montageautomatisierung (Motek) präsentiert. Die Sondermaschine umfasst neben dem Roboter UR5 des Herstellers Universal Robots weitere Komponenten der Firma FESTO wie Pneumatikzylinder sowie einen elektrischen Drehantrieb. Die Bedruckung und Bereitstellung des individuellen Etiketts erfolgt durch einen Standarddrucker der Baureihe 7000 der topex GmbH.

Abb. 17.5 zeigt die Architektur der MRiLS des Kennzeichnungssystems. Die Erstellung und Bereitstellung des Digitalen Zwillings erfolgt in der VAL DTaaSP. Über die Asset-Schnittstelle sind die externen Assets an die Plattform angebunden. Das Offline-Programmiersystem URSim zur Programmierung des Roboters UR5 von Universal Robots ist über das Kommunikationsprotokoll TCP/IP gekoppelt. Der Datenaustausch mit der Steuerungs-Hardware von Siemens (SIMATIC Box IPC) erfolgt über OPC UA.

Abb. 17.6 zeigt den Einsatz der MRiLS mit Kopplung an die reale Steuerungs-Hardware und Verwendung des Offline-Programmiersystems in Augmented Reality. Der Bediener erhält über eine AR-Brille die virtuellen Anlagenkomponenten in der realen Umgebung dreidimensional visualisiert und kann mit diesen intuitiv interagieren. Über das mobile Bedienpanel in Form eines Tablets kann der Bediener zudem den Roboter unter Verwendung des originären Offline-Roboterprogrammiersystems URSim immersiv programmieren.

Mit Hilfe der MRiLS kann der Schulungsteilnehmer bei diesem Anwendungsbeispiel den Roboter zuerst auf Basis des Digitalen Zwillings virtuell programmieren und durch das dreidimensionale Abbild mögliche Kollisionen detektieren, bevor anschließend die virtuellen Komponenten schrittweise durch reale Komponenten wie zum Beispiel das Etikettier-System ersetzt werden (siehe Abb. 17.7). Durch die intuitive und immersive

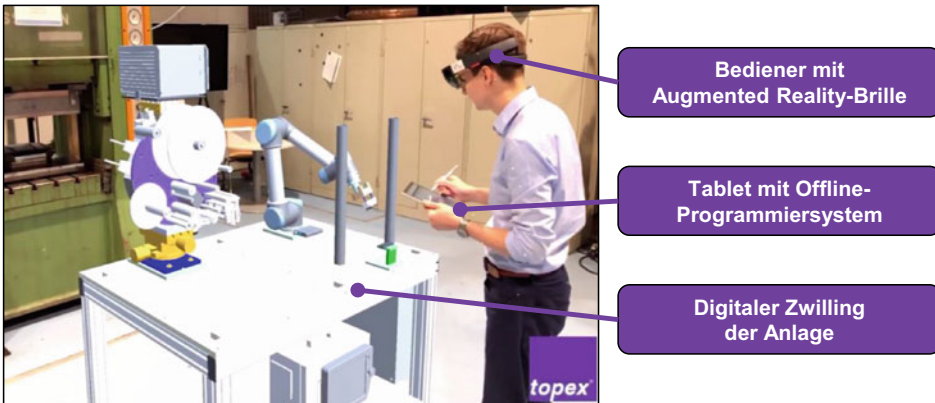


Abb. 17.6 MRiLS-Schulungssystem mit Kopplung an reale Steuerungsalgorithmen

Programmierung des Roboters auf Basis des offiziellen Programmiersystems können die Lernenden ihr Wissen aus der MRiLS direkt auf die reale Anlage übertragen.

Der Digitale Zwilling bietet durch die orts- und zeitunabhängige Bereitstellung für die Zukunft vielfältige Mehrwerte bei der Schulung technischer Fachkräfte (siehe Abb. 17.8). So ist bei der Schulung mittels MRiLS neben dem flexiblen Zugriff auf die Schulungsinhalte beispielsweise auch die Entkopplung von Schulung und realer Maschine, eine hohe Schaltungstiefe durch risikolose Testszenarien mit realer Steuerungstechnik sowie auswertbare Schulungshandlungen und reproduzierbare Schulungsszenarien möglich.

