

DigiNet.Air Fallstudien mit kollaborierendem Roboter und digitalem Zwilling in einem Vorgehensmodell zur Ableitung von Industrie 4.0 Bildungsmodulen

R. Isenberg, K. Gutiq

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Institut für Produkt- und Produktionsmanagement

Berliner Tor 21, 20099 Hamburg

randolf.isenberg@haw-hamburg.de, kastriote.gutiq@haw-hamburg.de

L. Schell-Majoer

Hamburg Centre of Aviation Training-Lab (HCAT+) e.V.

Brekelbaums Park 10, 20537 Hamburg

lena.schell-majoer@hcatplus.de

Kurzzusammenfassung

Für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) sind die notwendigen Veränderungsprozesse für die Digitalisierung/Industrie 4.0 mit den einhergehenden Qualifizierungsbedarfen schwer zu bewältigen. Gerade die Luftfahrtbranche ist geprägt von zahlreichen KMU.

Das Projekt DigiNet.Air liefert ein Vorgehensmodell, das eine gleichzeitige Optimierung von Geschäfts- und Arbeitsprozessen ermöglicht. Es beinhaltet u.a. das Virtuelle Projektlabor (VPL) zur Erforschung von Konzepten des Arbeitens und Lernens und den Tech-Shop mit Demonstratoren zur Erprobung von Technologie. In verschiedenen Formaten können Formen der Zusammenarbeit und des Lernens praktisch erprobt werden.

Ein erster Demonstrator kombiniert das Konzept des digitalen Zwillings mit Gamification und schafft dadurch neue Möglichkeiten für die Fernwartung.

Abstract

DigiNet.Air Case Studies using collaborative robots and a digital twin in a process model for deriving learning modules for Industry 4.0

Small and medium enterprises face substantial difficulties handling necessary changes with regards to digitization/industry 4.0. Especially in the aviation industry, many SMEs are working as suppliers for a few large original equipment manufacturers.

The project DigiNet.Air provides a process model, which enables optimizing business and organizational processes simultaneously. It contains, e.g., the Virtual Project Lab (VPL) and the Tech-Shop, where technologies, new forms of collaboration and learning can be tested in practice.

A first demonstrator of combines the concept of digital twin with gamification and thereby creates new possibilities for remote maintenance.

Keywords

Industrie 4.0, Digitaler Zwilling, Telerobotik, virtuelle Realität, immersives Lernen.

1 Einleitung

Am Luftfahrtstandort Hamburg sind neben zentralen Ankerunternehmen wie der Airbus Operations GmbH und der Lufthansa Technik AG viele kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) ansässig, die oftmals einen großen Teil ihrer Arbeit als Zulieferer für die großen Unternehmen tätigen. Zu den KMU zählen sowohl Unternehmen, die Komponenten fertigen und teilweise auch luftfahrtrechtlich zertifizieren, als auch Engineering- und andere Dienstleistungsunternehmen.

Der digitale Strukturwandel stellt insbesondere die KMU vor eine große Herausforderung, denn sie haben oftmals keine eigene Personalentwicklung und nur begrenzte Ressourcen, z.B. für technologische Investitionen. Neben der Einführung aktueller Technologien beeinflusst der digitale Wandel aber auch Organisationsformen und Kommunikationsstrukturen. Er verändert die Anforderungen an jeden einzelnen Mitarbeiter: Weiterbildung und Qualifizierung der Belegschaft sind somit elementare Bestandteile des digitalen Strukturwandels in Unternehmen.

Gerade für KMU ist es wichtig, sich damit auseinander zu setzen, wie der digitale Wandel ihre Geschäftsmodelle beeinflussen wird und was sie tun können, um langfristig am Markt bestehen zu können. Auch die Mitarbeiter sollten für das Thema sensibilisiert werden, um den Prozess aktiv mitzugestalten [Sta18]. Bei einer Optimierung von Geschäftsprozessen muss aber auch die Anpassung von Arbeitsprozessen und den damit verbundenen Bildungskonzepten erfolgen. Bislang erfolgen Prozessanalysen getrennt voneinander [Goe16]. Ein Modell für ein integriertes Vorgehen, d.h. für die gleichzeitige Optimierung

von Geschäfts- und Arbeitsprozessen mit Blick auf entsprechende Bildungskonzepte wurde im Projekt DigiNet.Air (Netzwerk Digitales Lernen in der Luftfahrtindustrie der Metropolregion Hamburg) entwickelt.

1.1 Integriertes Vorgehensmodell aus dem Projekt DigiNet.Air

Abbildung 1 zeigt das integrierte Vorgehensmodell, das im Projekt DigiNet.Air entwickelt wurde, um Veränderungs- bzw. Optimierungsprozesse im KMU holistisch, d.h. unter Berücksichtigung von Technologie, Organisation und Qualifikation zu gestalten.

