
Erfahrungen zur Nutzung von Mixed und Virtual Reality im Lehralltag an der HTW Dresden

Gunther Göbel¹, Ralph Sonntag²

¹Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Fakultät Maschinenbau,

²Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden,

Fakultät Wirtschaftswissenschaften

1 Einführung und Motivation

Der Einsatz von immersiven Systemen, also Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR) und Mixed Reality (MR) Systemen in der Lehre ist naheliegend. Eigene interaktive Erfahrung einer Tätigkeit ist immer einer reinen rezeptiven Beobachtung bzw. verbalen Erläuterung vorzuziehen. Trotzdem ist heutige Lehre selbst in Praktika und Übungen zum sehr großen Teil passiv, die selbständige Umsetzung, etwa das Bedienen einer Anlage oder die eigenständige Synthese einer Chemikalie, können aus Gründen der Zeit, Verfügbarkeit, Sicherheitsbedenken und Kostengründen oft nur selten eingesetzt werden. Dem Einsatz o.g. neuer immersiver Technologien stand bisher nicht nur der erhebliche Aufwand zur Erstellung entsprechender Simulationen gegenüber. Vor allem aber auch der Hardwareaufwand bei gleichzeitigem nicht optimalem Grad an Immersivität ließ kaum Möglichkeiten offen. Jeden Studenten einzeln ausreichend Zeit in einer teuren und großen Cave-Umgebung zu ermöglichen, damit dieser virtuell technische Anlagen bedient, ist für größere Studentenzahlen untauglich.

Die Verfügbarkeit kostengünstiger und ausreichend immersiver Systeme seit 2016 hat diese Situation nachhaltig verändert, so dass Lehrende Konzepte und Umsetzungen gestalten können, genau diese Lücke in der Kompetenzvermittlung zu schließen.

Die HTW Dresden setzt daher bereits seit Herbst 2016 immersive Systeme, konkret VR-Systeme im „room-scale“ Modus, im normalen Lehralltag ein. Sämtliche Studenten, die an der Fakultät Maschinenbau immatrikuliert sind, nutzen diese Systeme innerhalb der Lehre. Der vorliegende Artikel beschreibt den Auswahlprozess der Entwicklung sowie die Erfahrungen nach mehrmonatigem Einsatz.

2 Priorisierung und Auswahl der Lehraufgabe

Für die Lehre ist die wichtigste Frage, welcher tatsächliche Nutzen mit immersiven Methoden möglich wird, der nicht auch mit herkömmlichen Mitteln erreichbar wäre. Im vorgestellten Projekt wurde diese Frage als Grundlage für die Festlegung der Prioritäten verwendet.

Die nachfolgenden verallgemeinert zusammengefassten Erkenntnisse basieren auf qualitativen Aussagen der Studierenden und Lehrenden in unterschiedlichen Lehrsituationen und unter Berücksichtigung der jeweiligen Rahmenbedingungen. Dazu wurden einerseits Studierende im Rahmen der Praktikumsauswertung als Fokusgruppe befragt als auch Hochschullehrer bei internen Nutzung um Hinweise gebeten, welche Inhalte für Lehranwendungen im technischen Umfeld gut bzw. eher nicht geeignet gesehen werden.

Keine reine Visualisierung: nur in seltensten Fällen (etwa für sehr komplexe dreidimensionale Strukturen) hat eine reine Visualisierung per Immersion einen signifikanten Mehrwert gegenüber interaktiv drehbaren 2D-Projektdarstellungen am Bildschirm. Die Anwendungserfahrung an der HTW Dresden zeigt, dass der Nachteil des Aufwands zum Eintauchen in die immersive Umgebung, etwa per VR-Brille, überwiegt. Der heutige nicht-immersive geprägte Arbeitsfluss wird dadurch noch zu erheblich gestört, so dass für einfache Darstellungen langfristig Bildschirmprojektionen effektiver sind.

Manueller Anteil: Aufgaben, die häufige und positionsgenaue raumgreifende manuelle Interaktionen erfordern, sind geeignet, da die Bewegungsabläufe bei sonstigen Lehrmethoden fehlen oder sogar falsch gelernt werden müssen.

