

# Kostengünstige VR-Plattform zur Visualisierung und Begehung von komplexen 3D-Modellen

Christian Eller<sup>1</sup> und Shifan Zhang<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen · TU Darmstadt · Franziska-Braun-Straße 7 · 64287 Darmstadt ·

E-Mail: eller@iib.tu-darmstadt.de

<sup>2</sup> Institut für Werkstoffe im Bauwesen · TU Darmstadt · Franziska-Braun-Straße 7 · 64287 Darmstadt  
E-Mail: zhang@wib.tu-darmstadt.de

Die Nutzung von Simulationen und 3D-Modellen steigern nachweislich das Verständnis und erhöhen den Lerneffekt. Eine Anwendung immersiver virtueller Räume zur Darstellung von komplexen oder schwerzugänglichen Fachinhalten ist somit anzustreben. Mit der entwickelten VR-Plattform ist dies über eine webbasierte Anwendung auf jedem internetfähigen Gerät möglich. Durch die Anbindung von WebVR wird virtuelle Realität für das Smartphone, aber auch eine 3D-Ansicht ohne Immersion für Tablets oder Computer möglich. Ein unkomplizierter und kostengünstiger Zugang zu immersiven 3D-Modellen ist dadurch umgesetzt worden. Eine Anwendung für einen gemeinschaftlichen Exkursraum mit hilfreichen Werkzeugen zur Darstellung und Manipulation von 3D-Modellen ist entwickelt worden. Unterschiedliche Nutzergruppen ermöglichen verschiedene Interaktionsrechte, wodurch Führungsrollen durch das Geschehen und Modelle leiten können.

*Keywords:* Virtuelle Realität, Kollaboration, e-Learning, Unity

## 1 Einführung

In zahlreichen Themenfeldern der Lehre sowie in vielen Berufsfeldern tauchen komplexe Problemstellungen, Prozesse und abstrakte Vorgänge auf. Diese sind nicht oder teilweise sichtbar und daher schwer verständlich. Viele fachspezifische Inhalte wie zum Beispiel bauphysikalische Konstruktionen und Prozesse sind mit den bisherigen Methoden und Tools abstrakt und schwer verständlich visualisierbar. Zur Verständnissteigerung können Simulationen beitragen und durch Immersion der eindeutige Bezug von Modell zur Problemstellung geschaffen werden. Für eine vollständige Immersion bietet sich die Technologie der virtuellen Realität (VR) an. Mit den neuen Möglichkeiten ist VR nicht nur auf kostspielige Hardware und einen umständlichen Aufbau beschränkt, sondern kann dies über gängige Smartphones genutzt werden. Dies ermöglicht eine neue Form des e-Learnings und Erleben im virtuellen Raum. Um dies zu realisieren ist es notwendig die Technologie zu erweitern. Eine VR-Plattform ist zu entwickeln, die es ermöglicht sich gemeinsam in einem virtuellen Raum aufzuhalten und Sachverhalte zu betrachten, veranschaulichen und zu verstehen.

Mit der Erkenntnis, dass die Simulation und Immersion für die Darstellung von Problemstellungen zu einer Verständnissteigerung und großen Lerneffekt führt (siehe Abschnitt 2), ist es das Ziel virtuelle Realität als Werkzeug für eine Gruppe an Personen bereitzustellen. Dadurch sollen virtuelle Simulationen in einem Raum vereint und durch mehrere Nutzer gleichzeitig verfügbar und wahrnehmbar sein. Eine Nutzung als Lehr- und Lernplattform ist angestrebt. Dabei soll den Nutzern Sachverhalte aufgezeigt und mit Hilfe der modernen Technologien

sowie einem Administrator erklärbar gestaltet werden. Eine einfach zugängliche Plattform, die gleichzeitig die Technologie der virtuellen Realität unterstützt und e-Learning Elemente enthält wird somit betrachtet, die Machbarkeit untersucht und in Teilen umgesetzt.

Das Paper ist folgend organisiert: In Abschnitt 2 wird ein Überblick vorausgegangener und ähnlicher Arbeiten gegeben. Der Abschnitt 3 stellt das Konzept für eine webbasierte VR-Plattform und deren Anforderungen vor. Die Umsetzung des Konzepts in eine lauffähige Plattform wird in Abschnitt 4 geschildert und das Ergebnis in Abschnitt 5 bewertet. Weitere Ideen und nächste Schritte der Umsetzung sind ebenfalls in Abschnitt 5 gelistet.