Zusammenfassung

Die Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation bietet nicht nur bei der Planung und Integration von kundenspezifischen Lösungen in bereits bestehende Fertigungslinien sowie bei der Schulung von Fachpersonal große Potenziale, sondern bildet durch die Kombination von Digitalen Zwillingen mit Visualisierungsmethoden der Mixed Reality die Grundlage für zahlreiche digitale Mehrwerte im Sondermaschinenbau.



Abb. 17.7 Stufenlose Kombination realer Anlagenkomponenten eines Etikettier-Systems der topex GmbH auf der Motek 2019

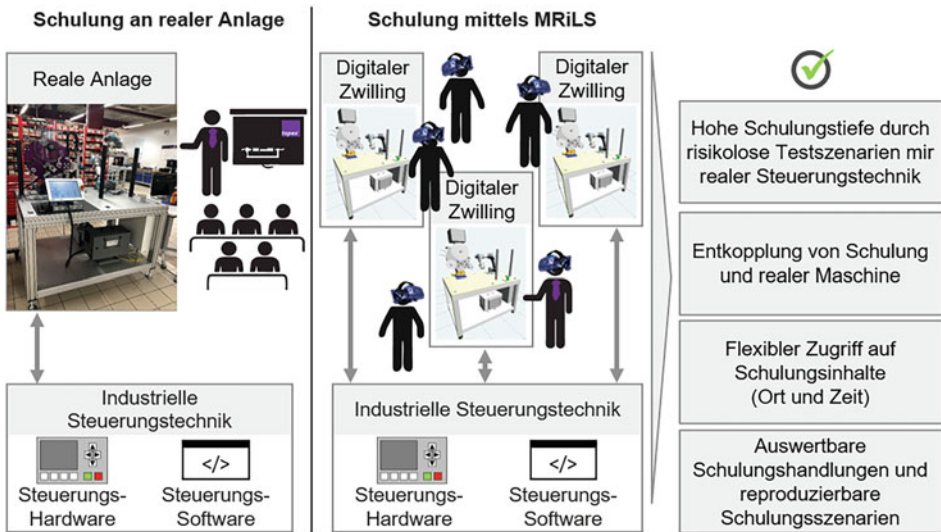


Abb. 17.8 Vorteile eines MRiLS-basierten Schulungssystems gegenüber einer Schulung an der realen Anlage

Die Möglichkeit, Maschinen und Prozesse bereits in einem frühen Stadium des Projektverlaufs im realen Umfeld visualisieren zu können, reduziert Risiken und erhöht dadurch die Planungssicherheit in Projekten des Sondermaschinenbaus. Sollten Probleme, wie Störkonturen, fehlerhafte Schnittstellen und Ablaufstörungen erst vor Ort festgestellt werden, müssen diese dann zumeist unter enormen Zeitdruck, erschwerten Umständen und mit hohen Mehrkosten behoben werden. Mithilfe der MRiLS können diese bereits in einem frühen Stadium des Projektes aufgedeckt und somit frühzeitig vor der Inbetriebnahme (IBN) behoben werden. Die Vorteile, sowohl für den Auftraggeber wie auch für den Auftragnehmer, im Hinblick auf Kosten-, Zeitersparnis und Risikominderung gerade bei komplexen und schwierig einzuschätzenden Umständen motivieren den systematischen Einsatz der Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation im Entwicklungs- und Schulungsprozess des Sondermaschinenbaus.

17.3 Mixed Reality im Werkzeugmaschinenbau für die Umformtechnik bei der Schuler Pressen GmbH

In diesem Abschnitt wird die Anwendungsdomäne des Werkzeugmaschinenbaus sowie die Einsatzmöglichkeiten des Digitalen Zwillings und der Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation aus Sicht der Schuler Pressen GmbH vorgestellt.

