

CAMILLA WEHNERT (Universität Bamberg)

JANA HÖNIG (Hochschule Esslingen)

TOBIAS SPIELMANN (Universität Stuttgart)

MARC SCHNIERLE (Hochschule Esslingen)

JULIA FRANZ (Universität Bamberg)

SASCHA RÖCK (Hochschule Esslingen)

OLIVER RIEDEL (Universität Stuttgart)

CHRISTIAN SCHEIFELE (ISG Industrielle Steuerungstechnik GmbH)

ARMIN ROTH (Roth Steuerungstechnik GmbH)

## **Weiterbildung im Maschinen- und Anlagenbau mittels Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation**

### **Herausgeber**

BERND ZINN

RALF TENBERG

DANIEL PITTICH

**Journal of Technical Education (JOTED)**

ISSN 2198-0306

Online unter: <http://www.journal-of-technical-education.de>



CAMILLA WEHNERT / JANA HÖNIG / TOBIAS SPIELMANN/ MARC SCHNIERLE / JULIA FRANZ / SACHA RÖCK / OLIVER RIEDEL / CHRISTIAN SCHEIFELE / ARMIN ROTH

## **Weiterbildung im Maschinen- und Anlagenbau mittels Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation**

**ZUSAMMENFASSUNG:** Die wachsende digitale Durchdringung von Berufs- und Arbeitswelt ist mit vielfältigen Veränderungen für die betriebliche Weiterbildung verbunden. Besonders für den Maschinen- und Anlagenbau entstehen durch den Einsatz moderner Visualisierungsmethoden der Mixed Reality in Ergänzung zum Digitalen Zwilling der Produktionsanlage neue Formen der Wissensvermittlung, die mit spezifischen Chancen und Herausforderungen einhergehen. Im Beitrag wird zunächst ein Blick auf die aktuell eingesetzten Schulungspraktiken geworfen und aus didaktischer Perspektive reflektiert. Im Anschluss werden die Bedeutung von Mixed Reality Technologien im Rahmen des Forschungsprojekts *MRiLS* herausgearbeitet und Potenziale abgeleitet, die abschließend didaktisch und lerntheoretisch ausdifferenziert werden.

*Schlüsselwörter:* Betriebliche Weiterbildung, Digitale Fabrik, Mixed Reality, Didaktik, Maschinen- und Anlagenbau

## **On-the-job-training in mechanical and plant engineering through Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation**

**ABSTRACT:** The growing digital pervasion of the working world is associated with diverse changes for on-the-job-training. The use of modern visualization methods of Mixed Reality in addition to the digital twin of the production plant creates new forms of knowledge transfer that are associated with specific opportunities and challenges, especially for mechanical and plant engineering. In this context, the following article will first take a look at the training practices currently used in mechanical and plant engineering and reflect on them from a didactic perspective. The significance of mixed reality technologies will then be demonstrated as part of the *MRiLS* research project. Finally, potentials will be derived and differentiated in terms of didactic and learning theory.

*Keywords:* On-the-job-training, Digital Factory, Mixed Reality, Didactic, Mechanical and plant engineering

## 1 Einleitung

Der Megatrend der Digitalisierung lässt sich – auch und gerade in Zeiten der Corona Pandemie – aus öffentlichen Diskursen kaum wegdenken. Insbesondere in den interdisziplinären Debatten um „Industrie 4.0“ (Botthof & Hartmann 2015), „Arbeit 4.0“ (Kopp/FGW 2016) oder „Smart Factory“ (Steven & Dörseln 2020, S. 10) wird bereits seit einigen Jahren von der zunehmenden digitalen Durchdringung von Berufs- und Arbeitswelt ausgegangen. Dies macht sich an der Verfügbarkeit und Omnipräsenz verschiedener Endgeräte am Arbeitsplatz branchenübergreifend ebenso bemerkbar (vgl. Gensicke et al. 2016), wie am zunehmenden Einsatz von KI-Technologien im industriellen Kontext (vgl. Hecker et al. 2017). Ein differenzierter Blick auf die Digitalisierung in Betrieben zeigt, dass insbesondere im Bereich des Maschinen- und Anlagenbaus digitale Transformationen erfolgen (vgl. u. a. Dispan 2021). So spielen in der Praxis des Maschinen- und Anlagenbaus zunehmend Automatisierungslösungen und die Erstellung Digitaler Zwillinge (vgl. VDMA 2017) eine wichtige Rolle. Der Digitale Zwilling ist eine Digitale Repräsentation einer realen Anlage, die unter anderem durch das Geometriemodell, das Verhaltensmodell sowie die Anbindung an das Steuerungssystem beschrieben wird. Die virtuelle Inbetriebnahme als Methode der digitalen Fabrik ist ein Treiber der Digitalisierung im Kontext von Industrie 4.0. Die vielfältigen Chancen und Herausforderungen dieser Transformationsprozesse für die Gestaltung von Weiterbildungsmöglichkeiten werden im Rahmen des MRiLS Projekts<sup>1</sup> erforscht. In Gesprächen mit dem Projektpartner ISG wird hier beispielsweise die Chance darin gesehen, das Simulationsmodell aus der virtuellen Inbetriebnahme in die Betriebsphase zu überführen, um flexibel und betriebsbegleitend zum realen Produktionsprozess zu schulen und somit kundenindividuelle, maßgeschneiderte Schulungen anbieten zu können. Außerdem bestehe das große Potential eines gefahrlosen Lernens, indem Fehlerfälle oder Crash-Situationen ohne Gefährdung von Mensch oder Maschine dargestellt werden können. Während bei der virtuellen Inbetriebnahme die Inbetriebnahmezeiten der realen Anlagentechnik massiv reduziert werden, könnte so bei einer virtuellen Schulung des Betriebspersonals die Anlaufphase einer neuen Produktionsanlage stark verkürzt werden. Ebenfalls entstehen mit der Auslieferung eines Digitalen Zwillings neue digitale Geschäftsmodelle für den Maschinen- und Anlagenbauer. Als herausfordernd hingegen wird vom Projektpartner Roth die Gestaltung von virtuellen Realitäten sowohl im Hinblick auf technische Anforderungen als auch eine intuitive und leicht verständliche Handhabung beschrieben, um der erwarteten Skepsis und möglichen Akzeptanzschwierigkeiten seitens der Weiterbildungsanfragenden und –teilnehmenden entgegenzuwirken. Wie insbesondere die beschriebenen sowie zusätzlichen Chancen in konkreten Weiterbildungen im Kontext des Maschinen- und Anlagenbaus umgesetzt und welche didaktischen Möglichkeiten dabei genutzt werden, ist bislang noch nicht umfassend erforscht worden. Vor diesem Hintergrund wird in diesem Beitrag der Frage nachgegangen, welche Schulungspraxen im Anlagen- und Maschinenbau den Alltag bestimmen, wie diese lerntheoretisch und didaktisch reflektiert werden können und welche Chancen insbesondere mit digitalisierten Lernumwelten einhergehen. Dazu werden zunächst die im Maschinen- und Anlagenbau aktuell eingesetzten

<sup>1</sup> Das Verbundprojekt „Hybrides Interaktionskonzept für Schulungen mittels Mixed Reality in the Loop Simulation“ (MRiLS) wird in Kooperation mit den industriellen Projektpartnern der ISG Industrielle Steuerungstechnik GmbH (Koordinator) und dem Ingenieurbüro Roth GmbH & Co. KG und den wissenschaftlichen Projektpartnern Otto-Friedrich Universität Bamberg, Professur für Erwachsenenbildung und Weiterbildung, der Universität Stuttgart, Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW) und der Hochschule Esslingen, Virtual Automation Lab (VAL) durchgeführt. Das diesem Bericht zugrundeliegende 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 der Autorin/beim Autor.

Schulungspraktiken in den Blick genommen und aus einer didaktischen Perspektive reflektiert (Kapitel 2). Im Anschluss daran werden neue Formen der Wissensvermittlung anhand moderner Visualisierungsmethoden der Mixed Reality betrachtet und das damit verbundene interdisziplinäre Forschungsprojekt MRiLS zur Erprobung von Mixed Reality Lernszenarien vorgestellt. Daraus werden schließlich spezifische Chancen und Herausforderungen abgeleitet und aus didaktischer Perspektive reflektiert (Kapitel 3). Abschließend werden die Erkenntnisse des Artikels zusammengefasst und Anregungen für die Praxis sowie die weitere Forschung gegeben (Kapitel 4).

## 2 Weiterbildung im Maschinen- und Anlagenbau – Stand der Technik und Forschung

In diesem Kapitel wird das Praxisfeld der Weiterbildung im Bereich des Maschinen- und Anlagenbaus genauer in den Blick genommen. Dabei werden zunächst Schulungspraktiken und -methoden systematisch differenziert und im Anschluss lerntheoretisch und didaktisch reflektiert.

### 2.1 Aktuelle Schulungspraxis im Maschinen- und Anlagenbau

Die aktuell im Praxis- und Forschungsdiskurs sichtbar werdende Schulungspraxis lässt sich dabei im Bereich arbeitsbezogener Lernprozesse einordnen (vgl. Dehnbostel 2020). Dabei kommen unterschiedliche Lehr- und Lernsettings zum Einsatz, die im Folgenden systematisch vorgestellt werden.

