

MASTERARBEIT

Virtuelles Training von Gefährdungsbeurteilung beim Betreten von Räumen, für Polizei und Rettungskräfte

vorgelegt am 6. Oktober 2025

Thorbjörn Ruppel

Erstprüfer: Prof. Dr. Roland Greule
Zweitprüfer: Prof. Dr. Boris Tolg

**HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE
WISSENSCHAFTEN HAMBURG**

Department Medientechnik
Finkenau 35
20081 Hamburg

Zusammenfassung

Wahrnehmungstraining zur Eigensicherung ist ein wesentlicher Bestandteil der Polizei-Ausbildung und auch für Rettungskräfte relevant. Aktuelle VR-Trainingsansätze der Polizei setzen jedoch überwiegend auf groß angelegte, kontextreiche Szenarien, die den Einsatz spezialisierter, stationärer Hardware erfordern und damit nur in dedizierten Trainingszentren realisierbar sind. Dies steht im Widerspruch zum Ziel flächendeckender Verfügbarkeit. Diese Arbeit untersucht daher, ob ein gezieltes Wahrnehmungstraining auch auf kleinerem Raum mit stark reduzierter Ausstattung – einem Eyetracking-fähigen Android-VR-Headset und einem Laptop für das After Action Review – wirksam umgesetzt werden kann. Hierzu wurde ein kompakter VR-Prototyp mit Blickverlaufsaufzeichnung entwickelt und in einer ersten explorativen Untersuchung getestet. Die Ergebnisse zeigen, dass TrainerInnen auf Basis von Replays, mit visualisierten Fixationssequenzen und Sichtfeldern, die Leistung der Trainierenden ausreichend gut einschätzen können, auch wenn die Wahrnehmung einzelner Objekte nicht immer verlässlich abgeleitet werden kann. Sowohl TrainerInnen als auch Trainierende bewerteten den Ansatz positiv. Die TrainerInnen attestieren dem System einen Mehrwert. Die Arbeit belegt somit das Potenzial mobiler VR-Lösungen für ortsunabhängiges Wahrnehmungstraining und liefert eine Grundlage für weiterführende Validierungsstudien.

Abstract

Perception training for situational awareness is a crucial component of police training and emergency response education. However, existing VR-based training solutions typically rely on large-scale scenario simulations that require stationary, sensor-rich hardware setups in dedicated facilities. This limits accessibility for widespread use. This thesis investigates whether focused perception training can be achieved with significantly reduced technical and spatial requirements, using only an Android-VR-headset with eye tracking capabilities and a laptop for after action review. To explore this, a lightweight VR prototype with gaze recording capabilities was developed and evaluated in an initial exploratory study. Findings indicate that trainers can sufficiently assess trainees performance based on replays visualizing fixation sequences and fields of view, even when perception of individual objects cannot always be determined with certainty. Both trainers and trainees responded positively to the concept. The results highlight the potential of mobile VR as an accessible alternative for perception training and provide a foundation for future research on training effectiveness and long-term impact.

Danksagung

Ich bedanke mich herzlich bei Prof. Dr. Roland Greule und Prof. Dr. Boris Tolg für die Betreuung meiner Masterarbeit. Ein besonderer Dank gilt außerdem Dr. Fabio Ibrahim für die fachliche Unterstützung bei der Erarbeitung der Trainingsinhalte sowie allen Einsatztrainern und BeamtInnen in Ausbildung, die sich als ExpertInnen und ProbandInnen zur Verfügung gestellt haben.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung.....	III
Abkürzungsverzeichnis	VII
Glossar.....	VII
Abbildungsverzeichnis	VIII
Tabellenverzeichnis.....	IX
1 Einleitung.....	1
2 Ausgangspunkt und technologischer Rahmen.....	4
2.1 Grundlegende Konzepte.....	4
2.1.1 Eigensicherung	4
2.1.2 Einsatz- und Wahrnehmungstraining	5
2.1.3 Foveale und periphere Wahrnehmung.....	5
2.1.4 Fixation und Sakkaden	6
2.2 Grundlegende Technologien.....	7
2.2.1 Virtual Reality	7
2.2.2 Eyetracking.....	7
2.3 Vergleich und Unterschied zu anderen Trainingslösungen für die Polizei.....	8
2.4 Ausgangszustand von <i>RoomAware VR</i>	12
2.4.1 Fixationspunkte durch Eyetracking	13
2.4.2 Basis-Szene und Room-Loader	14
2.4.3 Portal-Logik.....	15
2.5 Technologischer Rahmen.....	17
2.5.1 Allgemeine Hardware- und Performance-Anforderungen	17
2.5.2 Übersicht der Android-VR-Headsets mit Eyetracking	17
2.5.3 Bekannte Limitationen von Android-VR-Headsets.....	18
2.5.4 Netzwerke und Berechtigungen.....	19
2.6 Forschungsziel	20
3 Methodik.....	21
3.1 Forschungsdesign.....	21
3.1.1 Aufgabenstellung für die Trainierenden.....	22
3.1.2 Aufgabenstellung für die TrainerInnen.....	22

3.1.3	Hypothesen, Operationalisierung und Datenerfassung.....	23
3.1.4	Ermittlung der Usability und des Mehrwerts des Trainingssystems	26
4	Entwicklungsprozess	27
4.1	Recherche nach Anforderungen und Lösungsansätzen.....	27
4.1.1	Experteninterview.....	29
4.2	Anforderungen an die Software	30
4.3	Konzeption.....	32
4.3.1	Übertragung der Daten	32
4.3.2	Gestaltung und Funktionen der AAR-App	35
4.3.3	Anpassungen der VR-Anwendung	37
4.4	Lösungen.....	37
4.4.1	Überarbeitung der VR-Anwendung.....	37
4.4.2	Programmierung der AAR-App	39
4.5	Iteration.....	42
5	Ergebnisse.....	45
5.1	Deskriptive Auswertung der Datensätze.....	45
5.1.1	Auswertung der gezählten Objekte.....	46
5.1.2	Bewertung der Trainingsleistung im Vergleich zur Selbsteinschätzung	51
5.1.3	Bewertung der Software durch die Trainer	52
5.2	Hypothesentests	52
5.3	Qualitative Auswertung der Beobachtungen, Kommentare und des Usability-Interviews..	56
5.3.1	Kritik und Verbesserungsvorschläge der Trainer	57
5.3.2	Usability-Interviews	57
6	Diskussion und Fazit.....	60
6.1	Auffälligkeiten bei Hypothesentests und Beantwortung der Leitfragen.....	60
6.1.1	Frage nach der eindeutigen Bewertbarkeit der Trainingsleistung per AAR-App.....	60
6.1.2	Frage nach dem Mehrwert der Overlays zur Bewertung der Trainingsdurchläufe.....	63
6.1.3	Frage nach dem Mehrwert des Trainingssystems.....	63
6.2	Schwierigkeiten und Einschränkungen.....	64
6.2.1	Recherche der Anforderungen.....	64

6.2.2	Datenbank-Zugriff unter Verwendung von Unity und Android.....	65
6.2.3	Filterung und Wiedergabe der Daten beim Replay	65
6.2.4	Profiling und Performance-Optimierung	65
6.2.5	Einschränkungen der Software	65
6.2.6	Belastbarkeit der Untersuchungsergebnisse	66
6.3	Fazit.....	67
6.4	Ausblick	67
6.4.1	Lösungsansätze	68
6.4.2	Notwendige Untersuchungen.....	69
	Literaturverzeichnis	70
Anhang 1	Ablaufplan der Untersuchung.....	72
Anhang 2	Bewertungsbogen für TrainerInnen.....	73
Anhang 3	Fragenkatalog – Usability-Interview	79
Anhang 4	Transkript – Usability-Interview mit Trainer01	81
Anhang 5	Kodierleitfaden für Usability-Interview	88
Anhang 6	Fragenkatalog – Experteninterview.....	93
Anhang 7	Transkript – Experteninterview mit Einsatztrainer.....	95
Anhang 8	Katalog der Anforderungen an die Software (nach Experte).....	103
Anhang 9	Geplante Struktur des Trainingssystems	104
Anhang 10	Aufbereitete Rohdaten der quantitativen Untersuchung	106
Anhang 11	Ausgefüllte Usability-Bewertungsbögen der Trainer.....	112
Anhang 12	Bewertungshorizont für die Replays	114
Anhang 13	Kleine Auswahl von Rohdaten vor der Aufbereitung.....	116
	Eigenständigkeitserklärung	122

Abkürzungsverzeichnis

AAR	After Action Review
DBMS	Database Management System
GUID	Global Unique Identifier
HMD	Head-mounted Display
IAM	In Action Monitoring
KPI	Key Performance Indicator
NPC	Non-Player Character
UI	User Interface
UX	User Experience
VR	Virtual Reality

Glossar

GameObject	Jedes Objekt in Unity, dem per Skript weitere Funktionen und Eigenschaften zugewiesen werden können.
Game State	Der Game State beschreibt den aktuellen Zustand der Spielwelt inklusive der Positionen, Rotationen und Skalierungen aller GameObjects sowie anderer Informationen (z.B. Punktestände).
Component	Eine Funktionalität aus einem Skript, die einem GameObject zugeordnet werden kann.
Scriptable Object	Skripte/Klassen, die außerhalb der Szene persistent instanziiert werden können, um etwa szenenübergreifende Informationen zu speichern.
Player-Rig	Eine Ansammlung von GameObjects und Components, die den Avatar in einer Anwendung darstellt und Eingaben interpretiert.
Transform	Eine bestimmte Component, die die Position, Rotation und Skalierung eines GameObjects beschreibt und daher immer im Code adressiert wird, wenn nur diese Eigenschaften eines Objekts oder ihre Änderung relevant sind.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Darstellung in RoomAware VR.	2
Abb. 2: Sichtkegel des fovealen, parafovealen, nah peripheren und peripheren Sichtfelds nach Solso.	6
Abb. 3: Darstellung der Gaze-Points im provisorischen Replay von <i>RoomAware VR</i>	11
Abb. 4: Grundrisse der Räume in <i>RoomAware VR</i>	11
Abb. 5: Beispiel für Impossible Spaces.	12
Abb. 6: Visualisierung der Basis-Szene.	14
Abb. 7: Portale in <i>RoomAware VR</i>	16
Abb. 8: Portalfunktion ohne stereoskopisches VR.	16
Abb. 9 Zeitpunkt der Kollisionsabfrage.	34
Abb. 10: User Interface der AAR-App.	35
Abb. 11: Detailansicht des Menübands.	40
Abb. 12: Detailansicht der Blickverfolgung.	41
Abb. 13: Performance der VR-Anwendung.	42
Abb. 14: Performance der VR-Anwendung ohne Portale und Aufnahme.	42
Abb. 15: Beispiel für Auswahl der Werte.	46
Abb. 16: Box-Plot der Anzahl der gezählten, bewerteten und tatsächlichen Objekte einer Kategorie pro Raum.	48
Abb. 17: Anzahl der pro Person gezählten und bewerteten Enten und Waffen in Room5.	49
Abb. 18: Anzahl der pro Person gezählten und bewerteten Enten und Waffen in Room9.	49
Abb. 19: Anzahl der pro Person gezählten und bewerteten Enten und Waffen in Room10.	50
Abb. 20: Box-Plots - Visuelle Erfassung des Umfelds.	50
Abb. 21: Bewertung der Trainingsleistung.	51
Abb. 22: Box-Plots der pro Raum erfassten Enten über alle Personen.	53
Abb. 23: Dauer bis zur Erfassung der Ente bzw. des Mannes in Room1.	55
Abb. 24: Vergrößerung von Abb. 9.	104
Abb. 25: Architektur des Trainingssystems Variante 1.	105
Abb. 26: Architektur des Trainingssystems Variante 3.	105

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Eyetracking-fähige Headsets im Vergleich.....	18
--	----

1 Einleitung

Trainings-Anwendungen unter der Verwendung von Virtual Reality erfreuen sich mittlerweile großer Beliebtheit. Während Firmen wie *OWL VR* oder *Patient Zero* ein ganzes Portfolio an Trainings-Anwendungen für verschiedene Berufsausbildungen anbieten, hat sich die Verwendung von VR-Trainings-szenarien insbesondere für Einsatzkräfte von Polizei, Feuerwehr und Rettungsdiensten etabliert. Hierbei kommt der große Vorteil von Virtual Reality zum Tragen, gefährliche Situationen simulieren zu können, für deren Training sonst sehr aufwändige, kostspielige und nicht immer risikofreie Übungen durchgeführt werden müssten. Wie hoch der Bedarf insbesondere bei der Polizei ist, zeigen länderübergreifende und durch wissenschaftliche Untersuchungen begleitete Projekte wie *SHOTPROS* und neu eröffnete VR-Trainingszentren, wie zuletzt in Hessen. PolizistInnen trainieren dort Tatortarbeit, Taktik, Kommunikation und Stressresilienz. Zudem sind Szenarien für Erste Hilfe, Lagebeurteilung und Brandschutz geplant. Dadurch werden „individuelle Kompetenzen und Handlungssicherheit im Einsatz verbessert.“, erklärt Innenminister Roman Poseck und verweist auch auf die Werbewirkung solcher Trainingszentren für die Polizeiausbildung (Murrer, 2025). Ein großer Nachteil aktueller Trainingsanwendungen ist jedoch der begrenzte Zugang durch Standort- und Hardwarebindung. Um verschiedene Situationen so realitätsnah wie möglich trainieren zu können, muss die Fortbewegung der Trainierenden real erfolgen (Roomscale VR), wofür z.B. Murtinger et. al. eine Fläche von 30 x 30 m verwenden. Um die virtuelle Welt zudem realistisch darzustellen und alle benötigten Tracking-Daten zu erfassen, kommen dort PC-gebundene VR-Headsets mit Rucksack-PCs und zusätzlichen Sensoren zum Einsatz (Murtinger et al., 2022). Aufgrund des Platz- und Hardware-Bedarfs werden Trainingszentren wie das in Hessen errichtet, wofür Fördersummen in Millionenhöhe notwendig sind (Murrer, 2025). Für die Simulation von Groß-einsätzen sind diese Einrichtungen unerlässlich, doch gleichzeitig werden dadurch die räumlichen, organisatorischen und finanziellen Vorteile von VR-Training deutlich geschmälert.

Doch es müssen nicht immer ganze Einsätze trainiert werden. Auf deutlich kleinerem Raum und mit deutlich reduzierter Hardware könnten einzelne Teilsituationen simuliert werden, die ein gezielteres Training spezieller Kompetenzen ermöglichen. Um das zu prüfen, wurde 2024 an der HAW Hamburg mit der Entwicklung einer entsprechenden Trainingsanwendung begonnen. Diese soll es PolizistInnen und Rettungskräften ermöglichen, eine schnelle Lagebeurteilung und Eigensicherung beim Betreten von Räumen zu trainieren, dabei aber mit möglichst wenig Platz und Hardware auskommen. Das Konzept entstand in Kooperation mit Dr. Fabio Ibrahim (Helmut Schmidt Universität Hamburg), der sich zuvor mit taktischem Training für Spezialeinheiten der Polizei beschäftigt und erkannt hat, dass sich AnfängerInnen und Profis beim Betreten von Räumen durch ihre Blickmuster unterscheiden (Ibrahim et al., 2024). Mit Ibrahims Expertise konnte sogenanntes Eyetracking als wichtigste Anforderung an ein entsprechendes Trainingssystem identifiziert werden.



Abb. 1: Darstellung in RoomAware VR.

Die trainierende Person wird im Replay rechts durch einfache Formen dargestellt. Die Bewegung der Hände ist sichtbar. Die Blickrichtung wird durch einen weißen Strahl dargestellt. Kleine grüne Punkte markieren alle bisherigen Fixationspunkte im Raum.

Quelle: Eigene Darstellung

Im Rahmen erster Umsetzungsversuche wurde bereits ein Prototyp mit dem Arbeitstitel *RoomAware VR* entwickelt (Abb. 1), der auf einem Eyetracking-fähigen Android-VR-Headset läuft und Bewegungs- und Blickdaten der Trainierenden aufzeichnet. Trainierende betreten dabei hintereinander verschiedene virtuelle Räume auf einer realen Fläche von 10 x 10 m, wodurch das Setup vergleichsweise mobil und vielseitig einsetzbar ist.

In dieser Arbeit soll die Anwendung *RoomAware VR* verfeinert und um die Möglichkeit erweitert werden, die Tracking-Daten noch während des Trainings in einer Datenbank abzulegen. Darüber hinaus soll eine Beobachtungs- und Auswertungs-Anwendung für Windows entwickelt werden, mit der TrainerInnen ein Replay des Trainings sehen und die Performance der Trainierenden bewerten können. Aus Sicht von angehenden PolizistInnen nehmen die TrainerInnen eine besonders wichtige Rolle bei der Vermittlung von Fähigkeiten ein, weshalb es wichtig ist, ein Tool zu haben, das die TrainerInnen bei der Bewertung und ihrem Feedback unterstützt (Murtinger et al., 2022; Staller et al., 2023). Daher soll die Anwendung neben der Verfolgung des virtuellen Avatars aus verschiedenen Kameraperspektiven insbesondere auch die Identifikation von Blickmustern ermöglichen und darstellen, welche Objekte im Raum von der trainierenden Person erfasst wurden und welche nicht. Ziel des Gesamtprojekts ist es, eine Trainings-Anwendung für Polizei und Rettungskräfte zu entwickeln, die sich ohne besonderen Aufwand in bestehende Ausbildungsmodule oder Trainingseinheiten integrieren lässt und durch räumliche Flexibilität sowie ein unkompliziertes und schnelles Setup überzeugt. Im Rahmen dieser Arbeit soll ein neuer Prototyp entstehen, an dem die Untersuchungen und Weiterentwicklungen durchgeführt werden

können, die notwendig sind, um ein Produkt zu entwickeln, das Trainierenden und TrainerInnen bei Polizei und Rettungsdiensten einen echten Mehrwert bietet.

Der Abschnitt **Ausgangspunkt und Technologischer Rahmen** beschreibt grob das angestrebte Trainingssystem und erklärt die Konzepte und Technologien, die für die Umsetzung relevant sind. Nach einer Einordnung und Abgrenzung gegenüber existierenden Systemen, wird der Ausgangszustand der Anwendung *RoomAware VR* beschrieben, auf der der neue Prototyp aufbauen soll.

Darauf folgt die Beschreibung der **Methodik**, die zur Entwicklung und zur Evaluation des Prototyps gewählt wurde.

Der Abschnitt **Entwicklungsprozess** beschreibt Informationsgewinnung, Konzeption und Entwicklung der Anwendungen.

Im Abschnitt **Ergebnisse** werden noch einmal die finalen Rahmenbedingungen und der Ablauf der Untersuchung beschrieben und schließlich die Ergebnisse präsentiert und ausgewertet.

Im Abschnitt **Diskussion und Fazit** werden die Ergebnisse schließlich analysiert und interpretiert, um die Leitfragen zu beantworten. Zudem werden Schwierigkeiten und Einschränkungen bei der Umsetzung beschrieben und Ansätze für Verbesserungsvorschläge sowie weitere Untersuchungen und Entwicklungsziele formuliert.

2 Ausgangspunkt und technologischer Rahmen

Das Trainings-System – bestehend aus einer VR-Trainings-Anwendung und einer Desktop-Anwendung zur Beobachtung und Auswertung – soll es Auszubildenden und aktiven PolizistInnen und Rettungskräften ermöglichen das aufmerksame Betreten eines Raums gezielt zu Trainieren. Da die TrainerInnen mit ihrem Feedback eine besonders wichtige Rolle im Trainingsprozess spielen (Staller et al., 2023), sollen sie die wichtigsten Tracking-Daten möglichst anschaulich in einem Replay präsentiert bekommen, um Trainierende gezielt auf Fehler bei der Ausführung hinweisen zu können. Murtinger et. al. beschreiben, wie wichtig es für die TrainerInnen ist, die Trainierenden beim Durchlaufen des Trainings beobachten und die Leistung im Anschluss noch einmal genauer betrachten zu können. Sie bezeichnen diese wichtigen Grundpfeiler des Trainings-Systems als „In Action Monitoring“ (IAM) und „After Action Review“ (AAR) (Murtiniger et al., 2022). Auf dieser Basis spielt die Übertragung der Daten von der VR-Anwendung an eine Desktopanwendung zur Beobachtung und Auswertung eine besonders wichtige Rolle für das System. Auch die Darstellung der nötigen Informationen für eine fundierte Bewertung der Trainingsleistung soll bei der Entwicklung des Systems im Vordergrund stehen. Da der Unterschied zwischen Profis und Laien bei der Gefährdungseinschätzung beim Betreten eines Raums in den Blickmustern liegt (Ibrahim et al., 2024), ist es besonders wichtig, dass diese möglichst exakt von der VR-Anwendung registriert und in der Beobachtungs- und Auswertungs-Software dargestellt werden. Um die richtigen Daten zu erfassen und zu visualisieren, sollten aber zuerst einige Konzepte und Technologien definiert werden, die für das Trainingssystem unerlässlich sind.

2.1 Grundlegende Konzepte

Sind die Konzepte und Ziele des Trainings bekannt, ist es deutlich einfacher zu bestimmen, welche Daten für die TrainerInnen erfasst und visualisiert werden müssen. Im Kontext des aufmerksamen Betretens von Räumen hilft es zudem, die Funktionsweise der Wahrnehmung zu verstehen. Die wichtigsten Konzepte für den Rahmen dieser Arbeit werden in diesem Abschnitt definiert.

2.1.1 Eigensicherung

Im Rahmen dieser Arbeit soll ein System entwickelt werden, mit dem sich das sichere und aufmerksame Betreten von Räumen trainieren lässt. Insbesondere im polizeilichen Kontext spielt dabei die sogenannte Eigensicherung eine sehr wichtige Rolle. Dabei geht es darum, körperlichen und seelischen Schaden von sich selbst abzuwenden. Eigensicherung spielt in vielen Tätigkeiten eine Rolle und kann die Minimierung verschiedener Risiken betreffen. Entsprechend vielseitig fallen auch die Definitionen von Eigensicherung aus. In dem Buch *Eigensicherung und Recht* heißt es etwa:

„Eigensicherung ist jedes aktive Verhalten von Polizeibeamten gegenüber Personen zum Schutz der eigenen körperlichen Unversehrtheit, im Rahmen einer konkreten polizeilichen Maßnahme“ (Mentzel et al., 2003)

Im Rahmen dieser Arbeit soll hingegen von der Eigensicherung vor allem als präventive Maßnahme ausgegangen werden. Gemeint ist damit ein entsprechendes aufmerksames und taktisches Verhalten, um Gefahren (vor allem durch Personen) zu bemerken, bevor ein tatsächlicher Angriff durch die Person stattfindet.

Während die Eigensicherung für PolizistInnen selbstverständlich ist und trainiert wird, spielt sie auch für Rettungskräfte eine wichtige Rolle (Staller & Körner, 2024). Diese sind zwar, entgegen einem aktuell verbreiteten Eindruck, nur selten einer entsprechenden Gewalt ausgesetzt, können aber ebenfalls von einem Aufmerksamkeitstraining profitieren, um die Wahrscheinlichkeit eines Angriffs gegen sich selbst noch weiter zu verringern. Dabei ist für die Rettungskräfte entscheidend, durch ständige Aufmerksamkeit und weitere Tricks die Wahrscheinlichkeit zu minimieren, dass ein möglicher Angriff überraschend kommt (Staller & Körner, 2024).

2.1.2 Einsatz- und Wahrnehmungstraining

Der in dieser Arbeit besprochene Trainingstyp zählt im polizeilichen Trainingskontext zum sogenannten Einsatztraining. Der Begriff beschreibt jedes Training, das sich auf Fähigkeiten bezieht, die im Polizeieinsatz notwendig sind. Insbesondere das Training vollständiger realitätsnaher Szenarien/Situationen wird heutzutage unter Einsatztraining verstanden (Di Nota & Huhta, 2019; Staller et al., 2023; Staller & Körner, 2024). Davon abgegrenzt soll in dieser Arbeit der Begriff Wahrnehmungstraining eine Form des Einsatztrainings beschreiben, bei dem die Schulung der Wahrnehmung als Trainingsziel in den Vordergrund rückt. Es soll also trainiert werden, möglichst viele (für die Eigensicherung) relevante Details eines Szenarios wahrzunehmen, während man dieses durchläuft/erlebt.

2.1.3 Foveale und periphere Wahrnehmung

Das menschliche Auge besitzt bekanntermaßen Stäbchen und Zapfen, die auf der Netzhaut verteilt sind und die Wahrnehmung von Lichtreizen ermöglichen. Während sich die für Helligkeit zuständigen Stäbchen über die gesamte Netzhaut verteilen und nur die Sehgrube (Fovea) aussparen, befinden sich die Zapfen fürs Farbsehen fast ausschließlich in der Sehgrube. Die Fovea ist auch der Bereich der Netzhaut, an dem die höchste Sehschärfe erreicht wird. Diese fällt bereits bei einem Winkelgrad Abweichung vom schärfsten Punkt des Sehens auf 50% ab. Während sich das foveale Sehen auf einen Bereich von nur 2° Abweichung von der Sichtlinie beschränkt, gibt es noch die Parafovea im Bereich von 10° Abweichung von der Sichtlinie. Außerhalb dieser Bereiche findet die visuelle Wahrnehmung nur peripher statt. Das periphere Sichtfeld reicht unter Berücksichtigung beider Augen bis etwa 180°. Auch wenn das wahrgenommene Bild im peripheren Bereich unscharf und nicht farbig ist, spielt das periphere Sehen für den Eindruck einer Szene eine wichtige Rolle. Insbesondere Bewegungen sind auch im peripheren Sichtfeld wahrnehmbar. (Boyce, 2014; Solso, 1996; Wang et al., 2023).

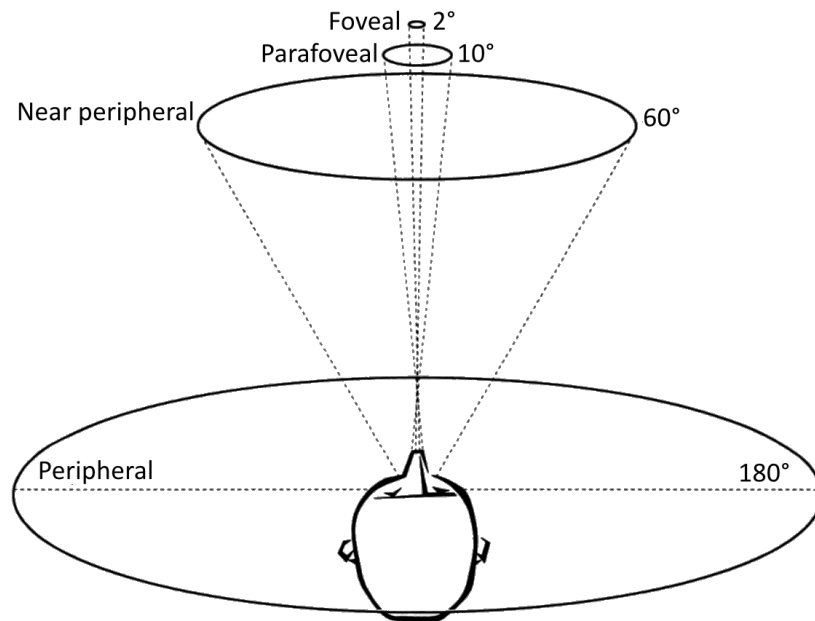


Abb. 2: Sichtkegel des fovealen, parafovealen, nah peripheren und peripheren Sichtfelds nach Solso.
Quelle: (Solso, 1996), Text für Skalierbarkeit ersetzt.

In der vorliegenden Literatur finden sich keine klaren Angaben dazu, wie groß das Sichtfeld ist, in dem Details rund um den Fixationspunkt (anvisierter Punkt, durch den die Sichtlinie verläuft) wahrgenommen werden. Auf Basis der Darstellung (Abb. 2) von (Solso, 1996) wird in dieser Arbeit von dem Bereich der Parafovea, also einem Sichtfeld von 20° horizontal und vertikal (10° Abweichung von der Sichtlinie), als Bereich der Detailwahrnehmung bei der Fixation eines Objekts ausgegangen. Entsprechend wird im Folgenden von diesem Bereich als fovealem Sichtfeld gesprochen, während der Bereich zwischen 20° und 180° als peripheres Sichtfeld bezeichnet wird. Dabei ist zu beachten, dass beide Sichtfelder mit der Blickrichtung der Augen verknüpft sind. Im Zusammenhang mit dem eingeschränkten Sichtfeld einer VR-Brille kann das periphere Sichtfeld jedoch als statisch zum Kopf angenommen werden.

2.1.4 Fixation und Sakkaden

Da der schärfste Punkt des Sehens und das foveale Sichtfeld so klein sind, wird das Auge bewegt, um verschiedene Details in einer Szene zu erfassen. Es finden sogenannte Fixationen und Sakkaden statt. Das Auge fixiert immer für einen kurzen Moment einen bestimmten Punkt im Sichtfeld, um Details einer Szene wahrzunehmen. Dieser Vorgang wird Fixation genannt. Auf die Fixation folgt die Sakkade, eine schnelle ruckartige Bewegung zum nächsten Fixationspunkt. Das menschliche Auge ist in der Lage, etwa fünf Sakkaden pro Sekunde auszuführen. Es gibt Ausnahmefälle, in denen die Bewegung langsam und weich vonstattengeht. Dies ist bei der direkten Verfolgung eines Objektes der Fall (Boyce, 2014). Die Dauer einer Fixation beträgt normalerweise $100 - 300$ ms (Farnsworth, 2022). Das bedeutet allerdings nicht, dass in dieser Zeit zwangsweise ein betrachtetes Objekt oder Detail auch wahrgenommen wurde.

2.2 Grundlegende Technologien

Für die Umsetzung der Trainingsanwendung sind mehrere Technologien erforderlich. Die wichtigsten davon sind die Virtual Reality zur Darstellung des Trainingsszenarios und das Eyetracking als Mittel zur Erfassung von Sichtfeldern, Fixationen und Blickmustern.

2.2.1 Virtual Reality

Virtual Reality, also virtuelle Realität (kurz VR), beschreibt die audiovisuelle Darstellung einer virtuellen Umgebung über ein sogenanntes head-mounted display (HMD) oder VR-Headset, bei dem zwei Bildschirme vor den Augen der NutzerInnen dafür sorgen, dass diese ausschließlich die simulierte Umgebung sehen. Bereits in den 1960er Jahren erfunden sind VR-Headsets seit der letzten Wiederbelebung der Technologie um 2015 ein gängiger Begriff.

Das Ziel von VR-Hardware und Software ist, einen möglichst hohen Immersionsgrad und ein möglichst starkes Präsenzgefühl bei den NutzerInnen zu erzeugen. Dabei beschreibt der Immersionsgrad die Fähigkeit der Hard- und Software, die virtuelle Umgebung durch audiovisuelle oder auch haptische Reize so real wie möglich darzustellen, während Präsenz beschreibt, wie stark das Gefühl der Nutzenden ist, sich tatsächlich am simulierten Ort zu befinden. Die Forschung in diesem Bereich wurde vor allem durch die Informatiker Slater und Usoh vorangetrieben, die insbesondere in den 1990ern viel zu den Themen Virtual Reality, Präsenz und Immersion veröffentlichten und den Begriff der Präsenz auch sehr treffend als „*the sense of being there*“ beschrieben (Slater & Usoh, 1993).

2.2.2 Eyetracking

Beim Eyetracking werden die Augen der NutzerInnen durch kleine Kameras erfasst und die Position der Pupille im Bild ausgewertet. Die Position der Pupille wird durch Reflexionen auf der Cornea bestimmt (Pupil Center Corneal Reflection). Es wird also genau genommen die Reflexion getrackt. Dazu wird das Auge mit Infrarot-Licht beleuchtet, da dieses für weniger ungewollte Reflexionen sorgt als Licht im sichtbaren Spektrum. Außerdem wird dadurch der Kontrast erhöht, sodass Tracking-Algorithmen die Position der Pupille zuverlässig verfolgen können. Mit einem Algorithmus wird nun berechnet, welcher Teil des digitalen Bildes gerade fixiert wird (Farnsworth, 2022).

Eyetracking-Systeme können in VR-Headsets, aber auch in Monitoren oder gewöhnlichen durchsichtigen Brillen verbaut werden (Miseviciute, 2025). Ihr Anwendungsbereich erstreckt sich von der Optimierung von Werbung über die Evaluation von User Interfaces in Hard- und Software bis hin zur Steuerung von Spielen. In den meisten Anwendungsfällen ist die Identifikation von Blickmustern oder Points of Interest das Ziel. Es können verschiedene Metriken aus den Eyetracking-Daten ausgewertet werden. Die Interessantesten für das Wahrnehmungstraining sind Heatmaps, Fixationssequenzen und die vergangene Zeit bis zur ersten Fixation eines Objektes. Diesen Metriken liegt immer die Basis-Messeinheit

der *Gaze-Points* zugrunde. Diese *Gaze-Points* sind die einzelnen aufgenommenen Samples. Also die Punkte durch die die Sichtlinie zu einem bestimmten Zeitpunkt verlief (Farnsworth, 2022).

Eyetracking ist zwar derzeit die einzige Möglichkeit, um festzuhalten, wohin sich die Aufmerksamkeit einer Person verlagert, für die Auswertung im Rahmen des Wahrnehmungstrainings gibt es jedoch dennoch Limitationen. Denn durch Eyetracking kann zwar festgestellt werden, was eine Person sieht, eine eindeutige Vorhersage darüber, ob die Person das Gesehene auch wahrgenommen hat, kann jedoch nicht daraus getroffen werden (Farnsworth, 2022). Diese Einschränkung ist besonders im Rahmen dieser Arbeit wichtig, da sie bedeutet, dass die Auswertung der Trainingsdaten nicht vollständig automatisiert erfolgen kann. TrainerInnen müssen letztendlich entscheiden, ob ein Objekt von einer trainierenden Person wahrgenommen oder nur physikalisch gesehen wurde.

Eine Möglichkeit, die Aussagekraft von Eyetracking-Daten zu verbessern, ist die Kombination mit anderen Sensoren oder Modellen, wie EEG (Elektroenzephalografie), EDA (elektrodermale Aktivität), EMG (Elektromyografie), EKG (Elektrokardiogramm) oder Gesichtsausdrucksanalyse (Farnsworth, 2022).

2.3 Vergleich und Unterschied zu anderen Trainingslösungen für die Polizei

Es existieren bereits zahlreiche VR-Trainingsanwendungen für die Polizei. Einige Systeme wie *SHOT-PROS* sind offizielle europaweite geförderte Projekte (SHOTPROS, 2019). Andere sind Auftragsarbeiten kleinerer Entwicklerstudios für die lokale Polizei (VR Owl, o. J.-a). Dabei unterscheiden sich die Anwendungen in ihrem Umfang und den Lernzielen teils stark. In der Polizeiakademie-Anwendung *Multiplayer-Spurenermittlung* geht es zum Beispiel um das Training kriminalistischer Ermittlungsprozesse im Team (VR Owl, o. J.-b). Shotpros dagegen simuliert komplexe lebensbedrohliche Einsatzlagen. In dem Projekt wurden VR-Trainingsansätze für das Handeln und Decision-Making in Stress- und Hochrisiko-Situationen untersucht (Zechner et al., 2022). Das bereits erwähnte Trainingszentrum in Hessen bietet verschiedene Szenarien zum Training von Tatortarbeit, Taktik, Kommunikation und Stressresilienz an (Murrer, 2025). Auffällig ist bei dieser Auflistung, dass die meisten Anwendungen auf möglichst interessante Szenarien setzen. Der Grund für diese Szenarien-basierten Trainingsanwendungen liegt höchstwahrscheinlich in den vorhandenen Studien zu Polizeitraining bzw. Einsatztraining. Hier wird das „*Scenario-based training*“ als „*Gold Standard*“ bezeichnet. Durch die voll-immersive Erfahrung werden die Trainierenden in eine realitätsnahe Situation versetzt und verspüren dabei den Stress und andere Faktoren, die mit einer tatsächlichen Einsatzsituation einhergehen (Di Nota & Huhta, 2019). Auch deutsche PolizeianwärterInnen sehen repetitives Training von Bewegungsabläufen und entkontextualisierten Situationen kritisch. (Staller et al., 2023)

Das angestrebte Trainingssystem soll sich an dieser Stelle von den anderen Anwendungen abheben, indem der Fokus auf das Training einer bestimmten Fähigkeit gelegt und somit der technische Aufwand reduziert wird. Die Erkenntnisse von (Di Nota & Huhta, 2019; Staller et al., 2023) dürfen dabei aber

nicht ignoriert werden. Die angestrebte Anwendung soll sich also zum einen auf das Training einer bestimmten Fähigkeit beschränken, muss aber auch ausreichend Szenario mit situativem Kontext bieten.

Der größte Unterschied, den diese Verschlankung bewirken soll, ist der benötigte Raum für das Training. Bei einer Recherche nach VR-Trainingssystemen für die Polizei fallen die Anwendungen *Kriminalpolizei Training* und *Multiplayer-Spurenermittlung* von *VR Owl* als einzige Anwendungen auf, die nicht auf eine dedizierte große Räumlichkeit mit spezieller Hardware setzen, um die Situation so realistisch wie möglich darstellen zu können. Dafür wird bei beiden Anwendungen in Kauf genommen, nur Inhalte zu vermitteln, bei denen das Training der realen Bewegung nicht relevant ist (VR Owl, o. J.-a, o. J.-b). Das angestrebte System soll hier ganz gezielt einen Mittelweg beschreiten. Die Szenarien sollen so gestaltet sein, dass diese auf einer realen Fläche von 10 x 10 m funktionieren. Dennoch soll es sich um eine Roomscale-Anwendung handeln, bei der sich die Trainierenden real fortbewegen und nicht mit dem Controller. Auf diese Weise sollen Fähigkeiten trainiert werden können, bei denen Bewegungsabläufe eine Rolle spielen, ohne dass eine riesige Halle benötigt wird, um der Fläche eines vollständigen Einsatzgebiets zu entsprechen. Die Größe von 10 x 10 m ist dabei nicht willkürlich als Ziel gewählt. Selbst mit speziellen Techniken, die im nächsten Abschnitt Erwähnung finden, ist es nicht gut möglich, eine Szenerie mit mehr als einem Raum auf einer kleineren Fläche darzustellen. Gleichzeitig sind 10 x 10 m aber als Fläche klein genug, um in großen Seminarräumen bereitgestellt werden zu können, wenn alle Tische und Stühle an die Seite geräumt werden. Tatsächlich wurde das auch schon in einem Nebenprojekt von *SHOTPROS* herausgefunden, wo bereits mit einem sehr vergleichbaren Setup wie im Rahmen dieser Arbeit experimentiert wurde (Zechner et al., 2022). Das genaue Ausmaß der Szene ließe sich wahrscheinlich noch besser optimieren, aber letztendlich wurden die Seitenlängen von 10 m auch gewählt, weil sich dieser Wert besonders leicht merken sowie damit rechnen und entwickeln lässt. Ein Vorteil, der bei der Vereinfachung der Einrichtung eines Systems nicht vernachlässigt werden sollte.

Ein Punkt, der sich auch bei den existierenden Anwendungen unterscheidet, ist die Hardware. Hier ist grundsätzlich zwischen Hardware zu unterscheiden, die benötigt wird, damit die VR-Trainingssoftware läuft und Hardware (z.B. Sensoren), die zusätzlich dem System hinzugefügt wird, um eine möglichst gute Visualisierung (IAM und AAR) für die TrainerInnen zu ermöglichen. In ihren *SHOTPROS Final Guidelines for VR Training* zeigen (Zechner et al., 2022) das Equipment, mit dem eine trainierende Person in der *SHOTPROS VR Solution* ausgestattet ist. Dabei sind „Headset“ und „Computing Box“ die wirklich notwendigen Komponenten zur Darstellung des VR-Szenarios. Alle restlichen Komponenten, dienen Zwecken der besseren Visualisierung oder Messung von Werten für die TrainerInnen sowie besserem haptischen Feedback für die Trainierenden. Eine Besonderheit bei *SHOTPROS* ist die *SHOTPROS Smart Vest*, die als besondere Hardware von Trainierenden getragen werden muss, damit diese überhaupt im IAM und AAR dargestellt werden (Zechner et al., 2022). Solche Besonderheiten verkomplizieren die Einrichtung eines Trainingssystems und könnten dafür sorgen, dass dieses nur sehr selten genutzt wird, wenn es nicht in einem dedizierten Raum aufgebaut ist. Daher soll das angestrebte Trainingssystem vollständig ohne solche Extra-Hardware auskommen. Auch Rucksack-PCs, wie sie bei

SHOTPROS zu sehen sind, sollen nicht nötig sein. Stattdessen soll die VR-Anwendung, wie auch bei den Trainings von *VR Owl*, auf einem Standalone-VR-Headset mit Android-Betriebssystem laufen. Damit sind zwar deutliche Limitationen für die Software verbunden, die in Abschnitt 2.5 thematisiert werden, Aufbau und Handhabung des Systems werden aus eigener Erfahrung dadurch jedoch deutlich vereinfacht. Zusätzliche Tracker und Sensoren sollen vorerst ebenfalls nicht zum Einsatz kommen. Die Ergebnisse dieser Arbeit werden zeigen, ob die Darstellung der Trainierenden, die ohne zusätzliche Tracker möglich ist, für die TrainerInnen zur Beurteilung ausreicht. Die Einbindung weiterer Tracker und Sensoren ist auch zu einem späteren Zeitpunkt noch möglich und kann dann optional gestaltet werden. Eine Ausnahme bildet das Eyetracking, das von vornherein Teil des angestrebten Trainingssystems sein soll und offenbar selbst bei *SHOTPROS* nicht zum Einsatz kommt, da es nicht in der Dokumentation erwähnt wird. Was jedoch in den *SHOTPROS Final Guidelines for VR Training* erwähnt wird, ist, dass auch dort Versuche mit reduzierter Hardware und Standalone-Headsets stattfanden. Dabei kamen die AutorInnen zu dem Schluss, dass das „große“ Setup zwar für ihre Trainingsszenarien unerlässlich sei, die Version mit Standalone-Headset jedoch für kleinere Ableger durchaus geeignet wäre. Sie bestätigen sogar die Einschätzung aus der Einleitung, dass die Zugänglichkeit des Trainings dadurch stark erhöht würde (Zechner et al., 2022).

Zur Beobachtung und Bewertung soll das angestrebte System auf eine Desktopanwendung für die TrainerInnen setzen. Hier wird also dem Konzept von *SHOTPROS* gefolgt und nicht etwa der Variante der *Multiplayer-Spurensicherung*, bei der die TrainerInnen das Training selbst als Charaktere in VR begleiten. Diese In-VR-Begleitung könnte später, wie bei *SHOTPROS*, eine alternative Option sein. Bei der Funktionsweise der IAM bzw. AAR-App für die TrainerInnen soll auf ein System gesetzt werden, bei dem die Bewegungsdaten aus der VR-Anwendung an eine Desktop-App gesendet werden. Diese stellt dann ein Replay dar, in dem die Trainierenden in unterschiedlichen Kameraperspektiven verfolgt werden können. Dabei werden für das Wahrnehmungstraining relevante Informationen wie Blickführung und Sichtkegel durch Overlays innerhalb des Replays dargestellt.

