

**Cross-Reality Interaction 2024**

Edited by Pascal Knierim

# XR-I 2024

2nd Seminar on Cross-Reality Interaction  
February 2, 2024, Innsbruck, Austria

Edited by  
Pascal Knierim

## Editor

Pascal Knierim  
Interactive Graphics and Simulation Group  
Department of Computer Science  
Universität Innsbruck  
pascal.knierim@uibk.ac.at

*ACM Classification 1998 - H.5 INFORMATION INTERFACES AND PRESENTATION*

ISBN: 9798880099276

*Publication date*  
2. Februar 2024

## License:



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 3.0 Unported license (CC-BY 3.0): <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/legalcode>. In brief, this license authorizes each and everybody to share (to copy, distribute and transmit) the work under the following conditions, without impairing or restricting the authors' moral rights:

- Attribution: The work must be attributed to its authors.

The copyright is retained by the corresponding authors.

## ■ Vorwort

Die Digitalisierung hinterlässt tiefe Spuren in allen Bereichen unseres Lebens und Arbeitens. Sie transformiert fundamentale Gesellschaftsbereiche wie Kommunikation, Mobilität und Finanzen durch die allgegenwärtige Präsenz von Computersystemen. Diese Entwicklung führt dazu, dass unsere Interaktionen mit der Umwelt immer mehr von Mensch-Computer-Interaktionen geprägt sind, während die Kommunikation mit anderen zunehmend durch digitale Technologien vermittelt wird. Die eingesetzten Technologien und das Design dieser Interaktionen haben daher einen entscheidenden Einfluss auf unsere Erfahrungen in der digitalen Welt. Vor diesem Hintergrund wurde das Seminar Cross Reality Interaction (XR-I) ins Leben gerufen, um Einblicke in die zukünftigen Entwicklungen im Bereich der Digitalisierung zu gewähren.

Das Seminar fokussierte sich auf die Erforschung und das Verständnis der Interaktion zwischen der realen und der virtuellen Welt, insbesondere durch die Technologien der Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR). Im Rahmen dieses Kurses haben Studierende die Gelegenheit erhalten, sich intensiv mit den unterschiedlichen Aspekten von XR-I auseinanderzusetzen, von theoretischen Grundlagen bis hin zu praktischen Anwendungen. Diese Auseinandersetzung ermöglichte es den Teilnehmenden, fundierte Einblicke in die Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft von VR und AR zu gewinnen und deren Potenzial für die Erweiterung menschlicher Fähigkeiten auszuloten.

Die Veranstaltung des Seminars Cross Reality Interaction am 02.02.2024 an der Universität Innsbruck diente als Plattform für den Austausch von Wissen und Ideen. Studierende hatten die Möglichkeit, ihre Arbeiten zu präsentieren und ihre Themen zu diskutieren.

In diesem Buch sind die Ausarbeitungen und Erkenntnisse zusammengefasst, die im Zuge dieses Seminars entstanden sind.

## ■ Inhaltsverzeichnis

|  |            |
|--|------------|
| Einblicke in die Anfänge der Mixed Reality<br><i>Maria Makhov</i> .....  | 1:1–1:12   |
| Augmented Reality in Language Learning<br><i>Marco Cotrotzo</i> .....  | 2:1–2:12   |
| Mixed Reality for Museums<br><i>Jan Geiger</i> .....   | 3:1–3:12   |
| Aktueller Stand von Mixed Reality Training: Anwendbarkeit und<br>Effektivität<br><i>Jona Florian Müller</i> .....                | 4:1–4:12   |
| Mixed Reality im Sport<br><i>Erik Cikalleshi</i> .....   | 5:1–5:12   |
| Effiziente Texteingabe mit Tastaturen in dynamischen Mixed<br>Reality Umgebungen<br><i>Thomas Schwarz</i> .....                  | 6:1–6:12   |
| Prototyping Mixed Reality: Eine Analyse von Prototyping-Tools<br>und ihre Auswirkungen auf Entwickler<br><i>Lukas Mayr</i> ..... | 7:1–7:12   |
| Immersive Technologien in der Medizin: Augmented und Virtual<br>Reality im medizinischen Bereich<br><i>Greta Karbon</i> .....    | 8:1–8:12   |
| Mixed Reality in der Ausbildung: Innovation für die Zukunft des<br>Lernens<br><i>Tobias Beiser</i> .....                         | 9:1–9:12   |
| VR-Krankheitsprognose<br><i>Benedikt Glaser</i> .....  | 10:1–10:12 |
| Verbesserung der menschlichen Wahrnehmung durch XR<br><i>Kay Erschbaumer</i> .....   | 11:1–11:12 |
| Blick- und Gangerkennung in erweiterter Realität im Vergleich<br><i>Max Santeler</i> .....                                       | 12:1–12:12 |
| Biometrische Authentifizierung durch Handbewegungen in der<br>virtuellen Realität<br><i>Martin Berkold</i> .....                 | 13:1–13:12 |

## Inhaltsverzeichnis

|   |            |
|---|------------|
| Vulnerabilitäten und Abwehrmaßnahmen gegen Social-Engineering<br>und Cyberangriffe.<br><i>Lukas Hofer</i> .....                                       | 14:1–14:12 |
| Dark patterns<br><i>Emanuel Ernst Schlemmer</i> .....   | 15:1–15:12 |
| Fortbewegung in virtuellen Räumen: Überblick über innovative<br>Redirected Walking Techniken durch Reinforcement Learning<br><i>David Gstir</i> ..... | 16:1–16:12 |

## ■ Teilnehmende



**Maria Makhov**

Maria.Makhov@student.uibk.ac.at

**Tobias Beiser**

Tobias.Beiser@student.uibk.ac.at

**Marco Cotrotzo**

Marco.Cotrotzo@student.uibk.ac.at

**Benedikt Glaser**

Benedikt.Glaser@student.uibk.ac.at

**Jan Geiger**

Jan.Geiger@student.uibk.ac.at

**Kay Erschbaumer**

Kay.Erschbaumer@student.uibk.ac.at

**Jona Florian**

Jona.Mueller@student.uibk.ac.at

**Max Santeler**

Max.Santeler@student.uibk.ac.at

**Erik Cikalleshi**

Erik.Cikalleshi@student.uibk.ac.at

**Martin Berktold**

Martin.Berktold@student.uibk.ac.at

**Thomas Schwarz**

csaz5437@student.uibk.ac.at

**Lukas Hofer**

csaz9699@student.uibk.ac.at

**Lukas Mayr**

csaz1078@student.uibk.ac.at

**Emanuel Ernst**

Emanuel.Schlemmer@student.uibk.ac.at

**Greta Karbon**

Greta.Karbon@student.uibk.ac.at

**David Gstir**

D.Gstir@student.uibk.ac.at

# Einblicke in die Geschichte der Mixed Reality

Maria Makhov

Universität Innsbruck, Innsbruck, Österreich  
maria.makhov@student.uibk.ac.at

## Zusammenfassung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Entstehung und Entwicklung der Definition des Begriffs "Mixed Reality" (MR) und alles was dieser beinhaltet. Es werden Konzepte wie Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR) und Extended Reality (XR) kurz beschrieben, da diese eng mit der Mixed Reality verbunden sind. Weiters werden erste Konzepte und Geräte im Detail angesehen, welche ihrer Zeit weit voraus waren und für die längste Zeit nur Theorien blieben. Der Head-Mounted Display von Ivan Sutherlands [8] in den 1960er Jahren war noch lange nicht alltagstauglich und die erstmalige Begriffsprägung von Mixed Reality von Paul Milgram und Fumio Kishino [6] in den 1990er Jahren war bis langen nur eine Theorie.

Sehr viel später traute sich Google mit dem Google Glass eine zum Verkauf taugliche AR-Brille auf den Markt zu bringen. Die Firma steckte dabei sehr viel Zeit und Ressourcen in die Entwicklung in Richtung Mixed Reality. Diese Bemühen waren aber letztlich vergebens, da sie die Produktion und Verkauf der Glass vor Kurzem einstellten. [3]

Damit und auch aufgrund von anderen Problemen sind die zukünftigen Ausblicke für die Mixed Reality im Moment sehr viel pessimistischer als sie in den damaligen Theorien vor ca. 50 Jahren waren.

**2012 ACM Computing Classification** Human-centered computing → Human computer interaction (HCI) → Interaction paradigms → Mixed / augmented reality

**Keywords and phrases** Mixed Reality; Geschichte; Gemischte Realität.

## 1 Umfang und Ziel dieser Arbeit

Mixed Reality stellt einen wichtigen Baustein zur Extended Reality (XR) dar, unter welcher Augmented und Virtual Reality auch fallen. Der Begriff Virtual Reality wird inzwischen im Alltag so oft verwendet, dass ich mich persönlich gefragt habe, wo es alles begonnen hat. Weil Extended Reality aber schon ein

## 1:2 Die Geschichte der Mixed Reality

so umfassendes Thema ist, werde ich mich auf einen Aspekt dieser Technologie fokussieren, nämlich der Mixed Reality. Es werden zuerst die Entstehung des Begriffs und erste Konzepte, die die Forschung in diese Richtung begünstigten, genauer betrachtet. Dabei ist auch interessant zu beobachten, wie sich die Definition der Mixed Reality über die Jahre veränderte. Später folgt ein kurzer Einblick in das wissenschaftliche Umfeld, in welchem Mixed Reality erforscht wurde. Letztlich werden die weiteren Durchbrüche, Erfolge und auch Misserfolge der Mixed Reality beschrieben, mit einem Einblick auf ein paar ausgewählte Geräte, die Mixed Reality integrieren. Abgeschlossen wird diese Arbeit mit einem kleinen Ausblick in die Zukunft der Mixed Reality.

In dieser Arbeit werden bevorzugt die englischen Bezeichnungen für die Begriffe Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR), Mixed Reality (MR) und Extended Reality (XR) verwendet.

### 1.1 Einführung

Mixed Reality (MR) ist ein multidimensionales Konzept, das die Verschmelzung von realen und virtuellen Elementen in einer gemeinsamen Umgebung beschreibt. Dieser Begriff wurde erstmals von Paul Milgram und Fumio Kishino in den 1990er Jahren geprägt, als sie eine Taxonomie für Mixed-Reality-Displays entwickelten [6]. In dieser Arbeit werden die Grundlagen von Mixed Reality betrachtet und ein Einblick in die Anfänge dieses Forschungsbereichs gegeben.

### 1.2 Definition und Abgrenzung von Mixed Reality

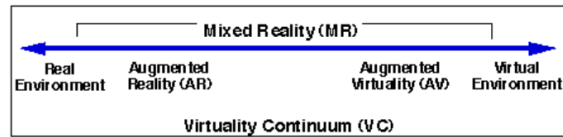
Die Definition von Mixed Reality umfasst eine Bandbreite von Technologien, die reale und virtuelle Elemente miteinander verbinden. Zentral für das Verständnis ist das Realität-Virtualität-Kontinuum (RVK), das von Milgram und Kishino eingeführt wurde [6]. Dieses Kontinuum repräsentiert die verschiedenen Grade der Vermischung von Realität und Virtualität. An einem Ende des Spektrums steht die physische Realität, die unsere alltägliche Umgebung darstellt. Am anderen Ende befindet sich die virtuelle Realität, die eine vollständig computergenerierte Umgebung darstellt. Dazwischen erstreckt sich die Mixed Reality, die ihrerseits in verschiedene Stufen unterteilt wird.

- **Reale Umgebung (Physische Realität):** Dieser Abschnitt repräsentiert die unveränderte, physische Welt, wie wir sie mit unseren Sinnen wahrnehmen.
- **Augmented Reality (AR):** Hier werden reale und virtuelle Elemente kombiniert, wobei computergenerierte Informationen in die reale Umgebung integriert werden.
- **Mixed Reality (MR):** Diese Phase geht über AR hinaus, indem sie eine tiefere Integration von realen und virtuellen Elementen ermöglicht.



© Maria Makhov,  
licensed under Creative Commons License CC-BY

Cite as: Maria Makhov. Einblicke in die Geschichte der Mixed Reality. In *2nd Seminar on Cross-Reality Interaction (XR-I 2024)*. Editors: Pascal Knierim. February 02, 2024. Innsbruck, Austria. pp. 1:1–1:12.



■ **Abbildung 1** Das RVK nach Milgram und Kishino (1994) vereinfacht dargestellt [6].

Benutzer können mit beiden Welten interagieren, und die Grenzen zwischen ihnen verschwimmen.

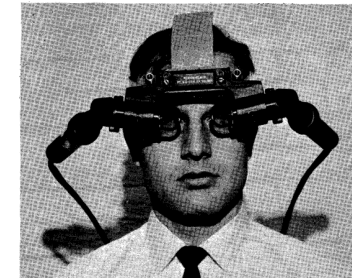
- **Virtual Reality (VR):** Dieser Abschnitt repräsentiert eine vollständig computergenerierte Umgebung, die von der physischen Realität getrennt ist.

Es ist wichtig zu beachten, dass sich die Definition von Mixed Reality im Laufe der Zeit weiterentwickelt hat. Ursprünglich wurde MR als Oberbegriff für Technologien wie Augmented Reality und Virtual Reality verwendet. Heutzutage wird MR in einigen Kontexten als eigenständige Kategorie betrachtet, die über AR und VR hinausgeht. Die Begriffe im Bereich der Extended Reality (XR), zu der auch MR gehört, können weiterhin Gegenstand von Forschung und Entwicklung sein, was zu Veränderungen in den Definitionen und Konzepten führen kann. Momentan wird Mixed Reality als "zwischen" Augmented Reality und Virtual Reality gesehen, welches Konzepte der beiden Technologien beinhaltet [9].

Um das Verständnis des RVK zu vertiefen, bietet der Artikel von Milgram, Takemura, Utsumi und Kishino aus dem Jahr 1995 weitere Einblicke in die verschiedenen Stufen der Vermischung von Realität und Virtualität, insbesondere im Kontext von Augmented Reality (AR) [7].

## 2 Frühe Technologien und Konzepte

Bevor der Begriff "Mixed Reality" von Paul Milgram und Fumio Kishino geprägt wurde [6], existierten bereits Konzepte und Technologien, die als Vorläufer für die Entwicklung von Mixed Reality fungierten. In diesem Abschnitt wird ein Blick auf das historische Umfeld geworfen und einige der frühen Konzepte erkundet, die den Weg für die Definition von Mixed Reality geebnet haben.



■ **Abbildung 2** Ein Foto des HMDs (von Sutherland, 1968), in welchem das Gerät, das von dem Nutzer getragen wird, genauer zu sehen ist. [8]

### 2.1 Ivan Sutherlands Head-Mounted Display (HMD)

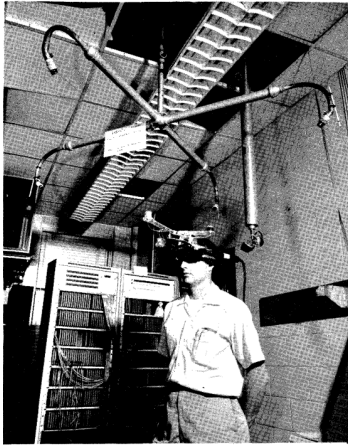
Ein bedeutender Meilenstein in der Geschichte der Mixed Reality ist Ivan Sutherlands bahnbrechende Arbeit "A head-mounted three-dimensional display" aus dem Jahr 1968. Sutherland präsentierte ein erstes Head-Mounted Display (HMD), das es dem Benutzer ermöglichte, eine computergenerierte 3D-Umgebung zu sehen und gleichzeitig mit der realen Welt zu interagieren. Dieses frühe HMD legte den Grundstein für die Vorstellung, dass Benutzer eine immersivere Umgebung erleben könnten, die sowohl reale als auch virtuelle Elemente integriert.

Das HMD bestand aus zwei winzigen Bildschirmen; eines für jedes Auge. Diese Bildschirme waren in einem Gehäuse montiert, das direkt vor den Augen des Benutzers platziert wurde. Jeder Bildschirm projizierte ein leicht unterschiedliches stereoskopisches Bild, um einen räumlichen 3D-Effekt zu erzeugen.

Um die Größe des HMD zu minimieren und gleichzeitig einen breiten Sichtbereich zu ermöglichen, verwendete Sutherland ein System aus Prismen und Spiegeln. Diese optischen Elemente ermöglichten es, das Bild von den Bildschirmen so zu reflektieren, dass es direkt vor den Augen des Benutzers erschien, während das Gehäuse selbst klein und leicht genug war, um am Kopf getragen zu werden.

Um eine immersive Erfahrung zu schaffen, integrierte Sutherland ein System für das Koppositionstracking. Sensoren im HMD erfassen die Bewegungen des Kopfes in Echtzeit und passten die angezeigte Szene entsprechend an. Dies ermöglichte es dem Benutzer, sich in der virtuellen Umgebung umzusehen, indem er einfach den Kopf bewegte.

Die Bildschirme im HMD wurden in Echtzeit aktualisiert, um sicherzustellen,



■ **Abbildung 3** Ein weiteres Foto des HMDs (von Sutherland, 1968). Hier sind noch zusätzlich die Sensoren zu sehen, welche die Kopfposition ermitteln. [8]

len, dass die virtuelle Szene den Kopfbewegungen des Benutzers folgte. Diese Echtzeitaktualisierung trug zur Illusion bei, dass die virtuellen Objekte und Umgebungen fest mit der realen Welt verankert waren.

Obwohl das HMD die Möglichkeit bot, den Kopf zu bewegen und die virtuelle Umgebung zu erkunden, war die Interaktion begrenzt. Das Gerät ermöglichte keine haptische Rückmeldung oder die Manipulation von virtuellen Objekten, aber war ein wichtiger Schritt in Richtung immersiver Erfahrungen und legte den Grundstein für spätere Entwicklungen in der Virtual und Mixed Reality. Es zeigte erstmals, dass es möglich ist, den Benutzer visuell in eine computergenerierte Welt zu versetzen und den Grundstein für die Erforschung neuer Realitätsformen zu legen. [8]

## 2.2 Mark Weisers Konzept des Ubiquitous Computing

Mark Weiser prägte den Begriff "Ubiquitous Computing" (Allgegenwärtiges Rechnen) in den 1990er Jahren und legte damit den Grundstein für eine revolutionäre Perspektive auf die Integration von Computertechnologie in den Alltag.

### 2.2.1 Definition

Ubiquitous Computing bezieht sich auf die Idee, dass Computer allgegenwärtig in der Umgebung vorhanden sind, ohne dass Benutzer sich ihrer ständig bewusst sein müssen. Das Ziel besteht darin, Technologie nahtlos in den Hintergrund des täglichen Lebens zu integrieren und sie so unsichtbar wie möglich zu machen.

### 2.2.2 Kernprinzipien

- **Allgegenwärtigkeit:** Computer sind überall in der Umgebung präsent, von traditionellen Geräten wie PCs und Laptops bis zu eingebetteten Systemen in Alltagsgegenständen.
- **Unsichtbarkeit:** Die Technologie arbeitet im Hintergrund und ist für die Benutzer nicht ständig sichtbar. Es gibt keine auffälligen Schnittstellen oder ständige Interaktion mit Computern.
- **Natürliche Interaktion:** Die Interaktion mit der Technologie erfolgt auf eine natürliche und kontextsensitive Weise. Computer erkennen die Umgebung und reagieren entsprechend auf Benutzeraktionen.

### 2.2.3 Auswirkungen auf Mixed Reality

Weisers Konzept des Ubiquitous Computing legte den Fokus darauf, wie Computer unsichtbar in den Alltag integriert werden können. Obwohl sein Hauptaugenmerk nicht direkt auf Mixed Reality lag, trugen seine Ideen dazu bei, die Akzeptanz von Technologie im Alltag zu fördern. Das Konzept einer allgegenwärtigen Computerpräsenz ebnete den Weg für die spätere Vorstellung von digitalen Informationen, die nahtlos in die physische Umgebung eingebettet sind – eine Idee, die später in Mixed Reality eine zentrale Rolle spielen sollte. Dieses Konzept inspirierte Forscher und Entwickler dazu, Technologie in den Alltag zu integrieren und trug indirekt dazu bei, das Umfeld für spätere Entwicklungen in Mixed Reality zu schaffen.

## 3 Das wissenschaftliche Umfeld in den 1990er

Es ist mit der hervorgehenden Information ersichtlich, dass vor allem in den 1990ern viele Fortschritte in der Mixed Reality gemacht wurden. Wieso sich vieles genau in diesem Zeitraum so entwickelt hat, möchte ich genauer beleuchten.



### 3.1 Fortgeschrittene Computergrafik

Die Fortschritte in der Computergrafik bildeten eine wesentliche Grundlage für die Entwicklung von Mixed Reality. Die Fähigkeit, realistische und immersive visuelle Erfahrungen zu schaffen, wurde durch den technologischen Fortschritt in der Darstellung von 3D-Grafiken und Animationen vorangetrieben.

### 3.2 Kollaboration und Interdisziplinarität

Die Zusammenarbeit zwischen Wissenschaftlern verschiedener Disziplinen, darunter Informatik, Psychologie, Ingenieurwissenschaften und mehr, spielte eine entscheidende Rolle. Forscher wie Paul Milgram und Fumio Kishino brachten unterschiedliche Fachkenntnisse zusammen, um ein umfassendes Verständnis von Mixed Reality zu entwickeln.

Paul Milgram ist ein Experte auf dem Gebiet der Mensch-Maschine-Interaktion und der visuellen Wahrnehmung. Er hat einen Hintergrund in der Psychologie und ist spezialisiert auf die Anwendung von Erkenntnissen über menschliche Wahrnehmung und Verhalten auf die Gestaltung von Benutzerschnittstellen und interaktiven Systemen.

Fumio Kishino ist hingegen ein Informatiker und Experte auf dem Gebiet der virtuellen Realität (VR) und erweiterter Realität (AR). Seine Fachkenntnisse erstrecken sich über Computergrafik, Bildverarbeitung und die Entwicklung von Systemen für die Darstellung und Interaktion mit virtuellen Umgebungen. Die Zusammenarbeit dieser Forscher, die unterschiedliche Fachkenntnisse in Psychologie, Mensch-Maschine-Interaktion und Informatik vereinten, ermöglichte es ihnen, ein umfassendes Verständnis für die Herausforderungen und Potenziale von Mixed Reality zu entwickeln. Milgram und Kishino haben gemeinsam wesentliche Beiträge zur Taxonomie und Definition von Mixed Reality geleistet, indem sie sowohl technologische als auch menschliche Aspekte berücksichtigt haben. [6]

## 4 Entwicklungen der Mixed Reality ab 2013

Nachdem die Grundlagen von Mixed Reality durch die wegweisenden Arbeiten von Paul Milgram und Fumio Kishino gelegt wurden, setzte eine Ära bahnbrechender Entwicklungen und technologischer Durchbrüche ein. Dieser Abschnitt wirft einen Blick auf die ersten Schritte, die unternommen wurden, nachdem der Begriff Mixed Reality definiert wurde [6].

### 4.1 Entwicklung von Mixed-Reality-Geräten

Die Definition von Mixed Reality (MR) [6] beflügelte die Entwicklung innovativer Geräte, die eine nahtlose Verschmelzung von physischer und digitaler

Realität ermöglichen. Es folgen anschließend einige Beispiele für MR-Geräte, die in den frühen Jahren nach der Definition von Mixed Reality entwickelt wurden.

#### 4.1.1 Google Glass

Obwohl ursprünglich nicht als reines Mixed-Reality-Gerät konzipiert, spielte Google Glass eine Schlüsselrolle in der Entwicklung von MR-Geräten. Es wurde erstmals 2013 eingeführt. Mit einem transparenten Display oberhalb des Sichtfelds ermöglichte es Benutzern, digitale Informationen in ihrer peripheren Sicht anzuzeigen. Das Gerät, das als intelligente Brille konzipiert war, sollte eine nahtlose Integration von digitalen Informationen in den Alltag der Nutzer ermöglichen. Allerdings stieß Google Glass auf eine Reihe von Herausforderungen und Problemen, die zu seiner begrenzten Verbreitung und schließlich zu einer Überarbeitung der Strategie führten.

Eines der Hauptprobleme von Google Glass war die Besorgnis hinsichtlich der Privatsphäre. Die integrierte Kamera ermöglichte es Benutzern unbemerkt Fotos und Videos aufzunehmen, was zu Bedenken über ungewollte Überwachung führte. Menschen, die von Google Glass-Nutzern umgeben waren, fühlten sich möglicherweise beobachtet, was zu einem negativen sozialen Image des Geräts beitrug.

Der anfänglich hohe Preis von Google Glass und die begrenzten Anwendungsfälle beeinträchtigten die Marktdurchdringung. Die meisten Verbraucher sahen keinen klaren Nutzen für den hohen Preis, insbesondere da die Technologie zu dieser Zeit noch nicht so weit entwickelt war.

Ein weiteres Problem war die begrenzte Anzahl von Anwendungsfällen, die Google Glass abdeckte. Der Nutzen des Geräts war nicht sofort klar, und die verfügbaren Anwendungen waren in ihrer Vielfalt begrenzt. Die hohen Anschaffungskosten im Vergleich zu den gebotenen Funktionen schreckten viele potenzielle Nutzer ab.

Die erste Version von Google Glass hatte technologische Beschränkungen, darunter begrenzte Batterielaufzeit, geringe Rechenleistung und eine eingeschränkte Benutzerschnittstelle. Diese Beschränkungen beeinträchtigten die Benutzererfahrung und führten zu einer begrenzten Funktionalität.

Google Glass wurde ursprünglich an Entwickler und Enthusiasten vermarktet, was die Wahrnehmung der Brille als experimentelles Produkt verstärkte. Die gezielte Vermarktung erschwerte es, breite Akzeptanz und Verständnis für die Vorteile von AR zu schaffen.

2023 stellte Google die Produktion und den Verkauf der Google Glass ein. Obwohl die ursprüngliche Google Glass nicht den erhofften Erfolg hatte, trugen die Erfahrungen und Erkenntnisse aus diesem Projekt dazu bei, die Entwicklung von Augmented-Reality-Geräten voranzutreiben und den Weg

für zukünftige Innovationen zu ebnet. [3]

#### 4.1.2 Microsoft HoloLens

Die Microsoft HoloLens, erstmals 2016 vorgestellt, repräsentiert einen Meilenstein in der Entwicklung von Mixed-Reality-Geräten. Diese MR-Brille projiziert holographische Inhalte in die physische Umgebung des Benutzers und ermöglicht eine interaktive Verschmelzung von digitalen Objekten mit der realen Welt. Im Gegensatz zu Google Glass, das eher als Smartglass mit einem kleinen Display oberhalb des Sichtfelds konzipiert ist [3], bietet die HoloLens ein immersives Erlebnis mit transparenten Linsen, die digitale Objekte in die physische Welt integrieren. Die HoloLens wurde von Microsoft mit einem klaren Fokus auf verschiedene Anwendungsbereiche entwickelt, darunter Medizin, Bildung, Industrie und Design. Ihr robustes Raumverfolgungssystem erlaubt es Benutzern, interaktive AR-Anwendungen in großem Maßstab zu nutzen. Die HoloLens bietet eine fortschrittliche Benutzerschnittstelle, die Handgesten, Blickverfolgung und Sprachbefehle integriert, um eine natürliche Interaktion mit den holographischen Elementen zu ermöglichen. Somit ist die HoloLens ein bedeutender Fortschritt, verglichen zur Google Glass [3].

Natürlich gab es auch hier Probleme und Herausforderungen, jedoch sind viele dieser Herausforderungen im Laufe der Zeit mit neuen Iterationen und Softwareupdates angegangen worden. Microsoft hat kontinuierlich an der Verbesserung der HoloLens gearbeitet und die neuesten Versionen sollen viele dieser Anliegen angehen. [5]

#### 4.1.3 Meta Quest (früher bekannt als Meta/Oculus Rift)

Ursprünglich als Oculus Rift bekannt und später von Meta übernommen, ist die Meta Quest eine VR-Brille, die später auch Mixed-Reality-Funktionen integrierte. Die Quest ermöglicht nicht nur eine immersive Virtual Reality, sondern integriert auch Kameras, um die physische Umgebung in virtuelle Erlebnisse einzubeziehen. Dieser Übergang in Richtung Mixed Reality wurde vor allem mit dem neuesten Gerät, der Meta Quest 3, gewagt. [4]

#### 4.2 Momentane Aussicht verglichen mit der Vergangenheit

Während der frühen Phase der MR-Entwicklung gab es viel Optimismus und Antizipation hinsichtlich zukünftiger Entwicklungen. Die Forscher und Technologen, die an den Anfängen von Mixed Reality beteiligt waren, träumten von einer umfassenden Integration dieser Technologie in den Alltag. Die Vorstellung war, dass MR nicht nur ein technologisches Phänomen sein sollte, sondern nahtlos in verschiedene Aspekte des täglichen Lebens integriert werden könnte,

von Bildung über Arbeit bis hin zu Unterhaltung. Forscher wie Mark Billinghurst erkannten das Potenzial für gemeinsame virtuelle Umgebungen, in denen Benutzer aus verschiedenen physischen Standorten zusammenarbeiten können. Dieser Ausblick sah nicht nur individuelle MR-Erfahrungen vor, sondern auch eine vernetzte, gemeinsame Realität. [1] Dieser Optimismus wurde über die Jahre jedoch gebremst, da sich mit den ersten Geräten Probleme ergaben. Vor allem Google Glass wurde stark kritisiert und wird inzwischen nicht mehr verkauft [3]. Auch zeigt sich mit dem oben genannten Beispiel, dass weder die Software noch die Hardware ausgereift genug ist, um Mixed Reality Geräte effektiv im Alltag zu verwenden [2].

### 5 Konklusion

In dieser Arbeit wurde die Mixed Reality als Konzept, Begriff und Produkt vorgestellt, sowie deren Geschichte. Es begann mit dem beeindruckenden Head-Mounted Display von Ivan Sutherlands in den 1960er [8]. Es war zwar noch nicht alltagstauglich, aber der entscheidende Anstoß für die Forschung. Ca. 30 Jahre später kam die Theorie des Ubiquitous Computing von Mark Weiser [10], welche eine weitere Basis für MR legte. Der wahrscheinlich größte Durchbruch kam kurze Zeit später mit der Definition und Ausarbeitung der Mixed Reality von Paul Milgram und Fumio Kishino [6]. Diese beschrieb zuerst Mixed Reality als Überart von Virtual Reality und Augmented Reality. Damit wurde Mixed Reality allgemein als der Punkt verstanden, ab welchem sich die reale und virtuelle Umgebung beginnen zu vermischen. Im Verlauf hat sich die Definition so gewandelt, dass Mixed Reality sich nun als zusätzliche Ebene zwischen Virtual Reality und Augmented Reality befindet [9]. Der nächste große Durchbruch kam mit dem Google Glass 2013, was sich aber über die Jahre als Flop herausstellte wegen einer Anzahl an Problemen, die mit den Ressourcen zu dieser Zeit nicht behoben werden konnten. Google stellte deshalb die Produktion und den Verkauf ein. [3]

Es gibt inzwischen weitere Konkurrenz im Bereich MR-Geräte, welche sich aber bis jetzt noch nicht komplett durchgesetzt haben. Der Ausblick ist deshalb noch etwas pessimistisch, da die Soft- und Hardware der Geräte noch nicht ausgereift genug ist, um Mixed Reality zu einem Ding des Alltags zu machen [2].

Damit ist schlussendlich zu sagen, dass Mixed Reality in der Theorie schon weit fortgeschritten ist, doch in der wirklichen Umsetzung noch hinterherhinkt.

---

#### Literatur

- 1 Mark Billinghurst and Hirokazu Kato. Collaborative mixed reality. In *Proceedings of the first international symposium on mixed reality*, pages

- 261–284, 1999.
- 2 Steven Szu-Chi Chen and Henry Duh. Interface of mixed reality: From the past to the future. *CCF Transactions on Pervasive Computing and Interaction*, 1(1):69–87, 2019.
  - 3 Google. Google glass. <http://www.google.com/glass/start>. Accessed: 23-01-2014.
  - 4 Meta. Meta quest vr headsets, accessories and equipment | meta quest | meta store. <https://www.meta.com/at/en/quest/>. Accessed: 4-12-2023.
  - 5 Microsoft. Microsoft hololens | mixed reality technology for business. <https://www.microsoft.com/en-us/hololens>. Accessed: 4-12-2023.
  - 6 Paul Milgram and Fumio Kishino. A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, 77(12):1321–1329, 1994.
  - 7 Paul Milgram, Haruo Takemura, Akira Utsumi, and Fumio Kishino. Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In *Telem manipulator and telepresence technologies*, volume 2351, pages 282–292. Spie, 1995.
  - 8 Ivan E Sutherland. A head-mounted three dimensional display. In *Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I*, pages 757–764, 1968.
  - 9 Tidjane Tall. Augmented reality vs. virtual reality vs. mixed reality. <https://www.toptal.com/designers/ui/augmented-reality-vs-virtual-reality-vs-mixed-reality>. Accessed: 20-12-2023.
  - 10 Mark Weiser. Some computer science issues in ubiquitous computing. *Communications of the ACM*, 36(7):75–84, 1993.

# Augmented Reality zum Sprachenlernen

Marco Cotrotzo

Universität Innsbruck, Innsbruck, Österreich  
marco.cotrotzo@student.uibk.ac.at

## Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit ist es, einen Einblick zu geben, wie Augmented Reality (AR) eingesetzt werden kann, um das Lernen und Lehren von Sprachen zu verbessern. Zu diesem Zweck werden einige Fallstudien analysiert, die solche Systeme zu diesem Zweck entwickelt haben, und es wird erläutert, wie AR in jedem dieser Fälle eingesetzt wurde. Eine AR-Anwendung kann z.B. Objekte in der realen Welt mit fremdsprachigen Bezeichnungen versehen, die es dem Nutzer dann ermöglichen, Vokabeln nicht nur durch Lesen, sondern auch durch andere audio-visuelle Inhalte, seien es Töne, Animationen oder Bilder, zu lernen. Darüber hinaus werden die Auswirkungen dieser Methoden auf die Nutzer dieser Systeme aufgezeigt. Anschließend wird auf die Herausforderungen und möglichen Nachteile bei der Nutzung und Integration solcher Systeme eingegangen.

## 1 Einleitung

Während Virtual Reality den Benutzer in eine vollständig simulierte Umgebung versetzt, die von der realen Welt isoliert ist, kombiniert Augmented Reality (AR) die reale Welt mit virtuellen Objekten [2]. Diese Systeme können auch in eine lernbasierte Umgebung integriert werden. Dabei stellen sich jedoch einige Fragen. Wie kann AR zum Lernen eingesetzt werden und wie können solche Lernkonzepte aussehen, die AR als Lernwerkzeug integrieren? Hat der Einsatz dieser Systeme einen Nutzen, der sich positiv auf den Lernerfolg auswirkt? Welche Gefahren und Herausforderungen ergeben sich bei der Nutzung und Integration von AR in lernbasierten Umgebungen? Um diese Fragen zu beantworten werden einige Fallstudien herangezogen.

Die AR Systeme beziehungsweise AR Anwendungen, die auf diesen Systemen laufen, werden in Abschnitt 3 in drei Kategorien unterteilt. Markierte Objekte, AR-Spiele und AR-Bücher. Die Fallstudien, die im Abschnitt "Markierte Objekte" ihren Platz gefunden haben, zielen darauf ab, AR so einzusetzen, dass die Nutzer mit dem jeweiligen Gerät Objekte in der realen Welt sehen, sei es ein Stuhl oder eine Gabel, die mit einer Markierung versehen sind. Die Markierungen repräsentieren die Namen der Objekte in einer beliebigen Fremd-

## 2:2 Augmented Reality zum Sprachenlernen

sprache. Auf diese Weise werden reale Bezüge zu den Lerninhalten hergestellt, die mit herkömmlichen Lernmitteln nur schwer oder gar nicht herzustellen sind [4, 8]. Da Spielen und Lernen oft eng miteinander verbunden sind, liegt es nahe, AR-Spiele als Lernmittel einzusetzen [10, 9]. Dies wird im Abschnitt AR-Spiele behandelt. In Abschnitt 3.3 werden dann AR Bücher vorgestellt. Mit den in diesem Abschnitt vorgestellten AR Anwendungen wird das Buch, das sonst als eher veraltetes Lernmedium angesehen werden könnte, so modifiziert, dass es interaktiver wird [11, 6].

In Abschnitt 4 werden die positiven Auswirkungen von AR aus den Fallstudien vorgestellt. Die Ergebnisse deuten auf eine Verbesserung der Lernleistung, der Motivation und des Engagements bei Sprachlernenden hin, die mit AR in Kontakt kommen. Ob durch immersive Sprachführung, multimedial angereicherte Lernumgebungen oder ortsbezogene Spiele, AR erweist sich durchweg als vorteilhaft für den Spracherwerb [4, 8, 10, 9, 11, 6, 5]. Zusätzlich werden die Ergebnisse mit zwei Metastudien verglichen, um zu sehen, ob sich diese Ergebnisse auch in anderen Studien finden lassen.

Abschließend werden in Abschnitt 5 die Herausforderungen und negativen Aspekte der Nutzung und Integration von AR beim Sprachenlernen diskutiert, einschließlich technischer Probleme, kognitiver Überforderung und potenzieller Gefahren, wie z. B. einer verringerten Wahrnehmung der realen Welt. Es werden auch Überlegungen zu den möglichen negativen Auswirkungen übermäßiger Bildschirmzeit auf physische und soziokulturelle Aspekte angestellt [11, 3].

## 2 Relevante Arbeiten

- Ibrahim et al. [4]: Diese Studie untersuchte den Einsatz von Augmented Reality (AR) zur Verbesserung des Sprachenlernens durch die virtuelle Beschriftung realer Objekte.
- Santos et al. [8]: Diese Studie betrachtete AR als eine Form des multimedialen Lernens und entwickelte ein Handheld-AR-System.
- Lee et al. [5]: In dieser Studie kombinierten die Forscher AR-Brillen mit einem Chatbot-System, um eine immersive und kontextbezogene Lernerfahrung zu schaffen.
- Wu et al. [10]: Diese Studie untersuchte die Verwendung von Pokemon Go als Lernmedium für den Englischunterricht.
- Taskiran et al. [9]: Die Forscher entwickelten spielbasierte AR-Anwendungen und untersuchten deren Auswirkungen auf das Lernen.



© Marco Cotrotzo;  
licensed under Creative Commons License CC-BY

Cite as: Marco Cotrotzo. Augmented Reality zum Sprachenlernen. In *2nd Seminar on Cross-Reality Interaction (XR-I 2024)*. February 2, 2024. . pp. 2:1-2:14.

- Mahadzir et al. [6]: Diese Studie untersuchte die Verwendung des Zoom Burst Tools zur Erstellung von AR-Popup-Büchern, um das Leseverständnis und die Grammatikkenntnisse der Lernenden zu verbessern.
- Yilmaz et al. [11]: Die Forscher entwickelten Augmented Reality Picture Books (ARPB) zur Förderung des Leseverständnisses bei Kindern.

### 3 Augmented Reality: Anwendungen für das effektive Sprachenlernen

Im Rahmen der Forschung zu Augmented Reality (AR) beim Sprachenlernen wurden verschiedene Experimente durchgeführt. In den folgenden drei Abschnitten werden jeweils verschiedene Experimente beschrieben. Dazu wird beschrieben, welches Gerät verwendet wurde und wie die Anwendung, die auf diesem Gerät verwendet wurde, funktioniert.

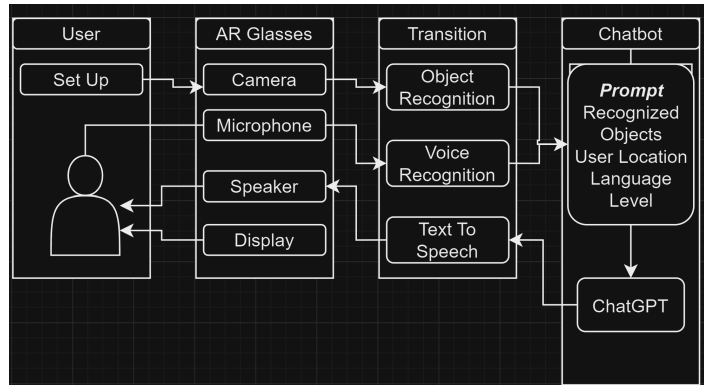
#### 3.1 Markierte Objekte

In einer Studie von Adam Ibrahim et al. [4] untersuchten die Forscher den Nutzen von Augmented Reality für das Sprachenlernen. An der Studie nahmen 52 Personen teil. Die verwendete AR-Technologie wird in der Studie als "AR Vocabulary Prompter" bezeichnet. Dieses System ermöglichte die virtuelle Beschriftung realer Objekte. Das bedeutet, dass mittels Augmented Reality Texte oder Symbole in der gewählten Fremdsprache auf reale physische Objekte in der Umgebung der Probanden projiziert wurden. Die Forscher verglichen die Wirksamkeit dieser Methode mit herkömmlichen Lernmitteln wie Karteikarten. Das verwendete Gerät ist eine Microsoft Holo Lens, ein Head-Mount-Display, kurz HMD. Die Benutzer können mit diesem HMD durch den Raum gehen, während die zuvor platzierten Marker an der vorgesehenen Stelle verbleiben. Die verwendete Anwendung verfügt über zwei Modi. Den Benutzer-Modus und den Admin-Modus. Im Admin-Modus kann der Admin bzw. Instruktor die Marker durch akustische Befehle oder Gesten setzen. Die Kopfposition des Benutzers fungiert als Cursor. Bewegt der Benutzer seinen Kopf in die Nähe eines Markers, erscheint ein Lautsprecher-Symbol. Mit einem Klick kann der Benutzer hören, wie das anvisierte Wort ausgesprochen wird. Damit das System weiß, welches Wort gemeint ist, gibt es dafür eine unsichtbare Hitbox. Die Größe der Hitbox passt sich an die Raumgröße und den Sichtbereich an. Auch die Größe der Marker wird entsprechend angepasst. So wird sichergestellt, dass der Benutzer maximal zwei Marker sieht [4].

Die nächste Studie, die sich mit diesem Thema beschäftigt hat, ist die Studie von Marc Ericson C. Santos et al. [8]. Die Forscher betrachten AR in dieser Studie als eine Art von Multimedia und wenden die Theorie des

Multimedia-Lernens als Rahmen für die Entwicklung eines Handheld AR Systems an. Multimediales Lernen bedeutet, dass Informationen multimedial dargestellt werden. Sei es Bild, Ton oder Animation. Darüber hinaus wurde die Anwendung auf der Grundlage von 8 Design Zielen entwickelt. In diesen Zielen wurde unter anderem festgelegt, dass das System einfach zu bedienen sein soll, dass die visuelle Überfrachtung des Bildschirms auf ein Minimum reduziert werden soll und dass die Technologie zugänglich und kostengünstig sein soll. Für den Versuch wurde ein Handheld AR System entwickelt. Basierend auf diesem System wurden zwei AR Anwendungen entwickelt. Während die eine Anwendung genutzt wurde, um philippinische Wörter zu lernen, wurde die andere Anwendung genutzt deutsche Wörter zu lernen. Dieses System lief dann auf iPad-Tablets. Damit die Anwendung die Information über ein reales Objekt anzeigen kann, sind an den Objekten reale Marker platziert worden [8].

Einen Schritt weiter geht das System von Hyungmin Lee et al. [5]. Das entwickelte AR-System trägt den Namen VisionAry. Es kombiniert eine AR-Brille mit ChatGPT. Die AR-Brille kann virtuelle Elemente in die reale Welt einblenden, z.B. Beschriftungen von Objekten in der Umgebung. ChatGPT, ein sogenanntes Large Language Model (LLM), verbessert die Benutzererfahrung durch die Bereitstellung von leistungsfähigen semantischen Verstehensfähigkeiten und kontextbewusstem Wissen, was zu einer natürlichen und flüssigen Sprachinteraktion führt. Diese Kombination führt zu einem Sprachlernsystem, das dem Benutzer eine immersive und kontextbezogene Lernerfahrung bietet. Das System besteht aus drei Komponenten. Das Prompt-System ist ein Dialogsystem. Es verarbeitet Benutzereingaben, seien sie akustisch oder visuell, wie Objekte in der Umgebung, um die Kontextualisierung der Konversation mit ChatGPT zu verbessern. Das System kann vom Benutzer angepasst werden. Dafür stehen drei Parameter zur Verfügung. Der erste Parameter ist der Standort des Benutzers, sein Englischniveau und die maximale Länge der ChatGPT-Ausgabe. Die zweite Komponente ist das AR-Kamera-Echtzeit-Erkennungssystem. Dieses System ermöglicht es dem Benutzer, mit seiner Umgebung zu interagieren, während er gleichzeitig Informationen über AR-Overlays erhält. Die dritte Komponente kümmert sich um die Sprachinteraktion. Es konvertiert das Gesprochene in Textform und umgekehrt. Der Benutzer aktiviert das System, indem er "Hey CASEY" sagt. Für den Versuchsaufbau entwickelten die Forscher verschiedene Szenarien. Ein Szenario war ein Buchcafé. Mit der AR-Brille sahen die Studienteilnehmer die Objekte in diesem Café, z.B. Bücher, mit Beschriftungen. Die Interaktion mit ChatGPT begann dann mit einer Frage, die sich auf eines dieser Objekte bezog. Anschließend konnten sich die Teilnehmer mit ChatGPT unterhalten und erhielten Feedback zur Grammatik [5].



■ **Abbildung 1** Systemarchitektur von VisionARy. Adaptiert von "Visionary: Exploratory research on contextual language learning using ar glasses with chatgpt" [5]

### 3.2 Augmented Reality Spiele

Der Ansatz dieser Studie, die von Mei-Hung Wu et al. [10] veröffentlicht wurde, war es, Pokemon Go als Lernmedium zu nutzen. Da die Namen der Pokemon Monster eine englische Bedeutung haben, die vom Entdecker der Monster festgelegt wird, wird genau dies zum Erlernen der englischen Sprache genutzt. Da die Namen der Pokemon Monster aus Präfix, Wurzel und Suffix bestehen, die eine englische Bedeutung haben, kann dies zum Englischlernen genutzt werden. Ein Beispiel dafür wäre das Pokemon "Snorlax". "Snore" bedeutet schnarchen und "Lax" ist ein anderes Wort für "lazy". Eine Gruppe von 61 Schülern wurde in eine Experimentalgruppe und eine Kontrollgruppe aufgeteilt, um herauszufinden, wie sich AR-Spiele auf das Lernen auswirken. Pokemon GO basiert auf ortsbasierte AR Anwendungen(Siehe Abbildung 2). Eine ortsbasierte AR-Anwendung benötigt keine Marker wie in den Experimenten zuvor, sondern GPS [10].

In der Studie von Ayse Taskiran et al. [9] bezieht sich der Begriff "Spiel" nicht auf das AR-System, sondern hier wurde die AR in eine spielbasierte Umgebung eingebettet. Dazu haben die Forscher drei Spiele entwickelt und die Auswirkungen dieser AR Spiele auf die Lernenden untersucht. Jedes Spiel verwendet als AR Anwendung "AURASMA" und ein mobiles Gerät. Mit AURASMA ist es möglich, Fotos oder Objekte als "Trigger" zu benutzen. Visiert dann der Nutzer mit dem mobilen Gerät diese "Trigger" an, poppt ein "aura", der Inhalt, der zuvor erstellt wurde und angezeigt werden soll,



■ **Abbildung 2** Ein Beispiel wie die Verwendung von Pokemon Go aussehen könnte. Quelle: Pixabay(Pokémon Go auf der Straße)

auf. Für das Experiment haben die Lehrer eine Account erstellt und audiovisuelle Inhalte in die "Trigger" eingebettet. Eines dieser Spiele wird hier näher beschrieben, um zu zeigen, wie AR in einer spielbasierten Umgebung eingesetzt werden kann. Das Spiel heißt "Let's go the movies". Die Lernziele dieses Spiels waren das Wiedererkennen neuer Vokabeln und das Üben des Hör- und Leseverstehens. Dazu wurde die Klasse in 4 Gruppen eingeteilt. Jedes Team musste Filmbeschreibungen lesen, in denen 12 neu gelernte Vokabeln eingebettet waren. Zusätzlich hatte jedes Team einen Spielplan mit Lücken, denn das Hauptziel des Spiels war es, Filme, Vorführzeiten und Kinoprogramme richtig einzutragen. Jedes Team musste mit einem mobilen Gerät die Texte überfliegen und die Wörter scannen. Durch den Scanvorgang wurden ihnen audiovisuelle Informationen angezeigt. Diese Informationen brauchten sie, um das Programm auszufüllen. Das schnellste Team hat gewonnen [9].

### 3.3 AR Books

Die Studie von Nor Nashirah Nor Mahadzir et al. [6] integrierte das Zoom Burst Tool, ein Werkzeug, das zur Erstellung von "AR Pop-Up Books" verwendet werden kann. Das Tool läuft in einem Web Browser und benötigt eine Webcam. Zusätzlich hat das Tool zwei Modi. Im "Camera" Modus werden Mar-

ker, die beispielsweise auf Büchern platziert werden, gescannt, um zusätzliche Informationen virtuell anzuzeigen. Das bedeutet, dass die Informationen, in diesem Fall die englische Grammatik, durch dynamische Multimedia-Elemente dargestellt werden können, seien es Animationen, Texte, Sounds oder Grafiken. Der "Screen" Modus ermöglicht es, direkt mit dem virtuellen Buch zu interagieren. Der Benutzer kann mit der Maus auf die Elemente klicken, um zusätzliche Informationen zu erhalten und zwischen den Seiten zu navigieren. Die Forscher haben ein virtuelles Buch erstellt, in dem auf jeder Seite ein Grammatikthema behandelt wird. Auf der zweiten Seite geht es beispielsweise um Tierlaute. Auf dieser Seite sahen die Studienteilnehmer verschiedene Tiere mit zusätzlichen Informationen und am unteren Rand ein Feld mit einem Link zu einem Video [6].

Yilmaz et al. [11] untersuchten die Wirkung von "Augmented Reality Picture Books" (ARPB) auf das Leseverständnis von Kindern. Dazu entwickelten die Forscher 10 Bilderbücher mit AR-Technologie. Die Kinder konnten jeweils eines dieser Bücher in die Hand nehmen und lesen. Zusätzlich stand ihnen ein Laptop zur Verfügung, auf dem die AR-Anwendung lief. Auf dem Laptop wurden dann 3D-Animationen von der betrachteten realen Seite, die das gleiche Design wie die Anfangsszene der Animation hatte, angezeigt [11].

#### 4 AR und Sprachenlernen: Positive Effekte

In der Studie von Adam Ibrahim et al. [4], die in Abschnitt 3.1 vorgestellt wird, identifizierten die Forscher sowohl einen qualitativen als auch einen quantitativen Nutzen von AR. Der qualitative Nutzen basiert auf den Aussagen der Teilnehmer. Die Teilnehmer berichteten, dass die Lernerfahrung mit AR sowohl effektiver als auch angenehmer war als der Ansatz mit Lernkarten. In Zahlen ausgedrückt: 20% der Teilnehmer in dieser Studie fanden die Lernerfahrung mit AR besser, weil sie interaktiver und immersiver war. Im Gegensatz dazu waren nur 13% der Teilnehmer der Meinung, dass Lernkarten besser seien, da sie sich vertrauter mit der Anwendung fühlten. Der deutlichste Unterschied zeigte sich jedoch bei der Frage, ob die Methode, AR oder Lernkarten, Spaß macht. Während 92% der Befragten die Frage mit "zustimmen" und "sehr zustimmen" beantworteten, waren es bei den Lernkarten nur 29%. Die Studie belegt dies auch quantitativ. Sowohl in den Tests, die am selben Tag der Lernphase durchgeführt wurden, als auch in den Tests, die 4 Tage später stattfanden, übertraf AR die herkömmliche Methode.

Bei den Tests, die am selben Tag durchgeführt wurden, übertraf AR die Lernkarten um 7%, bei den Tests, die vier Tage später durchgeführt wurden, stieg der Unterschied auf 21% [4].

Die im Abschnitt 3.1 beschriebene Studie von Marc Ericson C. Santos et al. [8] zeigt deutlich, dass der größte Unterschied zwischen AR und nicht AR in der Lernerfahrung liegt. AR erhöht die Aufmerksamkeit und die Zufriedenheit der Nutzer. Die Ergebnisse der Studie zeigen jedoch, dass die Teilnehmer mit den Lernkarten in den sofortigen Tests, die direkt nach den Lernphasen stattfanden, besser abschnitten als die Teilnehmer mit der AR-Anwendung. Bei den verzögerten Tests, die einige Tage nach den Lernphasen stattfanden, waren die Ergebnisse der Teilnehmer mit und ohne AR jedoch nahezu identisch. Für AR spricht jedoch, dass der Unterschied zwischen den sofortigen und den späteren Tests bei den Teilnehmern mit AR wesentlich geringer war als bei den Teilnehmern mit Lernkarten. Dies deutet darauf hin, dass AR zu einer besseren Merkfähigkeit führt. Die Studie weist jedoch darauf hin, dass die Zahl der Teilnehmer sehr gering war und mehr Experimente dieser Art in größerem Maßstab erforderlich sind [8].

Die Ergebnisse von Hyungmin Lee et al. [5], deren Studie in Abschnitt 3.1 näher beschrieben wird, weisen in eine ähnliche Richtung. Die Teilnehmer füllten zwei Fragebögen aus. Der eine Fragebogen bezog sich auf traditionelle Methoden, der andere auf VisionARy. Die Analyse konzentrierte sich auf zwei Bereiche [5].

Im ersten Bereich geht es um die Zufriedenheit mit der Benutzeroberfläche und den Aufgaben. Dazu gehören die drei Teilaspekte Autonomie, Kompetenz und Relevanz. Der zweite Bereich umfasst die Teilaspekte ästhetische Attraktivität, fokussierte Aufmerksamkeit, wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit und Belohnung.

In den untersuchten Bereichen Schnittstellenautonomie, Schnittstellenkompetenz, Aufgabenautonomie, Aufgabenkompetenz, ästhetische Attraktivität und Belohnung zeigten die durchschnittlichen Bewertungen von VisionARy signifikant höhere Werte im Vergleich zu traditionellen Methoden. Die Teilnehmer empfanden auch das Feedback als sehr hilfreich. Darüber hinaus empfanden die Teilnehmer die Lernumgebung als weniger stressig, da sie das Gefühl hatten, mit einer echten Person zu interagieren.

Auch die Studie in Abschnitt 3.2 von Mei-Hung Wu et al. [10] stellte eine Motivation und Zufriedenheit in der Gruppe mit AR fest. Außerdem hatte AR einen positiven Einfluss auf den Lernerfolg. Darüber hinaus stellten die Forscher ein hohes Interesse auch bei denjenigen fest, die Englischlernen als

langweilig empfanden. Außerdem behaupteten die Schüler, dass sie mehr Wörter lesen und merken können als bei vorherigen Lernerfahrungen. Zusätzlich betonten sie, obwohl sie manche Unterrichtszeiten verpasst haben, dass sie in der Lage sind, die Wörter richtig auszusprechen, da die Lernumgebung nicht begrenzt ist und somit die Wörter und Bedeutungen an jedem Ort und zu jeder Zeit lernen können. Auch quantitativ zeigt sich ein Bild, da die Experimentalgruppe beim Erlernen neuer Wörter bessere Ergebnisse erzielte als die Kontrollgruppe [10].

Die Reaktionen der Schüler, die and der Fallstudie, die in Abschnitt 3.2 behandelt wird, von Ayse Taskiran et al. [9] waren durchweg positiv. Zum einen empfanden die Schüler die Aktivitäten in der AR-Lernumgebung als sehr motivierend und erfrischend, was auf das hohe Interesse zurückzuführen ist, das durch die Verwendung von AR geweckt wurde. Zum anderen waren fast alle Teilnehmer bereit, die Aktivitäten zu wiederholen. Die Aktivitäten fördern den Zusammenhalt in der Klasse, was zu einem besseren Umfeld für das Sprachenlernen, in Bezug auf Hörübungen und Leseübungen, führt. Dies bedeutet, dass AR-Anwendungen genutzt werden können, um Lernumgebungen produktiver zu gestalten, was zu einem höheren Lernerfolg der Schüler führen kann [9].

Im Abschnitt 3.3 wird unter anderem auf die Studie von Nor Nashirah Nor Mahadzir et al. [6] eingegangen. Die Forscher fanden dabei heraus, dass die Teilnehmer das virtuelle Buch als motivierend empfanden. Dies wurde durch Aufmerksamkeit, Relevanz, gesteigertes Selbstvertrauen und ein allgemeines Gefühl der Zufriedenheit nach der Lernerfahrung erreicht.

Die Studie von Yilmaz et al. [11] liefert als Ergebnis einen positiven Effekt auf Motivation, Aufmerksamkeit, Relevanz und Zufriedenheit. Auch in dieser Studie, die in Abschnitt 3.3 näher beleuchtet wird, zeigen die Ergebnisse, dass AR einen guten Effekt auf das Lernen hat. Die Kinder, die mit den virtuellen Bilderbüchern die Geschichten gelesen haben, waren glücklich und hatten Freude bei der Benutzung dieser Bücher. Zusätzlich sah man einen positiven Effekt auf das Geschichtsverständnis der Kinder. Die Schüler erinnerten sich an den Verlauf, die Zeit und den Ort ihrer Geschichte [11].

Die Tendenz all dieser Ergebnisse findet man auch in Metastudien, die dieses Thema behandeln. Die Metastudie von Murat Akçayır et al. [1] unterstreicht, dass AR signifikante Vorteile in Bezug auf Lernleistung, Motivation und Einstellung bietet. Darüber hinaus fördert AR ein besseres Verständnis der Lerninhalte durch Videos und 3D-Bilder. Die Nutzer empfinden die Lernumgebung mit AR als befriedigender als im herkömmlichen Unterricht.

Der hohe Spaßfaktor bei der Nutzung von AR und die Tatsache, dass AR es den Lernenden ermöglicht, eigene Entscheidungen zu treffen, steigern das Interesse am Lernen. Die Metastudie hebt auch hervor, dass AR positive Auswirkungen auf die Interaktionen zwischen den Lernenden, zwischen Lernenden und Lernmaterial sowie zwischen Lernenden und Lehrkräften hat. Etwa 10 % der untersuchten Studien berichten von einer Zunahme der Interaktion durch AR-Technologie, sowohl zwischen den Schülern als auch zwischen den Schülern und dem Lernmaterial. Darüber hinaus wird betont, dass AR auch die Kommunikation und Interaktion zwischen Lehrern und Schülern verbessern kann [1].

Auch eine zweite Metastudie von Antigoni Parmaxi et al. [7] betont, dass AR die Motivation, das Engagement, das Interesse und die Aufmerksamkeit im Vergleich zu herkömmlichen Lernmethoden erhöht. AR hat nicht nur einen positiven Einfluss auf einzelne Fertigkeiten. Sowohl der Wortschatzerwerb als auch das Schreiben, Lesen, Sprechen, Verstehen und die Aussprache profitieren vom Einsatz von AR. Die Interaktion zwischen Lernenden und Lehrenden profitiert von der Darstellung kultureller Inhalte, die mit herkömmlichen Methoden schwieriger zu vermitteln sind. AR bindet Schüler aktiv ein und schafft authentische Lernumgebungen [7].

Insgesamt betonen die Ergebnisse, sowohl die der zwei Metastudien, als auch der Einzelstudien, die in Abschnitt 3 beschrieben worden sind, die positiven Auswirkungen von AR auf verschiedene sprachliche Kompetenzen und unterstreichen sein Potenzial, den Sprachunterricht nachhaltig zu verbessern.

## 5 Herausforderungen und negative Aspekte bei der Nutzung und Integration von AR beim Sprachenlernen

In der Studie von Matt Dunleavy et al. [3] wurden die Herausforderungen und Grenzen bei der Integration und Nutzung von AR-Systemen untersucht. Dazu wurde eine AR-Anwendung für einen Handheld entwickelt. Die Herausforderungen und Limitationen betreffen sowohl Schüler als auch Lehrer. Die Limitierungen liegen zum einen in Hardware- und Softwareproblemen. Ein Hardwareproblem im Experiment der Studie war zum Beispiel ein GPS-Fehler, der häufig auftrat. Ein Softwareproblem war zum Beispiel ein eingefrorener Bildschirm. Dies betraf auch die Lehrer, die dann viel Unterstützung von den AR-Entwicklern benötigten. Generell war der Unterstützungsbedarf der Lehrer massiv. Im Durchschnitt waren 3 Personen in einer Klasse anwesend, um Unterstützung zu leisten. Dies kann einen hohen logistischen Aufwand für den flächendeckenden Einsatz dieser Systeme bedeuten. Darüber hinaus empfanden die Schüler eine kognitive Überlastung durch die Menge des Materials und



die Komplexität der Lernaufgaben. Einige Schüler gaben an, dass es sehr herausfordernd war, gleichzeitig den Umgang mit der Technologie zu erlernen und die Aufgaben zu lösen. Die Forscher stellten auch fest, dass einige Schüler so sehr auf die AR-Anwendung fokussiert waren, dass sie die reale Welt nicht mehr wahrnahmen. Dies kann in Lernumgebungen, die AR integrieren und im Freien stattfinden, sehr gefährlich sein. Die Forscher mussten die Schüler wiederholt daran erinnern, den Gehweg zu benutzen [3].

Die Studie von Ayse Taskiran et al. [9] spricht neben den positiven Auswirkungen ihrer AR-Anwendung auf Kinder auch negative Aspekte an. Da AR-Anwendungen auf digitalen Geräten laufen, kommen auch hier die negativen Aspekte zum Tragen, die sich aus der Nutzung dieser Geräte im Allgemeinen ergeben. Es wurde betont, dass eine übermäßige Nutzung dazu führen kann, dass Kinder weniger körperlich aktiv sind. Darüber hinaus kann AR sowohl körperliche Probleme wie Sehstörungen als auch soziokulturelle Probleme verursachen, da das Leben der Menschen mehr von virtuellen, bildschirmbasierten Erlebnissen als von direkten Erfahrungen dominiert werden könnte [9].

## 6 Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Integration von Augmented Reality (AR) in den Sprachunterricht vielfältige positive Effekte haben kann. Die Fallstudien und der Vergleich mit Metastudien zeigen, dass AR das Sprachenlernen effektiver, motivierender und attraktiver machen kann. Die Verbesserungen erstrecken sich auf verschiedene Sprachfertigkeiten wie Lesen, Schreiben, Hören und Sprechen. Die Fallstudien in Abschnitt 3 zeigen die Vielseitigkeit von AR-Anwendungen im Sprachunterricht. Von der virtuellen Beschriftung realer Objekte, die das Vokabellernen erleichtern kann, bis hin zur Integration von AR in spielerische und interaktive Lernumgebungen eröffnen sich neue Möglichkeiten, Lerninhalte anschaulicher und erlebbarer zu gestalten. Sowohl quantitativ als auch qualitativ lässt sich ein Mehrwert durch den Einsatz von AR im Sprachunterricht feststellen. Neben diesen positiven Aspekten müssen jedoch auch negative Auswirkungen berücksichtigt werden. Mögliche gesundheitliche Risiken im Umgang mit digitalen Geräten müssen ernst genommen werden. Darüber hinaus wird die Integration dieser Systeme Herausforderungen mit sich bringen. Technische Probleme und das nötige Wissen, um mit diesen technischen Problemen und der Bedienung umzugehen, können eine Herausforderung darstellen. Hierfür müssen Lehrer ausgebildet werden. Für die Zukunft sollte darauf hingewiesen werden, dass einige Studien eine geringe Teilnehmerzahl hatten. Dies wird auch in der Studie von Marc Ericson C.

Santos et al. [8] erwähnt. Daher wäre es ratsam, in Zukunft weitere Studien mit größeren Stichproben durchzuführen. Auch zusätzlich über längere Zeiträume, um z.B. herauszufinden, ob sich AR positiv auf die Noten auswirkt. Dies könnte auch dazu beitragen, mögliche Langzeiteffekte von AR im Sprachunterricht besser zu verstehen.

---

### Literatur

- 1 Murat Akçayır and Gökçe Akçayır. Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. 20:1–11. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1747938X16300616>, doi:10.1016/j.edurev.2016.11.002.
- 2 Ronald T Azuma. A survey of augmented reality.
- 3 Matt Dunleavy, Chris Dede, and Rebecca Mitchell. Affordances and limitations of immersive participatory augmented reality simulations for teaching and learning. 18(1):7–22. doi:10.1007/s10956-008-9119-1.
- 4 Adam Ibrahim, Brandon Huynh, Jonathan Downey, Tobias Höllerer, Dorothy Chun, and John O'donovan. ARbis pictus: A study of vocabulary learning with augmented reality. 24(11):2867–2874. Conference Name: IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8457524>, doi:10.1109/TVCG.2018.2868568.
- 5 Hyungmin Lee, Chen-Chun Hsia, Aleksandr Tsoy, Sungmin Choi, Hanchao Hou, and Shiguang Ni. Visionary: Exploratory research on contextual language learning using ar glasses with chatgpt. In *Proceedings of the 15th Biannual Conference of the Italian SIGCHI Chapter, CHIItaly '23*, New York, NY, USA, 2023. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/3605390.3605400.
- 6 Nor Nashirah Nor Mahadzir. The use of augmented reality pop-up book to increase motivation in english language learning for national primary school. 1(1):26–38. URL: <http://www.iosrjournals.org/iosr-jrme/papers/Vol1-1%20Issue-1/F0112638.pdf>, doi:10.9790/7388-0112638.
- 7 Antigoni Parmaxi and Alan A. Demetriou. Augmented reality in language learning: A state-of-the-art review of 2014–2019. 36(6):861–875. eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/jcal.12486>. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jcal.12486>, doi:10.1111/jcal.12486.
- 8 Marc Ericson C. Santos, Arno in Wolde Lübke, Takafumi Taketomi, Goshiro Yamamoto, Ma. Mercedes T. Rodrigo, Christian Sandor, and Hirokazu Kato. Augmented reality as multimedia: the case for situated vocabulary learning. 11(1):4. doi:10.1186/s41039-016-0028-2.