## 2 Verwandte Arbeiten

Im Bereich der Medizin wurden bereits früh Untersuchungen zur Lern- und Verständnissteigerung durch die Nutzung von virtuellen Anwendungen durchgeführt. (AI-LIM LEE et al. 2010) und (KOCKRO et al. 2015) zeigen, dass durch die interaktive virtuelle 3D-Simulation in einer Desktopanwendung von unterschiedlichen Problemstellungen, wie z.B. der Sezierung eines Froschkörpers das Verständnis der Nutzer nachweislich gesteigert wird. Es kann ein signifikanter Unterschied zwischen 2D- und 3D-Simulationen festgestellt werden und der Lerneffekt, sowie Akzeptanz steigt durch die Nutzung von VR weiter an, wie auch (DÁVIDEKOVÁ et al. 2017) nachweist. Nach (DÁVIDEKOVÁ et al. 2017) wächst die Nutzung der VR-Technologie in zahlreichen Fach-, Produktions- und Marketingbereichen. Eine optimale Anbindung und leichte Implementierung ist allerdings noch nicht entwickelt worden. Ebenfalls fehlt der gemeinschaftliche Nutzen und werden die Anwendungen auf eine lokale Einzelnutzung ausgelegt.

(MEUNIER et al. 2018) zeigen, dass es sich lohnt aufwendige Umsetzungen von VR-Simulationen und Räumen zur Steigerung des Verständnisses durchzuführen. Sie beschreiben, dass in ihrem Fall eine VR gestützte Planungsbegleitung sinnvoll gewesen ist. Zahlreiche Fehler konnten vermieden werden, da die Fachplaner eindrucksvoll die interdisziplinären Anforderungen und Planungsschritte in 3D-Modellen und Simulationen immersiv und fachübergreifend betrachten konnten. (MEUNIER et al. 2018) betonen den Mehrwert von VR bei Ingenieurmethoden im Planungsbereich und fordern eine einfachere Umsetzung, um diese für die zahlreichen Beteiligten nutzen zu können.

Eine VR-Anwendung als e-Learning Tool ist somit erstrebenswert und nachweislich sinnvoll. Dies hat auch Google erkannt und mit Google Expeditions eine Anwendung für Schulen entwickelt, welche 360° Fotos interaktiv aufbereitet und für Schulklassen nutzbar visualisiert (GOOGLE 2017). Hier können Schüler|innen gemeinsam mit der Lehrkraft einen virtuellen Ausflug in ein Museum oder Kraftwerk unternehmen. Die Lehrkraft übernimmt die Führung und es können visuelle und auditive Informationen an einzelnen Exponaten eingeblendet oder vorgelesen werden. Hier ist ein schnelles gemeinsames Eintauchen angestrebt, doch kommt durch die 360° Grad Fotos nur ein kleiner Möglichkeitsbereich der neuen VR Technologie zum Tragen. Eine freie Bewegung im Raum und Interaktion wird durch diese Fotos nicht ermöglicht. Die Umsetzung eines 3D-Modells wie es (SAMPAIO et al. 2010) beschreiben, für CAD Programme für Fachplaner im Gebäudebau vorschlagen und in VR umgesetzt haben kann durch Google Expedition nicht abgedeckt werden. Genau dies zeigen (SAMPAIO et al. 2010) allerdings für die zukünftige Ausbildung als sinnvolle Steigerung des Fortschritts auf und wünschen sich die Erweiterung „Interaktion“ im virtuellen Raum.

Die vorausgegangenen Arbeiten zeigen, dass ein interaktives Modell zur Darstellung unterschiedlicher Problemstellungen in einem virtuellen Raum mit der größtmöglichen Immersion für die Nutzung in größeren Gruppen als nächster Schritt des e-Learning und Planungsfortschritts umgesetzt werden sollte. Genau hier setzt die Arbeit dieses Papers an.

