

---

Themenheft Nr. 47:

Immersives Lehren und Lernen mit Augmented und Virtual Reality – Teil 1.

Herausgegeben von Josef Buchner, Miriam Mulders, Andreas Dengel und Raphael Zender

## Einsatz von virtuellen Rundgängen in der Distanz-Laborlehre

Praxisbeispiele aus dem Projekt Lab4home

Christoph Braun<sup>1</sup> , Fares Kayali<sup>2</sup> , Thomas Moser<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Fachhochschule St. Pölten

<sup>2</sup> Universität Wien

### Zusammenfassung

*Die praktische Laborlehre an der Fachhochschule St. Pölten ist seit Aufkommen der Covid-19-Pandemie von situationsbedingten Problemen betroffen. Zusätzlich zu dem durch einzuhaltende Abstandsregeln entstandenen Platzmangel und erweiterten Zutrittsbeschränkungen zur Benutzung der Labore kommt es zu kurzfristigen Umplanungen bzw. Umstellungen der Lehreinheiten von Präsenz- auf Hybrid- oder Onlinelehre. Aufgrund der eingeschränkten Nutzungsmöglichkeiten der Laborinfrastruktur, startete daher das Projekt Lab4home mit dem Ziel, neue didaktische Szenarien zur Durchführung von Distanz-Laborlehreinheiten zu entwickeln. Dabei steht eine gemeinsame Konzeption von didaktischen Elementen der Vermittlung, Aktivierung und Betreuung im Einklang mit technisch und finanziell realisierbaren Möglichkeiten. Dieser Beitrag soll nun anhand von zwei Praxisbeispielen zeigen, wie aktuelle Virtual-Reality-Technologien in Form von interaktiv aufbereiteten 360°-Bildmaterialien in didaktische Szenarien eingegliedert wurden. Beantwortet wird dabei, welche Entscheidungen es benötigte, um in Anlehnung an bereits erprobte Gestaltungsprinzipien und Theorien diese Technologie in der Online-Laborlehre einzusetzen. Im Einsatz der entwickelten Szenarien zeigten sich dann zuvor nicht bedachte Auswirkungen auf die Lehre und die infrastrukturelle Organisation. In Form von didaktisch geplanten Panoramafotos wurden den Lernenden beispielsweise Inhalte zur 3D-Druck-Technologie aus wenig bekannten Blickwinkeln (Innerhalb eines 3D-Druckers) vermittelt, wobei bereits medientechnische Grundkenntnisse ausreichten, um die Lernmaterialien zu entwickeln. Das erhobene Feedback der Studierenden zeigt, dass die inhaltliche Erweiterung der Distanz-Laborlehre positiv wahrgenommen wird. Die aus der Umsetzung der ersten beiden Praxisanwendungen entstandenen Erkenntnisse dienen nun zur Entwicklung und Durchführung einer weiterführenden Feldstudie.*

## Using Virtual Tours to Support Distance Laboratory Lectures. Practical Examples from the Project Lab4home

### Abstract

*Practical laboratory lectures at the University of Applied Sciences St. Pölten are affected by situational problems since the outbreak of the Covid-19-pandemic. Due to the limited possibilities for the use of the lab in presence lectures, the project Lab4home was initialized to develop new didactic scenarios for the use in distance laboratory lectures. The connection of didactic elements of teaching, activation, and support with technically and financially feasible components should be in the project focus. This article will show how current virtual reality technologies in the setting of interactive 360° image content are integrated into didactic scenarios, described in two practical examples. The Article shows, which decisions were necessary to use this technology in online lab lectures, based on proven design principles and theories. Under field use of the developed scenarios, previously unconsidered effects in the area of teaching and infrastructural organization appeared. For example, using didactically planned panoramic photos, learners got the chance for information about the 3D printing technology from little-known point of views (inside a 3D printer). The first outcomes showed, that even with basic knowledge of media technology, it is possible to produce learning materials for supporting distance lab settings which students reported positively in their Feedback. The knowledge gained from the implementation of the first two practical applications is now being used to develop a further field study, using empirical research methods.*

### 1. Einleitung

Wie viele nationale und internationale Hochschulen verfügt auch die österreichische Fachhochschule St. Pölten über mehrere den Studiengängen und Projekten zugeordnete, effektiv gestaltete Lern- und Lehrräume. Gemeint sind damit thematisch angepasste und ausgestattete Räume, um gezielt gemeinschaftliche, aktive und kompetenzorientierte Lernsettings zu fördern (Gerlich 2014). So wurde bereits im Jahr 2015 ein Raum zum damaligen Trendthema «Industrie 4.0» geschaffen, welcher bis heute einen fixen Bestandteil mit weitgehender Integration in Lehre und Projekte darstellt. Neben Grundlagen wie Elektrotechnik oder Maschinenbau werden in dem als Industrie 4.0 Labor bezeichneten Raum auch themennahe Fachkompetenzen aus den Bereichen Web 2.0, Internet der Dinge, 3D-Druck und Robotertechnologie vermittelt (Pfeiffer et al. 2016). Das ursprünglich aus der industriellen Produktion stammende Thema Industrie 4.0 hat sich mittlerweile in verschiedenen Arbeitsumfeldern bzw. Branchen sowie in kleinen und mittleren Unternehmen etabliert und wird heutzutage auch als Synonym für die digitale Transformation von Unternehmen verstanden

(Moser et al. 2017). Aufgrund dieser breit aufgestellten Themen stieg die Auslastung des Labors in den letzten Jahren stetig an, wobei neben den Lehrveranstaltungen für Studierende ebenso Seminare und Workshops für Unternehmen abgehalten wurden. Leider wurde auch dieses erfolgreiche Laborkonzept durch die aussergewöhnliche Covid-19-Situation beeinflusst. Als der Zugang zum Industrie 4.0 Labor ab dem Sommersemester 2020 aufgrund der einzuhaltenden Abstandsregeln und Zutrittsbeschränkungen sowie durch kurzfristige Umplanungen der Lehreinheiten von Präsenz- auf Hybrid- oder Onlinelehre, nur noch sehr eingeschränkt möglich war, startete daher das hausinterne Projekt «Lab4home». Gezielt möchte man in diesem Projekt neue Ansätze erarbeiten, um das Labor durch technische und didaktische Adaptierungen in eine Art Fernlehre-Modus zu versetzen. Die im Labor verfügbaren Lehr- und Lerninstallationen, Geräte und Maschinen sollen dabei den Studierenden trotz Distanzlehre ortsunabhängig zugänglich gemacht werden, um so einerseits die Laborlehre aufrechtzuerhalten, andererseits Studierenden neue Chancen zur selbstgesteuerten Kompetenzerneuerung zu bieten. Herausfordernd dabei ist, dass je nach Lehrveranstaltung und den somit variierenden Lehr-Lernzielen der Raum in seiner Funktion stark variiert. Dennoch wurden seit Projektstart bereits erste neu adaptierte didaktische Szenarien ausgearbeitet und durchgeführt, wobei neben mobil einsetzbarer Labor-Ausstattung und Elektronik-Simulations-Tools (z. B. Tinkercad) auch erstmals «virtuelle Rundgänge» in der Distanz-Laborlehre zum Einsatz kamen. Die virtuellen Rundgänge wurden dabei in Form von 360°-Kugelpanoramafotos umgesetzt, die per Web-Anwendung zu einer Art Rundgang angeordnet sind und interaktiv betrachtet werden können. Der Einsatz dieser Medien wird bereits seit längerer Zeit z. B. als Ersatz für reale Exkursionen im Bildungsreich untersucht (Bowman et al. 1999). Ebenso sind virtuelle Rundgänge, wie Hirzinger und Strackenbrock (2020) sie beschreiben, auch bereits seit längerer Zeit im Bereich touristischer Anwendungen bekannt. Wie von Trentsios, Wolf und Frerich gezeigt (2020), werden virtuelle Rundgänge auch bereits mit den Möglichkeiten eines Labor-Fernzugriffs kombiniert. Gemeint sind dabei sogenannte Remote-Labore; diese ermöglichen den Lehrenden und Lernenden, dezentral gesteuerte und überwachte Experimente durchzuführen. Ein im Labor befindlicher Roboter kann etwa von zu Hause aus gesteuert und per Videokamera überwacht werden. Remote-Labore stellen einen weiteren Ansatz zur Distanz-Laborlehre dar, werden allerdings in diesem Artikel nicht weiter betrachtet. Obwohl die bereits erwähnten 360°-Kugelpanoramafotos nicht mehr unbedingt als neuartige Technologie zu bezeichnen sind, können sie doch als «Virtual-Reality» (VR) Technologie diskutiert bzw. sogar wie von Hellriegel und Čubela (2018) oder auch von Zobel et al. (2018) als solche klassifiziert werden. Werden zudem einzelne 360°-Medien oder auch daraus erstellte virtuelle Rundgänge in kompatiblen VR-Data-Brillen besichtigt, schreibt Feurstein (2019) von einer *immersiven Betrachtungsweise*. Fokussiert auf das Thema der virtuellen Rundgänge, sollen mit diesem Artikel

die bereits umgesetzten Szenarien aus der Lehre am Praxisbeispiel des aufgrund der Covid-19-Situation nicht zugänglichen Industrie 4.0 Labors der FH St. Pölten vorgestellt sowie erste Erfahrungen aus der didaktisch-technologischen Entwicklung und Anwendung geteilt werden. Obwohl die beiden im Artikel thematisierten Beispiele in einem explorativen Format durchgeführt wurden, stellte man sich während der Phasen der Entwicklung und Umsetzung dennoch mehrere zu beantwortende Fragen hinsichtlich der Gestaltung und Anwendung von virtuellen Rundgängen in der Distanz-Laborlehre. Die erarbeiteten Fragestellungen werden in Kapitel 2 nun näher betrachtet und diskutiert. Das Ziel des Artikels ist, diese Fragestellungen für die Entwicklung weiterer Distanz-Laborlehreinheiten transferierbar darzustellen. Vorstellbar sind z. B. virtuelle Rundgänge im Bereich von Physiklaboren (Pirker et al. 2019). Die praktische Umsetzung der zu den jeweiligen Fragestellungen getroffenen Gestaltungsentscheidungen wird dann in Form der beiden Beispiele in Kapitel 3 verdeutlicht. Die damit zu beantwortende Forschungsfrage lautet: *Wie können virtuelle Rundgänge als Element eines didaktischen Szenarios in der Distanz-Laborlehre eingesetzt werden?* Die in diesem Artikel beschriebene Herangehensweise zur Entwicklung und Anwendung der virtuellen Rundgänge wie auch die Fragestellungen und Gestaltungsentscheidungen sollten dabei als nicht vollständig betrachtet werden. Es handelt sich dabei vielmehr um erste explorative und auf Feedback von Studierenden basierende Erkenntnisse, die zur Beantwortung der Forschungsfrage herangezogen werden. Auch die u. a. von Janßen et al. (2016) genannten und für den breiteren Einsatz von VR-Medien im Bildungsbereich thematisierten wichtigen Anforderungen hinsichtlich allgemeiner Akzeptanz von Personal- und Organisationsentwicklung zum Einsatz solcher Technologien werden in diesem Artikel aufgrund der speziellen Betrachtung der Praxisbeispiele nicht diskutiert.

