



Christoph Zoller & Bonita Antonia Grzechca

Transformation von klassischen zu virtuellen Lernfabriken

Vergleichende Studie zu Lernerfolg und
Lernmotivation in physischen und VR-gestützten
Lernfabriken

Forschung und Innovation in der Hochschulbildung

herausgegeben von

Prof. Dr. Sylvia Heuchemer (Technische Hochschule Köln)

Prof. Dr. Reinhard Hochmuth (Leibniz-Universität Hannover)

Prof. Dr. Niclas Schaper (Universität Paderborn)

Dr. Birgit Szczyrba (Technische Hochschule Köln)

Nr. 24 | 2025 | Research Paper

Bibliografische Informationen der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbiografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter <https://portal.dnb.de/opac> abrufbar.

„Forschung und Innovation in der Hochschulbildung“ ist eine wissenschaftliche Schriftenreihe des Hochschulserver „Cologne Open Science“ der TH Köln. Sie wird herausgegeben von Prof. Dr. Sylvia Heuchemer (Technische Hochschule Köln), Prof. Dr. Reinhard Hochmuth (Leibniz-Universität Hannover), Prof. Dr. Niclas Schaper (Universität Paderborn) und Dr. Birgit Szczyrba (Technische Hochschule Köln).

Die Verantwortung der Beiträge liegt bei den Autor*innen.

Nr. 24 | 2025 | Research Paper

Titelgestaltung und Layout: Prof. Andreas Wrede / TH Köln

Redaktion und Satz: Thomas Nippel & Frederike Katharina Riemann / TH Köln

URN: urn:nbn:de:hbz:832-cos4-13242

DOI: doi.org/10.57684/COS-1324

Dieses Werk wurde als elektronisches Dokument über Cologne Open Science, dem Hochschulserver der Technischen Hochschule Köln, publiziert. Abruf unter: <https://cos.bibl.th-koeln.de>



Zusammenfassung

Virtuelle Lernfabriken können genutzt werden, um Studierenden praxisrelevante Kompetenzentwicklung zu ermöglichen. Der Betrieb von virtuellen Lernfabriken im Vergleich zu physischen ist mit geringerem Ressourceneinsatz möglich. Ziel der Studie ist zu überprüfen, ob eine Transformation von physischen zu VR-gestützten Lernfabriken zu vergleichbaren Ergebnissen hinsichtlich Lernerfolg und -motivation führt. In der Studie werden theoretische Kenntnisse zu Prozessverbesserungen in der Montage in einer vergleichenden Studie von Studierenden praktisch angewendet. Die Studienergebnisse weisen auf eine positive Einflussnahme von VR-gestützten Lernmethoden in der Hochschullehre hin.

Gliederung

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Einleitung | 5 |
| 2 | Lehrveranstaltung und Projektbeschreibung..... | 5 |
| 2.1 | Lehrveranstaltung..... | 5 |
| 2.2 | Projektbeschreibung..... | 6 |
| 3 | Forschungsfragestellung und Zielsetzung..... | 8 |
| 4 | Methodik..... | 8 |
| 4.1 | Studienpopulation und -struktur..... | 8 |
| 4.2 | Datenauswertung | 9 |
| 5 | Ergebnisdarstellung..... | 9 |
| 5.1 | Lernerfolg der Gruppen..... | 9 |
| 5.2 | Bewertung des Planspiels mittels Fragebogen für Studierende..... | 11 |
| 6 | Diskussion und Fazit..... | 12 |
| 6.1 | Erkenntnisse der Studie..... | 12 |
| 6.2 | Limitationen der Studie und Implikationen für zukünftige Forschung | 13 |
| 7 | Literatur..... | 14 |

1 Einleitung

Die Qualifikation von Fachkräften, insbesondere im ingenieurwissenschaftlichen Bereich, ist für den Wirtschaftsstandort Deutschland von zentraler Bedeutung (Bundesinstitut für Berufsbildung, 2013). Aktuell dienen Lernfabriken als effektive Plattformen für eine praxisorientierte Ausbildung, da sie den Studierenden erlauben, erlernte Techniken in einem realitätsnahen industriellen Umfeld anzuwenden. Zudem fördern sie die Entwicklung von Sozial- und Selbstkompetenz durch ihre interdisziplinären und kollaborativen Schulungsszenarien (Kreimeier et al., 2013). Jedoch können traditionelle Lernfabriken nur eingeschränkt digitale Kompetenzen vermitteln (Kerres, 2023). Digitale Kompetenzen beziehen sich auf die Fähigkeit, digitale Technologien effektiv und verantwortungsvoll zu nutzen. Hier ergibt sich besonders in Bezug auf Virtuelle Realität (VR) als Methode eine Wissenslücke, da VR in der Unternehmenswelt wachsend Einzug erhält. Jedes fünfte von 604 Unternehmen ab 20 Beschäftigten in Deutschland nutzt zumindest einzelne Anwendungen für VR und weitere 30 % planen oder diskutieren einen Einsatz (Streim & Klöß, 2022). Daher sind nicht nur digitale Schlüsselkompetenzen entscheidend, sondern auch die Vermittlung von fachspezifischen Kompetenzen aus dem ingenieurwissenschaftlichen Bereich. So gibt es bspw. etablierte Anbieter für 3D Industrie-Software zur Planung, Validierung und Optimierung von Arbeitsumgebungen (Halocline, 2024) und zur Simulation von Montageprozessen (XR-EASY, 2024), auf deren Einsatz Studierende vorbereitet werden sollten.

Neben der eingeschränkten Vermittlung von digitalen Kompetenzen weisen traditionelle Lernfabriken auch Herausforderungen im Aufbau und Betrieb auf. Rempel et al. (2022) identifizieren in diesem Zusammenhang ein hohes Potential von VR, entsprechende Schwachstellen positiv zu beeinflussen. Demnach gibt ein Großteil der befragten Hochschulen und Unternehmen an, vor allem mit den hohen Finanz- und Humankapazitäten für Aufbau, Betreuung und Wartung der physischen Lernfabriken Probleme zu haben. Die Verbreitung von Lernfabriken sei durch den Initialaufwand und den erheblichen Ressourceneinsatz für den Betrieb stark eingeschränkt. Ebenso werde der Betrieb durch die vorhandene Fläche eingeschränkt, weil z. B. Maschinen oder Montagesysteme ortsfest seien. Die fehlende örtliche und zeitliche Flexibilität wirke sich nicht nur auf die Schulungsdurchführung aus, sondern schränke auch die maximale Größe der Schulungsgruppe ein. Die Erhöhung der Kapazität sei außerdem aufgrund von fehlendem Personal meist nicht möglich. Der Betrieb einer virtuellen Lernfabrik hingegen bindet weniger Ressourcen (Rempel et al., 2022). Wartungsarbeiten im eigentlichen Sinne entfallen – ausgenommen die Wartung der VR-Umgebung – und der Betreuungsaufwand wird reduziert, sodass Personal- und Betriebskosten eingespart werden können. Die Schulungsdurchführung gestaltet sich flexibler, da die virtuelle Lernumgebung ortsunabhängig und frei von Öffnungszeiten genutzt werden kann. Da der Betreuungsaufwand im Vergleich zu realen Lernfabriken abhängig von technischen Fragen und vom didaktischen Konzept skaliert, nicht mit der Anzahl der Teilnehmer*innen, ist die Anzahl der simultanen Schulungsteilnehmer*innen unkompliziert erweiterbar. Des Weiteren erlauben die flexible Gestaltung und höhere Anpassungsfähigkeit in Echtzeit auch eine Erweiterung des Betrachtungsumfangs der Wertschöpfungskette und die Kooperation mehrerer Institutionen, die die Ausgestaltung positiv beeinflussen.