- **Innerbetriebliche Schulung an der realen Anlage:** Die Lernenden werden direkt an der später im Betrieb eingesetzten realen Anlage instruiert und systematisch unterwiesen (vgl. Dehnbostel 2001, S. 55 ff, zitiert nach Rebmann 2019, S. 404). Die Vermittlung der Lerninhalte erfolgt dabei in einer Kombination aus einer Frontal-Präsentation durch Expert/-innen sowie dem eigenständigen Bedienen der Maschinen und Anlagen. Ergänzend hierzu werden bestimmte Lerninhalte anhand eines Handbuches bzw. der entsprechenden Bedienungsanleitung erarbeitet. Durch den Einsatz der realen Anlage können die Lernenden praxisnah an der Maschine mit realer Steuerungshardware interagieren und dabei das reale Anlagenverhalten kennenlernen. Gleichzeitig führen die Schulungen zu Stillstandzeiten der Anlage und folglich zu Produktionsausfällen. In der Regel steht dabei eine Maschine bzw. Anlage für mehrere Schulungsteilnehmende zur Verfügung, was sich auf die Gestaltung der individuellen Interaktion auswirkt und eine Skalierbarkeit des Lerngegenstandes für alle Lernenden verhindert. Darüber hinaus besteht keine Möglichkeit, Gefahrensituationen an der realen Anlage zu schulen, da dies zu einer Gefährdung von Mensch oder Maschine führen kann.
- **Schulung in der Lernfabrik:** Eine weitere Form der Präsenzlehre ist die Schulung in einer Lernfabrik (vgl. Abele et al. 2015). Die Lernfabrik umfasst eine realitätsnahe Umgebung mit direktem Zugriff auf Produktionsprozesse und -bedingungen, die einer Wertschöpfungskette entspricht. Die Lernenden durchlaufen verschiedene Stationen, an welchen sie authentische Prozesse ausführen und dabei beispielsweise ein physisches Produkt erstellen (vgl. Zinn 2014). Die Schulung in der Lernfabrik hat im Gegensatz zur Schulung an der realen Anlage durch die räumliche Trennung und die speziell für die Ausbildung eingesetzten Maschinen und Anlagen keinen Produktionsausfall während der Schulungsphase zur Folge. Allerdings ist der Aufbau und Unterhalt einer Lernfabrik speziell für die Ausbildung mit hohen Kosten verbunden. Zudem entsprechen die Anlagen in der Lernfabrik meist nicht exakt den Maschinen und Anlagen

aus dem späteren Betrieb, wenn sich die Lernfabrik in einer überbetrieblichen Bildungseinrichtung befindet und nicht als unternehmenseigene, individuelle Lernfabrik vorliegt.

- **PC-basierte Schulung vor Ort:** PC-basierte Schulungen sind eine Form der Präsenzs Schulung, bei der die Teilnehmenden gemeinsam in einem Raum jeweils an einzelnen Computer-Monitoren lernen (vgl. Ball 2020; Erpenbeck & Sauter 2013). Die PC-basierte Schulung vor Ort wird insbesondere bei der Einführung von neuer Software bzw. Simulationswerkzeugen sowie zum Erlernen der Anlagenbedienung auf Basis von Simulationsmodellen eingesetzt. Bei den Simulationsmodellen handelt es sich um dreidimensionale Modelle, die das reale Verhalten der Maschine oder Anlage virtuell nachbilden. Das Modell wird benutzerunabhängig, d.h. exozentrisch auf zweidimensionale Computer-Monitore projiziert, wodurch die Lernenden über Maus und Tastatur zweidimensional mit dem Modell interagieren können (vgl. Katzky et al. 2013). Der Schulungsort ist durch die Notwendigkeit von teilweise spezieller Computer-Hardware sowie ggfs. zusätzlichen Hardware-Komponenten gebunden und kann nicht flexibel geändert werden. Die Schulungsleitung agiert als Lehrende und teilt auf einer Projektionsfläche den eigenen Bildschirm, um die Lernenden zu instruieren. Die Schulungsteilnehmenden können bei Fragen oder Unklarheiten direkt mit der Schulungsleitung kommunizieren. Aufbauend auf dieser Instruktion kann ein zielorientiertes Arbeiten in Gruppen erfolgen.
- **Remote Schulung/Webinar:** Remote-Schulungen und Webinare erfolgen online und werden synchron über entsprechende Software durchgeführt. Die Schulungen finden somit räumlich getrennt vom Arbeitsplatz statt. Im Rahmen der beruflichen Weiterbildung stellen u. a. Webinare ein alternatives digitales Konzept zu den bislang gängigen Präsenzs Schulungen dar (vgl. Rebmann 2019). Die Schulungsleitung fungiert dabei als Online-Lehrende und streamt sich selbst oder den eigenen Bildschirm, um die Teilnehmenden zu instruieren und die Wissensvermittlung visuell zu unterstützen. Die Inhalte werden auf die Computer-Monitore der Lernenden projiziert. Gleichzeitig haben die Lernenden die Möglichkeit, über eine Chatfunktion oder mündlich mit der Schulungsleitung oder den anderen Teilnehmenden zu kommunizieren. Remoteschulungen bieten sich im Maschinen- und Anlagenbau beispielsweise zur Einführung von speziellen Softwaretools an, ohne dass Schulungsteilnehmende diese Software auf eigenen Endgeräten installieren müssen. Durch das Remote-Aufschalten auf Computer des Schulungsanbieters mittels geeigneter Software, können die Lernenden in den entsprechenden Tools arbeiten, ohne selbst auf Systemanforderungen der jeweiligen Software achten zu müssen. Ein solches Szenario ist speziell bei Simulationswerkzeugen interessant, da diese meist hohe Hardwareanforderungen an die Endgeräte stellen.
- **Massive Open Online Course (MOOC):** MOOCs stellen einen wichtigen Bestandteil technologiegestützten Lernens dar und bezeichnen Online-Kurse mit einer meist sehr hohen Anzahl von Teilnehmenden (vgl. Ebner, Schön & Braun 2019). Die Kurse sind dabei meist für alle Personen offen und online frei verfügbar. Weitere Kriterien für MOOCs sind die kursförmige Organisation mit definierten Start- und Endzeiten, die von den Lehrenden strukturierte Gestaltung der Lerneinheiten sowie die Betreuungs- und Kommunikationsmöglichkeiten zwischen den Lehrenden und Lernenden (vgl. Wedekind 2013). Grundsätzlich lassen sich zwei Arten von MOOCs nach den stärker massenorientierten xMOOCs und den netzwerkorientierten cMOOCs unterscheiden (vgl. Schulmeister 2013). Während xMOOCs sich stärker am klassischen Vorlesungsmodell orientieren und dabei an bekannte Lernmanagementsysteme angelehnte Lernplattformen nutzen, bildet der diskursive Anspruch von cMOOCs die Orientierung an Vernetzung und projektförmiger Arbeit (vgl. Wedekind 2013). Eingesetzt werden

MOOCs im Maschinen- und Anlagenbau beispielsweise bei der Vermittlung von theoretischen Grundlagen wie etwa im Bereich der Mechanik und Robotik.

- **Webbased Training (WBT):** Das Webbased Training stellt ein digitales Lehr- und Lernangebot dar, das als eine Variante des E-Learnings gilt (vgl. Kerres 2001). Bei WBTs können die Lernenden zeit- und ortsunabhängig auf die didaktisch aufbereiteten, digitalen Inhalte zugreifen und sich diese selbstgesteuert in ihrem eigenen Lerntempo aneignen. Dabei werden die Lerninhalte durch text- und bildbasierte Präsentationen oder als Video-Trainings mit Zusatzmaterialien sowie Lernkontrolltests zur Verfügung gestellt. Die Lernenden haben meist keine Möglichkeiten der direkten Kommunikation mit der Schulungsleitung oder anderen Lernenden. In Kombination mit Präsenzeinheiten können WBTs, als Teil von Blended Learning Formaten, zur Vorbereitung eingesetzt werden, um Lernenden ohne oder mit wenig Vorwissen eine grundlegende Einführung zum Thema zu ermöglichen. Dieses Werkzeug wird vor allem von Unternehmen zur Unterstützung von innerbetrieblichen Weiterbildungen eingesetzt (vgl. Rensing 2020).

## 2.2 Didaktische Reflexion der aktuellen Schulungspraxis

Im Folgenden wird die vorgestellte Schulungspraxis didaktisch reflektiert. In der Zusammenschau der vorgestellten Schulungspraktiken zeigt sich zunächst, dass sich diese unterschiedlichen Formate hinsichtlich ihrer Differenz von standortabhängigen Präsenzanteilen und standortunabhängigen Anteilen sowie dem Einsatz von realen und virtuellen Lerngegenständen voneinander unterscheiden lassen (siehe Abb. 1). Während die innerbetriebliche Schulung und die Schulung in der Lernfabrik als reine Präsenzformate unter Verwendung von realen Lerngegenständen (reale Anlage) erfolgen, sind die Remote-Schulung, die Massive Open Online Courses sowie das Webbased Training reine online gestützte Formate mit virtuellen Lerngegenständen. Als virtuelle Lerngegenstände kommen unter anderem text- und bildbasierte Präsentationen, Video-Trainings sowie Simulationsmodelle zum Einsatz. Zwischen diesen beiden Kategorien gibt es Mischformen wie beispielsweise die PC-basierte Schulung vor Ort, die zwar einen virtuellen Lerngegenstand einsetzt, jedoch aufgrund der notwendigen Computer Hardware und ggfs. weiterer Hardware-Komponenten standortabhängig ist. Der Einsatz von *virtuellen* Lerngegenständen erweist sich dabei insofern als problematisch, als dass diese nur bedingt an die Möglichkeiten *realer* Lerngegenstände - beispielsweise bei innerbetrieblichen Schulungen an der realen Anlage – heranreichen.