Die angestrebte Anwendung geht also viele Kompromisse ein, um ein Trainingserlebnis zu bieten, das sich ohne viel Aufwand in einer vorhandenen Räumlichkeit einrichten lässt. Wie das funktionieren kann, wurde in dem bereits erwähnten vorangegangenen Projekt an der HAW Hamburg ausprobiert. Dabei entstand der Prototyp *RoomAware VR*, der jedoch in erster Linie als Testumgebung für einzelne Features entwickelt wurde. Dieser Prototyp soll im nächsten Abschnitt vorgestellt werden, da er die Basis für das angestrebte Trainingssystem bilden kann.

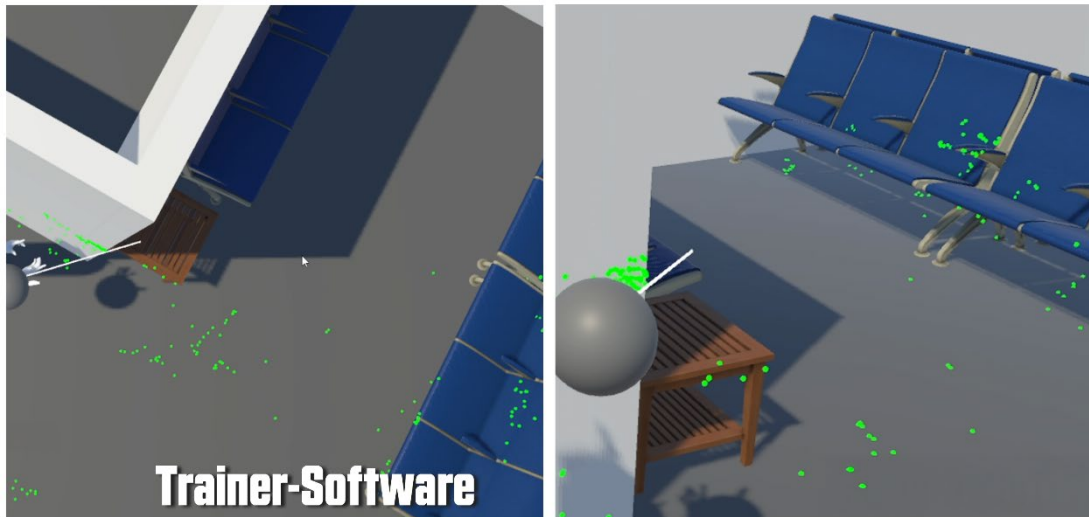


Abb. 3: Darstellung der Gaze-Points im provisorischen Replay von *RoomAware VR*.
 Quelle: Screenshot aus eigener Anwendung

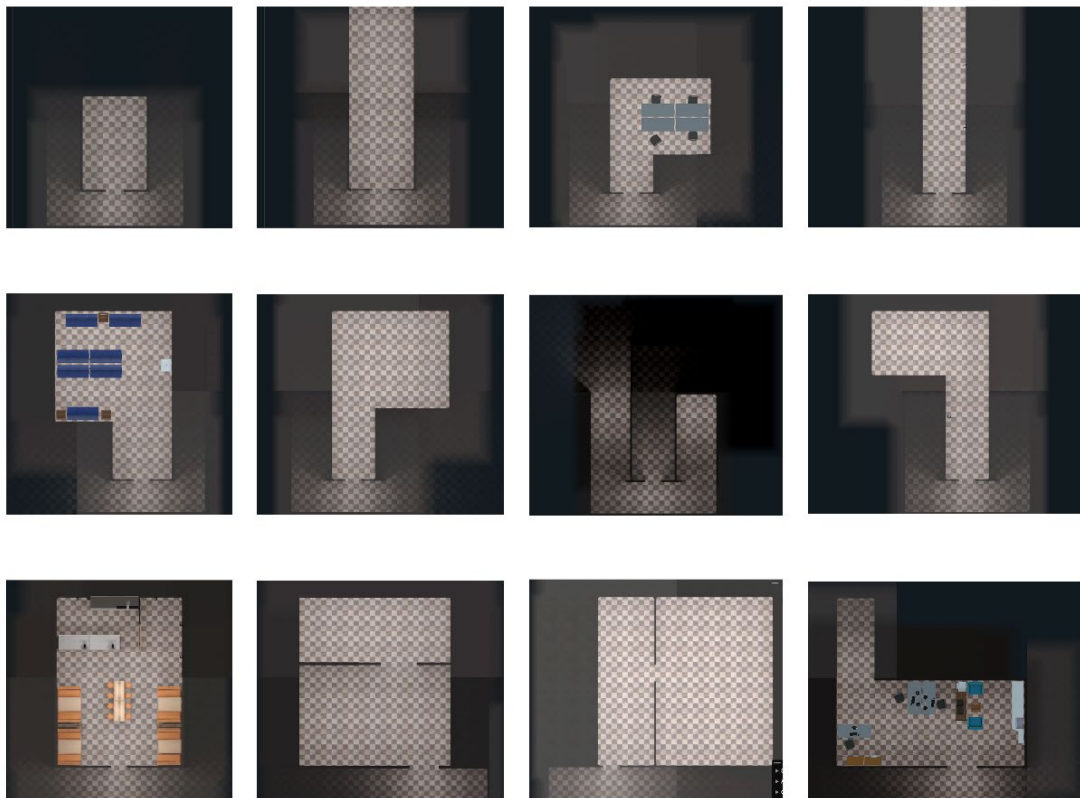


Abb. 4: Grundrisse der Räume in *RoomAware VR*.
 Der Schwierigkeitsgrad steigt von oben links bis unten rechts an.
 Quelle: Eigene Darstellung



Abb. 5: Beispiel für Impossible Spaces.

Links: Die Szene, wie sie von NutzerInnen wahrgenommen wird. Die Räume müssten sich überlappen.

Rechts: Selbe Szene mit eingezeichnetem Portal. Der rechte Gang befindet sich an einem völlig anderen Ort.

Quelle: Eigene Darstellung

2.4 Ausgangszustand von *RoomAware VR*

Die Anwendung *RoomAware VR* umfasste zum Zeitpunkt ihrer Präsentation die Möglichkeit, verschiedene Räume nacheinander auf einer realen Fläche von 10 x 10 m zu durchlaufen. Dabei wurde durch Eyetracking der Blickverlauf der trainierenden Person erfasst und nach dem Durchlaufen eines Raums in der VR-Anwendung in Form von dreidimensionalen Punkten im Raum dargestellt (siehe Abb. 3). Die Räume der App waren bereits gezielt für ein Wahrnehmungstraining mit ansteigendem Schwierigkeitsgrad entworfen worden. Dieser Schwierigkeitsgrad wurde durch unterschiedlich gut einsehbare Grundrisse mit verschiedenen Sicht-Hindernissen (siehe Abb. 4) realisiert. Ein besonderes Feature der Anwendung war zu diesem Zeitpunkt die Nutzung sogenannter Impossible Spaces zur Realisierung größerer Räume auf der realen Fläche von 10 x 10 m. Bei Impossible Spaces werden die Möglichkeiten der virtuellen Welt genutzt, um Raumkonstellationen darzustellen, die in der Realität nicht möglich wären. In diesem Fall sogenannte Overlapping Rooms (überlappende Räume). Ein gutes Beispiel dafür ist ein Flur, der um die Ecke geht und jeweils vor und hinter der Ecke eine Tür in den Raum besitzt, der von der Ecke eingeschlossen wird (siehe Abb. 5). In der Realität könnten diese beiden Türen nur entweder in denselben Raum oder in zwei sehr kleine Räume führen, die hintereinander liegen. Bei Impossible Spaces wäre es nun aber möglich, dass die erste Tür in einen Raum führt, der die ganze Fläche ausfüllt und Tür 2 in einen anderen Raum, der dieselbe Fläche ausfüllt. Die Räume überlappen. Realisiert wird das durch Portale in der virtuellen Welt. Man bewegt sich scheinbar normal durch den Gang wird aber unbemerkt in eine parallele Instanz des Flurs teleportiert. In der einen Instanz füllt Raum 1 die von der Ecke eingeschlossene Fläche aus, in der anderen Instanz Raum 2. In diesem Beispiel könnte das i.d.R. unsichtbare Portal an dem Punkt platziert sein, an dem man um die Ecke geht. Somit wäre die vollständige Illusion gegeben, dass Tür 1 tatsächlich in Raum 1 führt und Tür 2 in Raum 2, obwohl die Räume

dann eigentlich überlappen müssten (siehe Abb. 5). In der *RoomAware VR* Anwendung wurden die Impossible Spaces verwendet, um auf der realen 10 x 10 m Fläche einen virtuellen Raum von 7 x 7 m umrunden zu können, der eine Tür besaß, die nach jeder Umrundung zu einem neuen Raum führte, der auch die Größe von 7 x 7 m überschreiten konnte. Die Notwendigkeit dieser Funktion basierte auf verschiedenen Ansprüchen. Zum einen sollte die Anwendung Roomscale sein. Die Fortbewegung im virtuellen Raum sollte also nicht per Controller, sondern durch reale Bewegung erfolgen. Das geschah vor dem Hintergrund, dass das vorsichtige Betreten von Räumen mit vielen kleinen Bewegungen verbunden ist, deren Wegfall beim Training nicht das Gefühl für reale Situationen vermitteln würde. Der zweite Aspekt ergab sich infolgedessen. Die Trainierenden sollten nicht einfach jedes Mal vor einen neuen Raum teleportiert werden, sondern sich dem Raum realistisch nähern können. Durch die virtuelle Umrundung eines Raums, um zum nächsten zu gelangen, ist diese Möglichkeit gegeben und es ist auch ein deutlich geringerer Einbruch des Präsenzgefühls beim Laden eines neuen Raums zu erwarten.

Entwickelt wurde die *RoomAware VR* Anwendung mit der Game Engine *Unity*, in der Version 2022.3.12f1. Für die VR-Funktionen wurde das *Unity XR Interaction Toolkit* verwendet, welches aktuell ein sehr beliebtes Framework für zeitgemäße VR-Anwendungen in *Unity* ist. Wichtige Schritte bei der Umsetzung von *RoomAware VR* waren die Implementation des Eyetrackings für die Darstellung der Fixationspunkte, die Entwicklung eines Systems, um separat gestaltete *Unity*-Szenen als Räume zu laden, die bereits durch die Portale sichtbar sind und schließlich das Portal-System selbst.

2.4.1 Fixationspunkte durch Eyetracking

Für das Eyetracking war ein Eyetracking-fähiges VR-Headset notwendig. Aufgrund der guten und positiven Erfahrung mit der Entwicklung für *Oculus* bzw. *Meta* Headsets wurde damals die *Meta Quest Pro* ausgewählt. Die Verwendung des Eyetrackings mit dem *XR Interaction Toolkit* ging allerdings nur über Umwege, da *Meta* den offenen *OpenXR* Standard zwar für das Controller- und Headset-Tracking benutzt, nicht jedoch für das Eyetracking. Somit musste zusätzlich das *Meta XR All-in-One SDK* importiert und die Eyetracking-Funktionalität mittels einer Bridge-Komponente an das *Player-Rig* des *XR Interaction Toolkits* übertragen werden. Die Auswertung des Eyetrackings funktioniert etwas anders als in Abschnitt 2.2.2 beschrieben. Es wird die Bewegung der Augen direkt auf ein oder zwei *GameObjects* übertragen. Dabei kann das Objekt die Bewegung des linken oder rechten Auges übernehmen oder der errechneten Sichtlinie aus beiden Augen entsprechen. Das jeweilige Objekt bewegt sich so, dass die lokale Z-Achse der Sichtlinie entspricht. Auf dieser Achse kann ein Raycast ausgeführt werden, durch den nun Kollisionen der Sichtachse mit anderen Objekten der Szene ermittelt werden können. Diese Kollisionenpunkte können als *Gaze-Points* im dreidimensionalen Raum betrachtet werden. In *RoomAware VR* wurden diese *Gaze-Points* in jedem Frame ermittelt und in einer Liste gespeichert. Über diese Liste wurden dann die Punkte dargestellt und es entstand eine Point Cloud. Anhand dieser Point Cloud war nun sichtbar, welche Bereiche des Raums alle von der trainierenden Person erfasst wurden (Abb. 3).

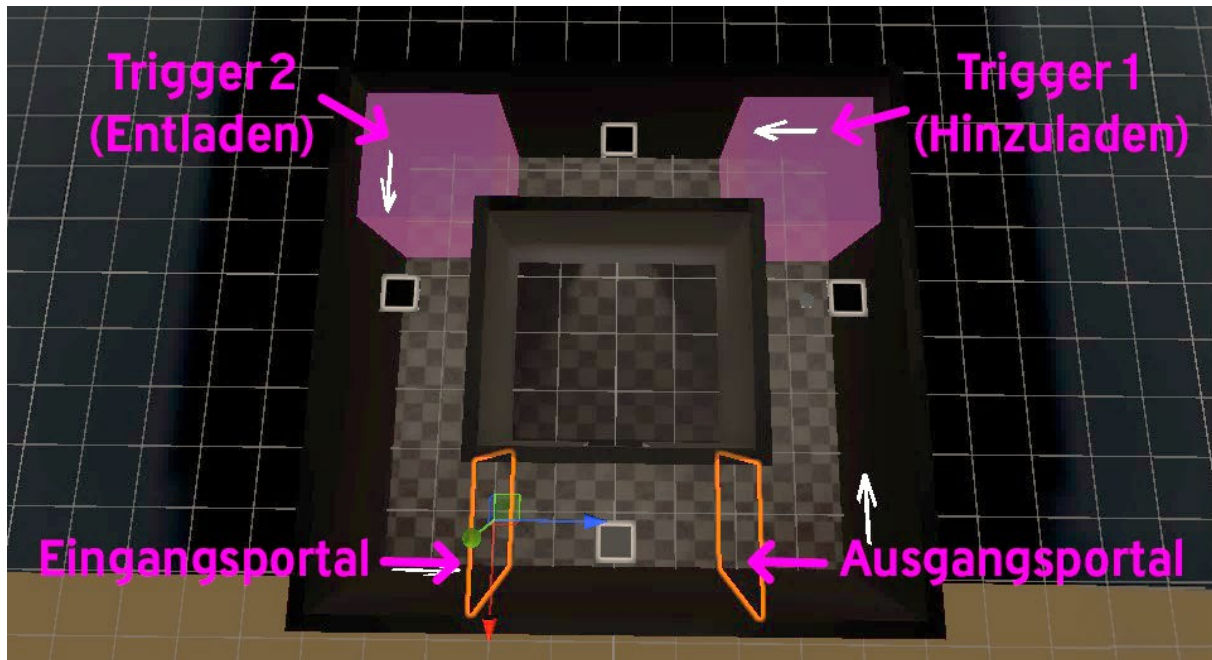


Abb. 6: Visualisierung der Basis-Szene.

Für die trainierende Person erscheint es, als würde sich zwischen den zwei Portalen der Flur des hinzugeladenen Raums befinden. Dieser Raum hat seinen Eingang an derselben Stelle wie der Dummy-Raum in der Mitte, überlappt von seiner Größe her aber nicht selten den gesamten oberen Bereich der Basiszene.

Quelle: Eigene Darstellung

2.4.2 Basis-Szene und Room-Loader

Die Anwendung sollte über die Möglichkeit verfügen, dass neue Räume möglichst unkompliziert hinzugefügt werden können. Dazu bot es sich an, die Räume in einzelnen *Unity*-Szenen zu speichern. Nun war es wichtig, wie die Räume geladen werden, da die Portale nur innerhalb der geladenen Szene existieren und somit auch nur zu Orten teleportieren und diese anzeigen können, wenn sie sich ebenfalls in der geladenen Szene befinden. Daher wurde ein System mit einer Basis-Szene entwickelt, die den Dummy-Raum enthält, der umrundet wird (siehe Abb. 6). An den Ecken vor und hinter der Tür wurden die Portale platziert. Jeder neue Raum wird als *Unity*-Szene additiv hinzugeladen, wenn Trigger 1 durchlaufen wird. Beim Durchlaufen von Trigger 2 wird der bisherige Raum entladen. Die additiv hinzugeladenen Räume werden immer 24 *Unity*-Einheiten neben der Basis-Szene instanziiert. Sie enthalten alle das Stück Flur vor dem Raum. Die Gegenstücke der beiden Portale befinden sich ebenfalls 24 Einheiten zur Seite verschoben. Somit haben sie, wenn ein neuer Raum hinzugeladen wird, dort denselben Abstand zur Tür wie die Portale vor dem Dummy-Raum. Befindet sich nun eine trainierende Person in der Basis-Szene und steht vor dem Eingangportal, dann sieht es so aus, als würde sie einfach weiter den Flur entlang gucken. Tatsächlich blickt sie aber durch das Portal in den Flur des hinzugeladenen Raums. In diesen wird sie auch (ohne es zu merken) teleportiert, wenn sie einen Schritt durch das Portal geht. Die Person ist also in der Realität nur einen Schritt nach vorne gegangen, befindet sich aber in der virtuellen Welt nun um 24 Einheiten versetzt vor dem neuen Raum. Auf dieselbe Art wird der Raum auch wieder durch das Ausgangportal verlassen. Es ist wichtig, dass die Portale genau an dieser Stelle stehen, da

die zum Teil größeren Räume den Platz des Flurs einnehmen würden, der links und rechts neben dem Dummy-Raum noch existiert. Während der Flur hier also um die Ecke geht, ist er vor vielen der Trainingsräume gerade. Das sieht man allerdings nicht, da man durch die Portale immer nur das Stück Flur vor der Tür von der hinzugeladenen Szene sieht und ansonsten den Flur der Basis-Szene (siehe Abb. 7).

Um dann immer nur den gewünschten Raum hinzuzuladen, wurde ein Raum-Management-System programmiert, das immer den Index des aktuellen Raums hält, bei Aktivierung von Trigger 1 den Raum mit dem nächsten Indexwert hinzulädt, bei Aktivierung von Trigger 2 den Raum mit dem aktuellen Index entlädt und den aktuellen Index dann um 1 erhöht, damit dieser wieder zum aktuell geladenen Raum passt. Damit keine Fehler passieren, wenn ein Trigger mehrmals durchlaufen wird, löst Trigger 1 nur aus, wenn höchstens zwei Szenen aktiv sind (Basis + Raum) und Trigger 2 nur, wenn mindestens 3 Szenen aktiv sind (Basis + aktueller + neuer Raum). Zusätzlich wurden *Scriptable Objects* der eigens entwickelten Klasse *RoomManager* verwendet, um bestimmte Werte für die Räume dauerhaft zu speichern. Damit wurde die Möglichkeit geschaffen, etwa die Möbel oder Türen für einen Raum über ein Menü zu aktivieren oder zu deaktivieren, um den Schwierigkeitsgrad zusätzlich beeinflussen zu können.

2.4.3 Portal-Logik

Eine sehr fortgeschrittene Funktion ist die Portallogik selbst. Die Portale haben den Anspruch, nicht als solche erkannt zu werden, sondern unsichtbar zu erscheinen (vgl. Abb. 5 und Abb. 7). Dafür muss:

1. Eine virtuelle Kamera vor dem Zielportal dieselbe Position im Verhältnis zu diesem Portal einnehmen, wie die Kamera des *Player-Rigs* im Verhältnis zum Startportal hat.
2. Der Bereich des Blickfelds dieser Kamera, in dem sich das Portal befindet, sauber aus dem Blickfeld ausgeschnitten und als sich live verändernde Textur (*Render-Texture*) gespeichert werden.
3. Diese Textur dem Startportal hinzugefügt werden.
4. Für jedes Objekt, das sich dem Startportal nähert eine Kopie am Zielportal erstellt werden, damit das Objekt beim Durchschreiten des Portals nicht scheinbar abgeschnitten wird.
5. Beim Durchschreiten des Portals der tatsächliche Teleport erfolgen, wobei die möglicherweise veränderte Rotation beim Austrittswinkel berücksichtigt und eine ungewollte Beschleunigung vermieden werden muss. (siehe Abb. 8)

Für *RoomAware VR* kam eine gekaufte Portallösung zum Einsatz, da es zwar möglich war Portale mit den oben genannten Eigenschaften zu programmieren, Punkt 2 aber in VR, auch nach Versuchen mit verschiedensten Ansätzen, nicht realisiert werden konnte. Das Problem ist dabei, dass es für VR zwei Kameras, zwei Matrizen zur Berechnung des Ausschnitts, zwei *Render-Textures* und ein Material geben muss, das für beide Augen unterschiedliche *Render-Textures* darstellt. Insbesondere der letzte Teil davon konnte mit den eigenen Kenntnissen nicht erreicht werden.

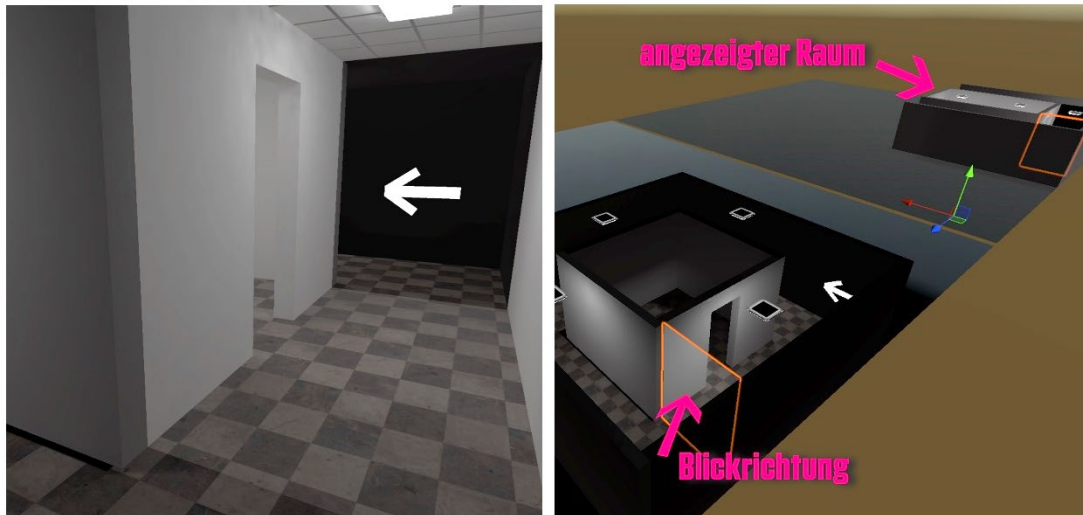


Abb. 7: Portale in *RoomAware VR*.

Links: Blick von der Basis-Szene durch das Portal in die hinzugeladene Szene. Der Flur wirkt durchgängig.

Rechts: Vogelperspektive. Der angezeigte hinzugeladene Raum befindet sich eigentlich woanders.

Quelle: Screenshot aus Unity

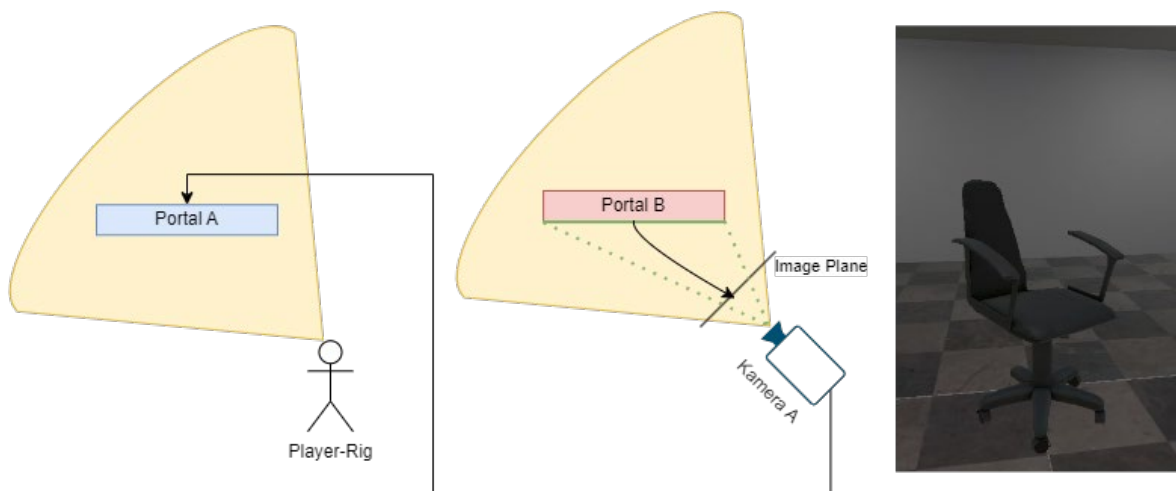


Abb. 8: Portalfunktion ohne stereoskopisches VR.

Links: Funktionsweise des Portals. Kamera A bewegt sich zu Portal B wie das Player-Rig zu Portal A. Kamera A blickt durch den Rahmen von Portal B und liefert das Bild für Portal A. Nur der Bildausschnitt im Rahmen darf verwendet werden und muss auf die Fläche von Portal A transformiert werden. Nur so funktionieren die Portale perspektivisch korrekt.

Rechts: Durch Portalfläche abgeschnittener Stuhl, wenn kein Duplikat am anderen Portal erzeugt wird.

Quelle: Eigene Darstellung

2.5 Technologischer Rahmen

Ziel ist es, insbesondere im Vergleich zu vorhandenen VR-Systemen für das Training von Einsatzkräften, eine leichtgewichtige Trainingslösung zu entwickeln, die weniger Platz und Hardware benötigt, aber wichtige Funktionen, wie Eyetracking oder die reale Bewegung, ermöglicht. Daraus ergeben sich bestimmte Anforderungen und damit verbundene Limitationen, die in diesem Abschnitt beschrieben werden sollen.

2.5.1 Allgemeine Hardware- und Performance-Anforderungen

Das Trainingssystem soll wenig Platz und so wenig Hardware wie möglich benötigen. Konkret wird eine benötigte Trainingsfläche von maximal 10 x 10 m angestrebt. Trotzdem soll Roomscale VR mit realer Fortbewegung ermöglicht werden. Es sollte jede trainierende Person nur ein VR-Headset benötigen, nicht etwa einen Rucksack-PC. TrainerInnen sollten nur einen Laptop benötigen, um sich die Replays des Trainings anzusehen.

Als VR-Hardware muss also ein Standalone-Headset genutzt werden. Hier gibt es aktuell nur zwei relevante Optionen: Ein Android-Headset oder die *Apple Vision Pro*. Aufgrund des Preises und der eingeschränkten Zugriffsoptionen auf einzelne Features der Brille für Entwickler, lässt sich letztere sehr schnell ausschließen. Bei der Auswahl eines Android-VR-Headsets ist zu beachten, dass dieses Eye-Tracking unterstützen muss.

Darüber hinaus gibt es Anforderungen an die Performance des Trainingssystems. Da die Anwendung für Trainingszwecke verwendet werden soll, bei denen schnelle Bewegungen nicht ausgeschlossen sind, ist es wichtig, dass die VR-Anwendung flüssig läuft, um Motion-Sickness zu vermeiden. Ein klares Ziel wären hier 90 FPS, mindestens aber 60 FPS. Bei diesen Werten handelt es sich um erprobte Grenzen, die zum Beispiel auch vom *Meta Store* so für VR-Apps vorgegeben werden. Daraus ergibt sich einerseits der Anspruch möglichst starker Hardware an das Android-Headset, zum anderen ergibt sich daraus die Notwendigkeit, Performance bei der Entwicklung über Optik zu priorisieren.

2.5.2 Übersicht der Android-VR-Headsets mit Eyetracking

Seit der Einführung der *Meta* bzw. damals noch *Oculus Quest* im Jahr 2019 haben sich Standalone-VR-Headsets auf Android-Basis immer mehr als Standard-Hardware für insbesondere bewegungsintensive VR-Anwendungen etabliert. Durch das Inside-out-Tracking, das Basis-Stationen obsolet macht und den Verzicht auf einen PC als Recheneinheit, sind die Systeme nicht räumlich gebunden und lassen sich auch in Roomscale räumlich flexibel einsetzen. Auch wenn die Darstellungsmöglichkeiten im Vergleich zu PC-gebundener VR qualitativ begrenzt sind, eignen sich Android-VR-Headsets optimal für Trainingsanwendungen, die besonders viel reale Bewegung erfordern. Ein Feature, an dem jedoch aus Kostengründen bis heute oft gespart wird, ist die Eyetracking-Funktionalität. Tabelle 1 gibt einen Überblick über aktuelle Android-VR-Headsets, die über Eyetracking-Funktionalität verfügen.

Tabelle 1: Eyetracking-fähige Headsets im Vergleich

Modell	Auflösung pro Auge	CPU / GPU	FOV	Gewicht	Jahr	Preis	Status
Meta Quest Pro	1800 x 1920	Snapdragon XR2 Gen 2	106°	722 g	2022	1299 €	Eingestellt
HTC VIVE Focus Vision	2448 x 2448	Snapdragon XR2 Gen 1	120°	k.A.	2025	1199 €	Im Verkauf
Pico 4 (Ultra) Enterprise	2160 x 2160	Snapdragon XR2 Gen 2	105°	591 g	2024	1069 €	Im Verkauf

Quelle der Daten: mixed.de (04/2025), URL: <https://mixed.de/vr-brillen-vergleich/>

Es fällt deutlich auf, dass diese VR-Headsets sehr teuer sind. Zumindest, wenn man bedenkt, dass die sehr leistungsstarke *Meta Quest 3* ohne Eyetracking zum Zeitpunkt dieser Arbeit (Q2 2025) zu einem durchschnittlichen Preis von etwa 550 € erhältlich ist. Auch die Auswahl ist sehr begrenzt. Zudem sind die Eyetracking-fähigen Headsets typischerweise Enterprise Modelle und werden oft schon nach wenigen Jahren wieder eingestellt. So zuletzt mit der *Meta Quest Pro* passiert. Eine Auswahl ist daher grundsätzlich schwer, da man nicht weiß, welches Headset am längsten am Markt bleibt. Was die Leistungsfähigkeit betrifft, ist ein Upgrade auch kaum möglich, da teilweise über mehrere Generationen dieselbe Hardware für CPU und GPU verwendet wird. Das lässt sich in Tabelle 1 besonders gut an der ansonsten modernsten HTC VIVE Focus im Vergleich zu den anderen Headsets zeigen.

Diese Auswahl dient nur der Übersicht und ist eher hypothetisch, da aus Kostengründen feststeht, dass die vorhandene *Meta Quest Pro* weiterverwendet wird.

2.5.3 Bekannte Limitationen von Android-VR-Headsets

Aus vergangenen Projekten sind bereits einige Limitationen von Android-VR-Headsets bekannt, die bei der Entwicklung der VR-Anwendung berücksichtigt werden müssen. Diese beziehen sich größtenteils auf Headsets der Marke *Meta*, es ist jedoch kein großer Unterschied bei Headsets von *HTC* oder *Pico* anzunehmen.

1. Die meisten Android-VR-Headsets verfügen weder über einen dedizierten Grafikprozessor noch einen dedizierten Grafikspeicher. Das heißt, alle grafischen Rechenoperationen belasten die CPU und auch der Arbeitsspeicher wird mit Texturen etc. vollgeschrieben, die beispielsweise bei einem PC mit Grafikkarte auf dem Grafikkarten-eigenen Arbeitsspeicher zwischengespeichert werden. Durch diese Architektur muss man mit grafischen Effekten und Details besonders vorsichtig sein, da diese die Performance der Anwendung um ein Vielfaches schneller negativ beeinflussen können als bei einem PC. Gleichzeitig gilt, dass auch Prozesse auf der CPU, die überhaupt nicht vor der Darstellung der Szene abgeschlossen sein müssen, die Dauer des Frames verlängern, weil der Grafikprozess erst gestartet wird, wenn alle anderen Rechenprozesse beendet sind.

2. Alle verwendeten Effekte müssen mit der Grafikschnittstelle *Vulkan* oder besser *Open GLSS3.0* kompatibel sein.
3. Zumindest bei *Meta Quest* Headsets kann das Schreiben von Dateien sehr viel Ressourcen verbrauchen. In der bisherigen Version von *RoomAware VR* war genau das ein Problem: Das speichern der Liste mit den Koordinaten der *Gaze-Points* verursachte jedes Mal einen enormen Ruckler, der in Bezug auf Motion-Sickness nicht zu verantworten war.
4. Ähnlich viel Ressourcen verbrauchen Web-Requests. Durch bestimmte Einschränkungen von Android (siehe Abschnitt Netzwerke und Berechtigungen) sind Web-Requests oft nötig. Sie sollten jedoch so selten wie möglich durchgeführt werden, da sie ebenfalls für sehr starke Ruckler sorgen können.
5. Insbesondere *Meta Quest* Headsets haben oft Probleme bzw. sehr hohe Anforderungen an das WLAN. Obwohl das Headset mit dem WLAN verbunden ist, kommt es oft vor, dass die Verbindung intern immer wieder abbricht oder vom Headset als zu schwach klassifiziert wird, um bestimmte Anfragen im Netzwerk durchzuführen. Das führt insbesondere dazu, dass es fast unmöglich ist, Außenstehenden zu zeigen, was die Person mit der Brille gerade sieht, da das dafür nötige Streaming meistens nicht sauber funktioniert.

Aus diesen Limitationen ergeben sich einige Leitlinien, an die man sich bei der Entwicklung halten sollte:

1. So wenig Echtzeit-Lichter wie möglich
2. So wenig Vertices, Kanten, Polygone wie möglich.
3. Möglichst kleine Texturen
4. Möglichst wenig dynamische Shader
5. Möglichst wenig Collider
6. Generell möglichst wenig Physik-Berechnungen
7. Generell Operationen vermeiden, die pro Frame komplizierte Berechnungen durchführen.
8. Web-Requests so selten wie möglich durchführen.

2.5.4 Netzwerke und Berechtigungen

Eine besondere Hürde bei der Entwicklung für Android-VR-Headsets stellen die Netzwerkberechtigungen dar. Android hat einige allgemeine Sicherheitseinstellungen, die nur ganz bestimmte Protokolle nach außen kommunizieren lassen. So sind etwa keine direkten Datenverbindungen mit Servern im lokalen Netz möglich, sondern nur Anfragen über *HTTPS*. Das macht die Kommunikation einer App mit lokalen Datenbanken oder ähnlichem sehr kompliziert und man kann sich darauf einstellen, dass bei Multiplayer oder anderen Netzwerkfunktionen der Datenverkehr immer über das Internet läuft. Das

stellt insbesondere für die angestrebte Trainingsanwendung eine Herausforderung dar, da für Institutionen wie Polizei und Rettungsdienste ein Datenverkehr möglich sein sollte, der nicht über das Internet läuft.

2.6 Forschungsziel

Diese Arbeit soll dazu beitragen digitale Trainingssysteme für Polizei und Rettungsdienste zu vereinfachen und damit zugänglicher zu machen. In den vorangegangenen Teilabschnitten wurden Grundlagen, Ideen und technische Limitationen für ein Trainingssystem zum sicheren Betreten von Räumen präsentiert. Diese Ideen wurden mit existierenden Trainingssystemen verglichen und die Kernunterschiede herausgestellt. Das Ziel dieser Arbeit ist herauszufinden, ob ein nach diesen Vorstellungen entwickeltes System, trotz seiner Limitationen, funktional sein kann und einen Mehrwert für das Polizeitraining bietet. Während zu den langfristigen Zielen auch die Anwendung des Systems für den Rettungs-Sektor zählt, soll die Pilotuntersuchung für den Einsatz im Polizeitraining stattfinden. Da die Polizei bereits ähnliche Trainingssysteme nutzt und ein Einsatz- und Wahrnehmungstraining praktiziert, lässt sich die Funktionalität technischer Features besser im polizeilichen Kontext testen.

3 Methodik

Um prüfen zu können, ob sich mit der reduzierten Hardware und auf kleinerem Raum eine sinnvolle Trainingsanwendung umsetzen lässt, müssen zuerst die Anforderungen an so eine Software präzisiert werden.

Im ersten Schritt soll eine Literaturrecherche zu bisherigen Entwicklungen und Untersuchungen bezüglich VR-Trainings-Anwendungen für die Polizei durchgeführt werden. Damit soll ein Überblick entstehen, welche Funktionen diese Anwendungen in der Regel bieten und wie ihre Relevanz für das Training bewertet wird.

Im zweiten Schritt ist es wichtig zu identifizieren, welche Funktionen konkret für das spezifische Training der Gefährdungsbeurteilung beim Betreten von Räumen relevant sind. Das ist besonders wichtig, um das Feature-Set der Anwendung so groß wie nötig, aber so klein wie möglich zu halten, um die Hardware zu schonen. Es werden daher qualitative Interviews mit zwei Experten aus dem Bereich des Trainings lebensbedrohlicher Einsatzlagen durchgeführt, um zu verstehen, was von einer entsprechenden Anwendung erwartet wird, damit diese einen Mehrwert bietet.

Mit den Ergebnissen dieser Recherchen werden die Anforderungen an die Anwendung definiert. Auf dieser Basis werden entsprechende Lösungsansätze zur Entwicklung der Anwendung recherchiert und entwickelt. Es folgt die Konzeption und Entwicklung der Beobachtungs- und Auswertungs-Anwendung (AAR-Anwendung), die auch eine Überarbeitung der VR-Trainingsanwendung beinhalten wird.

Schließlich soll untersucht werden, ob diese Anwendung das Potenzial hat, einen Mehrwert für Polizei und Rettungskräfte zu bieten. Es sollen folgende Fragen beantwortet werden:

1. **Kann die AAR-Anwendung die Leistung der Trainierenden so darstellen, dass diese eindeutig bewertet werden kann?**
2. **Können TrainerInnen die Leistung der Trainierenden mit den Overlays der Anwendung besser beurteilen als mit einem reinen Replay mit unterschiedlichen Kameraperspektiven?**
3. **Lässt sich aus Beobachtungen und Befragungen ein Mehrwert des Systems für die TrainerInnen und Trainierenden ableiten?**

3.1 Forschungsdesign

Um den tatsächlichen Mehrwert für das Wahrnehmungstraining der Polizei zu prüfen, müsste eine Langzeitstudie durchgeführt werden, bei der eine Gruppe mit dem VR-System und eine andere Gruppe mit aktuell verfügbaren Mitteln trainiert. Da so eine Untersuchung im Rahmen dieser Masterarbeit nicht möglich ist, soll vorerst nur geprüft werden, ob die Anwendung die technischen Anforderungen erfüllt, ob die Usability der Anwendung angemessen ist und ob TrainerInnen sowie Trainierende einen Mehrwert in der Nutzung sehen.

Um diese Fragen zu beantworten, soll eine Untersuchung mit Auszubildenden der Polizei sowie deren TrainerInnen stattfinden. Eine Gruppe von ProbandInnen (Auszubildende und TrainerInnen) durchläuft die VR-Anwendung und generiert somit Trainingsdaten. Eine Gruppe von TrainerInnen betrachtet die Replays dieser Durchläufe in der AAR-App und bewertet sie. Es wird also die erdachte Trainingssituation simuliert. Zusammen mit dem Projektpartner und Psychologen Ibrahim wurde eine Aufgabenstellung für die Trainierenden entwickelt, die zur Beantwortung der Forschungsfragen beiträgt, und sich für ein realistisches Wahrnehmungstraining eignet.

3.1.1 Aufgabenstellung für die Trainierenden

Die Trainierenden sollen 5 virtuelle Räume in der VR-Anwendung durchlaufen. Die Aufgabe ist es, jeden Raum unter Berücksichtigung der Eigensicherung zu betreten. Das heißt, die Trainierenden müssen versuchen, den Raum beim Betreten möglichst schnell zu erfassen und sich dabei nicht in Gefahr zu bringen. Die Grundrisse und Einrichtungen der virtuellen Räume haben einen ansteigenden Schwierigkeitsgrad, sind also zunehmend schwerer einsehbar. In jedem der Räume sind an verschiedenen Orten Objekte (z.B. Personen, gefährliche Gegenstände, im folgenden Target-Objekte) platziert, die von den Trainierenden für ein erfolgreiches Wahrnehmungstraining erfasst werden müssen. Um die Trainierenden davon abzulenken, erhalten sie die zusätzliche Aufgabe, Quetscheenten laut zu zählen, die ebenfalls, teils versteckt, in den Räumen platziert sind. Diese Aufgabenstellung ermöglicht einerseits die Bewertung der Trainingsleistung durch die TrainerInnen, anhand des Prozentsatzes der erfassten Objekte. Andererseits wird durch das laute Zählen der Enten sichergestellt, dass bestimmte Objekte gesehen wurden, wodurch im Nachgang geprüft werden kann, ob die AAR-App diese Objekte auch korrekt als wahrgenommen darstellt. Die Enten wurden als Objekte gewählt, da sie natürliche Objekte und nicht so auffällig wie etwa leuchtende Punkte sind. Dennoch sind sie eindeutig als Fremdkörper in der Szenerie zu identifizieren. Es sollen dabei klassische gelbe Enten zum Einsatz kommen, die zur erhöhten Sichtbarkeit auf eine Größe von etwa 22x28x30 cm skaliert werden. Damit sind die Enten als Objekte leicht zu entdecken, fügen sich jedoch bei der richtigen Beleuchtung gut in die Szene ein, sodass sie nicht sofort ins Auge stechen.

Ein konkreter Ablaufplan für die Anleitung der Trainierenden befindet sich im Anhang 1.

3.1.2 Aufgabenstellung für die TrainerInnen

Die TrainerInnen erhalten die Aufgabe, sich die Replays aller Durchläufe in der AAR-App anzuschauen und diese zu bewerten. Dafür erhalten sie einen Bewertungsbogen (siehe Anhang 2), der folgende Bewertungen erfasst:

1. Die Aufmerksamkeit der trainierenden Person, auf einer 5-stufigen Likert-Skala. Hier wird bewertet, in welcher Reihenfolge, Geschwindigkeit und Sorgfalt die Person den Raum und die Objekte darin erfasst.

2. Die visuelle Erfassung des Umfelds, auf einer 5-stufigen Likert-Skala. Hier wird bewertet, wie umfangreich der Raum erfasst wurde, ob in den mittleren, unteren und oberen Bereich geschaut wurde, ob zu Ende bis in alle Ecken geguckt wurde und ob alle Target-Objekte erfasst wurden.
3. Das Verhalten in Bezug auf die Eigensicherung, auf einer 5-stufigen Likert-Skala. Hier wird bewertet, ob die Person zum Beispiel einem Teil des Raumes für mehrere Sekunden den Rücken zugekehrt hat, ohne diesen Bereich bisher betrachtet zu haben.
4. Eine Liste aller Target-Objekte im Raum, bei der mit „Ja“, „Nein“ oder „Unsicher“ angegeben wird, ob das Objekt von der Person vollständig erfasst wurde.
5. Eine kurze Begründung, warum die Bewertung so getroffen wurde. Gründe dafür könnten etwa die obigen Beispiele oder auch Zielsicherheit oder Fixationsdauer sein.

Um untersuchen zu können, wie relevant die Visualisierungen im User Interface der AAR-Anwendung sind, wird die Bewertung aller Durchgänge zweimal durchgeführt. Einmal von einem Trainer-Team mit der vollständigen AAR-Anwendung und einmal von einem Trainer-Team, das zwar die Kameraperspektiven der AAR-Anwendung nutzen kann, bei dem jedoch alle Overlays (wie Sichtkegel, Eyetracking, Objekterfassung) deaktiviert sind.

3.1.3 Hypothesen, Operationalisierung und Datenerfassung

Unter der Annahme, dass das Trainingssystem seinen Zweck erfüllt, wurden folgende Hypothesen aufgestellt und sollen durch die Untersuchung geprüft werden:

H1: Die AAR-App gibt korrekt wieder, welche Objekte gesehen wurden.