Anwendungsdomäne und Herausforderungen

Der Werkzeugmaschinenbau ist als Teil des Maschinen- und Anlagenbaus eine wichtige Industriebranche in Deutschland und bildet mit seinen Maschinen und Anlagen die Grundlage für industrielle Produkte, Produktinnovationen sowie neue Verfahrenstechnologien. Wie der allgemeine Maschinenbau ist auch der Werkzeugmaschinenbau mit der Forderung immer kürzerer Entwicklungs- und Produktionszeiten bei hohem Preisdruck sowie der steigenden Produktivität und den wachsenden Qualitätsansprüchen konfrontiert. Ein wichtiger Technologietrend in diesem Zusammenhang ist die umfassende Digitalisierung und intelligente Vernetzung der industriellen Produktion im Sinne der 4. Industriellen Revolution (Industrie 4.0) [4]. Für deren Umsetzung müssen sich jedoch nicht nur die Industrieunternehmen, als potenzielle Abnehmer der Werkzeugmaschinen, sondern auch die Werkzeugmaschinenhersteller selbst mit der Digitalisierung und Vernetzung von Produkten, Prozessen, Wertschöpfungsketten sowie der gesamten Produktion und Logistik beschäftigen. Dies bedarf von Seiten der Hersteller der Entwicklung und Bereitstellung einer umfassenden Lösung für die durchgängige Vernetzung der Prozesse sowie die Sicherstellung der Funktionsfähigkeit, der immer komplexer werdenden Prozesse und Anlagen.

Die Schuler Pressen GmbH, als Teil des internationalen Technologiekonzerns ANDRITZ, beschäftigt sich mit diesen Herausforderungen und bietet kundenspezifische Spitzentechnologie in allen Bereichen der Umformtechnik – von der vernetzten Presse bis hin zur Presswerksplanung. Das Produktportfolio umfasst neben Pressen auch Automations- und Software-Lösungen, Werkzeuge, Prozess-Knowhow und Services für die gesamte metallverarbeitende Industrie.

Mehrwerte Digitaler Zwilling und Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation bei der Schuler Pressen GmbH

Ein Schlüsselement für Industrie 4.0 Anwendungen im Werkzeugmaschinenbau ist der Digitale Zwilling einer Maschine, Anlage oder einer ganzen Produktion, welcher grundlegend ein virtuelles Abbild als Daten- und Verhaltensmodell einer realen Sache beschreibt. Der Digitale Zwilling wird bereits in der Entwicklung erstellt und über den Lebenszyklus der Anlage hinweg mit weiteren Daten angereichert.

Der Digitale Zwilling wird bei der Schuler Pressen GmbH insbesondere für die Virtuelle Inbetriebnahme sowie den Systemtest mittels Hardware-in-the-Loop Simulation eingesetzt. Der Einsatz ist jedoch nicht auf diese Anwendungen begrenzt, sondern kann über den gesamten Produktlebenszyklus einer Anlage hinweg erfolgen. Abb. 17.9 zeigt einen Überblick der bei der Schuler Pressen GmbH identifizierten Stakeholder und Use Cases des Digitalen Zwillings.

Insbesondere durch die Erweiterung um moderne Visualisierungsmethoden der Mixed Reality (z. B. Augmented Reality-Brillen, Virtual Reality-Brillen, Tablets) zur MRiLS



Abb. 17.9 Stakeholder und Use Cases des Digitalen Zwillings bei der Schuler Pressen GmbH

bilden sich vielfältige Einsatzmöglichkeiten, die über konventionelle Computervisualisierungen hinaus gehen.

Digitale Zwillinge in Kombination mit Methoden der Mixed Reality bieten sowohl Mehrwerte für den Hersteller als auch für den Betreiber der Maschinen und Anlagen, wobei sich insbesondere Einsatzgebiete während dem Produktentstehungszyklus und nach der Betriebsübergabe ableiten lassen, die nachfolgend detaillierter vorgestellt werden.

Einsatz des Digitalen Zwillings und der Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation während dem Produktentstehungszyklus

Im Produktentstehungsprozess kommt der simulationsgestützten Entwicklung eine immer wichtigere Aufgabe zu. Neben der steigenden Leistungsfähigkeit der Hardware und Software ist dieser Trend auch auf die kürzeren Produktentstehungszeiten zurückzuführen. Mit Hilfe der Simulation kann dabei schneller und zielgerichteter auf die jeweiligen Kundenanforderungen reagiert werden. Zudem ist die Simulation nicht mehr nur eine Domäne der mechanischen Konstruktion (z. B. in Form einer Mehrkörper-Simulation), sondern wird auch in der Software-Entwicklung und der Virtuellen Inbetriebnahme (VIBN) des Automatisierungssystems immer wichtiger. Durch den Einsatz der VIBN mit dem Digitalen Zwillings können die Komponenten der Anlage (Software und Hardware) bereits frühzeitig mit steigender Realitätsnähe zum späteren Einsatzszenario gegeneinander getestet werden [1]. Dabei können mögliche Fehler bereits vor dem Aufbau der realen Anlage aufgedeckt werden, so dass alle Steuerungskomponenten und Systeme miteinander funktionieren und auch bei Störfällen korrekt, ohne Gefahr für Mensch, Maschine und Werkzeug, reagieren. Durch das frühzeitige Testen können kosten- und zeitintensive Nacharbeiten an der realen Anlage vermieden und der Entwicklungsprozess verkürzt werden, woraus eine Kostensenkung sowie eine Effizienzsteigerung resultieren (siehe Abb. 17.10).