Skalierung: Aufgaben, die räumliches Verorten oder die Bewertung realer Größen beinhalten, sind immersiv besser und schneller lösbar, Vergleiche mit künstlichen Skalierungshilfen entfallen.

Relevanz Hand-Auge-Koordination: Aufgaben, die eine präzise räumliche Manipulation erfordern, sind in 2D-Projektionen am Bildschirm nur abstrahiert darstellbar und können in immersiven 3D-Umgebungen die vorgesehenen Kompetenzen besser vermitteln.

Die Wirkung **sozialer Interaktionen** oder Kommunikation durch virtuelle Personenabbilder oder Non-Player-Characters wurde im aktuellen Projekt, das auf eine technisch orientierte Nutzung abzielt, nicht betrachtet. Es ist aber bekannt, dass hier nicht nur erhebliche Anwendungsfelder der immersiven Technologien liegen, sondern auch technische Anwendungen durch „intuitive“ Kommunikationskanäle unterstützt werden können.

3 Umsetzung Anwendungsbeispiel Schweißtechnik

Nach o.g. Kriterienkatalog wurden verschiedenste Anwendungsszenarien im Hochschulalltag priorisiert. Neben Visualisierungsansätzen der Fabrikplanung und Messtechnik standen einerseits eine interaktive Simulation zur Metallphysik als auch eine Anwendung zum Erlernen des manuellen Schweißens in der Auswahl zur Implementierung dieser Technologie. Beide letztgenannte Umgebungen wurden auf Basis einer Entwicklung des Erstautors als hochschultaugliche Software (Hardware: HTC Vive) weiterentwickelt und entsprechende Räumlichkeiten für eine optimale Nutzung eingerichtet. Neben mehreren reinen VR-Laboren mit Grundflächen im Bereich von 15 m² bis 25 m² wurden weitere Laborräume der Professur Fügetechnik mit Lasertrackern ausgestattet, um flexibel Vor-Ort im praktischen Laborbetrieb VR-Inhalte einsetzen zu können. Typische Praktikumsgruppen mit 8-10 Studenten können damit direkt abgedeckt werden.

Ziel der Schweißsimulation war es, mehr Studenten **eigene Erfahrungen** zum Schweißen unter intensiver Einzelbetreuung zu ermöglichen, bei gleichzeitig erhöhter Sicherheit gegen Personenschaden durch Anfängerfehler. Konkret wurde eine umfassende Umgebung inklusive Schweißlabor, Arbeitstisch, Bauteile und Schweißbrenner (Metall-Schutzgasschweißen) in VR nachempfunden. Die prinzipielle Idee eines virtuellen Schweißtrainers ist bereits länger bekannt, Hester fasst beispielsweise bereits 2008 damals verfügbare kommerzielle Ansätze zusammen [1], eine Übersicht der Entwicklungsgeschichte entsprechender Simulatoren und deren nachweisbarem Nutzen ist in [2] zu finden. Neuere Forschungsarbeiten verbesserten hier u.a. die Genauigkeit der Nahtnachbildung (s. a. [3]), lösen jedoch nicht das Problem der stark eingeschränkten Arbeitsraumes, was alle bisher verfügbaren kommerziellen Systeme betrifft und somit viele Anwendungs- und Lehrszenarien ausschließt. Im Unterschied dazu erlaubt die an der HTW Dresden eingesetzte Hardware eine nahezu perfekte Abbildung der Hand-Auge-Koordination auch auf größerer Fläche, da latenzfrei auch kleinste Handbewegungen im korrekten Abstand stereoskopisch visualisiert werden. Dies ist aktuell ein Alleinstellungsmerkmal der eingesetzten HTC Vive, Konkurrenzsysteme weisen technologiebedingt entweder Einschränkungen in der Raumabdeckung (klassische Schweißsimulatoren aber auch Oculus Rift) oder in der Präzision des Trackings der Handcontroller auf (Google „Daydream“, Microsoft „Mixed Reality“). Das Schweiß-Simulationssystem funktioniert unabhängig von den bisher üblichen speziell präparierten und geometrisch festgelegten Bauteilen. Weitere Arbeiten an der HTW Dresden betrafen die Quantifizierung optischer Effekte des Prozesses wie die Schweißspritzerbildung, die anhand von definierten Schweißversuchen (Brennerwinkelvariation etc.) mittels Industrieroboter ermittelt und in das VR-System übertragen wurden. Im System