## 2. Entwicklung didaktischer Szenarien

Den Beginn zur Entwicklung und Durchführung einer Distanz-Laborlehreinheit stellte die Ausarbeitung eines *didaktischen Szenarios* dar. Auch wenn dieser Begriff in der Vergangenheit wie z. B. von Schulmeister (2006) oder auch von Hasanbegovic (2004) eine etwas variierende Definition erfahren hat, wird in diesem Artikel von einem praktisch orientierten Plan zur Abhaltung von Lehreinheiten, nach der Strukturierung von Reinmann (2015), ausgegangen. Wie in ihrem Studientext beschrieben, beinhaltet dieser zumindest Informationen zu Einsatz und Gestaltung von Lehrmaterialien (Komponente Vermittlung), Aufgaben (Komponente Aktivierung) und begleitenden Kommunikationsmassnahmen (Komponente Betreuung). Dabei orientieren sich die einzelnen Bestandteile (Komponenten) an den zu Beginn der Planung definierten Lehr-Lernzielen für die jeweilige Lehrveranstaltung. Das Zusammenspiel aller Komponenten bildet dabei das Szenario. Bezogen auf den Einsatz von virtuellen

Rundgängen wurden nun im Vorfeld zu jeder der genannten Komponenten die zu klärenden Fragen aufgestellt. In einigen Artikeln wurden diese – in der Planungsphase getroffenen – Entscheidungen auch später in Entscheidungsbäumen aufbereitet (Daling et al. 2021). Herausfordernd dabei ist, dass zwar jede Komponente für sich individuell geplant wird, aber dennoch eine gewisse Harmonie mit den beiden weiteren Komponenten bestehen soll. Krämer (2017) schreibt dazu, dass neben der Abstimmung der Technologie auf die Lehr-Lernziele auch die damit geplante didaktische Umsetzung lerntheoretisch fundiert sein soll.

## 2.1 Komponente Vermittlung

Beim ersten zu planenden Element wurden Entscheidungen hinsichtlich der Auswahl von Lerninhalten sowie der Art der Darbietung von Lernmaterialien getroffen. Dazu erfolgte ebenfalls eine Auseinandersetzung mit den Grundlagen zu rezeptiven Lernprozessen, deren Fokus auf den Modellen von Mayer (2005) und Schnotz (2005) lag. So werden in der «kognitiven Theorie des multimedialen Lernens» oder im «integrativen Modell des Text- und Bildverständnisses» Empfehlungen zur Darbietung von multimedialen Lernmaterialien gegeben, an denen sich diese im Artikel beschriebenen Praxisbeispiele orientieren. Angelehnt an diese Theorien und Modelle haben zudem bereits Mulders, Buchner und Kerres (2020) begonnen, dafür Rahmenbedingungen zur Anwendung bei VR-Lernumgebungen zu entwickeln.

1. *Was soll virtuell abgebildet werden?* Auch wenn die hier beschriebenen Fragestellungen nicht unbedingt in der aufgelisteten Reihenfolge beantwortet werden müssen, wird dennoch empfohlen, diese Frage als Ausgangsposition anzusehen, ist sie doch direkt mit den Lehr-Lernzielen und den damit festzulegenden Inhalten verknüpft. Beispielsweise kann hierbei definiert werden, ob ein gesamtes Labor virtuell abgebildet werden soll oder ob es genügt bzw. sogar gewünscht ist, jeweils nur eine Position, z. B. in der Nähe des 3D-Druckers, detailliert in Form von mehreren Bildern aufzubereiten.
2. *Welche Technologie soll zur Abbildung gewählt werden?* Wie bereits beschrieben fand im Projekt Lab4home lediglich die Technologie der 360°-Panoramafotografie Verwendung. Jedoch zeigt sich selbst bei dieser heutzutage als wenig aufwendig und schnell einsetzbar geltenden Technologie, dass es wesentliche Unterschiede in technischer Qualität, Ausführung und den damit verbundenen Arbeitsschritten zur Produktion der Fotos gibt. So geht dabei, wie Cai, Ch'ng und Li (2018) oder auch Ceulemans et al. (2018) beschreiben, die Bandbreite an Möglichkeiten zur Anfertigung eines Panoramafotos von der Smartphone-App (Google Street View) über diverse Actioncams (z. B. GoPro) hin zu professionellen 360°-Kameras (z. B. Insta360 Titan) oder noch weiter zu Spezialkonstruktionen in Kombination mit

digitalen Spiegelreflexkameras. Aufsteigend in der Bildqualität und den Anschaffungskosten der beschriebenen Lösungen, steigt zudem auch die Anforderung an technische Kompetenzen, welche es benötigt, um die Panoramabilder zu produzieren. Hervorzuheben ist hierbei allerdings, dass sich die Bedienung selbst von professionellen 360°-Panoramakameras sich nicht wesentlich von derjenigen einer normalen Actioncam unterscheidet. Lediglich im Einsatz von Spezialkonstruktionen mit Spiegelreflexkameras wird erweitertes Wissen zur Kameratechnologie vorausgesetzt. Neben der Entscheidung zur Bildqualität hat das Projekt Lab4home gezeigt, dass auch die inhaltliche Frage an der Entscheidung der passenden Kameratechnologie beteiligt ist. Soll z. B. das Innere eines 3D-Druckers veranschaulicht werden, muss dazu aufgrund des Platzmangels eine eher kleinere 360°-Actioncam zur Abbildung verwendet werden.

3. *Welche Endgeräte sollen zur Betrachtung der Lernmaterialien verwendet werden?* Auch auf diese Frage hat man heutzutage eine breite Auswahl an Antwortmöglichkeiten. Einerseits ist es sehr einfach und unabhängig vom Betriebssystem möglich, virtuelle Rundgänge und Panoramafotos per Webbrowser auf Laptop, Smartphone und Tablet zu betrachten; andererseits wird bereits verstärkt auf die neu entstehenden hochtechnologischen Möglichkeiten durch den Einsatz von multisensorischen Datenbrillen hingewiesen (Radianti et al. 2020). Im Projekt Lab4home wurde diese Frage anhand einer Betrachtung der Zielgruppe beantwortet. Dabei wurde konkret auf deren vorhandene technische Ausstattung sowie auf ihr Vorwissen geachtet, wobei ebenfalls der Lernort im Entscheidungsprozess berücksichtigt wurde, also der Ort, wo Studierende physisch mit ihren Endgeräten an der Distanz-Lehre teilnehmen, sowie die Dauer der Lehrveranstaltung. Bedacht werden sollte auch noch, ob ein klarer «Use your own Device» Ansatz verfolgt wird oder andere Möglichkeiten, etwa eine Fernleihe von Datenbrillen bestehen.
4. *Welcher Interaktivität bedarf es?* Auch wenn dieser Begriff im Bereich der virtuellen Rundgänge nicht eindeutig definiert werden kann, soll an dieser Stelle darauf aufmerksam gemacht werden, dass dieses Thema dennoch bei der Planung der Szenarios berücksichtigt wurde. Grundsätzlich könnte hierbei bestimmt werden, welche Elemente zur Bedienung des Lernmaterials benötigt werden, wobei ebenso die Frage gestellt werden sollte, welche und wie viel Interaktion zur Unterstützung des Lernprozesses notwendig ist. Es sollte jedenfalls bedacht werden, dass eine nicht zielführende Gestaltung von Interaktionselementen auch negative Auswirkungen auf die Lernprozesse haben kann (Richards 2017). Dabei kann es, wie in der «Cognitive load theory» beschrieben, zu erhöhter kognitiver Belastung kommen (Sweller, Ayres, und Kalyuga 2011). Auch in aktuellerer Literatur wird auf diese Form der Überlastung, auch in Bezug auf virtuelle Rundgänge hingewiesen

(Makransky, Terkildsen, und Mayer 2019). Im Projekt Lab4home folgte man zur besseren Planung der Interaktivität den definierten Kategorien nach Dörner et al. (2013). Dabei werden die möglichen Interaktionen in Selektion (z. B. Auswahl von Punkten, Flächen), Manipulation (Veränderung z. B. eines Gegenstands in der Position oder Grösse), Navigation (Veränderung der Kameraposition im Raum bzw. Änderung der Blickrichtung) und Systemsteuerung (Änderung der Lautstärke, Play/Pause, Laden einer Szene) unterteilt. Zudem sollten ebenfalls noch die Möglichkeiten der Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine berücksichtigt werden. So variieren heutzutage – besonders seit dem Aufkommen von Datenbrillen bzw. auch als VR-Headsets bezeichneter Geräte – die Eingabemöglichkeiten. Dabei reichen die Möglichkeiten von Maus und Tastatur über Touchscreens, hin zu Spracheingabe, Hand- und Kopfbewegungen oder weiteren multisensorischen Varianten, wie der Beitrag von Fraune et al. (2021) zeigt. Die Auswahl der passenden Mensch-Maschinen-Interaktionen hängt auch bereits von der Wahl der eingesetzten Endgeräte und daher wieder von den technologischen Vorkenntnissen der Lernenden ab. Um eine Überlastung bzw. den dadurch möglichen resultierenden Motivationsverlust oder negative Emotionen bei Lernenden gering zu halten, wird an dieser Stelle nochmals auf die in der Entwicklungsphase durchgeführte Betrachtung der Zielgruppe hingewiesen. Beispielsweise wurden die Studierenden in der Entwicklungsphase befragt, ob sie über ein VR-Headset verfügen und dessen Benutzung in ihrer räumlichen Lernsituation möglich sei.