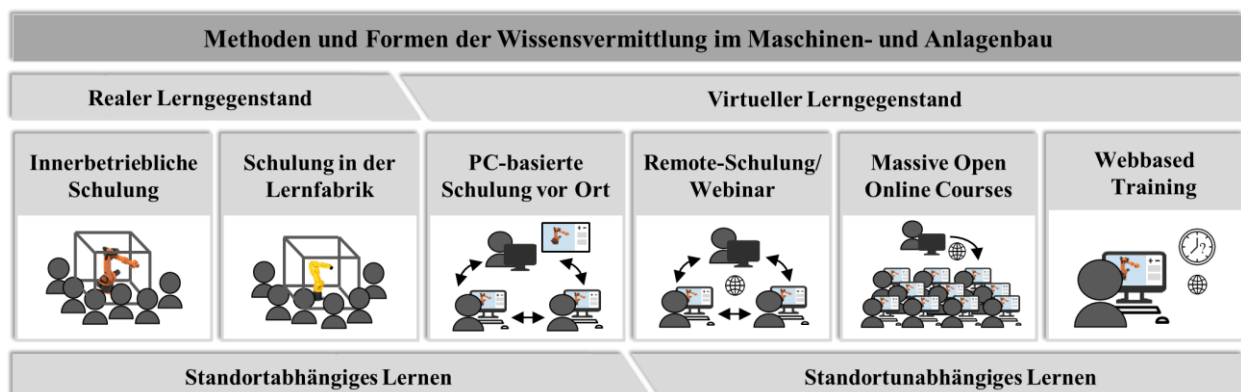


Abb. 1: Übersicht aktuell eingesetzter Methoden bei der Maschinen-Schulung im Maschinen- und Anlagenbau

Neben Unterschieden hinsichtlich Online- und Präsenzformaten lassen sich die verschiedenen Schulungsformen auch hinsichtlich ihrer zugrundeliegenden lerntheoretischen und didaktischen Annahmen unterscheiden. Aus der Beobachtung der entsprechenden Diskurse der interdisziplinären Lehr- und Lernforschung lassen sich hier zwei prägnante Perspektiven auf Lehr- und Lernprozesse und deren didaktische Gestaltung unterscheiden. Auf der einen Seite gibt es Ansätze, die in ihren Überlegungen das lernende Subjekt als Ausgangspunkt der Modellierung von Lehr- und Lernprozesse setzen, wie zum Beispiel subjekttheoretische (u. a. Ludwig 2005; Holzkamp 1993;) oder konstruktivistische Ansätze (u. a. Siebert 1998; Arnold 2001; Arnold & Schüßler 2003; Reich 2002). Aus dieser Perspektive wird auch die Frage nach der Möglichkeit der Selbststeuerung und Eigentätigkeit in Lernprozessen virulent. Auf der anderen Seite gibt es Ansätze, die die soziale Eingebundenheit lernender Subjekte in den Vordergrund rücken und damit die soziale Situierung (vgl. Lave & Wenger 1991) des Lernens fokussieren. Im Folgenden werden diese beiden Perspektiven genutzt, um die Formate der aktuellen Schulungspraxis im Maschinen- und Anlagenbau vergleichend zu reflektieren.

- Die **innerbetriebliche Schulung an der realen Anlage** lässt sich auf der einen Seite als klassisches Format instruktionaler Lehr-/Lernmodelle beschreiben, bei der die frontale Vermittlung in den Mittelpunkt gerückt wird und Phasen der Selbststeuerung durch Übungen mit und an der Maschine initiiert werden, die allerdings durch die begrenzte Verfügbarkeit der Anlagen eingeschränkt erscheinen. Auf der anderen Seite steht dieses Lernarrangement für eine starke soziale Situierung des Lernprozesses in einem authentischen, praxisnahen Kontext.
- Die **Schulung in der Lernfabrik** beinhaltet verstärkte Möglichkeiten, die Selbsttätigkeit und Selbstorganisation der Lernenden - im Sinne eines Subjektbezug des Lernens - zu fördern, da hier ohne das Verursachen eines Produktionsausfalls verschiedene Aufgaben und Übungen an vorhandenen Anlagen bearbeitet und wiederholt werden können. Zudem erscheint bei Lernfabriken die Situierung des Lernens von Bedeutung. Die Lernenden haben die Möglichkeit, in einem betriebsähnlichen Umfeld authentische Aufgaben auszuführen, sich dabei mit anderen auszutauschen und die spätere Handlungspraxis kennenzulernen. Lernfabriken sind zumeist aufgrund der hohen Investitionskosten in externen und darauf spezialisierten Schulungszentren verfügbar.
- Die **PC-basierten Schulungen vor Ort** kombinieren Frontalpräsentationen beispielsweise zur Einführung neuer Tools mit eigenständigen Übungs- oder Projektaufgaben. Die Frontalpräsentationen basieren auf einem klassischen Modell frontaler Vermittlung, bei dem Aufgaben der Lehrenden linear bearbeitet werden und nur wenig Raum für selbstgesteuerte Lernprozesse besteht. Die eigenständigen Übungs- und Projektphasen weisen hingegen subjektzentrierte Aspekte auf. Durch die systematische Strukturierung des Lerninhalts sowie der unterstützenden Lernbegleitung durch die Schulungsleitung werden die Lernenden zum eigenständigen Handeln motiviert. Der Einsatz von Simulationsmodellen erscheint aufgrund der Form der Situierung besonders interessant, da hierbei eine virtuelle Situierung und ein physikalischer, authentischer Kontext geschaffen bzw. die konkrete Anlage abgebildet werden kann. Dadurch kann direkt am Modell und gefahrlos gelernt werden. Die soziale Interaktion hingegen bleibt auf die Kommunikationen in einer frontalen Kurssituation beschränkt.



- **Remote-Schulungen oder Webinare** weisen subjektzentrierte Aspekte auf. Über eine systematische Strukturierung des Lernstoffs und die unterstützende Lernbegleitung durch die Schulungsleitung können Räume für einen selbstgesteuerten Lernprozess ermöglicht werden, sofern die Aktivierung der Lernenden angeregt wird. Durch eine sorgfältige Planung und Konzeption der Lernangebote werden aus kognitionspsychologischer Perspektive vor allem auf eine Dekomposition des Wissens und dessen systematischer Umsetzung in individuelle Lernprozesse gezielt (Anderson; Reder; Simon 1995/1997 zit. nach Gerstenmaier & Mandl 2011, S. 172). Die soziale Situierung des individuellen Lernens ist bei Remote-Schulungen weniger ausgeprägt, da eine praxisnahe Einbettung von Problemstellungen nur abstrakt erfolgt. Gleichwohl kann in diesem Format kooperatives Lernen über entsprechende Online-Tools realisiert werden.
- Der Einsatz von **MOOCs** für technische Schulungen birgt aus konstruktivistischer Sicht vielfältige Potentiale für ein selbstgesteuertes Lernen. Bei den größeren xMOOCs liegt der Fokus stärker auf den individuellen Aneignungsprozessen, der Selbsttätigkeit und Selbstorganisation, was ein hohes Maß an Selbstlernkompetenzen seitens der Lernenden voraussetzt. Bei den netzwerkorientierten cMOOCs hingegen steht das kollaborative Lernen unter Berücksichtigung des sozialen Kontexts im Vordergrund. Hier findet Lernen im Kontext alltäglicher Aktivitäten von Expert/-innen und Mitlernenden statt, indem Möglichkeiten und Räume zum gemeinsamen Austausch geschaffen werden. Durch die Integration von Reflexionsaufgaben und die aktive Konstruktion von Wissen können beide Formen von MOOCs als situierte Lernumgebungen aufgefasst werden.
- **Webbased Trainings** stellen ein Angebot zur Vermittlung von sachlich strukturiertem Wissen dar. Auf der einen Seite kann argumentiert werden, dass damit Selbsttätigkeit und Selbstorganisation gefördert werden, da zeit- und ortsunabhängig gelernt werden kann. Auf der anderen Seite sind aufgrund der klaren linearen Vorstrukturierung wenig Spielräume für eigenaktive Entscheidungen und Schwerpunktsetzungen gegeben. Gleichzeitig sind sowohl die Interaktionsmöglichkeit als auch die soziale Eingebundenheit der Lernenden stark beschränkt, da Wissenskonzepte und Fertigkeiten nur im Rahmen eines abstrakten Praxisbezugs erworben werden.

Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass im Hinblick auf die Lehr- und Lernpraxis im Maschinen- und Anlagenbau neben der Nutzung von Präsenzformen vermehrt auch digitale Schulungsformate Akzeptanz finden. Die didaktischen Potenziale werden bzw. können dabei nur bedingt ausgeschöpft werden, da einerseits die Interaktionsspielräume, der direkte Handlungs- und Praxisbezug sowie die Berücksichtigung individueller Aneignungsprozesse durch die eingesetzten Schulungsformate begrenzt sind. Andererseits reichen die beschriebenen virtuellen Lerngegenstände aufgrund der fehlenden Modelltiefe und Abbildungsgenauigkeit nur begrenzt an die Möglichkeiten der realen Schulung heran. Daher werden zunehmend Nutzungsmöglichkeiten von Mixed Reality (z. B. Blümel et al 2010; Dick 2007; Herber 2012; Jadin 2017; Haase 2017) und Digitaler Zwillinge aus der virtuellen Inbetriebnahme diskutiert, die eine 1:1 Abbildung der realen Anlagentechnik ermöglichen. Diesbezüglich zeigt sich, dass einerseits besonders die bereits angeführte Theorie zum situierten Lernen anschlussfähig ist, andererseits aber ebenso konstruktivistische Ansätze mit dem Fokus auf individuelle Lern- und Aneignungsprozesse relevant sind. Im Folgenden wird daher die Bedeutung von Mixed Reality für Schulungen im Maschinen- und Anlagenbau beleuchtet.

### 3 Wissensvermittlung durch den Einsatz von Mixed Reality

Eine Erweiterung der bislang eingesetzten Methoden und Formen der Wissensvermittlung bei der Maschinen-Schulung im Maschinen- und Anlagenbau ist der Einsatz von modernen Visualisierungsmethoden der Mixed Reality. Die Mixed Reality greift an den bisherigen Defiziten in der Wissensvermittlung an und bietet durch eine egozentrische (benutzerabhängige) Visualisierung sowie eine intuitive multimodale Interaktion neue Möglichkeiten in der Wissensvermittlung.

#### 3.1 Mixed Reality (MR)

Die Mixed Reality wurde bereits 1994 von Milgram et al. in seinem Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum als stufenlose Kombination realer und virtueller Inhalte definiert (vgl. Milgram et al. 1994a; Milgram et al. 1994b). Entsprechend dem Verhältnis realer und virtueller Inhalte werden vier Hauptkategorien unterschieden (siehe Abb. 2). Während die Real Environment (RE) ausschließlich reale Komponenten enthält, wird die Virtual Reality (VR) komplett computergeneriert erstellt. Zwischen diesen beiden Extremen gibt es eine stufenlose Kombination realer und virtueller Komponenten in einer gemeinsamen Umgebung. Ausprägungsformen, bei denen die realen Komponenten überwiegen, sind der Augmented Reality (AR) bzw. erweiterten Realität zugeordnet. Bei der erweiterten Realität wird das reale Sichtfeld um eine visuelle Überlagerung virtueller Komponenten erweitert. Augmented Virtuality (AV) bzw. erweiterte Virtualität bezeichnet hingegen ein System mit umgekehrtem Verhältnis, bei welchem die virtuelle Umgebung um reale Komponenten (z. B. reale Hände) erweitert wird. Die Visualisierung der virtuellen Komponenten erfolgt egozentrisch (benutzerabhängig) beispielsweise über Head-Mounted-Displays. Durch diese dreidimensionale egozentrische Visualisierung der virtuellen Komponenten resultieren im Vergleich zu exozentrischen (benutzerunabhängigen) Visualisierungsmethoden intuitive und immersive Interaktionsmöglichkeiten.