- 9 Ayse Taskiran. The effect of augmented reality games on english as foreign language motivation. 16(2):122–135. Publisher: SAGE Publications. doi: 10.1177/2042753018817541.
- 10 Mei-Hung Wu. The applications and effects of learning english through augmented reality: a case study of pokémon go. 34(5):778–812. Publisher: Routledge \_eprint: <https://doi.org/10.1080/09588221.2019.1642211>. doi: 10.1080/09588221.2019.1642211.
- 11 Rabia M Yilmaz, Sevda Kucuk, and Yuksel Goktas. Are augmented reality picture books magic or real for preschool children aged five to six? *British Journal of Educational Technology*, 48(3):824–841, 2017. doi:<https://doi.org/10.1111/bjet.12452>.

# Mixed Reality für Museen

Jan Geiger

Universität Innsbruck, Innsbruck, Österreich  
jan.geiger@student.uibk.ac.at

## Zusammenfassung

Diese Arbeit untersucht die transformative Wirkung von Mixed Reality in Museen und deren Einfluss auf die Lernerfahrungen der Besucher. MR, eine innovative Verschmelzung von realer und virtueller Welt, eröffnet neue Wege für interaktive und immersive Bildungserlebnisse, die über traditionelle Ausstellungsformate hinausgehen. Ein wesentlicher Fokus liegt auf der Erforschung des explorativen Lernens in Verbindung mit Tangible User Interfaces und MR-Umgebungen, die das Lernen durch Entdecken und aktive Interaktion fördern. Dabei werden die Potenziale und Herausforderungen von MR-Technologien in der Bildung und Museumspraxis beleuchtet. Besondere Beachtung findet die Rolle von Alternate Reality Games in Museen, die als Mittel zur Förderung aktiven und engagierten Lernens dienen. Die Arbeit schließt mit Implikationen und Empfehlungen für den effektiven Einsatz von MR in Museen und Bildungseinrichtungen ab, wobei ein ausgewogenes Verhältnis zwischen geführter und selbständiger Erkundung als Schlüssel für effektives Lernen in diesen modernen Lernumgebungen hervorgehoben wird.

2012 ACM Computing Classification Human-centered computing → Human computer interaction (HCI)

**Keywords and phrases** Mixed Reality, Museum, exploratives Lernen, Alternate Reality Games

## 1 Einleitung

Mixed Reality (MR) in Museen repräsentiert einen aufkommenden Trend in der Art und Weise, wie wir Kulturerbe und Ausstellungen erleben. Durch die Verschmelzung von realer und virtueller Welt eröffnet MR neue Möglichkeiten für interaktive und immersive Lernerfahrungen. Sylaiou et al. [31] betonen, dass MR in Museen weit über die traditionelle Ausstellungsgestaltung hinausgeht, indem sie Besuchern ermöglicht, in eine erweiterte Realität einzutauchen, die sowohl reale Objekte als auch digitale Informationen umfasst. Diese Verknüpfung von physischen Artefakten mit digitaler Erweiterung fördert ein tiefgreifendes Verständnis und eine neue Wertschätzung für Museumsinhalte [31]. Die Forschung von Trunfio et al. [32] zeigt auf, wie MR in Museen

## 3:2 Mixed Reality für Museen

nicht nur die Art und Weise, wie Besucher mit Exponaten interagieren, revolutioniert, sondern auch, wie sie nach ihrem Besuch über diese nachdenken und handeln. MR-Technologie ermöglicht es den Museen, Bildungsziele zu erreichen, indem sie eine aktivere Beteiligung und ein tieferes Eintauchen in die Inhalte anbietet. Dies kann zu einem nachhaltigeren und bedeutungsvolleren Lernerlebnis führen, das weit über den physischen Museumsbesuch hinausgeht [32]. Hammady et al. [11] heben die Bedeutung von MR in der Visualisierung und Interaktion in Museen hervor. Sie diskutieren, wie MR-Technologien das traditionelle Museumserlebnis durch die Bereicherung der Ausstellungen mit interaktiven Elementen transformieren können. Durch diese Technologien können Museumsbesucher nicht nur Informationen aufnehmen, sondern auch aktiv an der Entdeckung und Erforschung von Exponaten teilnehmen. Dies fördert ein tieferes Verständnis und eine persönlichere Verbindung zu den Ausstellungsinhalten [11]. Angesichts dieser Entwicklungen stellt sich die Forschungsfrage: Wie können Mixed Reality-Umgebungen effektiv in Museen genutzt werden, um Lernerfahrungen zu verbessern, und welche Rolle spielt dabei die geführte Entdeckung und Exploration? Diese Frage lenkt den Fokus auf die Potenziale von MR in Museen, um nicht nur die Art und Weise, wie wir lernen, zu erweitern, sondern auch, um ein neues Niveau des Engagements und der Interaktion mit kulturellem Erbe zu erreichen.

## 2 Verständnis von Mixed Reality-Umgebungen

Mixed Reality, oft als Hybrid-Realität bezeichnet, bildet eine Verschmelzung realer und virtueller Welten, wobei digitale Technologien wie Smartphones, Computer, GPS-Geräte und Microsoft HoloLens zum Einsatz kommen [6, 9, 23]. MR positioniert sich auf dem von Milgram et al. [21] entwickelten Reality-Virtuality-Kontinuum in der Mitte, indem es sowohl reale als auch virtuelle Elemente integriert. Im Gegensatz zu Augmented Reality (AR), die eine digitale Schnittstelle über die reale Welt legt, kombiniert MR reale und virtuelle Umgebungen auf vielfältige Weise, um die Benutzererfahrung zu verbessern, wobei virtuelle Elemente an reale Elemente gebunden werden [4, 8, 9, 14, 23]. Die Vielseitigkeit von MR-Umgebungen zeigt sich in ihrer breiten Palette an Anwendungen, die von Bildung und Training bis hin zu Unterhaltung und Kultur reichen. MR ermöglicht es Benutzern, in einer realen Umgebung zu agieren, während sie gleichzeitig mit virtuellen Objekten interagieren, was eine einzigartige, interaktive Erfahrung schafft [4, 6, 23]. Dieses Zusammenspiel von realen und virtuellen Aspekten macht MR zu einem mächtigen Werkzeug in verschiedenen Bereichen, insbesondere in Bildungskontexten wie Museen.



© Jan Geiger;

licensed under Creative Commons License CC-BY

Cite as: Jan Geiger. Mixed Reality für Museen. In *2nd Seminar on Cross-Reality Interaction (XR-I 2024)*. Editor: Pascal Knierim. February 2, 2024. Innsbruck, Austria. pp. 3:1–3:16.

### 3 Komponenten von Mixed Reality-Umgebungen

Die virtuelle Komponente in MR-Umgebungen kann vielfältige Formen annehmen, von immersiven virtuellen Welten, die reale oder fantastische Umgebungen simulieren, bis hin zu digitalen Überlagerungen, die zusätzliche Informationen bieten [6, 10]. Diese Komponenten werden oft durch VR-Geräte wie Google Cardboard oder Oculus Rift realisiert und bieten Benutzern eine reiche, interaktive Erfahrung [2, 13, 10]. Die reale Komponente in MR-Umgebungen bezieht sich auf die physischen, tatsächlich existierenden Elemente, die durch TUIs, Tangible User Interfaces, mit den virtuellen Komponenten verbunden werden [1, 7, 8]. Diese TUIs können vielfältige Formen annehmen, einschließlich realer Objekte, die mit RFID-Tags und QR-Codes versehen sind, 3D-gedruckte Objekte oder visuelle Marker [1, 2, 7, 8]. Die Interface-Komponente in MR-Umgebungen verbindet die virtuelle und reale Welt. Forscher haben eine große Vielfalt an TUIs entwickelt, um die virtuellen und realen Komponenten zu verbinden, darunter Softwareprogramme auf Host-Computern, Servern oder den individuellen Computern der Benutzer [10, 19]. Diese Interfaces ermöglichen es den Benutzern, mit Elementen sowohl in der realen als auch in der virtuellen Welt zu interagieren [4, 6, 9, 14].

### 4 Mixed Reality in Museen

Die Integration von MR in Museen stellt eine signifikante Erweiterung der traditionellen kulturellen Erfahrung dar. Sylaiou et al. [31] betonen, dass MR, kombiniert mit mobilen Technologien wie Smartphones und Tablets, die Grenzen des physischen Raums überwindet, indem sie dynamische und effektive Kommunikationsmittel zwischen Kulturorganisationen und ihrem Publikum ermöglicht. Diese Technologien bereichern die Museumserfahrung nicht nur durch ansprechende Erzählformen, sondern ermöglichen auch eine Interaktivität und Personalisierung, die die Besucher tiefer in das kulturelle Erbe eintauchen lassen. Bekele et al. [4] betonen, dass MR, ähnlich wie AR und VR, die Wahrnehmung und das Verständnis der realen Welt durch das Überlagern virtueller Informationen verbessert. Dies ermöglicht es Museen, Ausstellungen auf eine Weise zu präsentieren, die über traditionelle Methoden hinausgeht, indem sie zum Beispiel historische Rekonstruktionen oder interaktive Lernumgebungen bieten. MR verbindet Elemente der realen Welt mit digital erzeugten Inhalten, wodurch eine neue Ebene der Wahrnehmung und Interaktion entsteht.

MR unterscheidet sich von AR und VR durch das Ausmaß, in dem sie reale und virtuelle Umgebungen integriert. Während AR digitale Elemente zur realen Welt hinzufügt und VR den Benutzer vollständig in eine digitale Umgebung eintauchen lässt, schafft MR eine nahtlose Verschmelzung beider

Welten. Diese Integration bietet einzigartige Möglichkeiten für die Darstellung und Interaktion mit kulturellem Erbe, wie in Studien von Barrile et al. [3] und Kaplan et al. [16] dargestellt. MR ermöglicht es den Besuchern, mit virtuellen Rekonstruktionen interaktiv umzugehen, wobei sie ihre Hände als Werkzeuge verwenden können, um ein tieferes Eintauchen in das Erlebnis zu ermöglichen. Laut Hammady et al. [11] werden Informationsvisualisierungsmethoden in Museen eingesetzt, um ein multikulturelles Publikum mit variablen Hintergründen und Erfahrungen anzusprechen. MR-Technologien tragen zur Steigerung des Besucherengagements bei, indem sie interaktive Medien bereitstellen, die verschiedene Aktivitäten von Besuchern im Museumsumfeld anregen. MR ermöglicht eine umfassende, immersivere und visuell ansprechendere Darstellung, die das traditionelle Museumserlebnis erheblich bereichert. Einer der Hauptvorteile von MR in Museen ist die Möglichkeit, Besucher auf eine Weise einzubeziehen, die sowohl bildend als auch unterhaltsam ist. Zhou et al. [38] zeigen, dass MR in der Museumspädagogik positive Auswirkungen auf das Lernergebnis und die Wahrnehmung der Besucher hat. Xu et al. [36] fügen hinzu, dass die Anwendung von Technologie im Museumsbereich das Lernen signifikant verbessern kann, wobei das Alter der Lernenden, der Typ der Technologie und das Museumsumfeld wichtige Faktoren sind. Trunfio et al. [32] untersuchen, wie funktionale Elemente von MR-Geräten das Museumserlebnis und das Nachbesuchsverhalten beeinflussen. Ihre Forschung bestätigt, dass MR die Mission von Museen zur Wertschätzung und Bildung vorantreibt und neue immersive Erfahrungen und Verhaltensweisen schafft. Dies öffnet den Weg für zukünftige Forschungen und praktische Anwendungen, um die technologischen Herausforderungen zu überwinden und MR-Erlebnisse in Museen weiterzuentwickeln. Jedoch gibt es auch Herausforderungen bei der Implementierung von MR in Museen. Dazu gehören die Kosten für die Entwicklung und Wartung von MR-Anwendungen sowie die Notwendigkeit, sowohl die Hardware als auch die Software ständig zu aktualisieren. Außerdem müssen Museen sicherstellen, dass ihre Besucher die MR-Technologie leicht nutzen können, was Schulungen und intuitive Benutzeroberflächen erfordert. Die Studien von Bekele et al. [4] und Barrile et al. [3] weisen darauf hin, dass, obwohl die Technologie vielversprechend ist, ihre Anwendung in Museen noch in den Kinderschuhen steckt und weiterentwickelt werden muss, um ihr volles Potenzial auszuschöpfen.

### 5 Unterschung der Auswirkung von explorativem Lernen

Exploratives Lernen in Kombination mit TUIs und Mixed-Reality-Umgebungen bietet spannende Möglichkeiten für pädagogische Anwendungen. Marshall et al. (2010) betonen, dass TUIs besonders für explorative Aktivitäten und Lernen durch Entdeckung geeignet sind. Ein Beispiel dafür ist das von Underkoff-

ler und Ishii [34] entwickelte "Illuminating Light", ein Werkzeug, das den Benutzern erlaubt, physische Repräsentationen optischer Elemente zu bewegen, während das System die simulierte Ausbreitung von Laserlicht durch die sich entwickelnde Anordnung zurück auf die Arbeitsfläche projiziert. Ein weiteres Beispiel ist das "BitBall", ein Ball mit integriertem Mikrocontroller, Beschleunigungsmesser und farbigen LEDs, der es Benutzern ermöglicht, Beschleunigungsänderungen durch Farbwechsel zu visualisieren [27]. Chromarium, ein Mixed-Reality-Aktivitätsraum, nutzt TUIs, um Kindern im Alter von 5-7 Jahren das Experimentieren und Lernen über Farbmischung zu ermöglichen [28]. Exploratives Lernen basiert auf konstruktivistischen Lerntheorien, die davon ausgehen, dass offenes, handlungsorientiertes Lernen zu besseren Lernergebnissen führt [25]. Schneider et al. [30] haben gezeigt, dass TUIs besonders effektiv sind, um Schüler auf zukünftiges Lernen vorzubereiten. In ihrer Studie mit dem EarExplorer konnten sie nachweisen, dass eine Gruppe von Schülern, die das Hörsystem durch eigenständige Entdeckung rekonstruierte, besser abschnitt als eine Gruppe, die schrittweise Anweisungen eines Videolehrers folgte. Kritiker wie Kirschner et al. [26] argumentieren jedoch, dass reines Entdeckungslernen der kognitiven Belastungstheorie widerspricht. Probleme wie unentdeckte Missverständnisse, Frustration der Schüler und der Mangel an ausgearbeiteten Beispielen wurden hervorgehoben [33]. Ein effektiver Ansatz könnte die geführte Entdeckung sein, die das Entdeckungslernen mit Unterstützung kombiniert, um eine reichhaltige, gemischte Lernerfahrung zu schaffen, die die Grenzen der kognitiven Belastung anerkennt und gleichzeitig die Leidenschaft der Schüler für die Exploration fördert [18]. Miller et al. [22] fanden heraus, dass die Lernergebnisse, die durch die Interaktion mit Mikrowelten erzielt werden, stark von den umgebenden Lehraktivitäten abhängen, die strukturieren, wie Schüler mit Mikrowelten interagieren. In ihrer Studie zeigten sie, dass eine sorgfältige Auswahl und Analyse der Aufgaben, die die Nutzung von Mikrowelten rahmen, wesentlich ist, um die erwarteten Lernergebnisse zu erzielen. Hierbei scheint das Gleichgewicht zwischen Selbsterkundung und geleiteter Erkundung entscheidend für effektives Lernen in diesen innovativen Lernumgebungen zu sein. Weitere Forschungen sind erforderlich, um zu verstehen, welche Elemente des Designs von Tangible Interfaces und Mixed-Reality-Anwendungen kritisch sind, um Lernaktivitäten effektiv zu unterstützen.

## 6 Fallstudie: Alternate Reality Games (ARGs)

Alternate Reality Games (ARGs) repräsentieren einen spezifischen Typ von Mixed Reality Lernumgebungen. Sie zeichnen sich unter anderem durch eine Struktur und ein Design aus, welches typisch für spielbasierte MR Lernumge-

bungen ist [20, 12, 24]. ARGs werden häufig in Bildungskontexten eingesetzt, um Schülern und Studenten Konzepte in relevanten Kontexten näherzubringen [5, 12]. Darüber hinaus finden sie in der beruflichen Weiterbildung Anwendung und dienen der Schulung der Öffentlichkeit in wichtigen Themenbereichen wie Gesundheit, Fitness, Notfallvorsorge und -reaktion [5, 13, 24]. Im Kontext von ARGs, die ein dynamisches Beispiel für Mixed-Reality-Lernumgebungen darstellen, wird die Rolle des geführten Lernens besonders deutlich: Diese Spiele kombinieren die Freiheit des explorativen Lernens mit strukturierten, zielgerichteten Aktivitäten, wodurch eine Balance zwischen Selbstentdeckung und angeleiteter Erfahrung geschaffen wird, die für das tiefe Verständnis komplexer Inhalte entscheidend ist.

### 6.1 Charakteristika von ARGs als MR-Lernarchetypen

ARGs sind gekennzeichnet durch Elemente, die sowohl dem Spieldesign als auch dem didaktischen Design entstammen. Dazu gehören anfängliche und fortlaufende Erzählungen, sogenannte "Rabbitholes", die realistisch, logisch und eine Mischung aus Realität und Fantasie sind. Sie beinhalten Charaktere, die die Geschichte vorantreiben; Quests und Missionen, die in das Gameplay eingebettet sind; sowie mehrere Herausforderungen und Rätsel, sogenannte "Trailheads", die die Geschichte voranbringen [14, 20, 29].

### 6.2 Anwendungen von ARGs in Bildung und Training

In Museen haben sich ARGs als besonders wirksam erwiesen, um Besucher dazu zu animieren, Ausstellungen zu erkunden [17, 29]. Sie ermöglichen es den Besuchern, Interaktionen mit bedeutenden historischen Persönlichkeiten, Personen der Gegenwart und gegensätzlichen Seiten in Konflikten zu erleben [29]. Weitere ARGs erlauben es den Teilnehmenden, Problemlösungs- und kritisches Denken in virtuellen und realen Umgebungen durch ansprechende spielbasierte Lernerfahrungen zu nutzen [12, 20, 24, 29].

### 6.3 Analyse wesentlicher Merkmale im Design von ARGs

Das Design von ARGs beinhaltet das Lösen von Problemen auf allen Ebenen des Spiels, die Verwendung von Erzählungen, die Einbeziehung von Belohnungen, die Möglichkeit für Spieler, ihren Fortschritt zu verfolgen, Beziehungen zwischen Hinweisen und dem Spieldesign, die kontinuierliche Einbeziehung neuer Probleme, um das Spiel spannend zu halten, die Kombination einfacher Technologie mit nicht-technologiebasierten Aktivitäten und die Einbeziehung einer großen Anzahl von Spielern [12, 20]. ARGs bieten vielfältige Möglichkeiten zur Anpassung an verschiedene Lernsettings, darunter Klassenzimmer,

berufliche Fortbildungsprogramme, Museen, Bibliotheken, Gemeinden und Touristenorte [17, 37]. Sie nutzen eine Vielzahl einfacher Materialien, sowohl digitaler als auch nicht-digitaler Art [12, 20, 29]. Der "Puppetmaster", der die ARGs leitet, ermöglicht angepasste Unterstützung [29]. Puppetmasters können Lehrer, Mentoren, Tutoren oder andere Schüler sein [20]. Weiterführend in der Betrachtung von ARGs im Museumskontext lässt sich feststellen, dass diese Spiele eine einzigartige Möglichkeit bieten, Besucher zu aktivem und engagiertem Lernen anzuregen. ARGs in Museen können so konzipiert werden, dass sie die historischen, kulturellen oder wissenschaftlichen Inhalte der Ausstellungen aufgreifen und den Besuchern eine tiefere, kontextbezogene Erfahrung bieten.

#### 6.4 Interaktive und immersive Lernerlebnisse in Museen

Durch die Einbindung von ARGs in die Museumserfahrung können Besucher auf eine Weise teilnehmen, die über das passive Betrachten von Exponaten hinausgeht. ARGs ermöglichen es, Geschichten zu erzählen, die mit den Ausstellungsstücken verknüpft sind, und schaffen so ein immersives Erlebnis, das die Besucher aktiv einbezieht und zum kritischen Denken anregt [20, 29]. Beispielsweise könnten ARGs in einem Geschichtsmuseum die Teilnehmer in die Rolle von Detektiven schlüpfen lassen, die historische Rätsel lösen, um die Hintergründe bestimmter Ereignisse oder Epochen besser zu verstehen.

#### 6.5 Förderung von Zusammenarbeit und sozialem Lernen

Ein weiterer wichtiger Aspekt von ARGs in Museen ist die Förderung der Zusammenarbeit. ARGs ermutigen die Teilnehmer oft dazu, in Teams zu arbeiten, um Rätsel zu lösen oder Aufgaben zu bewältigen. Diese Art des sozialen Lernens kann die Besuchererfahrung bereichern, da sie den Austausch von Ideen und Perspektiven zwischen den Teilnehmern ermöglicht [12, 20]. In einem naturwissenschaftlichen Museum könnte ein ARG beispielsweise Besuchergruppen dazu bringen, gemeinsam Experimente durchzuführen oder wissenschaftliche Konzepte zu erforschen.

#### 6.6 Erweiterung des Lernkontextes und der Lernressourcen

ARGs in Museen können den Lernkontext erweitern, indem sie digitale und physische Ressourcen miteinander verbinden. Durch die Nutzung von Smartphones oder Tablets können Teilnehmer zusätzliche Informationen abrufen, virtuelle Elemente mit realen Exponaten verbinden oder interaktive Karten für eine Schatzsuche durch das Museum nutzen [15, 17]. Dies ermöglicht eine tiefere Auseinandersetzung mit den Inhalten und fördert ein Verständnis, das über das bloße Betrachten von Ausstellungsstücken hinausgeht.

#### 6.7 Anpassungsfähigkeit an verschiedene Zielgruppen

Ein wesentliches Merkmal von ARGs ist ihre Anpassungsfähigkeit an unterschiedliche Zielgruppen. So können ARGs in Museen so gestaltet werden, dass sie für verschiedene Altersgruppen und Bildungsniveaus ansprechend sind. Sie können komplexe wissenschaftliche oder historische Themen für Kinder vereinfachen oder für erwachsene Besucher vertiefende, herausfordernde Inhalte bieten [5, 29]. Dies erhöht die Zugänglichkeit und Relevanz des Museums für ein breiteres Publikum.

#### 6.8 Integration von ARGs in die Museumsstrategie

Die erfolgreiche Integration von ARGs in Museen erfordert eine sorgfältige Planung und Abstimmung mit den Gesamtzielen der Einrichtung. Dies beinhaltet die Zusammenarbeit mit Kuratoren, Bildungsexperten und Technologieentwicklern, um sicherzustellen, dass die Spiele sowohl inhaltlich als auch technisch nahtlos in die Museumsausstellung integriert werden [24, 35]. Weiterhin ist es wichtig, dass ARGs nicht nur als einmalige Attraktion, sondern als integraler Bestandteil des Bildungskonzepts des Museums betrachtet werden.

#### 6.9 Erfolgsmessung und Feedback

Um den Erfolg von ARGs in Museen zu bewerten, ist es wichtig, Feedback von den Besuchern zu sammeln und die Auswirkungen auf das Lernerlebnis zu analysieren. Dies kann durch Befragungen, Beobachtungen oder die Analyse von Spielstatistiken erfolgen. Solche Daten helfen dabei, das Spiel kontinuierlich zu verbessern und sicherzustellen, dass es die Bildungsziele des Museums unterstützt [12, 20].

#### 6.10 Reflektion zur Fallstudie

Alternate Reality Games in Museen, wie in den Abschnitten 6.1 bis 6.9 dargestellt, hat das Potenzial, Bildungserfahrungen durch interaktive und immersive Elemente zu bereichern. ARGs fördern nicht nur das Engagement und die Zusammenarbeit unter den Teilnehmern, sondern erweitern auch den Lernkontext über traditionelle Methoden hinaus. Sie bieten maßgeschneiderte Erlebnisse für diverse Zielgruppen und integrieren sich nahtlos in die strategische Ausrichtung von Museen. Es zeigt sich, wie wichtig es ist, die Wirkung dieser Spiele kontinuierlich zu bewerten, um sie effektiv in Bildungsprogramme einzubetten. Insgesamt unterstreichen diese Abschnitte die Bedeutung von ARGs als innovative Werkzeuge, die das Lernen durch aktive Teilnahme und Engagement fördern und dabei helfen, die Brücke zwischen traditionellen Bildungsansätzen und der digitalen Welt zu schlagen.

## 7 Fazit

### 7.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die vorliegende Arbeit hat die Bedeutung von MR in Museen und deren Potenzial für verbesserte Lernerfahrungen umfassend beleuchtet. Die Verschmelzung von realer und virtueller Welt in MR ermöglicht es Museen, interaktive und immersive Erlebnisse zu schaffen, die über traditionelle Ausstellungsgestaltungen hinausgehen. Studien wie die von Sylaiou et al. [31] und Trunfio et al. [32] unterstreichen, wie MR-Technologien das Engagement der Besucher erhöhen und zu einem tieferen Verständnis des kulturellen Erbes beitragen können. Die Verbindung von physischen Artefakten mit digitaler Erweiterung schafft einzigartige Bildungserfahrungen, die über den physischen Museumsbesuch hinausreichen. Weiterhin haben Untersuchungen zu explorativem Lernen, wie von Schneider et al. [30], gezeigt, dass TUIs und Mixed-Reality-Umgebungen besonders effektiv sind, um Schüler auf zukünftiges Lernen vorzubereiten. Die Einbindung von ARGs in Museen hat sich als effektive Methode erwiesen, um Besucher zu aktivem und engagiertem Lernen anzuregen, wobei die Förderung von Zusammenarbeit und sozialem Lernen besonders hervorzuheben ist.

### 7.2 Implikationen für die Nutzung von Mixed Reality in Museen

Die Nutzung von MR in Museen hat das Potenzial, die Art und Weise, wie Besucher interagieren und lernen, grundlegend zu verändern. MR kann nicht nur zu einem verbesserten Verständnis und einer tieferen Wertschätzung für Museumsinhalte beitragen, sondern auch das kulturelle Erbe auf innovative und ansprechende Weise vermitteln. Museen sollten sich darauf konzentrieren, MR-Technologien so zu implementieren, dass sie sowohl Bildungsziele erreichen als auch ein unterhaltsames Erlebnis bieten. Die Integration von geführtem Lernen in ARGs zeigt, wie Mixed Reality die Grenzen traditioneller Bildungsansätze erweitert, indem sie interaktive, kontextbezogene Erlebnisse schafft, die das kritische Denken und die kollaborative Problemlösung in Museums- und Bildungsumgebungen fördern. Darüber hinaus ermöglicht MR in Museen eine Personalisierung des Lernerlebnisses. Besucher können individuell angepasste Touren und Informationen erhalten, die auf ihre Interessen und ihr Vorwissen zugeschnitten sind. Dies trägt zu einer tieferen emotionalen Bindung und einem nachhaltigeren Lerneffekt bei. Zudem bietet MR die Möglichkeit, schwer zugängliche oder fragile Exponate virtuell zugänglich zu machen, wodurch Museen ihr Angebot erweitern und bewahren können. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Barrierefreiheit. MR-Technologien können dazu beitragen, Museen inklusiver zu gestalten, indem sie für Menschen mit verschiedenen Be-

hinderungen zugängliche Erfahrungen bieten. So können beispielsweise visuelle Inhalte für Sehbehinderte auditiv aufbereitet werden. Für Museen ergeben sich durch MR auch neue Herausforderungen in der Vermittlung. Es gilt, die Balance zwischen technologischer Faszination und inhaltlicher Tiefe zu finden. Museen müssen sicherstellen, dass die Technologie die Inhalte unterstützt und nicht überlagert. Dies erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen Kuratoren, Pädagogen und Technologieexperten. Zukünftige Forschungen sollten sich daher nicht nur auf die technologische Entwicklung konzentrieren, sondern auch auf pädagogische Konzepte, die das volle Potenzial von MR in der kulturellen Bildung ausschöpfen. Hierbei spielen auch ethische Überlegungen eine Rolle, wie der Umgang mit digitalen Rekonstruktionen und die Authentizität von Museumserlebnissen. Abschließend lässt sich feststellen, dass MR die Rolle von Museen in der Gesellschaft neu definieren und das Lernen revolutionieren kann, jedoch eine sorgfältige und reflektierte Herangehensweise erfordert.

### 7.3 Empfehlungen für zukünftige Forschung und Umsetzung in Bildungseinrichtungen

Zukünftige Forschungen sollten sich auf die Entwicklung effektiver MR-Anwendungen konzentrieren, die speziell auf die Bedürfnisse und Erwartungen verschiedener Besuchergruppen zugeschnitten sind. Es ist wichtig, sowohl die technischen als auch die inhaltlichen Aspekte von MR-Anwendungen kontinuierlich zu evaluieren und zu verbessern. Die Einbindung von ARGs in Museen erfordert eine sorgfältige Planung und Abstimmung mit den Gesamtzielen der Einrichtung, um sicherzustellen, dass sie sowohl inhaltlich als auch technisch nahtlos in die Museumsausstellung integriert werden. Für Bildungseinrichtungen empfiehlt es sich, MR und ARGs als Werkzeuge zu nutzen, um Lernerfahrungen zu bereichern und zu diversifizieren. Dabei sollten sie die Balance zwischen Selbsterkundung und geleiteter Erkundung wahren, um effektives Lernen in diesen innovativen Lernumgebungen zu gewährleisten. Es ist ebenfalls wichtig, eine Umgebung zu schaffen, die die aktive Teilnahme und das kritische Denken der Lernenden fördert. Insgesamt bietet MR in Museen und Bildungseinrichtungen ein enormes Potenzial, um Lernerfahrungen zu revolutionieren und eine tiefere Verbindung zum kulturellen Erbe zu schaffen. Durch die kontinuierliche Anpassung und Verbesserung von MR-Anwendungen können Museen und Bildungseinrichtungen sicherstellen, dass sie den sich ständig ändernden Bedürfnissen ihres Publikums gerecht werden und ein nachhaltiges und bedeutungsvolles Lernerlebnis bieten.

## Literatur

- 1 Michelle Aebersold, Terri Voepel-Lewis, Leila Cherara, Monica Weber, Christina Khouri, Robert Levine, and Alan R. Tait. Interactive anatomy-augmented virtual simulation training. *Clinical Simulation in Nursing*, 15:34–41, 2018. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876139917301263>, doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecns.2017.09.008>.
- 2 Samuel R. Barber, Saurabh Jain, Young-Jun Son, and Eugene H. Chang. Virtual functional endoscopic sinus surgery simulation with 3d-printed models for mixed-reality nasal endoscopy. *Otolaryngology-Head and Neck Surgery*, 159(5):933–937, 2018. URL: <https://aao-hnsfjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1177/0194599818797586>, arXiv:<https://aao-hnsfjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1177/0194599818797586>, doi:<https://doi.org/10.1177/0194599818797586>.
- 3 Vincenzo Barrile, Ernesto Bernardo, Antonino Fotia, and Giuliana Bilotta. A combined study of cultural heritage in archaeological museums: 3d survey and mixed reality. *Heritage*, 5(3):1330–1349, 2022. URL: <https://www.mdpi.com/2571-9408/5/3/69>, doi:10.3390/heritage5030069.
- 4 Mafkereseb Kassahun Bekele, Roberto Pierdicca, Emanuele Frontoni, Eva Savina Malinverni, and James Gain. A survey of augmented, virtual, and mixed reality for cultural heritage. *J. Comput. Cult. Herit.*, 11(2), mar 2018. doi:10.1145/3145534.
- 5 Diane M. Billings, Karren Kowalski, and Judith Young. Using a role-play simulation game to promote systems thinking. *The Journal of Continuing Education in Nursing*, 49(1):10–11, 2018. URL: <https://journals.healio.com/doi/abs/10.3928/00220124-20180102-04>, arXiv:<https://journals.healio.com/doi/pdf/10.3928/00220124-20180102-04>, doi:10.3928/00220124-20180102-04.
- 6 Raffaello Brondi, Marcello Carrozzino, Cristian Lorenzini, and Franco Tecchia. Using mixed reality and natural interaction in cultural heritage applications. *Informatica (Slovenia)*, 40, 2016. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:34499372>.
- 7 Kasey J. Carlson and David J. Gagnon. Augmented reality integrated simulation education in health care. *Clinical Simulation in Nursing*, 12(4):123–127, 2016. Special Issue: Gaming. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876139915001012>, doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecns.2015.12.005>.
- 8 Eugene Ch'ng, Dew Harrison, and Samantha Moore. Shift-Life Interactive Art: Mixed-Reality Artificial Ecosystem Simulation. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 26(2):157–181, 05 2017. URL: [https://doi.org/10.1162/PRES\\_a\\_00291](https://doi.org/10.1162/PRES_a_00291), arXiv:[https://direct.mit.edu/pvar/article-pdf/26/2/157/1836477/pres\\_a\\_00291.pdf](https://direct.mit.edu/pvar/article-pdf/26/2/157/1836477/pres_a_00291.pdf), doi:10.1162/PRES\_a\_00291.
- 9 Aguayo Claudio, Dañobeitia Cristobal, Cochrane Thomas, Aiello Stephen, Cook Stuart, and Cuevas Alberto. Embodied reports in paramedicine mixed reality learning. *Research in Learning Technology*, 26, Nov. 2018. URL: <https://journal.alt.ac.uk/index.php/rlt/article/view/2150>, doi:10.25304/rlt.v26.2150.
- 10 Adeola Fabola, Alan Miller, and Richard Fawcett. Exploring the past with google cardboard. In *2015 Digital Heritage*, volume 1, pages 277–284, 2015. doi:10.1109/DigitalHeritage.2015.7413882.
- 11 Ramy Hammady, Minhua Ma, and Carl Strathearn. Ambient information visualisation and visitors' technology acceptance of mixed reality in museums. *J. Comput. Cult. Herit.*, 13(2), jun 2020. doi:10.1145/3359590.
- 12 Patrick Jagoda, Melissa Gilliam, Peter McDonald, and Christopher Russell. Worlding through play: Alternate reality games, large-scale learning, and the source. *American Journal of Play*, 8:74–100, 2015. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:43400539>.
- 13 Birt James and Cowling Michael. Assessing mobile mixed reality affordances as a comparative visualization pedagogy for design communication. *Research in Learning Technology*, 26, Nov. 2018. URL: <https://journal.alt.ac.uk/index.php/rlt/article/view/2128>, doi:10.25304/rlt.v26.2128.
- 14 Haru Hyunkyung Ji and Graham Wakefield. Inhabitat: An Imaginary Ecosystem in a Children's Science Museum. *Leonardo*, 51(4):343–348, 08 2018. URL: [https://doi.org/10.1162/leon\\_a\\_01641](https://doi.org/10.1162/leon_a_01641), arXiv:[https://direct.mit.edu/leon/article-pdf/51/4/343/1578043/leon\\_a\\_01641.pdf](https://direct.mit.edu/leon/article-pdf/51/4/343/1578043/leon_a_01641.pdf), doi:10.1162/leon\_a\_01641.
- 15 Timothy Jung and M. Claudia Tom Dieck. Augmented reality, virtual reality and 3d printing for the co-creation of value for the visitor experience at cultural heritage places. *Journal of Place Management and Development*, 10, 06 2017. doi:10.1108/JPM-07-2016-0045.
- 16 Alexandra D. Kaplan, Jessica Cruit, Mica Endsley, Suzanne M. Beers, Ben D. Sawyer, and P. A. Hancock. The effects of virtual reality, augmented reality, and mixed reality as training enhancement methods: A meta-analysis. *Human Factors*, 63(4):706–726, 2021. PMID: 32091937. arXiv:<https://doi.org/10.1177/0018720820904229>, doi:10.1177/0018720820904229.
- 17 Jes A. Koepfler, K. Tierney Sneeringer, and Georgina Goodlander. Pheon: Practicing problem solving and gaining museum literacy from trans-media and alternate reality games in museums. 2017. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:158204516>.
- 18 H.K. Lee. *Faith-Based Education That Constructs: A Creative Dialogue between Constructivism and Faith-Based Education*. Wipf and Stock Publishers, 2010. URL: <https://books.google.at/books?id=gFiUCgAAQBAJ>.



- 19 Juan Mateu, María José Lasala, and Xavier Alamán. Developing mixed reality educational applications: The virtual touch toolkit. *Sensors*, 15(9):21760–21784, 2015. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/15/9/21760>, doi: 10.3390/s150921760.
- 20 Brandon Hill-Patrick Jagoda Melissa Gilliam, Alida Bouris. The source: An alternate reality game to spark stem interest and learning among underrepresented youth. *Journal of STEM Education: Innovations and Research*, 17(2), 05 2016.
- 21 Paul Milgram, Haruo Takemura, Akira Utsumi, and Fumio Kishino. Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum. In Hari Das, editor, *Telemanipulator and Telepresence Technologies*, volume 2351, pages 282 – 292. International Society for Optics and Photonics, SPIE, 1995. doi:10.1117/12.197321.
- 22 Craig S. Miller, Jill Fain Lehman, and Kenneth R. Koedinger. Goals and learning in microworlds. *Cognitive Science*, 23(3):305–336, 1999. URL: [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1207/s15516709cog2303\\_2](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1207/s15516709cog2303_2), arXiv:[https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1207/s15516709cog2303\\_2](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1207/s15516709cog2303_2), doi:[https://doi.org/10.1207/s15516709cog2303\\_2](https://doi.org/10.1207/s15516709cog2303_2).
- 23 Natalie B. Milman. Defining and conceptualizing mixed reality, augmented reality, and virtual reality. *Distance Learning*, 15(2), 04 2018.
- 24 Jing Pan, Xing Su, and Zheng Zhou. An alternate reality game for facility resilience (argfr). *Procedia Engineering*, 118:296–303, 2015. Defining the future of sustainability and resilience in design, engineering and construction. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187705815020858>, doi:<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.430>.
- 25 Seymour Papert. *Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas*. Basic Books, Inc., USA, 1980.
- 26 John Sweller Paul A. Kirschner and Richard E. Clark. Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 41(2):75–86, 2006. URL: [https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102\\_1](https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_1), arXiv:[https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102\\_1](https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_1), doi:10.1207/s15326985ep4102\_1.
- 27 Mitchel Resnick, Fred Martin, Robert Berg, Rick Borovoy, Vanessa Colella, Kwin Kramer, and Brian Silverman. Digital manipulatives: New toys to think with. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '98, page 281–287, USA, 1998. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co. doi:10.1145/274644.274684.
- 28 Yvonne Rogers, Mike Scaife, Silvia Gabrielli, Hilary Smith, and Eric Harris. A Conceptual Framework for Mixed Reality Envi-

- ronments: Designing Novel Learning Activities for Young Children. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 11(6):677–686, 12 2002. arXiv:<https://direct.mit.edu/pvar/article-pdf/11/6/677/1623826/105474602321050776.pdf>, doi:10.1162/105474602321050776.
- 29 Dakota Russell. Interpreting in alternate realities. *Legacy (The magazine of the National Association for Interpretation)*, 26(3), 05/06 2015.
- 30 Bertrand Schneider, Engin Bumbacher, and Paulo Blikstein. Discovery versus direct instruction: Learning outcomes of two pedagogical models using tangible interfaces. In *International Conference on Computer Supported Collaborative Learning*, 07 2015. URL: <https://repository.isls.org/handle/1/429>.
- 31 Stella Sylaiou, Vlasios Kasapakis, Elena Dzardanova, and Damianos Gavalas. Leveraging mixed reality technologies to enhance museum visitor experiences. In *2018 International Conference on Intelligent Systems (IS)*, pages 595–601, 2018. doi:10.1109/IS.2018.8710530.
- 32 Mariapina Trunfio, Timothy Jung, and Salvatore Campana. Mixed reality experiences in museums: Exploring the impact of functional elements of the devices on visitors' immersive experiences and post-experience behaviours. *Information & Management*, 59(8):103698, 2022. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378720622001070>, doi:<https://doi.org/10.1016/j.im.2022.103698>.
- 33 Juhani Tuovinen and John Sweller. A comparison of cognitive load associated with discovery learning and worked examples. *Journal of Educational Psychology*, 91:334–341, 1999. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:54592195>.
- 34 John Underkoffler and Hiroshi Ishii. Illuminating light: An optical design tool with a luminous-tangible interface. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '98, page 542–549, USA, 1998. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co. doi:10.1145/274644.274717.
- 35 Keri Watson and Anastasia Salter. Playing art historian: Teaching 20 th century art through alternate reality gaming. *International Journal of Technology Enhanced Learning*, 1:100–111, 01 2016.
- 36 Zhi-Yi Shen Wei Xu, Tao-Tao Dai and Yu-Jia Yao. Effects of technology application on museum learning: a meta-analysis of 42 studies published between 2011 and 2021. *Interactive Learning Environments*, 31(7):4589–4604, 2023. arXiv:<https://doi.org/10.1080/10494820.2021.1976803>, doi:10.1080/10494820.2021.1976803.
- 37 Robert Xiao, Julia Schwarz, Nick Throm, Andrew D. Wilson, and Hrvoje Benko. Mrtouch: Adding touch input to head-mounted mixed reality. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 24(4):1653–1660, 2018. doi:10.1109/TVCG.2018.2794222.
- 38 Yuting Zhou, Juanjuan Chen, and Minhong Wang. A meta-analytic review on incorporating virtual and augmented reality in museum learning. *Educatio-*

*nal Research Review*, 36:100454, 2022. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1747938X22000239>, doi:<https://doi.org/10.1016/j.edurev.2022.100454>.

# Aktueller Stand von Mixed Reality Training: Anwendbarkeit und Effektivität

Jona Florian Müller

Universität Innsbruck, Innsbruck, Österreich  
Jona.Mueller@student.uibk.ac.at

## Zusammenfassung

Die Mixed Reality Technologie ermöglicht die Interaktion von virtuellen und realen Objekten und eignet sich daher für die Erstellung von Trainingsszenarien. Der aktuelle Stand des Konzeptes und seine Anwendungsbereiche wurden im Rahmen einer Literaturrecherche ermittelt. Der Realismus ist entscheidend für die Effektivität des erstellten Szenarios, damit die aus dem Szenario gewonnenen Erfahrungen in die reale Welt übertragen werden können. Mögliche Anwendungsbereiche finden sich in der Medizin, bei der Feuerwehr oder im Militär. Die Vorteile von Mixed Reality Training liegen unter anderem in der Reduzierung des gesundheitlichen Risikos für die TeilnehmerInnen. Allerdings stellen technische Einschränkungen, wie Grafikfehler in der Darstellung virtueller Objekte oder Probleme beim Tracking von verwendeten Gegenständen eine Limitierung des Mixed Reality Trainings dar. Ungeklärte Fragen, wie die Langzeitwirkungen des Mixed Reality Trainings, bieten Ansätze für weitere Forschung zu diesem Konzept.

2012 ACM Computing Classification Human-centered Computing → Mixed/augmented reality

**Keywords and phrases** Mixed Reality; Training; Cross-Reality Interaction.

## 1 Einleitung

Die kontinuierliche Entwicklung der Interaktion von Menschen mit virtuellen Welten führt dazu, dass diese Technologien auch für die Gestaltung von Trainingsszenarien für Berufsgruppen eingesetzt werden. Viele Konzepte basieren auf Mixed Reality (MR). Mixed Reality wird in den Arbeiten von Milgram und Kishino als Umgebung definiert, in der reale und virtuelle Objekte auf einem "Bildschirm" präsent sind [11]. Auf dem Reality-Virtuality Kontinuum (siehe Abbildung 1) befindet sich MR somit zwischen der realen Welt und einer vollständig computergenerierten Umgebung. MR ermöglicht es, dass der User mit realen und virtuellen Gegenständen in Echtzeit interagieren kann [12].

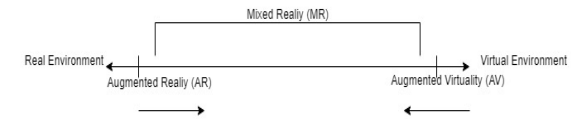


© Jona Florian Müller;

licensed under Creative Commons License CC-BY

Cite as: Jona Florian Müller. Aktueller Stand von Mixed Reality Training: Anwendbarkeit und Effektivität. In *2nd Seminar on Cross-Reality Interaction (XR-I 2024)*. Editors: Pascal Knierim. February 02, 2024. Innsbruck, Austria. pp. 4:1–4:14.

## 4:2 Mixed Reality Training



■ **Abbildung 1** Reality-Virtuality Kontinuum, adaptiert von Milgram [11]

Unter Mixed Reality Training versteht man allgemein ein Trainingsszenario, das mithilfe von MR Technologie realisiert wird. Der Begriff "Training" ist sehr breit gefasst. Im Kontext dieser Arbeit bezieht sich der Begriff auf die Vorbereitung, die verschiedene Berufsgruppen durchlaufen, um auf mögliche Situationen in ihrem Berufsalltag vorbereitet zu sein. Ziel dieser Arbeit ist es, ein allgemeines Anforderungsprofil für MR Trainingsszenarien zu bestimmen. Zudem werden die in der Forschung gefundenen Vorteile und Limitierungen aufgezeigt. Ein Hauptkriterium für die Aufnahme von Konzepten in diese Arbeit ist das Veröffentlichungsdatum. Die behandelten Studien umfassen den Zeitraum von 2018 bis 2023. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist, dass die Trainingskonzepte in den ausgewählten Studien konkret umgesetzt wurden und die Auswirkungen des Trainings anhand einer Personenstudie festgestellt wurden oder zumindest die Rückmeldung von ExpertInnen zu dem entwickelten Konzept eingeholt wurde.

## 2 Mixed Reality Training: Konzept und Technologie

Das Ziel eines Trainings besteht darin, Teilnehmende in einer spezifischen Umgebung mit Situationen zu konfrontieren, die ihrem Berufsalltag möglichst nahekommen. Die Erfahrungen aus dem Training sollen den TeilnehmerInnen im Falle einer realen Situation helfen, die richtigen Entscheidungen zu treffen. Das MR Szenario muss eine hohe Immersion aufweisen, damit die Erfahrungen in die reale Welt transferiert werden können. Die Fachliteratur beschreibt zwei essenzielle Aspekte, die notwendig sind, um diese Immersion zu erzeugen [15]:

- "Place illusion"
- "Plausibility"

Der Begriff "Place illusion" beschreibt die Illusion, dass eine Person denkt, sie befände sich tatsächlich in der von der Technologie erzeugten Welt. "Plausibility" beschreibt, dass die Vorgänge in der virtuellen Welt genauso so ablaufen, wie es von NutzerInnen in der realen Welt erwartet wird.

Wenn diese beiden Effekte in einer virtuellen Welt auftreten, verhält sich die Person in dieser Welt so, wie sie sich in der Realität verhalten würde [15]. Dieser Punkt ist entscheidend dafür, inwieweit die im MR Szenario gemachten

Erfahrungen auf die Realität übertragen werden können und wie realitätsnah ein dieses Szenario ist. Die Mixed Reality Technologie ist prädestiniert für die Aufrechterhaltung dieser Illusionen, da sie es ermöglicht, dass reale Objekte mit der virtuellen Welt interagieren [12]. Dies ist ein signifikanter Vorteil gegenüber Virtual Reality, bei der die gesamte Umgebung virtuell ist [17].

Die allgemeine Architektur eines MR Systems besteht aus einem Server, der für die Verarbeitung der von Sensoren übertragenen Informationen zuständig ist. Anschließend werden diese Informationen an den Client weitergeleitet und dort gerendert [12]. Es wird ein Gerät, benötigt, das diese gerenderten Inhalte darstellt sowie Sensoren, welche die Daten, wie beispielsweise die Position der Person erfassen. Außerdem benötigt das Szenario eine Möglichkeit, mit der die Person Eingaben tätigen kann [12].

In MR Trainingseinheiten wird in der Regel ein Head-mounted Display (HMD) verwendet, um Daten auf der Client-Seite darzustellen, da die TeilnehmerInnen ihre Hände für die Ausführung diverser Tätigkeiten benötigen [17, 8, 1]. Um die Immersion eines Trainingsszenarios aufrechtzuerhalten, sind die Art der Interaktion mit dem Szenario und das haptische Feedback wichtig. Manche Studien verwenden zur Interaktion mit dem MR Szenario spezielle Controller, die Gegenständen aus dem Berufsalltag nachempfunden sind [8]. Eine alternative Herangehensweise besteht darin, Gegenstände des alltäglichen Equipments so aufzubereiten, dass sie auch in den MR Trainingsszenarien genutzt werden können [17]. Um die Verwendung in den Szenarien zu ermöglichen, müssen die Bewegungen dieser Gegenstände aufgezeichnet werden. Diese Technik wird als Tracking bezeichnet [12]. Die genaue Funktionsweise und mögliche Verbesserungen der verschiedenen Tracking-Arten sind Gegenstand aktueller Forschung [12]. Wichtig für das Tracking beim Trainingsszenarien ist, dass das Tracking auch in Situationen funktioniert, in denen das Objekt nicht statisch ist, sondern benutzt oder eventuell verdeckt wird. In den MR Trainingsszenarien wird meist mit Sensoren-Tracking über speziellen Markern an den Objekten gearbeitet [17, 8]. Jedoch ist diese Art des Trackings anfällig für Störungen durch externe Einflüsse, wie zum Beispiel durch reflektierende Oberflächen [8, 17]. Diese Interaktion zwischen virtuellen und realen Objekten, die durch das Tracking ermöglicht wird, stellt einen Vorteil von MR gegenüber anderen realitätserweiternden Technologien dar. Allerdings ist dieser Aspekt besonders aufwendig und bedarf weiterer Forschung [12]. Aus diesem Grund werden auch weniger aufwendige Eingabemöglichkeiten, wie beispielsweise die Sprachsteuerung [13] oder die Eingabe via Gesten [1] verwendet.

Ein weiterer wichtiger Aspekt für die Illusion ist die Geräuschkulisse. Die meisten Studien verwenden Kopfhörer, um simulierte Umgebungsgeräusche abzuspielen [17]. Je nach Anforderungen des Szenarios kann es auch nötig sein, dass virtuelle Akteure in dem Szenario präsent sind. Mit diesen Akteuren

kann in dem Trainingsszenario interagiert werden, allerdings müssen diese Agenten von Menschen synchronisiert werden [17]. Die Geräuschkulisse und die Synchronisation der Akteure dienen dazu, die "Plausibility" Illusion zu verstärken. Die Aktionen der TeilnehmerInnen sollen aufgrund ihrer Handlungen eine auditive Rückmeldung bekommen [15].

Die Software, die das Szenario rendert, die Daten berechnet, und viele andere Berechnungen durchführt, ist ein entscheidender Aspekt eines MR Szenarios [12]. Diese Szenarien werden mit einem speziellen Framework von ExpertInnen implementiert [12]. Der Erstellungsprozess gestaltet sich oft als aufwendig, da genau abgesprochen werden muss, welche Inhalte in dem Szenario enthalten sein sollten und wie viel davon technisch realisierbar ist [12]. Diese Entscheidungen müssen je nach Anwendungsbereich getroffen werden, da das Spektrum der möglichen MR Trainingsszenarien sehr breit ist. Es ist möglich, entweder die gesamte Umgebung virtuell darzustellen [17] oder nur virtuelle Objekte in die reale Welt zu integrieren [8].

### 3 Übersicht über die Anwendungsbereiche des Mixed Reality Trainings

Generell lassen sich zwei übergeordnete Anwendungsbereiche unterscheiden: das kognitive Training und das physische Training.

Das Ziel des kognitiven Trainings besteht darin, Wissen zu erwerben beziehungsweise Wissen aufzufrischen. Eine konventionelle Methode zur Vermittlung kognitiver Inhalte ist die Präsentation des Lerninhaltes, beispielsweise durch Bücher oder Videos. In diesem Kontext wurde eine Studie durchgeführt, die eine MR Umgebung entworfen hat, um die TeilnehmerInnen auf die Arbeit in einer Batteriefabrik vorzubereiten. Dabei wurde ihnen interaktiv der Aufbau einer Batterie näher gebracht [5]. Es gibt auch eine Anwendung für PilotInnen, die mithilfe von einem MR Szenario lernen, welche Schritte sie befolgen müssen, um ein Flugzeug auf Funktionstüchtigkeit zu überprüfen [14]. Diese Szenarien sind so gestaltet, dass jede TeilnehmerIn in ihrer Geschwindigkeit die Inhalte lernen kann und die Aufbereitung des Wissens motivierend ist [5, 14].

Der zweite Anwendungsbereich ist das physische Training. Es dient dazu, bestimmte motorische Abläufe zu erlernen oder zu verbessern sowie Reaktionen auf Reize zu trainieren. Das konventionelle physische Training wird in der Regel in speziellen Umgebungen absolviert, in denen der Ernstfall simuliert wird. Ein bekanntes Beispiel dafür ist das klassische Einsatztraining der Feuerwehr. Auf einem abgesperrten Gelände werden Gegenstände in Brand gesetzt und die Einsatzkräfte müssen diese löschen. In der Chirurgie wird jedoch eine alternative Praxis angewendet. Dort lernen Auszubildende die Abläufe durch Beobachtung einer ExpertIn, bevor sie selbst unter Beobachtung einen Eingriff

am Patienten vornehmen dürfen [16]. Da Auszubildende mit dieser Methode erst spät praktische Erfahrung sammeln, könnte eine MR Trainingsanwendung helfen, um Anfänger schneller an die Praxis zu gewöhnen [2]. Weitere Beispiele für physische Trainings, die mit MR Szenarien dargestellt werden kann, sind das Verhalten der Polizei an einem Tatort [1], in der Notfallversorgung [17] oder in der Industriearbeit [7]. Die MR Szenarien für diese Anwendungsfälle sollten immersiv sein, da sie Gefühle, wie Stress, Anstrengung oder Angst vermitteln müssen, um die reale Situation bestmöglich zu simulieren [17, 8]. Auch die Modellierung der Umgebung ist sehr wichtig, da sie dynamisch auf die Aktionen der TeilnehmerIn reagieren muss [17, 8].

Das Militär bietet viele mögliche Anwendungsbereiche für das Training mit Mixed Reality. Bei größeren Übungen sind die Kosten für das Trainingsgelände, Treibstoff der Fahrzeuge, etc. sehr hoch und es besteht ein hohes Verletzungsrisiko [3, 14]. Auch in der Medizin finden MR Szenarien breite Anwendung, da Auszubildende so ohne großen Druck trainieren können, ohne dass die Gesundheit von Patienten gefährdet wird [2, 16, 10].

Wie bereits beschrieben findet das MR Training in beiden Arten des Trainings Anwendung, es wird jedoch hauptsächlich für das physische Training verwendet. Aber auch die Vermittlung von Wissen kann durch den Einsatz von MR immersiver gestaltet werden. Jedoch existieren zu diesem Einsatzgebiet weniger Studien, dies könnte vor allem damit zusammenhängen, dass für das kognitive Training der Vorteil von MR gegenüber Augmented Reality und Virtual Reality nicht gegeben ist. Aus diesem Grund werden viele kognitive Trainings mit diesen Technologien entwickelt. Im Allgemeinen gilt, dass Szenarien, die für einen 2D-Simulator adaptiert wurden, auch gut in MR umgesetzt werden können. Eine sinnvolle Umsetzung in MR erfordert jedoch die direkte Interaktion der Akteure mit der virtuellen Umgebung. Insbesondere das Training von festen Abläufen und spezifischen Szenarien kann gut realisiert werden, da die Simulation beliebig oft absolviert werden kann, sobald sie einmal erstellt wurde.

### 3.1 Konkrete Szenarien für das Mixed Reality Training

In den folgenden zwei Abschnitten werden zwei Studien zu MR Trainings-szenarios detailliert beschrieben. Die erste Studie stellt ein MR Training für Notfallsanitäter vor [17], während die zweite Studie ein MR Trainingsszenario für Feuerwehrleute beschreibt [8]. Das Training für die Notfallsanitäter findet in einer vollständig virtuellen Welt statt, in der nur das Equipment und die medizinische Puppe real sind [17]. Im Gegensatz dazu wird das MR Training für Feuerwehrleute in einer realen Umgebung durchgeführt. Dabei werden speziell angefertigte Controller verwendet, um den Feuerwehrschauch zu imitieren. Die Umgebung bleibt unverändert, lediglich die Brandherde werden virtuell

generiert [8].

#### 3.1.1 Trainingsszenario für Notfallsanitätern

In dieser Studie wird ein Trainingsszenario, um Notfallsanitäter mithilfe eines MR Trainingsszenario auf den Einsatz vorzubereiten, vorgestellt [17]. Eine vollständig virtuelle Umgebung wird mithilfe eines HMD wahrgenommen. Lediglich die medizinische Puppe und die Ausrüstung eines Rettungssanitäters sind real und können auch in dem virtuellen Szenario verwendet werden. Das Szenario stellt einen Autounfall dar, an dem zwei Personen beteiligt sind, diese beiden Personen sind vollständig virtuell und werden als Agenten bezeichnet. Die TeilnehmerIn kommt als erste Person an der Unfallstelle an, muss sich einen Überblick über den Zustand aller anwesenden Personen verschaffen und anschließend Erstversorgung gewährleisten. Das Szenario endet mit der Ankunft des Notarztwagens. Das Ziel dieses Szenarios ist es, dass die TeilnehmerInnen die medizinische Anwendung des Equipments, sowie die Abläufe bei der Erstversorgung erlernen.

Der Raum, in dem das Training stattfindet, ist vollständig mit Greenscreen Technologie ausgestattet. Auch die Puppe erhält mithilfe dieser Technologie ein virtuelles Aussehen, um die Verletzungen virtuell darstellen zu können. Die TeilnehmerIn trägt neben dem HMD auch ein Headset, über das die Soundkulisse eingespielt wird. Zusätzlich wird ein spezielles Gerät am HMD montiert, das typische Gerüche an einer Unfallstelle erzeugt. Ausgewählte Gegenstände des Equipments werden mit visuellen Markern versehen, um ihre Verwendung im Szenario, wie in der realen Welt zu ermöglichen. Diese Ausrüstungsgegenstände können an der medizinischen Puppe verwendet werden und die TeilnehmerIn erhält in Echtzeit Rückmeldung über die Gesundheitsparameter des Patienten. Beispielsweise werden Atemgeräusche hörbar, wenn das Stethoskop an die Brust der Puppe gelegt wird. Die Agenten in diesem Szenario werden von einer TrainerIn vertont, die das Geschehen live über einen Bildschirm verfolgt und so dynamisch reagieren kann.

Zur Validierung des Szenarios wurden sieben ExpertInnen eingeladen, um es zu testen. Anschließend füllten die Teilnehmer einen Fragebogen zu ihren Erfahrungen mit dem Szenario aus. Zusätzlich wurde die elektrodermale Aktivität (GSR) während des Szenarios gemessen, um festzustellen, wie hoch die emotionale Aufregung während des Trainings war. Die Ausschläge des GSR zeigten eindeutig, dass die Teilnehmerinnen und Teilnehmer emotional in das Szenario involviert waren und Stress empfanden. Die TeilnehmerInnen führten die Soundkulisse und die visuelle Präsentation als ausschlaggebende Faktoren für die Immersion an. Die Geruchskulisse wurde hingegen nicht bemerkt. Die Interaktionen mit der Puppe wurden von den TeilnehmerInnen der Studie als sehr realistisch wahrgenommen. Auch der Einsatz der verschiedenen Utensili-

en trug zur immersiven Wirkung des Szenarios bei. Als Kritikpunkt wurde angemerkt, dass die Puppe nicht alle Extremitäten hatte. Außerdem war es nicht möglich, die Puppe zu bewegen oder umzudrehen. Die ProbandInnen der Studie beschrieben die soziale Interaktion mit den Agenten aufgrund der starren Mimik und Gestik als unrealistisch.

### 3.1.2 Trainingsszenario für Feuerwehreinsatzkräfte

Die Studie beschäftigt sich damit, wie das Training von Feuerwehreinsatzkräften durch den Einsatz von Mixed Reality sicherer gestaltet werden kann [8]. In diesem Fall handelt es sich speziell um Feuerwehrleute der Navy, die hauptsächlich auf Schiffen eingesetzt werden. Das konventionelle Training umfasst einen theoretischen und einen praktischen Teil. In diesem praktischen Teil der Ausbildung werden die TeilnehmerInnen mit echtem Feuer konfrontiert. Allerdings birgt dieses Training ein hohes Verletzungsrisiko für alle Beteiligten. Das MR Szenario soll den Übergang von der Theorie zur Praxis erleichtern. Auch erfahrene Mannschaftsmitglieder sollen durch das Absolvieren des Szenarios einen Mehrwert haben. Weitere Anforderungen an das System sind eine immersive Umgebung und Kompatibilität mit der Standard-Ausrüstung der Feuerwehr. Mit dieser Ausrüstung bewegen sich die TeilnehmerInnen durch die dafür ausgewählten Räumlichkeiten und löschen die virtuellen Feuer. Das Ziel des Szenarios ist es, dass die TeilnehmerInnen in der Lage sind, die Bedienung des Feuerwehrschauches blind zu beherrschen und auf die Bedingungen bei einem Einsatz vorbereitet zu sein.

Die MR Technologie ermöglicht die virtuelle Darstellung von Brandherden und deren Ausbreitung, die reale Umgebung muss nicht verändert werden. Diese Entwurfsentscheidung macht das gesamte System flexibel, da das Training an vielen verschiedenen Orten durchgeführt werden kann. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die Trainingsumgebung nicht virtualisiert werden muss. Die Brandstellen können von den AusbilderInnen frei im Raum gesetzt werden. Von diesen Orten breitet sich das virtuelle Feuer realistisch aus. Die Partizipanten tragen ein HMD, sowie ein Headset. Zum Interagieren mit dem Szenario wurden spezielle Controller hergestellt, die den verwendeten Schläuchen der Feuerwehrinheit sehr ähnlich sind. Da Feuerwehrleute die Bedienung des Feuerwehrschauches auswendig können müssen, ist es besonders wichtig, dass der Controller keine spezifische Bedienoberfläche hat. Andernfalls würde zu viel mentale Kapazität darauf verwendet werden, sich an den speziellen Controller zu gewöhnen, obwohl dieses Wissen für die Praxis keinen Mehrwert bietet. Die Bewegungsfreiheit der TeilnehmerInnen darf durch den Technologieeinsatz nicht eingeschränkt werden. Aus diesem Grund wird in dieser Studie ein Computer, der als Rucksack getragen werden kann, verwendet. Kabelverbindungen zu einem stationären Computer werden so vermieden

Das Trainingsszenario wurde aufgrund von äußeren Umständen nicht mit TeilnehmerInnen getestet. Stattdessen wurden Aufnahmen des Trainingsszenarios an Verantwortliche der Feuerwehrinheit geschickt, um Rückmeldungen zu erhalten. Insbesondere die Technik beeinträchtigte die Qualität des Trainings. Zum Beispiel erschwerten die Bewegungen des Schiffes, an dessen Bord das Training stattfand, das Tracking der virtuellen Objekte. Die reflektierenden Oberflächen führten zu grafischen Anzeigefehlern. Im Allgemeinen wurde der Simulator positiv aufgenommen, da dieser es ermöglicht flexibel in diversen Bereichen zu trainieren, ohne dieses vorher digitalisieren zu müssen. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass das MR Training das Training mit Feuer nicht ersetzen kann, es aber sehr wohl einen sinnvollen Schritt zwischen Theorie und Praxis darstellt.

## 4 Vorteile und Limitierung des MR Trainings

Generell wurde das Training von den TeilnehmerInnen der Studien positiv aufgenommen. Durch den Einsatz von MR ist das Lernen individueller gestaltet, da die TeilnehmerInnen in ihrem eigenen Tempo lernen [16]. In einem Szenario, in dem medizinische Eingriffe mithilfe von MR trainiert wurden, haben die Beteiligten im Vergleich zu konventionellen Trainingsmethoden mehr Zeit im MR Training verbracht [2]. Daraus schlossen die WissenschaftlerInnen, dass die Aufbereitung des Themas für die Teilnehmenden interessanter war als das konventionelle Training. Bei dieser Beobachtung ist zu beachten, dass die Teilnehmer möglicherweise aufgrund der neuen Technologie interessierter sind. Es ist möglich, dass diese Effekte nachlassen, wenn MR weiter verbreitet ist. [17].

Durch den Einsatz der MR Technologie können Kosten und Ressourcen eingespart werden, die bei der Realisierung eines Trainingsszenarios in der realen Welt anfallen würden [14]. Es gilt jedoch zu bedenken, dass die Anschaffung der Technik und die Erstellung der Szenarios kostenintensiv sind. Sollte der Einsatzbereich es aber erfordern, dass in hoher Frequenz unterschiedlichste Szenarien entwickelt werden, könnte der finanzielle Vorteil wegfallen. Weiters ist es möglich durch MR Szenarien darzustellen, die in der Realität nicht möglich sind [8]. Dies gilt auch für Szenarien, welche nicht trainiert werden können, weil der finanzielle Aufwand zu hoch wäre [8].