Diese Hypothese lässt sich folgendermaßen operationalisieren:

H1_0: Die im Replay erfassten Enten unterscheiden sich signifikant von den im Durchlauf gezählten Enten

H1_1: Die im Replay erfassten Enten entsprechen den im Durchlauf gezählten Enten.

Um diese Hypothese prüfen zu können, werden alle während des Durchlaufs genannten Objekte mit einem kleinen Tool inklusive Timestamp erfasst. Die Anzahl der im Replay erfassten Enten wird durch eine Liste der erfassten Target-Objekte in der Bewertung der TrainerInnen erhoben. Durch die Timestamps ist es zusätzlich möglich, einzelne Objekte zuzuordnen. So kann geprüft werden, ob die TrainerInnen dieselbe Ente als erfasst gesehen haben, die auch von der trainierenden Person gezählt wurde, wenn nicht alle Enten in einem Raum erfasst wurden und Zweifel daran bestehen.

Da es sich um eine ungerichtete Unterschiedshypothese handelt, bei der immer Wertepaare (TrainerIn, trainierende Person) zusammengehören, kann die Hypothese mit einem zweiseitigen t-Test für abhängige Variablen geprüft werden. Nullhypothese und Alternativhypothese müssen in diesem Fall getauscht und die Beibehaltung der Nullhypothese als Bestätigung der aufgestellten Hypothese gewertet werden.

H2: Ein hoher Prozentsatz erfasster Objekte (genannt durch die trainierende Person) korreliert mit einer hohen Bewertung durch den/die TrainerIn.

Eine Operationalisierung der Hypothese führt zu:

H2_0: Der Korrelationskoeffizient (Prozentsatz erfasster Objekte zu Bewertung der visuellen Erfassung) weicht nicht signifikant von Null ab.

H2_1: Der Korrelationskoeffizient (Prozentsatz erfasster Objekte zu Bewertung der visuellen Erfassung) weicht signifikant von Null ab.

Zur Prüfung der Hypothese wird für jede Kombination aus Raum und Person der Prozentsatz der erfassten Objekte berechnet. Als Grundlage dient dabei die genannte Anzahl durch die ProbandInnen. Es soll ermittelt werden, ob eine positive Korrelation zwischen dem Prozentsatz der erfassten Objekte und der Bewertung der visuellen Erfassung der Umgebung durch den/die TrainerIn besteht. Da der Prozentsatz eine metrische Variable ist, die Bewertung aber eine ordinale Variable, ist eine Rangkorrelation nach Spearman zu berechnen. Diese wird dann durch den Korrelationskoeffizienten r ($-1 < r < 1$) angegeben. Mit einem t-Test kann anschließend die Signifikanz der Korrelation ermittelt werden.

H3: Eine hohe Selbsteinschätzung der trainierenden Person korreliert mit einer hohen Bewertung der visuellen Erfassung des Umfelds durch den/die TrainerIn

Die Hypothese lässt sich operationalisieren zu:

H3_0: Der Korrelationskoeffizient (Selbsteinschätzung zu Bewertung durch TrainerIn) weicht nicht signifikant von Null ab.

H3_1: Der Korrelationskoeffizient (Selbsteinschätzung zu Bewertung durch TrainerIn) weicht signifikant von Null ab.

Alle Trainierenden werden am Ende jedes Raumes gebeten, auf einer Skala von 1-5 einzuschätzen, wie gut sie ihre Umgebung erfasst haben. Dieser Wert wird direkt mit der Bewertung für die visuelle Erfassung der Umgebung durch den/die TrainerIn verglichen. Es wird ebenfalls auf Spearman-Korrelation geprüft und mit einem t-Test die Signifikanz des Korrelationskoeffizienten r bestimmt.

Die TrainerInnen erhalten einen zusätzlichen Fragebogen zur Bewertung der AAR-App, auf dem drei Aussagen mit einer 5-stufigen Likert-Skala von 1 = „Trifft gar nicht zu“ und 5 = „Trifft voll zu“ eingeordnet werden sollen. Zu diesem Fragebogen wurden zusätzlich Hypothese 4 und 5 aufgestellt.

H4: Unterschiede in der Aufmerksamkeit und Trainingsleistung sind eindeutig im Replay zu erkennen.

Für diese Hypothese muss auf die Aussage der TrainerInnen und die eigenen Eindrücke vertraut werden. Sie lässt sich am sinnvollsten folgendermaßen operationalisieren:

H4_0: Aussage 1 wird durchschnittlich höchstens mit 3 bewertet.

H4_1: Aussage 1 wird durchschnittlich mit mehr als 3 bewertet.

Aussage 1 lautet: „Ich konnte die Aufmerksamkeit der Trainierenden gut nachvollziehen.“ Dabei wird „Aufmerksamkeit“ so definiert, dass eine Person, die sich über einen längeren Zeitraum nahe einem Objekt befindet, ohne dieses zu entdecken, unaufmerksam ist. Dasselbe gilt für Personen, die einer Ecke den Rücken zudrehen, ohne diese vorher überprüft zu haben. Ein schnelles Erfassen von Objekten oder der Blick unter einen Tisch sprechen dagegen für eine hohe Aufmerksamkeit. Zur Auswertung kann einfach der Mittelwert gebildet werden. Über einen t-Test kann dann geprüft werden, ob dieser signifikant über 3 liegt.

H5: Die Overlays unterstützen sinnvoll die Bewertung der Trainingsleistung

Diese Hypothese muss zur Operationalisierung in zwei Unterhypothesen unterteilt werden:

H5a_0: TrainerInnen mit der vollständigen AAR-App ordnen Aussage 2 gleich oder niedriger ein als TrainerInnen mit der eingeschränkten AAR-App.

H5a_1: TrainerInnen mit der vollständigen AAR-App ordnen Aussage 2 höher ein als TrainerInnen mit der eingeschränkten AAR-App.

Aussage 2 lautet: „Ich hatte genug Informationen, um zu bewerten, ob ein Objekt gesehen wurde.“

Da es sich um eine Unterschiedshypothese handelt, kann hier ein t-Test durchgeführt werden, um die Signifikanz des Unterschieds zu bestimmen.

H5b_0: TrainerInnen mit der vollständigen AAR-App ordnen Aussage 3 höher ein als TrainerInnen mit der eingeschränkten AAR-App.

H5b_1: TrainerInnen mit der vollständigen AAR-App ordnen Aussage 3 gleich oder niedriger ein als TrainerInnen mit der eingeschränkten AAR-App.

Aussage 3 lautet: „Ich hätte mir mehr visuelle Hilfen gewünscht.“

Auch hier liegt eine Unterschiedshypothese vor, sodass der Mittelwert gebildet und die Signifikanz des Unterschieds per t-Test ermittelt werden kann.

3.1.4 Ermittlung der Usability und des Mehrwerts des Trainingssystems

Neben dieser quantitativen Untersuchung sollen auch die Usability und der Mehrwert des Trainingssystems ermittelt werden. Dazu sollen sowohl die Trainierenden bei ihrem „Training“ in der VR-Anwendung als auch die TrainerInnen bei ihrer Bewertung in der AAR-App beobachtet werden. Auffälligkeiten bei der Nutzung sowie Aussagen und Fragen der Trainierenden und TrainerInnen zum Produkt, dessen Usability und ihren Erlebnissen werden stichpunktartig notiert, um anschließend qualitativ ausgewertet zu werden. Im Anschluss soll mit dem Trainer, bei dem zuvor die Ansprüche an die Anwendung erfragt wurden, ein qualitatives Interview zu seinem Eindruck vom nun getesteten Prototyp geführt werden. Der Fragenkatalog dazu befindet sich in Anhang 3.

4 Entwicklungsprozess

Um diese Hypothesen prüfen zu können, muss zuerst das Trainingssystem entwickelt werden. Ziel ist die Entwicklung einer sinnvollen Trainingsanwendung, die auf der gegebenen Hardware läuft und TrainerInnen wie Trainierenden einen Mehrwert bietet. Einige Anforderungen sind bereits aus den Theoriekapiteln bekannt:

Zum einen sind das die Hardware und ihre Einschränkungen. Entwickelt wird für die *Quest Pro*. Ein Android-VR-Headset, das mit besonders großen Performance-Einbrüchen auf häufiges Schreiben von Dateien, viele große Texturen und komplexe Objekte reagiert. Zum anderen wurden bereits Voraussetzungen für sinnvolles Polizeitraining identifiziert. Die VR-Anwendung sollte modulare und immersive Szenarien enthalten, die sich an möglichen realen Situationen orientieren. Da die Bewertung und Beratung durch die TrainerInnen besonders wichtig für die Trainierenden sind, sollte eine Beobachtungs- und Auswertungs-Anwendung programmiert werden, die den TrainerInnen eine besonders genaue Bewertung der Trainingsleistung erlaubt. Doch welche technischen Anforderungen ergeben sich daraus für die Software? Was für Inhalte müssen vermittelt und somit dargestellt werden können? Welche Darstellungen benötigen die TrainerInnen für eine präzise Bewertung? Wie gelangen die Tracking-Daten vom VR-Headset zum Trainer-PC? Haben sich bereits bestimmte technische Lösungen etabliert? Um diese Fragen zu beantworten, wurden zum einen Paper über andere VR-Anwendungen für Polizeitraining herangezogen und zum anderen ein Experteninterview mit einem Einsatztrainer der Polizei für lebensbedrohliche Einsatzlagen geführt. Darauf folgt dann die konkrete Konzeption des Trainingssystems und schließlich die Umsetzung.

4.1 Recherche nach Anforderungen und Lösungsansätzen

Die meisten Veröffentlichungen zu Einsatztraining in VR sind rund um das EU-Projekt *SHOTPROS* zu finden. Eine besonders wichtige Quelle sind die bereits mehrfach zitierten *SHOTPROS Final Guidelines for VR Training*. In diesem Bericht werden diverse Erkenntnisse und Ergebnisse aus dem Projekt zusammengefasst. Die Quelle ist besonders relevant, da das Trainingsziel mit „*Decision Making and Acting under Stress and in High-Risk Situations*“ direkt mit Themen wie Eigensicherung, Aufmerksamkeit und Wahrnehmung verbunden ist. Dort werden etwa uneingeschränkte Bewegungsmöglichkeit, realistische Grafik, haptisches Feedback, Spatial Sound und eine große Bibliothek an Szenarien als wichtige Anforderungen genannt. Viele weitere Anforderungen, wie Full-Body-Tracking, interne und externe verbale sowie nonverbale Kommunikation sind für die Zusammenarbeit im Team notwendig, die allerdings auch einen Multiplayer erfordert. Die Möglichkeit der Teamarbeit wird als sehr wichtig beschrieben, da normalerweise bei der Polizei in Zweierteams trainiert wird, die bei Bedarf Verstärkung durch weitere Teams anfordern. Darüber hinaus werden etwa realistische NPCs (Non-Player-Character) gefordert, die mit unterschiedlichen Stimmfarben verbal kommunizieren und unterschiedliches Verhalten an den Tag legen. Auch von „*Role-Player-Characters*“ ist die Rede. Also SchauspielerInnen, die einen

Avatar im Szenario steuern (Zechner et al., 2022). Einen sehr wichtigen Hinweis geben die AutorInnen aber auch mit:

“It is often mentioned that VR cannot substitute real-life trainings. But the technology should not be seen as digitalization or virtualisation of existing training, but rather as an additional option that can be used to train situations that are difficult to practice in real-world training.” (Zechner et al., 2022)

Mit dieser Begründung soll in dieser Arbeit das Wahrnehmungstraining von komplexen Szenarien wie bei *SHOTPROS* entkoppelt werden, sodass einige Anforderungen, wie ein „*full-body VR setup, for high-end train-as-you-fight scenarios*“ (Zechner et al., 2022) wegfallen. Interessanter sind die Anforderungen und Lösungen für das In-Action-Monitoring (IAM) und das After-Action-Review (AAR). Anforderungen an das IAM sind demnach die Live-Verfolgung der Trainierenden mittels verschiedener Kameraperspektiven in der virtuellen Welt, die Echtzeitdarstellung von Stress-Level und Performance, auf Basis vordefinierter Key-Performance-Indicators (KPIs) und die Möglichkeit das Szenario live zu verändern (Zechner et al., 2022). Als noch wichtiger wird der Mehrwert durch das AAR bezeichnet. Hier wird die Wiedergabe des Replays unter Nutzung verschiedener Kameraperspektiven in den Vordergrund gestellt. Auch hier wurden KPIs definiert, die durch die AAR-App sichtbar sein sollen. Konkret sind das:

- Position, Bewegung und Haltung von Trainierenden und NPCs
- Laufwege/Routen der Trainierenden
- Sichtlinien (dort ohne Eyetracking)
- Sichtfeld
- Beschuss
- Schusslinie
- Treffer

Die AAR-Anwendung gibt bei *SHOTPROS* auch die Gespräche und Geräusche aus dem Training wieder. Events können zudem sowohl automatisiert als auch händisch mit Lesezeichen in der Timeline versehen werden (Zechner et al., 2022). Neben den KPIs wird bei *SHOTPROS* auch das Stress-Level durch verschiedene Sensoren ermittelt und im AAR dargestellt. In diesem Zusammenhang wurde auch eine Liste sogenannter „*Stressors*“ erstellt (Zechner et al., 2022). Diese könnten auch für das Wahrnehmungstraining interessant sein, wenn Animationen und Audio-Events implementiert werden.

Die technische Umsetzung von IAM und AAR wird in einem weiteren Report knapp beschrieben. Daraus geht hervor, dass eine Client-Server-Architektur verwendet wird, bei der die VR-Clients zuerst die Daten aller Sensoren lokal empfangen und dann alle gesammelten Informationen über den Client an den Server schicken. Im Server werden die Informationen der Clients verarbeitet. Die PCs für das IAM und die Steuerung des Szenarios sind ebenfalls als Clients mit dem Server verbunden. Der Server verbreitet also den aktuellen Zustand des Systems wieder an alle Clients. Er hat die eigentliche Hoheit über das Szenario. Da der Server die Daten verarbeitet und die virtuelle Welt laufend aktualisiert, speichert er

auch die Aufnahmen des Trainings. Dabei wird zum einen das Replay in einer proprietären .aar-Datei gespeichert und zum anderen die Statistiken (also KPI-Daten usw.) in einem offenen Format zur späteren Auswertung (Schrom-Feiertag et al., 2021).

Weitere Anforderungen ergeben sich durch die Vorgaben vieler Institutionen zum Datenschutz. Bei *SHOTPROS* wird ein lokales Netzwerk verwendet und die Trainingsdaten/Replays werden lokal auf den VR-PCs gespeichert (Zechner et al., 2022).

4.1.1 Experteninterview

Durch ein Experteninterview mit einem Einsatztrainer für lebensbedrohliche Einsatzlagen (Anhang 7) sollten genauere Trainingsinhalte für ein Wahrnehmungstraining ermittelt werden. Dabei stellte sich vor allem eines heraus: Die existierenden Schulungsunterlagen sind in der Regel unter Verschluss. Durch einige Beispiele und Erzählungen wird jedoch klar, dass Aspekte wie Positionierung, Blickführung, Aufmerksamkeit und Entscheidungsfähigkeit trainiert und bewertet werden sollen. Einen Mehrwert sieht der Experte insbesondere darin, den Trainierenden im Replay genau zeigen zu können, was sie falsch gemacht haben oder wo sie sich noch verbessern können.

„Das wäre glaube ich das, was man so im Nachgang widerspiegeln müsste. Wenn man das so dann im Nachgang aufzeigt: ‚Kuck mal hier. Du warst mit Deinen Blicken überwiegend da in dem Bereich. Da links konntest Du das gar nicht wahrnehmen.‘ (oder rechts oder wo auch immer) und das zeigst Du denen auf, dann ist das für die glaube ich eine ganz andere Geschichte, als wenn ich denen nur sage: ‚Sag mal, du hast ja nur dahin geguckt.‘ Aber jetzt kann ich denen das bildlich darstellen.“ (Einsatztrainer im Interview)

Was auch klar wurde, war, dass ein Multiplayer auf lange Sicht für eine sinnvolle Trainingsanwendung notwendig sein wird. Das liegt zum einen daran, dass die Einsatzkräfte in der Regel in Zweier-Teams trainieren, zum anderen sollen die anspruchsvolleren Szenarien möglichst dynamisch sein. Das ließe sich am besten durch getrackte SchauspielerInnen realisieren, die per Multiplayer eingebunden werden (Zechner et al., 2022). Darauf angesprochen sagt der Einsatztrainer:

„Das wäre natürlich mega-geil. Denn die stehen ja vermutlich dann beieinander und sind räumlich nicht getrennt. Und dann kannst Du als Schauspieler nämlich auch dementsprechend reagieren und kannst auf das Einfluss nehmen, was die Kräfte machen.“ (Einsatztrainer im Interview)

Was im Experteninterview allerdings nicht so gut beantwortet wurde, war die Frage nach den konkreten Anforderungen an die Darstellung in der AAR-App. Deshalb wurden mit demselben Einsatztrainer noch einmal konkrete Anforderungen erarbeitet (Anhang 8). Diese zeigen auf, dass, neben der Darstellung der Blickführung, insbesondere die Darstellung von peripherem und fovealem Sichtfeld gewünscht wird. Es soll einerseits abschätzbar sein, wie viel rund um den Fixationspunkt wahrgenommen werden konnte. Andererseits soll sichtbar werden, welche Teile des Raums sich noch im peripheren Sichtfeld

befanden und welche in einem komplett toten Winkel. Dabei wurde insbesondere gewünscht, dass auch tote Winkel, die durch Hindernisse im Sichtfeld entstehen, im Replay erkennbar sind. Zusätzlich sollte dargestellt werden, welche (relevanten) Teile der Umgebung durch die Blicke der trainierenden Person abgedeckt wurden.

4.2 Anforderungen an die Software

Es wurden nun die Anforderungen aus Recherche und Expertengespräch zusammengeführt und weitere Anforderungen an die Software aufgestellt, die sich technisch aus den Wünschen ergeben. Es wird im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich sein, eine Software zu entwickeln, die alle Anforderungen erfüllt. Daher werden die Anforderungen in diesem Abschnitt nach ihrer Relevanz für die Untersuchung und ihrer Umsetzbarkeit sortiert.

Folgende Funktionen/Features sind für die Untersuchung essenziell:

Die VR-Anwendung muss es den Trainierenden ermöglichen, fünf verschiedene Räume auf einer Fläche von 10 x 10 m auszulaufen.

- Dabei muss sich vor jedem Raum ein Flur befinden, sodass entsprechende Bewegungsabläufe und Vorgehensweisen beim Nähern und Betreten ebenfalls trainiert werden können.
- Die Räume sollten unterschiedlich schwer einzusehen und auf eine realistische Art möbliert sein.
- In allen Räumen müssen die Target-Objekte (Personen, Waffen, Enten) platziert werden, die von den Trainierenden entdeckt werden sollen.
 - Diese sollten unterschiedlich schwer versteckt sein.
 - Alle Objekte müssen für Trainierende in VR aus irgendeiner Perspektive sichtbar sein, die auf 10 x 10 m Fläche eingenommen werden kann.
- Die Grafik sollte so realistisch wie möglich sein, aber mindestens eine Framerate von 60 FPS ermöglichen.
 - Zusätzliche Features, wie Portale, bewegliche Türen etc., können nur bestehen bleiben, wenn 60 FPS erreicht werden.
- Position und Rotation von Kopf, Händen und Augen müssen getrackt werden.
- Während des Trainings müssen die Trackinginformationen als Replay aufgenommen werden.
 - Auch Türen und andere bewegliche Objekte müssen berücksichtigt werden.
 - Die Aufnahme muss von der Framerate entkoppelt sein und mit einer eigenen Frequenz $f \gg 5$ Hz erfolgen, damit Fixationen und Sakkaden sichtbar bleiben.
 - Es müssen Raum und Endgerät (für einen möglichen Multiplayer) festgehalten werden, um später danach filtern zu können.

Es muss mindestens eine AAR-Anwendung geben, in der die Replays angezeigt werden können.

- Es müssen dieselben Räume wie in der VR-Anwendung geladen werden können.
- Je nach Raum, muss das passende Replay ausgewählt werden.
- Es muss möglich sein, die Trainings-Session auszuwählen
- Die Anwendung sollte die Replays möglichst schon anzeigen können, während sie noch aufgenommen werden (IAM-Funktion)
- Das Replay sollte vor- und zurückgespult sowie pausiert werden können.
- Es sollten verschiedene Kameraperspektiven anwählbar sein, um die Trainierende Person sowohl von außen als auch aus ihrer eigenen Perspektive bewerten zu können.
- Die Trainierende Person sollte durch einen Avatar dargestellt werden, der die Position von Kopf, Händen und Körper wiedergibt.
 - Dieser sollte nicht über Arme oder Beine verfügen, da diese (ohne Full-Body-Tracking) für Trugschlüsse bezüglich der tatsächlichen Bewegung sorgen könnten.
- Overlays sollten die TrainerInnen bei der Bewertung unterstützen und folgendes anzeigen:
 - Blickführung der Trainierenden
 - Sichtkegel (foveal und peripher) und tote Winkel
 - Erfassung der Umgebung
 - Mindestens Markierung, welche Target-Objekte wie lange angesehen wurden
 - Besser komplette Heatmap
- Das UI sollte simpel sein und nur die nötigsten Optionen bieten.

Das Eyetracking muss in einer der beiden Anwendungen ausgewertet werden.

- Es müssen alle Kontaktpunkte der Sichtlinie mit Objekten in der Szene ermittelt werden, um die Blickführung darzustellen.
- Kontakte müssen entsprechend ihrer Dauer die Heatmap bzw. die markierten Target-Objekte beeinflussen.
- Die Auswertung darf die Performance der VR-Anwendung nicht zu stark beeinflussen.

Es muss eine Schnittstelle zwischen der VR-Anwendung und der IAM/AAR-Anwendung geben.

- Dort muss das Replay dauerhaft gespeichert werden, damit es auch zu einem späteren Zeitpunkt noch weiter ausgewertet werden kann.
- Die Daten sollten nach Session, Endgerät und Raum sortiert sein.
- Die Daten sollten möglichst schnell abrufbar sein, um auch IAM zu ermöglichen.
- Aus Datenschutzgründen sollte die Schnittstelle auch in einem lokalen Netzwerk umsetzbar sein.

Es gibt eine Reihe von Anforderungen, die auf Basis der Recherche, für ein sinnvolles Trainingssystem unerlässlich sein werden. Da diese für die angestrebte Untersuchung noch nicht relevant sind, könnten sie bei Zeitmangel vorerst ausgespart werden. Dazu zählen:

- Multiplayer: Auf lange Sicht ein sehr wichtiges Feature, um das übliche Training im Team sowie evtl. „Role-Player Character“ ermöglichen zu können.
- Animationen und Audio-Cues, die für die ersten Untersuchungen vorerst weggelassen werden, um das Test-Szenario so simpel wie möglich zu belassen.
- Eine getrennte IAM-Software, die eine tatsächliche Live-Verfolgung des Trainings ermöglicht.
- Weitere Auswertung, Interpretation und Präsentation der Trackingdaten für die TrainerInnen, die erst dann sinnvoll ist, wenn die Untersuchung gezeigt hat, ob das System vertrauenswürdige Daten liefert.

4.3 Konzeption

Fest steht, dass es zwei Anwendungen geben muss. Eine VR-Anwendung, mit der die Trainierenden das Training durchführen und eine Desktop-Anwendung, mit der die TrainerInnen die Trainingsperformance betrachten und bewerten können. Im Idealfall hätte diese Anwendung einen IAM (In-Action-Monitoring)- und einen AAR (After-Action-Review)-Teil (Murtinger et al., 2022). Da die VR-Anwendung aus Stabilitätsgründen allerdings nativ auf dem VR-Headset laufen soll, besteht keine Verbindung zum PC. Somit muss zuerst die Frage beantwortet werden, wie die bereits vorhandenen Tracking-Daten der VR-Anwendung in die Desktopanwendung gelangen.

4.3.1 Übertragung der Daten

Dafür gibt es zwei sinnvolle Möglichkeiten:

1. **Die Implementation eines Multiplayers** ermöglicht eine Echtzeit-Synchronisation der Zustände ausgewählter Objekte in der VR-Anwendung und der Desktop-Anwendung. Während eine Client-Server Architektur die „Spielwelt“ auf einem dedizierten Server hostet und dort den Game State verwaltet, sind auch Peer-to-Peer-Lösungen möglich, bei denen sich die Game States der Clients gegenseitig synchronisieren (Armitage et al., 2006). Bei Letzteren werden die Positionen und Rotationen von Objekten synchronisiert und Methoden können durch sogenannte RPCs (Remote Procedure Calls) bei allen Clients simultan ausgeführt werden. Ein Multiplayer-Framework eignet sich für eine Echtzeit-Synchronisation, speichert die übertragenen Daten jedoch nicht. Nach eigener Erfahrung darf die Last des Multiplayers für das VR-Headset nicht unterschätzt werden. Der sich aus den meisten aktuellen Multiplayer-Frameworks ergebende Online-Zwang kann zudem dazu führen, dass die ganze Anwendung ohne Internet-Verbindung nicht startet. Das könnte für Polizei oder Rettungsdienste hinderlich sein, wenn die Daten dort nicht über das Internet fließen sollen/dürfen.

2. **Die Nutzung einer (objekt-)relationalen Datenbank** ermöglicht die persistente Speicherung von Daten auf einem Server. Der Zugriff erfolgt über ein Datenbank-Management-System (DBMS) bzw. eine logische Schnittstelle (z.B. *SQL*). Per Post-Requests werden Tabellen in der Datenbank gezielt mit Werten gefüllt. Diese können durch Get-Requests wieder abgerufen werden (Schicker, 2025). Somit erfolgt der Austausch der Daten zwischen zwei Anwendungen asynchron. Durch die persistente Speicherung der Daten, lassen sich jedoch etwa Replays leicht umsetzen und die Daten können aufgrund des Tabellenformats auch in Zukunft noch von einer anderen möglichen Analysesoftware ausgelesen werden. Da Datenbanken nach dem ACID-Modell die Daten dauerhaft, sicher und konsistent speichern sollen, werden alle Anfragen geprüft und nur ausgeführt, wenn sie vollständig und fehlerfrei sind (Schicker, 2025). Das bedeutet aber auch, dass es bei Anfragen an die Datenbank zu Verzögerungen kommen kann. Einige DBMS wie *Supabase* verfügen über Realtime-Features, mit denen zum Beispiel Änderungen an der Datenbank von den Clients abonniert werden können (Cabaco, 2025).

Beide Systeme haben ihre Vor- und Nachteile. Da für die Trainingsanwendung die persistente Speicherung der Replays für einen späteren Zugriff oder eine mögliche weitere Auswertung besonders wichtig ist, stellt sich die Verwendung einer Datenbank als unerlässlich heraus. Ein Multiplayer könnte zusätzlich hinzugefügt werden und wird auf Basis der Anforderungen an das Training auch auf längere Sicht benötigt. Da die Implementation beider Lösungen jedoch die Entwicklungsdauer der Anwendung deutlich in die Länge ziehen würde, wurde entschieden, im Rahmen dieser Arbeit vorerst auf den Multiplayer zu verzichten und den Fokus auf die Speicherung der Replay-Daten in der Datenbank zu legen. Das bedeutet auch, dass damit automatisch die IAM-Funktion vorerst wegfällt (siehe Anhang 9). Um das zu kompensieren, soll es mit der AAR-App möglich sein, das Replay bereits anzuschauen, während die trainierende Person noch trainiert. Das Verhalten des Replays wäre vergleichbar mit einem Livestream auf *YouTube*. Zudem wurde entschieden, ein *PostgreSQL*-DBMS mit Realtime-Funktion zu verwenden, da somit der Multiplayer möglicherweise auch innerhalb der Datenbank nachgerüstet werden kann.

Das Konzept sieht also nun vor, in einer bestimmten Frequenz die Positions- und Rotationsdaten ausgewählter Objekte in der VR-Anwendung aufzunehmen und mit Timestamp sowie einer Zuordnung zu Raum und Endgerät in die Datenbank zu schreiben. In der Desktop-Anwendung, die nun als AAR-App betrachtet werden kann, soll das Replay abgespielt werden können. Dafür soll das Zeitintervall des Trainings als Filter angegeben werden können. Zusätzlich wird der Raum ausgewählt, dessen Replay angezeigt werden soll. Mit diesen Filtern werden die Daten aus der Datenbank geladen und mit derselben Frequenz abgespielt, mit der sie aufgenommen wurden.

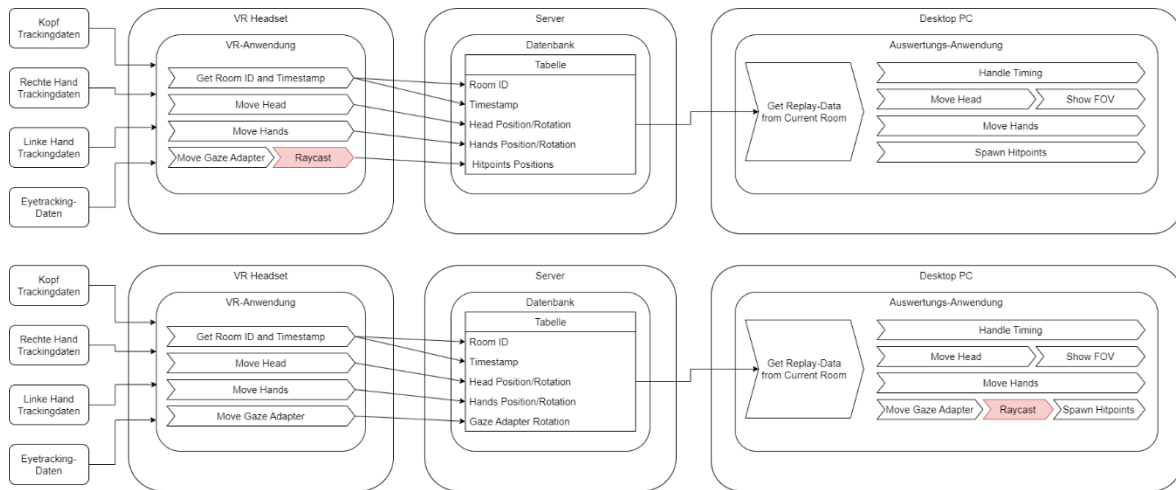


Abb. 9 Zeitpunkt der Kollisionsabfrage.

Oben: Bisheriger Zeitpunkt der Kollisionsabfrage (rot markiert). Unten: Alternativ-Zeitpunkt (rot markiert)

Quelle: Eigene Darstellung (Vergrößerte Version in Anhang 9)

Eine entscheidende Frage ist nun noch der Umgang mit den Eye-tracking-Daten. In der bisherigen *RoomAware VR*-Anwendung wurde in jedem Frame überprüft, ob ein Objekt vom Blick getroffen wurde und der Kollisionspunkt in einer Liste gespeichert. Die Weiterführung dieses Systems hätte mehrere Nachteile:

1. Das VR-Headset hat sowohl die Last durch die Anfragen an die Datenbank als auch die Last der Auswertung des Eye-trackings zu bewältigen.
 - a. Bei Räumen mit vielen Objekten und somit vielen Collidern, könnte sich die Performance der Anwendung auf der Brille durch die Kollisionsabfragen stark verschlechtern.
2. Es ergeben sich Probleme durch die Unterschiede in der Frequenz, da der Raycast mit Kollisionsabfrage pro Frame ausgeführt wird, die Aufnahme eines Replay-Frames jedoch mit einer geringeren Frequenz.
 - a. Der Kollisionspunkt existiert nur, wenn die Kollision mit einem markierten Objekt stattfindet. Viele Replay-Frames hätten also keine Werte.
 - b. Die Übernahme des letzten Kollisionspunkts würde die Auswertung der Blickführung verfälschen.

Die bessere Lösung ist, die Auswertung des Eye-trackings in die AAR-App zu verschieben (siehe Abb. 9). Das Eye-tracking selbst findet weiterhin in der Brille statt. Es werden jedoch lediglich die Positions- und Rotationsdaten der Augen mit der Aufnahmefrequenz an die Datenbank gesendet. Im Replay werden die fehlenden Frames interpoliert. So ergibt sich zwar eine kleine Verfälschung der Augenbewegung, diese ist im Vergleich zur Verfälschung durch die Übernahme des letzten Kollisionspunkts jedoch vernachlässigbar. In der AAR-App erhalten die Augen-Objekte dann dasselbe Skript wie zuvor in der VR-Anwendung. Das heißt, hier findet nun der Raycast und die Ermittlung der Kollision wieder pro Frame statt. Mit der Leistung eines durchschnittlichen Laptops ist es dann möglich, deutlich mehr Kollisionen als in der VR-Brille abzufragen, bevor die Performance darunter leidet.

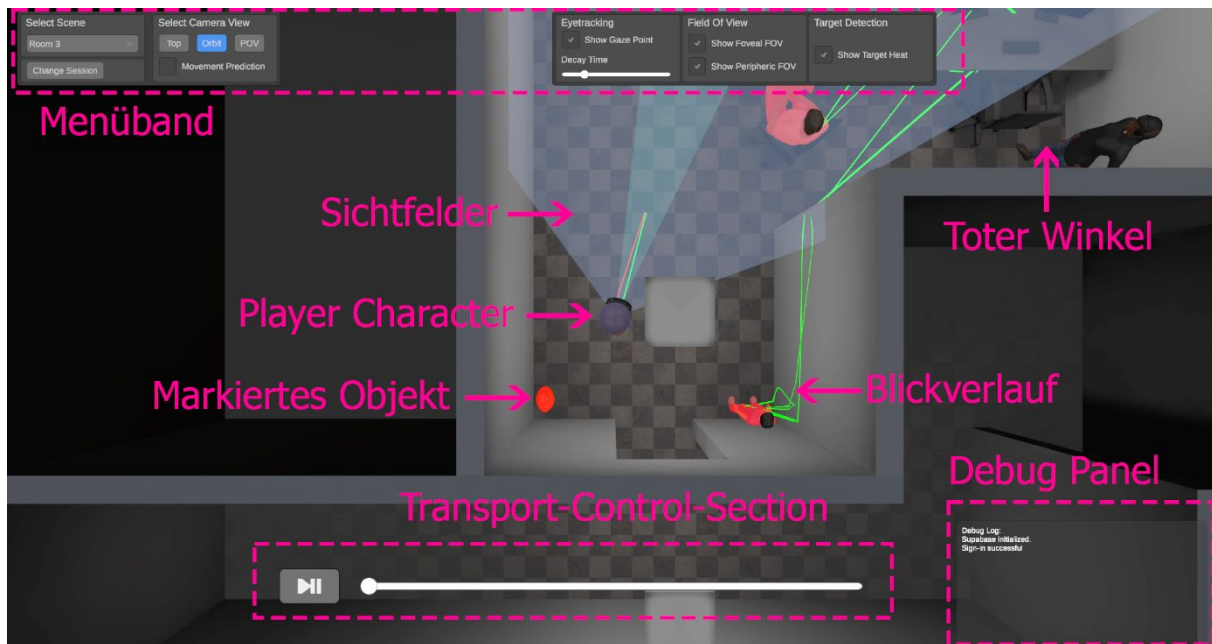


Abb. 10: User Interface der AAR-App.

Die Sichtfelder werden halbdurchsichtig angezeigt (peripher blau, foveal türkis). Erfasste Target-Objekte werden rot gefärbt. Die Intensität steigt mit der Betrachtungsdauer. Der Blickverlauf wird durch eine grüne Spur visualisiert.

Quelle: Eigene Darstellung

4.3.2 Gestaltung und Funktionen der AAR-App

Auf Seiten der AAR-App soll ein übersichtliches User Interface ermöglichen, den passenden Raum und Zeitraum auszuwählen, die Wiedergabe des Replays zu steuern, Kameraperspektiven zu ändern und Overlays ein und auszublenden. Dieses soll idealerweise modular aufgebaut sein. Oben soll sich ein Menüband befinden, das die benötigten Funktionen nach ihrer chronologischen Relevanz bereitstellt (siehe Abb. 10). Die Auswahl des Raums soll sich ganz links befinden, in einem Block daneben die Steuerung für die Kameraperspektiven und rechts davon in einzelnen Blöcken die Einstellungen für die verschiedenen Overlays. Am unteren Bildschirmrand soll sich die Steuerung für die Wiedergabe des Replays befinden. Diese soll mit der gewohnten Steuerung von *YouTube* vergleichbar sein und aus einem Play/Pause-Button und einer Timeline in Form eines Sliders bestehen. Der „Anfasser“ des Sliders soll die Position des aktuellen Frames in der Timeline widerspiegeln. Durch Ziehen des „Anfassers“ kann in der Timeline vor und zurück gespult werden. Rechts neben der Timeline soll sich nur ein kleines Fenster für Logs befinden. Hier erhält man zum Beispiel die Information, ob die Verbindung zur Datenbank erfolgreich war. In der finalen Anwendung könnten hier später Statistiken angezeigt werden. Die Auswahl des Trainingszeitraums sollte in einem separaten Fenster beim Start der App erfolgen, da dieser wahrscheinlich innerhalb einer Session nicht verändert wird. Das Fenster soll über einen Button im Block der Raumauswahl wieder aufgerufen werden können.

Bezüglich der Funktionen steht die Wiedergabe des Replays im Vordergrund. Nach der Auswahl eines Raums soll in regelmäßigen Zeitabständen geprüft werden, ob es für diesen Raum im angegebenen

Trainingszeitraum neue Replay-Frames in der Datenbank gibt. Die Replay-Frames sollen in Batches aus der Datenbank geladen und an die Timeline angefügt werden. Die Dauer des Replays passt sich dabei jedes Mal an, wenn neue Frames angehängt werden. Erreicht der „Anfasser“ das Ende der Timeline, wird die Wiedergabe wieder am Anfang des Replays gestartet. Die zweite Funktion sind die Kameraperspektiven. Starten soll die App mit der Top-Down-Ansicht, da diese den besten Überblick bietet. Die Kamera der Top-Down-Ansicht soll dem Replay-Avatar folgen, der die trainierende Person repräsentiert. Per Mausrad soll gezoomt werden können. Die zweite Kamera soll eine Orbitkamera sein, die mit gedrückter rechter Maustaste um den Replay-Avatar rotiert werden kann. Eine Zoomfunktion per Mausrad soll hier ebenfalls vorhanden sein. Als dritte Ansicht soll es eine Egoperspektive geben. Diese wird ausschließlich durch die Kopfbewegung der trainierenden Person gesteuert.

Zu den Overlays gehören die Visualisierung der Blickführung (Eyetracking), das Sichtfeld und die Färbung bereits fixierter Objekte.

Das **Eyetracking** wird, wie bereits beschrieben, durch einen Raycast mit Kollisionserkennung ausgewertet. Um Blickmuster sichtbar zu machen, soll im Replay eine kleine grüne Kugel gespawnt werden, die immer wieder auf die neuen Kollisionskoordinaten gesetzt wird. Diese kann dann über den Menübereich „Eyetracking“ an- und ausgeschaltet werden. Dasselbe gilt für einen *Trail Renderer*, der zusätzlich auf die Kugel gelegt werden soll, sodass der Punkt bei seiner Bewegung eine Spur hinterlässt (siehe Abb. 12). Über einen Slider im Menübereich „Eyetracking“ soll die Dauer eingestellt werden können, nach der die Spur verblasst. So kann eine kurze Dauer von etwa einer Sekunde genutzt werden, um nur die Herkunft und Richtung des Punktes anzuzeigen, während eine zweiminütige Darstellungsdauer dazu dienen kann, zu überprüfen, ob der gesamte Raum mit Blicken abgetastet wurde.

Im Menübereich für das **Sichtfeld** sollen das foveale und das periphere Sichtfeld jeweils ein- und ausgeblendet werden können. Dargestellt werden sollen diese als halbdurchsichtige zweidimensionale Sichtkegel in der Top-Down-Ansicht. Das foveale Sichtfeld wurde, wie bereits in Abschnitt 2.1.3 erwähnt, mit 20° angenommen und ist der Bereich in dem das tatsächliche farbige und scharfe Sehen stattfindet. Das foveale Sichtfeld ist an die Bewegung des Auges gekoppelt und soll sich dementsprechend auch bei der Visualisierung mit den Augen mitbewegen. Das periphere Sichtfeld eines gesunden Menschen beträgt etwa 180° (Solso, 1996). Da dieses jedoch durch die VR-Brille beschränkt wird, wird hierfür der Wert von 106° Sichtfeld der Brille übernommen. Der Mittelpunkt des peripheren Sichtfelds ist fest an die Vorwärtsrichtung des Kopfes gebunden. Bei der Visualisierung der Sichtfelder sollen Objekte berücksichtigt werden, die im Sichtfeld stehen und einen Teil des Sichtfelds verdecken. Diese verdeckten Bereiche sollen aus der Visualisierung des Sichtfelds ausgeschnitten werden, sodass für die TrainerInnen klar ist, wo sich tote Winkel befinden.

Das dritte Overlay ist die **Markierung fixierter Objekte**. Objekte sollen beim erstellen der Szene als Target-Objekte markiert werden können. Target-Objekte sind alle Objekte, für die ausgewertet werden soll, ob sie von den Trainierenden gesehen wurden. Findet beim Raycast eine Kollision mit einem

Target-Objekt statt, soll dieses im Replay rot gefärbt werden. Dabei soll sich die Intensität der Färbung erhöhen, solange das Objekt mit dem Blick fixiert wird. Da die Framerate der Anwendung variabel ist, soll durch Probieren eine exponentielle Funktion für die Intensität gewählt werden, bei der sehr schnell eine Färbung zu sehen ist, die maximale Färbung aber erst erreicht wird, nachdem eine eher lange Fixationsdauer von etwa 300 ms verstrichen ist. Mit diesem Overlay sollen TrainerInnen schnell erkennen können, ob ein Objekt gesehen wurde.

4.3.3 Anpassungen der VR-Anwendung

Neben den Anpassungen für die Übertragung der Daten in die Datenbank, soll die VR-Anwendung für die Untersuchung vorbereitet werden. Es sollen fünf sinnvolle und vom Schwierigkeitsgrad her ansteigende Räume ausgewählt werden, deren Fläche den Trainingsbereich von 10 x 10 m möglichst wenig überschreitet. Allen Räumen sollen Quitscheenten als Objekte hinzugefügt werden, die gezählt werden sollen. Darüber hinaus sollen weitere Target-Objekte mehr oder weniger gut versteckt werden, die die Trainierenden für ein erfolgreiches Wahrnehmungstraining von sich aus bemerken sollen. Hierfür wurden zum einen Personen, aber auch Messer und Pistolen ausgewählt, da davon auszugehen ist, dass dies unmissverständliche Objekte sind, auf die PolizeibeamtInnen in Ausbildung zu achten gewohnt sind. Damit soll sichergestellt werden, dass die Objekte zum einen nicht verschwiegen werden, weil sie als irrelevant betrachtet werden und man sie zum anderen deshalb auch nicht vorher preisgeben muss, wodurch die Aufmerksamkeit im Vorhinein künstlich erhöht werden könnte.

4.4 Lösungen

Um die Konzeption umzusetzen, mussten zuerst einige Lösungen entwickelt und Anpassungen an der VR-Anwendung vorgenommen werden, bevor mit der Entwicklung der AAR-App begonnen werden konnte.