5. *Welche multimediale Darstellung der Inhalte benötigt es?* Ein weiteres und mit den bisherigen Fragestellungen verknüpft Thema, ist letztlich jenes der Art der Darstellung der Inhalte. So sollte in der Planung die Entscheidung getroffen werden, ob die Informationen in Form von Sprache (gesprochen oder schriftlich), Bildern (Grafik, Fotos und Videos) oder dynamischen Kompositionen (animierte Grafiken oder Modelle) dargestellt werden. Über in virtuelle Rundgänge eingebundene Hotspots (auch access points), die wiederum Elemente für Interaktionen darstellen, bekommen Lernende z. B. durch das Anklicken zusätzlich zu dem jeweiligen Kugelpanoramafoto erweiterte Informationen in den genannten Formen (auch Codierung genannt) vermittelt (Heinz, Büttner, und Röcker 2019). Als Herausforderung gilt hier, die möglicherweise bereits getroffene Entscheidung über die Endgeräte zu berücksichtigen. Beispielsweise können keine gesprochenen Informationen vermittelt werden, wenn das Ausgabegerät über keinerlei Lautsprecher verfügt oder die Situation der Lernenden aufgrund unzureichender Internetanbindung am Lernort keine Videoeinbindung zulässt. Zusätzlich zu dieser Anmerkung soll hier auch die Wichtigkeit einer Auseinandersetzung mit bekannten Prinzipien sowie den daraus oft resultierenden Gestaltungsempfehlungen zum multimedialen Lernen unterstrichen werden. Abgeleitete Empfehlungen aus der bereits

beschriebenen «cognitive load theory», beispielweise Multimedia-, Kontiguitäts-, Kohärenz-, Modalitäts-, und Redundanzprinzip, sollen daher wahrgenommen und in der Gestaltung von Text-Bild-Kombinationen angewendet werden, wie sie häufig in virtuellen Rundgängen vorkommen.

## 2.2 Komponente Aktivierung

Nach der Darstellung von Elementen zur Vermittlung von Informationen in der Distanz-Laborlehre unter Anwendung von virtuellen Rundgängen soll dieses Unterkapitel nun die im Projekt Lab4home berücksichtigten Elemente zur Aktivierung der Lernenden darstellen. Der Begriff selbst kann beschrieben werden als Gestaltung von Massnahmen, die der Motivierung, Einladung und Bindung von Lernenden zur produktiven und reproduktiven Auseinandersetzung mit den Lernmaterialien dienen (Reinmann 2015). Die Massnahmen können dabei je nach Zielen, Inhalten und Materialien sehr vielfältige Formen aufweisen. Einzel- oder Gruppenarbeiten in Form von Diskussionen, Schnitzeljagd, Lückentexte, Quizzes, Design- oder Projektaufträge sollen hierbei nur stellvertretend als Überblick für die Fülle an Möglichkeiten zur Aufgabengestaltung genannt werden. Im folgenden Absatz werden nun die im Projekt Lab4home beachteten Entscheidungen dargestellt.

1. *Wie kann der virtuelle Rundgang selbst als Motivation genutzt werden?* Auch wenn in der Vergangenheit empirische Forschungsergebnisse zum Thema Lernen mit VR teils widersprüchliche Ergebnisse zu den Auswirkungen auf Lernprozesse geliefert hatten, so wird im Projekt Lab4home dennoch – und ebenfalls im Beitrag von Daling et al. (2020) beschrieben – davon ausgegangen, dass die Aufbereitung der Materialien in Form von virtuellen Rundgängen eine positive Auswirkung auf die Motivation der Lernenden mitbringt. Zumal eine Laborübung in Präsenz ohnehin in manchen Phasen der Corona-Situation keinesfalls erlaubt war, entschloss man sich dazu, virtuelle Rundgänge explorativ in die Distanz-Laborlehre einzubauen, ohne die Auswirkungen auf die Lernenden vorab zu kennen. Um die Studierenden zur Teilnahme an einer Distanz-Laborlehre zu motivieren, wurden daher in den im Projekt entwickelten Szenarien Massnahmen eingeplant, die dazu dienen, die Studierenden über die neuartige Technologie und deren Einsatz im Labor zu informieren. Ziel war es, die Lernenden auf einer allgemeinen Ebene, basierend auf dem Interesse an der Technologie, zur Teilnahme an den Laborübungen zu aktivieren. Als Beispiel kann hier die Benachrichtigung von Studierenden über den Einsatz eines virtuellen Rundgangs in der kommenden Lehrveranstaltung genannt werden. Eine Aktivierung der Studierenden soll dabei auf einem Neuheitseffekt basieren, ausgelöst durch den Einsatz der Technologie in der Lehrveranstaltung. Hier sollte beobachtet werden, ob mit der voranschreitenden technischen Entwicklung in den kommenden Jahren weitere Studien wie

jene von Cai, Ch'ng und Li (2018) oder auch Jokela, Ojala und Väänänen (2019), publiziert werden, die derartige Auswirkungen eines Neuheitseffekts auf die Motivation auch explizit untersuchen.

2. *Welche vorbereitenden Aktivitäten sind zu beachten?* Als Vorbereitung werden in diesem Artikel die an die teilnehmenden Studierenden kommunizierten Aufgaben verstanden, die im Vorfeld einer später synchron abgehaltenen Online-Einheit ausgeführt werden sollen. Dabei sollen die Lernenden in den Aktivitäten einerseits die VR-Technologie und deren Umgang erlernen, andererseits bereits erste einfache inhaltliche Themen vermittelt bekommen. Angenommen wird dabei, dass es durch die vorab abgehaltenen Aktivitäten zu einer Verminderung der kognitiven Belastung in den später folgenden Online-Einheiten kommt (R. E. Mayer und Pilegard 2014). So kann beispielsweise in eigens angepassten virtuellen Rundgängen bereits ein Labor oder ein Raum virtuell frei erkundet werden, um sich mit der Interaktionsgestaltung der VR-Webanwendung wie auch mit der Art des Lernmaterials auseinanderzusetzen. Bei zielgerichteter Auswahl des virtuellen Raums können zudem auch erste thematisch sinnvolle Inhalte vermittelt werden. Ob ein Kennenlernen der VR-Technologie ohne inhaltlichen Bezug zu den Lerninhalten, z. B. die Besichtigung eines Berggipfels als Vorbereitung für eine Lehrinheit zum Thema Automatisierungstechnik, zu eher negativen Emotionen bei Lernenden führt, bleibt eine offene Frage, die in diesem Projekt bisher nicht beantwortet werden konnte. Im Projekt wird jedoch das Ziel verfolgt, den Lernenden den Zweck des Erlernens und Anwendens von VR-Technologien im Zuge von Lehrveranstaltungen klar zu vermitteln. Angemerkt sei hier auch, dass in diesem Artikel unter aktivierenden bzw. vorbereitenden Aufgaben jedenfalls auch Tätigkeiten zum Aufbau oder der Überprüfung von Internetanbindung, Endgeräten und physischen Lernplätzen verstanden werden. In den Praxisbeispielen strukturierte man zudem die aktivierenden Massnahmen in kleine und aufeinander aufbauende Arbeitspakete. Damit soll eine Überlastung der Lernenden und eine daraus resultierende Ablehnung der Lernmaterialien vermieden werden.
3. *Welche nachbereitenden Aktivitäten sind zu beachten?* Diese Aktivitäten können – ähnlich wie in der Vorbereitung – mit dem Ziel gestaltet werden, Lernenden zur weiteren Beschäftigung mit Lerninhalten zu motivieren. Beispielsweise können nach Abschluss von Arbeitsaufträgen (z. B. Beantwortung von Fragen durch Recherchearbeiten) neue virtuelle Räume freigeschaltet oder die Lernenden aufgefordert werden, dass sie sich die bereits zur Verfügung gestellten Rundgänge in der Nachbereitung mit weiteren Endgeräten ansehen, z. B. mit einer Datenbrille (z. B. Oculus Quest) oder am Smartphone. Dadurch erfolgt eine wiederholte Auseinandersetzung mit den Lerninhalten, wobei dieser Prozess durch das geänderte Endgerät und die wiederum neu entstehenden Erfahrungen (anderer Blickwinkel, etc.) für Lernende aktivierend wirken soll.