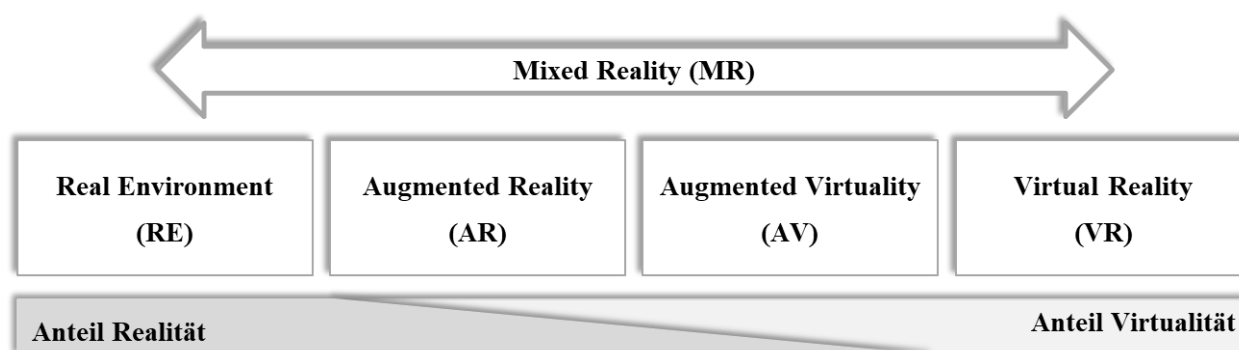


Abb. 2: Mixed Reality als stufenlose Kombination realer und virtueller Komponenten nach Milgram et al. 1994a

#### 3.2 Einsatz von Mixed Reality im Bereich der Maschinen-Schulung

Durch die fortschreitende Digitalisierung der Arbeitswelt entstehen vermehrt Verbindungen zwischen Realität und Virtualität. Formen der erweiterten Realität stellen dabei die Normalität zukünftiger Arbeits- und Lernprozesse dar (vgl. Dehnbostel 2020, S. 488). Hierbei spielen insbesondere Möglichkeiten der Mixed Reality eine entscheidende Rolle für ganzheitliche Kompetenzentwicklungen und wurden daher in den letzten Jahren in Projekten zur Unterstützung

der Wissensvermittlung auch im Bereich des Maschinen- und Anlagenbaus eingesetzt und evaluiert.

Beispielhaft können an dieser Stelle Untersuchungen zur Effizienz eines virtuellen Schulungssystems einer CNC-Maschine (vgl. Lin et al. 2002) oder die Realisierung einer virtuellen Schulungsumgebung anhand einer 3D foto-realistischen 3-Achs-Fräsmaschine in Wasfy et al. (2005) in den frühen 2000er Jahren genannt werden. In den 2010er Jahren wurden zudem virtuelle Schulungssysteme für Handhabungsarbeiten untersucht, die durch virtuelle Instruktionen mittels Smart Devices und Head-Mounted-Displays (HMD) unterstützt werden (vgl. Hořejší 2015). Ein weiteres Beispiel ist das von Im et al. (2017) vorgestellte Konzept, bei dem eine immersive virtuelle Lernumgebung für das Training der Montage und der Demontage von Motoren untersucht wurde. Auch in der deutschen Forschungslandschaft wurden und werden MR Ansätze zur Wissensvermittlung und deren Auswirkungen auf Lerneffekte, Akzeptanz und Gestaltung beforscht. So wurden in vom BMBF geförderten Projekten, bereits Grundlagen zum immersiven virtuellen Lernen erforscht: Im Projekt Classroom (2014-2017) wurden Erkenntnisse zur Nutzung von Virtual Reality zum Kompetenzaufbau, -entwicklung und -definition in virtuellen Lebenswelten des Maschinen- und Anlagenbaus generiert. Dabei wurde herausgestellt, dass die Verwendung von MR entscheidende Mehrwerte für den Zugang von Bildungsinhalten generiert. Zudem wurden Grundprinzipien zum erfolgreichen Einsatz von MR, bezüglich Instruktion und technischen Herausforderungen, erarbeitet (vgl. Thomas, Metzger & Niegemann 2018). Die aufeinander aufbauenden Projekte, Social Augmented Learning (2013-2016), Social Virtual Learning (2016-2017) und Social Virtual Learning 2020 (2017-2019) untersuchten virtuelle Lernumgebungen mit Interaktions- und Kollaborationskonzepten im Bereich Druck und Schneidemaschinen. Forschungsschwerpunkt bildete hierfür die duale Ausbildung der Druckindustrie. In den Forschungsprojekten wurde am Beispiel von Druck- und Schneidemaschinen das Lernen mit Augmented und Virtual Reality ermöglicht und Autorenwerkzeuge zur Individualisierung bestehender und Erstellung neuer VR Lernmodule entwickelt (vgl. Fehling 2017). Mit dem Projekt Virtual and Analytics Service im Maschinen- und Anlagenbau (VASE) (2017-2020) beschäftigte sich ein weiteres Verbundvorhaben unter anderem mit der Erforschung von virtuellen Lern- und Arbeitsumgebungen sowie prozessdatengetriebener Identifikation von Defiziten in Dienstleistungsprozessen im Maschinen- und Anlagenbau. Dabei konnten unter anderem Erkenntnisse bezüglich der Technologieakzeptanz in virtuellen Lern- und Arbeitsumgebungen (vgl. Pletz & Zinn 2018) oder der didaktischen Konzeption solcher Umgebungen gewonnen werden (vgl. Zinn 2019). Des Weiteren fördert das BMBF in den letzten Jahren vermehrt Verbundprojekte (z.B. MARLA 2019-2022; PortaL 2019-2021) zur Untersuchung Digitaler Medien in der beruflichen und betrieblichen Bildung wie beispielsweise in der Elektro- und Metalltechnik (vgl. Dietze 2020).

Aus diesen Umsetzungen lassen sich wichtige Erkenntnisse generieren, die zur Weiterentwicklung von virtuellem Lernen in Kombination mit realen Verhaltenselementen genutzt werden können: Bislang wurde das Verhalten der Maschinen und Anlagen stark vereinfacht nachgebildet, ohne dass die für den Entwicklungsprozess des Maschinen- und Anlagenbaus aufwändig erstellten und somit bereits vorhandenen detaillierten X-in-the-Loop Simulationsmodelle eingesetzt wurden. Dies hat zur Folge, dass zumeist kein realitätsnahes Verhalten der virtuellen Maschinen und Anlagen zur Verfügung steht und eine Nachimplementierung des Verhaltens erforderlich ist.

Die einzelnen Lösungen sind zudem meist endgerätespezifisch implementiert, so dass eine Erweiterung für andere Endgeräte mit einem großen Implementierungsaufwand verbunden ist. Es erfolgt also keine Trennung zwischen der Endgerätetechnik und dem Simulationsmodell selbst. Die Anwendungen sind meist auch projektspezifisch implementiert, so dass eine Übertragung auf

ein anderes Modell mit einem hohen Adaptionaufwand verbunden ist. Zudem wurden die technischen Umsetzungen von Lehr- und Lernszenarien in der Regel bei der Erstellung nicht oder nur bedingt von Pädagog/-innen und Didaktiker/-innen begleitet (Muñoz 2017, S. 47).

### 3.3 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 Autorinnen und Autoren als Erweiterung bisheriger Schulungstechniken im Forschungsprojekt MRiLS mit einem hybriden Interaktionskonzept für Schulungen mittels Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation. Dabei sollen die dargestellten Defizite bisheriger Methoden der Wissensvermittlung durch einen geeigneten Einsatz moderner Visualisierungsmethoden der Mixed Reality unter Einsatz entsprechender didaktischer Konzepte begegnet werden. Das Ziel ist der Einsatz eines durchgängigen Simulationsmodells von dem Engineering über die Inbetriebnahme der Maschinen und Anlagen bis hin zu der zum Betrieb parallelisierten Schulung des Produktionssystems.

Bislang werden im Engineering und in der Inbetriebnahme drei verschiedene Ausprägungsformen der X-in-the-Loop Simulation (XiLS) eingesetzt: Model-in-the-Loop Simulation (MiLS), Software-in-the-Loop Simulation (SiLS) und Hardware-in-the-Loop Simulation (HiLS) (VDI/VDE 3693 Blatt 1, 2016). Diese drei Testkonfigurationen charakterisieren sich jeweils durch die Kopplung einer Steuerungsausprägung mit einem Digitalen Zwilling der Anlage oder einer Anlagenkomponente in einen gemeinsamen Simulationskreislauf (in-the-Loop). Während bei der MiLS ein Modell der Steuerung gegen den Digitalen Zwilling getestet wird, bindet die SiLS die reale Steuerungssoftware ein. Die HiLS umfasst erweiternd die reale Steuerungshardware, die meist über den realen Feldbus mit einem echtzeitfähigen Digitalen Zwilling gekoppelt ist. Während sich die Testkonfigurationen in der Ausprägung von Steuerung und Digitalem Zwilling unterscheiden, ist die konzeptionelle Architektur deckungsgleich. Diese bislang eingesetzte XiLS-Methodenreihe soll automatisch um ein neuartiges, weiteres Simulationsmodell, die Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation (MRiLS), erweitert werden (vgl. Abb. 3).