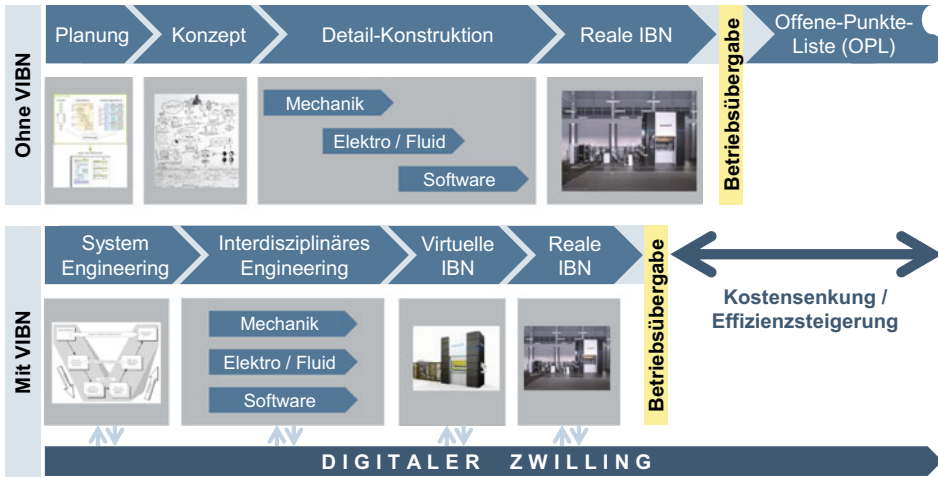


Abb. 17.10 Produktentstehungsprozess ohne und mit Virtueller Inbetriebnahme

Trotz dieser vielfältigen Potenziale ist in der Praxis teilweise eine Zurückhaltung gegenüber dem Einsatz von Digitalen Zwillingen zu beobachten, da es insbesondere bei der Einführung der VIBN an Referenzprojekten und Erfahrungen mangelt, um den Vorteil objektiv darzustellen. Zudem sind für den Erfolg bei der Einführung dieser neuen Technologien nicht nur die vielfältigen technischen Möglichkeiten ausschlaggebend, sondern es müssen auch nicht technische Hürden, wie zum Beispiel die Akzeptanz der Technologie im eigenen Unternehmen und beim Kunden entsprechend einbezogen und überwunden werden. Die Akzeptanz kann durch einen frühzeitigen Austausch zwischen den beteiligten Personen (z. B. Entwickler und späterer Anwender des Digitalen Zwillinges) und dem damit verbundenen direkten und transparenten Aufzeigen der Vorteile des Einsatzes von Digitalen Zwillingen sowie dem nutzergerechten Anreichern von Informationen gefördert werden. Die Umstellung und der Einsatz des Digitalen Zwillinges sowie moderner Visualisierungsmethoden erfolgen darüber hinaus häufig parallel zum normalen Tagesgeschäft, wodurch insbesondere zu Beginn der Einführung ein Mehraufwand resultiert. Um hierbei den Mitarbeitenden bereits frühzeitig die vielfältigen Potenziale aufzuzeigen und bereits nach einer kurzen Zeit greifbare Ergebnisse zu erzielen, sollte anfangs mit kleinen und zeitlich limitierten Projekten gestartet werden, welche im Laufe der Zeit kontinuierlich aufgebaut werden. Im Produktentstehungsprozess wurde bei der Schuler Pressen GmbH beispielhaft ein Digitaler Zwilling sowie die MRiLS einer Münzpräganlage der neuen Generation umgesetzt.