Auch die Hürden für Einsteiger werden verringert, da das MR Training einen fließenden Übergang von der Theorie zur Praxis bietet und das Verletzungsrisiko senkt [8]. In vielen Berufen ist es üblich, dass NeueinsteigerInnen erfahrene KollegInnen in ihrem Berufsalltag begleiten, um so bestimmte Tätigkeiten zu erlernen [1, 16, 10]. Diese Art der Ausbildung hängt stark von der Verfügbarkeit von erfahrener Personal ab. Bei Personalmangel könnte

ein MR Szenario Abhilfe schaffen [1]. Außerdem kann es auf diese Weise für NeueinsteigerInnen schwierig sein, die Ausübung der Tätigkeiten zu erlernen. Das MR Training bietet eine sichere Umgebung, in der die Beteiligten sich ausprobieren können, ohne dass ihre eigene Gesundheit oder die anderer Personen gefährdet wird [10].

Die Technologie erleichtert die Analyse des Szenarios, da die TrainerInnen das Livebild beobachten und bei Bedarf auf Aufzeichnungen zurückgreifen können [16]. Dadurch ist auch ein direktes Eingreifen oder Rückmeldung seitens der TrainerIn möglich [17]. Außerdem können die Trainings so dokumentiert werden und für weitere Analysen verwendet werden.

Szenarien können in höherer Frequenz trainiert werden, da nach Erstellung eines MR Training dieses ohne größere Verzögerung erneut eingesetzt werden kann. Das Szenario kann so gestaltet werden, dass es unabhängig von Ort, Zeit und Wetter ist.

Die meisten Limitierungen sind auf die technische Umsetzung zurückzuführen. Grafikfehler in der Simulation [8], Fehler beim Tracking der verwendeten Gegenstände [8] oder andere Probleme mit der Software. Solche Fehler können die Immersion zerstören. Da das Tracking der Gegenstände außerdem sehr aufwendig zu implementieren ist, werden meist Controller oder Spracheingabe eingesetzt. Eine weitere Limitierung besteht in der unrealistischen Darstellung von der Interaktion mit Menschen, die aufgrund der starren Mimik, die auf TeilnehmerInnen unrealistisch wirkt [17]. Zudem ist die Kommunikation mit diesen Agenten meist nur durch Synchronisation von TrainerInnen möglich [17]. Es besteht zudem die Möglichkeit, dass TeilnehmerInnen an Motion Sickness erkranken [17]. Einige TeilnehmerInnen wurden durch das Gewicht und die Wärmeentwicklung des HMD eingeschränkt [16]. Werkzeuge wie das Stethoskop konnten aufgrund des Headsets nicht wie gewohnt verwendet werden, da die Ohren komplett bedeckt sind [17]. Auch das Tragen des HMDs schränkt die Immersion ein, da zum Beispiel keine Masken oder Helme mit Visier getragen werden können. Zu Unklarheiten bei den TeilnehmerInnen führte die "Tangibilty", das heißt, dass den TeilnehmerInnen oft nicht klar ist, ob sie das virtuelle Objekt berühren können oder nicht [17]. Es bedarf Lösungen, um den TeilnehmerInnen mitzuteilen, welche Objekte in dem Szenario real vorhanden sind und welche nur virtuell sind. Dabei sollte jedoch die Immersion nicht beeinträchtigt werden.

Eine Metastudie von Kaplan et al. [9] untersuchte konventionelles Training im Vergleich zu Training mit Augmented Reality, Virtual Reality und Mixed Reality. Diese Studie kam zu dem Ergebnis, dass das Training mit den realitätserweiternden Technologien mindestens genauso effektiv ist wie das traditionelle Training. Nach ihren Erkenntnissen hängt die Wirkung des Trainings entscheidend von der eingesetzten Technologie und der Zielgruppe

ab. Eine weitere Studie von Daling et al. [4], die die Auswirkungen von MR Technologie auf das Training von FabrikmitarbeiterInnen untersuchte, kommt ebenfalls zu dem Schluss, dass MR Training in Bezug auf die Leistung nicht schlechter ist als konventionelle Trainingsmethoden.

## 5 Entwicklungspotential und Forschungslücken

Wie bereits im vorherigen Abschnitt beschrieben, sind die Limitierungen für das MR Training hauptsächlich auf Hard- und Software-Seite zu finden. Je realistischer die virtuellen Objekte und Agenten dargestellt werden können, desto immersiver wird die Trainingserfahrung.

Es gibt jedoch noch andere Herausforderungen, wie beispielsweise die sogenannte "Simulator Sickness" [8]. Diese trat in keiner der hier inkludierten Studien auf. Allerdings wurden alle Studien mit einer sehr geringen Teilnehmerzahl durchgeführt, meist mit nur 20-30 Personen [17]. Außerdem trugen die Partizipanten das HMD maximal eine Stunde lang [17]. Daher sind diese Studien bezüglich des Auftretens von "Simulator Sickness" nicht sehr repräsentativ. In der Folge stellt sich die Frage, ob das MR Training überhaupt für eine längere Anwendung geeignet ist [16]. In einer Studie kritisierten TeilnehmerInnen bereits in den kurzen Szenarien den Tragekomfort des HMD [16]. Dies könnte sich in längeren Szenarien noch negativer auswirken.

Eine weitere Frage ist, wie sich das MR Training auf Anfänger auswirkt, die zuvor noch kein anderes Training in diesem Bereich absolviert haben. Da die Wirkung des Trainingsszenarios stark davon abhängt, für welche Zielgruppe es entwickelt wird [4, 9], wäre es interessant, Auswirkungen auf verschiedenste Zielgruppen zu testen. Interessante Aspekte der Zielgruppe könnte ihre Erfahrung mit Computertechnologie im Allgemeinen, Erfahrung mit MR und Erfahrung mit dem Inhalt der Trainingseinheit sein. Es ist vor allem wichtig zu untersuchen, wie sich das Training auf Anfänger im Berufsfeld auswirkt, da dies ein vielversprechender Anwendungsbereich des MR Trainings sein könnte.

Es gibt nur wenige Studien, die sich mit Trainingsszenarien befassen, in denen die Interaktion mit Menschen im Vordergrund steht, wie zum Beispiel Kundengespräche oder das Halten von Vorträgen. Möglicherweise liegt dies daran, dass die Technologie in diesem Bereich noch nicht sehr ausgereift ist. Durch die Weiterentwicklung von Sprachmodellen könnte die Kommunikation in den MR Szenarien wesentlich realistischer gestaltet werden und die Notwendigkeit, dass virtuelle Akteure von TrainerInnen synchronisiert werden müssen, könnte wegfallen [17]. Durch die Entwicklung der grafischen Darstellung werden Mimik und Gestik der Akteure immer natürlicher wirken.

Aufgrund des geringeren Aufwands handelt es sich bei den meisten Studien um ein Szenario, welches nur für eine einzelne TeilnehmerIn ausgelegt ist. Die

Kooperation mit anderen Personen stellt jedoch in vielen Anwendungsbereichen einen wichtigen Bestandteil des physischen Trainings dar. Die Erweiterung der Szenarien für mehrere Personen, die gleichzeitig trainieren, bringt jedoch auch neue Herausforderungen mit sich. Zum Beispiel die Darstellung anderer Personen oder die Synchronisierung von Aktionen. Es existiert ein Demo-Entwurf für eine Feuerwehr-Trainingseinheit, an der mehrere Teilnehmer beteiligt sind. Diese Simulation funktioniert über ein Netzwerk, wodurch die Trainingsgruppe nicht einmal am selben Ort sein muss [6]. Ein solches Training wäre zusätzlich noch unabhängig von den Standorten der einzelnen TeilnehmerInnen, aber dafür abhängig von der Netzwerkverbindung und der Latenz zu den benötigten Servern [6]. Außerdem würde die benötigte Technik, die angeschafft werden müsste, vervielfacht.

Um fundiertere Schlüsse darüber ziehen zu können, wie das MR Training im Vergleich zu den konventionellen Methoden abschneidet, müsste seine Wirkung über einen längeren Zeitraum untersucht werden [4]. Die Beobachtungen aus den Studien entstehen nach einer einzigen MR Trainingseinheit der TeilnehmerInnen. Es wäre interessant zu untersuchen, welche Wirkung ein MR Szenario auf eine Person hat, obwohl sie dieses Szenario bereits mehrmals durchlaufen hat. Denn mit dieser Erkenntnis hängt zusammen, in welcher Frequenz das MR Szenario angepasst werden müsste, um weiterhin neue Erfahrung zu bieten.

## 6 Fazit

Das MR Training hat in diversen Studien einen positiven Effekt auf die TeilnehmerInnen. In bestimmten Anwendungsbereichen ist das MR Training kostengünstiger und verbraucht weniger Ressourcen als die konventionellen Trainingsmethoden. Durch den Einsatz von MR Trainings kann der allgemeine Trainingsprozess abwechslungsreicher gestaltet werden, um eine bestmögliche Ausbildung der TeilnehmerInnen zu gewährleisten. MR Training kann dort eingesetzt werden, wo viele Auszubildende das System durchlaufen müssen, aber ihre Tätigkeit ein erhebliches Risiko für ihre eigene Gesundheit oder die Gesundheit anderer Beteiligter birgt. Es bedarf jedoch einer genauen Analyse, ob es für den jeweiligen Anwendungsbereich sinnvoll ist, ein Training mit MR zu realisieren. Um ein MR Training effektiv anwenden zu können, muss die Forschung auch in diversere Bereiche ausgeweitet werden. Aufgrund des technischen Fortschritts der MR Technologie wird der Einsatz im Training in Zukunft zunehmen. Es ist anzumerken, dass konventionelle Trainings nicht einfach in MR Trainings konvertiert werden können. Hier bedarf es weiterer Forschung, um die genauen Bedürfnisse des MR Trainings herauszufinden [17].

### Literatur

- 1 Giovanni Acampora, Pasquale Trinchese, Roberto Trinchese, and Autilia Vitiello. A serious mixed-reality game for training police officers in tagging crime scenes. *Applied Sciences*, 13(2), 2023. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/2/1177>, doi:10.3390/app13021177.
- 2 Ehsan Azimi, Alexander Winkler, Emerson Tucker, Long Qian, Jayfus Doswell, Nassir Navab, and Peter Kazanzides. Can Mixed-Reality Improve the Training of Medical Procedures? In *2018 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, pages 4065–4068, July 2018. ISSN: 1558-4615. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8513387>, doi:10.1109/EMBC.2018.8513387.
- 3 Roberto Champney, Julie N. Salcedo, Stephanie J. Lackey, Stephen Serge, and Michelle Sinagra. Mixed Reality Training of Military Tasks: Comparison of Two Approaches Through Reactions from Subject Matter Experts. In Stephanie Lackey and Randall Shumaker, editors, *Virtual, Augmented and Mixed Reality*, Lecture Notes in Computer Science, pages 363–374, Cham, 2016. Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-39907-2\_35.
- 4 Lea M. Daling and Sabine J. Schlittmeier. Effects of Augmented Reality-, Virtual Reality-, and Mixed Reality-Based Training on Objective Performance Measures and Subjective Evaluations in Manual Assembly Tasks: A Scoping Review. *Human Factors*, page 00187208221105135, May 2022. Publisher: SAGE Publications Inc. doi:10.1177/00187208221105135.
- 5 Lucie Denisart, Diana Zapata-Dominguez, Xavier David, Aubin Leclere, Romain Lelong, Chaoyue Liu, Jiahui Xu, Emilie Loup-Escande, and Alejandro A. Franco. Combining virtual reality with mixed reality for efficient training in battery manufacturing. *Batteries & Supercaps*, n/a(n/a):e202300268, 2023. URL: <https://chemistry-europe.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/batt.202300268>, arXiv:<https://chemistry-europe.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/batt.202300268>, doi:<https://doi.org/10.1002/batt.202300268>.
- 6 Zhanchen Dong, Jiangong Chen, and Bin Li. Demo: Collaborative Mixed-Reality-Based Firefighter Training. In *IEEE INFOCOM 2023 - IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS)*, pages 1–2, May 2023. ISSN: 2833-0587. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10226009>, doi:10.1109/INFOCOMWKSHPS57453.2023.10226009.
- 7 Mar Gonzalez-Franco, Rodrigo Pizarro, Julio Cermeron, Katie Li, Jacob Thorn, Windo Hutabarat, Ashutosh Tiwari, and Pablo Bermell-Garcia. Immersive Mixed Reality for Manufacturing Training. *Frontiers in Robotics and AI*, 4, 2017. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frobt.2017.00003>.



- 8 Janne Heirman, Shivam Selleri, Tom De Vleeschauwer, Charles Hamesse, Michel Bellemans, Evarest Schoofs, and Rob Haelterman. Exploring the possibilities of Extended Reality in the world of firefighting. In *2020 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality (AIVR)*, pages 266–273, December 2020. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9319108>, doi:10.1109/AIVR50618.2020.00055.
- 9 Alexandra D. Kaplan, Jessica Cruit, Mica Endsley, Suzanne M. Beers, Ben D. Sawyer, and P. A. Hancock. The Effects of Virtual Reality, Augmented Reality, and Mixed Reality as Training Enhancement Methods: A Meta-Analysis. *Human Factors*, 63(4):706–726, June 2021. Publisher: SAGE Publications Inc. doi:10.1177/0018720820904229.
- 10 Abel J Lungu, Wout Swinkels, Luc Claesen, Puxun Tu, Jan Egger, and Xiaojun Chen. A review on the applications of virtual reality, augmented reality and mixed reality in surgical simulation: an extension to different kinds of surgery. *Expert Review of Medical Devices*, 18(1):47–62, January 2021. Publisher: Taylor & Francis \_eprint: <https://doi.org/10.1080/17434440.2021.1860750>. doi:10.1080/17434440.2021.1860750.
- 11 Paul Milgram, Haruo Takemura, Akira Utsumi, and Fumio Kishino. Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. *Telemanipulator and Telepresence Technologies*, 2351, January 1994. doi:10.1117/12.197321.
- 12 Somaiieh Rokhsaritalemi, Abolghasem Sadeghi-Niaraki, and Soo-Mi Choi. A review on mixed reality: Current trends, challenges and prospects. *Applied Sciences*, 10(2), 2020. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/2/636>, doi:10.3390/app10020636.
- 13 Björn Sautter and Lea Daling. Mixed Reality Supported Learning for Industrial on-the-job Training, June 2021. URL: <https://papers.ssrn.com/abstract=3864189>, doi:10.2139/ssrn.3864189.
- 14 Harald Schaffernak, Birgit Moesl, Wolfgang Vorraber, Michael Holy, Eva-Maria Herzog, Robert Novak, and Ioana Victoria Koglbauer. Novel Mixed Reality Use Cases for Pilot Training. *Education Sciences*, 12(5):345, May 2022. Number: 5 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute. URL: <https://www.mdpi.com/2227-7102/12/5/345>, doi:10.3390/educsci12050345.
- 15 Mel Slater. Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1535):3549–3557, December 2009. Publisher: Royal Society. URL: <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rstb.2009.0138>, doi:10.1098/rstb.2009.0138.
- 16 Juan A. Sánchez-Margallo, Carlos Plaza de Miguel, Roberto A. Fernández Anzules, and Francisco M. Sánchez-Margallo. Application of Mixed Reality in Medical Training and Surgical Planning Focused on Minimal-ly Invasive Surgery. *Frontiers in Virtual Reality*, 2, 2021. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frvir.2021.692641>.
- 17 Jakob Carl Uhl, Helmut Schrom-Feiertag, Georg Regal, Katja Gallhuber, and Manfred Tscheligi. Tangible Immersive Trauma Simulation: Is Mixed Reality the next level of medical skills training? In *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '23, pages 1–17, New York, NY, USA, April 2023. Association for Computing Machinery. URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3544548.3581292>, doi:10.1145/3544548.3581292.

# Mixed Reality im Sport

Cikalleshi Erik

Universität Innsbruck, Innsbruck, Österreich  
erik.cikalleshi@student.uibk.ac.at

## Kurzfassung

Mixed Reality im Sport eröffnet faszinierende Perspektiven, indem es Augmented Reality (AR) und Virtual Reality (VR) kombiniert. Die Verschmelzung dieser Technologien ermöglicht es Sportlern, in virtuellen Welten zu trainieren, was wiederum übermenschliche Sportarten in einer Realität schafft, die ohne Extended Reality nicht denkbar wären. Dieser Fortschritt eröffnet neue Dimensionen des Sports, in denen Grenzen kontinuierlich neu definiert werden. Zuschauer können Sportereignisse auf völlig neue Weise erleben, und die Integration von AR in die reale Umgebung liefert zusätzliche Informationen, die das Sporterlebnis bereichern.

Die Anwendung von Mixed Reality im Sport hat jedoch auch ihre Herausforderungen. Es erfordert nicht nur technologische Innovation, sondern auch die Anpassung von Trainingsmethoden und die Integration neuer Sicherheitsstandards.

**Schlüsselwörter** Mixed Reality im Sport, Augmented Reality, Virtual Reality, Mixed Reality, Sport

**2012 ACM Computing Classification** Mixed reality → Sporty, Virtual Reality, Augmented Reality

## 1 Einleitung

In den vergangenen Jahren hat sich die Welt des Sports und des Athletiktrainings durch moderne Technologien wie Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR) und Mixed Reality (MR) grundlegend gewandelt. Der Durchbruch erfolgte im Jahre 2014 mit der Markteinführung des Oculus Rift, einem Meilenstein, der VR für die breite Öffentlichkeit zugänglich machte [1]. Seitdem hat das Feld der Extended Reality (XR), zu dem VR, AR und MR gehören, bedeutende Fortschritte erzielt [2]. XR ermöglicht nicht nur die Verbesserung entscheidender Wahrnehmungs- und Bewegungsfähigkeiten, sondern auch die Schaffung einer verbesserten Trainingsumgebung [1, 5, 2].

Obwohl das Potenzial von XR im Sport offensichtlich ist, stehen zahlreiche Herausforderungen bevor. Damit diese neuen Technologien im Sport erfolgreich integriert werden können, müssen sich Athleten und Trainer anpassen [1]. Ein Schlüsselaspekt dabei ist die Nutzung von Daten und Analysen im Sport,

## 5:2 Mixed Reality im Sport

wie sie bereits in verschiedenen Bereichen des modernen Sports erfolgreich angewendet wurde [3]. Datengetriebene Entscheidungen gewinnen zunehmend an Bedeutung, sei es bei der Spielerwahl, der Leistungsbewertung, im Training oder bei der Taktikanalyse [3, 4].

Athleten haben nun die Möglichkeit, in "übermenschlichen Sportarten" zu agieren. Diese neue Technologie soll helfen, das Denken und die körperlichen Fähigkeiten mithilfe künstlicher Sinne und Reflexe zu verbessern. Dadurch könnten sich Sportereignisse und Wettkämpfe in Zukunft verändern [5].

Die Integration von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) hat einen Einfluss auf Bildung und Sport [4]. Tragbare Geräte, die spezifische Sportbewegungen identifizieren können, verändern unser Verständnis von den Anforderungen des Sports [4, 5]. Sie unterstützen nicht nur bei der körperlichen Vorbereitung und Verletzungsprävention, sondern auch bei der technischen Analyse. Sogar Profi-Sportteams wie der FC Barcelona setzen auf IKT, um Innovationen wie künstliche Intelligenz, automatisierte Videobearbeitung, Computer Vision sowie VR-, MR- und AR-Technologien zu nutzen [4].

Durch die Kombination dieser technologischen Fortschritte eröffnen sich im Sport faszinierende neue Möglichkeiten für das Training, sportliche Wettkämpfe und die Bindung von Fans. Diese Arbeit hat zum Ziel, den Schwerpunkt auf die Möglichkeiten zur Steigerung und Verbesserung von Athleten durch MR im Sport zu legen. Dabei werden die differenzierten Aspekte von VR, AR und MR beleuchtet, um Einblicke in revolutionäre Ansätze im Sporttraining zu geben, insbesondere in den Bereichen Basketball AR, übermenschliche Sportarten in MR und Leistungssteigerung durch Granulares Computing.

### 1.1 Milgram's Continuum

XR, bestehend aus VR, AR, und MR, hat die Sportwelt in den letzten Jahren grundlegend verändert. Diese Technologien bieten vielfältige Anwendungen und bringen verschiedene Nutzen für Athleten, Trainer und Zuschauer mit sich. Milgram's Continuum bietet einen Rahmen zur Einordnung von VR, AR und MR im Spektrum zwischen der realen Welt und virtuellen Realität [4]. VR schließt die reale Welt vollständig aus und ersetzt sie durch eine virtuelle Umgebung. Im Gegensatz dazu ergänzt AR die reale Welt um computergenerierte Inhalte, während MR eine Verschmelzung beider Welten ermöglicht [4, 1, 2]. Man kann sich die verschiedenen Arten von XR wie eine Bandbreite vorstellen, die von vollständig virtuellen Erfahrungen bis hin zu nahtlosen Mischungen von echter und virtueller Welt reicht [2]. Hierbei ist wichtig zu betonen, dass die Interaktion mit virtuellen Objekten und die Fähigkeit, die Umgebung in Echtzeit zu verändern, eine entscheidende Bedeutung haben.



© Cikalleshi Erik;

licensed under Creative Commons License CC-BY

Cite as: Cikalleshi Erik. Mixed Reality im Sport. In *1st Seminar on Cross-Reality Interaction (XR-I 2023)*. Editor: Pascal Knierim. January 27, 2023. Innsbruck, Austria. pp.5:1–5:12.

## 2 Verwandte Arbeiten

Die folgenden Arbeiten bieten einen Einblick in die Welt der MR im Sport und präsentieren innovative Ansätze:

Eine Forschungsarbeit mit dem Titel "The Ball is in Our Court: Conducting Visualization Research With Sports Experts" [3] beschäftigt sich mit AR im Basketball. Hier wurde ein System entwickelt, um Basketballspielern während des Freiwurfttrainings Echtzeit-Feedback zu geben. Die Ergebnisse überraschten, da die AR-Visualisierung die Körperhaltung betonte, während 2D-Visualisierungen sich auf die Schussgenauigkeit konzentrierten.

Ein weiteres Projekt, "Superhuman Sports in Mixed Reality: The Multi-player Game League of Lasers" [5], stellt eine neue Sportart vor, die Wettbewerb und Technologie kombiniert, um menschliche Fähigkeiten zu erweitern. Das Spiel "League of Lasers" nutzt AR-Technologie und virtuelle Spiegel, um Laserimpulse im Spiel zu reflektieren. Die positive Bewertung der Benutzer bestätigte den unterhaltsamen Charakter und die Förderung physischer Fitness.

Die Autoren Le Noury, Polman, Maloney und Gorman geben in ihrer Studie einen Überblick über die Nutzung von Extended Reality (XR) [2] im Sport, zu der VR, AR und MR gehören. XR wurde bereits in Psychologie, Medizin und Militär eingesetzt, um Wahrnehmungs- und motorische Fähigkeiten zu verbessern. Im Sport, insbesondere auf elitärem Niveau, gewinnt XR an Bedeutung, obwohl weitere Forschung erforderlich ist. Die Autoren betonen die Wichtigkeit, XR-Tools umweltfreundlich und vielseitig einzusetzen. Sie geben Einblicke in aktuelle Anwendungen sowie einen Ausblick auf die Zukunft.

Die Studie "Virtual and Augmented Reality in Sports" [1] untersucht die Integration von VR und AR mit Funkortung im Sport. Die Autoren schlagen vor, VR-Headsets mit dem RedFIR-Tracking-System zu kombinieren, um präzises Tracking im Team-Sport zu ermöglichen. Eine Umfrage unter 227 Sportlern zeigt positive Einstellungen gegenüber der Nutzung von VR-Headsets im Training. Die Kombination dieser Technologien ermöglicht verbessertes Spieler-Tracking und Training im Sport.

Ein weiterer Artikel mit dem Titel "ICTs for exercise and sport science: focus on augmented reality" [4] betrachtet die Anwendung von AR im Sport. Dabei werden Granulares Computing (GrC) und die Goal-Directed Task Analysis (GDTA) als entscheidende Ansätze für die Verarbeitung von Daten und die Identifizierung klarer Trainingsziele vorgestellt.

Diese Forschungsarbeiten verdeutlichen, dass MR im Sport nicht nur die Sinne erweitert, sondern auch innovative Möglichkeiten für das Training und die Leistungssteigerung bietet. Die Integration von AR, GrC, GDTA, VR, XR und KI wird als vielversprechendes und zukunftsweisendes Framework für die Zukunft des Sports betrachtet.

## 3 Anwendung und Nutzen von Extended Reality (VR, MR, AR) im Sport

Die Anwendung von XR, die VR, AR und MR umfasst, hat im Bereich des Sports bedeutende Auswirkungen.

### 3.1 Virtuelle Realität im Sport

VR schafft eine vollständig immersive Umgebung, in der der Benutzer die reale Welt ausblendet und sich vollständig in eine virtuelle Welt versetzt fühlt [1, 2, 4]. In Bezug auf den Sport ermöglicht VR sportliche Simulationen, die das physische, technische, taktische und psychologische Training verbessern. Durch die Immersion in virtuelle Welten können Athleten ihre Fähigkeiten entwickeln, Fehler reduzieren und spezifische Szenarien für das Training anpassen [1, 4]. Beliebte VR-Systeme wie Oculus Rift, HTC Vive und Samsung Gear VR bieten verschiedene Grade der Immersion und Interaktion [1].

### 3.2 Augmented Reality im Sport

Im Gegensatz dazu fügt AR computergenerierte Inhalte zur realen Welt hinzu, ohne sie zu blockieren. AR kann Athleten mit zusätzlichen Informationen während des Trainings unterstützen [1, 2, 4]. Technologien wie Google Glass und Microsoft HoloLens ermöglichen es, virtuelle Objekte in der realen Umgebung zu platzieren und mit ihnen zu interagieren [1]. Im Sport wird AR für Live-Trainingssitzungen oder Live-Spiele eingesetzt [4]. Es erweitert die physische Realität um digitale Informationen.

### 3.3 Mixed Reality im Sport

MR liegt zwischen VR und AR und ermöglicht eine Integration von virtuellen und realen Elementen. Beispiele sind die Simulation von taktischen Situationen, die Analyse von Bewegungsabläufen und die Verbesserung der mentalen Widerstandsfähigkeit von Athleten [2, 4]. Im Sport kann MR für die Rehabilitation nach Verletzungen eingesetzt werden, indem virtuelle Elemente in die physische Umgebung integriert werden. Geräte wie Microsoft HoloLens bieten ein beeindruckendes MR-Erlebnis [1, 2], indem sie virtuelle Objekte in die reale Umgebung einfügen und Benutzerinteraktionen ermöglichen.

## 4 Revolutionäre Ansätze im Sporttraining durch Mixed Reality

Im Bereich des Sporttrainings eröffnet der Einsatz von MR neue Perspektiven und revolutionäre Ansätze. Drei wegweisende Forschungsprojekte werfen einen

Blick auf die Potenziale dieser Technologie:

#### 4.1 Basketball - Augmented Reality

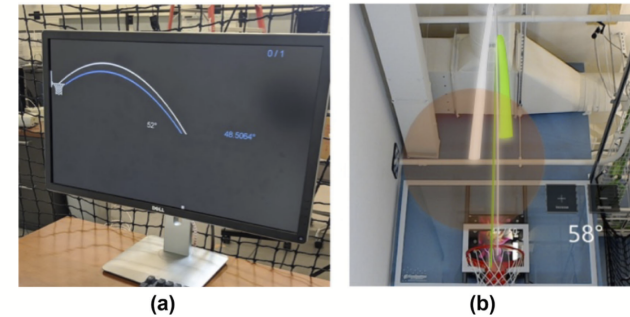
Im Artikel "The Ball is in Our Court: Conducting Visualization Research With Sports Experts" [3] wird über ein Projekt zur Basketball AR berichtet, das sich auf das Echtzeit-Feedback für Basketballspieler während des Freiwurftrainings konzentrierte. In Zusammenarbeit mit College-Basketballteams lag der Fokus auf einem einfachen Design und schnellem Feedback, um die motorischen Fähigkeiten der Spieler zu verbessern.

Das Projekt umfasste Nutzerforschung, Zielsetzung, Designüberlegungen und Evaluierung. Zur Umsetzung des Echtzeit-Feedbacks wurden ein 3D-Tracking-System und zwei Visualisierungsmodalitäten entwickelt. Eine 2D-Visualisierung auf einem Monitor neben dem Schützen und eine AR-Visualisierung durch eine AR-Brille. Dabei wurden Informationen über den Ziel- und Wurfbogen in verschiedenen Darstellungsformen präsentiert (Abbildung 1).

Die Herausforderungen des Projekts bestanden darin, die Bedürfnisse der Sportexperten zu verstehen, spezifische Anforderungen für das Echtzeit-Feedback zu erfüllen und die Zusammenarbeit mit Sportteams innerhalb begrenzter Zeitrahmen zu planen. Als wichtige Erkenntnis ergab die Auswertung, dass sowohl 2D- als auch AR-Visualisierungen als nützlich betrachtet wurden. Überraschenderweise förderte die AR-Visualisierung ein verstärktes Augenmerk auf die Körperhaltung der Spieler, während die 2D-Visualisierung die Schussgenauigkeit priorisierte.

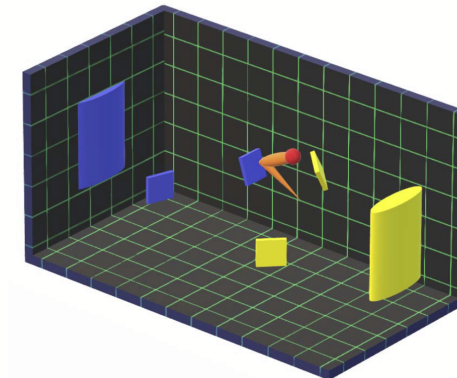
#### 4.2 Übermenschliche Sportarten in Mixed Reality

Im Artikel "Superhuman Sports in Mixed Reality: The Multi-player Game League of Laser" [5] wird ein neues Konzept von Superhuman Sports vorgestellt, definiert als Sportart, die "Wettbewerb und physische Elemente traditioneller Sportarten mit Technologie kombiniert, um die körperlichen und räumlichen Einschränkungen unseres menschlichen Körpers zu überwinden". Dabei sollen menschliche Fähigkeiten durch Technologie verbessert, physische Fitness und Fähigkeiten eingebunden sowie der Spaß-, Wettbewerbs- und Gesundheitsaspekt berücksichtigt werden. Das Superhuman-Sportprojekt, "League of Lasers", verfolgt den Ansatz, die Sicht der Spieler mit Technologie zu erweitern und so Realität und virtuelle Welt zu verschmelzen. Das Spiel ähnelt in seinem grundlegenden Gameplay bekannten Spielen wie Fußball und Pong. Es besteht aus zwei Teams, die jeweils ein Ziel verteidigen. Die Spieler verwenden virtuelle Spiegel, um einen Laserimpuls ins gegnerische Ziel zu reflektieren und Punkte zu erzielen. Die Steuerung erfolgt über die Microsoft HoloLens, die die räumliche und orientierungsbewusste Wahrnehmung nutzt (Abbildung 2).



■ **Abbildung 1** Zwei-dimensionale und AR-Visualisierungen des Freiwurfs [3]:

| (a)                            | (b)                            |
|--------------------------------|--------------------------------|
| Ortsgleiche 2D-Visualisierung. | AR-situierte 3D-Visualisierung |



■ **Abbildung 2** Spiel "Laser of lights" [5]

Die Architektur des Spiels basiert auf einem dedizierten Client-Server-System, wobei der Server als herkömmliche Desktop-Anwendung und die Clients auf den HoloLenses laufen. Eine besondere Herausforderung bestand darin, die räumliche Positionierung zwischen den HoloLenses zu synchronisieren, was durch die Verwendung eines Master-Clients und spatialer Verankerung gelöst wurde.

Die Ergebnisse einer Benutzerstudie mit 32 Teilnehmern zeigen eine positive Bewertung des Spiels in Bezug auf Attraktivität, Verständlichkeit, Stimulation und Neuheit. Das Spiel erfüllt die Kriterien von Superhuman Sports, indem es Spieler in die virtuelle Welt eintauchen lässt, physische Aktivität fördert und einen Wettbewerbsaspekt bietet. Die Steuerung und das Design ermöglichen es Spielern unterschiedlichen Alters und Hintergründen, das Spiel zu genießen. Insgesamt kann "League of Lasers" als erfolgreiche und vielversprechende Superhuman-Sportart betrachtet werden.

Zusätzlich lässt sich feststellen, dass der Superhuman Sport die menschlichen Sinne und Fähigkeiten erweitert, indem er Spieler in eine erweiterte, virtuelle Realität versetzt. Der Sport erfordert nicht nur technologisch gestützte Fähigkeiten, sondern fördert auch die physische Fitness und motorischen Fähigkeiten der Teilnehmer. Die positive Bewertung in der Benutzerstudie bestätigt den Unterhaltungs- und Spaßaspekt des Spiels, was es zu einer attraktiven und ansprechenden Superhuman-Sportart macht [5].

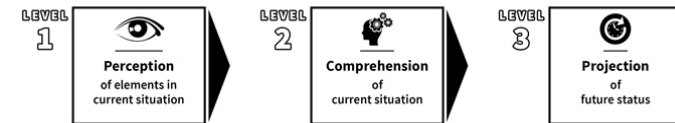
### 4.3 Leistungssteigerung im Sport durch Granulares Computing

Im Artikel "ICTs für Bewegung und Sportwissenschaft: Fokus auf Augmented Reality"[4] wird die Anwendung von AR im Sport und in den Sportwissenschaften behandelt, insbesondere im Hinblick auf die Leistungssteigerung von Sportlern durch die Visualisierung von situativen Daten.

Sportler sammeln während ihres Trainings eine Vielzahl von Daten, hauptsächlich von tragbaren Sensoren. Diese Daten umfassen physische Fähigkeiten, physiologische Parameter sowie technische und taktische Aspekte. Bisher erfolgt die Analyse dieser Daten nach dem Training, um Leistungen zu bewerten und Verbesserungsmöglichkeiten zu identifizieren.

AR-Geräte könnten es Sportlern ermöglichen, diese Daten in Echtzeit zu visualisieren und somit Training und Analyse effektiver zu verknüpfen. Dabei spielen nicht-invasive AR-Geräte eine wichtige Rolle, da sie Sportlern Anweisungen und taktische Informationen bieten können.

Granulares Computing (GrC) wird als entscheidender Ansatz für die Verarbeitung dieser Daten betont. GrC zerlegt Informationen in kleine "Informationsabschnitte", um sie besser zu verstehen und zu verarbeiten. Im Sport kann GrC dazu dienen, Daten effizient aus verschiedenen Quellen zu verarbeiten und



■ **Abbildung 3** Vereinfachte "Situational Awareness"-Schritte von Endsley(1995) [4]

mehrere Ansichten, einschließlich taktischer, technischer und physiologischer Aspekte, zu ermöglichen.

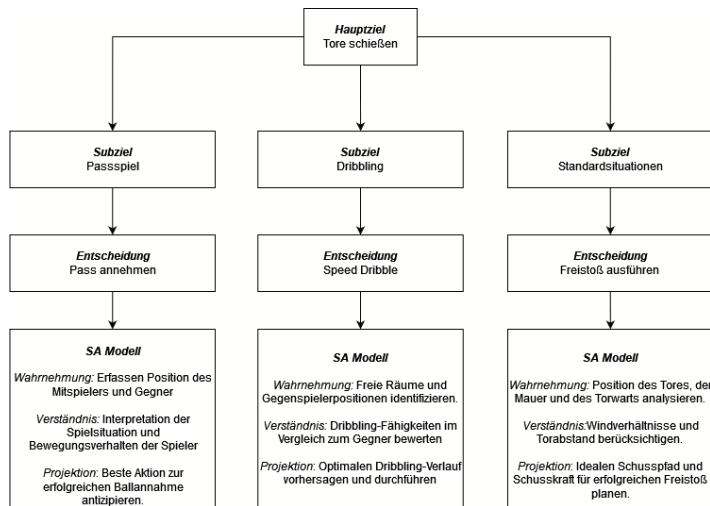
Besonders hervorgehoben wird die Rolle von "Granular Computing" bei der Beeinflussung der Leistungsfähigkeit von Athleten, insbesondere der Situationswahrnehmung. Durch die Unterteilung von Informationen in gut definierte Subprobleme kann GrC die kognitive Belastung reduzieren und einen besseren Einblick in komplexe sportliche Situationen ermöglichen. Beispielfhaft erfasst feinere Granularität individuelle Spielerleistungen, während größere Granularität Teamtaktiken erfasst.

Um ein umfassendes AR-Framework im Sport zu schaffen, wird die "Goal-Directed Task Analysis" (GDTA) vorgeschlagen. GDTA identifiziert Benutzerziele und Informationsanforderungen für ein klares Trainingsziel. Im GDTA-Modell kommt auch das SA-Modell vor. Endsley (1995) definiert die Situationswahrnehmung (SA) als die Wahrnehmung von Elementen in Raum und Zeit, das Verstehen ihrer Bedeutung und die Projektion ihres zukünftigen Status. Das Modell hat drei Ebenen: i) Wahrnehmung, ii) Verständnis und iii) Projektion. Ihr Modell betont iterative Prozesse durch Wahrnehmung, Verständnis und Projektion, beeinflusst durch Ziele, mentale Modelle, Aufmerksamkeit, Arbeitsgedächtnis und Erwartungen (Abbildung 3).

#### 4.3.1 Ein Beispiel aus dem Alltag für GDTA

Im Rahmen des Goal-Directed Task Analysis Modells im Fußball stehen die Hauptziele im Fokus, insbesondere das Erzielen von Toren (Abbildung 4). Unter diesen übergeordneten Zielen werden verschiedene Subziele identifiziert. Ein entscheidendes Subziel beinhaltet das Dribbling, wobei die Entscheidungen darauf abzielen, Gegner durch die Anwendung der Speed Dribble-Technik zu überwinden. Hierbei unterstützt ein Situationswahrnehmungsmodell den Spieler dabei, freie Räume zu identifizieren, Dribbling-Fähigkeiten im Vergleich zu Verteidigern zu bewerten und optimale Dribbling-Aktionen zu planen.

Ein weiteres Subziel konzentriert sich auf das Passspiel, wobei Entscheidungen, wie das präzise Annehmen eines Passes, getroffen werden müssen.



■ **Abbildung 4** Goal Directed Task Analysis - Beispiel selbst erstellt

Auch hier kommt ein Situationswahrnehmungsmodell zum Einsatz, das es dem Spieler ermöglicht, die Positionen von Mitspielern und Gegnern zu erfassen, die Spielsituation zu verstehen und zukünftige Aktionen zu planen.

Zusätzlich beinhaltet das GDTA-Modell Subziele im Bereich der Standardsituationen, wie das Ausführen von Freistößen. Entscheidungen in diesem Kontext erfordern ein Situationswahrnehmungsmodell, das die Analyse der Torposition, Mauer und des Torwarts ermöglicht, Faktoren wie Windverhältnisse berücksichtigt und die Planung eines erfolgreichen Freistoßes ermöglicht. Die hierarchische Struktur des GDTA-Modells ermöglicht eine systematische Herangehensweise an die Zielerreichung im Fußballtraining.

Die Nutzung des GDTA-Modells hilft dabei, klare Ziele zu setzen und einen strukturierten Weg zur Verbesserung zu planen. Durch die Anwendung von GDTA kann man fundierte Entscheidungen treffen und gezieltes Training für optimale Fortschritte gestalten [4].

## 5 Fazit

MR im Sport eröffnet aufregende Perspektiven, indem es AR und VR kombiniert [1, 2, 4]. Diese Technologien revolutionieren das Training und schaffen übermenschliche Sportarten, die ohne Extended Reality undenkbar wären [2].

Dieser Fortschritt verändert die Grenzen des Sports kontinuierlich.

Basketball AR ermöglichte Echtzeit-Feedback beim Freiwurftraining durch 2D- und AR-Visualisierungen. In einer Zusammenarbeit mit College-Basketballteams konzentrierte sich das Projekt auf einfaches Design und schnelles Feedback, um die motorischen Fähigkeiten der Spieler zu verbessern. Die AR-Visualisierung lenkte überraschenderweise das Augenmerk auf die Körperhaltung, während 2D-Visualisierungen die Schussgenauigkeit priorisierten [3].

Superhuman Sports präsentierte mit "League of Lasers" eine innovative Sportart, die Wettbewerb und Technologie kombiniert, um menschliche Fähigkeiten zu erweitern. Die Spieler nutzen virtuelle Spiegel, um Laserimpulse ins gegnerische Ziel zu reflektieren. Die positive Bewertung betonte den Unterhaltungs- und Spaßaspekt sowie die Förderung physischer Fitness und motorischer Fähigkeiten [5].

Die Anwendung von AR-Geräten im Training, wie im Konzept des Granular Computing (GrC) und der Goal-Directed Task Analysis (GDTA), bietet Echtzeit-Feedback und verbesserte Situationswahrnehmung. GrC hilft, Daten effizient zu verarbeiten, während GDTA klare Ziele im Training identifiziert. Die Integration dieser Ansätze schafft ein umfassendes Framework für die Zukunft der sportlichen Leistungsförderung [4].

Insgesamt verdeutlichen diese Ansätze, dass MR im Sport nicht nur die Sinne erweitert, sondern auch innovative Wege für das Training und die Leistungssteigerung bietet. Die ganzheitliche Integration von AR, GrC und GDTA [4] zeigt sich als robustes Framework und weist den Weg für die Zukunft des Sports, in der Technologie und Training nahtlos ineinandergreifen.

## 6 Zukunft

Die Zukunft von MR im Sport sieht vielversprechend aus. Das bedeutet, dass durch bestimmte Technologien Sportler besser trainieren können, Wettkämpfe interessanter werden und Fans neue Erlebnisse haben werden.

In Zukunft werden die Geräte, die man für MR benutzt, leichter und besser. Das heißt, sie werden einfacher zu tragen und leistungsfähiger sein. Sensoren, die Bewegungen messen, werden genauer, und es wird schneller möglich sein, Daten zu übertragen.

Durch diese Verbesserungen können Sportler in virtuellen Welten trainieren, sich schneller von Verletzungen erholen und bessere Rückmeldungen zu ihrer Leistung erhalten. Fans werden durch neue Technologien mehr Spaß beim Zuschauen haben.

Die Integration von künstlicher Intelligenz (KI) wird ebenfalls eine wichtige Rolle spielen. Ein Beispiel hierfür ist GPT (Generative Pre-trained Transfor-

mer), ein fortschrittliches KI-Modell, das die Welt der Technologie revolutioniert. Dies könnte Athleten und Trainern helfen, personalisierte Trainingspläne zu erstellen und innovative Spielstrategien basierend auf umfangreichen Datenanalysen zu entwickeln.

Kurz gesagt, die Zukunft von MR im Sport wird durch bessere Technologien bestimmt, die das Training, die Wettkämpfe und das Zuschauererlebnis verbessern.

---

#### Literatur

---

- 1 Stefan Gradl, Bjoern M. Eskofier, Dominic Eskofier, Christopher Mutschler, and Stephan Otto. Virtual and augmented reality in sports: An overview and acceptance study. In *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct*, UbiComp '16, page 885–888, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/2968219.2968572.
- 2 Peter Le Noury, Remco Polman, Michael Maloney, and Adam Gorman. A narrative review of the current state of extended reality technology and how it can be utilised in sport. *Sports Medicine*, 52(7):1473–1489, 2022.
- 3 Tica Lin, Zhutian Chen, Johanna Beyer, Yingcai Wu, Hanspeter Pfister, and Yalong Yang. The ball is in our court: Conducting visualization research with sports experts. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 43(1):84–90, 2023. doi:10.1109/MCG.2022.3222042.
- 4 Vincenzo Loia and Francesco Orciuoli. Icts for exercise and sport science: focus on augmented reality. *Journal of Physical Education and Sport*, 19:1740–1747, 2019.
- 5 Nico Arjen Miedema, Jop Vermeer, Stephan Lukosch, and Rafael Bidarra. Superhuman sports in mixed reality: The multi-player game league of lasers. In *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, pages 1819–1825. IEEE, 2019.

# Effiziente Texteingabe mit Tastaturen in dynamischen Mixed Reality Umgebungen

Thomas Schwarz

Universität Innsbruck, Innsbruck, Österreich  
csaz5437@student.uibk.ac.at

## Zusammenfassung

Trotz großer Fortschritte bei Mixed-Reality-Technologien bleibt die Texteingabe eine große Herausforderung. Durch den Einsatz von Tracking-Technologien können physische Tastaturen in eine virtuelle Umgebung integriert werden, um so das haptische Feedback und die Vertrautheit einer Tastatur beizubehalten. Solche Systeme können Eingabegeschwindigkeiten, die vergleichbar mit einer Tastatur in der echten Welt sind, erreichen. Ein innovativer Ansatz demonstriert, dass auch Mobilität trotz physischer Tastatur möglich ist. Virtuelle Tastaturen hingegen bieten Flexibilität und Anpassungsfähigkeit in MR-Umgebungen. Sie sind ideal für mobile und variable Anwendungen, obwohl ihre Schreibgeschwindigkeiten aktuell noch deutlich hinter denen physischer Tastaturen zurückbleiben. Diese Arbeit zeigt, dass die Wahl der Tastatur stark von den spezifischen Anforderungen des Benutzers und der Anwendung abhängt. Zukünftige Entwicklungen sollten darauf abzielen, die Vorteile beider Tastaturtypen zu kombinieren und die Texteingabe in Mixed Reality (MR) zu optimieren, um diese in verschiedenen Anwendungsbereichen effektiver und zugänglicher zu machen.

2012 ACM Computing Classification Human-centered computing → Human computer interaction (HCI) → Interaction devices → Keyboards

Keywords and phrases Text Input; Mixed Reality; Keyboards

## 1 Einführung

Die Entwicklung von Mixed Reality (MR) Technologien hat in den letzten Jahren erheblich an Fahrt gewonnen. Hier spielt die Texteingabe eine entscheidende Rolle. Sie ermöglicht die Kommunikation, Dateneingabe und Interaktion mit virtuellen Elementen. Die Herausforderung besteht darin, eine Texteingabe zu ermöglichen, die sowohl effizient als auch praktikabel ist.



© Thomas Schwarz;  
licensed under Creative Commons License CC-BY  
Cite as: Thomas Schwarz. Effiziente Texteingabe mit Tastaturen in dynamischen Mixed Reality Umgebungen. In *2nd Seminar on Cross-Reality Interaction (XR-I 2024)*. Editor: Pascal Knierim. February 2, 2024. Innsbruck, Austria. pp. 6:1–6:12.

## 6:2 Text Input in Mixed Reality

### 1.1 Zielsetzung dieser Arbeit

Diese Arbeit zielt darauf ab, einen Überblick über die Methoden der Texteingabe in MR-Umgebungen zu bieten. Dabei liegt der Fokus auf der Untersuchung von physischen und virtuellen Tastaturen. Die Arbeit analysiert ihre jeweiligen Vor- und Nachteile, um herauszufinden, wie eine effiziente Texteingabe in diesen immersiven Umgebungen realisiert werden kann.

### 1.2 Bedeutung von effizienter Texteingabe in Mixed Reality

Die effiziente Texteingabe in MR (Mixed Reality) ist von zentraler Bedeutung, da sie die Benutzerfreundlichkeit und Effektivität von MR-Anwendungen direkt beeinflusst. Eine unzureichende Texteingabe kann nicht nur die Benutzererfahrung negativ beeinträchtigen, sondern auch die praktische Anwendbarkeit von MR-Technologien einschränken. Daher ist es wichtig, Eingabemethoden zu entwickeln, die nicht nur schnell und genau sind, sondern auch in die dynamische und oft räumlich variierende Natur von MR-Umgebungen passen.

Ein wesentlicher Aspekt hierbei ist die Unterscheidung zwischen physischen und virtuellen Tastaturen. Physische Tastaturen bieten den Vorteil des haptischen Feedbacks, welches für viele Nutzer eine intuitivere und effizientere Texteingabe ermöglicht. Sie erlauben in der Regel ein schnelleres Tippen und eine höhere Präzision. Zudem sind physische Tastaturen in ihrer Ergonomie oft besser an die Bedürfnisse der Nutzer angepasst, was bei längerem Gebrauch zu weniger Ermüdung führen kann.

Virtuelle Tastaturen hingegen bieten größere Flexibilität in MR-Umgebungen. Sie können an beliebigen Orten im virtuellen Raum platziert und angepasst werden, was sie ideal für dynamische oder mobile Szenarien macht. Außerdem ermöglichen sie innovative Interaktionsformen, wie das Tippen durch Gesten oder Blicksteuerung, was in bestimmten Kontexten Vorteile bringen kann. Allerdings fehlt ihnen das physische Feedback, was insbesondere für unerfahrene Nutzer die Eingabegeschwindigkeit und Genauigkeit reduzieren kann.

## 2 Verwandte Arbeiten

Dube und Arif [3] stellen verschiedene Möglichkeiten zur Texteingabe in VR vor. Hertel et al. [5] beschreiben verschiedene Techniken zur Interaktion mit AR-Systemen ohne speziellen Fokus auf die Texteingabe.



### 3 Physische Tastaturen in Virtual Reality

Die Integration physischer Tastaturen in virtuelle Umgebungen (VR) hat sich als eine Schlüsselkomponente für effiziente Texteingabe und Benutzerinteraktion herausgestellt. Die Eingabe in MR-Umgebungen mit physischen Tastaturen ist eine technische Herausforderung, insbesondere da die Nutzer ihre Tastatur nicht sehen können. Aktuelle Entwicklungen zielen darauf ab, diese Herausforderung zu überwinden, indem sie verschiedene Methoden zur Darstellung physischer Tastaturen in VR verwenden und neue Interaktionstechniken entwickeln.

#### 3.1 Funktionsweise

In Mixed-Reality-Umgebungen werden verschiedene Tracking-Technologien eingesetzt, um eine nahtlose Einbindung der Tastatur in die virtuelle Umgebung zu ermöglichen.

Das qVRty-System [6] verwendet eine haptische, reale Tastatur, die in der virtuellen Realität durch das Vive Lighthouse-System platziert wird. Die Hände des Benutzers werden mittels Leap Motion erfasst und in der virtuellen Umgebung als Skelett visualisiert, um eine realistische Tastaturinteraktion zu ermöglichen. Trotz gewisser Einschränkungen, wie der kabelgebundenen Natur des Hand-Trackings, bietet dieses System eine effektive Integration der Tastatur in VR.

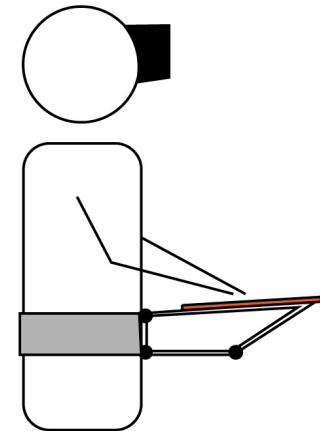
Ein weiterer Ansatz von Knierem et al. [8] nutzt Oculus Rift und OptiTrack-Kameras, um Fingerbewegungen und Tastatureingaben sehr genau zu erfassen. Retroreflektierende Marker an Händen und Tastatur ermöglichen eine präzise Verfolgung und Visualisierung in der virtuellen Welt. Diese Technologie ist entscheidend für eine detaillierte und effektive Texteingabe in MR.

Das hawKEY-System [9] setzt auf eine Windows-Plattform mit HTC Vive Pro Headset und Intel® RealSense™ D435-Kamera, um RGB-D-Videos der Hände und der Tastatur zu erfassen. Dies ermöglicht eine geringe Latenz und hohe Genauigkeit bei der Erfassung von Handbewegungen und Tastatureingaben, was für eine reibungslose MR-Interaktion wesentlich ist.

Diese Beispiele zeigen die technologische Vielfalt und die Fortschritte bei der Integration physischer Tastaturen in MR-Umgebungen auf.

### 3.2 Mobilität trotz physischer Tastatur

Das vorhin genannt hawKEY-System [9] verfolgt ebenfalls einen innovativen Ansatz um Mobilität bei der Verwendung einer physischen Tastatur in MR-Umgebungen zu ermöglichen. Dieses System verwendet ein Tablett-basiertes Design, das vor dem Körper angebracht ist. Ein Hüftgurt befestigt das Tablett am Benutzer und bietet eine Stützfläche für die Tastatur. Zwei verstellbare Schultergurte stabilisieren das Tablett in etwa parallel zum Boden. Ein Controller, der am Tablett befestigt ist, ermöglicht das Tracking der Tastaturposition und somit deren virtuelle Darstellung in der Mixed-Reality-Umgebung. Dieses System kann nicht nur im Sitzen, sondern auch im Stehen verwendet werden, was dem Benutzer eine größere Bewegungsfreiheit und Flexibilität bietet. Es berücksichtigt zudem, dass Benutzer häufig auch Controller in der virtuellen Realität verwenden, und empfiehlt, diese während des Tippens entweder an Handgelenkschlaufen baumeln zu lassen oder auf den oberen Teil des Tablets zu legen.



■ **Abbildung 1** Vereinfachte Darstellung einer physischen Tastatur, die vor dem Körper getragen werden kann.

Zusammenfassend zeigt dieser Ansatz, wie durch kreative Lösungen die physische Tastatureingabe in Mixed Reality nicht nur effizient, sondern auch mobil gestaltet werden kann. Dieser Fortschritt erweitert die Möglichkeiten der Benutzerinteraktion in MR-Umgebungen, indem er eine stabile und dennoch flexible Plattform für die Texteingabe bietet.

### 3.3 Visualisierung von Tastatur und Händen

In virtuellen Realitäten (VR) verhindern Head-Mounted Displays (HMDs), dass Benutzer physische Peripheriegeräte visuell lokalisieren können. Ein System, das das mühelose Tippen in virtuellen Realitäten ermöglichen soll, muss den Benutzer mit einer leicht verständlichen Darstellung der Tastaturposition in Bezug auf ihre Finger unterstützen [8].

Das HiKeyb-System verwendete eine RGB-D-Kamera, um die Hände der Benutzer zu segmentieren und auf dem VR-Modell einer getrackten physischen Tastatur anzuzeigen, was zu Eingabe- und Fehlerraten führte, die der Performance in der echten Welt nahekommen [7]. Jüngste Arbeiten nutzten optisches Tracking, um Marker an den Fingern/Händen der sitzenden Benutzer zu verfolgen. Knierim et al. kombinierten ein virtuelles Modell und Handdarstellungen mit unterschiedlichen Detailgraden in VR. Erfahrene Tippende profitierten von den Handmodellen und erreichten bis zu 69,2 Wörter pro Minute, vergleichbar mit ihrer Bedingung in der realen Welt und besser als eine Bedingung ohne Hände. Auch unerfahrene Tippende profitierten von den Handmodellen [8].

### 3.4 Performance von physischen Tastaturen

► **Definition 1.** WPM (Wörter pro Minute) ist eine der am häufigsten verwendeten Metriken für Texteingabeaufgaben. Ein Wort wird als fünf Zeichen definiert, einschließlich des Leerzeichens. Daher berücksichtigt WPM nicht die Anzahl der Tastenanschläge oder wie Benutzer Korrekturen vorgenommen haben, sondern nur die Anzahl der Zeichen im transkribierten Text. Es wird definiert als  $WPM = \frac{|T|}{5} \times \frac{60}{S}$ , wobei  $|T|$  die Länge des transkribierten Textes ist und  $S$  die Zeit in Sekunden zwischen dem ersten und letzten Zeicheneingang darstellt [9].

| Quelle         | Position | Erfahrung | Textart    | Ohne VR | Mit VR |
|----------------|----------|-----------|------------|---------|--------|
| Knierim et al. | sitzend  | Experte   | Kleinbuch. | 67.2    | 69.2   |
| Knierim et al. | sitzend  | Anfänger  | Kleinbuch. | 45.4    | 39.8   |
| HawKEY         | stehend  | Experte   | Kleinbuch. | 76.1    | 77.7   |
| HawKEY         | stehend  | Anfänger  | Kleinbuch. | 50.3    | 44.1   |
| HawKEY         | stehend  | Experte   | Komplex    | 45.7    | 41.5   |
| HawKEY         | stehend  | Anfänger  | Komplex    | 27.9    | 21.6   |
| qVRty          | sitzend  | Mittel    | Komplex    | 44      | 31     |

■ **Tabelle 1** Ausgewählte WPM Resultate der erwähnten Ansätze.

Vor allem die Ergebnisse von Knierim et al. [8] und HawKEY [9] sind sehr vielversprechend und zeigen, dass mit physischen Tastaturen in MR-Umgebungen eine ähnliche Eingabegeschwindigkeit wie in der echten Welt möglich ist.

## 4 Virtuelle Tastaturen

Virtuelle Tastaturen sind eine weit verbreitete Schnittstelle zur Texteingabe in der virtuellen Realität (VR) und zeichnen sich durch eine einfache Implementierung aus. Sie bieten unterschiedliche Mechanismen zur Tastenauswahl auf einer virtuellen Tastatur. In kommerziellen Systemen werden Tastenauswahlmechanismen häufig durch VR-Controller gesteuerte virtuelle Strahlen realisiert. Andere Methoden steuern die Tastenauswahl durch Kopfzeigen oder nutzen Controller, um Tasten ähnlich wie auf einem Schlagzeug zu treffen, unterstützt durch Vibrationsfeedback. Diese Lösungen erreichen typischerweise niedrige Texteingaberaten. Innovative Ansätze nutzen mittlerweile auch optisches Tracking und Gestenerkennung, um die Benutzerinteraktion zu verbessern und die Texteingabegeschwindigkeit zu erhöhen. Die Herausforderung liegt weiterhin darin, die Geschwindigkeit und Genauigkeit der Texteingabe zu optimieren, um eine effiziente Kommunikation in VR zu ermöglichen [9].

### 4.1 Verschiedene Implementierungen von virtuellen Tastaturen

Duble und Arif [3] stellen unter anderem folgende Möglichkeiten zur Texteingabe mit virtuellen Tastaturen vor und vergleichen diese.

**Head Pointing.** Bei dieser weit verbreiteten Methode wird ein Cursor durch Kopfbewegungen über eine virtuelle Tastatur bewegt, wobei Buchstaben entweder durch Verweilen oder Tastendruck ausgewählt werden. Diese intuitive Technik ist häufig die Standardlösung in HMDs.

**Gestensteuerung.** Texteingabe durch Gesten umfasst das Tracking von Fingern, Handgelenken oder Händen mittels externer Kameras, Sensoren oder Handschuhen. Einige Lösungen nutzen digitale Handschuhe, die eine Tastatur auf die Finger abbilden und die Auswahl von Zeichen durch Handdrehung und Fingerbewegungen ermöglichen.

**Controller-basierte Eingabe.** Hier wird der Controller als Laserpointer, Stylus oder Joystick verwendet, um den Cursor zu steuern und Zeichen auszuwählen. Die bimanuelle Eingabe kann die Texteingabe beschleunigen und die Genauigkeit erhöhen.

**Touch-basierte Techniken.** Diese Methoden verwenden Touch-Interaktionen, wie ein Touchpad auf der Rückseite eines HMDs oder die Hover-Funktion eines Smartphones, um die Position des Fingers über der virtuellen Tastatur anzuzeigen und Zeichen auszuwählen.

Dudley et al. [4] wird außerdem die VISAR Tastatur vorgestellt, die eine virtuelle Tastatur vor dem Benutzer schweben lässt auf der getippt werden kann. Dieser Ansatz wird im folgenden genauer beleuchtet.

## 4.2 Funktionsprinzipien der VISAR Tastatur

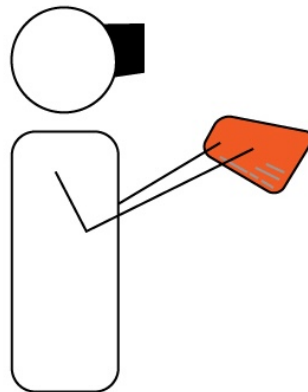
Das VISAR-Keyboards ist für den Einsatz in Augmented Reality (AR) konzipiert, mit dem Ziel, eine effiziente und genaue Methode für die Texteingabe bereitzustellen.

**Hauptprinzipien.** Diese Prinzipien umfassen die schnelle Auswahl von Eingaben, Toleranz gegenüber ungenauer Auswahl, minimale Verdeckung des Sichtfeldes, Einsatz intelligenter Wortvorhersagen, fließenden Wechsel zwischen Eingabemodi sowie leichte Erlernbarkeit und Benutzerakzeptanz.

**Anwendungsszenarien.** Es wird davon ausgegangen, dass in den meisten AR-Anwendungen nur leichte Texteingaben erforderlich sind, wie das Eingeben von Benutzernamen, Passwörtern und kurzen Texten.

**Systemkomponenten.** Das VISAR-System besteht aus einem mittels Handverfolgung bedienten virtuellen Keyboard und einem Decoder, der ungenaue Eingaben korrigiert und eine natürliche Texteingabe ermöglicht.

Das Design der VISAR-Tastatur orientiert sich an diesen Lösungsprinzipien, um eine effektive AR-Texteingabe zu ermöglichen. Die einzelnen Designentscheidungen sind auf die genannten Prinzipien abgestimmt.



■ **Abbildung 2** Vereinfachte Darstellung einer virtuellen Tastatur, die in den Raum projiziert wird.

## 4.3 Decoder

Durch Ungenauigkeiten in der Handtracking-Technologie und der wahrgenommenen Position der virtuellen Tastatur unterscheiden sich die tatsächlichen Tippstellen oft von den beabsichtigten Zielen der Benutzer. Der VISAR-Decoder, eine Erweiterung des VelociTap-Decoders [11], zielt darauf ab, aus diesen fehlerbehafteten Eingabedaten den vom Benutzer gewollten Text zu erkennen.

Der Decoder funktioniert, indem er Nutzereingaben auf einer virtuellen Touchscreen-Tastatur verarbeitet und den wahrscheinlichsten Satz unter Verwendung eines Sprachmodells identifiziert. Er berücksichtigt dabei zwei Arten von Fehlern: zusätzliche Tippvorgänge (Extra Observations) und fehlende Tippvorgänge (Missing Observations). Für jede Eingabe berechnet der Decoder Wahrscheinlichkeiten basierend auf einer zweidimensionalen Gaußverteilung, die um die jeweilige Taste zentriert ist. Das Sprachmodell des Decoders wurde mit großen Datenmengen aus verschiedenen Quellen wie Twitter, Usenet und Blogs trainiert [4].

## 4.4 Tastatur

Die Microsoft HoloLens, ein Head-Mounted See-Through Display mit grober Hand-Tracking-Funktion, bildet die Hardwareplattform für die Implementierung der virtuellen Tastatur in der Luft (Midair Virtual Keyboard). Die HoloLens erstellt und pflegt eine räumliche Karte der Umgebung, die genutzt wird, um eine präzise Verfolgung der Kopfposition und -orientierung des Benutzers im Raum zu ermöglichen. Virtuelle Objekte, wie die Tastatur, können so im Sichtfeld des Benutzers platziert werden, dass sie fest im lokalen Umfeld erscheinen.

Die in dieser Studie verwendete virtuelle Tastatur wird als zweidimensionales Panel von Tasten dargestellt. Das Tastaturlayout wurde vereinfacht und enthält nur die Buchstaben A bis Z sowie ein Apostroph, insgesamt also 27 Zeichentasten. Die SPACE-Taste dient dazu, den Decoder für die zuletzt beobachtete Eingabesequenz zu aktivieren. Die DONE-Taste wird in den Experimenten verwendet, um die Fertigstellung der vorgegebenen Phrase anzuzeigen. Die BACKSPACE-Taste entfernt die vorherige Eingabe, es sei denn, es wurde ein Leerzeichen eingegeben und das Wort entschlüsselt. Wurde als letzte Aktion die SPACE-Taste gedrückt (und somit eine Dekodierung ausgelöst), entfernt ein Druck auf BACKSPACE das gesamte vorherige Wort, sodass der Benutzer das gewünschte Wort neu eingeben kann. Die Tasten SPACE, DONE und BACKSPACE werden dabei stets deterministisch behandelt, d.h., ihre Funktionen werden sofort nach Auswahl durch den Benutzer aktiviert.

Die HoloLens kommuniziert über ein dediziertes drahtloses Netzwerk mit dem Decoder. Diese Systemarchitektur wurde gewählt, um eine klare Trennung der Funktionalität zu ermöglichen und parallele Entwicklung zu unterstützen. Es gibt jedoch keine bekannten Hindernisse, die Dekodierungsschritte direkt auf dem Gerät durchzuführen, was für die Zukunft anstrebenswert ist [4].