### **3 Konzeptionierung**

#### **3.1 Anforderungen & Ziele**

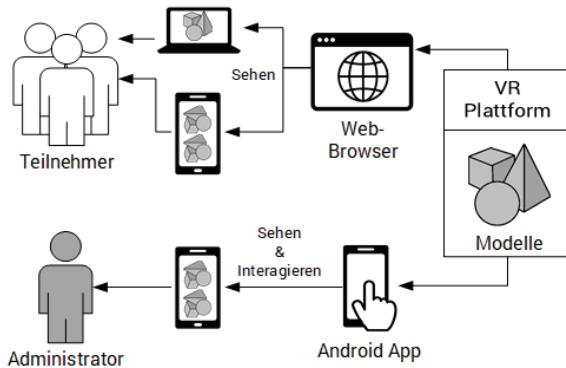
Eine kostengünstige VR-Plattform zur Steigerung des Lernprozesses benötigt die Möglichkeit mit zahlreichen Nutzern gleichzeitig im virtuellen Raum dieselben Visualisierungen zu erleben. Zusätzlich benötigt man für einen virtuellen Lehrraum unterschiedliche Rechte und Interaktionsmöglichkeiten, damit ein Administrator durch das Geschehen führen kann. Das Modell soll durch diesen Begehrbar sein und für Interaktionen zur Verfügung stehen, während die anderen Nutzer der Immersion folgen und sich frei drehen können. Der Vorteil neben der Verständnissteigerung und des erhöhten Lerneffektes wie in Abschnitt 2 beschrieben, ist das wartungsarme Modell. Dieses Modell wird nicht abgenutzt und jeder Nutzer kann es betrachten, als wäre dieser direkt daneben oder innendrin ohne von anderen Nutzern eingeschränkt zu sein.

Für eine einfache VR-Plattform muss die Möglichkeit geschaffen werden, dass Grundkenntnisse in die VR- und Web-Technologie nicht erforderlich sind und diese schnell und einfach auf verfügbaren Geräten nutzbar ist. Um den Gedanken der kostengünstige VR-Plattform sicherzustellen, soll keine zusätzliche Hardware oder Software erforderlich sein. Ebenfalls erstrebenswert wäre dabei die Minimierung von Installationen oder anderer Einstellungen zur Nutzung von VR und der Plattform.

Das Ziel soll eine zugängliche Plattform sein, die für unterschiedliche Nutzer ein virtuelles Modell zur Verfügung stellt, welches über VR erlebt werden kann. Eine Interaktionsmöglichkeit für den Administrator soll geschaffen werden, um die Nutzer durch die gezeigte Problemstellung zu führen und Simulationen zu manipulieren.

#### **3.2 Konzept der VR-Plattform**

Die VR-Plattform soll für zwei verschiedene Nutzergruppen zur Verfügung stehen. Die Eine entspricht dem Administrator und somit der führenden Lehrkraft. Dieser soll mit mehr Rechten und Möglichkeiten versehen durch den virtuellen Raum führen und das Modell verändern, auswählen, manipulieren und veranschaulichen können. Die Anderen sind die Teilnehmer, welche dem virtuellen Raum beiwohnen können. Diese können sich frei rotieren, um Motion-Sickness zu vermeiden und die Immersion zu gewährleisten. Die Bewegung im Raum soll allerdings vom Administrator durchgeführt werden. So kann eine gezielte Führung umgesetzt und vorausgesetzt werden. Die Teilnehmer sollen gemeinsam und gleichzeitig die Anwendung des Administrators sehen (siehe Abbildung 1).



**Abb. 1:** Konzept zur Umsetzung der kostengünstigen VR-Plattform

Um eine einfach zugängliche Plattform ohne Installation und Einrichtung realisieren zu können, müssen vorhandene Hardwaresysteme und Softwarestrukturen verwendet werden. Die kostengünstige VR Hardware entspricht Smartphones, die bereits einen großen Anklang besitzen und aufgrund dessen einer weiten Verbreitung unterliegen.

Mit Hilfe eines Cardboards<sup>1</sup> können Smartphones als Head Mounted Displays (HMD) verwendet werden. Deshalb sollte die VR-Plattform mit der gängigen Smart-

phone-Technologie kompatibel und somit auf keine teuren und einrichtungsintensiven VR-HMD, wie HTC Vive<sup>2</sup> oder Oculus Rift<sup>3</sup> angewiesen sein.

