

## Virtual Reality in der Fahrzeuglackiererausbildung

Matthias WEISE<sup>1</sup>, Ingo SCHULZ<sup>2</sup>, Gregor TALLIG<sup>2</sup>,  
Raphael ZENDER<sup>1</sup>, Ulrike LUCKE<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Institut für Informatik und Computational Science  
Universität Potsdam  
August-Bebel-Str. 89, D-14482 Potsdam*  
<sup>2</sup> *Mercedes-Benz Ludwigsfelde GmbH  
Zum Industriepark 10, D-14974 Ludwigsfelde*

**Kurzfassung:** Die handlungsorientierte Ausbildung von Fahrzeuglackierer\*innen erfordert häufige Übungen mit gesundheitlichen, ökonomischen und ökologischen Risiken. Virtual Reality kann helfen einen Teil der erforderlichen Übungen authentisch zu simulieren und zudem neue Trainingsmöglichkeiten eröffnen. Die in diesem Beitrag beschriebenen Zwischenergebnisse des Projekts HandLeVR beschreiben den Einsatz und die technische Gestaltung einer VR-Lackierwerkstatt als Trainingsinstrument in der beruflichen Fahrzeuglackiererausbildung.

**Schlüsselwörter:** Virtual Reality, Lernen, Bildungstechnologien, Lackieren, Berufliche Bildung, Simulation

### 1. Motivation

Die Kompetenzorientierung in der Berufsbildung erfordert häufige, handlungsorientierte Lerneinheiten mit Lernfortschrittskontrollen. In der Ausbildung von Fahrzeuglackierer\*innen sind diese jedoch schon aus gesundheitlichen (z.B. Einatmen von Lackdämpfen) und ökologischen (z.B. umweltschädliche Lacke) Gründen problematisch. Dieser Bereich kann daher sehr vom Einsatz von Virtual Reality (VR) profitieren. Die Technologie hat sich sowohl beim Training einfacher psychomotorischer Aufgaben als auch bei der Entwicklung komplexer Kompetenzen einschließlich Wissen, Fähigkeiten und Einstellungen bewährt (Zender et al. 2018).

Im BMBF-geförderten Projekt „Handlungsorientiertes Lernen in der VR-Lackierwerkstatt“ (HandLeVR)<sup>1</sup> wird untersucht, welchen konkreten Beitrag VR-Technologien bieten, um handlungsorientiertes Lernen in der Berufsausbildung zu ermöglichen und wie diese Technologien didaktisiert werden können, um entsprechende Lernerfolge sicherzustellen (Zender et al. 2020). Methodisch wurde der Ansatz des „Design-Based Research“ (DBR) nach McKenney & Reeves (2018) gewählt, um diese theoretische Fragestellung mit dem praktischen Ziel der Optimierung der Lackierausbildung zu vereinen.

Zentrales Untersuchungsinstrument ist ein Lernsystem mit VR-Anteil - die VR-Lackierwerkstatt. Dieser Beitrag beschreibt die Einbettung der VR-Lackierwerkstatt in den beruflichen Ausbildungsalltag und stellt die Anwendung unter informatisch-gestalterischer Perspektive vor.

---

<sup>1</sup> HandLeVR wird gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen: 01PV18002A, Laufzeit: 01.01.2019 - 31.12.2021.

## 2. Einsatzszenario

Das Einsatzszenario für die VR-Lackierwerkstatt ist fachdidaktisch im Bereich der Berufsausbildung von Fahrzeuglackierer\*innen angesiedelt. In Einzel- oder Gruppenausbildungen werden hier unter anderem verschiedene Techniken für den Auftrag von Lacken auf Werkstücke (z.B. Motorhaube eines Fahrzeugs) erlernt und zur Verstetigung immer wieder im Rahmen der dreijährigen Ausbildung geübt.