Um die Wirksamkeit einer solchen digitalen Simulation im Lehrkontext zu beurteilen, ist eine vergleichende Lernerfolgsmessung in einer realen sowie einer VR-gestützten Umgebung notwendig. Für eine praxisnahe Umsetzung der Studie absolvieren Studierende der TH Köln am Campus Deutz eine Montagesimulation eines Miniaturbaggermodells in einer U-Zelle. Die Teilnehmer*innen werden dazu auf zwei Versuchsszenarien randomisiert, die bereits eingesetzte physische Lernfabrik und die entwickelte VR-Montageumgebung, verteilt. Die Studie soll zur kontinuierlichen Verbesserung der Lehrprozesse unter Einbezug neuer Möglichkeiten beitragen und diese immersiv, interaktiv und anwendungsorientiert gestalten. Infolgedessen findet die Beurteilung des Lernerfolgs im Rahmen des *Scholarship of Teaching and Learning* (SoTL) Ansatzes statt und bietet eine Grundlage für weitere Untersuchungen in der Lehre.

2 Lehrveranstaltung und Projektbeschreibung

2.1 Lehrveranstaltung

Grundlage der Studie zur Ermittlung der Wirksamkeit ist die Lehrveranstaltung ‚Produktionslogistik‘, die im Rahmen der Studiengänge B. Sc. Logistik und B. Eng. Produktion und Logistik in fortgeschrittenen Semestern angeboten wird. Das Ziel ist es, Studierenden Wissen zu technischen Informations- und Materialflusssystemen in der Produktion zu vermitteln, wodurch sie diese analysieren, auslegen und optimieren können. Grundlegender Fokus ist daher auch das praxisnahe anwendungs- und problemorientierte Lernen, sodass Studierende als qualifiziertes Fachpersonal in den Arbeitsmarkt eintreten können. Teilweise fehlt es den Studierenden zu diesem Zeitpunkt noch an Praxiserfahrung. Das verstärkt die Notwendigkeit einer praktischen Anwendung weiter. Neben der Praxisorientierung ist die Vermittlung digitaler Kompetenzen Bestandteil der Lehrveranstaltung, was aktuell jedoch noch nicht durch die bestehende Lernfabrik abgedeckt werden kann. Eine virtuelle Simulation adressiert demnach die zentrale Herausforderung, Studierende nicht nur fachlich exzellent auszubilden, sondern sie auch mit digitalen Schlüssel- und fachspezifischen Kompetenzen auszustatten, sodass sie in Zukunft die digitale Transformation mitgestalten

können. Bei der Lehrveranstaltung handelt es sich je nach Studiengang um ein Pflicht- oder Wahlpflichtmodul, demzufolge eine gewisse Heterogenität der Studierenden hinsichtlich ihrer Lernmotivation und Leistungsbereitschaft festgestellt werden kann.

Grundsätzlich bietet sich das etablierte Format der bestehenden Lernfabrik an der TH Köln für ein entsprechendes Planspiel zum praxisnahen Lernen an. Eine VR-gestützte Montageumgebung könnte dazu beitragen, mehr Optimierungsvorschläge der Studierenden zu implementieren und deren Wirksamkeit zu überprüfen. Dies dürfte die Anwendungskompetenz stärken, weil aufgrund der technischen Möglichkeiten und höherer Flexibilität ein größerer Lösungsraum als in realen Umgebungen (u.a. problemlose Layoutänderungen) für die selbstständige Lösung handlungsorientierter Aufgabenstellungen geboten wird. Hinsichtlich der digitalen Kompetenzen führt die Virtualisierung der Lernfabrik zu einer Verbesserung und ist damit zielgerichtet auf die Kompetenzentwicklung innerhalb der Lehrveranstaltung im Sinne der fortschreitenden Digitalisierung ausgerichtet.

In diesem Zusammenhang ist die Beachtung des ‚Constructive Alignment‘ entscheidend (Wunderlich, 2016). Diesem Ansatz folgend sollen die Elemente des Lernprozesses – Ziele der Studierenden, Ziele der Lehrenden und das Ziel der Prüfung zueinander in Beziehung gesetzt werden, sodass in passenden Lernräumen die Kompetenzentwicklung stattfinden und überprüft werden kann. Der Anspruch an die Lehrveranstaltung ist demnach, diese auf das festgelegte Learning Outcome auszurichten. Ein zentraler Aspekt für die Ausrichtung der Studierenden auf das Ziel der Lehrveranstaltung ist die Kompetenzentwicklung, bei der neue Kompetenzen von den Studierenden in ihre bereits vorhandenen integriert werden können. Dies lässt sich erreichen, wenn Studierende in eine Haltung des motivierten Lernens finden, wodurch die Lernmotivation ein zentraler Aspekt der hier zugrundeliegenden Forschungsfrage ist. Über das lernförderliche Constructive Alignment hinaus besagt die konstruktivistische Lerntheorie (Tenorth & Tippelt, 2012) anders als der instruktionale Ansatz (Schaper, 2006), dass insb. selbstständiges Arbeiten und Üben Kompetenzentwicklung ermöglicht. Daher ist zu überprüfen, ob die VR-gestützte Montagezelle einen vergleichbaren Lernraum bietet und genauso zum Lernerfolg der Studierenden beitragen kann wie eine physische Lernfabrik.

2.2 Projektbeschreibung

Der Einsatz von VR-Technologie für eine computergenerierte 360°-3D-Umgebung mit der Möglichkeit der Echtzeitmanipulation von einzelnen Objekten ist ein innovativer Ansatz, der im Rahmen der Studie näher untersucht wird. Den Nutzer*innen wird in einer künstlichen Situation das Gefühl vermittelt, sich in einer echten Umgebung zu bewegen. Dazu wird ein kopfgestütztes Display, auch Head-Mounted Display (HMD) genannt, verwendet, um die computergenerierte Umgebung anzuzeigen. Durch das Tragen des HMD und der freien Bewegung im Raum, können Benutzer*innen die virtuelle Umgebung erkunden und mit ihr interagieren (Kind et al., 2019). VR nimmt als Industrie 4.0-Technologie eine entscheidende Rolle bei der digitalen Transformation der Industrie ein. Auch in der Bildung wird dem VR-Einsatz Potential zugesprochen (Zender et al., 2018). Allerdings gibt es noch nicht ausreichend Literatur, die den hochschulinternen Anwendungsfall von Lernfabriken betrachtet, weswegen die Studie ein Beispiel für diesbezügliche Forschung schaffen soll. In der Lehre kann VR genutzt werden, um Lehrinhalte zu veranschaulichen und ein erlebbares Umfeld zu schaffen, das das Lernerlebnis intensiviert. Dieses Lernumfeld trägt dazu bei, technische, kreative sowie problemlösende Fähigkeiten der Lernenden zu schärfen (Huang et al., 2010). Demnach könnte eine virtuelle Welt den Lernprozess verbessern, indem sie positiv zum Verständnis und Behalten der vermittelten Inhalte beiträgt (Kind et al., 2019).

Die Durchführung der Studie im Rahmen eines Planspiels sieht vor, dass die Studierenden einen Miniaturbagger sukzessive an fünf hintereinander angeordneten Arbeitsplätzen montieren. Der Materialfluss verläuft über alle Arbeitsstationen, denen feste Prozessschritte zugeteilt sind und somit zu einer Verkettung der Stationen führen. Die Teilnehmer*innen befinden sich, abhängig von ihrer Gruppenzuteilung, in der realen oder virtuellen Montagezelle, wobei sich die Montageschritte nicht unterscheiden. Die Montage besteht grundlegend aus Fügeverfahren, wobei Nebenfunktionen wie die Handhabung, das Justieren oder das Kontrollieren mit eingeschlossen sind (Westkämper, 2006). Zu den Schritten im Versuchsaufbau zählen die Anbringung von Motorblock, Fahrerkabine, Reifen, einer Applikation und einer Halterung durch Anlegen und Befestigung mittels Schrauben.