4. *Wie kann eine Kombination aus online und offline stattfindenden Aktivitäten hergestellt werden?* Eine weitere Fragestellung, die sich in der Entwicklung der Praxisbeispiele stellte, ist jene, wie möglicherweise eine Verknüpfung zwischen online (zugänglich nur mit Internetanschluss) abrufbaren Lernmaterialien und offline verfügbaren Lernaktivitäten gestaltet sein könnte. Mit solchen Kombinationen könnte durch die besondere Abwechslung eine weitere Auseinandersetzung der Lernenden mit den thematischen Inhalten erreicht werden, wobei gleichzeitig der Zwang zu permanenten infrastrukturellen Voraussetzungen (z. B. Endgeräte und Internetanbindung) reduziert wird. Eine Form dafür kann eine offene Übungsaufgabe sein. Dabei sollen Lernende nach der virtuellen Besichtigung eines Labors und seiner Ausstattung eine Planskizze auf Papier zeichnen. Die Aufgabe besteht darin, dass der zu zeichnende Raumplan der eigenen räumlichen Umgebung (eigene Wohnung, Zimmer etc.) entspricht und diese mit den Geräten des Labors ausgestattet wird. Die Aufgaben sind abhängig vom jeweiligen Lehr-Lernziel, aber bei entsprechendem Aufwand für die Lehrenden dennoch konzipierbar. Anzudenken sind auch offline (ohne Internetverbindung) abgehaltene digitale Aktivitäten, z. B. das Erstellen von Mindmaps, z. B. zur Fragestellung, wie der virtuell besichtigte Raum in der Realität genutzt oder erweitert (Welche weitere Ausstattung benötigt der Raum?) werden kann.

### 2.3 *Komponente Betreuung*

Obwohl die Sinnhaftigkeit von Kommunikation zwischen Lehrenden und Lernenden in den vorangegangenen Unterkapiteln bereits indirekt erwähnt wurde, soll nun diese in Verbindung mit der Aktivierung stehende Komponente noch im Detail beschrieben werden. Ziel ist es, den Lernprozess für Lernende durch abgestimmte Elemente der Kommunikation zu fördern. Die Komponente beinhaltet Massnahmen wie z. B. einen angeleiteten virtuellen Rundgang und Instruktionen zum Erlernen der Bedienung der Webanwendung, genauso wie Besprechungen von erarbeiteten Aufgabenergebnissen oder Massnahmen zur Unterstützung von kooperativen Lernsettings (Gruppenarbeit unter Anwendung des virtuellen Rundgangs). Es handelt sich um eine Art Bindeglied zwischen Vermittlung und Aktivierung, wobei Kommunikation in sehr unterschiedlichen Formen auftreten kann. So können Lehrende nach Reinmann (2015) beispielsweise als tutorielle und problemlösende Personen im didaktischen Szenario auftreten oder auch feedbackgebende und weitere Rollen einnehmen.

1. *Wie erfolgt die Auswahl der Möglichkeiten zur synchronen Betreuung?* Gemeint ist dabei vorrangig die Festlegung von Massnahmen zur Kommunikation zwischen Lehrenden und Lernenden, die zwar örtlich (Distanz-Laborlehre) unabhängig, aber zeitlich synchron und gemeinsam stattfinden. Stellvertretend kann dafür eine Online-Videokonferenz genannt werden, wobei auch diverse Webanwendungen für

kollaborierendes Arbeiten wie beispielsweise Notizblöcke, Whiteboards, Abstimmungsplattformen (Voting) als synchrone Kommunikation z. B. für Gruppenarbeiten angesehen werden können. Die besagten Varianten und Tools sollen in den geplanten Szenarien jedenfalls dort berücksichtigt werden, wo bereits im Vorfeld zur Abhaltung der Lehre Verständnisprobleme in der Informationsvermittlung erwartet werden oder wo es methodisch vorteilhaft sein kann, einen bidirektionalen Vermittlungsstil (z. B. Fragen, Antworten, Diskussionen) anzuwenden. Durch die synchrone Kommunikation lässt sich zudem eine Art Präsenz aufbauen, was besonders in der Distanz-Lehre einen Motivationsfaktor darstellen kann. Speziell in den ersten Einheiten der Distanz-Lehre sollte auf eine synchrone Kommunikation gesetzt werden, z. B. zur Überprüfung der Kenntnisse zur Bedienung der VR-Anwendung und in der Unterstützung bei technischen oder strukturellen Fragen oder Problemen. Ebenso können gewisse Inhalte auch als synchron abgehaltener Vortrag vermittelt werden, die Bilder des virtuellen Rundgangs dabei als Unterstützung dienen. Es wäre dabei möglich, dass der Lehrende seine eigene Bildschirmansicht während des Rundgangs per Screensharing-Funktion mit den Lernenden teilt und mit diesen Bildern seine Präsentation unterstützt. Letztlich können auch Aufgabenstellungen synchron gut besprochen werden, wobei der zeitliche Rahmen eine nicht zu unterschätzende Rolle spielt. Gemeint ist damit, ob die Aufgaben in einer einzigen Einheit ausgeführt werden oder in einem gewissen Zeitraum, z. B. über mehrere Wochen erledigt werden sollen. Hier gilt es sicherlich auch anzudenken, mehrere und eventuell auch kürzere virtuelle Präsenzeinheiten über einen Zeitraum verteilt anzubieten. Wie bereits beschrieben, sollen mit diesem Artikel erste Versionen von Fragestellungen zur Gestaltung präsentiert werden. Wie und warum die jeweiligen Antworten bzw. Entscheidungen getroffen werden, kann zumeist nur in der Praxis bestimmt werden, wie jenem in diesem Artikel vorgestellten Projekt geschehen.

2. *Wie erfolgt die Auswahl der Möglichkeiten zur asynchronen Betreuung?* Die zweite und sicherlich häufig in E-Learning-Settings anzutreffende Form ist jene der zeitlich (im Bereich von Distanz-Lehre auch örtlich) unabhängigen bzw. versetzten Betreuung. Fern vom bekannten Frontalunterricht passen sich die Szenarien mit asynchronen Elementen für die Lernenden hinsichtlich Lernzeit und -tempo sowie an die Anzahl der Wiederholungen (z. B. der Übung) an. Zur Vor- oder Nachbereitung von Präsenzblöcken können Aufgaben einzeln oder sogar in der Gruppe abgearbeitet und die Ergebnisse auf einer begleitenden Plattform, z. B. einer gängigen Online-Lernplattform eingereicht werden. Das Feedback zum Ergebnis erfolgt dabei aber ebenfalls zumeist asynchron. Das Setting der asynchronen (und auch jenes der synchronen) Online-Lehre ist selbst nicht neu; mit diesem Artikel soll aber darauf aufmerksam gemacht werden, dass diese Elemente ebenso in Kombination beim Einsatz von neueren Technologien wie eben VR, eingeplant bzw.

beachtet werden sollten. Damit soll mehr Interaktion und Austausch in das jeweilige Szenario gebracht und so vermieden werden, dass sich Lernende in asynchronen Settings alleine oder nicht unterstützt fühlen (Gabriel und Pecher 2021). Die Möglichkeiten sind auch hier vielfältig und reichen von der Beantwortung von Fragen in einem Chatportal bis hin zur Gestaltung eigener virtueller Räume durch die Lernenden, welche zu einem späteren Zeitpunkt vom Lehrenden erkundet und beurteilt werden. Mit dem Blick auf die zu erreichenden Lehr-Lernziele wäre auch ein Mix aus online, offline, analog und digital basierter asynchroner Betreuung denkbar, beispielsweise nach virtuellen Rundgängen und darauffolgenden Einreichungen bzw. der Abgabe eines physisch aufgebauten Prototyps, z. B. eines Zahnrads oder einer Maschine.

#### **2.4 Zusammenwirken der Komponenten**

Wie dieser Artikel vermitteln soll, drängte sich bei der explorativen Entwicklung von didaktischen Szenarien unter Einsatz von virtuellen Rundgängen eine Vielzahl an Fragestellungen auf. Einige dieser Fragen werden von erfahrenen E-Learning-Lehrenden in ähnlicher Form sicherlich als bekannt und selbstverständlich eingeordnet. Jedoch ist auch für erfahrene Lehrende, der Umgang mit medientechnisch anspruchsvollem Equipment und Werkzeugen sowie der mehrstufige Prozess zur Produktion von qualitativ höherwertigen Panoramafotos und eine Erstellung von virtuellen Rundgängen eine Herausforderung (Feurstein 2018). Wie Bett (2018) schreibt, entstehen dazu auch bereits geänderte Berufsbilder in der Lehre; beispielsweise verfügen «Learning & Development-Spezialisten» über bereichsübergreifende Kompetenzen und bringen daher sowohl inhaltliche als auch medientechnische Expertise in die Lehre ein. Die Autoren dieses Beitrags und Umsetzer der im nächsten Kapitel gezeigten Praxisbeispiele verfügen mit einer Hochschulausbildung in den Bereichen Medientechnik, Elektronik, Informatik und Automatisierungstechnik sowie einer Ausbildung und mehrjährigen Erfahrung in der Hochschuldidaktik ebenso über ein breites Kompetenzspektrum. Dieses kam in der Konzeption, Entwicklung und bei der Durchführung der im folgenden Kapitel beschriebenen didaktischen Szenarien zur Geltung. Bezugnehmend auf die Szenarien sei hier angemerkt, dass es sich aus Sicht der Autoren dabei lediglich um *einen* Ansatz zur Gestaltung von Distanz-Lehre handelt. Wie bereits erwähnt, existieren sicherlich weitere Ansätze und Werkzeuge (z. B. Remote Labore), welche in didaktischen Szenarien der Distanz-Laborlehre angewendet werden können. Wichtig ist hier die Auseinandersetzung mit Theorien, Prinzipien und Richtlinien des multimedialen Lernens und dem Thema der Distanz-Lehre (Ouyang und Stanley 2014). Die für die im nächsten Kapitel beschriebenen Praxisbeispiele beachteten Fragestellungen bzw. gemachten Entscheidungen orientieren sich, wie bereits beschrieben, an den Komponenten *Vermittlung, Aktivierung und Betreuung*. Ziel war es, auch

unter Einsatz von VR-Technologie keine der Komponenten wegzulassen oder gar allein stehend anzuwenden. Die Praxisbeispiele sollen veranschaulichen, dass sich alle drei Komponenten auch im Einsatz von virtuellen Rundgängen, wie eben jener in der Distanz-Laborlehre, verknüpfen lassen. Dadurch soll bei Studierenden eine Steigerung der Lernmotivation hervorgerufen werden. Wie Burdinski (2018) zeigt, ist dazu aber eine genaue Konzeption und zielgerichtete Entwicklung von Lernmaterialien in Abstimmung der Lehr-Lernziele erforderlich.