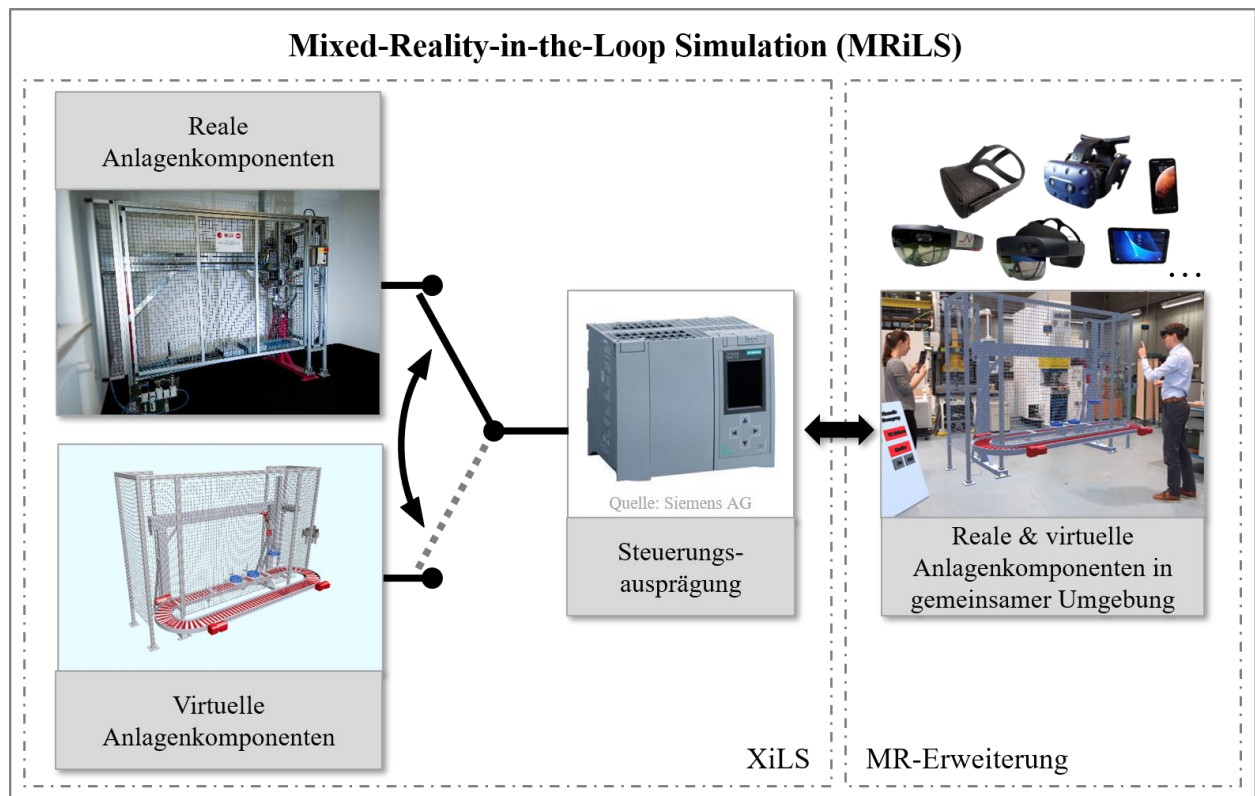


Abb. 3: Erweiterung der XiLS um moderne Visualisierungsmethoden zu der Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation

Der Digitale Zwilling aus der virtuellen Inbetriebnahme, als Basis der MRiLS, bildet die Anlagentechnik inklusive Materialfluss und Dynamik 1:1 am Feldbus ab, wodurch bei der Schulung mittels MRiLS derselbe Detaillierungsgrad wie bei der realen Anlage erreicht werden kann. Die MRiLS ermöglicht durch den Einsatz moderner Visualisierungsmethoden der Mixed Reality in Kombination mit dem Digitalen Zwilling zudem eine stufenlose Kombination der Virtualität und Realität sowie eine vollständige Integration des Nutzenden in den XiL-Simulationskreislauf.

Eine wichtige Grundlage für die vollständige Integration des Nutzenden stellt das Immersionspotential des Systems und das subjektive Präsenzgefühl des Nutzenden dar. Das Präsenzgefühl, als subjektives Empfinden, beschreibt einen Bewusstseinszustand bzw. das (psychologische) Gefühl, sich tatsächlich innerhalb der mediatisierten Welt zu befinden (vgl. Slater et al. 1997; Oh et al. 2018). Dieses subjektive Empfinden der Präsenz basiert auf komplexen Konstruktions- und Wahrnehmungsprozessen und weist sowohl medien- als auch rezipientenbezogene Komponenten auf (vgl. Wirth et al. 2018). Zwischen diesen Komponenten und dem Präsenzgefühl existiert jedoch kein kausaler Zusammenhang. Ein System mit besonders vielen Merkmalen, die das Präsenzerleben begünstigen, wird als immersiv bezeichnet und dementsprechend wird diesem System ein hohes Immersionspotential zugesprochen. Ein hohes Immersionspotential des Mediums kann erreicht werden, indem dem Nutzenden durch eine realitätsnahe sowie seiner Position und Bewegung entsprechende Darstellung der Umgebung eine umfassende Illusion der Realität geboten wird und synthetische Stimuli für alle relevanten Sinne (z. B. visuell, haptisch, auditiv) über entsprechende Ein- und Ausgabemöglichkeiten als Reaktion auf die Position und Aktionen der Nutzenden existieren (vgl. Sherman et al. 2003). In allen Ausprägungsstufen der Mixed Reality ist bei der MRiLS das Erreichen dieses subjektiven Präsenzgefühls anzustreben. Wenn sich die Lernenden in der mediatisierten Umgebung präsent fühlen, beziehen sich auch ihre Wahrnehmungen, ihre

Reaktionen (körperlich, physiologisch), ihre Gedanken sowie ihre Handlungen auf diese mediatisierte Welt und nicht auf die reale Umgebung. Hierdurch wird sich der Lernende intensiver mit den Inhalten auseinandersetzen, was zu einem höheren Lernerfolg führen soll.

An die Stelle der bei der XiLS eingesetzten exozentrischen (benutzerunabhängigen) und zweidimensionalen Projektion der dreidimensionalen Objekte auf Computer-Monitoren sowie die hieraus resultierende begrenzte Interaktion über Maus und Tastatur tritt bei der MRiLS mittels Mixed Reality eine egozentrische (benutzerabhängige) Visualisierung sowie eine natürliche, multimodale und den menschlichen Sinnen entsprechende Interaktion zwischen Mensch (Anlagenbediener/-innen) und Technik (Maschinen und Anlagen) (siehe Abb. 4).

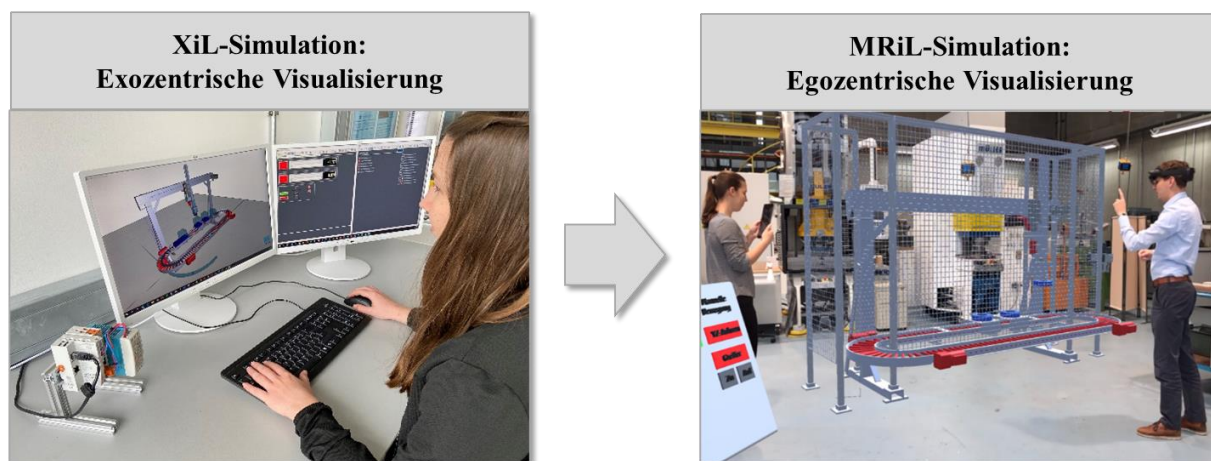


Abb. 4: Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation (MRiLS) als Erweiterung der bisherigen XiLS Methodenreihe

Der Nutzende interagiert über die Steuerung sowohl mit den virtuellen als auch den realen Anlagenkomponenten. Die virtuellen Anlagenkomponenten werden für den Nutzenden über Mixed Reality Methoden in der realen Umgebung egozentrisch visualisiert. Der Nutzende kann über intuitive Interaktionseingaben den Digitalen Zwilling manipulieren und erhält über verschiedene Ausgabegeräte eine entsprechende Rückmeldung des Digitalen Zwillings. Diese Rückmeldung kann sowohl die visuelle, die haptische als auch die auditive Wahrnehmung des Nutzenden ansprechen. Die Bereitstellung des Verhaltensmodells erfolgt über eine Echtzeit-Simulation, die bereits aus dem XiLS Entwicklungsprozess vorhanden ist. Das Anlagen-/Maschinenverhalten, welches aus der Interaktion des Nutzenden resultiert, entspricht aus Sicht des Menschen dem realen Maschinenverhalten. Die MRiLS soll zudem nicht auf einen Nutzenden limitiert sein, sondern es sollen mehrere Nutzende mit unterschiedlichen Mixed Reality Endgeräten (z. B. AR Brille, VR Brille, Tablet) mit dem gleichen MRiL Simulationsmodell interagieren können.