#### 4.5 Ergebnisse der VISAR Tastatur

Die Ergebnisse der Studie zum VISAR-Keyboard sollten aufgrund der begrenzten Teilnehmerzahl mit Vorsicht interpretiert werden. Die quantitativen Ergebnisse dienen eher als Anhaltspunkt für das Erreichbare als zur Beschreibung typischer Benutzerleistungen. Die Studie ergab unterschiedliche Texteingaberaten (WPM) für verschiedene Aufgabentypen. Die durchschnittliche Eingaberate lag bei 8,74 WPM. Diese Rate ist deutlich niedriger als die Höchststraten in früheren Experimenten, aber für eine gelegentliche Texteingabe akzeptabel. Zudem zeigte sich, dass die Eingaberaten mit der Übung deutlich anstiegen. Die Teilnehmer hatten nur fünf Übungssphrasen absolviert, bevor sie mit der eigentlichen Aufgabe begannen. Die vier Teilnehmer bewerteten das System mit dem System Usability Scale (SUS) und erzielten Werte von 72,5, 75,0, 77,5 und 67,5 (Durchschnitt 73,1). Gemäß Bangor und Miller [1] deutet ein SUS-Wert über 70 auf eine akzeptable Benutzerfreundlichkeit hin. Einige Teilnehmer bemerkten auch, dass die Handortung des HoloLens in der Nähe von Wänden oder anderen festen Objekten weniger robust war. Das Problem konnte jedoch schnell behoben werden, indem die Tastaturposition durch Wegblicken und erneutes Fokussieren auf die gewünschte Position angepasst wurde. Ein weiterer Punkt war das Fehlen eines physischen Feedbacks bei der Interaktion mit der virtuellen Tastaturoberfläche. Das Untersuchen minimaler taktiler Rückmeldungen zur Verbesserung der Interaktion mit virtuellen Objekten in AR, insbesondere für die Texteingabe, bietet einen spannenden Forschungsansatz. Abschließend bestätigten alle vier Teilnehmer, dass das System gut genug funktionierte, um die Aufgabe effektiv zu erfüllen.

#### 4.6 Performance von virtuellen Tastaturen

Die Ergebnisse zeigen, dass mit virtuellen Tastaturen gelegentliche Eingabe möglich ist, für längeres Schreiben jedoch noch nicht geeignet sind und noch weit von der Performance von physischen Tastaturen entfernt sind.

Dafür sind diese Ansätze räumlich unabhängig und an kein komplexes Setup gebunden, was für viele Anwendungsfälle, vor allem in MR-Umgebungen, sehr von Vorteil ist.

| Quelle          | Methode         | WPM  |
|-----------------|-----------------|------|
| VISAR           | Midair-Tastatur | 8.74 |
| Yu et al.       | Headpointing    | 10.6 |
| Bowman et al.   | Gestensteuerung | 6.1  |
| Speicher et al. | Controller      | 15.4 |

■ **Tabelle 2** WPM Vergleich der VISAR-Tastatur mit anderen Ansätzen von Yu et al. [12], Bowman et al. [2] und Speicher et al. [10].

## 5 Fazit

Physische Tastaturen haben sich aufgrund ihrer ergonomischen Vorteile und des vertrauten haptischen Feedbacks als effiziente Eingabemethode erwiesen. Sie bieten eine unmittelbare und intuitive Bedienung, die insbesondere bei erfahrenen Nutzern zu einer höheren Schreibgeschwindigkeit führt. Die Integration physischer Tastaturen in MR-Umgebungen, wie durch die Arbeiten von Pham und Stuerzlinger [9], Knierim et al. [8] oder Hoppe et al. [6] demonstriert, zeigt, dass die Eingabegeschwindigkeit fast jener in der realen Welt entsprechen kann. Innovative Ansätze zur Mobilitätserhaltung trotz physischer Tastatur, wie das HawKEY Design, eröffnen neue Möglichkeiten für den mobilen Einsatz in MR-Szenarien.

Virtuelle Tastaturen hingegen bieten eine hohe Flexibilität und Anpassungsfähigkeit an unterschiedliche MR-Umgebungen und Anwendungsszenarien. Die Möglichkeit, Tastaturen dynamisch im virtuellen Raum zu positionieren, macht sie ideal für mobile und räumlich variable Kontexte. Fortschritte in der Technologie, wie die VISAR-Midair-Tastatur [4], erweitern die Grenzen der Texteingabe in MR, obwohl die Schreibgeschwindigkeiten derzeit noch weit hinter denen physischer Tastaturen zurückbleiben.

Es wird deutlich, dass die Wahl der Tastatur in MR-Umgebungen stark von der spezifischen Anwendung und den Anforderungen des Benutzers abhängt. Während physische Tastaturen eine höhere Geschwindigkeit und Präzision bieten, zeichnen sich virtuelle Tastaturen durch ihre Flexibilität und Innovationspotenzial aus. Die Herausforderung für zukünftige Entwicklungen liegt darin, die Vorteile beider Tastaturtypen zu kombinieren und die Schwächen weiter zu minimieren. Dies könnte durch adaptive Systeme erreicht werden, die in der Lage sind, abhängig von der Aufgabe und den Präferenzen des Benutzers zwischen physischen und virtuellen Tastaturen zu wechseln.

Abschließend bestätigt diese Arbeit die Notwendigkeit weiterer Forschung und Entwicklung, um die Texteingabe in MR zu optimieren. Zukünftige Arbeiten sollten sich darauf konzentrieren, die Benutzerfreundlichkeit zu verbessern, die Eingabegeschwindigkeit zu erhöhen und das physische Feedback in virtuellen Tastaturen zu integrieren. Durch diese Fortschritte könnten MR-Umgebungen in einer Vielzahl von Anwendungsbereichen, von der professionellen Nutzung bis hin zum alltäglichen Gebrauch, noch effektiver und zugänglicher gemacht werden.

---

**Literatur**


---

- 1 Philip T. Kortum Aaron Bangor and James T. Miller. An empirical evaluation of the system usability scale. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 24(6):574–594, 2008. arXiv:<https://doi.org/10.1080/10447310802205776>, doi:10.1080/10447310802205776.
- 2 Douglas A Bowman, Vinh Q Ly, and Joshua M Campbell. Pinch keyboard: Natural text input for immersive virtual environments. Technical report, Department of Computer Science, Virginia Polytechnic Institute & State . . . , 2001.
- 3 Tafadzwa Joseph Dube and Ahmed Sabbir Arif. Text entry in virtual reality: A comprehensive review of the literature. In Masaaki Kurosu, editor, *Human-Computer Interaction. Recognition and Interaction Technologies*, pages 419–437, Cham, 2019. Springer International Publishing.
- 4 John J. Dudley, Keith Vertanen, and Per Ola Kristensson. Fast and precise touch-based text entry for head-mounted augmented reality with variable occlusion. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, 25(6), dec 2018. doi:10.1145/3232163.
- 5 Julia Hertel, Sukran Karaosmanoglu, Susanne Schmidt, Julia Bräker, Martin Semmann, and Frank Steinicke. A taxonomy of interaction techniques for immersive augmented reality based on an iterative literature review. In *2021 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, pages 431–440, 2021. doi:10.1109/ISMAR52148.2021.00060.
- 6 Adrian H. Hoppe, Leonard Otto, Florian van de Camp, Rainer Stiefelwagen, and Gabriel Unmüßig. qvrty: Virtual keyboard with a haptic, real-world representation. In Constantine Stephanidis, editor, *HCI International 2018 – Posters’ Extended Abstracts*, pages 266–272, Cham, 2018. Springer International Publishing.
- 7 Haiyan Jiang, Dongdong Weng, Zhenliang Zhang, Yihua Bao, Yufei Jia, and Mengman Nie. Hikeyb: High-efficiency mixed reality system for text entry. In *2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, pages 132–137, 2018. doi:10.1109/ISMAR-Adjunct.2018.00051.
- 8 Pascal Knierim, Valentin Schwind, Anna Maria Feit, Florian Nieuwenhuizen, and Niels Henze. Physical keyboards in virtual reality: Analysis of typing performance and effects of avatar hands. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI ’18, page 1–9, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/3173574.3173919.
- 9 Duc-Minh Pham and Wolfgang Stuerzlinger. Hawkey: Efficient and versatile text entry for virtual reality. VRST ’19, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/3359996.3364265.
- 10 Marco Speicher, Anna Maria Feit, Pascal Ziegler, and Antonio Krüger. Selection-based text entry in virtual reality. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI ’18, page 1–13, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/3173574.3174221.
- 11 Keith Vertanen, Haythem Memmi, Justin Emge, Shyam Reyall, and Per Ola Kristensson. Velocitap: Investigating fast mobile text entry using sentence-based decoding of touchscreen keyboard input. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI ’15, page 659–668, New York, NY, USA, 2015. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/2702123.2702135.
- 12 Chun Yu, Yizheng Gu, Zhican Yang, Xin Yi, Hengliang Luo, and Yuanchun Shi. Tap, dwell or gesture? exploring head-based text entry techniques for hmds. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI ’17, page 4479–4488, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/3025453.3025964.

# Prototyping Mixed Reality

Lukas Mayr

Universität Innsbruck, Innsbruck, Österreich  
Lukas.Mayr@student.uibk.ac.at

## Zusammenfassung

Diese Arbeit bietet einen umfassenden Überblick über den aktuellen Stand und die Herausforderungen im Bereich des Prototypings in der Mixed Reality (MR). Sie beginnt mit einer Untersuchung der Grundlagen des MR-unabhängigen Prototypings sowie der Entwicklung der MR-Technologie. Ein besonderer Fokus liegt auf den spezifischen Problemen und Herausforderungen, die das Prototyping in diesem Bereich mit sich bringt, sowie auf einer Auswahl repräsentativer Werkzeuge und Methoden, die verschiedene Anwendungskategorien exemplarisch darstellen.

Die Arbeit behandelt Probleme und Herausforderungen im MR-Prototyping, wie die Komplexität der Entwicklungswerkzeuge, den Mangel an Benutzerfreundlichkeit und die unzureichende Unterstützung für Nicht-Experten. Eine Klassifikation der MR-Prototyping-Werkzeuge nach verschiedenen Metriken bietet einen Überblick über ihre Eignung für spezifische Anforderungen.

Abschließend werden spezifische, repräsentative Werkzeuge und Methoden in verschiedenen Kategorien des MR-Prototypings vorgestellt, darunter sowohl physische als auch digitale Prototyping-Methoden. Hierbei werden innovative Ansätze wie ProtoAR, 360proto und 360theater hervorgehoben.

Diese Arbeit liefert somit einen detaillierten Einblick in den aktuellen Stand des MR-Prototypings, seine Herausforderungen und die verfügbaren Werkzeuge und Methoden, die kreative und effektive Lösungen in einer sich dynamisch entwickelnden technologischen Landschaft ermöglichen.

**2012 ACM Computing Classification** Human-centered computing → Human computer interaction (HCI) → Interactive systems and tools

**Keywords and phrases** Augmented Reality Prototyping; User Interface Design in AR; Immersive Technology Tools; AR Development; Frameworks; Interaction Techniques in AR.



© Lukas Mayr,  
licensed under Creative Commons License CC-BY

Cite as: Lukas Mayr. Prototyping Mixed Reality. In *2nd Seminar on Cross-Reality Interaction (XR-I 2024)*. Editors: Pascal Knierim. February 02, 2024. Innsbruck, Austria. pp. 7:1–7:16.

## 7:2 Prototyping Mixed Reality

### 1 Einführung

In den letzten Jahren hat Mixed Reality immer mehr Anwendungen in immer mehr Feldern erforscht und es kommt zu immer besseren Anwendungen und Erkenntnissen [24, 26, 7, 18]. Dabei ist es wichtig, dass sich Entwickler und Designer auf Prototyping, Werkzeuge und Methoden verlassen können, welche Sie nicht in ihren Entwicklungsprozessen einschenken [2]. Zunächst beleuchten wir die Grundlagen des MR-unabhängigen Prototypings sowie die Entwicklung der Mixed Reality Technologie. Anschließend setzen wir uns mit den spezifischen Problemen und Herausforderungen, die das Prototyping in diesem Bereich mit sich bringt, auseinander. Im weiteren Verlauf der Arbeit liegt unser Augenmerk auf ausgewählten Werkzeugen und Methoden, die aus einer Vielzahl von Anwendungsfällen herausgefiltert wurden. Diese repräsentieren dabei exemplarisch ihre jeweiligen Anwendungskategorien und bieten tiefe Einblicke in das Feld des MR-Prototypings.

### 2 Mixed Reality Begriff

In dieser Arbeit verwenden wir "MR"(Mixed Reality) als Überbegriff, um das gesamte Spektrum zwischen reiner Realität und reiner Virtualität abzudecken. Dies basiert auf dem Reality-Virtuality-Kontinuum, das sowohl Augmented Reality (AR) als auch Augmented Virtuality (AV) umfasst. MR als Sammelbegriff ermöglicht es uns, eine Vielzahl von Technologien und Anwendungen zu erfassen, die reale und virtuelle Elemente in unterschiedlichem Maße kombinieren. [16]

### 3 Grundlagen des Prototypings

Das Prototyping umfasst eine Reihe von wichtigen Aspekten die für diese Arbeit von Relevanz sind. Aus diesem Grund werden wir im folgenden Kapitel die wichtigsten Prinzipien erfassen und sowohl auf die Entwicklung über die Zeit als die Herausforderungen eingehen.

#### 3.1 Prototyping: Kernprinzipien

Das Konzept des Prototypings ist entscheidend für die Entwicklung und Evaluierung von MR Tools. Diese Tools sind zentral für innovative Design- und Entwicklungsprozesse. Die Kernprinzipien des Prototypings mit MR-Tools betonen die Wichtigkeit der Benutzererfahrung und -Interaktion, wobei Benutzerfeedback und iterative Verbesserungen im Mittelpunkt stehen. Die Bewertung dieser Tools schließt verschiedene Dimensionen ein, wie Benutzerfreundlichkeit, Effizienz und Flexibilität der Werkzeuge. Herausforderungen

im Prototyping-Prozess beinhalten technische Beschränkungen und die Notwendigkeit, realistische Benutzererfahrungen zu simulieren [19].

Zusätzlich zu den grundlegenden Prinzipien ist die Integration von Benutzerfeedback ein zentraler Aspekt des Prototypings mit XR-Tools. Dies ermöglicht es Entwicklern, eine direkte Rückmeldung zur Benutzererfahrung zu erhalten, die für iterative Verbesserungen unerlässlich ist. Der Fokus auf Benutzerzentrierung treibt den Entwicklungsprozess voran, da er sicherstellt, dass das Endprodukt den Bedürfnissen und Erwartungen der Benutzer entspricht [19].

### 3.2 Historische Entwicklung und Meilensteine des Prototypings

**Frühe Entwicklung:** Der Beginn des Prototypings ist eng mit der Entwicklung der ersten Computertechnologien und Designmethoden verbunden. Die frühen Phasen des Prototypings waren experimentell, mit dem Ziel, die Grenzen der Technik auszuloten und innovative Designlösungen zu finden. Diese Phase war geprägt von grundlegenden Entdeckungen und der Erprobung neuer Methoden [27].

**Technologische Fortschritte:** Im Laufe der Zeit trugen entscheidende technologische Fortschritte zur Entwicklung des Prototypings bei. Diese beinhalten Verbesserungen in der Computertechnik und Softwareentwicklung, die es ermöglichten, detailliertere und komplexere Prototypen zu erstellen. Diese Fortschritte führten zu einer Verfeinerung der Prototyping-Methoden und erweiterten ihre Anwendungsbereiche [3].

**Aktuelle Trends und Zukunftsaussichten:** Heutzutage wird Prototyping durch fortschrittliche Technologien wie 3D-Druck und Virtual Reality bereichert, die neue Möglichkeiten für die Realisierung komplexer und interaktiver Prototypen bieten. Diese Entwicklungen deuten auf eine Zukunft hin, in der Prototyping noch integraler Bestandteil des Design- und Entwicklungsprozesses sein wird, mit immer mehr Möglichkeiten zur realitätsnahen Simulation und Interaktion [17].

### 3.3 Generelle Herausforderungen des Prototypings

In der Entwicklung von Prototypen, insbesondere in dem Bereich der Benutzeroberflächensoftware zeigen sich vielfältige Herausforderungen, die ein tiefgehendes Verständnis sowohl der technischen als auch der konzeptionellen Aspekte erfordern. Ein zentrales Element in der Entwicklung von User Interface Software Tools, ist die Notwendigkeit, sich auf spezifische Bedürfnisse der Benutzeroberfläche zu konzentrieren. Es wichtig, Entwickler intuitiv in die richtige Richtung zu lenken und die Vorhersagbarkeit als auch die Zuverlässigkeit

der Werkzeuge zu gewährleisten [17].

Die Rolle des Storytellings und der Einsatz verschiedener externer Repräsentationen im Designprozess sind wichtige Komponenten. Organisatorische Barrieren, mangelndes Wissen und technische Herausforderungen beeinträchtigen oft den Designprozess. Zukünftige Designwerkzeuge sollten daher darauf abzielen, solche Hindernisse zu überwinden und Designern effektivere Wege zur Externalisierung ihrer Ideen zu bieten[3].

Hallam et al. [6] beleuchten die Herausforderungen in der Entwicklung und Nutzung von Werkzeugen im Interaction Design. Sie betonen, dass ein umfassendes Verständnis von "designerly tools", also Werkzeugen, die von Designern geschätzt und genutzt werden, essenziell ist. Ihr Rahmenwerk weist auf die Notwendigkeit hin, Werkzeuge zu entwickeln, die nicht nur den Denkprozess unterstützen, sondern auch bei der Erstellung spezifischer Artefakte hilfreich sind.

Diese Aspekte unterstreichen die Notwendigkeit, Designwerkzeuge sorgfältig zu gestalten, um kreative und effektive Lösungen in einer sich ständig weiterentwickelnden technologischen Landschaft zu ermöglichen.

## 4 Probleme und Herausforderungen im MR-Prototyping

MR-Prototyping ist eine noch sehr junge Disziplin, weshalb es auch noch einige Hürden gibt, welche überwunden werden müssen um in Zukunft erfolgreiche Projekte schnell und mühelos umsetzen zu können.

### 4.1 Überblick über gängige Herausforderungen

Für Unerfahrene und Endbenutzer ist es schwierig, neue MR-Benutzererfahrungen zu prototypisieren und zu testen, insbesondere aufgrund des Mangels an geeigneten Werkzeugen. Die Autoren von "The Trouble with Augmented Reality Virtual Reality Authoring Tools" diskutieren die Komplexität der vorhandenen Werkzeuge, die oft nur einen begrenzten Teil des MR-Designspektrums abdecken, und betonen die Notwendigkeit von Werkzeugen, die eine schnelle Prototypisierung von MR-Inhalten und gestenbasierten Interaktionen ermöglichen [23].

Andere Studien befassen sich mit konkreten Werkzeugen, die als state of the art galten wie dem Designer's Augmented Reality Toolkit (DART), einem AR- und MR-Authoring-Tool. Dieses Toolkit zielt insbesondere auf neue Medienkünstler ab [15]. Es werden Einblicke geboten in die Herausforderungen und Bedürfnisse von Nicht-Experten im Bereich der MR-Autorisierung. Die Autoren der Studie [2] stellen fest, dass moderne Werkzeuge immer noch nicht alle Bedürfnisse der Autoren erfüllen und heben die einzigartigen Anforderungen an neue Medienautowerkzeuge hervor [2].

Für die Entwicklung effektiver AR- und MR-Werkzeuge sind mehrere Kernaspekte wesentlich. Werkzeuge müssen zugänglich und benutzerfreundlich für Nicht-Technologen sein, um eine breite Nutzung zu fördern. Geschichtete Autorisierung ermöglicht Nutzern das Arbeiten auf unterschiedlichen Komplexitätsebenen, unterstützt sowohl Anfänger als auch Experten. Die Förderung der Zusammenarbeit in diversen Teams aus Künstlern, Designern und Entwicklern ist entscheidend, ebenso wie die Reduzierung der Projektkomplexität durch umfassende Hilfsmittel und Tutorials. Werkzeuge sollten sich in bestehende Workflows integrieren lassen und von einer starken Gemeinschaft sowie technischer Unterstützung profitieren. Fortgeschrittene Prototyping- und Debugging-Funktionen sind für die spezifischen Bedürfnisse von Designern und Nicht-Technologen essenziell. Zudem müssen Werkzeuge die Einzigartigkeiten von AR und MR berücksichtigen, um innovative Anwendungen zu ermöglichen.

## 4.2 Barrieren für Entwickler in MR-Anwendungen

Die wichtigste Gruppe an Personen, wenn es ums Entwickeln von MR-Anwendungen geht, sind die Entwickler dieser. Aufgrund der Dringlichkeit diese Gruppe möglichst produktiv und mühelos Prototypen zu erstellen, wurden eine Reihe von Arbeiten verfasst, welche sich damit beschäftigen [23, 2, 1].

### 4.2.1 Komplexität der Entwicklungswerkzeuge

Die Komplexität der Werkzeuge als große Hürde, besonders in Bezug auf die Notwendigkeit umfangreicher technischer Kenntnisse. Diese Komplexität macht den Einstieg in die MR-Entwicklung schwierig. Verschiedene Arbeiten auf diesem Gebiet diskutieren, wie die Komplexität der Werkzeuge den Entwicklungsprozess erschwert und für Anfänger abschreckend wirken kann [23, 2].

### 4.2.2 Mangel an Benutzerfreundlichkeit und intuitiven Design-Tools

Mangelnde Benutzerfreundlichkeit und das Fehlen von intuitiven Design-Tools in aktuellen MR-Werkzeugen stellen eine signifikante Barriere für Künstler und Designer dar, die sich in der MR-Entwicklung engagieren möchten. Diese Mängel schränken die Kreativität und Produktivität dieser Nutzergruppen ein, da die vorhandenen Werkzeuge nicht ausreichend auf ihre spezifischen Bedürfnisse zugeschnitten sind [23].

### 4.2.3 Unzureichende Unterstützung für Nicht-Experten

Ein weiterer viel beachteter Aspekt in der Forschung unterstreichen die unzureichende Unterstützung für Nicht-Techniker in den aktuellen MR-Werkzeugen.

Es wird die Notwendigkeit betont, Werkzeuge zu entwickeln, die einfacher und intuitiver sind, um die Entwicklung in diesen Bereichen für eine breitere Nutzergruppe zugänglich zu machen. Der Mangel an solchen Werkzeugen begrenzt die Beteiligung und Innovation in der MR-Entwicklung [23, 2, 1].

## 5 Spektrum von MR-Prototyping Werkzeugen

Da viele verschiedene MR-Anwendungen auch viele verschiedene Ansätze und Vorgehensweisen in der Entwicklung erfordern, gibt es eine große Anzahl verschiedener Ansätze von Werkzeugen. Aufgrund dessen bietet diese Arbeit im Folgenden eine Übersicht zu den verschiedenen Anwendungsbereichen als auch eine Klassifizierung anhand 2 wichtiger Eigenschaften von Prototyping-Werkzeugen.

### 5.1 Überblick der Anwendungsbereiche

In der Landschaft der Mixed Reality (MR) gibt es eine Vielzahl von Prototyping-Tools, die jeweils unterschiedliche Ansätze und Techniken nutzen. Dazu gehören physisches Prototyping, bei dem reale Modelle und Mockups verwendet werden, und immersive Authoring-Tools, die ein tieferes Eintauchen in die virtuelle Umgebung ermöglichen. Video-basierte Bearbeitungswerkzeuge erleichtern die Erstellung und Anpassung von MR-Inhalten durch visuelle Schnittstellen. Des Weiteren gibt es Tools für Live-Sharing und asynchrone/asymmetrische Kollaboration, die entfernte Zusammenarbeit und Interaktion in Echtzeit oder zeitversetzt unterstützen. Diese verschiedenen Werkzeuge reflektieren die Breite und Vielfalt der Ansätze im Bereich des MR-Prototypings. [9]

### 5.2 Klassifikationen der Werkzeuge

Vergangene Forschungsarbeiten haben sich damit beschäftigt, die verfügbaren Werkzeuge in verschiedene Klassen und anhand verschiedener Metriken zu vergleichen. Die Bedeutendste Arbeit [23] in dem Bereich hat sich dabei auf eine Einteilung mithilfe der Metriken "Fähigkeiten & ressourcenühd "Wiedergabetreue in MR" festgelegt.

1. **Fähigkeiten & Ressourcen:** Diese Dimension bezieht sich auf die erforderlichen Fähigkeiten und Ressourcen für die Nutzung der Prototyping-Tools. Sie reicht von Tools, die wenig technisches Wissen und wenige Ressourcen erfordern, bis hin zu solchen, die umfangreiche Kenntnisse in der Programmierung und fortgeschrittene Ressourcen benötigen.
2. **Wiedergabetreue in MR:** Hierbei geht es um die Qualität und Realitäts-treue, mit der Prototypen in der Mixed Reality dargestellt werden. Einige



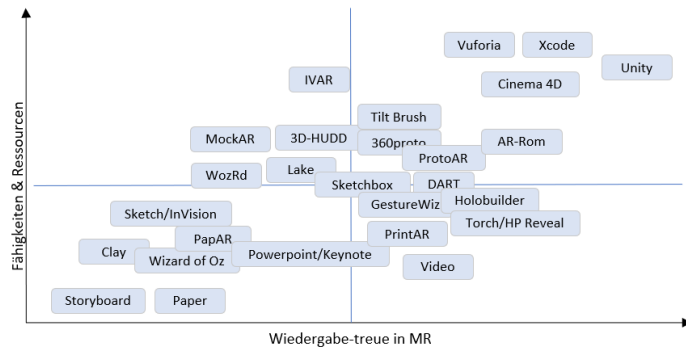


Abbildung 1 Klassifizierung nach Michael Nebeling und Maximilian Speiche [23]

Tools ermöglichen eine hohe Wiedergabetreue, die detaillierte und realistische Darstellungen erlaubt, während andere Tools eher für rudimentäre und schematische Entwürfe ausgelegt sind.

Diese Klassifizierung hilft dabei, die Eignung verschiedener Tools für spezifische Anforderungen und Benutzerfähigkeiten zu bestimmen, was für effektive und realistische AR-Prototypen unerlässlich ist. [23] [4]

## 6 Spezifische repräsentative Werkzeuge & Methoden

Es gibt für jede der in Kapitel 5 genannten Anwendungskategorien eine Vielzahl von relevanten Anwendungen. Da wir in dieser Arbeit nicht alle nennen können, widmen wir uns jeweils nur einer Auswahl an Werkzeugen, wovon wir nur physische Methoden detailliert beschreiben werden.

### 6.1 Physisches Prototyping

Der Bereich des physischen Prototypings umfasst eine sehr große Anzahl an individuellen Werkzeugen. Im Grund versucht diese Prototyping-Paradigma-Aspekte wie das 3D-Modellierung oder andere komplexe dreidimensionale Abläufe durch Mockups zu ersetzen, weil das Erstellen und Implementieren der tatsächlichen Funktionalität sehr kostspielig, aufwendig und starr ist.

### 6.1.1 Analoge Methoden



Abbildung 2 Analog Prototyp von einem Emoji Gesicht auf Klebeband in einem Raum

Analoge Prototyping-Methoden, wie das Zeichnen auf Acrylglas, sind eine effektive Technik, um Interaktionen und räumliche Beziehungen in Augmented Reality (AR) zu simulieren. Diese Methode nutzt die Transparenz und das Erscheinungsbild von Acrylglas, um das Verhalten von AR-Hologrammen nachzuahmen.

Zu dieser Art des Prototypings gehören viele weitere Methoden, wie das Platzieren von physischen Elementen wie z. B. Bälle in einem Raum oder das Anbringen von Klebeband.

Diese Arten werden selten dokumentiert oder lange verwendet, weil sich diese nur am Anfang eines Projektes bezahlt machen. Sie sind meist dafür gedacht eine erste Idee auszuarbeiten und oft zu überarbeiten, weshalb solche Prototypen sehr kurzlebig sind.

Sie bietet eine einfache und kostengünstige Möglichkeit, Konzepte für AR-Anwendungen zu visualisieren und zu testen, bevor komplexere digitale Prototypen erstellt werden. Außerdem kann das analoge Prototyping von jedem ausgeführt werden, weil es kein technisches Wissen voraussetzt. [9]

### 6.1.2 ProtoAR

ProtoAR [22] ist ein Tool, das den Prototyping-Prozess für mobile Augmented Reality (AR) Anwendungen vereinfacht. Die Hauptbestandteile von ProtoAR umfassen:

Kombination aus physischem und digitalem Prototyping: ProtoAR schließt die Lücke zwischen physischem und digitalem Prototyping. Es ermöglicht Designern, Prototypen mit herkömmlichen physischen Materialien wie Papier und Play-Doh zu erstellen, die dann digitalisiert und in einen digitalen Prototyp integriert werden können. Dieser Ansatz nutzt die Einfachheit und Flexibilität des physischen Prototypings und ermöglicht den Übergang zu einem digitalen Format für die weitere Entwicklung.

Cross-Device Multi-Layer-Authoring-Tools: ProtoAR bietet Cross-Device Multi-Layer-Authoring-Tools für das Live-Editing von mobilen AR-Apps. Dadurch können Designer nahtlos über verschiedene Geräte hinweg arbeiten, was den Designprozess effizienter und flexibler macht.

Interaktive Erfassungswerkzeuge: Das Tool beinhaltet interaktive Erfassungsfunktionen, die es Designern ermöglichen, mobile Bildschirme oder AR-Overlays direkt aus Papierskizzen zu generieren. Zusätzlich kann es quasi-3D-Inhalte aus 360-Grad-Aufnahmen von Tonmodellen erstellen. Diese Funktion vereinfacht den Prozess, physische Prototypen in digitale Assets umzuwandeln.

ProtoAR war ein bedeutender Fortschritt im Bereich des Designs von AR-Anwendungen. Es begegnet den Herausforderungen, denen sich Interaktionsdesigner bei der Erstellung von AR-Schnittstellen gegenübersehen, indem es ein vielseitiges und benutzerfreundliches Tool bereitstellt, das schnelles Prototyping und iterative Designprozesse ermöglicht.

### 6.1.3 360proto

360proto [21] ist ein System zur Erstellung interaktiver AR/VR-Prototypen aus Papier. Die Funktionsweise von 360proto umfasst drei Hauptkomponenten:

- 360proto Kamera: Diese Komponente ermöglicht es Nutzern, Papierprototypen schnell zu digitalisieren. Durch das Fotografieren der Papiermodelle mit einem Smartphone können die Entwürfe in 360-Grad-Panoramabilder oder stereoskopische Bilder für die Ansicht in VR-Geräten wie Google Cardboard umgewandelt werden. Die Kamera-App bietet verschiedene Modi für das Erfassen und Live-Streaming von Inhalten, die in den Prototyp integriert werden.
- 360proto Studio: Im Studio können die mit der Kamera erfassten Bilder organisiert, bearbeitet und zu einer interaktiven AR/VR-Schnittstelle zusammengesetzt werden. Die Benutzeroberfläche des Studios ermöglicht es, die erfassten Inhalte schichtweise anzuordnen und zu bearbeiten. Außerdem

können mit Hilfe des "Wizard of Oz" Prinzips interaktive Elemente durch Live-Video-Streaming in die Prototypen integriert werden.

- 360proto App: Diese App dient der Ausführung und dem Testen der interaktiven Prototypen auf AR/VR-fähigen mobilen Geräten und Headsets. Die App unterstützt sowohl AR- als auch VR-Modi und ermöglicht es, die im Studio erstellten Prototypen in einer AR/VR-Umgebung zu erleben. In der App können Benutzer die Prototypen in einer immersiven Umgebung testen, wobei Bewegungen in sechs Freiheitsgraden unterstützt werden.

360proto ermöglicht Designern und Entwicklern, schnell und intuitiv interaktive AR/VR-Prototypen aus einfachen Papierentwürfen zu erstellen. Durch die Kombination von physischen Papierprototypen und digitalen Bearbeitungswerkzeugen schafft 360proto eine Brücke zwischen traditionellem Design und moderner AR/VR-Technologie.

### 6.1.4 360theater

360theater [25] 360theater erweitert 360°-Videoaufnahmen um 3D-Geometrie und simuliert räumliche Interaktionen mithilfe der "Wizard of Oz" Technik. Dieser Ansatz ermöglicht es Designern, raumskalige, interaktive AR/VR-Erlebnisse schnell und realistisch zu prototypen.

Die Kernaspekte von 360theater sind:

- Teilnehmerrollen: Im Prototyping-Prozess gibt es verschiedene Rollen: einen Benutzer, der den Prototyp in AR oder VR testet; einen Facilitator, der den Prototyp digital erfasst und den Benutzer durch Aufgaben führt; und einen "Computer", der physische Objekte manipuliert. Zusätzlich gibt es einen Beobachter, der mögliche Fehler notiert.
- Integration von "Wizard of Oz": Diese Technik wird in 360theater verwendet, um die expliziten und impliziten Interaktionen des Benutzers in AR/VR zu erleichtern, indem virtuelle Objekte in der digitalen Darstellung des Prototyps manipuliert werden.
- 360theater schließt die Lücke zwischen niedriger und hoher Fidelity (Fidelity entspricht der Achse "Fähigkeiten & Ressourcen" in Abbildung 1. Es kombiniert die Vorteile von 360°-Inhalten mit der Möglichkeit, räumliche Interaktionen zu prototypen, was mit bestehenden Tools bisher nur begrenzt möglich war.

### 6.1.5 StoryMakAR

StoryMakAR [5] ist ein Augmented Reality- und IoT-basiertes Toolkit, das speziell dafür entwickelt wurde, Kindern und Jugendlichen das Erstellen interaktiver Geschichten zu ermöglichen. Es kombiniert physisches Prototyping und

Programmierung mit Augmented Reality, um eine dynamische Erzählumgebung zu schaffen. Benutzer können physische Objekte mit Elektronik bauen und diese über eine benutzerfreundliche Drag-and-Drop-Programmoberfläche steuern. Diese physischen Kreationen werden dann mittels AR mit virtuellen Charakteren in der StoryMakAR-App interaktiv verbunden, um eine einzigartige Geschichte zu erzählen. StoryMakAR zielt darauf ab, Kreativität, technisches Verständnis und Erzählkompetenzen bei jungen Benutzern zu fördern.

## 6.2 Immersive Authoring-Tools

Diese Paradigma der Authoring-Tools basiert darauf dass MR-Erlebnisse sehr gut in MR erstellt werden können weshalb sie genau das den Entwickelten bieten. Im folgenden werden 2 Relevante Werkzeuge in dem Bereich Vorgestellt.

### 6.2.1 Tangible AR

Tangible AR [12] kombiniert virtuelle und physische Objekte, wobei Benutzer durch Manipulation der physischen Objekte mit den virtuellen interagieren. Die Technologie nutzt Tracking-Systeme wie ARToolKit, um physische Objekte zu verfolgen und virtuelle Inhalte darüberzulegen. Die Anwendungen basieren auf einem komponentenbasierten Modell und ermöglichen eine intuitive Steuerung im 3D-Raum. Dies macht Tangible AR besonders benutzerfreundlich, da auch Personen ohne umfassende Programmierkenntnisse AR-Inhalte erstellen können.

## 6.3 Video-basierte Werkzeuge

In manchen Fällen geht es beim Prototyping weniger um einen benutzbaren Prototypen, sondern mehr um eine Präsentation der Idee oder der Präsentation des Potenzials. Dafür eignen sich Video-basierte Werkzeuge sehr gut, weil diese Videos hervorbringen, die die spätere Funktionalität einer MR-Anwendung gut darstellen.

### 6.3.1 Pronto

Pronto [14] ist ein Tablet-basiertes Videoprototyping-System für Augmented Reality, das 2D-Video mit 3D-Manipulation kombiniert, um Designern eine schnelle und flexible Möglichkeit zur Erstellung von AR-Erfahrungen zu bieten. Es ermöglicht das Skizzieren und Platzieren von 2D-Entwürfen in einer 3D-Umgebung, das Erfassen von 3D-Rauminformationen und das Erstellen von Animationen durch physische Interaktionen, was von professionellen Designern als effektiv und einfach zu bedienen bewertet wurde.

### 6.3.2 Montage

Montage [13] ist ein Tool, das digitale Skizzen in Video-Prototypen integriert und Chroma-Keying verwendet, um Schnittstellen von ihrem Nutzungskontext zu trennen. Dies erleichtert die Wiederverwendung und Änderung von Designs und unterstützt die Phototypisierung verschiedener Interaktionsstile.

## 6.4 Live sharing

Erwähnenswerte Werkzeuge aus diesem Bereich sind Loki [10], ein System für den Fernunterricht physischer Aufgaben, das durch bi-direktionale Telepräsenz und die Kombination von Video, Audio und räumlicher Erfassung funktioniert. Und SAVE [28], ein System das die virtuelle Welt mit realen Objekten überlagert, um VR-Erfahrungen in Echtzeit für mehrere Personen gleichzeitig zu teilen.

## 6.5 asynchronous/asymmetric Kollaboration

Ein spannender Repräsentant hier ist das Tool TransceiVR [11], welches ermöglicht, dass eine außenstehenden Person, die VR-Szene räumlich und zeitlich zu erkunden und Elemente in der VR-Szene annotieren kann, um die Zusammenarbeit effektiver zu gestalten.

Außerdem erwähnenswert ist das 2008 erschienene Werkzeug XRDirektor[20]. Ein rollenbasiertes, kollaboratives, immersives Autorensystem, das Designern ermöglicht, Interaktionen frei zu gestalten, indem sie AR- und VR-Geräte wie Marionetten verwenden, um virtuelle Objekte im 3D-physikalischen Raum zu manipulieren[20].

## 7 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Entwicklung von Tools für Nicht-Technologen stellt einen entscheidenden Schritt in der Evolution von MR Technologien dar. Bestehende AR Autorenwerkzeuge erfüllen trotz ihrer Vielzahl nicht alle Benutzerbedürfnisse. Diese Werkzeuge tendieren dazu, Benutzer in die Erstellung spezifischer Arten von AR-Erlebnissen zu lenken, was die kreative Freiheit potenziell einschränken kann [2].

Im Bereich des Extended Reality (XR) Prototyping werden Werkzeuge häufig angepasst und mit personalisierten Inhalten angereichert, um zugängliche Prototypen zu erstellen. Diese Anpassung zeigt, dass eine größere Flexibilität und Anpassungsfähigkeit in Prototyping-Tools benötigt wird, um den vielfältigen Anforderungen gerecht zu werden [9]. Die Entwicklung von aufgaben- und zielorientierten Werkzeugen ist entscheidend, um den Bedürfnissen der Praktiker in der AR-/VR-Branche zu entsprechen [8].

Einfache und zielorientierte Werkzeuge können Praktikern helfen, ihre Ziele effektiv und effizient zu erreichen. Dies stellt ein zentrales Anliegen des Usability-Engineering dar, mit einer Vielzahl an Methoden, die diesen Herausforderungen begegnen, einschließlich der Anwendung partizipativen Designs in der Werkzeugentwicklung [8]. Zudem ist die Förderung interdisziplinärer Zusammenarbeit und die Entwicklung von Werkzeugen, die kollaborative Schaffung unterstützen, von großer Bedeutung [8].

Die Integration dieser Erkenntnisse in die Entwicklung neuer Werkzeuge für MR Prototyping könnte die Gestaltung von MR-Anwendungen effizienter und effektiver machen. Es ist wichtig, dass diese Werkzeuge sowohl die technischen Bedürfnisse als auch die kreativen Anforderungen der Nutzer berücksichtigen. So kann das volle Potenzial von Mixed Reality genutzt werden.

## 8 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde dem Leser eine Übersicht des MR-Prototypings dargeboten, welche auf die wesentlichen Bestandteile eingeht und diese im aktuellen Kontext behandelt. Der Beitrag dieser Ausarbeitung ist grundsätzlich einen Überblick über das Thema des Prototypings in Kombination mit Mixed Reality zu geben und dabei den aktuellen Stand der Technik durch verschiedene Aspekte darzulegen. Es wurden sowohl grundlegende theoretische Konzepte angeführt als auch eine Sammlung von aktuellen Werkzeugen, die diese Grundlagen praktisch umsetzen und Praktikern zur Verfügung stehen.

### Literatur

- 1 Narges Ashtari, Andrea Bunt, Joanna McGrenere, Michael Nebeling, and Parmit K. Chilana. Creating augmented and virtual reality applications: Current practices, challenges, and opportunities. *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2020. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:216619528>.
- 2 Maribeth Gandy Coleman and Blair MacIntyre. Designer's augmented reality toolkit, ten years later: implications for new media authoring tools. *Proceedings of the 27th annual ACM symposium on User interface software and technology*, 2014. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:15703491>.
- 3 Steven W. Dow, T. Scott Saponas, Yang Li, and James A. Landay. External representations in ubiquitous computing design and the implications for design tools. In *Symposium on Designing Interactive Systems*, 2006. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:137562>.
- 4 Gabriel Freitas, Márcio Sarroglia Pinho, Milene Selbach Silveira, and Frank Maurer. A systematic review of rapid prototyping tools for augmented

- reality. *2020 22nd Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)*, pages 199–209, 2020. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:227220823>.
- 5 Terrell Glenn, Ananya Ipsita, Caleb Carithers, Kylie A. Peppler, and Karthik Ramani. Storymaker: Bringing stories to life with an augmented reality & physical prototyping toolkit for youth. *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2020. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:218482854>.
  - 6 Sheffield Hallam. Designerly tools. 2012. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:17138500>.
  - 7 Iliia Indyk and Ilya Makarov. Monovan: Visual attention for self-supervised monocular depth estimation. *2023 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, pages 1211–1220, 2023. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:265687435>.
  - 8 Veronika Krauß, Alexander Boden, Leif Oppermann, and René Reiners. Current practices, challenges, and design implications for collaborative ar/vr application development. *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2021. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:231921964>.
  - 9 Veronika Krauß, Michael Nebeling, Florian Jasche, and Alexander Boden. Elements of xr prototyping: Characterizing the role and use of prototypes in augmented and virtual reality design. *Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2022. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:247216618>.
  - 10 Balasaravanan Thoravi Kumaravel, Fraser Anderson, George W. Fitzmaurice, Bjoern Hartmann, and Tovi Grossman. Loki: Facilitating remote instruction of physical tasks using bi-directional mixed-reality telepresence. *Proceedings of the 32nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, 2019. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:204812044>.
  - 11 Balasaravanan Thoravi Kumaravel, Cuong Nguyen, Stephen DiVerdi, and Bjoern Hartmann. Transceivr: Bridging asymmetrical communication between vr users and external collaborators. *Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, 2020. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:221593730>.
  - 12 Gun A. Lee, Claudia Nelles, Mark Billingham, and Gerard Jounghyun Kim. Immersive authoring of tangible augmented reality applications. *Third IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pages 172–181, 2004. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:17140302>.
  - 13 Germán Leiva and Michel Beaudouin-Lafon. Montage: A video prototyping system to reduce re-shooting and increase re-usability. *Proceedings of the*

- 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, 2018. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:52980897>.
- 14 Germán Leiva, Cuong Nguyen, Rubaiat Habib Kazi, and Paul Asente. Pronto: Rapid augmented reality video prototyping using sketches and enactment. *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2020. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:218482802>.
  - 15 Blair MacIntyre, Maribeth Gandy Coleman, Steven W. Dow, and Jay David Bolter. Dart: a toolkit for rapid design exploration of augmented reality experiences. In *ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, 2004. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:3980181>.
  - 16 Paul Milgram, Haruo Takemura, Akira Utsumi, and Fumio Kishino. Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum. In *Other Conferences*, 1995. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:18242357>.
  - 17 Brad A. Myers, Scott E. Hudson, and Randy F. Pausch. Past, present and future of user interface software tools. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 44:319 – 319, 2000. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:3104757>.
  - 18 Soran Nakagawa and Yoshihiro Watanabe. High-frame-rate projection with thousands of frames per second based on the multi-bit superimposition method. *2023 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, pages 741–750, 2023. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:265889552>.
  - 19 Michael Nebeling. Xr tools and where they are taking us. *XRDS: Crossroads, The ACM Magazine for Students*, 29:32 – 38, 2022. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:252737837>.
  - 20 Michael Nebeling, Katy Lewis, Yu-Cheng Chang, Lihan Zhu, Michelle Chung, Piaoyang Wang, and Janet Nebeling. Xrdirector: A role-based collaborative immersive authoring system. *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2020. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:218482845>.
  - 21 Michael Nebeling and Katy Madier. 360proto: Making interactive virtual reality & augmented reality prototypes from paper. *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2019. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:140237921>.
  - 22 Michael Nebeling, Janet Nebeling, Ao Yu, and Rob Rumble. Protoar: Rapid physical-digital prototyping of mobile augmented reality applications. *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2018. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:5062081>.
  - 23 Michael Nebeling and Maximilian Speicher. The trouble with augmented reality/virtual reality authoring tools. *2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, pages 333–337, 2018. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:140085497>.
  - 24 Hao-Lun Peng, Shin’Ya Nishida, and Yoshihiro Watanabe. Studying user perceptible misalignment in simulated dynamic facial projection mapping. *2023 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, pages 493–502, 2023. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:265824119>.
  - 25 Maximilian Speicher, Katy Lewis, and Michael Nebeling. Designers, the stage is yours! medium-fidelity prototyping of augmented & virtual reality interfaces with 360theater. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 5:1 – 25, 2021. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:235244189>.
  - 26 David Whitney, Eric Rosen, Daniel Ullman, Elizabeth Phillips, and Stefanie Tellex. Ros reality: A virtual reality framework using consumer-grade hardware for ros-enabled robots. *2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pages 1–9, 2018. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:57755282>.
  - 27 Yasuhiro Yamamoto and Kumiyo Nakakoji. Interaction design of tools for fostering creativity in the early stages of information design. *Int. J. Hum. Comput. Stud.*, 63:513–535, 2005. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:17676715>.
  - 28 Yu Zhu, Kang Zhu, Qiang Fu, Xilin Chen, Huixing Gong, and Jingyi Yu. Save: shared augmented virtual environment for real-time mixed reality applications. *Proceedings of the 15th ACM SIGGRAPH Conference on Virtual-Reality Continuum and Its Applications in Industry - Volume 1*, 2016. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:263876376>.

# Immersive Technologien in der Medizin: Augmented und Virtual Reality im medizinischen Bereich

Greta Karbon

Universität Innsbruck, Innsbruck, Österreich  
greta.karbon@student.uibk.ac.at

## Zusammenfassung

Der technologische Fortschritt von Augmented Reality (AR) und Virtual Reality (VR) hat die Medizin revolutioniert. Dieses Paper untersucht die Anwendungen von AR und VR im Schmerzmanagement, bildgebenden Verfahren und medizinischer Ausbildung.

Akute und chronische Schmerzen können durch VR Anwendungen gelindert werden, wodurch Nachteile herkömmlicher Analgesie<sup>1</sup> umgangen werden. Die Integration von AR und VR in bildgebende Verfahren ermöglicht präzisere Diagnosen durch die Visualisierung von MRT<sup>2</sup>, CT<sup>3</sup>, Röntgen oder Ultraschall an PatientInnen oder im dreidimensionalen Raum. Simulierte Operationen bieten angehenden ÄrztInnen praxisnahe Erfahrungen, ohne die PatientInnensicherheit zu gefährden.

Diese Technologien haben positive Auswirkungen auf PatientInnen und Personal und können die Effizienz und Wirksamkeit medizinischer Praktiken steigern. Insgesamt markieren AR und VR einen bedeutenden Fortschritt mit vielversprechenden Entwicklungen in der Medizin.

2012 ACM Computing Classification Human-centered computing → Human computer interaction (HCI) → Interaction paradigms

**Keywords and phrases** Gehirn-Computer-Schnittstelle; Augmented Reality; Virtual Reality; Medizin; Schmerzmanagement; Operationen; Bildgebende Verfahren.

## 1 Einleitung

Im Zuge des raschen Fortschrittes haben Augmented Reality (AR) und Virtual Reality (VR) Einzug in verschiedene Lebensbereiche gehalten. Die Medizin

<sup>1</sup> Unterdrückung der Schmerzempfindung

<sup>2</sup> Magnetresonanztomographie

<sup>3</sup> Computertomographie



© Greta Karbon;  
licensed under Creative Commons License CC-BY

Cite as: Greta Karbon. Immersive Technologien in der Medizin: Augmented und Virtual Reality im medizinischen Bereich. In *2nd Seminar on on Cross-Reality Interaction (XR-I 2024)*. Editors: Pascal Knierim. February 02, 2024. Innsbruck, Austria. pp. 8:1–8:16.

## 8:2 Immersive Technologien in der Medizin

hat sich dabei als Vorreiter erwiesen, indem sie diese Systeme in vielfältiger Weise nutzt.

Im Fokus dieses Papers steht die Erkundung der Anwendungen von AR und VR im medizinischen Kontext von Schmerzmanagement über bildgebende Verfahren bis hin zur medizinischen Ausbildung. Diese Technologien bieten nicht nur verbesserte Ausbildung und Diagnosemöglichkeiten für medizinisches Personal, sondern tragen auch zur Steigerung der PatientInnensicherheit bei. VR kann Schmerzen lindern und zugleich Nachteile aktueller Analgesie wie zum Beispiel das Abhängigkeitsrisiko umgehen. Die Integration von AR und VR in bildgebende Verfahren ermöglicht Visualisierung von MRT, CT, Röntgen oder Ultraschall in einem interaktiven dreidimensionalen Raum oder als Abbildung an PatientInnen. PatientInnen profitieren dadurch von besseren Diagnosen und medizinisches Personal, von einfacheren, schnelleren und sichereren Diagnosestellungen durch mehr und kombinierte Informationen. Ein anderer Schwerpunkt dieser Arbeit ist das Training. Simulierte Operationen ermöglichen angehenden ÄrztInnen praxisnahe Erfahrungen, ohne die Sicherheit der PatientInnen zu gefährden.

Diese Arbeit soll nicht nur den aktuellen Stand der Anwendungen von AR und VR im medizinischen Bereich abbilden, sondern auch als Ausgangspunkt für weitere Diskussionen über das Potenzial dieser modernen Technologien dienen.

## 2 Anwendungen von AR und VR in der Medizin

AR und VR können in der Medizin in unterschiedlichen Gebieten angewandt werden.

### 2.1 Medizinisches Training

ÄrztInnen und medizinisches Personal können AR als Visualisierungs- und Trainingshilfe für Operationen nutzen. Dies ist insbesondere für junge ÄrztInnen vor ihren ersten Operationen an realen Menschen relevant. Das Training minimiert die Wahrscheinlichkeit von chirurgischen Fehlern, wodurch die PatientInnensicherheit weiter verbessert wird. [18]

### 2.2 Schmerzmanagement

VR kann als Ablenkung für akute Schmerzen eingesetzt werden und zeigt auch vielversprechende Ergebnisse bei der Behandlung chronischer Schmerzen. Studien legen nahe, dass VR neurophysiologische<sup>4</sup> Veränderungen, die über

<sup>4</sup> die Funktionsweise des Nervensystems betreffend

eine einfache Ablenkung hinausgehen, bewirken kann. Zudem wurde VR für die Behandlung von Phantomschmerzen<sup>5</sup> eingesetzt. [18]

### 2.3 Bildgebende Verfahren

Die Zusammenführung von 3-D Daten aus bildgebenden Verfahren wie MRT, CT oder Ultraschall ermöglicht eine Echtzeitabbildung an PatientInnen. Von Vorteil ist dies vor allem bei minimal invasiven Operationen<sup>6</sup>. Sie gestalten sich oft schwierig, da ChirurgInnen weniger Möglichkeiten haben, die zu operierende Stelle zu sehen. Mithilfe dieser Technologie können ÄrztInnen die reale Person und deren Körper und gleichzeitig die Bildgebung an dem/der PatientIn betrachten. Dies vereinfacht auch Operationen, die Präzision erfordern, wie die Markierung von Bohrpunkten im Schädel. [18]

### 2.4 Rehabilitation

AR und VR spielen in der Rehabilitation eine bedeutende Rolle, insbesondere bei der Verbesserung der Funktionsfähigkeit der oberen Gliedmaßen nach einem Schlaganfall. Diese waren gleich oder minimal wirkungsvoller als konventionelle Physiotherapie. Deutliche Verbesserungen wurden auch bei den kognitiven Fähigkeiten der SchlaganfallpatientInnen festgestellt. Insbesondere Sprache, Aufmerksamkeit und Gedächtnis haben sich deutlich verbessert. [18]

### 2.5 Psychische Gesundheit

VR hat sich auch als wirksame Therapie für PatientInnen mit psychischen Erkrankungen wie Angstzustände, Depression, Suchtmittelmissbrauch oder Essstörungen erwiesen und wird auch bei Phobien und posttraumatischen Belastungsstörungen eingesetzt. [4, 18]

## 3 Schmerzmanagement

Schmerzmanagement befasst sich mit dem Lindern und Behandeln von Schmerzen. In der aktuellen Standardtherapie erfolgt dies durch die Anwendung der Analgesie Leiter der WHO. Dabei kommen zuerst Nichtopiate (zB. Paracetamol<sup>7</sup>, dann milde Opiate (zB. Codein) und schließlich starke Opiate (zB. Morphin) zum Einsatz, bis PatientInnen keine Schmerzen mehr verspüren. Die

<sup>5</sup> Schmerzen nach einer Abtrennung eines Körperteils in dem nicht mehr vorhandenen Körperteil

<sup>6</sup> operative Eingriffe mittels kleinster Hautschnitte, um das Gewebe geringstmöglich zu verletzen

<sup>7</sup> Markenname Mexalen

Wahl des Medikaments sollte sich nach der Schwere der Schmerzen richten. Bei starken Schmerzen kann es sinnvoll sein, mit einem starken Opioid zu beginnen. Es ist nicht immer notwendig, mit der ersten Stufe zu beginnen. Wenn die Schmerzen unter Kontrolle sind, sollten PatientInnen die wirksame Dosis beibehalten.

Diese Medikamente haben jedoch auch negative Auswirkungen. Bei langfristiger Anwendung von Nichtopiaten können Beeinträchtigungen von Leber und Niere auftreten. Opiate haben zwar wenige körperliche Nebenwirkungen, können jedoch bei falscher Anwendung, wie beispielsweise bei der Einnahme bei Schmerzen, die auch mit Nichtopiaten behandelbar sind, oder bei einer weiteren Einnahme trotz Schmerzlinderung, starke Abhängigkeit verursachen. In den USA führt die großzügige Verschreibung der Opiate zu Opiatkrisen.

### 3.1 Schmerzlinderung mit VR

Virtual Reality hat sich als effektive Methode zur Schmerzlinderung erwiesen, bekannt als VR Analgesie. Mithilfe von fMRT<sup>8</sup> wurde eine verringerte Zunahme von Hirnaktivität in Regionen, die bei der angewandten experimentellen thermischen Schmerzsimulation häufig start aktiviert werden, bestätigt.

Die Gate Control Theorie von Melzack und Wall betont, dass Faktoren wie die Aufmerksamkeit für den Schmerz, emotionale Assoziationen und vorherige Schmerzerfahrungen die Schmerzwahrnehmung beeinflussen.

Diese Theorie wird von McCaul und Mallot erweitert. Sie weisen darauf hin, dass der Mensch eine begrenzte Aufnahmekapazität besitzt und Schmerz nur dann intensiv wahrgenommen wird, wenn ihm Aufmerksamkeit geschenkt wird. Wenn sich PatientInnen also mit einem anderen Reiz beschäftigen, der nicht mit dem Schmerzreiz zusammenhängt, wird der Schmerz als weniger intensiv wahrgenommen. VR bietet eine ideale Möglichkeit, Schmerzen zu mindern, indem sie Ablenkung ermöglicht. [9]

### 3.2 Verwendungen und Einsatz

Schmerzmanagement wurde bereits auf unterschiedlichen Gebieten untersucht.

#### 3.2.1 Verbrennungen

Eine der am meisten erforschten Anwendungen von VR im Schmerzmanagement ist der Einsatz bei Behandlung von Verbrennungen. Studien zeigen, dass VR nicht nur Schmerzen, sondern auch Ängste effektiv lindern kann.

<sup>8</sup> funktionelle Kernspintomografie

Eine Studie untersuchte die Auswirkungen von VR bei Kindern mit Schmerzen. Sie konnte zeigen, dass die Standardbehandlung mit Analgesie in Form von Medikamenten weniger wirksam ist als die Kombination aus Standardbehandlung und VR Therapie. Gemessen wurden hier die Parameter Schmerzen und Stress.

Auch bei VerbrennungspatientInnen, die sich einer physikalischen Therapie unterzogen wurde der Einsatz von VR erforscht. Beispielsweise untersuchten Hoffman et al. den Einsatz von pharmakologischer<sup>9</sup> Analgesie allein gegenüber VR zusätzlich zur Analgesie während der physikalischen Therapie. Die PatientInnen in der VR Gruppe berichteten über geringere Schmerzen und einen größeren Bewegungsumfang.

In einer Studie wurde VR als Erweiterung der Hypnose eingesetzt. Diese Virtual Reality Hypnosis (VHR) kombiniert bereits bestehende evidenzbasierte Behandlung mit der modernen Technologie. Bei der VHR wird PatientInnen eine Audioaufnahme einer Hypnoseeinleitung beziehungsweise Vorschläge zur Schmerzlinderung vorgespielt.

Jedoch erzielte VR als Entspannungshilfe negative Ergebnisse in der Schmerzlinderung. Konstantos et al. untersuchten die VR Entspannung in Ergänzung zu Morphin zur Schmerzlinderung beim Verbandswechsel bei Brandwunden. Sie verwendeten eine Hypnotherapie, die aus einer visuellen Szenerie bestand, die PatientInnen aufforderte sich auf eine bewegende Spirale zu konzentrieren.

Im Allgemeinen wurde festgestellt, dass VR eine wirksame Methode zur Schmerzlinderung bei der Behandlung von Verbrennungen ist. Eine kürzlich durchgeführte systematische Überprüfung von neun Studien durch Morris et al. ergab, dass VR in Verbindung mit Standardanalgesie in acht der neun Studien eine wirksame Schmerzlinderung bei der Behandlung von Verbrennungen ist. [9]

### 3.2.2 Krebs

VR wurde auch erfolgreich Mittel zur Schmerz- und Angstreduktion im Zusammenhang mit Krebsbehandlungen untersucht. Hier treten Schmerzen bei den allgemeinen Krebsbehandlungsverfahren wie Chemotherapie, Lumbalpunktion<sup>10</sup> und dem Einsetzen von Portzugängen<sup>11</sup> auf.

Eine Studie von Scheider und Workman untersuchte Kinder im Alter von 10 bis 17 Jahren, die eine Chemotherapie mit und ohne VR erhielten. 82% der

<sup>9</sup> die Wirkung von Arzneimitteln betreffend

<sup>10</sup> Entnahme von Hirn- oder Rückenmarksflüssigkeit aus dem Wirbelkanal zur Untersuchung auf Krankheiten

<sup>11</sup> dauerhafter Zugang von außen in eine Vene

Kinder gaben an, dass die Behandlung mit VR besser als frühere Behandlungen war und dass sie VR bei zukünftigen Behandlungen einsetzen wollen.

Gershon et al. untersuchten Kinder und Jugendliche beim Einsetzen eines Portzuganges. Die Ergebnisse zeigten, dass eine Ablenkung mittels Virtual Reality signifikant bessere Ergebnisse bezüglich der Verringerung der Pulsfrequenz und der Schmerzen lieferte als die Standardbehandlung. Zusätzlich konnte gezeigt werden, dass VR die wahrgenommene Zeit, die mit der Chemotherapie verbracht wurde, verringert. [9]

### 3.2.3 Routineeingriffe

Viele medizinische Routineverfahren wie Blutabnahme, intravenöses legen eines Zuganges und Immunisierung<sup>12</sup> können schmerzhaft und angstauslösend sein. Auch hier wurde der Einfluss von VR auf PatientInnen während der Eingriffe untersucht.

Gold et al. nutzten dafür Kinder zwischen 8 und 12 Jahren, die für ein MRT oder ein CT eine intravenöse Kontrastmittelgabe<sup>13</sup> benötigten. Dabei wurden die Kinder zufällig entweder einer Standardbehandlung (Lokalanästhetikum) oder einer Standardbehandlung in Kombination mit VR über ein Head Mounted Display zugewiesen. Die Kinder, die nur das Lokalanästhetikum bekamen, wiesen eine vierfache Zunahme der Schmerzen auf bei Kontrastmittelgabe, wobei die Kinder, die der Gruppe mit der VR Behandlung zugewiesen wurden keine signifikanten Veränderungen der Schmerzintensität während der Injektion angaben.

Furman et al. verglichen bei Zahnsteinentfernungen, die bei Parodontitis<sup>14</sup> angewandt werden, VR mit dem Ansehen von Filmen als alternative Form der Analgesie. Die PatientInnen, die in der VR Gruppe waren, zeigten signifikant geringere Schmerzen als die aus der Filmgruppe. [9]

### 3.2.4 Chronischer Schmerz

Während es viele Belege für die Wirksamkeit von VR bei akuten behandlungsbedingten Schmerzen gibt, sind Forschungen zum Einsatz von VR bei chronischen Schmerzen begrenzter.

Sarig-Bahat et al. untersuchten die Behandlung chronischer Nackenschmerzen mittels VR. Dazu wurden Personen mit und ohne Symptome in eine VR Umgebung gebracht. Dort konnten sie Fliegen mit einer virtuellen Spraydose

<sup>12</sup> hier: Impfung

<sup>13</sup> Gabe von Arzneimittel in der bildgebenden Diagnostik zur besseren Erkennbarkeit anatomischer Strukturen

<sup>14</sup> bakterielle Entzündung des Zahnhalteapparats



ansprüchen, wodurch sie angeregt werden sollten, ihren Bewegungsumfang zu erhöhen. Theoretisch sollte der Bewegungsradius größer werden, je mehr sich die Patienten auf die Aktivität einließen. Es konnte festgestellt werden, dass eine einzige VR Sitzung zu einem größeren Bewegungsumfang der Halswirbelsäule und gleichzeitig weniger Nackenschmerzen führte. [9]

Schmerzlinderung kann nicht nur mittels Ablenkung, sondern auch durch Fokusverlagerung und Selbstregulierung von Schmerzen erreicht werden. [2, 12, 15, 7]

#### 4 Bildgebende Verfahren und Diagnostik

Die Integration von Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR) in bildgebenden Verfahren der Medizin eröffnet neue Perspektiven für verbesserte Diagnosemöglichkeiten und Schulungsumgebungen. Anwendungen wie die direkte Abbildung von MRT oder CT an PatientInnen [4] oder interaktive 3-D Modelle [17] tragen zu präziseren Diagnosen bei.

##### 4.1 Virtuelle Visualisierung von medizinischen Bildern

Die Visualisierung medizinischer Bilddaten erfolgt auf zwei verschiedene Arten. Einerseits werden aus rohen Bilddaten abgeleitete Modelle visualisiert, wie zum Beispiel bei 3-D Drucken oder chirurgischen Planungen. Andererseits werden nicht segmentierte, rohe Bilddaten visualisiert. Mittlerweile werden beide Ansätze kombiniert. Es gibt viele verschiedene Wege zu visualisierten Bildern zu gelangen.

Eine einfache Anwendung ist bereits bestehende segmentierte Modelle in die VR Umgebung zu projizieren und dort zu betrachten.

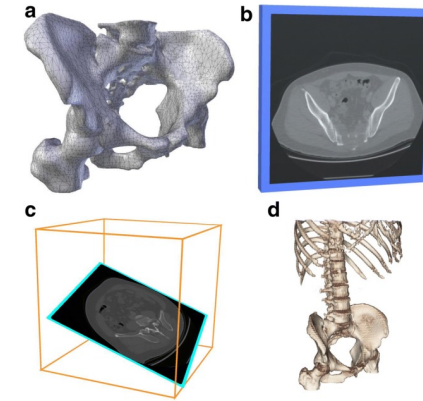
Alternativ werden auch die Quellbilddaten verwendet, um Informationen in die virtuelle Realität zu übertragen.

In einem Ablauf wird ein virtueller Monitor erzeugt, auf dem Dünnschnittdaten (zB. eines MRTs) wie auf einem realen Bildschirm simuliert werden. Dies ermöglicht eine flexible Anpassung von Größe, Position und Ausrichtung des Bildschirms und die Erstellung beliebig vieler Bildschirme.

Eine weitere Möglichkeit ist die Anwendung von 2-D Multiplanar Reformation, um einen Ausschnitt, wie eine Scheibe des 3-D Modells darzustellen. Können die Lage und Ausrichtung dieser Scheiben in Echtzeit verändert werden wird dies als 2,5-D Visualisierung bezeichnet.

Die Volume Rendering Technik generiert aus Quellbilddaten ein dreidimensionales Modell, das in der virtuellen Umgebung visualisiert und manipuliert werden kann. [17]

Ein dreidimensionales AR System von Douglas et al. arbeitet mit Tiefenwahrnehmung und Brennpunktconvergenz zur Erkennung und Bewertung von



■ **Abbildung 1** Radiologische Bildvisualisierungsmodi unter Verwendung desselben Scansets. (a) Ein Beispiel für ein segmentiertes Modell, das aus einem CT-Scan abgeleitet wurde. (b) Ein Beispiel für eine 2D-Visualisierung eines unsegmentierten Bildes. (c) Ein Beispiel für eine 2,5D-Visualisierung. (d) Ein Beispiel für (3-D) Volumenrendering [17]

Mikroverkalkungen in der Brust.

Die Microsoft HoloLens wird erfolgreich im Gesundheitswesen eingesetzt, beispielsweise für Autopsien<sup>15</sup> und Untersuchungen.