Für die Zusammensetzung von Einzelteilen kann aus verschiedenen Montagesystemen gewählt werden. Die Montage findet zwecks der Studie in einer U-Zelle statt, in der die Montagearbeitsplätze U-förmig angeordnet sind. Daher wird im Folgenden der Begriff U-Zelle als Synonym für die Gruppe der Montageplätze verwendet. Diese Anordnung ist in der Industrie für die Montage verschiedener Produkte üblich und strebt die Reduzierung der Laufwege an. Dabei liegen Anfang und Ende des Material- und Produktionsflusses, wie in Abbildung 1 zu sehen, sowohl in der realen Lernfabrik als auch in der virtuellen Montageumgebung, gegenüber. Die Anzahl der Beschäftigten ist variabel, wodurch sich die Ausbringung der Zelle steuern lässt. Die Arbeitsorganisation entscheidet über den räumlichen und aufgabenbezogenen Umfang einzelner Mitarbeiter*innen. Diese können im Arbeitsablauf an einer, mehreren oder allen Arbeitsstationen tätig sein (Berufsgenossenschaft Holz und Metall,

2019). Das reale Szenario findet an einer Montagelinie statt, die Teil der Lernfabrik der TH Köln ist und aus fünf Montageplätzen besteht. Der Aufbau erfolgte unter Verwendung der Arbeitsplatzlösung der Firma Item Industrietechnik des Typs Item24, die es mittels eines Stecksystems erlaubt, Anpassungen für Anwender*innen unkompliziert vorzunehmen. Die Montagestationen sind mit einem integrierten Regal mit einem Rollsystem, einem sog. Durchlaufregal, auf verschiedenen Ebenen ausgestattet, sodass den Teilnehmer*innen die benötigten Bauteile in Kleinladungsträgern (KLT) von außerhalb des Arbeitsraumes zugeführt werden und ein problemloser Materialnachschub jederzeit möglich ist. Zusätzlich befindet sich an jeder Station ein Ablageplatz für die verwendeten Werkzeuge.



Abbildung 1: Reale vs. Virtuelle Montageumgebung.

Der Aufbau und die Gestaltung der Arbeitsstationen in der VR-gestützten Simulationsumgebung sind der realen Montagelinie in der Lernfabrik nachempfunden. Die virtuelle Montageumgebung wurde eigens an der TH Köln entwickelt und resultierte aus zwei wissenschaftlichen Ausarbeitungen von Studierenden im Jahr 2022/23. Die Entwicklung dieser Montagestation basiert auf der Nutzung verschiedener Softwaretools. Zum einen wurde Blender eingesetzt, eine kostenlose Open-Source-Software für 3D-Modellierung, Animation und Rendering (Blender Foundation, o.J.). Zum anderen wurde die plattformübergreifende Spiel-Engine Unity verwendet, die für die Entwicklung von Spielen auf verschiedenen Plattformen genutzt wird (Unity Technologies, 2024). Die virtuelle Montagestation befindet sich in der Alpha-Version 0.4 und ist demzufolge im Entwicklungszustand. Die verwendeten Materialien wurden mithilfe von Modelliersoftware im gleichen Größenverhältnis wie die realen Materialien nachgebaut. Als technische Ausstattung der Studienteilnehmer*innen dient die Meta Quest 2 VR-Brille, mit der Nutzer*innen in eine 3D-Umgebung mit einem Blickfeld von 110 Grad und einer Auflösung von 2160 x 1200 Pixeln pro Auge eintauchen. Durch die integrierten Inside-Out-Tracking-Sensoren ist kein externes Tracking-System erforderlich, um die Position der Nutzer*innen im Raum zu bestimmen. Die Interaktion mit der virtuellen Umgebung wird mithilfe von speziellen Controllern ermöglicht, die ebenfalls mit Tracking-Sensoren ausgestattet sind. Zusätzlich hat die Meta Quest 2 VR-Brille ein integriertes Audiosystem, das einen räumlichen Klang bietet und ein immersives Erlebnis in der virtuellen Welt unterstützt (Meta, 2024). Um die Interaktion zwischen den Schulungsteilnehmer*innen aus der realen Lernumgebung bestmöglich in VR zu übertragen, wird ein Multiplayer-Szenario umgesetzt. Hierzu müssen die VR-Brillen mit dem WLAN und dem Multiplayer-Server verbunden sein. Diese Multiplayer-Funktionalität erhöht den Komplexitätsgrad bei der Entwicklung der VR-Anwendung erheblich, da die Positionen der beweglichen digitalen Objekte und Personen zwischen den Geräten aller Teilnehmer*innen geteilt und synchronisiert werden müssen. Für die Montage in Gruppen ist diese Interaktion jedoch unverzichtbar, sodass die Spieler*innen sich gegenseitig sowie die verwendeten Montageteile in Echtzeit sehen und einander übergeben können. Die Funktion von Voice Chat ermöglicht Teilnehmer*innen wie in der realen Umgebung zu kommunizieren. Dies erlaubt den Spieler*innen über eine lokale Teilnahme hinaus, an unterschiedlichen Orten die virtuelle Montage gemeinsam durchzuführen. Der Aufbau der einzelnen Montagearbeitsplätze in der VR-Umgebung ist den realen Arbeitsstationen nachempfunden, an denen KLT mit den benötigten Montagekomponenten des Miniaturbaggers zur Verfügung stehen. Die Handhabung des VR-gestützten Montageprozesses unterscheidet sich insofern von der Realität, da die einzelnen Materialien nicht verschraubt, sondern an den dafür vorgesehenen Plätzen festgesteckt werden.

Da der Lernerfolg im Fokus steht, wird das Planspiel in drei aufeinander folgenden Simulationsrunden durchgeführt, in denen die Montageergebnisse durch die Anwendung der Lerninhalte und Feedbackschleifen kontinuierlich verbessert werden sollen. Dies ermöglicht den Teilnehmer*innen die Abläufe zu analysieren, Verbesserungen in der U-Zelle zu implementieren und folglich den Output zu optimieren. Aus den gesammelten Daten der Spielrunden werden Schlüsse zum Lernerfolg der Studierenden gezogen.

3 Forschungsfragestellung und Zielsetzung

Physische Lernfabriken stellen ein etabliertes Format dar, um Studierenden die Anwendung ihres Wissens in einer praxisnahen Umgebung zu ermöglichen. Allerdings weisen physische Lernfabriken zwei zentrale Nachteile auf, die durch die Verwendung einer virtuellen Umgebung behoben werden können. Zum einen lässt sich die Verbindung digitaler und fachspezifischen Kompetenzen nur über Umwege integrieren. Mithilfe einer virtuellen Lernfabrik hingegen wird die Hochschullehre im ingenieurwissenschaftlichen Bereich durch die Ermöglichung digitaler Fach- und Methodenkompetenz im Bereich VR erweitert, unabhängig davon, ob gleichzeitig eine physische Lernfabrik an der Hochschule genutzt wird.

Zum anderen ist der Betrieb von physischen Lernfabriken mit erheblichem initialen und dauerhaften Ressourcenaufwand verbunden, sodass nicht jede Hochschule über eine verfügt. Die VR-gestützte Lernfabrik profitiert von einem geringeren Ressourcenaufwand für den Betrieb. Auch die einfache Anpassung an fluktuierende Kohortengrößen sowie die Möglichkeit, Schulungsinhalte hochschulübergreifend zu teilen, sind Alleinstellungsmerkmale von VR-Lernfabriken.

Das Ziel der Studie ist es daher zu erarbeiten, ob und inwiefern sich der Lernerfolg in der VR-basierten im Gegensatz zur realen Montageumgebung unterscheidet. Damit dient die Studie in Zukunft als Anregung für weitere Untersuchungen in der Lehre. Als Ergänzung zum Lernerfolg, ist die Analyse der Lernmotivation der Studierenden im Kontext einer virtuellen Simulation vs. im realen Szenario Teil der Studie. Andere Studien konnten bereits positive Effekte von Serious Games¹ auf den Lernerfolg, die Motivation und die Zufriedenheit feststellen (Echardt et al., 2017). Trotz der bekannten Vorteile einer virtuellen Lernfabrik, wie die Entwicklung von digitalen Kompetenzen und der geringere Ressourcenaufwand, ist eine Einführung nur sinnvoll, wenn die Ergebnisse hinsichtlich des Lernerfolgs und der Lernmotivation der Studierenden mindestens vergleichbar und optimalerweise besser ausfallen als im realen Szenario. Dementsprechend bildet die folgende Forschungsfrage die Grundlage für die Ausarbeitung: „Inwieweit unterscheiden sich der Lernerfolg und die Lernmotivation der Studierenden während einer Montagesimulation in einer VR-basierten im Gegensatz zu einer physischen Lernfabrik?“.

