

# Konzeption und Umsetzung von Lehr- und Lernszenarien unter Verwendung einer prototypischen 3D-Tafel - als Beitrag innovativer digitaler Medien in Schulen

Ingmar S. Franke  
TVG - Technische Visualistik GmbH  
Magdeburg, Sachsen-Anhalt  
Deutschland  
ingmar.franke@visualistik.eu

Annika Elze  
Rainer Groh  
annika.elze@tu-dresden.de  
rainer.groh@tu-dresden.de  
Technische Universität Dresden,  
Bereich Ingenieurwissenschaften,  
Fakultät Informatik, Institut Software-  
und Multimediatechnik, Professur  
Mediengestaltung  
Dresden, Sachsen, Deutschland

Christian Steinmann  
domeprojection.com®  
Magdeburg, Sachsen-Anhalt  
Deutschland  
steinman@domeprojection.com



**Figure 1:** Nutzung einer 3D-Tafel unter Verwendung des Virtual Reality Learning Space (VRLS) von domeprojection.com® in einem Klassenraum und unter Nutzung von einer Schulklasse des Internationalen Stiftungsgymnasiums Magdeburg in Trägerschaft der Stiftung Ev. Jugendhilfe St. Johannis Bernburg

## ABSTRACT

Dieser Beitrag beschreibt einen neuartigen Ansatz und eine bestehende Technologie. Es ist ein interaktives Visualisierungssystem beschrieben, eine 3D-Tafel. Unter Verwendung dieser 3D-Tafel werden verschiedene Schulfächer und deren Lehr- und Lerninhalte diskutiert, visualisiert und interaktiv erfahrbar gemacht. Erst durch

diese Inhalte wird die verwendete Technologie zu einer Lehr- und Lernumgebung. Sie kann darüber hinaus auch für andere nicht schulische Inhalte genutzt werden und bietet sich daher auch für andere Szenarien an. Die Betrachtung von diversen Lehr- und Lerninhalten erfordert differenzierten Umgang beziehungsweise entsprechende Übersetzungen durch die Tafel. Die Tafel befindet sich dabei im Mittelpunkt der Interaktion einer festgelegten Gruppe, bestehend aus Lehrenden und Lernenden. Diese Gruppe widmet sich gemeinsam diversen Lehrinhalten. Aus der Betrachtung unterschiedlicher Fachbereiche konnten die Erkenntnis gewonnen werden, dass die Varianz der Lehrinhalte zu unterschiedlichen Anforderungen führt. Mit der 3D-Tafel können vor allem dreidimensionale Lehr- und Lerninhalte vermittelt werden, da das räumlichen Vorstellungsvermögen des Menschen unterstützt wird.

---

Permission to make digital or hard copies of part or all of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the owner/author(s).

*Mensch und Computer 2021, Workshopband, Workshop on 14. Workshop Be-greifbare Interaktion*

© Copyright held by the owner/author(s).

<https://doi.org/10.18420/muc2021-mci-ws09-379>

## KEYWORDS

Digitalisierung, Schule, Wissen, Lehr- und Lerninhalte, Vermittlung, Begreifen Projektion, Realität, Interaktion, Kollaboration, Distanz

## 1 EINLEITUNG

Die Digitalisierung in Schulen stellt eine große Herausforderung für die betreffenden Personen, wie Lehrende und Lernende, dar. Langjährig angewandte und erprobte Lehrkonzepte und -methoden werden gegenwärtig in Frage gestellt beziehungsweise sehen sich neuartigen Lehr- und Lernmitteln gegenüber [17]. So existieren zahlreiche Technologien, die in die Schulen drängen oder bereits in Schulen eingesetzt werden. In der Regel handelt es sich hierbei jedoch um Standardlösungen, die sich im Wesentlichen auf übliche Anwendungen für Zahl-, Text- oder Bildverarbeitung stützen. Die verwendeten Technologien besitzen in Kombination mit entsprechenden Sensoren und Aktuatoren jedoch ein weitaus breiteres Applikationsspektrum. [1, 7] Klassenzimmer können damit zu einem Erfahrungs- und Erlebnisraum werden.