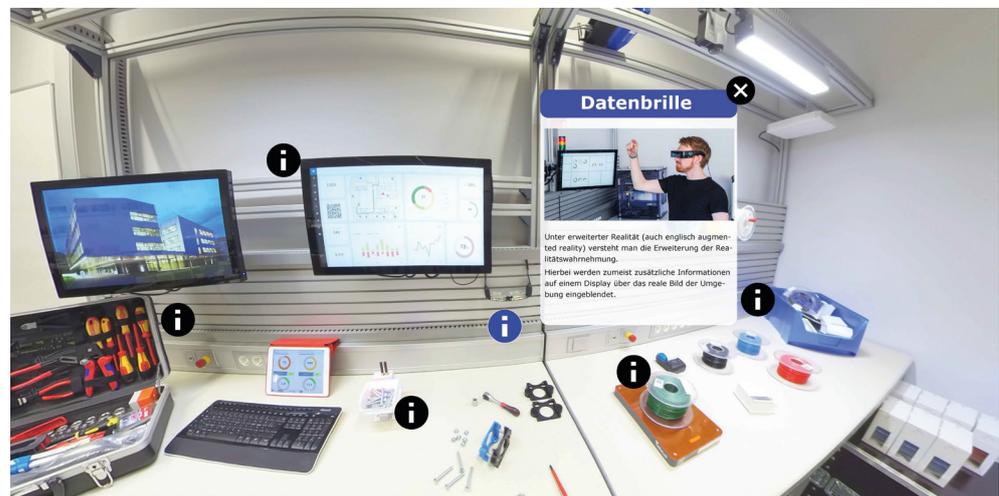
### 3. Praxisbeispiele aus dem Projekt Lab4home

Nachdem im vorangegangenen Kapitel die für die Gestaltung der virtuellen Rundgänge erarbeiteten Fragestellungen vorgestellt wurden, werden nun zwei konkret an der Fachhochschule St. Pölten umgesetzte Beispiele aus der Distanz-Laborlehre beschrieben. Dabei werden didaktische wie auch technologische Entscheidungen und die wichtigsten Umsetzungsschritte vorgestellt und diskutiert. Eine Evaluierung der folgenden Beispiele erfolgte in Form der hausinternen Lehrveranstaltungsevaluierung nach Weißenböck (2016). Diese soll einen ersten Überblick zur studentischen Zufriedenheit mit der Qualität der Lehre bieten. Das Feedback der Studierenden erfolgt hier in Form einer Ampevaluierung von grün (alles ok), gelb (ok mit Verbesserungsmöglichkeit) und rot (nicht ok, klare Mängel) in Kombination mit einer Kommentarfunktion. Die Studierenden sollen dabei in einem Kommentar die gewählte Ampelfarbe begründen. Die Befragung der Studierenden wurde etwa 1 Monat nach dem Ende der Lehrveranstaltung per Onlineformular anonymisiert durchgeführt.

#### 3.1 Praxisbeispiel 1: Laboreinschulung

Wie zu Beginn erwähnt, verfügt das Industrie 4.0 Labor über eine auf die jeweiligen technischen Studiengänge abgestimmte Infrastruktur und Ausstattung. Darunter befinden sich elf als Elektronik-Arbeitsplatz ausgelegte Werkzeuge. Diese Tische verfügen neben allgemeiner Ausstattung wie Arbeitslicht und Computersysteme auch über diverse Elektronik-Messgeräte, Werkzeug und Zubehör. Stellvertretend seien hier Multimeter, Schraubendreher, Messkabel und Lötstationen genannt. Aufgrund der erweiterten Ausstattung und der zumeist bei Studierenden fehlenden Vorkenntnisse und Kompetenzen zur Anwendung der Tische wurden speziell im ersten Semester und in Vorbereitung auf Lehrveranstaltungen wie z. B. «Grundlagen der Elektrotechnik» Einschulungen abgehalten. Mit definierten und in der Taxonomie nach Krathwohl, Bloom und Masia (1978) einzuordnenden Lehr-Lernzielen im Bereich «Erinnern» und «Verstehen» sollten die Lernenden nach den Einschulungen, die im Labor vorzufindende Ausstattung benennen und deren Zweck zum Einsatz in den darauf folgenden Labor-Lehrveranstaltungen begründen können. Ausgehend von diesen Zielen wurde

ein erster virtueller Rundgang bzw. einige Panoramafotos dazu produziert. Die Vermittlung erfolgte in Form einer Einbettung in eine Online-Lernplattform, basierend auf Moodle. Die Abbildung der Tische wurde mit einer 360°-Kamera (Insta360 Pro) durchgeführt, da diese eine schnelle und hochauflösende Aufnahme (7.680 x 3.840) mit wenig Aufwand in der Nachbearbeitung ermöglicht. Die Bedienung ähnelt der einer Consumer-Actioncam, wobei in der Nachbearbeitung eine speziell mitgelieferte Software zur Erstellung des Kugelpanoramas (Zusammenführen der aufgenommenen Fotos) verwendet werden muss. Eine Korrektur von Helligkeit, Farbe etc. kann nach diesem Prozess in jeder beliebigen Bildbearbeitungssoftware durchgeführt werden. Es wurden insgesamt drei Panoramafotos für einen Tisch erstellt, wobei der zeitliche Aufwand zur Vorbereitung des physischen Tisches sicherlich höher war als jener für die Fotoaufnahmen. Auf den Tischen mussten die für die Einschulung wichtigen Geräte und Werkzeuge sowie das Zubehör sichtbar positioniert und ebenso unwichtige Dinge (Stifte, Papier, Sessel) entfernt werden. Dieser Vorgang diente, wie bereits beschrieben, zur Reduzierung kognitiver Überlastung. Die Studierenden sollen nicht von unnötigen Dingen am Tisch abgelenkt werden. Hinsichtlich einer Aktivierung der Lernenden zur Besichtigung der Panoramafotos und somit zur Vorbereitung auf die in Präsenz stattfindenden Laborübungen wurden die Studierenden zu einer Online-Präsentationsveranstaltung und Diskussionsrunde eingeladen. Dabei wurde der Raum, das Equipment und ebenso die Steuerung der Webanwendung erstmals virtuell per synchron abgehaltener Online-Videokonferenz vorgestellt. Eine Woche vor dem eigentlichen Präsenztermin sollten die Studierenden noch zusätzlich einen Multiple Choice-Fragebogen zur Laborausstattung bearbeiten. Dabei konnte ebenfalls der durchgängig auf der Lernplattform ersichtliche virtuelle Rundgang zur Beantwortung der Fragen hinzugezogen werden. Die Informationen zu den Labortischen und dem Equipment konnten die Lernenden dazu aus dem virtuellen Rundgang beziehen, da – wie auch in Abbildung 1 ersichtlich – zu den Panoramafotos interaktive Text- und Bildelemente hinzugefügt wurden. Ein Hinzufügen von erweitertem Content und die Veröffentlichung als interaktive Webanwendung kann neben professionellen Entwickleranwendungen (z. B. Pano2VR) auch mit einfach (wenig Zeitaufwand) zu erlernenden Web-Toolkits umgesetzt werden. Als Empfehlung soll hier die Virtual-Tour-Funktion von H5P genannt werden. Der virtuelle Rundgang ist vorerst zur Betrachtung auf Desktop und mobilen Endgeräten (Smartphone und Tablets) ausgelegt. Eine Betrachtung per Datenbrille wäre ebenso bereits möglich, wofür aber noch eine Adaptierung der Eingabemöglichkeiten (derzeit erfolgt die Steuerung per Maus) erfolgen sollte.



**Abb. 1:** Screenshot des virtuellen Rundgangs mit interaktiven Elementen.

### Resultat Praxisbeispiel 1

Nach der ersten Umsetzung sowie der Einbettung ins Lehrkonzept zeigte sich, dass Konzeption und auch Umsetzung von niederschweligen Angeboten im Bereich der 360°-Rundgänge nur wenig Zeit in Anspruch nehmen. Neben allgemeinen Fachkompetenzen im Bereich E-Learning reichten zudem lediglich Kenntnisse zum Umgang mit Actioncams aus, um das dargestellte Beispiel praktisch umzusetzen und anzuwenden. Durch die virtuelle Einschulung konnte die Dauer der Präsenzzeit im Lab wie auch die Zeit für nachträgliche Einschulungen in der tatsächlichen Lehrveranstaltung reduziert werden. Vor der Adaptierung dieses didaktischen Konzepts dauerte eine Einschulung in Präsenz ca. 45 Minuten, danach hatten die Studierenden keine Möglichkeit mehr, sich weiter mit dem Equipment zu beschäftigen. Dadurch ging bei den folgenden Lehrveranstaltungen Zeit aufgrund der nachträglichen Einschulungen verloren. Mit der virtuellen Abbildung steht nun den Studierenden über Monate hinweg und begleitend zur Lehrveranstaltung eine Möglichkeit zur weiteren Aneignung von Wissen zur Verfügung. Tabelle 1 soll nochmals verdeutlichen, wie die in Kapitel 2 präsentierten Fragestellungen im Rahmen dieses Beispiels beantwortet wurden.