Die technologische Umsetzung des Digitalen Zwillinges und der MRiLS erfolgte über die Echtzeit-Simulationsumgebung ISG-virtuos und die am VAL der Hochschule Esslingen entwickelte VAL DTaaSP [2]. Die Echtzeit-Simulationsumgebung ISG-virtuos ermöglicht neben der Echtzeitfähigkeit des Verhaltens des Digitalen Zwillinges auch eine

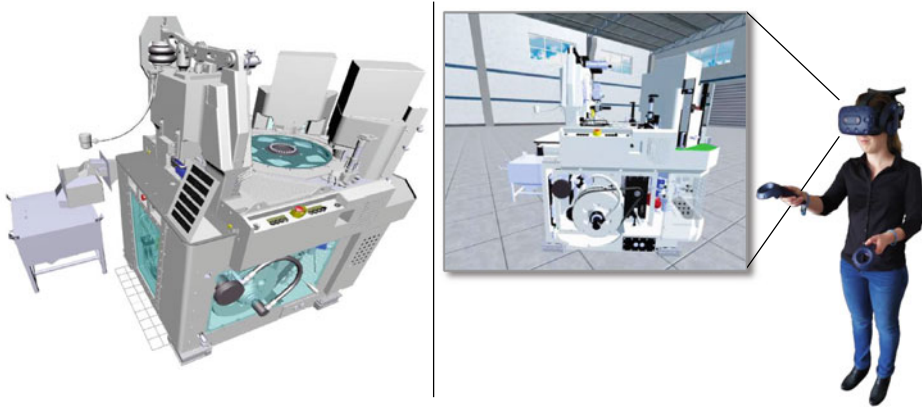


Abb. 17.11 Modell einer Münzpräganlage der Schuler Pressen GmbH (links); Visualisierung und Interaktion in Virtual Reality (rechts)

einfache Kopplung der später im Betrieb eingesetzten industriellen Steuerungstechnik mit dem Digitalen Zwilling. Über die VAL DTaaSP kann der Digitale Zwilling mit Methoden der Mixed Reality gekoppelt, plattformunabhängig bereitgestellt (z. B. Browser, Virtual Reality-Brillen, Augmented Reality-Brillen, Tablets und Smartphones) sowie über eine Cloud-Infrastruktur standort- und zeitunabhängig verfügbar gemacht werden. Die Verbindung beider Systeme erfolgt über eine Schnittstelle auf Basis von OPC UA, die den Austausch der Daten zwischen Echtzeit-Simulation und 3D-Visualisierung gewährleistet.

Durch den Einsatz Digitaler Zwillinge in Kombination mit modernen Visualisierungsmethoden der Mixed Reality konnte die Münzpräganlage den Kunden auf der Messe World Money Fair 2019 egozentrisch, immersiv und in 1:1 Größe gezeigt werden, obwohl die Anlage noch in der Endphase der Entwicklung war und lediglich die ersten Langläuferkomponenten gefertigt wurden (siehe Abb. 17.11). Neben der Möglichkeit der frühzeitigen Vorstellung des neuen Produkts und der Funktionsweise erhält der Hersteller durch die MRiLS bereits vor Markteinführung Feedback von den Kunden, das wiederum direkt in die Produktentwicklung einfließt.

Der Digitale Zwilling wurde im weiteren Projektverlauf um ein reales Bedienpanel erweitert, das über die TCP-Schnittstelle mit der Echtzeitumgebung ISG-virtuos gekoppelt ist. Der Bediener kann über das reale Bedienpanel das Verhalten des Digitalen Zwillinges kongruent zur realen Anlage manipulieren und erhält die Reaktion des Digitalen Zwillinges der Anlage über das Mixed Reality-Endgerät dargestellt. Bei der Hardware wurden Multicore-Prozessoren eingesetzt, um die Multicore-Fähigkeit des industriellen Softwaresystems TwinCAT der Firma Beckhoff Automation GmbH & Co. KG zur Kopplung mehrerer Anlagenkomponenten in einem gemeinsamen Simulationsprojekt verwenden zu können.