Im Kontext dieser Studie ist Lernerfolg so zu verstehen, dass Studierende ihr theoretisches Vorwissen aus dem Vorlesungsmodul „Produktionslogistik“ anwenden können und infolgedessen Optimierungspotentiale wie die Austaktung der Zelle, eine Layoutanpassung oder die Eliminierung von Verschwendungen an den einzelnen Arbeitsstationen erkennen und Prozessverbesserungen implementieren können. Die Studie soll aufzeigen, welchen Einfluss die Verwendung von VR-Technik in diesem Zusammenhang auf den Lernerfolg und die Lernmotivation der Studierenden hat. Zusätzliche Aspekte, die in die Beobachtung mit einfließen, sind der Arbeitsaufwand und wie sich Fehlererkennung und Problembehebung gestalten lassen.

Grundlegende Zielsetzung ist es daher, Erkenntnisse zum Einsatz von VR-gestützten Montageumgebungen in der Hochschullehre durch systematische Untersuchungen zu gewinnen, mit denen die Lernergebnisse im Rahmen des SoTL-Ansatzes bewertet werden können. Gleichermanßen soll eine Basis geschaffen werden, welche zur Entwicklung von VR-basierten Lernräumen beiträgt, die sich positiv auf Lernerfolg und Lernmotivation der Studierenden auswirken, den Aufwand für die Durchführung reduzieren und den physisch begrenzten Lernraum erweitern.

4 Methodik

4.1 Studienpopulation und -struktur

Zur Sicherstellung eines einheitlichen Kenntnis- und Wissensstandes der Teilnehmer*innen, mussten diese sowohl eingeschriebene Student*innen an der TH Köln sein als auch an der Vorlesung „Produktionslogistik“ teilgenommen haben. Im Rahmen dieser Lehrveranstaltung wurde die Studie beworben, zu deren Teilnahme sich die Studierenden freiwillig anmeldeten. Die insgesamt 24 Studienteilnehmer*innen wurden randomisiert gleichmäßig auf die beiden Versuchsumgebungen, die reale und die virtuelle Montagezelle, verteilt. Aufgrund des technischen Entwicklungsstandes der VR-Anwendung ist die Gruppengröße aktuell noch auf drei gleichzeitig in der Montagelinie arbeitende Teilnehmer*innen begrenzt. Die Anwendung kann jedoch für beliebig viele Gruppen gleichzeitig gestartet werden, wodurch die Gruppen getrennt voneinander in der gleichen virtuellen Montageumgebung arbeiten können. Entsprechend führten in beiden Versuchsumgebungen jeweils vier Gruppen zu je drei Studierenden das Planspiel durch, sodass Ergebnisse mehrerer Gruppen je Versuchsumgebung für die Auswertung zur Verfügung stehen. Die Studierenden in der virtuellen Montageumgebung erhielten zunächst eine Einführung in VR, um mit den Funktionen vertraut zu sein und sich an die Handhabung zu gewöhnen. Anschließend wurden von beiden Versuchsgruppen drei Simulationsrunden zur Montage des Miniaturmodells durchlaufen.

¹ Serious Games „sind digitale Spiele, die intendiert Fähigkeiten und Wissen vermitteln“ (Bopp, 2009, S. 2).

4.2 Datenauswertung

Im Anschluss an die einzelnen Simulationsrunden führen die Teilnehmer*innen eine Retrospektive durch, in der sie ihre Anpassungen u. a. mittels Erhebung wesentlicher Kennzahlen, wie z.B. der Durchlaufzeiten der Montageprodukte, bewerten. Die Durchlaufzeit repräsentiert hierbei die Summe aller Bearbeitungs- und Handlungszeiten. Sie gibt für ein Werkstück in einem Arbeitssystem den Zeitraum vom Eingang bis zum Ausgang an. Zentraler Bestandteil der Optimierungsbestrebungen in der Produktion ist daher weitestgehend die Verkürzung der Durchlaufzeit. Entsprechende Kennzahlen aus den Simulationsrunden werden zur Datenauswertung verwendet, um zu beurteilen, wie erfolgreich die Studierenden ihre theoretischen Kenntnisse aus der Lehrveranstaltung „Produktionslogistik“ in der Praxis anwenden können. Dazu wird die prozentuale Veränderung der Durchlaufzeiten im Hinblick auf die einzelnen Simulationsrunden ausgewertet. Darüber hinaus zeigt ein qualitativer Vergleich, welche Prozessverbesserungen von den einzelnen Gruppen eingeführt wurden. Um auch die subjektive Einschätzung der Teilnehmer*innen zur Simulation auswerten zu können, wird des Weiteren ein Fragebogen nach der Durchführung des Planspiels an die Teilnehmer*innen ausgehändigt. Dieser wird zum Vergleich der physischen und VR-gestützten U-Zelle genutzt und dient als Grundlage für die Auswertung der individuellen Beurteilung der Lernmotivation, der Zufriedenheit mit der Versuchsdurchführung und des Selbstvertrauens in die praktische Anwendung der Fähigkeiten. Der Fragebogen setzt sich aus einem deskriptiven Teil, allgemeinen Fragen zu beiden betrachteten Varianten und einem zusammenfassenden Teil zur Lernmotivation zusammen. Zur Beantwortung müssen die Studierenden Single- und Multiple-Choice-Fragen ankreuzen, ihre Zustimmung auf einer Likert-Skala bewerten oder ihr Feedback in offenen Fragen geben. In der Auswertung werden Minimal-, Maximal- und Mittelwerte aus den beiden Versuchsumgebungen betrachtet, die von den Studierenden hinsichtlich ihrer Lernmotivation, Zufriedenheit und ihres Selbstvertrauens für die Anwendung in der Praxis vergeben wurden. Die Datenauswertung soll genutzt werden, um die bestehenden Lehrpraktiken zu reflektieren und zu verbessern.

5 Ergebnisdarstellung

5.1 Lernerfolg der Gruppen

Mögliche Optimierungsvorschläge der Studierenden zur Verbesserung der Kennzahl Durchlaufzeit können z. B. die Austaktung (d. h. die Verteilung der Arbeitsinhalte auf die Montagearbeitsplätze), die Layoutoptimierung oder die Gestaltung der Arbeitsstationen zur Eliminierung von Verschwendungen betreffen. Einen Überblick der Prozessverbesserungen aus den drei Kategorien, die von den jeweils vier Gruppen in den beiden Versuchsumgebungen vorgeschlagen und dokumentiert wurden, gibt Tabelle 1.