## 2 MOTIVATION

Der Einsatz moderner Technologien im Unterricht wirkt sich positiv auf die Motivation, Kooperation, Medienkompetenz und kognitiven Fähigkeiten der Lernenden aus. [10] Lehrende sehen mitunter jedoch ein Risiko hinsichtlich einfacher und problemloser Anwendung von Technologien im Unterricht. [10] Neue Ideen und Möglichkeiten für einen technologiegestützten Unterricht sind also gefragt, sollen jedoch einen möglichst geringen Mehraufwand für Lehrende darstellen.

Die im Folgenden beschriebene *3D-Tafel* ist ein zentrales System um Unterrichtsstoff anschaulich und interaktiv zu vermitteln. Im Gegensatz zu anderen Technologien, wie Augmented Reality, Virtual Reality oder Mixed Reality [4, 11, 20] realisiert durch Tablets, Brillen oder Rechner [3, 14], kann die *3D-Tafel* gleichzeitig von mehreren Personen genutzt werden und schränkt die direkte Kommunikation nicht ein [14], wodurch keine Synchronisation, nutzerbezogene Voreinstellungen und Ausgabe an Lernende notwendig sind. Vor dem Hintergrund der COVID-19-Pandemie betrachtet [18], bietet diese Technologie zudem die Möglichkeit für kollaboratives Arbeiten unter Einhaltung von Hygienemaßnahmen. So ist es bei begrenzter Teilnehmerzahl beispielsweise leicht möglich, einen Mindestabstand von 1,5m zu anderen Lernenden und Lehrenden einzuhalten und trotzdem mit der Lernumgebung interagieren zu können.

## 3 TECHNOLOGIE UND ZIELSETZUNG

Vor dem Hintergrund der Digitalisierung des Schulunterrichtes wurden verschiedene Lehr- und Lernszenarien entworfen und mit Hilfe einer neuartigen Technologie umgesetzt. Für die Umsetzung dieser Szenarien haben wir uns für die Verwendung des Visualisierungssystems *Virtual Reality Learning Space (VRLS)* der Fa. domeprojection.com<sup>1</sup> entschieden.



**Figure 2: Aufbau des Virtual Reality Learning Space (VRLS) in einem Klassenraum des Internationalen Stiftungsgymnasiums Magdeburg, in Trägerschaft der Stiftung Ev. Jugendhilfe St. Johannis Bernburg**

VRLS ist ein Gerät, das mittels mehrerer Projektoren auf eine horizontal liegende Oberfläche projiziert (siehe Abbildung 2) und ist damit kein volumetrisches Display. [5] Die Fläche ist begrenzt auf eine Kantenlänge von 1.200 x 1.200 Millimetern. Mit einer Höhe von 500 Millimetern ergibt sich insgesamt ein Projektionsvolumen respektive Arbeitsraum von 0,72 Kubikmeter entspricht 720 Litern. Innerhalb dieses Projektionsvolumens können *beliebige dreidimensionale Objekte* platziert werden, die mittels Projektionsmapping [15] visuell angereichert werden können. Nutzer können sowohl mit den visualisierten Inhalten (Mapping) als auch mit den platzierten dreidimensionalen Objekten interagieren. Dabei wird die Lage der Objekte innerhalb des Projektionsvolumens durch im VRLS integrierte Kameras erfasst. Das bedeutet, dass die platzierten Objekte zur Laufzeit der Visualisierung bewegt werden können und das Mapping danach ausgerichtet wird. An dieser Stelle ähnelt VRLS in seinem Ansatz einem anderen Konzept, dem flexibler Displays, mit denen ebenfalls direkt über die Oberfläche beziehungsweise das projizierte Bild visuell interagiert werden kann. [12] Das VRLS kann ebenso als ein 3D-Scanner verwendet werden. Es kann beliebige Objekte mit Freiformflächen erfassen. Die gescannten Objekte werden für die Berechnung der Projektionsvorschrift und damit die Anpassung der Visualisierung genutzt.

Des Weiteren verfügt VRLS über ein Trackingsystem. Das verwendete VIVE-Trackingsystem basiert auf zwei Basisstationen der Fa. HTC<sup>2</sup>. Somit ist es möglich, die Positionen von Controllern und von Trackern zu erfassen. Über Controller können beispielsweise Zeigegeräte oder Selektionswerkzeuge realisiert werden. Die Tracker ermöglichen unter anderem das Erfassen von Nutzerpositionen.