4.4.1 Überarbeitung der VR-Anwendung

Da die *Unity*-Version des ursprünglichen *RoomAware VR*-Projekts keine *Web-Requests* mehr zuließ und auch nicht mehr aktuell war, wurde die überarbeitete Anwendung in *Unity 6000.0.48f1* neu aufgesetzt. Mit dem Wechsel von *Unity 2022.3.12f1* zu *Unity 6* ging aber auch zwangsweise ein Wechsel des VR-Frameworks vom *XR Interaction Toolkit* hin zum *Meta XR All-in-One SDK* einher. Dieser Wechsel war notwendig, da die *Eyetracking*-Unterstützung für die *Quest Pro* in der aktuellen Version des *XR Interaction Toolkits* eingestellt wurde. Das bedeutete zwar, dass ein neues *Player-Rig* aufgebaut werden musste und die spätere Integration eines *Multiplayers* komplizierter wird, aber die Verwendung des *Meta XR All-in-One SDK* bringt auch diverse Vorteile, wenn es um die Auswertung weiterer spezifischer Daten und Fähigkeiten der Brille geht. So können zukünftig möglicherweise benötigte Features wie *Pass-Through*, *Spatial Anchors* oder interpoliertes *Body-Tracking* deutlich einfacher verwendet werden.

Nachdem Basis-Szene und Räume wieder mit Portalen und allem Zubehör aufgesetzt waren, wurde mittels *NuGet for Unity* die Bibliothek *Supabase CSharp* in das Projekt eingebunden. *Supabase* ist ein Open Source *PostgreSQL* DBMS, das sowohl in einer kostenlosen Version, gehostet in der Cloud, genutzt werden kann als auch zum Beispiel per *Docker* auf einem eigenen Server. *Supabase* wurde als Datenbank-Lösung ausgewählt, da es, aufgrund der bereits erwähnten Beschränkungen hinsichtlich Netzwerkzugriffen, die erstbeste Datenbank-Lösung war, die über ihre C# Client Library überhaupt aus einer *Unity*-App für Android heraus angesprochen werden konnte. Darüber hinaus überzeugt *Supabase* mit einem fertigen Web-Interface und User-Management sowie einfacher Einrichtung. Im Rahmen dieser Arbeit wurde der Einfachheit halber die kostenlose gehostete Version von *Supabase* genutzt. Es wurde jedoch sichergestellt, dass der Umzug der Datenbank auf eine selbst gehostete oder sogar lokale Instanz in wenigen Schritten möglich ist. *Supabase* ist darüber hinaus zukunftssicher, da es auch über eine *Realtime API* verfügt, falls zu einem späteren Zeitpunkt schnellere Zugriffe und direkte Änderungen von Daten nötig werden sollten. So wäre etwa auch eine Multiplayer-Lösung per *Realtime* denkbar.

Das System zur Aufnahme der Trackingdaten für das Replay basiert hauptsächlich auf drei Klassen: Dem *SupabaseManager*, dem *FrameModel* und dem *GhostRecorderBatch*.

Der *SupabaseManager* wird sowohl von der VR-Anwendung als auch der AAR-App verwendet und baut beim Start der App die Verbindung zur Datenbank auf. Je nachdem, ob das genutzte Gerät sich schon einmal mit der Datenbank verbunden hat, findet entweder ein Sign-Up oder ein Sign-In statt. Dafür wird die einzigartige *GUID* des Endgeräts als E-Mail und Passwort für den neuen User verwendet. Für den späteren Sign-In werden diese Mailadresse und das Passwort in einer Datei auf dem Gerät gespeichert. Der *Supabase-Manager* löst ein Event aus, wenn die Anmeldung erfolgreich war. Viele Funktionen der Anwendung werden erst scharfgeschaltet, wenn dieses Event ausgelöst wurde.

Das *FrameModel* ist eine Klasse, die Daten aufnimmt und in das Schema der gewünschten Tabelle bringt. Die Tabelle in der Datenbank nimmt pro Eintrag eine User-ID, eine Raum-ID, einen Timestamp, eine Objekt-ID, einen Positionsvektor und einen Rotationsvektor an. Timestamps und Vektoren werden von der *FrameModel*-Klasse in ein JSON-Format serialisiert. Ein Objekt dieser Klasse wird regelmäßig vom *GhostRecorderBatch* instanziiert, um einen neuen Eintrag für den aktuellen Frame in der Datenbank abzulegen. Objekte vom Typ *FrameModel* können über das Attribut Verbindung des *Supabase-Managers* direkt an die Datenbank gesendet werden.

Der *GhostRecorderBatch* ist die Klasse, die die eigentliche Aufnahme übernimmt. Sie enthält eine *StartRecording()* und eine *StopRecording()* Methode. Über verschiedene Boolean-Variablen und Events wird gesteuert, was im Update-Loop passiert. Im *GhostRecorderBatch* wird eine Aufnahmefrequenz und eine Batch-Size eingestellt. Zudem enthält er eine Liste aller Transforms, die aufgenommen werden sollen. Auf Basis der Frequenz wird ein Timer gestellt, der in jedem Frame reduziert wird. Bei Ablauf wird er neu gesetzt und für jedes Transform in der Liste ein neues Objekt vom Typ *FrameModel* instanziiert. Diese *FrameModels* werden an eine Batch-Liste angehängt. Ist die Batch-Size erreicht oder wird die

Aufnahme beendet, werden alle *FrameModels* aus der Batch-Liste über das Attribut Verbindung des *SupabaseManagers* in die Datenbank hochgeladen.

4.4.2 Programmierung der AAR-App

Die AAR-Anwendung für die TrainerInnen wurde im selben *Unity*-Projekt wie die VR-Anwendung entwickelt. Die Räume und einige Skripte, so wie *SupabaseManager* und *FrameModel*, finden in derselben Form Anwendung. Der größte Unterschied besteht in der Basis-Szene. Diese enthält in der AAR-App eine Kopie des *VR-Player-Rigs* (aber ohne Skripte) als Avatar sowie mehrere UI-Panels (siehe Abb. 10).

Es gibt insgesamt drei UI-Gruppen: Das Menüband am oberen Bildschirmrand, die Replay-Steuerung unten in der Mitte und ein Debug-Panel unten rechts.

Das **Menüband** enthält einen Abschnitt zur Szenenauswahl, einen Abschnitt zur Änderung der Kameraperspektiven und einen Abschnitt zur Einstellung verschiedener Overlays (siehe Abb. 11).

Die **Transport-Control-Section** enthält einen Slider, der den zeitlichen Fortschritt des Replays anzeigt und mit dem, wie bei YouTube, durch das Replay „gescrubbt“ werden kann. Der Play/Pause-Button daneben pausiert das Replay bzw. startet es wieder.

Das **Debug-Panel** wird in der Zukunft vermutlich durch ein Panel ersetzt werden, das zum Beispiel anzeigt, wie viele Objekte wahrgenommen wurden. Für diesen Prototyp der Anwendung ist es vorerst dazu da, Debug-Logs anzeigen zu können. In erster Linie informiert es darüber, ob der Verbindungsaufbau zur Datenbank erfolgreich war.

Beim Start der AAR-App wird zusätzlich ein Panel angezeigt, in dem das Datum, die Startzeit und die ungefähre Dauer der Trainings-Session eingestellt werden kann, die man ansehen bzw. bewerten möchte. Dieses Panel kann zu einem späteren Zeitpunkt über den Button unterhalb der Szenenauswahl wieder aufgerufen werden, um die gewünschte Sitzung zu ändern.

Ebenfalls Teil der Basis-Szene ist der *GhostReplayManager*. Das gleichnamige auf dem Objekt liegende Skript bildet das Gegenstück zum *GhostRecorderBatch*. Der *GhostReplayManager* wartet darauf, dass eine neue Szene hinzugeladen wird und über ein Event ihre Raum-ID übergibt. Daraufhin stellt er einen Get-Request an die Datenbank. Gefiltert wird nach Einträgen, deren Raum-ID mit der ID der geladenen Szene übereinstimmt und deren Timestamps zwischen dem angegebenen Startpunkt der Trainings-Session und diesem Startpunkt + angegebene Dauer liegen. Es wird wieder eine Batch-Size verwendet, um einzelne Batches herunterzuladen. Solange dieser Get-Request noch weitere Ergebnisse liefert, wird ein neuer Batch heruntergeladen. Empfangen werden wieder *FrameModels*. Diese werden, nach ihren Timestamps sortiert, an eine Liste angehängt, sodass sich das Replay ergibt. Die Dauer des Replays wird berechnet, indem der letzte Timestamp vom ersten abgezogen wird. Dann wird der Slider im UI auf diese Dauer gemappt und ein Timer gestartet.

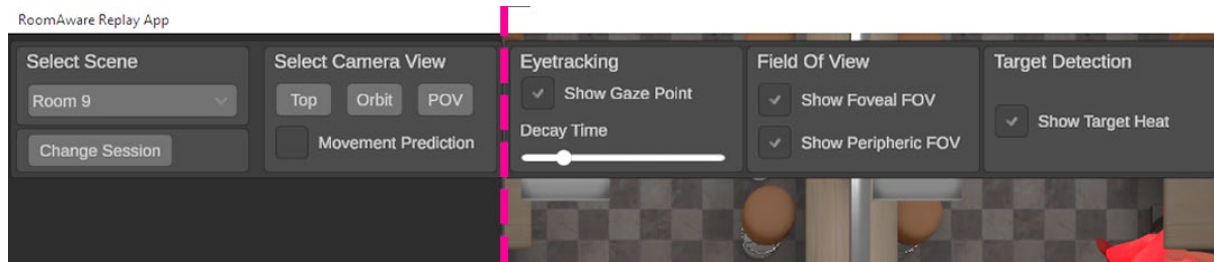


Abb. 11: Detailansicht des Menübands.

Quelle: Screenshot aus eigener Anwendung

Immer wenn Startzeit + Replay-Zeit mit einem der Timestamps übereinstimmt, werden die entsprechenden *FrameModels* ausgewertet. Per Objekt-ID werden sie den Transforms der auch hier vorhandenen Liste „Tracked Objects“ zugeordnet und es werden die neuen Positionen und Rotationen für diese Transforms gesetzt. Genau genommen ist das System noch etwas komplexer, weil auch noch die *FrameModels* zwischen den Timestamps interpoliert werden. Durch das „Scrubben“ des Sliders wird der aktuelle Zeitwert neu gesetzt und bei Pausierung wird der Timer angehalten.

Ein Feature, das nur die AAR-App besitzt, ist die Auswertung des Eyetrackings. Während dieses die VR-Anwendung nicht unnötig belasten sollte, kann in der Replay-App eine vollumfängliche Auswertung mit allen Arten von Collidern stattfinden. Im Grunde ist die Auswertung simpel. Mit den Positions- und Rotationsdaten aus der Datenbank erhält man zwei Augen-Objekte, die sich entsprechend der Augen der trainierenden Person bewegen. Es wird ein Raycast in Vorwärts-Richtung des jeweiligen Auges ausgeführt. Trifft dieser den Collider eines Objekts mit dem Layer „Gazable“ oder „Target“, wird ein Hit-Point-Objekt (eine kleine grüne Kugel) an die Stelle der Kollision bewegt. Das Hit-Point-Objekt erhält zudem einen *Trail Renderer*. Dieser ermöglicht die Darstellung eines Schweifs, mit dem sichtbar wird, von welcher Position der Punkt kommt und in welche Richtung er sich gerade bewegt (siehe Abb. 12). Über den Slider im oberen Menüband kann die Länge/Dauer dieser Spur eingestellt werden, um die Blickführung/Blickmuster möglichst gut nachvollziehen zu können. Da der Punkt sehr klein ist und nur Aufschluss über den Fixationspunkt bietet, kann damit nicht gut beurteilt werden, ob ein Objekt gesehen wurde. Daher wurde zusätzlich eine „Heat“-Funktion ergänzt. Trifft der Raycast einen Collider, wird von dort aus noch einmal eine *OverlapSphere* mit 20 cm Radius ausgesandt. Trifft diese einen Collider mit dem Layer „Target“, wird über ein Skript namens *RecieveHeat* der Heat-Wert dieses Objekts um 1 erhöht. Der Heat-Wert wird, exponentiell gemappt, an den Emission-Wert des Materials des Objekts übergeben. Das Objekt färbt sich immer stärker rot, je länger es betrachtet wird. Der Radius von 20 cm wurde dabei gewählt, da Objekte dieser Größe in fast jeder Situation innerhalb des fovealen Sichtfelds liegen und weil 20 cm der Stärke der Wände entspricht. Bei einem größeren Radius würde man Gefahr laufen, dass Objekte hinter der Wand fälschlicherweise als „gesehen“ markiert werden. Als drittes Overlay wurden die Sichtkegel für foveales und peripheres Sichtfeld hinzugefügt. Um diese umzusetzen, werden aus dem Mittelpunkt der Augen eine vorgegebene Anzahl an Raycasts fächerförmig ausgesandt.

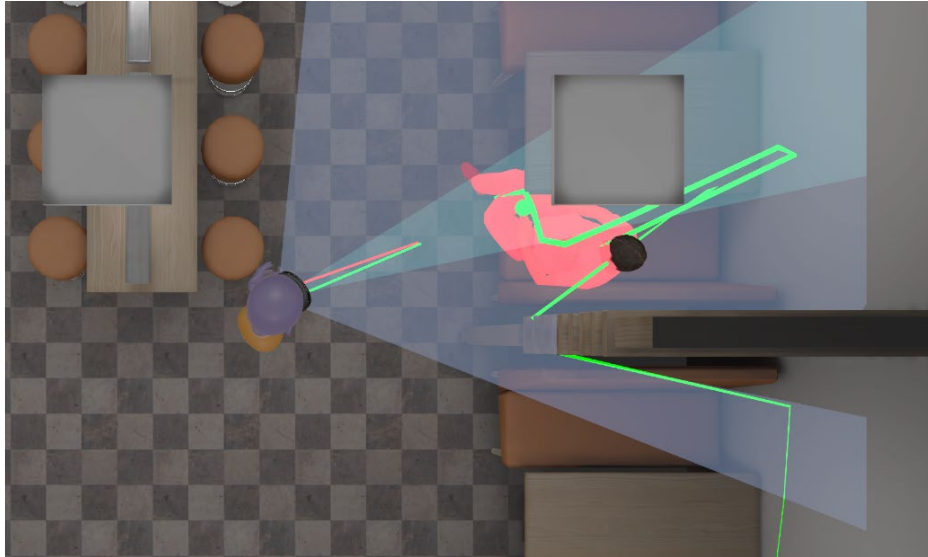


Abb. 12: Detailansicht der Blickverfolgung.

Der grüne Punkt ist der aktuelle Gaze-Point. Er hinterlässt eine grüne Spur, mithilfe derer sich Blickmuster und Fixationsfolgen identifizieren lassen. Die Person ist rot markiert, wurde also bereits erfasst.

Quelle: Screenshot aus eigener Anwendung

Wie weit diese aufgefächert sind, wird durch den Winkel des Sichtfelds angegeben, der in der entsprechenden *Unity-Component* eingetragen wird. In diesem Fall wurden die standardmäßig angenommenen 20° für das foveale Sichtfeld und die maximal von der Brille dargestellten 106° für das periphere Sichtfeld verwendet. Anschließend werden im Skript Polygone zwischen den aufgefächerten Rays generiert, sodass sich das zweidimensionale Overlay des Sichtkegels ergibt. In der POV-Kamera wird das foveale Sichtfeld auch visualisiert. Das geschieht hier durch ein einfaches Fadenkreuz, das in einer angemessenen Entfernung zur Kamera so skaliert wurde, dass es genau mit dem Durchmesser des Sichtkegels an dieser Stelle übereinstimmt. Wie in der Realität wird das foveale Sichtfeld vom Eyetracking mit bewegt, während das periphere Sichtfeld statisch mit der Vorwärts-Richtung des Kopfes gekoppelt bleibt.

Es wurden bereits die verschiedenen Kamera-Perspektiven erwähnt, zwischen denen man in der AAR-App umschalten kann. Diese wurden mit *Cinemachine* realisiert. Es gibt eine POV-Kamera, die der *CenterEyeAnchor*-Kamera des *VR-Player-Rigs* entspricht und fest mit dem Kopf des Replay-Avatars verbunden ist. Die Orbit-Kamera lässt sich bei gedrückter rechter Maustaste frei um den Avatar herum rotieren und neigen. Ein Zoom mittels Mausrad wurde dazu programmiert, ebenso wie die Funktion, dass die Kamera nicht auf Eingaben reagiert, solange die Maus über einem der Menü-Panels hovers. Die dritte bzw. eigentlich die Standard-Kamera ist die Top-Down-Ansicht. Dieser Kamera wurde ebenfalls die Zoomfunktion hinzugefügt. Sie folgt dem Avatar mit einer gewissen Totzone, in der sich der Avatar bewegen kann, ohne dass die Kamera mitzieht. Wahlweise kann zusätzlich eine Prediction aktiviert werden, durch die die Kamera schon etwas weiter in die Richtung vorfährt, in die der Avatar sich gerade bewegt. Das kann insbesondere dann sinnvoll sein, wenn der Raum groß ist, man aber sehen möchte, wo der Blick gerade getroffen hat.

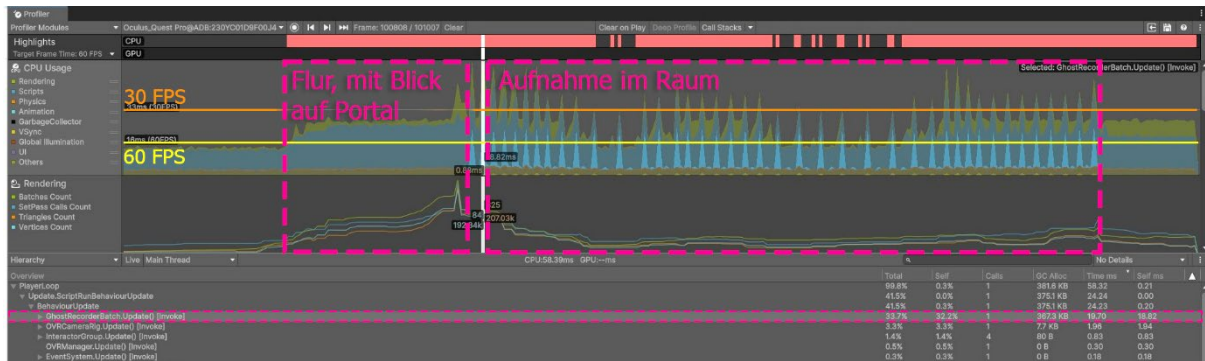


Abb. 13: Performance der VR-Anwendung.

Beim Blick auf das Portal werden durchgehend fast nur 30 FPS erreicht. Bei der Aufnahme entstehen Ruckler beim Senden der Batches. Zu sehen, durch die blauen Spitzen. (blau = CPU-Last, grün = Grafik-Last)

Quelle: Screenshot aus Analyse-Tool der Unity Engine

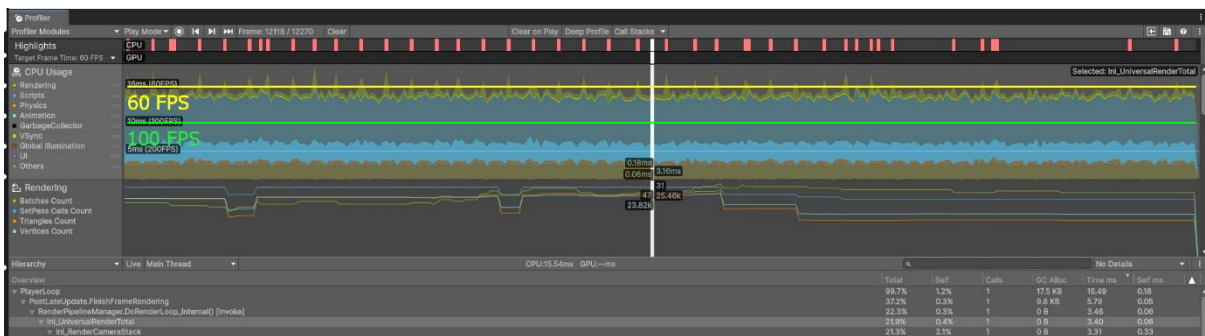


Abb. 14: Performance der VR-Anwendung ohne Portale und Aufnahme.

Selbst ohne Portale und Aufnahme sind nicht mehr als 72 FPS mit dem Meta-Rig möglich.

Quelle: Screenshot aus Analyse-Tool der Unity Engine

4.5 Iteration

Obwohl einzelne Features, wie Portale und Eyetracking in der Vergangenheit gut auf der Brille liefen, stellte sich nach Implementation aller grundlegenden Features der VR-Anwendung heraus, dass die Performance der Anwendung zu schlecht ist. Die beschriebene Minimalanforderung von 60 FPS wird nicht erreicht. Eine besondere große Rolle spielt dabei die Übertragung der Trackingdaten in die Datenbank. Diese benötigt Web-Requests, die auf der *Quest Pro* besonders viele Ressourcen verbrauchen. Durch das Sammeln der Daten in Batches, konnte diese Last zwar verringert werden, hatte aber immer noch einen großen Einfluss auf die Performance der VR-App (siehe Abb. 13). Ein zweiter großer Faktor waren die Portale. In Abb. 13 ist am rechten Rand der linken Box deutlich zu sehen, wie die Framerate in dem Moment einbricht, in dem sich die trainierende Person dem Portal zuwendet und hindurch geht. Das Problem ist besonders groß, da *Player Rigs* des *Meta XR All-in-One SDK* scheinbar deutlich weniger performant sind als *Player Rigs* des *XR Interaction Toolkit*. Ein Test mit der leeren Basis-Szene, ohne Portale und ohne Datenübertragung, hat gezeigt, dass bei aktiviertem Eyetracking grundsätzlich nicht mehr als durchschnittliche 72 FPS möglich sind (siehe Abb. 14). Da die Performance jedoch für

diese Art von Trainingsanwendung besonders wichtig ist, um möglichst exakte Daten zu erhalten und Übelkeit vorzubeugen, wurde die Entscheidung getroffen, das Konzept der Anwendung zu verändern und gänzlich auf das Konzept der Impossible Spaces zu verzichten. Das heißt, der Dummy-Raum wird nicht mehr umrundet und es gibt keine Portale mehr in der Anwendung. Stattdessen sollen neue Räume auf herkömmliche Art mit einem Ladebildschirm geladen werden. Diese Veränderung wurde in Abstimmung mit zwei Trainings-Experten beschlossen, die versicherten, dass das direkte Laden von Räumen für das Training völlig ausreichend sei.

Eine zweite Veränderung, die beschlossen wurde, betrifft die Übertragung der Daten an die Datenbank. Nachdem bei den Performance-Tests auffiel, dass der Arbeitsspeicher der Brille noch wenig ausgelastet ist, wurde entschieden, die Daten, während des Trainings in einer Szene, im Arbeitsspeicher zwischenspeichern und erst beim Laden einer neuen Szene als Batch an die Datenbank zu senden. Das geschieht zwar auf Kosten der Möglichkeit, das Replay bereits während des Trainings in einem Raum zu starten, doch das lässt sich später durch den Multiplayer kompensieren. Es könnte dann in der Beobachtungs- und Auswertungs-Anwendung einen IAM- und einen AAR-Modus geben. Im IAM-Modus würden TrainerInnen über den Multiplayer schlicht die Bewegungen der Trainierenden im Raum live beobachten können, während der AAR-Modus der aktuelle Replay-Modus wäre, in dem dann die aufgezeichneten Daten aus der Datenbank inklusive Eyetracking-Daten, Sichtkegel und anderen Overlays wiedergegeben werden.

Um die bestmögliche Performance mit der Iteration zu erreichen, wurde ein leeres Projekt in *Unity 6000.0.48fl* angelegt und das *Meta XR All-in-One SDK* installiert. Anschließend wurde sichergestellt, dass die Demo-Szenen mindestens 70 FPS im Durchschnitt erreichen. Nachdem das verifiziert wurde, begann die Anpassung der VR-Anwendung an das neue Konzept ohne Impossible Spaces.

Das System zum Laden der Räume musste überarbeitet werden. Das bot die Chance die Einrichtung des Systems im realen Raum deutlich zu vereinfachen. Die Basis-Szene startet nun im Pass-Through-Modus und enthält keinen Raum mehr, sondern nur noch eine Markierung für den Startpunkt. Im realen Raum kann nun eine ähnliche Markierung aufgeklebt werden, auf der sich die Trainierenden positionieren müssen. Nach dem Start der App wird dann einfach der *Oculus/Meta-Button* einmal gehalten, bis sich die Ansicht zurückgesetzt hat. Trainierende sehen dann vor sich ein schwebendes Panel mit Anweisungen. Durch eine Betätigung des rechten Triggers wird jeweils ein neuer Raum geladen. Während des Ladevorgangs ist nur der Pass-Through zu sehen, um mögliche Ruckler zu kaschieren. Die Trainierenden starten dann innerhalb einer Szene immer am Ende des Flurs und müssen ein paar Meter bis zur Tür gehen. Die Aufnahme wird beim Verlassen der Startmarkierung gestartet. Nach der Begehung des Raums kehren die Trainierenden wieder auf den Startpunkt zurück, wodurch die Aufnahme beendet wird. Beim Laden der neuen Szene, durch Betätigung des Triggers, wird auch die Aufnahme der Szene als Batch in die Datenbank hochgeladen. Nach Abschluss des letzten Raums landen die Trainierenden wieder in einer Szene mit Pass-Through, in der ein Panel schwebt, auf dem steht, dass die Anwendung

mit einer weiteren Betätigung des Triggers beendet werden kann. Zu dieser Veränderung gehört auch, dass die Room-Manager-Instanzen der einzelnen Szenen nun dafür sorgen, dass der Name der neu hinzugeladenen Szene gesetzt wird. Es wird dann die Liste der aktiven Szenen durchgegangen und alle entladen, deren Name nicht der neuen Szene oder der Basis-Szene entspricht.

Eine weitere Neuerung der VR-Anwendung ist die Einführung eines Offline-Fallbacks. Sollte der Upload des Batches in die Datenbank nicht erfolgreich gewesen sein, wird der Batch serialisiert in eine JSON-Datei geschrieben und auf dem Headset gespeichert. Dieser serialisierte Schreibvorgang verläuft deutlich performanter als die ursprüngliche Ausgabe der Liste in einer CSV- oder Textdatei.

Die Veränderungen an der AAR-App hielten sich in Grenzen. Hier musste nichts bezüglich der Konzeptveränderung angepasst werden. Sie wurde allerdings dahingehend noch einmal überarbeitet, dass der Code etwas aufgeräumt und viele Funktionen von der Nutzung von Boolean-Variablen im Update auf die Auslösung durch Events umgebaut wurden.

Zum Zeitpunkt der Untersuchung konnte ein stabiler Prototyp gezeigt werden, der ausreichend performant lief und mit einem aufgeräumten UI sowie wenig Möglichkeiten zur Fehlbedienung überzeugen konnte.

5 Ergebnisse

Die Erhebung der Daten wurde in einem Trainingszentrum für PolizistInnen durchgeführt und bestand zum einen aus einer Untersuchung in Form einer simulierten Trainings-Situation, um die Daten für die quantitative Prüfung der Hypothesen 1-5 zu erheben. Zum anderen wurden Beobachtungen, Befragungen und Interviews durchgeführt, um qualitativ die Usability der Anwendungen zu bewerten und den Mehrwert für TrainerInnen und Trainierende zu ermitteln.

Die Untersuchung wurde mit einer Stichprobengröße von $n = 11$ ProbandInnen bzw. Trainierenden durchgeführt. Acht der 11 Trainierenden waren BeamtenInnen in Ausbildung bei der Polizei. Die anderen drei waren Einsatztrainer in einem Trainingszentrum. Durch kleine technische Schwierigkeiten und nicht befolgte Anweisungen haben nur 8 von 11 ProbandInnen alle fünf Räume abgeschlossen. Das ist für die Auswertung weitestgehend irrelevant, da jeweils die Kombination aus Person und Raum einen Datensatz definiert. Es wurden somit $n = 50$ vollständige Datensätze erfasst und können ausgewertet werden. Die unterschiedlichen Räume spielen nämlich für die Prüfung der Hypothesen keine Rolle. In der deskriptiven Auswertung der Daten helfen sie allerdings, zusätzliche Aussagen treffen zu können.

Für die Bewertung der Trainingsdurchläufe standen $n = 5$ Trainer (männlich) zur Verfügung. Diese hatten allerdings nicht genug Zeit, um alle Trainingsdurchläufe zu bewerten. Daher wurde ein Bewertungshorizont (Anhang 12) erstellt und eine Auswahl von vier Durchläufen (ProbandIn01, ProbandIn02, ProbandIn08, ProbandIn09) als Benchmark durch die tatsächlichen Trainer bewertet. Alle restlichen Bewertungen fanden lediglich auf Basis des Bewertungshorizonts der Trainer statt. Nur zwei der fünf Trainer haben die Bewertung der Anwendung ausgefüllt, weshalb Hypothese 4 mit anderen Mitteln geprüft werden muss. Die Daten zur Auswertung von Hypothese 5 konnten gar nicht erhoben werden, da es auch im Nachgang nicht möglich war im zeitlichen Rahmen dieser Arbeit noch einen Termin mit einem Trainer zu finden, der die Bewertung mit der Version der Anwendung ohne Overlays durchführt.

5.1 Deskriptive Auswertung der Datensätze

Zuerst soll ermittelt werden, welche Aussagen sich durch deskriptive Auswertung aus den Datensätzen (siehe Anhang 10) ableiten lassen. Ein Datensatz beschreibt immer die Daten einer trainierenden Person in einem bestimmten Raum und umfasst die von der Person angegebene Anzahl der verschiedenen Objekte im Raum, sowie die Anzahl derselben Objekte, die laut Trainer gesehen wurden. Dazu kommt die Bewertung der Trainingsleistung in jedem Raum durch den Trainer und die Selbsteinschätzung der Trainierenden für jeden Raum.

Person05	Enten (live)	Enten (Ende)	Enten (bewertet)	Enten (tatsächlich)
Room1	1	1	1	1
Room3	3	3	3	3
Room5	3	4	2	3
Room9	2	1	2	3
Room10	2	2	2	2

Abb. 15: Beispiel für Auswahl der Werte.

Für Room9 wird der Live-Wert genommen, da dieser näher an der Bewertung liegt. Der Wert "4" wird in Room5 komplett ignoriert, da er über der tatsächlichen Anzahl der Enten im Raum liegt.

Quelle: Eigene Darstellung

5.1.1 Auswertung der gezählten Objekte

Die live laut gezählten Objekte wurden mit Time Stamps in einer Tabelle gespeichert. Somit lässt sich bei Bedarf prüfen, ob der Trainer das richtige Objekt als „nicht gesehen“ markiert hat. Zusätzlich zum lauten Zählen wurden die ProbandInnen jeweils am Ende eines Raums nochmal gesondert nach den Objekten gefragt, die sie gesehen haben. Es wurden also zwei Werte für die jeweilige Anzahl der Enten, Waffen und Personen in einem Raum erhoben. Dazu können folgende Aussagen getroffen werden:

1. Bei 30 von 50 Datensätzen gibt es keine Unterschiede zwischen den live gezählten und am Ende des Raums angegebenen Werten. Das heißt, bei 60% der Datensätze ist es naheliegend, dass es sich bei dem angegebenen Wert um die tatsächliche Anzahl gesehener Enten handelt.
2. Bei den Enten wurden in 14 von 50 Datensätzen unterschiedliche Werte angegeben. (28%)
 - a. Bei der Hälfte davon handelte es sich um zu hohe Live-Werte durch Mehrfachzählungen.
3. Bei den Waffen wurden nur in 5 von 50 Datensätzen unterschiedliche Anzahlen angegeben.
 - a. Mehrfachzählungen gab es nicht.
4. Bei den Personen gab es 10 Fälle mit unterschiedlichen Angaben.
 - a. Davon eine Mehrfachzählung.

Der Bewertungsbogen für die TrainerInnen erfasst pro Raum für jedes spezifische Objekt, ob dieses nach Ansicht des Trainers/der Trainerin von der trainierenden Person erfasst wurde. Dazu stehen die Antwortmöglichkeiten „Ja“, „Nein“ und „Unsicher“ zur Verfügung. Hierzu ist festzuhalten:

1. Unsicherheit wurde in 5 von 50 Datensätzen angegeben. (10%)
 - a. In einem der Datensätze (ProbandIn04, Room9) für zwei Objekte.
 - b. Nur einmal für eine Waffe (ProbandIn07, Room10), sonst immer für Enten.
 - c. Für die Enten ausschließlich in Room5 und Room9.

2. Es wurden (laut der Bewertung der Trainer) oft dieselben Objekte in einem Raum von mehreren Personen nicht entdeckt.
 - a. In Room5 Ente unter Bank bei Beistelltisch (5/11 und 1x Unsicher)
 - b. In Room5 Pistole im Waschbecken (5/11)
 - c. In Room9 Ente unter Bank (bei Mann) (2/9 und 3x Unsicher)
 - d. In Room9 Ente auf Fußboden hinter Theke (2/9)
 - e. In Room10 Messer auf Fußboden, hinter Durchgang (4/10 und 1x Unsicher)
3. Drei weitere Objekte wurden laut Trainerbewertung jeweils einmal nicht entdeckt.

Pro Raum und ProbandIn wird zum einen der Wert der gesehenen Objekte (pro Kategorie) benötigt, wie sie durch die Trainierenden gezählt wurden. Zum anderen wird die Anzahl der gesehenen Objekte (pro Kategorie) benötigt, wie sie vom Trainer aus dem Replay abgelesen wurde. Um die durch die Trainer bewertete Anzahl gesehener Objekte zu erhalten, wurden pro ProbandIn und Raum alle Objekte einer Kategorie gezählt, für die von den Trainern „Ja“ angegeben wurde. Objekte mit der Bewertung „Unsicher“ wurden wie nicht gesehene Objekte behandelt. Für die von der trainierenden Person gezählten Objekte wurde pro Raum und ProbandIn jeweils einer von den beiden verfügbaren Werten ausgewählt. Entweder der live gezählte Wert oder der nach Durchlaufen des Raums angegebene Wert. Dabei wurde für den auszuwertenden Datensatz jeweils der Wert für die gezählten Objekte ausgewählt, der näher an dem Wert aus der Bewertung durch den Trainer liegt. Werte, die oberhalb der tatsächlichen Anzahl der Objekte lagen, wurden im Auswahlverfahren gänzlich ignoriert, auch wenn der Alternativwert weiter vom Trainer-Wert abwich. Die Auswahl wurde pro Objekttyp separat getroffen. Grundsätzlich unterschieden sich die Werte der Live-Zählung und der Angabe am Ende des Raums in den meisten Fällen nicht (vgl. Abb. 15). Es wurde schließlich für die Auswertung in über 90% aller Fälle der nach Durchlaufen des Raums angegebene Wert übernommen. (siehe Anhang 10)

Es lässt sich in den nun zusammengefassten Daten Folgendes beobachten. (vgl. Abb. 16 bis Abb. 19)

1. Enten wurden etwas häufiger übersehen als Waffen.
2. Es wurden laut Trainierenden und Trainern niemals Personen übersehen.
3. In Room1 und Room3 haben alle Trainierenden sowohl laut der eigenen Zählung als auch laut Trainerbewertung alle Objekte entdeckt. (fehlende Datensätze ausgeklammert)
5. In Room5 übersieht die Mehrzahl (9/11) der Trainierenden nach eigener Zählung mindestens ein Objekt.
 - a. Sieben dieser neun Personen übersehen entweder eine Ente oder eine Waffe.
 - b. ProbandIn06 übersieht jeweils eine Ente und eine Waffe.
 - c. ProbandIn07 übersieht zwei Enten und beide Waffen.
6. Die Trainerbewertung für Room5 stimmt größtenteils überein. (8/11)
 - a. ProbandIn05 wird eine Ente weniger zugesprochen.
 - b. ProbandIn08 wird eine Ente mehr zugesprochen.

7. In Room9 ist der Unterschied zwischen den gezählten Objekten und der Angabe aus der Trainerbewertung am größten.
 - a. Während ProbandIn02 angibt, alle Enten gesehen zu haben, wurden laut Trainern gar keine erfasst.
 - b. Auch in vier weiteren Fällen gehen die Angaben der Trainierenden und Trainer auseinander.
 - c. Laut zusammengefasster Trainerbewertung (Unsicher = Nein) haben die Mehrzahl der Trainierenden (6/9) mindestens eine Ente übersehen.
 - d. Alle ProbandInnen haben die Waffe entdeckt.
8. Bei Room10 gleichen sich die Zahlen der Trainer und der Trainierenden wieder etwas an.
 - a. Uneinigkeit gibt es in drei Fällen (2 Waffen, 1 Ente).
 - b. ProbandIn01 wird von den Trainern eine gesehene Waffe mehr zugesprochen.
 - c. ProbandIn07 dafür eine Waffe weniger.
 - d. ProbandIn02 hat laut Trainern eine Ente nicht gesehen. Gibt aber selbst an, diese gesehen zu haben.
 - e. Während alle anderen ProbandInnen alle Enten entdeckt haben, wurde oftmals eine Waffe übersehen (4/10 einstimmig).

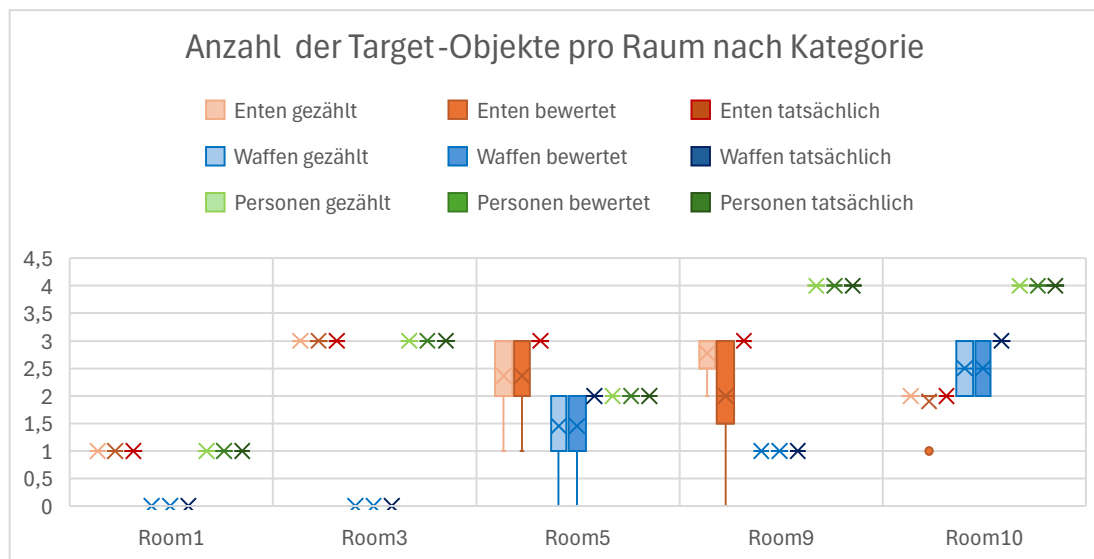


Abb. 16: Box-Plot der Anzahl der gezählten, bewerteten und tatsächlichen Objekte einer Kategorie pro Raum. Hier sind jeweils die Aussagen der Trainierenden (x gezählt), die Aussagen der TrainerInnen (x bewertet) und die tatsächliche Anzahl vorhandener Objekte einer Kategorie (x tatsächlich) pro Raum nebeneinander dargestellt. In Room1 und Room3 haben die ProbandInnen sowohl nach eigener als auch nach Trainer-Aussage alle Target-Objekte entdeckt. Die Personen wurden in allen Räumen vollständig erfasst.
 Quelle: Eigene Darstellung

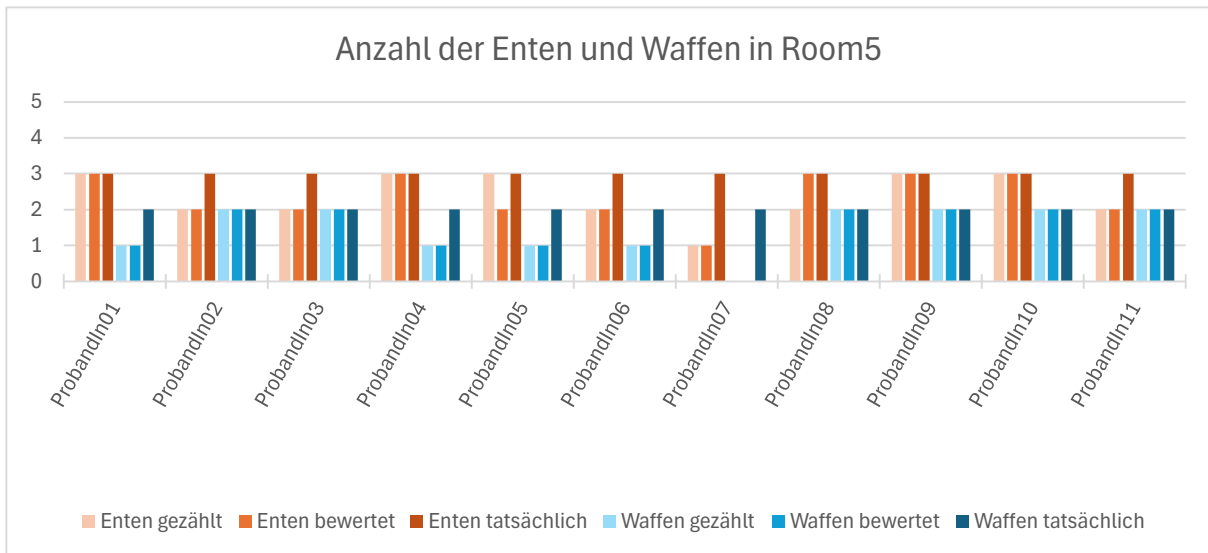


Abb. 17: Anzahl der pro Person gezählten und bewerteten Enten und Waffen in Room5. Jeweils die Angabe der trainierenden Person (gezählt) gegenübergestellt mit der Angabe der Trainer (bewertet) und der tatsächlichen Anzahl der Objekte im Raum (tatsächlich).
Quelle: Eigene Darstellung

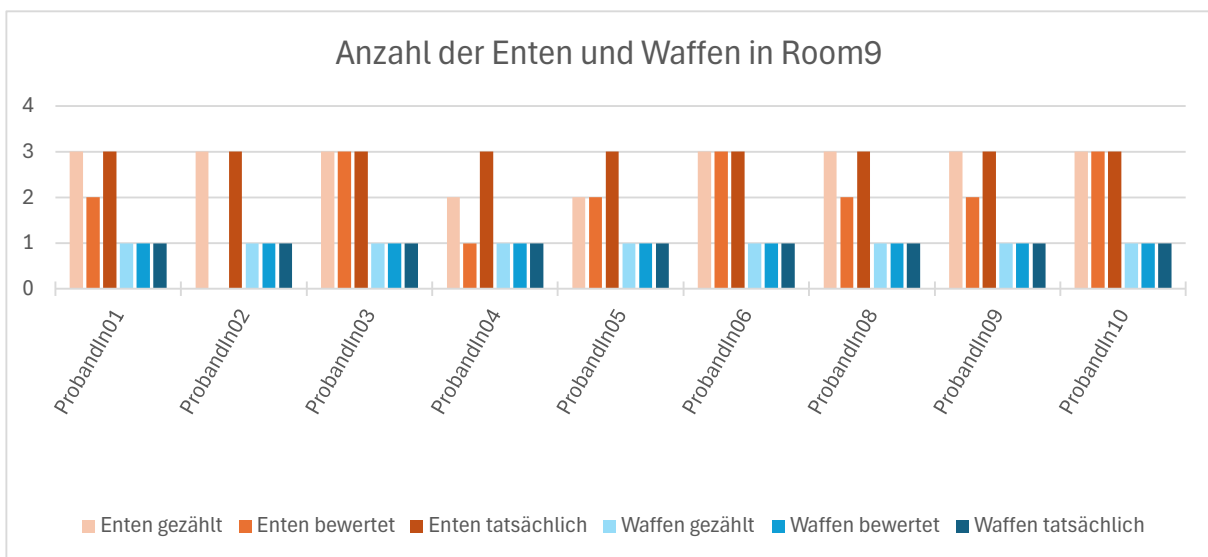


Abb. 18: Anzahl der pro Person gezählten und bewerteten Enten und Waffen in Room9. Jeweils die Angabe der trainierenden Person (gezählt) gegenübergestellt mit der Angabe der Trainer (bewertet) und der tatsächlichen Anzahl der Objekte im Raum (tatsächlich).
Quelle: Eigene Darstellung