Tabelle 1: Optimierungsvorschläge der Gruppen zur Verbesserung der Durchlaufzeiten.

| Optimierungsvorschläge | | | | | | | | |
|--|----------|---|---|---|----|---|---|---|
| Montageumgebung | physisch | | | | VR | | | |
| Gruppe | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Austaktung | | | | | | | | |
| Umverteilung Prozessschritte | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Veränderung d. Reihenfolge d. Prozessschritte | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Implementierung einer Springerperson | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ | ✓ |
| Implementierung einer Vormontage | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ | ✓ | ✓ |
| Layoutoptimierung | | | | | | | | |
| Laufwege zwischen Arbeitsstationen eliminieren | ✗ | ✗ | ✓ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Umstrukturierung d. Gesamtzelle | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Optimierung Arbeitsstation | | | | | | | | |
| Anordnung der KLT | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

Alle Gruppen führten eine Umverteilung der Prozessschritte auf die Mitarbeiter*innen sowie eine Veränderung der Prozessreihenfolge durch, sodass die Taktzeit (d.h. die benötigte Montagezeit an den jeweiligen Arbeitsplätzen) abgestimmt und die Durchlaufzeit verkürzt wurde. Außerdem führten die meisten Gruppen eine*n Springer*in und eine Vormontage ein, um Engpässe zu vermeiden und die Montage zu vereinfachen. Im Bereich der Austaktung konnten keine Unterschiede in der Anwendung des theoretischen Wissens zwischen realem und virtuellen Versuchsszenario festgestellt werden. Große Unterschiede zeigte jedoch die Layoutoptimierung. Alle Gruppen in der VR-Umgebung eliminierten Laufwege, indem sie die Arbeitsstationen näher aneinander platzierten. Zusätzlich führten drei Gruppen eine gesamte Umstrukturierung des Layouts durch, die die U-Zelle in eine Linienfertigung überführte. Derartige Anpassungen wurden von jeweils einer Gruppe in der physischen Umgebung notiert. Allerdings konnten diese aufgrund der Versuchsumgebung nicht umgesetzt werden, da die physischen Arbeitsstationen in der Lernfabrik nicht innerhalb kurzer Zeit anpassbar sind. Abgesehen von der mangelnden Umsetzbarkeit ist es auffällig, dass die Mehrheit der Gruppen in der physischen Lernfabrik eine Layoutoptimierung nicht in Betracht gezogen hat. Das liegt vermutlich an der Versuchsumgebung, die den wahrgenommenen möglichen Lösungsraum einschränkt. Die einzelnen physischen Arbeitsstationen wirken starr, wodurch eine Veränderung meist unausgesprochen ausgeschlossen und nicht als Vorschlag mit der Gruppe geteilt wird. Im Gegensatz dazu erscheint die VR-Umgebung deutlich anpassungsfähiger und regt zur kreativen Lösungsentwicklung an. In der letzten Kategorie, der Optimierung der Arbeitsstationen, konnten wieder vergleichbare Ergebnisse festgestellt werden, weil alle Gruppen die KLT neu anordneten, um Greifwege zu verkürzen.

In allen drei Spielrunden wurde die Durchlaufzeit für die Montage eines Miniaturbaggers an den einzelnen Arbeitsstationen (AS) aufgenommen, um die Entwicklung über die Spielrunden hinweg und nach den Einführungen der Prozessverbesserungen zu verfolgen. Tabelle 2 zeigt die Durchlaufzeiten der jeweils vier Gruppen in beiden Versuchsumgebungen für die einzelnen Arbeitsstationen und die Zeitersparnis pro Runde sowie die durchschnittliche Zeitersparnis der Versuchsgruppen innerhalb der gleichen Versuchsumgebung.

Tabelle 2: Durchlaufzeiten pro Arbeitsstation und ihre prozentualen Änderungen in drei Runden.

| Gruppe | Arbeitsstation | physische Montageumgebung | | | | Gesamt Zeitersparnis | virtuelle Montageumgebung | | | | Gesamt Zeitersparnis |
|--------------------------|----------------|---------------------------|------------------|---------|------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------|
| | | Runde 1 | % | Runde 2 | % | | Runde 1 | % | Runde 2 | % | |
| 1 | AS1 | 00:50,0 | -2% | 00:49,2 | -18% | 00:40,4 | -19% | 00:18,9 | -44% | 00:10,5 | 10% |
| | AS2 | 00:48,7 | -4% | 00:46,6 | -10% | 00:41,9 | -14% | 00:24,8 | -33% | 00:16,5 | -5% |
| | AS3 | 00:19,8 | 11% | 00:22,0 | -25% | 00:16,6 | -16% | 00:23,5 | -34% | 00:15,4 | -12% |
| | AS4 | | | | | | | | | | |
| | Gesamt DLZ | 01:58,5 | -1% | 01:57,8 | -16% | 01:38,9 | -17% | 01:07,2 | -37% | 00:42,4 | -4% |
| 2 | AS1 | 00:29,0 | -34% | 00:19,0 | 113% | 00:40,5 | 40% | 00:21,4 | -47% | 00:11,4 | 45% |
| | AS2 | 00:55,5 | -68% | 00:18,0 | 82% | 00:32,8 | -41% | 00:25,5 | -27% | 00:18,6 | -17% |
| | AS3 | 00:31,6 | 41% | 00:44,6 | -42% | 00:25,8 | -18% | 00:21,4 | -22% | 00:16,6 | -37% |
| | AS4 | | | 00:27,5 | | | | | | | |
| | Gesamt DLZ | 01:56,1 | -6% | 01:49,1 | -9% | 01:39,1 | -15% | 01:08,3 | -32% | 00:46,6 | -9% |
| 3 | AS1 | 00:36,1 | -1% | 00:35,6 | -39% | 00:21,6 | -40% | 00:19,4 | -44% | 00:10,9 | 6% |
| | AS2 | 00:43,6 | -53% | 00:20,6 | 122% | 00:45,7 | 5% | 00:23,5 | -19% | 00:19,0 | -66% |
| | AS3 | 00:21,7 | 11% | 00:24,1 | -1% | 00:23,8 | 10% | 00:22,4 | -70% | 00:06,7 | 42% |
| | AS4 | | | | | | | | | | |
| | Gesamt DLZ | 01:41,4 | -21% | 01:20,3 | 13% | 01:31,1 | -10% | 01:05,3 | -44% | 00:36,6 | -25% |
| 4 | AS1 | 00:26,0 | -24% | 00:19,8 | 230% | 01:05,3 | 151% | 00:20,4 | -58% | 00:08,6 | 24% |
| | AS2 | 01:53,7 | -72% | 00:31,4 | 121% | 01:09,5 | -39% | 00:22,7 | -30% | 00:15,8 | -20% |
| | AS3 | 00:27,5 | 29% | 00:35,5 | -48% | 00:18,4 | -33% | 00:25,4 | -58% | 00:10,6 | 30% |
| | AS4 | | | | | | | | | | |
| | Gesamt DLZ | 02:47,2 | -48% | 01:26,7 | 77% | 02:33,2 | -8% | 01:08,5 | -49% | 00:35,0 | 6% |
| Ø Veränderung DLZ | | -19% | (*) ³ | 16% | (*) ⁴ | -12% (**) ² | | -40% (*) ³ | -8% (*) ⁴ | -45% (*) ¹ | |

Tabelle 2 – Virtuelle Montageumgebung: Die Messungen zeigen, dass es allen Gruppen in der VR-Umgebung gelang, ihre Durchlaufzeit von der ersten zur zweiten Runde zu verbessern. Die Ergebnisse für die dritte Runde fallen sehr unterschiedlich aus und weisen sowohl Verbesserungen als auch Verschlechterungen auf. Erklärungen für diese Verschlechterung sind u.a. darin zu sehen, dass die Studierenden ihre Montagesysteme über das sinnvolle Optimum hinaus optimierten und es somit zu einem Zusammenbruch der Leistungsfähigkeit des Systems kam. Auch war teilweise erkennbar, dass die Studierenden überschwänglich motiviert durch ihre ersten Erfolge ihr wissenschaftlich strukturiertes Vorgehen gegen einen Trial-and-Error Ansatz ersetzen. Diese Verhaltensmuster würden in einer zusätzlichen Runde vermutlich erneut zu Prozessverbesserungen führen. Nichtsdestotrotz konnte eine durchschnittliche Zeitersparnis von 45 % (Tab. 2: *1) zwischen der ersten und letzten Runde erzielt werden.