In der Entwicklungsphase kann diese Ausprägungsstufe der MRiLS mit Methoden der Augmented Reality auch zur Visualisierung des Digitalen Zwilling in der realen Umgebung in Originalgröße, zum Beispiel an dem späteren Einsatzort in der Produktion des Kunden, eingesetzt werden. Durch die Kopplung mit der Steuerungsausprägung kann der Programmablauf mittels der MRiLS bereits vor dem realen Anlagenaufbau ohne Gefährdung von Mensch, Maschine und Werkzeug getestet und optimiert werden, um beispielsweise Kollisionen mit anderen bereits real existierenden Anlagen und Komponenten zu vermeiden. Die bereits erstellten Digitalen Zwillinge können zudem als Referenzmodell für Folgeprojekte verwendet werden, wodurch der initiale Aufwand reduziert und somit Entwicklungszeiten und -kosten eingespart werden können. Die MRiLS kann neben der Inbetriebnahme auch im Vertrieb zur Visualisierung der Anlage beim Kunden sowie in der Schulung eingesetzt werden. Die Kopplung mit der realen Steuerungstechnik ermöglicht dabei ein gefahrloses exploratives Erkunden und Trainieren an der Anlage auf Basis des realen Anlagenverhaltens. Die Schulung mittels MRiLS kann sowohl bereits vor dem Aufbau der realen Anlage als auch parallel zum Betrieb der Anlage durchgeführt werden.

Einsatz des Digitalen Zwilling und der MRiLS nach Betriebsübergabe

Der Digitale Zwilling in Kombination mit Methoden der Mixed Reality bietet über die bereits vorgestellten Anwendungsszenarien im Produktentstehungsprozess hinaus auch in der Betriebsphase Mehrwerte für den Hersteller sowie vermehrt auch für den Betreiber und Bediener der Maschinen und Anlagen. Der Hersteller kann den Digitalen Zwilling in der Betriebsphase beispielsweise bei Änderungen des Programmablaufs sowie des Aufbaus der realen Anlage einsetzen. Die Änderungen werden vom Hersteller zuerst simuliert und virtuell in Betrieb genommen, bevor diese anschließend an der realen Anlage übernommen werden. Für den Betreiber hat dies den wesentlichen Vorteil, dass die Anlage erst aus der Produktion genommen wird, wenn alle Änderungen geprüft und getestet sind, wodurch mit einer kürzeren Produktionsunterbrechung zu rechnen ist.

Die Kopplung der im Betrieb der realen Anlage verwendeten Steuerung mit dem Digitalen Zwilling kann zudem zum Monitoring und mittels MRiLS zum immersiven Visualisieren von aufgezeichneten historischen Daten eingesetzt werden. Abb. 17.12 zeigt die beispielhafte Kopplung der an der Hochschule Esslingen betriebenen Schuler Servopresse CSP 100 mit dem Digitalen Zwilling in Augmented Reality (links) sowie die Möglichkeiten der Aufzeichnung von Maschinendaten mit Kopplung an den Digitalen Zwilling (rechts) [5].

Die Kopplung der realen Anlage mit dem Digitalen Zwilling während des Betriebs kann darüber hinaus zum schnellen Erkennen von größeren Abweichungen beziehungsweise Unregelmäßigkeiten der realen Anlage eingesetzt werden. Der echtzeitfähige Digitale Zwilling läuft parallel zur Motion Control Steuerung auf dem Steuerungsrechner, um unmittelbar die berechneten und die realen Werte vergleichen und gegebenenfalls Unregelmäßigkeiten identifizieren zu können. Dieses Einsatzszenario wurde beispielhaft für einen mehrgliedrigen Antrieb mit den Bewegungsdaten Geschwindigkeit, Beschleunigung und

Drehmoment umgesetzt. Im Vergleich zur realen Anlage weist das implementierte Verhaltensmodell des Digitalen Zwillings eine mittlere Abweichung von 5–10 % auf. Die Abweichungen zwischen Verhaltensmodell und realer Anlage könnten im realen Anlagenbetrieb zur Überprüfung des Maschinenzustandes genutzt werden. Sind im Betrieb der Anlage größere Abweichungen als die mittleren Abweichungen des Verhaltensmodell und der realen Anlage festzustellen, ist von einer Fehlfunktion der realen Anlage auszugehen und es sollte eine entsprechende Überprüfung eingeleitet werden. Die erzielte Genauigkeit des Modells könnte in einem nächsten Projektschritt mit Hilfe von Methoden der Künstlichen Intelligenz erhöht werden, um noch genauere Aussagen über ein mögliches Fehlverhalten der realen Anlage auf Basis des Digitalen Zwillings treffen zu können.