Komponente Vermittlung (2.1)	
Was soll virtuell abgebildet werden?	Tische und Equipment des Labs
Welche Technologie zur Abbildung?	Insta360 Pro, einfach und hohe Auflösung
Welches Endgerät?	Smartphone und Laptop
Welche Interaktivität?	Navigation im Raum und Auswahl von Punkten (Hotspots)
Welche multimediale Darstellung?	Klickbare Text- und Bildelemente (Hotspots mit Infos)

<b>Komponente Aktivierung (2.2)</b>	
Nutzung des virtuellen Rundgangs zur Motivation?	E-Mail-Einladung zur Präsentation des neuen virtuellen Rundgangs im Lab.
Welche vorbereitenden Aktivitäten?	Sicherstellung der Internetverbindung und Verfügbarkeit passender Endgeräte .
Welche nachbereitenden Aktivitäten?	Den Virtuellen Rundgang vor der Präsenzeinheit nochmals ansehen.
Kombination aus Online und Offline?	Diese Frage wurde aufgrund von Zeitmangel zur Umsetzung nicht berücksichtigt.
<b>Komponente Betreuung (2.3)</b>	
Art der synchronen Betreuung?	Gemeinsamer Online-Präsentationstermin und Diskussion.
Art der asynchronen Betreuung?	Fragen können asynchron per Moodle an die Lehrenden gesendet werden.

**Tab. 1:** Praktische Umsetzung der Szenario-Elemente im Beispiel 1.

#### *Feedback der Studierenden – Praxisbeispiel 1*

Das beschriebene Praxisbeispiel wurde in der Lehrveranstaltung «Labor Elektrotechnik» im Wintersemester 2020 erstmals umgesetzt und evaluiert. Dabei kam es in der per Onlineformular durchgeführten Erhebung bei 30 angemeldeten Studierenden zu einem Rücklauf von neun ausgefüllten Formularen. Die Wahl der Ampelfarbe fiel bei allen an der Evaluierung teilgenommenen Studierenden auf grün (alles ok). Sechs Studierende begründeten zusätzlich ihr Ampelfeedback mit einem Kommentar, wobei wiederum alle Kommentare trotz der Umstellung auf Distanz-Laborlehre, aus der Sicht der Autoren positiv ausfielen.

«[...] einer der besten Lehrer im Semester [...]. Der Aufbau des Unterrichts, die fachliche Kompetenz als auch der Umgang mit den Studenten [...].» (Feedback-Kommentar 1)

«[...] Großartige Umsetzung des online Labors, der beste online Unterricht dieses Studiums.» (Feedback-Kommentar 2)

«[...] das Wissen sehr gut trotz Fernsehlehre übermittelt!..» (Feedback-Kommentar 3)

«Sehr interessant gestaltet und macht Lust auf mehr Elektrotechnik-Labor! Leider konnten wir durch Corona nicht alle Übungen in Präsenz abhalten.» (Feedback-Kommentar 4)

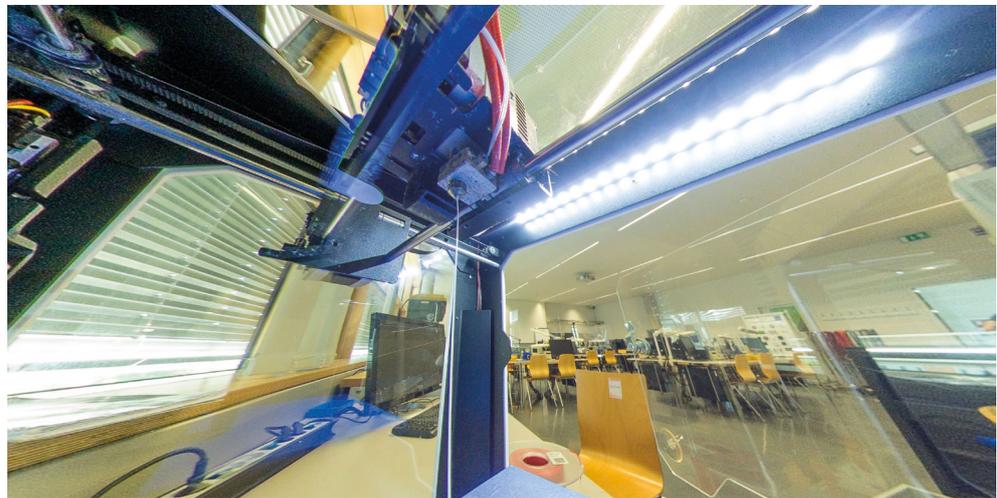
«Leider coronabedingt absolute Ausnahmesituation, dafür sehr sehr gut gelöst. Besonderes Lob für Christoph Braun, wie er es geschafft hat ausgerechnet dieses Fach derart gut in Fernlehre zu vermitteln. » (Feedback-Kommentar 5)

«Hier einfach nur ein großen Lob an die Vortragenden. [...]» (Feedback-Kommentar 6)

### 3.2 Praxisbeispiel 2: Laborführungen

Ein weiterer bereits durchgeführter Anwendungsfall stellt seit Sommersemester 2020 die Möglichkeit zu virtuellen Laborführungen dar. Neben den bereits beschriebenen Elektronik-Arbeitsplätzen verfügt das Industrie 4.0 Labor der Fachhochschule St. Pölten über mehrere thematisch gestaltete Lerninstallationen. Diese befinden sich zu meist in Form eines Tisches mit darauf platzierten speziellen Technologien im Raum. Als Beispiel soll hier nun der 3D-Druck-Tisch genannt werden. Mit diesem Tisch soll, wiederum nach definierten Lehr-Lernzielen, den Lernenden Wissen zum Thema 3D-Druck vermittelt werden. Die Lernenden kennen nach einer Lehreinheit beispielsweise die mechanischen Komponenten und können deren Funktionsweise innerhalb der Maschine (3D-Drucker) erklären. Auch hier wurden die aufgrund des Einsatzes der VR-Technologie neu entstehenden Möglichkeiten und eine Kombination bzw. Eingliederung in ein didaktisches Szenario überprüft. Es wurde, wie bereits im Beispiel 1, der Tisch bzw. die Lerninstallation per 360°-Actioncam abgebildet. Auch hier wurden inhaltlich nicht relevante Dinge vom Tisch entfernt und inhaltlich wichtige Dinge gezielt in Szene gesetzt, z. B. durch eine vorteilhaftere Ausleuchtung oder Platzierung der Komponenten. Nach der Anpassung wurden wieder drei verschiedene Aufnahmen gemacht, wobei zusätzlich zur allgemeinen Abbildung des gesamten Tisches zwei Aufnahmen innerhalb des 3D-Druckers entstanden. Dazu wurde die 360°-Kamera (Insta360 ONE X) oberhalb und unterhalb des sogenannten Druckbetts im Inneren des Druckers für jeweils eine Aufnahme platziert. Der Drucker befand sich dabei im ausgeschalteten Zustand. Den Lernenden werden damit in drei verschiedenen Kameraeinstellungen Informationen zur Grösse, Platzierung und Anwendung der Maschine und, wie in Abbildung 2 ersichtlich, technische Details zur Drucktechnologie direkt aus dem Inneren eines 3D-Druckers vermittelt. In der Online-Lehre bzw. bei Laborführungen werden diese Aufnahmen in einer vom Lehrenden abgehaltenen Präsentation gezeigt. Dazu werden die Kugelpanoramafotos vom Lehrenden aufgerufen und per Screensharing-Funktion den Lernenden über ein Online-Videokonferenztool präsentiert. Die Studierenden haben damit keine Möglichkeit, den virtuellen Rundgang selbst zu steuern, lediglich der Lehrende präsentiert den jeweils inhaltlich relevanten Blickwinkel. Dazu wird nur gesprochener Text (des Lehrenden) in Kombination mit den Fotoaufnahmen vermittelt. Diese Gestaltungsentscheidung basiert auf dem

Modalitätseffekt nach Sweller, Ayres und Kalyuga (2011) und soll in der gemeinsamen Nutzung von visuellem und akustischem Mediencontent als lernförderlich wirken. Eine Aktivierung erfolgt in diesem Praxisbeispiel durch Diskussionen während der synchron abgehaltenen Präsentation der Panoramafotos. Diese Bilder werden zusätzlich nach der Lehreinheit wieder als interaktive Version (aufbereitet mit Textelementen) auf einer Online-Lernplattform veröffentlicht, um damit eine Möglichkeit zur nachträglichen Betrachtung zu schaffen, welche auch für weiterführende nachbereitende Aufgaben dienen kann.



**Abb. 2:** Screenshot des 360°-Panoramafotos im Inneren eines 3D-Druckers ohne interaktive Elemente.

#### *Resultat Praxisbeispiel 2*

Dieses Praxisbeispiel ist aktuell weiterhin im Einsatz und zeigt bisher im Vergleich zu in Präsenz abgehaltenen Laborführungen mehrere Auswirkungen auf die Lehre und deren Planung. Auch wenn, wie von Gabriel und Pecher (2021) beschrieben, bei jeder Distanz-Laborlehre beachtet werden sollte, dass die Qualität der sozialen Kommunikation eingeschränkt ist, vertreten die Autoren dieses Artikels die Meinung, dass durch die detaillierte Betrachtungsweise (z. B. im Innenraum des 3D-Druckers) der Maschine für Studierende neue Möglichkeiten zur Vermittlung der Lerninhalte entstehen. Beispielsweise ist das physische Platzangebot rund um den 3D-Druck-Tisch begrenzt, was zur Folge hat, dass nicht alle Lernenden (zumeist 10 bis 20 Personen) den gleichen Blickwinkel zur Lerninstallation haben. Die Online-Variante bietet durch die 360°-Aufnahmen einen persönlich wie auch real wirkenden Blick auf die Maschine und ermöglicht dazu noch Einblicke in die Maschine, die in Präsenz in dieser Art auch nicht möglich wären. Die Erfahrung hat bereits gezeigt, dass das Industrie 4.0 Labor zudem mit einer Online-Laborführung planungstechnisch besser

genutzt werden kann. So kann eine reale Lehrveranstaltung eines Studiengangs im Labor abgehalten werden, während ebenfalls synchron online eine Laborführung für einen weiteren Studiengang abgehalten wird.