können beliebige 3D-Geometrien realer Baugruppen eingesetzt werden und im Bereich des jeweiligen VR-Labors auch ohne Immersionsbruch durch Teleportation o.ä. umlaufen und geschweißt werden.

Abbildung 1 zeigt die Anwendung im praktischen Lehralltag, für den Handcontroller werden bei Bedarf Adapter zum Anhängen reale Schweißbrenner-Schlauchpakete und (für eine korrekte Kollisionswirkung) Düsenaufsätze eingesetzt. Letzterer ist für o.g. Fall sinnvoll, wenn Bauteile real vorhanden sind und damit auch das Abstützen/Kollidieren am Bauteil realitätsnah nachgebildet werden soll. Fehlt die Nachbildung der realen Gewichts- und Zuglasten, ergibt sich eine größere Diskrepanz zur Realität, was vom Großteil der Anwender als nachteilig für den Lerneffekt empfunden wurde.

Im Vordergrund ist der sog. Leitstand zu sehen, der nicht nur das Sichtfeld des Schweißers wiedergibt, sondern per Touchscreen alle Einstell- und Auswertoptionen für eine Schweißaufsichtsperson zur Bewertung des Schweißergebnisses bietet. Hiermit kann auf Fehler der Brennerführung und die sich daraus ergebenden Wirkungen auf das Schweißergebnis eingegangen werden. Der schweißende Student muss zur Auswertung die Umgebung nicht verlassen, sondern bekommt die nötigen Informationen in VR ebenfalls gezeigt. Diese „asynchrone“ Nutzung (nur einer der beteiligten Anwender einer Lehrumgebung befinden sich in VR, der andere nutzt einen herkömmlichen Bildschirm) stellt eine kostengünstige Alternative zur reinen VR-Simulation für die Nutzer dar, da beide Arbeitsplätze von nur einem Computersystem gesteuert werden. Im gezeigten Anwendungsfall vereinfachte dies zusätzlich die Einarbeitung, da am Leitstand desktop-typische Interaktionskonzepte zum Einsatz kommen.

Ergänzend wurde ein optionales Mixed-Reality System entwickelt, dass für Zuschauer durch Überlagerung eines Kamerabildes den VR-Nutzer in seiner Umgebung visualisiert, (s. Abb. 1 jeweils im oberen Bildschirm). Dazu wird ein Kamerabild direkt im VR-System eingebunden, eine Freistellung des Nutzers vom realen Hintergrund und eine perspektivisch und örtlich korrekte Einblendung in den VR-Raum erfolgt live innerhalb der Schweißsimulations-Software. Eine solche Darstellung ist auch für alle weiteren Lehrumgebungen sinnvoll, da damit die Nachverfolgung der Abläufe in VR auch für Zuschauer möglich wird.

Die Möglichkeit, derartige Lehrumgebungen auch räumlich entfernt virtuell zusammenzuführen, sind mit geringem Aufwand umsetzbar, brachten jedoch für die Lehre im Präsenzstudium keinen direkten Mehrwert. An der HTW Dresden werden im Bereich Maschinenbau nur Präsenzstudiengänge angeboten, daher wurde von einer Umsetzung bisher abgesehen.