Das Projekt DigiNet.Air arbeitet im Spannungsfeld zwischen Technologie, Wirtschaft und Bildung bzw. Qualifizierung, das insbesondere vom Einfluss technologischer Neuerungen auf Unternehmen und ihre Mitarbeiter geprägt ist. Das Besondere an dem Projekt ist, dass die zentralen Institutionen aus den verschiedenen Bereichen in einem Verbundprojekt zusammen ein übergreifendes Netzwerk aufbauen und gleichzeitig konkrete Qualifizierungsmodule erarbeiten, die in die berufliche Bildungskette integriert werden können.

DigiNet.Air (www.diginetair.de) soll insbesondere KMU am Luftfahrtstandort Hamburg dabei unterstützen, eine Strategie zu entwickeln, den digitalen Wandel mitzugestalten und zielt auf die Entwicklung entsprechender bedarfsgerechter Qualifizierungsmodule ab. Beteiligt sind neben der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW) und dem Hamburg Centre of Aviation Training - Lab (HCAT+ e.V.) die Verbände Hanse-Aerospace e.V. und HECAS e.V., das Hamburger Institut für Berufliche Bildung (HIBB), sowie

NORDBILDUNG, der Bildungsverbund für die Metall- und Elektroindustrie und die Technische Universität Hamburg (TUHH).

Entscheidend ist, dass im Projekt sowohl die individuelle Sensibilisierung, Information und Begleitung einzelner KMU, als auch die Erarbeitung und Analyse übergreifender projektrelevanter Ergebnisse und die Ableitung bedarfsgerechter Bildungsmodule abgebildet werden. Dementsprechend beinhaltet das Vorgehensmodell folgende Elemente:

Die Kontaktaufnahme und Konsolidierung dient dazu, Themenschwerpunkte mit Relevanz für das Unternehmen zu identifizieren und priorisieren.

An einem exemplarischen Themenfeld wird dann ein unternehmensspezifisches Anwendungsprojekt durchgeführt, das den Ablauf einer Prozessveränderung im Kontext des digitalen Strukturwandels unter Berücksichtigung der technologischen, organisatorischen und qualifikatorischen Optimierungsbedarfe abbildet. Hierfür sind verschiedene Laborformate und Workshops geplant, die Technologie erlebbar machen (Tech-Shop). Diese Formate sollen als niederschwelliges Angebot dazu beitragen, die Beteiligten für Technologie zu begeistern, Berührungsängste abzubauen und Denkanstöße zu geben, welche Technologie den Wandel im Unternehmen sinnvoll unterstützen könnte.

Hier erarbeitete Ergebnisse werden abstrahiert und für Vernetzung und Ergebnistransfer nutzbar gemacht.

Die Vernetzungs- und Lernplattform ergänzt die physischen Lernräume des Tech-Shops um eine virtuelle Plattform (virtuelles Projektlabor). Hier sollen Lerninhalte zur Verfügung gestellt, Lernprojekte dokumentiert und begleitet und unternehmensübergreifende Kommunikation und Kollaboration, insbesondere auch mit Methoden des agilen Arbeitens, ermöglicht werden.

Insgesamt werden die Ergebnisse der verschiedenen Projektschritte dazu genutzt, abzuleiten, welche Kompetenzen für die jeweiligen Prozessveränderungen nötig sind und parallel entsprechende Aus- und Weiterbildungsmodule zu konzipieren. Diese Module sollen sich dadurch auszeichnen, dass sie inhaltlich an den im Projekt ermittelten, tatsächlichen Kompetenzbedarfen der Unternehmen ausgerichtet werden. Die Module werden didaktisch und technologisch so konzipiert, dass sie in der beruflichen Bildungskette übergreifend eingesetzt bzw. absolviert werden können. So werden durch die Module keine spezifischen Berufsbilder ausgebildet, sondern zusätzliche Bildungs- und Qualifizierungskomponenten für z.B. Auszubildende, Facharbeiter, Ingenieure und Führungskräfte geschaffen.

Das Konzept des Projekts trägt somit dem Umstand Rechnung, dass sowohl Informationen über Qualifizierungsbedarfe bei KMU, als auch entsprechend passende Qualifizierungsangebote für verschiedene Zielgruppen fehlen [Hom16].