Auch in einer CAVE Umgebung konnten Ergebnisse erreicht werden. Baghabra et al. konnten Zellstrukturen aufgrund von elektromikroskopischen Daten mittels Serial Imaging auswerten und in einer CAVE Umgebung die Zelldaten visualisieren und segmentieren. Auch die räumlichen Beziehungen zwischen sehr kleinen Strukturen können mit dieser VR Lösung optimal analysiert werden. [17]

##### 4.2 Verbesserung von Diagnosemöglichkeiten durch immersive Technologien

Tools wie Immersive Touch bieten verbesserte Möglichkeiten für die Diagnostik. Immersive Touch ist ein VR tool mit Head- und Hand-Tracking-Systemen und einem Display, das die Visualisierung und Manipulation von 3-D Modellen in Echtzeit ermöglicht. Immersive Touch kombiniert CT und Angio-

<sup>15</sup> Untersuchung einer Leiche zur Feststellung der Todesursache

grafie<sup>16</sup> in einem Modell, so kann ein besserer Überblick geschaffen werden und die Diagnosestellung erleichtert werden. Auch ein MRT kann gleichzeitig über das virtuelle Modell gelegt werden. Immersive Touch wird hauptsächlich im Training von Operationen verwendet, kann aber auch als Diagnoseinstrument fungieren. Die allgemeine bildübergreifende Visualisierung lässt von einzelnen Auffälligkeiten in den einzelnen Bildern auf ein allgemeines Krankheitsbild schließen. Eine andere Anwendung ist die Abbildung von MRT oder CT auf PatientInnen. [4]

Auch Sonografien<sup>17</sup> konnten auf diese Anwendung überprüft werden, wie beispielsweise die Bildgebung eines Fötus auf schwangeren PatientInnen. [16]

## 5 Simulierte Operationen und Training

Mittels AR und VR können Operationen und medizinische Eingriffe simuliert werden. So können ÄrztInnen in Ausbildung Operationen trainieren, bevor sie an realen PatientInnen durchgeführt werden. Mittlerweile gibt es bereits sehr viele Simulatoren. So können beispielsweise Laparoskopien, [5, 13, 14] Neurochirurgien [5], Echokardiografien, [5], das Einführen nasogastraler Sonden [1], Nadelbiopsien bei Tumoren [4], Krebschirurgien [8], Endoskopien [14] und Hals-, Nasen- und Ohrenoperationen [11] [10] simuliert werden.

### 5.1 Virtuelle Trainingsumgebungen

Zur Simulation von Operationen und als Training werden virtuelle Trainingsumgebungen geschaffen, um die unterschiedlichen Zielgebiete zu simulieren.

#### 5.1.1 Laparoskopie

Laparoskopien<sup>18</sup> sind minimalinvasiv, es werden nur kleine Hautschnitte gemacht. Mit einer an einem Schlauch befestigten Kamera wird das zu operierende Areal untersucht und unter Kamerasicht operiert. Laparoskopien sind optimal zu simulieren, da nur die Außenseite der PatientInnen real sind und die Kamera und die Haptik simuliert werden können.

Der ProMIS ist ein Simulator für Bauchspiegelungen. Er besteht aus einem Bauch, Instrumenten, die in den Bauch eingeführt werden können, und einem Monitor. Zusätzlich verfügt er über ein Instrumentenverfolgungssystem, das die Bewegungen der Instrumente erfasst, während realistisches haptisches Feedback gegeben wird. Er zeichnet Zeit, Weglänge und Gleichmäßigkeit der

<sup>16</sup> radiologische Darstellung von Gefäßen

<sup>17</sup> Untersuchungen mittels Ultraschall

<sup>18</sup> Bauchspiegelungen

Bewegungen auf. In mehreren Studien wurden laparoskopische Aufgaben wie Navigation, Positionierung von Objekten, Nähen, Knüpfen von Knoten und scharfe Dissektionen<sup>19</sup> erfasst.

Botden et al. konnten mittels Fragebogen unter erfahrenen ChirurgInnen bestätigen, dass ProMIS als sehr realistisch und als nützliches Trainingsgerät mit guter Haptik gilt. Zusätzlich konnte ProMIS mithilfe seiner Parameter erfolgreich zwischen unerfahrenen und erfahrenen LaparoskopikerInnen unterscheiden. Dabei wurden sie einer Nahtaufgabe unterzogen, bei dieser ExpertInnen deutlich besser abschnitten als MedizinstudentInnen. [5]



■ **Abbildung 2** Der CAE ProMIS Simulator für Laparoskopien [6]@articlearticle, author = Dehabadi, Mohammad and Fernando, Bimbi and Berlingieri, Pasquale, year = 2014, month = 11, pages = , title = 0096 The Use Of Simulation In The Acquisition Of Laparoscopic Suturing Skills, volume = 12, journal = International Journal of Surgery, doi = 10.1016/j.ijisu.2014.01.022

#### 5.1.2 Neurochirurgie

Die Neurochirurgie befasst sich mit der Behandlung von Erkrankungen von Gehirn, Rückenmark, Nerven und den umgebenden Strukturen einschließlich der Wirbelsäule.

Die Perk station ist eine Trainingsplattform für Eingriffe, die auf Unterstützung von Bildern angewiesen sind. Es gibt auch hier ein Phantom, an dem simulierte Eingriffe vorgenommen werden, jedoch funktioniert diese Simulation mit 2-D Bildüberlagerung, bei dem das Bild von einem LCD Display auf einen Spiegel reflektiert wird, der so über dem Phantom platziert ist, dass bei dem Blick auf das Phantom der Spiegel zwischen Auge und Phantom die Realität

<sup>19</sup> Schnitt mit scharfen Instrumenten, zB. Skalpell

des Phantoms simuliert. Die Perk station misst die Gesamteingriffszeit, die Zeit im Phantom, die Weglänge, potenzielle Gewebsschäden und in-plane<sup>20</sup> und out-of-plane<sup>21</sup> Abweichungen. Trainiert wurden mit der Perk station Facetteninfiltration<sup>22</sup> und Lumbalpunktionen. Beide verabreichen Spritzen in unterschiedliche Stellen der Wirbelsäule. In einer Studie konnte gezeigt werden, dass mit der Perk station trainierte Ärzte eine signifikant höhere Erfolgsrate bei Facetteninfiltrationen aufweisen konnten als die Kontrollgruppe. Auch die potenziellen Gewebsschäden waren geringer. Bei den Lumbalpunktionen konnten mit der perk station kürzere Distanzen, eine kürze Nadeleinstichzeit und weniger Gewebsschäden nachgewiesen werden. [5]

Mittlerweile können mit dem schon im Absatz 4.2 beschriebenen Immersive Touch auch Operationen vorgeplant werden. Das 3-D Modell wird so manipuliert, wie es in der geplanten Operation auch erfolgen soll. Immersive Touch kann zum Training des Clippings von Aneurysmen<sup>23</sup> und der Trigeminiusrhizotomie<sup>24</sup> verwendet werden.

In einer Studie wurde es zum Clippen von Aneurysmen<sup>25</sup> überwiegend als nützliches Lehrmittel empfunden und 71% der StudienteilnehmerInnen waren der Meinung, dass der Immersive Touch dabei helfen würde, den richtigen Zugang zum Aneurysma zu finden.

Das Training der Rhizotomie des Trigeminus wies in einer anderen Studie eine geringere Entfernung vom idealen Eintrittspunkt, eine kürzere Entfernung vom Ziel und eine höhere Endpunktzahl auf. [5]

Auch in der Behandlung von Hydrocephali<sup>26</sup> mittels Ventrikulostomie<sup>28</sup> wurde der Immersive Touch untersucht. Lehrkräfte der Neurochirurgie, AssistenzärztInnen und MedizinstudentInnen befanden, dass das System realistische visuelle, taktile und Handhabungseigenschaften aufweist. [3]

### 5.1.3 Echokardiografie

Echokardiografie beschreibt die Untersuchung des Herzens mittels Ultraschall. Dadurch können Dimensionen der Kammern und Vorhöfe, die Funktion der

<sup>20</sup> Genauigkeit innerhalb des beabsichtigten Pfades

<sup>21</sup> Abweichungen außerhalb des beabsichtigten Pfades

<sup>22</sup> Injektion lokal wirksamer Arzneistoffe in unmittelbarer Nähe zu den Facettengelenken und in die Gelenkkapsel zur Schmerzreduktion bzw. zum Rückgang der Entzündung.

<sup>23</sup> Aufweitung der Wand eines Blutgefäßes oder der Herzwand

<sup>24</sup> Durchtrennung des Trigeminus Hirnnervs bei Neuralgie

<sup>25</sup> Verschließen der Basis des Aneurysmas. Es wird so von der Blutzirkulation abgetrennt, was zur Verödung des Aneurysmas führt.

<sup>26</sup> Erweiterung der inneren beziehungsweise äußeren Liquorräume<sup>27</sup>

<sup>28</sup> Anlage eines alternativen Abflussweges aus dem Hirnwasserkammersystem in die das Gehirn umgebenden Zisternen

Herzklappen und die allgemeine Pumpleistung des Herzens beurteilt werden.

Der CAE VIMEXDIX TM besteht aus einem Monitor, einem simulierten Ultraschallgerät und einer Puppe. Das Ultraschallgerät liefert Positions- und Orientierungsdaten, die dazu verwendet werden, passende Bildgebung in Relation zur Puppe am Monitor abzubilden. Mit dem CAE VIMEDIX TM können transthorakale Echokardiografie<sup>29</sup> (TTE) und tranösophageale Echokardiografie<sup>30</sup> (TOE) trainiert werden.

In einem Fragebogen gaben ca. 90% der AssistenzärztInnen für Kardiologie und StudentInnen der Sonografie an, dass die beiden Simulationen sehr realistisch sind. [5]

Das Echo Com besteht genau wie der CAE VIMEDIX TM aus einem Monitor, einem simulierten Ultraschallgerät und einer Puppe. Er soll zum Training der Erkennung von angeborenen Herzkrankheiten verwendet werden. In einer Studie von Weidenbach et al. wurde der Simulator von Fortgeschrittenen und Anfängern genutzt. Die diagnostische Leistung unterschied sich zwischen den zwei Gruppen signifikant und der Simulator wurde von den Teilnehmern als nützlich eingeschätzt. [5]

## 5.2 Vorteile für Aus- und Weiterbildung

Mit den angeführten Trainingsmöglichkeiten können AnfängerInnen in der Medizin in einem sicheren Umfeld üben. Hier können Fehler verziehen und Simulationen wiederholt werden. Spezielle Fähigkeiten, die normalerweise nur mit langjähriger Erfahrung, beispielsweise weil die Operationen selten sind, erreicht werden können, können hier erworben werden. Auch können schwierige Operationen nicht nur von ExpertInnen, sondern auch von AnfängerInnen trainiert werden. [8] Das schafft die Möglichkeit, ExpertInnen für bestimmte Operationen zu schaffen, obwohl sie noch nicht viel Erfahrung haben. Durch diese geschützte Umgebung, in der gelernt wird, wird die PatientInnensicherheit erhöht und mögliche Fehler bei realen Operationen minimiert.

## 6 Positive Auswirkungen auf Patienten und Personal

Die Anwendung der angeführten Entwicklungen in der Medizin haben viele verschiedene positive Auswirkungen.

Kosten können gespart werden, weil bei den Trainingsumgebungen keine Aufsichtspersonen anwesend sein müssen, im Gegensatz zu den realen Opera-

<sup>29</sup> Echokardiographie, bei der der Schallkopf außen auf den Brustkorb aufgesetzt wird und die Schallwellen die Wand des Brustkorbes passieren

<sup>30</sup> Echokardiographie, bei der der Schallkopf mit einem Echoskop über die Speiseröhre in die Nähe des Herzens gebracht wird

tionen, bei denen ÄrztInnen in Ausbildungen zum ersten Mal eine spezifische Operation durchführen. Auch die geringeren chirurgischen Fehler wirken sich kostensparend aus.

Durch geringere Fehler haben PatientInnen weniger Krankenhausbesuche und allgemein bessere Outcomes. [18]

Im Bezug auf das Schmerzmanagement konnte gezeigt werden, dass sich Kinder weniger nervös und ruhiger verhalten. [9]

Mittels virtuellem Schmerzmanagement werden auch medizinische Fachkräfte entlastet und PatientInnen erfahren geringere Nebenwirkungen. Auch Opiatkrisen kann damit vorgebeugt werden, welche PatientInnen und Personal belasten.

Mittels verbesserter Bildgebungsverfahren können Diagnosestellungen vereinfacht und verbessert werden.

## 7 Fazit

In den vorliegenden Entwicklungen der Anwendungen von AR und VR im medizinischen Bereich liegt viel Potenzial.

Das medizinische Training ist ein wichtiges Instrument, um angehende ÄrztInnen praxisnah und mit erhöhter Sicherheit für PatientInnen auf Operationen und Diagnosen vorzubereiten. Das Schmerzmanagement profitiert erheblich von der Anwendung virtueller Realität. Die Möglichkeit, akute und chronische Schmerzen mithilfe von VR zu lindern, eröffnet neue Wege jenseits herkömmlicher Analgesie-Methoden, so können beispielsweise Abhängigkeitsrisiken umgangen werden. Die direkte Abbildung von MRT oder CT auf PatientInnen, virtuelle Röntgen-Simulationen und interaktive 3-D-Modelle bieten ÄrztInnen eine erweiterte Perspektive, um präzisere Diagnosen zu stellen. Dies trägt zu einem umfassenderen Verständnis von anatomischen Strukturen und potenziellen Krankheitsbildern bei.

AR und VR in der Medizin bieten einen vielversprechenden Ausblick für zukünftige Entwicklungen. Diese Anwendungen könnten den Weg zu einer fortschrittlicheren und patientInnenorientierteren Gesundheitsversorgung bereiten.

## Literatur

- Michelle Aebersold, Terri Voepel-Lewis, Leila Cherara, Monica Weber, Christina Khouri, Robert Levine, and Alan R. Tait. Interactive anatomy-augmented virtual simulation training. *Clinical Simulation in Nursing*, 15:34–41, 2018. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876139917301263>, doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecns.2017.09.008>.
- Naseem Ahmadpour, Hayden Randall, Harsham Choksi, Antony Gao, Christopher Vaughan, and Philip Poronnik. Virtual reality interventions for acute and chronic pain management. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 114:105568, 2019. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1357272519301451>, doi:<https://doi.org/10.1016/j.biocel.2019.105568>.
- Ali Alaraj, Fady Charbel, Daniel Birk, Mathew Tobin, Cristian Luciano, Pat Banerjee, Silvio Rizzi, Jeff Sorenson, Kevin Foley, Konstantin Slavin, and Ben Roitberg. Role of cranial and spinal virtual and augmented reality simulation using immersive touch modules in neurosurgical training. *Neurosurgery*, 72:A115–A123, 11 2013. doi:10.1227/NEU.0b013e3182753093.
- Ronald T. Azuma. A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4):355–385, 08 1997. arXiv:<https://direct.mit.edu/pvar/article-pdf/6/4/355/1623026/pres.1997.6.4.355.pdf>, doi:10.1162/pres.1997.6.4.355.
- E. Barsom, Maurits Graafland, and Marlies Schijven. Systematic review on the effectiveness of augmented reality applications in medical training. *Surgical Endoscopy*, 30, 10 2016. doi:10.1007/s00464-016-4800-6.
- Mohammad Dehabadi, Bimbi Fernando, and Pasquale Berlingieri. 0096 the use of simulation in the acquisition of laparoscopic suturing skills. *International Journal of Surgery*, 12, 11 2014. doi:10.1016/j.ijvs.2014.01.022.
- Anita Gupta, Kevin Scott, and Matthew Dukewich. Innovative technology using virtual reality in the treatment of pain: Does it reduce pain via distraction, or is there more to it? *Pain medicine (Malden, Mass.)*, 19, 08 2017. doi:10.1093/pm/pnx109.
- T.M. Lewis, R. Aggarwal, N. Rajarethnam, T.P. Grantcharov, and A. Darzi. Training in surgical oncology – the role of vr simulation. *Surgical Oncology*, 20(3):134–139, 2011. Special Issue: Education for Cancer Surgeons. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960740411000363>, doi:<https://doi.org/10.1016/j.suronc.2011.04.005>.
- Angela Li, Zorash Montaño, Vincent Chen, and Jeffrey Gold. Virtual reality and pain management: Current trends and future directions. *Pain management*, 1:147–157, 03 2011. doi:10.2217/pmt.10.15.
- Christian Moro, Zane Stromberga, Athanasios Raikos, and Allan Stirling. The effectiveness of virtual and augmented reality in health sciences and medical anatomy. *Anatomical Sciences Education*, 10, 04 2017. doi:10.1002/ase.1696.
- Patorn Piroomchai, Alex Avery, Malinee Laopaiboon, Gregor Kennedy, and Stephen O’Leary. Virtual reality training for improving the skills needed for performing surgery of the ear, nose or throat. *The Cochrane database of systematic reviews*, 9:CD010198, 09 2015. doi:10.1002/14651858.CD010198.pub2.

- 12 Ali Pourmand, Steven Davis, Alex Marchak, Tess Whiteside, and Neal Sikka. Virtual reality as a clinical tool for pain management. *Current Pain and Headache Reports*, 22, 06 2018. doi:10.1007/s11916-018-0708-2.
- 13 Mahnaz Samadbeik, Donya Yaaghobi, Peivand Bastani, Shahabeddin Abhari, Rita Rezaee, and Ali Garavand. The applications of virtual reality technology in medical groups teaching. *Journal of advances in medical education & professionalism*, 6(3):123–129, July 2018. URL: <https://europepmc.org/articles/PMC6039818>.
- 14 Neal Seymour. Vr to or: A review of the evidence that virtual reality simulation improves operating room performance. *World journal of surgery*, 32:182–8, 03 2008. doi:10.1007/s00268-007-9307-9.
- 15 Brennan Spiegel. Virtual medicine: how virtual reality is easing pain, calming nerves and improving health. *The Medical Journal of Australia*, 209:1, 05 2018. doi:10.5694/mja17.00540.
- 16 Andrei State, David Chen, Chris Tector, Andrew Brandt, Hong Chen, Ryutarou Ohbuchi, Mike Bajura, and Henry Fuchs. Case study: Observing a volume rendered fetus within a pregnant patient. 09 1995.
- 17 Justin Sutherland, Jason Belec, Adnan Sheikh, Leonid Chepelev, Waleed Althobaity, Benjamin Chow, Dimitrios Mitsouras, Andy Christensen, Frank Rybicki, and Daniel La Russa. Applying modern virtual and augmented reality technologies to medical images and models. *Journal of Digital Imaging*, 32, 09 2018. doi:10.1007/s10278-018-0122-7.
- 18 Andy Wai Kan Yeung, Anela Tosevska, Elisabeth Klager, Fabian Eibensteiner, Daniel Laxar, Jivko Stoyanov, Marija Glisic, Sebastian Zeiner, Stefan Kulnik, Rik Crutzen, Oliver Kimberger, M. Kletecka-Pulker, Atanas Atanasov, and Harald Willschke. Virtual and augmented reality applications in medicine: Analysis of the scientific literature. *Journal of Medical Internet Research*, 23:e25499, 02 2021. doi:10.2196/25499.

# Mixed Reality in der Ausbildung: Innovation für die Zukunft des Lernens

Tobias Beiser

Universität Innsbruck, Innsbruck, Österreich  
tobias.beiser@student.uibk.ac.at

## Zusammenfassung

Mixed Reality (MR) findet immer mehr Anwendungen im Bildungsbereich und hilft Schülern und Studenten dabei, komplexe und abstrakte Konzepte schneller und besser zu verstehen als herkömmliche Methoden. Besonders im Bereich der Medizin und Physik treten MR-Methoden in den Vordergrund, da sie in diesen Fächern den Lernprozess immens fördern. Risikofreie und realistische OP-Simulationen, sowie interaktive Anatomie-Modelle revolutionieren das Medizinstudium. In der Physik können komplexe Konzepte interaktiver gelernt und Experimente übersichtlicher und verständlicher gestaltet werden. Auch in anderen Unterrichtsfächern hilft MR dabei, den Unterricht interessanter zu gestalten und fördert so die aktive Teilnahme und das Selbstwertgefühl der Schüler/Studierenden. Auch wenn es noch einige technologische und pädagogische Herausforderungen bei der großflächigen Adaptierung von Mixed Reality in Bildungseinrichtungen gibt, so hat diese Technologie das Potenzial unser aktuelles Bildungssystem neu zu definieren.

2012 ACM Computing Classification General Literature, Education, Virtual Learning Environments, Collaborative Learning

**Keywords and phrases** Mixed Reality, Ausbildung, Simulationen, Virtuelle Labore, Interaktives Lernen, Technologie in der Bildung

## 1 Einleitung

Die fortschreitende Digitalisierung hat viele Lebensbereiche drastisch verändert, darunter auch die Bildung. Eine Entwicklung, die in diesem Kontext besonders hervorsteht, ist die Integration von Mixed Reality in Bildungsprozesse. Mixed Reality vereint die reale und virtuelle Welt, eröffnet somit neue Möglichkeiten für immersive Lernerfahrungen und prägt die Zukunft des Lernens. Diese Seminararbeit widmet sich der eingehenden Untersuchung dieses innovativen Ansatzes und beleuchtet seine Bedeutung, Anwendungen, Erfolge, Herausforderungen und Zukunftsaussichten in Bildungseinrichtungen.



© Tobias Beiser;  
licensed under Creative Commons License CC-BY

Cite as: Tobias Beiser. Mixed Reality in der Ausbildung: Innovation für die Zukunft des Lernens. In *2nd Seminar on on Cross-Reality Interaction (XR-I 2024)*. Editors: Pascal Knierim. February 02, 2024. Innsbruck, Austria. pp. 9:1–9:12.

## 9:2 MR in der Ausbildung: Zukunft des Lernens

### 1.1 Hintergrund

Traditionelle Lehrmethoden stoßen oft an ihre Grenzen, da die heutigen Ausbildungen vielfältige Anforderungen und Erwartungen haben. Die Einführung von Mixed Reality in der Ausbildung führt zu einer interaktiver und immersiver Lernumgebung. Der Einsatz von holografischen Elementen und virtuellen Simulationen eröffnet neue Dimensionen des Lernens, die über herkömmliche Lehrmethoden hinausgehen.

### 1.2 Zielsetzung der Arbeit

Das Hauptziel dieser Arbeit besteht darin, einen umfassenden Einblick in die Anwendung von Mixed Reality in der Ausbildung zu geben. Es sollen nicht nur die technologischen Aspekte beleuchtet werden, sondern auch die pädagogischen Implikationen und die Auswirkungen auf den Lernerfolg. Durch die Analyse von Erfolgsbeispielen und die Auseinandersetzung mit Herausforderungen sollen fundierte Schlussfolgerungen für die zukünftige Entwicklung dieses vielversprechenden Bildungsansatzes gezogen werden.

## 2 Mixed Reality in der Ausbildung: Eine Übersicht

Realität wird als Spektrum zwischen der vollständig virtuellen und vollständig physikalischen Welt dargestellt (Abbildung 1) [8]. Dieses Spektrum wird auch öfters als Extended Reality (XR) bezeichnet und beinhaltet drei wichtige Begriffe: Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR) und Mixed Reality (MR). Es ist wichtig zu beachten, dass durch aktuelle Forschungen und Entwicklungen in diesem Bereich die Grenzen zwischen diesen Begriffen immer unklarer werden.

### 2.1 Augmented Reality

AR zielt speziell darauf ab, die reale Welt mithilfe von AR-Technologien (Handys, Tablets, Brillen, Headsets, etc.) mit virtuellen Elementen zu überlagern. [7, 12].

### 2.2 Virtual Reality

VR konzentriert sich darauf, den Anwender vollständig mit einer virtuellen Welt zu umgeben und diesen von der realen Welt zu isolieren (Abbildung 1) [7, 12].

## 2.3 Mixed Reality

Als Mixed Reality bezeichnet man den Bereich zwischen der realen und virtuellen Welt (VR). MR zielt darauf ab, AR und VR miteinander zu verschmelzen. Ähnlich zu AR werden auch hier virtuelle Elemente mit der realen Welt überlagert, jedoch mit dem Unterschied, dass der Benutzer diese Elemente nicht nur sehen kann, sondern auch physisch und mental mit ihnen interagieren, bzw. sie manipulieren kann. Es sind diese Interaktionen, die MR und AR voneinander unterscheiden [7]. Auch die Interaktion zwischen virtuellen und realen Objekten ist mithilfe von MR möglich [12]

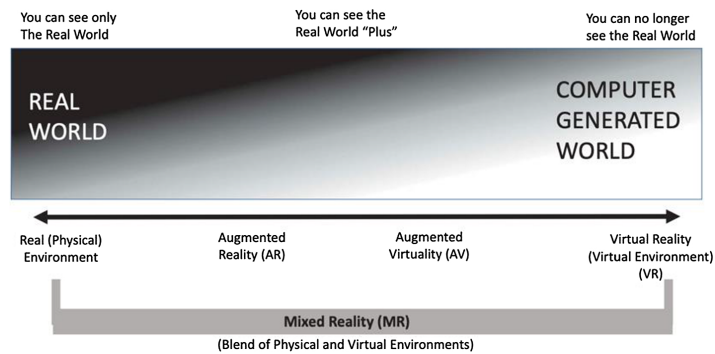


Abbildung 1 Bereiche von AR, MR und VR auf dem XR-Spektrum [7]

## 3 Geschichte und aktueller Stand von MR in der Ausbildung

VR-Brillen oder andere Arten von "Head-Mounted Displays" (HMD), die oft mit Kopfhörern verwendet werden, können leicht das Gefühl erzeugen, tatsächlich in der simulierten Welt zu sein. Für eine vollständige Immersion in eine virtuelle Welt sollten alle fünf unserer Sinne involviert sein. Dennoch gehen die meisten VR-Umgebungen heute tatsächlich nicht auf alle Sinne ein, sondern konzentrieren sich in der Regel auf zwei: Sehen und Hören.

In der Vergangenheit gab es erhebliche Schwierigkeiten bei der Verwendung von HMDs oder ähnlichen Technologien. Einerseits waren diese technologischen Geräte nicht weit verbreitet und waren in der Regel sehr teuer. Andererseits waren ihre Eigenschaften so, dass sie oft ein Abstoßungsgefühl bei den Benutzern hervorrufen konnten, aufgrund von Unstimmigkeiten zwischen den Kopfbewegungen und der entsprechenden Änderung in der Szene. Heutzutage bieten

moderne kommerzielle Produkte wie Oculus Rift eine gute virtuelle Simulation zu einem fairen Preis, während andere leistbare Produkte in Untersuchung sind, was den Einsatz solcher Systeme auch in Bildungseinrichtungen realistischer macht. Darüber hinaus kann die Technologie nun Systeme mit geringer Latenz und präziser Bewegungsverfolgung bieten, was die Benutzerfreundlichkeit für den Anwender verbessert. [4]

MR/VR wird im Allgemeinen im Bereich Bildung weit verbreitet eingesetzt, aufgrund seiner Potenziale zur Förderung von Interaktivität und Motivation. Darüber hinaus bietet es eine ideale Möglichkeit, sich neuem Wissen zu nähern, es zu studieren und zu behalten, für all jene, die einen visuellen, auditiven oder kinästhetischen Lernstil bevorzugen. [4]

## 4 Anwendungen von Mixed Reality in der Ausbildung

In der modernen Bildungswelt revolutioniert MR das Lernen durch immersive und interaktive Lernmethoden. Besonders in der Medizin und Physik gibt es eine Vielzahl von Anwendungen, welche traditionelle Lernmethoden ergänzen oder sogar ersetzen können.

### 4.1 Medizin

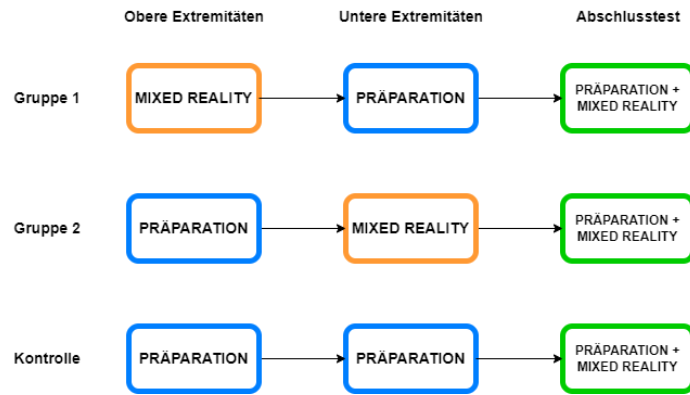
In der medizinischen Ausbildung kann MR eine transformative Rolle spielen, insbesondere in der Anatomie und der Operationspraxis.

#### 4.1.1 Virtuelle Anatomie

In der Medizin ist die Anatomie ein grundlegendes Fach. Um Ärzte und andere medizinische Fachkräfte auf ihre Arbeit vorzubereiten, ist es wichtig, dass sie ein umfassendes Verständnis der menschlichen Anatomie haben. Traditionell wird dies durch Präparation vermittelt. Dabei werden menschliche Leichen zerlegt und die einzelnen anatomischen Strukturen untersucht.

Der Präparierkurs ist eine effektive Methode, um Anatomie zu lernen. Sie bietet den Studierenden die Möglichkeit, die Strukturen aus nächster Nähe zu betrachten und zu berühren. Allerdings ist das Präparieren auch ein kostspieliger und zeitaufwändiger Prozess, bei dem ein falscher Schnitt die Leiche unbrauchbar machen könnte.

Mixed Reality bietet eine neue Möglichkeit, Anatomie zu lernen. Eine Studie von Stojanovska et al. (2019) hat die Wirksamkeit von MR für den Anatomieunterricht untersucht. In dieser Studie wurden 120 Medizinstudenten in drei Gruppen unterteilt. Eine Gruppe lernte den menschlichen Körper anhand der traditionellen Präparation kennen, die beiden andere in einer MR Umgebung mithilfe einer Microsoft HoloLens-Brille. Die Brille projizierte ein



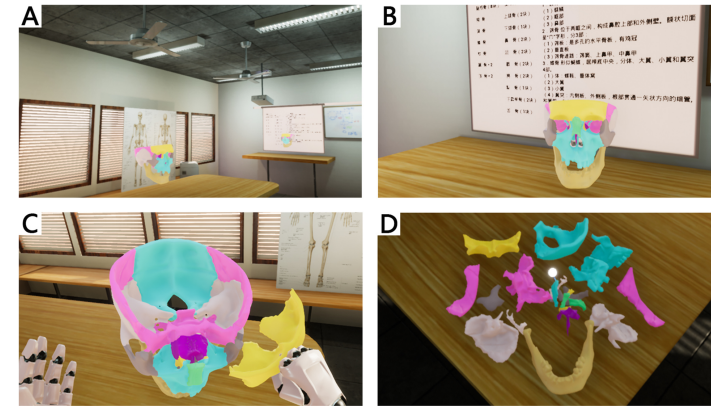
■ **Abbildung 2** Gruppeneinteilung und Ablauf der Studie von Stojanovska et al. (2019)

dreidimensionales Bild der Anatomie in den Raum, welches die Studierenden mit ihren Händen manipulieren konnte. Die beiden MR Gruppen lernten jeweils einen Teil der menschlichen Extremitäten in MR und den anderen Teil an einem menschlichen Körper kennen. Am Ende des Kurses wurden alle drei Gruppen den selben beiden Tests unterzogen, von denen einer virtuell und der andere an einem echten Körper abgehalten wurde (Abbildung 2).

Die Ergebnisse der Prüfungen zeigten, dass die Studierenden in beiden Gruppen gleich gut abgeschnitten haben. Allerdings wurde in der Studie festgestellt, dass die MR Gruppen weniger Zeit benötigten um den Stoff zu lernen. Die Kontrollgruppe verbrachte 12h im Präparierkurs, während die MR Gruppen jeweils 6h im Kurs und 3.6h in der MR Umgebung verbrachten. [10].

Eine weitere Studie untersuchte die Wirksamkeit von MR beim Lernen der Schädelanatomie. In dieser Studie wurden 73 Medizinstudenten in drei Gruppen unterteilt: eine VR-Gruppe (Abbildung 3), eine Atlasgruppe und eine Präparier-Gruppe. Die Studierenden erhielten auch in dieser Studie alle den gleichen Lehrplan, welcher sich auf die Schädelanatomie konzentrierte.

Die Studierenden in allen drei Gruppen absolvierten vor- und nachbereitende Tests, die aus einem Theorietest und einem Identifikationstest bestanden. Der Theorietest bestand aus 18 Multiple-Choice-Fragen, und der Identifikationstest bestand aus 25 Freitextfragen. Die Ergebnisse zeigten, dass die VR-Gruppe in dem Nachtest gleich abschnitt, wie die Kadaver- und Atlasgruppen. Die VR-Gruppe gab positiveres Feedback zu ihren Lernmodellen als die Präparier-Gruppe [2].



■ **Abbildung 3** Virtuelles Klassenzimmer mit dem Schädel Lernmodell [2]

MR ist somit eine praktikable Alternative zur traditionellen Präparation für den Anatomieunterricht und bringt eine Reihe von Vorteilen mit sich:

- **Effektivität:** mithilfe von MR können anatomische Strukturen isoliert in einem dreidimensionalen Raum betrachtet werden. Dies kann das Verständnis verbessern und die Lernzeit verkürzen
- **Fehler:** MR bietet eine lern-freundlichere Umgebung als die bisherige Präparation
- **Annehmlichkeit:** MR ist für die Studierenden angenehmer als die traditionelle Präparation. Dies kann die Motivation der Studierenden erhöhen.

#### 4.1.2 Simulation von Operationen

Die Simulation von Operationen mithilfe von MR ist ein innovatives und vielversprechendes Konzept in der medizinischen Ausbildung. Diese Technologien bieten eine Reihe von Vorteilen gegenüber traditionellen Ausbildungsmethoden, wie zum Beispiel:

- **Sicherheit:** Simulationen ermöglichen es Auszubildenden, chirurgische Eingriffe in einer sicheren und risikofreien Umgebung zu üben.
- **Realismus:** Simulationen können ein sehr realistisches und immersives Lernerlebnis bieten, das Auszubildenden hilft, die komplexen Anforderungen chirurgischer Eingriffe besser zu verstehen.
- **Interaktivität:** Simulationen können interaktiv gestaltet werden, um Auszubildenden die Möglichkeit zu geben, ihre Fähigkeiten und Kenntnisse



zu testen und zu verbessern.

- **Feedback:** Simulationen können Feedback zu den Leistungen von Auszubildenden liefern, um ihnen dabei zu helfen, ihre Fehler zu identifizieren und zu korrigieren.

In diesem Bereich ist die Technologie jedoch noch nicht ganz ausgereift. Haptisches Feedback bleibt ein entscheidendes fehlendes Element in den meisten Simulationen. Den Simulationen selbst fehlt es momentan noch an Realismus in Bezug auf Aussehen und Interaktion [6].

## 4.2 Physik

Auch in der physikalischen Ausbildung kann MR das Verständnis von abstrakten Konzepten fördern und das Lernen erleichtern.

### 4.2.1 Aktives Lernen

MR-Umgebungen zeigen vor allem im Bereich der Physik Verbesserungen der Lernergebnisse im Vergleich zu traditionellen Lehrmethoden, welche auf Texten bzw. Bildern beruhen. In einer Studie von 2017 wurden 60 Studenten in vier Lerngruppen unterteilt:

- **Texte und Bilder:** Die Teilnehmer erhielten schriftliche und Erklärungen und Bilder von physikalischen Konzepten.
- **Gesten:** Den Teilnehmern wurden Gesten zur Erklärung von Konzepten bereitgestellt, welche zusätzlich beim Lesen der Erklärungen verwendet werden sollten.
- **Bewegungserfassung:** Den Teilnehmern wurden Bewegungssensoren angelegt, um mit einer virtuellen Darstellung physikalischer Konzepte zu interagieren.
- **Tablet:** Diese Gruppe verwendete ein Tablet, um virtuelle Objekte zu manipulieren und mit einer MR-Umgebung zu interagieren.

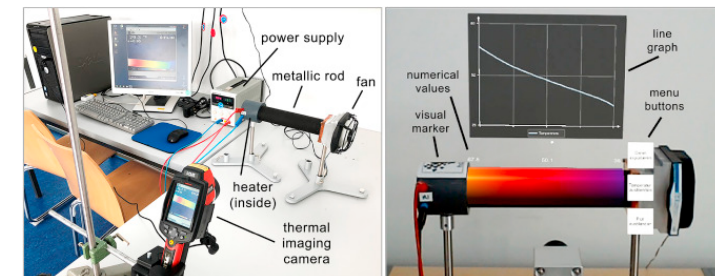
Nach Abschluss der Bildungsmaterialien wurden die Teilnehmer anhand ihres Wissens über die gelernten Konzepte beurteilt. Die Ergebnisse zeigten, dass die drei Gruppen mit einem aktiveren Lernstil (Gesten, Bewegungserfassung, Tablet) bei der Wissensbeurteilung deutlich besser abschnitten als die Gruppe mit traditionelleren Unterlagen.

Es wird vermutet, dass die Wirksamkeit des körperlichen Lernens in diesem Kontext auf der gleichzeitigen Aktivierung mehrerer kognitiver Prozesse beruht. Wenn Schüler Gesten ausführen, die physikalischen Konzepten entsprechen, aktivieren sie ihr sensorisch-motorisches System, das das Verständnis und das Behalten von Konzepten erleichtern kann. Darüber hinaus kann die immersive und interaktive Natur von MR-Umgebungen das Lernen weiter verbessern, indem sie eine ansprechendere und einprägsamere Lernerfahrung bietet. [5]

### 4.2.2 MR-Unterstützte Experimente

Laborexperimente bringen eine neue Art des Lernens in das Klassenzimmer, jedoch sind Lernerfolge nicht garantiert. Eine Ursache hierfür ist wahrscheinlich, dass es Schülern meist nicht gelingt, den Zusammenhang zwischen den physischen Experimenten und den theoretischen, wissenschaftlichen Hintergründen zu verstehen. Hierfür können MR-Technologien verwendet werden, um diese Zusammenhänge visuell besser darzustellen und zu unterstützen. Zusätzlich kann MR dabei helfen, Messungen in Experimenten zu vereinfachen, da diese meistens aus mehreren Messgeräten, welche wiederum ihre eigenen Komplikationen haben (verschiedene Displays, Einheiten, Verzögerungen). Mithilfe von MR können die relevanten Messwerte besser visualisiert werden und somit den Studierenden dabei helfen, das Experiment in die richtige Richtung zu lenken.

Eine Studie untersuchte die Auswirkungen von MR auf das Verständnis des Konzepts der Wärmeleitung. Dabei wurden Studenten in zwei Gruppen unterteilt. Eine der beiden Gruppen führte das Experiment auf traditionelle Weise durch, die andere bekam MR-Brillen, welche das traditionelle Experiment erweitern (Abbildung 4).



■ **Abbildung 4** Links: Traditionelle Einrichtung mit einer von Hand gehaltenen Wärmebildkamera vorne und einem Monitor im Hintergrund; rechts: angepasste Einrichtung (Ansicht durch eine Smartbrille mit stationärer Wärmebildkamera vorne). [11]

Beim anschließenden Test hatte die MR Gruppe ein deutlich besseres Verständnis und weniger kognitive Belastung während des Experiments als die traditionelle Gruppe. Der Lernunterschied kann durch folgende Punkten erklärt werden:

- **Verbesserte Visualisierung:** MR ermöglichte es den Studierenden, die Temperaturverteilung entlang eines erhitzten Metallrohrs in Echtzeit zu sehen, was eine lebendigere und verständlichere Darstellung des Konzepts der Wärmeleitung lieferte.

- **Interaktive Erkundung:** MR ermöglichte es den Studierenden, das Modell des erhitzten Metallrohrs zu manipulieren und die Änderungen der Temperaturverteilung zu beobachten, was aktives Engagement und Lernen förderte.
- **Kontextualisierung:** MR ermöglichte es den Studierenden, virtuelle Informationen auf den realen Versuchsaufbau zu überlagern, was ihnen half, abstrakte Konzepte mit physikalischen Phänomenen zu integrieren.

Mithilfe von MR-Experimenten fällt es Studenten leichter, einen günstigen Ausgang des Experiments zu erzielen und auch den Zusammenhang mit den theoretischen Hintergründen zu erkennen und verstehen [11].

## 5 Weitere Erfolge und Fallstudien

Eine Studie von Melanie J. Maas und Janette M. Hughes untersuchte die Anwendung und Ergebnisse von MR in verschiedensten Schulstufen. Hierbei wurde festgestellt, dass sich die Einstellung der Schüler gegenüber dem Lernen deutlich verbesserte. Schüler, die haptische Geräte und AR-Minispiele nutzen, bevorzugen das Lernen durch AR im Vergleich zum traditionellen Unterricht. Mittelschüler in einer MR-Umgebung zeigen positive Einstellungen zum Lernen und empfinden Spiele in dieser Umgebung als hilfreich. Die Anwendung von MR im Unterricht führte außerdem zu einem gesteigerten Selbstwertgefühl und zu einem höheren Interesse an naturwissenschaftlichen Fächern [7].

Eine weitere Studie betont, dass sowohl MR als auch VR sichere und geeignete Technologien für das Lernen sind, neue Lehransätze ermöglichen und sich an bestehende Kurse anpassen lassen. Vor allem im Distance-Learning steigern diese Technologien das Engagement der Schüler. XRs bieten zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten, da virtuelle Umgebungen realistisch simuliert werden können und den Zugang zu Lernmaterialien ermöglichen, die sonst nicht verfügbar wären. Dies eröffnet immersive und praxisnahe Lernansätze für Lehrende und Lernende [1].

Zudem analysierten weitere Studien mithilfe von Vor- und Nachtests, Interviews und Fragebögen die Veränderung der Lernerfolge durch MR. Im Fach Geografie und Erdkunde führte der Einsatz von AR zu einem Anstieg der korrekt beantworteten Fragen. Andere Studien zeigten in den Bereichen "Bakterienlernen" oder Vermittlung von Vokabeln keine bedeutende Veränderung der Lernerfolge. Trotz Bedenken hinsichtlich der Neuheit der Technologie zeigten Schüler in VR-Umgebungen insgesamt bessere Lernergebnisse. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass MR das Verständnis für physikalische Konzepte verbessern kann, insbesondere in spezifischen Bereichen wie Weltraumphysik. Die Nutzung von MR führte zu signifikanten Leistungssteigerungen bei als "gefährdet" geltenden Schülern [7].

## 6 Herausforderungen und Zukunftsaussichten

### 6.1 Kosten

Die Kosten zweifellos eine bedeutende Herausforderung für die umfassende Integration von Mixed Reality (MR) im Bildungsbereich. Die Anschaffungskosten von Headsets und die Lizenzgebühren für entsprechende Lernprogramme stellen für viele Bildungseinrichtungen eine finanzielle Hürde dar, die den breiten Einsatz dieser Technologien behindern [11]. Dennoch ist zu beobachten, dass mit fortschreitender Technologieentwicklung und zunehmender Konkurrenz zwischen den Herstellern dieser Headsets, die Kosten tendenziell sinken könnten. Zukünftige Bemühungen sollten darauf abzielen, kosteneffiziente Lösungen zu entwickeln, um den Zugang zu den pädagogischen Vorteilen von MR zu erleichtern und somit innovative Lehr- und Lernansätze zu fördern [3].

### 6.2 Benutzerfreundlichkeit

Ein zusätzlicher Aspekt, der in Bezug auf die Anwendung dieser Technologie im schulischen Umfeld kritisch betrachtet werden muss, bezieht sich auf den Tragekomfort der Headsets. Es wurde festgestellt, dass einige Schüler diese als zu unbequem oder zu schwer empfinden [1]. Zudem fehlt meist das haptische Feedback, welches in manchen Bereichen essenziell ist [6]. Diese Einschränkungen können die Lernfreude und -effektivität beeinträchtigen. Es wird daher dringend empfohlen, dass zukünftige Entwicklungen im Bereich MR verstärkt den Fokus auf die Optimierung des Tragekomforts der Hardware legen [3]. Dies ist von entscheidender Bedeutung, um den Schülern eine angenehmere Lernumgebung zu bieten und somit deren Motivation und Engagement für den Lernprozess zu steigern.

### 6.3 Risiken für Kinder

Immersive Medien haben das Potenzial, die Art und Weise zu revolutionieren, wie Kinder lernen und wachsen. Allerdings gibt es auch Bedenken hinsichtlich Suchtgefahr, unangemessener Inhalte und möglicher Entwicklungsverzögerungen bei ihrer Verwendung. Um diesen Herausforderungen zu begegnen, ist es entscheidend, dass Entwickler, Eltern, Betreuer, Pädagogen und Forscher gemeinsam arbeiten, um sicherzustellen, dass immersive Medien sicher und verantwortungsbewusst zum Wohl der jungen Kinder eingesetzt werden. [9]

## 7 Fazit

Mixed Reality bietet ein sehr großes Potenzial, das Lernen in allen Schulstufen zu verbessern. Auch wenn die Technologie noch jung ist und es einige Ver-

besserungen braucht, bis diese großflächig adaptiert wird, so fördert sie schon jetzt das Verständnis von abstrakten Konzepten, steigert die Motivation der Lernenden und bietet völlig neue Lerninhalte.

Mit der fortschreitenden Technologieentwicklung und zunehmenden Verbreitung von MR-Headsets werden die Kosten für MR-Lernlösungen voraussichtlich sinken und die Benutzerfreundlichkeit wird sich verbessern. Dies wird die Akzeptanz von MR in Bildungseinrichtungen weiter vorantreiben.

Darüber hinaus wird die Forschung an MR-Lernlösungen fortgesetzt, um das Potenzial dieser Technologie weiter zu erschließen. So wird beispielsweise an der Entwicklung von MR-Lernlösungen gearbeitet, die das Lernen in Gruppen und Kollaborationen fördern.

---

#### Literatur

- 1 Devon Alcoat, Tim Hatchard, Freeha Azmat, Kim Stansfield, Derrick Watson, and Adrian von Mühlennen. Education in the digital age: Learning experience in virtual and mixed realities. *Journal of Educational Computing Research*, 59(5):795–816, 2021. doi:10.1177/0735633120985120.
- 2 Shi Chen, Jiawei Zhu, Cheng Cheng, Zhouxian Pan, Lingshan Liu, Jianhua Du, Xinhua Shen, Zhen Shen, Huijuan Zhu, Jihai Liu, et al. Can virtual reality improve traditional anatomy education programmes? a mixed-methods study on the use of a 3d skull model. *BMC medical education*, 20(1):1–10, 2020.
- 3 Nouredine Elmquadem. Augmented reality and virtual reality in education. myth or reality? *International journal of emerging technologies in learning*, 14(3), 2019.
- 4 Laura Freina and Michela Ott. A literature review on immersive virtual reality in education: State of the art and perspectives. 04 2015. doi:10.12753/2066-026X-15-020.
- 5 Mina C. Johnson-Glenberg and Colleen Megowan-Romanowicz. Embodied science and mixed reality: How gesture and motion capture affect physics education. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 2:24, 2017. doi:10.1186/s41235-017-0060-9.
- 6 Gordon K Lee, Shawn Moshrefi, Victor Fuertes, Laksman Veeravagu, Rahim Nazerali, and Samuel J Lin. What is your reality? virtual, augmented, and mixed reality in plastic surgery training, education, and practice. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 147(2):505–511, 2021.
- 7 Melanie J. Maas and Janette M. Hughes. Virtual, augmented and mixed reality in k-12 education: a review of the literature. *Technology, Pedagogy and Education*, 29(2):231–249, 2020. doi:10.1080/1475939X.2020.1737210.
- 8 Paul Milgram and Fumio Kishino. A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Trans. Information Systems*, vol. E77-D, no. 12:1321–1329, 12 1994.
- 9 Kiley Sobel. Immersive media and child development: Synthesis of a cross-sectoral meeting on virtual, augmented, and mixed reality and young children. future of childhood. In *Joan Ganz Cooney Center at Sesame Workshop*. ERIC, 2019.
- 10 Marina Stojanovska, Garrett Tingle, Lip-Bun Tan, et al. Mixed reality anatomy using microsoft hololens and cadaveric dissection: A comparative effectiveness study. *Medical Science Educator*, 30:173–178, 2020. doi:10.1007/s40670-019-00834-x.
- 11 Michael Thees, Sebastian Kapp, Martin P. Strzys, Fabian Beil, Paul Lukowicz, and Jochen Kuhn. Effects of augmented reality on learning and cognitive load in university physics laboratory courses. *Computers in Human Behavior*, 108:106316, 2020. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0747563220300704>, doi:<https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106316>.
- 12 Xuefeng Zhao, Meng Zhang, Xiongtao Fan, Zhe Sun, Mengxuan Li, Wangbing Li, and Lingli Huang. Extended reality for safe and effective construction management: State-of-the-art, challenges, and future directions. *Buildings*, 13:155, 01 2023. doi:10.3390/buildings13010155.

# VR-Krankheitsprognose

Benedikt Glaser

Universität Innsbruck, Innsbruck, Österreich  
benedikt.glaser@student.uibk.ac.at

## Zusammenfassung

Die weitere Verbreitung von virtueller Realität beruht auf der Annahme, dass diese Technologie auch von der breiten Bevölkerung angenommen wird. Hürde hierfür ist neben dem Preis und der sozialen Akzeptanz vor allem die sogenannte VR-Krankheit, eine Art Übelkeit die der Reisekrankheit ähnelt [10]. Trotz der immensen Fortschritte, die VR-Technologien in den letzten Jahren gemacht haben ist die VR-Krankheit ein immer noch präsent Problem. In diesem Artikel erkläre ich den Begriff der VR-Krankheit, erläutere wodurch sie auftritt und beschreibe, wie sie gemessen werden kann.

**2012 ACM Computing Classification** Human-centered computing → Human computer interaction (HCI)

**Keywords and phrases** Virtuelle-Realitäts-Krankheit; Virtual Reality; Künstliche Intelligenz.

## 1 Einführung

In den letzten Jahren floss immer mehr Geld und Entwicklung in VR-Systeme. Viele sehen darin die Zukunft der Mensch Maschinen Interaktion, jedoch führen diese seit ihrer Existenz zu Übelkeit. Anfängliche Spekulation, bessere Technologie würde dieses Problem lösen, stellte sich als falsch heraus. Auch heute noch ist die VR-Krankheit die größte Hürde für viele Anwender\*Innen [14]. Deshalb ist es für die Zukunft dieser Systeme von allergrößter Bedeutung, diese Übelkeit zu minimieren. Hierfür ist es nötig zu verstehen wodurch konkret sie ausgelöst wird und wie sie verhindert werden kann. Mit diesen Fragen beschäftigt sich dieser Artikel

## 2 Was ist VR

VR oder virtuelle Realität (Virtual Reality) beschreibt Systeme, die der Wahrnehmung eine virtuelle Umgebung vorspielen. Dies passiert üblicherweise über Head-Mounted Displays (HMDs), kann aber auch über andere Techniken, zum Beispiel Großbildleinwände bewerkstelligt werden. VR ist nicht zu verwechseln



© Benedikt Glaser,  
licensed under Creative Commons License CC-BY

Cite as: Benedikt Glaser. VR-Krankheitsprognose. In *2nd Seminar on Cross-Reality Interaction (XR-I 2024)*. Editor: Pascal Knierim. February 2, 2024. Innsbruck, Austria. pp. 10:1–10:12.

## 10:2 VR-Krankheitsprognose

mit AR oder Augmented Reality, eine Technologie die virtuelle Inhalte mit der Realität vermischt. Hat ein HMD noch Sensoren zur Bewegungserfassung des Tragenden wird es auch VR- bzw. AR-Headset genannt.

## 3 Was ist die VR-Krankheit

Die VR-Krankheit, auch Simulator-Krankheit genannt, ist eine Art Übelkeit, deren Symptome der der Reisekrankheit ähneln. Sie tritt bei der Verwendung von AR- oder VR-Systemen auf. Auch wenn sich die Symptome ähneln gibt es doch einen gravierenden Unterschied: Die Reisekrankheit kann auch ausschließlich durch Stimulation der Gleichgewichtsorgane auftreten [11], die VR-Krankheit hingegen tritt nur durch visuelle Stimulation auf. Die Symptome sind von Person zu Person unterschiedlich und beinhalten Überanstrengung der Augen, Kopfschmerzen, Blässe, Schweißausbruch, Trockenheit im Mund, Desorientierung, Schwindel, Ataxie, Übelkeit und Erbrechen [10].

Die Ursache hinter der VR-Krankheit ist nicht genau bekannt [8]. Die meisten Theorien besagen jedoch, dass sie durch eine Abweichung zwischen der Information aus den Gleichgewichtsorganen und der Augen ausgelöst wird [14]. Beeinflusst wird diese Bedingung logischerweise durch das dargestellte Bildmaterial, jedoch kann auch die VR-Brille einen Einfluss haben, zum Beispiel durch die Auflösung der Bildschirme, das Sichtfeld, die Latenzzeit und die Bildwiederholungsrate [7].

Das dargestellte Bildmaterial ist der Aspekt des VR-Erlebnisses, auf das die Ersteller am meisten Einfluss haben. Ein besonders hohes Risiko für VR-Krankheit besteht, wenn das Bild stark vertikal schwankt, der Hintergrund schnell wechselt, die Kameraführung unvorhersehbar ist, die Beleuchtung abrupt flackert oder das Sichtfeld künstlich eingengt wird, wie beispielsweise durch einen Tunnel [7].

Jedoch ist es wichtig hier nochmals zu betonen, dass jeder Mensch unterschiedlich auf das gezeigte Bildmaterial reagiert. So sind zum Beispiel das Alter oder die Erfahrung mit VR-Systemen ausschlaggebend für das Empfinden der Probanden. Somit gibt es bisher auch noch keine Universallösung, um die VR-Krankheit zu verhindern.

## 4 Methoden zur Erkennung der VR-Krankheit

Genauso wie die Ursache der VR-Krankheit gestaltet sich ihre Erkennung als nicht trivial. Grundsätzlich gibt es zwei verschiedene Methoden: Fragebögen und EEGs. In den folgenden Abschnitten wird auf diese genauer eingegangen.

### 4.1 Fragebögen

Die Reisekrankheit wird oft durch Fragebögen, die sogenannten Motion Sickness Questionnaire (MSQ) gemessen. Diese Fragebögen beinhalten Fragen wie oft oder wodurch die ausfüllende Person Übelkeit empfindet. Abgewandelte und erweiterte Versionen dieser Fragebögen werden verwendet um die VR-Krankheit festzustellen. Das Problem dieser Art der Datenerhebung ist, dass sie sehr stark subjektiv ist und es dadurch schwer sein kann, Antworten zwischen Ausfüllenden zu vergleichen. Generell ist der einflussreichste Faktor für das Ergebnis eines Fragebogens die Person die ihn auswertet. Dadurch eignet sich dieser Ansatz nur begrenzt um VR-Krankheit näher zu verstehen. [12, 9]

4. Over the LAST 10 YEARS, how often you Felt Sick or Nauseated (tick boxes):

|                             | Not Applicable - Never Travelled | Never Felt Sick | Rarely Felt Sick | Sometimes Felt Sick | Frequently Felt Sick |
|-----------------------------|----------------------------------|-----------------|------------------|---------------------|----------------------|
| Cars                        |                                  |                 |                  |                     |                      |
| Buses or Coaches            |                                  |                 |                  |                     |                      |
| Trains                      |                                  |                 |                  |                     |                      |
| Aircraft                    |                                  |                 |                  |                     |                      |
| Small Boats                 |                                  |                 |                  |                     |                      |
| Ships, e.g. Channel Ferries |                                  |                 |                  |                     |                      |
| Swings in playgrounds       |                                  |                 |                  |                     |                      |
| Roundabouts in playgrounds  |                                  |                 |                  |                     |                      |
| Big Dippers, Funfair Rides  |                                  |                 |                  |                     |                      |

Abbildung 1 Auszug eines Motion Sickness Susceptibility Questionnaire Short-form (MSSQ-Short), eine Art von MSQ [2].

### 4.2 EEGs

Ein Elektroenzephalograf oder EEG ist ein Gerät zur Messung der Hirnaktivität durch Aufzeichnung von Spannungen an der Kopfhaut. Dadurch können Rückschlüsse auf das Auftreten der VR-Krankheit gezogen werden [7, 5, 4]. Dafür muss aber ein grundlegendes Problem gelöst werden: EEG-Daten sind sehr komplex und können dadurch nicht rein visuell ausgewertet werden. Deshalb wird für die Auswertung oft eine Fourieranalyse (wie in Abbildung 2 zu sehen) oder ICA (independent component analysis) durchgeführt. Eine weitere Schwierigkeit in der Auswertung der Daten wird durch Unreinheiten verursacht. Kleinste Impulse wie Augen-, Zungen- und Muskelbewegungen, Herzfrequenz oder Schweiß können die Messungen beeinflussen [?].

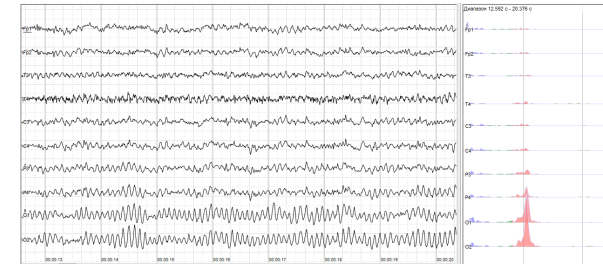


Abbildung 2 EEG(links) mit dazugehöriger Fourieranalyse(rechts) [3]

### 4.3 Auswertung von EEGs durch künstliche Intelligenz

Künstliche Intelligenz (KI) bietet sich sehr für die Auswertung von EEG-Datensätzen an. Auch wenn es für Menschen durch die Fourieranalyse möglich ist die Daten visuell zu interpretieren, ist dieser Prozess des manuellen Analysierens sehr zeitaufwendig. Durch den Einsatz von KI können diese Datensätze schneller und zuverlässiger ausgewertet werden [1]. In diesem Kontext meint man mit dem Begriff KI ein Modell, das in einem Lernprozess „trainiert“ wird und dann Daten auswerten kann. Das Erstellen oder „trainieren“ eines solchen Modells ist sehr komplex und entwickelt sich durch aktuelle Forschung auch stetig weiter. Da eine Erklärung aller existierenden Techniken und Begriffe den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde, werden anschließend nur jene erklärt, die für das weitere Verständnis der Materie relevant sind.

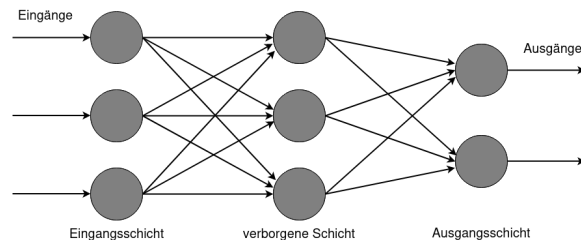
**Maschinelles Lernen** Maschinelles Lernen (ML) generiert aus Trainingsdaten ein Modell, welches Muster erkennt. Dies passiert entweder über überwachtes Lernen, unbeaufsichtigtes Lernen oder bestärkendes Lernen. Beim überwachten Lernen lernt das Modell anhand von beschrifteten Daten, bei denen die gewünschten Ausgaben bereits bekannt sind. Die Überprüfung erfolgt dann über unbeschriftete Datensätze. Somit kann die Genauigkeit des Modells beurteilt werden. Beim unbeaufsichtigten Lernen lernt das Modell aus unbeschrifteten Daten, ohne vorherige Kenntnis der gewünschten Ausgaben. Dies ist von Vorteil wenn die Menge an Informationen in einem Datensatz gering ist. Beim bestärkenden Lernen (oder reinforcement learning, RL) optimiert das Modell Aktionen. Für jede getroffene Aktion wird eine Belohnung oder Strafe gesetzt wodurch eine Strategie entwickelt wird, mit der die Aktionen getätigt werden, die Belohnungen maximieren.

**k-Nearest-Neighbor** Die Nächste-Nachbarn-Klassifikation oder k-Nearest-Neighbor (KNN) ist ein parameterloser überwachter Lernalgorithmus der durch Schätzung von Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen Klassenzuordnungen

durchführen kann. Parameterlos bedeutet, dass die Struktur des Modells nicht im Vorhinein festgelegt wird. Vereinfacht ausgedrückt werden hierbei Objekte anhand ihrer Nachbarn klassifiziert.

### Support Vector Machine

Eine Support Vector Machine (SVM) wird zur Klassifikation und Regression von Daten verwendet. Sie implementieren einen überwachten Lernalgorithmus bei dem die Daten beschriftet sind. Sie finden eine sogenannte Hyperebene durch die die resultierenden Klassen getrennt sind. Eine Hyperebene ist ein Unterraum eines mehrdimensionalen Vektorraums.



■ **Abbildung 3** Ein künstliches neuronales Netz mit 2 Schichten

### Neurales Netzwerk

Ein neuronales Netzwerk oder künstliches neuronales Netzwerk (KNN, nicht zu verwechseln mit k-Nearest-Neighbor) soll (zumindest offiziell) die Struktur eines menschlichen Gehirns nachempfinden. Es besteht aus mehreren Knotenschichten. Die erste Schicht ist immer die Eingangsschicht, die letzte die Ausgangsschicht. Die Schichten dazwischen werden als verborgene Schichten oder hidden layers bezeichnet. Jeder Knoten, auch Neuron genannt, ist mit anderen Knoten der nächsten Schicht verbunden und besitzt einen Schwellwert. Wird dieser Schwellwert überschritten, leitet der Knoten Daten weiter.

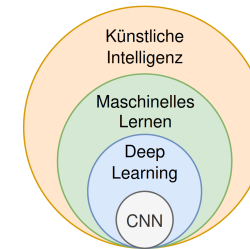
### Deep-Learning

Deep-Learning (DL) ist eine Unterkategorie des maschinellen Lernens. Hierbei handelt es sich um ein neuronales Netzwerk mit mehr als 3 Schichten.

### Convolutional Neural Network

Ein Convolutional Neural Network (CNN) ist ein künstliches neuronales Netzwerk (KNN), das hauptsächlich auf visuelle Daten angewandt wird. Im Kontrast zu einem normalen KNN besitzt ein CNN sogenannte Convolutional Layers, die mittels Filtern die lokale Struktur von Bildern erkennen und analysieren

können.



■ **Abbildung 4** Eine Übersicht der Beziehung zwischen KI, ML, DL und CNN

### 4.3.1 Methoden zur Dimensionsreduzierung

Um komplexe Daten schneller und effizienter auszuwerten, können einzelne Merkmale, auch Features genannt, bei der Analyse der Daten weggelassen werden. Um zu erkennen, welche Merkmale nicht relevant sind, gibt es verschiedene Methoden. Auf die genaue Funktionsweise aller Methoden genau einzugehen würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen, jedoch müssen sie trotzdem erwähnt werden, um die folgenden Daten verstehen zu können. Deshalb werden anschließend nur stark vereinfachte Definitionen verwendet.

**PCA** oder Principal Component Analysis (deutsch Hauptkomponentenanalyse, HKA) verwendet Eigenvektoren und Kovarianzmatrizen zur Dimensionsreduzierung.

**LDA** oder Linear discriminant analysis ähnelt PCA. Vereinfacht ausgedrückt ordnet PCA die Merkmale eines Datensatzes so um, dass sie am stärksten variieren, unabhängig davon, ob sie die Klassentrennung verbessern oder nicht. LDA hingegen versucht die Merkmale so umzuordnen, dass die Klassentrennung verbessert wird.

**NWFE** oder nonparametric weighted feature extraction schreibt Datenpunkten Gewichtungen zu, anhand derer die Dimension verringert werden kann.

**FFS** oder forward feature selection beginnt mit einem leeren Set und fügt die Merkmale hinzu, die die Leistung des Modells am stärksten verbessern.

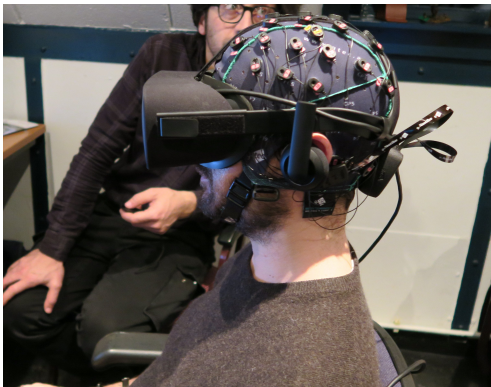
**BFS** oder backward feature selection beginnt mit einem Set mit allen Merkmalen und entfernt nacheinander die Merkmale, die die geringste Auswirkung auf die Leistung des Modells haben.

### 4.3.2 Verfahren zur Transformation von Daten für Deep Learning

Das Ziel dieser Verfahren ist es, die Verteilung der Merkmale in einem Datensatz zu glätten und die Varianz zwischen den Merkmalen zu verringern. Dies führt zu schnelleren und besseren Modellen.

**Individuelle Normalisierung und Standardisierung** bedeutet, dass jede Variable im Datensatz separat skaliert wird. Dies bedeutet, dass jede Variable ihren eigenen Mittelwert und ihre eigene Standardabweichung erhält.

**Integrierte Normalisierung und Standardisierung** bedeutet, dass beide Verfahren in einem einzigen Schritt durchgeführt werden.