<b>Komponente Vermittlung (2.1)</b>	
Was soll virtuell abgebildet werden?	Lerninstallationen und Maschinen des Labs
Welche Technologie zur Abbildung?	Insta360 ONE X, Platzierung in der Maschine
Welches Endgerät?	Smartphone und Laptop
Welche Interaktivität?	Keine Interaktion – nur zum synchronen Mitverfolgen in der Online-Lehre gedacht.
Welche multimediale Darstellung?	Bilder werden kombiniert mit gesprochenem Text des Lehrenden synchron präsentiert.
<b>Komponente Aktivierung (2.2)</b>	
Nutzung des virtuellen Rundgangs zur Motivation?	E-Mail-Einladung zur Präsentation des neuen virtuellen Rundgangs im Lab.
Welche vorbereitenden Aktivitäten?	Sicherstellung der Internetverbindung und Endgerät zur Verfügung.
Welche nachbereitenden Aktivitäten?	Rundgang steht danach zur nochmaligen selbstständigen Betrachtung bereit.
Kombination aus Online und Offline?	Diese Frage wurde aufgrund von Zeitmangel zur Umsetzung nicht berücksichtigt.
<b>Komponente Betreuung (2.3)</b>	
Art der synchronen Betreuung?	Gemeinsamer Online-Präsentationstermin und Diskussion.
Art der asynchronen Betreuung?	Fragen können asynchron per Moodle an die Lehrenden gesendet werden.

**Tab. 2:** Praktische Umsetzung der Szenario-Elemente im Beispiel 2.

#### *Feedback der Studierenden – Praxisbeispiel 2*

Das beschriebene Praxisbeispiel wurde in der Lehrveranstaltung Labor Maschinenbau im Wintersemester 2020 erstmals umgesetzt und evaluiert. Per Onlineformular wurde dabei von 31 angemeldeten Studierenden ein Rücklauf von zehn ausgefüllten Formularen erhalten. Die Wahl der Ampelfarbe fiel dabei bei drei Studierenden auf gelb (ok mit Verbesserungsmöglichkeit) und bei sieben auf grün (alles ok). Das Ampelfeedback wurde hier allerdings mit nur wenigen Kommentaren begründet. Auf dieser Basis war es vorerst somit nicht möglich, einzelne Gestaltungsentscheidungen wie z. B. die Innenansicht eines 3D-Druckers im Detail zu beurteilen.

«[...] Vorreiter, wie online Unterricht zu führen ist. [...]» (Feedback-Kommentar 1)

«Interessant und gute Abwechslung zum theoretischen Teil. Dozent sehr bemüht.» (Feedback-Kommentar 4)

«Sehr interessant gestaltet und freut sich immer über Gespräche und Mitarbeit. In Summe können alle sehr viel lernen aus dieser Übung.» (Feedback-Kommentar 5)

«[...] Erklärung zum 3D Druck. Den Umständen entsprechend sehr gut gelöst.» (Feedback-Kommentar 7)

#### **4. Fazit und Ausblick**

Die in diesem Artikel gezeigten Beispiele zu Entwicklung und Einsatz von 360°-Bildmaterialien in didaktischen Szenarien der Distanz-Laborlehre stellen für die Autoren lediglich die Ausgangsbasis zu einer breiten Untersuchung unter Anwendung von Methoden der empirischen Bildungsforschung dar. Auf die in der Einleitung gestellte Frage, wie virtuelle Rundgänge als Element eines didaktischen Szenarios in der Distanz-Laborlehre eingesetzt werden können, erfolgte eine Beantwortung mit der explorativen Entwicklung und Umsetzung von zwei Praxisbeispielen. Basierend darauf wurden Fragestellungen sowie erste Gestaltungsempfehlungen zur Umsetzung weiterer didaktischer Szenarien erarbeitet. Weitere virtuelle Rundgänge sollen mit diesen Fragestellungen entwickelt und evaluiert werden, um damit eine Adaptierung und Generalisierung dieser Fragestellungen zu forcieren. Gezwungen, durch die Corona-Pandemie kurzfristig neue sowohl finanziell als auch technisch machbare Möglichkeiten zur Informationsvermittlung zu erarbeiten, stellen die gezeigten Praxisbeispiele vorerst einen persönlichen Erfahrungsbericht dar, unterstützt durch eine rudimentäre Evaluierung auf der Grundlage des Feedbacks Studierender. In der ersten Phase des Projekts Lab4home wurde jedoch gezeigt, dass bereits Möglichkeiten bestehen, eine Distanz-Laborlehre durch den Einsatz von virtuellen Rundgängen inhaltlich zu erweitern und damit für Studierende eine Attraktivierung der Distanz-Laborlehre zu erreichen. Neben grundlegenden E-Learning Kompetenzen genügten bereits wenige medientechnische Praxiskenntnisse aus den Bereichen Fotografie und Webdesign, um die didaktischen Szenarien durchzuführen. Zu beachten gibt es dabei, dass virtuelle Rundgänge auch weitere Möglichkeiten zur Verknüpfung, etwa mit offline gestalteten Distanz-Szenarien bieten. Genannt werden soll dabei das ebenfalls im Projekt Lab4home untersuchte Beispiel zu mobilen Labor-Trainingskits für zu Hause, welches einen Flipped-Lab Ansatz verfolgt, aber in diesem Artikel nicht

weiter thematisiert wurde. In Zukunft sollen weitere Untersuchungen zur Verknüpfung von didaktischer Anforderung und technischer Machbarkeit (z. B. Einblendung von Live-Daten des Labors und Live-Videos durch mobile 360°-Kameras) angestrebt und die Zweckmäßigkeit virtueller Rundgänge gegenüber weiteren Abbildungsformen wie z. B. Lernvideos im Einsatz der Distanz-Lehre untersucht werden.

### Literatur

- Bett, Katja. 2018. «Didaktisches Design digitaler Lernformate – Was macht eigentlich ein Learning & Development-Spezialist?» In *eLearning erfolgreich konzipieren: Strategie, Methodik, Didaktik: Best Practice, Handlungsempfehlungen, Testberichte*, herausgegeben von Frank Siepmann, 24-30 Seiten. Praxisratgeber 2018/2019. Hagen im Bremischen: Siepmann Media. [https://clc-learning.de/app/uploads/2020/03/elj32018\\_art\\_bett.pdf](https://clc-learning.de/app/uploads/2020/03/elj32018_art_bett.pdf).
- Bowman, Doug A., Larry F. Hodges, Don Allison, und Jean Wineman. 1999. «The Educational Value of an Information-Rich Virtual Environment». *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 8 (3): 317–31. <https://doi.org/10.1162/105474699566251>.
- Burdinski, Dirk. 2018. «Flipped Lab Ein verdrehtes Laborpraktikum». In *Digitalisierung und Hochschulentwicklung: Proceedings zur 26. Tagung der Gesellschaft für Medien in der Wissenschaft e.V.*, herausgegeben von Barbara Getto, Patrick Hintze, und Michael Kerres, 164–72. Medien in der Wissenschaft, Band 74. Münster New York: Waxmann. <https://doi.org/10.25656/01:17082>.
- Cai, Shengdan, Eugene Ch'ng, und Yue Li. 2018. «A Comparison of the Capacities of VR and 360-Degree Video for Coordinating Memory in the Experience of Cultural Heritage». In *2018 3rd Digital Heritage International Congress (DigitalHERITAGE) held jointly with 2018 24th International Conference on Virtual Systems & Multimedia (VSMM 2018)*, 1–4. San Francisco, CA, USA: IEEE. <https://doi.org/10.1109/DigitalHeritage.2018.8810127>.
- Ceulemans, Danielle S, Renate G Klaassen, Merle M de Kreuk, Jan Douma, und Michel J J Beerens. 2018. «360-Degree Virtual Tour for Educational Purposes. An Exploration on the Design Considerations and Decisions». In *Proceedings of the 14th International CDIO Conference, Kanazawa Institute of Technology*. Kanazawa, Japan. [http://www.cdio.org/files/document/file/27\\_Final\\_MS\\_Word.pdf](http://www.cdio.org/files/document/file/27_Final_MS_Word.pdf).
- Daling, Lea, Christopher Kommetter, Anas Abdelrazeq, Markus Ebner, und Martin Ebner. 2020. «Mixed Reality Books: Applying Augmented and Virtual Reality in Mining Engineering Education». In *Augmented Reality in Education*, herausgegeben von Vladimir Geroimenko, 185–95. Springer Series on Cultural Computing. Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-42156-4\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-42156-4_10).
- Daling, Lea M., Samira Khodaei, Stefan Thurner, Anas Abdelrazeq, und Ingrid Isenhardt. 2021. «A Decision Matrix for Implementing AR, 360° and VR Experiences into Mining Engineering Education». In *HCI International 2021 - Posters*, herausgegeben von Constantine Stephanidis, Margherita Antona, und Stavroula Ntoa, 1420:225–32. Communications in Computer and Information Science. Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-78642-7\\_30](https://doi.org/10.1007/978-3-030-78642-7_30).