Es bietet sich somit an eine webbasierte Plattform zu schaffen, die VR-Inhalte abbilden und darstellen kann. Über alle internetfähigen Geräte, wie Laptops, Tablets und Smartphones kann somit die Plattform genutzt werden. Hierbei kommt hinzu, dass auch nicht VR-fähige Geräte wie Laptops einen Zugang zur Plattform erhalten können. Statt diese auszuschließen soll eine 3D-Ansicht gewährt werden, welche eine Teilnahme ermöglicht, aber die Immersion durch VR ausschließt.

Da zwei verschiedene Nutzergruppen umgesetzt werden sollen, muss dies über die Plattform ebenfalls unterschieden werden. Außerdem muss eine Bewegung des Administrators mit der gängigen Smartphone-Technologie realisiert werden ohne ein Tracking vorauszusetzen. Eine webbasierte VR-Plattform zur Nutzung mehrerer Personen soll für alle gängigen Smartphones umgesetzt und realisiert werden.

## 4 Umsetzung

### 4.1 Komponenten der VR-Plattform

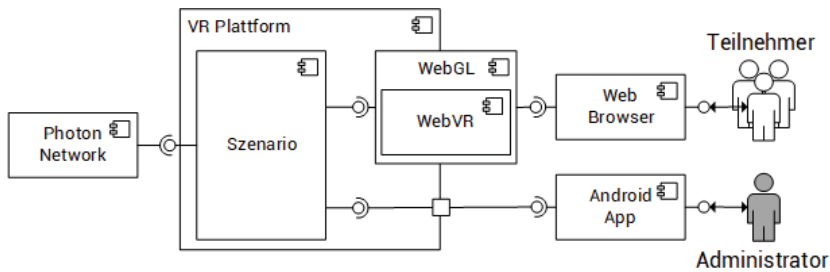
Für die Plattform wurden zahlreiche Komponenten und Technologien entwickelt oder angebunden, um einen einfachen und flüssigen Ablauf gewährleisten zu können (siehe Abbildung 2). Grundlage der Plattform ist die VR-Plattform selbst, welche einem Linux Server entspricht auf dem die Anwendung und Szenarien gespeichert sind und ausgeführt werden. Eine Datenbank und gesichertes Login-System sollen in Zukunft entwickelt werden, sind aber im Demonstrator für dieses Paper nicht enthalten. Innerhalb der VR-Plattform befindet sich das Szenario, welches mit Unity (UNITY 2018) entwickelt wurde. Das Szenario im Demonstrator

<sup>1</sup> <https://vr.google.com/cardboard/>

<sup>2</sup> <https://www.vive.com/de/>

<sup>3</sup> <https://www.oculus.com/>

entspricht einem virtuellen Hörsaal, welcher einige 3D-Modelle zur reinen Betrachtung wie ein menschliches Skelett und ein Windrad beherbergt. Ebenfalls enthalten sind interaktive Modelle wie eine Maschine mit sichtbaren sich drehenden Zahnrädern oder einem detaillierten Wandaufbau mit simulierter und animierter Temperaturverlaufskurve (siehe Abschnitt 4.2).



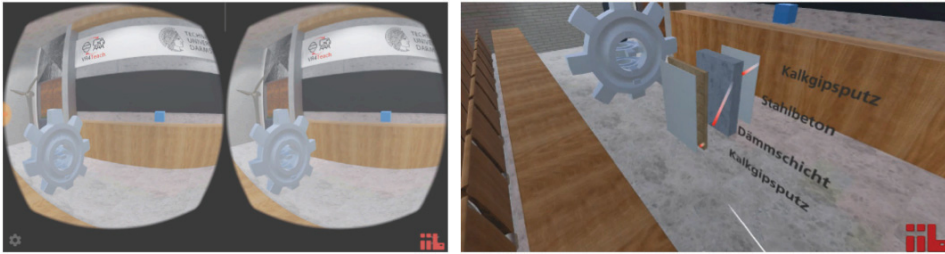
**Abb. 2:** Komponentendiagramm der VR-Plattform