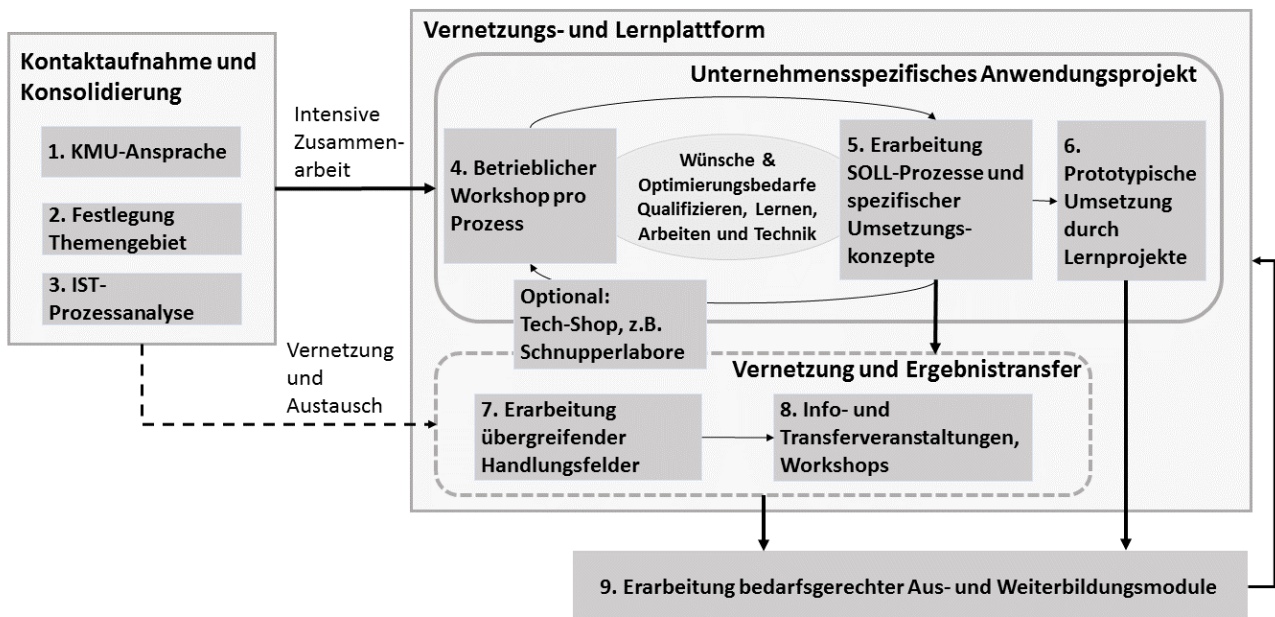


Abbildung 1: Vorgehensmodell zur Zusammenarbeit und Entwicklung von Bildungsmodulen für das Projekt DigiNet.Air

Unsere ersten Anwendungen des Vorgehensmodells bei KMUs der Luftfahrtindustrie haben einen Bedarf für einen speziellen On-Site Support gezeigt. In diesem Paper werden wir dazu zwei Demonstratoren vorstellen, für die im Tech-Shop ein erster Prototyp erstellt worden ist.

Ziel ist es, am Beispiel die Kette entsprechend Vorgehensmodell (Abb. 1) exemplarisch aufzuzeigen und dadurch sowohl die Möglichkeiten bzgl. neuer Geschäftsprozesse als auch Arbeitsprozesse im interdisziplinären Team nach Methoden des agilen Projektmanagement zu erarbeiten.

Die erste Fallstudie untersucht die Möglichkeiten der Telerobotik als Mensch-Maschine-Kommunikation im digitalen Raum durch den digitalen Zwilling. In der zweiten Fallstudie wird der Einsatz des digitalen Zwillings für immersives Lernen und Training mit einem kollaborierenden Roboter vorgestellt. In diesem Zusammenhang ist es wichtig zu erwähnen, dass keine vollständige Problemlösung für den On-Site Support entwickelt

wurde, sondern ein Demonstrator als problemangepasste Lösung aus den Bereichen Digitaler Zwilling, Telerobotik, virtuelle Realität und immersives Lernen. Dabei betrachten wir insbesondere auch die Möglichkeit in diese komplexen Themen niederschwellig einzusteigen. Dies führt einerseits dazu, dass auch Neulinge in die Gebiete einsteigen können und andererseits zur besseren Abstimmung mit anderen Disziplinen wie z.B. der Didaktik oder den Arbeitswissenschaften, neben Themen wie der Robotik.

2 Erstes DigiNet.Air Konzept als Demonstrator für Arbeiten und Lernen in Industrie 4.0

Wir liefern einen Beitrag zur Kopplung von Produktionsarbeit und Lernen im Zeitalter von Industrie 4.0 und nutzen dabei die Technologie der virtuellen Realität, um eine besondere Form der Immersion zu erzeugen.