Tabelle 2 – Physische Montageumgebung: In den Gruppen, die in der physischen Lernfabrik gearbeitet haben, gab es durchweg bei der Arbeitsstation 3 (AS3) nach den ersten Prozessanpassungen Verschlechterungen. Die anderen Arbeitsstationen konnten jedoch von allen Gruppen verbessert werden. Wie auch die Teilnehmer*innen in der virtuellen U-Zelle, waren die Studierenden frei in der Einführung von Anpassungen, was auch die Möglichkeit für Anpassungen mit negativen Auswirkungen eröffnet. Es ist zu beobachten, dass die entstandenen Engpässe an der Arbeitsstation 3 in der nächsten Spielrunde von allen Gruppen behoben werden konnten. Dies wirkte sich jedoch teils negativ auf die anderen beiden Arbeitsstationen aus. Das zeigt eindeutig ein vergleichbares Defizit unter den Gruppen. An dieser Stelle wurden die Wechselwirkungen zwischen den Arbeitsstationen nicht ausreichend beachtet, da sie miteinander verkettet sind und Änderungen bei einer auch Auswirkungen auf andere haben können. Nur Gruppe 2 nutzte die Möglichkeit freier Kapazitäten aufgrund des Versuchsaufbaus, um eine Arbeitsstation 4 einzuführen, die dem*der eingeführten Springer*in zur Verfügung stand. Diese Idee wurde in der letzten Runde jedoch wieder von der Gruppe verworfen. Insgesamt konnte von der ersten zur dritten Runde zwar bei allen Gruppen Zeit eingespart werden, diese betrug im Vergleich zur VR-Gruppe allerdings nur durchschnittlich 12 % (Tab. 2: *2).

Tabelle 2 – Physische vs. Virtuelle Montageumgebung: Eine mögliche Erklärung für die Unterschiede der Gruppen nach den ersten Verbesserungen (Tab. 2: *3) ist, dass Layoutanpassungen in der physischen Lernfabrik nicht durchgeführt werden können, wodurch erhebliches Einsparpotential nicht ausgeschöpft wurde. Demnach führten die VR-Gruppen 2 bis 4 eine Layoutoptimierung der U-Zelle durch (Tab. 1). Außerdem waren neue Arbeitsinhalte für die teils unerfahrenen Teilnehmer*innen leichter in der VR-Umgebung umzusetzen, weil kein Schrauben notwendig war. Nach der erneuten Einführung von Prozessanpassungen kann die VR-Gruppe die Durchlaufzeit um 8 % senken, während in der physischen Umgebung eine Verschlechterung um 16 % auftritt (Tab 2: *4). Das hängt mit den Ergebnissen der ersten Verbesserungen zusammen, die sich unterschiedlich auf die Einstellung und das Verhalten der Studierenden auswirken. Die VR-Gruppen konnten bereits erhebliche Einsparungen von der ersten zur zweiten Simulationsrunde realisieren. Die Studierenden erfahren Bestätigung für ihre Optimierungsideen, wodurch sie nur noch vorsichtig nachjustieren. Das führt zu erneuten Zeitersparnissen, wenngleich in geringerem Ausmaß als zuvor. Im Gegensatz dazu führte in der physischen Lernfabrik die neue Verteilung der Arbeitsinhalte nach der ersten Simulationsrunde teils zu niedrigen prozentualen Einsparungen oder sogar Verschlechterungen. Die Studierenden konnten sich daher nicht auf bewährte Verbesserungen stützen, die nur minimale Anpassungen erfordern und sie bemühten sich neue Ansätze zu entwickeln. Zum einen fokussierten sie sich darauf, die Zeitzuwächse an der Arbeitsstation 3 auszugleichen. Das wirkte sich jedoch stellenweise negativ auf die anderen Stationen aus. Zum anderen neigten die Teilnehmer*innen generell dazu, im Gegensatz zum vorsichtigen Nachjustieren eher einschlägige Anpassungen einzuführen, deren Auswirkungen nicht vollständig abzuschätzen sind.

Insgesamt konnte in allen Gruppen ein Lernerfolg festgestellt werden, da sie verschiedene Optimierungspotentiale erkannten und implementierten. Dies wird durch die Messung der Durchlaufzeiten widergespielt. Die Studierenden waren frei in der Einführung von Prozessanpassungen, wodurch es auch zu Verschlechterungen kommen konnte. Aufgrund der beobachteten Auswirkungen passten die Teilnehmer*innen die Prozesse in der nächsten Runde weiter an und es ist zu erwarten, dass bei zusätzlichen Spielrunden weniger negative Ausreißer auftreten. Trotz unterschiedlicher Ergebnisse der einzelnen Gruppen in den drei Runden und an den verschiedenen Arbeitsstationen, schafften es nach der letzten Runde alle Gruppen, ihre Durchlaufzeit im Vergleich zum ersten Durchgang zu reduzieren. Allerdings wurde der Lernerfolg in Anbetracht der unterschiedlichen Möglichkeiten anders erreicht, was u. a. auf den eingeschränkten Lösungsraum in der physischen Lernfabrik hinweist.

5.2 Bewertung des Planspiels mittels Fragebogen für Studierende

Der Fragebogen, der allen Teilnehmer*innen nach der Simulation ausgehändigt wurde, soll Aufschluss über die persönliche Einschätzung von Lernmotivation, Zufriedenheit mit dem Planspiel, Erwerb digitaler Kompetenz und Anwendung des theoretischen Wissens aus der Lehrveranstaltung in der Praxis bieten.

In Bezug auf die Vorerfahrungen gaben 41,7 % der Studierenden an noch keine Erfahrungen mit VR gemacht zu haben. Dieser Anteil deutet darauf hin, dass ein Bedarf besteht, entsprechende Kompetenzen innerhalb der Lehrveranstaltungen zu entwickeln. 91,7 % der Studierenden, die an der virtuellen Montagelinie gearbeitet hatten, gaben an, ihre digitalen Kompetenzen durch das Planspiel erweitert zu haben. Zum gleichen Anteil stimmten sie außerdem der Aussage zu oder voll zu, dass sie sich vorstellen können, zukünftig ihr Wissen aus den Vorlesungen in VR-gestützten Planspielen zu vertiefen. Bei der Frage, ob sie sich durch das Planspiel zutrauen, das erworbene Wissen in der Praxis anzuwenden, stimmten die Teilnehmer*innen unabhängig von ihrer Versuchsumgebung mit einer deutlichen Mehrheit von 91,7 % zu oder voll zu. Trotz unterschiedlicher Verteilungen der Meinungen, nahm in beiden Gruppen eine erkennbare Mehrheit eine positive Haltung zum Beitrag der Simulation für eine Anwendung in der Praxis ein.

Die Steigerung ihrer Lernmotivation, ihre allgemeine Zufriedenheit mit der Simulation und ihr Selbstvertrauen für eine praktische Anwendung sollten die Teilnehmer*innen auf einer Skala von 1 bis 5 bewerten. Ergebnisse hierzu sind in Abbildung 2 zu finden. Die Bewertungen sind nach den beiden Versuchsumgebungen aufgeschlüsselt und die Spannweite zeigt die minimale und maximale Bewertung, die für die Kategorie vergeben wurde. Zusätzlich ist zur besseren Vergleichbarkeit der Mittelwert der Antworten eingezeichnet.