<sup>1</sup>[www.domeprojection.com/vr-lab-in-school/](http://www.domeprojection.com/vr-lab-in-school/)

<sup>2</sup>[www.vive.com/de/](http://www.vive.com/de/)

VRLS verwendet eine 3D-Engine, die geometrische Modelle und die Interaktion des Nutzers mit selbigen verarbeitet und ein entsprechendes Projektionsbild berechnet. Es können wahlweise Unreal<sup>3</sup> oder Unity<sup>4</sup> genutzt werden. Die Modelle und die Interaktionen werden durch die 3D-Engine verarbeitet. Auch das zuvor erwähnte Trackingsystem VIVE von HTC wird hierbei mitgenutzt.

Nach Auswahl von Themen beziehungsweise Schulfächern war zunächst eine Interaktionslogik zu planen, das Interfacedesign zu entwerfen und als Demonstrator umzusetzen. Das bedeutet, dass die geplanten Szenarien in einer geeigneten Umgebung, wie einer 3D-Engine, umgesetzt sind. Bei der Beschreibung der Szenarien und der verwendeten Objekte wurde in einer ersten Auseinandersetzung auf möglichst einfache Körper und respektive primitive Geometrien geachtet. Zudem war innerhalb der 3D-Engine eine entsprechende Interaktionslogik zu realisieren. Die Verwendung einfacher Geometrien und eine einfache Interaktionslogik erfolgte, um eine Vergleichbarkeit von unterschiedlichen Szenarien untereinander zu ermöglichen.

#### 4 BESCHREIBUNG EXEMPLARISCHER LEHR- UND LERNSENARIEN UNTER VERWENDUNG EINER 3D-TAFEL

Im Folgenden werden fünf Konzepte zur Anwendung der zuvor beschriebenen Technologie im schulischen Kontext der gymnasialen Sekundarstufe 1 (Deutschland) erläutert und illustriert. Der Fokus liegt also auf Einsatzmöglichkeiten der *3D-Tafel* im Rahmen von Lehrveranstaltungen für die Klassenstufen 5 bis 10.

##### 4.1 Virtueller Baukasten - Anwendung im Fachbereich von Kunst und Gestaltung

Im Bereich Kunst und Architektur kann eine *3D-Tafel* genutzt werden, um Lernenden eine virtuelle Gestaltungsmöglichkeit für dreidimensionale Objekte zu bieten. Ein Vorteil der digitalen Arbeit an den Objekten ist, dass Aktionen ohne Materialaufwand rückgängig gemacht werden können. Im Projektionsraum wird ein weißer Grundkörper platziert. Innerhalb des Gestaltungsbereiches wird ein Raster projiziert, welches die zu bearbeitenden Flächen kennzeichnet. An den Seiten des Projektionsraumes können Gestaltungselemente ausgewählt und definiert werden. Wie Abbildung 3 zeigt, können Lernende Flächen im Raster, beispielsweise grün mit einer zusätzlichen quadratischen Textur, einfärben. Bereits gestaltete Felder im Raster können jederzeit neu eingefärbt werden. [13]

##### 4.2 3D-Tafelwerk - Anwendung im Fachbereich von Mathematik und Geometrie

Im Mathematik- beziehungsweise Geometrieunterricht kann die *3D-Tafel* genutzt werden, um mathematische Abhängigkeiten in dreidimensionalen geometrischen Körpern zu veranschaulichen. An den Seiten des Projektionsraumes werden Formeln zu einem geometrischen Körper, der sich in der Mitte des Projektionstisches befindet angezeigt. Die Lernenden können sich Berechnungen zu Volumen und Flächeninhalten am vorliegenden Körper visualisieren lassen (siehe Abbildung 4). [2]