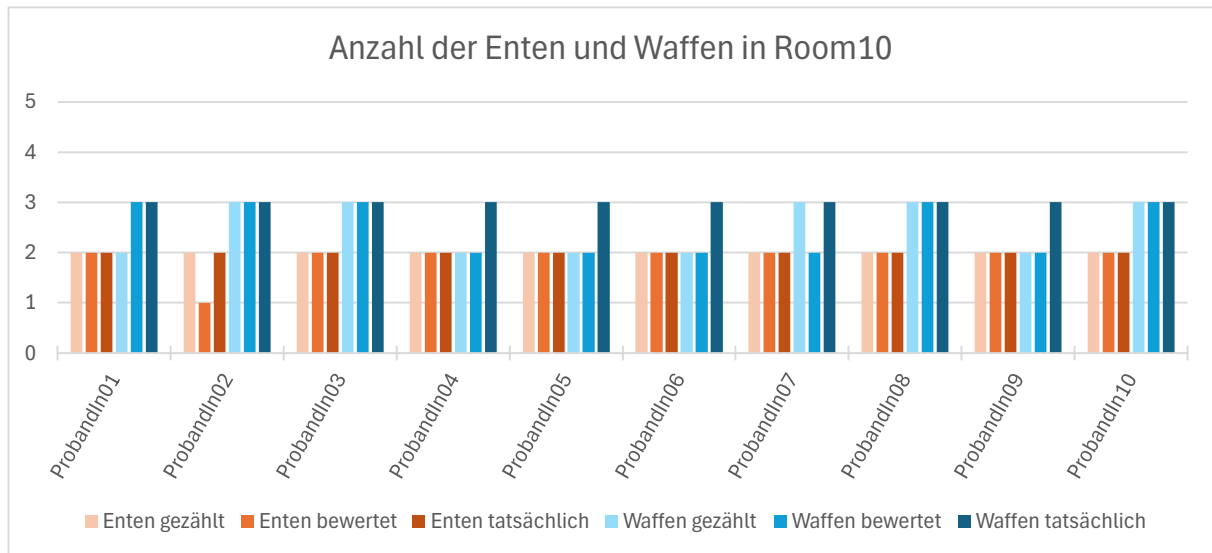


Abb. 19: Anzahl der pro Person gezählten und bewerteten Enten und Waffen in Room10. Jeweils die Angabe der trainierenden Person (gezählt) gegenübergestellt mit der Angabe der Trainer (bewertet) und der tatsächlichen Anzahl der Objekte im Raum (tatsächlich).
Quelle: Eigene Darstellung

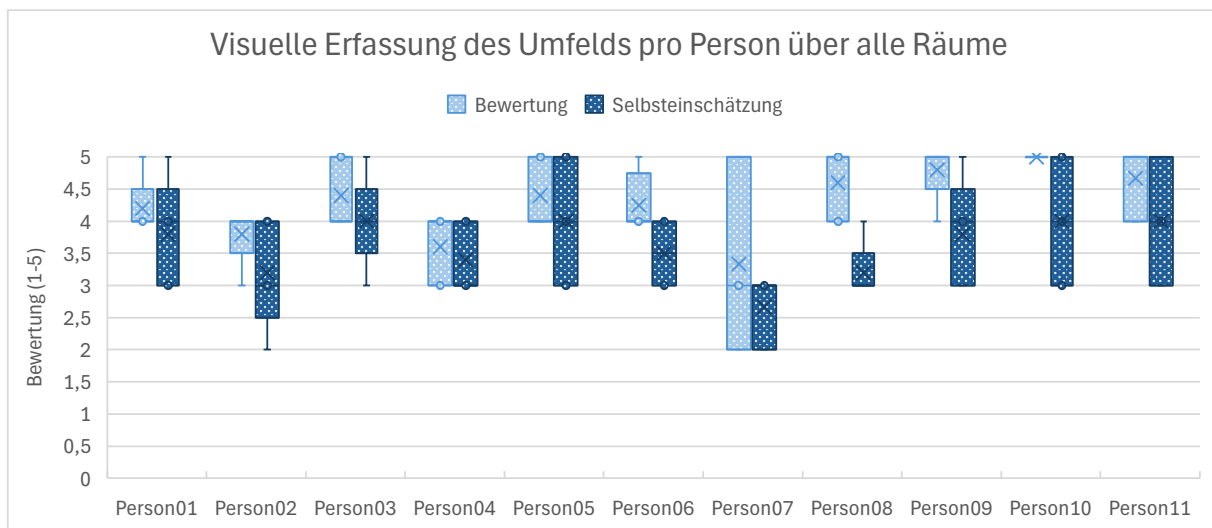


Abb. 20: Box-Plots - Visuelle Erfassung des Umfelds. Gegenüberstellung der Bewertung und der Selbsteinschätzung jeder Person über alle Räume. Die Selbsteinschätzung liegt im Mittelwert (x) stets unterhalb der Bewertung durch die Trainer.
Quelle: Eigene Darstellung

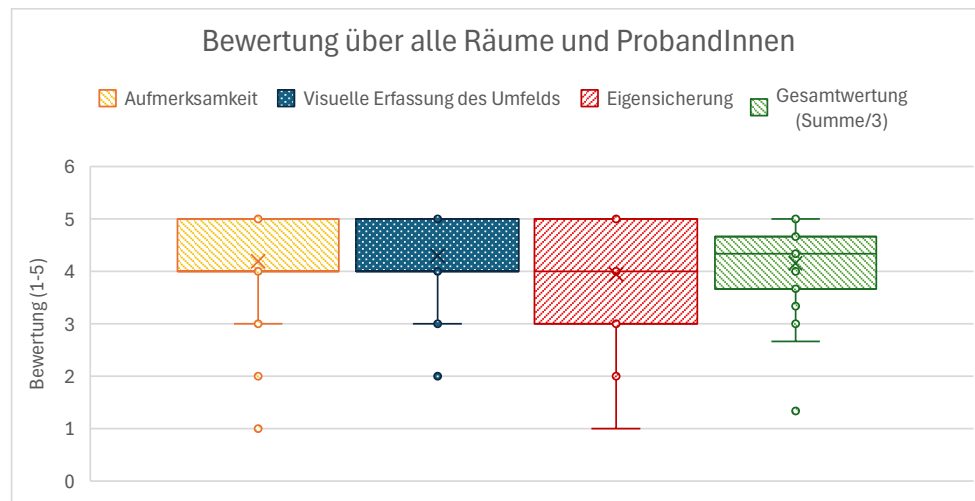


Abb. 21: Bewertung der Trainingsleistung.

Dargestellt ist die Bewertung in allen Kategorien durch die Trainer. (Linie =Median, X = Mittelwert)

Quelle: Eigene Darstellung

5.1.2 Bewertung der Trainingsleistung im Vergleich zur Selbsteinschätzung

Es wurden die Aufmerksamkeit, die visuelle Erfassung des Umfelds und die Eigensicherung der Trainierenden durch die Trainer bewertet. (siehe Abb. 21)

1. Die Trainierenden schneiden unterschiedlich gut ab.
2. Bis auf einige Ausreißer sind die Bewertungen oberhalb von 50% verteilt.
3. Die durchschnittliche Gesamtbewertung ist ebenfalls hoch. (Mittelwert = 4,15)
4. ProbandIn03 und ProbandIn10 haben mit jeweils rund 95% der Maximalpunktzahl die beste Gesamtbewertung. (vgl. Anhang 10)
5. ProbandIn07 hat mit rund 53% die schlechteste Gesamtbewertung.
6. Die visuelle Erfassung des Umfelds wird von den Trainern meistens (29/50) besser bewertet, als die Trainierenden sich selbst einschätzen. (vgl. Abb. 20)
7. Nur in drei Datensätzen kommt es zu einer höheren Selbsteinschätzung als vom Trainer bewertet. (vgl. Anhang 10)
 - a. Es sind drei unterschiedliche Personen in unterschiedlichen Räumen.
8. Die Aufmerksamkeit der Trainierenden wird in 84% aller Datensätze mit 4 oder besser bewertet. (vgl. Anhang 10)
9. Nur bei ProbandIn07 wurde die Aufmerksamkeit mehrmals mit 3 oder schlechter bewertet.
10. Bei der Bewertung der Eigensicherung gibt es zwischen den Datensätzen die größte Varianz.
11. Bei drei Personen wird die Eigensicherung in allen Räumen mit 3 oder schlechter bewertet.
12. Nur eine Person (ProbandIn03) konnte bei der Eigensicherung vollständig überzeugen.
 - a. Diese Person war kein Trainer.

5.1.3 Bewertung der Software durch die Trainer

Zusätzlich zu den Datensätzen, die das Training betreffen, gibt es noch die Datensätze der Trainer zur Usability der AAR-Anwendung. Zwei Trainer (Trainer 1 und 2) haben die Replays in der AAR-Anwendung mit allen Overlays angesehen und gemeinsam bewertet. Im Anschluss haben sie jeweils den Bewertungsbogen für die Usability der Software ausgefüllt (siehe Anhang 11).

1. Die Trainer mit der AAR -App mit allen Overlays konnten die Aufmerksamkeit der Trainerenden gut nachvollziehen. (5 von 5)
2. Während einer der Trainer genug Informationen hatte, um zu bewerten, ob ein Objekt gesehen wurde (5 von 5), ist sich sein Teampartner nicht so sicher. (4 von 5)
3. Beide Trainer sehen noch ein wenig Luft nach oben und hätten sich evtl. noch mehr visuelle Hilfen gewünscht. (2 von 5).
4. Trainer 2 präzisiert das in einem Kommentar.
 - a. Er wünscht sich, dass die rote Färbung gesehener Objekte durch Objekte durchscheint, die diese verdecken.
 - b. Zudem wünscht er sich, dass die Anzahl entdeckter Objekte direkt eingeblendet wird.

5.2 Hypothesentests

Während einige Aussagen bereits durch die deskriptive Auswertung der Daten getroffen werden können, sollen nun konkret die aufgestellten Hypothesen geprüft werden. Dazu wird für jede Hypothese der passende Hypothesentest ermittelt, beschrieben und durchgeführt. Zu den Ergebnissen wird auf die Signifikanz ermittelt, um bestimmen zu können, ob diese ausreicht, um die Nullhypothese zu verwerfen.

Hypothese 1: Die AAR-App gibt korrekt wieder, welche Objekte gesehen wurden.

Diese Hypothese wird anhand der gezählten Enten untersucht und wurde folgendermaßen operationalisiert:

H1_0: Enten gezählt = Enten bewertet

H1_1: Enten gezählt \neq Enten bewertet

Es liegt eine ungerichtete Unterschiedshypothese vor. Diese kann mittels zweiseitigem t-Test für abhängige Stichproben geprüft werden.

Der zweiseitige t-Test für unabhängige Variablen in Excel zeigt, dass der Unterschied zwischen gezählten Enten und der Anzahl der erfassten Enten aus der Bewertung nicht signifikant ist. ($t(49) = 1,778$, $p = 0,082$)

Da in *RStudio* allerdings das gegenteilige Ergebnis herauskommt ($t(49) = 2,064$, $p = 0,044$), ist dieses Ergebnis noch einmal genauer zu prüfen.

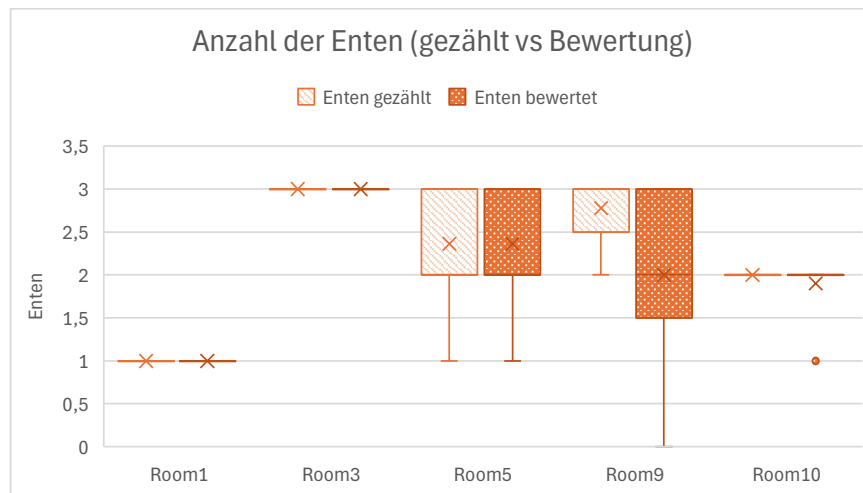


Abb. 22: Box-Plots der pro Raum erfassten Enten über alle Personen. Gegenüberstellung der Anzahl der Enten, die laut ProbandInnen (gezählt) und laut Trainern (bewertet) von den Trainierenden erfasst wurden. Quelle: Eigene Darstellung

Sowohl ein Shapiro-Wilk-Test in *RStudio* ($w = 0,469$, $p = 3.87e-12$) als auch das Histogramm zeigen, dass die Daten nicht normalverteilt sind. Somit muss statt dem t-Test ein Wilcoxon-Test durchgeführt werden.

Der Wilcoxon-Test in *RStudio* kommt zum selben Ergebnis, wie der t-Test in *RStudio*. Der Unterschied zwischen den gezählten und bewerteten Enten ist signifikant. ($v = 32$, $p = 0,042$)

Da der p-Wert von 0,042 unterhalb des festgelegten Signifikanzniveaus von 0,05 liegt, kann die Nullhypothese verworfen und die Alternativhypothese angenommen werden. Da in diesem Fall jedoch die Nullhypothese postuliert wurde, bedeutet dies, dass Hypothese 1 somit widerlegt ist.

Hypothese 2: Ein hoher Prozentsatz erfasster Objekte (genannt durch die trainierende Person) korreliert mit einer hohen Bewertung durch den/die TrainerIn.

Hier wird der Zusammenhang zwischen der gezählten Anzahl der Objekte im Raum mit der Bewertung der visuellen Erfassung der Umgebung durch den Trainer geprüft. Operationalisiert zu:

H2_0: Kein Zusammenhang oder negativer Zusammenhang ($\rho \leq 0$)

H1_1: Positiver Zusammenhang ($\rho > 0$)

Es liegt eine gerichtete Zusammenhangshypothese vor. Es wird ein positiver Zusammenhang zwischen dem Prozentsatz erfasster Objekte und der Bewertung durch den/die Trainer erwartet, also eine bivariate Korrelation. Da die erste Variable (Prozentsatz gezählter Objekte) zwar metrisch ist, die zweite Variable (Bewertung) jedoch nur ordinal, muss der Korrelationskoeffizient r mittels Spearman-Korrelation ermittelt werden. Dafür muss der Prozentsatz der erfassten Objekte in eine Skala von Rängen überführt werden. Die einfachste Möglichkeit dafür ist, alle verschiedenen Prozentwerte aufsteigend zu sortieren

und dann von 1 beginnend Stufen zuzuordnen. Da in diesem Fall die Objektanzahl pro Raum unterschiedlich ist, wobei die höchste Anzahl neun ist, wurde eine Skala von 1-10 verwendet, in der ein Rang einem Bereich von 10% entspricht. Diese ließ sich gut auf die verschiedenen Räume mappen.

In *RStudio* wählt die Funktion *cor.test()* automatisch die passende Korrelation (Pearson oder Spearman) und führt einen t-Test für das Ergebnis durch. Dabei wird die erwartete Polarität (hier positiver Zusammenhang) als Parameter übergeben. Der Test zeigt, dass zwischen dem Prozentsatz der erfassten Objekte und einer hohen Bewertung des Trainers eine positive Korrelation von $r = 0,544$ besteht. Mit einem sehr kleinen p-Wert ($t(48) = 4,498$, $p = 2,178e-05$, 95% Konfidenzintervall $[0,355 \ 1,0]$) ist dieser Effekt signifikant und die Nullhypothese kann verworfen werden. Hypothese 2 ist somit bestätigt.

Hypothese 3: Eine hohe Selbsteinschätzung der trainierenden Person korreliert mit einer hohen Bewertung der visuellen Erfassung des Umfelds durch den/die TrainerIn

Hier wird der Zusammenhang zwischen der Selbsteinschätzung der Erfassung der Umgebung durch die trainierende Person mit der Bewertung der visuellen Erfassung der Umgebung durch den Trainer geprüft. Aus der Operationalisierung der Hypothese ergeben sich:

H2_0: Kein Zusammenhang oder negativer Zusammenhang ($\rho \leq 0$)

H1_1: Positiver Zusammenhang ($\rho > 0$)

Es liegt eine gerichtete Zusammenhangshypothese vor. Es wird ein positiver Zusammenhang zwischen der Selbsteinschätzung der trainierenden Person und der Bewertung durch den/die Trainer erwartet, also eine bivariate Korrelation.

In *RStudio* wird erneut ein Korrelationstest durchgeführt, der zeigt, dass eine positive Korrelation von $r = 0,419$ zwischen der Selbsteinschätzung und der Trainerbewertung besteht. Der p-Wert liegt erneut deutlich unter dem Signifikanzniveau von 0,05 ($t(48) = 3,2$, $p = 0,001$, 95% Konfidenzintervall $[0,204 \ 1,0]$) womit der Effekt signifikant ist und die Nullhypothese verworfen werden kann. Hypothese 3 ist also bestätigt.

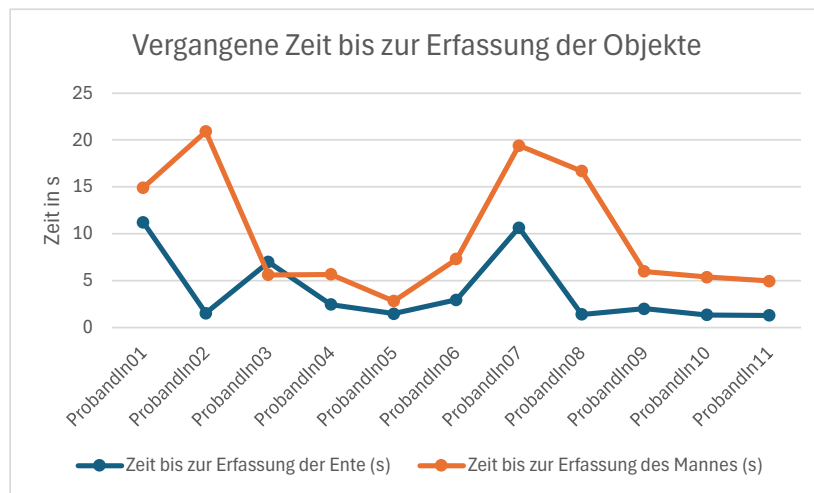


Abb. 23: Dauer bis zur Erfassung der Ente bzw. des Mannes in Room1.
Die Dauer wurde vom Öffnen der Tür an gemessen. Die letzten drei ProbandInnen sind Trainer.
Quelle: Eigene Darstellung

Hypothese 4: Unterschiede in der Aufmerksamkeit und Trainingsleistung sind eindeutig im Replay zu erkennen.

Diese Hypothese wurde operationalisiert zu:

H4_0: Aussage 1 wird durchschnittlich höchstens mit 3 bewertet.

H4_1: Aussage 1 wird durchschnittlich mit mehr als 3 bewertet.

Da jedoch nur zwei von fünf Trainern (mit allen Overlays) bis zum Ende an der Bewertung teilgenommen haben, gibt es nur zwei Datensätze, die eine statistische Auswertung obsolet machen.

Beide Trainer stimmen der Aussage „Ich konnte die Aufmerksamkeit der Trainierenden gut nachvollziehen“ in vollem Umfang zu (5 von 5).

Es ist jedoch eine alternative Auswertung der Replays zur Prüfung der Hypothese möglich:

Es wird für alle ProbandInnen jeweils die Zeit gemessen, die in Room1 vom Öffnen der Tür bis zur ersten Fixation der Ente und des Mannes vergeht. Als „Öffnen der Tür“ gilt dabei der Moment, sobald das im Overlay angezeigte Sichtfeld durch den Türspalt gelangt. Als Fixation gilt jeder Blick, der das Objekt entweder für 300 ms im fovealen Sichtfeld hält oder bei dem der Eye-Tracking-Punkt auf dem Objekt zu sehen ist. Zusätzlich kann die zeitliche Differenz von der Erfassung der Ente bis zur Erfassung des Mannes berechnet werden.

Abb. 23 zeigt, dass deutliche Unterschiede im Vorgehen der ProbandInnen möglich sind. Sowohl ein spätes Erfassen des ersten Objektes (ProbandIn01, ProbandIn07) als auch eine lange Zeitspanne zwischen der Erfassung der Ente und der Erfassung des Mannes (ProbandIn02, ProbandIn08) sind Zeichen für geringere Aufmerksamkeit und Trainingsleistung und bei Zeiträumen von über 10 s auch für Laien deutlich im Replay wahrzunehmen. Zu sehen ist auch, dass das Verhalten der Trainer (ProbandIn09, -10, -11) deutlich homogener ist als das der Auszubildenen.

Hypothese 5: Die Overlays unterstützen sinnvoll die Bewertung der Trainingsleistung

Für Hypothese 5 konnten aufgrund des Mangels an verfügbaren Trainern keine Daten erhoben werden. Die Prüfung der Hypothese ist somit nicht möglich. Es können lediglich Schlüsse aus dem Usability-Interview mit Trainer01 gezogen werden.

5.3 Qualitative Auswertung der Beobachtungen, Kommentare und des Usability-Interviews

Während der Untersuchung wurden einige Beobachtungen durchgeführt und notiert. So fiel etwa bei den Trainierenden auf, dass mehrere Personen zuerst Schwierigkeiten beim Öffnen der Türen hatten. Einige ProbandInnen haben bei der lauten Beschreibung der Objekte, die sie sehen, zusätzliche Kommentare abgegeben, die von einer erhöhten Aufmerksamkeit zeugten. Dabei wurde etwa die Kleidung und das Aussehen von Personen beschrieben. ProbandIn04 hat etwa darauf geachtet, ob die Personen möglicherweise verletzt sind. ProbandIn03 hat hingegen sehr vorbildlich sichergestellt, dass die Personen nichts in der Hand halten.

Am Ende ihres Durchlaufs wurden alle BeamtInnen in Ausbildung von einem der Trainer gefragt, ob sie sich vorstellen könnten, mit der Anwendung tatsächlich zu trainieren. Die meisten von Ihnen haben sich positiv dazu geäußert (7/8), wobei die Antwort bei einer Person zögerlich und nicht ehrlich wirkte. Die übrige Person hat das Training mit der Anwendung nicht ausgeschlossen, aber ihre Skepsis bezüglich des Mehrwerts geäußert.

Auch bei der Bewertungs-Session der Trainer konnten einige Beobachtungen gemacht werden. Die Trainer starten immer in der Top-Down-Ansicht und wechseln dann später in die Ego-Perspektive, um ihre Einschätzung bezüglich der erfassten Objekte zu verifizieren. Die Orbit-Kamera wird eher selten benutzt. Zum Beispiel um zu prüfen, ob Objekte rot gefärbt wurden, die in der Top-Down-Ansicht durch Möbel verdeckt sind. Während des Bewertungsprozesses vielen auch einige Kommentare. So wurde etwa mehrfach erwähnt, dass die Darstellung des Sichtfelds sehr hilfreich sei. Ein Trainer präzisiert:

„Die Sichtfelddarstellung hilft, gut zu vermitteln, dass man wirklich ganz bis in die Ecken gucken soll.“

Allerdings wurden auch Wünsche geäußert. Konkret wurde hier eine vollständige Heat-Map genannt, die anzeigt, welche Teile des Raums bereits vollständig erfasst wurden.

Neben der Bewertung der Software per Likert-Skala hat Trainer02 auch Kommentare auf seinem Bewertungsbogen hinterlassen (siehe Anhang 11). Als Ersatz, für das Usability-Interview, für das er keine Zeit mehr hatte. Hier schreibt er, dass es teilweise schwierig war, *„zu bewerten, ob ein Objekt unter einem Möbelstück gesehen wurde.“* (Trainer02) und macht dazu den Verbesserungsvorschlag:

„Wenn das Objekt bei der Auswertung durch das Möbelstück ‚leuchten‘ würde, könnte die Bewertung schneller erfolgen.“ (Trainer02)

Des Weiteren wünscht er sich „Eine Übersicht, wieviel Objekte von der Gesamtzahl der zu sehenden Objekte wahrgenommen wurden.“ Diese wäre „für den Teilnehmer sowie für den Trainer interessant.“ (Trainer02)

5.3.1 Kritik und Verbesserungsvorschläge der Trainer

Den Aussagen der Trainer lässt sich entnehmen, dass ihnen die Bewertung mit der AAR-App aktuell noch zu zeitaufwändig ist. Konkret werden zwei Verbesserungswünsche von zwei Trainern geäußert:

1. Sie wünschen sich eine Funktion, dass durch Fixation rot markierte Objekte auch durch verdeckende Objekte hindurch sichtbar sind.
2. Sie wünschen sich beim Laden einer Szene direkt eine schriftliche Übersicht der erfassten Objekte, die sie nur noch auf Richtigkeit überprüfen müssen.

5.3.2 Usability-Interviews

Aus organisatorischen Gründen, konnte nur ein Usability-Interview mit Trainer01 geführt werden (Anhang 4). Zur Auswertung wurden die Aussagen aus dem Interview nach dem Kodierleitfaden in Anhang 5 verschiedenen Haupt- und Unterkategorien zugeordnet.

Zuerst wurden ein paar Fakten zu Trainer01 ermittelt, um dessen weitere Aussagen besser einordnen zu können. Trainer01 ist Einsatztrainer und hat bereits einmal ein anderes VR-Trainingssystem ausprobiert. Das damals getestete System hat den Anforderungen der Trainer nicht standgehalten und hat einen schlechten Eindruck hinterlassen. Der Technologie gegenüber ist Trainer01 jedoch aufgeschlossen.

Über das entsprechende Konkurrenzprodukt sagt Trainer01, dass damit die taktische Zusammenarbeit im Team trainiert werden sollte. Der schlechte Eindruck entstand dadurch, dass es „immer wieder Störungen“ (Trainer01) gab und die Identifikation der Teammitglieder schwierig war.

Trainer01 positioniert das hier untersuchte Trainingssystem direkt besser als seine damalige Erfahrung und attestiert diesem einen „wirklichen Mehrwert“ (Trainer01).

Aus dem Interview können einige Lehrinhalte ermittelt werden, die mit dem Trainingssystem vermittelt werden sollen:

- Die Trainierenden sollen lernen, den Raum beim Betreten mit ihren Blicken „richtig aufzuschneiden“. Dabei soll ihnen klar werden, welchen Gefahren sie sich möglicherweise aussetzen, wenn sie das nicht tun.
- Sie sollen sich „tote Bereiche“ (noch nicht sichtbare Bereiche) bewusst machen und diese schnell einnehmen.
- Dann soll der Raum „ausgelaufen“ werden. Das heißt, die Trainierenden bewegen sich an der Wand entlang und schauen in den Raum hinein.

- Anschließend soll die Suche nach gefährlichen Gegenständen oder Personen im Raum begonnen werden.
- Dabei ist wichtig, dass die Trainierenden lernen, auf mittlerer Höhe und nicht auf den Boden zu gucken. Der Blick auf den Boden soll erst erfolgen, wenn dort etwas peripher wahrgenommen wird.
- Das Ziel ist es, den gesamten Raum möglichst schnell wahrzunehmen.

Aus diesen Lernzielen ergeben sich Anforderungen an die Software, die teilweise auch konkret genannt werden:

- Um zu sehen, wie der Raum betreten oder ob er „ausgelaufen“ wird, ist eine möglichst präzise Darstellung des Charakters in der AAR-App nötig.
- Um die Blickführung bewerten zu können, muss zum einen die Blickrichtung der Augen und zum anderen der aktuelle Fixationspunkt dargestellt werden.
- Um tote Bereiche klar zu sehen und zu bewerten, ob diese zu einem späteren Zeitpunkt eingesehen wurden, ist die Darstellung eines Sichtkegels nötig.

Laut Trainer01 wird ein Großteil dieser Anforderungen in der AAR-App bereits erfüllt. Er fand es:

„einfach beeindruckend, zu sehen, was man in diesem ‚Game‘ alles darstellen kann. [...] wo man tatsächlich Probleme bekäme, wenn man den Raum nicht vernünftig aufschneidet“ (Trainer01).

Er empfand die Einblendung der Overlays als „Sehr wichtig“ (Trainer01). Durch die verschiedenen Kameraperspektiven konnte er sich in die Trainierenden *„ziemlich gut hineinversetzen.“* (Trainer01) und hatte das Gefühl, die Aufmerksamkeit und Wahrnehmung der Trainierenden gut nachvollziehen zu können. Dafür hat er immer zuerst mit der Top-Down-Ansicht gearbeitet und ist dann in die Egoperspektive gegangen, um aus der Sicht des Trainierenden seine Einschätzung zu verifizieren. Die Overlays hat er alle dauerhaft verwendet. Über die Features der AAR-App sagt er:

„Also das ist genau das, was ich brauche. Wenn das nicht gegeben wäre, dann könnte ich eine Fehleinschätzung treffen und/oder den Schützling nicht im Nachgang unterstützen: Was kann er besser machen? Wo sollte er besser drauf achten? Also von daher wichtig.“ (Trainer01)

Auch darüber hinaus wird der Mehrwert der Visualisierungsmöglichkeiten der AAR-App mehrfach deutlich. So stellt Trainer01 etwa im Replay fest:

„Mensch, der hat teilweise Bereiche aufgemacht, die ich so aus der Vogelperspektive gar nicht gesehen habe.“ (Trainer01)

Zu einem anderen Zeitpunkt beschreibt er wie ihn auch die gegenteilige Situation in der Egoperspektive überrascht hat:

„Da ist mir bewusst geworden, dass die ProbandInnen sehr stark fokussiert waren in Richtung Boden. Das ist nicht mein Ziel.“ (Trainer01)

Er fasst seine Erfahrung mit der AAR-App folgendermaßen zusammen:

„Also das, was die Software jetzt schon bietet, ist ja eigentlich, was für uns sehr wichtig ist. Also Wahrnehmung. Und da habt Ihr ja schon recht viele Features drin.“ (Trainer01)

Allerdings kam es auch zu Situationen, wo Trainer01 unsicher war, ob ein Objekt gesehen wurde oder nicht. Eine konkrete Änderung würde er sich wünschen, um sicherer bewerten zu können:

„Was mir persönlich tatsächlich gefehlt hat, war die Geschichte, dass ich den Blickwinkel des Probanden nur auf einer Ebene beurteilen kann. Für mich wäre es wichtig, dass ich es nicht nur horizontal wahrnehme, sondern auch vertikal.“ (Trainer01)

Für die Zukunft würde er sich zudem eine dynamische Geräuschkulisse, animierte und interaktive Personen bzw. die Möglichkeit wünschen Täter per NPCs oder SchauspielerInnen darzustellen, mit denen interagiert werden kann.

Dennoch hat das Trainingssystem für ihn jetzt schon einen deutlichen Mehrwert denn:

„hier war schon mal der Vorteil, dass wir unterschiedliche Räumlichkeiten mit unterschiedlichem Mobiliar hatten.“ (Trainer01)

Trainer01 würde das System sogar jetzt schon im realen Trainingskontext einsetzen: *„Im Bereich der lebensbedrohlichen Einsatzlagen, um hier die Visualisierung zu schulen“ (Trainer01)*. Im Rahmen der Polizeiausbildung sieht er dafür allerdings noch ein Problem, *„denn aktuell fehlt die Zeit. Es ist NOCH zeitaufwändig“ (Trainer01)*.

Er betont jedoch:

„Für mich wäre es tatsächlich ein adäquates Mittel, um zunächst einmal Kräfte zu schulen, wo ich eine Tagesveranstaltung mache, wo man dann aufbauend arbeiten kann.“ (Trainer01)

Insgesamt zeigt sich bei Trainer01 also ein positiver Eindruck. Seine Basis-Anforderungen werden von der Software erfüllt und es ist für ihn an mehreren Stellen ein Mehrwert des Trainingssystems vorhanden. Er wünscht sich zwar noch einige Verbesserungen/Erweiterungen, hält die Nutzung des Systems in realen Trainingskontext aber bereits im aktuellen Zustand für realistisch.

6 Diskussion und Fazit

Auf Basis der Ergebnisse lassen sich einige Hypothesen bestätigen. Die Trainer attestieren der AAR-Anwendung einen Mehrwert beim Training und der Großteil der Trainierenden kann sich vorstellen, mit der VR-Anwendung zu trainieren. Allerdings sind die Ergebnisse zum Teil einzuschränken und auch die Entwicklung der Anwendung lief nicht reibungslos. Im folgenden Abschnitt sollen die Leitfragen beantwortet und Einschränkungen der Ergebnisse und der Software sowie Schwierigkeiten bei der Entwicklung und Untersuchung besprochen werden.

6.1 Auffälligkeiten bei Hypothesentests und Beantwortung der Leitfragen

Ziel war die Entwicklung eines Trainingssystems, das mit einfacher Hardware (Android-VR-Headset und PC) einen Mehrwert für das Wahrnehmungstraining bei der Polizei bietet. Zur Evaluation der Anwendung wurden zu Beginn folgende Leitfragen aufgestellt, die nun auf Basis der Ergebnisse beantwortet werden sollen:

1. **Kann die AAR-Anwendung die Leistung der Trainierenden so darstellen, dass diese eindeutig bewertet werden kann?**
2. **Können TrainerInnen die Leistung der Trainierenden mit den Overlays der Anwendung besser beurteilen als mit einem reinen Replay mit untersch. Kameraperspektiven?**
3. **Lässt sich aus Beobachtungen und Befragungen ein Mehrwert des Systems für die TrainerInnen und Trainierenden ableiten?**

6.1.1 Frage nach der eindeutigen Bewertbarkeit der Trainingsleistung per AAR-App

Die erste Forschungsfrage soll durch die Prüfung der Hypothesen 1 bis 4 beantwortet werden, deren Ergebnisse sehr unterschiedlich ausfallen. Hypothese 1 postuliert, dass die AAR-App technisch die Wahrheit anzeigt. In den Tests für Hypothese 2 und 3 wurde hingegen geprüft, ob die resultierenden Trainerbewertungen die Leistung und Selbsteinschätzung der Trainierenden widerspiegeln. Mit Hypothese 4 wurde schließlich geprüft, ob sich wichtige Aspekte der Trainingsleistung mit den Replays bestimmen lassen.

Hypothese 1 wurde mit dem Wilcoxon-Test widerlegt. Es gibt einen signifikanten Unterschied, zwischen den gezählten Enten, und der Anzahl der erfassten Enten, die der Trainer bewertet. Allerdings prüft der Wilcoxon-Test, ob sich der Median von Variable 1 vom Median von Variable 2 unterscheidet. Ein Boxplot der Daten zeigt jedoch, dass der Median beider Variablen genau 2 ist. Eine alternative Auswertungsmöglichkeit wäre die separate Auswertung pro Raum. So würde sichergestellt werden, dass keine Abhängigkeiten durch das mehrfache Auftreten derselben Person ignoriert werden. Bei einer Testung pro Raum können Room1 und Room3 ignoriert werden, da dort sowieso alle Werte für beide

Variablen gleich sind (Abb. 22). Es liegt also eindeutig kein Unterschied vor. Für Room5, Room9 und Room10 lassen sich wieder Wilcoxon-Tests durchführen. Diese kommen zu folgenden Ergebnissen:

Room5 ($v = 1,5$, $p = 1$), Room9 ($v = 15$, $p = 0,048$), Room10 ($v = 1$, $p = 1$)

Demnach wäre nur bei Room9 ein signifikanter Unterschied vorhanden. Allerdings gibt der Wilcoxon-Test in *RStudio* für Room5 und Room9 Warnmeldungen aus, dass das geforderte Konfidenzniveau nicht erreicht werden kann. Es ist zu vermuten, dass die Daten nicht geeignet sind, mit solchen statistischen Tests ausgewertet zu werden, da es nur die diskreten Werte 0 bis 9 in den Daten gibt und auch der Median somit immer entweder gleich bleibt oder bereits stark abweicht.

Für die Erkenntnisse bezüglich der Nutzbarkeit der Anwendung hat die deskriptive Auswertung hier einen höheren Wert. Diese zeigt, dass die Trainer sich in 84% der Situationen mit den Trainierenden einig sind, wie viele Objekte erfasst wurden. Besonders wichtig ist die Erkenntnis, dass bei 5 der 8 Fehlbewertungen „unsicher“ angegeben wurde. Bei ProbandIn02 wurde zudem für eine Ente in Room9 keine Angabe gemacht. Bis auf einen Einzelfall in Raum 5 unterstellen die Trainer den Trainierenden bei Unsicherheiten stets, weniger Enten gesehen zu haben. Durch einen Vergleich der Replays und Timestamps der genannten Objekte mit den Angaben der Trainer fällt auf, dass die Unsicherheiten in Situationen auftreten, wo eine Ente sich zum Beispiel unter einem Möbelstück befindet und von der trainierenden Person zu keinem Zeitpunkt direkt fixiert wird. An dieser Stelle ist eine technische Grenze der Anwendung erreicht, da mittels Eyetracking nur Objekte hervorgehoben werden können, die direkt fixiert werden. Ist das nicht möglich, kann nur mithilfe der Einblendung des fovealen und peripheren Sichtfelds abgeschätzt werden, ob das Objekt lange genug im Sichtfeld war, um registriert zu werden. Eine weitere Hürde ist hierbei, dass ein Objekt selbst peripher ausreichend wahrgenommen werden kann, um es zu zählen. Einzig die Vergewisserung oder Analyse, um was für ein Objekt es sich genau handelt, ist ausschließlich im fovealen Sichtfeld möglich. Die Ergebnisse zeigen also in erster Linie, dass mittels Eyetracking und Overlays in den meisten Fällen das korrekte Objekt als wahrgenommen identifiziert werden kann, jedoch trotzdem ein Bewusstsein dafür nötig ist, dass einige Entscheidungen bei der Bewertung nur durch Erfahrungswerte getroffen werden können.

Hypothese 2 spricht für eine brauchbare Darstellung der Trainierenden. Denn mit einem Korrelations-test konnte Hypothese 2 bestätigt und gezeigt werden, dass Trainierende eine gute Bewertung erhalten, wenn sie möglichst viele der vorhandenen Target-Objekte in einem Raum registriert haben. Das ist insofern entscheidend, dass zur Korrelation die Angaben der Trainierenden verwendet wurden, die dem bewertenden Trainer unbekannt waren. Somit ist eine der wichtigsten Voraussetzungen für ein Trainingssystem erfüllt: Ungeachtet dessen, ob im Replay für alle Objekte korrekt identifiziert wurde, ob sie gesehen wurden oder nicht, kommen die TrainerInnen zu einer Bewertung, die im Verhältnis zur tatsächlichen Leistung angemessen ist. Einschränkend muss gesagt werden, dass die Angaben der Trainierenden weder der tatsächlichen Wahrheit entsprechen müssen noch eine Korrelation zwischen Leistung

und Bewertung eine 100% faire und korrekte Bewertung bedeutet. Durch diese Ergebnisse wird lediglich bestätigt, dass eine angemessene Bewertung der Trainingsleistung mit der AAR-App möglich ist. Bestärken soll dies Hypothese 3.

Denn genau wie zwischen den gezählten Objekten und der Bewertung der visuellen Erfassung des Umfelds konnte ebenfalls ein positiver Zusammenhang zwischen der Selbsteinschätzung der ProbandInnen und der Bewertung der Trainer bestätigt werden. Somit ist auch Hypothese 3 bestätigt und verstärkt damit die Aussagekraft von Hypothese 2. Mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,419$ ist die Korrelation allerdings nur mittelmäßig stark. An dieser Stelle sollte bedacht werden, dass eine Selbsteinschätzung auch nur dazu dienen kann, eine Tendenz festzustellen, da einige Personen ihre Leistung selbst überschätzen, während noch wesentlich mehr Personen ihre eigene Leistung unterschätzen. Ein direkter Vergleich der Werte wäre somit gar nicht sinnvoll. Auch in den vorliegenden Datensätzen kam es nur dreimal zu einem höheren Wert in der Selbsteinschätzung als in der Trainerbewertung. In über der Hälfte der Datensätze (56%) haben die Trainierenden ihre Leistung mindestens einen Punkt schlechter eingeschätzt als die Trainer. Acht Mal wurde sogar eine um zwei Punkte schlechtere Selbsteinschätzung abgegeben. Auf einer Skala von 1 bis 5. Somit ist klar, dass die Bestätigung von Hypothese 3 keiner besonders starken Aussage gleichkommt.

Hypothese 4 beschäftigt sich mit einem anderen Teil der Bewertung: Der Bewertung der Aufmerksamkeit. Auch wenn kein statistischer Hypothesentest durchgeführt wurde, konnte durch die unterschiedlichen Zeitpunkte der Erfassung der Target-Objekte in Room1 gezeigt werden, dass Unterschiede im Verhalten der Trainierenden deutlich sichtbar sind und als Grundlage für die Bewertung der Aufmerksamkeit verwendet werden können. Auch beide Trainer, die mit der AAR-App bewertet haben, stimmen mit der Aussage „Ich konnte die Aufmerksamkeit der Trainierenden gut nachvollziehen“ voll überein.

Die Ergebnisse der Hypothesen 2 bis 4 sprechen für eine positive Beantwortung der ersten Forschungsfrage. Im Zusammenspiel mit einer bestätigten Hypothese 1 wäre klar, dass die AAR-Anwendung eine eindeutige und korrekte Bewertung der Trainingsleistung ermöglicht. Da Hypothese 1 jedoch nicht bestätigt werden konnte, kann die Forschungsfrage noch nicht abschließend beantwortet werden. Die Ergebnisse aus Room1 und Room3 zeigen, dass eine eindeutige und unmissverständliche Bewertung in einigen Fällen möglich ist. Das ist dann der Fall, wenn ein Objekt quasi „unübersehbar“ ist, sobald man in seine Richtung guckt. Auch ist eine eindeutige Bewertung möglich, wenn Objekte von den Trainierenden konkret fixiert werden. Dann sind die Objekte im fovealen Sichtfeld und der Eyetracking-Punkt liegt auf dem Objekt. Keine eindeutige Bewertung ist hingegen in Situationen möglich, in denen der foveale Sichtkegel nur innerhalb einer scheinbaren Sakkade über das Objekt gewandert ist, sich das Objekt nur im peripheren Sichtfeld befand oder die Blickachse zum Teil durch andere Objekte verdeckt und das Target-Objekt so weit weg war, dass es für die bewertende Person schlicht nicht möglich ist zu beurteilen, ob das Objekt nur gesehen oder auch aktiv wahrgenommen wurde. Es wird hierfür zeitnah

keine technischen Lösungen geben. Es wäre aber möglich, durch gezieltere Untersuchungen weitere Kriterien zu identifizieren, mit denen eine eindeutige Bewertung möglich ist.