Die technischen Fachkräfte werden bei der MRiLS erstmals sowohl mit realer Hardware als auch dem virtuellen Simulationsmodell interagieren und die „reale“ Reaktion der virtuellen Produktionsanlage/-maschine mittels Mixed Reality Methoden „erleben“. Die MRiLS kann dabei in der innerbetrieblichen Schulung und in der Aus- und Weiterbildung eingesetzt werden und bietet hierbei insbesondere folgende Potentiale:

- **Egozentrische Visualisierung:** Die Schulungsinhalte werden dreidimensional, immersiv und egozentrisch (benutzerabhängig) visualisiert.
- **Intuitive, natürliche und multimodale Interaktion:** Der Lernende kann intuitiv, natürlich und multimodal mit den virtuellen Komponenten interagieren und erhält eine multimodale Rückmeldung (z. B. auditiv, haptisch) auf die Interaktionseingabe.
- **Kombination von realen und virtuellen Anlagenkomponenten:** Die MR ermöglicht die visuelle Kombination von realen und virtuellen Anlagenkomponenten in einer dreidimensionalen und egozentrischen Perspektive. Hierdurch müssen die realen Anlagenkomponenten in der Simulation nicht nachgebildet werden und die reale Umgebung in den Schulungsprozess integriert werden.
- **Realitätsnahe Handlung:** Der Lernende kann auf Basis des detaillierten XiLS-Verhaltensmodells und der realen Steuerungstechnik über reale Hardware mit dem virtuellen Schulungsmodell realitätsnah interagieren. Die Antwort des Schulungsmodells auf die Interaktion erhält der Lernende über die egozentrische Visualisierung der MRiLS.
- **Gefahrloses Schulen:** Das Lernen von Gefahrensituationen ist ohne Gefährdung für Mensch und Maschine möglich.
- **Kollaboratives Lernen:** Kommunikation und Kollaboration zwischen verschiedenen Lernenden ist möglich.
- **Zeit- und Ortsunabhängigkeit:** Die Schulung ist sowohl räumlich als auch zeitlich flexibel. Es gibt weder Terminkollisionen, noch geht Arbeitszeit für die Anfahrt, Übernachtung, etc. verloren.
- **Einfache Skalierbarkeit:** Die Lerngegenstände können einfach skaliert werden, so dass jedem Lernenden individuelle Lerngegenstände zur Verfügung stehen (beispielsweise nicht nur eine Maschine für mehrere Lernende).
- **Neue Lernmöglichkeiten:** Die MRiLS ermöglicht neue Lernmöglichkeiten wie beispielsweise den Blick in die Maschine oder die Fertigung in Zeitlupe.
- **Flexibler und Individualisierbarer Lerninhalt:** Der Lerninhalt kann flexibel und individuell angepasst werden.
- **Lernen im eigenen Tempo:** Die Lernenden können in ihrem eigenen Tempo lernen und ggfs. Lerninhalte wiederholen.

Das Konzept der MRiLS wurde an einem ausgewählten Produktionssystem prototypisch umgesetzt. Abb. 5 zeigt die MRiLS des Produktionssystems in der Ausprägungsform Augmented Reality.





Abb. 5: Prototypische Umsetzung der MRiLS am Beispiel eines Produktionssystems

Das Produktionssystem umfasst ein Linienportal, bestehend aus zwei translatorischen Achsen und einem pneumatischen Greifer, sowie eine rücklaufende Schwerkrafttrollenbahn für die Realisierung des umlaufenden Materialflusses. Mit Hilfe des Produktionssystems können an zwei vereinfacht ausgeführten Bearbeitungsstationen Pick&Place Aufgaben ausgeführt werden. Die Abbildung des Verhaltens der Bearbeitungsstationen erfolgt dabei über Simulationsmodelle. Der Aufbau kann virtuell um weitere Komponenten, wie beispielsweise die Einbindung weiterer Komponenten und Arbeitsstationen, auf Basis der realen Steuerungstechnik zu einem hybriden Aufbau erweitert werden. Die Nutzenden können durch die Umsetzung des MRiLS Konzeptes am Schulungslader sowohl mit den realen als auch den virtuellen Komponenten endgeräteübergreifend immersiv und multimodal interagieren. Für die flexible Kopplung multimodaler Interaktionen auf Basis eines gemeinsamen Digitalen Zwillings wird die Interaktion abstrahiert (vgl. Schnierle et. al 2019). Die Interaktionsabstraktion ermöglicht den Einsatz verschiedener Gerätetechnik (AR Brille, VR Brille, Smartphone, Tablet) sowie verschiedener Eingabegeräte (z.B. Controller, Gestensteuerung, Spracheingabe) und Ausgabegeräte (z.B. Sprachausgabe, Datenhandschuhe mit Vibrationsfeedback, Datenhandschuhe mit Force Feedback) auf Basis eines gemeinsamen Digitalen Zwillings. Der Digitale Zwilling kann somit unabhängig von den verwendeten Endgeräten sowie Ein- und Ausgabemöglichkeiten modelliert, ausgeliefert und genutzt werden.

### 3.4 Didaktische Reflexion der Mixed Reality Potenziale

Der Einsatz von Mixed Reality Technologien wird – wie der Forschungsstand und das vorgestellte MRiLS-Projekt zeigen - in Zukunft weiter an Bedeutung für die Aus- und Weiterbildung im Bereich des Maschinen- und Anlagenbaus gewinnen. Hinsichtlich der Differenzierung von standort-unabhängigen virtuellen und standortabhängigen präsenzbasierten Lernformaten ergeben sich hieraus neue Möglichkeiten: Präsenzbasierte Lernformate können verstärkt mit virtuellen Komponenten angereichert und visualisiert werden, was die Stärken von Präsenzformaten aufgreift und durch den Einsatz von Mixed Reality gleichzeitig mit neuen Lernpotenzialen verknüpft.



Die besonderen Möglichkeiten, die sich allein durch die virtuelle Anreicherung von Präsenzformaten ergeben, lassen sich didaktisch und lerntheoretisch noch weiter ausdifferenzieren. Schließlich ergeben sich daraus auch vielfältige Potenziale für die subjektbezogene Förderung selbstgesteuerter Lernprozesse sowie für neue Formen sozialer Situierungen.

Hinsichtlich der sozialen Situierung ermöglicht die skizzierte egozentrische Visualisierung ein immersives Eintauchen in virtuelle oder virtuell angereicherte Realitäten, die – insbesondere auch durch die Kombination von realen und virtuellen Anlagekomponenten – realitätsnahe und gefahrlose Lernhandlungen ermöglichen und neue Formen virtueller Situierungen begünstigen. Weiterhin können durch die Kombination von realen und virtuellen Anlagenkomponenten sozial situierte, authentische Lernsituationen geschaffen werden, wodurch der Transfer in die berufliche Praxis erleichtert werden kann. Das Lernen im sozialen Kontext wird insofern gefördert, als dass ein realitätsnahes Agieren an der Maschine ermöglicht und der Erwerb von Fertigkeiten in konkreten Problemlösekontexten verankert wird. Durch Übertragung und Integration auf konkrete Praxissituationen wird das Gelernte in einen Sinnzusammenhang gesetzt, woraus Orientierungen für das Handeln im Arbeitskontext abgeleitet werden können (vgl. Pätzold 2009). Eine soziale Situierung zeigt sich auch dahingehend, dass durch neue Lernmöglichkeiten, die sich beispielsweise durch den Blick in den Innenraum der Maschine ergeben, erweiterte Verständnismöglichkeiten resultieren, die wiederum in einem hohen Bezug zur realen Arbeitswelt stehen. Zuvor verborgene Vorgänge der Maschinen können somit mit direktem Praxisbezug kennengelernt und verankert werden.

Bezüglich der kommunikativen und sozialen Situierung des Austausches zwischen Lernenden oder zwischen Lehrenden und Lernenden wird durch die erweiterte intuitive und multimodale Interaktion gemeinsames Lernen begünstigt (vgl. Kapp et al. 2019). Durch den Austausch untereinander, gegenseitige Unterstützungsleistungen und gemeinsames Reflektieren wird kollaboratives und exploratives Lernen am konkreten Lernobjekt ermöglicht. Daraus entstehen neue Übungsmodalitäten nicht nur untereinander, sondern auch mit dem Lernobjekt bzw. den realen und virtuellen Anlagenkomponenten selbst, während die Schulungsleitung den Lern- und Kommunikationsprozess begleitet und unterstützt.

Eine subjektbezogene Anregung selbstgesteuerter Lernprozesse zeigt sich insbesondere durch selbstgesteuerte Interaktionen zwischen den Lernenden sowie mit dem Lernobjekt, wodurch individuelle Aneignungsprozesse gefördert werden. Durch die Zeit- und Ortsunabhängigkeit virtueller Schulungen wird der Fokus auf Selbsttätigkeit, Selbstorganisation und den Erwerb von Selbstlernkompetenzen gesetzt, was wiederum die Rolle der Schulungsleitung im Hinblick auf die Lernbegleitung und -unterstützung bedeutsam macht. Individuelle Aneignungsprozesse werden vor allem dadurch gefördert, dass sich die Lernenden aufgrund der einfachen Skalierbarkeit der Lernobjekte selbstständig und selbstgesteuert im eigenen Lerntempo mit den Gegenständen orts- und zeitunabhängig auseinandersetzen und beispielsweise durch die Möglichkeiten virtuell eingeblendeter Zusatzinformationen den Lernprozess individuell und autonom gestalten können. Ein starker Subjektbezug drückt sich weiterhin durch die hohe Flexibilität und Individualisierbarkeit der Lerninhalte aus, indem zum Beispiel im Rahmen eines modularen Aufbaus der Inhalte flexibel auf das Vorwissen und bereits erworbene Kenntnisse der Lernenden eingegangen sowie zielgruppenspezifische Schulungsinhalte herangezogen werden können.

Zusammenfassend lässt sich die skizzierte didaktische und lerntheoretische Differenzierung im Hinblick auf die Ausbildung beruflicher, im Maschinen- und Anlagenbau erforderlichen Handlungskenntnisse nur in der Zusammenschau betrachten. In diesem Zuge werden besonders solche Ausbildungskonzepte diskutiert, die ein handlungsorientiertes, kooperatives Lernen betonen (vgl. Pätzold 2009) – also verstärkt den situierten Bezug aufweisen – sowie die eigenaktive Aneignung von Wissen und Problemlösefähigkeit und damit selbstgesteuerte Lernprozesse fokussieren. Die

nachfolgende tabellarische Übersicht fasst alle aufgeführten Schulungsformate im Hinblick der prägnantesten Lerneigenschaften zusammen.

	Schulung an der realen Anlage	Schulung in der Lernfabrik	PC-basierte Schulung vor Ort	Remote Schulung/ Webinar	Massive Open Online Courses	Webbased Training	Schulung mit MRiLS
<b>Technologische Perspektive</b>							
<b>Egozentrische Visualisierung</b>	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✓
<b>Intuitive, natürliche und multimodale Interaktion</b>	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✓
<b>Zeit- und Ortsunabhängigkeit</b>	✗	✗	✗	✓ <sup>3</sup>	✓ <sup>3</sup>	✓	✓
<b>Gefahrloses Schulen von Gefahrensituationen</b>	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Realitätsnahe Handlung</b>	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✓
<b>Didaktische Perspektive</b>							
<b>Subjektbezug: Selbststeuerung im Lernprozess</b>	✗ <sup>2</sup>	✓	✗ <sup>2</sup>	✗ <sup>2</sup>	✗ <sup>2</sup>	✗ <sup>2</sup>	✓
<b>Soziale Situierung</b>	✓	✓	✓	✓ <sup>1</sup>	✓ <sup>1</sup>	✗	✓
<sup>1</sup> : kann durch Schulungsleitung initiiert werden, aber dennoch nur in eingeschränkter Form möglich. <sup>2</sup> : kann in eigenständigen Übungs- und Projektphasen intendiert werden, bei klassischen Modellen mit hoher Strukturierung nur in eingeschränkter Form möglich. <sup>3</sup> : nur Standortunabhängigkeit, keine Zeitunabhängigkeit.							