- Dörner, Ralf, Christian Geiger, Leif Oppermann, und Volker Paelke. 2013. «Interaktionen in Virtuellen Welten». In *Virtual und Augmented Reality (VR/AR)*, herausgegeben von Ralf Dörner, Wolfgang Broll, Paul Grimm, und Bernhard Jung, 157–93. eXamen.press. Berlin, Heidelberg: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-28903-3\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-642-28903-3_6).
- Feurstein, Michael S. 2018. «Towards an Integration of 360-Degree Video in Higher Education». In *Proceedings of DeLFI Workshops 2018 Co-Located with 16th e-Learning Conference of the German Computer Society*, herausgegeben von Daniel Schiffner. Frankfurt, Germany. [http://ceur-ws.org/Vol-2250/WS\\_VRAR\\_paper3.pdf](http://ceur-ws.org/Vol-2250/WS_VRAR_paper3.pdf).
- Feurstein, Michael S. 2019. «Exploring the Use of 360-degree Video for Teacher- Training Reflection in Higher Education». In *Proceedings of DELFI Workshops 2019*, herausgegeben von Sandra Schulz, 152–60. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V.z. <https://doi.org/10.18420/delfi2019-ws-117>.
- Fraune, Marlena R., Ahmed S. Khalaf, Mahlet Zemedie, Poom Pianpak, Zahra NaminiMianji, Sultan A. Alharthi, Igor Dolgov, Bill Hamilton, Son Tran, und Z.O. Touns. 2021. «Developing Future Wearable Interfaces for Human-Drone Teams through a Virtual Drone Search Game». *International Journal of Human-Computer Studies* 147 (März): 102573. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2020.102573>.
- Gabriel, Sonja, und Helmut Pecher. 2021. «Soziale Präsenz in Zeiten von CoViD-19 Distanz-Lehre». *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung* 40 (CoViD-19): 206–28. <https://doi.org/10.21240/mpaed/40/2021.11.17.X>.
- Gerlich, Wolfgang. 2014. «Lehrräume effektiv gestalten». In *Neue Technologien – Kollaboration – Personalisierung*, herausgegeben von Johann Haag, Josef Weißenböck, Wolfgang Gruber, und Christian F Freisleben-Teutscher, 78–84. Tag der Lehre an der FH St. Pölten. Leobersdorf: druck.at. [http://skill.fhstp.ac.at/wp-content/uploads/2014/06/Tagungsband\\_TagderLehre\\_Online\\_2015-31.pdf](http://skill.fhstp.ac.at/wp-content/uploads/2014/06/Tagungsband_TagderLehre_Online_2015-31.pdf).
- Hasanbegovic, Jasmina. 2004. «Kategorisierungen als Ausgangspunkt der Gestaltung innovativer E-Learning-Szenarien». In *E-Learning in Hochschulen und Bildungszentren*, herausgegeben von Dieter Euler und Sabine Seufert. Berlin, Boston: DE GRUYTER. <https://doi.org/10.1515/9783486593754.243>.
- Heinz, Mario, Sebastian Büttner, und Carsten Röcker. 2019. «Exploring Training Modes for Industrial Augmented Reality Learning». In *Proceedings of the 12th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments – PETRA '19*, 398–401. Rhodes, Greece: ACM Press. <https://doi.org/10.1145/3316782.3322753>.
- Hellriegel, Jan, und Dino Čubela. 2018. «Das Potenzial von Virtual Reality für den schulischen Unterricht – Eine konstruktivistische Sicht». *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung* (Occasional Papers): 58–80. <https://doi.org/10.21240/mpaed/00/2018.12.11.X>.
- Hirzinger, Gerd, und Bernhard Strackenbrock. 2020. «Das Projekt „Bayern 3D – Heimat Digital“». *ICOMOS – Hefte des Deutschen Nationalkomitees* August: 237-246. <https://doi.org/10.11588/IH.2019.0.75039>.

- Janßen, Daniela, Christian Tummel, Anja Richert, und Ingrid Isenhardt. 2016. «Towards Measuring User Experience, Activation and Task Performance in Immersive Virtual Learning Environments for Students». In *Immersive Learning Research Network*, herausgegeben von Colin Allison, Leonel Morgado, Johanna Pirker, Dennis Beck, Jonathon Richter, und Christian Gütl, 621:45–58. Communications in Computer and Information Science. Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-41769-1\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-41769-1_4).
- Jokela, Tero, Jarno Ojala, und Kaisa Väänänen. 2019. «How People Use 360-Degree Cameras». In *Proceedings of the 18th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*, 1–10. Pisa Italy: ACM. <https://doi.org/10.1145/3365610.3365645>.
- Krämer, Nicole C. 2017. «The Immersive Power of Social Interaction». In *Virtual, Augmented, and Mixed Realities in Education*, herausgegeben von Dejian Liu, Chris Dede, Ronghuai Huang, und John Richards, 55–70. Smart Computing and Intelligence. Singapore: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-5490-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-981-10-5490-7_4).
- Krathwohl, David R., Benjamin Samuel Bloom, und Bertram B. Masia. 1978. *Taxonomie von Lernzielen im affektiven Bereich*. 2. Aufl. Beltz-Studienbuch 85. Weinheim Basel: Beltz.
- Makransky, Guido, Thomas S. Terkildsen, und Richard E. Mayer. 2019. «Adding Immersive Virtual Reality to a Science Lab Simulation Causes More Presence but Less Learning». *Learning and Instruction* 60 (April): 225–36. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.12.007>.
- Mayer, Richard E. 2005. «Cognitive Theory of Multimedia Learning». In *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*, herausgegeben von Richard Mayer, 1. Aufl., 31–48. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511816819.004>.
- Mayer, Richard E., und Celeste Pilegard. 2014. «Principles for Managing Essential Processing in Multimedia Learning: Segmenting, Pre-training, and Modality Principles». In *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*, herausgegeben von Richard Mayer, 2. Aufl., 316–44. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.016>.
- Moser, Thomas, Petra Wochner, Katalin Szondy, Franz Fidler, Herwig W. Schneider, Roman Dorfmayr, Sebastian Schlund, und Valentina Flores. 2017. «Anwendungsfallbasierte Erhebung Industrie 4.0 relevanter Qualifikationsanforderungen und deren Auswirkungen auf die österreichische Bildungslandschaft». Wien. [https://www.ffg.at/sites/default/files/allgemeine\\_downloads/thematische%20programme/Produktion/aeiqu\\_endversion\\_20171027.pdf](https://www.ffg.at/sites/default/files/allgemeine_downloads/thematische%20programme/Produktion/aeiqu_endversion_20171027.pdf).
- Mulders, Miriam, Josef Buchner, und Michael Kerres. 2020. «A Framework for the Use of Immersive Virtual Reality in Learning Environments». *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)* 15 (24): 208–24. <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i24.16615>.
- Ouyang, John Ronghua, und Nile Stanley. 2014. «Theories and Research in Educational Technology and Distance Learning Instruction through Blackboard». *Universal Journal of Educational Research* 2 (2): 161–72. <https://doi.org/10.13189/ujer.2014.020208>.
- Pfeiffer, Sabine, Horan Lee, Christopher Zirrig, und Anne Suphan. 2016. «Industrie 4.0 – Qualifizierung 2025». Frankfurt am Main: VDMA. <https://www.sabine-pfeiffer.de/files/downloads/2016-Pfeiffer-Industrie40-Qualifizierung2025.pdf>.

- Pirker, Johanna, Michael Holly, Isabel Lesjak, Johannes Kopf, und Christian Gütl. 2019. «MaroonVR—An Interactive and Immersive Virtual Reality Physics Laboratory». In *Learning in a Digital World*, herausgegeben von Paloma Díaz, Andri Ioannou, Kaushal Kumar Bhagat, und J. Michael Spector, 213–38. Smart Computing and Intelligence. Singapore: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-8265-9\\_11](https://doi.org/10.1007/978-981-13-8265-9_11).
- Radianti, Jaziar, Tim A. Majchrzak, Jennifer Fromm, und Isabell Wohlgenannt. 2020. «A Systematic Review of Immersive Virtual Reality Applications for Higher Education: Design Elements, Lessons Learned, and Research Agenda». *Computers & Education* 147 (April): 103778. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>.
- Reinmann, Gabi. 2015. «Studientext Didaktisches Design». [https://gabi-reinmann.de/wp-content/uploads/2018/07/Studientext\\_DD\\_Sept2015.pdf](https://gabi-reinmann.de/wp-content/uploads/2018/07/Studientext_DD_Sept2015.pdf).
- Richards, John. 2017. «Infrastructures for Immersive Media in the Classroom». In *Virtual, Augmented, and Mixed Realities in Education*, herausgegeben von Dejian Liu, Chris Dede, Ronghuai Huang, und John Richards, 89–104. Smart Computing and Intelligence. Singapore: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-5490-7\\_6](https://doi.org/10.1007/978-981-10-5490-7_6).
- Schnotz, Wolfgang. 2005. «An Integrated Model of Text and Picture Comprehension». In *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*, herausgegeben von Richard Mayer, 1. Aufl., 49–70. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511816819.005>.
- Schulmeister, Rolf. 2006. *eLearning: Einsichten und Aussichten*. München: Oldenbourg.
- Sweller, John, Paul Ayres, und Slava Kalyuga. 2011. *Cognitive Load Theory*. 1. ed. Explorations in the Learning Sciences, Instructional Systems and Performance Technologies. New York, Heidelberg: Springer.
- Trentsios, Pascal, Mario Wolf, und Sulamith Frerich. 2020. «Remote Lab Meets Virtual Reality – Enabling Immersive Access to High Tech Laboratories from Afar». *Procedia Manufacturing* 43: 25–31. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.104>.
- Weißböck, Josef. 2016. «LV-Evaluierung mittels Ampelfeedback und Evaluierungsdialo an der FH St. Pölten». In *Gutes Lernen und gute Lehre - Welchen Beitrag leistet die Qualitätssicherung?*, herausgegeben von AQ Austria – Agentur für Qualitätssicherung und Akkreditierung Austria, und Achim Hopbach, 95–98. Wien: Facultas.
- Zobel, Benedikt, Sebastian Werning, Lisa Berkemeier, und Oliver Thomas. 2018. «Augmented- und Virtual-Reality-Technologien zur Digitalisierung der Aus- und Weiterbildung – Überblick, Klassifikation und Vergleich». In *Digitalisierung in der Aus- und Weiterbildung*, herausgegeben von Oliver Thomas, Dirk Metzger, und Helmut Niegemann, 20–34. Berlin, Heidelberg: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-56551-3\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-662-56551-3_2).