Im Kontext der virtuellen Realität bezeichnet "Immersion" den Zustand, in dem der Nutzer das Bewusstsein, sich in einer künstlichen Welt zu befinden, verliert. Er lässt sich mit allen seinen Sinnen auf das Erlebnis ein und kann, im Gegensatz zur filmischen "Immersion", mit der virtuellen Realität interagieren

[Boc17].

Im Folgenden soll der für uns relevante Stand der Technik in den Bereichen Produktionsarbeit und Lernen vorgestellt und diskutiert werden.

2.1 Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0

Wir sprechen von der Produktionsarbeit der Zukunft, da wir keine konzeptionelle Trennung zwischen der Arbeit des Menschen und der eines Roboters machen wollen. Dabei schließen wir sowohl das Produzieren von Teilen bzw. Baugruppen als auch Dienstleistungen ein.

Für die Produktionsarbeit der Zukunft betrachten wir hier speziell die Telerobotik, die eine weiterentwickelte Form der Teleoperation ist [Küh10], aber auch eine Ihrer Unterklassen [She95]. Als Realisierung der Telerobotik wählen wir das heute oft diskutierte Konzept des digitalen Zwillings. Für die Fallstudie zur Demonstration werden kostengünstige virtuelle Realitätsräume für Teleoperation bzw. Telerobotik verwendet.

2.1.1 Teleoperation und Telerobotik im Zeitalter von Industrie 4.0

Wir übernehmen hier die Definition der Teleoperation in Anlehnung an I. Kühl I. und A. Fay 2010: „Teleoperation ist die Erweiterung der sensorischen und manipulatorischen Fähigkeiten einer Person für das Wirken an einem entfernten Ort. Ein Teleoperator muss Sensoren, Arme und/oder Hände und multimodale Kommunikationskanäle von und zum menschlichen Bediener haben“.

Der Begriff der „Telerobotik“ kam im Zuge der Entwicklung des Faches Robotik auf und wird wie folgt definiert: „Telerobotik ist die weiterentwickelte Form der Teleoperation, bei der der menschliche Bediener als Überwacher fungiert; der Mensch formuliert Ziele, Nebenbedingungen, Pläne, Annahmen, Vorschläge und Kommandos, die durch einen zwischen geschalteten Computer an den Teleoperator übermittelt werden. Dabei erhält der Bediener

Informationen vom System zurück, z.B. über den Stand der durch den Teleoperator erfüllten Aufgaben, über Schwierigkeiten, Bedenken und schließlich sensorielle Daten über den Teleoperator selbst und die Remote-Umgebung“ [Küh10].

Technisch betrachtet besteht die Teleoperation aus einem Master- und einem Slave-System. Im Master-System werden Modelle des Slave-Systems abgebildet, das von einem Bediener des Master-Systems gesteuert wird. Das Slave-System ist normalerweise in Bezug auf das Master-System disloziert und wird durch Befehle gesteuert, die vom Master-System über einen Kommunikationskanal gesendet werden [Hod15].

Der Einsatz von Virtual Reality (VR) - Anwendungen wurde nach Leinenbach bereits in 2000 im Zusammenhang mit Teleoperationssystemen beschrieben. Nach Leinenbach (2000) gibt es einen Einsatz von VR in den Bereichen Medizin, Militär, Raumfahrt und in industriellen Umfeld bereits im Jahre 2000. Leinenbach sieht im industriellen Umfeld Anwendungen von VR bei der Bedienung und Wartung einzelner Maschinen oder komplexer Systeme, die sich entweder in einer für den menschlichen Benutzer gefährlichen, entfernten oder unzugänglichen Umgebung befinden. Mögliche Anwendungsbeispiele sind gefährliche Versuche oder Transporte von Gefahrstoffen innerhalb der chemischen Industrie oder die Reinigung nuklear verseuchter Behälter im Rahmen der Kernreaktortechnik. Ein weiteres Anwendungsfeld ist die robotergestützte Bedienung von Versuchslabors im Weltraum. In all diesen Anwendungsfällen ist dem menschlichen Benutzer die Bedienung oder Wartung des betrachteten Systems aus sicherer Entfernung möglich [Lein00].

2.1.2 Erste Fallstudie: Telerobotik Demonstrator für den DigiNet.Air Tech-Shop

In der ersten Fallstudie untersuchen wir den Einsatz des Demonstrators für Telerobotik als