Abb. 6: Überblick über alle betrachteten Schulungsformate mit den prägnantesten Lerneigenschaften

## 4 Ausblick

Im Beitrag wurden die aktuelle Schulungspraxis im Maschinen- und Anlagenbau sowie zukunftsorientierte Mixed Reality Formate genauer in den Blick genommen. Dabei wurde deutlich, dass mit dem Einsatz von Mixed Reality weitreichende Potenziale für die Aus- und Weiterbildung technischer Fachkräfte verbunden sind: Mit dem durch virtuell angereicherte Welten hervorgerufenen Präsenzgefühl können verstärkt sowohl Selbstlernkompetenzen als auch die soziale Eingebundenheit der lernenden Subjekte gefördert werden. Daraus ergeben sich unter anderem neue Interaktionsmöglichkeiten zwischen Lernenden untereinander und mit dem Simulationsmodell der realen Maschine, authentische Lernumgebungen mit der Möglichkeit des gefahrlosen Lernens und eine daraus resultierende Erhöhung des Lerntransfers in die berufliche Praxis. Die Verfügbarkeit eines

Digitalen Zwillingen, der die reale Anlagentechnik 1:1 abbildet, ermöglicht in virtuellen Schulungsszenarien bei gleichzeitiger Einbindung realer Steuerungshardware eine nahezu vollständige Abdeckung möglicher steuerungstechnischer Schulungsszenarien. Die Lernenden sollen dabei standortunabhängig mit verschiedenen Endgeräten wie beispielsweise AR/VR Brillen, Tablets und Smartphones auf die über die Server-Plattform zentral bereitgestellte Steuerungstechnik zugreifen können. Darin sehen die Autorinnen und Autoren großes Potenzial, da derzeit eingesetzte digitale Schulungsformen nicht vollständig eine Schulung an der realen Maschine ersetzen können.

Auch für die Praxis im Maschinen- und Anlagenbau sind damit vielfältige Potenziale verbunden, die sich aus der Perspektive des industriellen Projektpartners ISG aus einer effektiven Nutzung des im Engineering erstellten Simulationsmodells speisen. So könne der Digitale Zwilling über den Entwicklungsprozess hinaus für eine Schulung des Betreiberpersonals verwendet werden und stehe über verschiedenste Aspekte der digitalen Fortbildung zur Verfügung, was zur Vision einer digitalen Fabrik und neuer digitaler Geschäftsmodelle beiträgt. Seitens des Praxispartners Roth wird als ein enormer Vorteil außerdem die flexible, betriebsbegleitende und auch frühzeitige – d.h. parallel zum Konstruktionsprozess der Anlage verlaufende - Schulungsmöglichkeit betrachtet, um einerseits gezielt auf Schulungswünsche und -anfragen seitens der Kunden eingehen und andererseits eine Zeit- und Kostenersparnis erwirken zu können. Gleichwohl sind mit den vielfältigen Potenzialen auch große Herausforderungen hinsichtlich der didaktischen Konzeption und Gestaltung virtueller Lernumgebungen verbunden. Schließlich bedarf es ausgefeilter didaktischer Konzepte, bei denen Lehrende als Lernbegleitung agieren und die Potenziale von Mixed Reality in einer strukturierten Lernumgebung hinsichtlich der Visualisierung von Inhalten, Aufgaben und Interaktionen zwischen Teilnehmenden realisieren und umsetzen. Dies ist nicht trivial, sondern gewinnt in der aktuellen Schulungspraxis im Maschinen- und Anlagenbau vielmehr an Brisanz, wie die beiden industriellen Partner des MRiLS-Projekts betonen: So ist es dort eher die Regel als die Ausnahme, dass Schulungen für Bediener/-innen und Instandhalter/-innen nicht durch *pädagogische*, sondern durch *technische* Fachkräfte ohne pädagogische Ausbildung durchgeführt werden. Zusätzlich stellen die Konzeption, Planung und Durchführung solcher didaktisch hochaufwendigen Schulungen auch in Bezug auf die meist knappen zeitlichen Ressourcen eine Herausforderung dar. Hier bedarf es auf der einen Seite professioneller Qualifizierungsmaßnahmen und Unterstützung der technischen Fachkräfte. Zum anderen erscheinen an dieser Stelle aber auch vermehrt empirische Erkenntnisse zu Lehr- und Lernprozessen in Mixed Reality Lernumgebungen notwendig. Erkenntnisse zu den Erfahrungen von Lehrenden und Lernenden, die im Rahmen der Begleitforschung des MRiLS-Projekts generiert werden sollen, können hier zu einer empirisch fundierten didaktischen Theoriebildung beitragen und hilfreiche Schlussfolgerungen für die Gestaltung von Mixed Reality Lernsituationen liefern.

## Literatur

- Abele, E., Metternich, J., Tisch, M., Chryssolouris, G., Sihn, W., ElMaraghy, H. A., Hummel, V. & Ranz, F. (2015). Learning factories for research, education, and training, *Procedia CIRP* 32, S. 1-6.
- Arnold, R. & Schüßler, I. (2003). *Ermöglichungsdidaktik. Erwachsenenpädagogische Grundlagen und Erfahrungen.* Baltmannsweiler: Schneider-Verl. Hohengehren.
- Arnold, R. (2001). *Ermöglichungsdidaktik.* In R. Arnold, S. Nolda, S. & E. Nuissl (Hrsg.), *Wörterbuch Erwachsenenpädagogik* (84-85). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Ball, C. (2020). *Bildungstechnologie in der beruflichen Aus- und Weiterbildung.* In H. Niegemann & A. Weinberger (Hrsg.), *Handbuch Bildungstechnologie: Konzeption und Einsatz digitaler Lernumgebungen* (667-676). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Blümel, E., Jenewein, K. & Schenk, M. (2010). Virtuelle Realitäten als Lernräume. Zum Einsatz von VR-Technologien im beruflichen Lernen. *lernen & lehren*, 25(97), 6-13.
- Botthof, A. & Hartmann, E. A. (2015). *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0.* Berlin: Springer.
- Dehnbostel, P. (2020). Der Betrieb als Lernort. In R. Arnold, A. Lipsmeier & M. Rohs (Hrsg.), *Handbuch Berufsbildung.* Wiesbaden: Springer VS. Link zum Buch: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-658-19312-6\\_38](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-658-19312-6_38).
- Dick, M. (2007). Das Lerntätigkeitssystem als Rahmenkonzept für die Gestaltung, Implementierung und Nutzung von VR im Arbeitsprozess. In GfA (Hrsg.), *Kompetenzentwicklung in realen und virtuellen Arbeitssystemen* (29-34). Dortmund: GfA-Press.
- Dietze, N. (2020). Virtuelle und Erweiterte Realität in der beruflichen Bildung. Nur ein Trend oder ein Schlüssel für neue Lernerfahrungen? In A. Bernsteiner, L. Blasch, T. Hug, P. Missomelius & M. Rozzollo (Hrsg.), *Augmentierte und virtuelle Wirklichkeiten* (205-219). Innsbruck: innsbruck university press.
- Dispan, J. (2021). Digitale Transformation im Maschinen- und Anlagenbau. Digitalisierungsstrategien und Gestaltung von Arbeit 4.0. In: E.A. Hartman (Hrsg.), *Digitalisierung souverän gestalten. Innovative Impulse im Maschinenbau* (118-132). Berlin: Springer Vieweg.
- Ebner, M., Schön, S. & Braun, C. (2019). Mehr als nur ein MOOC. Sieben Lehr- und Lernszenarien zur Nutzung von MOOCs in der Hochschullehre und anderen Bildungsbereichen. In J. Hafer, M. Mauch & M. Schumann (Hrsg.), *Teilhabe in der digitalen Bildungswelt.* Münster: Waxmann Verlag.
- Erpenbeck, J. & Sauter, W. (2013). *So werden wir lernen!: Kompetenzentwicklung in einer Welt fühlender Computer, kluger Wolken und sinnsuchender Netze.* Berlin, Heidelberg: Springer Gabler.
- Fehling, D. (2017). Neue Lehr- und Lernformen in der Ausbildung 4.0: Social Augmented Learning in der Druckindustrie. *Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis*, 46(2), 30-33.
- Gensicke, M., Bechmann, S., Härtel, M., Schubert, T., Garcia-Wülfing, I. & B. Güntürk-Kuhl (2016). Digitale Medien in Betrieben – heute und morgen. Eine repräsentative Bestandsanalyse. In: BIBB, Heft 177.
- Gerstenmaier, J. & Mandl, H. (2011). Konstruktivistische Ansätze in der Erwachsenenbildung und Weiterbildung. In R. Tippelt & A. Hippel (Hrsg.), *Handbuch Erwachsenenbildung/Weiterbildung* (169-178). Wiesbaden: Springer VS.
- Haase, T. (2017). *Industrie 4.0: technologiebasierte Lern- und Assistenzsysteme für die Instandhaltung.* Bielefeld: wbv.
- Hecker, D., Döbel, I., Rüping, S., Schmitz, V. & Voss, A. (2017). Künstliche Intelligenz und die Potenziale des maschinellen Lernens für die Industrie. *Wirtschaftsinformatik & Management*, 9(5), 26-35.
- Herber, E. (2012). Augmented Reality – Auseinandersetzung mit realen Lernwelten. *Zeitschrift für E-learning*, 7(3), 7-13.
- Holzkamp, K. (1993). *Lernen. Subjektwissenschaftliche Grundlegung.* Frankfurt am Main: Campus.
- Hořejší, P. (2015). Augmented Reality System for Virtual Training of Parts Assembly. In *Proceedings of the 25th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation* (699-706). DAAAM 2014.
- Im, T., An, D., Kwon, O.-Y. & Kim, S.-Y. (2017). A virtual reality based engine training system: A prototype development & evaluation. In *Proceedings of the 9th International Conference on Computer Supported Education (CSEDU 2017)* (262-267). Porto, Portugal.
- Jadin, T. (2017). Die Potenziale von Mixed Reality für die betriebliche Aus- und Weiterbildung. In *Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V., Dortmund* (Hrsg.), *Soziotechnische Gestaltung des digitalen Wandels – kreativ, innovativ, sinnhaft.* Brugg-Windisch und Zürich.