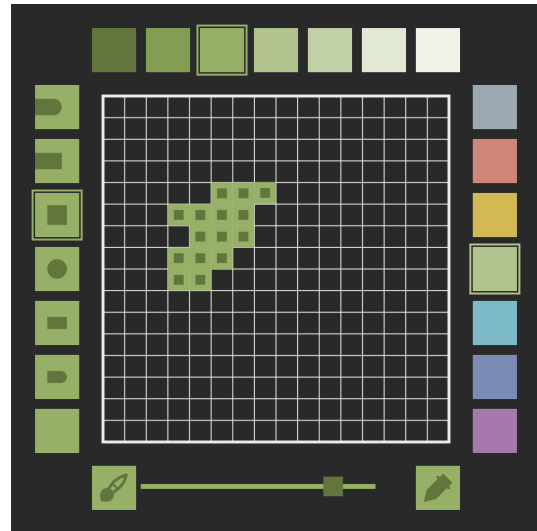


Figure 3: Mockup einer 3D-Tafel-Anwendung für Fächer, wie Kunst, Gestaltung oder Architektur

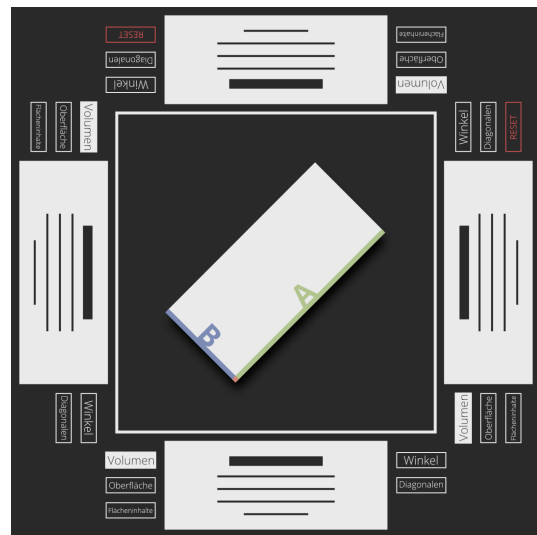


Figure 4: Mockup einer 3D-Tafel-Anwendung für Lehr- und Lerninhalte wie Geometrien oder Dreitafelprojektion

##### 4.3 Virtuelle Erweiterung von Globus und Landkarte - Anwendung im Fachbereich von Geografie und Landschaftskunde

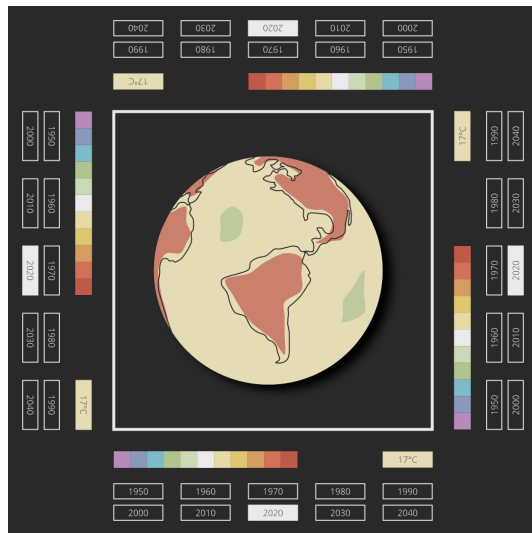
Ein Thema im Geografie- oder Erdkundeunterricht ist das Klima. In diesem Beispiel geht es darum, den Globalen Klimawandel darzustellen und den Lernenden anhand eines dreidimensionalen Modells Temperaturänderungen auf der Erde anschaulich zu visualisieren. In der Mitte der *3D-Tafel* befindet sich eine Halbkugel, auf die die Wasser- und Landmassen projiziert werden. Über das Menü an den Seiten des Projektionstisches kann das zu betrachtende Jahrzehnt

<sup>3</sup>[www.unrealengine.com/en-US/](http://www.unrealengine.com/en-US/)

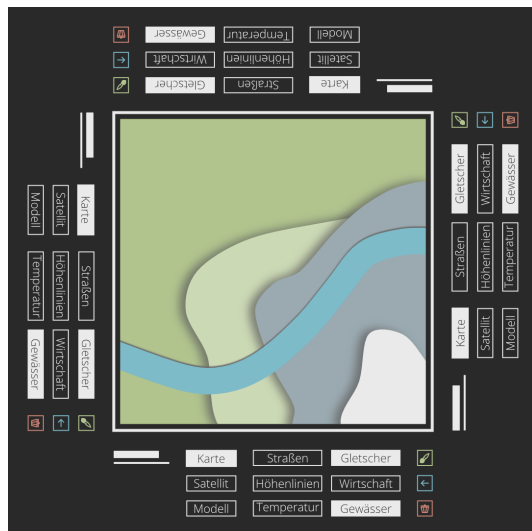
<sup>4</sup><https://unity.com/de>

ausgewählt werden. Die entsprechenden Temperaturdaten werden farblich differenziert auf die Halbkugel projiziert (siehe Abbildung 5). [9]