Zusammenfassung

Dem Digitalen Zwilling von Maschinen und Anlagen kommt im Werkzeugmaschinenbau auf dem Weg zur 4. Industriellen Revolution eine zentrale Bedeutung zu. Insbesondere in Kombination mit Visualisierungs- und Interaktionsmethoden der Mixed Reality eröffnet der Digitale Zwilling neue Anwendungspotenziale für Hersteller und Bediener von Werkzeugmaschinen im Bereich der Umformtechnik. Der Einsatz ist dabei nicht auf einen einzelnen Anwendungsfall beschränkt, sondern erstreckt sich über den kompletten Lebenszyklus der Anlage von der Entwicklung (z. B. Software Applikation) über die Inbetriebnahme bis hin zum Betrieb der Anlage (z. B. Prozessoptimierung, Monitoring) sowie auf Schulungen und den Vertrieb. Neben den technologischen Möglichkeiten spielen bei der Einführung dieser neuen Technologien auch die nicht-technischen Herausforderungen für den Erfolg beziehungsweise Misserfolg eine zentrale Rolle. Um bei

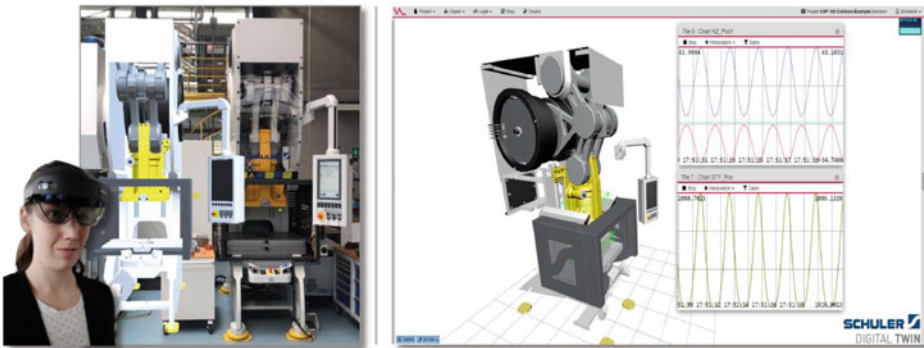


Abb. 17.12 Kopplung der realen Servo-Pressen CSP 100 mit dem Digitalen Zwilling zur Visualisierung und Interaktion (links) sowie zur Aufzeichnung von Maschinendaten in der webbasierten Visualisierung (rechts)

den Mitarbeitenden trotz des Mehraufwandes, der durch die Einführung neuer Technologien resultiert, frühzeitig Akzeptanz zu schaffen, sollten insbesondere zu Beginn kleinere Modelle umgesetzt werden. Bei kleineren Modellen kann bereits nach kurzer Zeit ein greifbarer Erfolg erfahren werden, wodurch die Potenziale der neuen Technologien direkt aufgezeigt werden können. Auf Basis dieser positiven Erfahrungen können die Modelle dann im weiteren Projektverlauf kontinuierlich ausgebaut werden.

Literatur

1. Verein Deutscher Ingenieure e. V. (VDI) (2016) Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V. (VDE); VDI/VDE 3693 Blatt 1: Virtuelle Inbetriebnahme; Modellarten und Glossar
2. Schnierle M, Polak C, Röck S (2019) Mensch-Roboter-Interaktion mit Mixed Reality auf Basis einer „Digital Twin as a Service“-Plattform, atp magazin 5/2019, Robotik und Digital Twin in der Smart Factory, Vulkan-Verlag. doi: 10.17560/atp.v61i5.2415
3. Hönig J, Schnierle M, Hüttenberger M, Polak C, Röck S (2021) Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation für Schulungen im Maschinen- und Anlagenbau, Proceedings of DELFI Workshops 2021, S. 9–22, Hochschule Ruhr West, ISBN 978-3-946757-03-0
4. Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V. (2017) IT-Report „Simulation im Maschinenbau“. VDMA-Verlag
5. Hönig J, Wagner S, Röck S (2019) Moderne Servopresse mit digitalem Zwilling für die Forschung, Blechnet. Vogel Communications Group, Würzburg

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