- Kapp, F., Kruse, L., Matthes, N. & Spangenberg, P. (2019). AR –VR –MR? Erfolgsfaktoren für immersive Lernumgebungen am Beispiel einer Lernanwendung für die Windenergiebranche. In S. Schulz (Hrsg.), *Proceedings of DELFI Workshops 2019* (140-152). Berlin, Germany,. Doi: 10.18420/delfi2019-ws-116.
- Katzky, U., Höntzsch, S., Bredl, K., Kappe, F. & Krause, D. (2013). Simulationen und simulierte Welten. Lernen in immersiven Lernumgebungen. In M. Ebner, S. Schön & C. Frey, C. (Hrsg.), *L3T Lehrbuch für Lernen und Lehren mit Technologien*. Online: <https://l3t.tugraz.at/index.php/LehrbuchEbner10/article/view/102/108>, Stand vom 26.03.2021.
- Kerres, M. (2001). *Multimediale und telemediale Lernumgebungen. Konzeption und Entwicklung*. München/Wien: Oldenbourg Wissenschaftsverlag.
- Kopp, R. (2016). *Industrie 4.0 und soziale Innovation - Fremde oder Freunde? FGW Studie, Digitalisierung von Arbeit 02*. Düsseldorf: FGW.
- Lave, J. & Wenger, E. (1991). *Situated learning. Legitimate peripheral participation*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Lin F., Ye L., Duffy V. & Su C. (2002). Developing virtual Environments for industrial training. *Information Sciences* – online, 140 (1-2), 153-170. [https://doi.org/10.1016/S0020-0255\(01\)00185-2](https://doi.org/10.1016/S0020-0255(01)00185-2).
- Ludwig, J. (2005). Modelle subjektorientierter Didaktik. In *REPORT Literatur- und Forschungsreport Weiterbildung 28/1: Theoretische Grundlagen und Perspektiven der Erwachsenenbildung* (75-80). Bielefeld: Bertelsmann.
- Milgram, P. & Kishino, F. (1994a). A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. In *IEICE Transactions on Information Systems*, E77-D(12), 1321–1329.
- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A. & Kishino, F. (1994b). Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. *Telemanipulator and Telepresence Technologies*, 2351. Doi: 10.1117/12.197321.
- Muñoz, T (2017). *Supporting technology for augmented reality game-based learning* (Doctoral dissertation, Universitat de Girona, Departament d'Arquitectura i Tecnologia de Computadors).
- Oh, C. S., Bailenson J. N. & Welch, G. F. (2018). A Systematic Review of Social Presence: Definition, Antecedents, and Implications. In: *Frontiers in Robotics and AI*, 5(114).
- Pätzold, G. (2009). Methoden betrieblicher Bildungsarbeit. In B. Bonz (Hrsg.), *Didaktik und Methodik der Berufsbildung* (112-134). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Pletz, C. & Zinn, B. (2018). Technologieakzeptanz von virtuellen Lern- und Arbeitsumgebungen in technischen Domänen. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 6(4), 86-105.
- Rebmann, K. (2019). Didaktik und Methodik der beruflichen Weiterbildung. In R. Arnold, A. Lipsmeier & M. Rohs (Hrsg.), *Handbuch der Berufsbildung*, 3. Aufl. (399-410). Wiesbaden: Springer.
- Reich, K. (2002). Systemisch-konstruktivistische Didaktik. Eine allgemeine Zielbestimmung. In R. Voß (Hrsg.), *Die Schule neu erfinden. Systemisch-konstruktivistische Annäherungen an Schule und Pädagogik* (70-91). Neuwied: Luchterhand.
- Rensing, C. (2020). Informatik und Bildungstechnologie. In H. Niegemann & A. Weinberger (Hrsg.). *Handbuch Bildungstechnologie – Konzeption und Einsatz digitaler Lernumgebungen* (585-603). Berlin, Heidelberg: Springer.
- 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.
- Schulmeister, R. (2013). *MOOCs – Massive Open Online Courses. Offene Bildung oder Geschäftsmodell?* Münster: Waxmann Verlag, Link: <https://www.waxmann.com/fileadmin/media/zusatztexte/2960Volltext.pdf>.
- Sherman, W. R. & Craig, A. B. (2003). *Understanding Virtual Reality. INTERFACE, APPLICATION AND DESIGN*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers.
- Siebert, H. (1998). Konstruktivismus. Konsequenzen für Bildungsmanagement und Seminargestaltung. *DIE Materialien für Erwachsenenbildung*, Band 14. Frankfurt am Main: DIE. Online unter: URL: [http://www.die-bonn.de/esprid/dokumente/doc-1998/siebert98\\_01.pdf](http://www.die-bonn.de/esprid/dokumente/doc-1998/siebert98_01.pdf).
- Slater M; Wilbur, S (1997). A framework for immersive virtual environments (FIVE): speculations on the role of presence in virtual environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(6), 603-616.
- Steven, M. & Dörseln, J. N. (Hrsg.) (2020). *Smart Factory: Einsatzfaktoren - Technologie – Produkte*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Thomas, O., Metzger, D. & Niegemann, H. (2018). *Digitalisierung in der Aus- und Weiterbildung. Virtual und Augmented Reality für Industrie 4.0*. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler.
- VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik: *Virtuelle Inbetriebnahme - Modellarten und Glossar, VDI/VDE 3693 Blatt 1*, 2016.

- Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) e. V. (2017). IT-Report „Simulation im Maschinenbau“
- Wasfy, T. M., Wasfy, A. M., El-Mounayri, H. & Aw, D. (2005). Virtual Training Environment for a 3-Axis CNC Milling Machine, in Virtual Training Environment for a 3-Axis CNC Milling Machine, ASMEDC, S. 1111.
- Wedekind, J. (2013). MOOCs – eine Herausforderung für die Hochschulen? In G. Reinmann, M. Ebner & S. Schön (Hrsg.). Hochschuldidaktik im Zeichen von Heterogenität und Vielfalt. Doppelfestschrift für Peter Baumgartner und Rolf Schulmeister, Norderstedt: Books on Demand GmbH.
- Wirth, W. & Hofer, M. (2018). Präsenzerleben. Eine medienpsychologische Modellierung. In montage AV. Zeitschrift für Theorie und Geschichte audiovisueller Kommunikation, 17(2), 159-175.
- Zinn, B. (2014). Lernen in aufwendigen technischen Real-Lernumgebungen – eine Bestandsaufnahme zu berufsschulischen Lernfabriken. Die berufsbildende Schule (BbSch), 66(1), 23-26.
- Zinn, B. (2019). Editorial: Lehren und Lernen zwischen Virtualität und Realität. Journal of Technical Education (JOTED), 7(1), 16–31.

CAMILLA WEHNERT, M. A.

Universität Bamberg, Professur für Erwachsenenbildung  
Markusplatz 3, 96045 Bamberg  
[Camilla.Wehnert@uni-bamberg.de](mailto:Camilla.Wehnert@uni-bamberg.de)

JANA HÖNIG, M. ENG.

Hochschule Esslingen, Fakultät Maschinen und Systeme, Virtual Automation Lab (VAL)  
Kanalstraße 33, 73728 Esslingen  
[Jana.Hoenig@hs-esslingen.de](mailto:Jana.Hoenig@hs-esslingen.de)

TOBIAS SPIELMANN, M. SC.

Universität Stuttgart, Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW)  
Seidenstraße 36, 70174 Stuttgart  
[Tobias.Spielmann@isw.uni-stuttgart.de](mailto:Tobias.Spielmann@isw.uni-stuttgart.de)

MARC SCHNIERLE, M. SC.

Hochschule Esslingen, Fakultät Maschinen und Systeme, Virtual Automation Lab (VAL)  
Kanalstraße 33, 73728 Esslingen  
[Marc.Schnierle@hs-esslingen.de](mailto:Marc.Schnierle@hs-esslingen.de)

PROF. DR. JULIA FRANZ

Universität Bamberg, Professur für Erwachsenenbildung  
Markusplatz 3, 96045 Bamberg  
[Julia.Franz@uni-bamberg.de](mailto:Julia.Franz@uni-bamberg.de)

PROF. DR.-ING. SASCHA RÖCK

Hochschule Esslingen, Fakultät Maschinen und Systeme, Virtual Automation Lab (VAL)  
Kanalstraße 33, 73728 Esslingen  
[Sascha.Roeck@hs-esslingen.de](mailto:Sascha.Roeck@hs-esslingen.de)

PROF. DR.-ING. OLIVER RIEDEL

Universität Stuttgart, Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW)  
Seidenstraße 36, 70174 Stuttgart  
[Oliver.Riedel@isw.uni-stuttgart.de](mailto:Oliver.Riedel@isw.uni-stuttgart.de)

DR.-ING. CHRISTIAN SCHEIFELE

ISG Industrielle Steuerungstechnik GmbH  
Gropiusplatz 10, 70563 Stuttgart  
[Christian.Scheifele@isg-stuttgart.de](mailto:Christian.Scheifele@isg-stuttgart.de)

DIPL. ING. (FH) ARMIN ROTH, MBA  
Roth Steuerungstechnik GmbH  
Am Dorfteich 10, 74842 Billigheim-Sulzbach  
[Armin.Roth@roth-gruppe.de](mailto:Armin.Roth@roth-gruppe.de)

---

Zitieren dieses Beitrags:

Wehnert, C., Hönig, J., Spielmann, T., Schnierle, M., Franz, J., Röck, S., Riedel, O., Scheifele C. & Roth, A. (2021). Weiterbildung im Maschinen- und Anlagenbau mittels Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation. Journal of Technical Education (JOTED), 9(2), 188–208.