Bestandteil des Geografie- oder Erdkundeunterrichtes ist es außerdem, den Lernenden ein kartografisches Grundverständnis zu vermitteln. Mit der *3D-Tafel* können Kartenausschnitte dreidimensional und interaktiv dargestellt werden. Es können unterschiedliche geografische Aspekte einer betrachteten Region untersucht werden. Dazu wird die Projektion auf das platzierte dreidimensionale Modell nach den ausgewählten Funktionen verändert und erweitert (siehe Abbildung 6). [16]



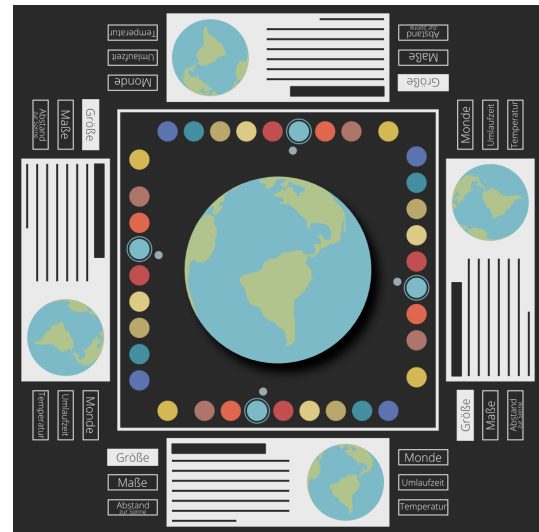
**Figure 5: Mockup einer 3D-Tafel-Anwendung für Lehr- und Lerninhalte wie Wetterdaten oder Klimawandel**



**Figure 6: Mockup einer 3D-Tafel-Anwendung für Lehr- und Lerninhalte wie Geografien oder Landschaftskunde**

#### 4.4 Interaktives Planetarium - Anwendung im Fachbereich von Physik und Astronomie

Astronomie als Schulfach oder Teil des Physikunterrichtes soll den Lernenden unter anderem einen Überblick über unser Sonnensystem verschaffen. Über die Seitenflächen der *3D-Tafel* können den umstehenden Lernenden Informationen zu dem jeweils ausgewählten Planeten angezeigt werden. In der Mitte der Präsentationsfläche visualisiert die Projektion auf einer Halbkugel das äußerliche Erscheinungsbild des jeweils ausgewählten Planeten (siehe Abbildung 7). [19]



**Figure 7: Mockup einer 3D-Tafel-Anwendung für Lehr- und Lerninhalte wie Astronomie oder Gestirne**

#### 4.5 Fazit

In den vorangegangenen Abschnitten wurden verschiedene Lehr- und Lernszenarien unter Verwendung einer *3D-Tafel* vorgestellt. Dabei konnte festgestellt werden, dass ausgehend von den Lehrinhalten verschiedene Anforderungen an eine *3D-Tafel* gestellt werden. Die Varianz an Lehrinhalten der einzelnen Lehrfächer bedürfen unterschiedlichen Umsetzungen. Hierbei sind die Erfahrungen zur bisherigen Vermittlung von bestimmten Lehrinhalten zu beachten und unter Betrachtung von neuartigen Technologien weiterzuentwickeln.

Nicht jede beliebige Lehr- und Lernplattform eignet sich in gleicher Weise für jeden Lehrstoff. Es ist stets der Einzelfall zu prüfen. In gleicher Weise verhält es sich mit einer *3D-Tafel*. Grundsätzlich stellt eine Tafel ein Medium zur Vermittlung von Wissen dar. Mit der konzeptionellen Erweiterung einer üblichen zweidimensionalen Tafel um eine weitere Dimension ergibt sich ein neuer Gestaltungsspielraum. In erster Betrachtung bedient eine 3D-Tafel entsprechend 3D-Geometrien. Insofern stellt sich die Aufgabe nach Lösungen zu suchen, die Wissen mittels drei Dimensionen besser darstellt als unter Verwendung von nur zwei Dimensionen. Mehr- oder andersartig-dimensionales Wissen sollte gesondert beziehungsweise domain-spezifisch betrachtet werden. Kreative



Ansätze sind zu erarbeiten und zu gestalten. Beispielsweise ist das Unterrichten einer Fremdsprache weit schwieriger mit einer *3D-Tafel* umzusetzen als die Beschreibung einer dreidimensionalen Geometrie.