Das Szenario ist mit einem Photon Server über die frei zugängliche Komponente Photon Network verbunden (PHOTON 2018). Das Photon Network wurde in der Unterhaltungsindustrie entwickelt und dient der Entwicklung von Multiplayer-Games. Da die gleichen Anforderungen an einen Multiplayer wie an einem hier zugrundeliegenden Multiuser getroffen wurden, bietet es sich an auf ein vorhandenes Werkzeug zurück zu greifen. Mit Hilfe von Photon Network ist es möglich Inhalte eines Szenarios von verschiedenen lokal durchgeführten Anwendungen zu spiegeln und Informationen zu synchronisieren. Jeder Teilnehmer und Administrator führt somit eine lokale Anwendung über den Web-Browser oder eine Android App durch, welche über Photon Network zu einer gemeinsamen Anwendung synchronisiert wird. Dadurch können die Informationen wie zum Beispiel über die Fortbewegung des Administrators an alle Teilnehmer weitergegeben werden und dort zu einem automatischen Positionswechsel führen oder die Interaktion mit einem Modell für alle Teilnehmer lokal gespiegelt werden. Mit Hilfe von Photon Network ist somit eine Anbindung mehrere Teilnehmer in einem virtuellen Raum möglich und umgesetzt.

Für die Entwicklung einer webbasierten Anwendung gibt es von Unity die Möglichkeit mit Hilfe der integrierten Bibliothek und JavaScript-Programmierschnittstelle Web Graphics Library (WebGL) eine HTML5 Webseite zu erstellen. Hierbei wird automatisch das abgebildete Szenario und Anwendung über Javascript für alle gängigen Web-Browser aufbereitet und nutzbar gemacht. Die Anwendung wird im Web-Browser gestartet und ausgeführt, was eine zusätzliche Installation und Einrichtung unnötig macht. Hierbei werden gleichzeitig aufwendige Anpassungsentwicklungen vermieden, da eine Anwendung nicht für spezielle Betriebssysteme wie iOS oder Android entwickelt werden muss. Somit liegt eine webbasierte Applikation, die Betriebssystem- und Versionsunabhängig ist, vor.

Um diese Inhalte nun für VR aufbereitet im Web-Browser nutzen zu können, wurde eine zusätzliche Softwarelösung namens WebVR angebunden (WEBVR 2018). WebVR ermöglicht die Übersetzung der Anwendung in eine VR-Applikation innerhalb des Web-Browsers. Es wird hierbei automatisch unterschieden, ob es sich um ein VR-fähiges Gerät wie ein

Smartphone handelt. Wenn ein VR-fähiges Gerät die Webseite aufruft wird über ein zusätzlich eingeblendetes Touch Bedienfeld die VR-Ansicht aktiviert und somit im Browser das Bild zu zwei Ansichten aufgeteilt (siehe Abbildung 3 links). Mit einem Cardboard ist die Immersion dabei am größten. Für den Fall, dass kein VR-fähiges Gerät die Anwendung startet oder die VR-Ansicht nicht aktiviert wird, wird die Anwendung in einem Bild als 3D-Anwendung ausgeführt, wodurch auch eine Teilnahme mit Laptop oder Tablet gewährleistet ist (siehe Abbildung 3 rechts). Hierbei gehen allerdings die Immersion und somit auch der gesteigerte Lerneffekt verloren.



**Abb. 3:** Virtueller Exkursraum – VR-Ansicht und 3D-Ansicht

Neben der webbasierten Anwendung wurde die gleiche Applikation für das Android Betriebssystem Version 8.0 als App erzeugt. Grund hierfür ist die Nutzung eines Hand-Controllers als Zeige- und Interaktionsstab (siehe Abschnitt 4.2). Eine Interaktion und Bewegung ohne Tracking über zusätzliche Sensoren ist nur über das Teleportieren und Zeigen mit einem Hand-Controller möglich. Eine Kopplung des Hand-Controllers ist nur mittels des Android SDK<sup>4</sup> umsetzbar und konnte auch nicht nach Recherche und mehreren Versuchen mit WebVR im Browser realisiert werden. Diese Umstände bieten allerdings die Möglichkeit für Nutzer der App mehr Rechte und Interaktionsoptionen zu schaffen. Der Unterschied im Szenario ist das Administrator Menü, welches an den Hand-Controller gebunden und somit nur in der Android App genutzt werden kann, wie im Abschnitt 4.2 beschrieben ist. Einschränkend gilt zu sagen, dass die App nur für Daydream<sup>5</sup> kompatible Smartphones mit allen Funktionen genutzt werden kann. Da dies aber nur für den Administrator gilt, ist diese Lösung die kostengünstigste und sinnvollste.