Diese Übungen sollen durch die VR-Lackierwerkstatt einerseits in größerem Umfang möglich werden, als ökologisch, ökonomisch und gesundheitlich in der Realität sinnvoll. Andererseits werden neue Übungsszenarien denkbar (z.B. exotische Werkstücke oder schwer real erzeugbare Problemsituationen) und somit wird ein Mehrwert in Ergänzung zum etablierten, realweltlichen Training geschaffen.

Je nach Ausstattung und Größe des Ausbildungsbetriebs kann dieser die VR-Lackierwerkstatt mit eigenem VR-Equipment anbieten oder seine Auszubildenden am VR-Systemen in regionalen Berufsbildungszentren (o.ä. Weiterbildungsorten) trainieren lassen.

Ein typischer Lernprozess mit der VR-Lackierwerkstatt sieht zunächst die Vorbereitung des Lernszenarios (z.B. 2-Schicht-Lackierung eines Kotflügels inkl. zugreifbarer Hilfsmittel und verbaler Anweisungen) durch Ausbildungsmeister\*innen vor. Im zweiten Schritt „betreten“ Auszubildende durch das Starten der VR-Anwendung und das Aufsetzen eines VR-Headsets<sup>2</sup> die VR-Lackierkabine und führen die Lernhandlung durch. Im finalen Schritt werten Ausbildungsmeister\*innen und Auszubildende die Lernleistung gemeinsam am Bildschirm aus. Dafür werden verschiedene Messungen automatisch durch die VR-Lackierwerkstatt während der Lernhandlung durchgeführt (z.B. verschwendete Farbmenge, erzielte Farbdicke) und zur Reflektion grafisch aufbereitet.

Die Ermittlung sinnvoller Übungstakte und -zeiträume sowie die Empfehlung wirtschaftlich und technisch effizienter VR-Systeme für den Betrieb der VR-Lackierwerkstatt sind ebenfalls Gegenstand des Projektes HandLeVR.

## 3. VR-Lackierwerkstatt

Das Gesamtlernsystem besteht aus drei Hauptkomponenten:

1. Ein Autorenwerkzeug wird zur Vorbereitung einer konkreten Lernhandlung von Ausbilder\*innen genutzt (z.B. durch Einbindung fertiger Templates für konkrete Lerneinheiten und/oder neuer 3D-Modelle).
2. Eine VR-Trainingsanwendung – die Lackierkabine – dient im berufsfachlichen Kern dem Training und der Qualitätskontrolle von Farbaufträgen auf Werkstücke.
3. In einer Reflektionsanwendung können Auszubildende untereinander bzw. mit den Ausbilder\*innen ihre Lernhandlungen auswerten.

Zentraler Gegenstand dieses Beitrags ist die VR-Lackierkabine, welche in *Unity*<sup>3</sup> entwickelt wird. Bei ihrer Gestaltung sowie dem VR-Lackiervorgang spielen Authentizität und Realismus eine tragende Rolle. Nur durch die Ähnlichkeit der realen und der künstlichen Situation kann sichergestellt werden, dass die in VR trainierten Bewegungen und Prozesse auf reale Handlungsabläufe übertragen werden können (Rose et al. 2000). Aus diesem Grund bestehen ebenso hohe Anforderungen an das

---

<sup>2</sup> derzeit HTC Vive (Pro), Oculus Rift, Oculus Quest mit Oculus Link, Windows Mixed Reality

<sup>3</sup> <http://unity.com>

Eingabegerät, welches möglichst einer echten Lackierpistole entsprechen sollte. Mit dem Medium VR gehen außerdem neue Möglichkeiten einher Informationen zu vermitteln. Darum soll in der Anwendung ein\*e virtuelle\*r Ausbildungsmeister\*in umgesetzt werden, um den Auszubildenden zur Seite zu stehen. Die genannten Aspekte werden im Folgenden beleuchtet.