6.1.2 Frage nach dem Mehrwert der Overlays zur Bewertung der Trainingsdurchläufe

Hypothese 5 konnte als einzige Hypothese gar nicht geprüft werden, da es schlicht im zeitlichen Rahmen der Arbeit nicht möglich war, ausreichend fachkundige Trainer zu organisieren, die die Bewertungen der Trainingsdurchläufe hätten durchführen können. Somit kann auch die zweite Forschungsfrage nicht beantwortet werden. Im Usability-Interview äußert Trainer01 jedoch seine Zufriedenheit mit den Overlays, die ihm nun zur Verfügung stehen. Da ohne die Overlays nicht eindeutig sichtbar ist, was eine Person gesehen hat und wo sie nur in die passende Richtung geschaut hat, ist es anzunehmen, dass die Overlays einen notwendigen Mehrwert bieten. Um das tatsächlich herauszufinden, müsste die Bewertung der Trainingsdurchläufe allerdings noch einmal mit ausreichend vielen Trainern in beiden Versionen (mit und ohne Overlays) wiederholt werden. Nur so können repräsentative Daten erhoben werden, die zeigen, ob die Overlays wirklich für eine sinnvolle Bewertung notwendig sind.

6.1.3 Frage nach dem Mehrwert des Trainingssystems

Der Mehrwert des Trainingssystems sollte durch Usability-Interviews und Beobachtungen qualitativ ermittelt werden. Trainer01 findet bezüglich des Mehrwerts klare Worte. In Bezugnahme auf eine vorherige unglückliche VR-Erfahrung sagt er über die entwickelte Trainingssoftware:

„Ich hatte erst so die Befürchtung, dass es ähnlich verlaufen wird, muss aber im Nachgang sagen, es hat mich positiv überrascht und hat wirklichen Mehrwert.“ (Trainer01)

Den Mehrwert, den die AAR-Anwendung aus seiner Sicht bietet, beschreibt er noch genauer:

„Das war für mich sehr gut. Einfach aus dem Grund: Ich habe zum einen verschiedene Modi. Ich kann mir einmal aus der Vogelperspektive die ProbandInnen anschauen und habe hier schon die Möglichkeit zu sehen: Was nimmt der im Raum wahr? Dann [kann ich] aus der Ebene als hinter stehende Person den Probanden beobachten und habe damit auch die gleiche Augenhöhe wie der Proband und ich habe die Möglichkeit in den Probanden hineinzuschlüpfen. Das sind genau die Elemente, die ich gerne abrufen möchte, um zu sehen: Was nimmt der tatsächlich wahr? Was wird tatsächlich aufgemacht, aus Sicht der Augen?“ (Trainer01)

Auch zur Relevanz der Visualisierung der Eyetracking-Daten und des Sichtfelds hat Trainer01 eine klare Haltung und beantwortet damit gewissermaßen auch Forschungsfrage 2:

„Sehr wichtig. Einfach aus dem Grund, dass ich jetzt beurteilen kann: Was sieht der Proband direkt und was nimmt er peripher wahr? Also das ist genau das, was ich brauche. Wenn das nicht gegeben

wäre, dann könnte ich eine Fehleinschätzung treffen und/oder den Schützling nicht im Nachgang unterstützen: Was kann er besser machen? Wo sollte er besser drauf achten? Also von daher wichtig.“ (Trainer01)

Nutzungsabsichten werden mündlich von allen fünf an der Untersuchung beteiligten Trainern bekundet. Auf Nachfrage eines Trainers geben auch sechs der acht BeamtInnen in Ausbildung an, sich das Training mit diesem System vorstellen zu können. Wenn es um konkrete Verwendungspläne geht, schränkt Trainer01 die Nutzungsabsicht dann doch wieder ein wenig ein. In der Ausbildung könnte er die Software aufgrund des benötigten Zeitaufwands für die Bewertung momentan nicht einsetzen, denn:

„[...] aktuell fehlt die Zeit. Es ist NOCH zeitaufwändig. Ich denke aber mal, dass wir tatsächlich auch die Möglichkeit, vielleicht nicht hier am Standort, aber an den Schulen [schaffen werden], genau diese Geschichte den Auszubildenden anzubieten, um da eine Schulung noch zusätzlich on top drauf zu setzen“ (Trainer01)

Auch die Beobachtungen zeigten, dass die Trainer gut mit der Software klarkommen und die zur Verfügung gestellten Tools ausgiebig nutzen, um zu einer angemessenen Bewertung der Trainingsleistung zu kommen.

Ein Mehrwert scheint somit zumindest für die Trainer klar vorhanden zu sein. Die aufgebrachte Begeisterung für das System war deutlich größer als erwartet. Vor allem, da alle Trainer angaben, zuvor von einer professionellen kostenpflichtigen VR-Trainings-Lösung enttäuscht gewesen zu sein.

6.2 Schwierigkeiten und Einschränkungen

Sowohl die Entwicklung als auch die Evaluation des Trainings-Systems waren mit einigen Schwierigkeiten verbunden. Diese reichten von der Recherche der Anforderungen über diverse technische Probleme bis hin zu einer wenig aussagekräftigen Untersuchung.

6.2.1 Recherche der Anforderungen

Da ein System für das Wahrnehmungstraining von PolizistInnen und Rettungskräften entwickelt werden sollte, war es wichtig, einen Anforderungskatalog zu erarbeiten, der den Bedürfnissen der Zielgruppen entspricht und das Training nach entsprechenden Lehrinhalten ermöglicht. Ein großes Problem war dabei die Ermittlung der Lehrinhalte. Denn neben ein paar öffentlich zugänglichen Präsentationen zum Verhalten in lebensbedrohlichen Einsatzlagen, war es nicht möglich Literatur zu den Trainingsinhalten zu finden. Die Rettungskräfte wurden daher grundsätzlich vorerst außen vorgelassen, da dieses Training dort bisher nicht üblich ist und bei der Polizei ist die Problematik, dass alle Lehrinhalte zu dem Thema auch Taktik vermitteln und daher nicht öffentlich zugänglich gemacht werden. Somit konnten die An-

forderungen lediglich aus eigenen Vermutungen, Gesprächen bzw. Interviews mit anonymen ExpertInnen der Polizei und anderen VR-Anwendungen für das Training bei der Polizei ermittelt werden. Eine Beschäftigung mit konkreten Lehrinhalten war im Rahmen der Arbeit nicht möglich.

6.2.2 Datenbank-Zugriff unter Verwendung von Unity und Android

Eine unerwartete technische Hürde war die Anbindung einer Datenbank in einer *Unity*-App auf einem Android-Gerät. Sowohl *Unity* als auch Android haben unerwartet strikte Beschränkungen, wenn es um den Datenaustausch mit Servern geht. Konkret erlauben *Unity*-Apps auf Android nur Web-Requests per *HTTPS* oder *Websocket*. Datenbanken hingegen, sollen Daten persistent speichern, weshalb sie nur Daten annehmen, die über eine initialisierte TCP-Verbindung gesendet werden. Dadurch war *Supabase* die einzige einfache Lösung, da das *NuGet*-Paket *Supabase CSharp* auch in *Unity* funktioniert, ohne dass ein *PHP*- oder *JSON*-Skript zwischengeschaltet werden muss, dass die Daten erst über *HTTPS* annimmt und dann in die Datenbank postet. Da es Probleme bei der lokalen Installation von *Supabase* gab, musste die Datenbank im Rahmen dieser Arbeit vorerst auf einem Cloud-Server verbleiben.

6.2.3 Filterung und Wiedergabe der Daten beim Replay

Direkt mit dieser API bzw. *Supabase CSharp* zu tun hat ein anderes Problem, das während der Entwicklung lange nicht korrekt identifiziert wurde. So war es nicht möglich einen Start- und einen End-Timestamp im *SQL-Get-Request* für die Replay-Daten anzugeben. Es kam immer ein Fehler, dass der Timestamp im falschen Format sei. Erst die zufällige Entdeckung einer Verkettungsfunktion für Filter in *Supabase CSharp* deckte den eigentlichen Fehler auf; nämlich, dass manuelle Verkettungen von Timestamp-Filtern im SQL-String von *Supabase CSharp* falsch übersetzt werden. Daher ist es notwendig die eingebaute Verkettungsfunktion für Filter zu verwenden, die auch gut dokumentiert ist, wenn man weiß, dass man sie sucht.

6.2.4 Profiling und Performance-Optimierung

Eine von vornherein erwartete Schwierigkeit stellte die Optimierung der Performance in der VR-Anwendung dar. Nachdem die ursprüngliche *RoomAware VR*-App jedoch performant lief, war es eine unerwartete Überraschung, dass der Wechsel zum *Meta XR All-in-One SDK* und die Abfragen an die Datenbank die Performance der App so stark verschlechterten, dass die Aufgabe der Portale notwendig war, um eine annehmbare Trainingserfahrung ohne Übelkeit zu gewährleisten.

6.2.5 Einschränkungen der Software

Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Software erfüllt alle Anforderungen, die festgelegt wurden. Dennoch unterliegt sie einigen Einschränkungen. So ist es etwa nicht möglich, während des Trainings in Echtzeit zu beobachten, was die trainierende Person tut. Damit einher geht auch die Abwesenheit von

Funktionen zur Manipulation des Szenarios aus der Rolle des Trainers heraus. Mit einem Multiplayer oder der Einrichtung eines erweiterten Datenaustauschs über die Datenbank, wäre es etwa möglich, den Raumwechsel trainerseitig auszulösen und das Zählen der Objekte durch Knopfdruck der Trainierenden zu realisieren. Durch so eine Änderung könnten tatsächlich belastbare Daten gesammelt werden. Deutlich in ihren Funktionen eingeschränkt ist die Software weiterhin durch die Beschränkungen der Hardware. Ziel dieser Arbeit war jedoch, zu zeigen, was mit einer entsprechenden Hardware möglich ist. Und Tabelle 1 zeigt, dass diese Limitationen vorerst weiter bestehen werden. Die einzige Alternative könnte ein VR-Headset bieten, das mit ausreichender Bildqualität und Performance per WLAN-Stream an einem PC verwendet werden kann und auch in dieser Anbindung Eyetracking unterstützt. Dann könnten deutlich mehr Features, insbesondere lokaler Datenaustausch, in der Software umgesetzt werden und die Brille wäre direkt mit der IAM-Anwendung verbunden. Es würde jedoch auch bedeuten, dass für jede trainierende Person ein PC zur Verfügung stehen müsste. Dadurch wäre die Kernidee des Trainingssystems, möglichst wenig Hardware zu benötigen, wieder untergraben.

6.2.6 Belastbarkeit der Untersuchungsergebnisse

Die Untersuchungsergebnisse sind nicht belastbar und dienen vielmehr der reinen Verifikation, dass ein Training mit anschließender nachvollziehbarer Bewertung mit dem System durchgeführt werden kann. Idealerweise hätte die Untersuchung gezeigt, ob das, was sich aus dem Replay der AAR-App lesen lässt, auch der Wahrheit entspricht. Ein wichtiges Hindernis war dabei jedoch, dass in diesem Fall keine Ground Truth vorgegeben werden kann. Ob die Trainierenden ein bestimmtes Objekt in der virtuellen Welt tatsächlich gesehen haben, kann nicht eindeutig bestimmt werden. Das einzige Mittel dafür ist das Eyetracking der Brille, das in diesem Fall jedoch Gegenstand der Untersuchung ist. Entsprechend musste auf die Aussage der Trainierenden vertraut und durch Korrelationen und Vergleiche mit den Bewertungen der TrainerInnen ermittelt werden, ob eine korrekte Bewertung auf Basis des Replays anzunehmen ist. Die Qualität der App wurde hingegen per Fragebogen und Interview nur bei einem bzw. zwei Trainern abgefragt. Hier wären Untersuchungen mit deutlich mehr unterschiedlichen Trainern nötig, um tatsächlich ein repräsentatives Bild davon zu erhalten, ob die Software für das Training geeignet ist. Nicht zuletzt gab es Unzulänglichkeiten bei den erhobenen Daten, wie die bereits erwähnten Probleme aufgrund der großen Sprünge von einem Wert zum nächsten, die durch die Verwendung von 5er-Likert-Skalen und maximalen Objekt-Anzahlen von neun Objekten bzw. 3 Enten pro Raum entstanden sind. Aber auch fehlende Datensätze und der grundsätzliche Mangel an Trainern haben unter anderem dazu geführt, dass Hypothese 5 gar nicht geprüft werden konnte. Die Umstände, dass letztendlich nicht alle Bewertungen durch echte Trainer durchgeführt wurden und dass bei der Anzahl der durch die Trainierenden gezählten Objekte einer von zwei Werten ausgewählt werden musste, bringen zusätzliche Ungenauigkeit in die Ergebnisse und schwächen die Aussagekraft. Da die Replays der Trainierenden allerdings jetzt in der Datenbank bestehen, wäre auch eine erneute Bewertung durch mehrere Trainer mit anschließender Neuauswertung möglich.

6.3 Fazit

Es wurde ein funktionierender Prototyp für ein Trainingssystem entwickelt, das zum einen aus einer VR-Trainingsanwendung besteht, die autark auf einem Android-VR-Headset läuft und auf einer Fläche von 10x10 m sinnvoll genutzt werden kann und zum anderen aus einer AAR-Anwendung, die TraineeInnen ermöglicht, den Trainingsdurchlauf in einem interaktiven Replay auf einem PC zu bewerten. Während die Software bei den TesterInnen viel Anklang fand, darf die damit verbundene Untersuchung nur als Gewinnung eines ersten Eindrucks betrachtet werden und keineswegs als repräsentative Studie. Es konnte erfolgreich gezeigt werden, dass die AAR-Anwendung eine Bewertung ermöglicht, die das von den Trainierenden Wahrgenommene widerspiegelt. Allerdings konnten auch Situationen aufgedeckt werden, in denen eine eindeutige Bewertung mit dem System nicht möglich ist. Es gibt einige nötige Weiterentwicklungen und Verbesserungsvorschläge, die notwendig sind, um das System sinnvoll nutzen und weitere Tests zur Verbesserung der Trainingsleistung durchführen zu können. Es wurde jedoch auch gezeigt, dass es sich lohnt, in die Weiterentwicklung des Trainingssystems zu investieren, da die TrainerInnen dem System einen Mehrwert bescheinigen und die Mehrzahl der Trainierenden sich vorstellen kann, das finale Produkt für reales Training zu verwenden.

6.4 Ausblick

Auf Basis des Feedbacks aus der Untersuchung und einiger bereits festgelegter notwendiger Features für die Zukunft, soll die Anwendung weiterentwickelt werden. Zu den wichtigsten Veränderungen gehören dabei:

1. Die Möglichkeit, das Training als Team zu durchlaufen
2. Die Möglichkeit der Live-Beobachtung der Trainierenden (IAM)
3. Datenschutz durch Verwendung eigener Server
4. Darstellung gesehener Objekte durch Overlay ungeachtet jeglicher Verdeckung
5. Dreidimensionale Sichtkegel
6. Geräusche, die von der eigentlichen Aufgabe ablenken können, da sie die Aufmerksamkeit an eine andere Stelle lenken.

Mit dem Abschluss dieser Überarbeitung könnten umfangreichere Untersuchungen durchgeführt werden, bei denen die Eignung des Systems für reales Training ausgiebig geprüft wird. Neben weiteren Untersuchungen zur Evaluation der Anwendung ist an diesem Punkt auch der richtige Moment, um Rettungsdienste mit einzubeziehen. Schließlich ist eine der Ideen des ganzen Projektes, das Wahrnehmungstraining auch für Rettungskräfte zugänglich zu machen. Hierfür müssen die Bedürfnisse und Anforderungen der Rettungskräfte an ein Wahrnehmungstraining ermittelt, Trainingskonzepte erarbeitet und mögliche Anpassungen an der Software definiert werden. Einen ersten Eindruck dazu liefert das bereits erwähnte Buch *Verhalten bei Gewalt – Selbstschutz für Rettungskräfte* von Staller und Körner,

dort lassen sich mehrere empfohlene Fähigkeiten, wie Aufmerksamkeit, Systematisches Scannen, Taktisches Positionieren, Vermeiden von Anwesenheit, Flucht und Teamarbeit identifizieren, die mit dem entwickelten System sinnvoll trainiert werden könnten (vgl. Staller & Körner, 2024). Dafür ist die dynamische Interaktion mit Personen (real oder NPCs) jedoch eine notwendige Voraussetzung.

Auch der Wechsel zu einer anderen Hardware ist eine Veränderung, die in Erwägung gezogen werden sollte. Viele der geplanten Veränderungen könnten die Performance der VR-Anwendung auf der Quest Pro wieder deutlich verschlechtern. Für die Zukunft der Anwendung im realen Training, ist es zudem hinderlich, dass die *Meta Quest Pro* seit kurz nach dem Beginn dieser Arbeit nicht mehr produziert wird.

Darüber hinaus gibt es einige Wünsche, die ebenfalls berücksichtigt werden sollen. Dazu zählen:

1. Eine direkte Übersicht, wie viele Target-Objekte gesehen wurden.
2. Sichtkegel für Personen im Raum, mit Auswertung: wurde die trainierende Person entdeckt?
3. Eine Heat-Map, die anzeigt, welche Teile vom Raum bereits wie gut erfasst wurden
4. Animierte Personen und/oder Einbindung von Schauspielern
5. Eine Taschenlampe in der VR-Anwendung
 - a. Um zum einen Szenarien mit schwierigeren Lichtverhältnissen simulieren zu können
 - b. Um ein Instrument zum Zeigen zu haben, aber auch die Verantwortung, sich nicht evtl. leichter sichtbar zu machen.

6.4.1 Lösungsansätze

Diese Erweiterungen erfordern Lösungsansätze, von denen einige bereits geplant sind:

So soll in der ersten Überarbeitungsphase eine Multiplayer-Lösung in die Software integriert werden. Dadurch wird es zum einen möglich, die VR-Anwendung als Team zu durchlaufen, aber auch, einen IAM-Modus in die Anwendung für die Trainer zu integrieren. Diese würden dann beim Starten der Desktopanwendung entweder „In Action Monitoring“ oder „After Action Review“ auswählen. Während letzterer Modus dieselbe Replay-Funktion besitzen würde wie bisher, würde sich der IAM-Modus per Multiplayer mit der VR-Anwendung verbinden und es wäre möglich, die Trainierenden live beim Training (ohne Overlays) zu beobachten. Durch den Multiplayer würden auch zusätzliche Funktionen möglich werden. Zum einen könnten Funktionen, wie das Laden eines neuen Raums, von den TrainerInnen gesteuert werden. Diese könnten aber auch in Echtzeit Geräusche und Animationen auslösen, um das Szenario weiter zu individualisieren. Im Idealfall könnten Schauspieler über den Multiplayer dem Szenario beitreten und somit den Realitätsgrad und die Modularität des Trainings deutlich erhöhen.

Ein weiterer Teil der ersten Überarbeitung ist die Transferierung der Datenbank auf einen lokalen Server. Hierfür wurde bereits im Vorfeld beachtet, eine Datenbank-Lösung zu wählen, die sich auf einen lokalen Server migrieren lässt. Was den Datenschutz betrifft, ist der Multiplayer etwas schwieriger. Die Hoffnung besteht, dass dieser über dieselbe Hardware geregelt werden kann.

Für das durchscheinende Overlay der gesehenen Objekte, dreidimensionale Sichtkegel und die Übersicht der gesehenen Objekte sowie Geräusche und Animationen sind die Lösungen bereits vorhanden. Es blieb im Rahmen der Arbeit schlicht keine Zeit mehr, diese umzusetzen.

Die Taschenlampe stellt eine kleine Herausforderung dar, da sie in Einklang mit guter Performance der VR-Anwendung umgesetzt werden muss.

Die umfangreichste Erweiterung ist die Heat-Map, weil hierfür verschiedene Lösungsansätze programmiert und evaluiert werden müssen, um die bestmögliche Umsetzung zu erhalten. Dafür ist ein tieferes Verständnis von Shadern und des *RenderGraphs* von *Unitys URP* erforderlich.

6.4.2 Notwendige Untersuchungen

Die in dieser Arbeit durchgeführte Untersuchung war nicht repräsentativ und hatte viele Einschränkungen. Zur weiteren Evaluation der Anwendung müssen Studien durchgeführt werden, bei denen TraineeInnen die Anwendung für echte Trainings-Sessions mit BeamtInnen in Ausbildung oder Rettungskräften nutzen. Dieses Training müsste dann etwa durch Fragebögen, Interviews und Beobachtungen bezüglich der Softwarenutzung begleitet werden, um das System weiter zu evaluieren und nötige Anpassungen identifizieren zu können. Hier sollten auch die Untersuchungsmethoden des *SHOTPROS*-Projekts noch einmal genauer betrachtet werden, um sich gegebenenfalls daran zu orientieren. Ein wichtiger Punkt ist dabei auch, zu erkennen, an welchen Stellen das VR-Training andere Trainingsformen ersetzen oder ergänzen kann.

Literaturverzeichnis

- Armitage, G., Claypool, M., & Branch, P. (2006). Networking and Online Games: Understanding and Engineering Multiplayer Internet Games. *Networking and Online Games: Understanding and Engineering Multiplayer Internet Games*, 1–218. <https://doi.org/10.1002/047003047X;JOURNAL:JOURNAL:BOOKS;WGROUP:STRING:PUBLICATION>
- Boyce, P. R. (2014). Human factors in lighting, third edition. *Human Factors in Lighting, Third Edition*, 1–666. <https://doi.org/10.1201/B16707/HUMAN-FACTORS-LIGHTING-PETER-ROBERT-BOYCE/RIGHTS-AND-PERMISSIONS>
- Cabaco, F. (2025, April 2). *Realtime: Broadcast from Database*. Supabase Blog. <https://supabase.com/blog/realtime-broadcast-from-database>
- Di Nota, P. M., & Huhta, J. M. (2019). Complex motor learning and police training: Applied, cognitive, and clinical perspectives. *Frontiers in Psychology*, 10(JULY), 464471. <https://doi.org/10.3389/FPSYG.2019.01797/XML>
- Farnsworth, B. (2022, August 2). *Eye Tracking: The Complete Pocket Guide*. <https://imotions.com/blog/learning/best-practice/eye-tracking/?srsltid=AfmBOormMW9zeE4WjKFnlYe21THoO0BmsrlUSNGe6cT5Uxr4XO1ANaT0>
- Ibrahim, F., Feildboy, E., Huber, Y., Nagy, D., Hennig, J., & Herzberg, P. Y. (2024). Enhancing Close Quarters Battle Performance—The Effect of a Compact Training on the Tactical Performance and Stress Response of Non-Specialized and Special Forces. *Journal of Police and Criminal Psychology*, 1–10. <https://doi.org/10.1007/S11896-024-09699-2/FIGURES/3>
- Mentzel, T., Schmitt-Flackenberg, I., & Wischniewski, K. (2003). *Eigensicherung und Recht: Eine Untersuchung einschlägiger Rechtsgrundlagen der Eigensicherung unter Berücksichtigung der Situation in anderen europäischen Staaten*. https://www.bka.de/SharedDocs/Downloads/DE/Publikationen/Publikationsreihen/PolizeiUndForschung/1_19_EigensicherungUndRecht.pdf?__blob=publicationFile&v=3
- Miseviciute, I. (2025). A complete guide to the fundamentals of eye tracking. *Tobii*. <https://www.tobii.com/resource-center/reports-and-papers/fundamentals-of-eye-tracking#cta-section>
- Murrer, A. (2025, Januar 20). *Neue Virtual Reality Trainingsanlage für polizeiliches Situationstraining an der HöMS eröffnet | hessen.de*. <https://hessen.de/presse/neue-virtual-reality-trainingsanlage-fuer-polizeiliches-situationstraining-an-der-hoems-eroeffnet>
- Murtinger, M., Uhl, J., Schrom-Feiertag, H., Nguyen, Q., Harthum, B., & Tscheligi, M. (2022). Assist the VR Trainer - Real-Time Dashboard and After-Action Review for Police VR Training. 2022

- IEEE International Workshop on Metrology for Extended Reality, Artificial Intelligence and Neural Engineering, MetroXRINE 2022 - Proceedings*, 69–74. <https://doi.org/10.1109/METROXRINE54828.2022.9967532>
- Schicker, E. (2025). Datenbanken und SQL. *Datenbanken und SQL*. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-70456-1>
- Schrom-Feiertag, H., Murtinger, M., Zechner, O., Uhl, J., Huu-Quynh-Huong, N., & Kemperman, B. (2021). *Real-Time Training Progress Assessment Tool*. <https://cordis.europa.eu/project/id/833672/results>
- SHOTPROS. (2019, Mai 1). *SHOTPROS: A HUMAN FACTORS BASED (VR) TRAINING FRAMEWORK FOR DECISION-MAKING AND ACTING CAPABILITIES UNDER STRESS AND IN HIGH-RISK SITUATIONS FOR EUROPEAN LEAS*. <https://doi.org/10.3030/833672>
- Slater, M., & Usoh, M. (1993). Presence in immersive virtual environments. *1993 IEEE Annual Virtual Reality International Symposium*, 90–96. <https://doi.org/10.1109/VRAIS.1993.380793>
- Solso, R. L. (1996). *Cognition and the visual arts*. MIT Press. https://books.google.de/books?id=zaQCKizo0_8C&printsec=frontcover&hl=de#v=one-page&q&f=false
- Staller, M. S., Koerner, S., Heil, V., Abraham, A., & Poolton, J. (2023). Police recruits' wants and needs in police training in Germany. *Security Journal*, 36(2), 249–271. <https://doi.org/10.1057/S41284-022-00338-1/TABLES/1>
- Staller, M. S., & Körner, S. (2024). *Verhalten bei Gewalt – Selbstschutz für Rettungskräfte*. Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-44700-7>
- VR Owl. (o. J.-a). *Polizei Amsterdam | Kriminalpolizei Training*. Abgerufen 1. September 2025, von <https://vrowl.io/de/portfolio/polizei-amsterdam-kriminalpolizei-training/>
- VR Owl. (o. J.-b). *Polizeiakademie - Multiplayer-Spurenermittlung -*. Abgerufen 10. Januar 2025, von <https://www.vrowl.de/portfolio/polizeiakademie-multiplayer-spurenermittlung/>
- Wang, L., Shi, X., & Liu, Y. (2023). Foveated rendering: A state-of-the-art survey. *Computational Visual Media*, 9(2), 195–228. <https://doi.org/10.1007/S41095-022-0306-4>
- Zechner, O., Schrom-Feiertag, H., Uhl, J., & Jaspaert, E. (2022). *SHOTPROS Final Guidelines for VR Training*. <https://cordis.europa.eu/project/id/833672/results>

Anhang 1 Ablaufplan der Untersuchung

Ablauf:

1. Position einrichten
2. App starten.
3. ProbandIn auf Position bitten
4. Brille aufsetzen.
5. Sagen, dass die Person nach vorne schauen soll und die Meta Taste drücken (halten)
6. Erklären, welche Taste der rechte Trigger ist. (Person kann das durch die Brille sehen)
7. Ablauf erklären
 - a. Trigger drücken
 - b. Auf Start-Ansage warten
 - c. Dann 15 Sekunden pro Raum.
 - d. Aufmerksam betreten unter Berücksichtigung der Eigensicherung und Quitscheenten **laut** zählen.
 - e. Flure können ignoriert werden.
 - f. Beim blauen Gitternetz nicht weiter gehen.
 - g. Auch alles aussprechen, was sie sehen.
 - h. Wenn fertig mit Raum, zu Fußstapfen zurückkehren.
 - i. Rechten Trigger Drücken
 - j. Fragen beantworten
 - k. Auf Start-Signal warten.
8. Der Person sagen, dass sie jetzt den Trigger drücken und auf das Start-Kommando warten kann.
9. In App auf „Start“ klicken und Start-Kommando geben.
10. Bei jedem erwähnten Objekt auf den entsprechenden Button klicken.
11. Anschließend auf Button für neuen Raum klicken.
12. Frage: „Was hast Du außer den Enten gesehen?“
13. Frage: „Auf einer Skala von 1-5, wie gut würdest Du sagen, hast Du den Raum erfasst?“
14. In App auf „neuer Durchgang“ klicken.
15. Bedanken und App wieder für die nächste Person vorbereiten.

Anhang 2 Bewertungsbogen für TrainerInnen

Thorbjörn Ruppel

Masterarbeit VR Training

21.07.2025

Bewertungsbogen

Trainer ID:

Datum:

ProbandIn Nr.:

Raum ID: Room1

Trainings-Daten

Startzeit:

Endzeit:

Bewertung der Trainingsleistung

	1 (schlecht)	2	3	4	5 (gut)
Aufmerksamkeit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Visuelle Erfassung des Umfelds	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verhalten in Bezug auf Eigensicherung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Hat folgende Objekte erfasst:	Ja	Nein	Unsicher
Ente auf dem Sofa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mann hinter der Tür	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Kurze Begründung für die Bewertung (z.B. Zielsicherheit, Sorgfalt, Fixationsdauer)

Bewertungsbogen

Trainer ID:

Datum:

ProbandIn Nr.:

Raum ID: Room3

Trainings-Daten

Startzeit:

Endzeit:

Bewertung der Trainingsleistung

	1 (schlecht)	2	3	4	5 (gut)
Aufmerksamkeit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Visuelle Erfassung des Umfelds	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verhalten in Bezug auf Eigensicherung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Hat folgende Objekte erfasst:	Ja	Nein	Unsicher
Ente auf Bürostuhl	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ente auf dem Tisch	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ente in der Ecke neben dem Eingang	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Stehende Frau in der Ecke	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mann am Schreibtisch	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Junge neben Eingang	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Kurze Begründung für die Bewertung (z.B. Zielsicherheit, Sorgfalt, Fixationsdauer)

Bewertungsbogen

Trainer ID:

Datum:

ProbandIn Nr.:

Raum ID: Room5

Trainings-Daten

Startzeit:

Endzeit:

Bewertung der Trainingsleistung

	1 (schlecht)	2	3	4	5 (gut)
Aufmerksamkeit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Visuelle Erfassung des Umfelds	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verhalten in Bezug auf Eigensicherung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Hat folgende Objekte erfasst:	Ja	Nein	Unsicher
Ente unter Bank bei Beistelltisch	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ente unter mittleren Bänken	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ente in der Ecke hinter der Tür	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Hockender Mann um die Ecke	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Hockende Frau zwischen hinteren Bänken	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Messer in der Ecke neben dem Eingang	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pistole im Waschbecken	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Kurze Begründung für die Bewertung (z.B. Zielsicherheit, Sorgfalt, Fixationsdauer)

Bewertungsbogen

Trainer ID:

Datum:

ProbandIn Nr.:

Raum ID: Room9

Trainings-Daten

Startzeit:

Endzeit:

Bewertung der Trainingsleistung

	1 (schlecht)	2	3	4	5 (gut)
Aufmerksamkeit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Visuelle Erfassung des Umfelds	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verhalten in Bezug auf Eigensicherung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Hat folgende Objekte erfasst:	Ja	Nein	Unsicher
Ente unter Bank (bei Mann)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ente auf dem Fußboden, hinter Theke	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ente auf der Getränkezapfanlage	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Junge, auf Bank stehend	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mädchen, unter Tisch sitzend	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mann, an Tisch sitzend	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mann, aus Tür kommend	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Messer auf Tisch	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Kurze Begründung für die Bewertung (z.B. Zielsicherheit, Sorgfalt, Fixationsdauer)

Bewertungsbogen

Trainer ID:

Datum:

ProbandIn Nr.:

Raum ID: Room10

Trainings-Daten

Startzeit:

Endzeit:

Bewertung der Trainingsleistung

	1 (schlecht)	2	3	4	5 (gut)
Aufmerksamkeit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Visuelle Erfassung des Umfelds	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verhalten in Bezug auf Eigensicherung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Hat folgende Objekte erfasst:	Ja	Nein	Unsicher
Ente auf Fußboden vor Trennwand	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ente auf Sofa, im hinteren Raumteil	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Frau, stehend im vorderen Raumteil	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mann, stehend im vorderen Raumteil	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Junge, stehend im hinteren Raumteil	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mädchen in der Ecke des hinteren Raumteils	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pistole auf Fußboden, neben Eingang	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Messer auf Tisch	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Messer auf Fußboden, hinter Durchgang	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Kurze Begründung für die Bewertung (z.B. Zielsicherheit, Sorgfalt, Fixationsdauer)

Bewertung der Software

	1 (trifft gar nicht zu)	2	3	4	5 (trifft voll zu)
Ich konnte die Aufmerksamkeit der Trainierenden gut nachvollziehen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich hatte genug Informationen, um zu bewerten, ob ein Objekt gesehen wurde.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich hätte mir mehr visuelle Hilfen gewünscht.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Anhang 3 Fragenkatalog – Usability-Interview

Usability-Interview mit TrainerInnen (20-30 min.)

Einstieg und Hintergrund

1. Können Sie kurz erzählen, ob und wie Sie bereits Erfahrung mit VR-Training oder Trainingsbeobachtung haben?
2. Wie sind Sie beim Durchsehen der Replays typischerweise vorgegangen?

Allgemeine Nutzung der Replay-App

1. Wie empfanden Sie die Bedienung der Replay-App insgesamt?
2. Welche Funktionen haben Sie besonders häufig verwendet?
(z. B. Kameraperspektiven, Overlay, Eye-Tracking)
3. Gab es Funktionen, die Sie gar nicht oder nur selten verwendet haben?
 - a. Warum?

Wahrnehmung und Analyse der Aufmerksamkeit

1. Hatten Sie das Gefühl, die Aufmerksamkeit der Trainierenden gut nachvollziehen zu können?
 - a. Warum (nicht)?
2. Gab es Momente, in denen Sie unsicher waren, ob jemand ein Objekt gesehen hat?
3. Wie haben Sie entschieden, ob jemand aufmerksam war oder nicht?

TrainerInnen mit allen Overlays	TrainerInnen nur mit POV
Wie hilfreich war die Einblendung des Blickfeldes bzw. Eye-Tracking-Daten?	Hatten Sie das Gefühl, Ihnen haben Informationen gefehlt?
Hatten Sie das Gefühl, dadurch besser beurteilen zu können, ob jemand ein Objekt wahrgenommen hat?	Was hätten Sie sich zusätzlich gewünscht, um die Situation besser beurteilen zu können?

Vergleich und Verbesserung

1. Wenn Sie die App für ein echtes Training nutzen würden – was würden Sie sich anders wünschen?
2. Gibt es Funktionen, die Ihrer Meinung nach besonders entscheidend für eine gute Analyse sind?
3. Haben Sie Vorschläge für Funktionen, die aktuell fehlen?

Abschluss

1. Würden Sie die App in einem echten Trainingskontext einsetzen?
 - a. Warum (nicht)?
2. Gibt es noch etwas, was Sie uns zur Anwendung oder zur Nutzung sagen möchten?

Anhang 4 Transkript – Usability-Interview mit Trainer01

Thorbjörn Ruppel

Transkript: Usability-Interview

Interview vom 24.07.2025

Transkript – Usability-Interview mit Trainer

Interviewer

Du hast ja jetzt die Replay-App benutzt, um die Trainingsdurchläufe zu bewerten. Dazu möchte ich Dir ein paar Fragen stellen. Vielleicht kannst Du erstmal kurz erzählen, ob und inwieweit Du bereits vorher Erfahrung hattest, mit VR-Training bzw. der Bewertung von Training, das in VR durchgeführt wurde.

Trainer

Also mit VR-Brillen hatte ich bis dato eigentlich nur einmal kontakt. Das war im Rahmen einer Schulung als Einsatztrainer. Da haben wir ein VR-Produkt angeboten bekommen, wo es darum ging, taktisch zu arbeiten; im Team. Fand ich recht interessant, allerdings war die Qualität der Software nicht genügend. Da gab's halt immer wieder Störungen. Du hast Dich als Teameinheit nicht immer 100% erkennen können... Das hat das Ganze gestört, aber, die Thematik fand ich recht interessant.

Jetzt, durch Euer Produkt, bin ich das zweite Mal live damit in Kontakt getreten. Ich hatte erst so die Befürchtung, dass es ähnlich verlaufen wird, muss aber im Nachgang sagen, es hat mich positiv überrascht und hat wirklichen Mehrwert.

Interviewer

Wie bist Du beim Durchsehen der Replays, also jetzt bei unserer App, typischerweise vorgegangen?

Trainer

Also ich habe so ein bisschen versucht, die Taktik, die wir fahren, oder die ich fahre, in diesem „Game“ umzusetzen. Das war aber nur bedingt möglich. Ich habe aber versucht, den Raum so aufzuschneiden, also zu sichten / in Sicht zu nehmen, wie ich es taktisch umsetzen würde. Das ist relativ gut vonstattengegangen. Es hat gepasst und für mich war es einfach beeindruckend, zu sehen, was man in diesem „Game“ alles darstellen kann. Also wo sich Gegenstände oder Personen positionieren können, wo man tatsächlich Probleme bekäme [diese zu entdecken], wenn man den Raum nicht vernünftig aufschneidet oder unter Dampf nimmt / in Sicht nimmt.

Interviewer

Die Frage ging noch ein bisschen mehr in Richtung der Bewertung der Durchläufe der ProbandInnen. Auf was hast Du da geguckt? In welcher Reihenfolge oder...?

Trainer

Okay. Für mich ist es wichtig: Wie betreten sie den Raum? Das bedeutet also, wir haben tote Bereiche, nehmen die Kräfte/die ProbandInnen zügig diese Bereiche ein? Blickführung ist für mich wichtig. Da ist mir bewusst geworden, dass die ProbandInnen sehr stark fokussiert waren in Richtung Boden. Das ist nicht mein Zeil. Natürlich müssen wir auch irgendwo peripher den Boden wahrnehmen, falls wir da irgendwo gefährliche Gegenstände liegen haben. Das ist auch tatsächlich durch die ProbandInnen widergespiegelt worden. Nichtsdestotrotz haben sich die Blicke zum größten Teil unterhalb der Raummitte, Richtung Boden befunden und der obere Bereich wurde nur von einer Probandin unter Dampf genommen / unter Sicht genommen, was eigentlich unser Ziel wäre; den ganzen Raum wahrzunehmen.

Interviewer

Dann zur allgemeinen Nutzung der Replay-App, also die, mit der Du die Bewertungen gemacht hast: Wie empfandest Du die Bedienung insgesamt?

Trainer

Für mich als Laie...Ich kam mit der Bedienung sehr gut klar. War ja doch relativ einfach, man hat zwei Pads in der Hand. Die Steuerung funktionierte über jeweils eine Taste an dem Pad. Also für mich hat's gepasst. Ich kam gut zurecht.

Interviewer

Das war jetzt eigentlich auch wieder auf die Replay-Software bezogen.

Trainer

Die wir im Nachgang gesehen haben?

Interviewer

Genau.

Trainer

Das war für mich sehr gut. Einfach aus dem Grund: Ich habe zum einen verschiedene Modi. Ich kann mir einmal aus der Vogelperspektive die ProbandInnen anschauen und habe hier schon die Möglichkeit zu sehen: Was nimmt der im Raum wahr? Dann [kann ich] aus der Ebene als hinter stehende Person den Probanden beobachten und habe damit auch die gleiche Augenhöhe wie der Proband auch und ich habe die Möglichkeit in den Probanden hineinzuschlüpfen. Das sind genau die Elemente, die ich gerne abrufen möchte, um zu sehen: Was nimmt der Tatsächlich war? Was wird tatsächlich aufgemacht, aus Sicht der Augen?

Thorbjörn Ruppel

Transkript: Usability-Interview

Interview vom 24.07.2025

Interviewer

Welche Funktion(en) hast Du besonders oft verwendet?

Trainer

Das war in erster Linie erstmal die Vogelperspektive, im Nachgang bin ich aber relativ stark in die Sicht des Probanden rein gegangen. Um tatsächlich zu überprüfen, wie ich das aus der Vogelperspektive wahrgenommen habe. Habe ich es tatsächlich so wahrgenommen, wie der [Proband] selbst? Deshalb bin ich in den Probanden hineingeschlüpft und habe festgestellt: Mensch, der hat teilweise Bereiche aufgemacht, die ich so aus der Vogelperspektive gar nicht gesehen habe.

Interviewer

Und die Overlays, also das Sichtfeld oder die rot werdenden Objekte zum Beispiel, hast Du da eins davon besonders stark benutzt, um das zu bewerten oder eher alles gleichmäßig?

Trainer

Das habe ich tatsächlich versucht alles gleichzeitig miteinzubeziehen. Also da sind alle Funktionen für mich erstmal gleichzusetzen.

Interviewer

Gab es Funktionen, die Du selten oder gar nicht verwendet hast?

Trainer

Negativ. Ich habe alle drei Funktionen übernommen.

Interviewer

Hattest Du das Gefühl die Aufmerksamkeit oder Wahrnehmung der Trainierenden gut nachvollziehen zu können?

Trainer

Ja. Definitiv. Also den Eindruck hatte ich, dass ich genau das, was gerade beschrieben wird, auch von der Bewegung her [erkennbar ist]. Da konnte ich mich ziemlich gut hineinversetzen.

Interviewer

Gab es Momente, in denen Du unsicher warst, ob jemand ein Objekt gesehen hat?

Trainer

Ja. Einfach aus dem Grund: Du hast ja bei der Einweisung den ProbandInnen genau geschildert, was sie zu tun und zu lassen haben. Das heißt also die Kommunikation sollte ja laut und deutlich vonstattengehen. Sie sollten genau beschreiben, was sie sehen, außer Mobiliar. Das ist teilweise untergegangen, was er real gesehen hat, was erst im Nachgang deutlich geworden ist, nachdem wir das [im Replay] überprüft haben. Da ist erst deutlich geworden: Er hat was wahrgenommen, aber es nicht beschrieben.

Interviewer

Wie hast Du entschieden, ob jemand aufmerksam war oder nicht bzw. ob jemand die Aufgabenstellung erfüllt hat?

Trainer

Für mich war es zunächst einmal entscheidend: Hat er die Gegenstände, in diesem Fall waren es ja Messer und Schusswaffen, gesehen? Hat er die durch die Blickführung gekennzeichnet? Nächste Aufgabe war es ja die Enten zu zählen und auch durch die Blickführung zu markieren. Und die Personen. Das war für mich schon mal entscheidend: Hat er alles erkannt, was die Räumlichkeit widerspiegelt hat? Das war der erste Punkt. Und der zweite Punkt ist dann, was ich vorhin schon sagte: Wie hat er die Räumlichkeit gelesen? Also was hat er tatsächlich im Raum mit seinen Blicken abgestreift? Hat er irgendwo Bereiche nicht wahrgenommen? Tote Ecken hinter Türen beispielsweise, die für mich ja enorm wichtig sind.

Interviewer

Wir hilfreich war für Dich konkret die Einblendung des Sichtfelds bzw. der Eyetracking-Daten?

Trainer

Sehr wichtig. Einfach aus dem Grund, dass ich jetzt beurteilen kann: Was sieht der Proband direkt und was nimmt er peripher wahr? Also das ist genau das, was ich brauche. Wenn das nicht gegeben wäre, dann könnte ich eine Fehleinschätzung treffen und/oder den Schützling nicht im Nachgang unterstützen: Was kann er besser machen? Wo sollte er besser drauf achten? Also von daher wichtig.

Interviewer

Das beantwortet auch schon ein bisschen meine nächste Frage: hattest Du das Gefühl dadurch die Leistung besser beurteilen zu können?

Trainer

Definitiv. Ja.