## 4.2 Visualisierungstools und Administrator Menü

Um den Mehrwert von VR zu anderen 3D-Simulationen und Modellen in Desktopanwendungen aufzuzeigen, wurden einige beispielhafte Werkzeuge zur Visualisierung, Manipulation und Interaktion implementiert. Bei Benutzung der App wird der Nutzer automatisch der Administrator des vorgestellten Szenarios und kann mit den Elementen und Modellen interagieren. Für diese Interaktionen wurde ein Menü, welches über die Benutzung des Hand-Controllers bedient werden kann erstellt (siehe Abbildung 4). Für einen Demonstrator wur-

<sup>4</sup> <https://developer.android.com/studio/>

<sup>5</sup> <https://vr.google.com/daydream/>

den folgende Interaktionsmöglichkeiten als sinnvoll und hilfreich befunden und deshalb implementiert. Dabei wurde darauf geachtet, dass das Menü so gestaltet und umgesetzt ist, dass es leicht durch zusätzliche Interaktionen erweitert werden kann. Für eine kontinuierliche Übersichtlichkeit ist das Menü in einer Baumstruktur aufgebaut und die Auswahl eines bestimmten Bereiches öffnet die weiteren Unterebenen. Dadurch ist eine weite Verschachtelung möglich.

Die wesentliche Funktion ist der *Teleport*, welcher es dem Administrator ermöglicht sich im virtuellen Raum fortzubewegen ohne dies in der Realität durchführen zu müssen und somit frei von realen Grenzen zu sein. Das Besondere hierbei ist, dass über die VR-Plattform automatisch alle Teilnehmer ebenfalls an diese Stelle versetzt werden und somit dem Administrator stetig folgen. Um Motion-Sickness zu vermeiden und die Immersion zu fördern ist die Rotation bei allen Teilnehmern selbstbestimmt.



**Abb. 4:** Interaktionsmenü des Hand-Controllers

Zusätzlich zum *Teleport* wurden Funktionalitäten für das *Management*, die *Visualisierung* und *Interaktion* implementiert. Das *Management* verfügt über die Funktion das Szenario zu wechseln und somit direkt innerhalb der Anwendung von einem gezeigten Modell ins nächste bzw. vorherige zu wechseln, ohne aus der Anwendung austreten oder ein erneutes Laden durchführen zu müssen. Die *Visualisierung*

beinhaltet Einstellungsmöglichkeiten der visualisierten Farbverläufe während der Laufzeit. So kann der Farbgradient verändert oder die Dicke der Linie (siehe Abbildung 3) angepasst werden.

Der Bereich *Interaktion* ist die eigentliche Interaktion mit dem Modell. Hier können Teile des Modells durch das darauf zeigen mit dem Hand-Kontroller hervorgehoben werden. Dabei werden die markierten Teile farbig umrandet oder alle umliegenden Teile transparent dargestellt. Das *Aktivieren* ermöglicht zusätzliche Skripte an einem Modell zu aktivieren und deaktivieren. Hier kann z.B. ein detaillierter Wandaufbau eingeblendet werden, wenn die Wand ausgewählt wird (siehe Abbildung 3).

Die *Explosion* ermöglicht das visuelle Aufteilen des 3D-Modells und Auftrennen in seine Einzelteile durch ein geometrisches Auseinanderschleiben ähnlich einer Explosionszeichnung. Dieses hilfreiche Werkzeug ermöglicht es in komplexen Modellen einen vollumfänglichen und real nicht möglichen Einblick zu schaffen. Das *Skalieren* und *Rotieren* ist ebenfalls ein nützliches Hilfsmittel, indem das Modell gedreht oder in der Größe verändert wird und somit die Stärke von virtuellen Lehrräumen eindrucksvoll belegt.