### 3.1 Gestaltung der VR-Anwendung

Im Fokus der nachgebildeten Lackierkabine steht die Fragestellung nach der Wirkung einer realitätsnahen Umgebung für Lerntransferprozesse, insbesondere im Vergleich zu einer fehlenden authentischen Umgebung. Abbildung 1 (links) zeigt die virtuelle Lackierkabine, die einem existierenden Vorbild nachempfunden wurde. Dies ermöglicht Lackiervorgänge in einer authentischen Umgebung zu trainieren. Im Zentrum der Kabine können verschiedenste, dreidimensionale Teile eines Fahrzeugs (z.B. Motorhaube, Kotflügel oder Tür) platziert werden, um unter anderem an problematischen Oberflächen, wie z.B. Kanten und Krümmungen, üben zu können. Die Werkstücke befinden sich auf einem Lackierständer, der es ermöglicht die Höhe und Drehung zu verändern und so das Werkstück auf die eigene Körpergröße anzupassen. Ein Papier an der Wand erlaubt es, wie bei einem tatsächlichen Lackiervorgang, eine Spritzprobe durchzuführen, um zu überprüfen, ob die Lackierpistole korrekt funktioniert, richtig eingestellt ist sowie dass keine Verschmutzungen vorliegen.



**Abbildung 1:** (links) Ausschnitt der virtuellen Lackierpistole mit halb lackiertem Werkstück.  
(rechts) gedruckte Lackierpistole mit Vive Tracker<sup>4</sup> zur 3D-Ortung im Raum

Momentan können die wesentlichen Konfigurationen der VR-Lackierkabine über ein Panel an der Seite der Lackierkabine genutzt werden. Neben der Auswahl des Werkstückes ist es hierüber auch möglich verschiedene Hilfestellungen zu aktivieren, die dabei unterstützen die Lackierpistole im richtigen Abstand und Winkel zum Werkstück zu halten. So kann beispielsweise ein Strahl zwischen Lackierpistole und Werkstück eingeblendet werden, der durch verschiedene Farben signalisiert, ob die tolerierte Entfernung eingehalten wird. Ein Auswertungsmodus ermöglicht außerdem, das Überlagern des Werkstückes mit einer *Heatmap*, die es nach einem Lackiervorgang ermöglicht festzustellen, in welchen Bereichen zu viel oder zu wenig Farbe

<sup>4</sup> <https://www.vive.com/de/vive-tracker>

appliziert wurde. Weiterhin lässt sich in diesem Modus erkennen, wie viel Farbe auf das Werkstück getroffen ist und wie viel nicht für dessen Oberfläche genutzt wurde. Eine weitere Form der Reflektion stellt die Möglichkeit dar, die Bewegungen der Lackierpistole sowie den erzielten Farbauftrag aufzunehmen und später im dreidimensionalen Raum erneut abzuspielen. So können z.B. Fehler bei der Handhabung der Lackierpistole identifiziert werden.

Eine zentrale Anforderung an die VR-Anwendung ist, dass der Farbauftrag möglichst realistisch nachempfunden und entsprechend auch das Verhalten des Lackes auf dem Werkstück realitätsnah dargestellt wird. Aus diesem Grund wurde ein Modell entwickelt, das die verschiedenen Eigenschaften eines Lackes abbildet und entsprechende Auswirkungen auf dessen Simulation hat. Neben den eigentlichen Farbpigmenten kann hierüber beispielsweise die minimal nötige Schichtdicke eingestellt werden, ab der die Farbe komplett deckt. Auch die Reflektionseigenschaften werden abgebildet, beispielweise reflektiert eine Grundierung mehr als ein Metallic-Lack. Die maximale Schichtdicke und die Viskosität, die ebenfalls über das Lackmodell einstellbar sind, beeinflussen darüber hinaus wann und wie schnell die Farbe zu laufen beginnt. So können spezifische Fehlerfälle wie zu wenig applizierte Farbe oder Läufer dargestellt werden, die wichtig sind, um einen falschen Farbauftrag zu identifizieren.