Abbildung 1: oben: Lehrumgebung für manuelles Schweißen (Leitstand, Mixed-Reality Darstellung), unten: Live-Bild während der Anwendung

4 Akzeptanzuntersuchung

4.1 Konzeptentwicklung und Vorbetrachtung

Die erwähnte Einzelbetreuung der Studenten erfolgt hier vom Computer mithilfe eines Echtzeit-Feedback Systems zur Analyse der Leistung des Schweißers, welches Hilfsgrößen und Symbole am Schweißbrenner einblendet. Ein wichtiger Aspekt für ein effektives Lernergebnis ist die Analyse der Akzeptanz des Gesamtsystems sowie darauf ableitend eine Verbesserung der Darstellung und der Abläufe.

Der virtuelle Raum und die dort zu erfüllenden Aufgaben stellen ein neues Szenario für den Nutzer dar. Die technischen Möglichkeiten im Bereich VR und AR erlauben zum einen diese neuartige Nutzung, zum anderen ist aufgrund der Neuartigkeit mit Unsicherheit oder Reaktanz seitens der Nutzer zu rechnen.

Als Basismodell für die Akzeptanzforschung dient die Diffusionstheorie von Innovationen von Rogers. Dieses wurde hinsichtlich der Integration des Aspekts der Dynamik von Kollmann erweitert. [4] Neben diesen allgemeinen Akzeptanzmodellen existieren spezielle Modelle zur Erklärung der Akzeptanz von Technologien. Das Technology Acceptance Model (TAM) gilt hier als etabliert. [5] [6] So wurde das TAM auch schon im Bereich digitaler Lehr/Lernszenarien eingesetzt. [7]

So wird ein Zusammenhang zwischen der Nutzungseinstellung, Nutzungsintention sowie der tatsächlichen Nutzung der Technology untersucht. Determinanten sind dabei die Einfachheit der Nutzung und der wahrgenommene Nutzen der neuen Technologie. [8] Die Wahrnehmung des Nutzens basiert hierbei auf die subjektive Einschätzung, inwiefern die technische Innovation das persönliche Leistungsvermögen steigern kann. Die Einfachheit der Nutzung beschreibt, wie die Person die Nutzung der Technologie ansieht. [9]

Das Modell fokussiert auf diesen wenigen Determinanten. Dieses wird auch kritisch gesehen, da der Kontext, Rahmenbedingungen und das soziale Umfeld nicht direkt betrachtet werden.

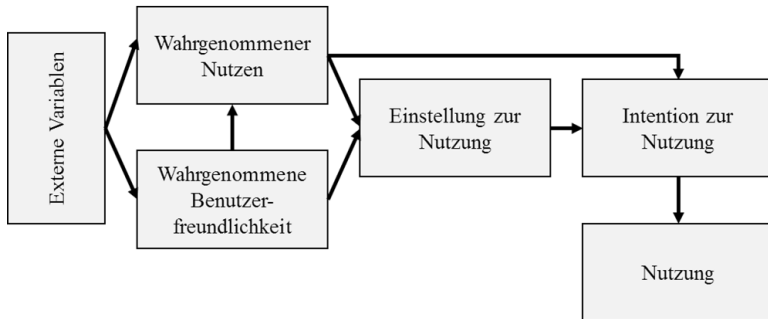


Abbildung 3: Technology Acceptance Model [10]

In dem vorliegenden Szenario von virtuellen Lehr-/Lernumgebungen ist nicht nur die Technologie von Bedeutung, sondern auch gerade die Berücksichtigung des sozialen Umfelds bzw. der Situation im Hochschulkontext. Für die Untersuchung der Technologieakzeptanz von Mixed und Virtual Reality im Lehrkontext schlagen die Autoren ein erweitertes Modell vor und kombinieren das Technology Acceptance Model mit einer Evaluation der Analyse der Lernsituation.

Die Lehr-/Lernsituation wird konkret mit Fragen zum Kompetenzerwerb und Fragen zur Einstellung der Lernsituation mit Hilfe des semantischen Differentials analysiert.

Der Lernende wird im Rahmen von Fragen zum Kompetenzerwerb eine subjektive Einschätzung zur Effektivität und Effizienz des Kompetenzerwerbs geben. Basierend auf der Art eines semantischen Differentials werden dem Anwender Fragen mit einer Skala und Gegensatzpaaren von Einschätzungen gestellt, z.B. „Wie empfinden Sie die Lernsituation? sympathisch – unsympathisch“

Für die Evaluation sind folgende Fragenbereiche vorgesehen.