## 5 Fazit und Ausblick

In einer Demonstrator-Anwendung konnte gezeigt werden, dass eine VR-Plattform für die interaktive Visualisierung von 3D-Modellen und Simulationen mit mehreren Nutzern umgesetzt und genutzt werden kann. Eine webbasierte Plattform konnte geschaffen werden, wel-

che es ermöglicht die VR-Anwendung zu nutzen unabhängig des Betriebssystems und Version des Gerätes. Die webbasierte Entwicklung ermöglicht die Nutzung von High-End Geräten wie HTC Vive, Oculus Rift aber auch kostengünstige und alltägliche Geräte wie Smartphones. Zusätzlich wurde hierbei eine Möglichkeit gefunden die Teilnahme auch für Geräte ohne VR-Technologie zu gewährleisten. Mit Hilfe einiger beispielhafter Interaktionsmöglichkeiten für den Administrator in einer angebundenen Android App konnten die Stärken der VR-Technologie für Lehre und zur Verständnissteigerung demonstriert und mit der webbasierten Plattform gekoppelt werden. Eine kostengünstige Lösung mit geringen Einrichtungsaufwand für die Steigerung des Lerneffekts wurde somit für verschiedene Fachbereiche und Sachverhalte geschaffen.

Nachdem die sinnvolle Kombination verschiedener Technologien eine kostengünstige VR-Plattform ermöglicht hat, wäre der nächste Schritt diese mit einem automatischen Aufbereitungsprozess für 3D-Modelle zu erweitern und dies im Lehrbetrieb zu validieren. Anschließend wäre es möglich beliebige 3D-Modelldaten aus unterschiedlichen Datenformaten hochzuladen und diese selbständig durch die Plattform validieren und für die Anwendung aufbereiten zu lassen. Es könnte somit ein Weg geschaffen, nicht nur die Anwendung der Plattform benutzerfreundlich und einfach umzusetzen, sondern auch die Einrichtung der Modelle für beliebige Fachkreise mit unterschiedlichen technologischen Wissenstand zu öffnen und anwendbar zu gestalten.

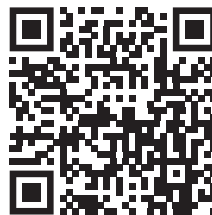
## Literatur

- AI-LIM LEE, E., WONG, K. W. & FUNG, C. C. (2010). How does desktop virtual reality enhance learning outcomes? A structural equation modeling approach. *Computers & Education*, 55(4), 1424–1442. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.06.006>
- DÁVIDEKOVÁ, M., MJARTAN, M. & GREGUŠ, M. (2017). Utilization of Virtual Reality in Education of Employees in Slovakia. *Procedia Computer Science*, 113, 253–260. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.08.365>
- GOOGLE. (2017, January 2). Google Expeditions. Retrieved 24 May 2018, from <https://www.google.com/expeditions/>
- KOCKRO, R. A., AMAXOPOULOU, C., KILLEEN, T., WAGNER, W., REISCH, R., SCHWANDT, E., ... STADIE, A. T. (2015). Stereoscopic neuroanatomy lectures using a three-dimensional virtual reality environment. *Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger*, 201, 91–98. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2015.05.006>
- MEUNIER, L., KELLER, D. & GUÉDON, P. (2018). Virtual Reality: Lessons learned from WEST design and perspectives for nuclear environment. *Fusion Engineering and Design*. <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2018.05.004>
- PHOTON. (2018). Multiplayer Game Development Made Easy | Photon Engine. Retrieved 30 May 2018, from <https://www.photonengine.com/>
- SAMPAIO, A. Z., FERREIRA, M. M., ROSÁRIO, D. P. & MARTINS, O. P. (2010). 3D and VR models in Civil Engineering education: Construction, rehabilitation and maintenance. *Automation in Construction*, 19(7), 819–828. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.05.006>
- UNITY. (2018). Unity. Retrieved 30 May 2018, from <https://unity3d.com>
- WEBVR. (2018). WebVR - Bringing Virtual Reality to the Web. Retrieved 30 May 2018, from <https://webvr.info/>





© Professur Informatik im Bauwesen  
Bauhaus-Universität Weimar  
2018



ISBN: 978-3-00-060726-4

DOI: <https://doi.org/10.25643/bauhaus-universitaet>