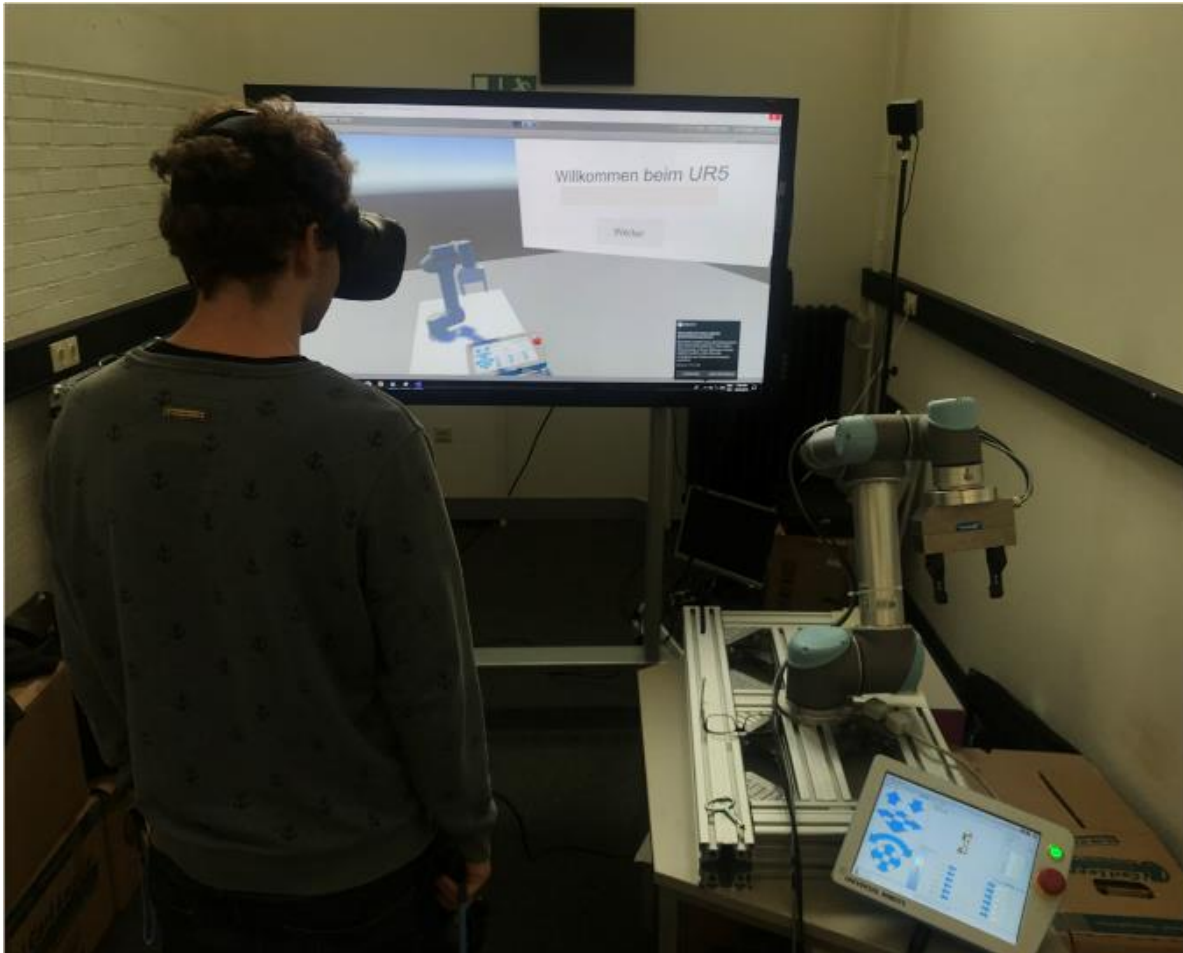


Abbildung 2 Digitaler Zwilling: realer und digitaler CoBot bewegen sich synchron in Echtzeit [Zim17]

Mensch-Maschine-Kommunikation im digitalen (virtuellen) Raum. Die Telerobotik wird hier nach T.B. Sheridan als Unterklasse der Teleoperation definiert [She95].

Für den Demonstrator des Tech-Shops in DiGiNet.Air wurde eine digitale Kopie eines UR 5 (CoBot - Collaborating RoBot des Typs UR 5 der Firma Universal Robot) erzeugt und mit einem realen UR 5 gekoppelt. Der virtuelle Roboter wurde als 3D Modell in die Game-Engine Unity importiert und dort mit direkter und inverser Kinematik ausgestattet.

Er kann so in gewünschte Posen verfahren und für erlebbare und interaktive Simulationen genutzt werden. Die Kommunikation zwischen virtuellem und realem UR 5 wurde über die Protokolle Modbus-TCP und TCP/IP umgesetzt.

Beide Roboter bewegen sich immer synchron in Echtzeit zueinander. Dadurch wurde die Grundlage für die Funktion eines digitalen Zwillings geschaffen (Abbildung 2). Der digitale Zwilling wird hier als Realisierung der Teleoperation betrachtet. Mithilfe des digitalen Zwillings lässt sich ein realer Roboter über das Internet fernsteuern und kann sich dabei an einem beliebigen mit dem Internet verbundenen Ort auf der Welt befinden. Neben dem Roboter werden eine Virtual Reality-Brille und die dazugehörige Rechner-Ausrüstung benötigt.