I. TAM

- Beurteilung der Mixed / VR-Technologie generell
- Beurteilung der Einfachheit der Technologie
- Beurteilung der Nutzung für die konkrete Aneignung der Schweißtechnik
- Bedeutung von VR als Gamification-Element

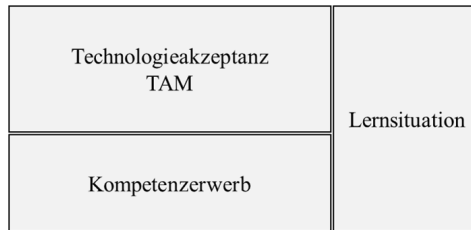


Abbildung 4: Kombiniertes Modell aus TAM, Kompetenzerwerb und Lernsituation

II. Kompetenzerwerb

- Wirksamkeit zum Erlernen der Schweißtechnik
- Effizienz der eingesetzten Technologie
- Konkrete Fachfragen zum Kompetenzerwerb
- Fragen zum Kompetenzerwerb im Bereich Schlüsselqualifikationen (u.a. Arbeiten im Team)

III. Lernsituation

- Einschätzung zur Beurteilung der Lernsituation mittels Polaritätenprofil
- Abfrage der emotionalen Situation (Valenzdimension)
- Einschätzung der Wichtigkeit (Potenzdimension)
- Einschätzung des Grads der Dynamik und Aktivität der Lernsituation (Aktivierungsdimension)

In dem vorliegenden Paper wird das Konzept für die Evaluation und Akzeptanzmessung vorgestellt. Erste qualitative Hinweise zur Akzeptanz konnten bereits in den zurückliegenden Semestern gesammelt werden. Die Umsetzung einer systematischen Analyse auf Basis dieses kombinierten Technologieakzeptanzmodells mit Berücksichtigung der Lernsituation erfolgt in den kommenden Semestern.

Der vorgestellte Ansatz zur Akzeptanzuntersuchung wird dann die Basis für die Handlungen innerhalb eines Double Loop - Ansatzes sein, um einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess abzubilden.

4.2 Qualitative Erfahrungen zur Nutzerakzeptanz und -immersion

Die folgenden Erkenntnisse zur Systemnutzbarkeit fassen die in der bisherigen Nutzungsdauer erlangten Beobachtungen im Hinblick auf die Vermeidung von Immersionsbrüchen und suboptimalen Lehrwirkungen zusammen:

Umsetzung optischer Hinweise: Die Nutzung von dauerhaften Head-up-Display-ähnlichen Einblendungen wurde geprüft und als nicht zielführend eingestuft, da diese die Immersion stören und den (begrenzten) Sichtbereich einschränken. Im virtuellen Schweißtrainer wurde daher stattdessen ein Flip-Chart dargestellt, der jeweils aktuelle Ergebnisse (Diagramme zur Performance des Schweißers etc.) zusammenfasst, so dass eine Immersionsbruchfreie Kommunikation möglich ist. Um bei unklaren oder falschen Blickrichtungen den Nutzer zu steuern, wurden animierte Objekte eingesetzt, die auf dem zu zeigenden Punkt konvergieren.

Relevante Live-Informationen wurden an der Stelle dargestellt, wo gehandelt werden muss, etwa Hinweispeile zur Handlungsänderung direkt am Schweißbrenner. Wichtig ist das Feintuning der Feedback-Informationen. Wird zu offensichtlich informiert, sinkt die Aufmerksamkeit für die tatsächliche Handbewegung, der Nutzer achtet nur noch auf die Hilfsgröße und arbeitet quasi im „Blindflug“, um gute Ergebnisse zu erreichen. Ist die Information zu gering, erfolgt kein Lerneffekt, da Fehler vom Nutzer nicht als solche erkannt werden. Daher wurde die Ein- und Ausblendung von Hilfsinformationen sehr variabel gestaltet und wird jeweils im Praktikumsversuch von einem Kommilitonen, der als „Schweißaufsichtsperson“ fungiert, verwaltet.