■ **Abbildung 5** Ein Testperson die ein EEG und ein VR-Headset trägt [13]

## 5 Stand der Technik

Der Aufbau eines Experiments zur Messung der Genauigkeit verschiedener KI-Modelle sieht üblicherweise wie folgt aus: eine Versuchsperson betrachtet verschiedene VR-Video Ausschnitte durch ein VR-Headset. Dabei werden die Hirnaktivitäten über ein EEG aufgezeichnet. Verspürt die Testperson Übelkeit, drückt sie einen Knopf. So kann später analysiert werden, in welchem Anteil der Fälle das KI-Modell die Übelkeit vorhersagen konnte. [7]

Solche Modelle sind unabhängig von der verwendeten Technologie sehr zuverlässig. KI-Modelle eignen sich gut zur Erkennung von Mustern in großen Datensätzen. Sie erzielen unabhängig von der verwendeten Technologie eine Genauigkeit von >90%, wie in Tabelle 1 zu sehen ist.

| Modell | Methode                       | Genauigkeit [%] |
|--------|-------------------------------|-----------------|
| ML     | PCA                           | 99.1            |
|        | LDA                           | 99.7            |
|        | NWFE                          | 99.6            |
|        | FFS                           | 99.0            |
| KNN    | BFS                           | 97.9            |
|        | PCA                           | 99.9            |
|        | LDA                           | 99.6            |
|        | NWFE                          | 99.9            |
| SVM    | FFS                           | 99.9            |
|        | BFS                           | 99.9            |
|        | PCA                           | 97.2            |
|        | LDA                           | 99.6            |
| DNN    | NWFE                          | 98.5            |
|        | FFS                           | 95.2            |
|        | BFS                           | 92.6            |
|        | Individuelle Normalisierung   | 95.1            |
| CNN    | Individuelle Standardisierung | 98.0            |
|        | Integrierte Normalisierung    | 91.1            |
|        | Integrierte Standardisierung  | 94.0            |
| DNN    | Individuelle Normalisierung   | 97.5            |
|        | Individuelle Standardisierung | 98.8            |
|        | Integrierte Normalisierung    | 92.0            |
| CNN    | Integrierte Standardisierung  | 93.6            |

■ **Tabelle 1** Genauigkeit verschiedener Methoden [15, 7]

## 5.1 Auswertung der Daten

Die abgebildeten Daten kommen aus zwei verschiedenen Arbeiten, wobei die Methoden zu Erhebung und Auswertung ähnlich und somit vergleichbar sind. Einzuwenden ist jedoch, dass die Anzahl der Testsubjekte in beiden Studien begrenzt war; 7 Personen für maschinelles Lernen, k-Nearest-Neighbor und Support Vector Machine und 24 Personen für Deep Learning und Convolutional Neural Network.

Auch ist anzumerken, dass die Arbeiten versuchen unterschiedliche Fragen zu beantworten. Eine Studie beschäftigt sich mit der Bewegungskrankheit und probiert diese über ein VR-System zu simulieren, die andere Studie beschäftigt sich spezifisch mit der VR-Krankheit.

## 6 Zukünftige Entwicklungen

Die in dieser Arbeit zitierten Werke sind alle relativ jung und derzeit noch eher auf dem Bereich der Grundlagenforschung. Das Ziel dieser Forschung ist es ein tieferes Verständnis für die VR-Krankheit zu bekommen und daraus resultierend Systeme zu entwickeln, die ein schwindelfreies Erlebnis ermöglichen. Je nachdem wie nutzerfreundlich und kostengünstig diese Systeme in Zukunft sein können ist es denkbar, dass das VR- oder AR-Geräte EEGs verbaut haben, die bevorstehende Übelkeit erkennt und verhindern können (zum Beispiel durch pausieren des dargestellten Materials). [15, 7]

## 7 Fazit

Der VR und AR-Markt wächst seit Jahren kontinuierlich und soll das in den kommenden Jahren auch weiterhin tun [6].

Die VR-Krankheit ist eine ernstzunehmende Einschränkung für die Verbreitung von VR-Systemen. Die Forschung auf dem Gebiet der VR-Krankheit ist jedoch in den letzten Jahren sehr stark vorangeschritten. Insbesondere die Entwicklung von KI-Modellen zur Erkennung der VR-Krankheit hat vielversprechende Ergebnisse gebracht.

Die Ergebnisse der in dieser Arbeit zitierten Studien zeigen, dass KI-Modelle in der Lage sind, die VR-Krankheit mit einer Genauigkeit von >90% vorherzusagen. Dies ist ein wichtiger Schritt in Richtung einer VR-Technologie, die für alle Nutzer\*innen geeignet ist.

In Zukunft ist es denkbar, dass VR- und AR-Geräte EEGs verbauen, die bevorstehende Übelkeit erkennen und verhindern können. Dies würde die VR-Krankheit als Einschränkung für die Verbreitung von VR-Systemen erheblich verringern.

Um diese Vision zu verwirklichen, sind jedoch noch weitere Forschungen erforderlich. Insbesondere muss die Nutzerfreundlichkeit und Kosteneffizienz der KI-Modelle weiter verbessert werden.

### Literatur

- 1 Ghita Amrani, Amina Adadi, Mohammed Berrada, Zouhayr Souirti, and Saïd Boujraf. Eeg signal analysis using deep learning: A systematic literature review. In *2021 Fifth International Conference On Intelligent Computing in Data Sciences (ICDS)*, pages 1–8, 2021. doi:10.1109/ICDS53782.2021.9626707.
- 2 Asseman. Motion sickness susceptibility questionnaire short-form (mssq-short), 2010. URL: <https://www.westminster.ac.uk/sites/default/public-files/general-documents/MSSQ-short-form.pdf>.
- 3 Andrii Cherninskyi. Human eeg with prominent alpha-rhythm.png, 2015. URL: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Human\\_EEG\\_with\\_prominent\\_alpha-rhythm.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Human_EEG_with_prominent_alpha-rhythm.png).
- 4 Chin-Teng Lin, Shu-Fang Tsai, and Li-Wei Ko. EEG-based learning system for online motion sickness level estimation in a dynamic vehicle environment. 24(10):1689–1700. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6587600/>, doi:10.1109/TNNLS.2013.2275003.
- 5 Kay Gregor Hartmann, Robin Tibor Schirrmeyer, and Tonio Ball. Hierarchical internal representation of spectral features in deep convolutional networks trained for EEG decoding. In *2018 6th International Conference on Brain-Computer Interface (BCI)*, pages 1–6. IEEE. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8311493/>, doi:10.1109/IWW-BCI.2018.8311493.
- 6 Statista Inc. Ar & vr - worldwide, 04 2023. Accessed: 2023-11-15. URL: <https://www.statista.com/outlook/amo/ar-vr/worldwide>.
- 7 Daekyo Jeong, Sangbong Yoo, and Jang Yun. Cybersickness analysis with EEG using deep learning algorithms. In *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, pages 827–835. ISSN: 2642-5254. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8798334>, doi:10.1109/VR.2019.8798334.
- 8 Robert S. Kennedy and Jennifer E. Fowlkes. Simulator sickness is polygenic and polysymptomatic: Implications for research. 2(1):23–38. URL: [http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1207/s15327108ijap0201\\_2](http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1207/s15327108ijap0201_2), doi:10.1207/s15327108ijap0201\_2.
- 9 Behrang Keshavarz and Heiko Hecht. Pleasant music as a countermeasure against visually induced motion sickness. 45(3):521–527. URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S000368701300149X>, doi:10.1016/j.apergo.2013.07.009.
- 10 Joseph J. LaViola. A discussion of cybersickness in virtual environments. 32(1):47–56. URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/333329.333344>, doi:10.1145/333329.333344.
- 11 K E Money. Motion sickness. 50(1):1–39. URL: <https://www.physiology.org/doi/10.1152/physrev.1970.50.1.1>, doi:10.1152/physrev.1970.50.1.1.
- 12 Keith Nesbitt, Simon Davis, Karen Blackmore, and Eugene Nalivaiko. Correlating reaction time and nausea measures with traditional measures of cybersickness. 48:1–8. URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0141938216301032>, doi:10.1016/j.displa.2017.01.002.
- 13 Robert Oostenveld. Robert oostenveld's blog, May 2017. URL: <https://robertoostenveld.nl/eeg-combined-with-vr/>.
- 14 Lisa Rebenitsch. Managing cybersickness in virtual reality. 22(1):46–51. URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/2810054>, doi:10.1145/2810054.
- 15 Yi-Hsin Yu, Pei-Chen Lai, Li-Wei Ko, Chun-Hsiang Chuang, Bor-Chen Kuo, and Chin-Teng Lin. An EEG-based classification system of passenger's motion



sickness level by using feature extraction/selection technologies. In *The 2010 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, pages 1–6. IEEE. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5596739/>, doi: 10.1109/IJCNN.2010.5596739.

# Verbesserung der menschlichen Wahrnehmung

Kay Erschbaumer

Universität Innsbruck, Innsbruck, Österreich  
kay.erschbaumer@student.uibk.ac.at

## Zusammenfassung

Die folgende Arbeit beschäftigt sich mit der Erforschung von erweiterter und virtueller Realität zur Verbesserung der visuellen Wahrnehmung. Dabei werden mehrere Herausforderungen in den Vordergrund gestellt. Vor allem wird die zeitliche Wahrnehmung, Verbesserung der Sehkraft (u.a. durch Vergrößerung) und Zugänglichkeit für Sehschwache behandelt. Es ist wichtig, in diesen Bereichen Forschung durchzuführen, um deren Entwicklung voranzutreiben. Diese Arbeit soll Sensibilisierung für Kontakt mit erweiterter Realität im Alltag schaffen und somit eine verbesserte Wahrnehmung und Interaktion mit der Umgebung gewährleisten. Außerdem kann durch Fortschritt in diesen Bereichen die Lebensqualität von Menschen mit Sehschwäche stark verbessert werden. Die präsentierten Arbeiten befassen sich genau mit diesen Bereichen, wobei in dieser Arbeit alles etwas vereinfachter und zugänglicher dargestellt werden soll. Die Ergebnisse umfassen eine theoretische Herangehensweise zur Veränderung der zeitlichen Wahrnehmung, Echtzeitvergrößerungstechniken und Werkzeuge für die Zugänglichkeit in virtueller Realität. In der Zukunft wird durch das Zusammenspiel von Realität und Technik die visuelle Wahrnehmung gänzlich verändert bzw. verbessert werden. Durch diese Innovationen öffnen sich ganz neue Möglichkeiten der Wahrnehmung für die Allgemeinheit und vor allem für Sehschwache.

2012 ACM Computing Classification Human-centered computing → Human computer interaction (HCI) → Interaction paradigms → Mixed augmented reality

**Keywords and phrases** erweiterte-Realität; virtuelle-Realität; verbesserung-visuelle Wahrnehmung; Werkzeuge-Sehschwache

## 1 Einleitung

In dieser Arbeit werden mehrere Tools zur Bewältigung von Herausforderungen der visuellen Wahrnehmung des Menschen beleuchtet. Diese kann unterstützt bzw. sogar verbessert werden. Einige Beispiele dafür wären Tools, die es Sehschwachen ermöglichen, überhaupt die Vorteile von erweiterter und virtueller

## 11:2 Verbesserung der menschlichen Wahrnehmung

Realität zu nutzen. Zudem werden Echtzeittools präsentiert wie die Echtzeitmanipulation oder die Echtzeitvergrößerung, die die Limits der menschlichen Wahrnehmung klar sprengen. Im Laufe dieser Arbeit werden die verschiedenen Studien aufarbeitet und miteinander verglichen.

## 2 Arten der Wahrnehmungsveränderung

Die visuelle Wahrnehmung stellt sich als überaus komplex heraus. Sie definiert wie man die Welt um sich herum erlebt und damit auch wie man mit ihr interagiert. In den letzten Jahren wurde bewiesen, dass diese nicht statisch ist, sondern erweitert werden kann. In dem kommenden Abschnitt werden wir zwei Möglichkeiten der Erweiterung unserer visuellen Möglichkeiten ansprechen. Diese sind in der Lage unsere jetzigen Limits zu überschreiten, auch wenn sich diese noch in einem frühen Entwicklungsstadium befinden.

### 2.1 Geschwindigkeitsveränderung der Realität

#### ■ Was ist Echtzeit-Slowmotion?:

Unter Echtzeit-Slowmotion versteht man die Möglichkeit, schnelle Ereignisse in Echtzeit mit verlangsamer Geschwindigkeit zu betrachten. Dabei handelt es sich um Live-, Echtzeitvideos oder visuelle Inhalte, die mit reduzierter Geschwindigkeit wiedergegeben werden können. Details können dann genauer betrachtet oder bestimmte Aspekte besser verstanden werden. Um diese Funktion zu ermöglichen, werden fortschrittliche Sensoren, Kameras und eine spezielle Systemarchitektur benötigt.

#### ■ Konzeptarchitektur:

In der Arbeit [3] wird eine prototypische Implementierung auf der HoloLens-Plattform präsentiert, die es den Nutzern erlaubt die Geschwindigkeit ihrer visuellen Wahrnehmung in Echtzeit anzupassen (Abb. 1). Dabei wird eine nahtlose Integration zwischen wahrgenommener Umgebung und physischer Realität angestrebt, um eine effektive Benutzererfahrung zu gewährleisten. Eine effiziente Zusammenarbeit von Hardware- und Softwarekomponenten ermöglicht es genau dieses zu erreichen. Sensoren wie Kameras u.a. 360°-Kameras und 3D-Kameras nehmen die Umgebung auf, während die Verarbeitungseinheit den Video-Stream basierend auf den Eingaben des Nutzers verlangsamt. Um eine nahtlose Verbindung zwischen der wahrgenommenen Umgebung und der physischen Realität herzustellen, werden am Anfang und Ende des verlangsamteten Video-Streams Übergänge eingefügt [3].



© Kay Erschbaumer,  
licensed under Creative Commons License CC-BY

Cite as: Kay Erschbaumer. Verbesserung der menschlichen Wahrnehmung. In *2nd Seminar on Cross-Reality Interaction (XR-I 2024)*. Editors: Pascal Knierim. February 2, 2024. Innsbruck, Austria. pp. 11:1–11:12.



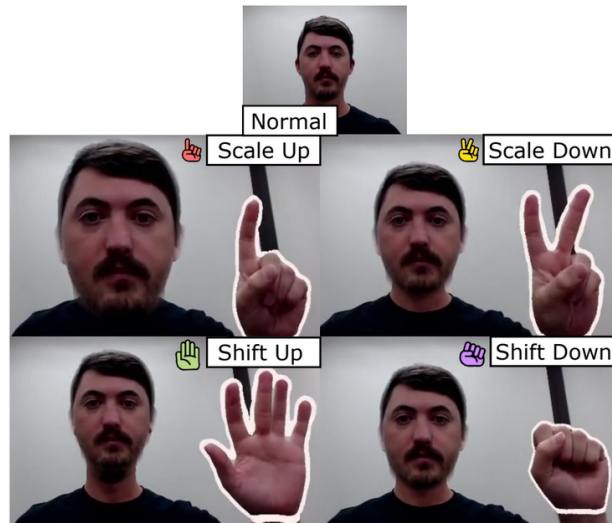
**Abbildung 1** In dieser Abbildung wird das grundsätzliche Konzept durch das Abheben einer Möwe dargestellt [3]. Der Verlangsamung Faktor wird unter den Frames dargestellt.

- **Formative Studie:**  
Die formative Studie [3] umfasste 10 Teilnehmer, die alle ein normales Sehvermögen besaßen. Unter zwei Bedingungen, einmal mit und ohne dem Prototyp, mussten die Teilnehmer nun die Sprunghöhe eines Versuchsleiters schätzen. Höhenschätzungen wurden von allen Teilnehmern während mehrerer Sprünge unter beiden Bedingungen gesammelt. Die Studie hatte zum Ziel, die Unterschiede in der Fähigkeit der Teilnehmer zu bewerten.
- **Ergebnisse:**  
Auch wenn die erworbenen Daten [3] keinen großen Unterschied aufwiesen, bieten die Ergebnisse einen umfassenden Einblick in die Auswirkungen von Echtzeit-Slowmotion auf die menschliche Wahrnehmung. Zentrale Erkenntnisse betreffen die Wahrnehmung als eine Erweiterung der Sinne und das gesteigerte Selbstvertrauen der Nutzer bei der Nutzung der Technologie. Die Möglichkeit, die visuelle Wahrnehmung in Echtzeit zu verlangsamen, wird als Chance betrachtet. Dabei erhofft man sich Einblicke in schnell ablaufende Ereignisse zu gewinnen. Technische Einschränkungen, insbesondere die begrenzte Bildrate und die Unstimmigkeiten zwischen visuellen und auditiven Reizen, werden hervorgehoben.

- **Diskussion:**  
Wenn man die gegebenen Ergebnisse [3] betrachtet, kann man die Auswirkungen auf die menschliche Wahrnehmung erkennen. Die Zeit zu verlangsamen ermöglicht es, den Benutzern Einblicke in schnell ablaufende Ereignisse zu erhalten. Die Probanden fühlten sich dabei sicherer. Das wiederum stärkt ihr Selbstvertrauen. Es werden technische Einschränkungen betont, wie die begrenzte Bildrate und die Unstimmigkeiten zwischen visuellen und auditiven Reizen. Dies weist auf potenzielle Verbesserungsbereiche hin.

## 2.2 Echtzeitvergrößerung in der erweiterten Realität

- **Was ist Echtzeit Vergrößerung?:**  
Unter Echtzeit Vergrößerung versteht man die Möglichkeit, Objekte in der erweiterten Realität (AR) in Echtzeit zu vergrößern.
- **Design:**  
In ihrer Arbeit [1] stellen die Autoren Zubin Choudhary, Gerd Bruder und Gregory F. Welch die "BigHead"-Technik vor, die darauf abzielt, menschliche Köpfe zu vergrößern. Zwecks, um wichtige mimische Gesichtsausdrücke über größere Entfernungen hinweg sichtbar zu machen.  
Das präsentierte System [1] kombiniert die Microsoft HoloLens 2 AR-Brille mit einer hochauflösenden 4K-Webcam. Durch diese Kombination können realistische Bilder in Echtzeit erfasst und direkt in das Sichtfeld des Benutzers projiziert werden. Die Softwarekomponenten spielen eine entscheidende Rolle. Sie nutzen PyTorch, um Modelle für die Erkennung und Segmentierung von Objekten zu trainieren. Dies bildet die Grundlage für die dynamische Skalierung und Positionierung der vergrößerten Objekte, gesteuert durch Handgesten (Abb. 2).
- **Diskussion:**  
Die wichtigste Frage, die sich stellt, betrifft die technische Umsetzbarkeit von Echtzeit Vergrößerung in Augmented Reality (AR). Obwohl Fortschritte erzielt wurden, stellen die Autoren [1] Herausforderungen fest, insbesondere im Hinblick auf die Leistung der Softwarekomponenten. Geplante Benutzerstudien könnten wertvolle Erkenntnisse über die Wahrnehmungseffekte von vergrößerten Objekten in AR liefern und Anregungen für zukünftige Optimierungen bieten.



■ **Abbildung 2** 1 Finger: Vergrößert; 2 Finger: Verkleinert; Offene Hand: Verschiebt nach oben; Geschlossene Faust: Verschiebt nach unten. [1]

### 3 Werkzeuge für Sehschwache

Nun stellt sich die Frage, ob die besprochenen Verbesserungsmethoden der visuellen Wahrnehmung auch für alle zugänglich sind. Nach Angaben der World Health Organization (WHO) gibt es weltweit ca. 217 Millionen Menschen, die an low vision leiden (stand 2019 [6]). Um dieser Zielgruppe die vorgestellten Techniken zu ermöglichen, gibt es diverse Toolkits, die Anwendungen in VR und AR so erweitern, dass ein bestimmter Grad an Zugänglichkeit gewährleistet werden kann. Bevor wir auf diese Toolkits eingehen, müssen jedoch einige Fragen geklärt werden.

#### 3.1 Was ist low vision?

Der Begriff "Low Vision" bezieht sich auf eine Sehbeeinträchtigung, bei der eine Person trotz Anwendung von helfenden Maßnahmen wie Brillen oder Kontaktlinsen keine normale Sehschärfe erreichen kann. Diese Beeinträchtigung kann durch verschiedene Faktoren wie degenerative Augenerkrankungen, genetische Einflüsse, Verletzungen oder altersbedingte Veränderungen verursacht werden

und umfasst verschiedenste Arten von Sehstörungen. Einfach gesagt bezieht sich der Ausdruck "Low Vision" als Überbegriff für eine Überschreitung der Normalwerte. Menschen mit "Low Vision" können Schwierigkeiten beim Erkennen von Details, beim Lesen, räumlicher Orientierung und anderen visuellen Aufgaben haben. Dies wirkt sich negativ auf ihre Lebensqualität und ihre Teilnahme an alltäglichen Aktivitäten aus [2].

#### 3.2 Gibt es Herausforderungen?

Menschen mit Low Vision stehen vor unterschiedlichsten Herausforderungen. Neben den Einschränkungen in der visuellen Wahrnehmung, die das Lesen von Texten, das Erkennen von Gesichtern und die räumliche Orientierung erschweren, wirken sich diese Schwierigkeiten auch sozial aus. Probleme bei der Teilnahme an sozialen Aktivitäten und der Kommunikation können zu einem Gefühl der Entfremdung führen, bis hin zur Isolation. In allen Bereichen können individuelle Herausforderungen auftreten, die spezielle pädagogische Strategien, technologische Hilfsmittel und Anpassungen erfordern [2] [4] [5].

#### 3.3 Informationen über SeeingVR

Die Arbeit [6] zeichnet sich durch einen umfassenden und innovativen Ansatz zur Bewältigung der Herausforderungen bei der barrierefreien Gestaltung von virtueller Realität Umgebungen aus.

##### ■ Formative Studie:

In der formativen Studie [6], wurde eine sorgfältige Auswahl von 11 Teilnehmern getroffen. Die Teilnehmer wiesen unterschiedliche Grade an Sehbeeinträchtigungen auf, wobei fünf Personen bereits Erfahrungen in der vorangegangenen formativen Studie hatten. Dies ermöglichte eine umfassende Berücksichtigung verschiedener visueller Bedingungen, die bei der Entwicklung von SeeingVR von Bedeutung sind. Die Studie beinhaltete verschiedene Forschungsphasen, von Interviews über Tutorial-Sessions bis hin zu virtuellen Aufgaben.

##### ■ SeeingVR-Toolkit:

Das SeeingVR-Toolkit [6] setzt sich aus 14 speziell entwickelten Low-Vision-Tools zusammen. Deren Ziel ist es, Menschen mit verschiedenen Sehbeeinträchtigungen ein verbessertes VR-Erlebnis zu ermöglichen.

Es gibt zwei Anwendungsformen des Toolkits:

- Als Plugin:  
Dadurch können bestehende VR-Anwendungen nachträglich mit ausgewählten Tools ergänzt werden.
- Als Unity-Entwicklertoolkit:  
Den Entwicklern ist dabei die Integration aller 14 Tools während des Entwicklungsprozesses gestattet.

Die Bandbreite der Tools reicht von bewährten Methoden wie Vergrößerung bis hin zu innovativen Ansätzen wie Tiefenmessungen, Kantenverstärkungen und periphere Kartierung (Abb. 3).

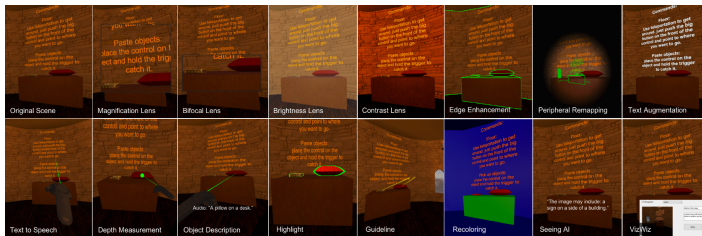


Abbildung 3 SeeingVR's 14 Tools [6]: "Object Description" und "Seeing AI" sind auditive Tools.

Ein zentraler Aspekt des Toolkits liegt in seiner Anpassbarkeit. Den Benutzern wird ermöglicht, die Tools entsprechend ihren individuellen Anforderungen und Kontexten auszuwählen und anzupassen.

- Ergebnisse:  
Die Studienergebnisse [6] zeigen, dass die Nutzung des SeeingVR-Toolkits den Teilnehmern geholfen hat. Aufgaben wurden nun in der virtuellen Umgebung effizienter und genauer bewältigt. Die sorgfältige Methodik stärkt die Glaubwürdigkeit des Forschungsprojektes und betont die Bedeutung des SeeingVR-Ansatzes für inklusivere VR-Erlebnisse. Die Ergebnisse dieser Studie tragen auch wesentlich dazu bei, die Tools stetig weiterzuentwickeln und zu optimieren sowie zukünftige Studien zu planen.
- Diskussion:  
Es gibt einige Hauptaspekte, wie die Gestaltung, Anwendbarkeit und generellen Auswirkungen des Toolkits. Außerdem zeigen die Ergebnisse,

dass der Plugin-Ansatz eine umfassendere Barrierefreiheitsunterstützung bietet, aber mit einem höheren Aufwand für die Entwickler verbunden ist. Die Studie hebt die Komplexität hervor und betont die Notwendigkeit eines ausgewogenen Verhältnisses. Dabei muss man zwischen der ursprünglichen VR-Erfahrung, der Zugänglichkeit und dem Arbeitsaufwand der Entwickler abwägen. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Steuerung und Anpassung der SeeingVR-Tools durch die Benutzer. Die Autoren legen einen großen Wert auf Interaktionstechniken, um die Werkzeuge so flexibel wie möglich zu gestalten. Insgesamt werden die Herausforderungen und Potenziale bei der Integration von Barrierefreiheit in VR-Anwendungen verdeutlicht. Außerdem wird zu weiteren Untersuchungen in diesem innovativen Bereich angeregt.

### 3.4 Informationen über ForeSee

- Design:  
Der Entwurf des Systems [7] basiert auf einem Video-See-Through-Ansatz. Dieser passt Live-Videoübertragungen der Nutzerumgebung in Echtzeit durch verschiedene visuelle Verbesserungsmethoden an. Außerdem gibt es einen Vollbild- und einen Fensteranzeige-Modus (Abb. 4).

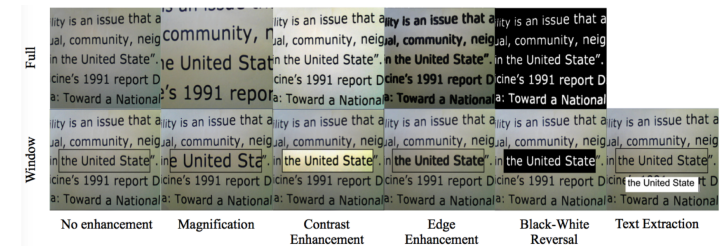


Abbildung 4 ForeSees Optimierungsmethoden [7]: Vergrößerung, Kontrastverstärkung, Kantenverstärkung, Schwarz/Weiß-Inversion, Textextraktion jeweils in Vollbild- und Fensteranzeige-Modus.

- Formative Studie:  
Es wird eine gründliche Untersuchung der Leistungsfähigkeit von Fore-See [7] bei verschiedenen Sehbehinderungen ermöglicht. Die Studie besteht aus 19 ausgewählten Teilnehmern. Durch verschiedene Methoden mit quantitativen und qualitativen Messungen wird überprüft, wie gut das System auf eine große Variabilität von Sehschwierigkeiten angewendet werden

kann. Des Weiteren trägt die transparente Darstellung der ausgewählten Studienteilnehmer zur Validität der Ergebnisse bei. Die Berücksichtigung verschiedener Schaufgaben und -entfernungen gewährleistet eine umfassende Analyse der Systemleistung.

- Wie hat sich ForeSee auf die visuelle Erfahrung der Menschen in verschiedenen Szenarien ausgewirkt?:  
Die Analyse der Auswirkungen auf die visuelle Erfahrung in verschiedenen Szenarien zeigt unterschiedliche Ergebnisse auf. Insbesondere bei Leseaufgaben in nahen Szenarien sieht man eine deutliche Verbesserung, während in fernen Szenarien die Originalsicht bevorzugt wird.
- Wie effektiv waren jede der Verbesserungsmethoden und Anzeigemodi?:  
Vergrößerung wird als effektiv angesehen, weist jedoch ein eingeschränktes Sichtfeld auf. Kontrastverstärkung und Kantenverstärkung zeigen positive Effekte, könnten jedoch auch potenzielle Unannehmlichkeiten mit sich bringen. Einige Teilnehmer beschwerten sich bei der Kontrastverstärkung, dass die Helligkeit ihren Augen schade und sie davon ablenke, sich auf das Ziel zu konzentrieren. Außerdem war die Kantenverstärkung auf weiter Distanz für die meisten eher störend als hilfreich. Die Meinungen waren bei der Schwarz/Weiß-Inversion und Textextraktion sehr zwiespalten. Zudem kam die Schwarz/Weiß-Inversion auf weiter Distanz gar nicht gut an. Die Vielfalt der Ergebnisse unterstreicht die Wichtigkeit einer personalisierten, anpassbaren Technologie.
- Diskussion:  
Die Fähigkeit zur Anpassung und Benutzerfreundlichkeit ist sehr entscheidend, um den vielfältigen Präferenzen der Benutzer gerecht zu werden. Es ist noch ein weiter Weg bis zur sozialen Akzeptanz.

#### 4 Zusammenfassung

- Verbesserung der menschlichen Wahrnehmung:  
Die analysierten Arbeiten verfolgen alle ein gemeinsames Ziel, die menschliche visuelle Wahrnehmung zu verbessern. SeeingVR konzentriert sich auf die Zugänglichkeit von VR für Sehschwache, während "Altering the Speed of Reality" die zeitliche Wahrnehmung durch AR beeinflusst. "Real-Time Magnification in Augmented Reality" befasst sich mit der Echtzeitvergrößerung, und ForeSee optimiert ähnlich wie SeeingVR die visuelle Wahrnehmung von Sehbeeinträchtigten in AR.

- Nutzerinteraktion und Steuerung:  
Die Arbeiten setzen unterschiedliche Methoden ein, um die Interaktion zwischen Benutzern und Systemen zu verbessern. SeeingVR ermöglicht die Echtzeit-Anpassungen von VR-Anwendungen. "Altering the Speed of Reality" nutzt einen Knopf zur Manipulation der Zeit, "Real-Time Magnification in Augmented Reality" vergrößert Objekte durch Handbewegungen, und ForeSee bietet voreingestellte Anpassungsmöglichkeiten für Sehbeeinträchtigte. Die Vielfältigkeit der genannten Methoden zeigt, dass die Interaktion in VR und AR optimiert werden kann.
- Zugänglichkeit und Inklusivität:  
In Bezug darauf haben die Arbeiten ein gemeinsames Ziel, barrierefreie Technologien für unterschiedliche Nutzergruppen zu schaffen. SeeingVR passt VR für Sehschwache an, "Altering the Speed of Reality" wie auch "Real-Time Magnification in Augmented Reality" erweitern die visuelle Wahrnehmung durch AR für Menschen, denen es zugänglich ist. ForeSee optimiert die Wahrnehmung von Sehbeeinträchtigten in AR. Es wird versucht, Technologien inklusiver zu gestalten, um individuellen Bedürfnissen nachzukommen.
- Implikationen der Themenbereiche:  
Wenn wir die Implikationen betrachten, fällt Folgendes auf: SeeingVR verbessert die Zugänglichkeit von VR für Sehschwache. Außerdem wird die Bedeutung barrierefreier Integration betont. "Altering the Speed of Reality" ermöglicht es einen besseren Einblick in schnelle Abläufe zu bekommen. Dies könnte für Training, Simulation und Unterhaltung eine entscheidende Rolle spielen. Durch "Real-Time Magnification in Augmented Reality" können Details über großer Entfernung besser erkannt werden. ForeSee optimiert durch anpassbare Systeme die Seherfahrung von Menschen mit Sehbeeinträchtigungen. Dies könnte eine gesteigerte Lebensqualität mit sich bringen.

#### 5 Konklusion

- Aussicht auf die Zukunft:  
Mit den genannten Studien legen Forscher einen vielversprechenden Grundstein für die Weiterentwicklung virtueller Systeme. In Zukunft wird erweiterte wie auch virtuelle Realität nicht nur technologische Fortschritte repräsentieren, sondern auch das Leben vieler Menschen in einer positiven Art und Weise beeinflussen. Es werden sich uns ganz neue Möglichkeiten öffnen. Menschen mit einer Sehschwäche werden in der Lage sein, diese zu

kompensieren - nein weitaus mehr. Man könnte hier von einer Überschreitung der menschlichen Limits sprechen, wie man es aus Filmen kennt.

■ Abschlussworte:

Die vorgestellten Arbeiten bieten faszinierende Einblicke in erweiterte Realitätstechnologien. Auch wenn in dieser Arbeit alles etwas vereinfachter und zugänglicher dargestellt wurde, hoffen wir trotzdem, eine Sensibilisierung für Kontakt mit Realitätstechnologien geschaffen zu haben. Es ist sehr wichtig, sich mit diesen zukunftsorientierten Bereichen auseinanderzusetzen, um deren Entwicklung voranzutreiben.

— Literatur —

- 1 Zubin Choudhary, Jesus Ugarte, Gerd Bruder, and Greg Welch. Real-time magnification in augmented reality. In *Proceedings of the 2021 ACM Symposium on Spatial User Interaction*, SUI '21, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/3485279.3488286.
- 2 Wikipedia contributors. Visual impairment, 2024. accessed: 01/03/2024. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Visual\\_impairment](https://en.wikipedia.org/wiki/Visual_impairment).
- 3 Pascal Knierim, Thomas Kosch, Gabrielle LaBorwit, and Albrecht Schmidt. Altering the speed of reality? exploring visual slow-motion to amplify human perception using augmented reality. In *Proceedings of the Augmented Humans International Conference*, AHs '20, New York, NY, USA, 2020. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/3384657.3384659.
- 4 Sarit Felicia Anais Szpiro, Shafeka Hashash, Yuhang Zhao, and Shiri Azenkot. How people with low vision access computing devices: Understanding challenges and opportunities. *Proceedings of the 18th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, 2016. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:1085723>.
- 5 Sarit Felicia Anais Szpiro, Yuhang Zhao, and Shiri Azenkot. Finding a store, searching for a product: a study of daily challenges of low vision people. *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, 2016. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:2023901>.
- 6 Yuhang Zhao, Edward Cutrell, Christian Holz, Meredith Ringel Morris, Eyal Ofek, and Andrew D. Wilson. Seeingvr: A set of tools to make virtual reality more accessible to people with low vision. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '19, page 1–14, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/3290605.3300341.
- 7 Yuhang Zhao, Sarit Szpiro, and Shiri Azenkot. Foresee: A customizable head-mounted vision enhancement system for people with low vision. In *Proceedings of the 17th International ACM SIGACCESS Conference on Computers*

*Accessability*, ASSETS '15, page 239–249, New York, NY, USA, 2015. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/2700648.2809865.

# Blick- und Gangerkennung in erweiterter Realität im Vergleich

Max Santeler

Universität Innsbruck, Innsbruck, Österreich  
max.santeler@student.uibk.ac.at

## Zusammenfassung

Diese Studie untersucht und vergleicht Technologien zur Blick- und Gangerkennung in Extended Reality (XR) Umgebungen. Das Ziel besteht darin, sowohl die Möglichkeiten als auch die Grenzen jedes Verfahrens zur Benutzeridentifikation in XR-Systemen zu bewerten. Die Genauigkeit, Effizienz und Anwendungsbereiche beider Methoden werden durch die Analyse verschiedener Studien und Experimente untersucht. Besondere Aufmerksamkeit gilt den Schwierigkeiten, die jede Technologie mit sich bringt, wenn es um Umgebungsbedingungen, Benutzerkomfort und Datenerfassungspräzision geht. Darüber hinaus wird diskutiert, wie beide Technologien kombiniert werden könnten, um eine umfassende und zuverlässige Methode zur Benutzeridentifikation in XR zu entwickeln. Der Ausblick der Arbeit fokussiert sich auf zukünftige Entwicklungen und die Bedeutsamkeit ethische und Datenschutzaspekte in der Weiterentwicklung von XR-Technologien zu berücksichtigen.

## 1 Einführung

Virtual Reality (VR) hat in letzter Zeit zugenommen. Die Verringerung der Kosten und die verbesserte Zugänglichkeit von VR-Brillen haben dazu beigetragen, dass ein größeres Publikum davon profitiert. Mixed Reality (MR) gewinnt ebenfalls an Popularität, und Produkte wie die Meta Quest 3 spielen eine führende Rolle im Verbrauchermarkt. Mit zunehmender Verbreitung wird das Thema Sicherheit und Benutzererkennung immer wichtiger. Traditionelle Eingabemethoden, wie Tastaturen stoßen in VR-Umgebungen an ihre Grenzen, da beispielsweise die Passworteingabe mit den Zehn-Fingern nicht effektiv nachgebildet werden kann. PIN-Codes sind auch keine gute Lösung, da Unbefugte die Bewegungen des Controllers leicht erkennen können. Durch den Einsatz von Sensoren in Head-Mounted-Displays und Controllern entstehen neue Möglichkeiten, um diese Probleme anzugehen. Diese Geräte ermöglichen die Verwendung biometrischer Daten zur Benutzererkennung, ähnlich wie bei der Erkennung von Gesichtern oder Fingerabdrücken. Eine faszinierende

## 12:2 Blick- und Gangerkennung im Vergleich

Methode zur Erkennung von Benutzern besteht darin Bewegungsmuster zu analysieren. Die Gang- und Blickerkennung sind zwei biometrische Methoden, auf die in dieser Arbeit besonders eingegangen wird. Beide bieten vielversprechende Methoden zur sicheren und effektiven Benutzeridentifizierung in XR-Umgebungen.

## 2 Relevante Arbeiten

In der Welt der Extended Reality (XR) sind Blick- und Gangerkennung naheliegende Technologien anhand der vorhandenen Sensoren. Daher wird schon länger in den Bereichen geforscht. Die Anfänge anhand Personen anhand ihrer Blicke zu erkennen reicht zurück bis in die 2000er Jahre. Frühe Forschungen konzentrierten darauf Benutzer mithilfe ihrer Blicke und vorgegebenen Punkten zu erkennen [12]. Eine große Anzahl an Papern erscheint gerade jetzt durch den Anstieg von VR-Brillen mit verbauten Eye-Tracking-Sensoren [1]. In der folgenden Arbeit wird auf zwei Arten der Benutzererkennung durch Blicke eingegangen. Einerseits die Erkennung durch Augenbewegungen verbunden mit Kopfbewegungen [10]. Andererseits durch die Verfolgung von minimalen Augenbewegungen [2]. Parallel dazu entwickelte sich die Gangerkennung als eine wichtige Technologie. Es gibt mehrere Wege eine Person anhand des Ganges zu erkennen. Eine vorgeschlagene Möglichkeit war durch im Boden eingebaute Sensoren den Benutzer zu erkennen [19]. Es wurde auch immer wichtiger mit wenig Sensoren gut den Gang zu erkennen. Speziell im medizinischen Bereich ist es so leichter zugänglich und besser, um Krankheiten zu bemerken [8]. Auch für XR-Brillen war die Entwicklung von Vorteil. Es gibt zwar auch den Ansatz mithilfe der Position von Head-Mounted-Display und der Controller den Gang zu erkennen [15]. Allerdings wurde hier eine nicht so hohe Genauigkeit erzielt, daher wird spezieller Fokus auf die Arbeit, die den GaitLock Mechanismus vorgeschlagt gelegt [18].

## 3 Methodik

### 3.1 Blickerkennung

Für die Blickerkennung gibt es zwei interessante Ansätze dem Benutzer zu erkennen. Zuerst werden jedoch kurz Begriffe erklärt, die das Verständnis für die erste Methode verbessern. Sakkaden sind schnelle und unauffällige Bewegungen der Augen, die das Bild eines Objekts von einer entfernten Stelle auf der Netzhaut zum schärfsten Sehbereich bewegen. Die fixationsbasierte Interaktion hingegen konzentriert sich auf den Punkt, auf den die Augen gerichtet sind [20]. Diese zwei Arten der Augenbewegung sind wichtig für den folgenden Algorithmus.



© Max Santeler,  
licensed under Creative Commons License CC-BY

Cite as: Max Santeler, Blick- und Gangerkennung in erweiterter Realität im Vergleich. In *2nd Seminar on Cross-Reality Interaction (XR-I 2024)*. Editors: Pascal Knierim. February 2, 2024. Innsbruck, Austria. pp. 12:1–12:12.



### 3.1.1 Gaze and Head Orientation

Der in dem Paper [10] vorgestellte Ansatz zur Identifizierung von Nutzern in Virtual Reality (VR) basiert auf der Analyse des Blickverhaltens und der Kopfbewegung, wobei besonders die Geschwindigkeit des Blicks im Fokus steht. Diese wird durch die Verfolgung eines sich bewegenden Stimulus mit den Augen beeinflusst, wobei die Blickgeschwindigkeit je nach Bewegung des Stimulus variiert. Ein Stimulus, der innerhalb des Sichtfeldes bleibt und ein weiterer, der das Sichtfeld verlässt und somit Kopfbewegungen erfordert. Zur Datenklassifizierung wurde ein K-Nearest-Neighbors-Algorithmus mit einem modifizierten Schwellenwert für die Klassifizierung eingesetzt sowie Deep-Learning-Modelle auf Rohdaten angewandt. Zudem wurde benutzt REMoDNaV. Eine Open-Source Software zur Klassifizierung von Augenbewegungen für dynamische Stimuli, das Sakkaden, Fixationen und glatte Verfolgungen. Es nutzt geschwindigkeitsbasierte Methoden und robuste Statistiken, um die Genauigkeit in variablen Umgebungen zu steigern, und teilt lange Aufzeichnungen für bessere Ergebnisse [4]. Somit wurden dann schlussendlich Spitzengeschwindigkeiten von Sakkaden, Fixationen, glatten Verfolgungen und Kopfbewegung als entscheidende Features für die Identifikation festgelegt.

### 3.1.2 Minimal Eye Movement

Eine weitere Methode zur Benutzererkennung basiert auf der Analyse minimaler Blickbewegungen, erfasst mit einer Augenverfolgungsrate von 120 Hz. Diese Methode nutzt verschiedene Parameter wie Augendurchmesser, -öffnung, -weite und -richtung. Nach der Datenerfassung werden diese in 19 Features unterteilt, normalisiert und mittels Korrelationsanalysen sowie Boxplot-Visualisierungen auf ihre Einzigartigkeit hin überprüft. Besonders die dreidimensionalen Blickursprünge beider Augen (Gaze Origin) erwiesen sich als signifikant für die Nutzeridentifikation. Diese Erkenntnisse wurden durch den Einsatz von maschinellem Lernen und tiefen Lernmodellen, einschließlich Random Forest, k-Nearest Neighbors, Convolutional Neural Networks und Long Short-Term Memory, weiter validiert. Somit konnten basierend auf den analysierten Blickbewegungsmerkmalen die Teilnehmer erkannt werden, ohne dass sie spezifische Identifikationsaufgaben ausführen mussten [2].

## 3.2 Gangerkennung

Die Gangerkennung wird seit einiger Zeit als Authentifizierungstechnik untersucht. Beispielsweise wurde in einem Artikel aus dem Jahr 2007 vorgeschlagen, den Menschen mithilfe eines Beschleunigungssensors an der Hüfte zu identifizieren. Daher erreichte [6] eine Erkennungsrate von 86,3%. Das GaitLock-System,

welches die Gangart durch den Dynamic-SRC-Algorithmus erkennt. Grundsätzlich funktioniert der Algorithmus durch die Einteilung des Ganges in Schrittzyklen. Zudem werden durch bestimmte Methoden der Rechenaufwand verringert und die Genauigkeit erhöht. Anschließend wird der Algorithmus genauer beschrieben: Erstens werden Gyroskopen und Beschleunigungssensoren verwendet, um die Bewegungen des Benutzers zu messen, insbesondere während des Gehens. Um die Genauigkeit der Inertialsensormessungen zu verbessern, werden Kopfbewegungen berücksichtigt und entsprechend verarbeitet. Die Datenverarbeitung umfasst das Ausschließen von Gyroskopdaten aus der Y-Achse, da diese Kopfbewegungen in dieser Achse meist irregulär sind. Unregelmäßige Kopfbewegungen in anderen Richtungen werden durch den Bandpass-Butterworth-Filter gefiltert, da er nur Frequenzen in einem festgelegten Spektrum akzeptiert und andere herausfiltert [3]. In diesem Fall werden Frequenzen zwischen 0.4 - 2 Hz isoliert, da diese für den Schrittzklus relevant sind. Eine Datenmatrix, die die Daten von verschiedenen Sensoren interpoliert, zeigt jeden Schrittzklus. Im nächsten Schritt geht es um die sparse Darstellung der Daten. Das Ziel dieser Darstellung ist es möglichst viele Koeffizienten einer Linearkombination auf 0 zu setzen. Jeder Benutzer leistet einen Beitrag zu einem Teilwörterbuch, das aus den Trainingsdaten erstellt wird. Diese Teilwörterbücher bilden dann das gesamte Wörterbuch. Aus dem Wörterbuch werden dann gewisse Komponenten als Basiskomponenten gewählt. Somit kann dann aus einer sparsen Kombination von Basiskomponenten ein Gangmuster gebildet werden. Das Lösen eines L1-Optimierungsproblems ermöglicht die sparse Darstellung eines Test-Schrittzklus mit dem Wörterbuch. Dieses Problem zielt darauf ab, die L2-Norm der Unterschiede zwischen dem Test-Schrittzklus und seiner Darstellung im Wörterbuch zu reduzieren und gleichzeitig die Sparsamkeit der Darstellung zu fördern. Die Dynamic Time Warping (DTW)-Distanz wird in das Optimierungsproblem integriert, um Fehler in der Ausrichtung der Schrittzklen zu berücksichtigen. Das Konzept baut darauf auf die Unterschiede zwischen Test-Schrittzklus und Schrittzklus in einem Wörterbuch zu minimieren. Die Koeffizienten aus mehreren aufeinanderfolgenden Schrittzklen werden fusioniert, um die Erkennungsgenauigkeit zu erhöhen. Adaptive Gewichte, die auf dem Sparsity Concentration Index (SCI) basieren, werden verwendet, um die Fusion zu regulieren. Vorher wird jedoch auf die einzelnen Zyklen der Dynamic Time Warping Algorithmus [17] angewendet. Dadurch werden Unterschiede in Zeit und Geschwindigkeit berücksichtigt. Somit können die verglichenen Zyklen zeitlich optimal aneinander abgestimmt werden und es wird die Genauigkeit erhöht. Eindringlinge werden durch die Überprüfung der Klassifikationskonfidenz identifiziert und mehrere Benutzer werden durch die Auswahl der Klasse mit dem niedrigsten DTW-Residual authentifiziert. Optimized Projections und Column Reduction werden

angewendet, um die Rechenkomplexität zu reduzieren und die Echtzeiterkennung zu ermöglichen. Optimized Projections reduziert die Dimensionalität des L1-Optimierungsproblems mithilfe einer deterministischen und optimalen Projektionsmatrix. Die Reduzierung von Spalten verbessert die Effizienz des Algorithmus, indem sie die Redundanz innerhalb der Klasse im Wörterbuch verringert. Insgesamt zielt der Algorithmus darauf ab, eine präzise Gangarterkennung in Echtzeit zu ermöglichen, insbesondere im Zusammenhang mit dem Schutz von virtuellen und VR-Headsets. Die Integration von DTW und sparse Representation verbessert die Erkennungsrobustheit [18].

#### 4 Genauigkeit der Benutzeridentifikation

##### 4.1 Blickerkennung

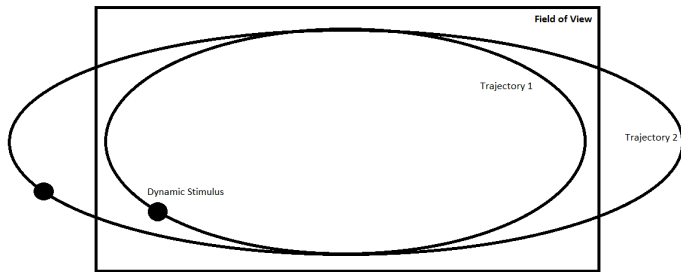


Abbildung 1 Nachbildung der Stimuli aus dem Experiment in [10]

Zur Evaluierung des Ansatzes wurde eine Laborstudie durchgeführt. Dazu wurden 12 Studenten eingeladen. Die Teilnehmer trugen ein HTC Vive Pro VR-Headset mit einem Eye-Tracking-Add-On von Pupil Labs. Während der Studie verfolgten die Teilnehmer zwei verschiedene Stimuli, wie in Abbildung 1 gezeigt wird. Einen, der sich innerhalb ihres Sichtfelds auf einer elliptischen Bahn bewegte und einen anderen, der sich darüber hinaus bewegte. Die dabei erzeugten Daten umfassten die Spitzengeschwindigkeiten für die drei wichtigsten Arten von Blickverhalten (Fixationspunkt, flüssige Verfolgung, Sakkaden) sowie die Kopforientierung. Mithilfe von Deep Learning und des Encoder-Modells konnten für den ersten Stimulus eine Genauigkeit von bis zu 96,97% erreicht werden. Beim zweiten Stimulus wurden sogar Werte von bis zu 100% erreicht, da die

Kopfbewegung mehr Daten liefert und somit die Genauigkeit erhöht [10]. Bei der zweiten Methode wurde eine VR-Umgebung für einen bildungsorientierten virtuellen Ausflug entwickelt, um Augenbewegungsdaten zu sammeln. Dieses Setting war so gestaltet, dass es eine reale Klassenzimmersituation nachbildete, ohne dass zusätzliche Aufgaben für den Authentifizierungsprozess erforderlich waren. Insgesamt wurden 34 Studienteilnehmer aus einer Universität rekrutiert. Die verwendete Ausrüstung umfasste ein HTC Vive Pro Eye VR-Headset mit integriertem Eye-Tracker, das vor Beginn der VR-Erfahrung kalibriert wurde. Die gesamte Studiendauer betrug etwa 20 bis 25 Minuten pro Teilnehmer, inklusive Einwilligung, Kalibrierung und Feedback [2].

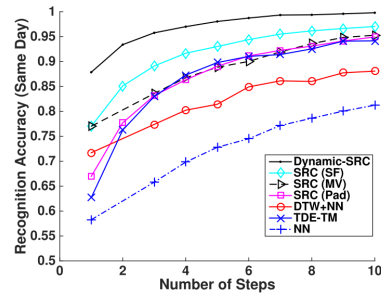
| Model Name                | CNN    | LSTM   | RF     | kNN    |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Accuracy with 12 features | 98.57% | 98.58% | 98.96% | 99.62% |
| Accuracy with 6 features  | 98.29% | 98.34% | 98.41% | 99.46% |

Tabelle 1 Klassifizierungsgenauigkeit verschiedener Modelle [2]

Nach Beendigung der Studie wurden mithilfe der Klassifikationsmodelle: Convolved Neural Network, Long Short Term Memory, Random Forest und k-Nearest-Neighbour die in Tabelle 1 angeführten Ergebnisse erzielt. Es wurde einerseits mit 6 oder 12 der besten Features gearbeitet. Es erzielten alle Modelle über 98% Genauigkeit.

##### 4.2 Gangerkennung

Um die Genauigkeit des Algorithmus zu bestimmen wurde ein Experiment ausgeführt, wo die IMUs (Beschleunigungsmesser und Gyroskop) aufgezeichnet wurden. Die Teilnehmer liefen eine bestimmte Route in einem Indoor-Umfeld entweder im Uhrzeigersinn oder gegen den Uhrzeigersinn. Es wurden 20 Teilnehmer im Alter von 20 bis 45 Jahren rekrutiert, um Daten durch das Tragen von Google Glass zu sammeln. Die Datenerfassung fand an vier Sitzungen mit mehr als 60 Schrittzyklen pro Sitzung statt, wobei der zweite Tag eine Woche nach dem ersten Tag stattfand.



■ **Abbildung 2** Genauigkeitsvergleich verschiedener Methoden in Innenraum-Experimenten aus [18]

In Abbildung 2 sieht man die hohe Genauigkeit von bis zu über 95%. Sie wird mit sechs anderen State of the art Gangarterkennungs-Algorithmen verglichen, wie Dynamic Time Warping with Nearest Neighborhood (DTW+NN) [11], Time-Delay Embeddings with Template Matching (TDE+TM)[5], Nearest Neighborhood (NN) und drei Varianten SRC with zero padding, sparse fusion und majority voting des SRC-Algorithmus. Die gemessenen Datensätze des Experiments wurden durch 20 Personen, die sich auf einer vorgezeichneten Route bewegt haben. Es wurden vier Sitzungen abgehalten wovon eine als Trainings- und die anderen als Testsets verwendet wurden [18]. Es ist ersichtlich, dass der vorgeschlagene Dynamic-SRC-Algorithmus die anderen Algorithmen übertrifft und somit die beste Genauigkeit für die Gangerkennung unter diesen gibt. Hierbei muss man beachten, wie die Umstände für das Experiment waren. Es gibt durchaus Indizien für eine kürzere Schrittweite und größere Schrittbreite in virtuellen Umgebungen mit VR-Brillen [7], die Test für GaitLock wurden mit einer AR-Brille durchgeführt, also müsste man das bei einer Implementation für VR-Brillen vielleicht beachten. Man darf auch für den Einsatz im Freien nicht vergessen weitere Faktoren zu berücksichtigen. Der Untergrund und die Schuhart können die Messungen des Inertialsensor beeinflussen [16].

## 5 Vergleich der Methoden

### 5.1 Herausforderungen

Jede Methode hat ihre eigenen Schwierigkeiten. Bei der Blickerkennung spielen mehrere Faktoren eine Rolle, welche die Technologie begrenzen. Zum einen sind die Sensoren relativ teuer. Eine Ausnahme ist zum Beispiel Pupil [9], die

mithilfe von Infrarotkameras und Sensoren das Auge verfolgen. Das Problem bei Infrarot ist allerdings der hohe benötigte Kontrast, der nicht immer bei Situation außerhalb gegeben ist [14]. Zwar trifft das hauptsächlich AR-Brillen, da VR-Brillen meist einen abgeschlossenen Bereich um das Auge bilden, allerdings werde diese gerade in der Zukunft zunehmendes wichtiger werden. Ein weiteres Problem ist dann noch die Stromeffizienz. Die Infrarotsensoren sind zwar genau, aber brauchen auch Platz und Strom der für AR-Brillen unpraktisch ist [13]. Obwohl die Gangerkennung widerstandsfähiger gegenüber Änderungen der Umgebung ist, ist es schwierig, genaue Daten in engen Räumen zu sammeln und erfordert eine komplexere Sensorik. Es gibt durchaus Indizien für eine kürzere Schrittweite und größere Schrittbreite in virtuellen Umgebungen mit VR-Brillen [7], die Test für GaitLock wurden mit einer AR-Brille (Google Glass), also müsste man das bei einer Implementation für VR-Brillen vielleicht beachten. Man darf auch für den Einsatz im Freien nicht vergessen weitere Faktoren zu berücksichtigen. Der Untergrund und die Schuhart können die Messungen des Inertialsensor beeinflussen [16].

### 5.2 Praktikabilität in XR-Anwendungen

Die Blickerkennung zeigt ihre Stärken in Anwendungen wie Augmented Reality, die präzise und fein abgestimmte Interaktionen erfordern. Die Fähigkeit, minimale Augenbewegungen zu erkennen, ermöglicht eine intuitive und natürliche Benutzererfahrung. Die Gangerkennung ist jedoch besser geeignet für dynamische Umgebungen, wie sie in VR-Spielen oder interaktiven Trainingsumgebungen vorkommen. Es ist wichtig, dass der gesamte Körper in die Interaktion einbezogen wird. Beide Methoden könnten angesichts ihrer spezifischen Stärken und Herausforderungen in verschiedene XR-Anwendungen integriert werden, um ein optimales Nutzererlebnis zu schaffen. Beispielsweise könnten VR-Trainingsszenarien die Aufmerksamkeit und körperliche Reaktion des Benutzers messen und analysieren, indem die Kombination aus Blick- und Gangerkennung verwendet wird. Somit würde ein viel besserer Einblick entstehen, wie Menschen sich in bestimmten Umgebungen verhalten oder auf welchen Bereich der Fokus liegt. Zum Beispiel könnte die Einbeziehung von Erkennung von Blick und Gang in das Feuerwehrtraining zu einer erheblichen Verbesserung der Ausbildung beitragen. Die Blickerkennung erfasst den Fokus und die Aufmerksamkeit der Trainierenden, während die Gangerkennung ihre Bewegungen in einer virtuellen Umgebung simuliert. Trainer können durch die Analyse von Augenbewegungen und Gangmustern Rückmeldungen geben, um bestimmte Trainingsbereiche, wie die räumliche Orientierung und die Erkennung von Gefahren zu verbessern. Außerdem wird durch die Daten besser auf persönliche Insuffizienzen hingewiesen werden können. Ein weiterer Vorteil besteht darin, eine höhere Sicherheit zu gewährleisten, da es möglich

ist, gefährliche Situationen in einer kontrollierten virtuellen Umgebung zu trainieren, ohne dass tatsächliche Gefahren vorliegen. Dadurch könnte man auch eine bessere Gruppenbildung fördern und hätte bessere Informationen über die Fähigkeiten der einzelnen Personen. Insgesamt führt die Kombination aus beiden Erkennungen zu einer effektiveren Feuerwehrausbildung, die sowohl kognitive als auch physische Aspekte des Einsatzes berücksichtigt.

## 6 Datenschutzaspekte

Im Zuge der rasanten Entwicklung von Extended Reality (XR) Technologien wird das Thema Datenschutz immer wichtiger. Insbesondere die Entwicklung von Technologien zur Erkennung von Augen- und Gangbewegungen stellt Fragen auf, die über den gewöhnlichen Datenschutz hinausgehen. Diese Technologien können nicht nur Informationen darüber sammeln, wohin eine Person schaut oder wie sie sich in einer virtuellen Umgebung bewegt, sondern sie können auch tiefer in die psychischen Zustände, Absichten und sogar die Gesundheit der Nutzer eindringen. Richtlinien und Standards, die die Privatsphäre der Nutzer schützen und einen ethischen Umgang mit diesen sensiblen Daten gewährleisten, müssen sofort erstellt werden, um solche sensiblen Daten zu erfassen. Die Fortschritte in XR-Technologien bieten außergewöhnliche Möglichkeiten. Doch ohne einen verantwortungsvollen Umgang mit den damit verbundenen ethischen und datenschutzrechtlichen Fragen könnten diese Technologien auch zu Werkzeugen der Überwachung und Manipulation werden. Um das volle Potenzial von XR-Technologien auf eine Weise zu nutzen, die die Rechte und Würde der Nutzer respektiert, ist es daher von entscheidender Bedeutung, Richtlinien und Standards zu entwickeln und zu implementieren, die Ethik und Datenschutz in den Vordergrund stellen.

## 7 Zusammenfassung

Diese Arbeit hat sich mit der Untersuchung und dem Vergleich von Technologien zur Blick- und Gangerkennung in XR-Umgebungen auseinandergesetzt. Das Ziel war es, die Möglichkeiten und Beschränkungen beider Methoden in Bezug auf die Identifizierung von Benutzern zu untersuchen. Durch die Analyse verschiedener Studien und Experimente wurden die Genauigkeit, Effizienz und Anwendungsbereiche dieser Technologien beleuchtet. Es wurde gezeigt, dass eine Kombination beider Technologien eine umfassende und zuverlässige Lösung für die Benutzeridentifikation in XR bieten könnte, trotz der Probleme in Bezug auf Umgebungsbedingungen, Benutzerkomfort und Datengenauigkeit. Um das volle Potenzial dieser Technologien auszuschöpfen, sollten zukünftige Entwicklungen insbesondere Ethik und Datenschutz berücksichtigen.

## 8 Ausblick

Die Zukunft der Blick- und Gangerkennung in Extended Reality (XR) Anwendungen verspricht spannende Entwicklungen und beachtliche Möglichkeiten. Mit fortschreitenden Innovationen könnten wir eine Verbesserung in der Genauigkeit und Effizienz dieser Technologien erleben. Besonders im Hinblick auf die Verkleinerung und Energieeffizienz der Sensoren sind signifikante Fortschritte zu erwarten, was ihre Integration in tragbare Geräte erleichtern und deren Anwendungsspektrum erweitern könnte. In Zukunft könnte sich die Nutzung von Blick- und Gangerkennung erheblich erweitern. Wie schon beim Feuerwehr Beispiel ersichtlich wurde, gibt es auch noch viele andere Anwendungsbereiche. Sie könnten beispielsweise im Gesundheitswesen zur Überwachung und Rehabilitation von Patienten mit motorischen oder neurologischen Störungen verwendet werden, während sie im Bildungsbereich personalisierte und interaktive Lernerfahrungen ermöglichen könnten. Diese Technologien könnten auch berufliche Schulungen unterstützen, insbesondere in hochspezialisierten oder gefährlichen Bereichen, um die Personen zu schützen, aber dennoch einen Lerneffekt zu haben. Es ist auch sehr wahrscheinlich, dass die interdisziplinäre Forschung in diesem Bereich zunehmen wird. Neue Methoden zur Benutzererkennung und -interaktion könnten durch die Integration von kognitiven Wissenschaften, künstlicher Intelligenz und XR-Technologie entwickelt werden. Diese Verbesserung könnte nicht nur die Benutzerfreundlichkeit und Effizienz von XR-Anwendungen verbessern, sondern auch völlig neue Anwendungsmöglichkeiten bieten. Mit der Ausbreitung dieser Technologien wird jedoch auch die Wichtigkeit von Moral und Datenschutz steigen. Um das Vertrauen der Nutzer in diese Technologien zu stärken, müssen Richtlinien und Standards erstellt werden, um die Privatsphäre der Nutzer und den ethischen Umgang mit sensiblen Daten zu schützen. Insgesamt wird die XR-Technologie-Welt eine aufregende Zukunft erleben. Indem sie neue Wege für Innovationen und Verbesserungen in verschiedenen Lebensbereichen eröffnet, könnten Blick- und Gangerkennung eine wichtige Rolle in der Gestaltung dieser Zukunft spielen. Es bleibt faszinierend zu verfolgen, wie sich diese Technologien weiterentwickeln und in unseren täglichen Lebensalltag einfügen werden.

### Literatur

- 1 I. B. Adhanom, P. MacNeilage, and E. Folmer. Eye tracking in virtual reality: a broad review of applications and challenges. *Virtual Reality*, 27:1481–1505, 2023. doi:10.1007/s10055-022-00738-z.
- 2 Sarker Monojit Asish, Arun K. Kulshreshth, and Christoph W. Borst. User identification utilizing minimal eye-gaze features in virtual reality applica-

- tions. *Virtual Worlds*, 1(1):42–61, 2022. URL: <https://www.mdpi.com/2813-2084/1/1/4>, doi:10.3390/virtualworlds1010004.
- 3 S. Butterworth. On the Theory of Filter Amplifiers. *Experimental Wireless & the Wireless Engineer*, 7:536–541, October 1930.
  - 4 Wagner A.S. Dar, A.H. and M. Hanke. Remodnav: robust eye-movement classification for dynamic stimulation. *Behavior Research Methods*, 53, 2020. doi:10.3758/s13428-020-01428-x.
  - 5 Jordan Frank, Shie Mannor, and Doina Precup. Activity and gait recognition with time-delay embeddings. 01 2010.
  - 6 Davrondzhon Gafurov. A survey of biometric gait recognition: Approaches, security and challenges. 01 2007.
  - 7 John H. Hollman, Robert H. Brey, Richard A. Robb, Tami J. Bang, and Kenton R. Kaufman. Spatiotemporal gait deviations in a virtual reality environment. *Gait & Posture*, 23(4):441–444, 2006. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966636205001062>, doi:<https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2005.05.005>.
  - 8 Delaram Jarchi, James Pope, Tracey K. M. Lee, Larisa Tamjidi, Amirhosein Mirzaei, and Saeid Sanei. A review on accelerometry-based gait analysis and emerging clinical applications. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, 11:177–194, 2018. doi:10.1109/RBME.2018.2807182.
  - 9 Moritz Kassner, William Patera, and Andreas Bulling. Pupil: An open source platform for pervasive eye tracking and mobile gaze-based interaction. UbiComp '14 Adjunct, page 1151–1160, New York, NY, USA, 2014. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/2638728.2641695.
  - 10 Jonathan Liebers, Patrick Horn, Christian Burschik, Uwe Gruenefeld, and Stefan Schneegass. Using gaze behavior and head orientation for implicit identification in virtual reality. In *Proceedings of the 27th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, VRST '21*, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/3489849.3489880.
  - 11 K. Chen M. B. Crouse and H. Kung. Gait recognition using encodings with flexible similarity measures. *Proc. 11th Int. Conf. Autonomic Comput.*, 2014.
  - 12 A. Maeder, C. Fookes, and S. Sridharan. Gaze based user authentication for personal computer applications. In *Proceedings of 2004 International Symposium on Intelligent Multimedia, Video and Speech Processing, 2004.*, pages 727–730, 2004. doi:10.1109/ISIMP.2004.1434167.
  - 13 Johannes Meyer, Thomas Schlebusch, Thomas Kuebler, and Enkelejda Kasneci. Low power scanned laser eye tracking for retinal projection ar glasses. In *ACM Symposium on Eye Tracking Research and Applications, ETRA '20 Adjunct*, New York, NY, USA, 2020. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/3379157.3391995.
  - 14 Johannes Meyer, Thomas Schlebusch, Hans Spruit, Jochen Hellmig, and Enkelejda Kasneci. A novel -eye-tracking sensor for ar glasses based on laser self-mixing showing exceptional robustness against illumination. In *ACM Symposium on Eye Tracking Research and Applications, ETRA '20 Short Papers*, New York, NY, USA, 2020. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/3379156.3391352.
  - 15 Ken Pfeuffer, Matthias J. Geiger, Sarah Prange, Lukas Mecke, Daniel Buschek, and Florian Alt. Behavioural biometrics in vr: Identifying people from body motion and relations in virtual reality. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '19*, page 1–12, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/3290605.3300340.
  - 16 Alia Saad, Nick Wittig, Uwe Gruenefeld, and Stefan Schneegass. A systematic analysis of external factors affecting gait identification. In *2022 IEEE International Joint Conference on Biometrics (IJCB)*, pages 1–9, 2022. doi:10.1109/IJCB54206.2022.10007994.
  - 17 H. Sakoe and S. Chiba. Dynamic programming algorithm optimization for spoken word recognition. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 26(1):43–49, 1978. doi:10.1109/TASSP.1978.1163055.
  - 18 Yiran Shen, Hongkai Wen, Chengwen Luo, Weitao Xu, Tao Zhang, Wen Hu, and Daniela Rus. Gaitlock: Protect virtual and augmented reality headsets using gait. *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, 16(3):484–497, 2019. doi:10.1109/TDSC.2018.2800048.
  - 19 Jaeseok Yun, Gregory Abowd, Woontack Woo, and Jeha Ryu. Biometric user identification with dynamic footprint. In *2007 Second International Conference on Bio-Inspired Computing: Theories and Applications*, pages 225–230, 2007. doi:10.1109/BICTA.2007.4806456.
  - 20 Yun Zhang, Zheru Chi, and Dagan Feng. An Analysis of Eye Movement Based Authentication Systems. In *International Conference on Mechanical Engineering and Technology (ICMET-London 2011)*. ASME Press, 01 2011. URL: <https://doi.org/10.1115/1.859896.paper164>, arXiv:[https://asmedigitalcollection.asme.org/book/chapter-pdf/2805665/859896\\\_paper164.pdf](https://asmedigitalcollection.asme.org/book/chapter-pdf/2805665/859896\_paper164.pdf).