Interviewer

Wenn Du die App für ein echtes Training nutzen würdest, was würdest Du Dir daran noch an Veränderungen wünschen?

Trainer

Also jetzt hatten wir in erster Linie grundlegend Szenarien, die statisch waren. Das heißt also, wir haben Personen in Räumlichkeiten gehabt, die sich nicht bewegt haben, die nicht gesprochen haben. Wir haben keine Geräuschkulisse gehabt. Aber hier war schon mal der Vorteil, dass wir unterschiedliche Räumlichkeiten mit unterschiedlichem Mobiliar hatten. Ich würde mir dahingehend wünschen, dass man vielleicht Szenarien entwirft, wo Personen auch in eine Bewegung gehen, wo vielleicht Personen auch ein Verhalten an den Tag legen, was realistisch wäre, wenn es zu einem Polizeieinsatz kommt. Also sprich Angstverhalten oder auch Fluchtverhalten. Ich würde mir auch wünschen, dass man auch Personen mit in das Szenario integriert, die man im Nachgang als Täter verifiziert und dementsprechend auch abhandeln muss. Mit runter sprechen, festnehmen, bis evtl. auch hin zum Schusswaffengebrauch.

Interviewer

Gibt es Funktionen, die, Deiner Meinung nach, besonders entscheidend für eine gute Analyse sind? Also Analyse der Trainingsleistung.

Trainer

Bezüglich der Visualisierung?...

Interviewer

Oder auch in der VR-Anwendung, aber um halt das Trainings-Ziel zu erreichen.

Trainer

Okay. Also das, was die Software jetzt schon bietet, ist ja eigentlich, was für uns sehr wichtig ist. Also Wahrnehmung. Und da habt Ihr ja schon recht viele Features drin. Das ist für mich einfach als Trainer interessant zu sehen: Was nimmt der Proband wahr, in seiner Vorgehensweise? Und habe ich da die Möglichkeit, Ihn so zu trainieren, dass er Bereiche für sich im Nachgang wahrnimmt, die sich für uns als Gefahrenbereiche darstellen? Ich hoffe, ich beantworte jetzt die Frage richtig. Das wären Tote Ecken, das wären aber auch Verhaltensweisen, wie: Wie betritt er den Raum? Also geht er wirklich in die Räumlichkeit rein oder läuft er beispielsweise den Raum aus? An den Wänden entlang. „Running the Wall“, um dann den Raum auch mittig

Thorbjörn Ruppel

Transkript: Usability-Interview

Interview vom 24.07.2025

wahrzunehmen und dann zu erkennen: Alles klar. Ich habe den Raum gelesen und jetzt kann ich mal den Raum durchsuchen. Nach Personen oder nach gefährlichen Gegenständen. Und das wäre natürlich auch so eine Möglichkeit zu sagen: Hier habe ich noch die Möglichkeit, dem Probanden etwas an die Hand zu geben, dass er eine Arbeit besser machen kann.

Interviewer

Das heißt, für Dich sind dann zum Beispiel die Funktionen sehr wichtig, um zu erkennen, ob wirklich bis in die letzte Ecke geguckt wurde oder nicht?

Trainer

Genau.

Interviewer

Hast Du Vorschläge für Funktionen, die aktuell noch fehlen?

Trainer

Das, was ich vorhin gesagt habe, mit den bewegten Personen, aber das ist ja eher so ein Szenario-Aufbau. Was mir persönlich tatsächlich gefehlt hat, war die Geschichte, dass ich den Blickwinkel des Probanden nur auf einer Ebene beurteilen kann. Für mich wäre es wichtig, dass ich es nicht nur horizontal wahrnehme, sondern auch vertikal.

Interviewer

Würdest Du die App in einem echten Trainingskontext einsetzen?

Trainer

Ja. Würde ich. Die Überlegung war tatsächlich im Rahmen der Ausbildung von BeamtInnen, die bei der Polizei in Ausbildung sind. Im Bereich der lebensbedrohlichen Einsatzlagen, um hier die Visualisierung zu schulen. Davon nehme ich gerade Abstand. Für mich wäre es tatsächlich ein adäquates Mittel, um zunächst einmal Kräfte zu schulen, wo ich eine Tagesveranstaltung mache, wo man dann aufbauend arbeiten kann. Denn aktuell fehlt die Zeit. Es ist NOCH zeitaufwändig. Ich denke aber mal, dass wir tatsächlich auch die Möglichkeit, vielleicht nicht hier am Standort, aber an den Schulen [schaffen werden], genau diese Geschichte den Auszubildenden anzubieten, um da eine Schulung noch zusätzlich on top drauf zu setzen.

Interviewer

Mit Fokus auf Wahrnehmung dann?

Thorbjörn Ruppel

Transkript: Usability-Interview

Interview vom 24.07.2025

Trainer

Genau. Richtig. Einfach das Thema Wahrnehmung.

Interviewer

Gibt es noch irgendwelche anderen Anmerkungen von Dir?

Trainer

Aus meiner Sicht erstmal nicht. Ich denke, das Meiste ist eigentlich dadurch abgedeckt.

Interviewer

Dann vielen Dank für das Interview.

Anhang 5 Kodierleitfaden für Usability-Interview

Kodierleitfaden

Kodierleitfaden für Usability-Interviews

Die Kodierung erfolgt zweistufig. Zuerst werden alle Aussagen einer der Hauptkategorien zugeordnet. Dabei wird festgelegt, auf welchen Teil des Trainingssystems sich die Aussage bezieht:

- Gesamtes Trainingssystem
- VR-Trainingsanwendung
- AAR-App
- Über den Trainer
- Allgemein

Zusätzlich findet bei Bedarf eine Zuordnung zur Kategorie „Positiv“ oder „Negativ“ statt, um auch eine Bewertung des Trainingssystems vornehmen zu können.

Dann folgt die Kodierung nach thematischen Unterkategorien, die mit der folgenden Tabelle nachvollzogen werden kann. Aus dem Inhalt des Interviews und den Forschungsfragen ergeben sich folgende Kategorien für die Kodierung:

- **Vorerfahrung:** Gemeint sind Vorerfahrungen, die der/die TrainerIn mit vergleichbaren VR-Trainingssystemen gemacht hat.
- **Qualifikation:** Hier beschreibt der/die TrainerIn seine/ihre Position.
- **Konkurrenzprodukte:** Informationen über vergleichbare VR-Trainingssysteme
- **Einstellung/Haltung** des Trainers/der Trainerin gegenüber der Technologie
- **Positionierung der Anwendung** gegenüber anderen Produkten
- **Mehrwert:** Aussagen über den tatsächlichen oder theoretischen Mehrwert des Systems
- **Nutzerverhalten:** Erklärungen wie die TrainerInnen das System nutzen oder gerne nutzen würden.
- **Darstellung:** Aussagen, die Darstellungen oder Umsetzungen in der App betreffen, die nicht zwangsläufig mit Interaktion zu tun haben (z.B. Darstellung der Personen in VR oder Darstellung von Informationen im Replay)
- **Einschränkungen,** denen das Trainingssystem aktuell unterliegt
- **Usability:** Aussagen, die bewerten, ob die Anwendung auch praktikabel ist, um das gewünschte Ziel zu erreichen
- **Features:** Aussagen, die sich auf die Funktionalität, Anwesenheit oder Abwesenheit konkreter Funktionen oder Darstellungen beziehen
- **Interaktion:** Aussagen zu Interaktionsmöglichkeiten in der VR- oder AAR-App
- **Lehrinhalte,** die vermittelt werden sollen
- **Anforderungen** an die Software, um die Lehrinhalte vermitteln oder darstellen zu können
- **Bedienung:** Als konkreter Teil der Usability, der sich gezielt auf die Nutzung der Eingabegeräte und Interfaces bezieht
- **Wunsch:** Alle Aussagen, die Feature-Wünsche oder Verbesserungsvorschläge beinhalten

Auf den folgenden Seiten ist die vollständige Kodierung des Usability-Interviews mit Trainer01 dargestellt.

Kodierleitfaden

Aussage	Kodierung	Hauptkategorie
„Also mit VR-Brillen hatte ich bis dato eigentlich nur einmal kontakt.“	Vorerfahrung	VR-Trainingsanwendung
„Das war im Rahmen einer Schulung als Einsatztrainer.“	Vorerfahrung, Qualifikation	Über den Trainer
„Da haben wir ein VR-Produkt angeboten bekommen, wo es darum ging, taktisch zu arbeiten; im Team.“	Vorerfahrung, Konkurrenzprodukte	Gesamtes Trainingssystem
„Fand ich recht interessant“	Vorerfahrung, Einstellung/Haltung	Über den Trainer
„allerdings war die Qualität der Software nicht genügend. Da gab's halt immer wieder Störungen.“	Vorerfahrung, Konkurrenzprodukte	Gesamtes Trainingssystem
„Du hast Dich als Teameinheit nicht immer 100% erkennen können...“	Vorerfahrung, Konkurrenzprodukte, Darstellung	Gesamtes Trainingssystem
„Ich hatte erst so die Befürchtung, dass es ähnlich verlaufen wird, muss aber im Nachgang sagen, es hat mich positiv überrascht und hat wirklichen Mehrwert.“	Vorerfahrung, Positionierung der Anwendung, Mehrwert	Gesamtes Trainingssystem, positiv
Also ich habe so ein bisschen versucht, die Taktik, die wir fahren, oder die ich fahre, in diesem „Game“ umzusetzen. Das war aber nur bedingt möglich.	Nutzerverhalten, Einschränkungen, Usability, Features?, Interaktion	VR-Trainingsanwendung, negativ
„Ich habe aber versucht, den Raum so aufzuschneiden, also zu sichten [...] ist relativ gut vonstattengegangen.“	Nutzerverhalten, Usability, Interaktion	VR-Trainingsanwendung, positiv
„einfach beeindruckend, zu sehen, was man in diesem „Game“ alles darstellen kann. [...] wo man tatsächlich Probleme bekäme, wenn man den Raum nicht vernünftig aufschneidet“	Darstellung, Mehrwert, Lehrinhalte	Gesamtes Trainingssystem, positiv
„Für mich ist es wichtig: Wie betreten sie den Raum?“	Nutzerverhalten, Anforderungen, Lehrinhalte	AAR-App
„wir haben tote Bereiche, nehmen die Kräfte/die ProbandInnen zügig diese Bereiche ein?“	Nutzerverhalten, Anforderungen, Lehrinhalte	AAR-App
„Blickführung ist für mich wichtig“	Nutzerverhalten, Anforderungen, Lehrinhalte	AAR-App
Da ist mir bewusst geworden, dass die ProbandInnen sehr stark fokussiert waren in Richtung Boden. Das ist nicht mein Ziel.	Darstellung, Mehrwert, Lehrinhalte	AAR-App, positiv
„Natürlich müssen wir auch irgendwo peripher den Boden wahrnehmen, falls wir da irgendwo gefährliche Gegenstände liegen haben“	Lehrinhalte	Allgemein
„Das ist auch tatsächlich durch die ProbandInnen widerspiegelt worden.“	Darstellung, Mehrwert	Gesamtes-Trainingssystem, positiv

Kodierleitfaden

„Nichtsdestotrotz haben sich die Blicke zum größten Teil unterhalb der Raummitte, Richtung Boden befunden [...] unser Ziel wäre; den ganzen Raum wahrzunehmen.“	Lehrinhalte	Allgemein
„Für mich als Laie...Ich kam mit der Bedienung sehr gut klar. War ja doch relativ einfach“	Usability, Bedienung, Interaktion	VR-Trainingsanwendung, positiv
„Das war für mich sehr gut. Einfach aus dem Grund: Ich habe zum einen verschiedene Modi. Ich kann mir einmal aus der Vogelperspektive die ProbandInnen anschauen und habe hier schon die Möglichkeit zu sehen: [...] Was nimmt der Tatsächlich wahr? Was wird tatsächlich aufgemacht, aus Sicht der Augen?“	Usability, Mehrwert, Anforderungen	AAR-App, positiv
„in erster Linie erstmal die Vogelperspektive, im Nachgang bin ich aber relativ stark in die Sicht des Probanden rein gegangen. Um tatsächlich zu überprüfen, wie ich das aus der Vogelperspektive wahrgenommen habe.“	Nutzerverhalten	AAR-App
„ich [bin] in den Probanden hineingeschlüpft und habe festgestellt: Mensch, der hat teilweise Bereiche aufgemacht, die ich so aus der Vogelperspektive gar nicht gesehen habe.“	Nutzerverhalten, Darstellung, Mehrwert	AAR-App, positiv
Overlays: „Das habe ich tatsächlich versucht alles gleichzeitig miteinzubeziehen. Also da sind alle Funktionen für mich erstmal gleichzusetzen.“	Nutzerverhalten, Darstellung	AAR-App
Gefühl, die Aufmerksamkeit oder Wahrnehmung der Trainierenden gut nachvollziehen zu können: „Ja. Definitiv.“	Usability, Mehrwert	AAR-App
„Da konnte ich mich ziemlich gut hineinversetzen.“	Usability, Mehrwert	AAR-App, positiv
Gab es Momente, in denen Du unsicher warst, ob jemand ein Objekt gesehen hat? „Definitiv. Ja.“	Usability, Darstellung, Mehrwert	AAR-App, Negativ
„Also jetzt hatten wir in erster Linie grundlegend Szenarien, die statisch waren.“	Darstellung, Interaktion, Features, Mehrwert	Gesamtes Trainingssystem, negativ
„Wir haben keine Geräuschkulisse gehabt.“	Darstellung, Features, Mehrwert	Gesamtes Trainingssystem, negativ
„hier war schon mal der Vorteil, dass wir unterschiedliche Räumlichkeiten mit unterschiedlichem Mobiliar hatten.“	Darstellung, Mehrwert	Gesamtes Trainingssystem
„Ich würde mir dahingehend wünschen, dass man vielleicht Szenarien entwirft, wo Personen auch in eine Bewegung gehen, wo vielleicht Personen auch ein Verhalten an den Tag legen, was realistisch wäre, wenn es zu einem Polizeieinsatz kommt“	Darstellung, Interaktion, Features, Wunsch	Gesamtes Trainingssystem

Kodierleitfaden

„Also sprich Angstverhalten oder auch Fluchtverhalten.“	Darstellung, Features, Wunsch	Gesamtes Trainingssystem
„Ich würde mir auch wünschen, dass man auch Personen mit in das Szenario integriert, die man im Nachgang als Täter verifiziert und dementsprechend auch abhandeln muss.“	Darstellung, Interaktion, Features, Wunsch	Gesamtes Trainingssystem
„Mit runter sprechen, festnehmen, bis evtl. auch hin zum Schusswaffengebrauch.“	Interaktion, Features, Wunsch	Gesamtes Trainingssystem
„Also das, was die Software jetzt schon bietet, ist ja eigentlich, was für uns sehr wichtig ist.“	Usability, Mehrwert, Anforderungen	Gesamtes Trainingssystem, positiv
„Also Wahrnehmung. Und da habt Ihr ja schon recht viele Features drin.“	Mehrwert, Features, Lehrinhalte	Gesamtes Trainingssystem, positiv
„als Trainer interessant zu sehen: Was nimmt der Proband wahr, in seiner Vorgehensweise? Und habe ich da die Möglichkeit, ihn so zu trainieren, dass er Bereiche für sich im Nachgang wahrnimmt, die sich für uns als Gefahrenbereiche darstellen?“	Anforderungen, Lehrinhalte	Gesamtes Trainingssystem
„Tote Ecken, [...] Verhaltensweisen, wie: Wie betritt er den Raum? Also geht er wirklich in die Räumlichkeit rein oder läuft er beispielsweise den Raum aus [...], um dann den Raum auch mittig wahrzunehmen“	Lehrinhalte, Anforderungen	Allgemein
„den Raum durchsuchen. Nach Personen oder nach gefährlichen Gegenständen.“	Lehrinhalte, Anforderungen	Allgemein
„das wäre natürlich auch so eine Möglichkeit zu sagen: Hier habe ich noch die Möglichkeit, dem Probanden etwas an die Hand zu geben, dass er seine Arbeit besser machen kann.“	Mehrwert	Gesamtes Trainingssystem, positiv
zum Beispiel die Funktionen sehr wichtig, um zu erkennen, ob wirklich bis in die letzte Ecke geguckt wurde oder nicht? „Genau.“	Anforderungen, Darstellung	AAR-App
„Was mir persönlich tatsächlich gefehlt hat, war die Geschichte, dass ich den Blickwinkel des Probanden nur auf einer Ebene beurteilen kann. Für mich wäre es wichtig, dass ich es nicht nur horizontal wahrnehme, sondern auch vertikal.“	Darstellung, Anforderungen, Features, Wunsch	AAR-App
System im realen Trainingskontext einsetzen? „Ja. Würde ich“	Nutzungsabsicht	Gesamtes Trainingssystem
„Im Bereich der lebensbedrohlichen Einsatzlagen, um hier die Visualisierung zu schulen.“	Nutzungsabsicht, Lehrinhalte, Mehrwert	Gesamtes Trainingssystem

Kodierleitfaden

„Davon nehme ich gerade Abstand. [...] Denn aktuell fehlt die Zeit. Es ist NOCH zeitaufwändig.“	Nutzungsabsicht, Usability	Gesamtes Trainingssystem, negativ
„Für mich wäre es tatsächlich ein adäquates Mittel, um zunächst einmal Kräfte zu schulen, wo ich eine Tagesveranstaltung mache, wo man dann aufbauend arbeiten kann.“	Nutzungsabsicht, Mehrwert	Gesamtes Trainingssystem, positiv
„Ich denke aber mal, dass wir tatsächlich auch die Möglichkeit, vielleicht nicht hier am Standort, aber an den Schulen [schaffen werden], genau diese Geschichte den Auszubildenden anzubieten, um da eine Schulung noch zusätzlich on top drauf zu setzen.“	Nutzungsabsicht	Gesamtes Trainingssystem, positiv
„Einfach das Thema Wahrnehmung“	Lehrinhalte	Allgemein

Die Kodierungen und Kategorien werden verwendet, um den aktuellen Zustand des Trainingssystems, sowie dessen Perspektiven zu evaluieren.

Anhang 6 Fragenkatalog – Experteninterview

Vorläufiger Fragenkatalog

Hintergründe, Lehrinhalte und bisheriges Training

- Welche Trainingsblöcke zum sicheren Betreten von Räumen gibt es in der Polizeiausbildung?
- Welche Ziele werden dort verfolgt?
- Was wird gelehrt?
 - Gibt es bestimmte Techniken?
 - Gibt es bestimmte Schemata für das Vorgehen, die einen Namen haben?
 - Welche Prioritäten werden gelehrt?
 - Gibt es Lehrmaterialien oder Literatur, die über Campusbibliotheken oder ähnliches zugänglich sind?
- Wie aufwendig wird solches Training normalerweise umgesetzt?
 - Wie flexibel ist der Aufbau?
 - Wie ist der Zeitaufwand?
- Bietet sich ausreichend häufig Gelegenheit zum Training?
 - Wodurch wird das erschwert?
- Wird normalerweise einzeln, zu zweit oder sogar mit mehreren Personen trainiert?
 - Geht man im Polizeidienst immer von zwei Personen aus, die gemeinsam unterwegs sind?

Umfang und Funktionen der Anwendung

- Was muss die Anwendung können bzw. Was soll sie besser machen als bisherige Trainingslösungen?
 - Welche konkreten Situationen sollen trainiert werden?
 - Raumtypen, Einrichtung
 - Situation im Raum
 - Soll der Raum etwa Personen enthalten?
 - Soll eine bestimmte Art Tatort dargestellt sein?
 - Wo liegt der Fokus, was ist das Ziel?
 - Taktik
 - Also nur das Betreten nach bestimmten Regeln, Schemata, Techniken?
 - Routine
 - Durch Wiederholung Gefühl dafür bekommen, was „sicheres Betreten“ ist?

- Spielt Vorbesprechung eine wichtige Rolle?
- Wie unterschiedlich müssen die Räume sein?
- Sind für die Zukunft dynamische Szenen mit NPCs gewünscht?

Auswertung

- Was muss ausgewertet werden?
 - Welche konkreten Informationen müssen aus den Darstellungen der aufgenommenen Daten ablesbar sein?
 - Gibt es konkrete Wünsche, für die Darstellung bestimmter Daten/Parameter?
 - Woraus setzt sich die Bewertung der Performance der Trainierenden Person zusammen?

Anhang 7 Transkript – Experteninterview mit Einsatztrainer

Thorbjörn Ruppel

Transkript: Experteninterview

Interview vom 27.05.2025

Transkript – Experteninterview mit Einsatztrainer

Das Experteninterview wurde zu einem Zeitpunkt durchgeführt, als der Fokus noch auf dem Nutzen der Anwendung und nicht so sehr auf den Features lag. Der Experte hat die Fragen im Vorfeld erhalten und daher teils sehr eigenständig Fragen beantwortet, die nicht gestellt wurden.

Experte

Also ich hab mir mal den Fragenkatalog angeschaut. Da sind natürlich einige Fragen dabei, die sich gerade so spezifisch auch auf die Ausbildung an sich beziehen.

Wir können ja einfach mal die Themenblöcke, so wie Du sie hier gelistet hast abarbeiten.

Interviewer

Welche Trainingsblöcke zum sicheren Betreten von Räumen gibt es in der Polizeiausbildung?

Experte

Da fängt's schon an. Das Problem ist, ich gehöre zwar der Hochschule an, habe aber in der Gänze

Es gibt zum einen die IBA-Standorte. Das steht für Institutsbereiche Ausbildung. Diese Standorte bilden Kolleginnen und Kollegen im mittleren Dienst aus. Darüber sitzt die Hochschule. An der Hochschule wird der gehobene Dienst ausgebildet. Die Blöcke sind natürlich mit unterschiedlichen Schwerpunkten ausgelegt. Wenn wir jetzt das Betreten von Räumen mal aufgreifen, kann ich Dir sagen, das findet statt. Da sind auch verschiedene Themenbereiche abzubilden. Das fängt damit an: Wenn ich vor einer Wohnung stehe – und da kann ich Dir gleich auch beantworten dass wir in der Regel zu zweit vor der Wohnung stehen – dann geht es erstmal darum Kontakt aufzunehmen. Das hat also viel mit der Identitätsfeststellung zu tun. Und mit Fragen wie: Wann darf ich in die Wohnung? Da geht es weniger um die taktischen Geschichten, sondern mehr um die rechtliche Komponente. Und da kann ich Dir sagen, dass es an den IBA-Standorten unterschiedlich ist, was für Räumlichkeiten da für solche Geschichten genutzt werden. Die haben zwar die gleichen Themen, die abarbeiten müssen, aber die Räumlichkeiten sind unterschiedlich geschnitten, aufgebaut. Das kann sein, dass die mal mit einer Person zu tun haben, es kann sein, dass sie es mit einem Delinquenten zu tun haben. Es kann aber auch sein, dass andere Personen in der Räumlichkeit sind, die man dann einfach nur am Rande wahrnehmen muss, oder tatsächlich im Auge behalten muss, weil von denen unter Umständen auch Gefahr ausgeht.

Wie viele Stunden dafür verwendet werden, wie intensiv die Beschulung ist, das kann ich Dir zu diesem aktuellen Zeitpunkt nicht beantworten. Was die Fragen betrifft, welche Ziele dort verfolgt werden und was gelehrt wird, das kann ich Dir auch nicht sagen, weil es sehr stark von den Standorten abhängt. Du hast natürlich Standorte, die sind da intensiver hinterher und dann hast Du auch Standorte, die fliegen darüber hinweg und der Nutzen für die Kräfte ist gleich null.

Interviewer

Gibt es bestimmte Schemata, die gelehrt werden und einen Namen haben?

Experte

Das kann ich Dir beantworten. Es gibt ein Schema beim Betreten/Eindringen in Räumlichkeiten. Das ist nur für den Dienstgebrauch, darf ich also nicht weitergeben. Aber stellen wir uns das mal hypothetisch vor: Wie würde man sich vor einer Tür zu zweit aufbauen? Garantiert nicht direkt vor dem Türblatt sondern man nutzt die Tür, indem man sagt, ich stelle mich links und rechts auf. Damit habe ich schon die größtmögliche Sicherheit für mich und sobald die Tür aufgeht ist dann einer das Sprachrohr und der andere kann dann dementsprechend absichern.

Stellen wir uns hypothetisch vor, wir müssen in die Wohnung eindringen, dann wird das nicht über Kreuz gemacht, sondern man fächert auf und geht parallel rein. So habe ich die Möglichkeit (running the wall), die Räumlichkeit zu betreten und schon vieles für mich in Augenschein zu nehmen. Und habe da auch die Möglichkeit, nicht Gefahr zu laufen, dass einer im Rücken steht und mir vielleicht ein Messer in den Rücken haut. Da ist ja doch die Gefahr, wenn ich ganz normal in einen Raum rein gehe und mittig im Raum stehe, dass ich von allen Seiten angegriffen werden kann. Das wäre so hypothetisch möglich. Und da gibt es natürlich auch für die Kräfte Schrift und Bild im Intranet hinterlegt. Ist aber nicht öffentlich zugänglich.

Die Frage danach, welche Prioritäten gelehrt werden, musst Du mir nochmal näher erklären.

Interviewer

Wenn man jetzt in so eine Situation kommt bzw. das trainiert, was Du eben beschrieben hast, stellt sich für mich die Frage: Was sind die Ziele des Trainings? Worauf wird geachtet? Geht es mehr darum eine bestimmte Taktik zu erfüllen oder geht es mehr darum, zu beurteilen, wie viel derjenige wahrnimmt? Z.B.: Ist die Person aufmerksam genug? Oder geht es zum Beispiel um Kommunikation?

Experte

Da musst Du jetzt unterscheiden. Wenn Du jetzt eine Software für die allgemeine Polizeiausbildung anbieten willst, dann sind wir von meinem Thema LebEL (lebensbedrohliche Einsatzlagen) erstmal weg. Da geht es dann erstmal darum: Was habe ich für eine Situation? Das fängt erstmal klein an. Nehmen wir die schon erwähnte Ruhestörung. Ich muss hoch, ich muss in das Bürgergespräch rein. Und jetzt werden erstmal so die rechtlichen Komponenten abgefragt. Dann werden die Kräfte geschult: Wie positioniere ich mich, falls es doch mal Ärger geben sollte. Und die Kommunikation, wie Du sagtest. Wie gehe ich mit dem Bürger um? Wie gehe ich mit dem Bürger ins Gespräch? Wie kann ich dem Bürger vermitteln, was er vielleicht rechtlich gesehen gerade nicht optimal macht? Und welche Maßnahmen kann ich ergreifen, wenn ich wiederkommen muss? Das wäre natürlich die Priorität in diesem Fall, wenn wir das Allgemeine ansprechen.

Gehen wir in meinen oder unseren Bereich hier im Trainingszentrum, haben wir ein ganz anderes Thema. Da sind wir in einer lebensbedrohlichen Einsatzlage. Das bedeutet, da ist schon ganz viel passiert und ich gehe als Intervention rein und sicher alle Räume. Und wenn ich dem Delinquenten begegne, bringe ich ihn entweder zu Boden oder es kommt zum Schusswaffengebrauch, wenn er nicht bereit ist aufzugeben. Da sind wir rechtlich schon an einem ganz anderen Punkt, wo es nur noch darum geht, ob der Schusswaffengebrauch erlaubt

ist. Alles andere wird da gar nicht mehr bewertet. Und da geht es im Training in erster Linie um Wahrnehmung. Also auch hier: Wie stelle ich mich vor einem Raum auf? Wie dringe ich ein? –

Hypothetisch gesehen parallel. Es gibt aber auch tatsächlich andere Varianten, aber das wird geschult. – Wie lese ich den Raum? Wie kann ich mich in dem Raum sicher bewegen? Was mache ich, wenn ich jetzt tatsächlich mehrere Personen habe, um zu verifizieren: Habe ich unbeteiligte, verletzte und/oder auch den Täter da irgendwo stehen? Das wäre dann bei mir die Priorität.

Da siehst Du schon: Das eine ist vielleicht so ein Paket, wo ich ganz klein anfangen, bis zu einer Maßnahme, wo ich eindringen muss, und muss da vielleicht auch schon irgendwo eine Festnahme tätigen. Und bei mir geht's eigentlich nur noch darum: Fluten und ggf. Festnahme oder bekämpfen. Und Evakuieren bzw. Retten.

Interviewer

Dazu vielleicht auch die Frage: Wo würdest Du sagen, fängt Dein Part an? Und gerade wenn wir jetzt sagen, wir brauchen so ein Training, damit es zugänglich ist: Für wen ist das relevant?

Experte

Also das, was wir machen, ist grundlegend für jegliche Polizeibeamte relevant. Das heißt also, Du fängst bei uns jetzt mit den Auszubildenden an, das geht aber über die KollegInnen, die in Wach & Wechsel, also im Streifendienst unterwegs sind, das gilt aber auch für die KollegInnen, die im Büro hocken. Zum Beispiel die Kriminalpolizei. Wenn wir uns jetzt ein wirklich großes Schadensereignis vorstellen, also zum Beispiel Terror, dann sind da ja wirklich viele Leute auf den Beinen und da brauchen wir auch immens Kräfte. Soviel erstmal zu der Zielgruppe. Also alle PolizeibeamtInnen.

Wo fängt es an? Also in erster Linie kannst Du davon ausgehen, dass es irgendwo was mit Waffen zu tun hat. Wenn jemand in den Faustkampf geht oder z.B. bei einer Demonstration Steine schmeißt, ist das für uns Polizeibeamte zwar auch doof, da wird dieses Konzept LebEL aber nicht gefahren. LebEL wird tatsächlich gefahren bei Amok, Terror oder wenn tatsächlich gefährliche Waffen im Spiel sind, wie etwa Molotow-Cocktails. Das heißt wir gehen in einen Einsatz mit erhöhter Risikobereitschaft rein. Also ich sag mal so ganz grob bei allem mit Waffen, da bist Du schon irgendwie im LebEL-Bereich unterwegs.

Du hast es ja mitbekommen, gerade bei Euch in Hamburg. Diese ganzen Messerangriffe zum Beispiel. Das ist LebEL und das wäre unser Part. Was man da nicht sieht, ist, dass die Kräfte sich da dementsprechend das Schutzpaket anlegen, so wie man es beschafft hat. Die sind noch relativ einfach geschützt, aber da musst Du schnell handeln. Wie jetzt zum Beispiel an dem Bahnhof, wo die psychisch kranke Frau um sich gestochen hat. Da hast Du keine Zeit, jetzt noch schnell das Schutzpaket überzuwerfen. Das ist aber eine erhöhte Risiko-Einsatzsituation für unsere Kräfte. Und da muss es deutlich sein, dass Du zum einen erstmal verifizierst: Was geht da überhaupt in der Menschenmenge ab? Das nächste ist: Wo ist überhaupt mein Täter da drin und was hat der für eine Bewaffnung bzw. was macht er da gerade? Und ein Messer-Täter ist für uns ein Riesen-Problem. Messer kannst Du schnell verschwinden lassen und du kannst nicht 100%ig verifizieren: Kommt Dir der Täter gerade entgegen oder nicht? Und wenn Du ihn dann triffst, dann musst Du noch abstand halten und Schusswaffengebrauch ist evtl. nicht möglich,

Thorbjörn Ruppel

Transkript: Experteninterview

Interview vom 27.05.2025

wegen der Menschenmenge. Das sind dann so die Themen, wo wir uns bewegen, und darum geht es bei uns dann in erster Linie.

Interviewer

Also ganz viele schnelle Entscheidungen treffen.

Experte

Genau. Das ist ein Riesen-Problem. Wenn Du Glück hast, kriegst Du schon die Erkenntnis, dass Du ein oder zwei Täter hast – Gehen wir mal von einem Täter aus. Das ist ja eigentlich die Regel – und Du kannst glücklich sein, wenn Du vielleicht weißt, wie er aussieht und wenn Du vielleicht weißt, was er für eine Bewaffnung hat. Dann kann man sich so ein bisschen darauf einstellen.

Aber gerade in einem Bahnhof ist das ein Riesen-Problem mit der Wahrnehmung. So Schell dann zu reagieren und eine Entscheidung zu treffen, das sind unsere Themen. Und die hast Du halt in den ganzen anderen Bereichen eher weniger.

Interviewer

Gibt es Lehrmaterialien oder Literatur, die über Campusbibliotheken oder ähnliches zugänglich sind?

Experte

Es gibt, wie gesagt, Lehrmaterialien. Die Einsatztrainer entwickeln Schulungsmaterial, das dann über das Intranet abrufbar ist, aber halt nur Intern.

Interviewer

Wie stehst Du zu der Idee, eine Trainings-Anwendung in VR, mit einer Replay-App für die TrainerInnen für das Wahrnehmungstraining einzuführen?

Experte

Nach dem, was ich so mitbekommen habe, wollt Ihr ja eine Software im Bereich Wahrnehmung entwickeln. Und gerade in dem Bereich, den wir unterrichten, ist das ja eine enorme Komponente. Und wenn wir da den Kräften etwas in dieser Form anbieten können, haben wir die Möglichkeit gezielter oder anders noch zu schulen.

Denn selbst, wenn wir die Kräfte von außen videografieren, dann kannst Du ja natürlich auch vieles wiederspiegeln. Aber wenn die in so einer Software dargestellt bekommen: „So ihr habt hier die Räumlichkeit eingenommen, aber jetzt schaut doch mal, wo ihr hingeguckt habt und was ihr überhaupt nicht wahrgenommen habt.“ Das, im Rahmen dieser Software, mal aufzuschlüsseln, hat glaube ich eine ganz andere Wirkung als das, was wir jetzt so machen. Die verstehen das alles, ist auch gut so, aber ich denke das wäre noch ein weiterer Baustein, um die noch mehr zu sensibilisieren.

Interviewer

Dann können wir gleich zu dem Punkt kommen: Was würdet Ihr Euch von so einer Software versprechen oder was ist das, was euch momentan im Training fehlt?

Oder fangen wir erstmal mit der Frage an: Welche Art von Training ist es, wo euch momentan etwas fehlt?

Experte

Also, wo fehlt und gerade etwas? Ich sag mal so: Wenn ich jetzt ein praktisches Training anbiete, habe ich aktuell nur die Möglichkeit, die Kräfte eine Sequenz durchlaufen zu lassen. Und die Sequenz kann ich aktuell nur durch Beobachter begleiten lassen und die spiegeln wieder. Jetzt kannst Du natürlich sagen: „Du hast den Finger am Abzug gehabt.“ Dann sagt Dir der Knabe: „Ne hatte ich nicht.“ „Doch, hattest Du.“ Mal ganz blöd gesagt. Wir haben mittlerweile die Freigabe zu videografieren. Das durften wir ursprünglich nicht. Wir haben aber keine Videoanlage. Das heißt, ich kann mit meinem Handy/Tablet von außen filmen. Da kann ich schon mal sagen: „Guck mal hier. In der Sequenz hast Du dummerweise nach rechts geschaut.“ Ich kann aber nicht sagen, was der wahrgenommen hat. Wenn er mir sagt: „Ja, den habe ich gesehen.“, kann ich das aber nicht verifizieren.

Interessant ist jetzt das Beispiel: Sagen wir mal, da steht ein Verletzter, der schön trieft. Ist der [Trainierende] jetzt so gefesselt oder nimmt der noch war, dass dahinten gerade ne Person wegläuft und noch ein Messer in der Hand hat? Und das wären so Geschichten, die ich persönlich als sehr wichtig erachte. Dass ich sage: „Du hast jetzt hier die Möglichkeit, in die Butze reinzugehen, und dann sagst Du mir mal, was Du alles wahrgenommen hast.“ Und dann kann man das im Nachgang mal aufzeigen und sagen: „Kein Wunder, dass Du jetzt rechts den Bereich überhaupt nicht wahrgenommen hast, weil Du so fixiert auf den Gegenstand geachtet hast, dass dein Fokus so eng war.“ Und da kann ich ihm vielleicht dann etwas widerspiegeln, das wir bis dato nicht können. Und das wäre ja in erster Linie tatsächlich, um sein Bewusstsein zu weiten und zu sagen: „Versuch, den gesamten Raum wahrzunehmen.“ Hauptziel ist es natürlich, irgendwo ne Person wahrzunehmen und dann aber wahrzunehmen: „Scheiße, dahinten ist noch was. Da ist ne Handgranate.“ Und das können wir derzeit nicht 100%ig abdecken.

Und mit der Software wäre es so: Wir machen immer regelmäßig so Stationstraining, wo die von einer Station zu anderen laufen. Mit verschiedenen Schwerpunkten. Und jetzt könnte ich zum Beispiel sagen: „Ihr habt da jetzt eine VR-Brille. Ihr habt eine Stunde Zeit. Ein, zwei Szenarien kriegen wir durch. Das verarbeiten wir und danach geht Ihr zur nächsten Station.“ Und das wäre so eine Sensibilisierung.

Dann hast Du hier gefragt, wie flexibel der Aufbau des Trainings ist. Was die Flexibilität betrifft, da sind wir tatsächlich sehr offen. Da stelle ich Dir innerhalb von 2 min ein Szenario um, dass ich komplett andere Anforderungen habe. Also das machen wir auch spontan. Da können wir sehr gut reagieren.

Beim Zeitaufwand ist jetzt natürlich die Frage: Kriege ich die VR-Brille schnell genug eingerichtet und wie viele Szenarien kriege ich durch, in der Stunde, um diese auch sachgerecht nachzubereiten? Mit 9 bis 15 TeilnehmerInnen.

Experte

Ich gehe mal auf unsere Haupt-Nutznieser ein. Das sind die Auszubildenden. Da werden die vielleicht die Möglichkeit haben, einen Tag mal für ne Stunde dieses Themengebiet zu genießen. Ich meine, dass in den IBA-Standorten auch schon VR-Brillen eingesetzt werden. Ich weiß aber nicht, wie gezielt. Ich kann Dir aber sagen, das wird minimal sein. Wenn wir jetzt mal bei uns von den BIAs (BeamtInnen in Ausbildung) ausgehen: Da kriegen wir immer so zwei Klassen in einer Woche, für vier Tage. Die werden es vielleicht mal ne Stunde genießen können und/oder man bietet es vielleicht nach dem Dienst mal an. Was aber interessant wäre, das wäre die Möglichkeit, einen Baustein für fertige PolizeibeamtInnen anzubieten. Wir haben Jahreskalender, da sind grob 20 Wochen für unsere Auszubildenden reserviert. Und die anderen Wochen, die werden an unsere Zielgruppen, also die anderen PolizeibeamtInnen im Land rausgegeben. Und da könnte man jetzt sagen: „Leute, wir bieten Euch einen Baustein VR mit Wahrnehmungsschulung an. Vier Stunden, 15 Personen.“ Und dann können die sich einloggen und kommen dann hier her und dann kann man evtl. im Nachgang Blauwaffentraining anbieten und dann kann man sagen: „Ey, die vier Stunden im Vorfeld, die waren mega-geil, denn ich gehe nämlich jetzt ganz anders durch das Areal und ich nehme jetzt ganz anders das Szenario wahr.“ Das wäre eine Überlegung und das wäre vom Nutzen her wesentlich höher.

Ich finde das Konzept super, dass man einen Flur hat, von dem man immer wieder in neue Räume geht. Und man fängt klein an. Zum Beispiel mit nem Abstellraum. Und im nächsten Durchgang ist da vielleicht ein Schrank und ein Tisch und da liegt ein Messer. Und dann kann man das immer so steigern. Beim nächsten Mal steht da ne Person drin, aber die kehrt mir den Rücken zu und macht irgendwas mit den Händen. Dann kann der Raum natürlich größer werden. Dann habe ich vielleicht ein Wohnzimmer mit mehreren Leuten und hinten steht wieder einer mit dem Rücken zu mir und der zieht dann ein Messer. Das kann man dann ja immer weiter treiben und genau das ist für mich der Mehrwert dabei. Dass ich sage, ich fange erstmal ganz klein an und sehe schon mal: Wo schaut der Kamerad denn hin? Was sieht er, wenn er die Tür aufmacht? Was nimmt er als erstes wahr? „Ja klar. Leerer Raum.“ Aber hat der tatsächlich auch mal links und rechts sich alles angeguckt? Ist der jetzt nur heften geblieben am Regal oder schwenkt der jetzt auch den ganzen Raum ab? Das wäre so für mich eigentlich das Ding, wo ich sagen würde, das wäre mega-geil.

Es gibt da jetzt aus Hessen gerade das Beispiel, dass die da so ne Tankstelle dargestellt haben. Wenn man irgendwann mal so weit ist, dann kann man auch so ne Komponente machen, wo Du sagst: Da gehe ich mit meinem LebEL-Konzept rein – da bist Du dann übrigens nicht mehr beim Zweier- sondern beim Dreier-Team – und jetzt fange ich mal an: Wie baue ich mich denn auf da, mit drei Personen? Und wer stellt sich wo hin und wie kann ich sichern, ohne dass ich mich selbst gefährde und/oder eine freie Schussbahn habe, wenn ich dann tatsächlich genötigt werde, zu schießen? Und dass wären dann Sachen... Das wäre natürlich dann schon ganz weit fortgeschritten. Und hier wäre einfach der Nutzen, zu sagen: A: Wie wird die Situation bewertet? B: Was nimmt der wahr? Und C: Welche Entscheidungen hat er aufgrund der zwei vorherigen Komponenten getroffen? War die Entscheidung gut? Ja oder nein? Da würde ich die ganze Geschichte sehen.

Interviewer

OK. Das heißt also auf Dauer bräuchte man dynamische Szenen mit Personen, die sich darin irgendwie bewegen. Da müsste man natürlich schauen, wo die Grenze ist, wo man sagt: Jetzt macht es mehr Sinn, mit SchauspielerInnen zu arbeiten, die dann via Multiplayer in die Szene eingebunden werden.

Experte

Das wäre natürlich mega-geil. Denn die stehen ja vermutlich dann beieinander und sind räumlich nicht getrennt. Und dann kannst Du als Schauspieler nämlich auch dementsprechend reagieren und kannst auf das Einfluss nehmen, was die Kräfte machen. Das wird nicht durch die Computersimulation gesteuert, wo du beispielsweise sagst: „Knie Dich hin!“ und der bleibt stehen und bleibt stehen und bleibt stehen, weil das in dem Programm nicht vorgesehen ist. Das wäre dann eher blöd, aber mit so nem Schauspieler, den man dann rein holen kann, wäre das das non plus ultra.

Interviewer

Eine Frage, die ich jetzt noch habe, ist: Was ist jetzt genau das, was ausgewertet werden müsste? Also wenn ich jetzt die Desktop-App mit dem Replay habe: Was muss das im Idealfall darstellen? Was muss ich da raus lesen können?