Eine *3D-Tafel* adressiert und kommt unter Umständen dem fehlenden räumlichen Vorstellungsvermögen eines Menschen entgegen. Fächer, wo räumliches Vorstellungsvermögen weniger sinnvoll oder notwendig ist, können mit anderen digitalen Medien gegebenenfalls besser vermittelt werden. [8] Dazu bedarf es einer grundlegenden Studie, welche Technologie sich zur Vermittlung welchen Lehrinhalts am besten eignet.

Es kann festgehalten werden, dass aktives Agieren und Trainieren [6] mit visuellen Gegenständen, also die Interaktion der Lernenden mit derartigen Lerninhalten, sich positiv auf eine nachhaltige Wissensvermittlung auswirkt. [10] Die eigene Erfahrung und der eigene Erkenntnisgewinn ist ein wichtiger Schlüssel zum Lernerfolg.

Gegenwärtig befinden sich Schulen vor vielen Herausforderungen, die die Digitalisierung mit sich bringt. Nur gemeinsam, dass heißt, Lehrenden und Lernenden zusammen, wird es gelingen, sich die vielen Vorteile neuartiger Technologien zu erschließen und diese letztlich zu beherrschen. Diese Position gegenüber der Digitalisierung ist eine grundlegende Voraussetzung, Unterricht auch zukünftig frei von Einschränkungen zu praktizieren.

## 4.6 Ausblick

Die Technologie *VRLS* ist funktionsfähig und unterliegt einer ständigen Weiterentwicklung. Um diese Weiterentwicklung zu forcieren, behandelt der gegenständliche Beitrag verschiedene schulische Anwendungen und qualifiziert die *VRLS* zu einer *3D-Tafel*. Wir stellen Anwendungen vor, die allerdings keine Bestandteile einer zentralen Lehr- und Lernplattform sind. Aus Sicht einer Gruppe, bestehend aus Lehrenden und Lernenden, könnte entwicklungsseitig eine integrierte Lösung angestrebt werden, die die verschiedenen Szenarien in einer Umgebung vereint.

Weiterhin beschäftigt sich der vorliegende Beitrag nur mit einigen ausgewählten Lehrinhalten. Es sollte jedoch bei der Betrachtung nicht nur vom einzelnen Schulfach ausgegangen werden. Vielmehr steht der konkrete Lehr- und Lerninhalt im Fokus. Folgende Fragen sind zu beantworten: Welcher konkrete Gegenstand soll vermittelt werden? Welche Eigenschaften bringt dieser Gegenstand mit? Wie können diese Eigenschaften durch eine *3D-Tafel* optimaler als mit bestehenden Lehr- und Lernmitteln kommuniziert werden? Konkret sind folgende Fächer auf ihre Lehrinhalte und den jeweiligen konkreten Gegenstand zu prüfen. Damit sind beispielsweise Mathematik, Muttersprache und Fremdsprachen, Physik, Chemie, Biologie, Sport, Musik, Kunst, Geschichte, Religionslehre, Ethikunterricht, Geografie, Gemeinschaftskunde, Informatik, Technik und Werken, gemeint. Jedes aufgeführte Fach vermittelt unterschiedliches Wissen und nutzt dafür entsprechendes Lehr- und Lernmaterial, welches individuell zu analysieren und gegenüber neuen digitalen Möglichkeiten abzuwägen ist.

Eine Evaluation, wie Lehrende und Lernende mit dieser Technologie umgehen und welche konkreten Vor- und Nachteile belegbar sind, steht aus. Es kann davon ausgegangen werden, dass das

räumliche Vorstellungsvermögen des Menschen und somit die Vermittlung von komplexen räumlichen Gegebenheiten oder Zusammenhängen unterstützt wird.

## 4.7 Zusammenfassung

Die Digitalisierung ist aktuell eine der größten gesellschaftlichen Aufgaben, die auch unsere Schulen erfasst hat.