### 3.2 Controller: Lackierpistole

Ob die Haptik bei einem Lackiervorgang ein entscheidender Aspekt ist, der auch bei der Umsetzung einer VR-Lackierkabine beachtet werden muss, ist die zentrale Fragestellung um die nachgebildete Lackierpistole. Echte Lackierpistolen haben eine spezifische Form und eine entsprechende Gewichtsverteilung, die stark von VR-Controllern gängiger VR-Systeme abweichen. Zwar bieten diese meist einen Abzugbügel, der ähnlich wie der einer echten Lackierpistole genutzt werden kann, doch auch hier gibt es starke haptische Unterschiede. So hat der Abzug einer Lackierpistole einen längeren Übertragungsweg, mehrere Druckpunkte und ist entsprechend schwergängig. Um all diese Faktoren zu berücksichtigen wird neben einem typischen VR-Controller auch ein Nachbau einer Lackierpistole als Eingabegerät verwendet, der in Abbildung 1 (rechts) zu sehen ist.

Hierbei ist hervorzuheben, dass die Nachbildung nur haptisch dem Vorbild entsprechen muss, sich aber optisch unterscheiden kann. Dies konnte ausgenutzt werden um Platz für die benötigte Mechanik und Elektronik zu schaffen. So war es möglich den Abzugbügel, sowie Drehknöpfe für Materialmengenregulierung, Rund-/Breitstrahlregulierung und Luftmikrometer anzubringen und Änderungen dieser entsprechend als Eingaben zu nutzen.

Ein Großteil der Bauteile kann im 3D-Druck erstellt werden. Hinzu kommen handelsübliche elektronische Bauteile wie Potentiometer und ein Arduino Nano<sup>5</sup>, um die Eingaben entsprechend zu erfassen und per USB an den Computer zu übermitteln. Die Position und Orientierung im Raum werden über einen Vive-Tracker ermittelt. Da sich die übermittelten Werte für den Abzugbügel und die Drehknöpfe über verschiedene gedrückte Lackierpistolen hinweg unterscheiden können, wurde ein Initialisierungsprozess in die Anwendung integriert. So können die Druckpunkte und Anschläge mit Hilfe der Nutzenden identifiziert werden.

---

<sup>5</sup> <https://store.arduino.cc/arduino-nano>

### 3.3 Virtueller Ausbildungsmeister

Gerade vor und nach einem Lackiervorgang werden die Auszubildenden in der realen Ausbildung durch Ausbildungsmeister\*innen mit Handlungsanweisungen bzw. einer Auswertung der eigenen Leistung unterstützt. Aber auch während eines Lackiervorganges können kurze, persönliche Hilfestellungen den Lernerfolg fördern. Aus diesem Grund wird in HandLeVR der Nutzen virtueller Ausbildungsmeister\*innen als unterstützende „Non-player Character“ (NPC) untersucht. Gerade die Lerneffekte in Abhängigkeit von der Authentizität von virtuellen Ausbildungsmeister\*innen sind im spezifischen Erkenntnisinteresse des Projekts. Somit liegt neben der Verwendung realitätsferner, künstlicher Avatare auch ein Augenmerk auf realitätsnahen NPCs.

Abbildung 2 zeigt ein aktuelles Zwischenergebnis, das 3D-Modell eines Ausbildungsmeisters der Mercedes-Benz Ludwigsfelde GmbH. Dieses wurde mittels 3D-Full-Body-Scan mit 112 Kameras und speziellen 3D-Projektoren durch einen kommerziellen Anbieter von 3D-Scans<sup>6</sup> angefertigt.



**Abbildung 2:** Digitaler Avatar als Ergebnis des 3D-Scans eines realen Ausbildungsmeisters

Das Modell enthält derzeit 3,5 Millionen Polygone und muss daher für die ressourcensparende Verwendung in der VR-Lackierkabine zunächst auf ca. 10.000 Polygone reduziert werden. Im nächsten Schritt wird das Modell mittels *Rigging* zur Animierbarkeit in einen in Unity nutzbaren Avatar mit Knochen und Gelenken umgewandelt. Sprachausgaben werden per Sprachsynthese durchgeführt, wobei derzeit die Auswahl einer geeigneten Sprachsynthese-API durchgeführt wird. Für die zur Sprachausgabe passende Mimik werden weiterhin sogenannte *Blendshapes* erstellt, die die Gesichtstextur passend zu den Phonemen der deutschen Sprache verändern.