Experte

Also die Kernkomponente ist ja tatsächlich zu sagen: Wenn ich die Tür einer Räumlichkeit geöffnet habe, was nehme ich da als erstes wahr und worauf reagiere ich? In erster Linie reagiert unser Auge auf Bewegung. Das heißt also, zum Beispiel bei der Fressmeile [aus RoomAware VR] : Nehme ich erstmal grundlegend den Raum mit Sitzgelegenheiten und Tischen wahr? Nehme ich auch sofort wahr, wie viele Personen sich im Raum aufhalten und wo die sitzen? Und/oder werde ich abgelenkt durch eine Person, die sich hinten irgendwo bewegt? Und nehme ich links jetzt beispielsweise den Bereich gar nicht mehr wahr? Das wäre der erste Punkt. Also: was ist so mein erster Eindruck? Der zweite Punkt ist: Wo liegt dann mein Fokus? Sprich: Wo schaue ich gezielt hin? Und wo bleibe ich auch gezielt drauf gerichtet, mit meinen Augen? Was nehme ich aber trotzdem noch links und rechts wahr. Nehme ich da überhaupt noch was wahr? Und dann: Ist es für mich bedrohlich? Ja/nein? Und wenn es bedrohlich ist, welche Maßnahme habe ich jetzt getroffen? Also in erster Linie: Wie weit ist mein Gesichtsfeld offen? Eingeschränkt oder weit? Kann ich mich auf meine Hauptperson konzentrieren, nehme aber hier und da noch was wahr? Und dann arbeite ich das Szenario ab und das Thema ist erledigt, ich nehme aber hier noch die Personen wahr: Können die für mich gefährlich werden? Ja oder nein? Also gut gearbeitet. Schlecht gearbeitet: Ich bin nur noch da drauf und nehme gar nicht mehr wahr, dass da ne Person aufsteht und sich in meine Richtung bewegt. Schlecht gearbeitet. Das wäre glaube ich das, was man so im Nachgang widerspiegeln müsste. Wenn man das so dann im Nachgang aufzeigt: „Kuck mal hier. Du warst mit Deinen Blicken überwiegend da in dem Bereich. Da links konntest Du das gar nicht wahrnehmen.“ (oder rechts oder wo auch immer) und das zeigst Du denen auf, dann ist das für die glaube ich eine ganz andere Geschichte, als wenn ich denen nur sage: „Sag mal, du hast ja nur dahin geguckt.“ Aber jetzt kann ich denen das bildlich darstellen.

Thorbjörn Ruppel

Transkript: Experteninterview

Interview vom 27.05.2025

Und das ist glaube ich ne große Komponente, die man dann rüberbringen kann, was von Mehrwert ist.

Interviewer

OK. Daraus schleiße ich, dass es wichtig ist, einmal die Augen zu haben: Wo wandern die hin? Das ist ja die Basis der ganzen Geschichte. Der zweite Punkt sind dann Kameraperspektiven. Dass ich dann auch zur Verifikation um die Person rotieren kann und dann eben auch in die Ego-Perspektive kann. Um zu sehen, wie das eigentlich aus der Perspektive der Person ausgesehen hat. Und der Dritte Punkt ist dann der Sichtkegel: Wie viel nehme ich davon wahr? Das ist ja etwas, wo man jetzt schauen muss, inwieweit man das umsetzen kann.

Experte

Ja. Das klingt sehr gut.

Interviewer

Ich hatte jetzt hier noch konkret die Frage: Woraus setzt sich die Bewertung der Performance der trainierenden Personen zusammen? Aber ich denke, das haben wir jetzt auch schon mehrfach so mit beantwortet. Ich denke, somit sind wir dann durch mit dem Fragenkatalog.

Vielen Dank für das Interview.

Anhang 8 Katalog der Anforderungen an die Software (nach Experte)

Katalog der Anforderungen an die Software

Erarbeitet mit demselben Einsatztrainer, mit dem das Experteninterview geführt wurde

Allgemeines

1. Der Aufbau und die Einrichtung des Systems müssen schnell vonstattengehen.
 - a. Lehrmodule später evtl. in einstündigen Slots.
2. Es sollte möglichst vom Platzbedarf auch in Seminarräumen funktionieren.
3. Es muss möglich sein, die Räume „auszulaufen“. Die Räume dürfen also nicht deutlich größer sein als die beispielbare Fläche.
4. Das System muss auch in einem lokalen Netz umsetzbar sein.

VR-Anwendung

1. Die Anwendung muss flüssig laufen, um Motion-Sickness zu vermeiden.
 - a. Trainierende haben wahrscheinlich keine VR-Vorerfahrung.
 - b. Es werden evtl. schnelle Bewegungen durchgeführt.
2. Vor jedem Raum muss ein Flur sein, um das Betreten des Raums vernünftig trainieren zu können.
 - a. Das Durchlaufen der Flure ist eher ein Bonus und nicht notwendig.
3. Die Räume sollten unterschiedlich schwer sein.
 - a. Zunehmend komplexer
 - b. Für finale Anwendung mit zunehmend mehr bewegten Personen.
4. Es sollte einen Multiplayer geben, um die Szenarien im typischen Zweierteam durchlaufen zu können.

AAR-Anwendung

1. Es sollen die Sichtkegel/Sichtfelder visualisiert werden.
 - a. Es soll en tote Winkel deutlich sichtbar sein.
 - b. Es soll sichtbar sein, was gerade im Fokus liegt (foveales Sichtfeld).
 - c. Es soll auch das periphere Sichtfeld dargestellt werden, um zu sehen, was die trainierende Person theoretisch noch hätte wahrnehmen können.
2. Es sollte verschiedene Kameraperspektiven geben.
 - a. Mindestens Vogelperspektive für den Überblick und Ego-Perspektive um sich in die trainierende Person zu versetzen.
3. Die Blickführung sollte irgendwie sichtbar sein.
 - a. Idealerweise wird visualisiert, ob wichtige Objekte bereits erfasst wurden.
4. Schlichter Avatar
 - a. Kopf- und Handbewegungen sollten deutlich sichtbar sein.
 - b. Der Avatar sollte aber möglichst anonym und nicht zu menschlich sein.

Anhang 9 Geplante Struktur des Trainingssystems



Vergrößerung von Abbildung 9: Gegenüberstellung der möglichen Zeitpunkte zur Auswertung des Eyetrackings.

Abb. 24: Vergrößerung von Abb. 9

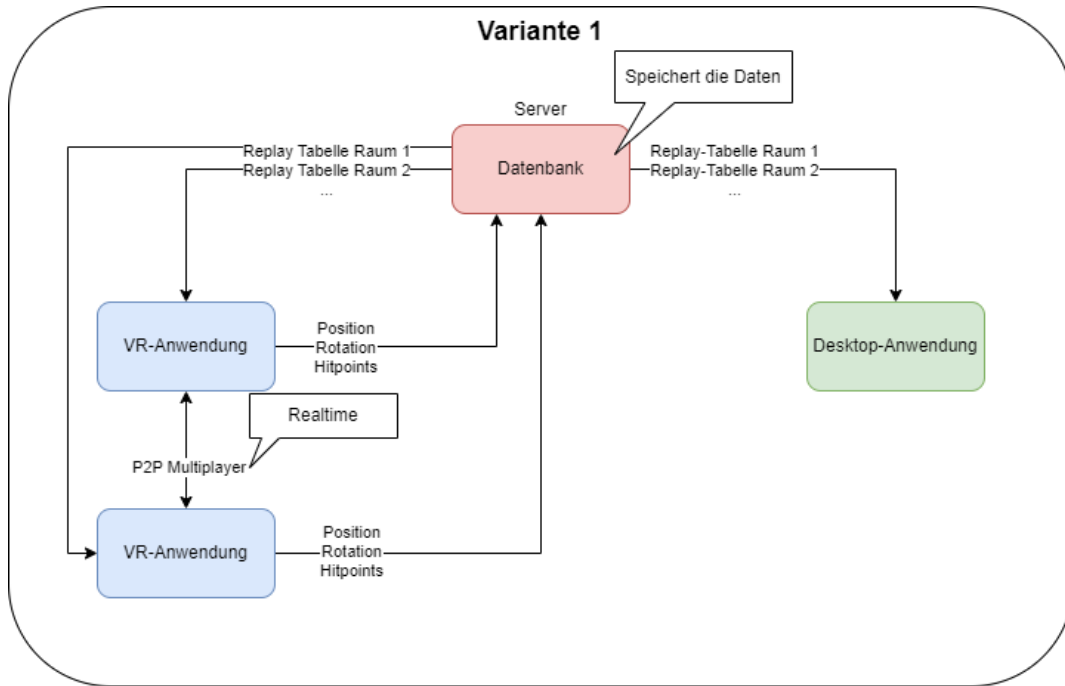


Abb. 25: Architektur des Trainingssystems Variante 1.
Für die Masterarbeit wurde diese Variante zur Entwicklung ausgewählt, bei der die Desktop-Anwendung nur AAR-Funktionen besitzt.
Quelle: Eigene Darstellung

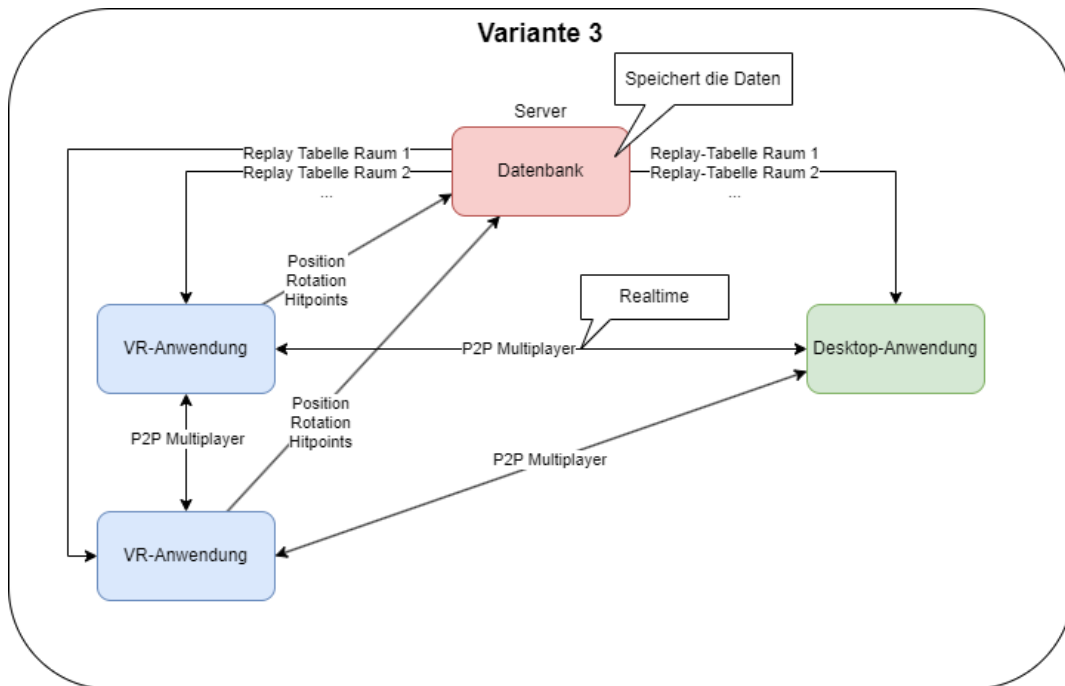


Abb. 26: Architektur des Trainingssystems Variante 3.
Diese Variante wurde später als langfristig notwendig identifiziert, um auch die IAM-Funktionen zu ermöglichen.
Quelle: Eigene Darstellung

Anhang 10 Aufbereitete Rohdaten der quantitativen Untersuchung

Wert nicht ausgewählt

Wert ignoriert, da außerhalb der möglichen Anzahl

Person01	Enten (live)		Enten (bewertet)		Enten (tatsächlich)		Waffen (live)		Waffen (bewertet)		Waffen (tatsächlich)		Personen (live)		Personen (bewertet)		Personen (tatsächlich)		Summe Objekte (gezählt)		Summe Objekte (bewertet)		Summe Objekte (tatsächlich)	
	(live)	(Ende)	(bewertet)	(tatsächlich)	(live)	(Ende)	(bewertet)	(tatsächlich)	(live)	(Ende)	(bewertet)	(tatsächlich)	(live)	(Ende)	(bewertet)	(tatsächlich)	(gezählt)	(bewertet)	(tatsächlich)	(gezählt)	(bewertet)	(tatsächlich)		
Room1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	
Room3	1	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3	3	3	3	3	3	6	6	6	6	
Room5	0	3	3	3	0	1	1	2	0	1	1	2	0	2	2	2	2	2	2	6	6	6	7	
Room9	3	3	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	4	4	4	4	4	8	8	8	7	
Room10	2	3	2	2	1	2	3	3	1	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	8	8	8	9	

Person02	Enten (live)		Enten (bewertet)		Enten (tatsächlich)		Waffen (live)		Waffen (bewertet)		Waffen (tatsächlich)		Personen (live)		Personen (bewertet)		Personen (tatsächlich)		Summe Objekte (gezählt)		Summe Objekte (bewertet)		Summe Objekte (tatsächlich)	
	(live)	(Ende)	(bewertet)	(tatsächlich)	(live)	(Ende)	(bewertet)	(tatsächlich)	(live)	(Ende)	(bewertet)	(tatsächlich)	(live)	(Ende)	(bewertet)	(tatsächlich)	(gezählt)	(bewertet)	(tatsächlich)	(gezählt)	(bewertet)	(tatsächlich)		
Room1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	
Room3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	6	6	6	6	
Room5	2	2	2	3	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	6	6	6	7	
Room9	3	3	0	3	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	4	4	4	4	4	8	8	8	8	
Room10	2	2	1	2	3	1	3	3	1	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	9	9	9	8	

Person03	Enten (live)		Enten (bewertet)		Enten (tatsächlich)		Waffen (live)		Waffen (bewertet)		Waffen (tatsächlich)		Personen (live)		Personen (bewertet)		Personen (tatsächlich)		Summe Objekte (gezählt)		Summe Objekte (bewertet)		Summe Objekte (tatsächlich)	
	(live)	(Ende)	(bewertet)	(tatsächlich)	(live)	(Ende)	(bewertet)	(tatsächlich)	(live)	(Ende)	(bewertet)	(tatsächlich)	(live)	(Ende)	(bewertet)	(tatsächlich)	(gezählt)	(bewertet)	(tatsächlich)	(gezählt)	(bewertet)	(tatsächlich)		
Room1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	
Room3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	6	6	6	6	
Room5	5	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	6	6	6	7	
Room9	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	4	4	4	4	4	8	8	8	8	
Room10	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	9	9	9	9	

Person04	Enten (live)		Enten (bewertet)		Enten (tatsächlich)		Waffen (live)		Waffen (bewertet)		Waffen (tatsächlich)		Personen (live)		Personen (bewertet)		Personen (tatsächlich)		Summe Objekte (gezählt)		Summe Objekte (bewertet)		Summe Objekte (tatsächlich)	
	(live)	(Ende)	(bewertet)	(tatsächlich)	(live)	(Ende)	(bewertet)	(tatsächlich)	(live)	(Ende)	(bewertet)	(tatsächlich)	(live)	(Ende)	(bewertet)	(tatsächlich)	(gezählt)	(bewertet)	(tatsächlich)	(gezählt)	(bewertet)	(tatsächlich)		
Room1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	
Room3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	6	6	6	6	
Room5	1	3	3	3	1	1	1	2	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2	6	6	6	7	
Room9	0	2	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	4	4	4	4	4	7	7	7	8	
Room10	1	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	3	4	4	4	4	4	4	4	8	8	8	9	

Person05	Enten (live)		Enten (bewertet)		Enten (tatsächlich)		Waffen (live)		Waffen (bewertet)		Waffen (tatsächlich)		Personen (live)		Personen (bewertet)		Personen (tatsächlich)		Summe Objekte (gezählt)		Summe Objekte (bewertet)		Summe Objekte (tatsächlich)	
	(live)	(Ende)	(bewertet)	(tatsächlich)	(live)	(Ende)	(bewertet)	(tatsächlich)	(live)	(Ende)	(bewertet)	(tatsächlich)	(live)	(Ende)	(bewertet)	(tatsächlich)	(gezählt)	(bewertet)	(tatsächlich)	(gezählt)	(bewertet)	(tatsächlich)		
Room1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	
Room3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	6	6	6	6	
Room5	3	4	2	3	1	1	1	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	6	6	6	7	
Room9	2	1	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	4	4	4	4	4	7	7	7	8	
Room10	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	3	4	4	4	4	4	4	4	8	8	8	9	

Person	Room	Aufmerksamkeit	Visuelle Erfassung des Umfelds	Eigensicherung	Gesamtwertung (Summe/3)	Selbstschätzung	Trainer-Kommentar
Person01	Room1	4	4	3	3,67	4	Beim Öffnen der Tür nicht direkt die Ente erblickt. Türblatt nicht aufgezogen und Szenario mit Mann komplett wahrgenommen
	Room3	5	5	3	4,33	5	
	Room5	4	4	3	3,67	3	
	Room9	4	4	3	3,67	3	
	Room10	4	4	3	3,67	4	
	nomiert	84%	84%	60%	76%	76%	
Person02	Room1	3	4	3	3,33	4	Sehr zögerlich beim Eindringen. Person hinter Tür lange unentdeckt
	Room3	4	4	3	3,67	4	
	Room5	4	4	3	3,67	3	
	Room9	4	3	3	3,33	2	
	Room10	4	4	3	3,67	3	
	nomiert	76%	76%	60%	71%	64%	
Person03	Room1	5	4	5	4,67	5	Gute Eigensicherung. Blick bleibt aber immer in der unteren Hälfte
	Room3	5	5	5	5,00	4	
	Room5	4	4	4	4,33	4	
	Room9	5	5	5	5,00	4	
	Room10	5	4	5	4,67	3	
	nomiert	96%	88%	100%	95%	80%	
Person04	Room1	5	4	5	4,67	3	Gut: Eigensicherung. Geschwindigkeit. Umgedreht, bevor sichtbar für Mann. Schlecht: Hätte noch mehr nach oben gucken können.
	Room3	5	4	4	4,33	4	
	Room5	5	4	5	4,67	3	
	Room9	4	3	4	3,67	3	
	Room10	3	3	4	3,33	4	
	nomiert	88%	72%	88%	83%	68%	
Person05	Room1	4	5	5	4,67	5	Gut: Zeit. Ein bisschen nach oben geguckt. Schlecht: In linke Ecke erst spät ganz reingeschaut
	Room3	5	4	5	4,67	5	
	Room5	3	4	3	3,33	4	
	Room9	5	5	5	5,00	3	
	Room10	4	4	4	4,00	4	
	nomiert	84%	88%	88%	87%	80%	

Wert nicht ausgewählt

Wert ignoriert, da außerhab der möglichen Anzahl

Person06		Enten (live)	Enten (Ende)	Enten (bewertet)	Enten (tatsächlich)	Waffen (live)	Waffen (Ende)	Waffen (bewertet)	Waffen (tatsächlich)	Personen (live)	Personen (Ende)	Personen (bewertet)	Personen (tatsächlich)	Summe Objekte (gezählt)	Summe Objekte (bewertet)	Summe Objekte (tatsächlich)
Room1		1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2
Room3					3				0				3			6
Room5		2	2	2	3	1	1	1	1	2	2	2	2	5	5	7
Room9		4	3	3	3	1	1	1	1	4	3	4	4	8	8	8
Room10		2	2	2	2	2	2	2	2	4	3	4	4	8	8	9

Person07		Enten (live)	Enten (Ende)	Enten (bewertet)	Enten (tatsächlich)	Waffen (live)	Waffen (Ende)	Waffen (bewertet)	Waffen (tatsächlich)	Personen (live)	Personen (Ende)	Personen (bewertet)	Personen (tatsächlich)	Summe Objekte (gezählt)	Summe Objekte (bewertet)	Summe Objekte (tatsächlich)
Room1		1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	2
Room3					3				0				3			6
Room5		1	1	1	3	0	0	0	0	2	2	2	2	3	3	7
Room9					3				1				4			8
Room10		4	2	2	2	3	3	2	2	4	4	4	4	9	9	9

Person08		Enten (live)	Enten (Ende)	Enten (bewertet)	Enten (tatsächlich)	Waffen (live)	Waffen (Ende)	Waffen (bewertet)	Waffen (tatsächlich)	Personen (live)	Personen (Ende)	Personen (bewertet)	Personen (tatsächlich)	Summe Objekte (gezählt)	Summe Objekte (bewertet)	Summe Objekte (tatsächlich)
Room1		1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2
Room3		3	3	3	3	0	0	0	0	3	3	3	3	6	6	6
Room5		2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	6	7	7
Room9		3	3	2	3	1	1	1	1	4	4	4	4	8	7	8
Room10		2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	9	9	9

Person09		Enten (live)	Enten (Ende)	Enten (bewertet)	Enten (tatsächlich)	Waffen (live)	Waffen (Ende)	Waffen (bewertet)	Waffen (tatsächlich)	Personen (live)	Personen (Ende)	Personen (bewertet)	Personen (tatsächlich)	Summe Objekte (gezählt)	Summe Objekte (bewertet)	Summe Objekte (tatsächlich)
Room1		1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2
Room3		3	3	3	3	0	0	0	0	3	3	3	3	6	6	6
Room5		3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	7	7	7
Room9		3	3	2	3	1	1	1	1	4	4	4	4	8	7	8
Room10		3	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	8	8	9

Person10		Enten (live)	Enten (Ende)	Enten (bewertet)	Enten (tatsächlich)	Waffen (live)	Waffen (Ende)	Waffen (bewertet)	Waffen (tatsächlich)	Personen (live)	Personen (Ende)	Personen (bewertet)	Personen (tatsächlich)	Summe Objekte (gezählt)	Summe Objekte (bewertet)	Summe Objekte (tatsächlich)
Room1		1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2
Room3		3	3	3	3	0	0	0	0	3	3	3	3	6	6	6
Room5		2	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	7	7	7
Room9		3	3	3	3	1	1	1	1	4	4	4	4	8	8	8
Room10		2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	9	9	9

Person	Room	Aufmerksamkeit	Visuelle Erfassung des Umfelds	Eigensicherung	Gesamtwertung (Summe/3)	Selbstschätzung	Trainer-Kommentar
Person06	Room1	2	4	2	2,67	4	Schlecht: Komplett in den Raum gelaufen, erst dann umgeguckt. In linke Ecke erst sehr spät richtig geguckt. Nicht nach oben geguckt.
	Room3	5	4	4	4,33	3	Gut: Gut in Ecken geguckt. Schlecht: Nicht nach oben geguckt. In Bezug auf Eigensicherung träge.
	Room9	5	5	4	4,67	4	Gut: Ein bisschen nach oben geguckt. Gründlich. Schlecht: Erst rein gelaufen, dann geguckt.
	Room10	4	4	4	4,00	3	Gut: Gut in Ecken geguckt. Eigensicherung. Schlecht: Im hinteren Teil spät nach rechts geguckt. Nicht nach oben oder unter Tische geguckt.
	nomiert	64%	68%	56%	63%	56%	
Person07	Room1	3	3	3	3,00	3	Gut: Auch mal nach oben geguckt. Schlecht: Ecke vorne links ignoriert.
	Room3	1	2	1	1,33	2	2 Merkwürdiges Türverhalten im Replay. Schlecht: Nicht nach links und rechts geguckt, beim Betreten. Vorderen Bereich neben Tür bis zum Ende ignoriert.
	Room9	3	5	3	3,67	3	Gut: Guckt auch nach oben. Schlecht: Sehr langsam. Waffe vorne rechts erst ganz am Ende gesehen.
	Room10	47%	67%	47%	53%	53%	
	nomiert						
Person08	Room1	4	4	3	3,67	3	Gut: Lässt die Räumlichkeit sehr gut aus.
	Room3	5	5	4	4,67	4	Gut: Nimmt das Hauptszenario gut wahr. Schlecht: Lläuft die Räumlichkeit nicht komplett aus.
	Room5	5	5	4	4,67	3	Gut: Lläuft die Räumlichkeit gut aus. Blick mehr Richtung Zentrum wünschenswert.
	Room9	4	4	4	4,00	4	
	Room10	4	5	4	4,33	3	
nomiert	88%	92%	76%	85%	64%		
Person09	Room1	5	5	5	5,00	4	Gut: Schnell. Schlecht: Am Eingang Boden ausgespart. Ente neben Eingang zu spät gesehen. Junge anfangs vermutlich nur erahnt.
	Room3	3	5	4	4,00	5	Gut: Sehr gründlich. Sehr schnell. Schlecht: Erst zu Waffe gelaufen. Mann links zu spät gesehen.
	Room5	4	5	3	4,00	3	Gut: Auch höher geguckt. Gut: In Ecken geguckt. Schlecht: Linke erste Sitzgruppe mit Messer beim Betreten erst ignoriert.
	Room9	5	5	4	4,67	4	
	Room10	5	4	5	4,67	4	
nomiert	88%	96%	84%	89%	76%		
Person10	Room1	5	5	5	5,00	5	Gut: Eigensicherung super. Schnell. Auch mal höher geguckt. Sogar unter Möbel geguckt.
	Room3	4	5	4	4,33	5	Gut: Schnell. Erst mittig, dann unter geguckt. Schlecht: Junge anfangs nur peripher sehr kurz.
	Room5	4	5	4	4,33	3	Gut: Raum sehr gut aufgeschnitten. Früh in Hocke gegangen. Schlecht: Nicht mehr hinter die Tür geguckt.
	Room9	5	5	5	5,00	3	Gut: Sehr gut aufgeschnitten. Sehr gründlich. Beim Betreten schnell. für Eigensicherung.
	Room10	5	5	5	5,00	4	Gut: Sauber aufgeschnitten. Sehr gründlich. Schlecht: Im hinteren Bereich etwas träge beim Umdrehen.
nomiert	92%	100%	92%	95%	80%		

Person11	Enten (live)		Enten (bewertet)		Enten (tatsächlich)		Waffen (live)		Waffen (bewertet)		Waffen (tatsächlich)		Personen (live)		Personen (bewertet)		Personen (tatsächlich)		Summe Objekte (gezählt)		Summe Objekte (bewertet)		Summe Objekte (tatsächlich)	
	Ente	Waffen	Ente	Waffen	Ente	Waffen	Ente	Waffen	Ente	Waffen	Ente	Waffen	Ente	Waffen	Ente	Waffen	Ente	Waffen	Ente	Waffen	Ente	Waffen	Ente	Waffen
Room1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
Room3	3	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	6	6	6	6	6
Room5	2	2	2	2	2	3	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	6	6	6	6	6
Room9	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	4	4	4	4
Room10	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4

Person11	Visuelle Erfassung des Umfelds		Eigensicherung		Gesamtwertung (Summe/3)		Selbstinschätzung		Trainer-Kommentar
	Aufmerksamkeit	Waffen	Ente	Waffen	Ente	Waffen	Ente	Waffen	
Room1	5	5	5	5	5	5	5	5	4
Room3	4	4	5	4	4	4	4	4	3
Room5	5	5	4	5	5	5	5	5	3
Room9	5	5	4	5	5	5	5	5	3
Room10	5	5	4	5	5	5	5	5	3
normiert	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	80%

Wie schnell wurden die Ente und der Mann in Room1 erfasst?

ProbandIn	Zeit bis zur Erfassung der Ente (s)		Zeit bis zur Erfassung des Mannes (s)		Rolle	Zeitdifferenz
	Ente	Mannes	Ente	Mannes		
ProbandIn01	11,22	14,91	14,91	3,69	Auszubildende	3,69
ProbandIn02	1,55	20,91	20,91	19,36	Auszubildende	19,36
ProbandIn03	7	5,62	5,62	-1,38	Auszubildende	-1,38
ProbandIn04	2,46	5,67	5,67	3,21	Auszubildende	3,21
ProbandIn05	1,5	2,82	2,82	1,32	Auszubildende	1,32
ProbandIn06	2,96	7,31	7,31	4,35	Auszubildende	4,35
ProbandIn07	10,67	19,41	19,41	8,74	Auszubildende	8,74
ProbandIn08	1,4	16,7	16,7	15,3	Auszubildende	15,3
ProbandIn09	2	6	6	4	Trainer	4
ProbandIn10	1,35	5,38	5,38	4,03	Trainer	4,03
ProbandIn11	1,31	4,97	4,97	3,66	Trainer	3,66

Raum	Objekt	ProbandIn01	ProbandIn02	ProbandIn03	ProbandIn04	ProbandIn05	ProbandIn06	ProbandIn07	ProbandIn08	ProbandIn09	ProbandIn10	ProbandIn11
Room1	Ente auf dem Sofa	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Room1	Mann hinter Tür	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Room3	Ente auf Bürostuhl	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	NA	NA	Ja	Ja	Ja	Ja
Room3	Ente auf dem Tisch	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	NA	NA	Ja	Ja	Ja	Ja
Room3	Ente in der Ecke neben dem Eingang	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	NA	NA	Ja	Ja	Ja	Ja
Room3	Stehende Frau in der Ecke	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	NA	NA	Ja	Ja	Ja	Ja
Room3	Mann am Schreibtisch	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	NA	NA	Ja	Ja	Ja	Ja
Room3	Junge neben Eingang	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	NA	NA	Ja	Ja	Ja	Ja
Room5	Ente unter Bank bei Beistelltisch	Ja	Nein	Nein	Ja	Unsicher	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein
Room5	Ente unter mittleren Bänken	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Room5	Ente in der Ecke hinter der Tür	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja
Room5	Hockender Mann um die Ecke	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Room5	Hockende Frau zwischen hinteren Bänken	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Room5	Messer in der Ecke neben dem Eingang	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja
Room5	Pistole im Waschbecken	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja
Room9	Ente unter Bank (bei Mann)	Nein	Nein	Ja	Unsicher	Unsicher	Ja	NA	Ja	Unsicher	Ja	NA
Room9	Ente auf dem Fußboden hinter Theke	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	NA	Nein	Ja	Ja	NA
Room9	Ente auf der Getränkeapfelanlage	Ja	NA	Ja	Unsicher	Ja	Ja	NA	Ja	Ja	Ja	NA
Room9	Junge, auf Bank stehend	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	NA	Ja	Ja	Ja	NA
Room9	Mädchen, unter Tisch sitzend	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	NA	Ja	Ja	Ja	NA
Room9	Mann, an Tisch sitzend	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	NA	Ja	Ja	Ja	NA
Room9	Mann, aus Tür kommend	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	NA	Ja	Ja	Ja	NA
Room9	Messer auf Tisch	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	NA	Ja	Ja	Ja	NA
Room10	Ente auf Fußboden vor Trennwand	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	NA
Room10	Ente auf Sofa, im hinteren Raumteil	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	NA
Room10	Frau, stehend im vorderen Raumteil	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	NA
Room10	Mann, stehend im vorderen Raumteil	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	NA
Room10	Junge, stehend im hinteren Raumteil	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	NA
Room10	Mädchen in der Ecke des hinteren Raumteils	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	NA
Room10	Pistole auf Fußboden, neben Eingang	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	NA
Room10	Messer auf Tisch	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	NA
Room10	Messer auf Fußboden, hinter Durchgang	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Unsicher	Ja	Nein	Ja	NA

Anhang 11 Ausgefüllte Usability-Bewertungsbögen der Trainer

Thorbjörn Ruppel

Masterarbeit VR Training

21.07.2025

Bewertung der Software Trainer01

	1 (trifft gar nicht zu)	2	3	4	5 (trifft voll zu)
Ich konnte die Aufmerksamkeit der Trainierenden gut nachvollziehen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Ich hatte genug Informationen, um zu bewerten, ob ein Objekt gesehen wurde.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Ich hätte mir mehr visuelle Hilfen gewünscht.	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Bewertung der Software Trainer02

	1 (trifft gar nicht zu)	2	3	4	5 (trifft voll zu)
Ich konnte die Aufmerksamkeit der Trainierenden gut nachvollziehen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Ich hatte genug Informationen, um zu bewerten, ob ein Objekt gesehen wurde.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich hätte mir mehr visuelle Hilfen gewünscht.	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Teilweise schwierig zu bewerten, ob ein Obj. unter einem Möbelstück gesehen wurde. Wenn das Obj. bei der Auswertung durch das Möbelstück "leuchten" würde, könnte die Beurteilung schneller erfolgen.

Eine Übersicht wie viele Objekte von der Gesamtzahl der zu sehenden Objekte wahrgenommen wurde wäre für den Teilnehmer, sowie für den Trainer interessant.

Anhang 12 Bewertungshorizont für die Replays

Thorbjörn Ruppel

Masterarbeit VR-Training

23.07.2025

Bewertungshorizont für die Trainingsleistung in den Replays

Aufmerksamkeit

Eine Person ist aufmerksam, wenn:

- Sie schnell die Umgebung scannt und tote Winkel vermeidet bzw. sich dieser bewusst ist.
- Sie Target-Objekte schnell entdeckt.
- Sie gründlich vorgeht und den Raum ausläuft.
- Sie alle Objekte in ihrem fovealen Sichtfeld schnell registriert.
- Sie mögliche Target-Objekte innerhalb des peripheren Sichtfelds wahrnimmt und dann direkt fixiert.
- Der Blick nicht zu weit nach unten gerichtet ist.
- Sie auch die obere Hälfte des Raums abscannt.
- Sie auch unter Möbel guckt.

Eine Person ist unaufmerksam, wenn:

- Sie sich zu sehr oder zu lange auf einen bestimmten Bereich fixiert.
- Sie einem toten Winkel über mehrere Sekunden den Rücken zukehrt.
- Sie Objekte innerhalb des Sichtfelds nicht wahrnimmt.
- Sie den Raum nicht ausläuft, sondern sich nur aus der Mitte umguckt.
- Sie fast immer auf den Boden bzw. nie nach oben guckt.

Visuelle Erfassung des Umfelds

Die visuelle Erfassung des Umfelds ist gut, wenn:

- Möglichst viele Target-Objekte entdeckt wurden.
- Ein möglichst großer Anteil des Raums abgescannt wurde.
- So weit in Ecken geschaut wurde, dass es keine toten Winkel mehr gab.
- Sowohl die untere als auch die obere Hälfte des Raums abgescannt wurde.
- Auch unter die Möbel geguckt wurde.

Die visuelle Erfassung des Umfelds ist schlecht, wenn:

- Wenig Target-Objekte erfasst wurden.
- Der Raum nicht richtig ausgelaufen wurde.
- Tote Winkel nicht aufgelöst wurden.
- Die obere oder untere Hälfte des Raumes nicht betrachtet wurde.
- Nie unter Möbel geguckt wurde.

Eigensicherung

Die Eigensicherung ist gut erfüllt, wenn:

- Der Raum vor dem Betreten von einer Seite zur anderen mit Blicken aufgeschnitten wird.
- Tote Winkel schnell aufgelöst werden.
- Der Raum von außen nach innen ausgelaufen wird.
- Der Blick standardmäßig auf mittlerer Höhe ist.
- Waffen und Personen so schnell wie möglich entdeckt werden.

Die Eigensicherung ist nicht erfüllt, wenn:

- Der Raum ungeprüft betreten wird.
- Sofort in die Mitte des Raums gelaufen wird.
- Toten Winkeln der Rücken zugedreht wird.
- Nicht entdeckte Personen oder Waffen sich über mehrere Sekunden außerhalb des peripheren Sichtfeldes befinden.
- Insbesondere Personen und Waffen nicht entdeckt werden.
- Sich beim gründlichen Scannen des Raums zu lange auf einen Bereich fixiert wird.

Anhang 13 Kleine Auswahl von Rohdaten vor der Aufbereitung

Beispiel: Ausgefüllte Bewertungsbögen

Thorbjörn Ruppel

Masterarbeit VR Training

21.07.2025

Bewertungsbogen

Trainer ID: *Trainer (Full)*

Datum: *23.07.2025*

ProbandIn Nr.: *ProbandIn01*

Raum ID: Room1

Trainings-Daten

Startzeit: *17:19:15*

Endzeit: *17:26:02*

Bewertung der Trainingsleistung

	1 (schlecht)	2	3	4	5 (gut)
Aufmerksamkeit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Visuelle Erfassung des Umfelds	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verhalten in Bezug auf Eigensicherung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Hat folgende Objekte erfasst:	Ja	Nein	Unsicher
Ente auf dem Sofa	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mann hinter der Tür	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Kurze Begründung für die Bewertung (z.B. Zielsicherheit, Sorgfalt, Fixationsdauer)
<p><i>* Beine offen das Tür nicht sofort die Erde er- blickt</i></p> <p><i>* Grünblatt nicht aufgezogen und fixiert mit Mann komplett weitergerollt (siehe Gek)</i></p>

Bewertungsbogen

Trainer ID: *Trainer (Full)*

Datum: *23.07.2025*

ProbandIn Nr.: *ProbandIn 01*

Raum ID: Room10

Trainings-Daten

Startzeit: *17:24:48*

Endzeit: *17:26:02*

Bewertung der Trainingsleistung

	1 (schlecht)	2	3	4	5 (gut)
Aufmerksamkeit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Visuelle Erfassung des Umfelds	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verhalten in Bezug auf Eigensicherung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Hat folgende Objekte erfasst:	Ja	Nein	Unsicher
Ente auf Fußboden vor Trennwand	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ente auf Sofa, im hinteren Raumteil	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Frau, stehend im vorderen Raumteil	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mann, stehend im vorderen Raumteil	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Junge, stehend im hinteren Raumteil	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mädchen in der Ecke des hinteren Raumteils	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pistole auf Fußboden, neben Eingang	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Messer auf Tisch	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Messer auf Fußboden, hinter Durchgang	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Kurze Begründung für die Bewertung (z.B. Zielsicherheit, Sorgfalt, Fixationsdauer)
<i>* läuft Räumlichkeit nicht komplett aus - anfangs ja, geht dann richtig-</i>

Bewertungsbogen

Trainer ID:

Datum: 23.07.2025

ProbandIn Nr.: ProbandIn02

Raum ID: Room1

Trainings-Daten

Startzeit: 17:39

Endzeit: 17:41

Bewertung der Trainingsleistung

	1 (schlecht)	2	3	4	5 (gut)
Aufmerksamkeit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Visuelle Erfassung des Umfelds	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verhalten in Bezug auf Eigensicherung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Hat folgende Objekte erfasst:	Ja	Nein	Unsicher
Ente auf dem Sofa	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mann hinter der Tür	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Kurze Begründung für die Bewertung (z.B. Zielsicherheit, Sorgfalt, Fixationsdauer)

* Fehler 20% gerichtet beim Eindringen
Person hinten für lange unentdeckt

Bewertungsbogen

Trainer ID:

Datum: 23.07.2025

ProbandIn Nr.: 08

Raum ID: Room9

Trainings-Daten

Startzeit: 18:53

Endzeit: 19:01

Bewertung der Trainingsleistung

	1 (schlecht)	2	3	4	5 (gut)
Aufmerksamkeit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Visuelle Erfassung des Umfelds	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verhalten in Bezug auf Eigensicherung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>

Hat folgende Objekte erfasst:	Ja	Nein	Unsicher
Ente unter Bank (bei Mann)	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ente auf dem Fußboden, hinter Theke	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ente auf der Getränkezapfanlage	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Junge, auf Bank stehend	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mädchen, unter Tisch sitzend	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mann, an Tisch sitzend	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mann, aus Tür kommend	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Messer auf Tisch	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Kurze Begründung für die Bewertung (z.B. Zielsicherheit, Sorgfalt, Fixationsdauer)
läuft abwechselnd Rückel. gut - okay wünschenswert wäre aber, Blick mehr Rtg. Handlung

Thorbjörn Ruppel

Masterarbeit VR Training

21.07.2025

Bewertungsbogen

Trainer ID:

Datum: 25.07.2025

ProbandIn Nr.: 05

Raum ID: Room5

Trainings-Daten

Startzeit: 18:18

Endzeit: 18:20

Bewertung der Trainingsleistung

	1 (schlecht)	2	3	4	5 (gut)
Aufmerksamkeit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Visuelle Erfassung des Umfelds	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verhalten in Bezug auf Eigensicherung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Hat folgende Objekte erfasst:	Ja	Nein	Unsicher
Ente unter Bank bei Beistelltisch	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Ente unter mittleren Bänken	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ente in der Ecke hinter der Tür	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Hockender Mann um die Ecke	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Hockende Frau zwischen hinteren Bänken	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Messer in der Ecke neben dem Eingang	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pistole im Waschbecken	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>

Kurze Begründung für die Bewertung (z.B. Zielsicherheit, Sorgfalt, Fixationsdauer)

In den hinteren Teil des Raumes gelaufen, ohne nach links zu gucken -
 Nicht gründlich unter Bänke geguckt -
 Gut in Ecken geguckt +
 nicht nach oben geguckt -

Anhang der Masterarbeit

Beispiel: Originaler Output des selbstgeschriebenen Tools zur schnellen Erfassung der Live-Aussagen der Trainierenden.

ProbandIn	Timestamp	Raum	Enten	Waffen	Personen	Selbsteinschätzung	Kommentar
1	2025-07-23T17:19:15.2392161Z	Room1	0	0	0		Start
1	2025-07-23T17:19:45.5502727Z	Room1	1	0	0		
1	2025-07-23T17:20:40.8211727Z	Room1	1	0	1		4 fertig
1	2025-07-23T17:20:44.9216875Z	Room3	0	0	0		Start
1	2025-07-23T17:21:00.7259858Z	Room3	0	0	1		
1	2025-07-23T17:21:01.5875173Z	Room3	1	0	1		
1	2025-07-23T17:21:03.8625018Z	Room3	1	0	2		
1	2025-07-23T17:21:13.1811560Z	Room3	1	0	3		
1	2025-07-23T17:21:13.7854179Z	Room3	1	0	4		
1	2025-07-23T17:21:56.8244836Z	Room3	3	0	3		5 fertig
1	2025-07-23T17:22:07.4487349Z	Room5	0	0	0		Start
1	2025-07-23T17:23:03.3083494Z	Room5	3	1	2		3 fertig
1	2025-07-23T17:23:16.9804294Z	Room9	0	0	0		Start
1	2025-07-23T17:23:41.2975954Z	Room9	0	0	1		
1	2025-07-23T17:23:42.6343735Z	Room9	0	0	2		
1	2025-07-23T17:23:44.6544343Z	Room9	0	0	3		
1	2025-07-23T17:23:49.0112677Z	Room9	1	0	3		
1	2025-07-23T17:23:49.5473028Z	Room9	2	0	3		
1	2025-07-23T17:23:53.1201686Z	Room9	2	0	4		
1	2025-07-23T17:23:56.1614220Z	Room9	2	1	4		
1	2025-07-23T17:24:00.3238109Z	Room9	3	1	4		
1	2025-07-23T17:24:37.7890932Z	Room9	3	1	4		3 fertig
1	2025-07-23T17:24:48.3221628Z	Room10	0	0	0		Start
1	2025-07-23T17:25:00.8762403Z	Room10	0	1	0		
1	2025-07-23T17:25:06.5978284Z	Room10	0	1	1		
1	2025-07-23T17:25:07.2375346Z	Room10	0	1	2		
1	2025-07-23T17:25:08.1851776Z	Room10	1	1	2		
1	2025-07-23T17:25:11.6374713Z	Room10	1	1	3		
1	2025-07-23T17:25:12.1945276Z	Room10	1	1	4		
1	2025-07-23T17:25:14.1014058Z	Room10	2	1	4		
1	2025-07-23T17:26:02.4154706Z	Room10	3	2	4		4 fertig

Jede Zählung eines Target-Objekts wurde mit Timestamp vermerkt. Die Timestamps für „Start“ und „fertig“ geben die Start- und Endzeit des jeweiligen Raums an. Im jeweiligen „fertig“-Eintrag werden die endgültigen Aussagen der Trainierenden (Anzahl Enten, Anzahl Waffen, Anzahl Personen, Selbsteinschätzung der visuellen Erfassung des Umfelds) für den Raum gespeichert.

Die Timestamps der einzelnen Zählungen wurden schlussendlich nicht zur Auswertung herangezogen und finden sich daher auch nicht in den aufbereiteten Daten in Anhang 10.

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit mit dem Titel:

selbständig und nur mit den angegebenen Hilfsmitteln verfasst habe. Alle Passagen, die ich wörtlich aus der Literatur oder aus anderen Quellen wie z. B. Internetseiten übernommen habe, habe ich deutlich als Zitat mit Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Datum

Unterschrift