Dieser Beitrag beschäftigt sich mit beispielhaften Applikationen für die schulische Bildung unter Verwendung einer interaktiven *3D-Tafel*. Zu diesem Zweck wird in dem vorliegenden Beitrag die konkret verwendete Technologie detailliert vorgestellt. Es handelt sich dabei um das Visualisierungssystem "*Virtual Reality Learning Space*" (*VRLS*). Es findet in diesem Beitrag allerdings keine Begründung statt, warum diese Technologie verwendet wurde, noch wird die Technologie selbst evaluiert. Der vorliegende Beitrag fokussiert vielmehr darauf, verschiedene Applikationen für die schulische Bildung vorzustellen und zu diskutieren. Die *3D-Tafel* stellt also im weiteren Verlauf die Basis für verschiedene neuartige Lehr- und Lernszenarien dar. Dabei handelt es sich um einen Baukasten, ein Tafelwerk, einen Globus, eine Karte und ein Planetarium. In der Konsequenz werden die vorgestellten Lehr- und Lernszenarien bewertet und nochmals die grundsätzliche Herangehensweise vor dem Hintergrund menschlicher Belange und Fähigkeiten sowie gesellschaftlicher Herausforderungen diskutiert. Zudem wird ein Ausblick insbesondere nicht behandelter technologischer Möglichkeiten gegeben und potentielle Lerngegenstände ausgehend von konkreten Schulfächern andiskutiert.

## ACKNOWLEDGMENTS

Hiermit möchten wir uns bei den folgenden Personen bedanken, die sich im Rahmen einer Lehrveranstaltung an der Technischen Universität Dresden, Bereich Ingenieurwissenschaften, Fakultät Informatik, Institut Software- und Multimediatechnik, Professur Mediengestaltung an der fachlichen Diskussion beteiligt haben: Dennis Wittig, Leon Augustat, Lisa-Marie Schäfer, Maximilian Taube, Robert Schwabe, Vivien Landgrebe und Vivien Zheng.

## REFERENCES

- [1] Petra Aczel. 2017. Virtual reality and education - world of teachcraft? *Perspectives of Innovations, Economics and Business* 17, 1 (2017), 6–22. <https://doi.org/10.15208/pieb.2017.02>
- [2] Leon Augustat. 2021. Das Potenzial von Augmented Reality und Virtual Reality im Schulunterricht (Dokumentation zum Komplexpraktikum und Forschungskolleg "Participative Spatial Interaction", Technische Universität Dresden, Bereich Ingenieurwissenschaften, Fakultät Informatik, Institut für Software- und Multimediatechnik, Professur für Mediengestaltung). (2021).
- [3] Chris Christou. 2010. *Virtual Reality in Education*. IGI Global Publisher of Timely Knowledge, Cyprus University of Technology, Cyprus, 228–243. <https://doi.org/10.4018/978-1-60566-940-3.ch012>
- [4] Igor D.D. Curcio, Anna Dipace, and Anita Norlund. 2017. Virtual realities and education. *Research on Education and Media* 8, 2 (2017), 60–68. <https://doi.org/10.1515/rem-2016-0019>
- [5] Tovi Grossman and Ravin Balakrishnan. 2006. The Design and Evaluation of Selection Techniques for 3D Volumetric Displays. In *Proceedings of the 19th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology* (Montreux, Switzerland) (*UIST '06*). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 3–12. <https://doi.org/10.1145/1166253.1166257>
- [6] Peter Hancock, Alexandra Kaplan, Jessica Cruik, Mica Endsley, Suzanne Beers, and Ben Sawyer. 2020. The Effects of Virtual Reality, Augmented Reality, and Mixed Reality as Training Enhancement Methods: A Meta-Analysis. *Human Factors The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* 63, 4 (02 2020), 001872082090422. <https://doi.org/10.1177/0018720820904229>