# Biometrische Authentifizierung durch Handbewegungen in der virtuellen Realität

Martin Berkold

Universität Innsbruck, Innsbruck, Österreich  
martin.berkold@student.uibk.ac.at

## Zusammenfassung

Die sichere Authentifizierung ist ein wesentlicher Bestandteil in jedem System. Benutzer authentifizieren sich üblicherweise mit einem Benutzernamen und einem Passwort, welche über eine Tastatur eingetippt werden. In der virtuellen Realität (VR) ist diese Eingabemethode nicht immer verfügbar. Der Benutzer hält aber meist einen Controller in der Hand, um sich in der VR zu bewegen. Diesen Controller kann man als Eingabegerät nutzen, indem man den Benutzer eine Zeichnung in die Luft zeichnen lässt, die das Passwort ersetzt. Zusätzlich kann man neben der Zeichnung die Eigenschaften der Handbewegung messen und diese biometrischen Daten als zweites Authentifizierungsmerkmal bei der Authentifizierung des Benutzers auswerten.

Mithilfe von maschinellem Lernen (ML) und Filtertechniken können diese Daten bereinigt und ausgewertet werden und mit einer Genauigkeit von über 90% dem richtigen Benutzer zugeordnet werden. Diese Arbeit beleuchtet jeweils die Bewegungsauthentifizierung über die Handbewegung und die Authentifizierung durch ein in die Luft gezeichnetes Muster und versucht ansatzweise diese beiden separaten Methoden zu einer neuen sicheren Methode zu verknüpfen.

2012 ACM Computing Classification Security and privacy → Security services → Authentication → Biometrics

Keywords and phrases VR, Authentifizierung, Bewegungsmuster.

## 1 Einleitung

Die Verwendung von Handbewegungen als kontaktlose Eingabe für digitale Systeme erfährt in der kürzeren Vergangenheit immer größerer Beliebtheit. Es gibt viele Publikationen bezüglich der Erkennung von Handbewegungen, aber man kann nicht nur versuchen, die Handbewegung und die Intuition des Nutzers zu erkennen, sondern auch die Handbewegung an sich als biometrische Eigenschaft zu betrachten. Das führt speziell in Bereich der virtuellen Realität (VR) zu neuen Möglichkeiten, da dort herkömmlichen Eingabemöglichkeiten,

## 13:2 Authentifizierung in VR

beispielsweise die Eingabe über eine Tastatur, oft nicht vorhanden sind. Aus diesem Grund versucht diese Arbeit eine neue Authentifizierungsmethode vorzustellen, bei der eine Zeichnung anstatt eines Passworts berücksichtigt wird und im Hintergrund zusätzlich biometrische Merkmale überprüft werden.

Biometrische Eigenschaften sind messbare körperliche Eigenschaften, die bei jedem Menschen eindeutig sind. Sie können in physiologische Eigenschaften und Verhaltenseigenschaften eingeteilt werden [10]. Bekannte physiologischen Eigenschaften sind beispielsweise der Fingerabdruck und die Form der Iris, die bei einem Iris-Scan analysiert wird [9]. Die Bewegungen eines Menschen sind Verhaltenseigenschaften, darunter fallen der Gang eines Menschen, das Tipperverhalten auf einer Tastatur oder auch das Blickverhalten auf einen Bildschirm. Für diese Arbeit sind die Bewegungen der Arme relevant, welche ebenfalls verhaltensbasierte biometrische Eigenschaften sind.

Der Vorteil der verhaltensbasierten Eigenschaften ist, dass falls ein Verhaltensmuster gestohlen wird, kann einfach ein neues Verhaltensmuster gespeichert werden. Beispielsweise kann eine leicht andere Bewegung, durch eine andere Zeichnung verwendet werden. Eine physiologische Eigenschaft muss komplett ausgetauscht werden, und alle Benutzer des Systems sind davon betroffen, da beispielsweise von einem Fingerabdruck-Scanner zu einem Iris-Scanner gewechselt werden muss. Zudem gibt es meist nur eine begrenzte Anzahl an physiologischen Eigenschaften [14].

Das Ziel dieser Arbeit ist, die derzeitigen Datenerhebungsmethoden und Datenverarbeitungsmethoden zu analysieren und eine Verbindung zur Gestenerkennung zu bilden, damit sowohl das Bewegungsmuster, als auch das gezeichnete Muster selbst zur Authentifizierung verwendet werden kann. Dadurch soll eine Steigerung in der Sicherheit der Authentifizierung durch die Berücksichtigung von biometrischen Eigenschaften implementiert werden.

## 2 Verwandte Arbeiten

Chang et al.[14] erstellen in ihrer Arbeit „Dynamic-Hand-Gesture Authentication Dataset and Benchmark“ Benchmark Ergebnisse zur Verbesserung der Genauigkeit von Handgestenerkennung mithilfe von maschinellem Lernen. Ihr veröffentlichter Datensatz „SCUT-DHGA“ enthält über 1,8 Millionen Bilder. In ihren Messungen unterteilen Sie die Erkennung in zwei Teile. Sie fanden heraus, dass vordefinierte Bewegungen effizienter analysiert werden können, als freie Muster, aber die Genauigkeit ist annähernd gleich, wenn die Merkmale entsprechend gewählt werden.

Lu et al.[16] nutzen in ihrer Arbeit „Multifactor User Authentication with In-Air-Handwriting and Hand Geometry“ zur Benutzerauthentifizierung nicht nur die Bewegungsdaten, sondern auch die Form der Hand. Diese Form messen



© Martin Berkold;  
licensed under Creative Commons License CC-BY

Cite as: Martin Berkold, Biometrische Authentifizierung durch Handbewegungen in der virtuellen Realität. In *2nd Seminar on Cross-Reality Interaction (XR-I 2024)*. Editor: Pascal Knierim. February 2, 2024. Innsbruck, Austria. pp. 13:1–13:12.

Sie mithilfe einer Tiefenkamera und entwickelten einen Algorithmus, der den Unterschied zwischen den Daten erkennt und bewertet, ob die Daten von der richtigen Person stammen.

Liebers et al.[13] befassen sich in ihrer Arbeit „Exploring the Stability of Behavioral Biometrics in Virtual Reality in a Remote Field Study“ mit der zeitlichen Veränderung von Bewegungen. Sie untersuchten eine Gruppe von 15 Personen über einen Zeitraum von acht Wochen. Sie konnten eine Veränderung in den Bewegungsmustern nachweisen, aber trotz dieser Veränderung war die Genauigkeit der Authentifizierung hoch.

Kupin et al.[11] authentifizieren Benutzer mithilfe der Handbewegung, wenn ein Nutzer beispielsweise einen Ball auf eine Zielscheibe wirft. Um die Unterschiede von menschlichen Bewegungsabläufen auszubessern, wird in dieser Arbeit der symmetrische Summenquadrat Abstand verwendet, um zwei Bewegungsmuster zu vergleichen und zu bewerten. In ihrer Studie mit 14 Teilnehmern konnten sie eine Genauigkeit von bis zu 92 % erreichen.

### 3 Datenerhebung und Bereinigung

Um die Zeichnung und die Bewegung des Benutzers zu erfassen, kann auf Sensoren am Benutzer und auf externe Kamerasystem zurückgegriffen werden. In folgendem Teil wird auf die verschiedenen Sensoren eingegangen und wie mit der Ungenauigkeit und dem Rauschen der Kameras umgegangen wird.

#### 3.1 Sensoren

Bei Sensoren kann zwischen Sensoren unterschieden werden, die der Benutzer am Körper trägt oder in der Hand hält und Sensoren, die den Benutzer und seine Bewegungen von einer Entfernung aus messen. Bei der ersten Gruppe gibt es zum einen Sensoren, die wie ein Stift funktionieren und die Position der Finger zu erkennen. Der zweite Ansatz sind Sensoren, die an Handschuhen angebracht sind, oder die direkte Nutzung von Smartwatches und Smartphones, die sich sowieso bereits an oder in den Händen befinden[7, 5].

Bei den externen Kamerasystemen kann in radiowellenbasierter Erkennung und visueller Erkennung eingeteilt werden. Diese Gruppe hat den Vorteil, dass sie ohne Geräte und Sensoren am Benutzer auskommen, welche den Benutzer einschränken könnten. Die radiowellenbasierten Geräte unterscheiden sich in der Genauigkeit der Erkennung und der verwendeten Frequenz. Visuelle Erkennung wird bei den meisten Geräten mit Tiefenkameras erzielt [7, 20, 18]. Li et al. verwendet dazu eine Kinect Kamera und den Kalman-Filter. Die Schwierigkeit bei diesem System liegt darin, Handbewegungen so genau zu erkennen, dass sich diese eindeutig einem Benutzer zuordnen lassen [12].

#### 3.2 Identifikation von relevanten Eigenschaften

Biometrische Features, die für die Authentifizierung genutzt werden können, sind die Impedanz, Geometrie und Verhalten. Die Impedanz der Hand bezieht sich auf den Gesamtwiderstand, den die Hand gegenüber externen Kräften oder Bewegungen aufweist, was durch die Kombination von Steifigkeit, Dämpfung und Masse der Hand bestimmt wird. Die Geometrie der Hand beschreibt die äußere Form, Struktur und die Anordnung von Knochen, Muskeln, Sehnen und Gelenken, die ihre Funktionen wie Greifen, Halten und Manipulieren von Objekten ermöglichen. Das Verhalten der Hand beschreibt die Reaktionen, Bewegungen und Aktionen, die die Hand in Bezug auf äußere Einflüsse, Anforderungen oder sensorische Reize ausführt, einschließlich Greifen, Bewegen und Interagieren mit der Umgebung [15]. Für diese Eigenschaften werden die Position der Hand in allen 3 Achsen (x-Achse, y-Achse und z-Achse), die dazugehörigen Geschwindigkeit jeder Achse und die Beschleunigung kontinuierlich vom Controller in der Hand gemessen [16].

#### 3.3 Filterung von Störeinflüssen in den Daten

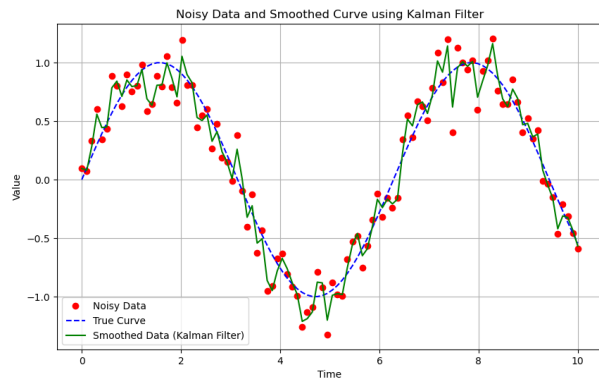
Sowohl die Sensoren, als auch die Bewegungen von einem Mensch an sich unterliegen einem Hintergrundrauschen. Das bedeutet, dass jeder Messwert nur eine bedingte Aussagekraft besitzt. Diese Ungenauigkeiten lassen sich mit der Anwendung des Kalman-Filters verbessern.

Der Kalman-Filter ist ein Algorithmus, der dazu dient, genauere Schätzungen über den tatsächlichen Zustand eines Systems zu liefern, indem er die unsicheren und verrauschten Messwerte von Sensoren mit vorherigen Schätzungen kombiniert. Durch diese Kombination und Berücksichtigung von Unsicherheiten ermöglicht der Kalman-Filter eine präzisere Rekonstruktion des tatsächlichen gezeichneten Bildes, selbst wenn die Eingabewerte mit Hintergrundrauschen behaftet sind. In Abbildung 1 wurden eine Kurve mit dem Kalman-Filter durch Punkte mit Hintergrundrauschen angenähert [7].

#### 3.4 Herausforderungen bei der Erfassung von Daten

Bei der Erfassung der Sensordaten ist ein Problem, die Daten so anzuordnen, dass unterschiedliche Startzeiten der Benutzer keinen Einfluss auf die Auswertungsgenauigkeit nehmen. Dafür kommt der Dynamic Time Warping (DTW) Algorithmus zum Einsatz.

DTW ist ein Algorithmus, der dazu dient, Ähnlichkeiten zwischen zwei zeitlichen Abfolgen, die in ihrer Geschwindigkeit variieren oder zeitlich verschoben sind, zu bestimmen. Es wird häufig in der Mustererkennung und Zeitreihenanalyse verwendet, um Unterschiede zwischen zeitlichen Daten zu quantifizieren, indem es die optimale Anpassung zwischen den Zeitreihen



■ **Abbildung 1** Anwendung des Kalman-Filters auf Sensordaten mit Hintergrundrauschen

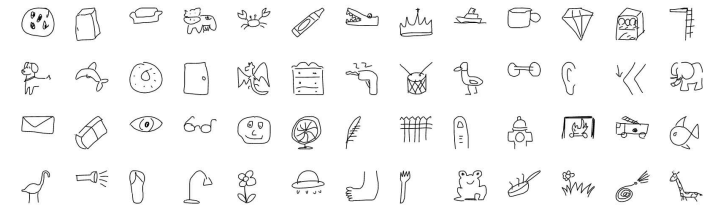
findet. DTW berücksichtigt zeitliche Verzerrungen, indem es die optimale Zuordnung zwischen den einzelnen Elementen der Zeitreihen berechnet und so Ähnlichkeiten unabhängig von zeitlichen Verzerrungen identifiziert [16, 6].

#### 4 Analyse der Daten

Um die aufgenommenen Bilder und die gemessenen Werte zu analysieren, wird für die Bilder ein neuronales Netzwerk (NN) verwendet und für die Messwerte der Sensoren kommt eine Distanzmetrik zum Einsatz, welche in den folgenden Abschnitten genauer beschrieben wird.

##### 4.1 Neuronale Netzwerke zur Zeichenerkennung

Ein NN wird verwendet, um die Zeichnungen des Benutzers zu kategorisieren. Das NN erhält ein Bild von einer Kamera als Eingabe. Dieses Bild wird vorverarbeitet, damit das NN effektiver funktioniert und genauere Ergebnisse liefert. Zunächst wird das Bild in ein Graustufenbild umgewandelt, anschließend wird es in ein Schwarz-Weiß-Bild umgewandelt, damit nur mehr die Umrisse der Zeichnung vom NN berücksichtigt werden. Die Zeichnung selbst bildet jeweils die Fingerspitze des Zeigefingers der Hand. Es gibt zwei Arten von Bewegungsmusterauthentifizierung. Die Authentifizierung über ein fix festgelegtes Muster und die zweite, bei der ein freies vom Benutzer definiertes Muster erstellt wird.



■ **Abbildung 2** „Quick Draw“ Datensatz von Google[8]

Die zwei Arten unterscheiden sich in den Training-Sets der Algorithmen für maschinelles Lernen. Die zweite Variante ist benutzerfreundlicher, aber schwieriger zu implementieren, worunter auch die Genauigkeit und Treffsicherheit leidet. Um eine höhere Genauigkeit zu erzielen, wird deshalb der Datensatz „Quick Draw“ von Google verwendet[8], der Zeichnungen in verschiedenen Schwierigkeitsgraden bereitstellt und genug Daten zur Verfügung stellt, damit das NN trainiert werden kann [7, 19].

Für die Erkennung gibt es 16, 32 und 64 Knoten in den drei inneren Ebenen des NN, sogenannten „Hidden Layers“. Es werden Convolutional2D Layer (Con2D) verwendet, da diese sehr gut zur Bilderkennung geeignet sind und lokale Zusammenhänge im Bild berücksichtigen. Max Pooling Layer verringern die Anzahl an Dimensionen. Am Ende werden die Daten in eine Ausgabe mit einer Länge von 345 umgewandelt, siehe Abbildung (3). 95 % des Datensatzes wurden zum Trainieren des NN verwendet, die restlichen 5 % wurden zur Evaluation verwendet. Das NN erreicht am Ende eine Genauigkeit von mehr als 95 % [7, 3, 2].

##### 4.2 Bewegungsmusterauthentifizierung

Für die Bewegungsauthentifizierung werden die Bewegungsmuster, wie im vorherigen Kapitel, mit dem Kalman-Filter und DTW verarbeitet. Vorher werden fehlende Datenpunkte, die aufgrund der limitierten Leistung der Sensoren entstehen, interpoliert. Das DTW Verfahren wird zur zeitlichen Anordnung genutzt. Anschließend werden die Daten mit einer elementweisen Distanz-Metrik verglichen. Der Vergleich bezieht sich auf die Datensequenz des Authentifizierungsprozesses und eines sogenannten *Templates* [17].

Bei der Registrierung erstellt der Benutzer dieses Templates. Dies wird bei einem Authentifizierungsversuch als Referenz hergenommen und ist eine temporale Datensequenz zum Vergleichen. Dabei wird der Unterschied zwischen den neuen Daten und dem Template berechnet und ausgewertet. Zum Einsatz kommt ein *Threshold-Then-Vote* (TTV) Algorithmus, siehe (1), der jede



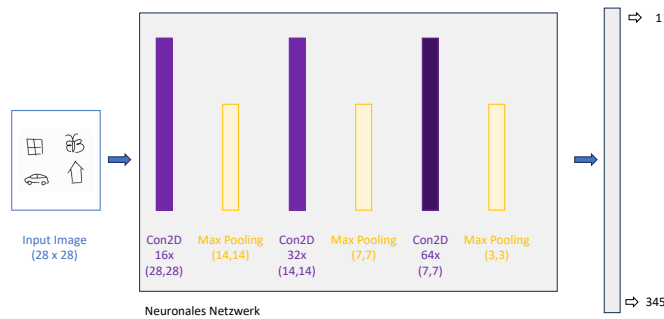


Abbildung 3 NN für Zeichenerkennung nach [7]

Distanz in „Treffer“, „kein Treffer“ und „unsicher“ einteilt. Die optimalen Werte für die Schwellenwerte  $th_1$  und  $th_2$  werden empirisch ermittelt.

Diese Voting-Methode besitzt den Vorteil, dass kleine lokale Unstimmigkeiten in den Bewegungsmustern keine Auswirkungen auf spätere Zeitpunkte besitzen und der Fehler nicht propagiert wird. Dies wäre der Fall, bei der ausschließlichen Nutzung des DTW Algorithmus. Jedoch bei Bewegungsmustern von unterschiedlichen Personen, ist der Unterschied in den einzelnen Datenpunkten so häufig, dass auch die Voting-Methode eine Unstimmigkeit feststellt. Am Ende ist der Anmeldeversuch dann erfolgreich oder nicht. Bei einer erfolgreichen Anmeldung werden die neuen Daten in dieses Template mit aufgenommen. Somit wird die Veränderung der Bewegung über die Zeit ausgeglichen [16]. Analysen haben gezeigt, dass die Position in der x-Achse und die dazugehörige Beschleunigung am variabelsten sind und deswegen für den Algorithmus schwer klassifizierbar sind. Zudem ist die Streuung der Beschleunigungen geringer, also die Streuung der Position in allen drei Richtungen. Dies ist auf die nicht vorhandene Oberfläche zurückzuführen. Ebenfalls wurde ersichtlich, dass die Genauigkeit der Methode nicht stark von der Anzahl der im Vorhinein durchgeführten Versuche abhängt. Dies ist insbesondere relevant, da somit wenig Zeit für die erstmalige Konfiguration notwendig ist und die Nutzbarkeit des Systems dadurch steigt [1].

$$TTV(x) = \begin{cases} 0, & \text{if } x \leq th_1 \\ 0.5, & \text{if } th_1 < x \leq th_2 \\ 1, & \text{if } x > th_2 \end{cases} \quad (1)$$

### 4.3 Passwortsicherheit bei Mustern

Für den Vergleich der Sicherheit wird die Passwortentropie nach der NIST [4] Definition (2) verwendet, wobei S die Anzahl an möglichen Ziffern ist und L die Länge des Passwortes. Trotz der Einschränkung auf 345 vordefinierten Zeichen des Google Datensatzes, ist die Passwortentropie im Vergleich zu herkömmlichen 4 Ziffern Pins, bereits bei Verwendung von 2 Mustern höher. Deswegen wird für die Bewegungsauthentifizierung nicht nur ein Muster verwendet, sondern drei aufeinander folgende verschiedene Muster, die nacheinander gezeichnet werden. Genauer gesagt besitzt ein 4-stelliger Pin eine Entropie von 13.28 und die vorgestellte Methode mit 3 unterschiedlichen Mustern, ohne der Berücksichtigung des Bewegungsmusters, eine Entropie Wert von 25.29 [7].

$$password\ entropy = \log_2 S^L \quad (2)$$

### 4.4 Authentifizierungsablauf

Um die Vorteile beider System für sich zu nutzen, könnte man beide Systeme vereinen und somit die Bewegungsdaten, welche beim Zeichnen eines Musters entstehen, und das Muster selbst analysieren und für die Authentifizierung verwenden. Ein kompletter Authentifizierungsablauf würde dann wie folgendermaßen aussehen. Für den Start der Authentifizierung bildet der Benutzer mit der Hand für zwei Sekunden eine Faust, wobei der Zeigefinger ausgestreckt ist. Nach diesen zwei Sekunden beginnt der Benutzer mit dem Zeichnen. Sobald das erste Muster komplett ist, ballt der Benutzer für zwei Sekunden eine Faust. Diese Handform ist das Zeichen für das System, dass die Zeichnung komplett ist. Mit der für zwei Sekunden offenen Hand löscht der Benutzer seine vorherige Eingabe und kann von neuen beginnen und seine zweite Zeichnung starten [7]. Sobald die Bewegungserkennung und die Zeichenerkennung den Benutzer erkannt haben, ist dieser authentifiziert.

Damit diese drei Handzeichen rasch erkannt werden können, wird ein zweites NN verwendet, dass nur auf diese drei Handformen trainiert wurde. Um eine geeignete Menge an Bildern zu generieren, wurden Bilder künstlich hergestellt. Dabei wurde ein Bild einer Handgeste beispielsweise in unterschiedliche Perspektiven konvertiert [7].

## 5 Problemfelder und Herausforderungen

Ein Problem der vorgestellten Methode ist die Notwendigkeit eines externen Kamerasystems, damit das gezeichnete Muster erkannt werden kann. Dies erschwert die Portabilität, wenn sich der Nutzer beispielsweise in einen anderen

Raum bewegt. Dieses externe Kamerasystem führt zu einer weiteren Schwachstelle, da bei fehlender Helligkeit der Umgebung ebenfalls keine brauchbaren Bilder für die Bilderkennung und Analyse erstellt werden können und somit keine Authentifizierung stattfinden kann. Zudem ist die einfache Verwendung durch das externe Kamerasystem nicht gegeben.

Eine Herausforderung für die Sicherheit stellen externe Beobachter des Benutzers dar. Diese Beobachter sind aber nur im Rücken des Benutzers relevant, da frontale Beobachter und Beobachter von der linken und rechten Seite zu wenig Einblick in das gezeichnete Muster erlangen, oder dieses spiegelverkehrt für sie gezeichnet wird, was eine Erkennung schwierig macht. Aufnahmen von Benutzern während des Authentifizierungsvorgangs sind auch eine weitere Herausforderung für die Sicherheit des Systems [7].

## 6 Ergebnisse

Im Vergleich zur Passwordeingabe ist die Authentifizierung mit Zeichnungen langsamer. Im Schnitt brauchen Benutzer zwischen 30 und 60 Sekunden. Dabei wurde festgestellt, dass die Zeit der Authentifizierung sehr stark mit der Komplexität der gewählten Zeichnungen zusammenhängt [7].

Für eine Befragung wurden 20 Benutzer ausgewählt, die das System, ohne biometrischer Authentifizierung, getestet haben. 40 Prozent der Befragten gaben an, dass eine Authentifizierung mithilfe des Zeichnens sehr einfach zu benutzen ist. 25 Prozent bewerteten diese Frage als neutral. Weniger Zustimmung erhielt die Frage, ob es einfach ist, die Zeichnungen in der Luft zu malen. Der getestete Prototyp erzielt zudem eine Genauigkeit von 95 % bei der Zuordnung eines Authentifizierungsversuches zum richtigen Benutzer [7].

Die modifizierte Anwendung des DTW Algorithmus führt zu einer Halbierung der Equal-Error-Rate (EER) auf 0,6 %. Auch bei der Registrierung der Benutzer ist der Algorithmus überlegen, da er auch mit nur wenigen Beispielen effizient arbeitet. Dies führt bereits von Beginn an zu einer guten Benutzererfahrung und einfachen Handhabung, was für den Erfolg des Systems essenziell ist [16].

## 7 Ausblick

In Zukunft wird die Verwendung der besser werdenden Kameras der VR-Headsets anstatt der externen Kameras relevant. Ein weiterer Punkt ist die reine Verwendung von mehreren biometrischen Features, wie beispielsweise der Kopfbewegung und das Blickverhalten. Dies würde eine noch effizientere und für den Benutzer unkompliziertere Authentifizierung ermöglichen. Dabei spielt aber auch die Genauigkeit der Sensoren eine wesentliche Rolle.

Die Benutzerfreundlichkeit des gesamten Systems ist ein weiterer unbekannter Faktor. Erst nach der Fertigstellung eines vollständigen Prototyps ist es möglich, dies zu untersuchen.

Ein Problem, das noch gelöst werden muss, ist die Veränderung von Bewegungsmuster mit der Zeit und wie diese Veränderung so erkannt werden kann, dass sich ein Benutzer immer noch anmelden kann, auch wenn der Benutzer sich schon eine längere Zeit nicht mehr authentifiziert hat und seine Bewegungen sich verändert haben. Dies alles führt zu einer kontinuierlichen, aber für den Benutzer nicht wahrnehmbaren Authentifizierung [13].

Für eine noch größere Genauigkeit kann auch der Google Datensatz etwas eingeschränkt werden, damit ähnliche Muster nicht falsch erkannt werden. Welche Muster dafür infrage kommen und wie diese Auswahl effizient und zielführend ermittelt wird, muss in Zukunft durch Feldversuche geklärt werden. Es ist auch möglich, dass nicht jedes System dieselben Muster verwendet, sondern für jedes System eine eigene Auswahl an Muster getroffen wird. Dieses Subset könnte dann je nach Sicherheitsgrad, Authentifizierungsaufwand und Benutzergruppe abgestimmt werden und somit die Benutzbarkeit nochmals erhöht werden [16].

## 8 Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Authentifizierung in einer VR andere Herausforderungen beinhaltet, als in der richtigen Welt. Besonders die Eingabe von textbasierten Inhalten wie Passwörtern stellt hier eine der primären Schwierigkeiten dar. Die Authentifizierung über ein in die Luft gezeichnetes Muster kann diese Hürde umgehen, aber birgt auch weitere Probleme, unter anderem die Erkennung dieses Zeichens. Die Erkennung gelingt mit externen Kameras aktuell am genauesten, obwohl sie die Portabilität des gesamten Systems erschweren.

Durch die erweiterte Nutzung der Bewegung beim Zeichnen des Musters lässt sich die Sicherheit erhöhen, ohne das System für den Benutzer zu verändern und die Nutzbarkeit dadurch zu senken. Für die Auswertung kommen neuronale Netzwerke und weitere Algorithmen zum Einsatz, die es ermöglichen, die gemessenen Daten, mit einer hohen Genauigkeit, dem richtigen Benutzer zuzuordnen und diesen Benutzer damit zu authentifizieren.

---

### Literatur

- 1 A. Ajit, N. Banerjee, and S. Banerjee. Combining pairwise feature matches from device trajectories for biometric authentication in virtual reality environments. In *2019 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality (AIVR)*, pages 9–97, Los Alamitos, CA, USA, dec 2019.

- IEEE Computer Society. URL: <https://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/AIVR46125.2019.00012>, doi:10.1109/AIVR46125.2019.00012.
- 2 Md. Shahinur Alam, Ki-Chul Kwon, and Nam Kim. Trajectory-based air-writing character recognition using convolutional neural network. In *2019 4th International Conference on Control, Robotics and Cybernetics (CRC)*, pages 86–90, Sep. 2019. doi:10.1109/CRC.2019.00026.
  - 3 Grigoris Bastas, Kosmas Kritsis, and Vassilis Katsouros. Air-writing recognition using deep convolutional and recurrent neural network architectures. In *2020 17th International Conference on Frontiers in Handwriting Recognition (ICFHR)*, pages 7–12, Sep. 2020. doi:10.1109/ICFHR2020.2020.00013.
  - 4 William Burr, Donna Dodson, Elaine Newton, Ray Perlner, William Polk, Sarbari Gupta, and Emad Nabbus. Electronic authentication guideline, 2013-08-29 2013. doi:<https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-63-2>.
  - 5 Sathya D, Chaithra V, Srividya Adiga, Srujana G, and Priyanka M. Systematic review on on-air hand doodle system for the purpose of authentication. In *2023 Third International Conference on Artificial Intelligence and Smart Energy (ICAIS)*, pages 1460–1467, Feb 2023. doi:10.1109/ICAIS56108.2023.10073858.
  - 6 Jorrel J. David, John Carlo L. Genavia, Trixie L. Laplana, Lady Faith O. Rodrigo, Darwin A. Rodriguez, and Roselito E. Tolentino. Hand gesture recognition model using standard deviation-based dynamic time warping technique. In *2021 5th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*, pages 1043–1050, April 2021. doi:10.1109/ICCMC51019.2021.9418237.
  - 7 Abdelghafar R. Elshenaway and Shawkat K. Guirguis. On-air hand-drawn doodles for iot devices authentication during covid-19. *IEEE Access*, 9:161723–161744, 2021. doi:10.1109/ACCESS.2021.3131551.
  - 8 Google. The quick, draw! dataset. <https://github.com/googlecreativelab/quickdraw-dataset>. [Accessed 19-12-2023].
  - 9 Anil Jain, Lin Hong, and Sharath Pankanti. Biometric identification. *Commun. ACM*, 43(2):90–98, feb 2000. doi:10.1145/328236.328110.
  - 10 Anil K. Jain, Arun A. Ross, and Karthik Nandakumar. *Introduction*, pages 1–49. Springer US, Boston, MA, 2011. doi:10.1007/978-0-387-77326-1\_1.
  - 11 Alexander Kupin, Benjamin Moeller, Yijun Jiang, Natasha Kholgade Banerjee, and Sean Banerjee. Task-driven biometric authentication of users in virtual reality (vr) environments. In Ioannis Kompatsiaris, Benoit Huet, Vasileios Mezaris, Cathal Gurrin, Wen-Huang Cheng, and Stefanos Vrochidis, editors, *MultiMedia Modeling*, pages 55–67, Cham, 2019. Springer International Publishing.
  - 12 Kai Li, Jun Cheng, Qieshi Zhang, and Jianming Liu. Hand gesture tracking and recognition based human-computer interaction system and its applications. In *2018 IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA)*, pages 667–672, Aug 2018. doi:10.1109/ICInfA.2018.8812508.
  - 13 Jonathan Liebers, Christian Burschik, Uwe Gruenefeld, and Stefan Schnee-gass. Exploring the stability of behavioral biometrics in virtual reality in a remote field study: Towards implicit and continuous user identification through body movements. In *Proceedings of the 29th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, VRST '23*, New York, NY, USA, 2023. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/3611659.3615696.
  - 14 Chang Liu, Yulin Yang, Xingyan Liu, Linpu Fang, and Wenxiong Kang. Dynamic-hand-gesture authentication dataset and benchmark. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 16:1550–1562, 2021. doi:10.1109/TIFS.2020.3036218.
  - 15 Jianwei Liu, Xiang Zou, Jinsong Han, Feng Lin, and Kui Ren. Biodraw: Reliable multi-factor user authentication with one single finger swipe. In *2020 IEEE/ACM 28th International Symposium on Quality of Service (IWQoS)*, pages 1–10, June 2020. doi:10.1109/IWQoS49365.2020.9212855.
  - 16 Duo Lu, Dijiang Huang, Yuli Deng, and Adel Alshamrani. Multifactor user authentication with in-air-handwriting and hand geometry. In *2018 International Conference on Biometrics (ICB)*, pages 255–262, Feb 2018. doi:10.1109/ICB2018.2018.00046.
  - 17 Duo Lu, Kai Xu, and Dijiang Huang. A data driven in-air-handwriting biometric authentication system. In *2017 IEEE International Joint Conference on Biometrics (IJCB)*, pages 531–537, Oct 2017. doi:10.1109/BTAS.2017.8272739.
  - 18 Sai Deepika Regani, Chenshu Wu, Beibei Wang, Min Wu, and K. J. Ray Liu. mmwrite: Passive handwriting tracking using a single millimeter-wave radio. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(17):13291–13305, Sep. 2021. doi:10.1109/JIOT.2021.3066507.
  - 19 Tsung-Han Tsai, Po-Ting Chi, and Kuo-Hsing Cheng. A sketch classifier technique with deep learning models realized in an embedded system. In *2019 IEEE 22nd International Symposium on Design and Diagnostics of Electronic Circuits & Systems (DDECS)*, pages 1–4, April 2019. doi:10.1109/DDECS.2019.8724656.
  - 20 Can Uysal and Tansu Filik. Rf-wri: An efficient framework for rf-based device-free air-writing recognition. *IEEE Sensors Journal*, 21(16):17906–17916, Aug 2021. doi:10.1109/JSEN.2021.3082514.

# Vulnerabilitäten und Abwehrmaßnahmen gegen Cyberangriffe in Mixed Reality.

Lukas Hofer

Universität Innsbruck, Innsbruck, Österreich  
lukas.hofer@student.uibk.ac.at

## Zusammenfassung

Mixed Reality hat sich als transformative Technologie etabliert, die die Grenzen zwischen der physischen und digitalen Welt verschwimmen lässt. Mit der zunehmenden Integration von MR-Anwendungen in unseren Alltag eröffnen sich aufregende Möglichkeiten, angefangen bei immersiven Spielerlebnissen bis hin zu verbesserten Schulungen am Arbeitsplatz. Doch diese Verschmelzung der Realitäten wirft auch wichtige Fragen bezüglich des Datenschutzes und der Sicherheit von Einzelpersonen und Organisationen auf. In diesem Zusammenhang ist die Gewährleistung des Schutzes persönlicher Daten, die Abwehr von Cyberbedrohungen und die Bewältigung der besonderen Herausforderungen, die MR-Umgebungen mit sich bringen, von höchster Bedeutung. Diese Arbeit beabsichtigt, eine Einführung in Cyberangriffe im Kontext von Mixed Reality zu bieten, wobei gleichzeitig die effektivsten Abwehrstrategien beleuchtet werden sollen. Dadurch kann sich der Endverbraucher optimal gegen solche Angriffe schützen.

**Keywords and phrases** Mixed-Reality; Cyberangriffe; Social-Engineering; Malware; Bystandarts; Verteidigungsstrategien.

## 1 Einleitung

Die Relevanz von Datenschutz und Sicherheit in Verbindung mit Mixed Reality wird vor allem durch die Menge an Daten, die während der Nutzung dieser Technologie generiert und verarbeitet werden, unterstrichen. Die Erfassung persönlicher Verhaltensmuster, wie Handbewegungen und Augenbewegungen, kann dazu verwendet werden, ein detailliertes Profil eines Nutzers zu erstellen. Diese Profile könnten für verschiedene Zwecke missbraucht werden, sei es für gezielte Werbung, Betrug oder die Verletzung der Privatsphäre. Ein weiteres Problem ist die Speicherung und Sicherung dieser gesammelten Daten. Mixed Reality-Systeme erfassen oft Ton- und Videodaten, Positionsinformationen und biometrische Daten. Diese Informationen sind äußerst sensibel und müssen angemessen geschützt werden, um Missbrauch zu verhindern.



© Lukas Hofer;  
licensed under Creative Commons License CC-BY

Cite as: Lukas Hofer. Vulnerabilitäten und Abwehrmaßnahmen gegen Cyberangriffe in Mixed Reality. In *2nd Seminar on Cross-Reality Interaction (XR-I 2024)*. Editor: Pascal Knierim. February 2, 2024. Innsbruck, Austria. pp. 14:1–14:10.

## 2 Cyberangriffe

Eine der häufigsten und auch besorgniserregendsten Bedrohungen in Mixed Reality sind wohl zweifellos Cyberangriffe. Cyberangriffe sind keineswegs auf die virtuelle Welt beschränkt, doch in der Mixed Reality eröffnen sich neue Möglichkeiten für ihre Umsetzung. Cyberangriffe sind gezielte, illegale Handlungen, bei denen Angreifer digitale Systeme und Netzwerke infiltrieren, manipulieren oder zerstören, um auf vertrauliche Informationen zuzugreifen, Schaden anzurichten oder ihre eigenen Interessen durchzusetzen. Im Kontext der Mixed Reality umfassen Cyberangriffe die Bedrohungen und Angriffsmethoden, die speziell auf die Schnittstelle zwischen der physischen und virtuellen Welt abzielen, einschließlich der Manipulation von AR- und VR-Anwendungen, um potenzielle Sicherheitslücken auszunutzen oder die Privatsphäre der Nutzer zu gefährden [18, 11]. Dadurch, dass ein VR-Headset im Grunde genommen ein weiterer Computer oder ein IoT-Gerät ist und eine VR-Anwendung einfach eine Softwareanwendung ist, sind alle VR-Systeme anfällig für die gleichen Schwachstellen wie ein Computer, ein Tablet oder ein Smartphone oder eines der IoT-Geräte, mit denen wir umgeben sind [2].

## 3 Social-Engineering

Eine Spezielle Art von Cyberangriffen ist Social Engineering. Social Engineering (engl. eigentlich „angewandte Sozialwissenschaft“, auch „soziale Manipulation“) bezieht sich auf die gezielte Beeinflussung von Menschen, mit dem Ziel, bei Personen bestimmte Verhaltensweisen hervorzurufen. Die Opfer werden dann oft genötigt, vertrauliche Informationen preiszugeben, Produkte zu kaufen oder auch Finanzmitteln zu bewegen [19]. Wie auch in der physischen Welt tritt Social Engineering auch in Mixed Reality Welten auf. Social Engineering setzt in der Regel auf menschliches Versagen und nicht auf technische Schwachstellen. Daher ist Social Engineering besonders effektiv in Umgebungen, in denen die Benutzer interagieren und Informationen austauschen [14]. Social Engineering kann als die Kunst der Manipulation und Täuschung von Menschen auf sozialer Ebene beschrieben werden, um vertrauliche Informationen zu erhalten. Die Ziele eines Social Engineering-Angriffs sind in der Regel Personen, die Zugriff auf begehrte Informationen haben, hauptsächlich Mitarbeiter von Unternehmen. Aber auch die Informationen von normalen Bürgern sind für die Angreifer Grund genug, einen Social Engineering Angriff zu starten. Ein Social Engineer nutzt Erkenntnisse aus den Sozialwissenschaften über menschliches Verhalten und die Prinzipien der Überzeugung [12].

### 3.1 Identitätsmanipulation

Eine der möglichen Schnittstellen zwischen Mixed Reality und sozialer Manipulation liegt in der Manipulation von Identitäten. In Mixed-Reality-Umgebungen können Benutzer unter anderem Avatare gesteuerte Darstellungen von sich selbst oder anderen erstellen und in virtuellen Welten interagieren. Diese Avatare können so gestaltet werden, dass sie anderen Personen ähneln [17]. Dies bietet eine perfekte Angriffsfläche für das sogenannte Spear Phishing. Dabei handelt es sich um eine gezielte Social-Engineering-Methode, bei der der Angreifer detaillierte Informationen über das Opfer sammelt und diese Informationen nutzt, um das Vertrauen zu gewinnen [14, 6]. In einer Mixed Reality-Umgebung könnte dies beispielsweise durch die Erstellung einer virtuellen Figur, die sich als vertrauter Kollege oder Kunde ausgibt, geschehen. Durch Identitätsmanipulation werden Nutzer in virtuellen Umgebungen getäuscht. Die Betrüger können auch Spieler im Spiel dazu bringen, Handlungen in der realen Welt durchzuführen, die sie normalerweise nicht tun würden [13].

### 3.2 Verschmelzung der Realität

Angreifer könnten auch 3D-Objekte in Mixed Reality-Welten verwenden, um virtuelle Täuschungen zu erzeugen. Diese könnten sie dann dazu verwenden, um Nutzer zu verwirren oder von einer realen Bedrohung abzulenken. So kann das Opfer beispielsweise unbemerkt bestohlen werden. Auch Zeugen bei illegalen Aktivitäten könnten dadurch minimiert werden, dass die illegale Aktivität einfach hinter einem virtuellen Objekt verschwindet [?].

### 3.3 Menschlicher Faktor

Der Mensch ist das schwächste Glied in der Sicherheitskette. Diese Tatsache wird besonders deutlich in einer Zeit, in der Social Engineering Angriffe eine immer größere Bedrohung darstellen. Diese Art von Angriffen nutzt die menschliche Schwäche aus, um sensible Informationen zu erlangen. Technologische Fortschritte allein können die psychologische Manipulation des Menschen nicht verhindern [16]. Es wurde eine Untersuchung durchgeführt, welche die Sicherheitspraktiken und Einstellungen von Menschen in Bezug auf Social Engineering Angriffe untersucht. Die Studie wurde mittels Interviews mit 70 Personen durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass allein die Tatsache, Opfer eines Social Engineering Angriffs gewesen zu sein, nicht ausreicht, um zukünftige Angriffe zu verhindern. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass viele Menschen trotz ihres Wissens über Sicherheitsmaßnahmen anfällig für Social Engineering Angriffe sind. Zum Beispiel gaben 84,2% der Befragten an, ihre Spam-E-Mail-Einstellungen nicht anzupassen, und 68,41% recherchieren nicht die Quelle einer E-Mail, SMS oder Telefonanruf, was sie verwundbar

macht. Nur 26,3% der Befragten verwenden starke und regelmäßig wechselnde Passwörter, während 73,7% Passwörter verwenden, die in irgendeiner Weise mit persönlichen Informationen verbunden sind. Es ist offensichtlich, dass die Einstellungen und Praktiken der Menschen ein erhebliches Risiko für Social Engineering Angriffe darstellen. Um diese Sicherheitslücke zu schließen, wird ein Social-Engineering-Abwehrmodell empfohlen.

Abbildung 1 stellt ein empfohlenes Modell für den Umgang mit Social Engineering-Angriffen im Alltag dar. Der Mensch ist besonders anfällig in der Beziehungsphase, in der eine Verbindung mit dem Angreifer aufgebaut wird. Das vorgestellte Modell beinhaltet einen Mechanismus, um sicherzustellen, dass potenzielle Opfer auf mögliche Angriffe vorbereitet sind und diese abschwächen können. Dieser Mechanismus setzt auf regelmäßige Simulationen von Social Engineering-Szenarien, um die Opfer für potenzielle Angriffe zu sensibilisieren. Zusätzlich werden regelmäßige Schulungen durchgeführt, um die Opfer über aktuelle Methoden von Social Engineering-Angriffen zu informieren und ihnen persönliche Sicherheitsrichtlinien näherzubringen. Die persönlichen Sicherheitsrichtlinien umfassen verschiedene Maßnahmen wie das Einstellen der Spam-Filter auf „Hoch“, die Überprüfung der Quelle von E-Mails, die Verwendung vertrauenswürdiger Software, das regelmäßige Aktualisieren der Software und das Bewusstsein für Sicherheitsrisiken. Teilnahme an regelmäßigen Sicherheitsschulungen, das Festlegen persönlicher Richtlinien gegen Social Engineering-Angriffe, die Verwendung von Zwei-Faktor- oder Mehr-Faktor-Authentifizierung, das Vermeiden wiederholter Passwörter, die Einschränkung des digitalen Fußabdrucks in sozialen Medien und die Vermeidung leicht zu erratender Passwörter sind ebenfalls Teil der Sicherheitsrichtlinien. Zudem wird geraten, verdächtige Websites zu meiden, keine zweifelhaften E-Mails zu öffnen und regelmäßig Passwörter zu aktualisieren [16]. Es liegt also an jedem Einzelnen, sich bewusst zu sein und Maßnahmen zu ergreifen, um sich vor Social Engineering Angriffen zu schützen. Eine umfassende Sensibilisierung für dieses Thema sowie die Implementierung von Sicherheitsrichtlinien und -praktiken im Alltag sind unerlässlich, um die Sicherheitslücke des menschlichen Faktors zu schließen.

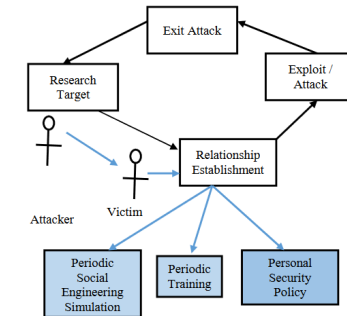


Abbildung 1 Social-Engineering-Abwehrmodell [16]

## 4 Malware

Malware in Virtual Reality kann als eine Art schädliche Software definiert werden, die speziell darauf abzielt, VR-Systeme oder den Benutzer der Systeme zu schädigen oder zu beeinträchtigen. Malware kann verschiedene Formen annehmen, einschließlich Viren, Würmer, Trojaner und Spyware, die in VR-Anwendungen, -Spielen oder -Plattformen eingebettet werden können. Ihr Hauptziel ist es, schädlichen Code in das VR-System einzuführen, um dann unerlaubte Aktionen durchzuführen, wie zum Beispiel das Stehlen von Benutzerdaten, das Verursachen von Systemstörungen oder das Erlangen von unbefugtem Zugriff auf das System [3, 5].

### 4.1 Viren

Viren sind eine Art von Malware, die oft in Form eines Codefragments innerhalb einer Anwendung, eines Programms oder eines Systems auftreten und vom Benutzer selbst aktiviert werden. Die Viren benötigen einen Wirt, d.h. ein Gerät, um zu existieren. Sie bleiben inaktiv, bis sie zum Angriff ausgelöst werden. Zum Beispiel durch das Herunterladen eines E-Mail-Anhangs - häufig .exe-Dateien. Sobald der Virus einmal aktiviert wurde, repliziert der Virus sich selbst, verbreitet Kopien von sich selbst von Computer zu Computer, um den größtmöglichen Schaden anzurichten. Viren können Anwendungen übernehmen, infizierte Dateien an Kontaktlisten senden, Daten stehlen, DDoS-Angriffe starten oder Ransomware-Angriffe starten [1]. Ransomware-Angriffe sind Cyberattacken, bei denen Daten oder Systeme verschlüsselt werden. Anschließend kommt es zu einer Lösegeldforderung an das Opfer für die Freigabe der verschlüsselten Inhalte.

### 4.2 Würmer

Würmer ähneln Viren, können sich jedoch ohne menschliche Interaktion replizieren und sind nicht wirtabhängig, das heißt sie müssen sich nicht an ein Softwareprogramm anhängen, um Schaden anzurichten. Würmer können durch Software-Schwachstellen übertragen werden. Sie können auch als Anhänge in E-Mails oder Direktnachrichten ankommen oder durch Wechselmedien installiert werden. Sobald geöffnet, können diese Dateien einen Link zu einer böswärtigen Website bereitstellen oder den Computervorm automatisch herunterladen. Würmer können Dateien löschen oder ändern, Daten stehlen, Hintertüren für Hacker installieren, DDoS-Angriffe starten, Ransomware-Angriffe starten, Botnets erstellen oder viele Computer gleichzeitig infizieren [1].

## 4.3 Trojaner

Trojaner sind eine Art von Malware, die sich als legitime Software, Anwendungen oder Dateien tarnt, um Benutzer dazu zu verleiten, sie herunterzuladen und unbewusst die Kontrolle über ihre Geräte zu gewähren. Sobald installiert, kann ein Trojaner die Aktion ausführen, für die er entwickelt wurde, sei es um Schaden anzurichten, zu stören, zu stehlen oder eine andere schädliche Aktion auf Ihren Daten oder Ihrem Netzwerk auszuführen. Trojaner können Daten löschen, ändern oder stehlen, Benutzer ausspionieren, Netzwerke zugänglich machen, DDoS-Angriffe starten oder die Fernsteuerung von Geräten übernehmen [1]. Ein Beispiel für einen Trojaner ist Zeus/Zbot aus dem Jahr 2011. Dieser Banking-Trojaner nutzte Tastenprotokollierung, um Anmeldeinformationen und Kontostände zu stehlen [1].

## 4.4 Spyware

Spyware ist eine Art von Malware, die Geräte ohne Wissen des Besitzers infiltriert. Dies geschieht oft mit dem Ziel, Internetaktivitäten auszuspionieren, Anmeldeinformationen und Passwörter zu verfolgen oder sensible Informationen zu sammeln, die für betrügerische Zwecke verwendet werden [1].

## 5 Prävention und Schutzmaßnahmen

Social Engineering ist eine Kombination aus Technik und menschlichem Versagen. Daher ist es wichtig, sowohl technische als auch menschliche Schutzmaßnahmen zu implementieren, um Social Engineering in Mixed Reality zu verhindern. Auch um Malware Angriffe zu verhindern, gibt es Präventions- und Schutzmaßnahmen, die sowohl auf technischer als auch auf organisatorischer Ebene umgesetzt werden können.

### 5.1 Menschliche Schutzmaßnahmen

Menschliche Schutzmaßnahmen umfassen das Bewusstsein für die Gefahren und Methoden von Cyberangriffen. Wie bereits in Abschnitt 3.3 erwähnt, kann dies durch Schulungen und Awareness-Trainings erreicht werden. Es ist wichtig, dass Benutzer sich bewusst sind, dass sie nicht blind vertrauen sollten und dass sie die Quelle einer Nachricht immer überprüfen sollten. Es ist auch wichtig, vorsichtig zu sein bei Links und E-Mail-Anhängen, da diese oft Schadsoftware enthalten, die sich im Hintergrund installiert und fremden Zugriff auf das System gewährt. Darüber hinaus sollten Benutzer nie persönliche Informationen in sozialen Netzwerken preisgeben und sie sollten immer vorsichtig sein, wenn sie aufgefordert werden, eine Überweisung oder eine andere sensible Aktion auszuführen [10, 7]. Durch die Umsetzung dieser Maßnahmen kann das Risiko

von Cyberangriffen in VR-Systemen erheblich reduziert werden. Es ist jedoch wichtig zu bedenken, dass keine Sicherheitsmaßnahme zu 100% wirksam ist und daher ständige Wachsamkeit und Aufmerksamkeit erforderlich sind, um potenzielle Bedrohungen frühzeitig zu erkennen und abzuwehren.

## 5.2 Technische Schutzmaßnahmen

Sicherheitsvorkehrungen technischer Natur beinhalten die fortlaufende Aktualisierung sowohl des Betriebssystems als auch sämtlicher Anwendungen des Systems. Dies dient dazu, sämtliche bereits bekannten Sicherheitslücken zu schließen, die vom Softwarehersteller behoben wurden. Auch die Installation einer zuverlässigen Antivirensoftware und einer Anti-Malware-Software hilft dazu, die meisten Angriffe abzuwehren. Auch die Vermeidung von Root-Zugriffen auf Geräte und die Nutzung von Zwei-Faktor-Authentifizierung für wichtige Konten ist nicht zu vernachlässigen. [8].

## 5.3 Antivirenprogramm

Ein Antivirenprogramm funktioniert in erster Linie durch die Erkennung und Entfernung von Malware auf einem Computer. Es gibt zwei Hauptmethoden, die ein Antivirenprogramm zur Erkennung von Viren verwendet: die signaturbasierte Erkennung und die heuristische Erkennung [4]. **Signaturbasierte Erkennung:** Bei der signaturbasierten Erkennung wird der Quellcode eines Virus analysiert und mit einer Datenbank von bekannten Virussignaturen verglichen. Wenn eine Übereinstimmung gefunden wird, wird das Programm als Virus identifiziert und entfernt. **Heuristische Erkennung:** Die heuristische Erkennung hingegen bewertet potenzielle Schadprogramme basierend auf ihrem Verhalten. Diese Methode wird verwendet, wenn ein Virus seinen Code bei jeder Reproduktion verändert, was dazu führt, dass bei jeder neuen Version eine neue Signatur entsteht, die nicht von einem signaturbasierten Scanner erkannt werden kann. In solchen Fällen wird der Code von zusätzlich eingefügten Byte-Folgen entfernt, um die ursprüngliche Signatur wiederherzustellen.

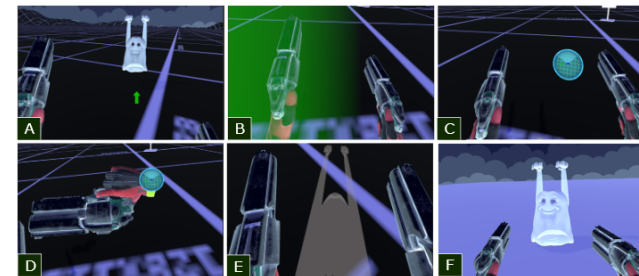
## 6 Bystanders in Mixed Reality

Bystanders in Mixed Reality bezieht sich auf die Situation, in der sich Nutzer in einer virtuellen Umgebung befinden und gleichzeitig physische Umgebungen erleben. Dies kann zu Konflikten führen, wenn die Nutzer sich in ihrer virtuellen Welt verlieren und ihre physische Umgebung vernachlässigen. Dieser Zustand wird als "Bystanders" bezeichnet, weil sie sich in einer Art Zwischenzustand befinden, der sowohl auf der physischen als auch auf der virtuellen Ebene stattfindet [9]. Ein Hauptproblem bei Bystanders in Mixed Reality ist die fehlende

physische Wahrnehmung. Wenn sich Nutzer in einer virtuellen Umgebung befinden, können sie ihre physische Umgebung nicht richtig wahrnehmen und möglicherweise nicht auf physische Anzeichen reagieren, die darauf hinweisen, dass sie in einer gefährlichen Situation sind.

## 6.1 Förderung des Realitätsbewusstseins

Es wurden mehrere Untersuchungen durchgeführt, um zu ermitteln, wie man den Nutzer einer VR-Anwendung am besten darauf hinweisen kann, dass sich eine andere, fremde Person sich ihm nähert und die eine mögliche Gefahr für den Spieler darstellt. Die unbekannte Person, könnte zum Beispiel den Spieler bestehlen oder andere illegale Aktivitäten ausführen. Aber auch das Zusammenstoßen von Personen in der realen Welt kann durch solche Warnungen vermieden werden. Im Experiment wurde die Wirksamkeit verschiedener Benachrichtigungskombinationen untersucht [15]. In der Studie wurden die Teilnehmer gebeten, eine Schießaufgabe in einer VR-Umgebung durchzuführen, während sie mit verschiedenen Benachrichtigungssignalen über die Anwesenheit von anderen Personen konfrontiert wurden. Die Ergebnisse zeigten, dass die Teilnehmer eine Kombination aus visuellen und auditiven Hinweisen bevorzugten und dass diese Kombination effektiver war, um die Anwesenheit von nicht-eingetauchten Personen in der Umgebung anzuzeigen [15].



■ **Abbildung 2** Visuelle Warnungen getestet: (A) Arrow3D, (B) ColorGlow, (C) Minimap-Overlay, (D) Minikarte, (E) Schatten, (F) Geister-Avatar [15]

Insgesamt zeigt die Studie, dass Benachrichtigungssysteme, die sowohl visuelle als auch auditive Hinweise verwenden, effektiv sind, um die Benutzer in VR-Umgebungen auf die Anwesenheit anderer Personen hinzuweisen. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Kombination unterschiedlicher Hinweisarten und -modalitäten die Wirksamkeit der Benachrichtigungssysteme erhöhen kann [15].

## 7 Schlussworte

In der zunehmend vernetzten Welt von Mixed Reality gewinnt das Thema Security und Privacy eine immer größere Bedeutung. Insbesondere Social Engineering und Malware-Angriffe stellen ernste Bedrohungen dar, die die Integrität und Vertraulichkeit von persönlichen Daten gefährden.

In Anbetracht dieser Herausforderungen und Risiken ist es unerlässlich, dass Entwickler, Unternehmen und Nutzer gemeinsam daran arbeiten, robuste Sicherheitsmaßnahmen zu implementieren. Dies könnte die Integration von fortschrittlichen Verschlüsselungstechnologien, die Förderung von Sicherheitsbewusstsein und Schulungen für die Nutzer sowie regelmäßige Aktualisierungen von Sicherheitsrichtlinien umfassen.

Insgesamt verdeutlicht die Arbeit, dass die Gestaltung und Nutzung von Mixed Reality eine gemeinsame Anstrengung erfordert, um eine sichere und geschützte Umgebung für alle Beteiligten zu gewährleisten. Nur durch kontinuierliche Innovation, Aufklärung und Zusammenarbeit können wir die Potenziale von Mixed Reality ausschöpfen, ohne dabei die Sicherheit und Privatsphäre zu vernachlässigen.

---

### Literatur

- 1 10 types of malware + how to prevent malware from the start. URL: <https://us.norton.com/blog/malware/types-of-malware>.
- 2 Virtual Reality Security - IEEE Digital Reality. URL: <https://digitalreality.ieee.org/publications/virtual-reality-security>.
- 3 Was ist Malware? | VMware-Glossar | DE. URL: <https://www.vmware.com/de/topics/glossary/content/malware.html>.
- 4 Wie funktioniert ein Antivirenprogramm?, November 2015. URL: <https://www.antivirenprogramm.net/grundlagen/wie-funktioniert-ein-antivirenprogramm/>.
- 5 What is Malware?, August 2018. URL: <https://www.forcepoint.com/de/cyber-edu/malware>.
- 6 Spear-Phishing: Gezielte Angriffe auf Ihre Daten, May 2020. URL: <https://www.ionos.de/digitalguide/e-mail/e-mail-sicherheit/spear-phishing/>.
- 7 So schützen Sie sich vor Social Engineering, September 2023. Section: Resource Center. URL: <https://www.kaspersky.de/resource-center/threats/how-to-avoid-social-engineering-attacks>.
- 8 Social Engineering, November 2023. URL: <https://www.ionos.at/digitalguide/server/sicherheit/social-engineering-die-sicherheitsluecke-auf-layer-8/>.
- 9 Jonas Auda, Uwe Gruenefeld, and Sven Mayer. It Takes Two To Tango: Conflicts Between Users on the Reality-Virtuality Continuum and Their Bystanders. 2020.
- 10 Jan B. Social-Engineering: Infos + Prävention: Definition, Methoden + Schutz. Section: Uncategorized. URL: <https://protect-it-solutions.de/magazin/social-engineering/>.
- 11 IBM. Was ist ein cyberangriff?, o. J. Abgerufen 7. November 2023. URL: <https://www.ibm.com/de-de/topics/cyber-attack>.
- 12 Pascal Jansen and Fabian Fischbach. The social engineer: An immersive virtual reality educational game to raise social engineering awareness. pages 59–63, 11 2020. doi:10.1145/3383668.3419917.
- 13 Mashhuda Glencross Jassim Happa and Anthony Steed. Cyber security threats and challenges in collaborative mixed-reality. 03 2019.
- 14 Robin Laufenburg. Social Engineering ## Zehn beliebte Social-Engineering-Methoden im Überblick, March 2019. URL: <https://it-service.network/blog/2019/03/29/social-engineering-methoden/>.
- 15 Daniel Medeiros, Rafael dos Anjos, Nadia Pantidi, Kun Huang, Maurício Sousa, Craig Anslow, and Joaquim Jorge. Promoting reality awareness in virtual reality through proxemics. In *2021 IEEE Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, pages 21–30, 2021. doi:10.1109/VR50410.2021.00022.
- 16 R.O. Oveh and G.O. Aziken. Mitigating social engineering attack: A focus on the weak human link. In *2022 5th Information Technology for Education and Development (ITED)*, pages 1–4, 2022. doi:10.1109/ITED56637.2022.10051202.
- 17 Sean-Kerawala rafek alexbuckgit DhurataJ typride TimShererWithAquent vtieto nivnar hferrone qmberli DCtheGeek qianw211, AMollis. Was ist mixed reality?, 2023. Zugriffsdatum: 8. November 2023. URL: <https://learn.microsoft.com/de-de/windows/mixed-reality/discover/mixed-reality>.
- 18 Unisys. Was ist ein cyberangriff?, November 2021. URL: <https://www.unisys.com/de/glossary/what-is-cyber-attack/>.
- 19 Wikipedia. Social engineering (sicherheit) — wikipedia, die freie enzyklopädie, 2023. [Online; Stand 7. November 2023]. URL: [https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Social\\_Engineering\\_\(Sicherheit\)&oldid=233291013](https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Social_Engineering_(Sicherheit)&oldid=233291013).



# Dark Patterns in Erweiterter Realität

Emanuel Schlemmer

Universität Innsbruck, Innsbruck, Österreich  
 emanuel.schlemmer@student.uibk.ac.at

## Zusammenfassung

Diese Arbeit widmet sich der Analyse von Dark Patterns speziell im Kontext von erweiterten Realitäten (AR). Dark Patterns sind Designmuster, die gezielt darauf abzielen, Benutzer zu täuschen, zu irreführen oder zu zwingen, unbeabsichtigte und potenziell schädliche Entscheidungen zu treffen. Ihre Anwendung birgt diverse Gefahren sowohl für Einzelpersonen als auch für die Gesellschaft insgesamt. Dies reicht von Eingriffen in die Privatsphäre zu finanziellen Verlusten und der Möglichkeit, Wettbewerbs- sowie Preisverzerrungen herbeizuführen. Ziel dieser Arbeit ist es dem Leser einen Überblick über den aktuellen Forschungsstand von Dark Patterns und deren potenzieller Bedeutung in AR zu bieten. Es wird zuerst auf verschiedene Arten von Schädigungen in AR eingegangen, da diese sich von herkömmlichen Medien unterscheiden können. Aufgrund der begrenzten Verbreitung von Augmented Reality im täglichen Leben wird der Fokus auf die Analyse früherer Studien unter Verwendung von Benutzerszenarien gelegt.

2012 ACM Computing Classification Human-centered computing → Interaction design → Interaction design theory, concepts and paradigms

Keywords and phrases Dark Patterns; Augmented Reality; Erweiterte Realität;

## 1 Einleitung

Die Entwicklung von Augmented Reality schreitet rasant voran und AR Applikationen werden bereits heute von Unternehmen zu Werbezwecken eingesetzt. Die Vorschau von Möbeln oder Autoausstattungen über AR sind zum Beispiel bereits Realität. Dennoch ist diese disruptive Technologie noch in einer sehr frühen Phase ihrer Entwicklung und ihr Einfluss auf unseren Alltag in einigen Jahren ist nur schwer abzuschätzen. Die nahtlose Integration von virtuellen Elementen in die reale Welt bietet zahlreiche Möglichkeiten für innovative Anwendungen, von Bildung über Unterhaltung bis hin zu beruflichen Anwendungen, allerdings birgt diese fortgeschrittene Technologie auch potenzielle Risiken für die Benutzer. Insbesondere Dark Patterns, also subtile Designentscheidungen, die darauf abzielen, das Verhalten der Benutzer in eine bestimmte Richtung zu lenken, bieten ein enormes Gefahrenpotential.



© Emanuel Schlemmer;  
 licensed under Creative Commons License CC-BY

Cite as: Emanuel Schlemmer. Dark Patterns in Erweiterter Realität. In *2nd Seminar on on Cross-Reality Interaction (XR-I 2024)*. Editors: Pascal Knierim. February 02, 2024. Innsbruck, Austria. pp. 15:1–15:10.

Diese Arbeit zielt darauf ab, ein tieferes Verständnis für Dark Patterns in Augmented Reality zu schaffen, potenzielle Risiken aufzuzeigen.

Im ersten Teil dieser Arbeit werden grundlegende Dark Patterns definiert und Möglichkeiten ihrer Kategorisierung erörtert. Hierbei wird auf bestehende Forschungsergebnisse und etablierte Klassifikationen zurückgegriffen, um ein Verständnis für die Komplexität dieser Thematik zu schaffen.

Im Anschluss erfolgt eine vertiefte Diskussion darüber, wie sich Dark Patterns in AR von denen in herkömmlichen Medien unterscheiden können. Aufgrund der immersiven Natur von AR können die Auswirkungen auf die Benutzererfahrung weitreichender sein und spezifische Gefahren für die Privatsphäre und Sicherheit mit sich bringen.