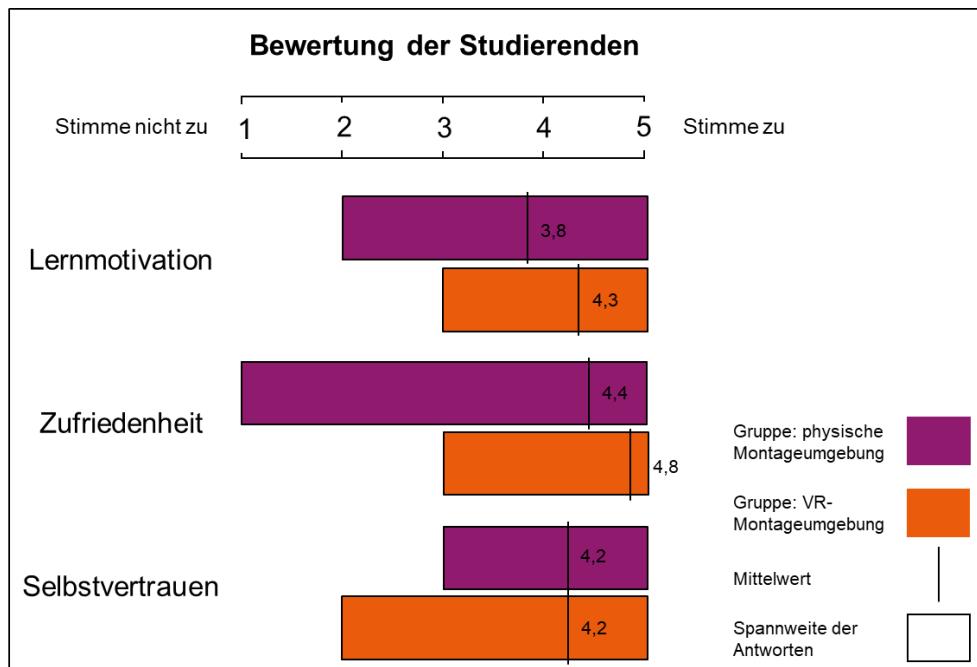


Abbildung 2: Subjektive Bewertung von Lernmotivation, Zufriedenheit und Selbstvertrauen der Studierenden.

Aus den Ergebnissen resultiert eine leicht höhere Lernmotivation in der VR-Gruppe mit einem Mittelwert von 4,3 gegenüber der Gruppe in der physischen Lernfabrik mit 3,8. Etwas geringer fällt der Unterschied bei der Bewertung der Zufriedenheit aus, jedoch immer noch zugunsten der VR-Gruppe mit 4,8 als Mittelwert im Gegensatz zu 4,4 in der realen Gruppe. Das Vertrauen, ihr erworbenes Wissen in der Praxis anzuwenden, bewerteten beide Gruppen im Mittelwert mit 4,2. Insgesamt bewerteten die Studienteilnehmer*innen die Durchführung der Simulation hinsichtlich Lernmotivation, Zufriedenheit und Vertrauen in die eigene Anwendung leicht besser in der VR-Umgebung als in der physischen Montagezelle.

6 Diskussion und Fazit

6.1 Erkenntnisse der Studie

Die Studie untersuchte die Unterschiede hinsichtlich Lernerfolg, Lernmotivation und Zufriedenheit von Studierenden im Rahmen einer Montagesimulation in einer physischen Lernfabrik oder VR-gestützten Umgebung. Die Ergebnisse der Studie geben Hinweise auf eine erfolgversprechende Implementierung von immersiver VR-Technologie in der Hochschullehre. Hinzugezogen wurden auch Aspekte wie die Entwicklung von digitalen Kompetenzen, die Flexibilität der Simulationsdurchführung und das Schaffen von Vertrauen für Studierende, ihr Wissen aus Lehrveranstaltungen in der Praxis anzuwenden. Die Teilnehmer*innen der Studie waren Studierende der TH Köln mit Vorwissen aus dem Modul „Produktionslogistik“, sodass einschlägige theoretische Vorkenntnisse vorlagen, um den Materialfluss in der Montagezelle analysieren, auslegen und optimieren zu können.

Die Ergebnisse aus der Dokumentation der Versuchsreihen und den von den Teilnehmer*innen ausgefüllten Fragebögen weisen auf eine leichte Steigerung der Lernmotivation als auch der allgemeinen Zufriedenheit mit der Versuchsdurchführung in der VR-Gruppe hin. Der Lernerfolg der beiden Gruppen war vergleichbar. Damit ist die Voraussetzung für eine sinnvolle Einführung einer virtuellen Lernfabrik im Sinne der Auswirkungen auf die Studierenden erfüllt. Sie haben die Lehrziele weitestgehend erreicht, da sie ihren Kompetenzerwerb durch das Identifizieren wesentlicher Optimierungspotentiale nachgewiesen haben. Diese beziehen sich auf Maßnahmen zur besseren Austaktung der Montagezelle, zur Layoutoptimierung und zur Anpassung der Arbeitsstationen. Des Weiteren bewerteten die Studierenden beider Gruppen auch das Vertrauen, ihre Kompetenzen in der Praxis anwenden zu können, vergleichbar.

Zusätzlich zu den direkt mit der Lehrveranstaltung verknüpften Kompetenzen, kann der Einsatz von VR-Technologie zur Vermittlung digitaler Kompetenzen in der Hochschullehre beitragen. Diesem Aspekt kommt eine hohe Bedeutung zu, insb. weil

die Teilnehmer*innen teils noch keine Berührungspunkte mit dieser Technologie hatten. Ebenso bietet die VR-gestützte Montagezelle Vorteile hinsichtlich der Flexibilität und Anpassungsfähigkeit. Demnach sind weitreichende Veränderungen wie eine Umstrukturierung der Arbeitsstationen (z. B. von U-Zelle zur Linienfertigung) unter geringem Arbeitsaufwand möglich, die in der physischen Umgebung zeit- und kostenintensiv wären. Auch die Gruppengröße könnte in einer VR-Simulation bei ausreichend technischer Ausstattung durch Hinzufügen von Arbeitsstationen erhöht werden, da keine räumlichen Begrenzungen wie in einem realen Szenario bestehen.

Die Vorbereitung für die Studie zeigte jedoch auch einen sehr hohen Entwicklungsaufwand. Um den Stand der VR-Anwendung in ihrer Alpha-Version für die Studie zu entwickeln, wurden ca. zwei Personenjahre sowie erhebliche Kosten und Ressourcen aufgewendet. Außerdem führten mangelndes Spezialwissen im IT-Bereich der Autor*innen und wechselnde Mitarbeiter*innen im Team zu, im Nachhinein als unnötig einzuschätzenden, Iterationsschleifen. Teilweise musste auch aus Kapazitätsgründen auf weniger zufriedenstellende technische Alternativen bei der Entwicklung zurückgegriffen werden. Der Anspruch, möglichst nur Open Source Software einzusetzen, was die einfache Verbreitung ermöglicht und auch den Anspruch an OER (Open Educational Resources) erfüllt, konnte nicht vollständig umgesetzt werden.

Die Studie deutet auf einen positiven Einfluss von VR-Technologie im pädagogischen Kontext ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge hin und leistet einen Beitrag zur evidenzbasierten Weiterentwicklung der Hochschullehre im Sinne des Scholarship of Teaching and Learning. Vergleichbare Lernerfolge und leicht höhere Lernmotivation sowie Zufriedenheit bieten Potential, die Hochschullehre zu verbessern und unter Einbezug modernster Technologie die stetig wandelnden Anforderungen des Arbeitsmarkts zu treffen. Dabei wird eine Alternative zu physischen Lernfabriken geschaffen, die aufgrund des hohen Ressourcenaufwands nicht überall eingesetzt werden dürfen. Die Anwendung kann wie in der Studie im Rahmen eines simulierten Planspiels erfolgen oder auch in weiteren Einsatzbereichen. Es ist anzumerken, dass die Technologie nicht als vollständiger Ersatz physischer Lernumgebungen gesehen wird, sondern als sinnvolle Ergänzung an geeigneter Stelle. Ungeachtet der Ergebnisse, die der präsentierte Ansatz liefert, sollte der Initialaufwand zur Entwicklung einer VR-Anwendung nicht unterschätzt werden, und es sollte ein interdisziplinäres Team zur Verfügung stehen, sodass auch die technischen Anforderungen volumnäßig erfüllt werden können.