2.2 Lernen in der Industrie 4.0

In diesem Kapitel wird die zweite Fallstudie vorgestellt. Hier wird der Demonstrator als Technologie für das immersive Lernen und Trainieren eingesetzt. Dabei werden wir insbesondere auf Gamification als wesentliche

Erleichterung für den Einstieg ins Lernen und dessen Einfluss auf die Nachhaltigkeit des Lernens eingehen.

2.2.1 Immersives Lernen und Trainieren in der virtuellen Realität

Hier wird die Definition des immersiven Lernens nach [Tra18] übernommen: „Immersives Lernen platziert Personen in einer interaktiven Lernumgebung, entweder physisch oder virtuell, um mögliche Szenarien zu replizieren oder spezifische Fähigkeiten oder Techniken zu lehren. Simulationen, Rollenspiele und virtuelle Lernumgebungen können als immersives Lernen betrachtet werden.“

Eine besondere Erweiterung des immersiven Lernens kann durch Gamification erreicht werden. Hier werden Lern- oder Trainingsumgebungen ansprechender und unterhaltsamer gestaltet, was letztlich die nachhaltige Nutzung überhaupt erst ermöglichen kann. Diese Ergänzung der traditionellen Lernumgebungen durch Spielelemente ist eine Möglichkeit, Lernprozesse zu schaffen, die die Aufmerksamkeit beim Lernen aufrechterhalten und das Lernen wirkungsvoller machen. Besonders für Personalentwickler und Manager ist "Gamification" eine sehr wirkungsvolle Möglichkeit, um das Lernen und dadurch die Leistung in Organisationen verbessern zu können.

Einige Autoren sehen in „Gamification“ eine wichtige und mächtige Waffe im Arsenal für Lernen, Marketing und Verhaltensänderungen jeglicher Art [Kap12].

Ruben van Dijk erläutert in seiner Bachelorarbeit [Dij16], die von Mitbegründern der Firma „Serious VR“ betreut wurde, wie eine virtuelle Trainingssimulation das Wissen über Maschinen an Mitarbeiter aller Ausbildungsstufen und Altersgruppen vermitteln kann. Dabei erwies sich die virtuelle Realität als eine der logischsten Lösungen für ein Trainingsspiel, da die Mitarbeiter dabei in der virtuellen Umgebung gleichzeitig lernen und weitestgehend realistisch arbeiten. Hierbei dürfen sie insbesondere auch Fehler machen, ohne schlechte

Konsequenzen befürchten zu müssen.

Eine solche Trainingssimulation, d.h. Training in einer virtuellen Umgebung, kann nun mit dem digitalen Zwilling kombiniert werden. Dabei verhält sich der digitale Zwilling genauso wie sein reales Abbild.

2.2.2 Zweite Fallstudie: Demonstrator für immersives Lernen und Trainieren aus dem DigiNet.Air TechShop

In der zweiten Fallstudie wird der Demonstrator für das Lernen und Trainieren mit immersiven Gamification-Elementen eingesetzt. Dafür haben wir eine virtuelle Umgebung mit einem kollaborierenden Roboter entwickelt und implementiert. Ferner haben wir eine neue Form der Programmierung über parametrisierte Softwareblöcke geschaffen, die auch ungeübten Nutzern die Programmierung grundlegender Abläufe ermöglicht. Abbildung 3 zeigt den virtuellen Roboter und die Schnittstellen zu Programmierung.

Der digitale CoBot UR 5 wurde dabei mit einem realen Universal Robot 5 gekoppelt. So kann der Mitarbeiter lernen und trainieren ohne dass der Produktionsprozess unterbrochen wird. Es entstehen keine Ausfallkosten und die Produktionskapazität bleibt erhalten. Die Mitarbeiter lernen an Maschinen effektiv zu arbeiten, bevor sie echte Maschinen bedienen. So kann das Tauschen von Ersatzteilen, die Durchführung von Wartungsarbeiten oder sogar die Bedienung einer Maschine simuliert werden. Insgesamt werden die Trainingskosten drastisch reduziert.

Der digitale Zwilling wird hier also als Haupttechnologie für die Gestaltung bzw. Nachbildung der Lernumgebung verwendet.