## 4. Zusammenfassung

Mit der in diesem Beitrag beschriebenen VR-Lackierwerkstatt soll die berufliche Fahrzeuglackiererausbildung ein lernwirksames Trainingsinstrument mitsamt Einsatzkonzept erhalten. Dieses verlagert einen Teil der erforderlichen Lackierübungen in den ökologisch, ökonomisch und gesundheitlich attraktiveren virtuellen Raum und ermöglicht somit sowohl häufigere Übungen als auch neue Trainingsansätze. Durch

---

<sup>6</sup> <http://www.3dgeneration.com>

realitätsnahe Lackierhandlungen in einer nachgebildeten aber authentischen Lackierkabine soll der Transfer des Erlernten von der VR in die Realität gelingen.

Geleitet werden die technischen Entwicklungen durch gezielte didaktische (Zender et al. 2020) und betriebliche Erfordernisse und Empfehlungen, um entsprechende Lernerfolge sicherzustellen. Neben der für 2021 geplanten Open Source- und OER-Veröffentlichung der Projektergebnisse werden derzeit in Zusammenarbeit mit Berufsbildungszentren und anderen beruflichen Bildungsanbietern Betriebs- und Zugangsmöglichkeiten für Auszubildende im Bereich Fahrzeuglackierung erarbeitet. Auch gewerkeübergreifende Transferpotentiale werden untersucht.

Interessenten an den HandLeVR-Projektergebnissen bzw. der Mitwirkung in Evaluierungsläufen der VR-Lackierwerkstatt, werden um eine Kontaktaufnahme über die Projektwebseite<sup>7</sup> gebeten.

## 5. Literatur

- McKenney S, Reeves TC (2018) Conducting educational design research. Routledge.
- Rose F, Attree E, Brooks B, Parslow D, Penn P, Ambihapahan N (2000) Training in virtual environments: Transfer to real world tasks and equivalence to real task training. *Ergonomics* 43: 494-511.
- Zender R, Weise M, von der Heyde M, Söbke H (2018) Lehren und Lernen mit VR und AR – Was wird erwartet? Was funktioniert? In: Proceedings of DeLFI Workshops 2018 co-located with 16th e-Learning Conference of the German Computer Society (DeLFI 2018). Frankfurt: CEUR -WS.org.
- Zender R, Sander P, Weise M, Mulders M, Lucke U, Kerres M (2020) Action-oriented Learning in a VR Painting Simulator. In: Emerging Technologies for Education – Proceedings of the 4th International Symposium on Emerging Technologies for Education. Magdeburg: Springer.

---

<sup>7</sup> <https://handlevr.de>



Gesellschaft für  
Arbeitswissenschaft e.V.

## Digitale Arbeit, digitaler Wandel, digitaler Mensch?

66. Kongress der  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

TU Berlin  
Fachgebiet Mensch-Maschine-Systeme

HU Berlin  
Professur Ingenieurpsychologie

16. – 18. März 2020, Berlin

---

## GfA-Press

---

**Bericht zum 66. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 16. – 18. März 2020**

**TU Berlin, Fachgebiet Mensch-Maschine-Systeme  
HU Berlin, Professur Ingenieurpsychologie**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.  
Dortmund: GfA-Press, 2020  
ISBN 978-3-936804-27-0

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle erhältlich.  
Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Dortmund**  
**Schriftleitung: Matthias Jäger**

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet:

- den Kongressband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Kongressband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

**Screen design und Umsetzung**

© 2020 fröse multimedia, Frank Fröse

[office@internetkundenservice.de](mailto:office@internetkundenservice.de) · [www.internetkundenservice.de](http://www.internetkundenservice.de)