6.2 Limitationen der Studie und Implikationen für zukünftige Forschung

Die wichtigste Limitation der Studie ist der eher kleine Stichprobenumfang, der sich auf 24 Studienteilnehmer*innen begrenzt, und die Homogenität der Teilnehmer*innen, die sich im selben Studiengang befinden sowie ähnlichen Alters sind. Diese kleine Studienpopulation kann die Genauigkeit der Ergebnisse beeinträchtigen. Außerdem können die Lernmotivation und die allgemeine Zufriedenheit mit der Durchführung auch von anderen Faktoren beeinflusst werden, wie das Interesse am Thema, an der neuen Technik oder die Qualität der Anleitung der Studienmoderator*innen, die bei der Interpretation in Betracht gezogen werden müssen. Folglich könnten weitere Untersuchungen mit größeren Stichproben und in verschiedenen Kontexten hilfreich sein, um die Generalisierbarkeit der Erkenntnisse zu erhöhen. Zusätzliche, insb. qualitative, Forschungsmethoden könnten ebenfalls für ein umfassenderes Verständnis der Einflussfaktoren angewendet werden.

Dennoch bieten die Erkenntnisse der Studie wertvolle Einblicke in die möglichen positiven Auswirkungen von VR-Technologie in der Lehre hinsichtlich des Lernerfolgs und der Lernmotivation. Die Studie liefert aussagekräftige Ergebnisse für den hochschulinternen Anwendungsfall und sie ist als erster Schritt zu sehen, der Anregungen für weitere Forschung bietet, um die Möglichkeiten für den Einsatz von VR in der Lehre zu vertiefen. Ein weiterer Studienfokus könnte auf der Erforschung der unterschiedlichen Bearbeitungszeiten in den beiden Versuchsszenarien liegen. Dabei sollte untersucht werden, inwiefern Erkenntnisse über die Dauer von Arbeitsabläufen bei der Planung von Montagezellen in VR der späteren realen Situation entsprechen. Darüber hinaus sollte die VR-Umgebung weiterentwickelt und die detaillierte Integration von VR-Technologie in die Lehre erforscht werden, um einen sinnvollen und effektiven Einsatz zu gewährleisten. In diesem Zusammenhang ist besonders die Kooperation mehrerer Institutionen denkbar, um einen gemeinsamen Datenpool an VR-Anwendungen zu entwickeln und so den Initialaufwand für den Einsatz zu reduzieren und die Technologie für mehr Hochschulen unkompliziert zugänglich zu machen.

Literatur

- Berufsgenossenschaft Holz und Metall. (2019, Januar). *U-Linien-Montagesysteme - Handlungsempfehlungen.* https://www.bghm.de/fileadmin/user_upload/Arbeitsschuetzer/Fachthemen/Fachinformationen/FI-0062_U-Linienmontage_Handlungsempfehlungen.pdf
- Blender Foundation. (o. J.). *blender.org - Home of the Blender project - Free and Open 3D Creation Software.* <https://www.blender.org/>
- Bopp, K. (2009). *Serious Games. Ein Literaturbericht* [Unveröffentlichtes Manuskript]. KIT - Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse. https://www.researchgate.net/publication/260198503_Serious_Games_
- Bundesinstitut für Berufsbildung (Hrsg.). (2013). *Datenreport zum Berufsbildungsbericht 2013. Informationen und Analysen zur Entwicklung der beruflichen Bildung.* Bundesministerium für Bildung und Forschung.
- Echardt, L., Körber, S., Becht, E. J., Plath, A., Al Falah, S., & Robra-Bissantz, S. (2017). Führen Serious Games zu Lernerfolg? - Ein Vergleich zum Frontalunterricht. In S. Strahinger & C. Leyh (Hrsg.), *Gamification und Serious Games. Grundlagen, Vorgehen und Anwendungen* (1. Ausg., S. 139–150). Springer Vieweg. https://doi.org/10.1007/978-3-658-16742-4_11
- Halocline. (2024). *Produktionsplanung in Virtual Reality.* <https://halocline.io/>
- Huang, H.-M., Rauch, U., & Liaw, S.-S. (2010). Investigating learners' attitudes toward virtual reality learning environments. Based on a constructivist approach. *Computers & Education*, 55(3), 1171–1182.
- Kerres, M. (2023). Bildung in der digitalen Welt. (Wie) Kann digitale Kompetenz vermittelt werden? In N. McElvany, R. Lorenz, M. Becker, H. Gaspard, & F. Lauermann (Hrsg.), *Lernen in und für die Schule im Zeitalter der Digitalität. Chancen und Herausforderungen für Lehrkräfte, Unterricht und Lernende* (S. 9–28). Waxmann.
- Kind, S., Ferdinand, J.-P., Jetzke, T., Richter, S., & Weide, S. (2019). *Virtual und Augmented Reality. Status quo, Herausforderungen und zukünftige Entwicklungen. TA-Vorstudie.* KIT - Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS). Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB). <https://doi.org/10.5445/IR/1000131346>
- Kreimeier, D., Prinz, C., & Morlock, F. (2013). Lernfabriken in Deutschland. Praktisches Lernen in einer Fertigungsumgebung zur Schulung von Ganzheitlichen Produktionssystemen. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 108(10), 724–727. <http://dx.doi.org/10.3139/104.111023>
- Meta. (2024). *Meta Quest 2. Immersives all-in-one VR-Headset / Meta Store.* <https://www.meta.com/de/quest/products/quest-2/>
- Rempel, W., Harkemper, L., & Zoller, C. S. (2022). Analyse der Ausprägungen bestehender Lernfabriken. Virtuelle Realität als mögliche Antwort auf aktuelle Herausforderungen. *Industrie 4.0 Management*, 38(2), 33–36.
- Schaper, N. (2006). Lernprozesse mit Instruktionsmethoden wirkungsvoll gestalten. In B. Berendt, A. Fleischmann, G. Salmhofer, N. Schaper, B. Szczyrba, M., Wiemer, & J. Wildt (Hrsg.), *Neues Handbuch Hochschullehre* (Griffmarke B 1.5). Franz Steiner Verlag.
- Streim, A., & Klöß, S. (2022, 29. August). *Unternehmen nutzen VR oder AR vor allem für die Weiterbildung.* <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Unternehmen-nutzen-VR-AR-Weiterbildung>
- Tenorth, H.-E., & Tippelt, R. (2012). Konstruktivismus. In Beltz Lexikon Pädagogik (S. 418). Beltz Verlag.
- Unity Technologies. (2024). *Echtzeit-Entwicklungsplattform von Unity | 3D, 2D, VR- und AR-Engine.* <https://unity.com/de>
- Westkämper, E. (2006). *Einführung in die Organisation der Produktion* (Bd. 1). Springer. <https://doi.org/10.1007/3-540-30764-8>
- Wunderlich, A. (2016). *Constructive Alignment. Lehren und Prüfen aufeinander abstimmen.* https://www.th-koeln.de/mam/downloads/deutsch/hochschule/profil/lehre/steckbrief_constructive_alialignm.pdf
- XR-EASY. (2024). Startseite XR-EASY. <https://xr-easy.com/de/>
- Zender, R., Weise, M., von der Heyde, M., & Söbke, H. (2018). Lehren und Lernen mit VR und AR. Was wird erwartet? Was funktioniert? In D. Schiffner (Hrsg.), *DeLF 2018 - Die 16. e-Learning Fachtagung Informatik.* Gesellschaft für Informatik e.V.

Autor*innenprofil

Christoph S. Zoller, Prof. Dr.-Ing., ist Prodekan für Forschung und Transfer der Fakultät für Fahrzeugsysteme und Produktion und Studiengangsleiter des Bachelor of Engineering Produktion und Logistik. Seine Lehr- und Forschungsschwerpunkte liegen in der Materialversorgung, Entwicklung von Verfahren zur ganzheitlichen Planung von innerbetrieblichen Transportsystemen, sowie in der Analyse und Optimierung von Montageabläufen mittels virtueller Realität. Er beforscht seine eigene Lehre zur Identifizierung geeigneter Lehr-/Lern-Szenarios zum Einsatz hybrider (synchroner) Lehre und Verwendung virtueller Realität.

Kontakt: christoph.zoller@th-koeln.de

Bonita Antonia Grzechca ist Studentin des Master of Science Supply Chain and Operations Management.