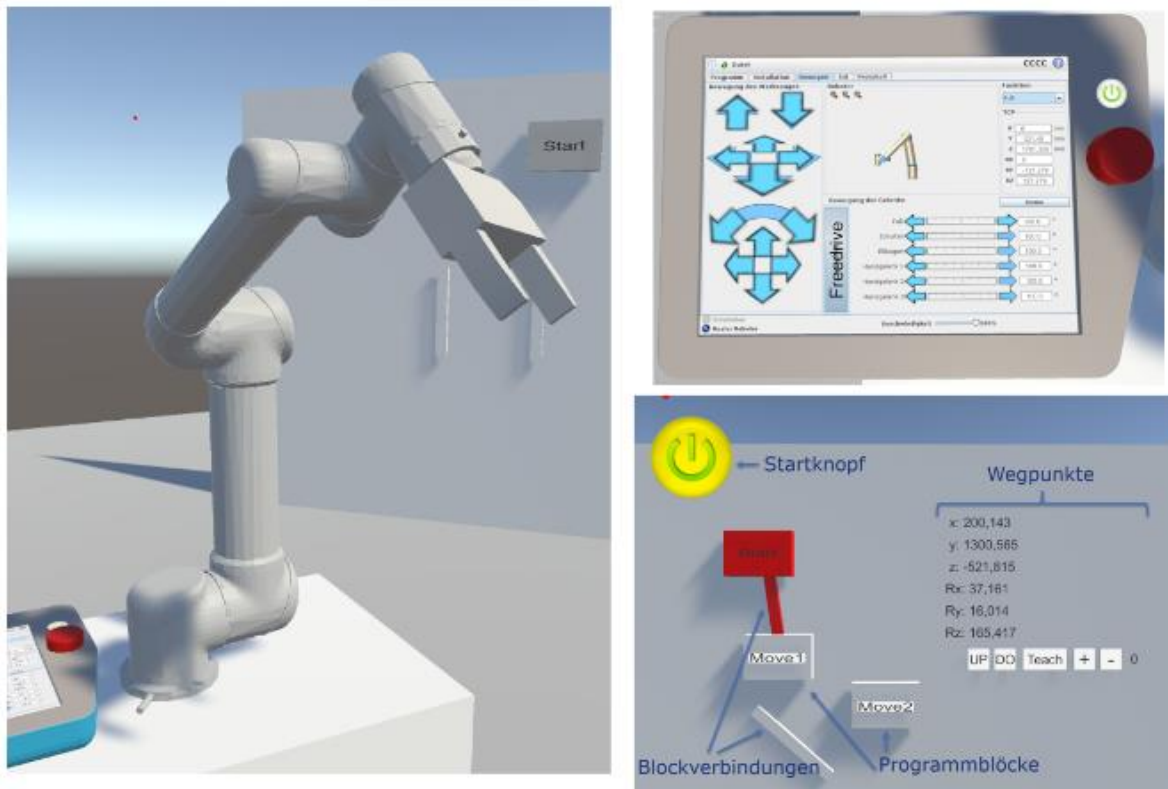


Abbildung 3 Der digitale Zwilling des UR – CoBot mit einer Schnittstelle zur Programmierung über parametrisierte Software-Blöcke [Zim18]

3 Zusammenfassung und Ausblick

Das Projekt DigiNet.Air liefert ein Vorgehensmodell und Fallstudien speziell für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) in der Luftfahrtbranche, die als Zulieferer für die großen Unternehmen arbeiten. Dadurch werden die KMU beim digitalen Strukturwandel im Hinblick auf notwendigen Veränderungen in Geschäfts- und Arbeitsprozessen unterstützt, um die einhergehenden Qualifizierungsbedarfe allein oder Gruppen bewältigen zu können.

Modulare Qualifizierungskonzepte mit niederschweligen Eintrittsmöglichkeiten bilden die gesamte berufliche Bildungskette ab und ermöglichen auch deren Optimierung. Im Virtuellen Projektlabor (VPL) und im Tech-Shop können Technologien und neue Formen der Zusammenarbeit und des Lernens praktisch erprobt werden.

Im ersten Teil dieses Beitrags wurde das Vorgehensmodell von DigiNet.Air vorgestellt, Hier sind sowohl die didaktischen, als auch die für eine Verbesserung der Geschäftsprozesse notwendigen Schritte berücksichtigt. Für die KMU gibt es mehrere Möglichkeiten mit DigiNet.Air zu kooperieren, vom niederschweligen Laborformaten bis zum intensiven praxisorientierten Einsatz.

Anschließend haben wir den digitalen Zwilling als Demonstrator in zwei Fallstudien vorgestellt:

1. Fallstudie „Mensch-Maschinen-Interaktion im virtuellen Raum“. Als Technologie für die Produktionsarbeit der Zukunft wird die Telerobotik als weiterentwickelte Form der Teleoperation oder als Unterklasse der Teleoperation betrachtet und mit dem digitalen Zwilling realisiert.
2. Fallstudie „Immersives Training mit kooperativem Roboter“. Hier wurde der digitale Zwilling eingesetzt, um die Bedienung des Cobots zu erlernen oder bestimmte Arbeitsabläufe zu trainieren.