Ein besonderer Fokus liegt darauf, die potenziellen Schäden und Risiken zu beleuchten, die durch die Anwendung von Dark Patterns in der erweiterten Realität entstehen können. Dies umfasst nicht nur ethische Überlegungen, sondern auch konkrete Auswirkungen auf die Benutzer, ihre Entscheidungsfindung und das Vertrauen in AR-Anwendungen.

Der letzte Abschnitt dieser Arbeit konzentriert sich auf konkrete Implementierungen von Dark Patterns in Augmented Reality, wobei auf bereits existierende Forschung basierend auf Benutzerszenarien zurückgegriffen wird. Dadurch sollen die Herausforderungen und Risiken verdeutlicht werden, die durch bestimmte Dark Patterns in der Praxis entstehen können.

## 2 Überblick auf Dark Patterns

Dark Patterns sind bewusste Designentscheidungen in digitalen Schnittstellen, die darauf abzielen, das Verhalten von Benutzern, oft zu ihrem Nachteil in eine bestimmte Richtung zu lenken. Diese manipulativen Designmuster werden eingesetzt, um beispielsweise den Abschluss von Transaktionen zu fördern, persönliche Daten zu sammeln oder die Nutzung bestimmter Funktionen zu erhöhen. Sie können sich in verschiedensten Formen manifestieren, darunter versteckte Gebühren, zwanghafte Opt-ins, Irreführung durch Benutzeroberflächen oder das Schaffen künstlicher Dringlichkeit. Dark Patterns nutzen psychologische Prinzipien und menschliche Verhaltensmuster aus, um eine gewünschte Reaktion hervorzurufen, ohne dabei immer transparent oder ethisch zu sein. Das übergeordnete Ziel von Dark Patterns ist es, das Nutzerverhalten in eine bestimmte Richtung zu lenken, oft auf Kosten von Transparenz, Benutzerfreundlichkeit und ethischen Grundsätzen. [5]

Der Begriff "Dark Patterns" wurde erstmals im Jahr 2010 von Harry Brignull auf der Webseite "https://darkpatterns.org/" geprägt [4]. Brignull präsentiert dort eine Beschreibung von 16 Dark Patterns, diese sollen im folgenden kurz beschrieben werden.

**Comparison Prevention:** Dieses Muster verhindert effektiv den Vergleich von Produkten oder Dienstleistungen, indem es bewusst Hindernisse schafft, die eine objektive Entscheidung des Nutzers erschweren.

**Confirmshaming:** Hier wird der Benutzer durch emotionale Manipulation dazu gedrängt, eine gewünschte Aktion auszuführen, indem er sich schuldig oder beschämt fühlt, wenn er dies nicht tut.

**Disguised Ads:** Unter diesem Muster werden Anzeigen so getarnt, dass sie wie gewöhnlicher Inhalt erscheinen, um die Aufmerksamkeit des Nutzers zu erregen, ohne offensichtlich als Werbung identifiziert zu werden.

**Fake Scarcity:** Dem Nutzer wird hierbei eine begrenzte Verfügbarkeit vorgegaukelt, um Druck auf ihn auszuüben und eine sofortige Handlung, wie einen überstürzten Kauf, zu provozieren.

**Fake Social Proof:** Durch gefälschte Bewertungen, Likes oder soziale Zustimmungen wird versucht, dem Nutzer eine falsche Vorstellung von der Beliebtheit oder Qualität eines Produkts zu vermitteln.

**Fake Urgency:** Ähnlich wie Fake Scarcity, erzeugt Fake Urgency künstlichen Zeitdruck. Der Nutzer wird zum Beispiel durch einen falschen Countdown zu vorschnellen Entscheidungen gedrängt.

**Forced Action:** Der Nutzer wird zu Handlungen gedrängt, die er nicht freiwillig ausführen würde. Dies kann beispielsweise durch das Verbergen von Abbruchoptionen erreicht werden.

**Hard Cancel:** Dieses Muster erschwert bewusst die Abmeldung oder Kündigung von Diensten, um den Nutzer zum Beispiel davon abzuhalten, ein Abonnement zu verlassen.

**Hidden Costs:** Versteckte Gebühren oder Kosten werden absichtlich verschleiert, um den Gesamtpreis niedriger erscheinen zu lassen und den Nutzer zu einer unerwarteten Ausgabe zu verleiten.

**Hidden Subscription:** Der Nutzer wird zu einem kostenpflichtigen Abonnement gedrängt, das nicht sofort als solches offensichtlich ist.

**Nagging:** Durch wiederholte und aufdringliche Aufforderungen wird der Nutzer dazu gedrängt, eine gewünschte Handlung auszuführen.

**Preselection:** Hierbei werden bestimmte Optionen vorausgewählt, um die Wahrscheinlichkeit zu erhöhen, dass der Nutzer zustimmt oder akzeptiert.

**Sneaking:** Informationen werden subtil oder in kleiner Schrift platziert, um sie für den Nutzer schwer erkennbar zu machen, sodass er unwissentlich zustimmt oder handelt.

**Trick Wordings:** Durch irreführende oder mehrdeutige Sprache werden Nutzer in die Irre geführt, um eine bestimmte Handlung auszuführen.

**Visual Interference:** Unklare oder ablenkende visuelle Elemente sollen den Nutzer von kritischen Informationen ablenken oder ihn dazu bringen, unbeabsichtigte Handlungen auszuführen.

## 2.1 Kategorisierung

Um Dark Patterns besser beschreiben, diskutieren und erkennen zu können ist eine Möglichkeit zur Kategorisierung dieser unerlässlich. [2] schlagen hierfür eine Kategorisierung nach folgenden Attributen vor:

**Asymmetric:** Asymmetrische Dark Patterns beziehen sich auf Designentscheidungen, bei denen die Informationen oder Optionen für die Benutzer mit ungleicher Prävalenz dargestellt werden. So kann zum Beispiel der „Alle Cookies akzeptieren Knopf“ prominent auf einer Webseite platziert sein, die ablehnen Funktion aber bewusst hintergründig platziert sein.

**Covert:** Verdeckte Dark Patterns sind manipulative Designelemente, deren Effekte absichtlich verschleiert sind. Diese sollen dazu führen, dass Benutzer unerwünschte Aktionen ausführen, ohne sich dessen bewusst zu sein.

**Deceptive:** Täuschende Dark Patterns sind darauf ausgerichtet, Benutzer zu täuschen oder irreführen. Dies kann durch die Verwendung von falschen Informationen, unklaren Formulierungen oder visuellen Tricks geschehen.

**Information Hiding:** Informationsbehindernde Patterns sollen gezielt die Bereitstellung von relevanten Informationen behindern, um Benutzer in die gewünschte Richtung zu lenken.

**Restrictive:** Einschränkende Dark Patterns beschränken die Handlungsfreiheit der Benutzer durch Einschränkung der auswählbaren Optionen unnötig. Dadurch soll der Benutzer zum Beispiel in eine alles oder nichts Entscheidung gedrängt werden.

Da Dark Patterns meist auf den Menschen gemeine Verhaltensmuster abzielen macht weiters eine Kategorisierung anhand der ausgenutzten psychologischen Muster sinn [2]:

Der **Ankerungseffekt** bezieht sich darauf, wie Menschen dazu neigen, ihre Entscheidungen stark von anfänglichen Informationen oder „Ankern“ beeinflussen zu lassen. Selbst wenn diese Informationen irrelevant sind, wirken sie als Referenzpunkt und beeinflussen die spätere Bewertung von Optionen.

Der **Mitläufereffekt** beschreibt das Phänomen, bei dem Menschen eher einer Idee oder Handlung zustimmen, weil viele andere es bereits tun. Die Tendenz, sich der Masse anzuschließen, basiert auf sozialem Druck und dem Wunsch, zur Mehrheit zu gehören.

Der **Voreinstellungseffekt** tritt auf, wenn Menschen dazu neigen, eine vorgegebene Option beizubehalten, wenn keine explizite Entscheidung getroffen wurde. Standardmäßige Einstellungen können das Verhalten beeinflussen, indem sie als Referenzpunkt dienen.

Der **Rahmungseffekt** bezieht sich darauf, wie die Präsentation von Informationen die Wahrnehmung und Entscheidungsfindung beeinflusst. Je nach Art und Weise, wie Informationen präsentiert werden, können Menschen unterschiedliche Schlussfolgerungen ziehen.

Die **Knappheitsverzerrung** bezieht sich auf die Neigung der Menschen, Dinge höher zu bewerten, wenn sie als knapp wahrgenommen werden. Der Gedanke an begrenzte Verfügbarkeit kann den Wert einer Sache erhöhen.

Der **Fehlschluss der irreversiblen Kosten** beschreibt die Neigung, bereits getätigte Investitionen bei Entscheidungen zu berücksichtigen, auch wenn sie irrelevant für die zukünftigen Aussichten sind. Menschen neigen dazu, an vergangenen Aufwendungen festzuhalten, selbst wenn es ökonomisch klüger wäre, sie zu ignorieren.

## 2.2 Warum uns Dark Patterns betreffen

Die Bedenken bezüglich Dark Patterns erstrecken sich über individuelles Wohlergehen hinaus und haben Auswirkungen auf sowohl individuelle als auch kollektive Belange [3]. Ein bewusster Umgang mit Dark Patterns ist daher von entscheidender Bedeutung um eine ethischere Gestaltung digitaler Produkte und eine gesunde digitale Wirtschaft zu fördern:

### 2.2.1 Individuelles Wohlergehen

**Finanzieller Verlust:** Dark Patterns können dazu führen, dass Individuen finanzielle Verluste erleiden, indem sie zu ungewollten Transaktionen oder kostenpflichtigen Diensten gedrängt werden. Versteckte Kosten und irreführende Informationen können zu unerwarteten Ausgaben führen.

**Verletzung der Privatsphäre:** Manipulative Designpraktiken können die Privatsphäre der Nutzer beeinträchtigen, indem sie dazu genutzt werden, persönliche Daten ohne ausreichende Zustimmung zu sammeln. Dies kann zu einem Verlust der Kontrolle über persönliche Informationen führen.

**Kognitive Belastung:** Dark Patterns können eine zusätzliche Belastung für die kognitive Verarbeitung der Benutzer darstellen. Die Notwendigkeit, komplexe und irreführende Designs zu entwirren, erhöht die kognitive Last und kann zu Fehlentscheidungen führen.

### 2.2.2 Kollektives Wohlergehen

**Wettbewerb:** Durch den Einsatz von Dark Patterns können Unternehmen den Wettbewerb beeinflussen, indem sie Kunden zu ungewollten Entscheidungen drängen oder den Marktzugang für konkurrierende Angebote erschweren.

**Preistransparenz:** Dark Patterns können die Transparenz von Preisen beeinträchtigen, indem sie versteckte Gebühren oder Kosten einführen. Dies wirkt sich negativ auf die Möglichkeit der Verbraucher aus, informierte Kaufentscheidungen zu treffen.

**Vertrauen in den Markt:** Manipulative Praktiken können das Vertrauen der Verbraucher in den Markt als Ganzes untergraben. Wenn Benutzer das

Gefühl haben, dass ihre Interessen nicht respektiert werden, kann dies zu einem Vertrauensverlust in digitale Produkte und Dienstleistungen führen.

**Gesellschaftliche Konsequenzen:** Dark Patterns können auch zu gesellschaftlichen Problemen führen, indem sie Vertrauensverlust und negative Wahrnehmungen der Digitalwirtschaft verstärken. Dies kann langfristige Auswirkungen auf die Akzeptanz digitaler Technologien haben.

## 3 Arten der Schädigung speziell in AR

Die Schädigung von Nutzern kann auf viele verschiedene Arten geschehen, und reicht von Datensammlung über Interaktionstäuschung bis zu physischer Gefährdung. Da sich die Art und Weise wie Benutzer in erweiterten Realitäten geschädigt werden können signifikant von klassischen Medien unterscheiden kann sollen unterschiedliche Modi der Schädigung hier erörtert werden. Die folgende Liste kann keinesfalls als vollständig erachtet werden, sondern soll dem Leser einen Einblick in die Weitläufigkeit dieser Thematik bieten [6, 1].

**Abfangen von Interaktionen mit realen Objekten:** Wenn virtuelle Steuerelemente eingesetzt werden um mit realen physischen Objekten zu interagieren können diese Steuereingaben abgefangen oder manipuliert werden. Dies kann zu Verwirrung oder unerwünschten Ergebnissen führen, wenn die Interaktion nicht wie erwartet verläuft.

**Physischer Schaden:** Durch das Verbergen von realen Objekten in der Umgebung kann es zu physischen Gefahren kommen, wenn Benutzer auf Hindernisse stoßen oder mit Objekten kollidieren, die in der XR-Umgebung unsichtbar gemacht wurden. Die Simulation von Objekten in der AR-Umgebung kann zu unvorhersehbaren physischen Gefährdungen führen, insbesondere wenn die Simulation nicht genau der Realität entspricht. Weiters kann durch flimmernde Bildschirme physische Beschwerden wie Kopfschmerzen, Übelkeit oder Sehstörungen verursacht werden.

**Täuschung/Werbung:** AR-Umgebungen bieten besondere Möglichkeiten um Benutzer in die Irre zu führen oder über die Eigenschaften und den Zweck von virtuellen Objekten oder Inhalten hinwegzuteuschen.

**Datensammlung:** In AR-Umgebungen können umfassende Daten über Benutzer gesammelt werden, was erhebliche Bedenken hinsichtlich der Privatsphäre aufwirft. Dies kann persönliche Verhaltensmuster, Vorlieben und Standorte umfassen. Die Sammlung von medizinischen Daten innerhalb von AR-Anwendungen kann zu ernsthaften Bedenken bezüglich Datenschutz und ethischer Verantwortung führen, insbesondere wenn sensible medizinische Informationen betroffen sind. Das Recht auf Vergessen ist in diesem Zusammenhang besonders zu erwähnen. Es ist wichtig, dass Benutzer die Kontrolle über die eigenen persönlichen Informationen wahren.

### 3.1 Features von AR Werbung

AR ermöglicht neue Implementierungen von Werbung. Definierende Charakteristiken von Werbung im AR Kontext sollen im folgenden vorgestellt werden. [1]

**Größere Immersion:** AR-Technologien ermöglichen ein intensiveres Gefühl der Präsenz und Interaktion. Werbung kann den Benutzer in die virtuelle Welt einbinden und somit effektiver sein.

**Extreme Realität:** Werbung in AR kann so fotorealistisch und subtil sein, dass sie möglicherweise mit der Realität verwechselt wird. Der Benutzer kann dadurch Werbung unter Umständen gar nicht als solche erkennen.

**Produkte vorab anzeigen:** AR-Werbung ermöglicht es Verbrauchern, Produkte vor dem Kauf zu erleben. Dies könnte sowohl physische Produkte als auch Erlebnisse umfassen, wodurch die Kaufentscheidung verbessert wird.

**Hyperpersonalisierung:** AR-Implementierungen bieten grundsätzlich sehr hohe Datensammlungsfähigkeiten und integrieren zwangsläufig biometrische Informationen und den Standort des Benutzers. Dadurch können extrem stark personalisierte Anzeigen geschaltet werden.

**Pervasivität der Werbung:** Da AR Geräte oft das gesamte Blickfeld des Benutzers einnehmen und potenziell kontinuierlich getragen werden kann Werbung zum allgegenwärtigen Teil der Benutzererfahrung werden.

## 4 Dark Pattern in AR anhand von Benutzerszenarien

Da AR noch ein relativ junges Feld darstellt, sind konkrete und studierbare Beispiele für Dark Patterns in AR in realen Umgebungen noch eher selten. Aus diesem Grund widmen sich die meisten existierenden Arbeiten auf diesem Gebiet der Szenario Erstellung. Diese Methodik beinhaltet die Entwicklung von realitätsnahen Benutzerszenarien, um die Auswirkungen von Dark Patterns auf die Benutzererfahrung zu verstehen. Durch die Simulation von Nutzerverhalten in verschiedenen Kontexten kann analysiert werden, wie manipulative Designpraktiken die Entscheidungsprozesse und das Verhalten von Benutzern beeinflussen können.

In [7] werden drei solche Szenarien beschreiben deren Effekt auf Probanden studiert wurden. Jedes dieser Szenarien beinhaltet eine Laborsituation, in der Probanden durch ein Labyrinth navigieren müssen, während ihnen regelmäßig Popups angezeigt werden. Die Studie versucht den Einfluss verschiedener Manipulationsmethoden auf die Reaktionsfähigkeit der Benutzer zu evaluieren. Das erste Szenario konzentriert sich auf Lichtinterferenz, bei dem durch starke Lichtverhältnisse das Verhalten der Nutzer beeinflusst werden soll. Im zweiten Szenario, Objektinterferenz, werden physische Objekte verwendet, um Wörter in Nachrichten zu verbergen. Das dritte Szenario, Haptic Grabbing, zielt darauf

ab, die Bewegung der Probanden durch haptisches Feedback in den linken oder rechten Controllern zu beeinflussen.

Die Autoren konnten in ihren Ergebnissen nachweisen, dass die angewendeten Dark Patterns, insbesondere in den Szenarien der Objekt- und Lichtinterferenz, signifikante Auswirkungen auf die Zeit hatten, die die Teilnehmer für das Beantworten von Fragen aufwendeten. Es wurde beobachtet, dass die Anzahl der von den Teilnehmern gefundenen Benachrichtigungsoberflächen signifikant höher war, wenn Vibration und Benachrichtigungspositionen auf derselben Seite lagen, im Vergleich zur Bedingung unterschiedlicher Seiten. Hingegen zeigte sich, dass die Verwendung unterschiedlicher Vibrations- Haptikmuster keinen signifikanten Einfluss auf die Anzahl der erkannten Benachrichtigungsoberflächen hatte.

Auch in [1] verwenden die Autoren Szenariokonstruktion als Methode, um zukünftige manipulative XR-Werbung zu verstehen. Inspiriert durch Design Fiction und Value Sensitive Design, analysieren sie aktuelle Technologien, gesellschaftliche Trends und historische Entwicklungen, um narrative Szenarien zu erstellen, die möglichen Missbrauch von XR-Werbung darstellen. Folgende Szenarien werden beschreiben:

**Militärspiele als Rekrutierungswerkzeug:** In diesem Szenario entwickelt die US-Armee eine VR-Erfahrung die den Menschen einen Tag im Leben eines Soldaten zeigen soll. Die Erfahrung ist dabei stark gamifiziert um Teenager mit einer spielerischen Atmosphäre zu locken.

**Intensität der Emotionen:** Die intensiven Emotionen, die durch die immersive Erfahrung erzeugt werden, könnten dazu führen, dass Jugendliche positive Gefühle mit dem Militär assoziieren. Diese emotionale Bindung könnte die Entscheidung beeinflussen, sich den Streitkräften anzuschließen.

Diese Kombination von Realismus und emotionaler Intensität schafft eine Situation, in der der Nutzer auf irreführende Weise auf emotionaler Ebene beeinflusst wird, was als Manipulation betrachtet wird. Das Szenario beschreibt, wie ein Jugendlicher durch das Spiel beeinflusst wird und letztendlich den Entschluss fasst, sich den Streitkräften anzuschließen.

**Hässliche Möbel:** Eine AR-App ermöglicht es Kunden, Möbel als 3D-Modelle in ihrer Wohnung zu testen. Die Möbel werden dabei in helleren und farbenfroheren Darstellungen präsentiert, was möglicherweise zu einer Verfälschung der tatsächlichen Erscheinung führen kann.

**Falsche Verwandte:** Eine Person wird durch eine holographische Nachbildung eines Verwandten manipuliert, um Geld anzulegen. Dies erweitert bekannte Betrugsmaschen aus dem Internet in den Bereich der Augmented Reality und macht sie für den Benutzer weniger offensichtlich.

**Politische Alternative Realität:** In diesem Szenario werden arme Stadtviertel in AR "restauriert", um Armut zu verbergen. Dies könnte zu einer

Verzerrung der Realität führen und politische Entscheidungen beeinflussen.

**Überzeugende T-Shirts:** Eine Kleiderfirma projiziert ihr Firmenlogo auf T-Shirts, um eine stärkere Marktstellung vorzutäuschen. Dies könnte Verbraucher irreführen und das Wettbewerbsumfeld verzerren.

**Deodorant Crush:** Hier soll die AR-Brille in der Lage sein, Erregung beim Benutzer festzustellen. Die Autoren argumentieren, dass aufgrund der umfassenden Vitaldaten in AR dies möglich ist. Der Benutzer wird dann mit Deodorantangeboten konfrontiert, um die Kaufwahrscheinlichkeit zu erhöhen.

**Hungerschmerzen:** Die Navigations-App eines Augmented Reality AR-Gerätes soll, die Abschätzung des Hungerlevels ihres Nutzers integrieren, um gezielt Restaurants zu bewerben. Dieses Vorhaben soll durch die umfassende Sammlung von Vitaldaten ermöglicht werden. Hierbei sollen die erfassten Informationen über den Nutzer, wie beispielsweise Herzfrequenz, Aktivitätsniveau und möglicherweise Ernährungsgewohnheiten, genutzt werden, um den aktuellen Hungerzustand zu bestimmen. Diese Strategie zielt darauf ab, personalisierte Werbung für Restaurants bereitzustellen, die optimal auf den individuellen Bedarf des Nutzers zugeschnitten ist.

## 5 Erkenntnisse

Die Untersuchung von Dark Patterns in der erweiterten Realität ist ein wichtiges und hochaktuelles Thema. Mit der raschen Entwicklung von XR-Technologien stehen wir vor neuen Herausforderungen und ethischen Überlegungen im Bereich des Benutzererlebnisses in virtuellen Welten.

XR ist ein vergleichsweise junges Feld, und die potenziellen Auswirkungen von Dark Patterns auf die Nutzererfahrung sind noch nicht vollständig verstanden. Dennoch können Erkenntnisse aus ähnlichen Medien wie Webseiten und mobilen Anwendungen auf das XR-Umfeld übertragen werden. Dabei wird deutlich, dass manipulative Designpraktiken negative Auswirkungen auf das individuelle Wohlbefinden und die kollektive Integrität haben können.

Die Erstellung von User-Szenarien hat sich als ein mächtiges Werkzeug erwiesen, um die verschiedenen Dark Patterns in XR zu identifizieren und zu verstehen. Durch die Simulation von realen Anwendungsfällen können potenzielle Gefahren und Risiken aufgedeckt werden, wodurch der Weg für präventive Maßnahmen geebnet wird.

Es ist von entscheidender Bedeutung, das Bewusstsein für Dark Patterns in XR zu schärfen, da diese Technologien zunehmend in unserem Alltag integriert werden. Dies erfordert kontinuierliche Forschung, sowie die Entwicklung von ethischen Leitlinien für die Gestaltung von XR-Anwendungen. Die Transparenz, Datenschutz und das Wohl der Benutzer sollten dabei im Mittelpunkt stehen, um eine vertrauenswürdige und positive XR-Erfahrung zu gewährleisten.

## 6 Zusammenfassung

Diese Arbeit untersucht Phänomene von Dark Patterns innerhalb von erweiterten Realitäten. Dark Patterns sind manipulative Designentscheidungen, die darauf abzielen, Nutzerverhalten zum Vorteil des Anbieters und oft zum Nachteil des Benutzers zu lenken. Der Artikel beleuchtet, wie diese Praktiken angewendet werden und welche spezifischen Risiken und ethischen Bedenken damit verbunden sind. Durch die Definition und Kategorisierung verschiedener Dark Patterns sowie die Vorstellung konkreter Benutzerszenarien wird verdeutlicht, wie AR-Anwendungen Nutzer täuschen. Die Relevanz dieser Arbeit ergibt sich aus der wachsenden Verbreitung von AR-Technologien und der damit verbundenen Notwendigkeit, deren Auswirkungen auf Benutzer und Gesellschaft zu verstehen und zu regulieren. Sie trägt dazu bei, Bewusstsein für die subtilen Wege zu schaffen, auf denen Benutzerinteraktionen manipuliert werden können.

### Literatur

- 1 Abraham Mhaidli and Florian Schaub. Identifying manipulative advertising techniques in xr through scenario construction. 2021. doi:10.1145/3411764.3445253.
- 2 Arunesh Mathur, Gunes Acar, Miachel J. Friedman, Elena Lucherini, Jonathan Mayer, Marshini Chety, and Arvind Narayanan. Dark patterns at scale: Findings from a crawl of 11k shopping websites. *Proc. ACM Hum.-Comput. Interact.*, 3(81), 2019. doi:10.1145/3359183.
- 3 Arunesh Mathur, Mihir Kshirsagar, and Jonathan Mayer. What makes a dark pattern... dark? 2021. doi:10.1145/3411764.3445610.
- 4 Harry Brignull. Webpage, 2018. Retrieved 2023. URL: <https://darkpatterns.org/>.
- 5 Jasmine McNealy. What are dark patterns? an online media expert explains, 2021. URL: <https://theconversation.com/what-are-dark-patterns-an-online-media-expert-explains-165362>.
- 6 Phil Wolf. nine dark patterns in augmented reality, 2018. URL: <https://medium.com/product-hospice/eight-augmented-reality-dark-patterns-5be8463be98f>.
- 7 Xian Wang, Lik-Hang Lee, Callos Bermejo Fernandez, and Pan Hui. The dark side of augmented reality: Exploring manipulative designs in ar. 2023. doi:10.1080/10447318.2023.2188799.

# Fortbewegung in virtuellen Räumen: Übersicht innovativer Redirected Walking Techniken durch Reinforcement Learning

David Gstir

Universität Innsbruck, Innsbruck, Österreich  
d.gstir@student.uibk.ac.at

## Zusammenfassung

Redirected Walking (RDW) ermöglicht es Nutzern, sich gleichzeitig in physischer und virtueller Umgebung mittels natürlichem Gehen zu bewegen. Durch diese Technik werden Nutzer geschickt umgelenkt und Anpassungen an der virtuellen Sicht vorgenommen, sodass der Verwender das Gefühl hat, sich in einem viel größeren physischen Raum zu befinden, als dies tatsächlich der Fall ist. Hinsichtlich dieser Technik entwickelten sich immer wieder neue Methoden und Ansätze, wobei sich mein Augenmerk in dieser Ausarbeitung auf Redirected Walking mit der Hilfe von Reinforcement Learning konzentriert. Es werden in dieser Arbeit die Grundlagen des Bewegens in der virtuellen Welt, des Redirected Walkings sowie des Reinforcement Learnings erläutert. Zudem folgt eine detaillierte Beschreibung zweier innovativer RDW-Techniken mit den daraus hervorgehenden Ergebnissen und Verbesserungen. Eine Technik beschäftigt sich dabei mit der Entwicklung eines Algorithmus zur Verwendung in Multi-User-Anwendungen, während sich der andere Ansatz mit der Einbindung von passivem haptischem Feedback in Redirected Walking beschäftigt. Abschließend werden noch die einzelnen Beschränkungen und Limitierungen der jeweiligen Techniken aufgezeigt und Anstöße für sinnvolle Weiterentwicklungen in Abhängigkeit der beiden vorgestellten Techniken bereitgestellt.

2012 ACM Computing Classification Human-centred computing → Human computer interaction (HCI) → Interaction paradigms → Virtual reality

**Keywords and phrases** Virtual Reality; Redirected Walking; Reinforcement Learning.

## 1 Einleitung

Durch die allgemein steigende Popularität von Virtual Reality (VR) in jeglichen Anwendungsbereichen wird auch die Nachfrage nach Techniken zur natürlichen Fortbewegung in virtuellen Umgebungen größer. Hierbei wurden

erste Werkzeuge zur Navigation, wie Controller, Tastaturen oder auch Joysticks vorerst durch Walking-in-Place Mechanismen, welche durch den Einsatz von beispielsweise modifizierten Laufbändern realisiert wurden, ersetzt. Um später aber ein noch realistischeres Erlebnis zu gewähren, wurde eine Technik namens „Redirected Walking“ entwickelt [13]. Hierbei wird ein großes virtuelles Umfeld so weit komprimiert, sodass dieses auf einem begrenzten physischen Raum, durch gewohntes natürliches Gehen, erkundet werden kann [13]. Durch neue Entwicklungen und Fortschritte im Bereich Reinforcement Learning werden immer neue RDW-Techniken entwickelt und getestet, um diese neuen prädiktiven Algorithmen besser zu gestalten, als die bereits bestehenden reaktiven Algorithmen [19]. Dabei wurden auch Ansätze hinsichtlich Single-User- und Multi-User-Anwendungen unterschieden und weiter vorangetrieben. In einem nächsten Schritt wurden dann unter anderem auch Ansätze zur Verbesserung der Interaktionstreue angestrebt. In diesem Fall spricht man von passivem haptischem Feedback, wodurch virtuelle Objekte in der realen Welt durch physische Repliken repräsentiert werden. Durch diese Interaktion von realen Objekten mit Virtuellen wird das Erlebnis für jegliche Nutzer noch detaillierter und realistischer gestaltet [5].

In dieser Arbeit werden zuerst alle relevanten Grundlagen, von Locomotion bis hin zu Reinforcement Learning, abgearbeitet. Danach folgen verschiedene Redirected Walking Ansätze, welche sich in der Implementierung der Algorithmen oder auch grundsätzlich durch andere Aspekte hinsichtlich Realismus unterscheiden. Dabei werden ebenso die Ergebnisse der Techniken aufgezeigt und zusammengefasst. Des Weiteren werden die Beschränkungen der Ansätze angesprochen und zukünftige Weiterführungen vorgeschlagen. Zu guter Letzt folgt dann noch eine kurze Zusammenfassung der vorliegenden Arbeit.

## 2 Hintergrund

### 2.1 Locomotion

Ein großes Problem in der virtuellen Welt war immer schon die Fortbewegung (Locomotion), da diese nur durch Interaktion mit verschiedenen Eingabegeräten, wie Controllern oder Tastaturen, erreicht werden konnte. Dies ist jedoch nicht intuitiv, verzerrt den Realismus und verhindert die natürliche, vom Menschen bekannte Fortbewegung, das natürliche Gehen. Deshalb haben sich die Entwicklungen hinsichtlich der Fortbewegung in den letzten Jahren verstärkt auf das echte Gehen konzentriert. Dadurch werden die Illusion und das Gefühl sich in der virtuellen Welt zu befinden gestärkt [4]. Schwierigkeiten bereitet hier jedoch die Umwandlung der realen Bewegungen in das virtuelle Umfeld. Zum einen werden Personen in der realen Welt durch visuelle und auditive Wahrnehmungen unterstützt, welche kaum so natürlich virtuell abgebildet



© David Gstir,  
licensed under Creative Commons License CC-BY

Cite as: David Gstir. Fortbewegung in virtuellen Räumen: Übersicht innovativer Redirected Walking Techniken durch Reinforcement Learning. In *2nd Seminar on Cross-Reality Interaction (XR-I 2024)*. Editors: Pascal Knierim. February 02, 2024. Innsbruck, Austria. pp. 16:1–16:14.

werden können. Des Weiteren fehlt den Nutzern bei der Bewegung in virtuellen Umgebungen die komplette Haptik. Beim realen Gehen im physischen Bereich, können Gegenstände, andere Personen oder auch Abgrenzungen, wie Wände oder Decken, berührt werden, um eine bessere Orientierung zu erlangen. Bisher wurden daher meist die Kopfbewegungen des Nutzers einfach direkt in die virtuelle Welt übertragen, wodurch eine sogenannte Eins-zu-Eins Abbildung stattfindet [16]. Durch diesen Ansatz hatte man aber wiederum das Problem, dass der physische Raum oft nicht der Größe des virtuellen Raums entsprechen kann. In weiteren Fortschritten verwendete man deshalb dann Geräte, welche das natürliche Gehen im Stand ermöglicht haben. Diese waren jedoch meist sehr teuer und nicht für jedermann nützlich, weshalb die Implementierung des echten Gehens über die anderen Navigationsmöglichkeiten gestellt wurde [16].

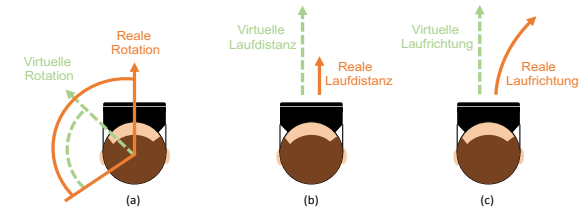
## 2.2 Redirected Walking

Um nun eine natürliche Fortbewegungsmethode für den Einsatz in der virtuellen Welt bereitzustellen, wird nun Wahrnehmungspsychologie als Basis herangezogen. Aus deren Forschung ergibt sich, dass das Sehen oft die Wahrnehmung am meisten prägt, wenn nicht alles Sinne miteinander übereinstimmen [16, 2, 6]. Aus dieser Erfahrung heraus kann es bei Menschen bei nur visuellem Input vorkommen, dass sie die Bewegungspfade schlechter wahrnehmen [16, 3, 8]. Dieses Phänomen wird nun genutzt, damit sich Nutzer in der realen Welt auf einem anderen abgeänderten Pfad bewegen, der sich von dem virtuellen Weg unterscheidet. Durch diese Umlenkung beim Gehen, oder eben auch Redirected Walking genannt, können große virtuelle Umgebungen auch in kleineren physischen Räumen erlebt werden [16, 15].

### 2.2.1 Human-Locomotion-Triple und Umlenkungsgewinne

Zur besseren Beschreibung der möglichen Umlenkungen, entwickelte Steinicke et al. [17] das sogenannte Human Locomotion Triple. Hierbei werden über verschiedene Verstärkungsfaktoren die Bewegungen aus der realen Welt angepasst an die virtuelle Welt übertragen. Die Anpassungen erfolgen dabei in Bezug auf ein festgelegtes Koordinatensystem. Das vorgestellte Triple besteht aus einem Strafe-Vektor  $s$ , einem Aufwärtsvektor  $u$  und einem Laufrichtungsvektor  $w$ . Hier wird  $w$  als die tatsächliche Laufrichtung definiert,  $u$  ist orthogonal zur Laufrichtung  $w$  und parallel zur Lauffläche und der Aufwärtsvektor  $u$  beschreibt meistens die Aufwärtsrichtung, wobei dieser keine Orthogonalität zu den beiden anderen Vektoren aufweisen muss. Mithilfe dieser Definition des Fortbewegungs-Triples, können nun die drei zentralen Konzepte zur Umlenkung, die Übersetzungsgewinne, die Rotationsgewinne und die Krümmungsgewinne genau beschrieben werden. Durch die Übersetzungsgewinne

kann dem Nutzer vermittelt werden, dass er sich in der virtuellen Umgebung weiter, kürzer, schneller oder langsamer fortbewegt als es im realen Raum der Fall ist. Mittels der Rotationsgewinne können die Drehungen so manipuliert werden, dass sich der Nutzer im virtuellen Raum wiederum mehr oder weniger rotiert als im Physischen. Und zu guter Letzt können mit Krümmungsgewinnen die Bewegungspfade der Verwender so verändert werden, dass ein virtueller gerader Pfad im physischen Raum gekrümmt abgebildet wird.



■ **Abbildung 1** Zentrale Konzepte zur Umlenkung nach [17]: (a) Rotationsgewinn, (b) Übersetzungsgewinn, (c) Krümmungsgewinn

## 3 Redirected Walking durch Reinforcement Learning

Wir unterscheiden bei Redirected Walking prinzipiell grob zwischen prädiktiven und reaktiven Techniken [14]. Bei den reaktiven Verfahren sind keinerlei Vorwissen und keine Vorausplanung der Bewegungen eines Nutzers erforderlich. Diese Verfahren sind dadurch zwar sehr breit und flexibel einsetzbar, jedoch sind sie weniger auf das jeweilige Erlebnis und auf den Benutzer optimiert [14]. Deshalb kommen hier die reaktiven Techniken zum Zug. Hier werden die Nutzer, die physische Umgebung sowie auch der virtuelle Raum überwacht und analysiert. Aus den daraus entstehenden Daten wird dann festgestellt, welche Bewegungsmöglichkeiten dem Anwender offenstehen und welche von diesen Optionen er am wahrscheinlichsten wählen wird. Die Vorhersage der gewählten Aktion und die damit verbundene Vermeidung von Kollisionen in der physischen Umgebung kann sehr schwierig sein, da Benutzern in manchen Szenarien eine Vielzahl von frei wählbaren Angeboten zur Verfügung stehen. Es kann dadurch nicht nur schwieriger sein, eine Entscheidung zu treffen, sondern die Berechnungen dafür werden aufwändiger und intensiver. Diese Probleme existieren bereits bei Umgebungen mit nur einem Nutzer und diese können durch weitere simultane Benutzer weiter verstärkt werden [14]. Um diese Komplikationen zu umgehen, wird oft auf neuronale Netze oder eben auf Reinforcement Learning, welches in dieser Arbeit für die Algorithmen verwendet wird, zurückgegriffen.

### 3.1 Reinforcement Learning

Bei Reinforcement Learning (RL) interagiert ein beliebiger Agent mit einer bereitgestellten Umgebung und lernt durch experimentieren und probieren Aufgaben zu lösen. Dabei wird der Agent für gute Aktionen belohnt und für schlechte wiederum bestraft [20]. RL wird mittels Markov Decision Process definiert und durch das Tupel  $(S, A, P, R, \gamma)$  dargestellt:

|          |   |
|----------|---|
| S        | Menge aller Zustände  |
| A        | Menge aller Aktionen, welche ein Agent ausführen kann.  |
| P        | Transition - Wahrscheinlichkeiten.<br>Übergangswahrscheinlichkeiten von einem Zustand in den anderen. |
| R        | Belohnungsfunktion.<br>Gibt an, wie gut eine Aktion in einem Zustand ist.                             |
| $\gamma$ | Discount - Faktor.<br>Bestimmt wie stark zukünftige Belohnungen gewichtet werden.                     |

Prinzipiell wählt der Agent zu jedem Zeitpunkt und in jedem Zustand eine Aktion aus, gelangt dadurch in den nächsten Zustand und erhält dafür zudem eine Belohnung. Dabei ist hier die Maximierung der Summe der gewichteten Belohnungen die Absicht. Das Hauptziel von RL ist es, die optimale Policy zu finden. Dabei handelt es sich um eine Strategie, die der Agent ausführt, um in den nächsten Zustand zu gelangen. Um die Policy zu erhalten, gibt es grundsätzlich zwei Herangehensweisen. Bei der Ersten handelt es sich um die Value-Based Methode. Dabei wird eine Wertefunktion erlernt, welche angibt, wie gut die Ausführung einer Aktion im aktuellen Zustand und dem anschließenden optimalen Handeln ist. Sobald die Funktion gefunden wurde, kann die ideale Policy durch beispielsweise das Anwenden eines Greedy-Algorithmus auf jeden Zustand extrahiert werden. Die andere Möglichkeit wäre die Policy-Based Methode. Hierbei wird keine zusätzliche Funktion erlernt, sondern es wird direkt versucht die beste Strategie zu erlernen. In diesem Fall ist die Policy nicht mehr von Hand vordefiniert wie beim Value-Based Ansatz, denn sie wird mittels direkten Trainings der Policy gefunden.

### 3.2 RDW-Ansätze und Weiterentwicklungen mit Reinforcement Learning

Im folgenden Kapitel werden nun zwei innovative RDW-Ansätze auf Basis von Reinforcement Learning aufgezeigt. Dabei werden die verwendeten Techniken und Systeme, die Aufbauten der Experimente sowie die Ergebnisse kurz zusammengefasst behandelt.

#### 3.2.1 Multi-User-Anwendung in unregelmäßig geformtem physischem Raum

In diesem Ansatz [10] wird ein RWD-Algorithmus entwickelt, welcher für Multi-User-Anwendungen eingesetzt wird und zudem Räume mit verschiedenen Formen berücksichtigt. Dieser prädiktive Algorithmus, Multi-user-Steer-to-Optimal-Target (MS2OT), verwendet ein Model, welches mithilfe von Deep-Reinforcement-Learning trainiert wurde. Bei diesem Konzept handelt es sich grundsätzlich um eine Weiterentwicklung von dem bereits existierenden System „Steer-to-Optimal-Target“ (S2OT) [9]. Dabei wurde der neue Multi-User-Ansatz durch vorzeitige Rückstellungen (pre-resets), durch das Hinzufügen von weiteren Lenkzielen und auch durch bessere Belohnungsfunktionen erweitert.

**A. Methodik:** Um hier multiple User zu gewährleisten, werden die Positionsdaten der Nutzer sowie auch die Grenzen des verfolgten physischen Raumes als Bildinput für das Reinforcement Learning Model verwendet. Die Zustände hierbei setzen sich aus einer Sequenz von Position und Richtung im virtuellen sowie im physischen Raum eines Nutzers und einer visuellen Information zusammen. Die visuelle Information wird durch das Zusammenführen von drei Quellen gebildet: aus der Position des momentanen Users, der Positionen der weiteren User im System und den Begrenzungen des Verfolgungsraumes. Bei den Aktionen unterscheidet man Lenkaktionen und vorzeitige Rückstellungen. Bei den Lenkaktionen wird der Nutzer auf eines der verschiedenen Lenkziele umgelenkt, welches durch Vorhersage des zukünftigen Bewegungspfades des Users ausgewählt wird. Die pre-reset Aktionen werden ausgeführt, wenn man eine bevorstehende Kollision in der Zukunft frühzeitig erkennt, und diese und möglicherweise weitere darauffolgende Kollisionen vermeiden kann. Recht aufwändig und komplex in diesem System sind aber nun die Belohnungsfunktionen. Die Belohnung für die frühzeitigen Rücksetzungen beträgt 0. Jene für die Lenkaktionen unterteilt sich in die Distanz zwischen Nutzer und der physischen Begrenzung, der Dichte an Gesamtnutzern, der Betrag der Änderung der Richtung durch die gewählte Aktion und einer Konstanten mit dem Wert 5. Diese Zusammensetzung gilt nur für Lenkaktionen ohne Kollision. Sollte eine Kollision vorliegen, wird eine konstante Strafe von -10 zurückgegeben. Die Dichte der Nutzer wird ebenso wie die Distanz zu den Grenzen über die Entfernung berechnet und die Werte sind ebenso für beide höher, desto größer die Entfernung zu anderen Nutzern beziehungsweise zu den Grenzen ist. Für die Änderung der Richtung gilt jedoch, je größer die Richtungsänderung der Lenkziele, umso kleiner die Belohnung.

**B. Experimente:** Es wurden hier einerseits Live-Nutzer-Experimente und andererseits Simulationsexperimente durchgeführt. Jene mit den echten Nutzern wurde einmal mit einem einzelnen Nutzer (Single-User) und dann



noch einmal mit zwei Nutzern (Multi-User) durchgeführt. Sollte es zu einer pre-reset Aktion kommen, wurde dem Nutzer die notwendige Drehung in der virtuellen Welt mittels Banner angezeigt. Die Simulationsexperimente wurden mittels der gesammelten Bewegungspfade aus den Live-Experimenten ausgeführt. Bei diesem Experiment wurde der virtuelle Raum zudem mit verschiedenen Boxen versehen. In dieser Umgebung mussten dann unterschiedliche Aufgaben erledigt werden. Um die Performance besser zu evaluieren, wurden zwei Simulationen mit verschiedenen Bedingungen angewendet. Bei der Ersten variierte man mit der Raumgröße und der Anzahl der Nutzer, jedoch blieb die Raumform konstant. Bei dem zweiten Versuch wurde dann nur mehr die Raumform abgeändert. Für beide Experimente, live und auch Simulation, wurden alle notwendigen Daten, wie Anzahl der gesamten Zurücksetzungen, Grenzurücksetzungen, pre-resets oder auch die Berechnungszeiten aufgezeichnet.

**C. Ergebnisse:** Zu Vergleichszwecken wurden hier folgende weitere Ansätze implementiert: S2C (Steer-to-Center)[1, 7], APF(Artificial Potential Field)-RDW [12], S2OT [9].

Bei den Live-User-Experimenten wurden einerseits die Auswirkungen auf Motion-Sickness und andererseits die Single- und Multi-User-Fähigkeit der Algorithmen überprüft. Die Motion-Sickness-Werte wurden auf Grundlage von Fragen bezüglich des Zustandes der Person ermittelt. Dabei stellten sich keine statistisch signifikanten Unterschiede unter den Algorithmen heraus. Für den zweiten Teil wurden die Algorithmen in Single- und Multi-User-Umgebungen getestet und dabei wurde die Anzahl der Rücksetzungen notiert, wobei die Gesamtzahl der Rücksetzungen bei multiplen Nutzern anstieg. Bei den Simulationsexperimenten wurde in erster Folge die Leistung von MS2OT im Falle eines simulierten Einzelnutzers und dessen Kollisionsverhalten und weiters in Multi-User-Umgebungen getestet. Auch hier wurden die Rücksetzungen aufgezeichnet und es stellte sich heraus, dass diese mit steigender Raumgröße sinken. Für den Test mit multiplen Nutzern wurde dasselbe Experiment zudem mit neun unterschiedlichen Anzahlen von Benutzern getestet. Dabei nahm bei allen vier Algorithmen die Gesamtzahl der Rücksetzungen mit steigender Raumgröße ab und stieg mit zunehmender Nutzerzahl. Im Falle von S2C und S2OT treten Benutzer-Rücksetzungen häufiger als Wand-Rücksetzungen auf, da keine anderen Benutzer im System berücksichtigt werden. Als Letztes wurde dann noch überprüft, wie gut die Algorithmen in unterschiedlichen Raumformen funktionieren. Es ergab sich daraus, dass MS2OT nicht nur die niedrigste Gesamtzahl an Rücksetzungen für die zum Lernen verwendeten Räume erzeugt, sondern auch für die, die nicht zum Lernen verwendet wurden.

### 3.2.2 RDW mit passivem haptischem Feedback

Ein etwas anderes innovatives Konzept ist die Einbindung von passivem haptischem Feedback in die Redirected Walking Technik [5]. Dieser Ansatz berücksichtigt die physikalische Grenzvermeidung und unter anderem die Konsistenz von Benutzer-Objekt-Positionierung in virtueller und physischer Umgebung. Eine neue Belohnungsfunktion, adaptive Belohnungs- und Strafgestaltung sowie quantitative Untersuchungen unter verschiedenen räumlichen Bedingungen sind Teil des Verfahrens. Dieses hier nun vorgestellte Verfahren (passive haptics in redirected walking (PHRL)) [5] ist das Erste hinsichtlich passiven haptischen Feedbacks in RDW, welches auf Reinforcement Learning basiert.

**A. Passives Haptisches Feedback:** Die Idee des passiven haptischen Feedbacks besagt, dass es zu einem virtuellen Gegenstand ein physisches reales Gegenstück gibt, mit welchem dann ganz einfach physisch und virtuell interagiert werden kann. Eine einfache Möglichkeit, passives haptisches Feedback umzusetzen, besteht darin, sicherzustellen, dass die virtuelle Umgebung exakt mit der Physischen übereinstimmt. Wäre das der Fall, könnten physische Objekte punktgenau für jede Interaktion platziert werden. Es ist jedoch nicht immer praktisch, einen physischen Tracking-Raum einzurichten, dessen räumliches Layout mit der virtuellen Welt identisch ist, insbesondere wenn man durch eine große, komplexe virtuelle Szene innerhalb eines begrenzten physischen Tracking-Raums navigieren möchte. Für eine erfolgreiche Implementierung von passivem haptischem Feedback muss daher einerseits die Übereinstimmung der relativen Benutzer-Objekt-Positionierung zwischen dem virtuellen und dem physischen Raum und andererseits die Verhinderung von Grenzkonflikten durch Einführung von Inkonsistenz der virtuellen und physischen Positionierung des Benutzers gewährleistet werden. [5].

**B. Methodik:** Bei dieser Variante besteht die Hauptidee darin, dem Agenten die Möglichkeit zu geben, mit der Umwelt für einen bestimmten Zeitraum zu interagieren, um Informationen über das System zu erhalten, um die Wahrscheinlichkeit für gute Aktionen zu erhöhen. Zu jedem Zeitschritt besteht der Input in das Reinforcement Learning Netzwerk aus der aktuellen Beobachtung des Agenten und der Output besteht aus zwei Teilen. Der erste Teil ist ein sechsdimensionaler Vektor, bestehend aus den Mittelwerten und den Standardabweichungen der Übersetzungs-, Rotations- und Krümmungsgewinne. Der andere ist ein skalarer Wert, welcher die akkumulierte Belohnung am momentanen Zustand angibt. Der Zustand des Agenten besteht ebenso in jedem Schritt aus einem sechsdimensionalen Vektor, welcher sich aus den horizontalen und vertikalen Koordinaten und der Bewegungsrichtung in physischen Raum und dem den äquivalenten

Variablen im virtuellen Raum zusammensetzt. Die Aktion, die ein Agent wählt, wird aus den Mittelwerten und den Standardabweichungen des Outputs mittels einer Gauß-Verteilung entnommen und die verschiedenen Gewinne werden dann auf die virtuelle Kamera zur Pfadumleitung angewendet. Damit die Umleitung flüssig abläuft, wird die Strategie der Aktionswiederholung verfolgt. Dabei wird die vorhin vorausgesagte Aktion mehrfach hintereinander angewandt, bevor eine Neue prognostiziert wird. In diesem Ansatz wird zudem auf ein adaptives Belohnungs- und Strafdesign gesetzt. Die Belohnungsfunktion setzt sich aus einem Belohnungsterm zur Vermeidung der Grenzen des physischen Raumes und den zwei Strafterme, welche die durch die Positionen des Agenten und des Zielobjekts gebildeten Abweichungen des räumlichen Abstands und der Orientierung zwischen dem virtuellen und dem physischen Raum bestrafen. Der Belohnungsterm wird auf Grundlage der verbleibenden physischen Distanzen entlang und senkrecht zur Laufrichtung berechnet und stellt sicher, dass genügend Platz für zukünftige Bewegungen vor, links und rechts vom Agenten bleibt. Der erste Strafterm stellt sicher, dass der Agent nach Erreichen des Zielobjekts im virtuellen Raum auch das Objekt im physischen Raum erreicht hat. Dabei werden die räumlichen Abweichungen zwischen dem Agenten und dem Zielobjekt bestraft. Ähnlich zu der Bestrafung der Positionsabweichungen behandelt der zweite Strafterm die Orientierungsabweichung des Agenten relativ zum Zielobjekt.

- C. Experimente:** Für diesen Ansatz wurden simulierte Experimente unter verschiedenen physischen und virtuellen räumlichen Bedingungen durchgeführt. Einerseits wurden paarweise quadratische virtuelle und physische Räume verwendet, wobei eine Unterscheidung in kleine, mittlere und große Quadrate vorlag. Hierbei wurde das Zielobjekt jeweils in der Mitte des Raumes platziert. Weiters wurde auch ein rechteckiger Raum benutzt. Auch hier wurde wiederum das Zielobjekt in der Mitte platziert. Zusätzlich wurden auch noch Versuche durchgeführt, bei denen sich das Zielobjekt außerhalb des Zentrums befindet. Dabei wurden physische und virtuelle, vom Zentrum abweichende Zielobjekte unterschieden. Für beide dieser Fälle wurde das große Quadrat verwendet, mit Ausnahme der Zielpositionierung.
- D. Ergebnisse:** Um hier ebenso aussagekräftige Ergebnisse zu liefern, wurden insgesamt vier verschiedene Methoden für die Experimente implementiert: *NONE*: Hier wurden keine Umlenkungen vorgenommen und so geschehen dieselben Laufaktionen im physischen und virtuellen Raum. *UPH*: Eine Umlenkungsmethode für subjektive passive Haptik [18]. Unterteilt den RDW-Prozess in Grenzvermeidung und das Gehen in Richtung des Zieles. *REA*: Ein reaktiver Algorithmus zur Umgebungsanpassung [21]. Mithilfe von anziehenden und abstoßenden Kräften während des Gehens, verändert

der Algorithmus die Position und Richtung des Agenten im physischen Raum. *PHRL*: Die hier vorgestellte RDW-Methode.

Bei den Experimenten wurden einerseits die Anzahl der Kollisionen notiert und andererseits der physische Distanzfehler in Metern aufgezeichnet. Diese Distanz misst den physischen Abstand zwischen dem Agenten und dem Zielobjekt nach Erreichen des Zielobjekts im virtuellen Raum. Bei den Quadraten sowie auch bei den Durchführungen mit den Rechtecken wies PHRL einen signifikant kleineren Distanzfehler auf. Auch bei zentraler Positionierung des physischen Objekts in Kombination mit ausmittiger Positionierung des virtuellen Zieles und ebenso bei der Umkehrung der physischen und virtuellen Platzierung, wies PHRL eine durchschnittlich deutlich geringere Fehlerdistanz auf. Es wurden zudem noch die Übersetzungsgewinne, die Rotationsgewinne und die Krümmungsgewinne analysiert. Daraus wurde ersichtlich, dass der Agent unter all den getesteten Bedingungen dazu neigt, entweder den größten oder den kleinsten Rotationsgewinn und Krümmungsgewinn zu wählen. Dies hängt damit zusammen, dass die maximalen Gewinne den Agenten besser in die optimale Richtung steuern können. Bei den Übersetzungsgewinnen variieren die Werte deutlich mehr abhängig von der Konfiguration der verwendeten Räume und der Platzierung der Zielobjekte. Es filterte sich auch heraus, dass der physische Distanzfehler mit zunehmender Raumgröße und auch bei exzentrischen Platzierungen der Zielobjekte steigt.

#### 4 Beschränkungen und Aussicht auf zukünftige Weiterführungen

Beide innovativen vorgestellten Ansätze verbessern ihren Bereich weitgehend und waren Großteils die ersten Entwicklungen ihrer Art. Dennoch weisen beide Methoden noch gewisse Einschränkungen auf, welche in zukünftigen Weiterentwicklungen verbessert werden sollten.

Die Multi-User-Implementierung MS2OT [10] verbessert zwar die Anzahl der Rücksetzungen pro Minute im Vergleich zu den restlich getesteten Algorithmen, benötigt aber dafür zur Berechnung eines Bildes teilweise um ein Vielfaches länger. Für die hier in der Simulation genutzten 50 Bilder pro Sekunde reicht die Berechnungszeit noch aus, aber sollten in Zukunft Spiele, Simulationen oder Ähnliches mit höheren Bildfrequenzen entwickelt werden können, müssen Verbesserungen zum Senken der Rechenzeit angestrebt werden. Weiters war dieses Projekt hinsichtlich der Live-User-Experimente aufgrund von fehlendem Equipment und limitierenden Platzverhältnissen beschränkt. Um für diesen Ansatz aussagekräftige Echtzeit Ergebnisse in einem echten Umfeld mit mehr als zwei Benutzern zu liefern, müsste der MS2OT Algorithmus in einem aus-

reichend großen Umfeld mit größeren Nutzerzahlen getestet werden. Dadurch würde man unter Umständen erfahren, wie viele Nutzer der Algorithmus maximal akkomodieren kann und wie sich die Berechnungszeit bei zunehmender Nutzerzahl verhält. Auch wenn beschrieben steht, dass der MS2OT Ansatz die 50 Bilder pro Sekunde für bis zu 32 Nutzer, unabhängig von der Größe des Raumes, erreichen kann, wäre dennoch interessant zu wissen, ob die Raumgröße bei noch größeren Nutzerzahlen eine Auswirkung auf die Berechnungsdauer hat.

Auch die Methode mit passivem haptischem Feedback [5] verzeichnet sehr gute Performances hinsichtlich der durchgeführten Simulationen. Dennoch ist hier das Training durch die vielen benötigten simulierten Pfade sehr aufwändig. Zudem sollte bei jeder Änderung der Testumgebung ein erneutes Training des Systems erfolgen. Weiters ist der bisherige Vorgang zur Erstellung der Nutzerpfade nicht der ideale, denn es wäre viel effektiver echte Bewegungspfade von Nutzern zu sammeln, auch wenn dies eine sehr aufwändige und kostspielige Unternehmung ist. Weiters wurde in diesem Ansatz auch die Orientierung des Objektes vernachlässigt, wodurch es egal war, von welcher Seite der Nutzer auf das Objekt zusteuert. Des Weiteren berücksichtigt dieser Stand des Algorithmus nur ein einzelnes Zielobjekt zur Interaktion im virtuellen Raum. Auf Grundlage dieser Beschränkungen ergeben sich wiederum einige Verbesserungen, die in Zukunft erfolgen sollten. Einerseits sollte der Trainingsprozess versucht werden zu optimieren und, wenn möglich, generischer für multiple Testumgebungen angepasst werden. Dabei wäre es auch sinnvoll, neue Ergebnisse mittels echter Bewegungspfade zu generieren, um ein Gefühl für die Performance in echten Umgebungen zu erhalten. Zudem könnte in Zukunft nicht nur der Abstand zum Zielobjekt, sondern auch die Orientierung des Nutzers relativ zu der Orientierung des Objektes adjustiert werden. Und einer der wichtigsten Punkte in der Zukunft ist die Erweiterung des Systems, sodass es mehrere virtuelle Zielobjekte gleichzeitig handhaben kann. Dabei sollten unter anderem Many-to-One- oder Many-to-Many-Zuordnungsstrategien für virtuelle und physische Objekte berücksichtigt werden. Unabhängig voneinander wurden beide Methoden individuell auch für verschiedene Raumformen und Raumgrößen getestet. Jedoch wird es in Zukunft dahingehend noch umfangreichere Experimente und Versuche benötigen, um wirklich für jede noch so komplizierte Form und verwinkelte Struktur die passende Implementierung bereitzustellen.

Die größte Entwicklung wird es aber geben, sobald die beiden vorgestellten Herangehensweisen in irgendeiner Weise zusammengeführt werden. Sobald es Multi-User-Anwendungen mit integriertem passivem haptischem Feedback gibt, eröffnen sich ganz neue Möglichkeiten mit Virtual Reality. Mithilfe des passiven haptischen Feedbacks könnten nicht nur kleine Objekte für den Nutzer

greifbar gemacht werden, sondern auch Wände, Felsen oder andere ähnliche Strukturen. Dadurch kann eine viel realistischere räumliche Umgebung für den Nutzer erstellt werden. Hinsichtlich der Haptik von Wänden wurden auch schon Ansätze entwickelt, wie beispielsweise der „Unlimited Corridor“ [11]. Um diese Entwicklung aber zu gewährleisten, müssen vorerst die individuellen Beschränkungen und Probleme der Methoden gelöst werden. Erst danach kann auf Grundlage dieser eine Weiterentwicklung stattfinden. Da bei der Zusammenführung der Methoden die Menge an benötigten Daten zur Vorhersage der Bewegungspfade, zur Verhinderung von Kollisionen und zur korrekten Ausrichtung der Nutzer mit den virtuellen und physischen Objekten unter anderem enorm groß werden könnte, wird sicher ein Großteil der Zeit in die Entwicklung einer effizienten Berechnungsmethode und eines innovativen Netzwerks fließen müssen. Ansonsten könnte es aufgrund der anspruchsvollen Berechnungen zu Verzögerungen kommen und ein dadurch unbrauchbares System könnte entstehen. Schafft man es aber all diese Probleme und Hürden zu meistern, könnten dadurch neue, innovative und effiziente Systeme für jegliche Anwendungsbereiche entwickelt werden.

## 5 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurden vorerst die Grundlagen des Redirected Walking aufgezeigt. Dabei wurde Locomotion erklärt, der Begriff Redirected Walking definiert und das Human-Locomotion-Triple und die damit verbundenen Umlenkungsgewinne angesprochen. Danach folgten die Grundkonzepte des Redirected Walking und in weiterer Folge kurz das Konzept Reinforcement Learning. Darauffolgend wurden dann zwei innovative, vielversprechende Ansätze für Redirected Walking mithilfe von Reinforcement Learning vorgestellt. Dabei wurden die jeweiligen Methodiken der Ansätze und alle nötigen Parameter, kurz die durchgeführten Experimente und wichtige Ergebnisse aufgelistet. Beide vorgestellten Algorithmen wiesen dabei in den jeweils durchgeführten Experimenten eine sehr gute Performance auf und schnitten besser ab als die zum Vergleich implementierten Methoden. Die zwei Algorithmen sind zudem rechnerisch recht effizient, wodurch sie auch in Echtzeit Applikationen verwendet werden können. Weiters wurden am Ende dann noch die verschiedenen Beschränkungen der Ansätze aufgezeigt, wobei diese die Richtung für zukünftige Weiterentwicklungen der Methoden weisen. Auf Grundlage der beiden vorgestellten Ansätze und deren Beschränkungen wurden zu guter Letzt noch einige sinnvolle Weiterführungsmöglichkeiten aufgelistet. Dabei wurde unter anderem die Zusammenführung der beiden Methoden angesprochen, wodurch weitere innovative und mächtige Systeme entwickelt werden könnten.

## Literatur

- 1 Mahdi Azmandian, Timofey Grechkin, Mark Bolas, and Evan Suma. The redirected walking toolkit: a unified development platform for exploring large virtual environments. In *2016 IEEE 2nd Workshop on Everyday Virtual Reality (WEVR)*, pages 9–14, 2016. doi:10.1109/WEVR.2016.7859537.
- 2 Alain Berthoz. *The brain's sense of movement*, volume 10. Harvard University Press, 2000.
- 3 RJV Bertin, I Israël, and M Lappe. Perception of two-dimensional, simulated ego-motion trajectories from optic flow. *Vision Research*, 40(21):2951–2971, 2000.
- 4 Gerd Bruder, Paul Lubos, and Frank Steinicke. Cognitive resource demands of redirected walking. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 21(4):539–544, 2015. doi:10.1109/TVCG.2015.2391864.
- 5 Ze-Yin Chen, Yi-Jun Li, Miao Wang, Frank Steinicke, and Qingping Zhao. A reinforcement learning approach to redirected walking with passive haptic feedback. In *2021 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, pages 184–192, 2021. doi:10.1109/ISMAR52148.2021.00033.
- 6 Johannes Dichgans and Thomas Brandt. Visual-vestibular interaction: Effects on self-motion perception and postural control. In *Perception*, pages 755–804. Springer, 1978.
- 7 Eric Hodgson and Eric Bachmann. Comparing four approaches to generalized redirected walking: Simulation and live user data. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 19(4):634–643, 2013. doi:10.1109/TVCG.2013.28.
- 8 Markus Lappe, Frank Bremmer, and Albert V van den Berg. Perception of self-motion from visual flow. *Trends in cognitive sciences*, 3(9):329–336, 1999.
- 9 Dong-Yong Lee, Yong-Hun Cho, and In-Kwon Lee. Real-time optimal planning for redirected walking using deep q-learning. In *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, pages 63–71, 2019. doi:10.1109/VR.2019.8798121.
- 10 Dong-Yong Lee, Yong-Hun Cho, Dae-Hong Min, and In-Kwon Lee. Optimal planning for redirected walking based on reinforcement learning in multi-user environment with irregularly shaped physical space. In *2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, pages 155–163, 2020. doi:10.1109/VR46266.2020.00034.
- 11 Keigo Matsumoto, Yuki Ban, Takuji Narumi, Yohei Yanase, Tomohiro Tanikawa, and Michitaka Hirose. Unlimited corridor: Redirected walking techniques using visuo haptic interaction. In *ACM SIGGRAPH 2016 Emerging Technologies*, SIGGRAPH '16, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/2929464.2929482.
- 12 Justin Messinger, Eric Hodgson, and Eric R. Bachmann. Effects of tracking area shape and size on artificial potential field redirected walking. In *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, pages 72–80, 2019. doi:10.1109/VR.2019.8797818.
- 13 Anh Nguyen, Federico Cervellati, and Andreas Kunz. Gain compensation in redirected walking. In *Proceedings of the 23rd ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, VRST '17, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/3139131.3139167.
- 14 Niels Christian Nilsson, Tabitha Peck, Gerd Bruder, Eri Hodgson, Stefania Serafin, Mary Whitton, Frank Steinicke, and Evan Suma Rosenberg. 15 years of research on redirected walking in immersive virtual environments. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 38(2):44–56, 2018. doi:10.1109/MCG.2018.111125628.
- 15 Sharif Razzaque. *Redirected walking*. The University of North Carolina at Chapel Hill, 2005.
- 16 Frank Steinicke, Gerd Bruder, Jason Jerald, Harald Frenz, and Markus Lappe. Estimation of detection thresholds for redirected walking techniques. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 16(1):17–27, 2010. doi:10.1109/TVCG.2009.62.
- 17 Frank Steinicke, Gerd Bruder, Luv Kohli, Jason Jerald, and Klaus Hinrichs. Taxonomy and implementation of redirection techniques for ubiquitous passive haptic feedback. In *2008 International Conference on Cyberworlds*, pages 217–223, 2008. doi:10.1109/CW.2008.53.
- 18 Frank Steinicke, Gerd Bruder, Luv Kohli, Jason Jerald, and Klaus Hinrichs. Taxonomy and implementation of redirection techniques for ubiquitous passive haptic feedback. In *2008 International Conference on Cyberworlds*, pages 217–223, 2008. doi:10.1109/CW.2008.53.
- 19 Ryan R. Strauss, Raghuram Ramanujan, Andrew Becker, and Tabitha C. Peck. A steering algorithm for redirected walking using reinforcement learning. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 26(5):1955–1963, 2020. doi:10.1109/TVCG.2020.2973060.
- 20 Richard S Sutton and Andrew G Barto. *Reinforcement learning: An introduction*. MIT press, 2018.
- 21 Jerald Thomas, Courtney Hutton Pospick, and Evan Suma Rosenberg. Towards physically interactive virtual environments: Reactive alignment with redirected walking. In *Proceedings of the 26th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, VRST '20, New York, NY, USA, 2020. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/3385956.3418966.