Umsetzung akustische Hinweise: Eine häufige Rückmeldung von VR-Nutzern ist, dass Anweisungen aus dem „realen Raum“, etwa durch die Lehrkraft oder Kommilitonen, die nicht in der VR-Umgebung sichtbar sind, als unangenehm empfunden werden. Grund ist, dass die quasi schwebende Stimme nicht optisch zugeordnet werden kann. Aus Sicht der Lehrenden wurde dabei festgestellt, dass Studenten im VR auch bei guter akustischer Verständlichkeit weniger auf Anweisungen reagieren. Hier ist über eine Avatar-Lösung zu diskutieren.

VR-Sickness Alle bisher an der HTW Dresden im Lehrbetrieb genutzten Systeme verzichten auf häufige Verschiebung der Nutzerposition im VR-Raum (Teleporting etc.). Meldungen zu einem VR-bedingten Unwohlsein wurden nur in wenigen Einzelfällen aufgenommen. Hier kann existierenden Zusammenfassungen der Symptome und Ursachen (wie bei [11] S. 344ff.) nichts hinzugefügt werden.

Allgemeine Akzeptanz VR-System: Von generellen Schwierigkeiten bei der Glaubwürdigkeit der Darstellung wurde nicht berichtet, auch wenn große Unterschiede in der emotionalen Wirkung feststellbar sind: So wird in der Schweißsimulation nach erfolgreicher Absolvierung einfacher Aufgaben eine Umgebung zugänglich, die z.B. eine Baustellensituation in großer Höhe simuliert. Ein entsprechendes deutliches Unwohlsein aufgrund von Höhenangst war bei etwa einem Drittel der Nutzer zu

beobachten. Die übrigen zwei Drittel zeigten keine oder nur eine geringe Wirkung dieses Effekts. Dies deutet darauf hin, dass sich die meisten Nutzer leicht von der offensichtlich nur computergeräten Umgebung distanzieren können.

Abschließend soll auf einen relativ auffälligen Gruppendynamik-Effekt in Bezug auf die Begeisterung für eine VR-Lehrumgebung als solche hingewiesen werden. Traten einzelne Nutzer besonders enthusiastisch oder ablehnend auf, wirkte sich dies fast immer auch auf die freiwillige Dauer in VR und damit auch den Lernerfolg der ganzen Gruppe aus. Insofern sind Gamification-Elemente, die allgemein positiv aufgenommen werden, ein wichtiges Element zur Technologieakzeptanz und Kompetenzvermittlung (s. hierzu auch das skizzierte Evaluationsmodell).

4.3 Fazit Nutzen Immersives Lernsystem

Die Systeme wurden in der aktuellen Ausbaustufe im Herbst 2016 eingerichtet und waren damit zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Textes für zwei Semester mit insgesamt über 200 Nutzern im Einsatz. Anhand dieser Erfahrungen kann dieses System prinzipiell als geeignetes Lehr/Lerninstrument eingeschätzt werden. Selbst schweißtechnisch völlig unerfahrene Studenten konnten, nach einem Training im Bereich von etwa 30-45 Minuten in VR, eine reale manuelle Schweißaufgabe im Metallschutzgasschweißen-Kurzlichtbogenprozess ohne grobe Fehler durchführen. Durch das Vortraining konnte nicht nur die Einstiegshürde gesenkt sondern auch bereits ein Gefühl für Brennerwinkel, -abstand und -geschwindigkeit sowie generelle Körperhaltung vermittelt werden. Seit Einsatz der Kombination mit dem VR-Vortraining traten im realen Schweißversuch keine Störungen durch unsachgemäße Handhabung auf, ein bis dato primäres Argument gegen den Einsatz echter Schweißtechnik im Praktikum.