Insgesamt ergeben sich durch den Einsatz des digitalen Zwillings folgende Vorteile [Zim18]:

- Simulationen in VR sind erlebbar und interaktiv - man ist kein Zuschauer mehr, sondern kann aktiv teilnehmen und fühlt sich an den Ort des Geschehens versetzt.
- Die Ausbildung kann ohne realen Roboter durchgeführt werden.
- Die Ausbildung kann durch Gamification spannender gestaltet werden (spielerisches Erlernen).
- Der Lernende erhält direktes Feedback bei erfüllten Aufgaben.
- Die Angst vor Systemen kann genommen werden, denn mit der Simulation kann kein Schaden angerichtet werden.

Wir haben mit diesem Beitrag insgesamt gezeigt, dass:

- Der Einsatz des digitalen Zwillings als Demonstrator sowohl im Kontext von Arbeit bzw. Industrie 4.0, also auch im Bereich Lernen 4.0 vorteilhaft ist.
- Besonders durch die Kombination von Technologiekomponenten, wie z.B. die Kombination des digitalen Zwillings mit VR und einer Game-Engine können neue Anwendungsfelder, Geschäftsmodelle und Lernszenarien erschlossen werden.

In den nächsten Schritten sollen die Fallstudien in DigiNet.Air interessierten KMU als Basis für die Veränderung von Prozessen im Unternehmen vorgestellt und weitere Anwendungsfälle gefunden werden. Darüber hinaus sollen die Anwendungsszenarien anhand des vorgestellten Vorgehensmodells mit Unternehmen erprobt und evaluiert werden.

Literatur

[Sta18] Silke Stahl-Rolf et. al.: Digitalisierung weiterdenken - Qualifizierungsbedarfe von KMU erkennen und im Netzwerk Fachkräfte für die Region sichern. DIHK Service GmbH, 2018.

[Goe16] Robert Alexander Goehlich et. al: Exoskeleton Portofolio Matrix – Organizing Demands, Needs and Solutions from an Industrial Perspective. Zweite transdisziplinäre Konferenz zum Thema “Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen”. HSU Hamburg, 2016.

[Hom16] Michael ten Hompel et. al.: Kompetenzentwicklungsstudie Industrie 4.0 – Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen. acatech, Fraunhofer IML und equeo, 2016.

[Boc17] Nikolai Bockholt: VR, AR, MR und was ist eigentlich Immersion. Think with Google. Online in Internet: URL: <https://www.thinkwithgoogle.com/intl/de-de/marketingkanale/innovative-technologien/vr-ar-mr-und-was-ist-eigentlich-immersion/> . Abrufdatum: 29.08.2018.

[Küh10] Ingmar Kühl und Alexander Fay: Eine Ontologie von Fernzugriffs-Begriffen. Conference: Effizientes Engineering von komplexen Automatisierungssystemen (EKA), Hamburg, 2010.

[Hod15] A. Hodzic und E. Mujcic: Teleoperation system control based on the method for supervisory control with variable time delay. 2015 23rd Telecommunications Forum Telfor (TELFOR). Online in Internet: URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7377480/> . Abrufdatum: 29.08.2018.

[Lein00] Stefan Leinenbach: Interaktive Geschäftsprozessmodellierung – Dokumentation von Prozesswissen in einer Virtual Reality-gestützten Unternehmungsvisualisierung. ISBN 978-3-8244-9042-4, Wiesbaden, 2000.

[She95] Thomas B. Sheridan: Teleoperation, telerobotics and telepresence: A progress report – Control Engineering Practice., Elsevier, Massachusetts 1995, Online in Internet: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/096706619400078U>. Abrufdatum: 28.08.2018.

[Zim17] Max Zimmermann und Jannis Hennings: Mensch-Maschinen-Interaktion im virtuellen Raum. Bachelorprojekt im WS17. HAW Hamburg, 2017.

[Tra18] Training Industry, Inc.: Immersive Learning, Online in Internet: URL: <https://trainingindustry.com/glossary/immersive-learning/>. North Carolina, Abrufdatum: 28.08.2018.

[Kap12] Karl M.Kapp: The Gamification of Learning and Instruction: Game-based Methods and Strategies for Training and Education. ISBN: 978-1-118-09634-5, United States, 2012.

[Dij16] Ruben van Dijk: Concept Design for a Virtual Training Simulation with Game Elements. Bachelor Assignment Industrial Design University of Twente. Enschede, 2016.

[Zim18] Max Zimmermann: Immersive Training mit kollaborierendem Roboter. Studienarbeit SS18, HAW Hamburg, 2018.