- [7] Jan Hellriegel and Dino Čubela. 2018. Das Potenzial von Virtual Reality für den schulischen Unterricht - Eine konstruktivistische Sicht. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung* 2018 (2018), 58–80. Issue Occasional Papers. <https://doi.org/10.21240/mpaed/00/2018.12.11.X>
- [8] Maria Hutsteiner. 2011. *Die Entwicklung des räumlichen Vorstellungsvermögens im Geometrieunterricht der AHS und seine Förderung mittels Dynamischer Geometrie-Software*. Ph.D. Dissertation. uni.wien.
- [9] Vivien Landgrebe. 2021. Partizipative räumliche Interaktion VR/AR – Einsatz zur Wissensvermittlung im schulischen Kontext (Dokumentation zum Komplexpraktikum und Forschungskolleg "Participative Spatial Interaction", Technische Universität Dresden, Bereich Ingenieurwissenschaften, Fakultät Informatik, Institut für Software- und Multimediatechnik, Professur für Mediengestaltung). (2021).
- [10] Daniel Mitgutsch. 2016. *Chancen und Risiken beim Einsatz von Technologie im Unterricht (Diplomarbeit)*, Institut für Systemsoftware, Johannes Kepler Universität Linz. Master's thesis. Universität Linz.
- [11] Barbara Mones. 2017. Before and after AR/VR: empowering paradigm shifts in education. In *SIGGRAPH Asia 2017 Symposium on Education*. ACM Press, New York, 1–2. <https://doi.org/10.1145/3134368.3151011>
- [12] Mathias Müller, Anja Knöfel, Thomas Gründer, Ingmar S. Franke, and Rainer Groh. 2014. FlexiWall: Exploring Layered Data with Elastic Displays.. In *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces (ITS, 16.-19. November, 2014, Dresden)* (Dresden). ACM Press, New York, 439–442.
- [13] Robert Schwabe. 2021. Mixed Reality als Werkzeug für die Gestaltung von Körpern im Kunstunterricht (Dokumentation zum Komplexpraktikum und Forschungskolleg "Participative Spatial Interaction", Technische Universität Dresden, Bereich Ingenieurwissenschaften, Fakultät Informatik, Institut für Software- und Multimediatechnik, Professur für Mediengestaltung). (2021).
- [14] Valentin Schwind, Jens Reinhardt, Rufat Rzayev, Niels Henze, and Katrin Wolf. 2018. Virtual Reality on the Go? A Study on Social Acceptance of VR Glasses. In *Proceedings of the 20th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services Adjunct (Barcelona, Spain) (MobileHCI '18)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 111–118. <https://doi.org/10.1145/3236112.3236127>
- [15] Christian Siegl. 2018. Dynamic Multi-Projection Mapping (Dissertation, Technische Fakultät der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. (2018).
- [16] Maximilian Taube. 2021. Augmented Reality und Virtual Reality im schulischen Kontext (Dokumentation zum Komplexpraktikum und Forschungskolleg "Participative Spatial Interaction", Technische Universität Dresden, Bereich Ingenieurwissenschaften, Fakultät Informatik, Institut für Software- und Multimediatechnik, Professur für Mediengestaltung). (2021).
- [17] Oliver Thomas, Dirk Metzger, and Helmut M. Niegemann (Eds.). 2018. *Digitalisierung in der Aus- und Weiterbildung: Virtual und Augmented Reality für Industrie 4.0* (Berlin). Springer Gabler. OCLC: 1029054794.
- [18] Valentin Unger, Yoka Krämer, and Albrecht Wacker. 2020. Unterricht während der Corona-Pandemie. Ein Vergleich von Schülereinschätzungen aus Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen im Kontext sozialer Heterogenität. *PraxisForschungLehrer\*innenBildung* 2(6), 84-99 2 (12 2020), 84–99. <https://doi.org/10.4119/pflb-3907>
- [19] Dennis Wittig. 2021. Räumliche Interaktion in Virtual-, Mixed- und Augmented Reality in der Sekundarstufe I (Dokumentation zum Komplexpraktikum und Forschungskolleg "Participative Spatial Interaction", Technische Universität Dresden, Bereich Ingenieurwissenschaften, Fakultät Informatik, Institut für Software- und Multimediatechnik, Professur für Mediengestaltung). (2021).
- [20] Steve Yuen, Yin Yuen, Gallayane Yaoyuneyong, and Erik Johnson. 2011. Augmented Reality: An Overview and Five Directions for AR in Education. *Journal of Educational Technology Development and Exchange* 119 (11 2011), 119–140. <https://doi.org/10.18785/jetde.0401.10>