Da kaum Abstraktionen zur realen Aufgabe notwendig sind, kann auf eine Vorbereitungsphase zum Lernsystem weitgehend verzichtet werden. Alle relevanten Handlungs- und Durchführungshinweise sind durch das System selbst vermittelbar. Hilfreich, aber nicht notwendig, ist die bereits genannte asymmetrische Nutzung des VR-Systems, der immersiv Lernende wird hierdurch einen Kommilitonen am Leitstand-Bildschirm unterstützt. Letzterer lernt gleichzeitig anschaulich, welche Schwierigkeiten auftreten und kann diese beim anschließenden Positionswechsel der Teilnehmer besser vermeiden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Auf Basis der bisherigen Erfahrungen konnte gezeigt werden, dass durch die Nutzung immersiver Systeme signifikant bessere Lehrumgebungen möglich sind. Wie beschrieben wurde für über 200 Studenten ein höherer Lerneffekt erzeugt und damit Inhalte vermittelt, die bisher aufgrund der Personal- und Arbeitssicherheitssituation nicht umsetzbar waren.

Darüber hinaus existieren an der HTW Dresden mittlerweile Einzelansätze/-projekte in den Fakultäten Maschinenbau, Mathematik/Informatik, Geoinformation sowie Landbau, Umwelt und Chemie. Seit Anfang 2017 werden diese Aktivitäten durch die Initiative „Immersive Hochschule“ koordiniert, um eine Plattform für immersive Lehr/Lernansätze zu schaffen. Diese soll Einstiegshürden zu immersiven Technologien senken und eine schnelle und kostengünstige Erstellung neuer Inhalte ermöglichen. Die Senkung der Einstiegshürde für Lehrende ist sicherlich ein wichtiger Erfolgsfaktor. Erste Beispiele, wie etwa der vorgestellte Schweißsimulator, zeigen, dass dies funktionieren kann.

Literatur

- [1] Heston T. (2008) „Virtually welding, training in a virtual environment gives welding students a leg up“, *The Fabricator*, Heft 03, 2008, online: <http://www.thefabricator.com/article/arcwelding/virtually-welding>
- [2] Oz, C., Ayar, K., Serttas, S., Iybulgin, O., Soy, U., Cit, G. (2012) „A Performance Evaluation Application for Welder Candidate in Virtual Welding Simulator“, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol. 55, 492–501
- [3] Chambers, T.L., Aglawe, A., Reiners, D. et al. (2012) „Real-time simulation for a virtual reality-based MIG welding training system“, *Virtual Reality*, 2012 16: 45. doi:10.1007/s10055-010-0170-x
- [4] Kollmann, Tobias (2008) „Akzeptanz innovativer Nutzungsgüter und Nutzungssysteme“. Wiesbaden: Gabler.
- [5] Davis, F. (1985) „A technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems – theory and results“, PhD thesis, Massachusetts Inst. of Technology.
- [6] Venkatesh, V., Morris, M., Davis, F. et al. (2003), „User acceptance of information technology - toward a unified view“, *MIS Quarterly* 27(3), 425–478.
- [7] Olbrecht, T. (2010), „Akzeptanz von E-Learning. Eine Auseinandersetzung mit dem Technologieakzeptanzmodell zur Analyse individueller und sozialer Einflussfaktoren“, Jena.

- [8] Davis, F., Bagozzi, P. and Warshaw, P. (1989), „User acceptance of computer technology - a comparison of two theoretical models’, *Management Science* 35(8), 982–1003, S. 985
- [9] Davis, F.D.; Bagozzi, R.P.; Warshaw, P.R. (1989), „User Acceptance of Computer Technology: A Comparison of Two Theoretical Models”, in: *Management Science*, Vol. 35, No. 8, S. 982–1002
- [10] Alwahaishi, S.; Snasel, V (2013), „Modeling the Determinants Affecting Consumers’ Acceptance and Use of Information and Communications Technology”, *International Journal of E-Adoption* 5(2) 2013, S. 25–39, DOI: 10.4018/jea.2013040103
- [11] LaValle, S. M. (2016) „VIRTUAL REALITY”, Univ. of IL, online: <http://vr.cs.uiuc.edu>